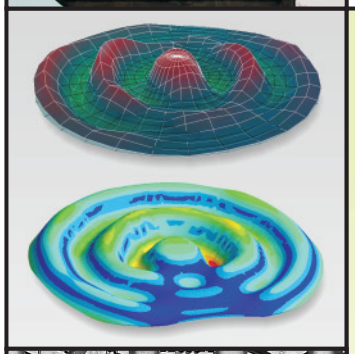
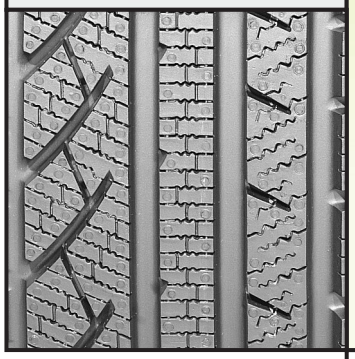
IDS

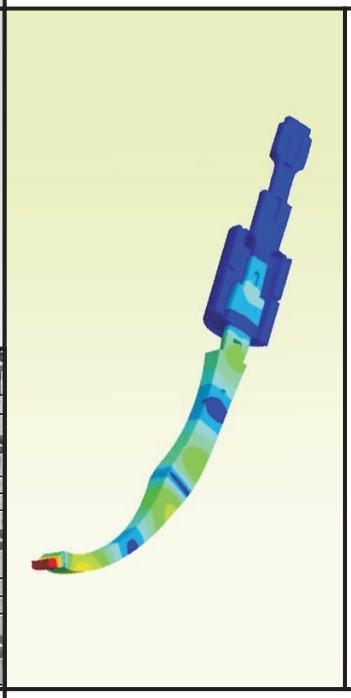
Institut für Dynamik und Schwingungen

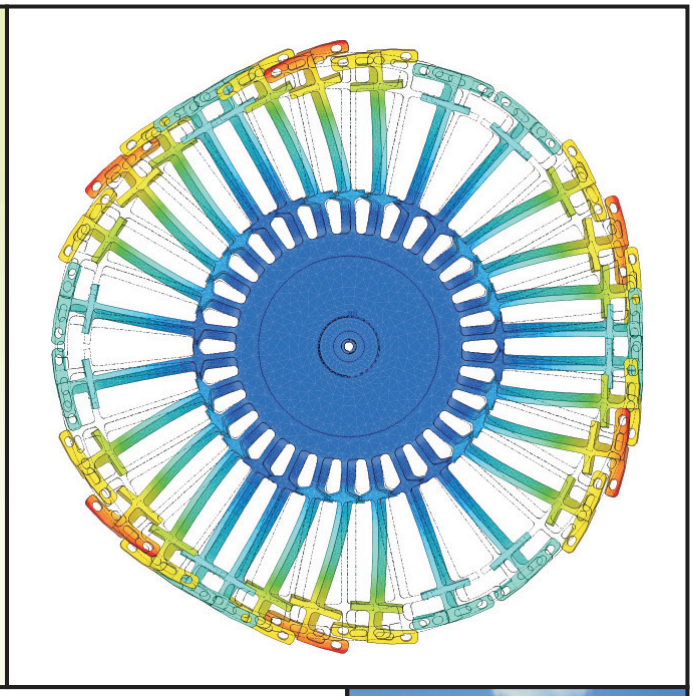
Leibniz Universität Hannover

Jahresbericht 2010 – 2012









Leibniz Universität Hannover

Vorwort

Liebe Leser,
der vorliegende Bericht fasst die wichtigsten Aktivitäten des Instituts für Dynamik und Schwingungen während der vergangenen zweieinhalb Jahre (Januar 2010 bis Juni 2012) zusammen. Dabei war es unser Ziel, nicht nur einen Überblick zu geben, sondern punktuell auch interessante Ergebnisse aus unseren Forschungsprojekten herauszustellen und Ihnen zusätzlich einen Einblick in unsere akademische Lehre zu geben. Wir sind davon überzeugt, dass hervorragende Lehre und exzellente Forschung sich nicht ausschließen, sondern sich gegenseitig bedingen und einander befruchten. Und weil wir wissen, dass sehr viele Menschen zum Erfolg des Instituts beitragen, haben wir es nicht versäumt, auch die vielen studentischen Beiträge darzustellen, die im Rahmen von Projekt-, Studien- und Abschlussarbeiten erbracht wurden.
Wir würden uns freuen, wenn der Tätigkeitsbericht Ihre sehr geschätzte Aufmerksamkeit findet und Sie bei der Lektüre viel Freude haben.

Hannover, den 30.06.2012

Dipl.-Ing. I. Gorelik, Redaktion

Prof. Dr.-Ing. habil. J. Wallaschek, Institutsleiter

Inhaltsverzeichnis

1 Das Institut 4
- 1.1 Allgemeines . . . 4
- 1.2 Die Leibniz Universität Hannover (LUH) . . . 5
- 1.3 Fakultät für Maschinenbau . . . 6
- 1.4 Geschichte der Mechanik in Hannover . . . 7
- 1.5 Institutsleitung . . . 7
- 1.6 Mitarbeiter . . . 8
- 1.7 Versuchseinrichtungen . . . 12
- 1.8 Öffentlich geförderte Projekte im Berichtszeitraum . . . 14
- 1.9 Drittmittel-Einnahmen des IDS . . . 15

2 Aktivitäten im Berichtszeitraum 16
- 2.1 Veröffentlichungen und Berichte . . . 17
  - 2.1.1 Aufsätze in wissenschaftlichen Fachzeitschriften und Tagungsbeiträge . . . 17
  - 2.1.2 Studentische Arbeiten . . . 21
  - 2.1.3 Abgeschlossene Dissertationen . . . 27
- 2.2 Veranstaltungen . . . 32
- 2.3 Auszeichnungen . . . 32
- 2.4 Wissenschaftlicher Austausch . . . 33

3 Forschung 35
- 3.1 Arbeitsgruppe Dynamik rotierender Maschinen . . . 36
- 3.2 Arbeitsgruppe Kontaktmechanik und Reibung . . . 46
- 3.3 Arbeitsgruppe Adaptronische Systeme . . . 51
- 3.4 Arbeitsgruppe Piezo- und Ultraschalltechnologie . . . 62

4 Lehre 70
- 4.1 Übersicht . . . 71
- 4.2 Lehrveranstaltungen im Grundstudium . . . 71
- 4.3 Lehrveranstaltungen im Hauptstudium . . . 72
- 4.4 Tutorien . . . 76
  - 4.4.1 ACTIVE-**A**dvanced **C**lassroom for **T**raining **i**n **V**ibration **E**xperiments . . . 76
  - 4.4.2 Tutorien-Simulationssoftware . . . 77
- 4.5 Prüfungen . . . 78
- 4.6 Exkursionen . . . 79

5 Anhang 81
- 5.1 Dissertationen . . . 82
- 5.2 IDS Schriftenreihe . . . 88

6 Anfahrt 89

7 Impressum 90

1 Das Institut

1.1 Allgemeines

Das Institut für Dynamik und Schwingungen der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover ist Teil der Fakultät für Maschinenbau. Am Institut arbeiten zurzeit 28 wissenschaftliche Angestellte, die von 12 weiteren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern im Sekretariat und in der Metall- und Elektronikwerkstatt unterstützt werden.
In der Lehre arbeiten wir eng mit dem Institut für Kontinuumsmechanik zusammen. Die Forschungsprojekte des Institutes für Dynamik und Schwingungen werden in den Arbeitsgruppen

- Dynamik rotierender Maschinen
- Kontaktmechanik und Reibung
- Adaptronische Systeme
- Piezo- und Ultraschalltechnik

bearbeitet.
Besondere Schwerpunkte sind die Modellierung, Simulation und Optimierung von Reibkontakten sowie die Untersuchung reibungserregter Schwingungen. Daneben haben wir uns auf die Untersuchung der Dynamik von Strukturen mit piezoelektrischen Leistungswandlern mit Anwendungen in der Ultraschalltechnik, der aktiven Schwingungsdämpfung sowie der Medizintechnik konzentriert.
Fragestellungen der automobilen Lichttechnik bearbeiten wir im Rahmen des Hannoverschen Zentrums für optische Technologien und in Kooperation mit dem L-LAB in Lippstadt. Als Teil des Mechatronik-Zentrums Hannover untersuchen wir außerdem neuartige Antriebstechnologien und Fragestellungen aus der Medizintechnik.
Es werden sowohl grundlagenorientierte Projekte wie auch anwendungsbezogene Aufgaben bearbeitet. Typisch für unsere Arbeit ist die enge Wechselwirkung von theoretischen Untersuchungen und experimenteller Validierung an eigenen Versuchsständen. Hierzu steht eine hervorragende experimentelle Ausrüstung sowie eine eigene Versuchstandsfertigung zur Verfügung.

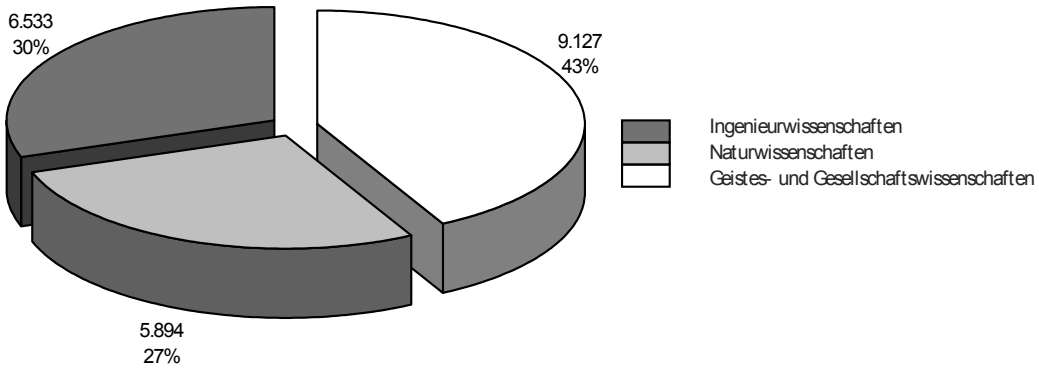
1.2 Die Leibniz Universität Hannover (LUH)

Mit Wissen Zukunft gestalten
1831 von dem Gelehrten Karl Karmarsch gegründet, startete die “Höhere Gewerbeschule zu Hannover” mit nur 64 Schülern. Heute sind es rund 21.000 Studierende in den Natur- und Ingenieurwissenschaften, den Geistes- und Sozialwissenschaften sowie den Rechts- und Wirtschaftswissenschaften.

Fakultäten der LUH

- Naturwissenschaftliche Fakultät
- Fakultät für Mathematik und Physik
- Fakultät für Elektrotechnik und Informatik
- **Fakultät für Maschinenbau**
- Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie
- Philosophische Fakultät
- Fakultät für Architektur und Landschaft
- Juristische Fakultät
- Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät

Studierendenzahlen im Wintersemester 2011/12



[Quelle: Zahlenspiegel 2012 der LUH]

1.3 Fakultät für Maschinenbau

Die Fakultät in Zahlen (Stand 2012)

- 3323 Studierende, davon 448 weiblich, 440 ausländische Studierende
- 17 Institute
- 3 Zentren für innovative Forschungsprojekte
- 18 Professorinnen/Professoren
- 333 wissenschaftliche Mitarbeiterinnen/Mitarbeiter
- 178 Mitarbeiterinnen/Mitarbeiter in Technik und Verwaltung
- 31.182.000 € Drittmittel
- 8 Exzellenzcluster und Sonderforschungsbereiche

Institute der Fakultät für Maschinenbau

Produktionstechnik	**Energie- und Prozesstechnik**	**Mechatronik**
Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA) Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis	Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik (TFD) Prof. Dr.-Ing. Jörg Seume	Institut für Produktentwicklung und Gerätebau (iPeG) Prof. Dr.-Ing. Roland Lachmeyer
Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena	Institut für Technische Verbrennung (ITV) Prof. Dr. Friedrich Dinkelacker	Institut für Maschinenelemente, Konstruktionstechnik und Tribologie (IMKT) Prof. Dr.-Ing. Gerhard Poll
Institut für Transport- und Automatisierungstechnik (ITA) Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer	Institut für Thermodynamik (IFT) Prof. Dr.-Ing. Stephan Kabelac	Institut für Kontinuumsmechanik (IKM) Prof. Dr.-Ing. Peter Wriggers
Institut für Mikroproduktionstechnik (IMPT) Prof. Dr.-Ing. Lutz Rissing	Institut für Mehrphasenprozesse (IMP) Prof. Dr.-Ing. Birgit Glasmacher	Institut für Dynamik und Schwingungen (IDS) Prof. Dr.-Ing. Jörg Wallaschek
Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens		Institut für Mechatronische Systeme (imes) Prof. Dr.-Ing. Tobias Ortmaier
Institut für Werkstoffkunde (IW) Prof. Dr.-Ing. Friedrich-Wilhelm Bach		Institut für Mess- und Regelungstechnik (IMR) Prof. Dr.-Ing. Eduard Reithmeier

Exzellenzcluster, Sonderforschungsbereiche und Transregios

- EXC 62: From Regenerative Biology to Reconstructive Therapy ”REBIRTH” (MHH)
- SFB 489: Prozesskette zur Herstellung präzisionsgeschmiedeter Hochleistungsbauteile
- SFB 516: Konstruktion und Fertigung aktiver Mikrosysteme (bis 2010) (TU Braunschweig)
- SFB 599: Zukunftsfähige bioresorbierbare und permanente Implantate aus metallischen und keramischen Werkstoffen (MHH)
- SFB 653: Gentelligente Bauteile im Lebenszyklus - Nutzung vererbbarer, bauteilinhärenter Informationen in der Produktionstechnik
- SFB 675: Erzeugung hochfester metallischer Strukturen und Verbindungen durch gezieltes Einstellen lokaler Eigenschaften (TU Clausthal)
- SFB 871: Regeneration komplexer Investitionsgüter
- TR 73: Umformtechnische Herstellung von komplexen Funktionsbauteilen mit Nebenformelementen aus Feinblechen (Universität Erlangen-Nürnberg)

1.4 Geschichte der Mechanik in Hannover

Bei der Gründung der Höheren Gewerbeschule im Jahre 1831, aus der die heutige Leibniz Universität Hannover hervorgegangen ist, war die Mechanik noch kein eigenständiges Fach. Sie wurde durch K. von Karmasch, dem ersten Direktor, im Rahmen der technologischen Ausbildung mit vertreten. Aber schon wenige Jahre später, nämlich seit den vierziger Jahren des neunzehnten Jahrhunderts, war die Mechanik als selbständiges Fach in Lehre und Forschung etabliert.
Herausragende Hochschullehrer bis zum Zweiten Weltkrieg waren die Professoren A. Ritter (1857-1870), B. Keck (1871-1900), L. Prandtl (1901-1904), M. Weber (1905-1912) und A. Pröll (1913-1945). Im Jahre 1946 wurde das Institut für Mechanik als Teil der damaligen Technischen Hochschule gegründet. Prof. O. Flachsbart (1946-1957) gelang der schwierige Neuanfang in Forschung und Lehre. Sein Nachfolger Prof. E. Pestel (1957-1977) hat diese Arbeit mit außerordentlichem Erfolg weitergeführt. Großen Anteil an dem weiteren Ausbau des Instituts hatte Prof. O. Mahrenholtz (1966-1982). Mit seinem Wirken fallen die Einrichtung eines zweiten Lehrstuhles für Dynamik und Schwingungstechnik sowie der verstärkte Ausbau der experimentellen Einrichtungen zusammen. Die Professoren J. Wittenburg (1977-1979) und H. Springer (1987-1990) arbeiteten auf den Gebieten Mehrkörpersysteme und Maschinendynamik. Prof. I. Teipel (1968-1998) vertrat das Gebiet der Strömungsmechanik.
Die Gebiete Elasto- und Plastomechanik, Dynamik und Mechatronik wurden durch die Professoren D. Besdo (1978-2006), K. Popp (1981-2005) und B. Heimann (1992-2008) in vielen Einzel- und Verbundvorhaben sehr erfolgreich bearbeitet. Sie alle haben zusammen mit zahlreichen Mitarbeitern das Institut für Mechanik zu einer Institution entwickelt, die sich modernen Fragestellungen der Wissenschaft sowie unterschiedlichen Problemen der Industrie mit Erfolg widmet.
Aus dem Institut für Mechanik gingen im Jahr 2005 das Institut für Dynamik und Schwingungen, das Institut für Kontinuumsmechanik und das Institut für Robotik (seit 04/2009 Institut für Mechatronische Systeme) hervor, die von den Professoren J. Wallaschek (seit 04/2007), P. Wriggers (seit 10/2008) und T. Ortmaier (seit 04/2009) geleitet werden.

1.5 Institutsleitung

Professor Wallaschek hat an der Technischen Hochschule in Darmstadt und an der Ecole Centrale de Lyon Wirtschaftsingenieurwesen und Maschinenbau studiert. Nach Promotion und Habilitation war er mehrere Jahre bei der Daimler Benz AG im AEG Forschungsinstitut Frankfurt tätig. Dort war er für den Bereich Schwingungstechnik verantwortlich.
In seiner anschließenden Tätigkeit als Professor für Mechatronik und Dynamik am Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn hat er sich auf die modellbasierte Entwicklung und experimentelle Untersuchung piezoelektrischer Systeme konzentriert. Er war Gründungsvorstand des L-LAB, einem in Public Private Partnership von der Hella KGaA Hueck & Co. und der Universität Paderborn geführten Forschungszentrums für Lichttechnik und Mechatronik, sowie Sprecher des Kompetenznetzwerkes LED in NRW und Vorstandsmitglied bei OpTech-Net e. V. Von 1999 bis 2003 war er Prorektor für Forschung und wissenschaftlichen Nachwuchs der Universität Paderborn.
Seit 01.04.2007 leitet Prof. Wallaschek das Institut für Dynamik und Schwingungen der Leibniz Universität Hannover. Er ist Mitglied des Hannoverschen Zentrums für Optische Technologien (H.O.T.) und des Mechatronik-Zentrum Hannover (MZH). Prof. Wallaschek gehört dem Editorial Board verschiedener internationaler Fachzeitschriften an. Die Ergebnisse seiner Arbeit sind in mehr als 150 Veröffentlichungen und über 40 Patentschriften dokumentiert. Seit vielen Jahren ist er gewähltes Mitglied des VDI Fachbeirates Schwingungstechnik und Aktive Systeme. Seit Frühjahr 2012 ist Prof. Wallaschek Fachkollegiat der Deutschen Forschungsgemeinschaft im FK 407 (Systemtechnik).

1.6 Mitarbeiter

Dipl.-Ing.
Marius Bonhage
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Dipl.-Ing.
Jonas Böttcher
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

M. Sc.
Peter Bruns
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Jens Bsdok
Systemadministrator

Angelika Crohn
Sekretariat

Dipl.-Ing.
Ilja Gorelik
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

M. Sc.
Xu Han
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Dipl.-Ing.
Olaf Hentschel
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Dipl.-Ing.
Anna Herzog
Wissenschaftliche Mitarbeiterin

M. Sc.
Minghui Huang
Wissenschaftliche Mitarbeiterin

Dipl.-Ing.
Malte Krack
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Dipl.-Ing.
Jacob Laborenz
Oberingenieur

Dipl.-Ing.
Hagen Lind
Gruppenleiter

Dipl.-Ing.
Tim Linke
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

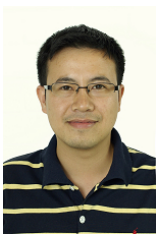
Dipl.-Ing.
Saša Mihajlović
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Dipl.-Ing.
Sebastian Mojrzisch
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Dipl.-Ing.
Christoph Moritz
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Dr.-Ing.
Marcus Neubauer
Gruppenleiter

Dr.-Ing.
Lars Panning
Gruppenleiter und
Lehrkraft für besondere Aufgaben



M. Sc.
The Minh Pham
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

M. Sc.
Linus Pohle
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Dipl.-Ing.
Andreas Renner
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Nicole Röbbert
Sekretariat

Michael Runge
Techniker

Dipl.-Ing.
Kai Saalbach
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Burkhard Salge
Systemadministrator

Dipl.-Ing.
Daniel Schurzig
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Dipl.-Ing.
Sebastian Schwarzendahl
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Dipl.-Ing.
Sebastian Tatzko
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Dr.-Ing.
Jens Twiefel
Gruppenleiter

Prof. Dr.-Ing.
Jörg Wallaschek
Institutsleiter

M. Sc.
Henrik Westermann
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Dipl.-Ing.
Wiebold Wurpts
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Dipl.-Ing.
Martin Zimmermann
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Ehemalige Mitarbeiter im Berichtszeitraum:
Dipl.-Ing. P. Grönefeld; Dipl.-Ing. A. Hohl; Dipl.-Ing. S. Ripka; Dipl.-Ing. J. Rudat; Dr.-Ing. F. Schiedeck; M. Sc. D. O. Uribe; Dr.-Ing. M. Wangenheim; Dipl.-Ing. L. Yang

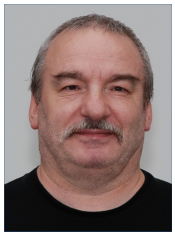
(Stand 30.06.2012)

Unser Werkstatt-Team

Jürgen Anton
Werkstattleiter

Thomas Bannasch
Feinmechaniker

Paul Kaszubowski
Dreher

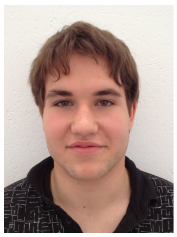


Kurt Rieming
Mechaniker

Stefan Düring
Werkstattleiter

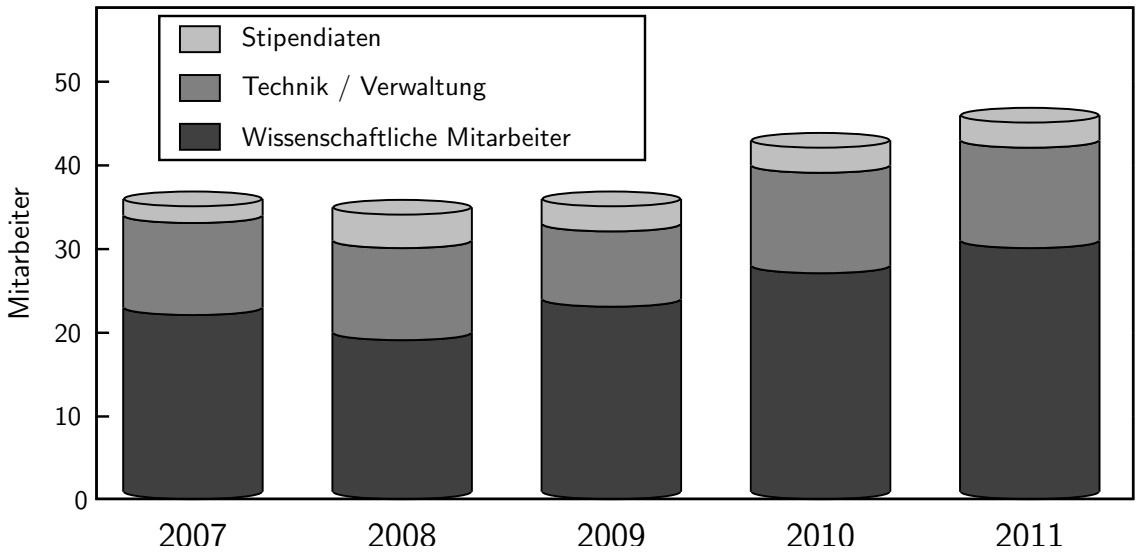
Timo Dolle
Auszubildender-Feinmechaniker

Alexander Wittbrock
Dreher



Sven Kuhnert
Auszubildender-Feinmechaniker

Mitarbeiterstatistik



	2007	2008	2009	2010	2011
Wissenschaftliche Mitarbeiter	22	19	23	27	30
Verwaltung / Technik	11	11	9	12	12
Stipendiaten	2	4	3	3	3
Σ	35	34	35	42	45

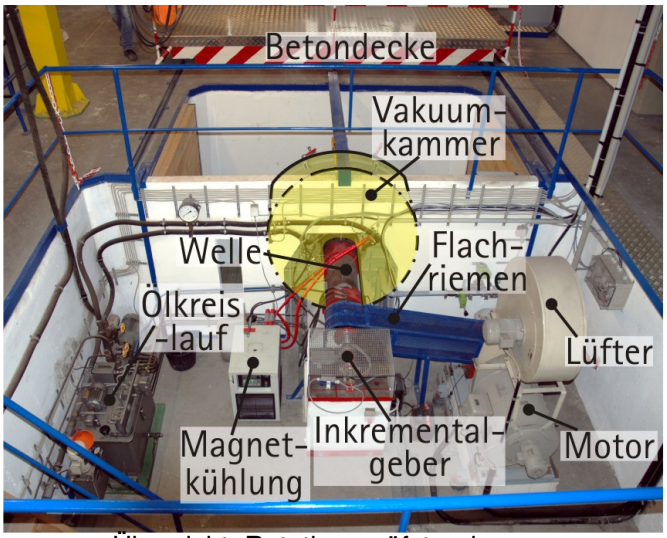
(Stand jeweils zum 31.12.)

Im Berichtszeitraum am IDS beschäftigte wissenschaftliche Hilfskräfte

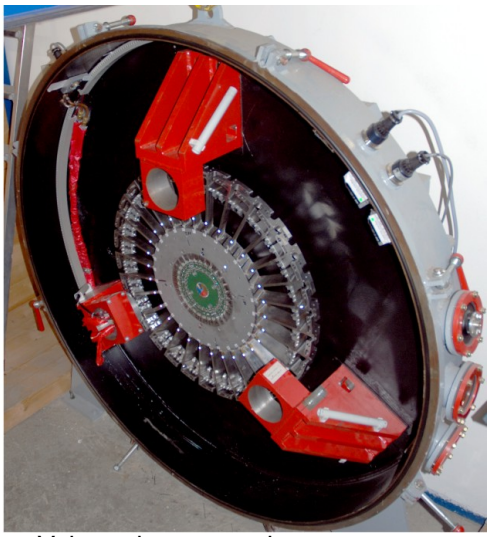
- Adler, Jan Thore
- Ahlswede, Matthias
- Ahn, Kyoung-Ah
- Aouini, Selim
- Bafile, Juan Carlos
- Baili, Aymen
- Barz, Fabian
- Baumeister, Jan
- Beckmann, Daniel
- Beermann, Rüdiger
- Ben Salah, Zeinebs
- Bremer, Jan
- Brilliant, Brilliant
- Bunzel, Robert
- Cui, Tianzhi
- Deichmann, Dimitri
- Dinkel, Steven
- Feizi Behnagh, Sahand
- Felde, Alexandra
- Feldhaus, Michael
- Feldt, Thomas
- Feller, Domenic
- Gaida, Marleen
- Gandyra, Stefan
- Gläfke, Christiane
- Goudarzi, Maziyar
- Grimm, Tobias
- Habibzadeh Miavaghi, Aza
- Haese, Magnus
- Haji Beik, Naghmeh
- Hansen, Ingwer
- Hartig, Lisa
- Hartmann, Sebastian
- Heni, Zied
- Hinkelmann, Holger
- Hofmann, Viktor
- Hootak, Maiwand
- Hootak, Thomas
- Hu, Yuejiao
- Ille, Igor
- Jahn, Martin
- Jonsky, Torben
- Jürgens, Christian
- Jürgens, Sebastian
- Kahri, Wael
- Kamrath, Alexander
- Kaptan, Ferhat
- Kheirkhah, Ali
- Kierzkowski, Artur
- Kirchfeld, Alexander
- Kleina, Bartholomäus
- Kleingrothe, Lukas
- Kleyman, Gleb
- Knust, Florian
- Kolhoff, Christoph
- Krieger, Sebastian
- Kusche, Stephanie
- Laske, Christina
- Lauchart, Nils
- Lee, Su Ling
- Li, Haoyu
- Losereit, Dennis
- Makul, Alem
- Mayer, Stefan
- Meiner, Matthias
- Melchert, Nils
- Misir, Ömür
- Mohammadifard, Somayeh
- Mohammadifard, Zahra
- Möhlmann, Alwin
- Mölle, Stefan
- Moraw, Natali
- Müller, Christopher
- Müller, Stephanie
- Ngako Nako, Guy-Olivier
- Oertzen, Finn Fabian
- Ohrdes, Hendrik
- Ouda, Mosab Ahmad
- Pacheco Castro, Pedro An
- Parsamanesh, Mahboube
- Parsamanesh, Mahmoud
- Pelzer, Veith
- Pereira Camargo, Vinicius
- Petersen, Sebastian
- Pham, Duc Viet
- Pilevski, Alexander
- Pohl, Juliane
- Porstmann, Thomas
- Quedenbaum, Janek
- Reinholtz, Marcus-Fabian
- Sauthoff, Bastian
- Schlesier, Klaus-Dieter
- Schmidt, Mareike
- Schneider, Andreas
- Scholz, Sebastian
- Schuchardt, Agneta
- Schumacher, Frank
- Schuster, Alexandra
- Schütt, Eric
- Seefisch, Christian
- Strauß, Kenny
- Strug, Jasmin
- Tödtheide, Alexander
- Uhlich, Florian
- Üner, Mazlum
- Unrau, Paul
- Veltin, Christoph
- Vo, Huy-Thuan
- Wallace, Christian
- Wang, Qiaofa
- Weber, Simon
- Weinstein, Michael
- Weisbrich, Johannes
- Weismüller, Maren
- Wiechens, Janna
- Willeke, Sebastian
- Woiwode, Lukas
- Woschnick, Florian
- Wulfestieg, Kai
- Xia, Xinrui
- Yuan, Jiankang

1.7 Versuchseinrichtungen

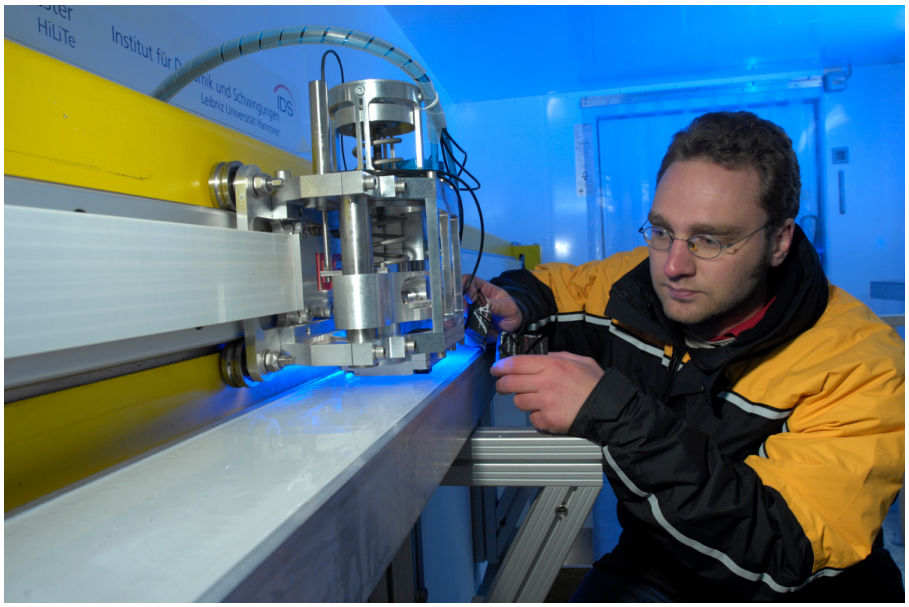
- Scanning-Laservibrometer
- 3D-Scanning-Laservibrometer
- 3D-Laservibrometer
- Differentielles faseroptisches Laservibrometer
- Hochgeschwindigkeitskamera
- Thermokamera
- Fallwerk für Crashuntersuchungen an Fahrzeugkomponenten (Masse 80-300 kg, max. Geschwindigkeit 45 $\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$; Offset-, Pfahl-, Schrägaufprall 0°-30°)
- Bremsenprüfstand für Kfz-Bremse mit Achsschenkel (max. 1500 Nm, 500 $\frac{\mathrm{U}}{\mathrm{min}}$, automatische Steuerung)
- Tribometer zur Untersuchung von technischen Reibpaarungen (Normalkräfte bis 200 N, Geschwindigkeit 0,1 - 3000 $\frac{\mathrm{mm}}{\mathrm{s}}$, 2 FHG möglich)
- Axialdichtungsprüfstand (Reibkräfte bis 500 N, Geschwindigkeit von 0,1 - 125 $\frac{\mathrm{mm}}{\mathrm{s}}$, Temperaturen bis 250°C)
- Schwingungslabor (Schwingungsfundamente, Schwingungserreger und -aufnehmer, Schwingungsregel-System M+P VibPilot)
- Standversuche zur Reibungsdämpfung an Turbinenschaufeln
- Modalanalyse Hard- und Software
- Standversuche zur Untersuchung von Reibhysteresen und Identifikation verschiedener Materialparameter
- Rotationsprüfstand für Schaufelkränze (evakuierte Kammer, maximale Drehzahl 5.000 $\frac{\mathrm{U}}{\mathrm{min}}$)



Übersicht: Rotationsprüfstand


Vakuumkammer mit Modellschaufelkranz (∅ 780 mm)

- Piezo-Messplattformen für dynamische Bodenkräfte (max. 80 kN)
- Reibmobil für Reibuntersuchungen im Rollkontakt bei Normalkraft- und Schlupfvorgabe (Schlupf bis $\pm$ 100 $\%$, Schräglaufwinkel bis $\pm$ 20°, Fahr-Geschwindigkeit bis 0,3 $\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$, Normalkraft bis 150 N)
- Hochgeschwindigkeits-Linear-Prüfstand für Reibuntersuchungen auf verschiedenen Oberflächen (Temperaturbereich von -25°C bis +55°C, Normalkraft bis 1000 N, Geschwindigkeit bis 10 $\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$



Hochgeschwindigkeits-Linear-Prüfstand

- Kältekammer mit Einrichtung zur Herstellung von Schnee und Eis
- Piezolabor (Breitband-Verstärker, Impedanzanalysatoren, 4-Kanal-Funktionsgenerator, Strom- und Spannungssensoren, NI-Multifunktions-System)
- Ultraschalllabor (Phase-Gain-Analysator, NI-Multifunktions-System mit Funktionsgenerator, luftgelagerter Schwingtisch)
- Sensor- und Aktorlabor (dSPACE-Systeme, Leistungsverstärker, 2-Kanal-Funktionsgenerator, programmierbare bipolare Stromversorgung, Prüfstand für Ultraschallschwingungsantriebe und Formgedächtnisaktoren)
- Bohrstrangversuchsstand zur Untersuchung von Schwingungsphänomenen in Tiefbohrsträngen

1.8 Öffentlich geförderte Projekte im Berichtszeitraum

EU

- KRISTAL - Knowledge-based Radical Innovation Surfacing for Tribology and Advanced Lubrication
- HIPER-Act - Novel Technology for High-Performance Piezoelectric Actuators
- HYDRACT - Low-Energy Hydraulic Actuator for Valves

AIF

- Entwicklung eines Schwingungssystems für mehrachsige Anregungen
- Modellierung spielbehafteter Kontakte zur Auslegungsoptimierung von Leitschaufeln
- Transiente Schwingungen von Turbinenschaufeln mit nichtlinearen Reibkontakten

AIF (ZIM)

- Entwicklung und Erprobung von funktionalisierten Oberflächen in Pneumatikaktuatoren zur Steigerung der Energieeffizienz
- Hochfrequenzprüfung von Aggregatelagern im Fahrzeugbau mit piezoelektrischen Schwingerregern; Teilprojekt: Auslegung, Entwicklung und Aufbau des piezoelektrischen Aktors und der dazugehörigen Leistungselektronik und Regelung
- Entwicklung eines völlig neuartigen Schwinggebildes für das Ultraschallschweißen für harte Ankopplungen

FVV

- Optimierung der Fügestellen von Bauteilen unter Berücksichtigung multifrequenter Schwingungsanregung und nichtlinearer Kontaktkräfte im Frequenzbereich

BMBF

- Neue Basistechnologien für Ultra-Leichtbau-Hochgeschwindigkeits-Bonder in Wedge-Wedge-Applikationen; Teilprojekt: Optimierung der Dynamik und des Schwingungsverhaltens von Wedge-Wedge-Hochgeschwindigkeitsbondern

BMWI

- Optimierung und robuste Auslegung für gekoppelte Laufbeschaufelungen

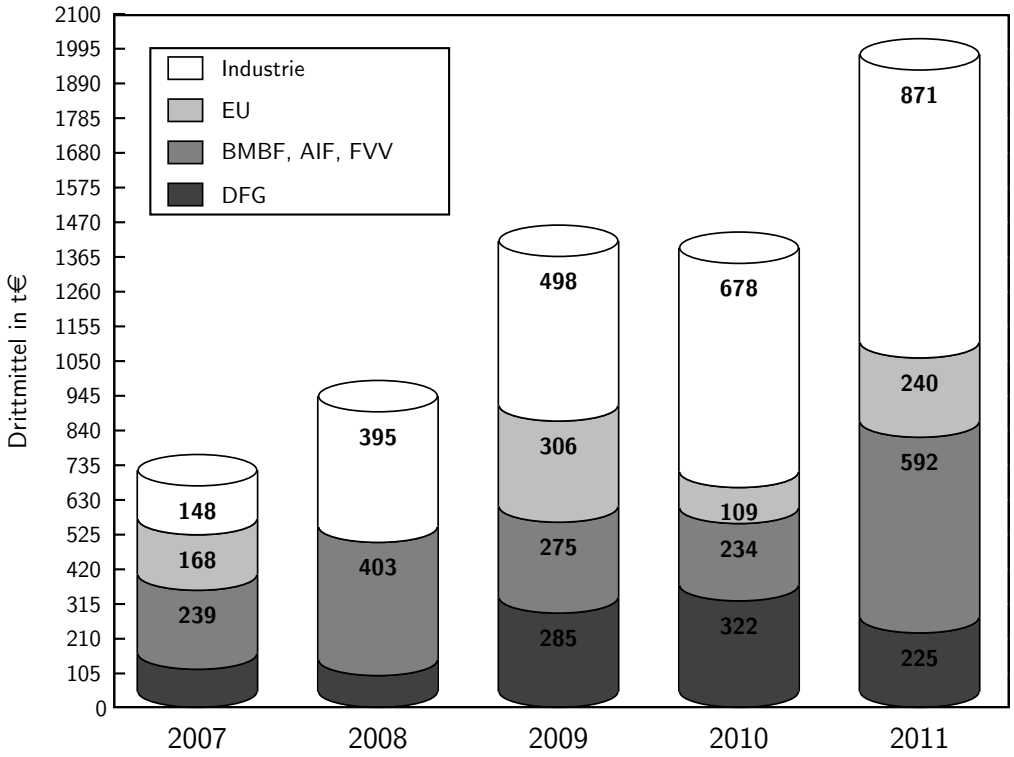
DFG

- Optimierung der Fügestellen von Bauteilen unter Berücksichtigung multifrequenter Schwingungsanregung und nichtlinearer Kontaktkräfte im Frequenzbereich
- Grundlagenuntersuchungen zu Ultraschall-Levitationslagern mit dem Ziel hoher Tragkraft bei kleiner Baugröße
- Minimierung der Schwingungsanregung von Schneidstempeln durch den Einsatz von Piezoaktoren
- Ultraschallunterstütztes Gießen von hybriden Gussteilen aus Leichtmetall im Sandguss
- Entwicklung eines ganzheitlichen Prozessmodells für die ultraschallunterstützte Gesteinszerspanung

SFB

- Regeneration komplexer Investitionsgüter. Teilprojekt C3: Regenerationsbedingtes Mistuning.

