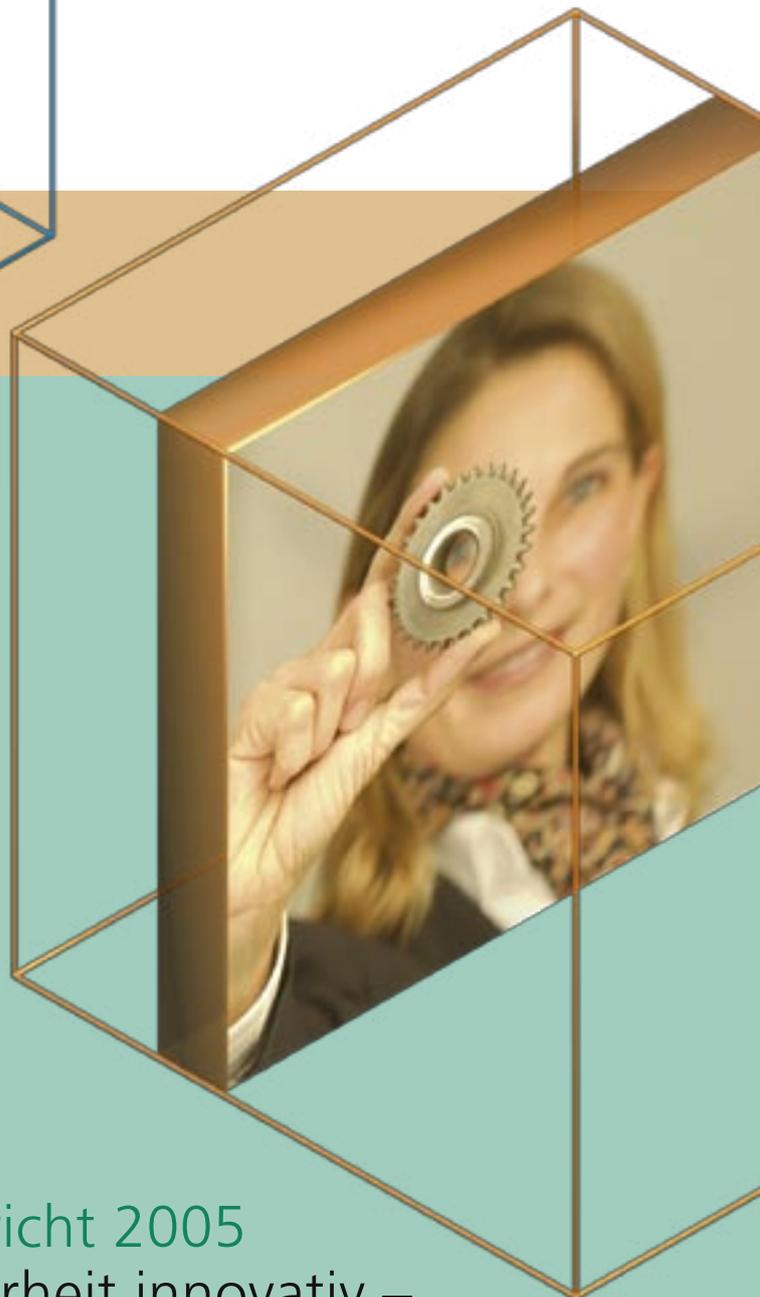
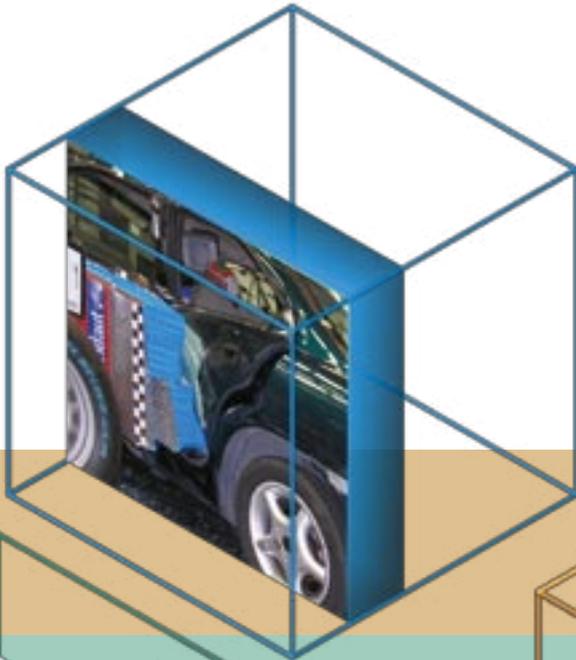




**Fraunhofer** Institut  
Betriebsfestigkeit  
Systemzuverlässigkeit



Jahresbericht 2005  
Mit Sicherheit innovativ –  
in drei Dimensionen.



»Wissen ist  
das einzige Gut,  
das sich vermehrt,  
wenn man es teilt.«

M. von Ebner-Eschenbach



# Inhalt

<b>Vorwort</b>	<b>6</b>
<b>Neue Perspektiven</b>	<b>8</b>
Die Fraunhofer LBF-Community®	13
Ein Jahr im Dialog	14
Fraunhofer LBF – Mit Sicherheit innovativ.	18
Das Institut in Zahlen	19
Ihre Ansprechpartner im Fraunhofer LBF-Management-Team	20
Das Kuratorium	21
Die Fraunhofer-Gesellschaft	22
Mit Sicherheit innovativ – in drei Dimensionen.	23
Leistungsangebote, Kompetenzcenter und Geschäftsfelder	24



<b>Projekte und Produkte</b>	<b>32</b>	Monitoring – Methoden zur Absicherung der Systemzuverlässigkeit	66
Längere Wartungsintervalle für Flugzeuge und Windkraftanlagen	32	SPURT für effizienteren schienengebundenen Nahverkehr	68
Software zur Abschätzung der Lebensdauer von anisotropen Werkstoffen unter mehrachsiger Schwingbeanspruchung	34	Integrale Blechbauweisen höherer Verzweigungsordnung	70
Schnelle und günstige Produktentwicklung von Elastomerlagern durch neuartige Modelle	36	Untersuchungen zum Schwingungs- und Abstrahlverhalten von Streichinstrumenten	72
Stabilität auch bei höheren Drehzahlen	38	<b>Innovationsprojekte 2005</b>	<b>74</b>
Zyklische Kennwerte für sprühkompaktierte Aluminiumwerkstoffe	40	Virtual Test Lab: Virtuell prüfen – wirtschaftlich handeln	75
Magnesium für geringeren Kraftstoffverbrauch	42	Aktives Fahrwerk	78
Entwicklungsumgebung für adaptive Strukturen im Automobil	44	Structural Health Control	79
Effiziente Bündelung von Einzelkompetenzen für adaptronische Systemlösungen	46		
Aktive Systeme zur Verbesserung des Seitenaufprallschutzes im Auto	48		
Neue Sinterlegierungen für hochbeanspruchte Bauteile – das heißt niedrigere Kosten und höhere Festigkeit	50		
Integrierte Lösungen für Design, Konstruktion und Wartung von Radsätzen	52		
Innovatives Auslegungs- und Prüfkonzept für Rad-Naben-Baugruppen von Baumaschinen	54		
Betriebsichere Bügeleisen durch virtuelle Auslegung	56		
Flexibles Berechnungsverfahren zur Bewertung dünnwandiger, elastischer, stabähnlicher Strukturen unter Berücksichtigung der Wölbkrafttorsion	58		
ADI-Guss für Nutzfahrzeugkomponenten	60		
FE Strukturgenerator für Wirrfaserstrukturen mit Faserwelligkeit	62		
Simulation aktiver Systeme am Beispiel eines aktiven Interfaces	64		
		Wir erweitern Ihre Möglichkeiten in Verbänden und Netzwerken	80
		Labora Ausstattung und Großgeräte	82
		<b>Daten und Fakten</b>	<b>84</b>
		Messen und Konferenzen	84
		Mitarbeit in Fachausschüssen	86
		Vorträge	88
		Wissenschaftliche Veröffentlichungen	90
		Vorlesungen	95
		Patente	96
		Anfahrtsplan	98

### Innovationsprojekte

Kompetenzübergreifende Themen mit hohem wirtschaftlichen Wertschöpfungspotenzial und einem besonderen wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn sind für das Fraunhofer LBF von strategischer Bedeutung:

- Virtual Test Lab
- Aktives Fahrwerk
- Structural Health Control



Prof. Dr.-Ing.  
Holger Hanselka



## Liebe Freunde und Partner des Fraunhofer LBF, sehr verehrte Damen und Herren,

ein bewegtes Jahr 2005 liegt hinter uns. Zum fünften Mal in Folge konnte das Fraunhofer LBF seinen stetigen Wachstumskurs fortschreiben. Und dies bei einem soliden Haushalt und positivem Jahresabschluss. Das ist heutzutage nicht selbstverständlich und wir sind dankbar für diese Entwicklung.

Wesentlicher Erfolgsfaktor ist unsere LBF-Strategieplanung, die wir kontinuierlich an den Bedarfen des Marktes ausrichten, sowie die konsequente Umsetzung dieser Strategie in unsere Prozesse. So haben wir unsere interdisziplinären Fachkompetenzen in marktorientierte Geschäftsfelder – Automotive, Transport, Maschinen- und Anlagenbau sowie Energie, Umwelt und Gesundheit – gebündelt und bieten unseren Marktpartnern maßgeschneiderte Leistungen an: kundenspezifisch, flexibel und kompetent. Unser Dienstleistungsgeschäft haben wir von den FuE-Aufgabenstellungen abgegrenzt, um mit klar definierten Kapazitäten und gebündeltem Know-how noch leistungstärker zu sein.

Mit diesen Maßnahmen konnten wir den absoluten Betrag unserer Industrieerlöse proportional zum Gesamthaushalt weiter ausbauen – ein klares Signal an unsere Industriepartner – und gleichzeitig den Anteil der Forschungsprojekte deutlich

erhöhen. Damit können wir auch künftig unseren Partnern marktattraktive und richtungweisende FuE-Leistungen anbieten. Stellvertretend für diese Forschungsprojekte stehen unsere Beteiligung am Sonderforschungsbereich 666 der TU Darmstadt, die EU-Projekte InMAR, APROSYS, WIDEM, SPURT, die BMBF-Projekte wie AAL und insbesondere die Fraunhofer-internen Vorlaufforschungsprojekte InGuss, FASPAS und Carnak. Zu diesen Projekten finden Sie im Fachteil dieses Jahresberichts und auf unserer Homepage weiterführende Informationen.

Industrieseitig gelingt es uns zunehmend, früher in den Entwicklungsprozess einzusteigen. So können wir unserer Rolle als Ideengeber und Entwicklungspartner noch wirkungsvoller gerecht werden. Unser Angebot haben wir systematisch erweitert und auf zusätzliche Märkte ausgedehnt: In der gemeinsam mit dem Fraunhofer IFAM in Bremerhaven gegründeten Außenstelle „Center für Windenergie und Meerestechnik CWMT“ bietet das Fraunhofer LBF Know-how für diesen Zukunftsmarkt vor Ort an. Das Fachgebiet Systemzuverlässigkeit im Maschinenbau der TU Darmstadt ist um die renommierte Arbeitsgruppe „Maschinenakustik“ erweitert. Damit können wir das Synergiefeld zwischen schwingender Beanspruchung, Ermüdung und Schallausbreitung noch kompakter in Angriff nehmen. Ebenso gibt es eine direkte Verbindung zwischen unseren Arbeiten auf dem Gebiet der Adaptronik, der NVH-Problematik z. B. im Fahrzeugbau und der Kompetenz der Maschinenakustik.

Dank all dieser positiven Entwicklungen blicken wir erwartungsvoll und optimistisch in die Zukunft. Ganz besonders danke ich allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Fraunhofer LBF. Durch ihren überproportionalen Einsatz haben sie den aktuellen Erfolg des Instituts herbeigeführt. Wir befinden uns gemeinsam auf dem anspruchsvollen Weg der Erneuerung. Es lohnt sich, für unser gemeinsames Ziel hart zu arbeiten. Ich danke auch den Projektpartnern des Fraunhofer LBF für das Vertrauen. Scheuen Sie sich nicht, uns auch weiterhin für die traditionellen als auch für die zukünftigen Felder des Fraunhofer LBF in die Verantwortung zu nehmen.

Darmstadt, im März 2006

Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka

Dear friends and partners of Fraunhofer LBF,  
dear Sir or Madam,

2005 was an eventful year. For the fifth time in a row, Fraunhofer LBF was able to continue its steady growth course with a solid household and positive year-end results. This is not something to be taken for granted these days and we are thankful for this development.

A main factor of success is our LBF strategy plan, which we continuously adapt to market requirements, and the consistent implementation of this strategy into our processes. We have grouped our interdisciplinary competencies into market-oriented business segments: automotives, transportation, mechanical and process engineering as well as energy, environment and health and offer our market partners tailored services that are customized, flexible and competent. We have more clearly separated our services business from the R&D jobs in order to be more efficient with clearly defined capacities and pooled knowledge.

These measures enabled us to further the increase revenues from the industry proportionally to our overall budget – a clear signal to our partners in the industry - and at the same time considerably increase the number of research projects. This enables us to offer our partners attractive and trend-setting R&D services in the future. Representative for these research projects is our participation in the Special Research Area 666 of TU Darmstadt, in the InMar EU projects, APROSYS, WIDEM, SPURT, the BMBF projects like AAL and particularly the internal Fraunhofer InGuss, FASPAS and Carnak initial research projects. Further information on these projects can be found in the special section of this annual report and on our homepage.

As far as the industry is concerned, we are increasingly able to enter into the development process at an earlier stage. This enables us to live up to our role as idea contributors and development partners even more effectively. We have systematically increased our range of offers and have expanded them to additional markets: The "Center for Wind Energy and Sea Technology CWMT" satellite office that we established together with Fraunhofer IFAM in Bremerhaven provides Fraunhofer LBF with the know-how for this significant future market on location. The specialist area of System Reliability in Mechanical Engineering at

---

Wesentlicher Erfolgsfaktor ist die Fortschreibung unserer Strategieplanung, die wir konsequent an den aktuellen und zukünftigen Bedarfen des Marktes ausrichten.

the Technical University of Darmstadt was enlarged with the integration of the very renowned "Machine Acoustics" work group in which the synergy field between vibration loading, fatigue and sound propagation could be tackled in more depth. Additionally, there is a direct connection between our work in the field of adaptronics, NVH difficulties, for example, in automobile construction and the competency of machine acoustics.

Thanks to all of these positive developments we are looking into the future with hope and optimism. Very special thanks go to all of the Fraunhofer LBF staff. Their high commitment has led to the current success of the institute. We are all together on the very challenging path to renewal. It is worth working hard for our common goal. I also thank the project partners of Fraunhofer LBF for their trust. Please do not hesitate to continue holding us accountable for the traditional as well as for the future fields of LBF.

Darmstadt, March 2006

---

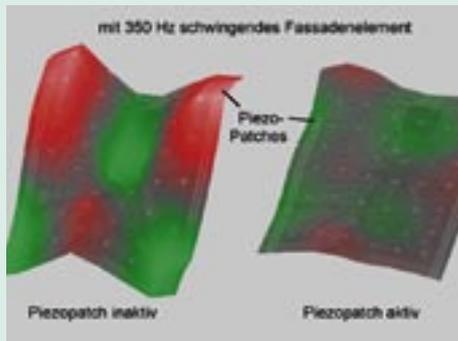
A main factor of success is our Fraunhofer LBF strategy plan, which we continuously adapt to market requirements.



*Mehr Transparenz und kürzere Wege für unsere Kunden. In diesem Sinne haben wir unsere Geschäftsfeldstruktur neu definiert.*

- Automotive
- Transport
- Maschinen- und Anlagenbau
- Energie, Umwelt und Gesundheit

*Mehr dazu ab Seite 24*



*Die Ergebnisse der Arbeitsgruppe Maschinenakustik tragen dazu bei, dass Maschinen und andere technische Produkte leiser werden.*

*Machines and other technical products can become quieter with the results of the Machine Acoustics work group.*

## Leise zum Erfolg

Seit mehr als vier Jahren baut das Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF kontinuierlich Kompetenzen auf dem Gebiet der Akustik im Allgemeinen und speziell der Strukturakustik auf. Dabei stehen Lärm- und Schwingungsminderung technischer Produkte, insbesondere unter dem Gesichtspunkt der Leichtbauweise, im Vordergrund.

Seit dem 1.11.2005 hat das Institut nun auch starke universitäre Partner in diesem Zielfeld. Die Arbeitsgruppe „Maschinenakustik“ an der TU Darmstadt wurde in das bisherige Fachgebiet „Systemzuverlässigkeit im Maschinenbau SzM“ unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka integriert und ist jetzt unter dem neuen Namen „Systemzuverlässigkeit und Maschinenakustik SzM“ als assoziiertes Kompetenzzentrum an das Fraunhofer LBF angegliedert.

Ein aktueller und bedeutender Forschungsschwerpunkt der Arbeitsgruppe Maschinenakustik ist die Untersuchung aktiver Geräuschminderungsmaßnahmen am Beispiel einer Aktiven Fassade, ein Gebiet auf dem die Arbeitsgruppe bereits seit drei Jahren eng mit dem früheren Fachgebiet „Systemzuverlässigkeit im Maschinenbau SzM“ zusammenarbeitet. Großes

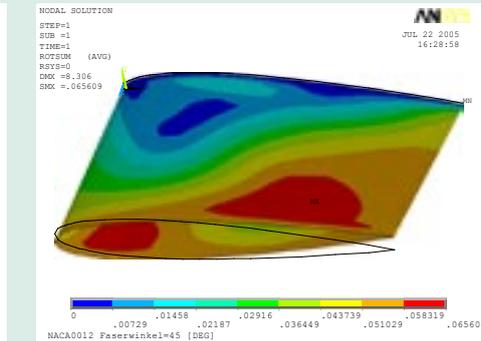
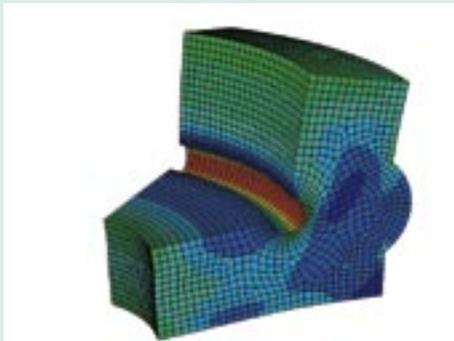
Know-how hat sich die Gruppe auch mit der Bearbeitung vieler unterschiedlicher Industrieprojekte vor allem im Bereich der industriellen Antriebstechnik (Getriebe) erworben. Weiteres Forschungspotenzial sieht das Team im Bereich der akustischen Optimierung von Fundament- und Prüfstands-gestaltung mittels aktiver Elemente in Verbindung mit Impedanzanpassung und -übertragung und in der Übertragung von akustischen Prüfstandsdaten auf reale Einbaufälle unter Einbeziehung akustischer Modellgesetze und Einsatz alternativer Werkstoffe.

Mit der neuen Arbeitsgruppe erweitert das Fraunhofer LBF sein FuE-Angebot auf dem Gebiet der Strukturakustik, vor allem im Bereich der Entwicklung geräuscharmer Konstruktionen in Leichtbauweise. Den Kunden des Instituts steht somit eine interessante Ergänzung zum bereits bestehenden Kompetenzportfolio des Fraunhofer LBF zur Verfügung

Historisch wurde der Begriff „Maschinenakustik“ durch Forschungsarbeiten und Vorlesungen in den 1960er und 1970er Jahren am damaligen „Lehrstuhl für Maschinenelemente und Getriebe“ der TU Darmstadt geschaffen und geprägt. Die TU Darmstadt nahm lange Zeit eine Führungsrolle auf dem Gebiet der Maschinenakustik ein, der bereits im Jahre 1980 u.a. mit der Umbenennung des Institutes in „Fachgebiet Maschinenelemente und Maschinenakustik MUM“ Rechnung getragen wurde.

Ansprechpartner:  
Dr.-Ing. Rainer Storm  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 16-53 59  
storm@szm.tu-darmstadt.de

Gemeinsam mit unseren universitären Partnern können wir Themen der Technischen Akustik nun noch effizienter für Sie bearbeiten.



*Schnell und unkompliziert wird die Industrie bei der Bewertung der Technischen Zuverlässigkeit von Windkraftanlagen über deren gesamte Einsatzdauer unterstützt.  
The industry is given fast and uncomplicated support during the evaluation of the technical reliability of wind power plants for the entire period of their operation.*

### Fraunhofer-Center für Windenergie und Meerestechnik CWMT

Durch die Umstrukturierung der Energieversorgung weg von fossilen Brennstoffen und hin zur Nutzung regenerativer Energiequellen erlebt die Windenergie in den letzten Jahren weltweit einen enormen Aufschwung. Dabei verstärkt sich der Trend zum Aufbau von Offshore-Windparks, also der Nutzung des Windes auf offener See. Mit dieser Entwicklung sind eine stete Vergrößerung der Anlagen sowie steigende Anforderungen an die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Konstruktion und Technik verbunden.

Deshalb bündeln jetzt zwei komplementär arbeitende Fraunhofer-Institute ihre Kompetenzen: Forscher des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Bremen und des Fraunhofer-Instituts für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF in Darmstadt bauen gemeinsam in Bremerhaven ein Zentrum für Windenergie und Meerestechnik auf. Das Ziel dieses Engagements ist es, der Industrie Unterstützung bei der Bewertung der Technischen Zuverlässigkeit von kompletten Anlagen und deren Komponenten über die gesamte Einsatzdauer (geplant 20 Jahre) zu geben.

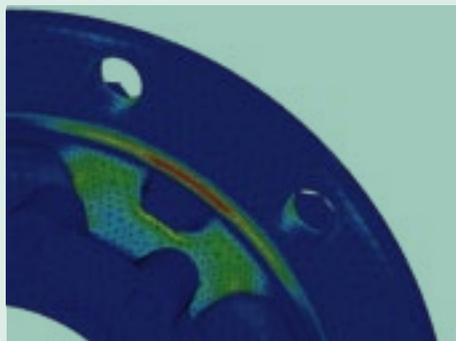
Im Oktober 2005 konnte als erste Ausbaustufe das „Simulationszentrum für Technische Zuverlässigkeit von Windenergieanlagen“ gegründet werden. Im Fokus stehen hier die Neu- und Weiterentwicklung numerischer Simulationswerkzeuge und analytischer Methoden für die ganzheitliche Beurteilung der Zuverlässigkeit von Windenergieanlagen (WEA). Im Dezember 2005 wurde auch der Aufbau eines nationalen „Kompetenzzentrums Rotorblatt“ als Basis für ein durch die Fraunhofer-Institute LBF und IFAM in Bremerhaven betriebenes großtechnisches Prüfzentrum für Rotorblätter und deren Komponenten beschlossen. Dort sollen ab Ende 2006 zunächst Rotorblätter mit einer Länge bis zu 65 m statisch

und dynamisch geprüft werden. In einer weiteren Ausbaustufe soll auch die Prüfung von Blättern mit einer Länge von bis zu 100 m möglich sein.

Das Technologiezentrum für Windenergie und Meerestechnik ist Mitglied des Netzwerkes Windenergie, einer Untergruppe des Fraunhofer-Verbunds Energie. Damit kann schnell und unkompliziert auch auf das Know-how der Netzwerkspartner zugegriffen werden

Ansprechpartnerin:  
Dr. Antje Berg-Pollack  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-2 99  
[anjte.berg-pollack@lbf.fraunhofer.de](mailto:anjte.berg-pollack@lbf.fraunhofer.de)

**Bis zu 65 Meter lange Rotorblätter für Windkraftanlagen können künftig im Fraunhofer-Center für Windenergie und Meerestechnik CWMT in Bremerhaven statisch und dynamisch geprüft werden. 100 Meter lange Rotorblätter werden nach einer weiteren Ausbaustufe getestet.**



*Sicherer Fahrspaß: Mit modernsten Methoden können Räder schon in der frühesten Entwicklungsphase unter realitätsnahen Bedingungen berechnet werden.*

*Safe driving: Wheels can already be computed in the earliest development phase and under realistic conditions using state-of-the-art methods.*

## 5 Jahre Stress & Strength GmbH

Im Mai 2000 gründete das Fraunhofer LBF mit einigen seiner Mitarbeiter die Stress & Strength GmbH (S&S), mit dem Ziel die am Institut erarbeitete Spezialsoftware weiterzuentwickeln und zu vermarkten. Im Sommer 2005 feierte die GmbH ihren 5. Geburtstag.

Das erste Produkt der S&S GmbH war die Software LBF®.WheelStrength zur Auslegung von Fahrzeigrädern. Basierend auf der Methodik des Zweiaxialen Räder- und Radnaben-Prüfstandes (ZWARP) des Fraunhofer LBF wurde eine neuartige Software erstellt, mit deren Hilfe Räder bereits in der frühesten Entwicklungsphase unter realitätsnahen Randbedingungen berechnet werden können. PKW-, LKW- und Motorrad-Räder, Michelin's PAX System mit Notlaufeigenschaften, sowie Schienenräder (mit der Spezialversion LBF®.WheelStrength for Railway) können mit dem FEM-Add-On berechnet werden. Erweitert auf alle rotierenden Fahrwerkskomponenten ist LBF®.WheelStrength / LBF®.HubStrength inzwischen am Markt etabliert.

Zur Analyse und Bearbeitung von Messdaten hat S&S die Software LBF®.DAP (Data Analysis and Processing) entwickelt. Neben Funktionen

Die S&S GmbH hat ihr Angebot erweitert: Wir optimieren die Nutzerfreundlichkeit numerischer Verfahren und unterstützen unsere Kunden gezielt bei ihren Eigenentwicklungen.

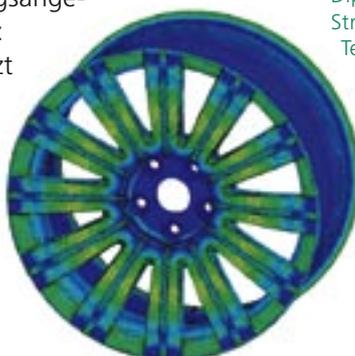
wie Spektralanalyse, Filter, Integration/Differentiation usw. sind hier auch die bekannten Zählverfahren (Rainflow, Range Pair, Level Crossing) sowie spezielle, auf den Erfahrungen des Fraunhofer LBF basierende Funktionen zur Betriebsfestigkeitsanalyse implementiert. Durch die Integration weiterer Algorithmen wurden verschiedene Verfahren zur Versuchszeitverkürzung (z. B. Simultanverfahren) in LBF®.DAP umgesetzt.

### Weitere Produkte sind in der Entwicklung

Die Stress & Strength GmbH hat ihr Dienstleistungsangebot erweitert: Sie unterstützt ihre Kunden

direkt bei ihren Eigenentwicklungen und übernimmt dabei Spezialaufgaben, von der Entwicklung der Benutzeroberflächen bis hin zum Entwurf und zur Umsetzung komplexer Algorithmen - auch in Kooperation mit dem Fraunhofer LBF. Ziel ist die kundenspezifische Optimierung der Nutzerfreundlichkeit von numerischen Verfahren. Dabei adressiert S&S besonders Ingenieure in den industriellen FuE-Bereichen. Beispielsweise zählen Porsche, Otto Fuchs, Audi oder Volvo bereits zu den Kunden der S&S.

Ansprechpartner:  
Dipl.-Ing. Oliver Ehl  
Stress & Strength GmbH  
Telefon: +49 6151 / 9 67 31 0  
info@s-and-s.de  
www.s-and-s.de





*Das Glas bleibt halbvoll: Das Fraunhofer LBF engagiert sich in zukunftsweisenden strategischen Themen.*

*The glass remains half full: Fraunhofer LBF is involved in forward-looking strategic themes.*

### **FIT in Adaptronik!**

Das Fraunhofer LBF ist mit seinen Projekten in den Fraunhofer-Innovationsthemen (FIT) „Adaptronik“, „Simulierte Realität für Produkte und Prozesse“ sowie „Integrierte Leichtbausysteme“ engagiert. Zusätzlich ist das Institut am Fraunhofer-Thema mit Innovationspotenzial (TIP) „Structural Health Control – Sicherheit und Zuverlässigkeit künftiger Verkehrsträger“ beteiligt und vertritt somit die aktuellen strategischen Themen der Fraunhofer-Gesellschaft in vielfältiger Weise durch die eigenen Kompetenzen.

Für die Adaptronik wurde Professor Dr.-Ing. Holger Hanselka vom Fraunhofer-Vorstand zum Themenbeauftragten ernannt. Am FIT Adaptronik sind insgesamt zwölf Fraunhofer-Institute beteiligt (AIS, EMI, IFAM, IIS, IKTS, ISC, IST, ITWM, IWM, IWU, IZFP und LBF), die sich auch im Fraunhofer-Themenverbund Adaptronik (FVA) organisieren.

Im Februar 2005 hatte der Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft im Rahmen eines Portfolio-Prozesses die zwölf „Fraunhofer-Innovationsthemen“, die so genannten „FITs“ sowie zehn weitere „Themen mit Innovationspotenzial“, die „TIPs“ beschrieben. Von diesen Themen wird ein wesentlicher Beitrag zur Sicherung des Technologiestandortes Deutschland erwartet. Alle FITs zeichnen sich durch ein hohes Innovationspotenzial, ein hohes Marktpotenzial sowie starke Fraunhofer-interne Kompetenz auf dem jeweiligen Gebiet aus. Die TIPs befinden sich in einem noch früheren Reifungsstadium und werden den Instituten zur Weiterentwicklung empfohlen.

[www.fraunhofer.de/fhg/  
company/perspectives/index.jsp](http://www.fraunhofer.de/fhg/company/perspectives/index.jsp)  
[www.fit.adaptronik.fraunhofer.de/](http://www.fit.adaptronik.fraunhofer.de/)  
[www.adaptronik.fraunhofer.de/](http://www.adaptronik.fraunhofer.de/)

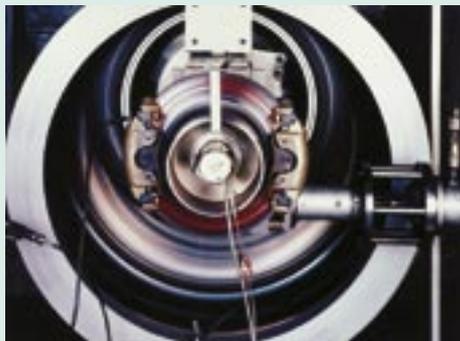
**Ansprechpartner:**  
Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka  
Dr.-Ing. Tobias Melz  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-2 62  
[tobias.melz@lbf.fraunhofer.de](mailto:tobias.melz@lbf.fraunhofer.de)

**Als Partner und Gestalter engagiert sich das Fraunhofer LBF, Märkte für Adaptronik zu erschließen.**



### **Das Fraunhofer LBF wächst**

Neue Mitarbeiter machen eine Erweiterung unseres Bürogebäudes erforderlich: Vom Kellergeschoss bis in die zweite Etage wird das bestehende Gebäude verlängert. Somit entstehen neue Räumlichkeiten für rund 50 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Der Planmäßige Um- und Einzug wird Mitte 2006 erfolgen.



*Sicherheit auf den Straßen der Welt: Fast jeder vierte international genutzte ZWARP-Prüfstand für Räder und Naben wird vom Fraunhofer LBF betrieben.  
Safety on the world's roads: Almost every fourth internationally used test stand for wheels and hubs is operated by Fraunhofer LBF*

## „ZWARP-Service Group“ – verkürzte Wege bei Standardprüfverfahren

Reifen, Räder und Naben sind das »Schuhwerk« von Kraftfahrzeugen – und z. B. im Fall von Aluminium-Rädern durchaus ähnlichen Trends zu ansprechender Optik bei gleichzeitiger Funktionalität und Haltbarkeit verpflichtet. In Fortführung dieser Analogie ist auch die Belastung automobiltechnischer Komponenten durchaus komplex und der Nachweis für ihre betriebssichere Auslegung nicht trivial.

In der Vergangenheit wurde deshalb die Erprobung neu entwickelter Räder mit dem Gesamtfahrzeugversuch kombiniert – eine gleichermaßen kosten- und zeitintensive Versuchsstrategie. Besser reproduzierbare Ergebnisse ließen sich später mit prüfstandsbezogenen Erprobungskonzepten erreichen. So sind die sog. Biegeumlaufprüfung sowie der Rolltest die heute noch gesetzlich maßgebenden Kriterien für die bauartgerechte Zulassung neuer Räder. Allerdings unterliegen diese Methoden klaren Einschränkungen in der Simulation tatsächlich fahrbetriebsähnlicher Belastungen.

Die Wissenschaftler des Fraunhofer LBF hatten deshalb bereits vor 25 Jahren das Prinzip der ZWARP RadPrüfung (ZWARP) entwickelt.

Hierbei erfolgt die Belastung der Originalbaugruppe in einer rotierenden Innentrommel als Fahrbahnersatz. Das entspricht einer Bewegungsumkehr bei sonst gleichartigen Belastungsmechanismen. Das ZWARP-Verfahren ist zwischenzeitlich in internationalen Standards und Werknormen berücksichtigt und nach wie vor hoch aktuell.

Weltweit existieren bei Herstellern, Zulieferunternehmen und Zulassungsbehörden mehr als 40 ZWARP-Prüfstände für Räder und Naben von Pkw und Nfz. Neun dieser Einrichtungen werden im Fraunhofer LBF betrieben.

Nachdem das Institut die Entwicklung und Vermarktung der LBF®.Wheel-Strength Software durch seine Ausgründung Stress & Strength GmbH erfolgreich am Markt etabliert hat, wurde nun eine weitere konsequente Maßnahme zur Serviceverbesserung für Automobilhersteller und Zulie-

ferunternehmen umgesetzt: Für die Erprobung von Rädern und Naben im Rahmen standardisierter Verfahren hat das Fraunhofer LBF einen Service-Bereich eingerichtet. Die „ZWARP-Service Group“ als Teil des Kompetenzzentrums „Betriebslastensimulation und Bewertung“ betreibt die entsprechenden Erprobungseinrichtungen des Fraunhofer LBF und unterstützt damit Rad- und Nabenhersteller sehr zielgerichtet bei den Nachweisprüfungen zur betriebsfesten Auslegung von drehenden Komponenten.

Ansprechpartner ZWARP-Service Group:  
Dipl.-Ing. Rüdiger Heim  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-2 83  
[ruediger.heim@lbf.fraunhofer.de](mailto:ruediger.heim@lbf.fraunhofer.de)

Mit der neuen „ZWARP-Service Group“ sparen Rad- und Nabenhersteller Zeit und Geld bei der Produktentwicklung und werden gezielt bei der Lösung individueller Anforderungen unterstützt.



**Die Fraunhofer LBF-Community®**  
Ab April 2006 können Sie die Vorteile der LBF-Community noch leichter nutzen. Die LBF-Community ist eine webbasierte Know-how Plattform für alle, die umfassende Informationen rund um die Themen Systemzuverlässigkeit, Betriebsfestigkeit und Adaptronik suchen.