1.9 Drittmittel-Einnahmen des IDS



	2007	2008	2009	2010	2011
Industrie	148	395	498	678	871
EU	168	0	306	109	240
BMBF, AIF, FVV	239	403	275	234	592
DFG	115	96	285	322	225
Σ	670	894	1.364	1.343	1.928

(Alle Angaben in t€)

2 Aktivitäten im Berichtszeitraum

Leibniz Universität Hannover

Institut für Dynamik und Schwingungen IDS

2.1 Veröffentlichungen und Berichte

2.1.1 Aufsätze in wissenschaftlichen Fachzeitschriften und Tagungsbeiträge

2012 (Januar-Juni)

- Bonhage, M.; Panning-von Scheidt, L.; Wallaschek, J.; Richter, C.; (2012): Transient resonance passage with respect to friction. ASME paper GT2012-68986, In: Proceedings of the ASME Turbo Expo

- Brökelmann, M.; Neubauer, M.; Schwarzendahl, S. M.; Hesse, H. -J.; Wallaschek, J.: Active and passive vibration control of ultrasonic bonding transducers, Actuator Conference, Bremen, 2012.

- Krack, M.; Panning-von Scheidt, L.; Wallaschek, J.; Siewert, C.; Hartung, A. (2012): Robust Design of Friction Interfaces of Bladed Disks with Respect to Parameter Uncertainties. ASME paper GT2012-68578, In: Proceedings of the ASME Turbo Expo, S. 1-12.

- Laborenz, J.; Krack, M.; Panning-von Scheidt, L.; Wallaschek, J.; Denk, M.; Masserey, P.: Eddy Current Damper for Turbine Blading: Electromagnetic Finite Element Analysis and Measurement Results, J. Eng. Gas Turbines Power 134, 042504 (2012), DOI:10.1115/1.4004734

- Laborenz, J.; Panning-von Scheidt, L.; Wallaschek, J.; Denk, M.; Masserey, P.: Experimental Analysis of an Eddy Current Damping Device Applied to a Rotating Integrally Bladed Disk, 14th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery, Honolulu, 2012

- Murimi, E.; Neubauer, M.: Piezoelectric Energy Harvesting: An Overview, Proceedings Mechanical Engineering Conference on Sustainable Research and Innovation, Vol 4, ISSN 2079-6226, 2012.

- Neubauer, M.; Han, X.; Wallaschek, J.: On the maximum damping performance of piezoelectric switching techniques - In: Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 2012, doi:10.1177-/1045389X12445645.

- Neubauer, M.; Schwarzendahl, S. M.; Wallaschek, J.: A new solution for the determination of the generalized coupling coefficient for piezoelectric systems - In: Journal of Vibroengineering, Vol. 14, Issue 1, ISSN 1392-8716, pp. 105-110, 2012.

- Neubauer, M.; Brökelmann, M.; Schwarzendahl, S. M.; Hesse, H. -J.; Wallaschek, J.: Optimization of bond transducer vibrations using active and semi-active control, SPIE Conference Smart Structures and Materials, San Diego, 2012.

- Schurzig, D.; Labadie, R.F.; Hussong, A.; Rau, Th.; Webster, R.J.: Design of a Tool Integrating Force Sensing With Automated Insertion in Cochlear Implantation. IEEE Transactions on Mechatronics, 17(2): 381-389, 2012

- Schwarzendahl, S.M.; Neubauer, M.; Wallaschek, J.: Optimization of a passive piezoelectric damper for a viscously damped main system - In: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, Vol. 8341, 2012.

- Zhao, S.; Mojrzisch, S.; Wallaschek, J.: An ultrasonic levitation journal bearing able to control spindle center position - In: Mechanical Systems and Signal Processing (MSSP), 2012, doi:10.1016/ j.ymssp.2012.05.006

- Zimmermann, M.; Hermann, A.; Wangenheim, M.; Grönefeld, P.: Simulation-based surface modification for friction reduction. In: Proceedings of the 26th International Conference on Surface Modification Technologies, Lyon, France, 2012.

2011

- Balachandran, R.; Mitchell, J.E.; Noble, J.; Schurzig, D.; Blachon, G.; McRackan, T.R.; Webster, R.J.; Dawant, B.M.; Fitzpatrick, J.M.; Labadie, R.F.: Insertion of electrode array using percutaneous cochlear implantation technique: a cadavic study. Proc. SPIE 7964, 79641E, DOI:10.1117/12.878786

- Balachandran, R.; Schurzig, D.; Fitzpatrick, J.M.; Labadie, R.F.: Evaluation of portable CT scanners for otologic image-guided surgery. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, Vol.7(2), 315-321,DOI: 10.1007/s11548-011-0639-4

- Han, X.; Neubauer, M.; Wallaschek, J.: A Review: The control strategies of synchronized switching damping technique, IEEE Int. Conference on Mechatronics and Automation, Peking,doi 10. 1109/ICMA.2011. 5986372, pp.1657-1663, 2011.

- Hohl, A.; Kriegesmann, B.; Wallaschek, J.; Panning, L.: The Influence of Blade Properties on the Forced Response of Mistuned Bladed Disks. ASME paper GT2011-46826, Int. Gas Turbine & Aeroeng. Congress and Exh., Voncouver, 2011, S. 1-12.

- Krack, M.; Secanell, M.; Mertiny, P.: Advanced Optimization Strategies for Cost-Sensitive Design of Energy Storage Flywheel Rotors. Journal of Advanced Materials 43 (2011), Nr. 2, S. 65-78

- Laborenz, J.; Krack, M.; Panning, L.; Wallaschek, J.; Denk, M.: Masserey, P.-A.: Eddy Current Damper for Turbine Blading: Electromagnetic Finite Element Analysis and Measurement Results. ASME paper GT 2011-45242, Int. Gas Turbine & Aeroeng. Congress and Exh., Vancouver, 2011, S. 12.

- Mojrzisch, S.; Wallaschek, J.: Amplitude Modulation of Nonlinear Piezoelectric Transducers for Ultrasonic Levitation. In:ASME Conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems, doi:10.1115/SMASIS2011-5111, 2011

- Neubauer, M.; Han, X.; Schwarzendahl, S. M.: Enhanced switching law for synchronized switch damping on inductor with bimodal excitation - In: Journal of Sound and Vibration, Vol. 330, Number 2, pp. 2707-2720, 2011.

- Neubauer, M.; Han, X.: On the maximum damping performance of piezoelectric switching techniques, Conference on Smart Materials, ASME Conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems (SMASIS), Scottsdale, 2011.

- Neubauer, M.; Schwarzendahl, S. M.; Wallaschek, J.: Determination of the piezoelectric coupling coefficient for arbitrary deformation, Int. Conference Mechatronic Systems and Materials (MSM), Kaunas, 2011.

- Neubauer, M.; Wallaschek, J.: Optimized geometry of bimorphs for piezoelectric shunt damping and energy harvesting, Int. Conference of Engineering Against Fracture (ICEAF), Mykonos, 2011.

- Neubauer, M.; Wallaschek, J.: Vibration damping with shunted piezoceramics: Fundamentals and technical applications - In: Mechanical Systems and Signal Processing (MSSP), 2011, (online version) in press.

- Neubauer, M.; Westermann, H.; Wallaschek, J.: Modeling the dynamic behavior of a piezomagnetoelastic energy harvesting system, European Nonlinear Dynamics Conference (ENOC), Rom, 2011.

- Ripka, S.; Zimmermann, M.; Wallaschek, J.: Modeling tire tread block dynamics using a Timoshenko beam Presentation held at the ASME IMECE (11.-17.11.2011), Denver, Colorado, USA.

- Rudat, J.; Dashevskiy, D.; Pohle, L.: Model-Based Stability Analysis of Torsional Drillstring Oscillations. In: 2011 IEEE International Conference on Control Applications (CCA) Part of 2011 IEEE Multi-Conference on Systems and Control, Denver, CO, USA. September 28-30, 2011.

- Schiedeck, F.; Mojrzisch, S.:Frequency-domain control design for shape memory alloy actuators. In: Sensors and Actuators A: Physical doi:10.1016/j.sna.2011.04.006, 2011

- Schiedeck, F.; Mojrzisch, S.:Design of a robust control strategy for the heating power of shape memory alloy actuators at full contraction based on electric resistance feedback. In: Smart Materials and Structures doi: 10.1088/0964-1726/20/4/045002, 2011

- Tatzko, S.: Unilateral Impact and Contact of Elastic Structures Using Lagrangian Multipliers. Proceedings of the ASME 2011 International Mechanical Engineering Congress & Exposition IMECE2011 (11.-17.11.2011, Denver, Colorado, USA (IMECE2011-63790).

2010

- Hermann, A.; Grönefeld, P., Wangenheim, M.: Variation of counter surface parameters and their tribological input on pneumatic actuators, In: ISC, Internationale Dichtungstagung, 16. Frankfurt am Main : VDMA Fluidtechnik, S. 209-220, 2010.

- Hermann, A.; Wangenheim, M.; Grönefeld, P.: Tribological Impact of Surface Modifications to Frictional Counterparts in Contact with TPU Compounds. In: Proceedings of the 7th International Fluid Power Conference Aachen, S. 287-300, 2010.

- Herzog, A.; Panning, L.: Nonlinear Vibrations with Friction: A Multiharmonic Approach. PAMM, 10: 245-246. doi: 10.1002/pamm.201010115

- Hohl, A.; Neubauer, M.; Wallaschek, J.: Damping of cyclic bladed disks utilizing a piezoelectric switching technique, 10th Int. Conference on Motion and Vibration Control (MOVIC), Tokyo, Japan, 2010.

- Hohl, A.; Panning, L.; Wallaschek, J.: Analysis of the Influence of Blade Pattern Characteristics on the Forced Response of Mistuned Blisks with a Cyclic CMS-based Substructure Model. Paper ESDA2010-25294, Proceedings of ASME 2010 10th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis ESDA 2010, S. 1-12, Istanbul, Turkey, July 12-14, 2010.

- Hussong, A.; Schiedeck, F.; Mojrzisch, S.; Ortmaier, T.; Wallaschek, J.: Development of a shape memory alloy based grasping mechanism for an automated insertion tool for cochlear implants. Proc. 12th Int. Conf. on New Actuators, pages 889-891, 2010.

- Krack, M.; Secanell, M.; Mertiny, P.: Advanced Optimization Strategies for Cost-Sensitive Design of Energy Storage Flywheel Rotors. In: Proceedings of the Society for the Advancement of Materials and Process Engineering, Seattle, 2010.

- Krack, M.; Secanell, M.; Mertiny, P.: Cost optimization of a Hybrid Composite Flywheel Rotor with a Split-Type Hub using combined analytical/numerical Models. In: Structural and Multidisciplinary Optimization, S. 1-17, 2010.

- Krack, M.; Secanell, M.; Mertiny, P.: Cost Optimization of Hybrid Composite Flywheel Rotors for Energy Storage. In: Structural and Multidisciplinary Optimization, 41(5), S. 779-796, 2010.

- Neubauer, M.; Krack, M.; Wallaschek, J.: Parametric Studies on the Harvested Energy of Piezoelectric Switching Techniques, Journal Smart Materials and Structures, Vol. 19, Number 2, 2010.

- Neubauer, M.; Renner, A.: Model-Based Piezoelectric Self-Sensing Technique, 10th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis (ESDA), Istanbul, Turkey, 2010.

- Neubauer, M.; Renner, A.; Twiefel, J.: Stability Analysis of a Disc Brake with Piezoelectric Self-Sensing Technique, SAE International Journal of Passenger Cars - Mechanical Systems, ISSN 1946-3995, ISBN 1946-4002, Vol. 2, No. 2, pp. 24-31, March, 2010.

- Neubauer, M.; Schwarzendahl, S.; Brökelmann, M.; Hesse, H. -J.; Wallaschek, J.: Active and semi-active vibration control of ultrasonic bonding transducers, IMAPS and SEMI Workshop on Wire Bonding, San Francisco, USA, 2010.
- Neubauer, M.; Wallaschek, J.: Efficient Modeling of the Damping Performance of Piezoelectric Switching Techniques using Harmonic Balance Method, 10th Int. Conference on Motion and Vibration Control (MOVIC), Tokyo, Japan, 2010.
- Neubauer, M.; Wallaschek, J.: Vibration Damping with Shunted Piezoceramics: Fundamendals and Technical Applications, 6th Int. Conference Mechatronic Systems and Materials (MSM), Opole, Poland, 2010.
- Schiedeck, F.; Mojrzisch, S.; Wallaschek, J.: Prestressing piezoelectric actuators by using superelastic shape memory alloys. J. Korean Phys. Soc., 57(4):889-891, 2010.
- Schwarzendahl, S.; Han, X.; Neubauer, M.; Wallaschek, J.: Optimizing switching algorithm of synchronized switch damping for multimodal excitation, SPIE Conference Smart structures and materials, San Diego, 2010.
- Uribe, D.O.; Hao Zhu; Wallaschek, J.: Automated measurement system for mechanical characterization of soft tissues and phantoms, Electronic Devices, Systems and Applications (ICEDSA), 2010 International Conference, doi: 10.1109/ICEDSA.2010.5503068, pp. 227-231, 11-14 April, 2010.

2.1.2 Studentische Arbeiten

Diplom-, Master- und Bachelorarbeiten

- Ben-Sail, Islem
  Herleitung eines reifenspezifischen Materialmodells zur Beschreibung der thermomechanischen Veränderung von Textilcorden und ihren Einfluss auf den Rollwiderstand

- Böttcher, Jonas
  Auslegung und Untersuchung von gestuften Kreisplatten zur Fokussierung von Ultraschall

- Bremer, Jan
  Entwurf und Analyse eines Prüfverfahrens zur Unwuchtbestimmung unter Verwendung der Korrelationsmesstechnik

- Bruns, Peter
  Autoresonante Regelung eines elektromagnetischen Linearaktors zum Betrieb umformender Werkzeuge

- Bunzel, Robert
  Analyse experimentell basierter Methoden zur Bestimmung der Körperschallübertragung in Fahrzeugstrukturen

- Erbts, Patrick
  Modellierung und Analyse zweier neuer Dämpfungssysteme für Turbinenschaufeln

- Ge, Yi
  Untersuchung von beschalteten Piezowandlern zur Schallisolation

- Gorelik, Ilja
  Methodenentwicklung zur gewichtsoptimierten Auslegung eines Goniophotometers zur Vermessung von Kfz-Scheinwerfern

- Günter, Alexander
  Experimentelle und numerische Untersuchung zur Beeinflussung des Abstrahlverhaltens von US-Abstandssensoren für den Einsatz im PKW

- Haase, Jürgen
  Untersuchung der dynamischen Kontaktfläche von Reifenprofilklötzen beim Gleiten auf Eis

- Hartmann, Werner
  Messung der Kontaktfläche eines gleitenden, lamellierten Reifenprofilklotzes und Untersuchung der Einflüsse auf die Eisreibung

- Heinemann, Christoph
  Untersuchung der Reifen- und Reifenprofilblockmechanik bei fahrdynamischen Versuchen zur Schneeseitenführung

- Herlitzius, Jan
  Impedanzanalysen an pneumatischen Dichtkontakten zur Bestimmung der Schmierfilmdicke

- Hummel, Eugen
  Entwicklung einer Methode zur Bestimmung der Kontaktsteifigkeiten für Kontaktanalysen mit DATES

- Jürgens, Christian
  Erhöhung der Fußgängersicherheit in urbanen Gebieten durch die Entwicklung einer innovativen Funktion des adaptiven Frontbeleuchtungssystems

- Kleingrothe, Lukas
  Beobachtung und Analyse der dynamischen Kontaktfläche von Reifenprofilklötzen beim Gleiten auf Eis

- Kniffka, Till
  Evaluation von Aktortechnologien für ein variabel konfigurierbares Display und Entwurf eines Tasterfeldes mit haptischer Rückkopplung

- Kolbe, Nicolas
  Untersuchung zum Einfluss der Kennwerte der Materialanteilkurve auf die Reibung von Gummibauteilen

- Krack, Malte
  Finite Element Modellierung eines Wirbelstromdämpfungselementes zur Reduktion von Turbinenschaufelschwingungen

- Kühbach, Nico
  Simulation des Bewegungsverhaltens eines Pipeline-Molches

- Li, Haoyu
  Implementierung und Aufbau einer digitalen PLL auf einem Mikrocontroller

- Lind, Hagen
  Entwicklung und Validierung eines numerischen Modells zur Analyse der Reibverhältnisse eines gleitenden Reifenprofilklotzes auf Eis

- Linke, Tim
  Validierung und Optimierung von Spikebettungen mit Hilfe einer auf der Finite-Elemente-Methode basierenden Simulation

- Ngako Nako, Guy Olivier
  Implementierung eines Phasenregelkreises auf einem FPGA in Verbindung mit einem dSpace-System

- Oueslati, Hatem
  Untersuchung der Wechselwirkung zwischen PDC-Schneiden und Gestein als Ursache von Torsionsschwingungen in Bohrsträngen

- Permyakov, Mikhail
  Analyse der Entwicklung von piezoelektrischen Schwingungsantrieben in der ehemaligen UdSSR und Aufbau von Funktionsmustern

- Pohle, Linus
  Modellgestützte Analyse der Stabilität von Tiefbohrprozessen zur Vermeidung unerwünschter Schwingungen des Bohrstrangs

- Ridwan, Maan
  Implementierung einer ABS-Bremseinheit an einem Flat-Track-Reifenprüfstand

- Riedel, Christoph
  Transiente Dynamik eines Ein-Massen-Schwingers unter Berücksichtigung von Kontaktstößen

- Saalbach, Kai-Alexander
  Mehrgrößenregelung eines rotatorischen Ultraschallluftlagers

- Stöppelkamp, Carsten
  Untersuchung der Anwendbarkeit einer inversen energiebasierten Randelementmethode (EBEM) zur Lokalisation von Schallquellen im Fahrzeuginnenraum

- Westermann, Henrik
  Theoretische und experimentelle Untersuchung eines piezomagnetoelastischen Energy Harvesting Systems

- Wielert, Tim
  Kamerabasierte Interpretation des aktuellen Straßenverkehrsaufkommens sowie Entwicklung Situationsabhängiger Aufblendstrategien für adaptive Kraftfahrzeugfernlichtsysteme

- Wolf, Steffen
  Entwicklung und Aufbau eines nichtresonanten piezoelektrischen Energy Harvesting Demonstratorsystems

- Wosnitza, Tobias
  Entwicklung von Algorithmen zur Rekonstruktion von Fahrzeug-Fahrzeug-Unfällen aus GIDAS-Unfalldaten zur Darstellung von ausgewählten Unfalltypen mit der Simulationssoftware PC-Crash

- Xia, Xinrui
  Untersuchungen der Dynamik eines mehrdimensionalen Scheibenwischermodells

- Yang, Ying
  Der Einfluss der realen Kontaktfläche auf das Reibverhalten von Gummi auf einer rauhen Oberfläche

- Zimmermann, Martin
  Balkentheorien zur Modellierung eines lamellierten Reifenprofilklotzes -Bewertung und Simulation-

Projekt- und Studienarbeiten

- Albrecht, Alexander
  Literaturrecherche zum Stand der Technik von Scheibenwischerdynamik in Messung und Simulation

- Albrecht, Alexander
  Erweiterung eines Modells für die Simulation von Lateralschwingungen von Bohrsträngen zur Untersuchung des Einflusses der Stabilisatoren

- Alnasary, Tayef
  Untersuchung zum Reglerentwurf für resonant betriebene Ultraschallsysteme

- Bader, Norbert
  Entwicklung und Konstruktion eines Prüfstands zur Veranschaulichung von Ratterschwingungen

- Bao, Xianwen
  Modellierung von Tiefbohrsträngen zur Untersuchung von Torsionsschwingungen

- Beermann, Rüdiger
  Untersuchung der Realisierbarkeit einer kaskadierten PLL-Regelung zur Drehzahlstabilisierung eines Rotationsprüfstandes

- Bliese, Björn
  Energy Harvesting: Untersuchung zur Breitbandigkeit kammförmiger Piezogeneratoren

- Bremer, Jan
  Entwicklung einer neuartigen Vorspannmethode für Piezoelemente mit dünnen Kunststofffasern oder Drähten

- Bremer, Jan
  Bestimmung des Frequenzganges eines fremd- und selbsterregten Duffing-Schwingers

- Cramer, Christian
  Berechnung von Radschräglaufwinkeln aus Messdaten verschiedener Schwimmwinkelsensoren bei Wintertestfahrten zur Darstellung dynamischer Seitenkraft-Schräglaufwinkel-Kennlinien auf Schnee
- Dierker, Christian
  Aufbau einer Messeinrichtung zur Positions-und Kraftmessung an einem Versuchsstand zur Analyse von Bohrstrangschwingungen
- Dinkel, Steven
  Vergleich verschiedener Verfahren zur Charakterisierung von Piezokeramiken und Entwicklung eines Messprüfstandes
- Fedorov, Nikolaus
  Vergleich unterschiedlicher Kontaktmodelle zur Simulation von Stößen mit Reibung
- Feldhaus, Michael
  Entwicklung eines Schwerpunktfinders für unbemannte Flugzeuge
- Feldhaus, Michael
  Untersuchung verschiedener Einflussparameter auf die Reibmechanismen von bespiketen Gummiproben auf Eis
- Feldt, Thomas
  Planung kürzester Pfade mit Hindernissen für unbemannte Flugzeuge
- Feune Todem, Edmond
  Steuerung eines Wickelprozesses dünner Drähte
- Fiebig, Nils
  Ultraschallschweißung dünner Drähte für die Herstellung von Piezoaktoren
- Förderer, Valentin
  Modellierung und Simulation von Schwingungen in Tiefbohrsträngen
- Gahre, Christoph
  Erstellung und Berechnung eines Konzepts zur Einleitung von Axialkräften in den Bohrstrangdynamik-Versuchsstand
- Ge, Yi
  Modellierung und Optimierung der Energieernte mit Piezoelementen in der seriellen Schaltung
- Gläfke, Christiane
  Modellierung eines Piezoaktoren-Implantats zur Behandlung von Innenohrschwerhörigkeit
- Gorelik, Ilja
  Development and Design of a Winding Device for the Positioning of Thin Wires
- Grugel, Martin
  Entwicklung eines Demonstrators für die Vorlesung Maschinendynamik
- Hansen, Ingwer
  Experimentelle Untersuchung des Temperaturverhaltens von Seltenerd-Permanentmagneten
- Heinemann, Christoph
  Entwicklung einer Auswerteprozedur von Linearprüfstandstests zur Vorhersage von Reifenergebnissen auf Eis und Schnee
- Hummel, Eugen
  Erstellung einer Schnittstelle zwischen Calculix und DATES

- Ille, Igor
  Implementierung einer digitalen Phasenregelung und Reglerentwurf für Ultraschalltransducer

- Ille, Igor
  Echtzeitparameteridentifikation und Vermeidung des Sprungphänomens an einem nichtlinearen Ultraschallschwinger

- Kahlert, Steffen
  Transiente reibungsbehaftete Resonanzdurchfahrt

- Köneke, Jörn
  Identifikation von Parametern eines Modells für die Simulation von Lateralschwingungen eines Bohrstrangs

- Krieger, Sebastian
  Untersuchung der Eigenschaften von im Labor hergestelltem Schnee

- Kühbach, Nico
  Simulation eines lamellierten Reifenprofilblocks mit dem Ansatz der Timoshenko Balkentheorie

- Kühbach, Nico
  Simulation eines lamellierten Reifenprofilblocks -Modellierung der Belastungen auf den Profilblock-

- Le Blanc, Philipp
  Literaturrecherche zur Evaluation der Charakterisierungsmöglichkeiten der Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen

- Le Blanc, Philipp
  Identifikation des Deformationsverhaltens von elastischen Körpern infolge lokalen Kontaktes

- Lind, Hagen
  Experimentelle Untersuchung von Mechanismen und Einflussgrößen der Reibung von Reifenprofilklötzen auf Schnee und Eis

- Linke, Tim
  Weiterentwicklung und Validierung eines Fitalgorithmus zur Wiedergabe der Materialeigenschaften von Elastomeren in der FEM

- Linke, Tim
  Untersuchung zur Reibung von Profilklötzen auf trockner und nasser Fahrbahn

- Meyer, Björn
  Untersuchung des Einflusses der Luftfeuchtigkeit auf die Gummi-Eis-Reibung in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur

- Niemeier, Henning
  Literaturrecherche zur Evaluation der Charakterisierungsmöglichkeiten der Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen

- Oueslati, Hatem
  Validierung und Optimierung der Konstruktion eines Versuchsstands zur Analyse von Bohrstrangschwingungen

- Petersen, Sebastian
  Messung der Wellengeschwindigkeit in festen Proben

- Pham, Duy Doc
  Modellierung und Regelung von elektrodynamischen Tauchspulenantrieben

- Pohl, Juliane
  Konzeption und Auslegung eines Torsionsmoduls für einen Versuchsstand zur Analyse von Bohrstrangschwingungen
- Rcepkowski, Maciek
  Implementierung einer dSpace Microautobox in die autonome Messplattform ”Reibmobil”
- Roth, Joscha
  Kinematische Analyse des Fahrwerks des Formula Student Rennwagen RP09, iterative Optimierung der kinematischen Parameter für den Prototypen RP2010 und abschließender Vergleich der Dynamik beider Fahrwerke
- Roth, Joscha
  Modulare Modellierung kombinierter Stick-Slip und Sprag-Slip Schwingungen in Scheibenwischerlippen mit Hilfe von MATLAB/Simulink
- Saalbach, Kai-Alexander
  Aufbau und Regelung eines aktiven Ultraschall-Levitationslagers
- Sauthoff, Bastian
  Schwingungsisolation mit Piezoaktoren
- Seydel, Michael K.-G.
  Entwurf und Gestaltung eines Versuchsstandes zur Analyse von Bohrstrangschwingungen bei Tiefbohrungen
- Stöppelkamp, Carsten
  Untersuchung des Einflusses des Herstellungsverfahrens einer Eisfahrbahn auf die Reibeigenschaften der Eisoberfläche
- Willeke, Benjamin
  Konstruktion einer LED-basierten , adaptiven Abblendlichtverteilung
- Willeke, Sebastian
  Resonanzdurchfahrten diskreter Schwingungssysteme
- Xia, Xinrui
  Multiskalenanalyse der Hysteresereibung mittels MATLAB/Simulink

Laborarbeiten

- Albrecht, Alexander
  Experimentelle Untersuchung von Einflussparametern auf die Reibung von Reifenprofilklötzen auf Eis
- Dierker, Christian
  Schwingungsmessung an einer Deckbandschaufel bei gleichförmiger Kontaktpressung
- Le Blanc, Philipp
  Untersuchung des Einflusses der Probengeometrie auf die Reibung zwischen Gummi und Asphalt
- Xia, Xinrui
  Untersuchung des Reibverhaltens von Reifengummis mittels Tribometer

2.1.3 Abgeschlossene Dissertationen

- **Matthias Wangenheim (23.05.2012)**
  “Untersuchungen zur Mischreibung in technischen Reibkontakten”
  Seit den Anfängen des Maschinenbaus werden Dichtungen eingesetzt, um ungewollte Stoffübergänge zwischen zwei Räumen zu verhindern. Als Materialien kommen hierfür heute vor allem Elastomere und ähnlichen Werkstoffen zum Einsatz, insbesondere wegen ihrer Elastizität und vergleichsweise guter Chemikalien- und Alterungsbeständigkeit. Nicht zuletzt sind Dichtungen als Massenprodukt sehr preiswert herstellbar. Bei der Auslegung von Dichtungen in Bezug auf Form, Größe, Material und auch der Eigenschaften der Kontaktfläche der metallischen Kontaktpartner ist man bisher auf Prototypentests angewiesen, verbunden mit einem entsprechendem Kosten- und Zeitaufwand. Der Hauptgrund für diese Vorgehensweise ist das unvollständige Wissen über die physikalischen Mechanismen, die den Reibkontakt zwischen Dichtung und Gegenlauffläche bestimmen und für Effekte wie Reibung und Verschleiß verantwortlich sind.

  Mit dieser Arbeit werden validierte Modellvorstellungen zu Mechanismen der Reibung in Dichtkontakten geschaffen, die bei der vergleichsweise kostengünstigen modell- und simulationsgestützten Entwicklung von Dichtsystemen genutzt werden können. Dazu werden zunächst aus der Literatur bekannte Reibmechanismen von Elastomerbauteilen auf rauen Oberflächen und an Dichtungen anhand von Experimenten bezüglich ihrer Relevanz für den trockenen und geschmierten pneumatischen Dichtkontakt bewertet. Dies ist bisher für diese Art von Reibkontakten allenfalls unvollständig erfolgt. Die als bedeutend eingestuften Effekte werden sowohl experimentell als auch in Form verschiedener Modellierungsansätze und Simulationen vertieft untersucht und ihre Einflussgrößen herausgearbeitet. Dabei wird die Hysteresereibung an trockenen und geschmierten Dichtkontakten erstmals in einem längenskalenübergreifenden Bereich der Oberflächenrauheit eingehend studiert. Es finden insbesondere die reale Kontaktfläche, Temperatur und die Rolle des Schmiermittels Beachtung. Im Bereich der Flüssigkeitsreibung ist besonders der Effekt der Grenzschichtreibung herauszustellen, der an Kontakten mit Gummibauteilen bislang wenig beschrieben ist. In diesem Zusammenhang erfolgt der experimentelle Nachweis dieses Phänomens mit der Messung der Schichtdicke mit einem für diese Anwendung neuen Verfahren der Kapazitätsmessung im Dichtspalt. Für die zukünftige Entwicklung von optimalen Dichtkontakten mit Reibung werden Ergebnisse zusammengestellt, die gerade für die aktuell in Wissenschaft und Industrie fokussierte optimale Abstimmung von Oberflächenbeschaffenheit und Materialeigenschaften des Elastomers von großer Bedeutung sind.

- **Karsten Meissner (17.10.2011)**
  “Reduzierung der Belastung der Chips beim Ultraschall-Flip-Chip-Bonden durch zweiachsige Anregung”
  Das Ultraschall-Flipchip-Bonden wird zur Kontaktierung von Chips mit kleinen Abmessungen und geringen Anschlusszahlen in der Elektronikfertigung seit vielen Jahren genutzt. Bei diesem Verfahren werden die Anschlusselemente des Chips mit einem hochfrequenten Reibschweißverfahren mit den Anschlussstellen auf einem Träger verbunden. Es ist bis heute nicht gelungen, dieses Fertigungsverfahren auf Chips mit großen Anschlusszahlen und einer großen Chipfläche zu übertragen, da die zur Verbindungsbildung einzuleitende Ultraschallenergie Beschädigungen am Chip hervorruft. In dieser Arbeit wird ein Ansatz erarbeitet, mit dem es möglich ist, die Belastungen auf den Chip beim Ultrschall-Flipchip-Bonden zu verringern. Hierzu wird neben analytischen Betrachtungen des Bondprozesses auch ein Ersatzmodell zur Simulation der Vorgänge beim eindimensionalen Bonden genutzt. Mit Hilfe des Ersatzmodells werden die Vorgänge beim Bonden analysiert. Die grundlegende Idee zur Reduzierung der Belastung ist den Chip beim Reibschweißvorgang auf einer ebenen zweidimensionalen Trajektorie zu bewegen anstatt auf einer linearen eindimensionalen Bahn. Nach einer analytischen Betrachtung der Vorgänge beim zweidimensionalen Ultraschall-Flipchip-Bonden wird für die zweidimensionale Anregung ein Ersatzmodell der Last entwickelt. Die mit Hilfe des Modells abgeleiteten Ergebnisse einer Reduktion der Belastung durch die Einführung der zweidimensionalen Anregung, werden durch experimentelle Untersuchung mit einem zweidimensionalen Ultraschallwerkzeug bestätigt.