### 1 LBF-Spezial – Das exklusive Zusatzangebot für Mitglieder der LBF-Community

- Der LBF-Bibliothekskatalog ist mit über 40 000 Literaturhinweisen zur Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit die weltweit größte Fachbibliothek für diese Themen. Nutzen Sie sie!
- Sie suchen die englische Übersetzung für einen deutschen Fachbegriff aus der Betriebsfestigkeit oder umgekehrt? Das Online-Wörterbuch hilft in Sekundenschnelle.
- Exklusiv in der LBF-Community: Online-Testmöglichkeiten der LBF-Software LBF®.DAP für Daten- und Betriebsfestigkeitsanalysen zur Versuchszeitreduktion an Ihrem konkreten Anwendungsfall.
- Um stets „auf dem Laufenden“ zu sein, stellen Sie sich die Inhalte Ihres individuellen elektronischen LBF-Community-Newsletters mit aktuellen Veranstaltungshinweisen, Pressemeldungen, Stellenangeboten o. ä. selbst und jederzeit flexibel zusammen.

- Als LBF-Community-Mitglied knüpfen Sie gezielt Kontakte, tauschen Informationen aus und bahnen gemeinsame Projekte an.

### 2 Login / My LBF

Mitglied der LBF-Community werden ist kostenlos und ganz einfach: Sie tragen sich in die Benutzerdatenbank ein und erhalten binnen 24 Stunden Ihre persönlichen Zugangsdaten.

### 3 Top News

Die wichtigsten Neuigkeiten aus dem Fraunhofer LBF auf einen Blick und täglich aktuell

### 4 Infogate

Es lohnt sich, immer mal wieder rein zu schauen. Sie finden hier einen umfassenden Veranstaltungskalender mit allen Events rund um die Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit, eine Sammlung interessanter Links zum Thema, die aktuellen Pressemeldungen des LBF und vieles mehr.

### 5 Geschäftsfelder

Unser Angebot speziell für Ihren Markt. Ihr direkter Draht zu uns.

### 6 Leistungsangebote

FuE-Angebote und Produkte im Überblick: Nutzen Sie unsere Erfahrung für Ihren Fortschritt!

### 7 LBF Im Profil

Lernen Sie die Expertenteams unserer Kompetenzcenter kennen. Informieren Sie sich über die technischen Möglichkeiten unserer Labor- und Prüflandschaft.

### 8 In-Projects

Aktuelle Beispiele für Projekte im Verbund mit Partnern aus Industrie und Forschung

### 9 Karriere

Hier finden Sie alle aktuellen Stellenangebote des Fraunhofer LBF. Wir freuen uns auf Ihre Bewerbung.

Ansprechpartner:  
Denise Rohmund  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-4 68  
denise.rohmund@lbf.fraunhofer.de

*Information bei jedem Klick:  
Aktuelle Literatur, spezifisches Know-how, neueste fachrelevante Nachrichten, direkte Dialogmöglichkeiten. Das und vieles mehr bietet die Fraunhofer LBF-Community.  
Information with every click:  
Current literature, specific know-how, the latest subject-relevant news, direct dialog possibilities – this and much more made available by the Fraunhofer LBF community.*



4

Martin Küppers (re.) erhält aus den Händen von Dr. Bardenheier den INSTRON AWARD für seine Arbeiten über Aluminiumschweißverbindungen.

# Ein Jahr im Dialog

2

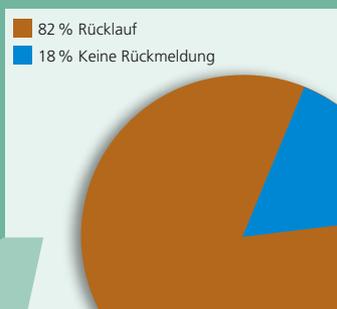


Kooperation mit Korea: KATECH Institutspräsident Noh Young Wook, Wirtschaftsminister Hee-Beom Lee, Institutsleiter Fraunhofer LBF Holger Hanselka (von links nach rechts).



3

Fraunhofer LBF schneidet bei der Fraunhofer-weiten Mitarbeiterbefragung überdurchschnittlich gut ab.



1

Ansporn für die Zukunft: Die Kundenbefragung lieferte sehr gute Ergebnisse bei einer Rücklaufquote von 82 %.

5



Professor Holger Hanselka vertrat die angewandte Forschung der Region bei der IHK-Podiumsdiskussion in Frankfurt.

## Sehr gute und gute Beurteilungen unserer Kunden und zufriedene Mitarbeiter machen uns stolz und sind Ansporn zugleich.

### Ihre Meinung zählt!

Das Fraunhofer LBF ermittelt die Zufriedenheit seiner Kunden über systematische Befragungen. Um die für Sie optimale Leistung erbringen zu können, verbessern wir unsere Produkte und Prozesse stetig und mit hoher Sorgfalt. Ihre Meinung hilft uns dabei.

Ihnen, unseren Kunden ist es umgekehrt wichtig, dass wir Ihre Meinung kennen! Das belegt die wiederholt hohe Rücklaufquote bei Fragebogenaktionen zur Ermittlung der Kundenzufriedenheit: Im Jahr 2005 sandten 82 % der adressierten Kunden den Fragebogen ausgefüllt und teilweise mit Kommentaren und wertvollen Anregungen versehen zurück. Befragt wurden jeweils kurz nach Projektabschluss alle inländischen Industriekunden, mit denen Aufträge ab einem Volumen von mindestens 10 000 € durchgeführt wurden.

61 % der Kunden bewerteten das Know-how unserer Projektteams mit »sehr gut«, 93 % mit »gut« oder »sehr gut«. Die Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer LBF-Team empfanden 96 % unserer Kunden als »sehr gut« oder »gut«.

### Kooperationsvertrag mit Korea

Im Rahmen des Staatsbesuchs des koreanischen Präsidenten in Deutschland konnte das Fraunhofer LBF einen Vertrag mit dem Korea Automotive Technology Institute KATECH über die Teilnahme an CARLOS TC II unterzeichnen. In diesem Forschungsprojekt wird mit internationaler Beteiligung und unter Federführung des Fraunhofer LBF die Standardisierung von Lastannahmen für die sichere und wirtschaftliche Konstruktion von Fahrzeugbauteilen erarbeitet. Die Unterzeichnung war eine von mehreren Vertragsunterzeichnungen im Rahmen der Veranstaltung „Techno Caravan“, die von der koreanischen und deutschen Regierung veranstaltet wurde. Die Teilnahme von KATECH an CARLOS TC II wird aus Fördermitteln der koreanischen Regierung finanziert.

### Gute Noten von den Mitarbeitern

Mit dem Ergebnis der Fraunhoferweit durchgeführten Mitarbeiterbefragungen kann das Fraunhofer LBF sehr zufrieden sein. Die Ergebnisse des Institutes lagen in fast allen Punkten über dem FhG-Durchschnitt. Besonders gut bewertet wurde das Führungsverhalten der nächst höheren Vorgesetzten und die Zufriedenheit mit dem Führungsverhalten der Institutsleitung. Damit dies so bleibt, pflegen die Vorgesetzten den ständigen Dialog mit ihren Mitarbeitern und identifizieren gemeinsam weitere Verbesserungsmöglichkeiten.

### Martin Küppers erhält INSTRON AWARD

Martin Küppers, wissenschaftlicher Mitarbeiter des Kompetenzzentrums »Bauteilgebundenes Werkstoffverhalten« im Fraunhofer LBF, konnte im Rahmen der Veranstaltungseröffnung des ersten »Symposiums on Structural Durability in Darmstadt« den INSTRON AWARD entgegennehmen. Für seine Arbeit »Eine Methode zur Bewertung mehrachsiger Spannungszustände bei Aluminiumschweißverbindungen auf Basis der kritischen Schnittebene« überreichte Dr. Bardenheier von Instron die Urkunde und einen Scheck. Details finden Sie auf den SoSDiD-Seiten im Internet: [www.sosdid.com](http://www.sosdid.com)

### Wissensregion Frankfurt-Rhein-Main

Das enorme Wissens- und Forschungspotenzial dieser Region soll besser vermarktet werden. Dazu veranstaltete die IHK Frankfurt eine Podiumsdiskussion mit hochrangigen Vertretern aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik. Professor Dr.-Ing. Holger Hanselka, Leiter des Fraunhofer LBF, vertrat die angewandte Forschung der Region.

### Zuverlässiges Fahrzeugdesign – 7. Internationales ZWARP-Usermeeting

Für den mehraxialen Lebensdauernachweis von drehenden Fahrzeugkomponenten (Räder, Naben, Lager) entwickelten und nutzen Wissenschaftler des Fraunhofer LBF seit 25 Jahren die „Zweiachse Rad/Naben-Versuchseinrichtung ZWARP“. Beim diesjährigen, siebten Treffen von Anwendern und Interessierten, berichteten Referenten unter anderem über die Einführung der LBF-Methode in Normenwerke der USA und Europa.



*Ein gutes Zeichen: Erneut wurde dem Fraunhofer LBF die Kompetenz als Prüflaboratorium ausgesprochen.*

8

# Ein Jahr im Dialog



Neue Erkenntnisse aus der Werkzeugforschung standen bei der 2. WING-Konferenz in Aachen im Vordergrund.

11



*Forscher im Dialog mit Vertretern aus der Wirtschaft: Die Darmstädter Schwingfestigkeitstage boten die Plattform für den Austausch auf höchstem Niveau.*

7



*Das Fraunhofer LBF ist maßgeblich an der Einführung internationaler Standards für mehr Sicherheit im Fahrzeugbau beteiligt. Darüber wurde beim 7. Internationalen ZWARP-Usermeeting diskutiert.*

6



*Der Adaptronic Congress 2005 diente zum einen zur allgemeinen Information. Zum anderen wurden konkrete Kooperationen zwischen Forschungseinrichtungen und Industriepartnern beschlossen.*

10

*Für seine langjährigen, auch international richtungsweisenden Arbeiten auf dem Feld der pulvermetallurgisch hergestellten Bauteile, erhielt Professor Cetin Morris Sonsino den Skaupy-Preis 2005.*

9



## Dialog wurde auch in 2005 wieder groß geschrieben: Vertreter des Fraunhofer LBF sind gefragte Gesprächspartner.

Damit werden neue internationale Standards für mehr Sicherheit im Fahrzeugbau gesetzt. Als Pre-Event veranstaltete die Stress & Strength GmbH, Ausgründung des Fraunhofer LBF, den Workshop „Numerische Bemessung von rotierenden Fahrzeugkomponenten“ und stellte Methoden und Software zur rechnerischen Analyse vor. Weitere Informationen gibt es auf den ZWARP-Internetseiten: [www.lbf.fraunhofer.de/zwarp](http://www.lbf.fraunhofer.de/zwarp)

### Treffpunkt Darmstadt:

Darmstadt besitzt eine lange Tradition in der Schwingfestigkeit; die Namen August Thum, Ernst Gassner und Kurt Klöppel stehen dafür. Um die Kontinuität der Darmstädter Schule mehr in das Bewusstsein der Fachwelt zu rücken, haben die drei Darmstädter Forschungsstellen Institut für Werkstoffkunde/Staatliche Materialprüfungsanstalt Darmstadt (IfW/MPA), das Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit/Fachgebiet Systemzuverlässigkeit und Maschinenakustik (LBF/SZM) und das Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik (IFSW) gemeinsam mit den Darmstädter Unternehmen Instron Corporation (IMT) und Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH (HBM) beschlossen, die Darmstädter Schwingfestigkeitstage unter dem Titel „Structural Durability in Darmstadt“ SoDiD, ins Leben zu rufen.

Beim ersten Treffen im Juni 2005 stellten Experten aus dem In- und Ausland ihre aktuellen Forschungsergebnisse der interessierten Fachwelt vor. Weitere Informationen unter [www.sosdid.de](http://www.sosdid.de).

### Kompetenz als Prüflaboratorium

Das Deutsche Akkreditierungssystem Prüfwesen GmbH (DAP) hat dem Fraunhofer LBF erneut die Kompetenz als Prüflaboratorium ausgesprochen. Die Akkreditierung gemäß DIN EN ISO/IEC 17025:2000 ist gültig bis zum Jahre 2010.

### Internationaler Experte für Pulvermetallurgie

Professor Cetin Morris Sonsino, Geschäftsfeldleiter „Transport“ und „Automotive“ im Fraunhofer LBF, erhielt für seine Verdienste in der betriebsfesten Auslegung von pulvermetallurgisch hergestellten Bauteilen vom Fachverband und Gemeinschaftsausschuss für Pulvermetallurgie im November in Hagen den Skaupy-Preis 2005. Professor Wolfgang Kaysser, GKSS, Geeshacht,

würdigte in seiner Laudatio Sonsinos langjährigen, systematischen und tiefgreifenden Arbeiten in diesem Bereich. Sein Engagement macht ihn zum international hochgeschätzten Experten und Ratgeber. Ihm ist es zu verdanken, dass sich die Akzeptanz der Endanwender für pulvermetallurgisch hergestellte Teile deutlich erhöhte.

### Adaptronic Congress

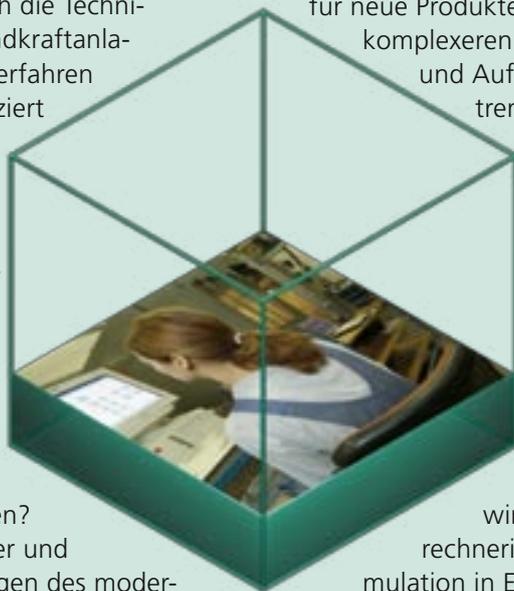
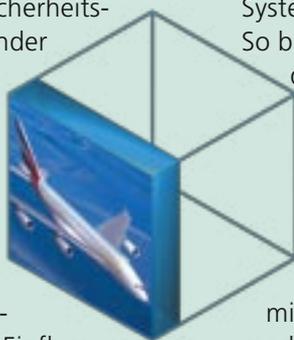
Aktuelle Entwicklungen zum Thema „Aktive Systeme für dynamische Märkte“ präsentierte der Fraunhofer-Themenverbund Adaptronik auf dem Adaptronic Congress 2005, der dieses Jahr zum 9. mal stattfand. Wissenschaftler aus 10 Fraunhofer Instituten zeigten einige ihrer Entwicklungsschwerpunkte. Das Fraunhofer LBF, das den Verbund leitet, stellte bis zu mehrachsige wirkende Interfacestrukturen, per Embedded Systems geregelte Teststrukturen sowie ein System zur Schadensdetektion in Faserverbunden vor. In Fachdiskussionen wurden die nächsten Schritte hin zu adaptiven Produkten besprochen sowie Kooperationen abgestimmt.

### Werkstoffwelt im Dialog

Das BMBF lud zur 2. WING-Konferenz „Der Stoff, aus dem Innovationen sind“ nach Aachen ein. Hier trafen sich Experten aus Wirtschaft und Wissenschaft in Plenarvorträgen, themenbezogenen Sessions, Interviewrunden und einer Pressekonferenz, um Trends und neue Erkenntnisse der Werkstoff-Forschung aufzuzeigen. Mit den „Werkstoffwelten“ wurde parallel eine Ausstellung organisiert, in der an zahlreichen Objekten Wege vom Rohstoff über Werkstoff bis hin zum fertigen Produkt dargestellt wurden. Professor Dr.-Ing. Hanselka stand mit anderen Experten Rede und Antwort bei der Pressekonferenz sowie der Abschlussdiskussion auf dem Podium.

**Partner im Fahrzeug- und Maschinenbau**

Wie lange hält ein Sicherheitsbauteil bei schwingender Beanspruchung, etwa eine komplexe Pkw-Achse, eine Lenkungs-komponente für Nutzfahrzeuge oder ein gewichtsreduzierter Radsatz für Schienenfahrzeuge? Welchen Einfluss haben die Umgebungsbedingungen auf die Lebensdauer? Wie wirken sich neue Materialien, Fertigungsverfahren oder Konstruktionsprinzipien aus? Wie zuverlässig lässt sich die Technische Sicherheit von Windkraftanlagen durch Simulationsverfahren vorhersagen? Wie reduziert man die störenden Strukturschwingungen und die Lärmbelastigung bei großen Schiffen und Luxus-Yachten? Können sich anbahnende Defekte an Faserverbundstrukturen, etwa im Flugzeugbau, bereits erkannt werden, bevor sie eine schädigende Wirkung entfalten? Der Beantwortung dieser und



vieler weiterer Fragen des modernen Maschinenbaus widmet sich das Fraunhofer Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF.

**Innovation aus Tradition**

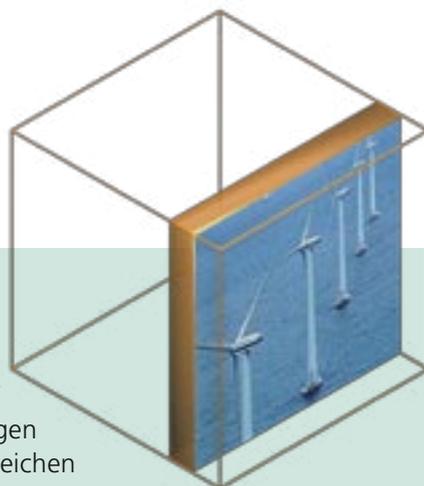
Das Haus blickt auf eine über 65-jährige Erfahrung und Tradition in der Betriebsfestigkeit zurück und hat diese

Kernkompetenz um die Fachgebiete der Adaptronik und der Systemzuverlässigkeit erweitert. So begegnet das Fraunhofer LBF den vielfältigen Anforderungen seiner Kunden aus den Bereichen Automobil- und Nutzfahrzeugbau, Schienenverkehrstechnik, Schiffbau, Maschinen- und Anlagenbau, Luftfahrt, Energietechnik und anderen Branchen mit langjähriger Expertise und modernster Technologie auf mehr als 12 000 qm Labor- und Versuchsfläche. Verkürzte Entwicklungs- und Erprobungszeiten, der Einsatz immer speziellerer Werkstoffe und Verfahren für neue Produkte mit immer

komplexeren Funktions- und Aufgabenspektren fordern auch für die Bewertung der Sicherheit und Zuverlässigkeit dieser Produkte neue Wege. So gewinnt die rechnerische Simulation in Ergänzung zur experimentellen Simulation maßgeblich an Bedeutung.

**Intelligente Produkte in kürzeren Entwicklungszeiten**

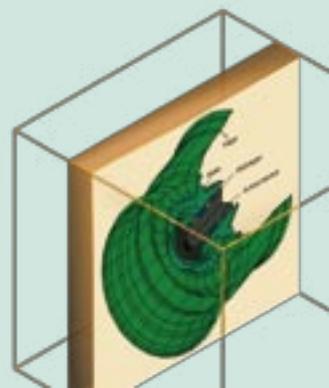
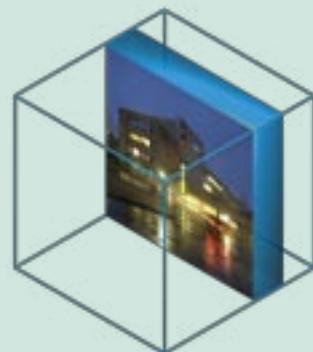
Der Maschinenbau wird zunehmend durch mechatronisch-adaptronische Ansätze, also durch die Integration von Sensorik, Aktuatorik, Elektronik und Regelungstechnik geprägt. Mit ganzheitlicher Kompetenz in Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit entwickelt, bewertet und realisiert das Fraunhofer LBF im Team von ca.



180 Mitarbeitern gemeinsam mit dem assoziierten Fachgebiet Systemzuverlässigkeit und Maschinenakustik SzM an der TU Darmstadt maßgeschneiderte Lösungen für alle Sicherheitsbauteile - vom Werkstoff bis zum System, von der Idee bis zum Produkt. Neben dem einzigartigen realen Prüffeld wird dabei auch ein virtuelles Test Lab (VTL) eingesetzt.

Das Institut ist nach DIN EN ISO-IEC 17025:2000 akkreditiert und wendet ein zertifiziertes Managementsystem nach DIN EN ISO 9001:2000 an.

LBF® ist eine eingetragene Marke der Fraunhofer-Gesellschaft für angewandte Forschung e. V..



Mit ganzheitlicher Kompetenz in Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit entwickelt, bewertet und realisiert das Fraunhofer LBF im Team von ca. 180 Mitarbeitern gemeinsam mit dem assoziierten Fachgebiet Systemzuverlässigkeit und Maschinenakustik SzM an der TU Darmstadt maßgeschneiderte Lösungen für alle Sicherheitsbauteile - vom Werkstoff bis zum System, von der Idee bis zum Produkt.

With comprehensive competency in structural durability and system reliability, the Fraunhofer team of 180 persons together with the associated special field of System Reliability and Machine Acoustics SzM develop, evaluate and realize tailored solutions for all safety components – from the material to the system and from the idea to the product.

**Betriebshaushalt 2005**

**T€**

Aufwand Betriebshaushalt	9 660
--------------------------	-------

**Erträge Betrieb**

Bearbeitung von Aufträgen aus der Industrie	5 299
Bearbeitung von Forschungsaufgaben für Wirtschaftsverbände	244
Bearbeitung von Forschungsaufgaben für die EU	787
sowie sonstige Erträge	391
Bearbeitung von Forschungsaufgaben für Bund/Länder	131
Institutionelle Förderung des BMBF und der Länder zum Betriebshaushalt	1 954
Interne Programme	854
<b>Summe</b>	<b>9 660</b>

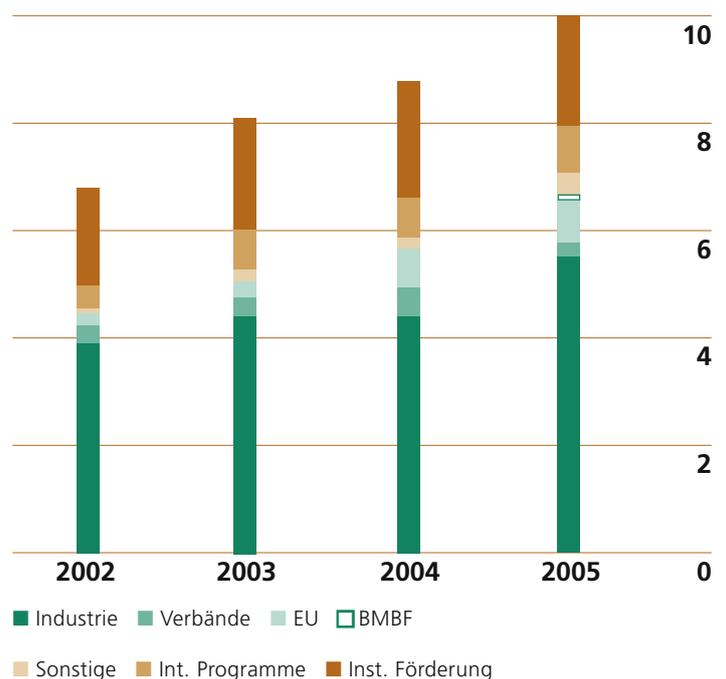
**Investitionen 2005**

aus der institutionellen Förderung des BMBF und der Länder	770
aus Vertragsforschungsvorhaben	50
aus Sondermitteln finanzierte Investitionen	1 040

**Personal**

2005 waren am Institut 159 Mitarbeiter (inkl. Hiwis und Azubis), darunter 46 Wissenschaftler, beschäftigt. (Zahlen nach Köpfen, ohne Universitätsmitarbeiter)

**Finanzierungsmix Betriebshaushalt**





## Institutsleitung

Prof. Dr.-Ing. H. Hanselka

## Kompetenzcenter



### CAx-Technologien

Dr.-Ing. T. Bruder · +49 (0) 61 51 / 7 05-2 85  
thomas.bruder@lbf.fraunhofer.de



### Last- und Beanspruchungsanalyse

Dipl.-Math. M. Kieninger · +49 (0) 61 51 / 7 05-2 67  
michael.kieninger@lbf.fraunhofer.de



### Betriebslastensimulation und Bewertung

Dipl.-Ing. R. Heim · +49 (0) 61 51 / 7 05-2 83  
ruediger.heim@lbf.fraunhofer.de



### Betriebsfester Leichtbau

Dr.-Ing. A. Büter · +49 (0) 61 51 / 7 05-2 77  
andreas.bueter@lbf.fraunhofer.de



### Bauteilgebundenes Werkstoffverhalten

Dr.-Ing. H. Kaufmann · +49 (0) 61 51 / 7 05-3 45  
heinz.kaufmann@lbf.fraunhofer.de



### Mechatronik/Adaptronik

Dr.-Ing. T. Metz · +49 (0) 61 51 / 7 05-2 52  
tobias.melz@lbf.fraunhofer.de



### Systemzuverlässigkeit und Maschinenakustik (TU Darmstadt)

Dr.-Ing. K. Wolf · +49 (0) 61 51 / 16 69 30  
wolf@szm.tu-darmstadt.de



### Software-Entwicklung und Vertrieb (Stress & Strength GmbH)

Dipl.-Ing. O. Ehl · +49 (0) 61 51 / 9 67 31  
oehl@s-and-s.de

## Geschäftsfelder



### Automotive

Prof. Dr.-Ing. C.M. Sonsino · +49 (0) 61 51 / 7 05-2 44  
c.m.sonsino@lbf.fraunhofer.de



### Transport

Prof. Dr.-Ing. C.M. Sonsino · +49 (0) 61 51 / 7 05-2 44  
c.m.sonsino@lbf.fraunhofer.de



### Maschinen- und Anlagenbau

ab 1.7.2006:  
Dr. Peter Emde · +49 (0) 61 51 / 7 05-1  
peter.emde@lbf.fraunhofer.de



### Energie, Umwelt und Gesundheit

Dr.-Ing. T. Bein · +49 (0) 61 51 / 7 05-4 63  
thilo.bein@lbf.fraunhofer.de

# Das Kuratorium

Die Institutsleitung des Fraunhofer LBF dankt den Kuratoren im Namen aller Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für ihr Engagement sowie die fruchtbare und konstruktive Zusammenarbeit!

## Instituts-Steuerungsteam



### Strategisches Management

Dr. phil.-nat. U. Eul · +49 (0) 61 51 / 7 05-2 62  
ursula.eul@lbf.fraunhofer.de



### Strategisches Controlling

Dipl.-Betriebswirt P. Betzholz · +49 (0) 61 51 / 7 05-2 23  
peter.betzholz@lbf.fraunhofer.de



### Multiprojektmanagement

Dipl.-Ing. O. Peter · +49 (0) 61 51 / 7 05-2 55  
otto.peter@lbf.fraunhofer.de



### Strategische Forschungsplanung

Prof. Dr.-Ing. C.M. Sonsino · +49 (0) 61 51 / 7 05-2 44  
c.m.sonsino@lbf.fraunhofer.de



Dr.-Ing. T. Bruder · +49 (0) 61 51 / 7 05-2 85  
thomas.bruder@lbf.fraunhofer.de



Dr.-Ing. T. Melz · +49 (0) 61 51 / 7 05-2 52  
tobias.melz@lbf.fraunhofer.de

### Die Mitglieder:

#### Dr. Hartmut Baumgart

Adam Opel AG, Rüsselsheim (Vorsitzender)

#### Prof. Dr. Christina Berger

Technische Universität Darmstadt, Darmstadt

#### Prof. Dr. Jürgen Breme

Universität des Saarlandes, Saarbrücken

#### Dr. Rolf Bütje

EADS Deutschland GmbH, München

#### Dr. Albano De Paoli

Robert Bosch GmbH, Schwieberdingen

#### Prof. Dr. Heinrich Flegel

DaimlerChrysler AG, Stuttgart

#### Herbert Heinisch

Volkswagen AG, Wolfsburg

#### Prof. Dr. Axel Herrmann

CTC GmbH, Stade

#### Dr.-Ing. Frank Höller

Carl Zeiss AG, Oberkochen

#### Dr.-Ing. Ferdinand Hollmann

Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn

#### Dr.-Ing. Peter Klose

Lean Manufacturing Consulting, Sindelfingen

#### Min. Rat. Gerd Mangel

Hessisches Ministerium für Wissenschaft und Kunst, Wiesbaden

#### Gerhard Mäscher

Volkswagen AG, Wolfsburg

#### Dr. Oliver Schlicht

Audi AG, Ingolstadt

#### Dr.-Ing. Heinz Soja

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

#### Dipl.-Ing. Thomas Thiele

Airbus Deutschland GmbH, Hamburg

#### Dr. Hans-Joachim Wieland

Stahlinstitut VDEh, Düsseldorf

### Gast des Kuratoriums

#### Prof. Dr.-Ing. Gerd Müller

Fraunhofer-Institut für Silicatforschung, Würzburg

Das Kuratorium setzt sich aus Vertretern der Wissenschaft, Wirtschaft und öffentlichen Hand zusammen. Die Mitglieder stehen dem Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft und der Institutsleitung beratend zur Seite.



Namensgeber der Gesellschaft ist der als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreiche Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787-1826).

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt anwendungsorientierte Forschung zum direkten Nutzen für Unternehmen und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand. Im Auftrag und mit Förderung durch Ministerien und Behörden des Bundes und der Länder werden zukunftsrelevante Forschungsprojekte durchgeführt, die zu Innovationen im öffentlichen Nachfragebereich und in der Wirtschaft beitragen.

Mit technologie- und systemorientierten Innovationen für ihre Kunden tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Dabei zielen sie auf eine wirtschaftlich erfolgreiche, sozial gerechte und umweltverträgliche Entwicklung der Gesellschaft.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft

die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, in anderen Bereichen der Wissenschaft, in Wirtschaft und Gesellschaft.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt derzeit rund 80 Forschungseinrichtungen, davon 58 Institute, an über 40 Standorten in ganz Deutschland. Rund 12 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von über 1 Milliarde Euro. Davon fallen mehr als 900 Millionen Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Ein Drittel wird von Bund und Ländern beigesteuert, auch um damit den Instituten die Möglichkeit zu geben, Problemlösungen vorzubereiten, die in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Niederlassungen in Europa, in den USA und in Asien sorgen für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mitglieder der 1949 gegründeten und als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft sind namhafte Unternehmen und private Förderer. Von ihnen wird die bedarfsorientierte Entwicklung der Fraunhofer-Gesellschaft mitgestaltet.

---

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt derzeit rund 80 Forschungseinrichtungen, davon 58 Institute, an über 40 Standorten in ganz Deutschland. Rund 12 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von über 1 Milliarde Euro. Davon fallen mehr als 900 Millionen Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung.

# Mit Sicherheit innovativ – in drei Dimensionen.

**Sehr geehrte Freunde, Partner  
und Kunden des Fraunhofer LBF,  
Liebe Leser,**

auf den folgenden Seiten erwartet Sie eine Vielzahl neuer Ergebnisse und Informationen aus den Forschungs- und Entwicklungsarbeiten unseres Institutes. Möglicherweise finden Sie auch „Ihr“ Projekt darunter.

Wir wollen unsere Leistungen künftig noch besser auf Ihre ganz speziellen Anforderungen und Ihre Märkte abstimmen. Daher haben wir die bisher eher fachlich orientierten Geschäftsfelder des Fraunhofer LBF mit Wirkung zum 1. Januar 2006 klar auf unsere Zielmärkte ausgerichtet. In den Geschäftsfeldern Automotive, Transport (Nfz, Schienenfahrzeuge, Schiff, Luft- und Raumfahrt), Maschinen- und Anlagenbau sowie Energie, Umwelt und Gesundheit bieten wir Ihnen individuell aus allen Bereichen des Institutes zusammengestellte Leistungspakete.

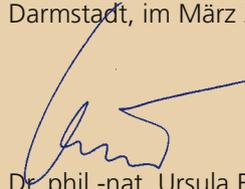
Unser branchenübergreifendes Angebot gliedert sich in fünf Hauptkategorien. In den vier Bereichen Design und Konstruktion, Sicherheitsstrategien, Zuverlässigkeitskonzepte, Lärm- und Schwingungsreduktion finden Sie das gesamte FuE-Portfolio sowie Spezialdienstleistungen des Institutes. Die LBF®.Products stehen für unsere Standarddienstleistungen und etablierten Produkte.

Das Fraunhofer LBF agiert gezielt anwendungsorientiert am Markt und steht mit seinen Leistungen und Kompetenzen im internationalen Wettbewerb. Wir haben den Anspruch, Ihnen stets Lösungen auf höchstem fachlichem Niveau und von optimalem Marktnutzen zu bieten.

Das erreichen die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen in unseren Kompetenzcentern in enger Abstimmung mit den marktorientierten Geschäftsfeldern. Um diese Potenziale optimal zu nutzen, arbeiten wir in einer Matrixorganisation und überführen unsere Strategie so unmittelbar in greifbare Geschäftsprozesse.

Wir freuen uns darauf, auch im Jahr 2006 wieder viele interessante und erfolgreiche Projekte gemeinsam mit unseren Kunden und Partnern durchzuführen. Erwarten Sie weiterhin Bestleistung von uns!

Darmstadt, im März 2006



Dr. phil.-nat. Ursula Eul



Dr. phil.-nat. Ursula Eul  
Strategisches Management

Es ist unser Anspruch, marktorientierte Lösungen stets auf höchstem fachlichen Niveau zu entwickeln und umzusetzen.

Instituts-  
Steuerungs-  
Team

Kompetenzen

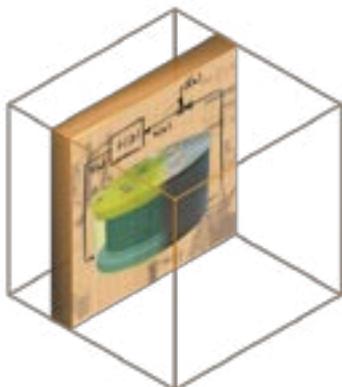
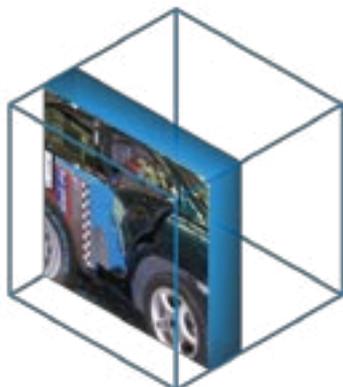
Geschäftsfelder



## Leistungsangebote

## Kompetenzcenter

## Geschäftsfelder



### Leistung auf den Punkt gebracht

Wir erstellen Ihr individuelles Leistungspaket - vom Werkstoff bis zum System, vom ersten Federstrich bis zum fertigen Produkt, vom Design bis zur Zuverlässigkeitsprüfung, für alle sicherheitsrelevanten Bauteile und Konstruktionen - auf den Punkt, bedarfsgerecht.