- **Maik Mracek (29.11.2010)**
  “Untersuchung des dynamischen Verhaltens gekoppelter piezoelektrischer Ultraschallmotoren mit Stoßkontakt”
  Hauptursache für die eingeschränkten Einsatzgebiete von piezoelektrischen Linearmotoren ist ihr begrenztes Leistungsvermögen. Die Arbeit beschreibt einen Ansatz, durch Bündelung einzelner Motoren einen starken Gesamtantrieb zu entwickeln. Das Betriebsverhalten von piezoelektrischen Ultraschallsystemen wird sehr stark von äußeren Einflüssen und von Parameterstreuungen der Systemkomponenten bestimmt. Im Idealfall sollte sich die Vorschubkraft der einzelnen Motoren zur Vorschubkraft des gesamten Antriebs addieren und die Leerlaufgeschwindigkeit der einzelnen Motoren gleich der des Gesamtantriebs sein. Aber auf Grund unvermeidlicher Parameterstreuungen und infolge von schwer modellierbaren Wechselwirkungen ist die Vorhersage der Gesamteigenschaften komplizierter und benötigt daher eine genauere Modellbildung. Nach einer Einführung werden die Grundlagen, chronologische Entwicklung des Forschungsgebiets, Funktionsprinzipien und Leistungsgrenzen zu piezoelektrischen Ultraschallantrieben erläutert. Mathematische Ersatzmodelle zur Beschreibung der Kontaktvorgänge werden vorgestellt und nach Komplexität geordnet.Daran schließt sich die Entwicklung eines allgemeinen Kontaktmodells für Mikrostoßantriebe an. Mit diesem Modell wird sowohl ein Einzelantrieb als auch mehrere, gekoppelte Antriebe modelliert und das Systemverhalten beschrieben.Im nächsten Schritt werden verschiedene Ansteuerstrategien entwickelt und mit Hilfe des Modells analysiert. Zur experimentellen Untersuchung der Kopplung von einzelnen Motoren wurde ein Prüfstand aufgebaut, dergenaue Messungen im Leistungsbereich der verwendeten Motoren ermöglicht. Eine Gegenüberstellung der experimentellen Ergebnisse zu den Simulationsergebnissen rundet diesen Teil ab. Die Arbeit schließt mit einer Bewertung der Ergebnisse und einem Ausblick auf zukünftige Forschungsfelder.

- **Rafal Król (29.11.2010)**
  “Eine Reduktionsmethode zur Ableitung elektromechanischer Ersatzmodelle für piezoelektrische Wandler unter Verwendung der Finite-Elemente-Methode (FEM)”
  Die detaillierten FE-Modelle können aufgrund ihrer hohen Anforderungen an die Rechenleistung bei vielen Anwendungen, wie z.B. bei der Regelung oder Online-Überwachung, nicht eingesetzt werden. Daher wird in der vorliegenden Arbeit die systematische Reduktion komplexer Finite Elemente Modelle auf einfache Ersatzmodelle mit weniger Freiheitsgraden beschrieben. Dabei besteht das Ziel darin, die Reduktion so vorzunehmen, dass die zur Eingangs-/Ausgangsbeschreibung erforderlichen Charakteristika des Systems innerhalb eines vorwählbaren Frequenzbereichs mit hinreichender Genauigkeit approximiert werden. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Modellierung von mechatronischen Systemen, bei denen piezoelektrische Komponenten im Mittelpunkt stehen.Nach einer Einführung werden die Grundlagen des piezoelektrischen Effektes, die mathematische Beschreibung mit den konstitutiven Gleichungen und wichtige 1 Dimensionale Modelle zur Beschreibung des Verhaltens piezoelektrischer Komponente dargestellt. Dazu werden äquivalente elektromechanische Ersatzmodelle sowie die messtechnische Parameteridentifikation beschrieben. Im nächsten Schritt wird FE-Formulierung für piezoelektrische Materialien hergeleitet und kurz die wichtigsten Analysenarten der FEM vorgestellt. Basierend auf der modalen Superpositionsmethode wird eine neue Beschreibungsform des Systemsverhaltens abgeleitet. Darauf aufbauend wird das einfache Ersatzmodell des piezoelektrischen Systems aufgestellt. Außerdem wird die vorgestellte Methodik zur Beschreibung des dynamischen Verhaltens eines piezoelektrischen Ultraschall-Transducers verwendet.

- **Jens Twiefel (10.11.2010)**
  "Experimentelle und modellbasierte Untersuchung von Stehwellenantrieben"
  Stehwellenantriebe werden seit einigen Jahren als Alternative zu elektromagnetischen Antrieben untersucht. Dabei eignen sie sich vor allem für Stellaufgaben im kleinen und mittleren Leistungsbereich. Obwohl diese Antriebe schon seit Jahren untersucht und auch eingesetzt werden, sind noch einige grundlegende Fragen zum Antriebsprinzip ungeklärt. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Beantwortung dieser Fragen für piezoelektrische Stehwellenmotoren. Zu diesem Zweck wird in experimentellen Untersuchungen die Bewegungsbahn des Stößels während des Antriebsvorgangs ermittelt. Neben den experimentellen Untersuchungen liegt der Schwerpunkt dieser Arbeit in der modellbasierten Beschreibung von Stehwellenmotoren, wobei die Modellierung in drei Abstraktionsstufen durchgeführt wird. Zunächst wird mit einem Minimalmodell das reibungsbasierte Antriebsprinzip untersucht. Im zweiten Bereich wird die Rückwirkung des Kontaktvorgangs auf die Struktur-schwingung des Ultraschallschwingers untersucht. Abschließend wird ein elektromechanisches Gesamtmodell des Antriebs erstellt, welches sowohl die Strukturschwingungen als auch den Antriebsprozess mit abbildet.

- **Sabine Raphael (15.10.2010)**
  "Characterization of Mesopic Vision for Luminance Photometry"
  Für sicherheitsrelevante Beleuchtungssysteme wie Automobilscheinwerfer, Straßen- und Notfallbeleuchtung ist eine wahrnehmungsangepasste Bewertung der Lichtverteilung im mesopischen Helligkeitsbereich (Dämmerungsbereich) von großer Bedeutung. Hierdurch ergibt sich die Notwendigkeit die Wahrnehmung im Dämmerungsbereich auf Basis der Leuchtdichte zu charakterisieren und ein photometrisches Modell zu entwickeln. Um den relativen Einfluss der Zapfen und Stäbchen zu untersuchen, wurden in der vorliegenden Arbeit mehrere experimentelle Methoden zur Bestimmung der Leuchtdichte im mesopischen Bereich angewandt: Minimale Wahrnehmung der Grenze ("'minimally distinct border"'), Minimale Bewegung ("'minimum motion"'), Schwellenkontrast zur Erkennung der Rotationsrichtung ("'motion discrimination threshold"'), Schwellenkontrast für die Wahrnehmung peripherer Objekte und gegenphasig schwingender Stimuli. Während die Methoden der Minimalen Wahrnehmung der Grenze und der Minimalen Bewegung den achromatischen Kanal ansprechen, basieren Schwellenkontraste sowohl auf achromatischen als auch auf chromatischen Informationen. Der Schwerpunkt der durchgeführten Studien liegt auf der peripheren Wahrnehmung unter photopischen, mesopischen und skotopischen Adaptationsbedingungen. Die Ergebnisse zeigen, dass sich der Einfluss der Zapfen mit abnehmender Adaptationsleuchtdichte gemäß einer Sigmoid-Funktion verringert. Allerdings basiert die foveale Wahrnehmung auch im mesopischen Bereich ausschließlich auf den Zapfenrezeptoren, wohingegen die Wahrnehmung in der Peripherie auch bei einem hohen mesopischen Leuchtdichteniveau von den Stäbchen dominiert wird. Zudem verschiebt sich die relative Gewichtung der Rezeptorbeiträge zugunsten der Zapfen mit ansteigendem S/P-Verhältnis des Adaptationsfeldes und der Objektgröße (Raumfrequenz).

- **Björn Richter (06.09.2010)**
  "Modellbasierter Entwurf resonant betriebener, piezoelektrischer Biegeschwinger in Energy Harvesting Generatoren"
  Fortschritte in Elektronik und Mikrosystemtechik zeigen einen Trend zu miniaturisierten, energiearmen Systemen, die kabellos zu betreiben sind. Energy Harvesting Methoden stellen ein Prinzip zur Energieversorgung dar. Hierbei wird der elektrische Strom aus der zumeist regenerativen Umgebungsenergie gewandelt. Werden mechanische Schwingungen als Energiequelle betrachtet, so bieten sich als Lösungselement piezoelektrische Biegeschwinger an. Diese sind jedoch auf die jeweilige Umgebung genau auszulegen. In der Arbeit wird eine Systematik vorgestellt, mit deren Hilfe piezoelektrische Schwingungswandler modellbasiert entwickelt werden können.
  Grundlage der Systematik bildet ein durch Messungen validierter Entwurf unter Nutzung eines modalen Basismodells. Damit höhere Erregungsamplituden und Dehnungen abgebildet werden können,

wird das nichtlineare Verhalten der Wandler betrachtet und in das Modell eingebettet. Eine zusätzliche Erweiterung ermöglicht die Untersuchung der Rückwirkung des Generators auf die Umgebung. Durch Simulation und Analyse des Wandlersystems lassen sich Aussagen zu optimalen elektrischen Lasten und idealen Wandlergeometrien zur Realisierung eines bestmöglichen Leistungstransfers treffen. Dabei werden zudem weitere Zusammenhänge erörtert.
Die Systematik, angefangen von der Konzeption bis zur Systemintegration, wird an einem Beispiel verdeutlicht. Am Ende ergibt sich ein mit Massen abgestimmter Generator unter Verwendung parallel geschalteter Biegewandler.

- **Su Zhao (19.03.2010)**
  "Investigation of Non-contact Bearing Systems Based on Ultrasonic Levitation"
  Im Rahmen dieser Arbeit werden berührungslose Lagerungen mit akustischer Ultraschall-Levitation entwickelt und vorgestellt. Dabei werden sowohl Stehwellen-, als auch Squeezefilmlevitation theoretisch und experimentell untersucht. In dieser Arbeit wird ein neuer Aufbau vorgestellt, mit dem große ebene Objekte im Abstand einiger halber Wellenlängen levitiert werden können. Neben theoretischen Betrachtungen wird ein Prototyp aufgebaut, an dem bei einem Abstand einer halben Wellenlänge eine Levitationskraft von 1N gemessen werden kann. Damit kann erfolgreich eine CD levitiert werden. Zur Auslegung und Optimierung der Squeezefilmlevitation werden zwei analytische Modelle, die einerseits auf der Akustik und anderseits auf der Fluiddynamik beruhen, vorgestellt und verglichen. Das akustische und das numerisch ausgewertete fluiddynamische Modell werden anschließend mit Hilfe von Messungen validiert. Basierend auf den Simulationen wird ein neuartiges berührungsloses Lager für eine Welle mit einem Durchmesser von 50 mm entworfen.

- **Ralf Christel (12.01.2010)**
  "Aktive Schwingungsminderung an gekoppelten Zylindern in Rollenoffsetdruckmaschinen mittels piezokeramischer Aktoren an den Lagerstellen"
  Die Biegeschwingungen von Druckzylindern limitieren die zulässige Papierbahnbreite und damit die Produktivität der Anlage. Herkömmliche passive Verfahren zur Schwingungsminderung sind weitgehend ausgeschöpft bzw. ungeeignet. Aktive Verfahren besitzen aufgrund ihrer Leistungs- und Anpassungsfähigkeit das Potenzial, die Schwingungsamplituden von Druckzylindern zu reduzieren. Vor diesem Hintergrund wurde in dieser Arbeit die aktive Minderung von stoßartig angeregten Schwingungen in Rollenoffset-Druckmaschinen mittels Piezoaktoren an den Lagerstellen untersucht. Neben der Erarbeitung eines Strukturmodells, der im Rollkontakt gekoppelten Zylinder eines Druckwerks, lag der Fokus auch auf der Entwicklung eines Prototyps einer aktiven Lagereinheit mit integrierten Piezostapelaktoren. Am Berechnungsmodell wurde die Minderung der durch Kanalschlag angeregten Schwingungen für eine adaptive Störgrößenaufschaltung mit iterativ optimierter Stellspannungsamplitude und für eine Zustandsregelung mit Beobachter untersucht. Die Komponenten zur aktiven Minderung wurden modellbasiert ausgelegt. Zur messtechnischen Validierung der Modelle wurde ein schwingungskritisches Druckwerk im Maßstab 1:1 in einem Versuchsstand aufgebaut und der Funktionsnachweis der entwickelten aktiven Lagereinheit erbracht. Die hohe Amplitudenreduktion um über 50% aus den Simulationsrechnungen wurde durch die Messungen bestätigt. Zur Bewertung der Ergebnisse, vor dem Hintergrund erreichbarer Papierbahnbreitenerhöhung, kam ein vereinfachtes Prozessmodell zur Beschreibung der Qualitätsbeeinträchtigung des Druckproduktes infolge von Relativbewegungen der Druckzylinder zum Einsatz. Danach kann mit der erarbeiteten Lösung eine Erhöhung der Papierbahnbreite um ca. 30...50% gegenüber der passiven Struktur ohne Einbußen in der Druckqualität realisiert werden. Das erschließt auch einen Spielraum für neue Druckmaschinenkonzepte mit deutlich höherer Produktivität und Flexibilität in der Produktgestaltung.

- **Cord-Christian Neuber (12.01.2010)**
  “Aktive Schwingungsreduktion durch Magnetführungen”
  Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Reduktion von das Bearbeitungsergebnis beeinträchtigenden Schwingungen im Fräsbetrieb von Werkzeugmaschinen mit Hilfe des Einsatzes aktiver Magnetführungen. Bei den Untersuchungen zur aktiven Schwingungsreduktion werden sowohl Starrkörperschwingungen einer Maschinenachse, als auch die Schwingungen der elastischen Struktur betrachtet. Zur Reduktion von Starrkörperschwingungen wird ein Verfahren zur aktiven Schwingungskompensation auf eine Werkzeugmaschine mit magnetgeführter Achse, die sogenannte schnelle Maschine, übertragen. Durch die Untersuchung im Fräsbetrieb wird gezeigt, dass durch das aktive Verfahren eine deutliche Schwingungsreduktion sowie eine Erhöhung der Bearbeitungsqualität erreicht wird. Der Schwerpunkt der Arbeit liegt in der Dämpfung von Schwingungen der elastischen Struktur mit Hilfe robuster Regelungsansätze. Neben einer allgemeinen Einführung in das Verfahren wird auf die Modellierung der elastischen Strukturen eingegangen. Die Regler werden an der schnellen Maschine sowohl bei Aufschaltung synthetischer Störgrößen, als auch unter Störeinflüssen im Fräsbetrieb untersucht. Das Verhalten der robusten Regelung wird mit einer Schwingungsdämpfung durch Beschleunigungsrückführung verglichen. Anhand verschiedener Untersuchungen wird aufgezeigt, dass eine hohe Schwingungsdämpfung erreicht werden kann.

2.2 Veranstaltungen

Internationale Tagungen

- **9th International Workshop on Piezoelectric Materials and Applications**
  Hirosaki, Japan, 22.04.2012-25.04.2012
- **8th International Workshop on Piezoelectric Materials and Applications**
  Roanoke, Virginia, USA, 07.08.2011-11.08.2011
- **7th International Workshop on Piezoelectric Materials and Applications**
  Antalya, Türkei, 10.10.2010-13.10.2010

Nationale Tagungen

- **LED in der Lichttechnik**
  Haus der Technik, Essen, 02.03.2010-03.03.2010

Aus- und Weiterbildung

- **VDI-Seminar: Schwingungstechnik & Maschinendynamik, verstehen und anwenden**
  Düsseldorf, 18.06.2012-19.06.2012
  Hannover, 08.02.2012-09.02.2012
  Nürnberg, 20.09.2011-21.09.2011
  Frankfurt, 25.05.2011-26.05.2011
  Hannover, 08.02.2011-09.02.2011
  Stuttgart, 22.09.2010-23.09.2010
  Nürnberg, 10.06.2010-11.06.2010
- **Transferseminar, Haus der Technik: Piezo- und Ultraschalltechnik**
  Hannover, 26.09.2011-27.09.2011
  Hannover, 13.09.2010-14.09.2010

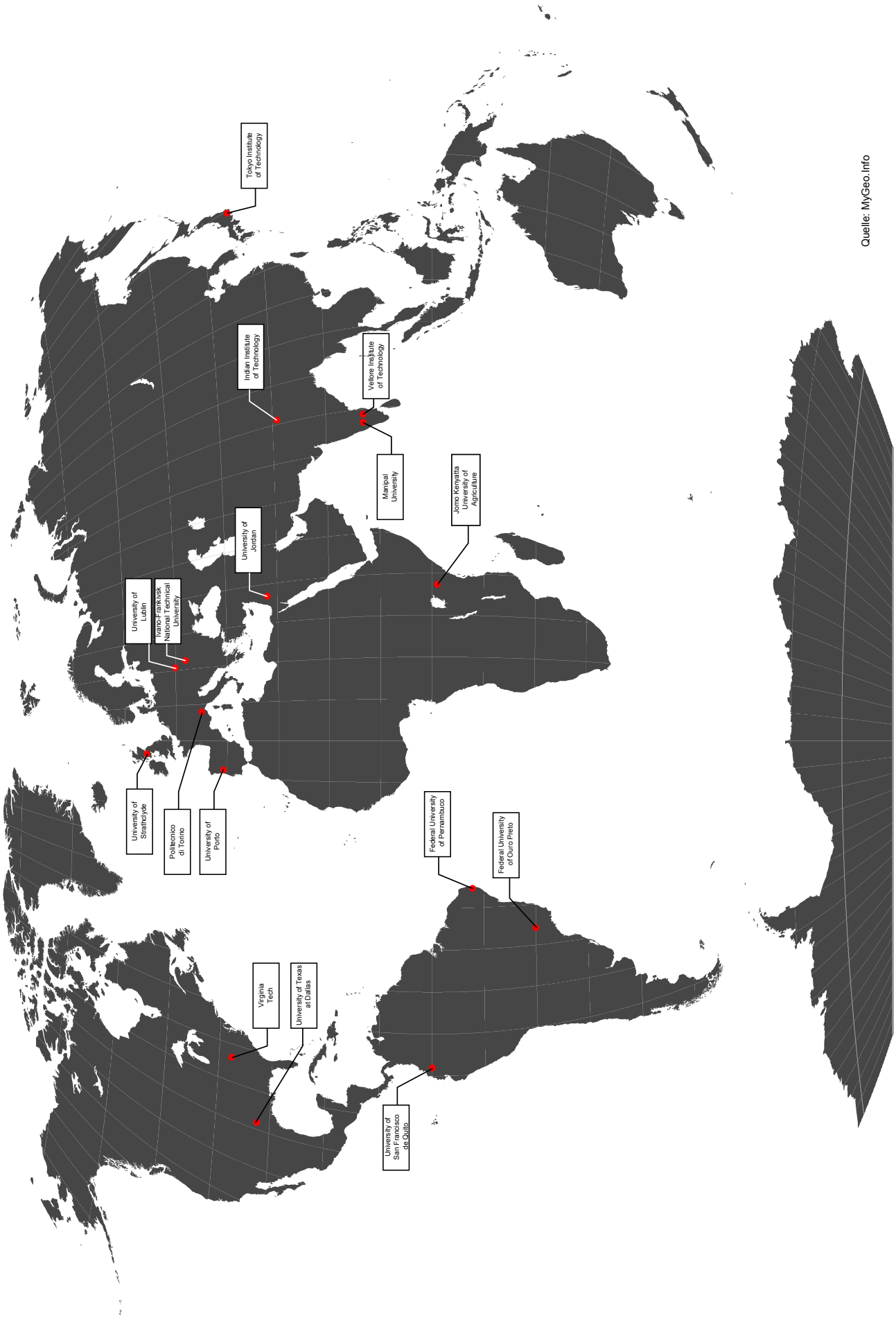
2.3 Auszeichnungen

- Dipl.-Ing. Malte Krack
  E.ON Future Award 2010
- Dipl.-Ing. Olaf Hentschel
  Dr.-Jürgen-Ulderup-Preis 2010, für hervorragende Leistungen bei der Diplomprüfung
- Dipl.-Ing. Malte Krack
  Dr.-Jürgen-Ulderup-Preis 2010, für hervorragende Leistungen bei der Diplomprüfung
- Dipl.-Ing. Jacob Laborenz
  ASME TurboExpo Structures & Dynamics Committee 2011 Best Technical Paper Award, ASME paper GT2011-45242, Int. Gas Turbine & Aeroeng. Congress and Exh. Vancouver, 2011

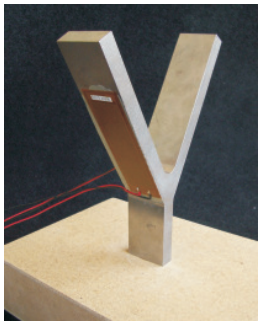
2.4 Wissenschaftlicher Austausch

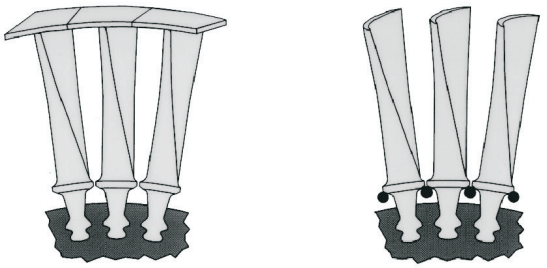
Folgende Studenten und Wissenschaftler waren am Institut für Dynamik und Schwingungen zu Gast:

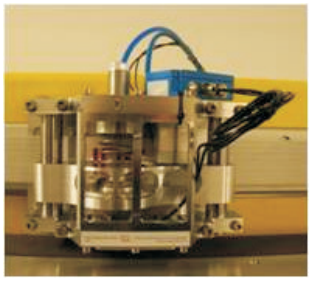
- Gurkamal Singh Pannu, IIT Roorkee, India,
  06/2012 - 07/2012
- Prof. G. Litak, Lublin University of Technology, Poland,
  05/2012
- Nicholas Ing'aa, Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology, Kenia,
  03/2012 - 04/2012
- Beatrice Berra, Politecnico di Torino, Italien,
  WS 2011/12
- Domenico Lamberto, Politecnico di Torino, Italien,
  WS 2011/12
- Rui Luis Vieira Barata, University of Porto, Portugal,
  08/2011 - 09/2011
- Rainer Mantovani Guasti,Federal University of Ouro Preto, Brasilien,
  08/2011 - 10/2011
- Ahmad Alqaraa, University of Jordan, Jordanien,
  06/2011 - 07/2011
- Karen Michelle Davis, University of Strathclyde, Schottland,
  07/2011 - 09/2011
- Maksym Lushpenko, Ivano-Frankivsk National Technical University, Ukraine,
  07/2011 - 09/2011
- Jose Rafael Barragan Rojas, University of San Francisco de Quito, Ecuador,
  05/2011 - 08/2011
- Roy Radido Okech, Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology, Kenia,
  03/2011 - 04/2011
- Guido Ritelli, Politecnico di Torino, Italien,
  SS 2011
- Lucas de Morais Arruda, Federal University of Pernambuco, Brasilien,
  08/2010 - 10/2010
- Rohit Chopra, MIT, Manipal University, Indien, 06/2010 - 07/2010
- Evan Murimi Wanjiru, Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology, Kenia,
  06/2010 - 08/2010
- Prof. T. Morita, Tokyo Institute of Technology, Japan,
  06/2010
- Prof. W. E. Voit, University of Texas at Dallas, USA,
  05/2010
- Prof. S. Priya, College of Engineering Virginia Tech, USA,
  05/2010

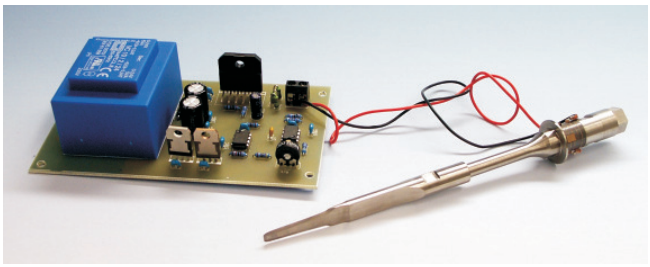

Tokyo Institute of Technology
Indian Institute of Technology
Vellore Institute of Technology
Manipal University
Jomo Kenyatta University of Agriculture
University of Jordan
University of Lublin
Ivano-Frankivsk National Technical University
University of Strathclyde
Politecnico di Torino
University of Porto
Federal University of Pernambuco
Federal University of Ouro Preto
Virginia Tech
University of Texas at Dallas
University of San Francisco de Quito
Quelle: MyGeo.Info

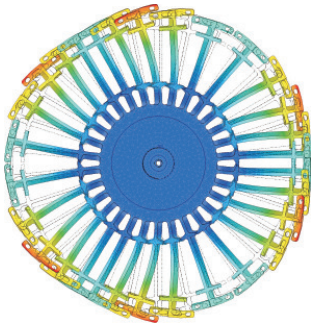
3 Forschung









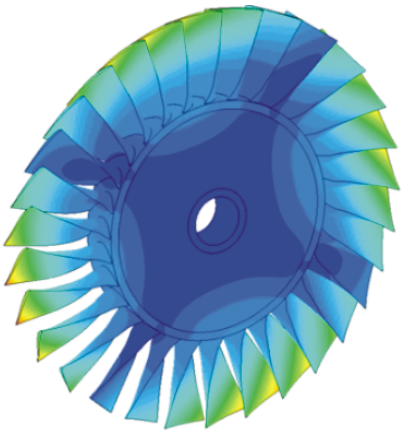


3.1 Arbeitsgruppe Dynamik rotierender Maschinen

Dr.-Ing. Lars Panning-von Scheidt
(Gruppenleiter)

Dipl.-Ing. Marius Bonhage
Dipl.-Ing. Olaf Hentschel
Dipl.-Ing. Anna Herzog
Dipl.-Ing. Malte Krack
Dipl.-Ing. Jacob Laborenz
M. Sc. Linus Pohle
Dipl.-Ing. Daniel Schurzig
Dipl.-Ing. Sebastian Tatzko

- Dynamik rotierender Maschinen
- Höher Harmonische Balance
- Reduktionsmethoden und Mistuning
- Transiente Laufschaufelschwingungen
- Dämpfungsbestimmung
- Wirbelstromdämpfung
- Entwicklung der Simulationssoftware DATAR
- Spielbehaftete Kontakte
- Optimierung und robustes Design
- Experimente im rotierenden System



Dynamik rotierender Maschinen

Die Arbeitsgruppe Dynamik rotierender Maschinen befasst sich mit dem Schwingungsverhalten rotierender Maschinen, hier insbesondere den Beschaufelungen von Verdichter- und Turbinenstufen. Im Vordergrund steht die Entwicklung von Technologien und experimentell validierten Modellen zur Erhöhung der Dämpfungswirkung. Dies wird in verschiedenen öffentlich und industriell geförderten Projekten untersucht.

Schwingungen von Bauteilen verschiedenster technischer Anwendungen z.B. aus dem Bereich der Fahrzeugtechnik und im Turbomaschinenbau lassen sich effizient dämpfen, indem auf physikalische Effekte wie die Nutzung von Reibung, die Erzeugung von Wirbelströmen oder die Anbindung eines piezoelektrischen Netzwerkes zurückgegriffen wird.

Um diese Effekte in technischen Anwendungen zu nutzen, ist zunächst eine ausreichend genaue Modellierung der Dynamik des zu dämpfenden Systems und insbesondere die Beschreibung der zumeist nichtlinearen Zusammenhänge der Dämpfungsmechanismen erforderlich. Hierbei ist neben der Genauigkeit der Modelle auch stets deren Effizienz im industriellen Einsatz zu berücksichtigen, sodass in akzeptabler Rechenzeit ausreichend genaue Ergebnisse erzielt werden können.

Am Beispiel der Dämpfung von Turbinenlaufschaufeln werden verschiedene Dämpfungsmechanismen untersucht, wobei neben der Modellierung und Simulation auch stets experimentelle Untersuchungen zur Validierung der entwickelten Modelle durchgeführt werden. In vielen Fällen führen diese Vorhaben zu einer Umsetzung der Ergebnisse in industriell einsetzbare Softwarewerkzeuge, die sich mittlerweile im Auslegungsprozess von Turbinenschaufeln gut etabliert haben.

Um die Umsetzung verschiedener Dämpfungsmechanismen und deren Potenzial in realen Turbinenbeschaufelungen zu beurteilen, wurden detaillierte struktur- und fluiddynamische Modelle entwickelt und experimentell validiert. Hierzu wurden verschiedene Versuchsstände konzipiert, aufgebaut und von grundlegenden Untersuchungen bis zur konkreten Anwendung die Wirksamkeit verschiedener Dämpfungsprinzipien an Leit- und Laufschaufeln im Stillstand und unter Rotation untersucht.

Aktuelle Schwerpunkte in Modellierung und Experiment liegen u.a. auf

- der Modellierung der Strukturdynamik, komplexer dreidimensionaler Schaufelgeometrien
- der Beschreibung nichtlinearer Dämpfungsmechanismen (Kontakt und Reibung, Wirbelströme, piezoelektrischer Effekt),
- der Entwicklung effizienter numerischer Methoden zur Lösung nichtlinearer Systeme,
- dem Einfluss höher harmonischer Schwingungsanteile in nichtlinearen Strukturen,
- der Beschreibung von spielbehafteten Kontakten mit Stoß,
- der Untersuchung transienter Schwingungsphänomene mit Reibung,
- der Weiterentwicklung von Methoden zur Reduktion der Systemgröße,
- der Modellierung der stochastischen und bewussten Verstimmung zyklischer Systeme
- der Optimierung verschiedener konstruktiver Lösungen (z.B. Reibelementgeometrie)
- der Fluid-Struktur-Kopplung und
- der Ermittlung sensitiver und robuster Systemparameter.

Ansprechpartner:

Dr.-Ing. Lars Panning-von Scheidt
☎ +49(0)511/762-4170
✉ panning@ids.uni-hannover.de

Kontakte mit Spiel

Im Rahmen des Vorhabens ”Kontakte mit Spiel” der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V. wird eine industrietaugliche Software entwickelt, mit deren Hilfe Kontakte mit Spiel allgemein untersucht und insbesondere die dynamischen Vorgänge bei verstellbaren Leitschaufeln besser vorhergesagt werden können.

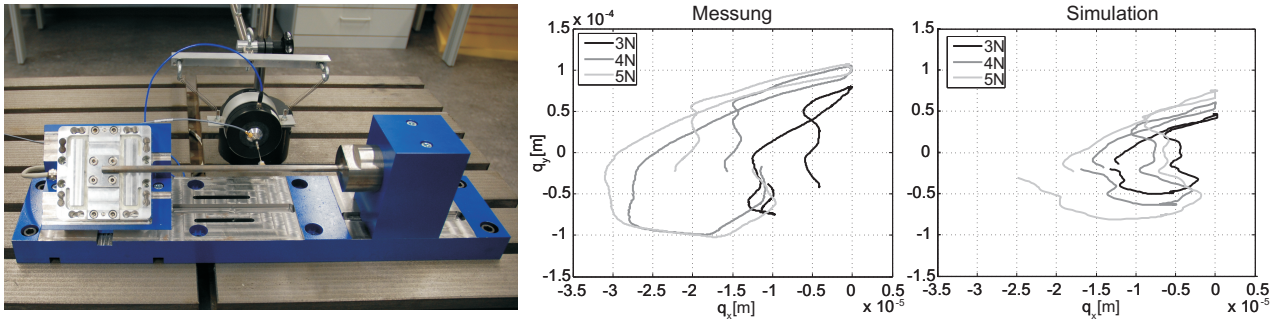


Abbildung 1: Versuchsaufbau zur Validierung von Kontaktmodellen, Messdaten und Simulationsergebnissen des Balkenschwingers

Neben den Laufschaufeln gehören besonders verstellbare und damit spielbehaftete Leitschaufeln aufgrund der mechanischen und thermischen Belastung zu den hoch beanspruchten Bauteilen einer stationären Turbomaschine oder eines Flugtriebwerkes. Die Auslegung dieser Leitschaufeln beruht jedoch bis heute aufgrund der Komplexität des Leitschaufelkranzes eher auf erfahrungsbasierten kinematischen Randbedingungen als auf Kontaktberechnungen. Im Rahmen des Vorhabens ”Kontakte mit Spiel” sollen deshalb Methoden entwickelt werden, die eine Vorhersage der Schwingungsamplituden und Resonanzfrequenzen solcher hochgradig nichtlinearen Systeme erlauben. Eine verbesserte Modellierung spielbehafteter Kontakte und die damit einhergehende exaktere Vorhersage des Schwingungsverhaltens aufgrund der Berücksichtigung realer Kontaktsituationen kann Impulse für die Entwicklung neuer Analysemethoden für den Auslegungsprozess geben.

Aus diesem Grund ist am IDS ein Programmcode entwickelt worden, welcher auf Basis modifizierter Zeitschrittverfahren die nichtlinearen Schwingungsantworten beliebiger zylindrischer Strukturen auf mono- und multiharmonische Erregungen berechnen kann. Zur besonders recheneffizienten Findung des eingeschwungenen Systemzustands wurden zusätzlich Shooting-Verfahren implementiert. Besonders hervorzuheben ist die realistische und trotzdem recheneffiziente Modellierung der Kontaktvorgänge in Form von linearen Komplementaritätsproblemen, bei welcher sowohl Reib- als auch Stoßgesetze betrachtet werden. Zur Validierung des Programmcodes wurde ein Versuchsstand gebaut, an welchem die nichtlineare Schwingungsantwort eines zylindrischen Balkens mit Hilfe eines 3D-Laservibrometers gemessen werden kann. Im Bewegungsbereich des Balkens befindet sich eine auf einen dreiachsigen Kraftsensor montierte Wand, d.h. zusätzlich zur Bewegung werden Kontaktkräfte gemessen, und es können somit Reibwerte und Stoßzahlen für das Simulationsmodell ermitteln werden.

Der Fokus der zukünftigen Arbeiten liegt auf der Erweiterung des existierenden Codes auf die Simulation einer einzelnen Verdichterleitschaufel bzw. eines kompletten Schaufelkranzes und die experimentelle Validierung der Simulationsergebnisse an entsprechenden Versuchsträgern. Die experimentellen Aufbauten für die Validierung stehen am IDS bereits zur Verfügung.

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Daniel Schurzig
☎ +49(0)511/762-4132
✉ schurzig@ids.uni-hannover.de

Transiente Schaufeldynamik

Das Forschungsvorhaben Transiente Schaufeldynamik wird durch die Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V. (FVV) und die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) finanziert und in enger Zusammenarbeit mit den Firmen des projektbegleitenden Arbeitskreises durchgeführt. Thema des Vorhabens ist es transiente Schwingungen von Turbinenschaufeln mit nichtlinearen Reibkontakten zu untersuchen.

Das weltweite Kraftwerksportfolio bindet mehr und mehr regenerative Energiequellen ein. Aufgrund der weitgehend unbeeinflussbaren Verfügbarkeit dieser Energiequellen sowie derzeitig unzureichender Speichertechnologien bedingt dieses den zyklischen Betrieb für konventionelle Kraftwerke. Das Zyklieren bestimmt mit den An- und Abfahrvorgängen die Lebensdauer vieler Kraftwerkskomponenten wesentlich. Ein Beispiel für potenziell hochzyklische Materialermüdung ist der Resonanzdurchgang beim An- und Abfahren der Turbine. Hierbei sind u.a. die Laufschaufeln erhöhten Schwingungsbeanspruchungen ausgesetzt.

Im Vorhaben Transiente Schaufeldynamik wird die Auswirkung von transienter Schwingungserregung auf Turbinenschaufeln untersucht. Transiente Schwingungen umfassen sowohl Schwingungen, die beim An- und Abfahren der Turbinen durch die Änderung der Erregerfrequenz auftreten, als auch Schwingungen, die durch Impulse bzw. Schläge auf die Struktur aufgeprägt werden, wie z.B. Anstreifvorgänge oder Lastabwürfe. Dazu werden Methoden zur mathematischen Modellierung transienter Schwingungen entwickelt. Diese Methoden werden auf die nichtlinearen Reibungsprobleme angepasst, wie sie z.B. durch die gewünschte Reibungsdämpfung der Turbinenbeschaufelungen auftreten. Dazu werden als Grundlage verschiedene Reibmodelle gewählt, auf die die entwickelten Berechnungsmodelle adaptiert werden. Erste Werkzeuge zur Beschreibung von transienten reibungsbehafteten Resonanzdurchfahrten stehen bereits zur Verfügung. Es werden sowohl analytische als auch numerische Ansätze zur Beschreibung der Phänomene gewählt.

Um experimentelle Untersuchungen durchzuführen werden verschiedene Versuchsstände konzipiert. Innerhalb des Vorhabens wird ein Versuchsstand zur Untersuchung von Reibungsphänomenen in Schrumpfsitzen entworfen. Des Weiteren werden mit einem am IDS bestehenden Versuchsstand die Reibphänomene in Deckbändern untersucht , siehe Abbildung 2, um die entwickelten Rechentools zu validieren.