Neben FuE-orientierten Leistungselementen bietet das Fraunhofer LBF mit den LBF®.Products „fertige“ Lösungen: Zum Beispiel Softwarepakete zur Struktur- und Systemanalyse, Standardprüfungen nach der Methode der ZWeiAxialen RadPrüfung (ZWARP) und weitere etablierte Produkte.

**Mehr dazu auf S. 26**

### Unsere Kompetenzcenter – Ihre Innovationsschmieden

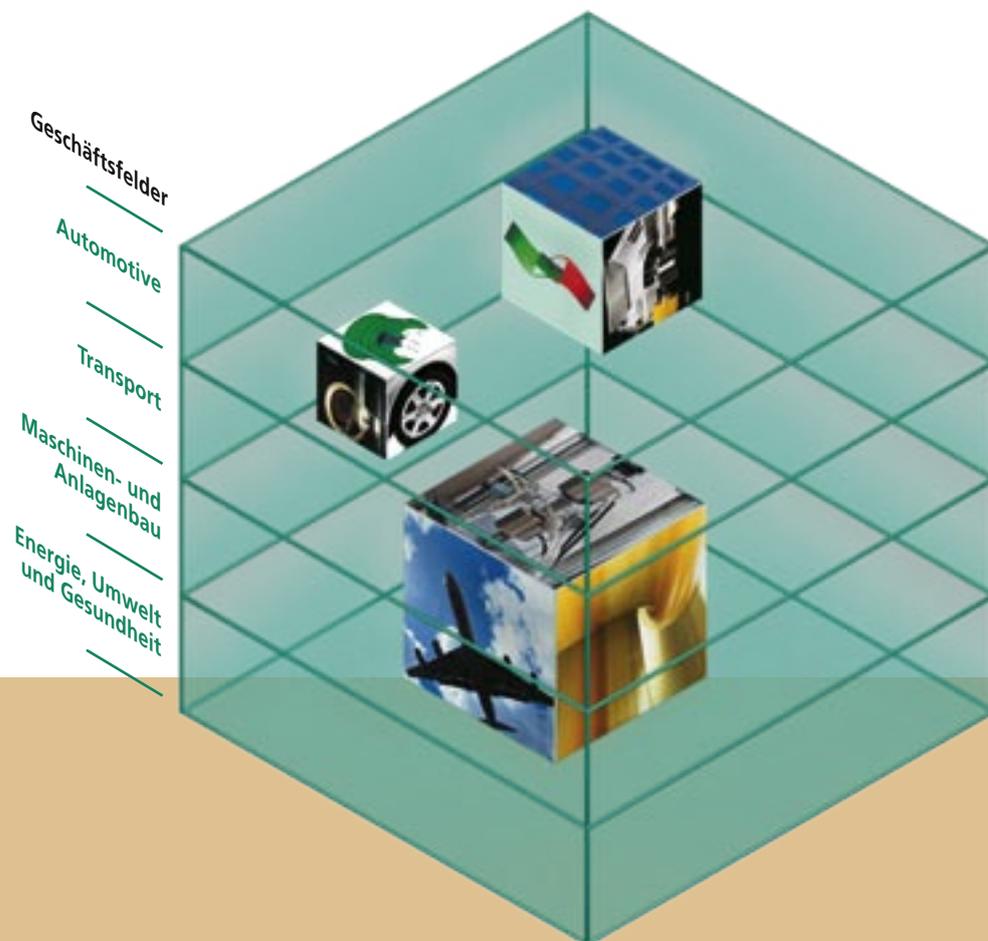
Unsere Expertenteams in den Kompetenzcentern (KC) entwickeln für Sie die Technologien und Methoden von morgen. Auf Basis von Erfahrungen und Spezialwissen können wir Ihnen so unser ganzes Know-how zur Entwicklung neuer Produktgenerationen, Innovationskonzepte und Entwicklungsstrategien bereitstellen. Unsere Kompetenzcenter-Leiter stehen Ihnen für den persönlichen Dialog zur Verfügung. Sprechen Sie uns an.

**Mehr dazu auf S. 28**

### Konkrete Lösungen für spezifische Märkte

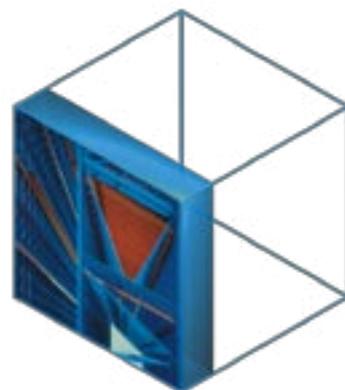
In den Geschäftsfeldern (GF) bündeln wir für Sie marktspezifisch die Einzelkompetenzen und Technologie übergreifende Leistungen des Institutes zu maßgeschneiderten Lösungen. Sie finden hier den Ansprechpartner für Problemstellungen und Zielsetzungen in Ihren ganz spezifischen Marktsegmenten. Nutzen Sie unser Know-how für Ihre Märkte.

**Mehr dazu auf S. 30**



Im Zusammenspiel von wissenschaftlich-technologischer Kompetenz, ausgeprägter Markt- und Kundennähe und der Konzentration auf das Leistbare entstehen unsere Projekte und Produkte. Mit Sicherheit innovativ – in drei Dimensionen.

Our projects and products are generated in an interaction between scientific-technological competency, a pronounced proximity to the customer and market and concentration on what is achievable. Innovative for sure – in three dimensions.



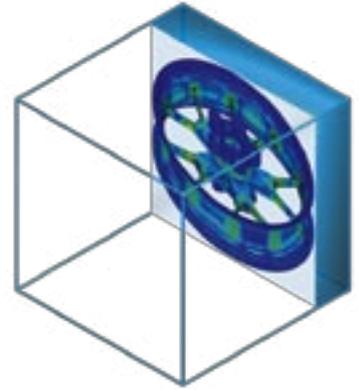
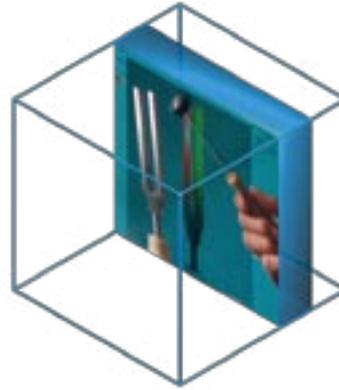
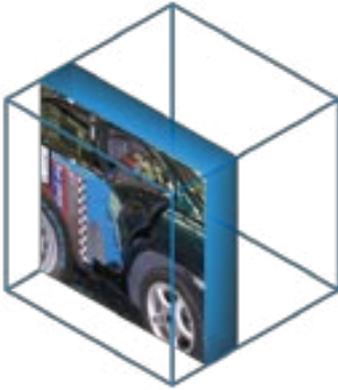
Durch die enge Verzahnung von experimentellen und numerischen Verfahren realisieren wir besonders zuverlässige Werkzeuge. Komplementär zu unserer vielseitigen experimentellen Prüflandschaft setzen wir ein Virtuelles Test Lab (VTL) ein und reduzieren so Entwicklungszeiten.

The close interaction between experimental and numerical procedures enables the realization of particularly reliable tools. We use a virtual test lab (VTL) complementary to our versatile, experimental test landscape, therefore reducing development time.

### Design und Konstruktion

Die Basis jedes Maschinenbau-Produktes ist der Design- und Konstruktionsprozess auf der Grundlage von Lasten- und Pflichtenheften. Unsere Experten beraten Sie gerne bei der Erstellung oder Bewertung von Lastenheften, bei der Übernahme von Pflichten und bei der betriebsfesten Bemessungen sicherheitsrelevanter Strukturen. Sie ist häufig der Schlüssel für eine optimale Konstruktion. Dabei berücksichtigen wir die Fertigungstechnologie, den Materialeinsatz und die zu erwartenden Umgebungsbedingungen ebenso wie Aspekte der Kosten-, Gewichts- und Energieeinsparung. Erfolgsbeispiele sind unter anderem:

- werkstoff- und fertigungsgerechte Konstruktionen für Komponenten aus Leichtmetall, aus Gusswerkstoff oder für laserstrahlgeschweißte Bauteile
- beanspruchungsgerechte Auslegung von neuartigen Hochleistungsradständen
- lärmarme und betriebs-sichere Konstruktionen
- intelligente Leichtbaukonzepte für Kleinflugzeuge



### Sicherheitsstrategien

Zu den Grundbedürfnissen des modernen Menschen gehören Mobilität, Komfort und Sicherheit. Daraus resultieren parallel steigende Ansprüche an die Funktionalität und die Sicherheit entsprechender Produkte. Die Expertenteams des Fraunhofer LBF entwickeln speziell auf Ihre Anforderungen zugeschnittene Strategien zum Schutz von Personen, Umwelt und Material. Die Betriebsfestigkeit ist dabei eine umfassende und langjährig erprobte Methodik zur Bewertung von Sicherheitsbauteilen. Unsere Leistungen für Sie könnten beispielsweise folgende Bausteine enthalten:

- Lastdatenerfassung
- Last- und Beanspruchungsanalysen
- Beanspruchbarkeitsanalysen
- Betriebslastensimulation
- Betriebsfestigkeitsnachweise
- standardisierte Belastungskollektive

### Zuverlässigkeitskonzepte

Immer mehr Produkte im Maschinen- und Anlagenbau sind durch mechatronische oder adaptronische Konzepte, d. h. durch die Integration von Sensoren, Aktuatoren, Elektronik und Regelungstechnik geprägt. Bei derartig hochkomplexen Systemen ist es nicht mehr ausreichend, die einzelnen Subsysteme (Mechanik, Regelungstechnik, Software etc.) separat und nach unterschiedlichen Kriterien zu bewerten. Daher stellen wir am Fraunhofer LBF die Frage nach der Zuverlässigkeit des Gesamtsystems. Auf Basis unserer langjährigen Erfahrungen und neuester Forschungserkenntnisse bieten wir Ihnen eine ganzheitliche Optimierung Ihrer Systeme und Produkte an. Beispielsweise können Sie von folgendem Know-how profitieren:

- Systemcharakterisierung
- Sensibilitätsanalysen
- Modellbildung
- Strukturüberwachung (SHM)
- Strukturkontrolle (SHC)

### Lärm- und Schwingungsreduktion

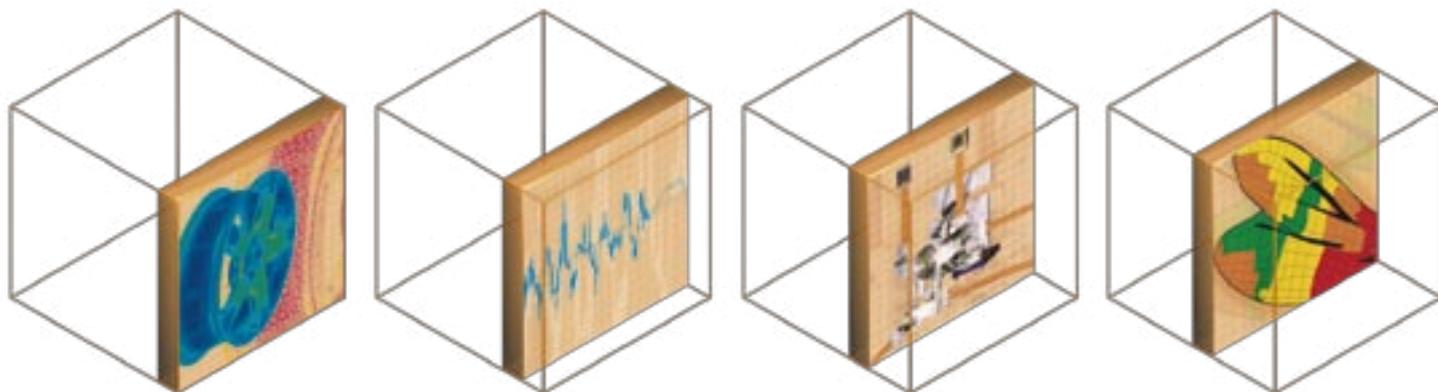
Europaweit leiden mehr als 100 Mio. Menschen in unterschiedlichen Formen und Auswirkungen unter Lärm. Stress, Schwerhörigkeit, Konzentrationsstörungen oder sogar erhöhtes Herzinfarktrisiko sind nachweislich die Folge. Lärm gilt mittlerweile weltweit als eine der wesentlichen Umweltverschmutzungen. Das soll nicht so bleiben. Mit unseren adaptiven Strukturen helfen wir Schwingungen und Schallabstrahlung effizient und frequenzselektiv zu reduzieren. Wir bieten Ihnen umfassendes Know-how u.a. in den Bereichen:

- Technische Akustik
- Noise Vibration Harshness (NVH)
- Intelligente Systeme zur aktiven Reduzierung der Schallabstrahlung
- Aktive Interfaces zur schwingungstechnischen Entkopplung
- Aktive Lagerung

### LBF®.Products

Unter dem Namen LBF®.Products bieten wir Ihnen markterprobte Produkte und Dienstleistungen auf der Basis erfolgreicher Eigenentwicklungen an. Sie profitieren von neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen, kalkulierbaren Kosten und kurzen Bearbeitungszeiten. Zu den LBF®.Products zählen folgende Innovationen des Fraunhofer LBF:

- LBF®.Wheel Strength/ Hubstrength: Spezialsoftware zur rechnerischen Auslegung von Fahrzeugrädern und Radnaben
- LBF®.DAP: numerisches Werkzeug zur Datenanalyse und Verkürzung von Zeitreihen
- ZWARP-Service Group: ZWeiAxiale RadPrüfung



## CAx- Technologien (CA)

Das Kompetenzcenter CAx-Technologien befasst sich mit der Entwicklung numerischer Methoden, Verfahren und Werkzeuge zur Betriebsfestigkeitsbewertung, der Integration von numerischen und experimentellen Methoden sowie der Konzeption entsprechender Datenbanken. Ebenso gehört die individuelle Anpassung dieser Methoden auf die Bedürfnisse der Kunden zum Angebot. Parallel zu den umfangreichen experimentellen Möglichkeiten des Fraunhofer LBF stellt die Entwicklung und Realisierung eines virtuellen Testlabs (VTL) einen Arbeitsschwerpunkt dar. Elastomerbauteile und andere Werkstoffe von Modellierung bis Prüfung umfassend numerisch zu bewerten, ist ein weiteres Thema.

**Ansprechpartner:**  
Dr.-Ing. T. Bruder  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-2 85  
thomas.bruder@lbf.fraunhofer.de

## Last- und Beanspruchungsanalyse (LB)

Das Kompetenzcenter Last- und Beanspruchungsanalyse befasst sich mit der Erfassung und Beurteilung von Lasten und Beanspruchungen, die auf Bauteile und Systeme einwirken. Es werden verkürzte Prüfungen abgeleitet und je nach Anwendungsfall standardisierte Lastfolgen erarbeitet. Die Entwicklung neuer Methoden im Bereich der Messtechnik im Hinblick auf Monitoringaufgaben wird ebenfalls betrieben. Des Weiteren wird im Rahmen der Lastanalyse ergänzend zur Messung die Methode der Mehrkörpersimulation angewendet. Fachliche Pflege sowie strategischer Ausbau der Meßtechnik, insbesondere zur Ermittlung von Kundennutzungsprofilen sind Schwerpunkte.

**Ansprechpartner:**  
Dipl.-Math. M. Kieninger  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-2 67  
michael.kieninger@lbf.fraunhofer.de

## Betriebslastensimulation und Bewertung (BB)

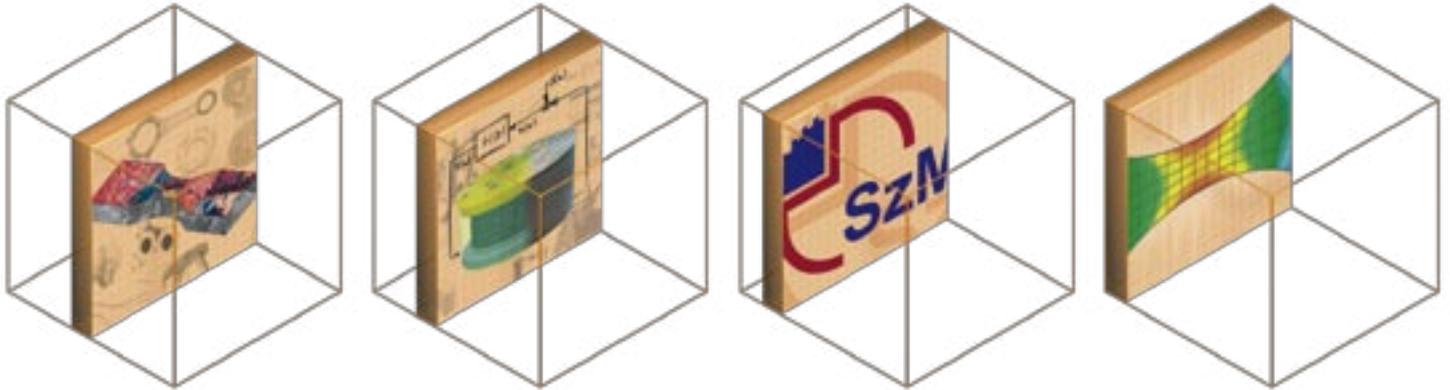
Im Kompetenzcenter Betriebslastensimulation und Bewertung werden mit experimentellen und numerischen Methoden betriebsähnliche oder hierzu äquivalente Beanspruchungen simuliert, die den Nachweis einer betriebssicheren Dimensionierung und Herstellung von Bauteilen und –gruppen darstellen. Die Bewertung der Betriebsfestigkeit erfolgt dabei unter ganzheitlicher Betrachtung der verwendeten Werkstoffe, der Konstruktion, des Fertigungsprozesses sowie der Einsatz- und Nutzungsbedingungen. Die hierfür eingesetzten Methoden und Verfahren – von der Analyse der Lastdaten, über die Erstellung eines geeigneten Lastprogramms zum Betriebslastennachfahrversuch bis zur Konzeption und dem Betrieb entsprechender Prüfstände – orientieren sich sehr zielgerichtet an der speziellen Formulierung der Aufgabenstellung.

**Ansprechpartner:**  
Dipl.-Ing. R. Heim  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-2 83  
ruediger.heim@lbf.fraunhofer.de

## Betriebsfester Leichtbau (BL)

Im Kompetenzcenter Betriebsfester Leichtbau werden Leichtbaukomponenten aus faserverstärkten und unverstärkten Kunststoffen in der Ganzheitlichkeit von Werkstoff, Konstruktion, Fertigung und Einsatz bewertet. Dieses umfasst die Untersuchung und Optimierung der Eigenschaften und Lebensdauer von Leichtbaustrukturen unter besonderer Berücksichtigung der realen, einsatzspezifischen Betriebsbeanspruchungen und Umgebungsbedingungen. Wesentlicher Aspekt: Gewichtsminderung bei hinreichender Steifigkeit, dynamischer Stabilität und Betriebsfestigkeit, d.h. eine Strukturoptimierung, die nur unter kombinierter Verwendung der Werkzeuge aus Strukturmechanik und Betriebsfestigkeit möglich ist. Stichworte: Leichtbau, Ausfallsicherheit, schadenstolerantes Design, Entwicklung von Diagnosesystemen, Faserverbunde.

**Ansprechpartner:**  
Dr.-Ing. A. Büter  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-2 77  
andreas.bueter@lbf.fraunhofer.de



### Bauteilgebundenes Werkstoffverhalten (BW)

Das Kompetenzcenter Bauteilgebundenes Werkstoffverhalten befasst sich mit der experimentellen und numerischen Beanspruchbarkeitsanalyse von zyklisch belasteten, metallischen und keramischen Werkstoffen in und für Konstruktionen. Die Basis hierfür bildet die Korrelation der Betriebsfestigkeit mit lokalen Bauteilparametern, die aus Werkstoff, Konstruktion, Fertigung und Belastung, einschließlich Umgebungsbedingungen, resultieren.

**Ansprechpartner:**  
Dr.-Ing. H. Kaufmann  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-3 45  
heinz.kaufmann@lbf.fraunhofer.de

### Mechatronik / Adaptionik (MA)

Aufgabe des Kompetenzcenters Mechatronik/Adaptionik ist die Entwicklung und Realisierung aktiver Struktursysteme sowie die Weiterentwicklung geeigneter Methoden und Verfahren hierfür. Ziel ist es, die Eigenschaften und Funktionen von Strukturen mittels aktiver mechatronischer und adaptionischer Maßnahmen zu verbessern und kommerziell nutzbar zu machen. Kompetenzschwerpunkte sind experimentelle Methoden zur strukturdynamischen bis vibroakustischen Systemanalyse passiver und aktiver Strukturen, die Komponenten- und Systemauslegung mit aktiven Materialsystemen, die Modellbildung und numerische Simulation bis komplexer aktiver Systeme, die Elektronik, Regelungstechnik und Systemintegration und die Systemzuverlässigkeit.

**Ansprechpartner:**  
Dr.-Ing. T. Metz  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-2 52  
tobias.metz@lbf.fraunhofer.de

## Assoziierte Kompetenzcenter

### Systemzuverlässigkeit und Maschinenakustik (SzM)

Das Fachgebiet Systemzuverlässigkeit der TU Darmstadt ist als Kompetenzcenter Universitäre Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Systemzuverlässigkeit und der Maschinenakustik in das Fraunhofer LBF integriert. Ausgehend von gängigen Methoden der Betriebsfestigkeit und der Zuverlässigkeit im Maschinenbau werden neuartige Ansätze zur Beschreibung der Systemzuverlässigkeit komplexer Systeme entwickelt und nachgewiesen. Ein wesentliches Forschungspotenzial liegt im Bereich „akustische Optimierung von Fundament- und Prüfstandsgestaltung mittels aktiver Elemente“ in Verbindung mit „Impedanzanpassung und -übertragung“ und „Übertragung von akustischen Prüfstandsdaten auf reale Einbaufälle“ unter Einbeziehung „akustischer Modellgesetze“ und „Einsatz alternativer Werkstoffe“.

**Ansprechpartner:**  
Dr.-Ing. K. Wolf  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 16 69 30  
wolf@szm.tu-darmstadt.de

### Software-Entwicklung und Vertrieb (S&S GmbH)

Die Stress & Strength GmbH ist als Kompetenzcenter Entwicklung und Vermarktung von Spezialsoftware an die Organisationsstruktur des Instituts angebunden. Dieses Kompetenzcenter befasst sich hauptsächlich mit der Umsetzung der im Fraunhofer LBF entwickelten numerischen Methoden in anwendungs- und vermarktungsfähige Software und vertreibt diese selbständig. Im Rahmen ihrer Dienstleistungen unterstützt die S&S des weiteren aufgrund ihrer Erfahrung in den verschiedensten Bereichen der Numerik Kunden bei eigenen Entwicklungsprojekten.

**Ansprechpartner:**  
Dipl.-Ing. O. Ehl  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 9 67 31  
oehl@s-and-s.de

In unseren Geschäftsfeldern finden Sie die Ansprechpartner für Problemstellungen und Zielsetzungen in Ihren Marktsegmenten.

In our business units you will find the contact person for problems and objectives in your specific market segments.





### Automotive

Unser Leistungsangebot im Geschäftsfeld Automotive ist speziell auf die Anforderungen von Herstellern und Zulieferern der Personen-KFZ-Industrie zugeschnitten. Insbesondere im Bereich Antriebsstrang, Fahrwerk und Karosserie können Sie von unseren langjährigen Erfahrungen hinsichtlich Konstruktion, Werkstoff, Fertigungsverfahren und Sicherheit profitieren. Von der Entwicklung geeigneter Prüfkonzepte über numerische und experimentelle Simulationen der Betriebsbeanspruchungen bis hin zu optimierten Leichtbau-Strukturen bieten wir Ihnen alle Leistungen des Fraunhofer LBF aus einer Hand – ganzheitlich, erfolgsorientiert und zuverlässig.

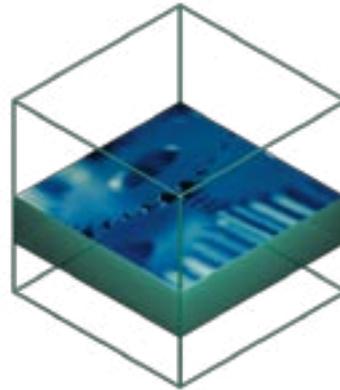
**Ansprechpartner:**  
Prof. Dr.-Ing.  
C. M. Sonsino  
Telefon: +49 (0) 6151 / 7 05-2 44  
c.m.sonsino@lbf.fraunhofer.de



### Transport (Nfz, Schienenfahrzeuge, Schiff, Luft- und Raumfahrt)

Mit zunehmender Rationalisierung und Prozessoptimierung in der Logistik steigen auch die Anforderungen an Zuverlässigkeit und Lebensdauer von Nutzfahrzeugen. Vor diesem Hintergrund haben sich unsere Entwicklungsteams auf belastete Sicherheitsbauteile und Strukturen von LKW, Schienenfahrzeugen, Flugzeugen oder Schiffen spezialisiert. Dazu zählen Achsen, Kurbelwellen und Lager ebenso wie Bremsen, Radsätze oder Fügeverbindungen. Mit unseren umfassenden numerischen und experimentellen Verfahren optimieren wir u.a. die Betriebsfestigkeit Ihrer Erzeugnisse oder die Zuverlässigkeit Aktiver Systeme in Ihren Produkten. So tragen wir dazu bei, die Wettbewerbsfähigkeit Ihrer Produkte zu steigern und verbessern darüber hinaus die Sicherheit für Menschen und Güter.

**Ansprechpartner:**  
Prof. Dr.-Ing.  
C. M. Sonsino  
Telefon: +49 (0) 6151 / 7 05-2 44  
c.m.sonsino@lbf.fraunhofer.de

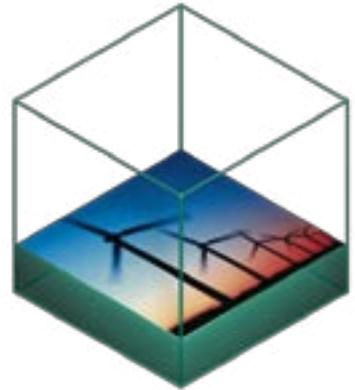


### Maschinen- und Anlagenbau

Präziser, wirtschaftlicher und leiser, das sind wesentliche Wettbewerbsfaktoren im modernen Maschinenbau. Mit Blick hierauf unterstützen wir Sie bei der Entwicklung und Optimierung Ihrer spezifischen Maschinen und Anlagen. Der unmittelbare Mehrwert könnte in einer höheren Betriebsgeschwindigkeit, einem niedrigeren Energieverbrauch oder einer geringeren Lärmbelastung für das Bedienpersonal liegen. Das Fraunhofer LBF ist Ihr Dienstleistungspartner in den Bereichen:

- Anlagentechnik (Instandhaltung, Überwachung etc.)
- Schnell laufende Maschinen und Maschinenteile (Textil-, Druck- und Papiermaschinen, Werkzeugmaschinen etc.)
- Konsumerprodukte (Haushaltsgeräte, Sportgeräte etc.)

**Ansprechpartner:**  
ab 1.7.2006: Dr. P. Emde  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-1  
peter.emde@lbf.fraunhofer.de

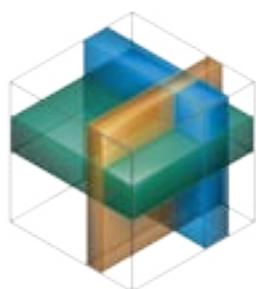


### Energie, Umwelt und Gesundheit

Der Mensch und die Schonung der Umwelt stehen im Vordergrund. Sie sind die Bindeglieder zwischen den unterschiedlichen Schwerpunkten im Geschäftsfeld „Energie, Umwelt und Gesundheit“. Wir sind Ihr Ansprechpartner für Themen wie lärmarme technische Konstruktionen, alternative Antriebe, Life-Cycle-Engineering- und Control-Konzepte oder die Technische Sicherheit von Windenergieanlagen (WEA). Als direkte Anlaufstelle für Betreiber, Hersteller und Zulieferer von Windenergieanlagen wurde jüngst das „Center für Windenergie und Meerestechnik CWMT“ in Bremerhaven durch das Fraunhofer LBF mit gegründet. So bieten wir unseren Kunden unmittelbar am Bedarfsort einen Zugang zu den neuesten Entwicklungen der Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit.

**Ansprechpartner:**  
Dr.-Ing. T. Bein  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-4 63  
thilo.bein@lbf.fraunhofer.de

Längere Wartungsintervalle für  
Flugzeuge und Windkraftanlagen.



Zuverlässigkeitskonzepte

Betriebsfester Leichtbau

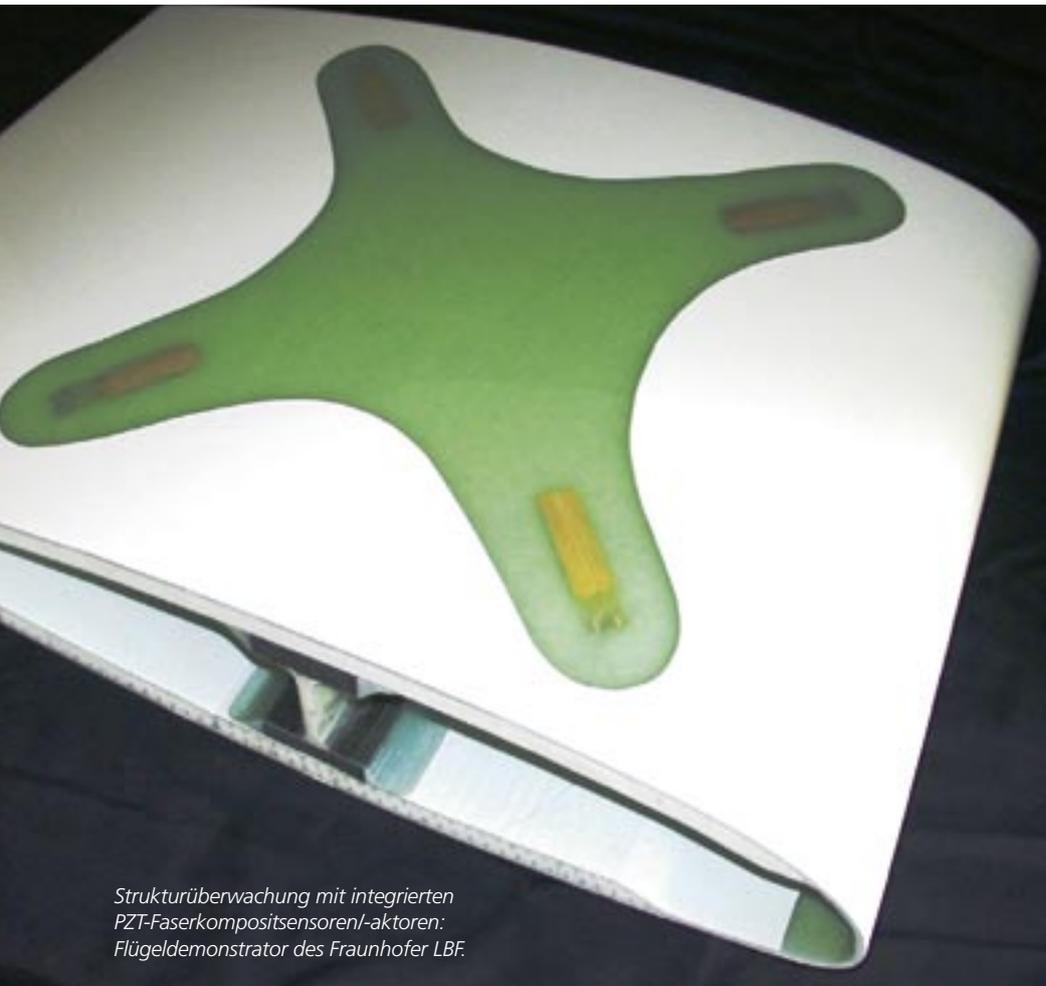
Transport

Von einer sicheren Konstruktion muss gefordert werden, dass bei Sicherheitsbauteilen während der Bemessungslebensdauer kein Schaden auftritt oder sich bei einer regelmäßig inspizierten Struktur ein Teilschaden nicht zum Totalversagen auswächst. Während bei der schwingbruchsicheren Konstruktion mehr die Frage nach der primären Schädigung im Vordergrund steht und damit den Werkstoff, das Herstellungsverfahren und die lokale Bauteilgestaltung angeht, zielt der ausfallsichere Entwurf auf Schadenstoleranz ab. Er beeinflusst somit das Verhalten und letztlich das Versagen der gesamten Struktur.

### On-line „Health Monitoring“

Hierbei sind die Bestimmung und Kontrolle des Schädigungsfortschritts, die Ermittlung bzw. Sicherstellung einer ausreichenden Resttragfähigkeit der geschädigten Struktur, die Anweisung regelmäßiger Inspektionen und die Möglichkeit eines Austauschs geschädigter Bauteile wesentliche Maßnahmen zur Realisierung schadenstoleranter oder ausfallsicherer Konstruktionen. Die Einführung von „On-line“ Health-Monitoring Systemen wirkt auf diese Konstruktionsphilosophie zurück. Werden z. B. die regelmäßige Inspektionen und die Sicherstellung der optischen Zugänglichkeit durch integrierte „On-line“ Health-Monitoring Systeme ersetzt, erhöhen sich die Anforderungen an die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems wesentlich. Die mechanische Struktur ist aufgrund des integrierten SHM-Systems schadenstolerant, das Gesamtsystem, mit dem integrierten „On-line“ Health-Monitoring System in einfachster Form jedoch nicht mehr. Hieraus folgt: Die Anforderungen nach der Zuverlässigkeit des Gesamtsystems.

Ansprechpartner:  
Dipl.-Ing. Martin Lehmann  
Dr.-Ing. Andreas Büter  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-2 53  
martin.lehmann@lbf.fraunhofer.de



Strukturüberwachung mit integrierten PZT-Faserkompositsensoren/-aktoren: Flügeldemonstrator des Fraunhofer LBF.

### Abstract

The acoustic monitoring concept using guided waves has been tested at GFRP (glass fibre reinforced plastic) structures. Test specimens were damaged with mechanical impacts and were then tested. The cable routing and the sensor of an integrated SHM system must not have a negative influence on the structural durability of the structure. The most important factor here is the possible generation of delaminations by the integrated modules or cables. The reliability and durability of the sensor under cyclic loads is another critical factor which is investigated. A degradation of the sensor signal in connection with fatigue has to be accounted for when interpreting the signals. Otherwise the degraded signal could appear as a defect in the GFRP structure.

### Structural Health Monitoring

Das Fraunhofer LBF entwickelt zusammen mit anderen Fraunhofer-Instituten betriebssichere Schadensüberwachungssysteme (Structural-Health-Monitoring SHM) und weist deren Systemzuverlässigkeit für den praktischen Einsatz nach. Anwendungsbeispiele sind eine Faserverbundplatte und ein Flügelsegment mit Strukturintegrierten SHM Systemen zur akustischen Schadensdetektion an Faserverbunden.

Funktionsprinzip: Überwachung einer Faserverbundstruktur durch Körperschallwellen. Delaminationen führen zu Reflektionen der Schallwellen, wodurch sich Schadensort und -größe detektieren lassen.

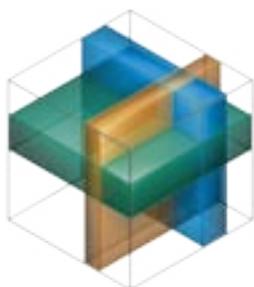
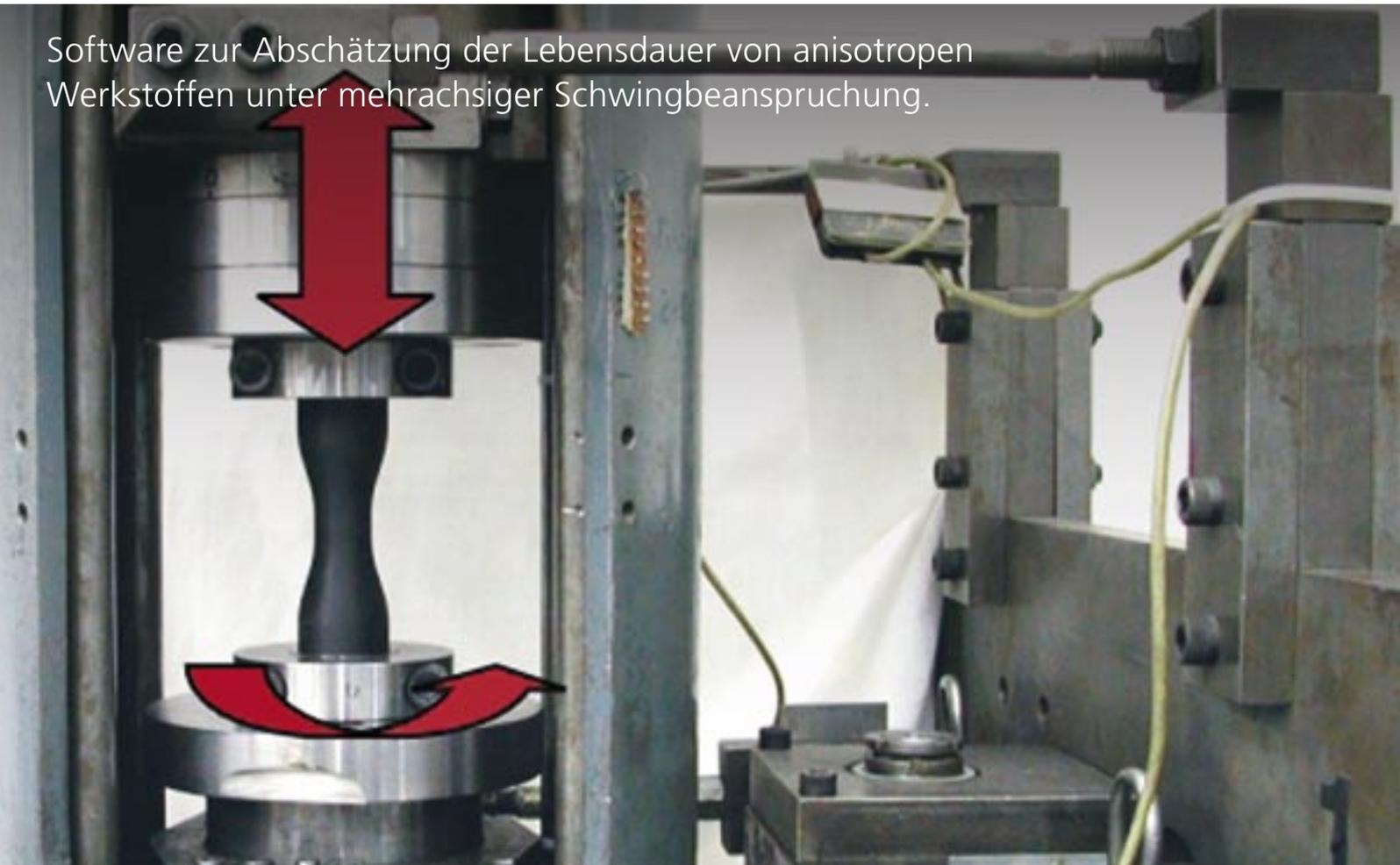
### Leistungen des Fraunhofer LBF:

- Zuverlässigkeitsuntersuchung von Sensoren z. B. hinsichtlich Degradation des Sensorsignals unter Schwingbeanspruchung bei realitätsnahen Umgebungsbedingungen
- Untersuchung des Sensoreinflusses auf die Betriebsfestigkeit der Struktur
- Optimierte Fertigung von Faserverbundplatten mit integrierten PZT-Faserkompositsensoren /-aktuatoren (in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Darmstadt und Degussa/Röhm, Darmstadt)
- künstliche Erzeugung von Delamination in Proben und bauteilähnlichen Proben zur Systemidentifikation
- Erprobung des gesamten Überwachungssystems an einer instrumentierten Probe durch Betriebslastensimulation
- Verifikation der Messdaten mit alternativen Überwachungssystemen

### Kundennutzen

Profitieren kann besonders die Luftfahrtindustrie und Windenergiebranche. Mithilfe dieser Art der Überwachung könnten beispielsweise Wartungsintervalle verlängert werden, also teure unnötige Standzeiten von Flugzeugen vermieden werden oder kostenintensive, aufwändige Inspektionsfahrten zu Offshore-Windenergieanlagen reduziert werden.

Software zur Abschätzung der Lebensdauer von anisotropen Werkstoffen unter mehrachsiger Schwingbeanspruchung.



**Sicherheitsstrategien**

**Betriebsfester Leichtbau**

**Automotive**

Ansprechpartner:  
Dipl.-Ing. Katrin Bolender  
Dr.-Ing. Andreas Büter  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-2 53  
katrin.bolender@lbf.fraunhofer.de

Für eine gezielte und wirtschaftliche Bauteilauslegung sind umfassende Kenntnisse über werkstoff- und bauteilgebundene Festigkeitseigenschaften erforderlich. Bei faserverstärktem Kunststoff spielen dabei Faserorientierung, Faservolumengehalt sowie Herstellungsart und -qualität des Bauteils eine wichtige Rolle. Für die Bemessung von schwingend belasteten Bauteilen gilt es, weitere Einflussfaktoren zu untersuchen.

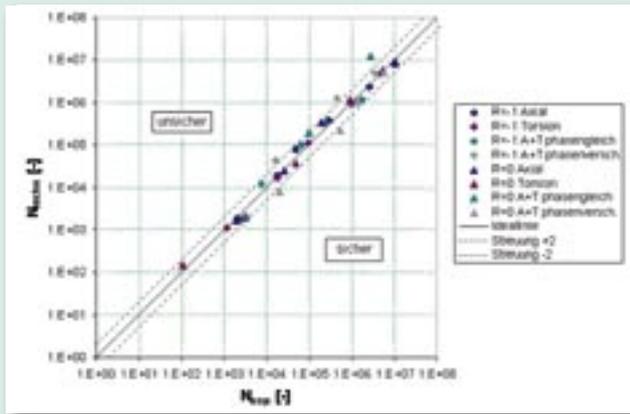
### Mehrachsige Spannungszustände

So müssen neben der Kerbwirkung und den Temperaturbedingungen auch Einflussgrößen wie Mittelspannungen untersucht werden. Je nach Vorzeichen und Höhe der statischen (Vor)last wird die Schwingfestigkeit teilweise erheblich beeinflusst. Des Weiteren ist im Allgemeinen im Bauteil lokal nicht nur mit uniaxialer Schwingbeanspruchung sondern Beanspruchung unter speziellen, in Probenversuchen experimentell untersuchten, Bean-

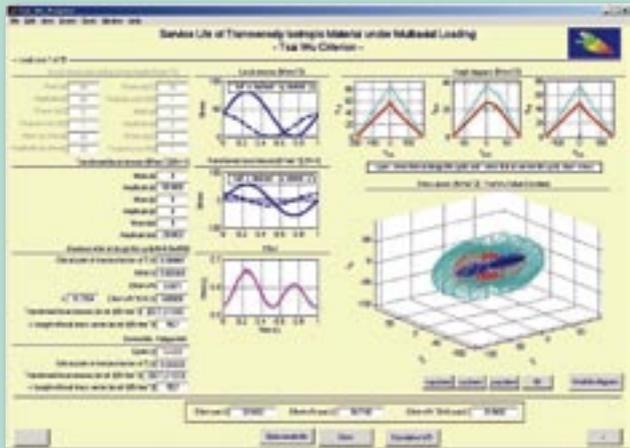
spruchungsrichtungen und Amplitudenverhältnissen zu rechnen. Diesen beliebigen mehrachsigen Spannungszuständen gilt bei der betriebsfesten Bauteilauslegung besonderes Augenmerk. Bei faserverstärkten Kunststoffen stellt aufgrund der Anisotropie des Materials der mehrachsige Spannungszustand eine besondere Herausforderung dar, da einerseits nicht nur multiaxiale, sondern auch uniaxiale äußere Schwingbelastung zu multiaxialer örtlicher Schwingbeanspruchung führt, andererseits die Festigkeit des Materials in den verschiedenen Beanspruchungsrichtungen unterschiedlich hoch ausfällt.

### Projekthalt

In diesem Projekt wurde ein numerisches Bemessungsverfahren für hochbelastete kurzfaserverstärkte Kunststoffbauteile entwickelt, das für die Problemstellung, mehraxiale Schwingbeanspruchung leicht anisotroper Materialien unter Berücksichtigung unterschiedlich hoher Vorspannungen,



Rechnerische Lebensdauerermittlung nach Tsai-Wu.



Numerisches Bemessungsverfahren des Fraunhofer LBF für Kunststoffbauteile.

### Abstract

An analytical, numerical method for short fibre reinforced plastic components subject to multiaxial cyclic loading was developed and tested. By implementing this method into software an easy-to-use tool was created for fatigue behaviour assessment. The components' service life as well as the effort at the design life number of load cycles may be calculated either based on the critical section plane approach while considering the normal stress component or on the Tsai-Wu hypothesis. Each of the hypotheses takes into account the anisotropic material behaviour by using the corresponding strengths. The assessment is applied locally on the basis of the local (multiaxial) stresses and strengths.

einen Lösungsansatz liefert. Es basiert auf experimentell ermittelten Schwingfestigkeiten unter uniaxialer Belastung. Auf Basis der Ergebnisse solcher Untersuchungen kann mit Hilfe des vorgestellten Bemessungskonzeptes eine Schadensakkumulation bei realer Schwingbelastung, d.h. bei variabler Amplitude, durchgeführt werden.

### Kundennutzen

Bisher werden zur Auslegung von Bauteilen aus Kunststoff oftmals ausschließlich statische Kennwerte wie Zugfestigkeit, Streckgrenze, Bruchdehnung oder statisches Kriechen herangezogen. Wenn es sich um zyklisch belastete Bauteile handelt, sind diese Werte nicht ausreichend. Ziel ist es, ein ganzheitliches Konzept für wirrfaserverstärkte Kunststoffbauteile zu entwickeln, das unter Berücksichtigung aller für eine betriebsfeste Auslegung maßgebenden Faktoren eine Abschätzung der Lebensdauer bzw. Anstrengung ermöglicht.

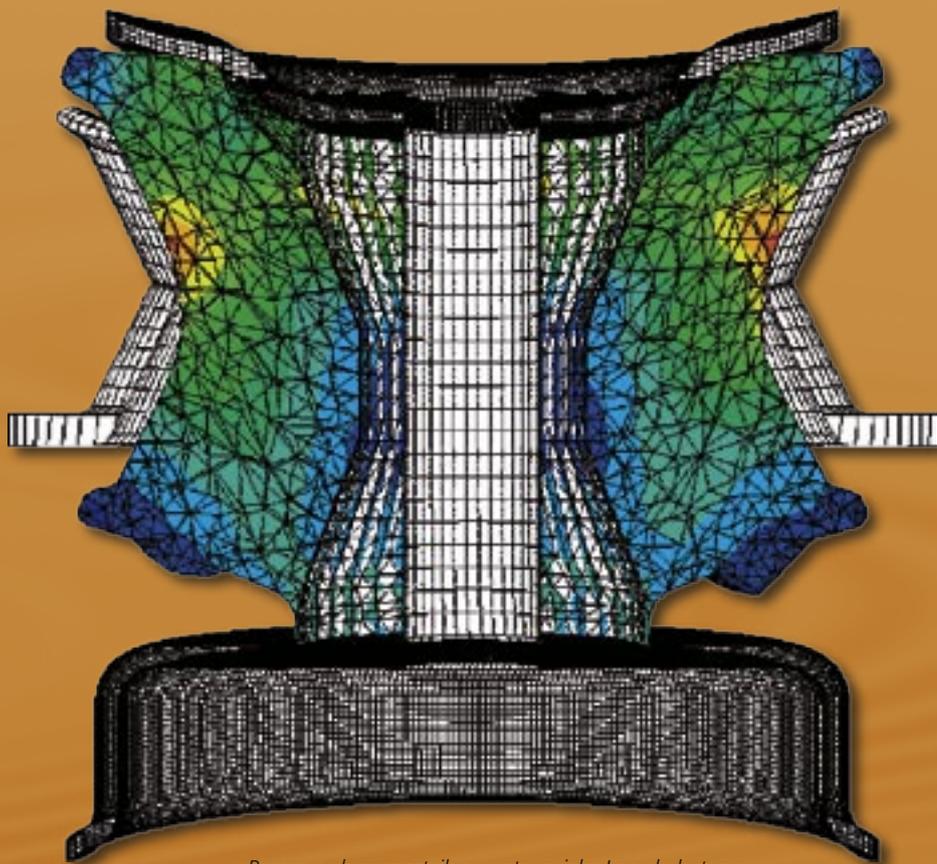
Mit Hilfe an die jeweiligen Materialeigenschaften angepasster Hypothesen für die Schadensakkumulation können die durch die lokalen Beanspruchungen des zugrunde liegenden Beanspruchungskollektivs hervorgerufenen Teilschädigungen an jeder Stelle im Bauteil zu einer lokalen Gesamtschädigung ‚aufsummiert‘ werden. Eine solche Schadensverteilung kann dann als Basis für die Bauteiloptimierung dienen.

Egon Moosbrugger, Robert Bosch GmbH, Zentralbereich Forschung und Vorausentwicklung:

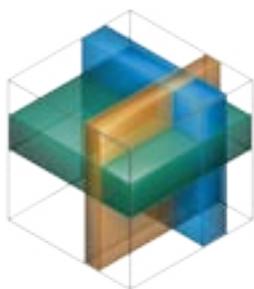


„Mangels geeigneter Werkstoffkennwerte und Methoden, die den Einfluss komplexer Belastungen auf die Lebensdauer von kurzfaserverstärkten Kunststoffstrukturen beschreiben, werden die vorhandenen Probleme heute durch relativ große Sicherheitsfaktoren abgedeckt, die zu einer unnötigen Überdimensionierung führen können. Oft werden Kunststofflösungen erst gar nicht realisiert - aus Angst, sie könnten den Anforderungen nicht standhalten.“

Schnelle und günstige Produktentwicklung von Elastomerlagern durch neuartige Modelle.



Beanspruchungsverteilung unter axialer Lagerbelastung.



### Design und Konstruktion

### CAX-Technologien

### Automotive

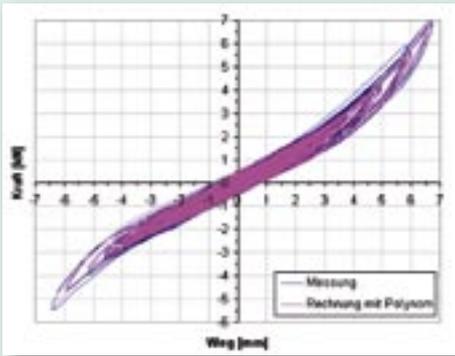
Ansprechpartner:  
Dipl.-Ing. Marc Wallmichrath  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-4 76  
marc.wallmichrath@lbf.fraunhofer.de

Elastomerkomponenten werden als Lagerelemente in Fahrwerken, Antriebsaggregaten und anderen kraftübertragenden Anbauteilen eingesetzt. Ihre Vorteile sind vergleichsweise geringe Kosten und die Variabilität der mechanischen Eigenschaften. Das ermöglicht eine bedarfsorientierte Beeinflussung von Schwingungen in technischen Systemen. Nachteilig sind die nur schwierig zu berücksichtigenden für Elastomere charakteristischen Nichtlinearitäten sowohl der Feder- als auch der Dämpfungseigenschaften. In komplexeren Systemen sind durch die unzureichenden Berechnungsmöglichkeiten des Übertragungsverhaltens häufig Konstruktionsänderungen in der Endphase des Produktentwicklungsprozesses nötig. Dies begrenzt kürzere Produktentwicklungszeiten und führt zu erhöhten Kosten. Um eine Auslegung der Elastomerkomponenten, ihres Übertragungsverhaltens und somit der Einflüsse auf das Gesamtsystem schon beim Beginn der Entwicklung vorzunehmen, müssen

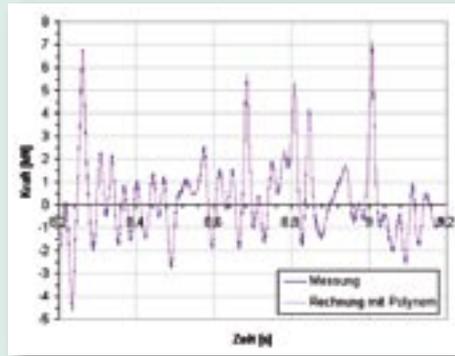
zuverlässige rechnerische Werkzeuge vorliegen. Im Fraunhofer LBF erarbeiten die Experten Lösungen, um das dynamische Bauteilverhalten von Elastomerkomponenten zu beschreiben und zu berechnen.

### Realitätsnahe Simulation

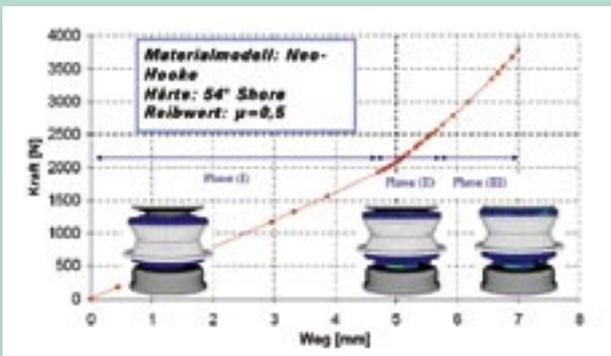
Als Grundlage für die Arbeiten zur Identifikation des Übertragungsverhaltens und für die Modellbildung der Elastomerbauteile dienten Messkampagnen, bei denen die Kräfte und Verschiebungen direkt an den Elastomerbauteilen gemessen wurden. Hierzu wurden betriebslastähnliche Signale vorgegeben. Für die Simulation wurde auf physikalische und auf vollkommen generische Modelle zurückgegriffen. Bei den stärker physikalisch begründeten Modellen mit ihrer Unterteilung in Kraftanteile aus Steifigkeit und Dämpfung konnten Variationen im Bauteildesign schnell in die Simulation übernommen werden. Darüber hinaus sind die physikalischen Modelle begrenzt extrapolierbar. Die mathematisch sowohl mit Polynomansätzen als auch mit Differentialgleichungen aufgebaut-



Simulationsgüte Kraft über Weg.



Simulationsgüte Kraft über Zeit.



Die verschiedenen Kontaktphasen bei der Belastung des Lagers.

## Abstract

Elastomeric components are important for the development of today's systems, especially within the automobile industry. They are used for uncoupling parts with respect to loadings related to durability aspects as well as to noise, vibration and harshness. The Fraunhofer LBF undertakes various tests and studies to provide the engineer with sufficient numerical models and tools for a first evaluation of new or diversified elastomeric components. This work contains the measurement and identification of the transfer behaviour and the derivation of mathematical models for the simulation of elastomeric components. Together with an almost automated parameter identification, these models, both physical as well as generic, create new possibilities for the dynamical simulation of holistic systems and further developments within the field of elastomeric components.

ten Modelle ermöglichten eine stabile und für reine Elastomerlager sowie einfache Hydrolager auch realitätsnahe Simulation. Einzig bei komplex ausgelegten Hydrobuchsen zeigten sich nennenswerte Abweichungen zwischen Messung und Simulation. Rein generische Modellansätze, wie z. B. Neuronale Netze, sind zwar leicht anzuwenden und besitzen eine hohe Güte, dafür fehlt die Extrapolierbarkeit der Modelle auf andere Signalinhalte oder Variantenkonstruktionen.

Durch moderne Materialgesetze in Verbindung mit der Finite-Element-Methode können auch ohne Messungen am Bauteil erste Aussagen über das Verhalten von Elastomerbauteilen getroffen werden. Das wurde anhand eines Federbeinstützlagers aus dem Automobilbereich gezeigt. Die Simulationen reagierten jedoch sehr sensibel auf Änderungen der Kontaktbedingungen, Reibbeiwerte und Materialkennwerte. Signifikante Abweichungen gab es auch bei der Anwendung unterschiedlicher Materialgesetze.

## Frühstmögliche Beurteilung dynamischer Systeme

Durch die Berechnungsmodelle und Simulationen können dynamische Systeme bereits bei der Entwicklung beurteilt und schwingungstechnisch optimiert werden. Zudem können Belastungszeitreihen unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Schadensmechanismen mit dem Ziel der Versuchszeitverkürzung bearbeitet werden und unterstützen beim Versuchsdesign. Die Projektergebnisse dienen zudem zur rechnerischen Betriebsfestigkeitsanalyse von elastomergelagerten Strukturen unter Berücksichtigung von Temperatur- und Alterungseinflüssen. In 2006 wird das Fraunhofer LBF seine Versuchskapazitäten um eine Prüfeinrichtung zur mehraxialen höherfrequenten Identifikation und Betriebsfestigkeitsprüfung von Elastomerlagern erweitern.

Stabilität auch bei höheren Drehzahlen.

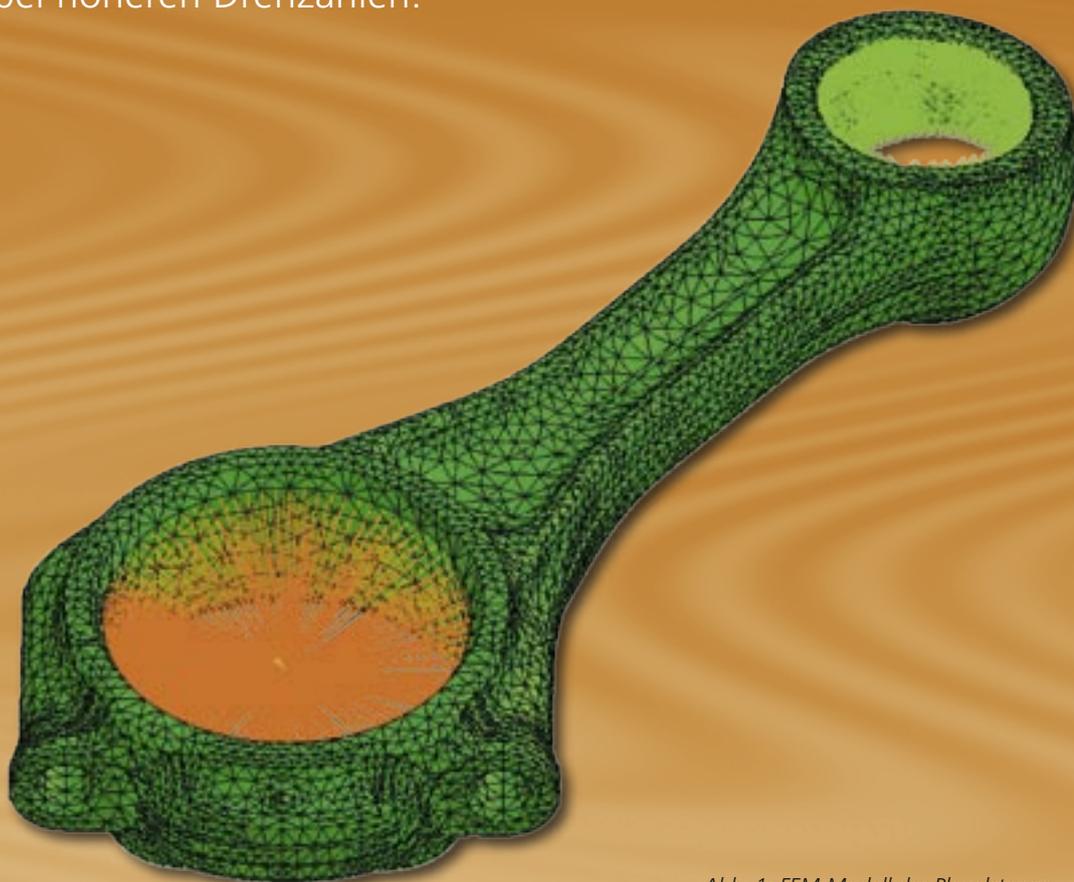
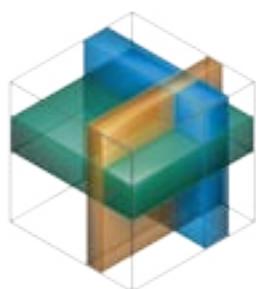


Abb. 1: FEM-Modell der Pleuelstange.



**LBF®.Products**

**CAX-Technologien**

**Transport**

Ansprechpartner:  
Dr.-Ing. Ulrich May  
Dr.-Ing. Klaus Lipp  
Dipl.-Ing. Klaus Störzel  
Dipl.-Ing. Oliver Ehl  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05 – 4 73  
ulrich.may@lbf.fraunhofer.de

Die derzeitigen Entwicklungstendenzen im Fahrzeug-Motorenbau sind durch höhere Drehzahlen bzw. höhere Zünddrücke gekennzeichnet, wodurch die mechanischen und thermischen Beanspruchungen von Bauteilen ansteigen.

Es besteht Bedarf an zuverlässigen numerischen Werkzeugen, die den Konstrukteur nicht nur bei der Berechnung, sondern auch bei der Bewertung und bei der Darstellung der Ergebnisse unterstützen. Für die Auslegung von Pleuelstangen wurde am Fraunhofer LBF zusammen mit der Stress & Strength GmbH ein solches einfach anzuwendendes Werkzeug in Form einer Software entwickelt.

## Finite Elemente Modell und Lastannahmen

Zur Durchführung der numerischen Festigkeitsbeurteilung wird ein vollständiges Finite-Elemente-Modell der Pleuelstange benötigt. Pleuelzapfen und Pleuelbolzen werden jeweils vereinfacht modelliert. Für die Verformungsanalyse im Bereich der Pleuelaußen sind Kontaktelemente nötig, die Druck-, aber keine Zuglast übertragen können (Abb. 1).

Die für die Festigkeitsbewertung relevante Pleuelbelastung resultiert einerseits aus der maximalen Gasdruckkraft infolge des Zünddrucks und andererseits aus den drehzahlabhängigen, oszillierenden und rotierenden Massenkräften. Zusammen mit den Konstruktionsdaten des Motors und der maximalen Drehzahl lassen sich daraus die maximalen Betriebslasten und das zugehörige lokale Lastverhältnis berechnen.

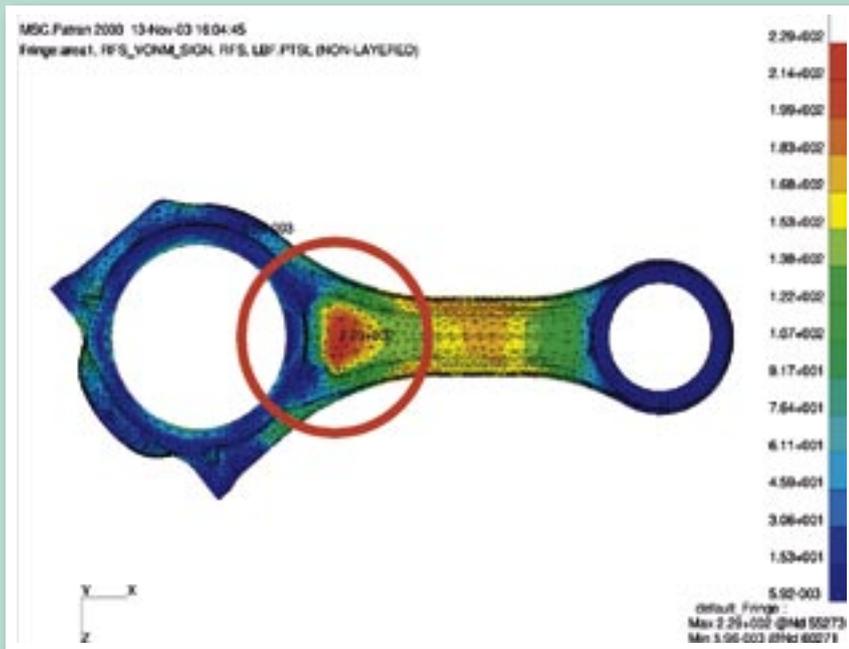


Abb. 2: Berechneter höchstbeanspruchter Bereich im Schaft und Bruchlage im Versuch.

## Abstract

A strategy for the numerical evaluation of the structural durability of a connecting rod is presented. The strategy consequently transfers the experimental methods for the durability evaluation of connecting rods having been approved over many years in the Fraunhofer LBF, to the Finite-Element design evaluation. In order to reduce the simulation effort, a tool was created which automatically performs all necessary Finite-Element calculations in an efficient way.

## Numerische und experimentelle Festigkeitsbewertung

Der für die Freigabe der Pleuel erforderliche experimentelle Festigkeitsnachweis wurde konsequent in eine rechnerische Methode zur numerischen Bewertung umgesetzt. Dabei wird das endbearbeitete Pleuel inkl. der Lagerschalen wie beim Prüfstand axial belastet. Somit ist schon frühzeitig im Entwicklungsprozess, ohne dass ein Prototyp zur Verfügung steht, eine Aussage zur Schwingfestigkeit möglich. Für jeden Knoten des FE-Netzes wird die Beanspruchung in Form der versagensrelevanten Spannung bestimmt (Abb. 2). Die Schwingfestigkeitsbewertung erfolgt auf lokaler Grundlage unter Berücksichtigung der Beanspruchungsgradienten sowie des höchstbeanspruchten Werkstoffvolumens. Dabei müssen zyklische Werkstoffkennwerte zur Verfügung stehen, die den Gegebenheiten des Bauteils entsprechen.

## Kundennutzen

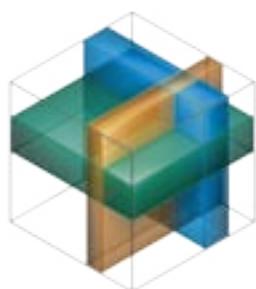
Die von der Stress & Strength GmbH entwickelte Software ist Teil der LBF®.Products. Dabei handelt es sich um eine nach dem Baukastenprinzip aufgebaute Software, die es ermöglicht, kundenspezifische Tools - wie hier für Pleuelstangen - zusammenzustellen. Das Pleuelstangen-Tool enthält alle erforderlichen Daten und Routinen für die komplexe Berechnung und Bewertung (z. B. Lastannahmen und Vorlagen für die graphische Aufbereitung der Ergebnisse). Es unterstützt den Konstrukteur einerseits bei der Modellerstellung und übernimmt andererseits die Bewertung der Berechnungen.

Da die örtliche Schwingfestigkeit maßgeblich von der Fertigung beeinflusst wird, kann auf einen abschließenden experimentellen Nachweis nicht verzichtet werden.

## Zyklische Kennwerte für sprühkompaktierte Aluminiumwerkstoffe.



Foto: PEAK Werkstoff GmbH.



### Sicherheitsstrategien

### Bauteilgebundenes Werkstoffverhalten

### Maschinen- und Anlagenbau

Ansprechpartner:  
Dipl.-Ing. Chalid el Dsoki  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-4 41  
chalid.el-dsoki@lbf.fraunhofer.de

Sprühkompaktierte Hochleistungsaluminiumlegierungen (DISPAL = DISpersionsverfestigtes ALuminium) zeichnen sich durch hohe Festigkeiten, hohe E-Moduli, guten Verschleißwiderstand und niedrige thermische Ausdehnungskoeffizienten aus. Deswegen wurden im Rahmen eines bilateralen Projektes unter Variation von Werkstoff und anderer Parameter sowohl dehnungsgeregelte als auch kraft-geregelte Versuche durchgeführt.

### Projekthinhalte

Für neun unterschiedliche, sprühkompaktierte Werkstoffe wurden dehnungsgeregelte aufgenommene Anrisswöhlerlinien und die zyklischen Spannungs-Dehnungs-Kurven mit der Coffin-Manson-Morrow- und Ramberg-Osgood-Beziehung beschrieben. Innerhalb der Werkstoffe variierten die Parameter wie Pressgeschwindigkeit, Prüftemperatur, die Dotierung, der Durchmesser des

Strangpressprofils und die Lage der entnommenen Probe zur Pressrichtung. Ferner wurden mit sechs kraftgeregelten Versuchsreihen die Kerbempfindlichkeit und die Mittelspannungsempfindlichkeit von zwei ausgewählten Werkstoffen bestimmt, Tabelle 1.

Für die dehnungsgeregelten Versuchsreihen wurden neben der zyklischen Spannungs-Dehnungs-kurve und der Dehnungswöhlerlinie auch die Spannungswöhlerlinie abgeleitet, Abb. 1 bis Abb. 3.

Tabelle 1: Prüfprogramm.