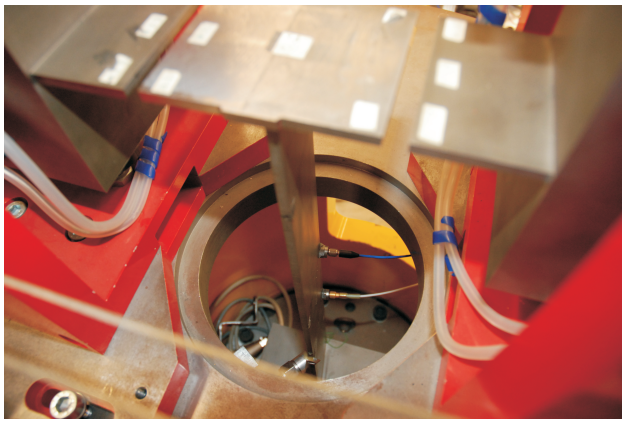


Abbildung 2: Deckbanduntersuchung

Dem Konstrukteur soll ein Berechnungswerkzeug in Form eines Computerprogramms zur Verfügung gestellt werden, mit dem das reale Belastungsprofil einer Beschaufelung genauer berücksichtigt und das Schwingungsverhalten transient simuliert werden kann, um letztlich Lebensdauervorhersagen präziser vornehmen zu können. Damit kann Potenzial erschlossen werden, das in den Wirkungsgrad und/oder in die Zuverlässigkeit, Sicherheit und Lebensdauer der Komponenten investiert werden kann.

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Marius Bonhage
☎ +49(0)511/762-5188
✉ bonhage@ids.uni-hannover.de

Wirbelstromdämpfung

In Zusammenarbeit mit einem Industriepartner entwickelt das IDS ein Wirbelstromdämpfungselement zur Minimierung von mechanischen Schwingungen an Dampfturbinenschaufeln. Innerhalb dieses Projektes wird ein Simulationsmodell zur Berechnung der Dämpfungswirkung entwickelt und im Versuch validiert. Außerdem wird das Langzeitverhalten der dabei verwendeten Materialien unter realitätsnahen Bedingungen untersucht.

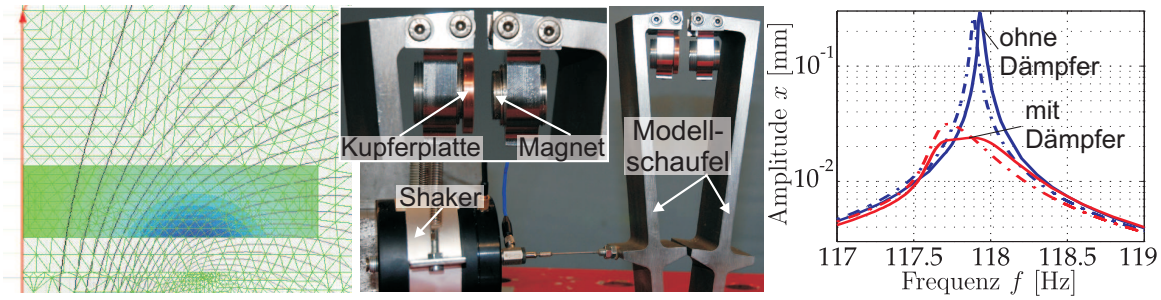


Abbildung 3: Finite Elemente Simulation von Flusslinien und Wirbelströmen, Versuchsaufbau mit Modellschaufelpaar und Vergleich von Messung $(-)$ und Simulation $(-\cdot)$

Turbinenschaufeln von Gas- und Dampfturbinen werden durch Fliehkraft, thermische Belastung und Schwingungen stark beansprucht. Bei der Auslegung muss deshalb großes Augenmerk auf die Festigkeit der Schaufeln gelegt werden, was die Gestaltungsfreiheit der Schaufelgeometrie und damit den erreichbaren Wirkungsgrad einschränkt. Durch die Verwendung von Dämpfungselementen kann die Belastung durch Schwingungen stark reduziert werden, sodass die Effizienz einer Beschaufelung und damit der Gesamtwirkungsgrad der Turbine erhöht werden kann.

Neben klassischen Reibdämpfern werden am IDS neuartige Dämpfungsverfahren untersucht. Bei der Wirbelstromdämpfung wird ein Aufbau aus Permanentmagneten und elektrisch leitenden Materialien zur Dämpfung von Schwingungen eingesetzt. Dabei wird der Effekt ausgenutzt, dass in einem elektrischen Leiter die Elektronen abgelenkt werden, wenn sich dieser relativ zu einem magnetischen Feld bewegt und auf diese Weise Wirbelströme in ihm induziert werden. Dieser Stromfluss unterliegt wiederum der Wirkung des magnetischen Feldes, sodass der Leiter eine seiner Bewegung entgegengesetzte Kraft erfährt. Dieser Effekt kann zur berührungslosen Schwingungsdämpfung genutzt werden und weist Ähnlichkeiten mit der Dämpfung durch eine umgebende, viskose Flüssigkeit auf.

Zur Schwingungsminimierung an Turbinenschaufeln wird in eine Seite der Schaufeln ein Permanentmagnet und in die andere eine Kupferplatte eingelassen, sodass sich diese am Luftspalt zwischen zwei Schaufeln gegenüber stehen und im Fall von Vibrationen mechanische Schwingungsenergie durch entstehende Wirbelströme dissipiert wird.

Die zu entwickelnde Simulationsmethodik steht im Zielkonflikt einer hinreichend genauen Vorhersage des Schwingungsverhaltens der Turbinenschaufeln mit Wirbelstromdämpfer und einer möglichst effizienten Umsetzung, sodass in der späteren Auslegung verschiedene Konfigurationen schnell analysiert werden können. Daher erfolgt eine sequentielle Berechnung der verschiedenen physikalischen Domänen unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen. Zunächst werden in einer elektromagnetischen Finite Elemente Simulation die auftretenden Felder und Kräfte berechnet. Anschließend wird in einer mechanischen Analyse das Schwingungsverhalten unter Berücksichtigung der elektromagnetischen Kräfte ermittelt.

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Jacob Laborenz
☎ +49(0)511/762-4173
✉ laborenz@ids.uni-hannover.de

SFB 871, Teilprojekt C3: Regenerationsbedingtes Mistuning

Das Ziel des Teilprojektes C3 im SFB 871 (Regeneration komplexer Investitionsgüter) ist die Beurteilung des Einflusses der durch den Regenerationsprozess veränderten mechanischen Eigenschaften einzelner Bauteile auf die Dynamik komplexer Gesamtsysteme. Hierzu sollen auf der Basis stark reduzierter dynamischer Modelle Methoden entwickelt werden, mit deren Hilfe die nach erfolgter Regeneration auftretenden Schwingungsamplituden im Gesamtsystem berechnet werden können. Experimente dienen zur Validierung der entwickelten Modelle.

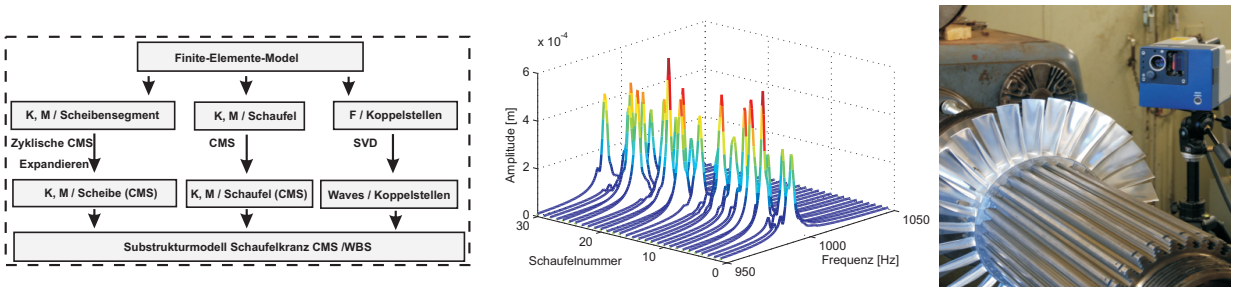


Abbildung 4: Aufbau des Reduktionsverfahren mit Submodellen, FRF von verstimmten Schaufeln, Messung von Schaufelschwingungen im eingebauten Zustand

Der SFB 871 **"Regeneration komplexer Investitionsgüter"** beschäftigt sich mit der Instandsetzung komplexer Investitionsgüter mit dem Ziel möglichst viele Komponenten zu erhalten und zu regenerieren. Dabei sollen die funktionalen Eigenschaften erhalten bleiben oder sogar verbessert werden. Der SFB 871 besteht aus 4 Teilgebieten, die sich mit der *Befundung*, der *Varianz*, dem *Einfluss auf das Gesamtsystem* und der *ganzheitlichen Steuerung* des Regenerationsprozesses beschäftigen. Damit soll es möglich sein, einen optimalen Regenerationspfad auszuwählen, möglichst schon bevor das Investitionsgut in seine Komponenten zerlegt worden ist. Exemplarisch wurden im SFB 871 bisher die Triebwerke von Verkehrsflugzeugen gewählt, da bei diesen die Komplexität besonders starkt ausgeprägt ist.

Das Teilprojet C3 **"Regenerationsbedingtes Mistuning"** beschäftigt sich mit dem Einfluss der Verstimmung einzelner Schaufeln auf das Gesamtsystem. Durch das Mistuning treten sogenannte Lokalisierungseffekte auf, die dazu führen können, dass sich die Schwingungsamplitude einzelner Schaufeln drastisch erhöht. Um dieses Verhalten zu untersuchen, werden Finite Elemente Modelle erstellt, die die Schaufeln abbilden. Diese Modelle sind i.d.R so groß, dass eine Analyse des vollen Modells mit vertretbarem Rechenaufwand nicht mehr möglich ist. Deshalb wird auf der Basis der Component Mode Synthesis (CMS) ein mehrstufiges Reduktionsverfahren entwickelt, mit dem die Schwingungsamplituden innerhalb kürzester Zeit berechnet werden können. Dabei wird das System in Subsysteme aufgeteilt, die nach Craig-Bampton getrennt voneinander reduziert werden können. Außerdem wird die zyklische Struktur der Scheibe genutzt, um das Modell weiter zu reduzieren. Das Mistuning wird auf das reduzierte System aufgebracht und anschließend eine zweite Reduktion durchgeführt, um das System auf seine endgültige Größe zu bringen. Mit Hilfe dieses Verfahren ist es möglich Optimierungsverfahren auf das verkleinerte System anzuwenden und so eine optimale Schaufelanordnung zu finden.

Durch Experimente soll die Verteilung der Eigenfrequenzen der Schaufeln aufgrund von Fertigungstoleranzen bestimmt werden. Mit Hilfe einer Schaufeleinspannung für eine einzelne Schaufel kann außerdem eine Abschätzung der Fügestellendämpfung zwischen Schaufelfuß und Einspannung gemacht werden. Die gewonnenen Erkenntnisse können in die Simulation mit einfließen und es so möglich machen, das Schwingungsverhalten unter realen Bedingungen vorherzusagen.

Ansprechpartner:

M. Sc. Linus Pohle
☎ +49(0)511/762-3870
✉ pohle@ids.uni-hannover.de

Reibungsdämpfung und bewusste Verstimmung von Schaufelkränzen

Gas- und Dampfturbinen werden im Betrieb zu Schwingungen angeregt. Durch Reibelemente zwischen den Schaufeln wird die Dämpfung erhöht, aber auch das dynamische Verhalten beeinflusst. Bewusste Verstimmung kann die Robustheit gegenüber strömungsselbsterregten Schwingungen erhöhen. Die am IDS entwickelte Software DATAR kann das Schwingungsverhalten reibgekoppelter und bewusst verstimmter Schaufelstrukturen vorhersagen und zur Auslegung von Turbinenschaufelkränzen verwendet werden.

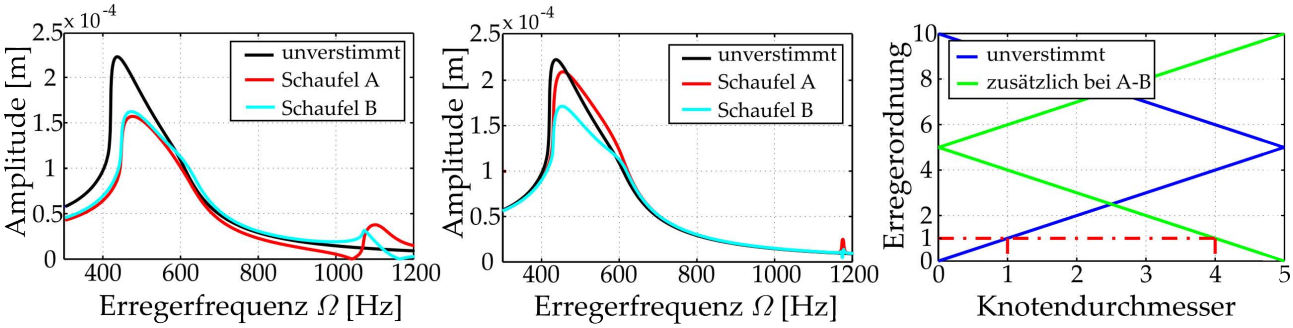


Abbildung 5: Links: Alternierende Verstimmung der Schaufeln. Mitte: Alternierende Verstimmung der Reibelemente. Rechts: Z-Diagramm der angeregten Knotendurchmesser bei Verstimmung.

Die Auslegung von Schaufelkränzen stellt Ingenieure vor große Herausforderungen. Stationär betriebene Gas- und Dampfturbinen sind Kräften ausgesetzt, die zur Schwingungsanregung der Schaufeln führen. Die Eigenfrequenzen der Struktur sollen daher fern von Betriebsfrequenzen liegen. Zusätzliche Dämpfung wird durch Reibelemente zwischen den Schaufeln realisiert, die das dynamische Systemverhalten stark beeinflussen. Als praktisch relevanter Sonderfall ist hier die alternierende Verstimmung zu nennen, wobei sich die Struktur zyklisch nach jeweils zwei Schaufeln in Umfangsrichtung wiederholt. Bei alternierendem Mistuning entsteht eine Modenkopplung zwischen zwei Knotendurchmesserschwingungen, die einen Energieaustausch ermöglicht. Hierdurch kann eine Stabilisierung der strömungserregten Flatterschwingungen erreicht werden. Ein Segment bestehend aus zwei Schaufeln und zwei Reibelementen ist bei Anwendung zyklischer Symmetrie ausreichend für die Simulation, vgl. Abbildung 6. Die am IDS entwickelte Software DATAR wurde erweitert und ist in der Programmversion 5.1 in der Lage das Schwingungsverhalten reibgekoppelter und alternierend verstimmter Schaufelstrukturen vorherzusagen. Typischerweise werden die Schaufeln in ihren Eigenfrequenzen verstimmt. In DATAR ist aber auch eine Verstimmung der Reibelemente, die zwei benachbarte Schaufeln über Reibkräfte koppeln, möglich. Die Frequenzdiagramme bei drehzahlharmonischer Anregung zeigen sowohl bei Schaufel- als auch bei Reibelementverstimmung, den zusätzlich angeregten Knotendurchmesser. Ein erweitertes Z-Diagramm zeigt den Zusammenhang zwischen Errergerordnung und anregbaren Knotendurchmesserschwingungen.

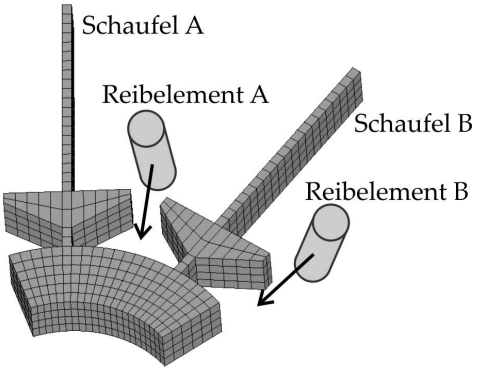


Abbildung 6: Zyklisches Doppelschaufelsegment

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Sebastian Tatzko
☎ +49(0)511/762-4115
✉ tatzko@ids.uni-hannover.de

Optimierung und robuste Auslegung von gekoppelten Laufbeschaufelungen

Innerhalb eines AG TURBO Verbundprojekts mit Siemens Energy Sector und MTU Aero Engines wird ein Simulationsverfahren entwickelt, mit dem Turbinenbeschaufelungen hinsichtlich ihres Schwingungsverhaltens optimiert werden können. Dabei steht insbesondere die Robustheit des Designs gegenüber unsicheren Parametern im Vordergrund. Die Methodik wird exemplarisch auf die Auslegung der Deckbandkopplung von Gas- und Dampfturbinen angewendet.

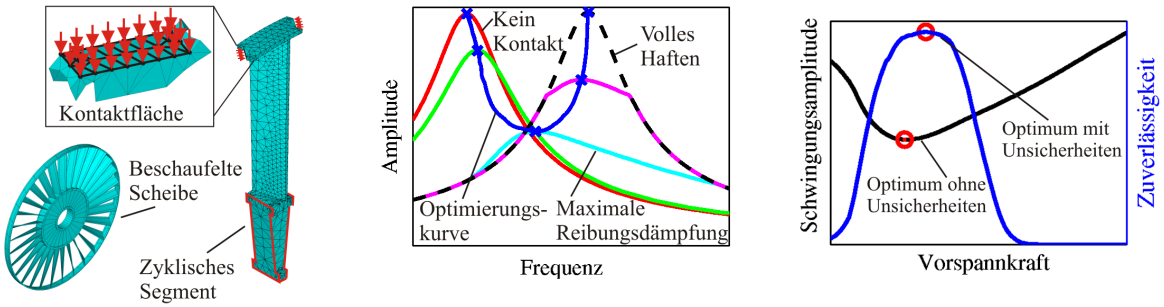


Abbildung 7: Turbinenbeschaufelung mit Deckbandkopplung, Optimierung der Vorspannkraft, Optimierung unter Unsicherheiten

Während des Betriebs sind rotierende Beschaufelungen einem hohen Lastkollektiv ausgesetzt. Insbesondere treten infolge der Fluid-Struktur-Interaktion mechanische Schwingungen auf, die Materialermüdung bewirken können. In diesem Zusammenhang stellt die Reibungsdämpfung ein etabliertes Prinzip zur Schwingungsreduktion dar. Dazu werden gezielt Fügestellen in das System eingebracht wie z.B. Unterplattformdämpfer oder geteilte Deckbänder.

Durch geeignete Wahl der Auslegungsparameter lässt sich das dynamische Verhalten der Beschaufelung optimieren. Eine wichtige Designvariable ist die Vorspannkraft in der Reibfuge. Ohne Normalkraft in der Fügestelle tritt kein Kontakt auf, und es ergeben sich oft große Schwingungsamplituden. Bei zu hoher Vorspannung kann vollständiges Haften auftreten, sodass sich ebenfalls keine Reibungsdämpfung ergibt. Zwischen diesen Extremfällen kann eine starke Reduktion der Schwingungsamplitude durch Reibungsdämpfung erreicht werden.

Der Auslegungsprozess wird durch Unsicherheiten in Modellparametern wie dem Reibwert oder der Anregungskraft erschwert. Das Schwingungsverhalten kann generell eine hohe Sensitivität hinsichtlich dieser Modellparameter aufweisen. Führt man die Optimierung für nur einen nominellen Satz an Parametern durch, kann daher bereits bei leicht abweichenden Parametern ein deutlich schlechteres Verhalten auftreten. Dagegen ermöglicht die Berücksichtigung der Unsicherheiten ein Design, das in weiten Parameterbereichen robust ist. Dies kann durch eine Maximierung der Zuverlässigkeit unter Unsicherheiten anstatt der konventionellen Minimierung der Schwingungsamplitude für nominelle Parameter erreicht werden.

Zentraler Aspekt des Vorhabens ist der Transfer der Software in den industriellen Auslegungsprozess. Herausforderung ist hierbei vor allem die hohe Komplexität der für die Industrie relevanten Problemstellungen. So verfügen typische Finite Elemente Modelle oft über eine große Anzahl an Freiheitsgraden, und es ergibt sich eine stark nichtlineare Dynamik der Beschaufelung infolge der Übergänge zwischen Haft-, Gleit- und Abhebephasen innerhalb der Kontaktfläche. Daher ist eine hohe Effizienz der zu implementierenden Methoden entscheidend. Durch Anwendung der Höher Harmonische Balance sowie Ausnutzung zyklischer Symmetrie lässt sich der Rechenaufwand verringern. Zudem kann die Optimierungskurve direkt berechnet werden um aufwendige Parameterstudien der Frequenzgänge zu vermeiden.

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Malte Krack
☎ +49(0)511/762-4330
✉ krack@ids.uni-hannover.de

Höher Harmonische Balance

Im Rahmen des Projektes "'Höher Harmonische Balance"' soll ein Verfahren zur effizienten Berechnung der Schwingungsantwort von Strukturen mit nichtlinearen Reibkontakten entwickelt werden. Dabei sollen höher harmonische Anteile der Systemantwort sowie der Schwingungsanregung berücksichtigt werden. Das Projekt wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (FVV) gefördert.

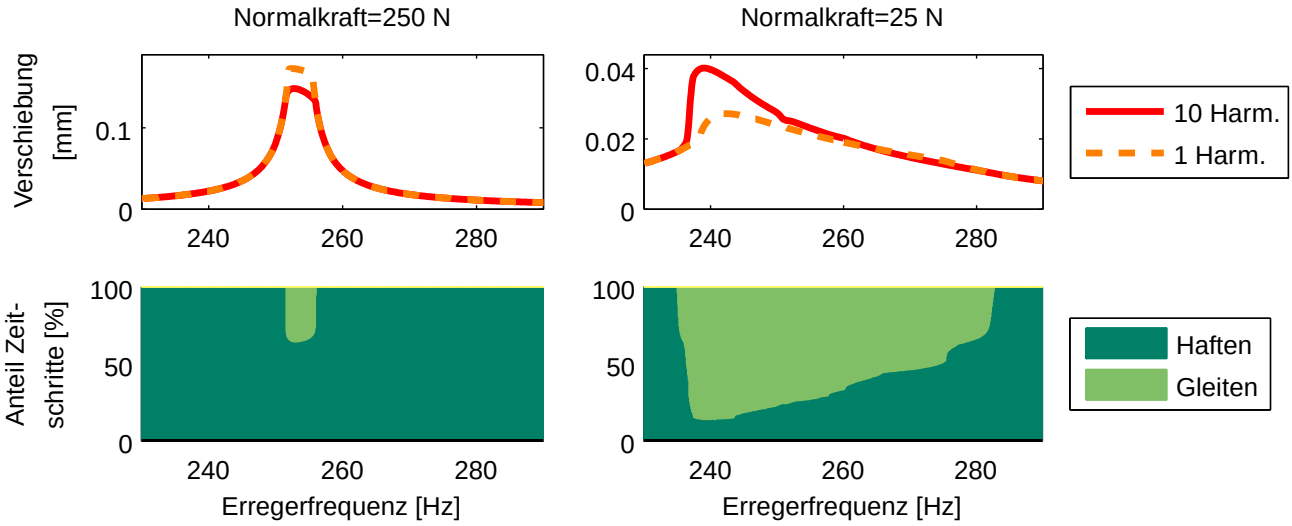


Abbildung 8: Frequenzgang und Kontaktstatus eines Modellschaufelkranzes mit Deckband

Turbinenbeschaufelungen sind hohen statischen und dynamischen Belastungen ausgesetzt, die Schaufelschwingungen auslösen. Um Schäden zu vermeiden, werden häufig Koppelelemente wie Deckbänder oder Reibelemente verwendet, die über Reibungsdämpfung die Schwingungsamplituden reduzieren. Die Modellierung und Berechnung der Schwingungen reibungsgedämpfter Strukturen führt auf komplizierte nichtlineare Differenzialgleichungssysteme, deren Lösung mit hohem numerischen Aufwand verbunden ist. Der Vorhersage der Dämpfung und damit der zu erwartenden Schwingungsamplituden kommt jedoch eine entscheidende Bedeutung zu. Aus diesem Grund wird im Rahmen des Projektes ein Verfahren basierend auf der Höher Harmonischen Balance entwickelt, das es erlaubt, eine simultane multifrequente Anregung der Struktur ebenso zu betrachten wie eine Schwingungsantwort, die höher Harmonische enthält.

Wenn an den Koppelelementen eines Turbinenschaufelkranzes nur Haftreibung auftritt, zeigt das System lineares Verhalten, d.h. bei monoharmonischer Anregung ergibt sich eine ebenso monoharmonische Antwort. Um Dämpfung zu generieren, muss an den Koppelelementen Gleitreibung auftreten. Dies führt aber zu nichtlinearem Systemverhalten, sodass höherharmonische Anteile bei der Berechnung berücksichtigt werden müssen.

Abbildung 8 (oben) zeigt den Vergleich von zwei Frequenzgängen eines Modellschaufelkranzes mit zwei unterschiedlichen Normalkräften im Deckbandkontakt (250 N bzw. 25 N) bei monoharmonischer Anregung und jeweils einer bzw. zehn berücksichtigten Harmonischen. Bei einer Normalkraft von 250 N liegt die maximale Verschiebung bei monoharmonischer Berechnung ca. 17% über der mit zehn Harmonischen berechneten. Hier tritt bei weniger als 40% der berechneten diskreten Zeitpunkte einer Schwingungsperiode Gleitreibung auf (Abbildung 8 unten, Berechnung mit zehn Harmonischen). Bei einer Normalkraft von nur 25 N liegt der maximale Gleitreibungsanteil bei über 80%, und die maximale Verschiebung wird bei einer monoharmonischen Berechnung um ca. 32% unterschätzt.

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Anna Herzog
☎ +49(0)511/762-4168
✉ herzog@ids.uni-hannover.de

Dämpfungsbestimmung

In schwingungsfähigen mechanischen Systemen wird die vorliegende mechanische Energie durch irreversible Prozesse zum größten Teil in thermische Energie gewandelt. Ein Sonderfall davon ist die Dämpfung im Werkstoff, die als innere Reibung bezeichnet wird. Der Vorgang der Dämpfung macht sich bei frei schwingenden Systemen mit einer abnehmenden Schwingungsamplitude bemerkbar, während bei erregten Systemen zum Erhalt der Schwingungsamplitude eine permanente Zufuhr von äußerer Energie erforderlich ist.

Dämpfungsphänomene üblicherweise in innere und äußere Dämpfung unterteilt. Letztere lässt sich in die Energiedissipation bei der Reibung am umgebenden Medium sowie die Energiedissipation infolge der Reibung an Kontaktflächen kategorisieren. Die innere Dämpfung beinhaltet die Werkstoffdämpfung oder auch innere Reibung, die infolge von Deformationsvorgängen im Werkstoff auftritt. Um nun anhand von nichtlinearen Berechnungen adäquate Aussagen über Oszillationsamplituden von Turbinenschaufeln treffen zu können, sind präzise Angaben von modalen Dämpfungswerten von immenser Bedeutung.

Am Institut für Dynamik und Schwingungen werden aktuell modale Dämpfungswerte für Modellschaufeln ermittelt. Diese sollen im weiteren Verlauf als Eingabewerte für nichtlineare Berechnungen verwendet werden. Hierbei ist auf die Vielzahl von möglichen Einflussparametern zu achten, womit neben der Untersuchung von Oszillationsamplituden, Spannungsamplitude sowie Lagen der Resonanzfrequenzen usw. auch der Einfluss des umgebenden Mediums zu beachten ist. Hieraus resultiert die Notwendigkeit eines Prüfstandsaufbaus in einer Vakuumkammer, die entsprechend der zu untersuchenden Parameter möglichst keinen Einfluss auf die zu analysierenden Strukturen ausüben darf.

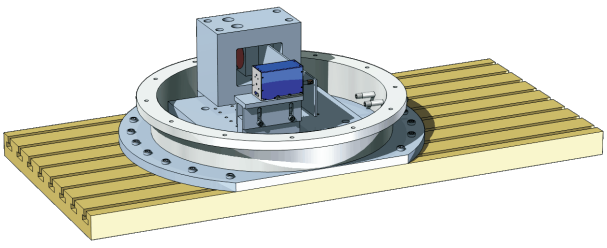


Abbildung 9: Prüfstand zur Materialdämpfungsbestimmung.

Da lediglich zu erwartende geringe Materialdämpfungswerte zu ermitteln sind, sind weitere Einflüsse, wie beispielsweise die Fügestellendämpfung möglichst gut auszublenden. Die schon erwähnten geringen Dämpfungswerte sind des Weiteren mit Hilfe von angemessenen Analysearten zu identifizieren. Hierbei werden neben Methoden im Frequenzbereich, die sich auf das Annähern der ermittelbaren Übertragungsfunktion beziehen, auch Methoden im Zeitbereich verwendet. Bei letzteren ist dabei der Fokus auf die Rekonstruktion der modalen Abklingkurven zu richten.

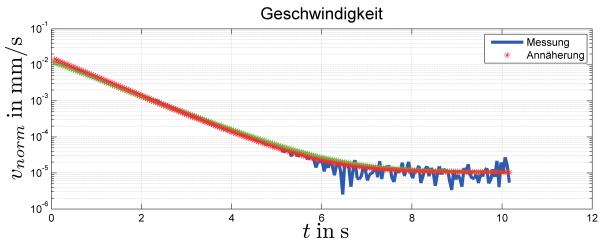


Abbildung 10: Abklingkurve einer interessierenden Mode.

Diese werden mit Hilfe von Kurzzeit-Fourier-Transformationen mit anschließender Neuabtastung der Signale generiert, um eine möglichst gute Aussage bezüglich der momentan vorliegenden Schwingungsamplitude treffen zu können. Präzise ermittelte Abklingkurven liefern damit adäquate Materialdämpfungswerte, die für weitere Simulationen verwendbar werden.

Ansprechpartner:

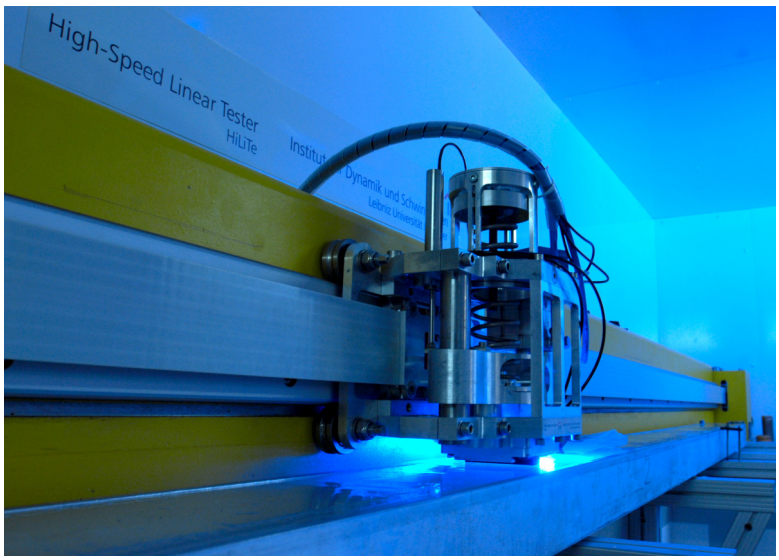
Dipl.-Ing. Olaf Peter Hentschel
☎ +49(0)511/762-5203
✉ hentschel@ids.uni-hannover.de

3.2 Arbeitsgruppe Kontaktmechanik und Reibung

Dipl.-Ing. Hagen Lind
Dipl.-Ing. Tim Linke
Dipl.-Ing. Saša Mihajlović
Dipl.-Ing. Martin Zimmermann

- Reibmechanismen im Reifen-Fahrbahn-Kontakt
  - Kraftübertragung auf Schnee und Eis
  - Reibdynamik von Profilklötzen auf Asphalt und Beton
  - Thermografie und Hochgeschwindigkeitsanalysen
  - Abrolltrajektorien im Labor
  - Modellierung von Reibmechanismen

- Reibmechnismen im Dichtkontakt
  - Einfluss der Oberflächenstruktur im Dichtkontakt auf die Reibung
  - Modellierung des Reibverhaltens von Gummi
  - Stick-Slip im Dichtkontakt
  - Reibungsoptimierung von Pneumatikzylinderdichtungen



Realistische Profilklotzmechanik im Labor

Das Ziel dieses Forschungsprojektes ist es mit Hilfe neuer Testmethoden die Einflussfaktoren beim Kontakt zwischen Reifen und schneebedeckter Fahrbahn detailliert beschreiben zu können. Dazu wird der am IDS vorhandene Hochgeschwindigkeitsprüfstand (HiLiTe) erweitert, um anhand speziell konzipierter Versuche verschiedene Hypothesen zur Kraftübertragung zwischen Reifen-Profilklotz und Untergrund gezielt zu untersuchen.

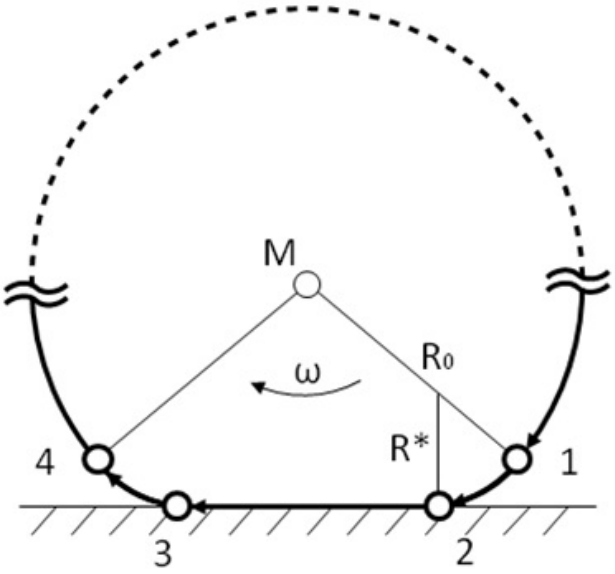


Abbildung 1: Reifen im Fahrbahnkontakt / Abrolltrajektorie (1 bis 4)

Für die Optimierung von Winterreifen im Bezug auf die übertragbaren Kräfte in allen Fahrsituationen ist ein tiefgehendes Verständnis der auftretenden Effekte im Reifen-Fahrbahn-Kontakt unerlässlich. Versuche zu diesem Thema können am IDS mit dem Hochgeschwindigkeitslinearprüfstand (HiLiTe) durchgeführt werden und zeigen bereits in vielen Bereichen sehr gute Ergebnisse. Der HiLiTe erlaubt das Testen eines einzelnen Reifenprofilklotzes auf verschiedenen Fahrbahnen. Durch seinen Aufbau ist er auf einen konstanten Schlupf zwischen Gummiprobe und Fahrbahn von 100% sowie eine lineare Bewegung begrenzt. Die Gleitwege betragen bis zu vier Meter. Variationen in den Versuchen können durch Anpassen der Normalkraft und der Reibgeschwindigkeit vorgenommen werden.

Das Projekt "Realitätsnahe Profilklotztrajektorie im Labor" (RPL) ist eine direkte Fortführung der bisherigen Forschungsprojekte, die sich mit den Mechanismen von Gummi auf Schnee und Eis befassen (bisher KSE & KSE2). Ihre Forschungsschwerpunkte werden aufgegriffen und erweitert, um die zukünftigen Versuche näher an die Realität zu bringen. Das Ziel ist eine verbesserte Testmethode für Profilklötze auf Schnee, die eine direkte Vorhersage auf die zu erwartende Reifenperfomance zulässt. Die Abrolltrajektorie eines einzelnen Profilklotzes an einem realen PKW-Reifen soll in Form eines neuartigen Prüfstandes nachempfunden werden (Abbildung 1). Die Gleitwege, Gleitgeschwindigkeiten und Lasten richten sich ebenfalls nach den Vorgaben eines realen Reifen. Durch die reproduzierbare Abrollbewegung im Labor sollen die einzelnen Faktoren, die zu einer Kraftübertragung zwischen Reifen und Untergrund führen genauer untersucht werden. Hierzu gehören neben der auftretenden Reibung auch das Eindringen der Profilklötze in den Schnee (Milling). Die einzelnen Faktoren sollen weitestgehend voneinander getrennt werden, um ihren Einfluss genauer quantifizieren zu können.