Werkstoff	K	Strangpress- durchmesser (mm)	Proben- lage	T (°C)	R	Bemerkung
S220 F	1	30	Längs = I	RT	-1	
S225 F	1	30	I	RT	-1	
S226 T8	1	30	I	RT	-1	
S2308 T8	1	30	I	RT	-1	Vergleich zu S232
S250 F	1	30	I	RT	-1	
S250 F	1	30	I	200	-1	Einfluss Temperatur
S250 F	1	60	I	RT	-1	Einfluss Pressgeschwindigkeit (geringer)
S250 F	1	60	I	RT	-1	Einfluss Profildurchmesser, Proben mitlg
S250 F	1	60	I	RT	-1	Einfluss Pressgeschwindigkeit (höher)
S250 F	1	100	I	RT	-1	Einfluss Profildurchmesser, Proben mitlg
S250 F	1	100	quer = II	RT	-1	Einfluss Probenlage
S260 F	1	30	I	RT	-1	
S481 T8	1	30	I	RT	-1	
S481 T8	1	30	I	200	-1	Einfluss Temperatur
S483 T8	1	30	I	RT	-1	Einfluss Dotierung
S480 T8	1	30	I	200	-1	Einfluss Dotierung
S232 T8	1	30	I	RT	-1	
S232 T8	1	30	I	200	-1	Einfluss Temperatur
S250 F	1	30	längs = I	RT	0	Mittelspannungsempfindlichkeit
S250 T8	2	30	I	RT	-1	Kerbempfindlichkeit
S250 T8	3	30	I	RT	-1	Kerbempfindlichkeit
S232 T8	1	30	I	RT	0	Mittelspannungsempfindlichkeit
S232 T8	2	30	I	RT	-1	Kerbempfindlichkeit
S232 T8	3	30	I	RT	-1	Kerbempfindlichkeit

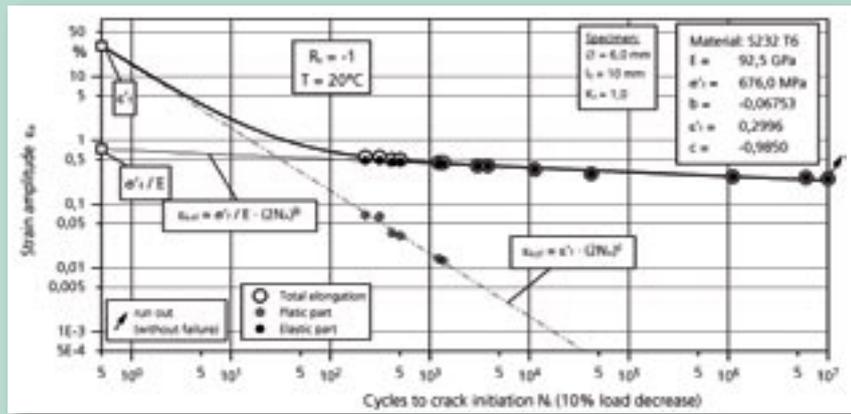


Abb. 2: Dehnungswöhlerlinie.

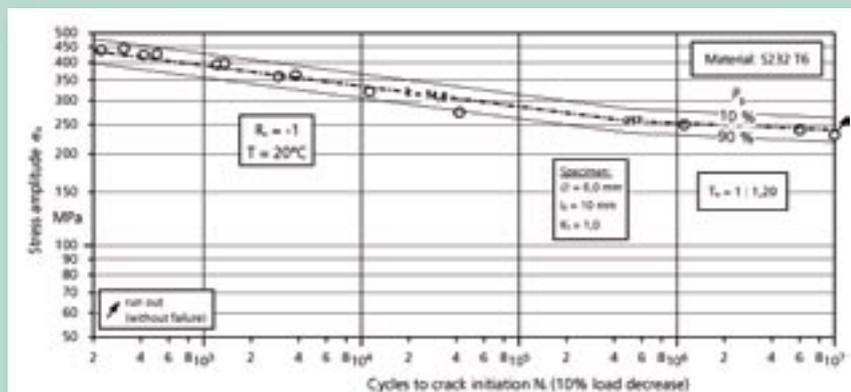


Abb. 3: Abgeleitete Spannungswöhlerlinie.

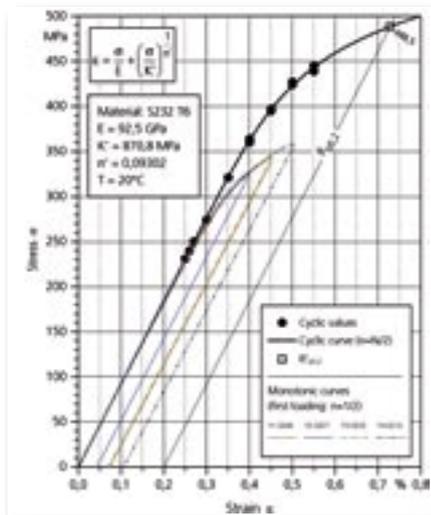


Abb. 1: Zügige und zyklische Spannungs-Dehnungs-Kurve.

Der Umfang des Prüfprogramms erlaubt es, die Frage nach möglichen Korrelationen zwischen zügigen und zyklischen Kennwerten aufzustellen, wie z. B.

- zwischen der zügigen Dehngrenze  $R_{p0,2}$  und der zyklischen  $R'_{p0,2}$ .
- zwischen der Zugfestigkeit  $R_m$  und dem Schwingfestigkeitskoeffizient  $\sigma'_f$ .
- zwischen der zyklischen Dehngrenze  $R'_{p0,2}$  und der ertragbaren Spannungsamplitude  $\sigma_a(N = 5 \cdot 10^6)$ .

- zwischen den Exponenten der Coffin-Manson-Morrow-Beziehung b bzw. c und dem zyklischen Verfestigungsexponenten  $n'$ .
- zwischen dem Duktilitätskoeffizient  $\epsilon'_f$  und dem Exponenten c.
- zwischen dem Verhältnis  $\sigma'_f / R_{p0,2}$  und dem zyklischen Verfestigungsexponent  $n'$ .
- zwischen dem Verhältnis von  $\sigma'_f / R_m$  und dem Exponenten b.

Neben diesen Korrelationen können auch Aussagen zur Mittelspannungsempfindlichkeit und zum spannungsmechanischen und statistischen Größeneinfluss abgeleitet werden, die für die Übertragbarkeit der Kennwerte von der Probe auf Bauteile von Bedeutung sind.

### Kundennutzen

Es wurden umfassende Informationen über das zyklische Verhalten von sprühkompaktierten Aluminiumwerkstoffen ermittelt. Diese Datenbasis steht jetzt den Kunden im Sinne einer Werkstoffauswahl und Bauteilvorbemessung zur Verfügung.

### Abstract

Spray compacted high-performance aluminium materials feature high strength, high Young's Moduli, good wear resistance and low thermal expansion coefficient. Several aluminium materials were tested with a variation of different parameters. Stress and strain controlled fatigue curves were determined in the course of 24 test series. The data will be used for fatigue life estimation with well established software.

Dr. Peter Krug,  
PEAK Werkstoff  
GmbH, Velpert:

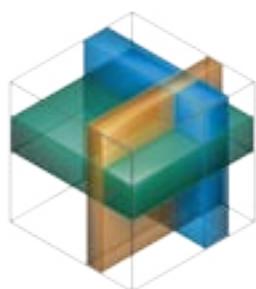


„Ziel war es, den Anwendern, und hier insbesondere deren Entwicklern, eine vollständige Beschreibung sprühkompaktierter Werkstoffe und ihrer Möglichkeiten zu bieten, da erst dies eine wirklich werkstoffgerechte Konstruktion für ein ideales Produktdesign ermöglicht. Im Jahre 2002 wurde daher beschlossen, ein umfangreiches Programm aufzulegen, um die Werkstoffeigenschaften umfassend und systematisch zu untersuchen und zu dokumentieren. Das Programm an dem sechs externe Institute bzw. Konzernlabore beteiligt waren, beinhaltete auch die Erfassung der zyklischen Eigenschaften der DISPAL-Legierungen. Die Wahl fiel hierbei auf das Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF als ausgewiesenes Kompetenzzentrum auf diesem Gebiet. In Vorgesprächen wurde beschlossen, die zur Disposition stehenden Werkstoffe mittels dehnungsgeregelter Versuche zu charakterisieren, so dass die abgeleiteten Kennwerte auch in die einschlägigen Simulationsprogramme der Kunden Eingang finden können.“

## Magnesium für geringeren Kraftstoffverbrauch.



Foto: Adam Opel GmbH.



### Sicherheitsstrategien

### Betriebslastensimulation und Bewertung

### Automotive

Ansprechpartner:  
Dipl.-Ing. Christian Pohl  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-4 47  
christian.pohl@lbf.fraunhofer.de

**Gestiegene Rohstoffkosten und Umweltauflagen beschleunigen die aktuellen Entwicklungen im Automobilbau zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und verminderter Schadstoffemissionen. Größte Einsparpotenziale versprechen Leichtbaukonzepte. Mit einer im Vergleich zu Aluminium um 35% geringeren Dichte wird Magnesium als leichtester metallischer Konstruktionswerkstoff wiederentdeckt. Die Einsatzgebiete erstrecken sich heute fast nur auf Komponenten im Fahrzeuginneren.**

#### Projekthalt

Um die Einsatzgebiete von Magnesiumkomponenten rasch auch auf den Bereich des Fahrwerks auszuweiten, wurden im Rahmen des EU-Projektes Mg-CHASSIS in Zusammenarbeit mit renommierten Partnern wie VW, Opel, Fraunhofer IFAM u.a. Aspekte wie Materialkunde, Fertigungstechnologie Gießen, Korrosion und Betriebsfestigkeit untersucht. Für die Bewertung der Werkstoffkennwerte einzelner Legierungen wurden am Fraunhofer

Bauteil	Gießtechnik	Werkstoffe
Motorstütze	Niederdruck Sandguss	AZ-91-E T6
	Rheo Casting	Al A357 T5
Motorträger	Druckguss	AS-21-X
		MRI-4
		AZ-91
		AlSi9Cu3
Bauteile der Getriebe-lagerung	Squeeze Casting	MRI-2
		MRI-3
		MRI-4
		AZ-91

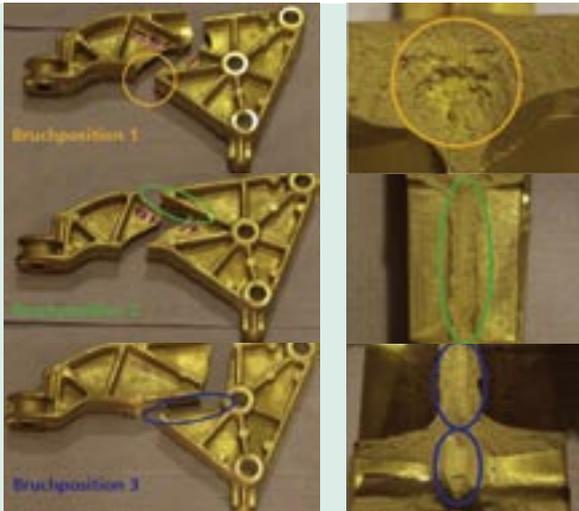
\* Legierung MRI-2 bis -4 sind neue entwickelte Werkstoffe.

Abb.1: Überblick der geprüften Werkstoffe, Bauteile und Gießverfahren.

LBF mit verschiedenen Gießverfahren gefertigte Bauteile geprüft.

Die Produkthaftung macht für Sicherheitsbauteile heute folgende Untersuchungen dringend erforderlich:

- Bestimmung mechanischer Kennwerte sowie der Schwingfestigkeit an Bauteilproben,
- Bauteilverhalten unter stoßartigen Belastungen bei unterschiedli-



Keine Gussfehler oder Lunker.

Zwei parallele Porenbänder.

Zwei parallele Porenbänder.

Abb. 2: Motorträger: Unterschiedliche Bruchpositionen und deren Ursachen.

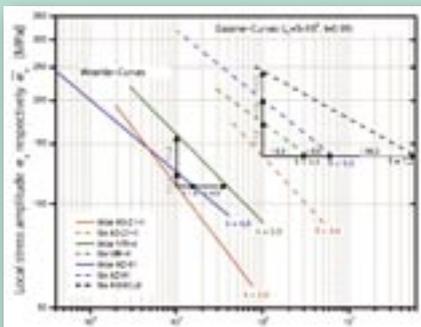


Abb. 4: Motorträger: Vergleich Woehler- und Gaßner-Linien.

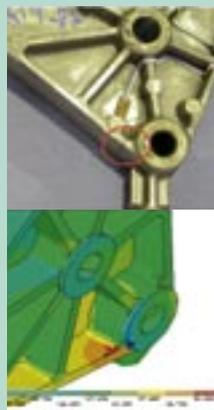


Abb. 3: Experiment und FE-Rechnung im Vergleich.

## Abstract

The EU project Mg-Chassis new magnesium alloys were examined by the nine partners concerning material science, casting technology, corrosion and structural durability. Existing engine brackets, transmission mountings and engine support components served as demonstrators. The Fraunhofer LBF test results:

- Specimen tensile tests: New alloys offer higher elongations at similar strength levels.
- Specimen strain-controlled fatigue tests: New alloys show higher tolerable strain amplitude.
- Component impact tests: Fracture forces are lower; deformation paths and absorbed energies are significantly higher at new alloys.
- Cyclic component tests: At engine bracket new alloys present lower, at component transmission mounting higher tolerable stress amplitudes than AZ-91.
- Predeformations in the range of 1,7% to 7,5% show either an increase or no influence on component fatigue strength.

- Bestimmung von örtlichen Schwingfestigkeitskennwerten (Woehler-/Gaßner-Versuche),
- Einfluss von plastischer Vorverformung auf das Bauteilverhalten bei Lebensdauerversuchen.

## Versuchsergebnisse

In Zugversuchen zeigten die neuen Legierungen einen geringen Festigkeitsabfall gegenüber der Standardlegierung AZ-91. Bemerkenswert war ein deutlicher Anstieg der Bruchdehnung. Ferner wurde ein deutlicher Einfluss der Gussfehler auf die ermittelten Kennwerte festgestellt. In den dehnungsgeregelten Probenversuchen zeigten alle untersuchten Legierungen ein zyklisch verfestigendes Verhalten, d.h. unter elasto-plastischer Beanspruchung entwickeln die Werkstoffe eine zusätzliche Festigkeit. Die Legierung MRI-4 wies die höchsten ertragbaren Dehnungsamplituden auf.

Der Einfluss der Umgebungstemperatur auf die in den Impactversuchen ermittelten Kennwerte Bruchkraft, Verfor-

mungsweg und aufgenommen Energie war vernachlässigbar. Gegenüber AZ-91 zeigte die Legierung MRI-2 eine geringere Bruchkraft (-20%), jedoch eine größere Verformung und absorbierte Energie (+80% bzw. +50%). Es wurde eine Korrelation von Gussfehlern und Bruchpositionen festgestellt (Abb. 2).

Die Position der in den experimentellen Schwingfestigkeits-Untersuchungen aufgetretenen Anrisse wurde durch Messungen und Finite-Elemente-Berechnungen validiert (Abb. 3). Am Motorträger zeigte die Legierung MRI-4 die höchsten ertragbaren Spannungsamplituden bei Einstufenversuchen, bei Gaßner-Versuchen erzielte die Standardlegierung AZ-91 bessere Werte (Abb. 4). An der Getriebelegung zeigten Versuche bei den neuen Legierungen eine höhere ertragbare Spannungsamplitude - die besten Ergebnisse erzielte die Legierung MRI-3.

Untersuchungen am Motorträger zum Einfluss von plastischer Vorverformung auf die Bauteillebensdauer erbrachten bei den Legierungen AS-21-X und

MRI-4 eine Lebensdauersteigerung in Abhängigkeit des Belastungshorizontes. Bei der Legierung AZ-91 und alle drei Getriebelegungslösungen war kein Einfluss nachweisbar.

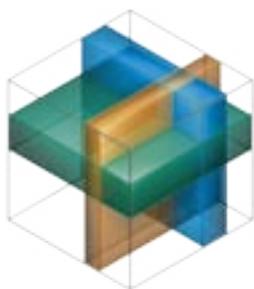
## Kundennutzen

Die Kenntnis der für Magnesium spezifischen Betriebsfestigkeits-Kennwerte erleichtert Ingenieuren den werkstoffgerechten Einsatz und die betriebsfeste Bemessung von Gussbauteilen. Die Fraunhofer LBF Kunden profitieren von den gewonnenen Kennwerten aller Projektpartner, die in der FALIXS (Fatigue Life lines Expert System) Datenbank archiviert wurden. Die Kombination Werkstoff- und Gestaltleichtbau eröffnet große Kosten- und Gewichtsreduzierungen. Die grundlegenden Ergebnisse aus dem MG-Chassis Projekt sowie die umfangreichen Methodenkennnisse können neben der Fahrzeugindustrie auch auf andere Branchen und Bauteile übertragen werden.

### Entwicklungsumgebung für adaptive Strukturen im Automobil ASF.



Prüfstand im Fraunhofer LBF.



Lärm- und  
Schwingsreduktion

Mechatronik/Adaptronik

Automotive

Ansprechpartner:  
Dipl.-Ing. Michael Matthias  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-2 60  
michael.matthias@lbf.fraunhofer.de

Entwicklungen auf dem Gebiet der aktiven/adaptiven Fahrwerkskomponenten schaffen den Bedarf nach experimentellen Simulationsumgebungen, die in der Lage sind, Betriebslasten sowie hochdynamische (vibroakustische) Belastungen realitätsnah nachzubilden. Diese Prüfstände sind außer für Untersuchungen zur Beurteilung der Performance und Systemzuverlässigkeit für die Entwicklung und/oder Anpassung von Regelalgorithmen wesentlich, die im Fahrbetrieb nicht sinnvoll und effektiv erfolgen kann.

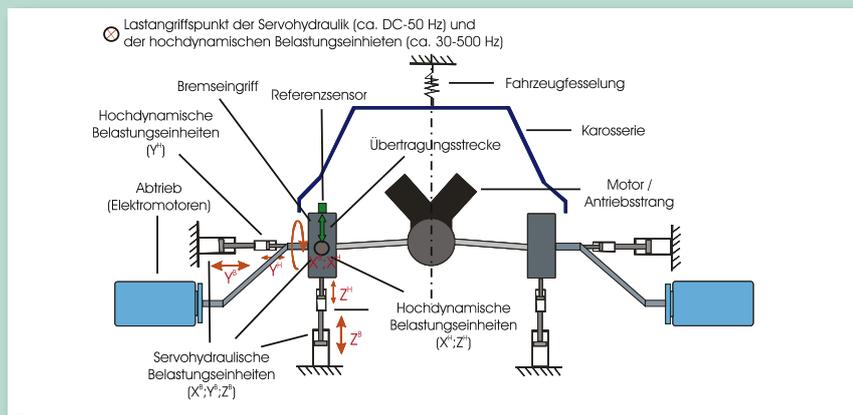
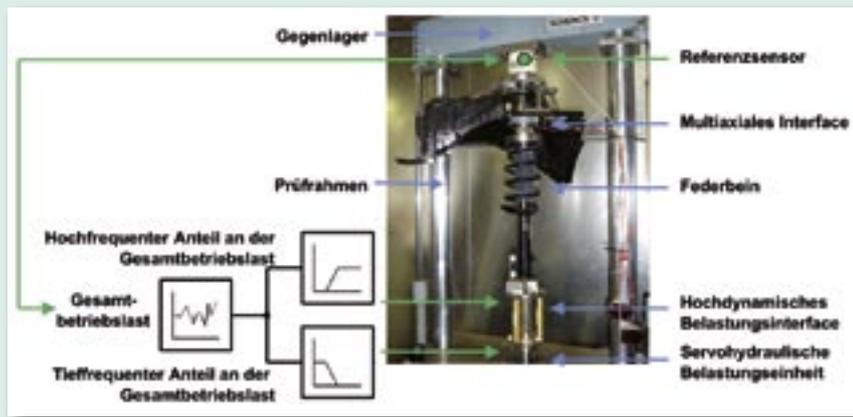
#### Vibroakustisches Verhalten simulieren

Klassische servohydraulische Prüfstände sind zwar in der Lage die auf das Fahrzeug einwirkenden und für die klassische Betriebsfestigkeit relevanten Belastungen in allen Freiheitsgraden nachzubilden, stoßen jedoch hinsichtlich des realisierbaren Frequenzbereiches bei ca. 50 Hz an ihre Grenzen. Um das vibroakustische Verhalten eines Fahrzeugs experimentell zu simulieren werden daher Rollenprüfstände eingesetzt, auf denen das Fahrzeug

an- oder eigenbetrieben abgerollt wird. Diese Prüfstände ermöglichen lediglich Belastungen in der Fahrzeugvertikalen und sind unflexibel in der Nachbildung von Vibrationen, hervorgerufen durch die Rad-Fahrbahn-Interaktion. Mit vorgenannten Zielen wurde am Fraunhofer LBF ein Prüfstandkonzept entwickelt, welches es erlaubt einem eigenbetriebenen oder extern angetriebenen Versuchsfahrzeug einerseits Fahrmanöver und Betriebslasten und andererseits, über hochfrequent wirkende Belastungseinheiten, Vibrationen, die durch das Abrollen entstehen aufzuprägen. Durch die Flexibilität der einkoppelbaren hochdynamischen Signale wird die Möglichkeit gegeben, beliebige Fahrbahnoberflächen in Interaktion mit beliebigen Reifenprofilen experimentell nachzubilden.

#### Entwicklungsumgebung ASF

Das LBF-Konzept des neuen Prüfstands für adaptive Strukturen im Automobil (ASF) besteht darin, ein eigenbetriebenes Fahrzeug über unterschiedliche Belastungsaggregate realitätsnah zu beanspruchen. Ein eigenbetriebenes Fahrzeug bietet den Vorteil, dass die



Gesamtkonzept.

aufgrund des Fahrbetriebes innerhalb des Fahrzeuges entstehenden „Geräusche“, z. B. des Antriebsstrangs, nicht durch externe Belastungsaggregate simuliert werden müssen. Die durch die Rad-Fahrbahn-Interaktion hervorgerufenen „Störungen“, wie z. B. Abrollgeräusche der Räder, werden durch entsprechende Belastungsaggregate nachgebildet.

An der angetriebenen Achse erfolgt über zwei an den Radlagern angreifenden Elektromotoren die Regelung des Abtriebes. An gleicher Stelle greifen, über eine hydrostatische Lagerung, die servohydraulischen Aggregate an und bilden die Fahrbetriebszustände im Frequenzbereich von DC - bis ca. 50 Hz nach. Des Weiteren wird das Fahrzeugverhalten über eine aktive Fesselung den entsprechenden Fahrmanövern angepasst. Die Nachbildung der NVH-relevanten Fahrbetriebszustände im Frequenzbereich von 50 - 500 Hz, z. B. über die Rad-Fahrbahn-Interaktion hervorgerufen, wird mittels hochdynamischer Interfaces auf Basis piezokeramischer Aktoren seriell zur Servohydraulik eingeleitet.

Die zu simulierenden Fahrbetriebslasten werden zuvor in Fahrversuchen im kompletten Frequenzbereich (DC - 500 Hz) ermittelt. Zur experimentellen Simulation werden diese Zeitdaten in einen hochfrequenten und niederfrequenten Anteil aufgeteilt und als Drive-Signal den unterschiedlichen Belastungsaggregaten zugeführt.

Um eine realistische Nachbildung im oder am Fahrzeug zu erreichen, erfolgt über einen Referenzsensor und das Nachbilden der Übertragungsstrecke eine Korrektur der eingekoppelten Zeitdaten, bis die am Referenzsensor anliegenden Signale den in der Messfahrt erfassten Störungen entsprechen.

### Stand der Entwicklungsarbeiten

Das vorgestellte Konzept bedarf einer Vielzahl grundlegender Entwicklungsarbeiten. Die Kenntnisse über den Aufbau und betriebs sicheren Einsatz neuer, auf Basis multifunktionaler Werkstoffe aufgebauter, hochdynamischer Interface wurde in der Vergangenheit durch eine Vielzahl von Projekten am Fraunhofer LBF gewonnen.

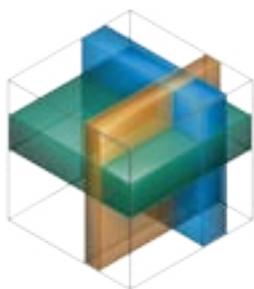
### Abstract

A new concept for a full car test rig for adaptive automotive structures (ASF) is being developed at the Fraunhofer LBF for the experimental simulation, NVH-relevant drive operations. The concept works with the combination of commonly used servohydraulic cylinders and highly dynamic actuators based on multifunctional materials like piezoceramics, electro- or magnetostrictive material. The actuators, which are integrated in series or parallel to the servohydraulic cylinders, are able to increase the dynamics of the test rigs into the NVH relevant frequency range. Special modular interfaces based on piezoceramic stack actuators are developed and integrated in a full car test rig for this application.

Die Komplexität des Gesamtprüfstandes, insbesondere einer übergeordneten Regelung der unterschiedlichen Belastungseinheiten, unter Berücksichtigung ihrer Wechselwirkung und den veränderlichen Übertragungsfunktionen, stellt eine große Herausforderung dar. Aus diesem Grund erfolgt der Aufbau des Prüfstandes schrittweise. Nachdem Versuche an einem Federbein mit einem Segment des Federdombereiches durchgeführt wurden, erfolgt der Aufbau des Vollfahrzeugversuchsstands für einen Frequenzbereich von DC – 500 Hz zunächst für Belastungen in der Fahrzeugvertikalen.

In weiteren Ausbaustufe werden „fehlende“ Freiheitsgrade ergänzt. Parallel hierzu erfolgt eine schrittweise Simulation des Prüfstandes im Computer um an numerischen Modellen eine Vorentwicklung der benötigten Regler zu betreiben.

Effiziente Bündelung von Einzelkompetenzen für adaptronische Systemlösungen.



**Lärm- und Schwingungsreduktion**

**Mechatronik/Adaptronik**

**Automotive**

Ansprechpartner:  
Dr.-Ing. Tobias Melz  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-2 52  
tobias.melz@lbf.fraunhofer.de

Die Adaptronik ist eine branchenunabhängig nutzbare, aktive Strukturtechnologie zur Reduzierung von Schwingungen, Lärm und Deformationen. Mit ihr lassen sich mechanische Strukturen optimieren und entscheidende Wettbewerbsvorteile erzielen. Nach ursprünglichen FuE-Arbeiten in der Luft- und Raumfahrt weckt die Adaptronik zunehmend starkes Interesse im Automobil- und Werkzeugmaschinenbau.

### Das Projekt FASPAS

Das besondere Lösungspotenzial der Adaptronik entsteht durch Einbringung aktiver Funktionen direkt in die mechanischen Zielstrukturen hinein. Dadurch wird eine weit reichende Kontrolle der sich ausbreitenden Störenergien möglich. In FASPAS werden adaptive Systemlösungen durch den diskreten und flächigen Struktureingriff auf Basis piezokeramischer Wandlermaterialien thematisiert.

Da für den Kunden die Durchführung effizienter Machbarkeitsanalysen sowie die zügige Realisierung von Systementwicklungen essentiell sind, müssen

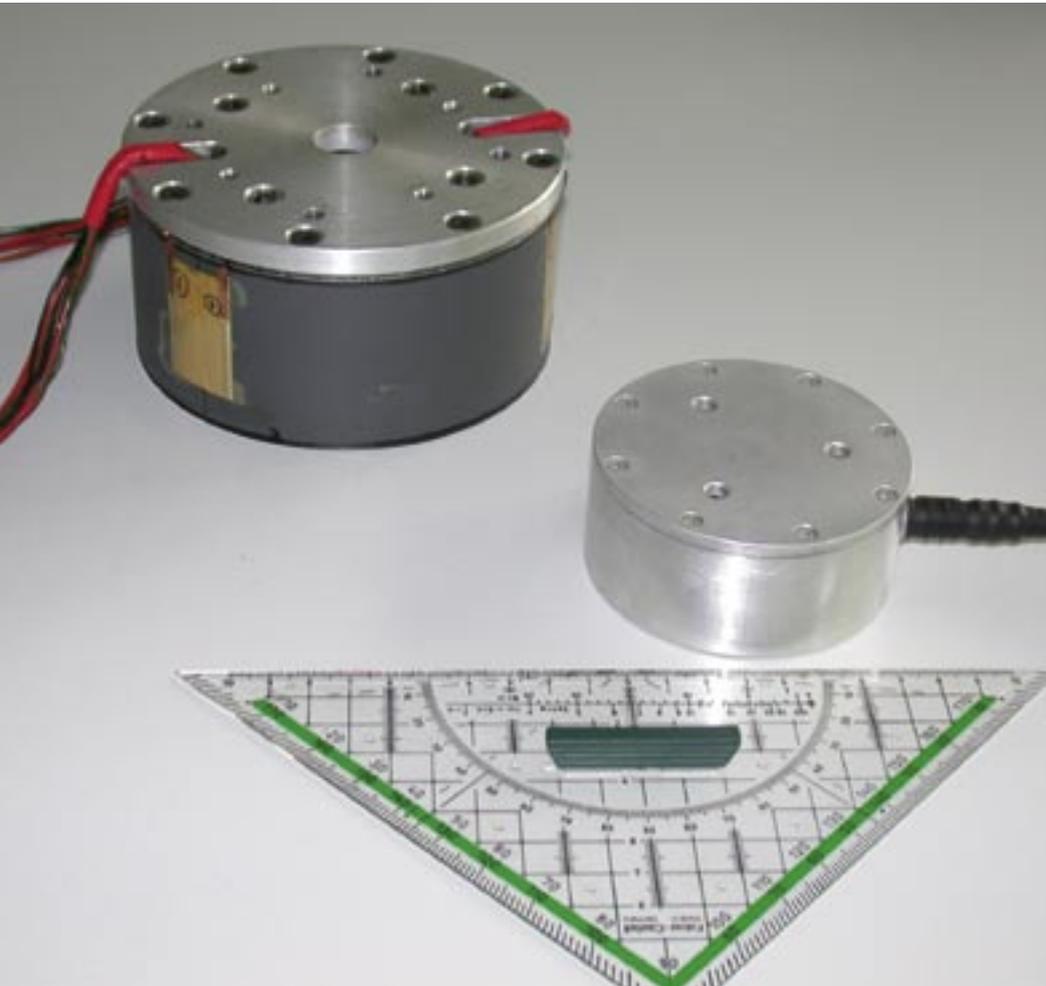
die für die adaptive Strukturauslegung relevanten Einzelkompetenzen gut miteinander verknüpft werden.

In FASPAS wird daher die Ausbildung einer integrativen Entwicklungskette verfolgt. Diese umfasst die Verknüpfung der Kompetenzbereiche Materialien und Komponenten, numerische und experimentelle Simulation, Elektronik, Regelungstechnik und aktive Gesamtsysteme mit ihren Methoden, Verfahren und Werkzeugen. Darüber hinaus müssen Kosten optimiert und die Systemzuverlässigkeit abgesichert werden. FASPAS wird von den Fraunhofer-Instituten LBF, IWU, AiS, IKTS, ISC und IIS bearbeitet.

### Projekthalt

FASPAS geht in den Endspurt, die Ziele sind weitestgehend erreicht oder übererfüllt. Besonders bedeutsam sind die Erarbeitung

- einer geschlossenen Entwicklungskette zur Realisierung adaptiver Strukturen,
- von Herstellungstechnologien für PZT-Aktoren und -Sensoren, letztere mit miniaturisierter Signalverarbeitungselektronik,



### Abstract

The project FASPAS focuses on further optimizing PZT-based adaptive structure technology for active vibration control in automotive and machine tool engineering. It is divided into different work areas that can be roughly identified as

- 1.) design and procurement of advanced PZT actuator and sensor subsystems,
- 2.) development and verification of methods to assess the reliability of adaptive systems,
- 3.) development of a systematic approach for integrative simulation of controlled active systems,
- 4.) control engineering for different AVC systems with a special focus on controller implementation within embedded systems

The progress and results in the different subprojects are assessed by 3 different active systems for AVC for both automotive and machine tool technology.

- einer Technologie zur Implementierung der Regelalgorithmen auf serientauglichen Plattformen,
- einer Methodik zur Analyse der Systemzuverlässigkeit adaptiver Systeme und
- deren Verifikation durch prototypische adaptive Baugruppen.

Die Ausbildung einer ganzheitlichen Entwicklungssystematik wurde erreicht. Hier wurden Verfahren zum Datenaustausch zwischen den Entwicklungsmethoden und -werkzeugen sowie zur Modellbildung erarbeitet, Expertenwissen wie zur Signalverarbeitung und Reglerimplementierung wurde in Toolboxen abgelegt. Das gewählte Vorgehen führt zur angestrebten Entwicklungsbeschleunigung, so dass heute z.B. Machbarkeitsaussagen in wesentlich verkürzten Zeiten getroffen werden.

Die Implementierung von Signalverarbeitungs- und Reglerfunktionen auf massentauglichen Eingebetteten Systemen wie  $\mu$ Controller, DSP's und FPGA's verläuft planmäßig, ein kleines LowCost-DSP-System wurde zusätzlich

entwickelt. Alle Plattformen können mit der Hochsprache SynERJY bedient werden, eine kostengünstige Realisierung signalverarbeitungstechnischer Funktionen ist möglich.

Die AVT piezokeramischer Faser- wie Dünnschichtalbezeuge wurde optimiert und Sensoren mit integrierten Ladungsverstärkern aufgebaut. Piezokeramische Flachfaser- und Formkomposite wurden für aktorische Zwecke weiterentwickelt sowie ein Verfahren zur Herstellung von gut verarbeitbaren Multilayer-Aktorarrays umgesetzt. Komponentenzuverlässigkeitsanalysen unter typischen Belastungen wurden geführt.

Zur Verifikation der verschiedenen Maßnahmen wurden aktive Interfacestrukturen und Streben für Anwendungen im Bereich des Automobil- und Werkzeugmaschinenbaus realisiert. Eine Methodik für die Systemzuverlässigkeitsanalyse wurde erarbeitet und an Teststrukturen verifiziert. Es wurden Systemsensitivitäts- sowie FMEA-Analysen geführt, kritische Struktur- und Funktionsparameter identifiziert und bewertet und experimentell abgesichert.

### Kundennutzen

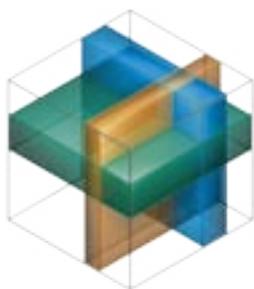
Mit adaptiven Strukturansätzen können Produkte verbessert und Vibrationen aktiv kontrolliert werden. FASPAS bietet eine ganzheitliche Herangehensweise zur Realisierung adaptiver Strukturen. Damit erreicht Fraunhofer die nötige Entwicklungsbeschleunigung, Kostensenkung und Zuverlässigkeitssteigerung - für Ihre Produkte.

Detaillierte Informationen zum Projekt: [www.faspas.de](http://www.faspas.de).

Aktive Systeme zur Verbesserung des Seitenaufprallschutzes im Auto.



*Tür-Demonstrator zeigt das Wirkungsprinzip der neuen Verriegelungstechnik.*



### Sicherheitsstrategien

### Mechatronik/Adaptronik

### Automotive

Ansprechpartner:  
Dr.-Ing. Tobias Melz  
Dipl.-Ing. Björn Seipel  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-2 40  
bjoern.seipel@lbf.fraunhofer.de

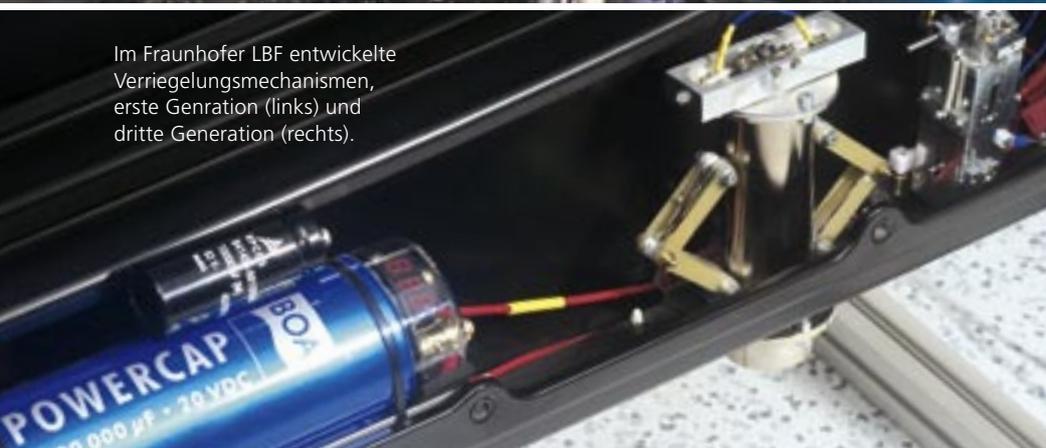
Nach Angaben des European Transport and Safety Council (ETSC) von 2001 ist der Anteil der Seitenaufpralle (25%) bei Autounfällen auf europäischen Straßen annähernd so hoch wie der Anteil der Frontalzusammenstöße (28%). Beim Seitenaufprall stellen Verletzungen an Kopf und Thorax das Hauptproblem dar. Während Kopfverletzungen durch Airbags deutlich vermindert werden können, ist besonders die Vermeidung von Thoraxverletzungen verbesserungswürdig.

Im Gegensatz zum Frontalunfall ist im Falle eines Seitenaufpralls nur eine sehr geringe Knautschzone vorhanden, die Unfallenergie kann daher im Zielfahrzeug nur ungenügend abgebaut werden. Herkömmliche passive Systeme (Seitenaufprallträger) können durch entsprechend steife Auslegung zwar die Intrusionstiefe in den Fahrzeuginnenraum verringern, die biomechanischen Belastungen auf die Fahrzeuginsassen durch den vergleichsweise harten Aufprall steigen hierdurch allerdings enorm an.

Einen Ansatz zur Verbesserung der beschriebenen Situation stellt die Verwendung eines Pre-Crash Systems in Verbindung mit Aktoren auf Basis von so genannten Wandlerwerkstoffen dar. Hierbei werden mit Hilfe von geeigneten Pre-Crash-Sensoren ständig Daten über das Geschehen in der Umgebung eines Fahrzeugs an ein Kontrollsystem geleitet. Dieses System wertet die Informationen bezüglich eines potentiellen Unfalls aus und entscheidet innerhalb weniger hundert Millisekunden, welche geeigneten Gegenmaßnahmen eingeleitet werden müssen. Vorgenannte Aktoren reagieren entsprechend den Anforderungen und nehmen aktiv Einfluss auf das mechanische Verhalten der Karosseriestruktur. Sie passen beispielsweise Steifigkeit oder Dämpfungseigenschaften an das zu erwartende Unfallgeschehen an. Wie Simulationsergebnisse zeigen, können hierdurch die Beanspruchungen der Fahrzeuginsassen entscheidend verringert, schwerwiegende Verletzungen vermindert werden.



Seitencrashversuch.



Im Fraunhofer LBF entwickelte Verriegelungsmechanismen, erste Generation (links) und dritte Generation (rechts).

## Abstract

Current studies of the European Transport and Safety Council (ETSC) show that the number of side-crashes is nearly as high as the number of frontal crashes. The main problem with respect to side crashes results from corresponding injuries of head and thorax. Caused by the small crush zone, the dissipation of the crash-energy in the target vehicle is very difficult. As head injuries can be clearly reduced by using airbags, especially the prevention of thorax injuries still needs to be improved. A pre-crash system in combination with actuators based on active materials, which are able to swiftly influence the stiffness and/or damping properties of the car structure, seems to be a promising approach. At Fraunhofer LBF one such system currently being developed is a fast reversible locking mechanism driven by a Nickel-Titanium based shape-memory alloy (SMA).

## Projekthalt

Die zur Beeinflussung der Fahrzeugstruktur eingesetzten Aktoren basieren auf Wandlerwerkstoffen. Dies sind Materialien, die besonders unter Einfluss eines elektrischen, magnetischen oder thermischen Feldes ihre mechanischen Eigenschaften oder die Form ändern. Am Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF greift man zur Entwicklung von Systemen im Bereich der aktiven Crashesicherheit zurzeit vorwiegend auf metallische Formgedächtnislegierungen (FGL) aus NiTi zurück.

Ein erstes bisher praktisch umgesetztes Konzept stellt einen Verriegelungsmechanismus mit FGL-Aktoren dar, der im Crashfall zur gezielten Verbindung der Tür mit den umliegenden Strukturbereichen verwendet werden kann. Im Gegensatz zu herkömmlichen pyrotechnischen Lösungen wird hier eine Reversibilität des Verriegelungsvorgangs ermöglicht. Fehlauflösungen können somit, zugunsten einer höheren tolerierbaren Sensorunsicherheit

bzw. Crashesicherheit, in beschränktem Umfang akzeptiert werden, so dass schon vor dem eigentlichen Crash Schutzmaßnahmen eingeleitet werden können. Die typische Auslösezeit des beschriebenen Verriegelungsmechanismus liegt deutlich unter 15 ms. Als Energiespeicher zur schlagartigen thermischen Aktivierung der Formgedächtnislegierung dient ein Kondensator.

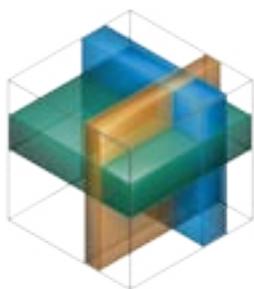
Nach der aktorischen Funktionsvalidierung mittels eines Demonstrationsmodells wurde am Fraunhofer LBF inzwischen bereits eine dritte Generation mit geringeren Abmaßen, niedrigerem Gewicht und verbesserter Rückstellung implementiert. Die Kapazität des notwendigen Kondensators konnte durch Optimierungsmaßnahmen um den Faktor 20 verringert werden. Damit kann dieser kompakter ausgeführt z.B. in den Holmen der Karosserie eingearbeitet werden.

## Kundennutzen

Der vorgestellte Prototyp eines Verriegelungsmechanismus zeigt sehr gut das große Potenzial aktiver Systeme und intelligenter Werkstoffe zur Verbesserung der Fahrzeugcrashesicherheit. Bei einem gleichzeitigen deutlichen Gewinn an Sicherheit lässt sich mit aktiven Systemen zusätzlich gegenüber vergleichbaren passiven Lösungen das Fahrzeuggewicht weiter senken und der Komfort erhöhen.

Neben der beschriebenen Anwendung im Crashbereich ist der Einsatz des Verriegelungsmechanismus in zahlreichen weiteren Bereichen möglich (Sicherheitstechnik, Luft- und Raumfahrt, Schiffbau, etc.).

Neue Sinterlegierungen für hochbeanspruchte Bauteile – das heißt niedrigere Kosten und höhere Festigkeit.



### Design und Konstruktion

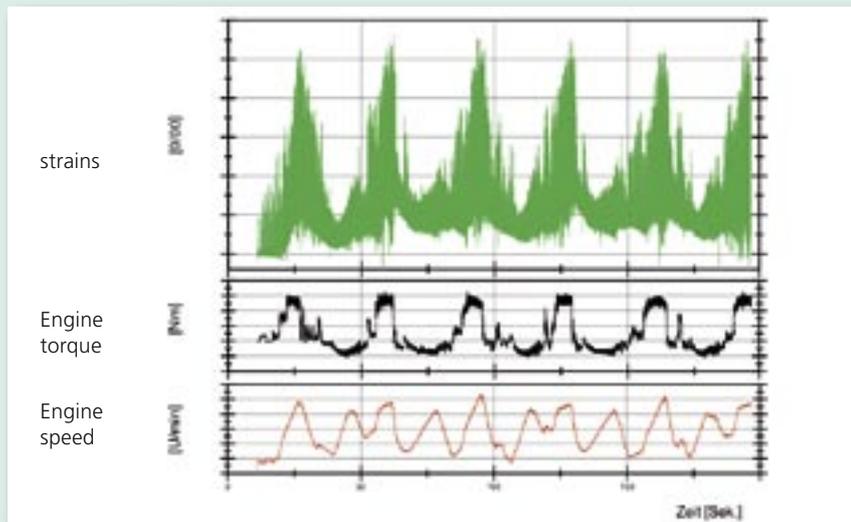
### Bauteilgebundenes Werkstoffverhalten

### Automotive

Bei der Vielzahl der aktuellen Methoden für die Herstellung pulvermetallurgischer Bauteile (PM) kommt heute überwiegend die wirtschaftliche Einfachpress- und -sintertechnik (SPSS), mit der Werkstoffdichten von  $<7,4 \text{ g/cm}^3$  erreicht werden können, zum Einsatz. PM-Fertigungsprozesse, die die  $7,4 \text{ g/cm}^3$  Hürde überwinden - Doppelpress- und -sintertechnik, heiß isostatisches Pressen und Pulverschmieden - sind für die Massenproduktion zu teuer, um weiträumig Einsatz in der Automobilindustrie oder anderen Industriezweigen zu finden. Mittlerweile haben Design und Auslegung von hochbeanspruchten PM Komponenten wie Synchronnaben und -ringen, Winkelhebeln etc. große Fortschritte gemacht. Ferner wurden in der letzten Zeit auch hochbeanspruchte Zahnräder pulvermetallurgisch hergestellt.

Die grundlegenden Innovationen im HIGHER-PM Projekt konzentrieren sich auf Methoden, Prozesse und Lösungen für hochbeanspruchte und leistungsfähige PM Komponenten unter Verwendung der Einfachpress- und -sintertechnik ohne den Einsatz von aufwändigen Nachbearbeitungsprozessen oder teuren Legierungselementen. Schwerpunkt dieses Projektes ist die Entwicklung einer neuen Sinterlegierung unter Verwendung von „Master“-Pulverzusätzen, die die Festigkeit und Dichte erhöhen und die Einsatzmöglichkeiten für Bauteile in der Massenfertigung erweitern. Die Einsatzmöglichkeiten werden am Beispiel eines hochbeanspruchten Rückwärtsganggrades für ein PKW-Getriebe sowie eines Zahnrades für eine Profi-Bohrmaschine demonstriert.

Ansprechpartner:  
Dr.-Ing. Klaus Lipp  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-2 43  
klaus.lipp@lbf.fraunhofer.de



Ergebnisse aus Betriebfestigkeitsmessungen im Getriebe.



Beanspruchung beim Zahnradengriff.

### Höhere Dichte und mechanische Leistungsfähigkeit

Das Fraunhofer LBF arbeitet gemeinsam mit neun angesehenen europäischen Partnern aus Wissenschaft und Industrie an der

- Herstellung von wirtschaftlichen, umweltverträglichen Sinterlegierungen auf Basis von „Master“-Pulverzusätzen.
- Erhöhung der Dichte ( $\geq 7,6 \text{ g/cm}^3$ ) und Leistungsfähigkeit von PM-Bauteilen unter Verwendung der Einfachpress- und -sintertechnik bei gleicher Maßgenauigkeit,
- Entwicklung von Bemessungsmethoden für schwing- und wälzbeanspruchte Bauteile.

Im Rahmen des Projektes wurden mehrere Sinterlegierungen mit Zusatz sogenannter „Master“-Pulver mittels computer-gestützten theoretischen Berechnungen zur thermodynamischen und kinetischen Diffusion entwickelt

und hergestellt. Insbesondere Partikelgröße, Sinter Temperatur und Aufheizgeschwindigkeit wurden berücksichtigt. Die hervorragenden Ergebnisse im Hinblick auf mechanische Eigenschaften und Verdichtung wurden auch durch außerordentlich gute Schwing- und Wälzfestigkeitswerte der Legierungen, sowohl im nur gesinterten als auch im gesinterten und abschließend wärmebehandelten Zustand, bestätigt.

### Kundennutzen

Neue, kostengünstigere und wieder verwertbare PM-Werkstoffe mit längerer Lebensdauer. Der größte Vorteil bei der Verwendung von „Master“-Legierungen ist die Kostenreduzierung um etwa die Hälfte, im Vergleich zu derzeit eingesetzten hochleistungsfähigen PM Legierungen. Fraunhofer LBF Kunden profitieren von diesem Know-how bei der betriebsfesten Bemessung von hochbeanspruchten Komponenten, denn die angewen-

### Abstract

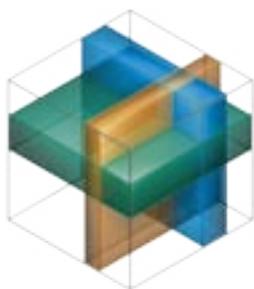
Within the numerous production methods for powder metallurgy parts (PM) the economical single press single sinter (SPSS) route, capable of producing densities  $< 7.4 \text{ g/cm}^3$ , is predominantly employed today. PM routes which can overcome the  $7.4 \text{ g/cm}^3$  barrier - double press-double sinter, hot isostatic pressing and powder forging - all are too expensive for mass production to have significant application in automotive or other industries. The design of high-loaded PM parts such as synchronizer hubs and rings, angle levers etc. have made much progress. Furthermore, in the last years even high-loaded gears were introduced. Therefore, the HIGHPER-PM principal innovations focus on methods, processes and solutions for high density, high-performance PM components.

deten numerischen und experimentellen Methoden ermöglichen die Beurteilung neuer Materialien und Technologien. Jedes der ausgewählten hochbeanspruchten Getriebeteile stellt eine spezifische Herausforderung für die PM-Produktion dar. Sie dienen deshalb als praxisorientiertes Beispiel, um das Potenzial der neuen Materialien und Verfahren aufzuzeigen. Die Produktion und Prüfung dieser Komponenten liefert einen klaren und prinzipiellen Funktionsnachweis für die neuen Materialien und Fertigungsprozesse. Schätzungen zu Folge liegt der wirtschaftliche Nutzen in zwei bis vier Jahren nach erfolgreicher Einführung der Innovationen aus dem Projekt, allein für die Mitglieder des Konsortiums, bei 45 Millionen Euro pro Jahr. Die „Master“-legierten Grundpulver sind somit sowohl bei den Kosten als auch bei der Schwing- und Wälzfestigkeit den diffusions- oder fertigelegierten PM-Werkstoffen überlegen.

Integrierte Lösungen für Design, Konstruktion und Wartung von Radsätzen.



Pendolino mit Neigetechnik.



### Zuverlässigkeitskonzepte

### Betriebslastensimulation und Bewertung

### Transport

Die ökonomische Leistungsfähigkeit und Wettbewerbsfähigkeit des Schienenverkehrs hängt in hohem Maße von der Sicherheit, von der Verfügbarkeit und der Wartung seiner hoch belasteten Strukturkomponenten ab. Es gibt eine Vielzahl von Schadensmechanismen an Radsätzen: Verschleiß und Rollkontaktermüdung, die an Rad- und Schienenoberflächen auftritt, sowie Ermüdung aufgrund von Biegebelastungen an Achsen und Naben. Insbesondere Reibkorrosion an Presssitzverbindungen wie Welle- und Nabeverbindungen ist ein Phänomen mit möglicherweise schwerwiegenden Auswirkungen. Deshalb konzentriert sich WIDEM auf Mechanismen, die direkten Einfluss auf die Auslegung und Geometrie von Radsätzen haben.

### Europäisches Projekt WIDEM

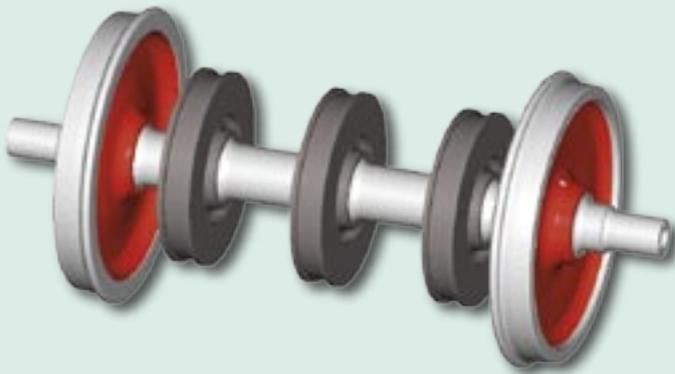
Die Projektpartner bewerten Daten von Betriebsmessungen der Rad-Schiene-Kräfte, die mit einem neuentwickelten instrumentierten Radsatz durchgeführt werden. Zusätzlich wird ein ‚Betriebsfestigkeits-Design‘ Konzept mittels eines umfassenden Testprogramms entwickelt und bewertet. Darüber hinaus werden zerstörungsfreie Prüftechniken (NDT) entwickelt, die es erlauben Risse < 1mm aufzuspüren.

### Projekthalt

WIDEM ist die Synthese von mehreren Unterprojekten von zehn renommierten Partnern - Forschungsinstitute, Hersteller, Betreiber, System-Integratoren und dem Europäischen Verband der Eisenbahnindustrie (UNIFE). Fokus aller Forschungsaktivitäten sind Lösungen für integrierte Designmethoden und effiziente Wartungsintervalle für Schienenradsätze. Besonderer Schwerpunkt liegt auf der Untersuchung des Einflusses der schadensrelevanten Einflussgrößen: Ermüdung und Reibkorrosion, Korrosion sowie deren Wechselwirkungen. Aufgrund der Komplexität der Parametern sowie variierender

Ansprechpartner:  
Dipl.-Ing. Martin Große-Hovest  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-4 83  
martin.grosse-hovest@lbf.fraunhofer.de

Neuentwickelter, instrumentierter Radsatz:  
Modell und Prototyp.



### Abstract

Wheelset Integrated Design and Effective Maintenance. The economic efficiency and competitiveness of the railway depends on safety, availability and maintenance of its individual highly loaded structure components. There is a variety of damage mechanisms take place on wheelsets: wear and rolling contact fatigue occurring on the rim rolling surfaces and fatigue due to bending moments on axles and wheel hubs. Particularly fretting fatigue on axles press-fitted interfaces with wheels and brake disc hubs is a phenomenon with severe impact. Therefore, WIDEM will concentrate on mechanisms that directly affect wheelset design geometry. The project partners combine input from reliable service measurement of wheelrail forces carried out with a newly developed instrumented wheelset.

Messbedingungen, Systemdynamiken und Störsignale sind innovative Messinstrumente notwendig. Damit können Daten der Radbelastungen überwacht und bewertet werden. Dieses führt zu einem genaueren Verständnis des Verhaltens der aktuellen und zukünftig genutzten Werkstoffe. Darauf aufbauend wird WIDEM ein erweitertes Designverfahren für Hochgeschwindigkeitszüge und den schweren Güterzugverkehr entwickeln. Die Design-Spezifikationen und Wartungsverfahren sollen in europäische Standards eingearbeitet werden. Das Fraunhofer LBF und seine Partner arbeiten u.a. an der:

- Entwicklung eines innovativen instrumentierten Radsatzes. Um eine zuverlässige Übertragung der Messdaten zu erzielen, werden neueste Methoden der Signalaufbereitung eingesetzt. Hierzu untersucht WIDEM Funktionen wie digitale drahtlose Mehrkanalverbindungen unter Einsatz modularer und miniaturisierter Computerbauteile.
- Dynamische Kalibrierung am Prüfstand in Originalgröße, um eine optimale Genauigkeit der Messkette zu erreichen.

- Bewertung der Materialeigenschaften von Standardwerkstoffen und neuen Materialien. Um die verschiedenen maßgeblichen Schadensmechanismen zu untersuchen, erforscht WIDEM besonders die Phänomene der Reibkorrosion an pressverbundenen Wellen und Lagern;
- Entwicklung und Bewertung einer neuen Designmethode. Mit dem Ziel, eine optimale Radsatzgeometrie zu entwickeln, wird ein neues Designverfahren definiert.

### Kundennutzen

Verbesserte Qualität und Leistung bei verringerten Lebenszykluskosten (LCC): Hersteller, Betreiber und Zulieferer profitieren von reduzierten Produktions-Vorlaufkosten durch kosteneffiziente Produktionssysteme. Das Projekt liefert neue Entwicklungs-Konzepte und Wartungsverfahren, die in den Radsatzentwicklungsprozess eingearbeitet werden, so dass Sicherheit, Diagnoseverhalten, Betriebsfestigkeit, Zuverlässigkeit, Wartungsintervalle optimiert werden können.

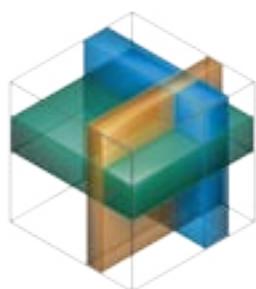
10% Gewichtseinsparung durch weniger ungefederte Massen: der Einsatz der neuen betriebsfesten Radsatz-Entwicklungsmethoden und neuer Stahllösungen, kann zu einer kombinierten Gewichtseinsparung von etwa 10% des gegenwärtigen durchschnittlichen Radsatzgewichts führen. Das entspricht einer Kostenreduzierung von ca. 2 000 Euro pro Radsatz (Energiekosten, Bremsenverschleiß, Infrastruktur, LCC).

Optimierte Inspektionsintervalle und Wartungskosten: neue, zuverlässige und exakte Werkzeuge, können ermöglichen, dass die Wartungszyklen von 150 000 km auf bis zu 250 000 km verlängert werden. Dieses Ziel bedeutet eine 40%ige Verringerung der Stillstandszeit.

### Innovatives Auslegungs- und Prüfkonzept für Rad-Naben-Baugruppen von Baumaschinen.



Messrad VELOS im Messeinsatz an einen JD 544J.



#### Sicherheitsstrategien

#### Betriebslastensimulation und Bewertung

#### Transport

Die Betriebsfestigkeitsuntersuchungen an Rädern und Radnaben im Zweiaxialen Rad/Nabensversuchsstand (ZWARP) sind bei Straßenfahrzeugen mittlerweile zum etablierten Standard geworden. Weniger bekannt ist, dass mit einem darauf basierenden erweiterten Konzept auch Komponenten für Sonderfahrzeuge, beispielsweise für Baumaschinen, individuell abgestimmt untersucht werden können - angefangen bei den Bemessungskriterien für die Auslegung bis hin zur zweiaxialen Betriebsfestigkeitsuntersuchung unter realitätsähnlichen Bedingungen.

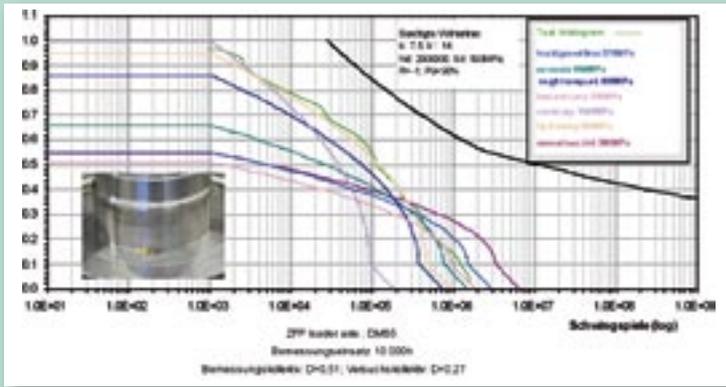
#### Projekthalt

Vom Hersteller des Achssystems wurde ein Radlader mit einem speziellen Messrad vom Typ VELOS (Kistler) ausgerüstet. Hiermit wurden auf dem Testgelände von John Deere zahlreiche Messreihen unter typischen Belastungsmanövern durchgeführt. Für das Bemessungskollektiv (Beschreibung des Fahrzeuglebens in Bezug auf die

Betriebsfestigkeit) wurden in gemeinsamer Abstimmung mit Achs- und Fahrzeughersteller gemäß dieser Messergebnisse acht Lastfälle als relevant festgelegt. Bei der Ermittlung der jeweils zugehörigen Lastwechselzahlen (Einsatzdauer) waren die spezifischen Erfahrungen des Fahrzeugherstellers gefragt und wurden eingearbeitet. Für die experimentelle Spannungsanalyse an der Radnabe wurde diese mit Dehnungsmessstreifen bestückt, komplett mit allen Anbauteilen montiert und mit o. g. Lastkonditionen belastet. Mit den erhaltenen Daten kann sowohl eine Lebensdauerabschätzung als auch eine Abstimmung des Prüfprogramms durchgeführt werden.

Die anschließenden Betriebsfestigkeitsversuche wurden im ZWARP durchgeführt, der zum Aufbringen von Bremsmomenten speziell ergänzt wurde. Hier können in realitätsähnlicher Art Belastungen an der kompletten Baugruppe (Rad mit Reifen, Radkopf mit Nabe, Bremse und Gehäuse) in Vertikal- und Seitenrich-

Ansprechpartner:  
Dipl.-Ing. Andreas Herbert  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-2 79  
andreas.herbert@lbf.fraunhofer.de



Ableitung des Testkollektives anhand der Spannungsamplituden an DMS 5.



Abrollstand im Fraunhofer LBF.



Zweiachsaler Rad-/Nabenversuchsstand mit Radladerkomponenten.

## Abstract

Development of a layout and test concept for wheel/hub assemblies of construction machines.

The project transferred the established Fraunhofer LBF standards for wheel testing on construction machines with additional brake torques. After defining load profile assumptions based on measurements, a load programme for the Biaxial Wheel/Hub Testing Facility was elaborated. The test rig was enhanced by components to enable braking. The developed procedure enables the axle manufacturer to test the hub within a short time and to avoid expensive failures in vehicle prototypes. The procedure may become a test standard for wheel/hub assemblies on customisation machines. Similar special adaptations can be performed for most other kinds of special vehicles.

tung sowie Kombinationen daraus aufgebracht werden. Die Aufbringung des hydraulischen Bremsdruckes erfolgte über einen pneumatisch-hydraulischen Druckübersetzer. Der Ölinhalt des Radkopfes wurde über einen Kühlkreislauf gepumpt, um die Bremsenergie abzuführen.

Das synthetische Belastungsprogramm wurde in Anlehnung an die bekannten Programme „Europazyklus“ für diese spezielle Anwendung erarbeitet und mit Hilfe von Messungen im Versuchstand iterativ angepasst, bis die gemessenen Beanspruchungen in den verschiedenen Bereichen der Baugruppe sowie die rechnerische Schädigungsabschätzung gegenüber einer angenommenen Wöhlerlinie dem Bemessungskollektiv weitgehend entsprachen. Als Kollektivumfang wurde eine Versuchslaufzeit von 6 500 km zu Grunde gelegt, so dass gegenüber dem Betriebs-einsatz mit einer Versuchslaufzeit von rund einer Woche eine erhebliche Raffung realisiert wurde.

## Kundennutzen

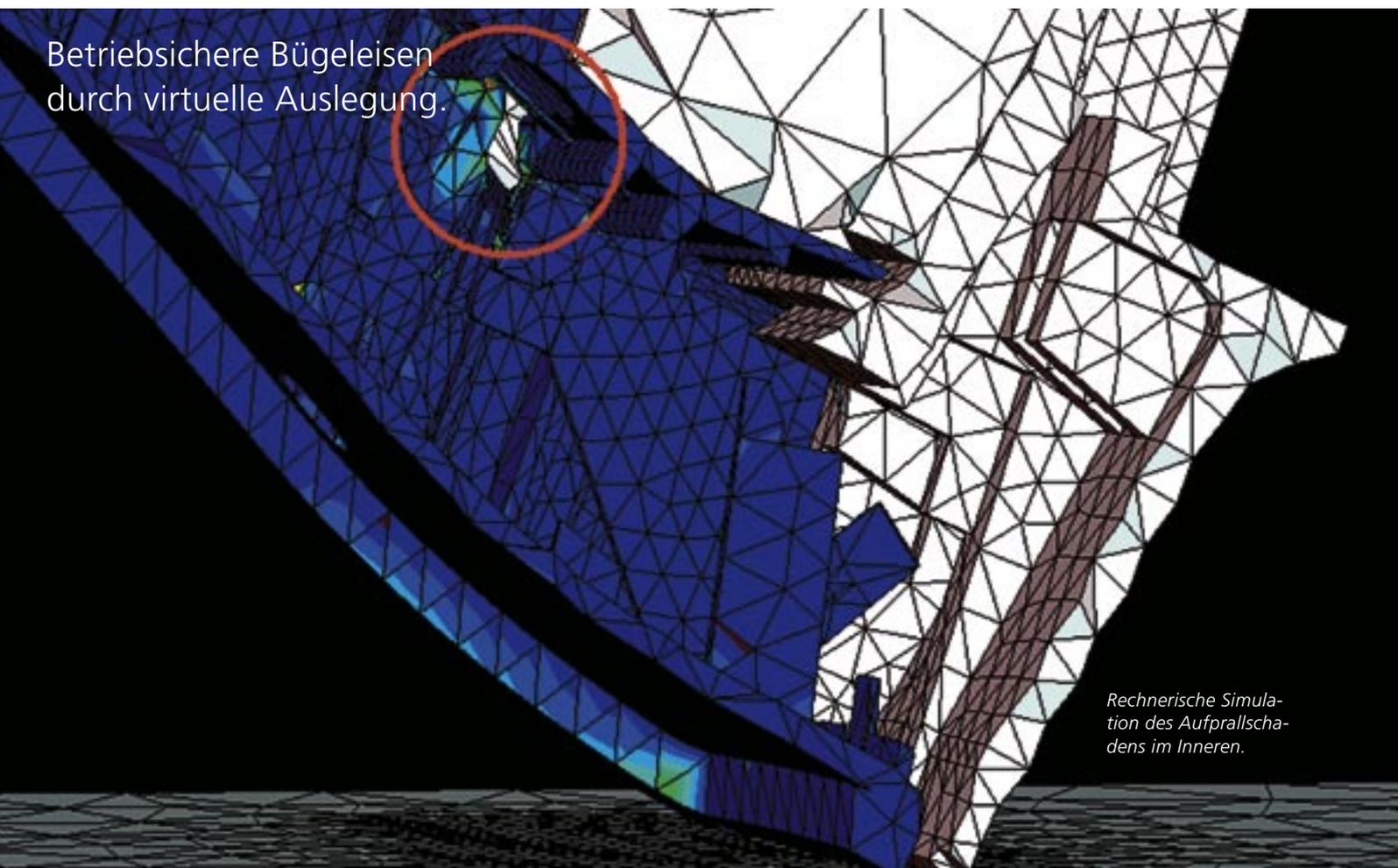
Ein Referenzversuch am Serienbauteil zeigte, dass das neue Konzept den Betriebserfahrungen entspricht. An Varianten wurden Schwachstellen eliminiert sowie durch Torsionsmomente die Neigung zu Passungsrost im Mitnahmeprofil bzw. das Mitdrehen von Lagerringen untersucht. Durch dieses Projekt wurde eine ausgezeichnete Grundlage für einen Betriebsfestigkeitsnachweis an Radnaben für Baumaschinen erarbeitet. Dies war zuvor für solche nur durch zeitaufwendige und schlecht reproduzierbare Fahrzeugversuche gegeben. Die Erarbeitung spezieller Auslegungs- und Versuchs-kriterien kann in ähnlicher Weise für alle Arten von Sonderfahrzeugen erfolgen, z. B. auch als Definition eines Teststandards.

Dipl.-Ing.  
Wolfgang Grünbeck  
ZF Passau GmbH:

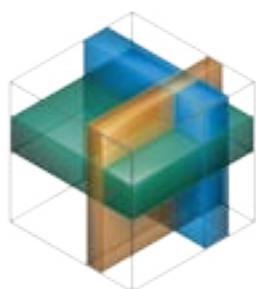


Die Verwendung des ZWARP bei der Validierung der Radführung für schwere Baumaschinenachsen ermöglicht erstmalig eine kombinierte Erprobung von Radnabe, Radlagerung und Schraubverbindung. Dies konnte bisher am Prüfstand nur mit sehr hohem Aufwand und teilweise nur unzureichend getestet werden. Mit einem Prüfprogramm, aufbauend auf realen Fahrbetriebsmessungen, kann die Baugruppe bereits im frühen Prototypstadium überprüft werden, so dass das Risiko für Änderungen bei den kundenseitigen Fahrerproben minimiert ist.

Betriebsichere Bügeleisen durch virtuelle Auslegung.



*Rechnerische Simulation des Aufprallschadens im Inneren.*



### Sicherheitsstrategien

### CAX-Technologien

### Maschinen- und Anlagenbau

Ansprechpartner:  
Dipl.-Ing. André Heinrietz  
Telefon: +49 (0) 61 51/7 05-2 71  
andre.heinrietz@lbf.fraunhofer.de

Hochwertige Dampfbügeleisen werden einer ganzen Reihe von Tests unterzogen bevor sie in den Handel gelangen. Unter anderem muss sichergestellt sein, dass ein Bügeleisen nach einem Aufprall keinen elektrischen Kurzschluss verursacht. Die wesentliche Ursache für einen Kurzschluss nach dem Aufprall ist eine Benetzung stromleitender Komponenten mit Wasser, ihrerseits verursacht durch einen Schaden am Tank.

Die Sicherheit des Bügeleisens in Hinblick auf einen Aufprall wird durch einen Fallversuch vor Markteinführung getestet. Für die Durchführung des Versuchs ist somit die Herstellung von Prototypen erforderlich. Wird der Falltest nicht bestanden, entstehen meist hohe Kosten für die Gestaltänderung der oft sehr komplexen Spritzgussform.

### Lösungsweg

Die rechnerische Simulationstechnik bietet die Möglichkeit, bereits in der Entwicklungsphase Untersuchungen

an virtuellen Prototypen durchzuführen. Komplexe Baugruppen können mit vergleichsweise geringerem Aufwand untersucht werden, da auf einfache Weise das Innere der Baugruppe während eines Aufpralls beobachtet werden kann.

In einem Pilotprojekt mit der Firma Rowenta wurde ein Bügeleisen mit bekannten Versagensorten rechnerisch untersucht. Diese Vorgehensweise bot einerseits die Möglichkeit, das Bügeleisen konstruktiv zu verbessern. Andererseits konnte die Berechnungsgüte des Simulationsmodells anhand von Aufnahmen mit einer Hochgeschwindigkeitskamera und Schadensuntersuchungen an realen Bügeleisen bewertet werden, um eine hohe Aussagegüte für die Untersuchung virtueller Prototypen erreichen zu können.

Am untersuchten Bügeleisen traten Risse im Bereich der Verschraubung des Heckdeckels mit dem Integralbauteil Griff / Tank auf, die zu einem Wasseraustritt im Innern des Bügeleisens führte.



Rowenta Dampfbügeleisen.



Realer Fallversuch mit der Hochgeschwindigkeitskamera dokumentiert.

Mit Hilfe eines Finite Element Modells wurde der Aufprall des Bügeleisens unter verschiedenen Fallwinkeln durch explizit-dynamische Analysen untersucht. Das nichtlineare Werkstoffverhalten ausgewählter Komponenten wurde in der Art definiert, dass eine Simulation des Werkstoffversagens unter Berücksichtigung der Kerbempfindlichkeit der Bruchdehnung möglich wurde. Durch eine derartige Werkstoffbeschreibung ist es möglich, strukturelle Belastungsumlagerungen zu erfassen, die während des dynamischen Vorgangs durch Risse in einzelnen Komponenten verursacht werden. Um die Beschleunigung des Wassers und folglich den Druck-Zeit Verlauf auf die Tankwände sinngemäß richtig abzubilden, wurde das Wasser als Langrange-Netz unter Verwendung einer Zustandsgleichung in der Simulation mit berücksichtigt.