Um die Vergleichbarkeit zu Outdoor-Versuchen und eine hohe Reproduzierbarkeit zu gewährleisten, findet zudem eine Schneeuntersuchung statt. Ziel ist es die bestehende Methode der Schneeherstellung in der Art zu erweitern, dass Schnee mit frei beeinflussbaren Eigenschaften hergestellt werden kann (Abbildung 2). Durch geeignete Charakterisierung soll der künstlich hergestellte Schnee dieselben Merkmale aufweisen wie natürlicher Schnee.

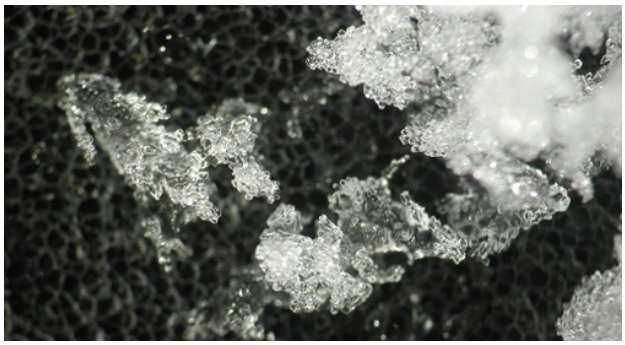


Abbildung 2: Künstlich erzeugte Schneekristalle

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Tim Linke
☎ +49(0)511/762-3732
✉ linke@ids.uni-hannover.de

Entwicklung und Erprobung von funktionalisierten Oberflächen in Pneumatikaktuatoren zur Steigerung der Energieeffizienz (FOP)

Das Projekt FOP ist eine Kooperation zwischen Freudenberg Sealing Technologies sowie dem Institut für Dynamik und Schwingungen und wird durch das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie gefördert. Im Rahmen des Projekts wird das Reibverhalten von Dichtungen in Pneumatikaktoren mit Hilfe funktionalisierter Oberflächen verbessert.

Pneumatische Aktoren haben viele industrielle Anwendungen. Sie werden z.B. sehr häufig zur Erzeugung von Bewegungen in Produktionsmaschinen eingesetzt. In den letzten Jahren wurden neben geometrischen Parametern und Umweltbedingungen zusätzliche Faktoren wie Reibung (Energieverbrauch) und Verschleiß (Lebensdauer) im Bereich der pneumatischen Anwendungen nachgefragt. Aufgabenstellungen wie Reduzierung des Druckluftverbrauchs oder die Erhöhung der Standzeit der Pneumatikkomponenten erfordern eine intensivere Betrachtung. Die Dichtung ist als typisches Verschleißteil und als einer der Hauptverursacher für Reibverluste von besonderer Bedeutung für die Systemperformance.

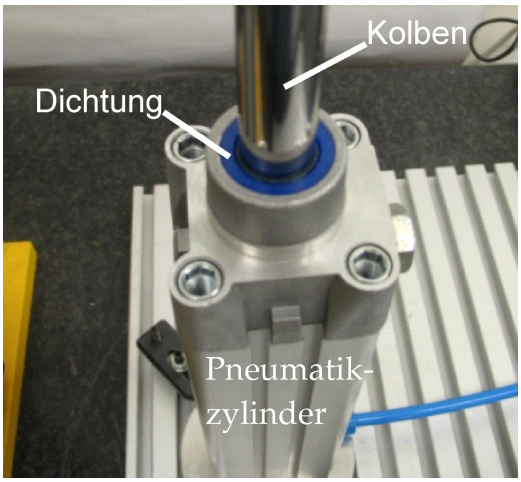


Abbildung 3: Dichtung in Pneumatikzylinder

Im Rahmen von FOP wurden funktionalisierte Oberflächen für die gewählten Reibpartner (Abstreifer-Stangendichtung und die Gegenlauffläche) untersucht und modelliert. Ziel ist die Identifizierung von Oberflächenpaarungen mit besonders niedrigen Werten für Reibung und Verschleiß. Dichtungen in Pneumatikzylindern bestehen aus Gummi oder anderen Polymerwerkstoffen (z.B. PU). Das Reibverhalten von Polymeren wird stark durch die Struktur der Gegenlauffläche (Kolben) beeinflusst. Dies ist besonders für den ungeschmierten oder mangelgeschmierten Kontakt der Fall, welcher aufgrund von Anforderungen in der Nahrungsmittel- und Pharmaindustrie an Bedeutung gewinnt. Eher rauere Oberflächen haben dabei eine Tendenz zu geringeren Reibwerten als sehr glatte Oberflächen aufgrund der Reduktion adhäsiver Effekte sowie einer besseren Schmiermittelspeicherung in Rauheitstälern.

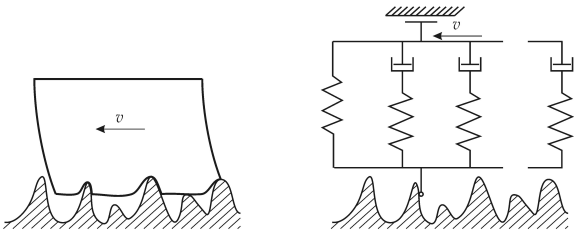


Abbildung 4: Modellansatz zur Beschreibung der Hysteresereibung

Zu Beginn des Projektes wurden Dichtungen und Kolbenstangen unterschiedlicher Parameter bzw. Oberflächeneigenschaften miteinander kombiniert. Mit Hilfe von angepassten Prüfständen werden mit diesen Reibpaarungen jeweils in definierten Abständen Reibkennfelder aufgenommen, bis eine Dichtungskombination durch Leckage oder anderes Versagen ausgefallen ist. Zusätzlich wird ein mathematisches Modell zur Vorhersage von Reibwerten entwickelt. Anhand von Parametern zur Beschreibung der Struktur der Gegenlauffläche sowie von Materialparametern der Dichtung werden zu erwartende Reibverluste (Adhäsion, Hysterese, viskose Reibung) berechnet. So kann die Anzahl erforderlicher Experimente verringert werden.

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Martin Zimmermann
☎ +49(0)511/762-4439
✉ zimmermann@ids.uni-hannover.de

Kooperationsprojekt LOkale ReibDynamik 2 (LORD2)

Die Reifen müssen als einziges Bindeglied zwischen Fahrzeug und Fahrbahn alle Kräfte übertragen. Ziel des Projektes ist die Identifizierung und Abbildung der Reibmechanismen im Reifen-Fahrbahn-Kontakt. Dazu werden sowohl theoretische als auch experimentelle Arbeiten durchgeführt.

Stand der Technik in der Reifenentwicklung ist die Simulation des gesamten Reifens mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente (FEM). Auf diese Weise kann das stationäre Abrollverhalten auch des angetriebenen oder gebremsten Reifens gut berechnet werden, wenn auch mit unter Umständen erheblichem Rechenzeitaufwand. Die Reibung zwischen Reifen und Straßenoberfläche wird üblicherweise als gemittelter, stationärer Reibwert in die Simulation eingeführt, wobei dieser Reibwert entweder mit Hilfe von Messungen oder Reibmodellen gewonnen wird. Ein Nachteil dieser Messungen und Modelle ist, dass das breite Anregungsspektrum der Straßenrauheiten auf die Lauffläche des Reifens verloren geht. Dies ist für die Modellierung der Abrollgeräuschentwicklung von Interesse. Ein weiterer wichtiger Punkt ist, dass der Einfluss der Schwingungsanregung durch die raue Straßenoberfläche in Bremszuständen mit eingeschaltetem Anti-Blockier-System (ABS) noch nicht vollständig geklärt ist. Im Rahmen von LORD2 wird derzeit ein Simulationstool entwickelt und validiert, um recheneffiziente FEM-Simulationen zu ermöglichen, die in Form eines erweiterten, instationären Reibwertes auch höherfrequente Anregungen des rollenden Reifens abbilden können.

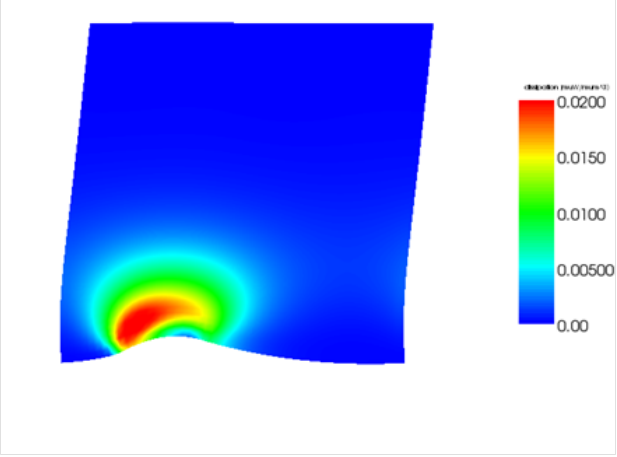


Abbildung 5: FEM-Simulation eines Reifenprofilklotzes

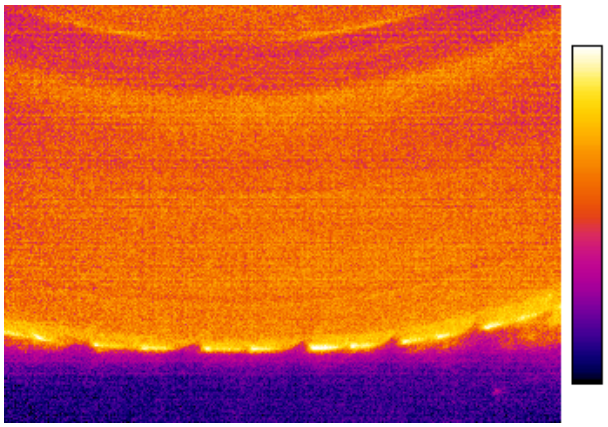


Abbildung 6: Thermographieuntersuchung am Reifen

Einen großen Teil der Experimente nimmt die Validierung der entwickelten Simulationstools ein: Dazu werden am Hochgeschwindigkeitslinearprüfstand (HiLiTe) Reibkennfelder auf nassen und trockenen Beton- und Asphaltoberflächen aufgenommen und den Simulationsergebnissen gegenübergestellt. Um einzelne Effekte, wie die Hysteresereibung, gesondert betrachten zu können, werden Messungen auf speziell strukturierten Metalloberflächen durchgeführt. Des Weiteren werden die Reibkennfelder mit Ergebnissen von realen Bremstests verglichen. Mit Hilfe einer Thermographiekamera und einer Hochgeschwindigkeitskamera können das zeitliche Temperaturverhalten und Schwingungen im Reifen während ABS-Bremsmanövern sichtbar gemacht und mit Versuchen am Prüfstand HiLiTe verglichen werden.

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Hagen Lind
☎ +49(0)511/762-4913
✉ lind@ids.uni-hannover.de

Portables Reibprüfgerät

Das Projekt Portable Friction Tester (PFT) ist eine Zusammenarbeit zwischen einem Industriepartner und dem Institut für Dynamik und Schwingungen. Inhalt des Projekts ist die Entwicklung und der Aufbau eines portablen Reibprüfgerätes zur Charakterisierung der Reibeigenschaften von Fahrbahnoberfächen auf Straßen, Teststrecken und an Unfallstellen.

Die Weiterentwicklung der aktiven Fahrsicherheit von Fahrzeugen zeigt deutlich positive Auswirkungen auf die Vehrkehrssicherheit. Neben anderen Komponenten kommt dem Reifen als sicherheitsrelevantes Bauteil eine besondere Bedeutung zu. Sämtliche die Fahrdynamik von Fahrzeugen betreffenden Kräfte werden in der Kontaktzone von Reifen und Fahrbahn übertragen. Diese Kräfte entstehen durch Reibungsprozesse zwischen den beiden Kontaktpartnern. Da ein Fahrzeugreifen auf verschiedensten Straßen zum Einsatz kommt, ist diese Kontaktpaarung je nach Fahrbahn stets anders. Daher besteht ein großes Interesse Fahrbahnoberfächen bezüglich ihrer Reibeigenschaft zu charakterisieren. Erkenntnisse aus solchen Untersuchungen können u.A. dazu genutzt werden, Reifentests auf verschiedenen Fahrbahnen einer besseren Vergleichbarkeit zuzuführen oder im Rahmen der Unfallforschung Unfallstellen eine Fahrbahngriffigkeit zuzuordnen. Obwohl es zahlreiche Bestrebungen auf diesem Gebiet gibt, existiert bis heute noch kein internationaler Standard für die Charakterisierung von Fahrbahnoberflächen. Bei Betrachtung der bereits bestehenden Prüfmethoden wird deutlich, dass es eine große Bandbreite von Prüfgeräten gibt. Diese reicht von kleinen tragbaren Geräten bis zu mehreren Tonnen schweren Prüffahrzeugen. Der gemeinsame Anspruch dieser Geräte sollte es sein, einen Prüfprozess zu ermöglichen, welcher den Reibprozess unter einem Fahrzeugreifen beim Bremsmanöver nachstellt. Als entscheidende Parameter können zum einen die Gleitgeschwindigkeit und zum Anderen der Kontaktdruck genannt werden. Während die technisch aufwendigen und kostenintensiven Prüffahrzeuge geeignete Parameterbereiche erreichen, ist dieses bei den als portabel zu bezeichnenden Geräten nicht der Fall. An dieser Stelle zeichnet sich daher eine Lücke ab. Im Rahmen der hier vorgestellten Zusammenarbeit haben es sich das Institut für Dynamik und Schwingungen gemeinsam mit der Continental AG zur Aufgabe gemacht, diese Lücke mit der Entwicklung eines neuen Prüfgerätes zu schließen. Mit Hilfe der umfangreichen gemeinsamen Erfahrung in den Bereichen Indoor- und Outdoor-Testing sowie im Prüfstandsbau selbst wurde ein Konzept erarbeitet und an anhand von zahlreichen Voruntersuchungen überprüft. Als Ergebnis wurde ein neuartiges portables Reibprüfgerät entwickelt, aufgebaut und zum Patent angemeldet Abbildung 7. Das Gerät ermöglicht Gleitgeschwindigkeiten von bis zu 3 m/s und der nominelle Kontaktdruck zwischen Prüfkörper und Fahrbahn ist im Bereich von 2 bis 3,5 bar einstellbar. Eine Besonderheit ergibt sich durch den Einsatz von Trittbrettern. Somit kann das Gewicht des Bedieners für einen festen Stand genutzt werden und trotz der hohen Leistungfähigkeit des Antriebes ein Gesamtgewicht von unter 40 kg realisiert werden. Das Prüfgerät erfüllt somit die gestellten Anfordungen und ermöglicht Untersuchungen von Fahrbahnoberfächen in einem für portable Geräte bisher nicht erschlossenen Parameterbereich.

Abbildung 7: Prototyp des portablen Reibprüfgerätes

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Saša Mihajlović
☎ +49(0)511/762-3489
✉ mihajlovic@ids.uni-hannover.de

3.3 Arbeitsgruppe Adaptronische Systeme

Dr.-Ing. Marcus Neubauer
(Gruppenleiter)

Dipl.-Ing. Jonas Böttcher
M. Sc. Xu Han
Dipl.-Ing. Ilja Gorelik
Dipl.-Ing. Christoph Moritz
Dipl.-Ing. Andreas Renner
Dipl.-Ing. Sebastian Schwarzendahl
M. Sc. Henrik Westermann

Die Arbeitsgruppe Adaptronische Systeme beschäftigt sich mit der Modellierung und Auslegung von mechatronischen und adaptronischen Systemen. Hierunter versteht man Systeme aus multifunktionalen Werkstoffen mit strukturintegrierten Aktoren und Sensoren. Derartige Systeme passen sich selbständig veränderlichen Randbedingungen an, so dass aktiv das Schwingungsverhalten beeinflusst werden kann. Üblicherweise wird eine Schwingungsminderung angestrebt, um beispielsweise die Schallabstrahlung zu reduzieren und die Lebensdauer zu erhöhen, allerdings kann auch der Funktionsumfang erweitert werden. Der Einsatz zur Zustandsüberwachung oder die Energiegewinnung aus ambienten Quellen (Energy Harvesting) sind weitere Einsatzmöglichkeiten.

Neben den schwerpunktsmäßig verwendeten Piezowandlern setzen wir insbesondere auch Form-Gedächtnis-Legierungen ein. Grundlegende Erkenntnisse gewinnen wir durch Versuche mit einfachen Balkengeometrien, allerdings entwickeln wir auch Lösungen zur Schwingungsdämpfung in technischen Anwendungen, wie einer Turbinenbeschaufelung, Kfz-Scheibenbremsen und Ultraschall-Transducern für Bondmaschinen. Im Einzelnen arbeiten wir auf den folgenden Forschungsthemen:

- Schwingungdämpfung durch beschaltete Piezowandler
- Experimentelle Modalanalyse
- Ultraschall-Wanderwellentransport
- Schwingungsdämpfung Ultraschalltransducer
- Piezomagnetoelastisches Energy Harvesting
- Modellierung superelastischer Formgedächtnislegierungen
- Bohrstrangdynamik

HIPER-Act Projekt

In dem von der EU im 7. Rahmenprogramm geförderten Projekt HIPER-Act (High Performance Piezoelectric Actuators) arbeitet das IDS zusammen mit 14 weiteren europäischen Partnern an der Entwicklung von neuartigen Hochleistungs-Piezoaktoren. Neben der Entwicklung von ultradünnen Drahtelektroden wird der Einsatz zur Dämpfung von unerwünschten Schwingungen an Ultraschalltransducern untersucht.

Abbildung 1: Photo des Prototypen-Transducer mit neuentwickeltem Piezowandler

Piezoelektrische Ultraschall-Transducer (siehe Abbildung 1) werden beispielsweise in Bondmaschinen eingesetzt. Derartige Maschinen müssen zum Einen hohen dynamischen Ansprüchen genügen, um möglichst viele Bonds pro Sekunde zu erzeugen, zum Anderen müssen die Bonds äußerst präzise gesetzt werden. Um beide Ziele zu erreichen wird im Rahmen des HIPER-Act Projektes die Möglichkeit untersucht, den Ultraschalltransducer durch Piezoelemente gezielt zu bedämpfen. Insbesondere Nickschwingungen, die durch die Einspannung, die nicht vollständige Symmetrie des Transducers sowie den Reibkontakt angeregt werden, sollen hierbei unterdrückt werden.

Hierzu werden zusätzliche Piezoaktoren in den Transducer eingebaut. Der Einbauort ist durch Finite-Elemente Simulationen für eine große Kopplung mit dem System optimiert worden. Neben der gezielten Vorsteuerung dieser Aktoren wird die Möglichkeit untersucht, das mechanische System durch Beschaltung dieser Piezos mit passiven Netzwerken frequenzselektiv zu bedämpfen. Hierzu müssen die elektrischen Netzwerke jedoch präzise auf das System abgestimmt werden.

Das HIPER-Act Projekt hat eine Laufzeit von 4 Jahren. Ziel ist es, eine aktiv gedämpfte Bondmaschine als Technologiedemonstrator aufzubauen.

Ansprechpartner:

Dr.-Ing. Marcus Neubauer
☎ +49(0)511/762-4181
✉ neubauer@ids.uni-hannover.de

Schwingungsdämpfung von Turbinenschaufeln durch beschaltete Piezowandler

In Kooperation mit dem Partner Alstom untersucht das IDS eine neue Technologie zur Schwingungsdämpfung von Laufschaufeln in Turbomaschinen. Das Projekt umfasst die Entwicklung neuer Methoden zur optimalen Auslegung der piezoelektrischen Wandler und deren Validierung anhand von Prinzipversuchen.

Schwingungsdämpfung durch Piezowandler

Der piezoelektrische Effekt beschreibt die Eigenschaft eines Materials eine elektrische Ladung zu erzeugen, wenn es durch eine äußere Kraft belastet wird. Zur Schwingungsdämpfung wird ein piezoelektrischer Wandler auf der zu dämpfenden Struktur angebracht und ein elektrisches Netzwerk an seine Elektroden angeschlossen. Die Schwingungen der Struktur führen zu einem Oszillieren der elektrischen Ladung an den Elektroden und es fließt ein elektrischer Strom im elektrischen Netzwerk. Es wird also ein Teil der Schwingungsenergie der Struktur in elektrische Energie umgewandelt. Wird diese elektrische Energie im Netzwerk dissipiert, so reduziert dies die Schwingungsamplitude der Struktur. Diese Methode der Schwingungsdämpfung ist seit über 20 Jahren bekannt. In dieser Zeit wurden viele elektrische Netzwerke entwickelt die sich generell in die Klasse der passiven, semi-aktiven und aktiven Netzwerke einteilen lassen. Innerhalb des Projekts werden resonante Netzwerke untersucht die zur Klasse der passiven Netzwerke gehören.

Optimierung der gewandelten Energie

Um eine optimale Schwingungsreduktion zu erreichen, muss die durch den Piezowandler gewandelte Energie durch geeignete Positionierung maximiert werden. Bei der Anwendung an Laufschaufeln kommt hinzu, dass die Piezowandler nicht auf der Oberfläche angebracht werden können um die Strömungseigenschaften nicht negativ zu beeinflussen. Damit wird es nötig, die Piezowandler in die Schaufeln zu integrieren. Innerhalb dieses Projektes wird eine vereinfachte Kompressorschaufel untersucht. Mit der Finite Elemente Methode wurde die maximal mögliche Dämpfung für verschiedene Positionen der Piezowandler innerhalb der Schaufel berechnet. Die Graphen in Abbildung 2 unten verdeutlichen, dass die optimale Position stark von der vorliegenden Schwingungsform abhängt und generell unterschiedlich für jede Eigenform des mechanischen Systems ist. Zur Validierung der berechneten maximalen Dämpfungswerte wurde ein Prototyp der Kompressorschaufel gefertigt und mit Piezowandlern bestückt. Die Position der Piezowandler wurde für die sechste Schwingungsform (chordwise-bending mode) optimiert. Durch die beschalteten Piezowandler konnte die Schwingungsamplitude der Schaufel um ca. 21 dB gesenkt werden. Die Simulationsergebnisse stimmen mit einer Abweichung von ca. 2% sehr gut mit den Messergebnissen überein.

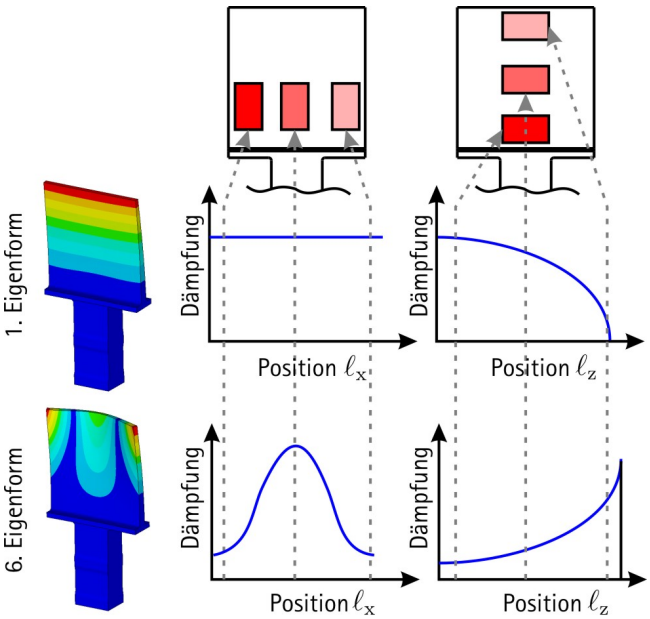


Abbildung 2: Maximale Dämpfungsgrade des Piezodämpfers für verschiedene Positionen und der Einfluss auf unterschiedliche Eigenformen.

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Sebastian Schwarzendahl
☎ +49(0)511/762-17493
✉ schwarzendahl@ids.uni-hannover.de

Experimentelle Modal-Analyse

Im Rahmen eines Kooperationsprojektes arbeitet das IDS zusammen mit einem Industriepartner an verschiedenen Fragestellungen aus dem Bereich der experimentellen Modal-Analyse. Neben der Umsetzung verschiedener Algorithmen werden Detailfragen aus dem Umfeld der Modal-Analyse, wie z.B. die Identifikation mehrfacher Eigenwerte bei symmetrischen Strukturen, näher untersucht.

Primäres Ziel der experimentellen Modal-Analyse sind die Bestimmung der Eigenschaften einer Struktur wie Eigenfrequenzen, modale Dämpfung und Eigenschwingungsformen. Diese Daten können mittels unterschiedlicher Verfahren gewonnen und für verschiedene Zwecke genutzt werden. In den meisten Fällen wird eine experimentelle Modalanalyse durchgeführt um Finite-Elemente-Modelle zu validieren und ggf. anzupassen. Aber auch die Erkennung von strukturellen Veränderungen ist möglich, indem über einen längeren Zeitraum die Veränderung der modalen Parameter beobachtet wird.
Für die Durchführung einer Modal-Analyse stehen dem Anwender verschiedene kommerzielle Softwareprodukte am Markt zur Verfügung. Während das grundlegende Vorgehen bei der experimentellen Modalanalyse heute mehr oder weniger zum Stand der Technik gezählt werden darf, gibt es noch zahlreiche offene Fragestellungen im Umfeld der Modalanalyse.
Die im Rahmen des Projektes bearbeiteten Aufgaben reichen von der Umsetzung verschiedener Algorithmen bis zu Detailfragen im Umfeld der experiementellen Modalanalyse. Hier sei zum Beispiel die Identifikation von doppelten oder mehrfachen Eigenwerten genannt, die speziell bei symmetrischen Strukturen häufig auftreten. Die Abbildungen 3-5 zeigen verschiedene Eigenschwingungsformen eines symmetrischen Modell-Schaufelkranzes (Blisk), die alle in einem sehr schmalen Frequenzbereich liegen.

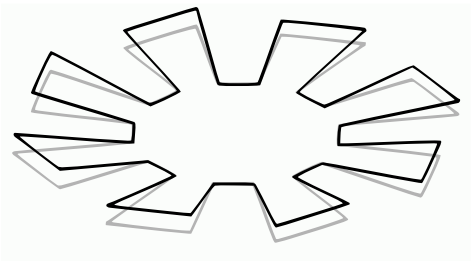


Abbildung 3: Eigenschwingungsform ohne Knotendurchmesser (Schirmschwingung)

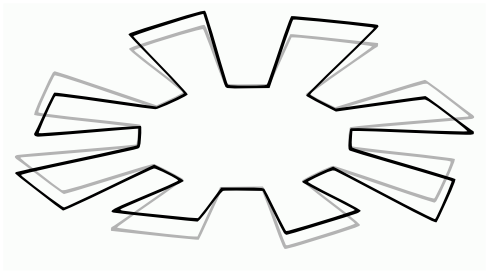


Abbildung 4: Eigenschwingungsform mit zwei Knotendurchmessern

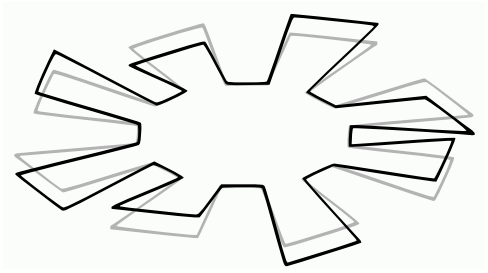


Abbildung 5: Eigenschwingungsform mit vier Knotendurchmessern

Auch die Output-Only- oder Betriebs-Modal-Analyse, die sich in jüngster Zeit steigender Beliebtheit erfreut, ist Gegenstand aktueller Untersuchungen. Die Betriebs-Modalanalyse nutzt eine bereits vorhandene Anregung und kann so ohne eine künstliche gemessene Anregung die modalen Parameter im regulären Betrieb oder bei Anregung durch die Umwelt (z.B. Wind, Wellen oder externe Schwingungsanregung) identifizieren.

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Andreas Renner
☎ +49(0)511/762-17851
✉ renner@ids.uni-hannover.de

Ultraschall-Wanderwellentransport

Es ist bekannt, dass sich mit Wanderwellen, die sich in einem Rohr ausbreiten, granulare Medien, wie z. B. Sand, Waschpulver oder ähnliches, transportieren lassen. Die Modellierung der Wanderwellen und ihre Erzeugung wurde aber bisher kaum untersucht, bzw. es wurden nur sehr einfache Balkenmodelle betrachtet, sodass die Dynamik des Rohres nur sehr eingeschränkt beschrieben werden kann. Am IDS wird an der Analyse und Optimierung der Erzeugung und Ausbreitung der Wanderwellen gearbeitet, wobei die Beschreibung der Strukturdynamik anhand von Schalentheorien erfolgt.

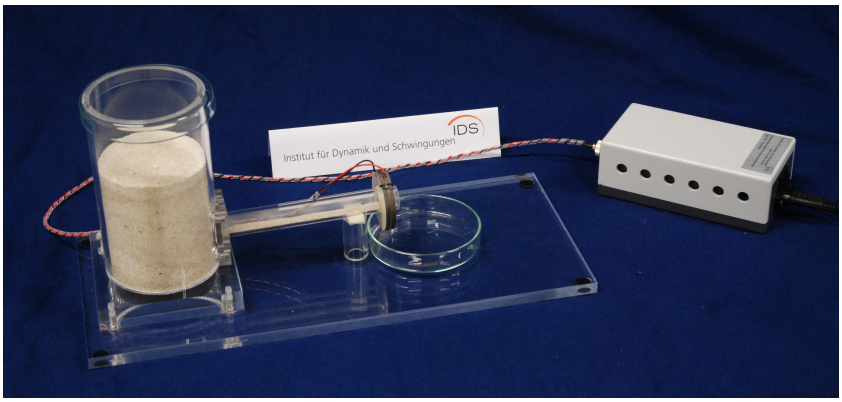


Abbildung 6: IDS-Demonstrator zum Ultraschall-Wanderwellentransport

Zur Analyse der beim Wanderwellentransport auftretenden Rohrschwingungen wurde der in Abbildung 6 dargestellte Demonstrator aufgebaut. Um Wanderwellen zu erzeugen ist ein ringförmiger Piezowandler auf ein Rohr aus stark dämpfendem Material geklebt, der mit einer Wechselspannung konstanter Frequenz angesteuert wird. Durch die Materialdämpfung werden die Wellen während ihrer Ausbreitung entlang des Rohres abgeschwächt, so dass nur ein geringer Anteil am Rohrende reflektiert wird. Daher bildet sich in dem Rohr keine stehende, sondern eine Wanderwelle aus. Bei der Ausbreitung der Wanderwelle durch das Rohr beschreiben die Oberflächenpunkte des Rohres eine elliptische Bahn. Durch diese Überlagerung von axialer und radialer Verschiebung werden dann die in dem Rohr befindlichen Partikel in Richtung des Piezowandlers gefördert.
Die Form der sich einstellenden elliptischen Bewegung ist in hohem Maße von der Betriebsfrequenz abhängig, da sich mit ihr die Kopplung der radialen und axialen Schwingungen gravierend ändert. Um eine Optimierung der Anregung und damit der erzeugten Wellen durchführen zu können wird ein analytisches Schalenmodell verwendet, dass die Analyse der Rohrschwingungen in Abhängigkeit von Rohrgeometrie, Betriebsfrequenz und Positionierung des Piezowandlers ermöglicht.

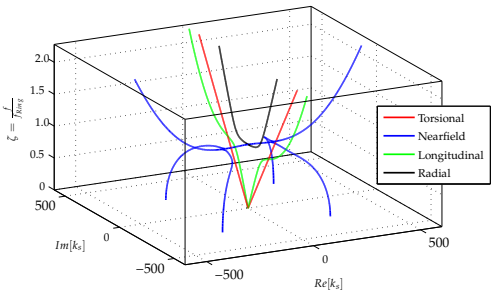


Abbildung 7: Dispersionsdiagramm

Zur Analyse der Schwingungen des Rohres wurde die Theorie für dünnwandige Schalen nach Flügge verwendet. Das Einsetzen eines Exponential-Ansatzes für die axialen, tangentialen und radialen Verschiebungen in die Bewegungsgleichungen liefert nach einigen Rechenschritten eine Gleichung zur Bestimmung der komplexen Wellenzahl in Abhängigkeit von der Frequenz sowie den Geometrie- und Material-Parametern des Rohres. Die grafische Darstellung dieser Zusammenhänge wird als Dispersionskurve bezeichnet und ist in Abbildung 7 dargestellt.

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Andreas Renner
☎ +49(0)511/762-17851
✉ renner@ids.uni-hannover.de

Lateraldynamik des Bohrstranges

In dem Projekt “Lateraldynamik des Bohrstranges” kooperiert das IDS mit der Firma Baker Hughes INTEQ GmbH. Inhalt der Zusammenarbeit sind Untersuchungen zu Schwingungen von Bohrsträngen, wobei der Schwerpunkt im Bereich der Modellierung und Berechnung der Lateralschwingungen des Bohrstranges liegt.

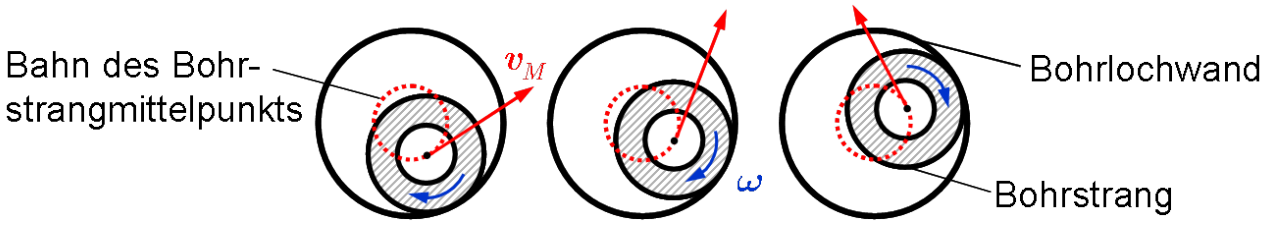


Abbildung 8: Backward Whirl

Bohrstränge sind schwingungsfähige Systeme, die Axial-, Lateral- und Torsionsschwingungen ausführen können. Aufgrund der sehr großen Länge im Verhältnis zu den anderen Abmessungen sind diese Schwingungen zum Teil sehr leicht anregbar. Durch die dynamischen Kräfte, die beim Bohren auf den Bohrstrang wirken, wie z.B. die Wechselwirkungen zwischen Gestein und Bohrkopf und die Reibungskräfte zwischen Bohrstrang und Bohrlochwand, werden unterschiedliche Schwingungsformen angeregt. Häufig beobachtete Phänomene sind unter anderem Stick-Slip-Schwingungen um die Drehachse des Bohrstrangs sowie Whirl, eine Form der Lateralschwingung. Letztere wirkt sich besonders nachteilig auf den Bohrfortschritt aus und kann zu einem frühzeitigen Ausfall des Bohrstrangs führen. Die dadurch bedingten Stillstandzeiten am Bohrturm verursachen sehr hohe Kosten. Insbesondere bei Off-Shore-Bohrungen ist ein Ausfall der Bohrgarnitur mit immensen Kosten verbunden.

In Abbildung 8 ist exemplarisch der sogenannte *backward whirl* dargestellt. Der Bohrstrang rotiert im Uhrzeigersinn mit der Winkelgeschwindigkeit ω. Aufgrund einer Abrollbewegung an der Bohrlochwand stellt sich eine Umlaufbewegung des Strangmittelpunkts ein, die der Rotation entgegengesetzt ist. D.h. der Mittelpunkt des Bohrstrangquerschnitts läuft entgegen dem Uhrzeigersinn um. Die dadurch entstehenden umlaufenden Biegebeanspruchungen führen zu Materialermüdung und schließlich zum Bruch des Bohrstrangs.

Im Rahmen dieses Projekts werden auf Grundlage von vereinfachten Bohrstrangmodellen und Prüfstandversuchen (Abbildung 9) die Entstehungsursachen für Lateralschwingungen untersucht und Kombinationen von Prozessparametern bestimmt, die einen stabilen Bohrprozess gewährleisten. Davon ausgehend sollen aktive und passive Maßnahmen zur Reduzierung von Lateral- und Whirlschwingungen untersucht werden.

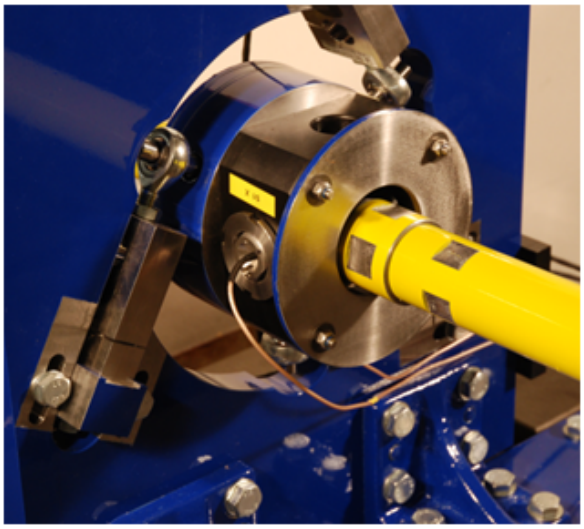


Abbildung 9: Kontaktmodul des Bohrstrangprüfstandes. Hier werden Kontaktkräfte und die laterale Auslenkung des Bohrstranges erfasst.

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Ilja Gorelik
M. Sc. Henrik Westermann
☎ +49(0)511/762-4166 bzw. 19592
✉ gorelik@ids.uni-hannover.de
westermann@ids.uni-hannover.de

Dynamik des Bohrstranges

Das Projekt “Dynamik des Bohrstranges” wird in Kooperation zwischen der Firma Baker Hughes INTEQ GmbH und dem Institut für Dynamik und Schwingungen durchgeführt. Inhalt des Projektes ist die Untersuchung von Schwingungsphänomenen in Tiefbohrsträngen, die beim Bohren nach Erdöl oder Erdgas auftreten.

Bohrungen nach Erdölvorkommen erreichen in heutiger Zeit immer größere Tiefen von mehreren Kilometern. Zumeist wird dabei der gesamte Bohrstrang von über Tage aus in Rotation versetzt und dazu genutzt, das am Bohrmeißel am unteren Ende benötigte Drehmoment zu übertragen. (s.Abbildung 10).

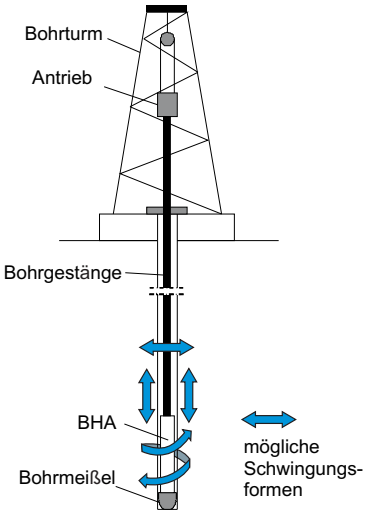


Abbildung 10: Aufbau einer Bohranlage

Aufgrund seiner großen Länge und des sehr großen Verhältnisses von Länge zu Durchmesser ist der Bohrstrang ein leicht anregbares, schwingungsfähiges System. Dieses System kann neben Torsionsschwingungen auch Axialschwingungen ausführen und neigt zusätzlich zu Lateral- bzw. Biegeschwingungen. Oftmals treten Stick-Slip-Schwingungen um die Längsachse des Bohrstrangs sowie Whirl, ein Sonderfall von Lateralschwingungen, auf.
Die auftretende Schwingungsform hängt dabei sehr von den Bedingungen unter Tage ab, wie z.B. den Wechselwirkungen zwischen Gestein und Meißel und Reibung zwischen Bohrstrang und Bohrloch. Diese Bedingungen sind dabei häufigen Änderungen unterworfen.

Schwingungen im Bohrstrang vermindern die Wirtschaftlichkeit des Bohrprozesses und können die Lebensdauer einzelner Komponenten des Bohrstrangs verkürzen. Daher sind unerwünschte Schwingungen zu vermeiden sowie Gegenmaßnahmen zu entwickeln. Eine mögliche Gegenmaßnahme ist die Verwendung von Werkzeugen mit der Funktion eines Tilgers und zusätzlichen Dämpfungseigenschaften.

Ziel des Projektes ist es, anhand von analytischen Modellen des Bohrstrangs und der Werkzeuge sowie experimentellen Untersuchungen anhand eines Versuchsstandes (s. Abbildung 11) das Potential solcher Werkzeuge zu erforschen und mögliche Verbesserungen von bestehenden Konzepten aufzuzeigen.

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Christoph Moritz
☎ +49(0)511/762-4593
✉ moritz@ids.uni-hannover.de

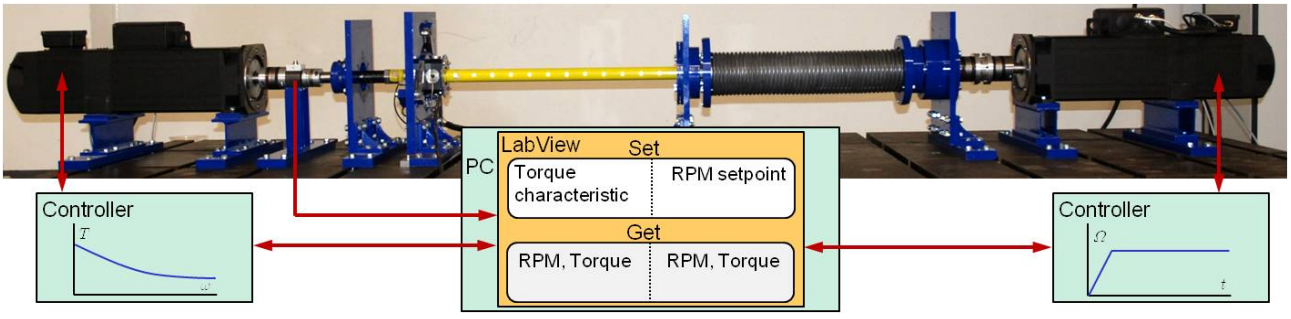


Abbildung 11: Versuchsstand zur Untersuchung von Bohrstrangschwingungen

Superelastische Formgedächtnislegierungen

Die Formänderung von Fomgedächtnislegierungen basiert auf einer Gitterumwandlung zwischen der austenitischen Hochtemperaturphase und der martensitischen Niedertemperaturphase, welche sowohl temperatur- als auch spannungsinduziert erfolgen kann. Der spannungsinduzierte superelastische Effekt tritt bei einer zyklischen Belastung oberhalb der Austenit-Endtemperatur auf. Die im Verlauf der Phasenumwandlung auftretende innere Materialreibung resultiert in einer Hysterese im Spannungs-Dehnungsverlauf.

Das Dämpfungsvermögen superelastischer Formgedächtnislegierungen begründet sich auf der durch innere Materialreibung erzeugten Hysterese im Spannungs-Dehnungsverhalten. Die in Abbildung 12 dargestellten Messungen solcher Hysteresen verdeutlichen, dass die durchlaufene Hysterese von der Amplitude der aufgebrachten Dehnung abhängig ist. Um dieses Verhalten grundlegend beschreiben zu können, wurde das in Abbildung 13 dargestellte rheologisches Modell entwickelt. Das Ersatzmodell besteht aus einem Federelement zur Abbildung des elastischen Verhaltens im martensitischen und austenitischen Zustand. Ein Reibelement bschreibt die Spannungsplateaus bei der Hin- und Rücktransformation zwischen den Phasen. Mechanische Anschläge begrenzen die Spannungsplateaus. Das gezeigte Modell wird zur Abbildung des amplitudenabhängigen dynamischen Verhaltens bei harmonischer Wegerregung genutzt.

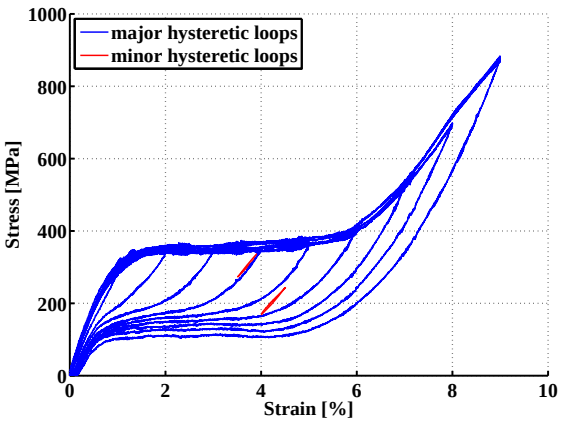


Abbildung 12: Spannungs-Dehnungs-Verhalten superelastischer Formgedächtnislegierungen

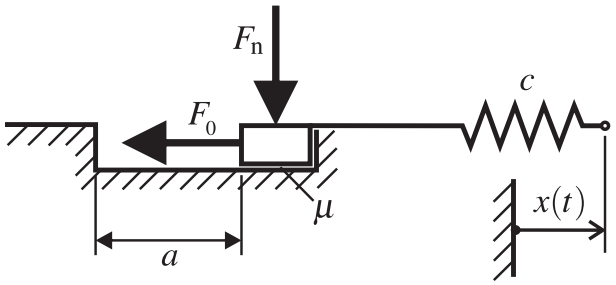


Abbildung 13: Rheologisches Modell zur Modellierung superelastischer Formgedächtnislegierungen

Hierzu wird die Methode der Harmonischen Balance eingesetzt, um eine vereinfachte Systembeschreibung zu ermöglichen und Ersatzparameter für Feder- und Dämpferkonstanten zu berechnen. Außerdem kann auf diese Weise das maximale Dämpfungsvermögen abgeschätzt werden. Aufbauend auf diesen Ergebnissen ist es möglich, neben Drahtgeometrien auch Strukturen wie beispielsweise Balken aus Formgedächtnismaterial zu modellieren. Eine Verschaltung einfacher Geometrien soll im weiteren Verlauf dazu genutzt werden, um komplexere Geometrien beschreiben zu können und diese für den Einsatz als Schwingungsdämpfer aufgabenangepasst zu optimieren.

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Jonas Böttcher
☎ +49(0)511/762-4144
✉ boettcher@ids.uni-hannover.de

Minimierung der Schwingungsanregung von Schneidstempeln durch den Einsatz von Piezoaktoren

Ziel dieses von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projektes ist die Minimierung der durch den Schneidprozess in Stanzautomaten angeregten Schwingungen. Hierbei soll der Einsatz von Piezoaktoren in unmittelbare Nähe zum Erregungsort der Schwingungen ein schnelles Reagieren auf die Anregung ermöglichen, um eine Übertragung der Schwingungen an die Maschine zu verhindern.

Die Anregung von Schwingungen beim Scherschneiden ist im Wesentlichen auf die schlagartige Entspannung der mechanischen Elastizitäten im Kraftfluss während des Trennvorgangs zurückzuführen. Die Schwingungen beeinflussen den Reibweg zwischen Schneidstempel und Werkstoff. Dies führt zu einer Verlängerung des Kontaktweges und zu einer Erhöhung der Relativgeschwindigkeit in der Kontaktzone. Da der Reibweg ein maßgebender Faktor für den Mantelverschleiß des Schneidstempels ist, ist es von großer Bedeutung, den Reibweg so klein wie möglich zu halten. Um die durch den Schnittschlag angeregten Schwingungen zu minimieren, sind diverse Dämpfungssysteme entwickelt worden. Diese dämpfen die Bewegung des Stößels gegenüber dem Rest der Maschine.

Im Mittelpunkt dieses Forschungsvorhabens steht die Frage, ob eine hohe Dämpfungswirkung dadurch erreicht werden kann, dass der Einbauort eines Dämpfungssystems möglichst nah an den Ort der Anregung verlegt wird. Hierdurch kann auch das schwingungsfähige System aus Stempel und Befestigung gedämpft werden.

Das Ziel dieses Forschungsvorhabens liegt in der Minimierung der durch den Abrissvorgang entstehenden Anregungen. Dies soll mit Hilfe der Erforschung und Entwicklung eines neuen, bisher nicht untersuchten Konzeptes eines Schneidwerkzeuges mit integrierter Anregungsminimierung erreicht werden. Die effiziente Reduktion oder gar Eliminierung der durch den Schnittschlag angeregten Schwingungen erhöht die Standmenge des Schneidwerkzeuges und verbessert die Wirtschaftlichkeit des Schneidprozesses. Des Weiteren wird die Qualität der Schnittflächen beim fortwährenden Betrieb im Mittel erhöht. Und schließlich führt die Minimierung der Anregungen zu einer Verringerung der gesamten Maschinenschwingungen. Dies hat zur Folge, dass die Lärmbildung und Erschütterungen reduziert werden.

Der Lösungsansatz besteht in der Entwicklung eines neuartigen Schneidwerkzeuges, in dem Piezoaktoren direkt am Erregungsort integriert sind. Somit ist eine effiziente Anregungsminimierung möglich. Dabei stellt die Entwicklung eines Regelalgorithmus zur Beeinflussung der entstandenen Anregungen mittels integrierter Piezoaktoren einen Schwerpunkt dar.

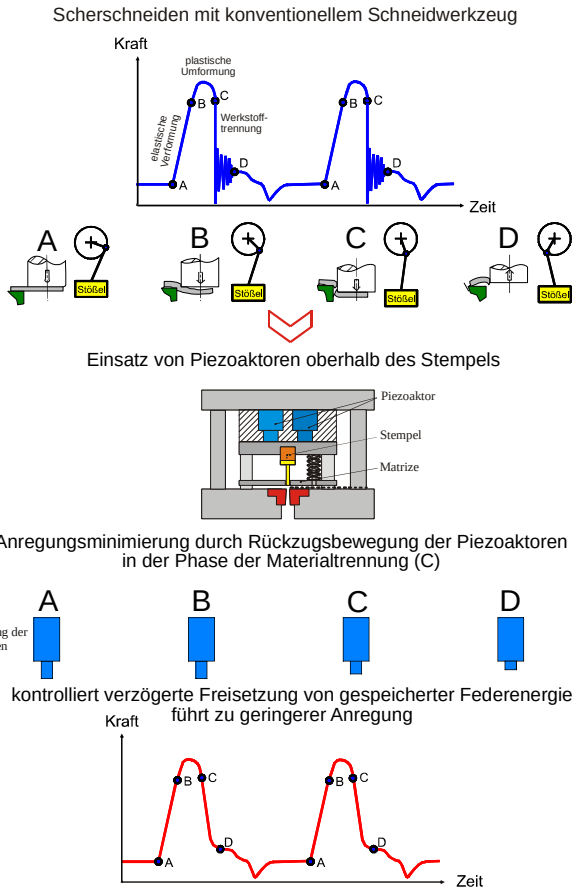


Abbildung 14: Konventionelles und optimiertes Schneidverhalten

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Jonas Böttcher
☎ +49(0)511/762-4144
✉ boettcher@ids.uni-hannover.de

Piezomagnetoelastisches Energy Harvesting

Piezoelektrische Energy Harvesting Systeme zur Nutzung von Umgebungsenergie erzeugen nennenswerte Energiemengen nur, wenn sie in ihrer Eigenfrequenz angeregt werden. Magnetische Elemente, mit denen die Gleichgewichtslagen des Systems gezielt eingestellt werden können, sind eine Möglichkeit, die Energieausbeute zu verbessern. Ziel des Forschungsvorhabens ist es unter anderem, derartige Energy Harvesting Systeme detailliert zu modellieren und das Verhalten anhand von experimentellen Ergebnissen zu validieren.

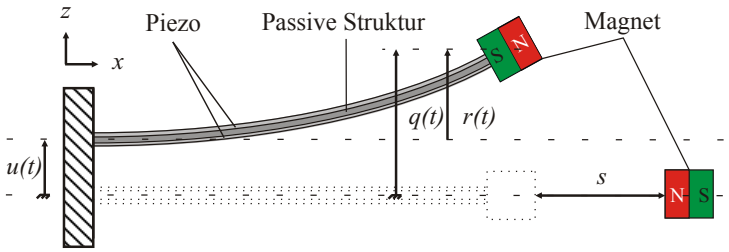


Abbildung 15: Schema eines piezomagnetoelastischen Energy Harvesting Systems

Vibrationserregtes Energy Harvesting ist eine attraktive Technik zur Versorgung von kabellosen Sensoren und elektronischen Systemen, die nur kleine Versorgungsleistungen benötigen. Gebräuchliche Energy Harvesting Systeme erzeugen die maximale Leistung, wenn sie in ihrer Resonanzfrequenz angeregt werden. Bei Anregungsfrequenzen außerhalb der Resonanz sinkt die Leistungsausbeute drastisch. Typischerweise werden solche Energiewandler in der praktischen Anwendung durch Schwingungen angeregt, deren Spektrum zahlreiche unterschiedliche Frequenzen enthält. Piezomagnetoelastisches Energy Harvesting ist eine

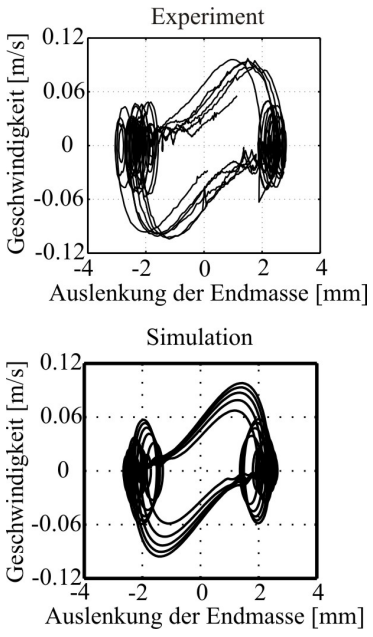


Abbildung 16: Simulations- bzw. Messergebnisse

Möglichkeit die Bandbreite zu erhöhen.
Eine schematische Darstellung eines einfachen Energy Harvesting Systems ist in Abbildung 15 gegeben. Es besteht aus einem piezoelektrischen Bimorph mit einer magnetischen Endmasse. Der Bimorph ist in einem quer verschieblichen Rahmen eingespannt und die Weganregung $u(t)$ des Rahmens ist die Eingangsgröße des Systems. Ein zweiter Permanentmagnet ist stationär in der Nähe des Endmagneten platziert. Der Abstand zwischen den beiden Magneten und die von der Verschiebung abhängige Magnetkraft verursacht die Nichtlinearität des Systems. Abbildung 16 zeigt die Phasenkurven, wie man sie in der Messung und der Simulation typischerweise erhält. Die Schwingungen um die beiden Gleichgewichtslagen erfolgen mit der Eigenfrequenz des Systems, während die periodisch auftretenden Wechsel zwischen den beiden Gleichgewichtslagen mit der Frequenz der Anregung erfolgen.
Der aktuelle Fokus der Arbeiten liegt auf der geometrischen Optimierung des Magnetabstandes, der Verbesserung des Energiemanagements und dem Aufbau von Prototypen.

Ansprechpartner:

M. Sc. Henrik Westermann
☎ +49(0)511/762-19592
✉ westermann@ids.uni-hannover.de

Synchronized switch damping on negative capacitance and inductor technique (SSDNCI)

Bei der SSDNCI-Technologie (Synchronised Switch Damping on Negative Capacitance and Inductor Technique) handelt es sich um eine Erweiterung des SSDI-Verfahrens (Synchronised Switch Damping on Inductor Technique). Die negative Kapazität des SSDNCI-Netzwerks erhöht die Energiedissipation bei abnehmendem Dämpfungsgrad des elektrischen Netzwerks. So kann durch einen SSDNCI-Shunt die Dämpfungsleistung erhöht werden.

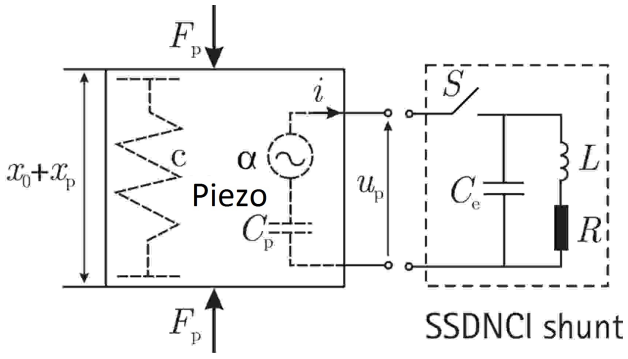


Abbildung 17: Mit einem SSDNCI-Netzwerk bedämpftes Piezoelement

Im Vergleich zu linearen passiven Shunts haben nichtlineare SSDI-Shunts viele Vorteile, wie Kompaktheit und robuste Stand-Alone-Merkmale. Bei adäquater Beschaltung kann innerhalb eines weiten Frequenzbereichs ein hoher Dämpfungsgrad erzielt werden. Durch die piezoelektrischen Konstanten und den unvermeidbaren inhärenten Widerstand einer elektrischen Schaltung sind dem Verfahren jedoch Grenzen gesetzt. Um die Dämpfungsleistung zu erhöhen, wird daher ein SSDNCI-Netzwerk vorgeschlagen. Der Shunt eines SSDNCI-Netzwerks hat zwei parallele Zweige. Ein Zweig besteht aus einer negativen Kapazität, der andere aus einem Schalter, einer Drossel und einem Widerstand. Das Schaltbild dieses Shunts zeigt Abbildung 17. Bei Betätigung des Schalters nimmt das Piezoelement periodisch beide Zustände des nichtlinearen Shunts ein und kann sich daher an die Erregungsfrequenz anpassen. Eine negative Kapazität kann durch eine Analogschaltung mit dem einfachen Aufbau eines Shunt-Netzwerks realisiert werden. Im Vergleich zu einem SSDI-Shunt ist der Piezowandler in einem SSDNCI-Shunt nie galvanisch getrennt. Selbst bei geöffnetem Schalter ist der Piezowandler mit der negativen Kapazität verbunden, d.h. die negative Kapazität ist bei beiden Schaltzuständen involviert. Bei geöffnetem Schalter wird der Spannungsaufbau unterstützt und bei geschlossenem Schalter die Spannungsumkehr erhöht, wodurch es zu einer Zunahme der dissipierten Energie kommt. Die dissipierte Energie ist abhängig vom Kapazitätsverhältnis. Bei einem Kapazitätsverhältnis von etwa -1 geht die dissipierte Energie theoretisch gegen unendlich. In der Praxis wird die dissipierte Energie jedoch durch die maximale Leistung der analogen negativen Kapazität begrenzt. Die theoretisch erzielten Ergebnisse werden durch Messungen auf einem Spannbalken-Prüfstand verifiziert. In Abbildung 18 werden die Simulationsergebnisse mit den Messergebnissen verglichen. Für den in dieser Forschungsarbeit gewählten Betriebsbereich der negativen Kapazität konnte eine Erhöhung der Energiedissipation um fast 220 Prozent im Vergleich zum SSDI-Verfahren erzielt werden.

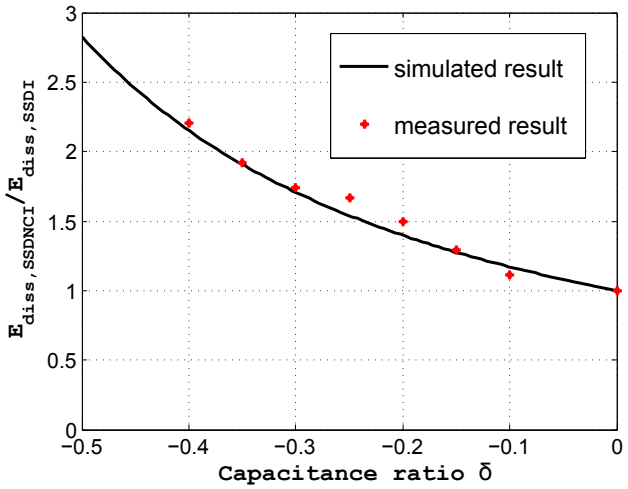


Abbildung 18: Energiedissipation des SSDNCI-Netzwerks in Abhängigkeit des Kapazitätsverhältnisses

Ansprechpartner:

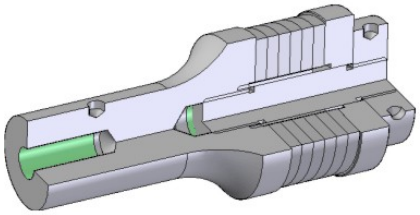
M. Sc. Xu Han
☎ +49(0)511/762-4128
✉ han@ids.uni-hannover.de

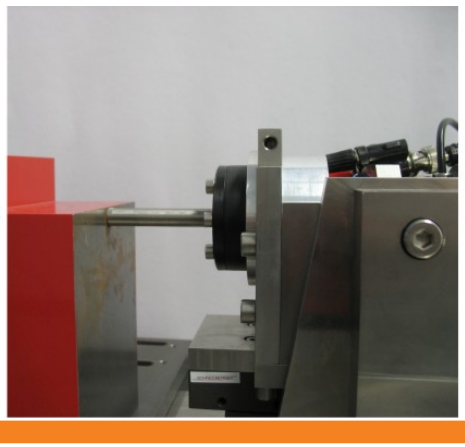
3.4 Arbeitsgruppe Piezo- und Ultraschalltechnologie

Dr.-Ing. Jens Twiefel
(Gruppenleiter)

M. Sc. Peter Bruns
M. Sc. Minghui Huang
Dipl. Ing. Sebastian Mojrzisch
M. Sc. The Minh Pham
Dipl.-Ing. Kai Saalbach
Dipl.-Ing. Wiebold Wurpts

- Reibungsreduzierung an Bodenbearbeitungsgeräten mit Ultraschall
- Gesteinsbearbeitung mit ultraschallangeregtem Werkzeug
- Energy Harvesting mit piezoelektrischen Materialien
- Modellierung von Ultraschallsystemen mit wechselnden Randbedingung
- Berührungsloses Ultraschall-Rotations-Lager





Piezo- und Ultraschalltechnik

In vielen modernen Systemen werden elektromechanische Wandler für vielfältige Anwendungen benötigt. Sie dienen als Steller für Positionieraufgaben, als Sensor zur Kraft- oder Dehnungsmessung, als Generator in autarken Systemen oder als Schwingungserzeuger in Ultraschalltransducern. Piezoelektrische Elemente stellen eine wichtige Klasse der elektromechanischen Wandler dar.

Die Ultraschalltechnik ist aus dem Alltag vieler Firmen heute nicht mehr wegzudenken. Sie wird für vielfältige Aufgaben genutzt, beispielsweise in der Verpackungsindustrie zum Verschweißen von Kunststoffverpackungen oder aber in der Automobilindustrie zum Fügen von Plastikteilen aus z.T. unterschiedlichen Materialien. Ein anderes Einsatzgebiet ist die Nutzung der hohen Schallenergie in Flüssigkeiten, am bekanntesten in der Ultraschallreinigung, aber auch für die Herstellung von Nanopartikeln oder die Verbesserung von Gießprozessen. Daneben ist Reibungsreduktion durch überlagerte Schwingungen (im Ultraschallbereich) eine aktuelle Technologie, die zurzeit für viele Anwendungen evaluiert wird.

Auch für spezielle Transport- und Antriebsaufgaben bieten sich Ultraschallsysteme an. So können die angeregten Schwingungsformen genutzt werden, um über einen Stößel einen Rotor in Bewegung zu versetzen.

Eine neuartige berührungslose Lagertechnologie wird mit der Ultraschalllevitation entwickelt. Dabei erzeugt die Ultraschallschwingung einen Überdruck im Spalt zwischen Transducer und Objekt. Daher schwebt das Objekt auf einem Luftfilm. Mit einer geeigneten Regelung lässt sich der Luftspalt sehr genau einstellen. Das Prinzip kann sowohl für translatorische als auch für rotatorische Lager genutzt werden.

Um in all diesen Prozessen die maximalen Bewegungs- oder Druckamplituden bereitzustellen, werden diese in Ihrer Resonanzfrequenz betrieben, also in dem Betriebspunkt, in dem es nach allgemeiner Auffassung zur sog. Resonanzkatastrophe kommt. Bei passender Auslegung der Bauteile stellt die Resonanz als Betriebspunkt kein Problem dar. Dass es nicht zu unendlich großen Schwingungsamplituden kommt, liegt an der stets vorhandenen Dämpfung im System.

Da die Resonanzfrequenz kein fester Wert ist, muss im Allgemeinen der Betriebspunkt eingeregelt werden. Hierfür werden unterschiedliche Ansteuerungsstrategien verfolgt, die wichtigsten sind die Fremderregung mit Phasenregler und die selbsterregten Schwingsysteme. Die Frequenzänderung (sowie die Admittanzänderung) ist eine Folge der Änderung von Systemeigenschaften bzw. von Nichtlinearitäten. Besitzt man eine ausreichende Systemkenntnis, können aus diesen Änderungen Rückschlüsse auf den Prozess bzw. auf die Eigenschaften der im Prozess genutzten Medien gezogen werden.

In den vergangenen Jahrzehnten wurde die Dynamik der schwingenden Struktur in der Regel nur ohne die Rück- bzw. Wechselwirkung mit dem Prozess betrachtet. Um die Systeme weiter optimieren zu können, müssen diese Einflüsse betrachtet werden. Eine wichtige Rolle spielen dabei wechselnde Kontaktvorgänge sowie der Einfluss nichtlinearer Systemeigenschaften. Um die erarbeiteten Methoden und Erkenntnisse nutzbar zu machen, werden diese in effektive Werkzeuge zur Systemauslegung integriert.

Weitere Anwendungen der piezoelektrischen Aktoren finden sich bei der Schwingungserzeugung. Da hier ein sehr breitbandiges Verhalten notwendig ist, werden hier nichtresonante Systeme aufgebaut.

Neben der Aktorik stellt die Energiewandlung ein weiteres Arbeitsgebiet dar, hier werden vor allem piezoelektrische Generatoren untersucht. Diese dienen als Energiequelle für autarke Anwendungen, wie beispielsweise drahtlose Sensoren.

Um auch ausgefallene Anregungen zu realisieren, beschäftigt sich die Arbeitsgruppe mit der Polarisation von Piezomaterialien, zurzeit mit dem Ziel, Torsionsringelemente für Ultraschallschwinger aufzubauen.

Ansprechpartner:

Dr.-Ing. Jens Twiefel
☎ +49(0)511/762-4167
✉ twiefel@ids.uni-hannover.de

Ultraschallunterstütztes Gießen von hybriden Gussteilen aus Leichtmetall im Sandguss

In dem durch $Pro^3gression$ mit Mitteln des Landes Niedersachsen geförderten Projekt "Ultraschallunterstütztes Gießen von hybriden Gussteilen aus Leichtmetall im Sandguss" werden Grundlagenuntersuchungen der Verbesserung des Verbundgusses durch Ultraschalleinsatz durchgeführt.

Beim Verbundguss mit Phasentrennblechen besteht die Zielsetzung in der simultanen Verarbeitung zweier Gusswerkstoffe (Aluminium und Magnesium) zur Herstellung eines Verbundgussteils durch einen Gießvorgang. In dieser Prozessvariante wird durch den Einsatz eines Phasentrennblechs während der Formfüllung das Vermischen beider Gusswerkstoffe verhindert. Die stoffschlüssige Verbindung zwischen dem Phasentrennblech und den Gusswerkstoffen ist hierbei das ausschlaggebende Kriterium. Die Verbesserung der Benetzung von Phasentrennblechen konnte durch den Einsatz von Ultraschall im Projekt durch prinzipielle Versuche nachgewiesen werden.

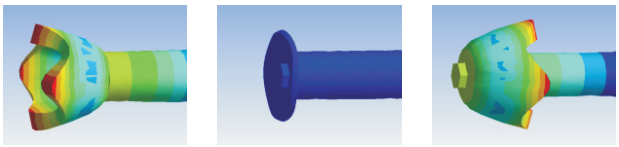


Abbildung 1: Schwingungsform der Kupferbleche

In Versuchen wurde die Benetzungsveränderung in Folge der Ultraschallanregung an Blechproben untersucht. Hierzu wurde ein piezoelektrischer Ultraschallschwinger (Transducer) entworfen und aufgebaut, der bei einer Resonanzfrequenz von etwa 20,5 kHz geregelt betrieben werden kann. Das Schwinggebilde, bestehend aus Transducer, Booster und Sonotrode, wurde so ausgelegt, dass die genutzte Resonanz der dritten Längsschwingungsform entspricht. Im Betrieb bildet sich somit eine stehende Welle aus, die aufgrund der Geometrie- und Materialauswahl eine sehr hohe Amplitude an der Stirnfläche und damit am Abstrahlblech erzielt.

Für die Benetzungsversuche wurden an dem Schwinggebilde verschiedene Kupferscheiben angebracht, und in einen Tiegelofen mit Aluminiumschmelze getaucht, so dass das Blech vollständig von der Schmelze umgeben war. Die Schmelze wurde mit einer Heizung auf 720 °C eingestellt und gehalten, dabei wurde der Schwinger mit konstant geregelter Amplitude in Resonanz angeregt.

Mit der beschriebenen Versuchsanordnung konnte gezeigt werden, dass sich die Benetzung des Bleches aufgrund des Ultraschalleinsatzes erheblich verbessert. Beim Eintauchen des Schwingers mit Kupferscheibe ohne Ultraschallanregung wurde die Kupferscheibe durch die Aluminiumschmelze nicht benetzt. Dementsprechend kam es nicht zum Anschmelzen des Bleches oder einem stoffschlüssigen Verbund.

Die Versuche mit Ultraschallanregung zeigen eine starke Abhängigkeit der Benetzung der Kupferscheiben von der Anregungsintensität. Schwingungsamplituden bis 0,9 μm_{0-P} führen zu einer partiellen Benetzung der Kupferscheibe durch die Aluminiumschmelze. Größere Amplituden wirken sich destruktiv auf das Kupferblech aus, wobei das Blech teilweise, ab 2,9 μm_{0-P} Amplitude vollständig aufschmilzt. Aus diesem Grund ist eine gezielte Prozesssteuerung nötig.

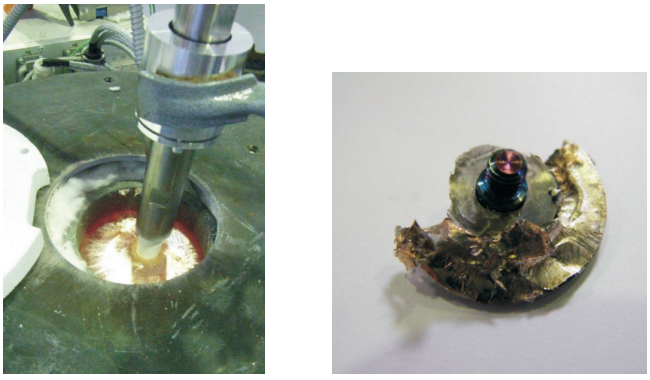


Abbildung 2: Schwinger im Tiegelofen und teilweise aufgelöstes Kupferblech

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Kai-Alexander Saalbach
☎ +49(0)511/762-3696
✉ saalbach@ids.uni-hannover.de

Ultraschallsysteme mit Stoßkontakt

In vielen Prozessen der Ultraschalltechnik spielen Stöße eine wichtige Rolle. Etliche Bauformen von Ultraschallmotoren oder das häufig eingesetzte Ultraschallschweißen erfordern das Stößeln des Ultraschallwerkzeuges auf einem Untergrund. Dabei kann der diskontinuierliche Kontakt einen erheblichen Einfluss auf das Schwingungsverhalten des Aktors haben. Dieser Einfluss wird für verschiedene Anwendungen experimentell und modellbasiert untersucht.

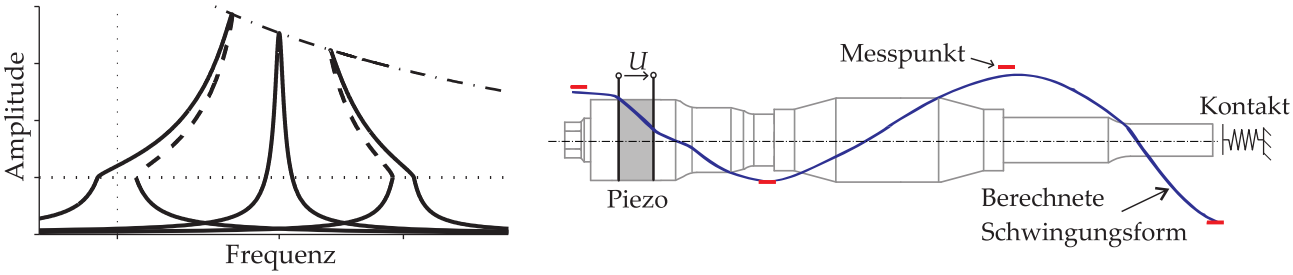


Abbildung 3: Links: Je nach Einbausituation mögliche Frequenzgänge (Analytische Rechnung)
Rechts: Typische Schwingungsform eines Ultraschallschwingers.