### Ergebnisse

Die Risse im Bereich des Tanks wurden durch eine starke Verschiebung eines Deckels verursacht. Die dadurch entstehenden hohen Kräfte auf die

Verschraubungen führten zum Bruch des Tanks. Die Verschiebung des Deckels ihrerseits wurden möglich, da Haltezapfen am Deckel während des Fallvorgangs abrissen.

Aufgrund der Ergebnisse der Simulation wurden konstruktive Änderungen ausschließlich am Deckel vorgenommen. Die mit der geänderten Deckelgeometrie durchgeführten Berechnungen ließen keinen Wasseraustritt im Bereich des Tanks erwarten. Die Versuche an den konstruktiv verbesserten Bügeleisen bestätigten die Ergebnisse der Berechnungen.

### Folgerungen

Durch die Simulationstechnik gelang es, Änderungen an der sehr komplexen Spritzgussform des geschädigten Teils zu vermeiden, in dem der Kraftfluss im Bügeleisen während eines Aufpralls gezielt geändert wurde. Eine Vorgehensweise zur virtuellen Untersuchung von Bügeleisen wurde qualifiziert.

### Abstract

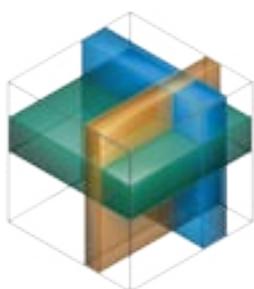
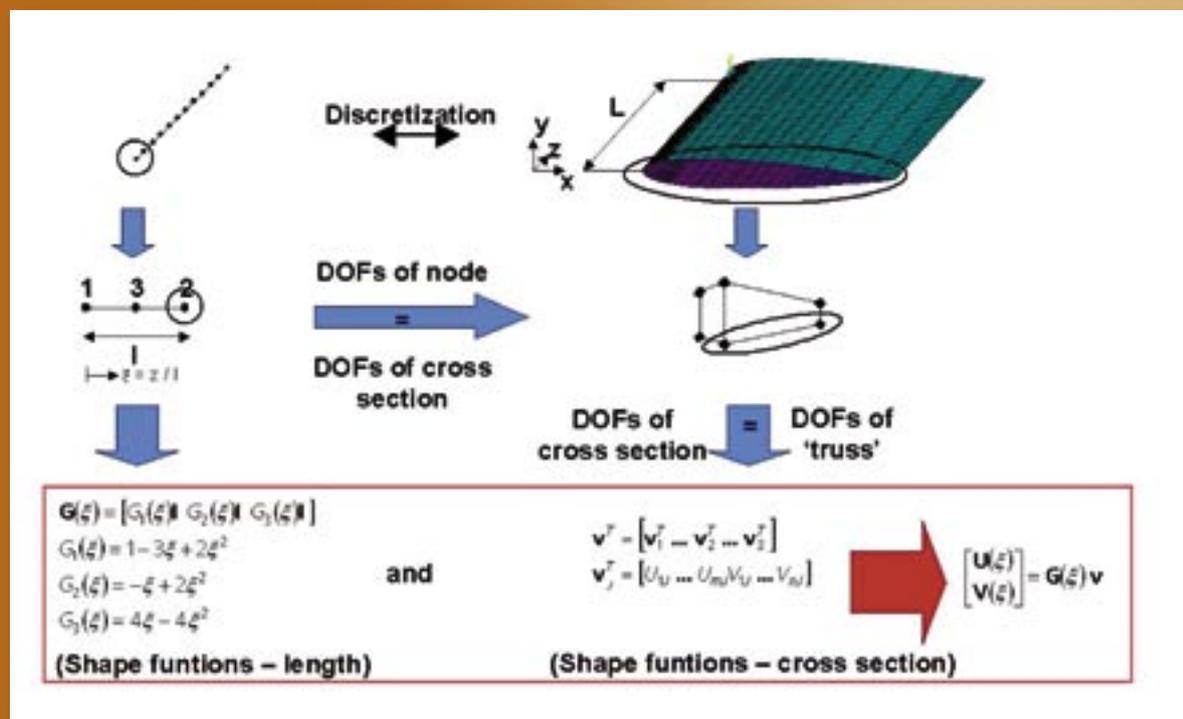
During the drop test the impact strengths of steam iron components are tested in order to prevent a short circuit of the electric components due to water leakage in the iron. Simulation technique provides the option to investigate complex assemblies during impact without manufacturing prototypes. The component's deformations and load paths inside of the assembly can easily be analysed using Finite Element simulation. In a cooperation with Rowenta a steam iron design has been investigated by explicit Finite Element simulation. Based on the results of the simulations changes of the very complex water tank which cracked could be avoided. An evaluation of the impact strength can be made in an early design phase. Necessary improvements and tests can mainly be performed by simulations.

Dr. Dirk Jeschke,  
Leiter der  
Qualitätssicherung  
bei der Firma  
Rowenta:



- Bereits früh im Entwicklungsprozess kann eine erste Aussage über die Festigkeit des Bügeleisens gemacht werden.
- Bei notwendigen Änderungen kann die Auslegung und Erprobung im wesentlichen virtuell erfolgen.
- Es ist nur noch eine gezielte Gestaltung des Werkzeugs notwendig, anstatt wie vorher die Versuche voll und ganz in Hardware zu fahren.
- Gesetzliche Vorschriften werden auf Antrieb eingehalten (Drop Test).
- Die Qualität der Kunststoff-spritzwerkzeuge kann gesteigert werden, da weniger Änderungen erfolgen müssen.

Flexibles Berechnungsverfahren zur Bewertung dünnwandiger, elastischer, stabähnlicher Strukturen unter Berücksichtigung der Wölbkrafttorsion.



Design und Konstruktion

Betriebsfester Leichtbau

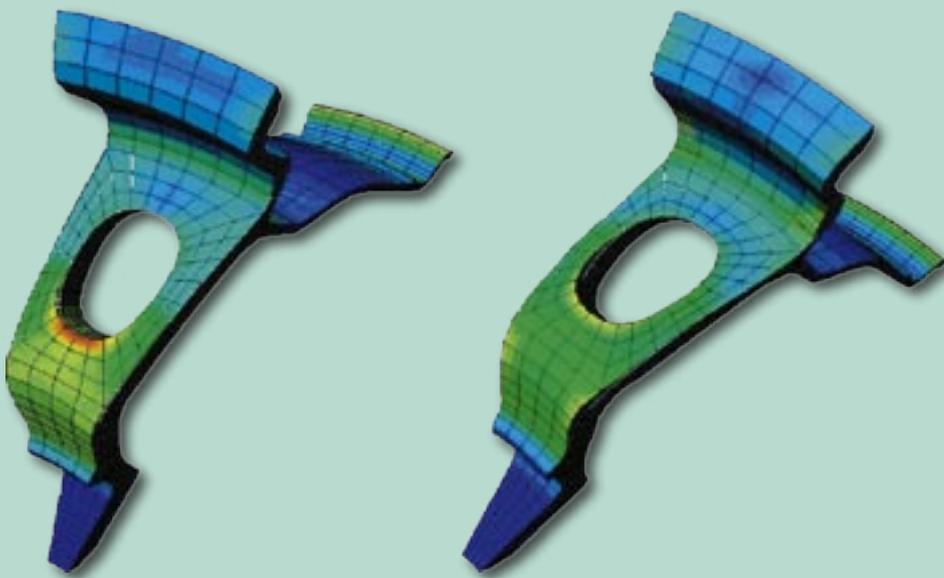
Transport

Ein Tragflügel oder die dünnwandige Haut eines Rotorblattes beispielsweise sind „Schalen, die als Stab belastet werden“ und erlauben daher die strukturmechanische Modellierung als anisotrope, dünnwandige, elastische Stabschale. Dünnwandige Stäbe oder Stabschalen sind dadurch charakterisiert, dass die Größenordnungen ihrer Abmessungen signifikante Unterschiede aufweisen. So sind die Wandstärken eines dünnwandigen Stabes bzw. einer Stabschale klein im Vergleich zu ihren anderen Querschnittsabmessungen, und diese sind wiederum klein im Vergleich zur Stablänge.

Zur Theorie und Berechnung dünnwandiger Stäbe sowie zur Überprüfung ihrer Anwendungsgrenzen sind von Wlassow und später auch Altenbach in der Vergangenheit umfangreiche Arbeiten gemacht worden, mit dem Ziel, das Stabmodell zur

Beschreibung allgemeiner Probleme auszubauen. Die Möglichkeiten eines derartigen Berechnungswerkzeuges zur Berechnung z.B. von langen dünnwandigen stabschalenartigen Strukturen in Flugzeug- oder Schiffsrümpfen, Wagenkästen, Flügeln, usw. sind vielfältig. Der Berechnungsansatz basiert auf der von Wlassow und Altenbach eingeführte eindimensionale Modellklasse der dünnwandigen Stäbe oder Stabschalen, mit der sich auch unter Berücksichtigung von Anisotropie und Konturverformung, durch Längskräfte, Querkkräfte, Biege- und Torsionsmomente beanspruchte dünnwandige stabförmige Bauteile aus faserverstärkten Materialien berechnen lassen. Der Vorteil dieser eindimensionalen, strukturmechanisch als elastische Stabschale modellierten Modellklasse ergibt sich in der Strukturanalyse aus dem im Allgemeinen sehr viel geringeren Berechnungsaufwand gegenüber den zweidimensionalen Strukturelementen wie z.B. den Schalen.

Ansprechpartner:  
 Dr.-Ing. Andreas Büter  
 Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-2 77  
 andreas.bueter@lbf.fraunhofer.de



### Abstract

An expanded Vlasov Theory can be used for the design of thin-walled beams. In general, the theory of thin-walled elastic beams satisfies three conditions:

1. the bending moment per unit length of a section perpendicular to z-axis  $m_z=0$
2. the twisting moment per unit length of a section  $m_{zs}=0$
3. the tangential stress in the circumference of the beam  $\sigma_s=0$ ,

which reduce the shell theory into a theory of thin-walled structures, e. g. beams. Based on this theory a finite element for ANSYS was developed, which allows an effective pre-design of thin-walled structures.

Abb. 2: Optimierung der Ventilationsöffnungsform und der Wandstärkenverteilung auf Basis der erforderlichen Schwingfestigkeitsverteilung.

### Projekthalt

In laufenden Untersuchungen wurden das Differentialgleichungssystem für den Kastenträger im Fall statischer Lasten analytisch, ansonsten numerisch mittels des Integrationsmatrizenverfahrens gelöst, ein Vorgehen, das für kompliziertere bzw. beliebige Stabschalquerschnitte nicht mehr praktikabel ist. Von Altenbach und Kissing wurden auf Basis der Stabschalen erste 1-dimensionale Finite-Elemente vorgestellt. Diese Arbeiten werden zur Zeit vom Fraunhofer LBF mit dem Ziel fortgesetzt, entsprechende Elemente (Abb. 1) in ANSYS für Optimierungen aus Sicht der Betriebsfestigkeit verwenden zu können. Der Vorteil im Berechnungsaufwand liegt auf der Hand: während ein Kastenträger, beschrieben durch minimal 4 Schalenelemente mit insgesamt 20 Knoten, 120 Freiheitsgrade hat, wird ein Kastenträger als Stabschalenelement durch 16 Freiheitsgrade (mit Nebenknoten 24 FG) beschrieben.

### Kundennutzen

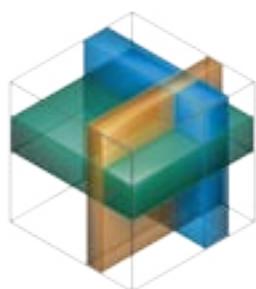
Mittels eines solchen Werkzeuges lassen sich mit geringem Aufwand Vorooptimierungen hinsichtlich Steifigkeitsverteilung, Verformungsverhalten, strukturdynamischer Eigenschaften, Stabilität und Betriebsfestigkeit durchführen. Gekoppelt mit den im Fraunhofer LBF, z. B. für Metalle bereits vorhandenen Berechnungswerkzeugen, lassen sich für erste Bewertungen und Optimierungen erforderliche Schwingfestigkeitsverteilungen unter dem Aspekt realer Belastungskollektive berechnen. In Abb. 2 ist dieses exemplarisch dargestellt.

## ADI-Guss für Nutzfahrzeugkomponenten.



Abb. 1: Panhardstab.

Foto: MAN Nutzfahrzeuge AG.



### Sicherheitsstrategien

### Betriebslastensimulation und Bewertung

### Transport

Ansprechpartner:  
Prof. Dr.-Ing. Cetin Morris Sonsino  
Dipl.-Ing. Rüdiger Zinke  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-4 79  
ruediger.zinke@lbf.fraunhofer.de

Die grundsätzliche Eignung von Gusseisenwerkstoffen mit Kugelgrafit im Sicherheitskomponentenbereich für Nutzfahrzeuge ist insbesondere aus der Sicht von Impact- und Sonderbelastungen von großer Bedeutung.

### Projekthalt

Hierzu wurden Untersuchungen am Beispiel eines Panhardstabes und der Gusseisenwerkstoffe EN-GJS-400-15 und EN-GJS-800-8 (ADI) durchgeführt, Abbildung 1. Es wurden Betriebsfestigkeitsversuche unter dynamischen Belastungen (Impact), zyklischen Belastungen (Schwingfestigkeitsversuche unter konstanten und variablen Lastamplituden) ohne und mit Vorverformung (Bauteilformdehngrenze) durchgeführt. Zusätzlich zu den Panhardstäben wurden auch Gusszapfen aus beiden Gusslegierungen, aber nur unter Impactbelastung, untersucht. Versuchsbegleitend wurde mit Hilfe der Finite Element Methode das Verformungsverhalten

des Panhardstabes unter quasistatischen und dynamischen Belastungen abgebildet. Die dafür benötigten Werkstoffkennwerte wurden aus konventionellen und hochdynamischen Zugversuchen an Proben ermittelt, die dem Bauteil entnommen wurden.

In Abbildung 2 sind die Ergebnisse von Impactversuchen dargestellt. Unter Raumtemperatur zeigt der ADI-Werkstoff ein dem GJS-400 ebenbürtiges Verhalten. Abbildung 3 zeigt das Schwingfestigkeitsverhalten der untersuchten Bauteile unter konstanten und variablen Amplituden.

### Kundennutzen

Insbesondere unter variablen Amplituden weist der ausgewählte ADI-Guss gegenüber der Einstufenbelastung eine deutlich höhere Belastbarkeit und Lebensdauersteigerung aus, die auf eine Umwandlung des ausferritischen Gefüges in Martensit infolge von hohen Beanspruchungsamplituden zurückzuführen ist.

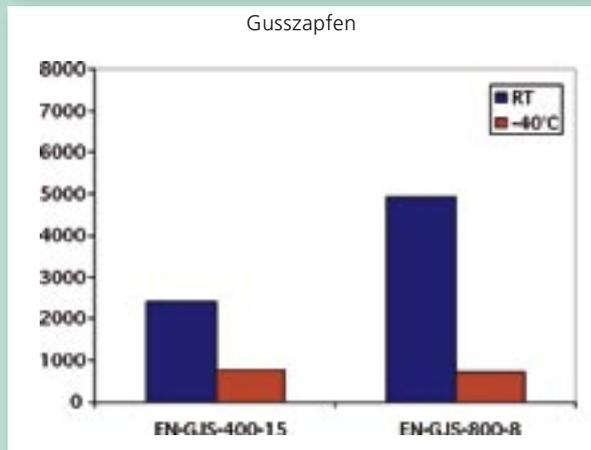
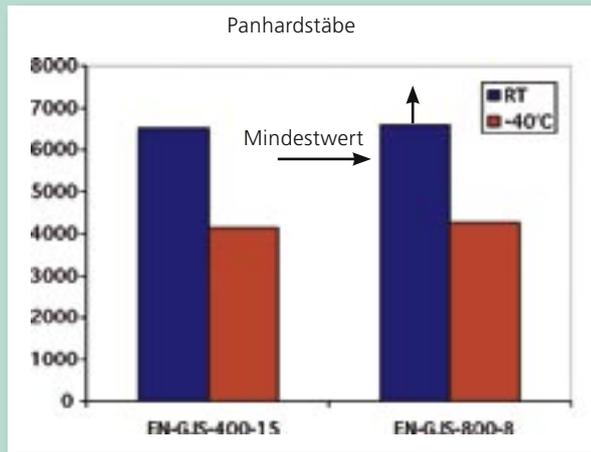


Abb. 2: Ertragbare Energieaufnahme (Bruchenergie) bei den Impactversuchen an den Panhardstäben und Gusszapfen.

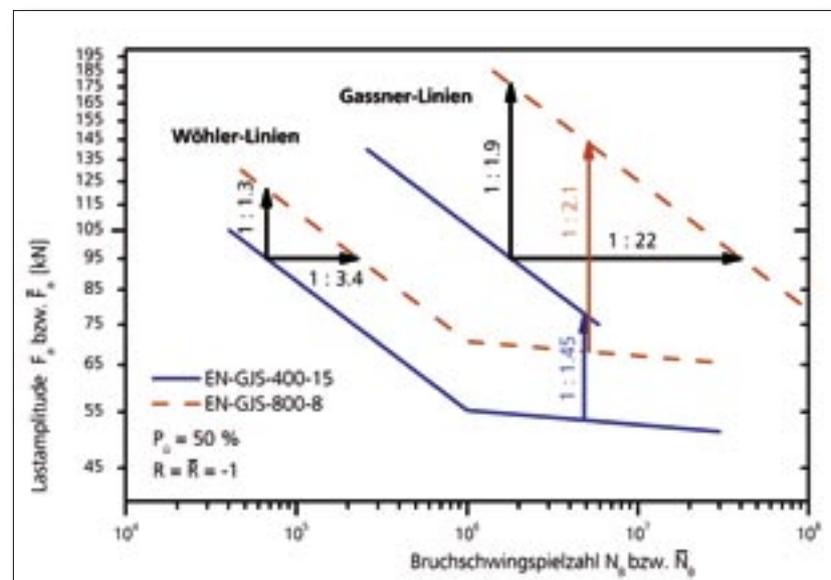
### Abstract

The structural durability design of the highly loaded safety components of commercial vehicles does not only require acceptable resistance against impact loads due to misuse or plastic deformations in special circumstances, but also high resistance against fatigue loads in service. Austempered Ductile Iron (ADI) offers a significantly greater increase of fatigue strength and life especially under variable amplitude loading as opposed to constant amplitude loading when compared to conventional pearlitic-ferritic cast iron materials, as displayed by the example of chassis rods. This behaviour of ADI by transformation of ausferrite into martensite under high stresses with elasto-plastic deformations opens new possibilities for realizing lightweight components.

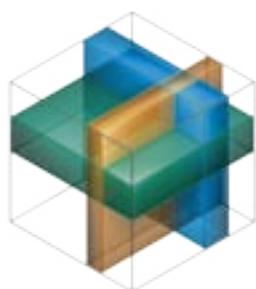
Die ermittelten Steigerungsbeträge ermöglichen einen Leichtbau mit ADI-Guss für hochbelastete Bauteile. Alle Ergebnisse dieser Untersuchung werden ausführlich im Fraunhofer LBF-Bericht Nr. FB-229 (erscheint demnächst) zusammengestellt.

Von besonderer Bedeutung für den Einsatz von Sicherheitsbauteilen aus Gusseisenwerkstoffen ist die Werkstoffqualität im Bauteil. Ungenzen in hochbelasteten Bereichen können die Beanspruchbarkeit der Bauteile in einem unzulässigen Maße verringern. Aus diesem Grunde lässt sich das nachgewiesene Leichtbaupotenzial des EN-GJS-800-8 (ADI) unter Betriebsbelastungen mit variablen Lastamplituden sowie unter Impact- und Sonderbelastungen nur dann vollständig ausnutzen, wenn mit diesem Werkstoff durch eine optimierte Prozessführung und entsprechende Qualitätssicherung eine gute Abstimmung zwischen Festigkeit und Zähigkeit vorgenommen wird.

Abb. 3: Vergleich des Schwingfestigkeitsverhaltens von Panhardstäben aus Gusseisen mit Kugelgraphit.



## FE Strukturgenerator für Wirrfaserstrukturen mit Faserwelligkeit.



**Design und Konstruktion**

**Betriebsfester Leichtbau**

**Automotive**

Ansprechpartnerin:  
Dipl.-Ing. Katrin Bolender  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-2 53  
katrin.bolender@lbf.fraunhofer.de

Die Lebensdauer und zyklische Beanspruchbarkeit eines Bauteils wird im Wesentlichen durch folgende Parameter bestimmt:

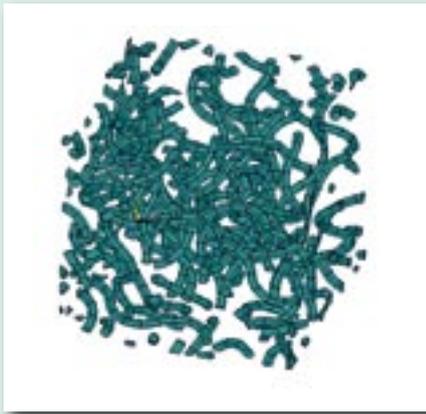
- Zufallartige Betriebsbelastungen mit Sonderbelastungen (auch stoßartige Belastungen)
- Konstruktive Gestaltung, Werkstoff- und Fertigungseinfluss
- Umgebungsbedingungen (Temperatur, Feuchte, Medien, ...)
- Qualitätssicherung und Überwachung.

Während des Auslegungsprozesses werden die konstruktive Gestaltung, der Werkstoff und der Fertigungsprozess den Betriebs- und Sonderbelastungen bzw. Umgebungsbedingungen angepasst. Hierzu entwickelte das Fraunhofer LBF eine erste Software, mit der unter Berücksichtigung mehraxialer Beanspruchungen materialabhängig die erforderliche Schwingfestigkeit

am Bauteil ermittelt werden kann. Die vom Bauteil ertragbaren lokalen Schwingfestigkeiten hängen bei Faserverbundwerkstoffen direkt vom lokalen Fasergehalt und dem Verhältnis zwischen Last- und Faserrichtung ab. Ebenso beeinflussen z. B. bei der Herstellung entstehende Ondulationen, Lufteinschlüsse und Eigenspannungen die Schwingfestigkeit. Bei wirrfaserverstärkten Kunststoffen oder zur Modellierung von Carbonanotubes CNT ist daher für die Verknüpfung von Herstellungsprozess- und Belastungssimulation eine Modellierung notwendig, die dem stark fertigungsabhängigen Wirrfaserverhalten in Ausrichtung, Krümmung und Dichte der Fasern gerecht wird.

### Projekthinhalte

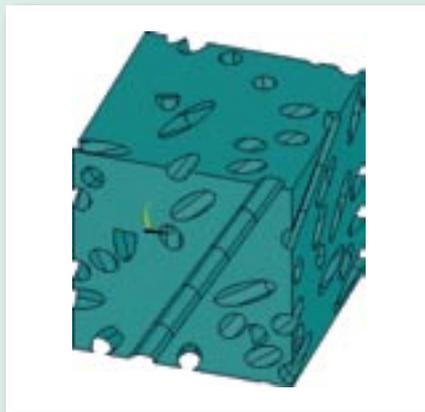
In zurzeit verfügbaren Softwarepaketen können nur Einheitszellen mit geraden Wirrfasergeometrien modelliert werden. Außerdem ist für diese die Berechnung der Steifigkeit des verschmierten Faser-/Matrixmaterials



Faservolumen einer Beispielinheitszelle mit gekrümmten Fasern.



Beispielinheitszelle mit geraden Fasern, Faservolumen (links) und Matrixvolumen (rechts).



## Abstract

A microstructure generator was developed for the creation of random three-dimensional fibre geometries within a unit cell with given properties. Such properties are fibre volume fraction, fibre radius, fibre wavelength and curvature as well as material data of fibres and matrix. The generated unit cell may be used for the estimation of the effective elastic properties by numerical simulation within the numerical software ANSYS™. Thus the coupling of the production process simulation and the simulation of the strain distribution becomes illustratable.

zwar innerhalb des Softwarepaketes möglich, die indirekte (Geometrie) bzw. direkte (vernetzte Struktur) Ableitung von FE Modellen zur Weiterverwendung der generierten Struktur in einer FE Software ist hier jedoch nicht vorgesehen bzw. unbefriedigend. Um dem Einfluss von Ausrichtung, Krümmung und Dichte der Fasern auf das Materialverhalten wirrfaserverstärkter Materialien gerecht zu werden, konnte im Fraunhofer LBF ein Werkzeug zur Erstellung einer Einheitszelle geschaffen werden, das diese Parameter berücksichtigt und unmittelbar zur Geometriemodellierung im FE-Programmsystem ANSYS™ herangezogen werden kann (Pre-Processor Funktionalität). Natürlich sind dafür sinnvolle Messverfahren zur Identifikation der vorliegenden Parameter erforderlich.

Zur Generierung der Geometrie einer kubischen Einheitszelle aus Fasern und Matrix (jeweils Volumina) in ANSYS™ wird vom Strukturgenerator-Tool ein sogenanntes command file erstellt.

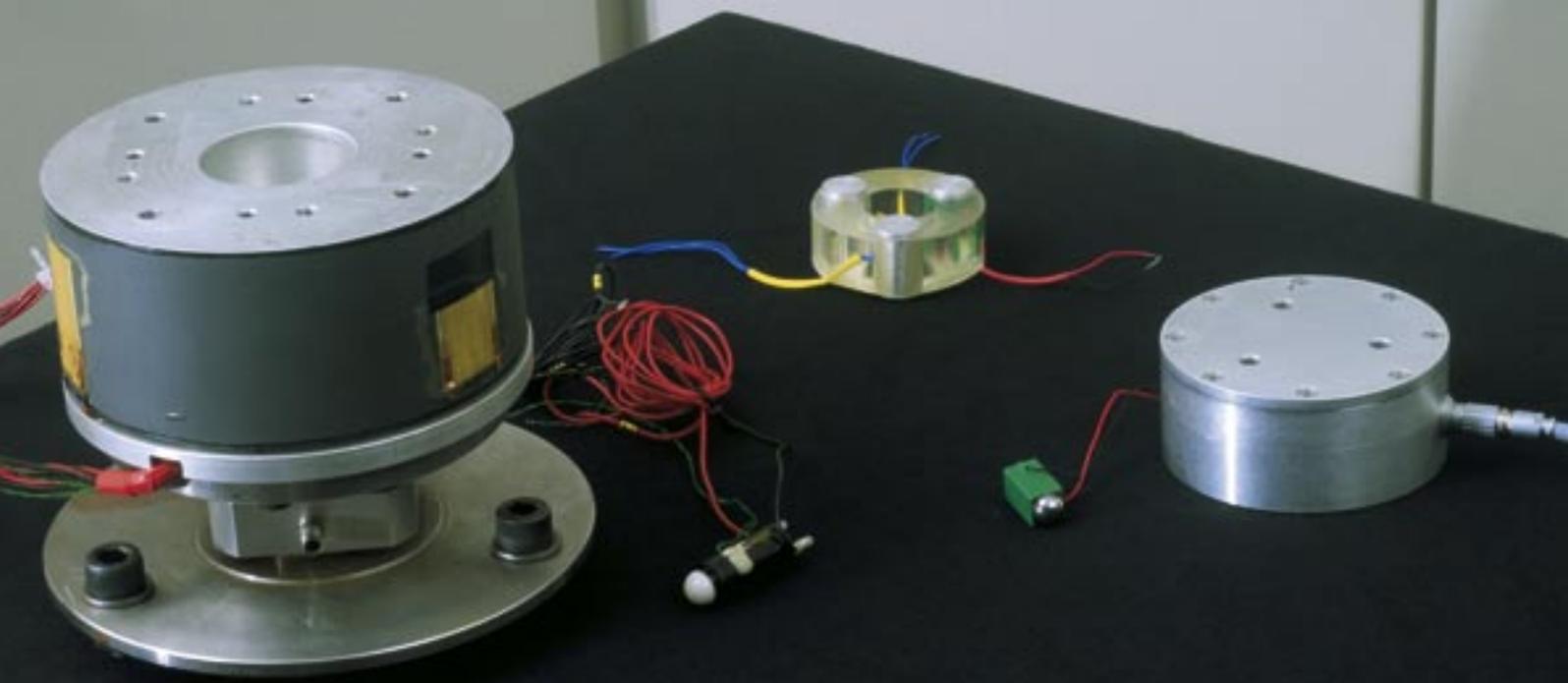
Mit Hilfe des Preprocessors in ANSYS™ können die Volumina dann vernetzt sowie Randbedingungen und Lastfälle zur Ermittlung des Materialverhaltens vorgegeben werden. Die Definition der Geometrie erfolgt im Strukturgenerator anhand von Eingabeparametern, wie z. B. dem Faservolumengehalt, der Welligkeit und/oder dem Faserdurchmesser.

## Kundennutzen

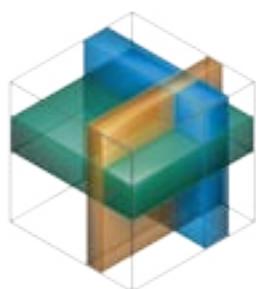
Anhand des vorgestellten Werkzeuges ist es möglich, Herstellungsprozess- und Belastungssimulation von Wirrfaserverstärkten Kunststoffen oder bei der Modellierung von Carbonanotubes CNT, zu verknüpfen. Diese Modellierung erlaubt es, dem stark fertigungsabhängigen Wirrfasercharakter in Ausrichtung, Krümmung und Dichte der Fasern bei der Auslegung gerecht zu werden.

Anwendungsbeispiel: Sicherheitsbauteile aus SMC, z. B. Felgen.

### Simulation aktiver Systeme am Beispiel eines aktiven Interfaces.



Entwicklung im Fraunhofer LBF:  
Drei Generationen aktiver Interfaces.



Lärm- und  
Schwingungsreduktion

Mechatronik/Adaptronik

Maschinen- und  
Anlagenbau

Ansprechpartner:  
Dr.-Ing. Tobias Melz  
Dipl. Ing. Heiko Atzrodt  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-2 40  
heiko.atzrodt@lbf.fraunhofer.de

Die angemessene numerische Simulation aktiver, besonders adaptiver Systeme kann die Entwicklungszeit, den -aufwand und die -kosten deutlich reduzieren. Diese Simulation umfasst den aktiven, geregelten wie den passiven bzw. inaktiven Zustand des betrachteten Struktursystems. Dabei reicht es nicht aus, die mechanische Struktur, die Sensorik, die Aktorik, die Regelungstechnik und die elektronischen Komponenten einzeln und getrennt voneinander zu simulieren. Die verschiedenen Subsysteme beeinflussen sich in einem adaptiven System gegenseitig stark, so dass die Simulation des gesamten aktiven Systems die relevanten Subsysteme beinhalten muss.

Hierfür hat das Fraunhofer LBF eine Systematik erarbeitet, mit der die avisierte Entwicklungsbeschleunigung in verschiedenen Projekten nachgewiesen wurde. Diese unterstützt mit ihren Simulationsergebnissen die Dimensionierung der Konstruktion, die Entwicklung und Implementierung der Rege-

lung, das Testen und die Bewertung der Funktionalität, die Abschätzung der Performance und die Überprüfung von Fragen der Systemzuverlässigkeit.

#### Projekthalt

Zur Entkopplung zweier Teilstrukturen wurde ein Interface zwischen diese geschaltet, welches Schwingungen in drei Freiheitsgraden beeinflussen kann (1 x translatorisch, 2 x rotatorisch). Die betrachtete Struktur besteht aus zwei elastischen Platten, wobei die untere Platte im Prüfaufbau an zwei Seiten fest eingespannt ist, Abb. 1. Das Interface befindet sich zwischen diesen Platten und entkoppelt bei Anregung der unteren Platte die obere. Für die numerische Gesamtsystemsimulation des beschriebenen Aufbaus wird eine Kombination der Methoden CACE (Computer Aided Control Engineering), Mehrkörpersimulation (MKS) und Finite Elemente Methode (FEM) benötigt, Abb. 2. Mit der FEM wird das elastische Verhalten der mechanischen Teilstrukturen simuliert, die Integration von nichtlinearen und quasi statischen Systemen erfolgt in der MKS

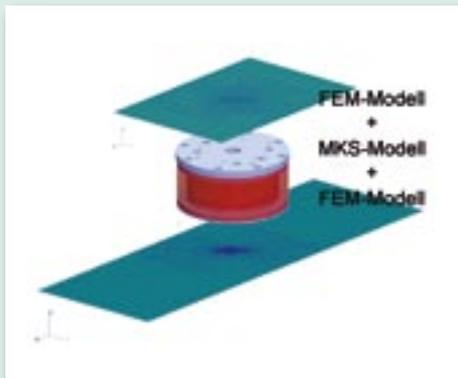


Abb. 2: Aufbau des Simulationsmodells.

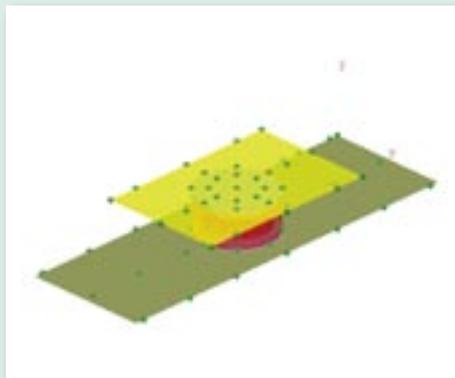


Abb. 3: MKS-Modell.

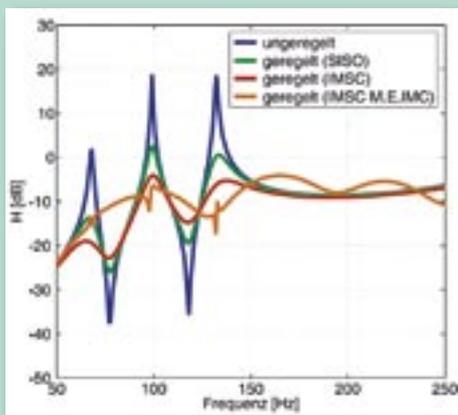


Abb. 4: Ergebnisse der Berechnung.

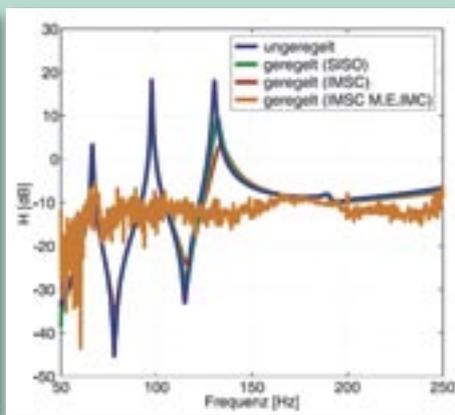


Abb. 5: Ergebnisse der Messung.