Hochfrequente Stoßvorgänge, auch Vibro-Impacts genannt, treten in vielen Ultraschallanwendungen als elementarer Bestandteil des Prozesses auf. Um das Verständnis dieser Kontaktvorgänge und deren Rückwirkung auf das Ultraschallsystem weiter zu verbessern, werden speziell diese Vorgänge sowohl experimentell als auch theoretisch untersucht.

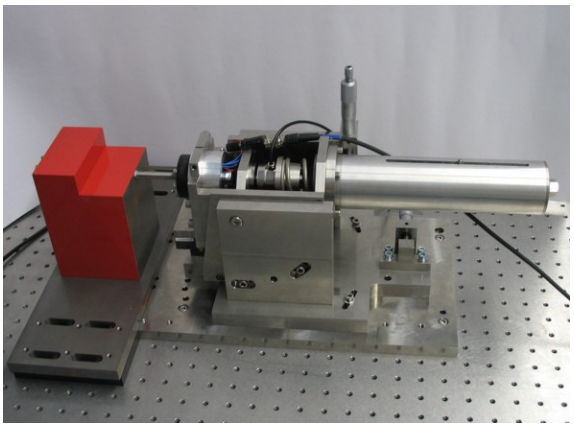


Abbildung 4: Prüfstand zur Ermittlung des Einflusses von Stößen

Abbildung 4 zeigt die Schwingungsform eines Stabes, der in seiner Längsrichtung schwingt. Am rechten Rand ist er mit einer Feder an die Umgebung angebunden. Bei einer sehr kleinen Federsteifigkeit entspricht die Schwingungsform der Form mit freien Randbedingungen, die Amplitude ist an beiden Enden maximal. Wird die Steifigkeit der Anbindung erhöht, verändert sich die Schwingungsform immer mehr in Richtung der Form eine für fest freie Randbedingung. Im Gegensatz zu dieser festen Einstellung der Steifigkeit, ändert sich die Randbedingung bei einem Ultraschallsystem mit Stoßkontakt 20000 mal oder öfter in einer Sekunde zwischen der freien und festen Anbindung und es stellt sich die Frage was für eine Schwingung sich einstellt.

Zur Beschreibung dieser Effekte wurden verschiedene Modellierungsansätze entwickelt; beginnend mit auf wenige Freiheitsgrade reduzierten Modellen, über Finite Elemente Simulationen bis hin zu auf den Wellengleichungen basierenden kontinuierlichen Ansätzen.

Für die experimentelle Validierung der verschiedenen Modelle wurde ein Prüfstand aufgebaut, mit dem sich die Stoßkontaktvorgänge gezielt untersuchen lassen. Hierbei ist ein piezoelektrischer Ultraschallwandler über eine Feder gegen einen annähernd starren Kontaktpartner gedrückt. Mit dem Aufbau lässt sich weiterhin untersuchen in welchen Parameterbereichen die Vibro-Impact Prozesse bestimmte Eigenschaften haben, und wie sie für die jeweilige Anwendung, z.B. in Ultraschallantrieben optimiert werden können.

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Wiebold Wurpts
☎ +49(0)511/762-17247
✉ wurpts@ids.uni-hannover.de

Quasistatischer Hochfrequenzaktor

Im Rahmen eines ZIM-Projektes wurde in Zusammenarbeit mit einem Industriepartner ein quasistatischer Hochfrequenzaktor auf Basis von piezoelektrischen Schwingerregern für Prüfaufgaben entwickelt. Dieser Aktor zeichnet sich unter anderem durch eine sehr hohe Signalgüte sowie die Bereitstellung äußerst hoher Kräfte aus. Das Projekt umfasst die Auslegung, Entwicklung und den Aufbau des piezoelektrischen Aktors einschliesslich der entsprechenden Leistungselektronik und Regelung.

Das Auftreten von Resonanzstellen, bzw. der Betrieb von Aktoren nahe dieser Resonanzen stellt hohe Anforderungen an die Prüftechnik. Infolge des frequenzabhängigen Übertragungsverhaltens kommt es zur unerwünschten Beeinflussung der Ergebnisse. Ideal wäre es, wenn das Verhalten des Aktors unabhängig von der Frequenz wäre. Dies ist zwar prinzipiell nicht möglich, jedoch kann auch bei hohen Frequenzen ein quasistatischer Betrieb realisiert werden, insofern dieser deutlich unterhalb der Resonanzen des Systems stattfindet. Durch eine spezielle Konstruktion wird in diesem Projekt erreicht, dass sich die erste Eigenfrequenz des entwickelten Aktors, im unbelasteten Fall, deutlich oberhalb des gewünschten Betriebsbereiches (500 Hz bis 2000 Hz) befindet und das Aktorverhalten somit als quasistatisch betrachtet werden kann. Die entwickelte Konstruktion zeichnet sich durch eine hohe Kompaktheit aus, bei der 9 piezoelektrische Vielschichtaktoren in einem Gehäuse integriert sind. Die Piezos werden hierbei mit der vom IDS patentierten Wickelvorspanntechnik vorgespannt. Mit diesem Aufbau können auch bei hohen Frequenzen Blockierkräfte von etwa 20 kN, Beschleunigungsamplituden größer 10 g und Stellwege von mehreren Mikrometern erreicht werden.

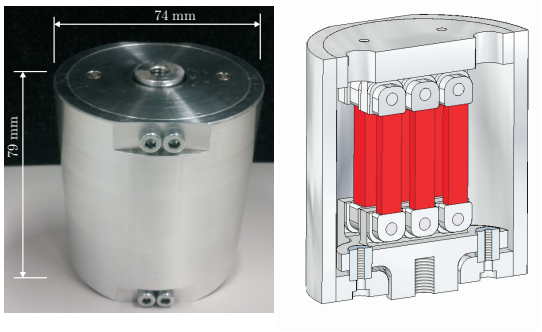


Abbildung 5: Quasistatischer Hochfrequenzaktor

Um eine Biege- und Torsionsbelastung der Piezoelektrischen Aktoren zu vermeiden, wurden Führungen für die bewegten Komponenten in den Aktor integriert. Zusätzlich wurde eine Optimierung des Aktors bezüglich der Spannungsverteilung unter Berücksichtigung des Gewichts der bewegten Masse respektive der Eigenfrequenzen des Gesamtsystems vollzogen. Ein wichtiges Auslegungsziel war die Erreichung einer homogenen Spannungsverteilung, vor allem in den piezoelektrischen Vielschichtaktoren, wird ebenfalls angestrebt. Diese Auslegung erfolgt mittels eines Computermodells und entsprechenden Finite-Elemente Berechnungen. Hierbei wurde ein Modell des Gesamtsystems bestehend aus Aktor und Prüfling erstellt sowie der piezoelektrische Effekt simuliert.

Um bei großen Beschleunigung und hohen Frequenz ein sinusförmiges Kraftsignal mit geforderten 40 dB Signal-to-Noise Ratio im Beschleunigungsverlauf zu erhalten, bedarf es einer entsprechenden Leistungselektronik. Diese wurde ebenfalls im Rahmen des Projektes ausgelegt und aufgebaut. Es musste hierbei darauf geachtet werden, dass die dauerhaft hohen Ströme und Blindleistungen bereitgestellt und abgeführt werden können. Weitere Randbedingungen für die Leistungselektronik bestehen in einem modularen Aufbau unter Nutzung eines möglichst großen Anteils standardisierter Komponenten. Ein im Rahmen dieses Projektes entwickelter Verstärker mit integrierter Regelung entspricht den gestellten Anforderungen und erlaubt einen Betrieb deutlich oberhalb der geforderten Betriebsparameter.

Mit dem konstruierten Aktor und Verstärker wird ein Laborprüfstand aufgebaut, um das Verhalten des realen Gesamtsystems zu bewerten und das erstellte Computermodell anzupassen. Zudem werden erste Messreihen für die gestellte Prüfaufgabe vollzogen und ausgewerten. Hiermit wird ein Vergleich des quasistatischen Hochfrequenzaktors mit konventionellen Schwingerregern ermöglicht.

Ansprechpartner:

M. Sc. Peter Bruns
☎ +49(0)511/762-4527
✉ bruns@ids.uni-hannover.de

Mess- und Steuerungshardware zur Untersuchung von Ultraschallsystemen

Zum Messen, Steuern und Regeln von Ultraschallanwendungen werden spezielle Hardwarelösungen benötigt. Diese werden am Institut für Dynamik und Schwingungen entwickelt. Zur Ausnutzung der Amplitudenüberhöhung werden Ultraschallsysteme in ihrer Resonanzfrequenz betrieben. Laständerungen, Temperatur sowie weitere Faktoren verschieben die Resonanzfrequenz eines Ultraschallsystems, daher ist ein rein gesteuerter Betrieb nicht sinnvoll. Mit Hilfe von Resonanzregelungen können die Systeme stabil in Resonanz betrieben werden.

Für den Betrieb piezoelektrischer Systeme nahe ihrer Resonanz existieren zwei schwingungstechnische Ansätze: zum einen erzwungene Schwingungen und zum anderen selbsterregte Schwingungen. Im Fall erzwungener Schwingungen ist es notwendig, kontinuierlich die Resonanzfrequenz des Ultraschallsystems zu bestimmen. Dies wird bei piezoelektrischen Aktoren üblicherweise durch einen Phasenvergleich zwischen Aktorstrom und -spannung bewerkstelligt. Hierzu kommen im Allgemeinen PLL-Konzepte (**P**hase-**L**ocked-**L**oop) zum Einsatz. Bei selbsterregten Schwingungen wird über ein Begrenzungsglied der Strom mitkoppelnd zurückgeführt. Dieses Prinzip wird auch Autoresonanz oder Self-Oscillation genannt.

Abbildung 6: Digital Phase-Control 500/100K (IDS) System zur Phasen- und Amplitudenregelung

Grundsätzlich besteht die Herausforderung darin, Ultraschallsysteme in Gegenwart von Nichtlinearitäten stabil in ihrem Arbeitspunkt zu betreiben. Hierzu wird das Verhalten von PLL-Konzepten mit dem am Institut für Dynamik und Schwingungen entwickelten Mess- und Regelungssystem (siehe Abbildung 6) untersucht. Mit Hilfe dieser speziell entwickelten Hardware ist der stabile Betrieb von Ultraschallsystemen, in dem als ”instabiler Ast” bezeichneten Bereich nichtlinearer Schwinger, möglich. Normalerweise ist dieser ”instabile Ast” durch das Auftreten des sogenannten Sprungphänomens gekennzeichnet. Mit den am Institut für Dynamik und Schwingungen entwickelten Methoden wird das Sprungphänomen vermieden, und der gesamte Frequenzbereich um die nichtlineare Resonanz steht somit für einen stabilen Betrieb zur Verfügung. Dies wird durch die in Abbildung 7 dargestellte Messung verdeutlicht. Durch die Vorgabe verschiedener Phasenwerte wurde hierbei der Frequenzgang eines nichtlinearen Ultraschallsystems mit dem Regelungssystem aus Abbildung 6 aufgezeichnet.

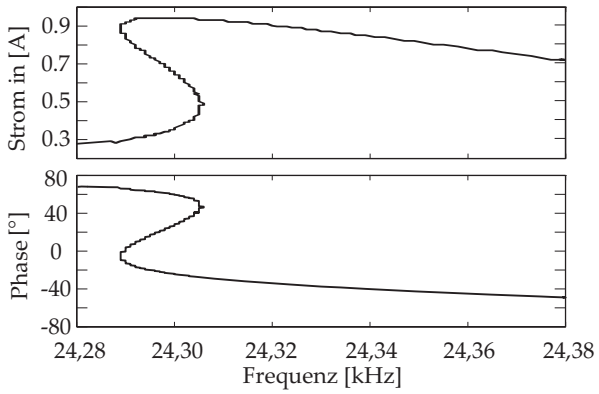


Abbildung 7: Gemessener Frequenzgang eines nichtlinearen Ultraschalltransducers

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Sebastian Mojrzisch
☎ +49(0)511/762-4163
✉ mojrzisch@ids.uni-hannover.de

Aktiv geregeltes Squeeze-Film-Ultraschalllevitationslager

Aufgrund zunehmender Miniaturisierung gewinnen aerodynamische und aerostatische Luftlager zunehmend an Bedeutung. Die Einsatzgebiete erstrecken sich von Mikro-Turbomaschinen bis hin zu Präzisionsanwendungen. Geringe Reibung und Verschleißfreiheit sind die dominierenden Vorteile dieser Lager. Von Nachteil ist die mangelnde Fähigkeit zur Aufnahme mechanischer Wechsellasten. Dieses Problem können aktive Ultraschalllager beheben. Durch Regelung des Luftspalts werden die Lagereigenschaften verändert und somit kritische Schwingungen eliminiert.

Bei der Squeeze-Film-Ultraschalllevitation wird die Kompressibilität der Luft zum Aufbau eines tragenden Luftpolsters genutzt. Durch wiederholte Kompression und Entspannung der Luft entsteht in einem Luftspalt von 20-30μm der tragende Luftfilm. Dabei ist die Tragkraft abhängig von der Schwingungsamplitude der eingesetzten Ultraschalltransducer. Durch Messung des Luftspalts und Regelung der Tragkraft entsteht ein aktives Lager.

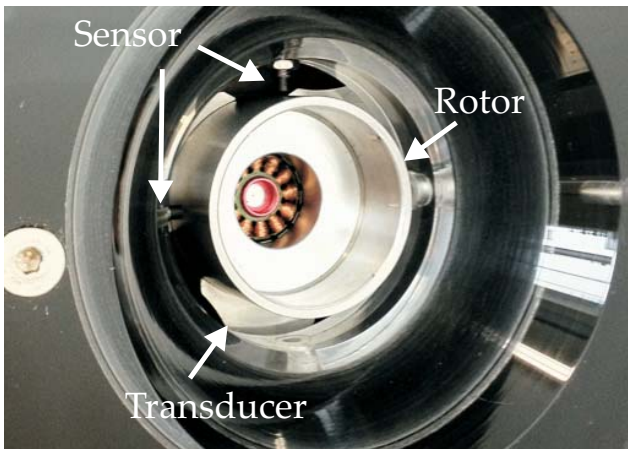


Abbildung 8: Aktives Ultraschalllevitationslager

Abbildung 8 zeigt das am Institut für Dynamik und Schwingungen entwickelte rotatorische Ultraschalllevitationslager, welches zur Untersuchung der dynamischen Lagereigenschaften von Squeeze-Film-Lagern dient. Von besonderem Interesse ist hierbei die Untersuchung der Ultraschalllevitationstechnologie auf deren Eignung für den Einsatz als Lagerkomponente in produktionstechnischen Maschinen. Dazu muss die Stabilität des tragenden Luftfilms bei hohen Geschwindigkeiten sowie mechanischen Wechselbelastungen gesichert sein. Im Zuge dessen werden mit Hilfe von Computersimulationen des Spaltdrucks (siehe Abbildung 9) sowie experimentellen Untersuchungen am realen System die Betriebsbereiche dieser vielversprechenden Lagertechnologie ermittelt. Im Rahmen derzeitiger Untersuchungen werden selbttragende Effekte des Luftfilms gezielt vermieden, können jedoch durch geeignete Formgebung der Laufflächen hinzugefügt werden.

Daneben werden die aktiven Positioniereigenschaften des Lagers untersucht. Hierbei beruht die Aufgabenstellung in einer Verschiebung der Welle aus ihrer Mittellage im Submikrometerbereich. Dies wird durch die sehr geringe Reibung des Lagers ermöglicht. In experimentellen Untersuchungen konnten präzise Bewegungen in 100nm Schritten umgesetzt werden.

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Sebastian Mojrzisch
☎ +49(0)511/762-4163
✉ mojrzisch@ids.uni-hannover.de

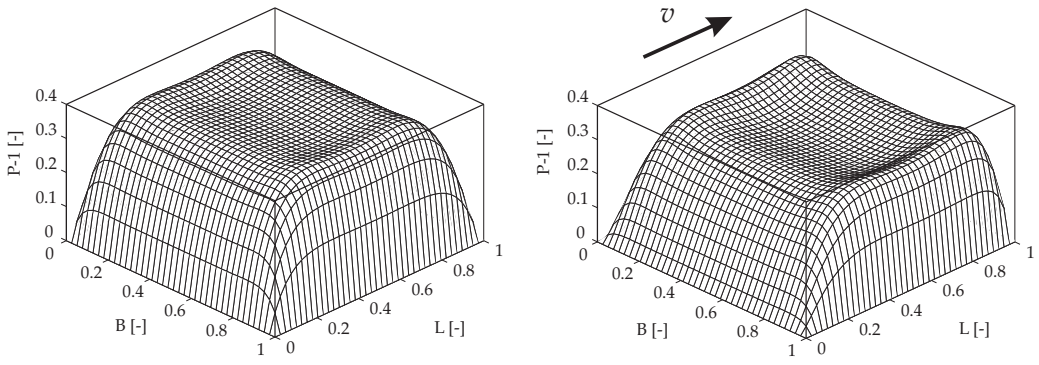


Abbildung 9: Links: Spaltüberdruck bei stehender Welle, Rechts: Spaltüberdruck bei 100.000rpm

Reibungsreduktion im Pneumatikdichtkontakt

Es ist bekannt, dass Reibung durch eine überlagerte Schwingungsanregung reduziert werden kann. Diese Reibungsreduktion wird in verschiedenen Bereichen angewendet. Am IDS wird die Reibung im Dichtkontakt unter Einwirkung von Ultraschall untersucht. Diese Untersuchungen zeigen mögliche Kraftreduktionen von mehr als 75% auf, die stark von der erreichbaren Schwingungsgeschwindigkeit abhängen.

Abbildung 10: Aufbau zum Nachweis der Reibungsreduktion

Die Abbildung 10 zeigt ein am IDS aufgebauten Demonstrator zur Reibungsreduktion im Dichtkontakt mittels Ultraschall. Ein Ultraschallschwinger ist mit einer reibungsarmen Kreuzrollenführung senkrecht geführt. Nur die Haftkraft zwischen Dichtring und Schwinger hält die vertikale Position des Schwingers. Sobald Ultraschall eingeschaltet wird, reduziert sich die Reibung, und der Schwinger bewegt sich aufgrund seines Eigengewichts abwärts.

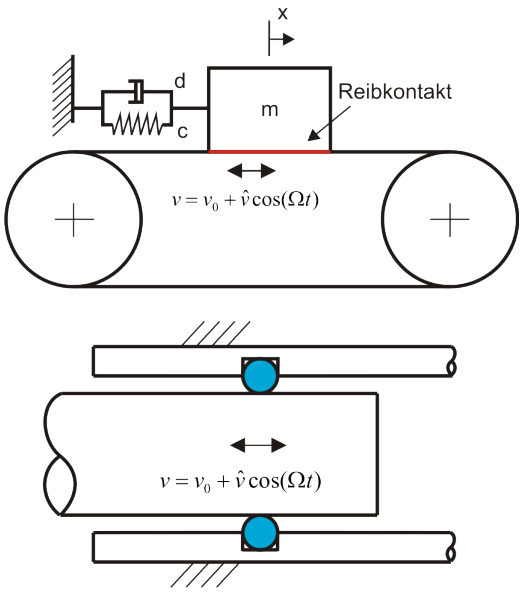


Abbildung 11: Modell der Reibung zwischen Dichtring und schwingender Stange

Im Rahmen dieses Projekts werden Arbeiten zur Modellierung des Reibungsverhaltens im ultraschallüberlagerten Dichtkontakt durchgeführt. In Abbildung 11 ist die Anregung des Kolbens dargestellt. Dabei wird der konstanten makroskopischen Geschwindigkeit v_0 der Stange eine harmonische Bewegung überlagert.

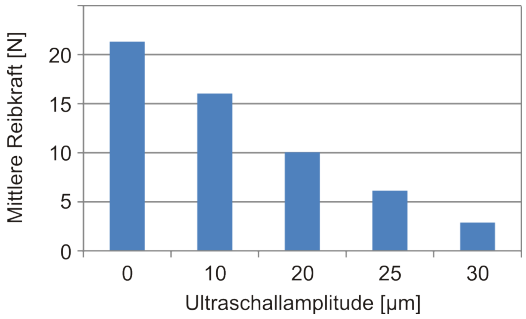


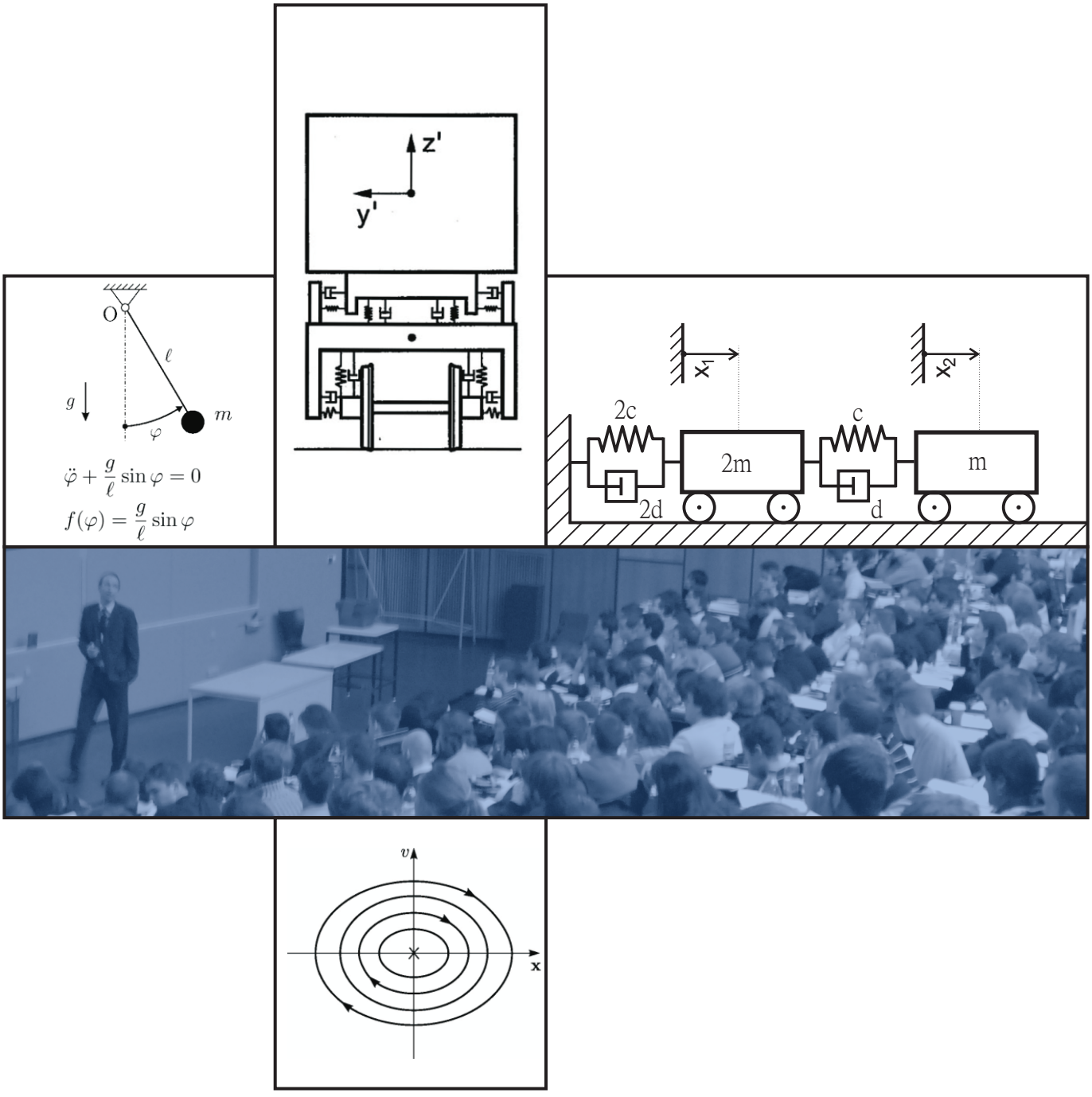
Abbildung 12: Abhängigkeit der Reibkraft von der Schwingungsamplitude

Zur experimentellen Validierung der Simulationsergebnisse wird der Universalprüfstand der Arbeitsgruppe ”Kontaktmechanik und Reibung” verwendet. Die mittlere Reibkraft wird in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern gemessen. Dabei wird insbesondere der Einfluss der Ultraschallamplitude, des Dichtungsmaterials und der makroskopischen Geschwindigkeit untersucht. In Abbildung 12 wird das Verhältnis von der mittleren Gleitreibkraft zur Ultraschallamplitude dargestellt. Es lässt sich eine deutliche Reduktion der Reibung beobachten, die durch höhere Erregeramplituden noch gesteigert werden kann. Die deutliche Reduktion der Reibung zeigt das Potential der Technologie für vielfältige Einsatzzwecke, beispielsweise der Ermöglichung einer sanften Anfahrt eines Pneumatikzylinders.

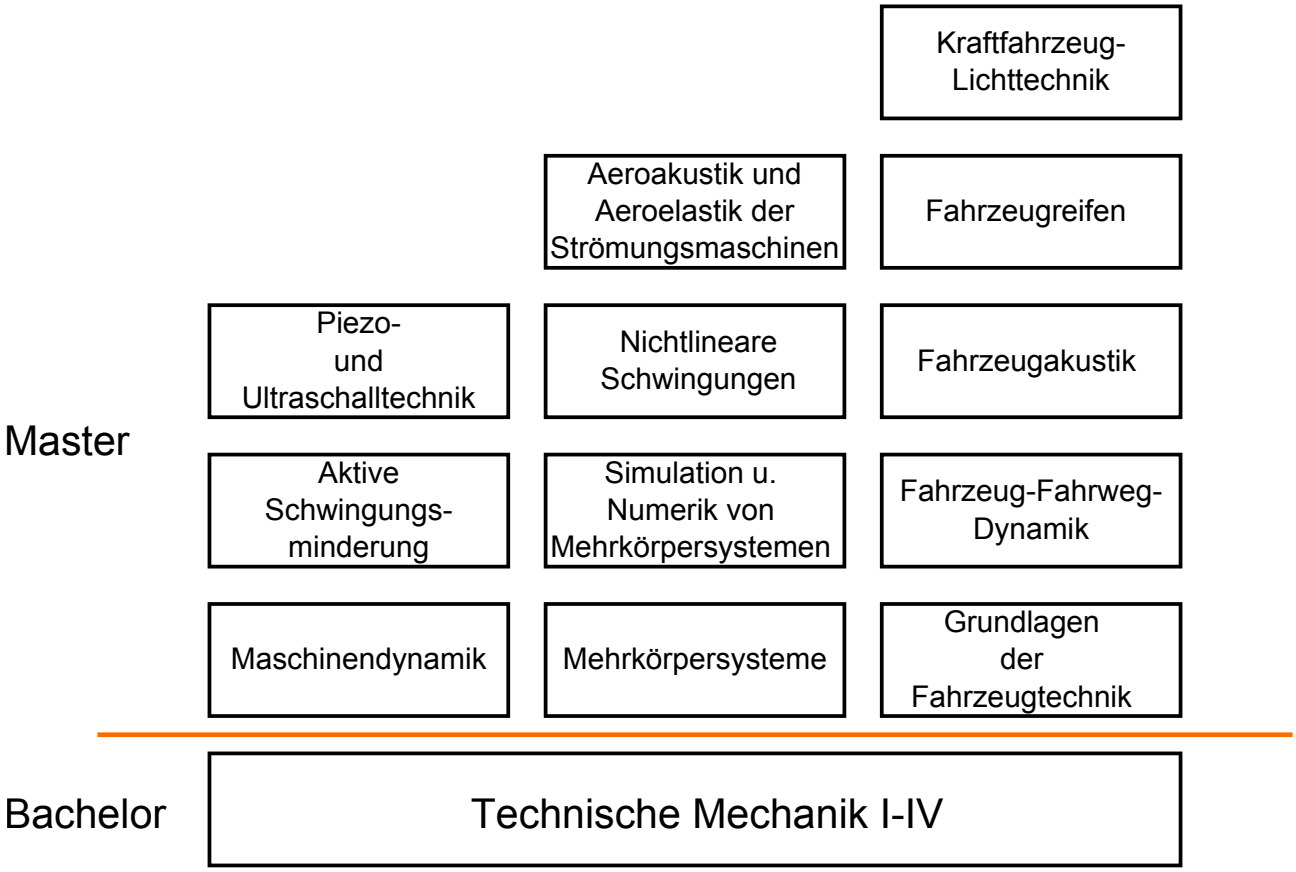
Ansprechpartner:

M. Sc. The Ming Pham
☎ +49(0)511/762-3579
✉ pham@ids.uni-hannover.de

4 Lehre


O
ℓ
g
m
φ
$\ddot{\varphi} + \frac{g}{\ell}\sin\varphi = 0$
$f(\varphi) = \frac{g}{\ell}\sin\varphi$
z'
y'
x1
x2
2c
c
2m
m
2d
d
v
x

4.1 Übersicht



4.2 Lehrveranstaltungen im Grundstudium

Technische Mechanik 1

[Prof. Dr.-Ing. J. Wallaschek, Prof. Dr.-Ing. P. Wriggers]

Grundgrößen, Maßeinheiten, Vektorrechnung, Einführung in die Modellbildung, der Begriff der Kraft, ebene und räumliche Kräftegruppen, Erstarrungsprinzip, NEWTON'sche Axiome, Statik von Systemen starrer Körper, parallele Kräftegruppen, Kräftemittelpunkt und Schwerpunkt, Haftung und Reibung, Seilreibung, Fachwerke, Balken und Rahmen, Arbeits- und Energiebegriffe, Stabilität

Technische Mechanik 2

[Prof. Dr.-Ing. J. Wallaschek, Prof. Dr.-Ing. P. Wriggers]

Einachsiger Zug und Druck, ebener und räumlicher Spannungszustand, Wärmedehnung, Biegung, Torsion, Energiemethoden in der Festigkeitslehre, Knickung, Festigkeitshypothesen, Berechnung von Schnittgrößenverläufen und Verformungen in statisch unbestimmten Systemen

Technische Mechanik 3

[Prof. Dr.-Ing. J. Wallaschek, Prof. Dr.-Ing. P. Wriggers]

Eindimensionale Bewegung, Bewegung eines Punktes im Raum, ebene Bewegung starrer Körper (Momentanpol), Grundlagen der räumlichen Bewegung starrer Körper, Kinetik des starren Körpers, Grundgesetze der Mechanik (Impuls- und Drallsatz) und davon abgeleitete Sätze (Leistungssatz, Arbeitssatz), Trägheitseigenschaften starrer Körper, Stoßvorgänge, Prinzip der virtuellen Verschiebungen, Lagrange'sche Gleichungen

Technische Mechanik 4

[Prof. Dr.-Ing. J. Wallaschek, Prof. Dr.-Ing. P. Wriggers]

Einführung der Grundbegriffe zur Beschreibung von Schwingungen, freie ungedämpfte und gedämpfte Schwingungen von Systemen mit einem Freiheitsgrad, Erzwungene Schwingungen bei harmonischer und periodischer Anregung, Schwingungssysteme mit mehreren Freiheitsgraden (Resonanz und Tilgung), Schwingungen eindimensionaler Kontinua (Stäbe, Balken), Näherungsverfahren

4.3 Lehrveranstaltungen im Hauptstudium

Maschinendynamik

[Prof. Dr.-Ing. J. Wallaschek, Dr.-Ing. M. Neubauer]

Systeme mit endlich vielen Freiheitsgraden, Eigenwert- und Anfangswertproblem, Rayleigh-Quotient, modale Entkopplung, Reduktionsverfahren, Rotordynamik, Laval-Läufer, Kreiselwirkung, Systeme mit gyroskopischen und zirkulatorischen Kräften, Grundlagen der experimentellen Modalanalyse

Mehrkörpersysteme

[Prof. Dr.-Ing. J. Wallaschek, Dr.-Ing. L. Panning]

Kinematische und kinetische Grundlagen, Newton-Euler-Gleichungen, Lagrangesche Gleichungen, Formalismen für MKS, Prinzipe von D'Alembert, Jourdain und Gauß, Stabilitätsprobleme, Analyse des Bewegungsverhaltens anhand von Beispielen, Kreiseltheorie

Aeroakustik und Aeroelastik der Strömungsmaschinen

[Prof. Dr.-Ing. J. Seume, Prof. Dr.-Ing. J. Wallaschek, Dr.-Ing. I. Röhle, Dr.-Ing. L. Panning-von Scheidt]

Grundlagen der Aeroakustik, Schallentstehung und Transport, Aerothermoakustik, Grundlagen der Aeroelastik, Aeroelastische Effekte (Flattern, erzwungene Schwingungen, akustische Resonanz), Stabilitäts- und Auslegungskriterien, Dämpfungscharakteristik (Aerodynamik und Struktur), Mistuning (Struktur und Aerodynamik), experimentelle Untersuchungen (Methodik und Equipment), Diskussion der Effekte am praxisnahen Beispiel der Turbomaschine

Nichtlineare Schwingungen

[Prof. Dr.-Ing. J. Wallaschek, Dr.-Ing. L. Panning]

Freie, selbsterregte, parametererregte und fremderregte Schwingungen, mathematische Beschreibung und Näherungsverfahren, Einführung in die Chaostheorie, Veranschaulichung der nichtlinearen Effekte anhand von Experimenten, Videos und Rechnersimulationen

Aktive Schwingungsminderung

[Prof. Dr.-Ing. J. Wallaschek, Dr.-Ing. M. Neubauer]

Beschreibung und Charakterisierung von Schwingungen, Aufstellen der Bewegungsdifferentialgleichungen für piezomechanische Systeme, Auslegung von Tilgern, Zustandsregelung, Beobachterentwurf, Direct Velocity Feedback, semi-aktive Schwingungsdämpfung durch beschaltete Piezowandler

Kraftfahrzeug-Lichttechnik

[Prof. Dr.-Ing. J. Wallaschek]

Grundlagen der Lichttechnik, Leuchtmittel, Scheinwerfer, Rückleuchten, mechanische und elektronische Komponenten, lichtbasierte Fahrerassistenssysteme, Grundlagen der visuellen Wahrnehmung, Aufbau des Auges, Tag-, Dämmerungs- und Nachtsehen, physiologische und psychologische Blendung, Umfeldsensorik, Bildverarbeitung, aktive lichttechnische Systeme

Lehrveranstaltungen externer Lehrbeauftragter:

Piezo- und Ultraschalltechnik

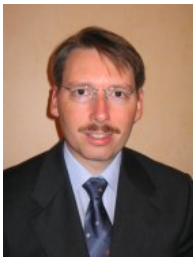
[Dr.-Ing. W. Littmann (Athena Technologie Beratung GmbH)]

Grundlagen der Ultraschalltechnik, technischer Einsatz von Ultraschall, piezoelektrische Werkstoffe, Ultraschallaktoren und -sensoren, Modellbildung, Messtechnik

Simulation und Numerik von Mehrkörpersystemen

[Dr.-Ing. M. Hahn (iXtronics GmbH)]

Einsatz von MKS im mechatronischen Entwurfprozess, Entwurfswerkzeuge, Regelungsentwurf, physikalische Modellbildung von MKS, MKS-Formalismen, Numerik und Integrationsverfahren, echtzeitfähige MKS-Simulation



Grundlagen der Fahrzeugtechnik

[Prof. Dr.-Ing. F. Kücükay (Institut für Fahrzeugtechnik TU BS)]

Fahrzeug-Längsdynamik, Fahrwiderstände, Antriebskennfelder, Fahrleistungen, Kraftstoffverbrauch, Bremsung

Fahrzeugreifen

[Dr.-Ing. B. Wies (Continental Reifen Deutschland GmbH)]

Marktentwicklung und Geschäftsumfeld der Reifenindustrie, Reifenkonstruktion und Reifenentwicklung: Reifenaufbau, Gebrauchseigenschaften, Normen und gesetzliche Anforderungen, Fertigungstechnik, Materialeinsatz, physikalische Eigenschaften von Gummi & Viskoelastizität, Gummireibung, stationäre und instationäre Reifenführungskräfte, Reifenmechanik & Reifenkennlinien, Reifenversuch, Reifenmodelle & Simulation

Fahrzeugakustik

[Dr.-Ing. G. S. Gäbel (Volkswagen AG)]

Grundlagen der Akustik, Schallwahrnehmung, Akustische Messtechnik und Messverfahren, Normen und Richtlinien, Fahrzeuggeräusche, Schalldämpfung und Schalldämmung im Fahrzeug, aktive Maßnahmen zur Luft- und Körperschallkompensation

Fahrzeug-Fahrweg-Dynamik

[Dr.-Ing. G. S. Gäbel (Volkswagen AG)]

Modelle für die Komponenten Fahrzeug, Fahrweg inkl. stochastischer Störungen, Trag- und Führsystem; Verknüpfung der Komponenten zum Gesamtsystem, Rad-Schiene-Spurführung, Reifen-Fahrbahn-Kontakt; Vertikaldynamik: Untersuchung der Auslegungsziele Fahrstabilität, Fahrsicherheit und Fahrkomfort; Einspurmodell; aktive Systeme; Anwendungen auf Straßen-, Schienen- und Magnetschwebefahrzeuge; Gastvorträge durch Dozenten von Bombardier, Continental, Wabco, u.a.

4.4 Tutorien

4.4.1 ACTIVE-**A**dvanced **C**lassroom for **T**raining **i**n **V**ibration **E**xperiments

Abbildung 1: Derzeitiger Stand des Ausbaus des ACTIVE-Labors

Im vergangenen Jahr 2011 wurde am Institut für Dynamik und Schwingungen das alte Studentenlabor von Grund auf neu gestaltet und modernisiert. Ziel des Vorhabens war es, das Lehrangebot qualitativ und quantitativ zu erweitern und den Studenten einen praxisnahen Zugang zu den erlernten theoretischen Grundlagen durch Tutorien zu ermöglichen. Die angebotenen Tutorien schlagen zusätzlich eine Brücke zu den aktuellen Forschungsthemen des Instituts.

Die Kernkomponente des entstandenen Labors bilden sechs Arbeitsplätze mit gleichwertiger Ausstattung, die jeweils von zwei Studierenden genutzt werden. Die Tutorien behandeln verschiedene Themen, sind aber didaktisch gleichartig aufgebaut. Anhand eines Leitbeispiels wird der Inhalt motiviert, im Tutorium wird dann dieses Leitbeispiel untersucht. Dabei wird ein hohes Maß an Eigeninitiative der Studierenden vorausgesetzt. Die Betreuerin bzw. der Betreuer übernehmen die Rolle eines jederzeit ansprechbaren Experten, der bei auftretenden Fragen Hilfestellung zum Finden des Lösungsweges geben kann, dabei jedoch darauf achtet, dass die Studierenden die Lösung weitgehend selbständig erarbeiten. Der Schwerpunkt liegt auf experimentellen Arbeiten zur Vertiefung der Grundlagen aus den Fachvorlesungen. Dabei kommen moderne Messgeräte zum Einsatz. So lernen die Studenten ”ganz nebenbei” auch die Nutzung aktueller Messtechnik, wie sie diese auch später an typischen Arbeitsplätzen in der Industrie vorfinden werden. Die Arbeitsplätze sind so gestaltet, dass verschiedene Tutorien realisierbar sind und darüber hinaus die geschaffene Infrastruktur für studentische Projekt- und Abschlussarbeiten genutzt werden kann.
Die Tutorien umfassen folgende Themengebiete:

- Resonante Systeme
- Aktive Schwingungsminderung
- Experimentelle Modalanalyse
- Quasistatische piezoelektrische Sensorik und Aktorik
- Kontaktmechanik und Reibung

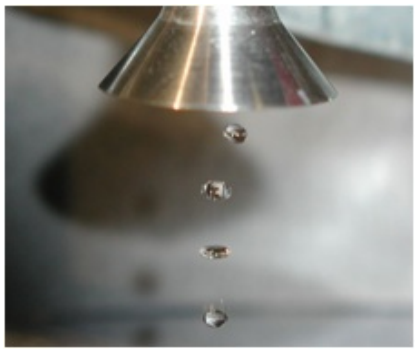


Abbildung 2: Ultraschall-Tropfen-Levitationssystem

Das Tutorium ”Resonante Systeme” wurde 2012 als Pilotprojekt durchgeführt. Im Rahmen dieses Tutoriums werden Schwingungssysteme untersucht, die nahe ihrer Resonanzfrequenz betrieben werden, um große Schwingungs-Amplituden im Betrieb zu erreichen. Neben Nichtlinearitäten spielt dabei die, meist geringe, im System vorhandene Dämpfung eine große Rolle. Als Leitbeispiel dieses Tutoriums dient ein Ultraschall-Tropfen-Levitationssystem (Abbildung 2).

4.4.2 Tutorien-Simulationssoftware

MATLAB-Tutorium

Das Tutorium wird gemeinsam vom imes, imr, IFW und dem IDS angeboten. Ziel ist die Vermittlung grundlegender Kenntnisse in Matlab/Simulink. Das Tutorium wird in Form aktiver Übungen im CIP-Pool der Fakultät durchgeführt und umfasst 5 Termine. Zusätzlich wird jeweils eine weitere Präsenzzeit angeboten, in denen die Studenten unter Betreuung frei üben können. Zur Erlangung einer Teilnahmebestätigung ist die Anwesenheit an allen Terminen sowie die Abgabe von zu erstellenden Hausaufgaben nötig. Das Tutorium umfasst die folgenden Themengebiete:

- Einführung
- Programmierung
- Messdatenverarbeitung
- Mehrkörpersysteme und Schwingungen
- Grundlagen der Regelungstechnik

ANSYS Classic Tutorium

Das Tutorium umfasst die folgenden Themengebiete:

- Erlernen des einführenden Umgangs mit dem Finite Elemente Programm Ansys.
- Erlernen der selbständigen Durchführung einer mechanischen Analyse.
- Einführung in die apdl-Programmierung.

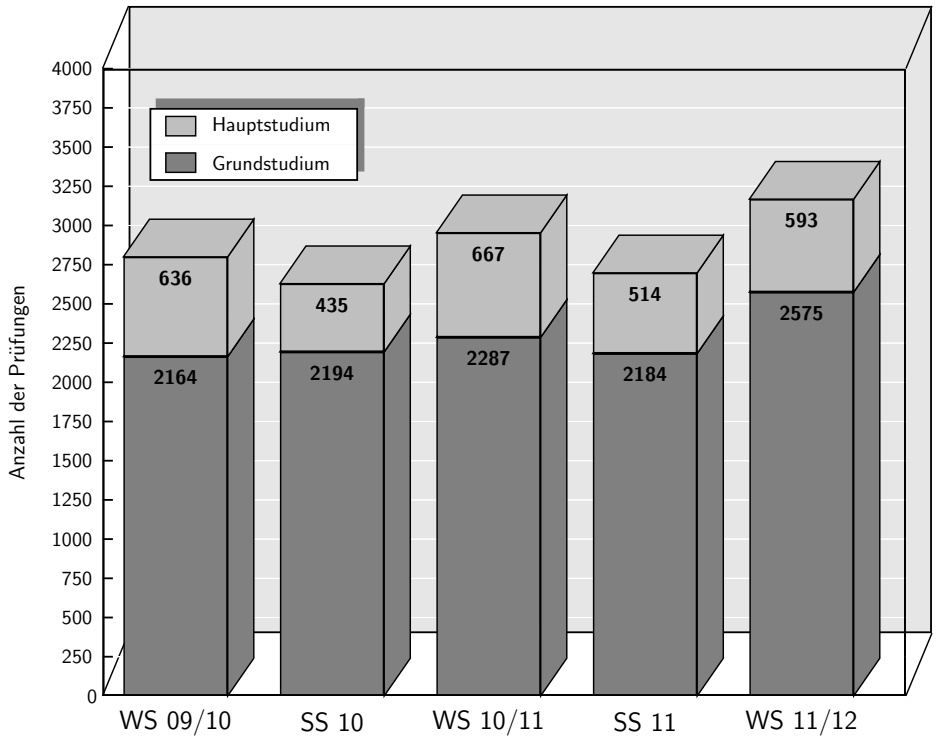
ANSYS Workbench Tutorium

Das Tutorium soll den Einstieg in das Finite-Elemente-Programm Ansys Workbench ermöglichen. Dabei soll in kleinen Gruppen aktiv der Umgang mit dem Programm erarbeitet und geübt werden. Zusätzlich werden Zusatzaufgaben angeboten, die in zusätzlichen Übungsstunden durchgeführt werden können. Zur Erlangung einer Teilnahmebestätigung ist die Anwesenheit an allen Terminen sowie die Abgabe von zu erstellenden Hausaufgaben nötig.
Das Tutorium umfasst die folgenden Themengebiete:

- Einführung
- Geometrieerstellung
- Statische Analyse
- Modalanalyse
- Harmonische Analyse

4.5 Prüfungen

	WS 09/10		SS 10		WS 10/11		SS 11		WS 11/12	
	schriftlich	mündlich	schriftlich	mündlich	schriftlich	mündlich	schriftlich	mündlich	schriftlich	mündlich
Grundstudium (gemeinsam mit dem IKM)										
Technische Mechanik 1	887	84	302	24	817	44	291	23	1039	42
Technische Mechanik 2	249	14	888	99	332	26	830	52	398	26
Technische Mechanik 3	667	73	290	27	782	68	298	23	715	69
Technische Mechanik 4	178	12	522	42	210	8	641	26	278	8
Σ	1981	183	2002	192	2141	146	2060	124	2430	145
Σ	2164		2194		2287		2184		2575	
Hauptstudium										
Maschinendynamik	449	64	218	11	475	38	243	16	335	64
Mehrkörpersysteme	90	-	8	-	80	-	19	-	130	-
Nichtlineare Schwingungen	5	-	33	-	7	-	30	-	7	-
Fahrzeug-Fahrweg-Dynamik	12	-	73	-	20	-	78	-	25	-
Aktive Schwingungsminderung	-	-	-	10	-	-	-	5	-	-
Kraftfahrzeug-Lichttechnik	-	4	-	-	-	10	-	-	-	8
Piezo- und Ultraschalltechnik	-	1	-	1	-	-	-	7	-	-
Simulation und Numerik von Mehrkörpersystemen	-	-	-	10	-	2	-	6	-	-
Grundlagen d. Fahrzeugtechnik	3	-	48	-	9	-	72	-	11	-
Fahrzeugreifen	-	-	-	12	-	10	-	27	-	13
Fahrzeugakustik	-	-	-	9	-	-	-	11	-	-
Schienenfahrzeuge	-	18	-	-	-	16	-	-	-	-
Σ	559	77	380	55	591	76	442	72	508	85
Σ	636		435		667		514		593	
Σ gesamt	2800		2629		2954		2698		3168	



4.6 Exkursionen

- **Siemens AG**
  Mülheim/Ruhr, 20.04.2012, durchgeführt im Rahmen der Vorlesung Mehrkörpersysteme
- **Audi AG**
  Ingolstadt, 30.01.2012, durchgeführt im Rahmen der Vorlesung KFZ-Lichttechnik
- **HELLA KGaA Hueck & Co**
  Lippstadt, 23.01.2012, durchgeführt im Rahmen der Vorlesung KFZ-Lichttechnik
- **HELLA KGaA Hueck & Co**
  Lippstadt, 21.10.2011, durchgeführt im Rahmen der Vorlesung KFZ-Lichttechnik
- **Continental AG**
  Hannover-Stöcken , 13.07.2011, durchgeführt im Rahmen der Vorlesungen Fahrzeug-Fahrwegdynamik
- **iXtronics**
  Paderborn, 06.07.2011, durchgeführt im Rahmen der Vorlesung Simulation und Numerik von Mehrkörpersystemen
- **Siemens AG**
  Mülheim/Ruhr, 30.03.2010, durchgeführt im Rahmen der Vorlesung Mehrkörpersysteme
- **Continental AG**
  Hannover-Stöcken, 08.07.2010, durchgeführt im Rahmen der Vorlesungen Fahrzeugreifen und Fahrzeugakustik
- **iXtronics**
  Paderborn, 23.06.2010, durchgeführt im Rahmen der Vorlesung Simulation und Numerik von Mehrkörpersystemen

5 Anhang

Leibniz Universität Hannover

Institut für Dynamik und Schwingungen IDS

5.1 Dissertationen

Liste der von Prof. Wallaschek in Hannover betreuten Promotionen und Habilitationen

- M. Wangenheim
  “Untersuchungen zur Mischreibung in technischen Reibkontakten”, 2012
- J. Twiefel
  “Experimentelle und modellbasierte Untersuchung von Stehwellenantrieben”, 2010
- C. Neuber
  “Aktive Schwingungsreduktion durch Magnetführungen”, 2010
- R. Christel
  “Aktive Schwingungsminderung an gekoppelten Zylindern in Rollenoffsetdruckmaschinen mittels piezokeramischer Aktoren an den Lagerstellen”, 2010
- A. Bürge
  “Modellierung und experimentelle Parameteridentifikation nichtlinearer Reibkontakte bei Turbinenschaufeln”, 2009
- G. Gäbel
  “Wechselwirkungen zwischen Reifen und Fahrbahn: Ursachen, Wirkungen und Erklärungen lokaler Kontaktphänomene”, 2009
- F. Gutzeit
  “Experimentelle und theoretische Untersuchungen zum dynamischen Rollkontakt von Elastomeren”, 2009
- C. Potthast
  “Numerische und experimentelle Untersuchung eines Ultraschall-Schlagbohrwerkzeugs”, 2009
- F. Schiedeck
  “Entwicklung eines Modells für Formgedächtnisaktoren im geregelten dynamischen Betrieb”, 2009
- M. Neubauer
  “Schwingungsdämpfung mit beschalteten Piezoelementen am Beispiel einer quietschenden Scheibenbremse”, 2008
- L. Bellmann
  “Untersuchungen zu den viskoelastischen Eigenschaften von Bremsbelägen im Parameterbereich des Bremsenquietschens”, 2008
- H. R. Zarei
  “Experimental Investigation of Crash Structures Using Aluminium Alloys”, 2008

Liste der von Prof. Wallaschek in Paderborn betreuten Promotionen und Habilitationen

- K. Meissner
  “Reduzierung der Belastung der Chips beim Ultraschall-Flip-Chip-Bonden durch zweiachsige Anregung”, 2011
- R. Król
  “Eine Reduktionsmethode zur Ableitung elektromechanischer Ersatzmodelle für piezoelektrische Wandler unter Verwendung der Finite-Elemente-Methode (FEM)”, 2010

- S. Raphael
  “Characterization of Mesopic Vision for Luminance Photometry”, 2010

- B. Richter
  “Modellbasierter Entwurf resonant betriebener, piezoelektrischer Biegeschwinger in Energy Harvesting Generatoren”, 2010

- M. Mracek
  “Untersuchung des dynamischen Verhaltens gekoppelter piezoelektrischer Ultraschallmotoren mit Stoßkontakt”, 2010

- S. Zhao
  “Investigation of Non-contact Bearing Systems Based on Ultrasonic Levitation”, 2010

- S. Wedmann
  “Lebensdauerüberwachung in mechatronischen Systemen”, 2009

- T. Müller
  “Integration von Verlässlichkeitsanalysen und -konzepten innerhalb der Entwicklungsmethodik mechatronischer Systeme”, 2009

- A. Reeg
  “Entwicklung und Aufbau eines fahrbaren Labors zur Demonstration und Bewertung innovativer Innenlichtkonzepte”, 2009

- M. Brökelmann
  “Entwicklung einer Methodik zur Online-Qualitätsüberwachung des Ultraschall-Drahtbondprozesses mittels integrierter Mikrosensorik”, 2009

- N. Neumann
  “Analyse nicht-glatter dynamischer Systeme mit mengenorientierten Methoden am Beispiel eines Ultraschall-Stoßbohrsystems”, 2008

- S. Strauss
  “Theoretische und experimentelle Untersuchungen zum Einsatz gepulster Halbleiterlichtquellen in der Kraftfahrzeugbeleuchtung”, 2007

- S. Völker (Habilitation)
  “Hell- und Kontrastempfindung - ein Beitrag zur Entwicklung von Zielfunktionen für die Auslegung von Kraftfahrzeug-Scheinwerfern”, 2007

- T. Brandt
  “A predictive potential field concept for shared vehicle guidance”, 2007

- M. Hiller
  “Correlation between Parameters of the Tribosystem and Automotive Disc Brake Squeal”, 2006

- R. Kauschke
  “Systematik zur lichttechnischen Gestaltung von aktiven Scheinwerfern”, 2006

- P. Kuhl
  “Anpassung der Lichtverteilung des Abblendlichts an den vertikalen Straßenverlauf”, 2006

- S. Halfmeier
  “Modellierung und Regelung von Halbtoroidvariatoren in leistungsverzweigten Getriebestrukturen”, 2006

- K. Mahmoud
  “Theoretical and experimental investigations on a new adaptive duo servo drum brake with high and constant brake shoe factor”, 2005

- B. Fu
  “Entwurf piezoelektrischer Aktoren mittels Mehrzieloptimierungsverfahren”, 2005

- J. Roslak
  “Entwicklung eines aktiven Scheinwerfersystems zur blendungsfreien Ausleuchtung des Verkehrsraums”, 2005

- S. Henzler
  “Methodik zur Konzeption der Struktur und der Regelung leistungsverzweigter Getriebe mit Toroidvariator”, 2004

- H. Storck
  “Optimierung der Kontaktvorgaenge bei Wanderwellenmotoren”, 2003

- W. Wickord
  “Zur Anwendung probabilistischer Methoden in den fruehen Phasen des Systementwurfs”, 2003

- W. Littmann
  “Piezoelektrische, resonant betriebene Ultraschall-Leistungswandler mit nichtlinearen mechanischen Randbedingungen”, 2003

- E. Fründ
  “Aktive Kompensation von periodischen Schwingungen an rotierenden Walzen”, 2003

- S. Goldschmidt
  “Anwendung mengenorientierter numerischer Methoden zur Analyse nichtlinearer dynamischer Systeme am Beispiel der Spurfuehrungsdynamik von Schienenfahrzeugen”, 2003

- H. Kemmer
  “Investigation of the Friction Behavior of Automotive Brakes through Experiments and Tribological Modeling with Application for the Prediction of Brake Noise Generation”, 2002

- T. Hemsel
  “Untersuchung und Weiterentwicklung linearer piezo-elektrischer Schwingungsantriebe”, 2001

- A. Henke
  “Modellbildung, Simulation und Optimierung piezoelektrischer Stellsysteme”, 2001

- H. Vroomen
  “Zur Anwendung von Plattenschwingungen bei resonanten Sensoren”, 2000

- T. Börnchen
  “Zur Entwicklung dynamischer Komponenten fuer variables Kraftfahrzeug-Scheinwerferlicht”, 2000

- G. Poetsch
  “Untersuchung und Verbesserung numerischer Verfahren zur Simulation von Stromabnehmer-Kettenwerk-Systemen”, 2000

- M. Kuemmel
  “Integration von Methoden und Werkzeugen zur Entwicklung von mechatronischen Systemen”, 1999

- J. Krome
  “Modelle zur Untersuchung des Schwingungsverhaltens von Statoren fuer piezoelektrische Ultraschall-Wanderwellenmotoren”, 1999

- P. Rehbein
  “Tribologische Untersuchungen von hochfrequent schwingenden Gleitkontakten fuer den Einsatz in reibkraftschluessigen Antrieben”, 1998
- K. Petri
  “Vergleichende Untersuchung von Berechnungsmodellen zur Simulation der Dynamik von Fahrleitung-Stromabnehmer-Systemen”, 1996

Liste der von Prof. Popp in Hannover betreuten Promotionen und Habilitationen

- F. Götting
  “Analyse des Schwingungsverhaltens von verstimmten Beschaufelungen mit Reibelementen”, 2005
- M. Lindner
  “Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Gummireibung an Profilklötzen und Dichtungen”, 2005
- A. Michaelsen
  “Konzeption und Regelung eines treppengängigen Rollstuhls”, 2005
- L. Panning
  “Auslegung von Reibelementen zur Schwingungsdämpfung von Turbinenschaufeln”, 2005
- J.-U. Bruns
  “Detektion und Identifikation von Nichtlinearitäten in mechanischen Schwingungssystemen”, 2004
- M. Rottmann
  “Zum Stabilitätsverhalten von Einzelprofilen und Rohrbündeln bei turbulenter Anströmung”, 2004
- M. Ruskowski
  “Aufbau und Regelung aktiver Magnetführungen”, 2004
- C. Scholz
  “Fahrzeugautarkes Ortungssystem für Lokomotiven auf der Basis schlupfbehafteter Wegmessung”, 2003
- H. Kruse
  “Modellgestützte Untersuchung der Gleisdynamik und des Verhaltens von Eisenbahnschotter”, 2002
- H. Reckmann
  “Aktive Schwingungsreduktion an einem elastischen Fahrweg unter bewegter Masse”, 2002
- I. Hachmann
  “Modellgestützte Detektion von Rissen in Turborotoren”, 2001
- W. Sextro (Habilitation)
  “Dynamical Contact Problems with Friction: Modells, Methods, Experiments and Applications”, 2001
- S. Kapitzke
  “Bestimmung fahrdynamischer Daten auf Schienenfahrzeugen anhand des Verlaufes von Zugfahrten”, 2001
- M. Kröger
  “Methodische Auslegung und Erprobung von Fahrzeug-Crashstrukturen”, 2001
- M. Oestreich
  “Untersuchung von Schwingern mit nichtglatten Kennlinien”, 1998

- O. Romberg
  “Zum Turbulenzeinfluß auf das Schwingungsverhalten querangeströmter Rohrbündel”, 1998
- T. Frischgesell
  “Modellierung und Regelung eines elastischen Fahrweges”, 1997
- N. Hinrichs
  “Reibungsschwingungen mit Selbst- und Fremderregung: Experiment, Modellierung und Berechnung”, 1997
- W. Sextro
  “Schwingungsverhalten von Schaufelkränzen mit Reibelementen bei Frequenzverstimmung”, 1997
- K.-D. Tieste
  “Mehrgrößenregelung und Parameteridentifikation einer Linear-Magnetführung”, 1997
- T. Treyde
  “Modellierung des Kontaktes zwischen den Deckplatten von Turbinenschaufeln”, 1995
- M. Jahnke
  “Ein Beitrag zur Untersuchung elastischer Mehrkörpersysteme unter Nutzung von Finite-Elemente-Software”, 1994
- R. Austermann
  “Zum Schwingungsverhalten querangeströmter Rohrbündel bei Anregung vom Galloping-Typ”, 1993
- B. Balmer
  “Erhöhung der Dämpfung von Turbinen durch Reibelemente”, 1993
- H. Lindner
  “Untersuchungen zum Turbulenzeinfluß auf die Galloping-Schwingungen rechteckiger prismatischer Körper”, 1993
- H. Liu
  “Zum statischen und dynamischen Verhalten einer Zylinderschale mit kreisförmigem Ausschnitt bei Innendruck”, 1993
- A. Ducci
  “Identifikation strömungsselbsterregter Schwingungssysteme”, 1992
- P. W. Blohm
  “Untersuchung des nichtlinearen Übertragungsverhaltens von Strukturen mit lokalen Fügestellen”, 1991
- U. Fingberg
  “Ein Modell für das Kurvenquietschen von Schienenfahrzeugen”, 1990
- D. Hartmann
  “Rißformidentifikation an Rotoren mit Hilfe der Gleichstrom-Potentialmethode”, 1990
- K. Klamt
  “Zur optimalen Schwingungsdämpfung durch trockene Reibung in lokalen und ausgedehnten Fügestellen”, 1990
- P. Stelter
  “Nichtlineare Schwingungen reibungserregter Strukturen”, 1990
- E. de Mesquita Neto
  “Zur dynamischen Wechselwirkung von Fundamenten auf viskoelastischem Halbraum”, 1989

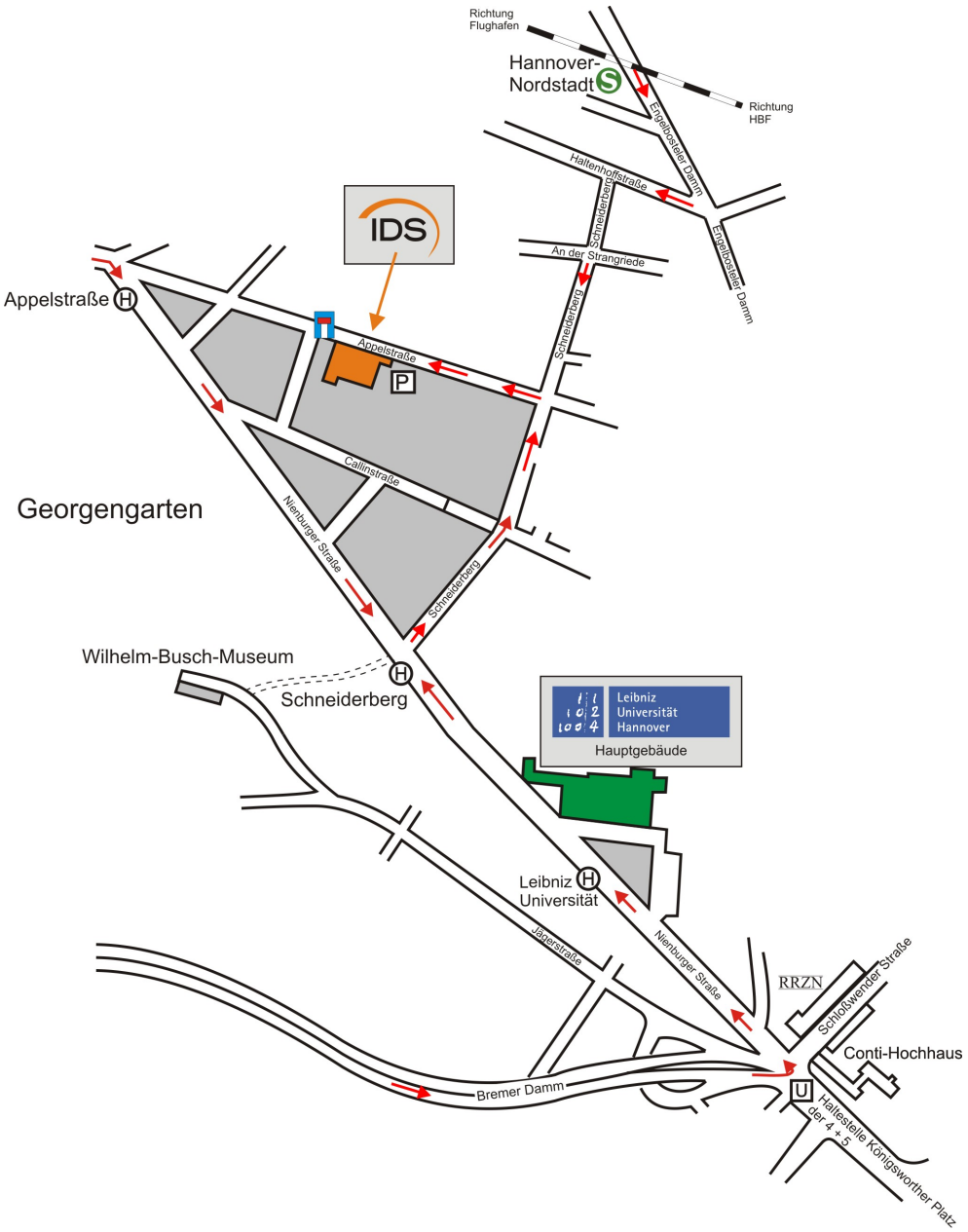
- M. Andjelic
  “Stabilitätsverhalten querangeströmter Rohrbündel mit versetzter Dreiecksverteilung”, 1988
- L. Czerny
  “Analyse instationärer Zufallsschwingungen”, 1987
- N. Petersmann
  “Substrukturtechnik und Kondensation bei der Schwingungsanalyse”, 1985
- E. Schneider
  “Schwingungsverhalten und Schallabstrahlung von Schienenrädern”, 1985
- H. Wißbrock
  “Untersuchungen zur Fugendämpfung zusammengesetzter Bauteile”, 1985
- H. Windrich
  “Zur Untersuchung stochastisch parameter- und fremderregter linearer Systeme”, 1984

5.2 IDS Schriftenreihe

1. **Untersuchungen zu Reibmechanismen an Pneumatikdichtungen**
   Matthias Wangenheim 140 S., 79 Abb., ISBN 978-3-943104-63-9
2. **Aktive Schwingungsminderung an gekoppelten Zylindern in Rollenoffsetdruckmaschinen mittels piezokeramischer Aktoren an den Lagerstellen**
   Ralf Christel 182 S., ISBN 978-3-941416-45-1
3. **Experimentelle und modellbasierte Untersuchung von Stehwellenantrieben**
   Jens Twiefel 175 S., 96 Abb., ISBN 978-3-941416-83-3
4. **Investigation of Non-contact Bearing Systems Based on Ultrasonic Levitation**
   Su Zhao 113 S., Bericht in Englisch, ISBN 978-3-941416-70-3
5. **Aktive Schwingungsreduktion durch Magnetführungen**
   Cord-Christian Neuber, 117 S., 90 Abb., ISBN 978-3-941416-54-3
6. **Untersuchungen zu den viskoelastischen Eigenschaften von Bremsbelägen im Parameterbereich des Bremsenquietschens**
   Lutz Bellmann 150 S., 74 Abb., gebunden, ISBN 978-3-941416-12-3
7. **Schwingungsdämpfung mit beschalteten Piezowandlern und Anwendung zur Unterdrückung von Bremsenquietschen**
   Marcus Neubauer 197 S., 116 Abb., gebunden, ISBN 978-3-941416-13-0
8. **Entwicklung eines Modells für Formgedächtnisaktoren im geregelten dynamischen Betrieb**
   Florian Schiedeck, 130 S., 112 Abb., gebunden, ISBN ISBN 978-3-941416-23-9
9. **Numerische und experimentelle Untersuchung eines Ultraschall-Schlagbohrwerkzeugs**
   Christian Potthast 207 S., 152 Abb., gebunden, ISBN 978-3-941416-28-4
10. **Beobachtung und Modellierung lokaler Phänomene im Reifen-Fahrbahn-Kontakt**
    Gunnar Simon Gäbel 147 S., 85 Abb., gebunden, ISBN 978-3-941416-29-1
11. **Modellierung und experimentelle Parameteridentifikation nichtlinearer Reibkontakte bei Turbinenschaufeln**
    Annika Bürge 96 S., 56 Abb., ISBN 978-3-941416-41-3

Die aufgeführten Publikationen sind erhältlich unter: **http://www.pzh-gmbh.de/pzhgmbh-verlag_publ.html**

6 Anfahrt



- Anreise mit dem PKW:
  Autobahn A2 bis Herrenhausen, dann die B6 stadteinwärts bis zum Bremer Damm. Weiter gemäß Lageplan.

- Anreise mit der Bahn:
  Vom Hauptbahnhof mit der U-Bahn (Linien 1, 2, 3, 7 oder 9) oder zu Fuß (ca. 5 Minuten) zum Kröpcke, dann Linie 4 Richtung Garbsen oder Linie 5 Richtung Stöcken bis zur Haltestelle Schneiderberg oder Appelstraße (Fahrtzeit ca. 5 min.). Weiter zu Fuß gemäß Lageplan (ca. 5 Minuten).

- Anreise mit dem Flugzeug:
  Vom Flughafen mit der S5 (alle 30 Minuten, Fahrtzeit ca. 20 Minuten) bis Hannover-Nordstadt. Weiter zu Fuß gemäß Lageplan (ca. 5 Minuten).
  Oder per Taxi (Fahrtzeit ca. 20 Minuten).

7 Impressum

Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. J. Wallaschek
Institut für Dynamik und Schwingungen
Appelstraße 11
30167 Hannover
Germany

Redaktion

Dipl.-Ing. I. Gorelik

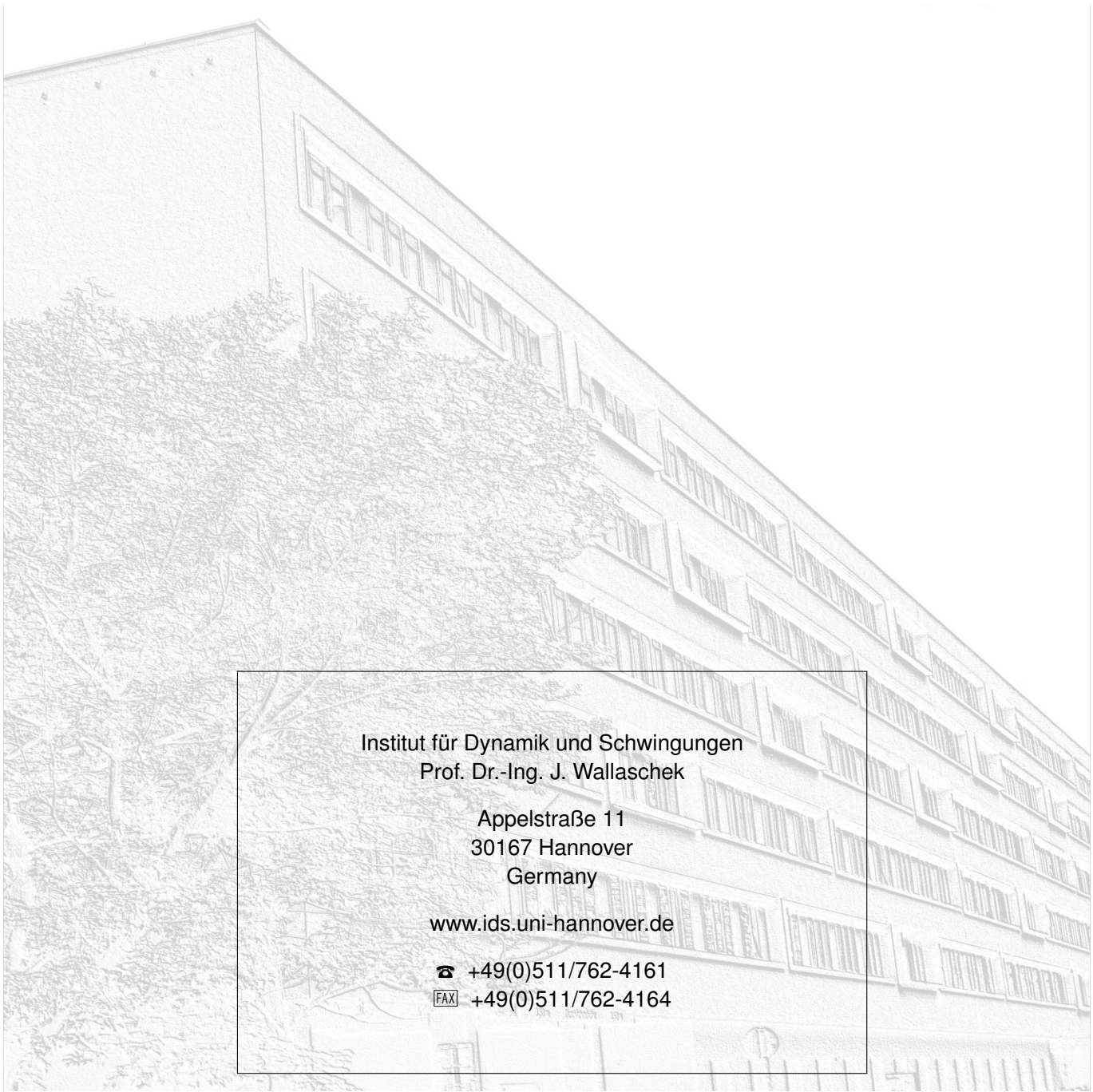
Layout

Dipl.-Ing. A. Renner

06/2012

Institut für Dynamik und Schwingungen

Leibniz Universität Hannover



Institut für Dynamik und Schwingungen
Prof. Dr.-Ing. J. Wallaschek

Appelstraße 11
30167 Hannover
Germany

www.ids.uni-hannover.de

☎ +49(0)511/762-4161
FAX +49(0)511/762-4164