## Abstract

For the efficient active system design, development and assessment it is often advisable to establish a system simulation environment which comprises the entire system's characteristics. Thus, the realistic performance of complete active systems in both their actively controlled and passive state must be adequately represented. The characteristics of the mechanical structures, the transducer (actuators and sensors), signal conditioning, electronics and controllers must be considered for a proper system representation. For this purpose it is essential to interconnect diverse design tools for the different numerical and experimental modelling methods and center the simulation approach with respect to the simulation method that is primarily suitable for the specific problem (e.g. Matlab/Simulink for control engineering). Subsequently, an example will be given for a system with a separate structure being interconnected by an active interface.

und die Reglerentwicklung wird in einem CACE Programm, hier Matlab/Simulink vorgenommen. Zentrale, integrative Simulationsumgebung ist im vorliegenden Fall die MKS, Abb. 3. Die in der FEM berechneten Platten werden nach einer dynamischen Reduktion in die MKS importiert und mit dem MKS-Modell des Interfaces verbunden. Der Abgleich der Simulation erfolgt anhand eines Demonstrators, der als Laborversuch aufgebaut und an dem eine experimentelle Modalanalyse zur Verifikation des numerischen Modells durchgeführt wurde. Als Regelungskonzept wurde die dezentrale Geschwindigkeitsrückführung (SISO), das Independent Modal Space Control (IMSC) und ein adaptiver

Regler (IMSC M.E. IMC) angewendet. Nach Integration des Regelalgorithmus aus dem CACE-Programm in die MKS, wird die Gesamtsystemsimulation des aktiven multiaxialen Interfaces in dem MKS-Programm durchgeführt. MKS-Simulation und Reglerentwicklung erfolgen als iterativer Prozess. Im Experiment und in der Simulation kann die obere Platte von der unteren Platte entkoppelt werden, Abb. 4 und 5. Im Frequenzgang des Experimentes ist beim adaptiven Filter nur noch das Grundrauschen zu erkennen. Die Ergebnisse aus Simulation und Experiment stimmen gut überein, eine frühzeitige Abschätzung der Systemperformance und des geeigneter Reglers sind möglich.

## Kundennutzen

Eine geeignete Gesamtsystemsimulation lässt frühe Machbarkeitsaussagen und Performanceabschätzungen zu. Gleichzeitig ist es möglich, bei geeigneter Abbildung des Gesamtsystemverhaltens Fragen der Systemzuverlässigkeiten zu klären. Damit können die aktive Systementwicklung zeitlich verkürzt, die Kosten reduziert und die Funktion optimiert werden. Anstatt der hier betrachteten Platten können in dem Arbeitsbereich des multiaxialen Interface auch beliebig andere Bauteile voneinander entkoppelt werden.



Abb. 1: Demonstrator mit aktivem Interface.

### Monitoring – Methoden zur Absicherung der Systemzuverlässigkeit.



#### Zuverlässigkeitskonzepte

#### Last- und Beanspruchungsanalyse

#### Maschinen- und Anlagenbau

Ansprechpartner:  
Dipl.-Ing. Stefan Weiland  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-4 72  
stefan.weiland@lbf.fraunhofer.de

An Systeme wird zunehmend die Forderung nach Leichtbau, Funktionsintegration und erhöhter Leistungsfähigkeit bei gleichzeitiger Sicherstellung der Systemzuverlässigkeit gestellt. Zur Umsetzung dieser Anforderungen werden verstärkt mechatronische Systeme eingesetzt. Die Komplexität dieser Systeme bedingt oftmals, dass qualitative Aussagen zum System im Betrieb nur unvollständig im Voraus getroffen werden können. Monitoring Methoden können Abhilfe schaffen. Hierzu werden Sensoren in Systeme implementiert, welche die Erfassung von Systemgrößen ermöglichen. Eine Messung der Systemgrößen führt nicht unmittelbar zu Bewertungsgrößen, mit denen Rückschlüsse auf die aktuellen Systemeigenschaften getroffen werden können. Die im Rahmen des Monitoring abzuleitenden Informationen beziehen sich typischerweise auf Betriebszustände (Usage-Monitoring), den aktuellen Systemzustand (Condition-Monitoring) oder die Schadensdetektion (Health-Monitoring). Um

aus Messsignalen die gewünschten Informationen ableiten zu können, sind individuelle Methoden zur Datenreduktion, zum Datenhandling und zur Ableitung von Bewertungsgrößen nötig.

#### Projekthalt

Die im System verfügbaren Signale werden durch geeignete, an der Aufgabenstellung orientierte Methoden reduziert bzw. verarbeitet. Dabei werden sowohl Methoden zur Transformation in den Frequenzbereich als auch zur Signal-Klassierung angewendet. Die üblichen Reduktionsverfahren werden durch geeignete Lösungen miteinander verknüpft, so dass durch die Datenreduktion die jeweils benötigten Signalinhalte vorliegen.

Bei einer Anwendung im Hinblick auf die Detektion von Betriebszuständen (Usage-Monitoring) kann die weitere Signalverarbeitung und -bewertung typischerweise off-line erfolgen. Hierzu werden Werkzeuge eingesetzt, mit denen vorliegende Daten aus einer Datenbank mit den erfassten Signalen verglichen und bewertet werden. Um



### Abstract

Engineers are faced with a growing complexity of technical systems. In order to ensure the required system reliability monitoring techniques can be used. In general, monitoring techniques differ in usage, condition and health monitoring.

It is possible to get detailed information about the system usage, the current condition of the system and occurring failures or damage of the system. With monitoring techniques it is possible to monitor systems e.g. of the automotive, transport, plant construction, energy and sport equipment industry during the development, test and operation process.

die Betriebszustände im Kundeneinsatz zu ermitteln, können weitere Informationen aus der Datenbank genutzt werden. Somit kann die Historie des Systems im Betrieb verfolgt und mit bekannten Betriebszuständen verglichen werden. Informationen zum aktuellen Systemzustand liegen nicht zwingend vor.

Bei einer Anwendung zur Erfassung des aktuellen Systemzustandes (Condition-Monitoring) erfolgt die Signalbewertung meist online. Die Signale werden nicht dauerhaft gespeichert. Anhand einer online Signalverarbeitung und anschließenden Bewertung kann der Systemzustand identifiziert werden. Dabei wird mittels eines vorab festgelegten Kriteriums der aktuelle Zustand des Systems bewertet. Ein Rückschluss auf die Historie ist nicht möglich.

Eine weitere Anwendung des Monitoring ist die Schadensdetektion (Health-Monitoring). Ähnlich dem Condition-Monitoring erfolgt die Signalbewertung online. Die Signale werden über definierte Bewertungsschemata zur Schadensdetektion genutzt. Eine Voruntersuchung des Zusammenhangs

zwischen Schadensbild und Variation der Bewertungsgröße ist zwingend erforderlich. Bei Schadensdetektion ist meist keine Information zur Historie des Systems und dem zufolge zur Schadensrückverfolgung möglich.

Je nach Anwendungsfall können mehrere der genannten Verfahren eingesetzt und zur Informationssteigerung untereinander gekoppelt werden.

### Kundennutzen

Monitoringmethoden können in vielen technischen Industriezweigen, wie z.B. der Fahrzeugindustrie, dem Maschinen- und Anlagenbau, der Energiewirtschaft und der Freizeit- und Sportgeräteindustrie, eingesetzt werden. Mögliche Anwendungen ergeben sich dabei in den Bereichen:

- Entwicklung
- experimentelle Prüfung
- Homologation durch anwendungsnahen Einsatz (z. B. Teststrecke, Dauerlauf)
- Endanwendung beim Nutzer

Die Verwendung von Monitoringmethoden und -systemen bietet folgende Vorteile:

- Inspektionsintervalle des Systems können an der individuellen Nutzung orientiert werden
- Schadensfrüherkennung, vermeidet teure Folgeschäden
- Ableitung von Bemessungs- und Prüfanforderungen aus dem Kundeneinsatz
- Bestimmung der Restlebensdauer auf Basis des Vergleichs von realen Einsatzspektren mit den der Auslegung zugrunde gelegten Annahmen
- Prüfstandsüberwachung und verkürzter Prüfbetrieb, da eine visuelle Inspektion des Prüflings lediglich bei detektierten Schäden erfolgt

### Projektbeispiele:

- Ermittlung der Restlebensdauer im Vergleich zur Auslegung für einen Braunkohlebagger
- Ermittlung eines Kundennutzungsprofils zur Verifikation der Auslegungsstrategie für das Motorrad BMW R 1150 GS
- Entwicklung von Monitoringmethoden für Fahrräder & Wind-Energie-Anlagen

SPURT für effizienteren schienengebundenen Nahverkehr.



### Sicherheitsstrategien

### Betrieblastensimulation und Bewertung

### Transport

Ansprechpartner:  
Dipl.-Math. Michael Kieninger  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-2 67  
michael.kieninger@lbf.fraunhofer.de

Obwohl heutige Fahrzeuge den Spezifikationen der Betreiber entsprechen und sie umfangreiche Prüfungen und Tests bestanden haben, verursacht häufig mangelnde Übereinstimmung von Fahrzeug und Fahrbahn hohe Wartungs- und Instandhaltungskosten, bis hin zur zeitweisen Stilllegung von Fahrzeugen. Deshalb wünschen Betreiber ein an ihre Infrastruktur optimal angepasstes Fahrzeug. Die meisten Fahrzeuge werden demzufolge heute nach lokalen Spezifikationen gebaut, weshalb europaweit der Markt für Fahrzeuge und Fahrbahnen noch wenig standardisiert ist. Zusätzlich ziehen die geringen Produktionszahlen relativ hohe Kosten für die Entwicklung neuer Fahrzeuge nach sich oder die neu angeschafften Fahrzeuge erfüllen nicht die definierten Spezifikationen hinsichtlich Lebensdauer, Entgleisungssicherheit, Verschleiß und Komfort.

### Projekinhalt

Die Qualität der Fahrbahn hat maßgeblichen Einfluss auf Leistungsmerkmale wie Fahrzeuggeschwindigkeit, Komfort und Entgleisungssicherheit sowie Fahrzeugverfügbarkeit hinsichtlich Bauteilverschleiß und Bauteilversagen. Von zentraler Bedeutung sind hierbei umfassende Kenntnisse des Zusammenspiels von Fahrzeug und Fahrbahn - insbesondere der Rad-Schiene-Kontaktkräfte. Im SPURT-Projekt zielen deshalb die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten auf die Entwicklung eines realistischen numerischen Modells des Rad-Schiene-Kontaktes ab. Dieses numerische Modell wird eine präzise Schematisierung der Mehrpunktkontakte bei verschiedenen Abnutzungsgraden von Schienenprofil und Rad beinhalten, die grundlegend für die Bedingungen der Betriebssicherheit und für Vorhersagen des Schienen- und Radverschleißes sind. Durch die Integration dieses Kontakt-



## Abstract

SPURT Towards Efficient Local Transportation: Increased availability, safety and users acceptance are necessary prerequisites for increased transport performance. In terms of inner-city rail transportation influences of the infrastructure on modern rail vehicles are to be examined under the consideration of present requirements: e.g. size, axle load, usability, noise and speed. The EU Project SPURT - Seamless Public Urban Railway Transport - will deliver methods and solutions for an improved design of new infrastructure and provide recommendations for decision makers purchasing new vehicles while considering the existing infrastructure. The use of numerical and experimental simulations of wear, derailment, noise and vibrations is the key to evaluate the efficiency of measures so that reduced maintenance and high comfort can be accomplished.

modells in ein Mehrkörpermodell des Fahrzeugs, können die Belastungen typischer Lastfälle in verschiedenen Schienennetzen berechnet werden. Erstmals wird innerhalb dieses Projekts ein vom Fraunhofer LBF entwickeltes Schienenmessrad eingesetzt, um die am Radaufstandspunkt auftretenden Kräfte zu messen. Dies dient zur Verifikation des numerischen Modells und zur Ableitung von Lastannahmen für Straßenbahnfahrzeuge. Dabei werden insbesondere die Lastfälle (Kurvenfahrt, Weichenüberfahrt, etc.) mit besonders hohen Lasten identifiziert und kategorisiert. Bislang existiert lediglich eine deutsche Norm zur Auslegung von Straßenbahnfahrzeugen (VDV152), die jedoch aktuelle Multi-gelenkfahrzeuge nicht berücksichtigt – eine europäische Norm existiert derzeit nicht. Um Vorschläge für eine künftige europäische Richtlinie erarbeiten zu können, konzentriert sich SPURT auf die folgenden Aufgabenstellungen:

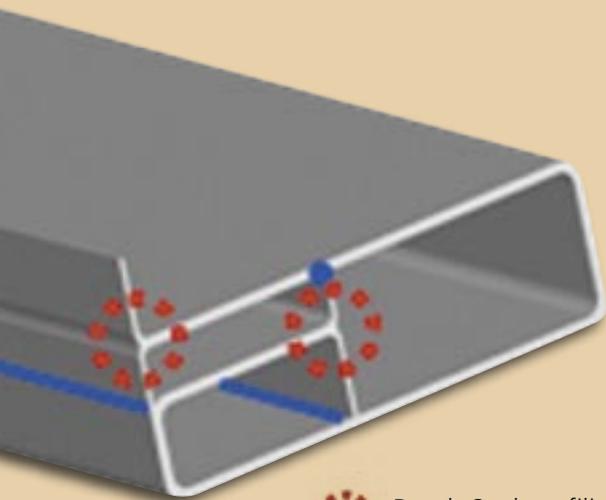
- Rad-Schiene-Kontakt bzw. Material/Berührgeometrie
- Modellierung der Schadensmechanismen
- Mindestqualitätslevel für Gleise
- Betriebssicherheit - Vermeidung von Entgleisungen
- Verringerung von strukturellem Lärm und Vibrationen
- Innovative Wartungsmethoden
- Ableitung von Lastannahmen

### Kundennutzen

Die vom Fraunhofer LBF entwickelte Messrad-Technologie für Pkw- und Nutzfahrzeuge wird nun für die spezifischen Anforderungen schienengebundener Nahverkehrsfahrzeuge und -fahrbahnen weiterentwickelt und im SPURT-Projekt erstmals eingesetzt. Dies erlaubt die Bewertung der auf numerischen Modellen und experimentellen Untersuchungen basierenden Lastannahmen. Ingenieure können damit das Design und

dadurch die Sicherheit versagensrelevanter Komponenten für bestehende und zukünftige Fahrzeuge maßgeblich verbessern. Basierend auf den gemessenen Lastkollektiven lassen sich optimale Wartungsintervalle für Fahrzeug und Schienennetz ableiten. Die entwickelten Methoden und Lösungen sollen dazu beitragen Wartungsintervalle zu optimieren, um verlängerte Betriebszeiten bei geringeren Lebenszykluskosten zu erzielen. Zusätzlich werden Empfehlungen zur besseren Konstruktion bzw. Auswahl der optimalen Fahrzeug- und Fahrbahnkombinationen in Europa ausgearbeitet.

## Integrale Blechbauweisen höherer Verzweigungsordnung.



-  Durch Spaltprofilieren herstellbare Verzweigung
-  Schweißnaht

Abb. 1: Dreikammer-Kabelkanal als Beispiel für ein mehrfach verzweigtes Profil.

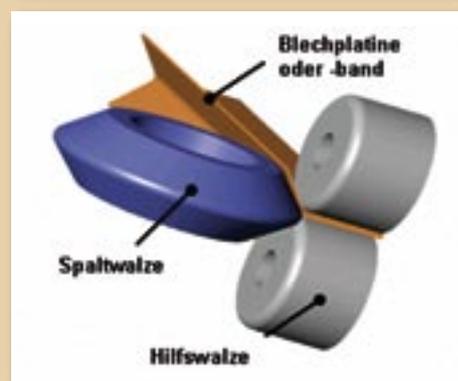
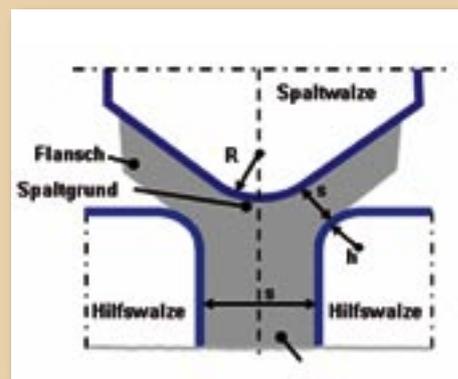


Abb. 2: Verfahrensansatz Spaltprofilieren [Jöckel, 2005].



### Sicherheitsstrategien

### Bauteilgebundenes Werkstoffverhalten

### Maschinen- und Anlagenbau

Ansprechpartner:  
Dipl.-Ing. Volker Landersheim  
Dipl.-Ing. Chalid el Dsoki  
Telefon: +49 (0) 6151/705-475  
volker.landersheim@lbf.fraunhofer.de

In diesem Jahr startete die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) den neuen Sonderforschungsbereich (SFB) 666, dessen Ziel die Entwicklung, Fertigung und Bewertung integraler Blechbauweisen höherer Verzweigungsordnung ist (Abb. 1). Verzweigungen werden unter anderem verwendet, um die Steifigkeit oder die Oberfläche eines Bauteils zu erhöhen oder um zusätzliche Anbindungsflächen für die Montage zu schaffen. Im Mittelpunkt dieses Sonderforschungsbereichs steht das innovative Umformverfahren Spaltprofilieren.

Dieses Verfahren ermöglicht es, mittels Kaltumformung Verzweigungen in Blechprofile einzubringen, ohne dass Fügeoperationen oder Materialdopplungen notwendig sind. Beim Spaltprofilieren wird ein ebenes Blechband durch eine stumpfwinklige Spaltwalze und zwei Hilfswalzen bei Raumtemperatur umgeformt (siehe Abb. 2). Die spezifische Werkzeuganordnung fördert die Entstehung großer Druckspannungsanteile während des

Prozesses, womit das Formänderungsvermögen der eingesetzten Werkstoffe steigerbar ist [Jöckel, 2005]. Im Rahmen dieses Sonderforschungsbereichs fällt dem Fraunhofer LBF/SzM die Aufgabe zu, die Schwingfestigkeit so hergestellter verzweigter Profile zu analysieren, zu bewerten und so auch rekursiv eine Optimierung der Geometrie und des Fertigungsprozesses zu ermöglichen.

### Projekthalt

Das Fraunhofer LBF/SzM ist in zwei Teilprojekten des SFB 666 involviert. Diese umfassen die experimentelle Ermittlung der zyklischen Kennwerte des umgeformten Materials, die numerische Abbildung des Bauteilverhaltens unter Berücksichtigung des Fertigungseinflusses, die Verifizierung der numerischen Modelle durch Bauteilversuche sowie die Identifikation von Optimierungspotentialen sowohl im Fertigungsprozess als auch in der Bauteilgeometrie. Da mit dem Spaltprofilieren im Spaltgrund überdurchschnittlich große Umformgrade erreichbar sind

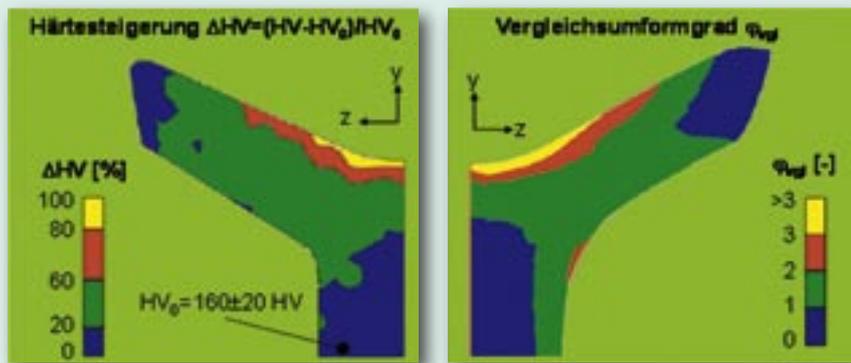


Abb. 3: Härtesteigerung und Vergleichsumformgrad am spaltprofilierten Blech [Jöckel, 2005].

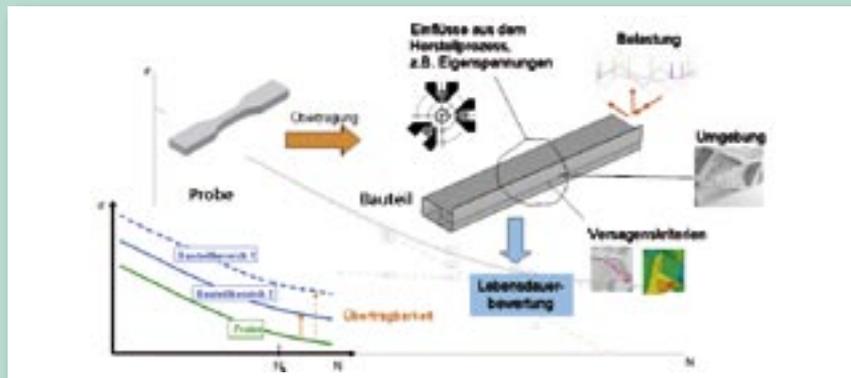


Abb. 4: Entwicklung von Übertragbarkeitsmethoden und Betriebsfestigkeitsnachweis: Von der bauteilähnlichen Probe über das spaltprofilierte Bauteil bis zum System.

(Abb. 3), muss die Anwendbarkeit bestehender Konzepte zur Schwingfestigkeitsbewertung untersucht werden. Dazu werden Dehnungswöhlerlinien an aus dem Spaltgrund entnommenen Werkstoffproben ermittelt. Um diese Werkstoffwöhlerlinien bereits in einer frühen Entwicklungsphase durch synthetische Wöhlerlinien abschätzen zu können, soll auch der Ansatz untersucht werden, Wöhlerlinien mit Hilfe künstlicher neuronaler Netze aus leichter zu ermittelnden Werkstoffparametern abzuleiten.

Um an ungekerbten Proben ermittelte Werkstoffkennwerte auf gekerbte Bauteile anwenden zu können, müssen Übertragbarkeitskonzepte für die Lebensdaueranalyse verzweigter Profile erstellt werden. Dazu soll der Einfluss der Härteverteilung, der Eigenspannungsverteilung, der Oberflächengüte, der Gefügeausrichtung, relevante Umweltbedingungen, sowie des spannungsmechanischen und des statistischen Größeneinflusses berücksichtigt werden (Abb. 4).

Um zu einer effizienten, numerischen Bewertung der Schwingfestigkeit zu kommen, wird eine ganzheitliche Simulation des Fertigungsprozesses und der Betriebsbeanspruchung aufgebaut. In die Schwingfestigkeitsbewertung fließen zum einen die in der Fertigungssimulation ermittelten, lokalen Werkstoffeigenschaften, zum anderen die experimentell gewonnenen Aussagen über deren Einfluss auf die Bauteillebensdauer ein. Zentrale Aufgabe ist hier, die maßgeblichen Einflussgrößen auf die Schwingfestigkeit zu identifizieren und deren Ausprägung auf den Fertigungsprozess zurückzuführen. Diese Erkenntnisse sollen genutzt werden, um den Fertigungsprozess gezielt unter dem Blickwinkel der Schwingfestigkeit zu optimieren.

#### Kundennutzen

Bereits in einer frühen Entwicklungsphase eines verzweigten Profils liegen zuverlässige Informationen über dessen Schwingfestigkeit vor, so dass die Fertigung wie auch die Bauteilgeometrie kosten- und zeiteffizient optimiert werden können.

#### Abstract

This year, a new collaborative research centre was launched in which the Fraunhofer LBF/SzM cooperates with the TU Darmstadt in order to analyse a new forming technique called Linear Flow Splitting. This process offers the possibility to realize bifurcations in sheet metal parts by cold forming without joining operations or lamination of sheets. Bifurcations can be used to increase the stiffness of components, to enlarge its surface areas or to create additional installation surfaces. The main scope of the Fraunhofer LBF/SzM is to investigate how the manufacturing process influences the fatigue life of flow splitted components and how the forming process can be optimized with respect to the fatigue life of the profiles.

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Peter Groche  
Sprecher des Sonderforschungsbereichs 666



Verkürzter Produktentstehungszyklus durch Einbeziehen der Betriebsfestigkeit in die Entwicklung neuer integraler Blechbauweisen

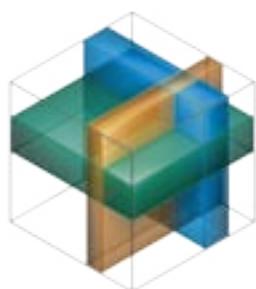


Im Sonderforschungsbereich 666 werden Methoden, Verfahren und Anlagen entwickelt, mit deren Hilfe verzweigte Strukturen in integraler Blechbauweise realisierbar werden. Die Betriebsfestigkeit dieser neuartigen Bauweisen bestimmt das Einsatzpotenzial entscheidend. Durch die Einbindung des LBF in die numerischen und experimentellen Untersuchungen erhoffen wir uns die schnelle Qualifizierung neuer konstruktiver und fertigungstechnischer Lösungen für vielfältige Anwendungen.

### Untersuchungen zum Schwingungs- und Abstrahlverhalten von Streichinstrumenten.



*Streichinstrument mit applizierter Aktorik im halbschalltoten Raum.*



#### Design und Konstruktion

#### Mechatronik/Adaptronik

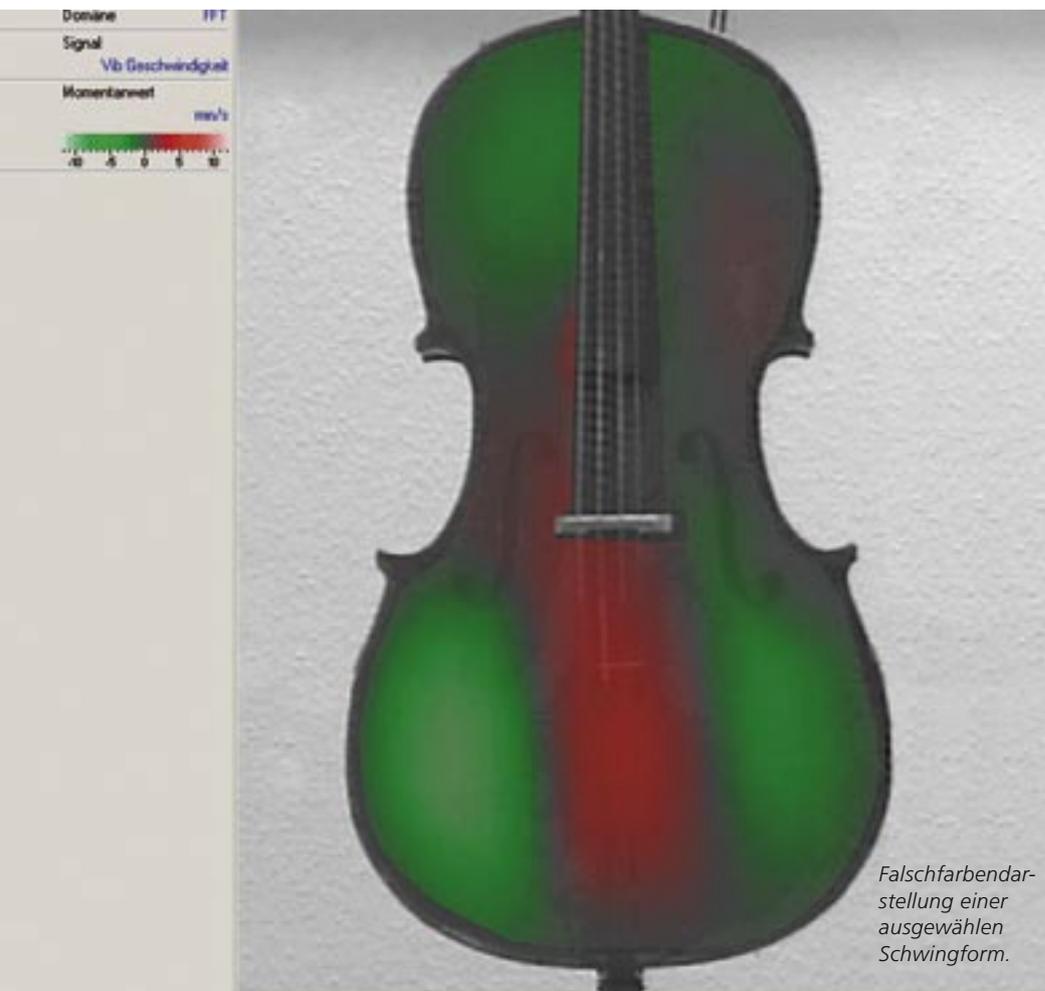
#### Energie, Umwelt und Gesundheit

Ansprechpartner:  
Dr.-Ing. Joachim Bös  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-4 77  
joachim.boes@lbf.fraunhofer.de

Bei klassischen Streichinstrumenten wie Violinen oder Celli können trotz sorgfältigster Fertigung und Verarbeitung unter bestimmten Umständen während des Spielens unerwünschte und störende Klangphänomene auftreten. Ein Beispiel dafür sind die sog. Wolfstöne, die bei bestimmten Frequenzen in Erscheinung treten und als schwebend, flackernd oder heulend charakterisiert werden können. Diese Wolfstöne werden durch das Zusammenspiel zwischen einer Resonanz des Instrumentencorpus und den Saitenschwingungen hervorgerufen und können bislang durch konventionelle Maßnahmen wie z.B. spezielle passive Tilger nur unzureichend unterdrückt werden. Daher soll in diesem Projekt eine Methode entwickelt werden, mittels aktiver und semiaktiver Ansätze die Wolfstonunterdrückung und damit das Klangbild des Streichinstruments deutlich zu verbessern und insbesondere über einen breiten Einsatzbereich des Instruments (Temperatur, Feuchte, Stimmung) sicherzustellen.

#### Projekthinhalte

In einem ersten Schritt wurde das Schwingungs- und Schallabstrahlverhalten eines Cellos mittels akustischer und vibroakustischer Messtechnik untersucht. Dabei kamen Verfahren wie die Scanning-Laservibrometrie und die akustische Nahfeldholographie zum Einsatz. Anschließend wurde anhand einer einfachen Beispielstruktur mit Hilfe numerischer und experimenteller Methoden analysiert, mit welcher Aktorkonfiguration (Dicke, Größe und Position eines Piezopatches) das Schwingungsverhalten der Struktur durch aktive oder semiaktive Verfahren am besten beeinflusst werden kann. Maßstab hierfür ist die Berechnung des sog. verallgemeinerten elektromechanischen Kopplungsfaktors. Anhand einer Konfiguration mit möglichst hohem Kopplungsfaktor wurden die fehlenden Daten eines elektrischen Schwingkreises (ohmscher Widerstand und Induktivität; das Piezopatch selbst hat kapazitiven Charakter) ermittelt, der mit elektronischen Bauteilen in Hardware umgesetzt und im Sinne eines semiaktiven Tilgers betrieben wurde. Dieser Tilger



*Falschfarbendarstellung einer ausgewählten Schwingform.*

### Abstract

Quite often string instruments exhibit undesired sound phenomena under certain conditions. These are due to the interaction between the resonances of the instrument's body and the vibration of the strings and can hardly be suppressed by passive means. Therefore, this project aims at improving the sound quality of string instruments by active or semi-active means. First, the vibration and sound radiation of a cello was analyzed by means of a scanning laser vibrometer and nearfield acoustic holography. Then, an optimal actuator configuration (thickness, size, and location of a piezoelectric patch) for a simple example structure was determined by means of numerical and experimental methods, and an electric shunt was designed that suppressed the structural vibrations at certain frequencies. This approach was then applied to the cello in order to reduce the aforementioned undesired sound phenomena.

erwies sich als sehr wirksam, da er die Schwingungsamplituden bei der Auslegungsfrequenz deutlich reduzieren konnte. Anschließend wurde das Cello mit Piezopatches versehen, die mit der bereits erwähnten semiaktiven Tilgerschaltung betrieben wurden.

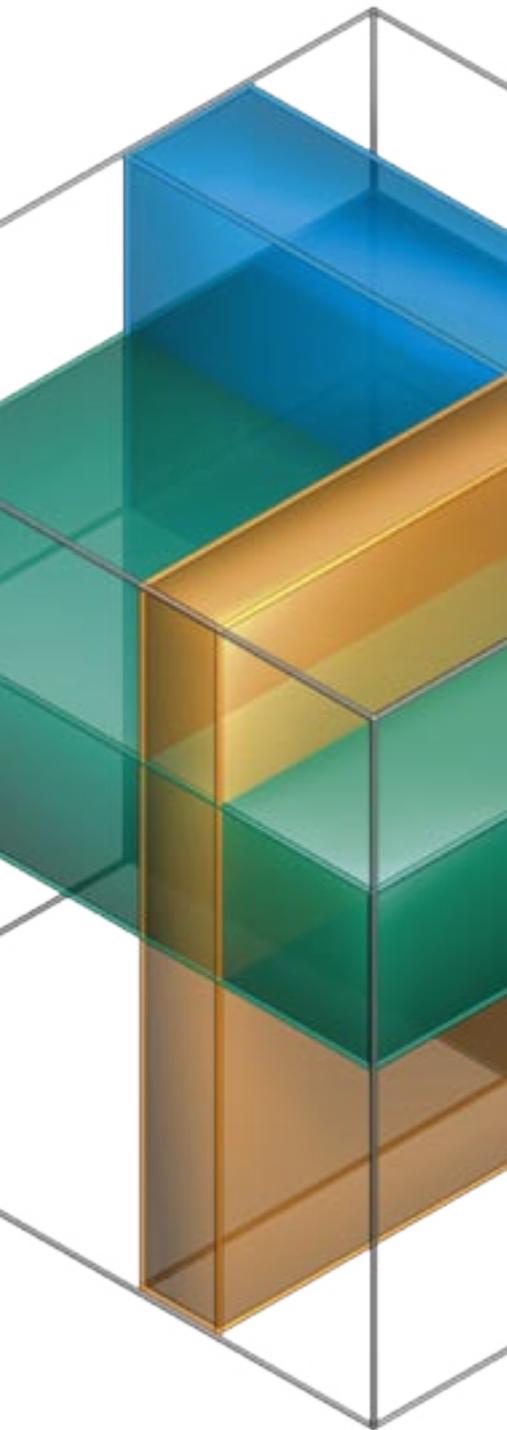
### Kundennutzen

Da mittels der oben beschriebenen Maßnahmen das Klangbild von Streichinstrumenten verbessert werden kann, werden die Ergebnisse dieses Projekts Instrumentenbauern, Musikern und somit letztlich auch Musikliebhabern zugute kommen. Ferner eröffnet die aktive Strukturtechnologie, die hier zum Einsatz kommt, die Möglichkeit, teure und schützenswerte Materialien wie etwa tropische Edelhölzer im Bogenbau durch preiswertere, auf dem heimischen Markt verfügbare Werkstoffe zu ersetzen und die häufig daraus resultierenden negativen Auswirkungen auf die Klangqualität durch aktive und semiaktive Maßnahmen zu kompensieren.

Eduard Schwen,  
Geigenbaumeister,  
Walsrode



„Der Geigenbau beinhaltet Facetten des gehobenen Kunsthandwerkes genauso wie die der Physik, Materialkunde und des Ingenieurwesens. Seit Helmholtz haben sich viele Wissenschaftler mit Streichinstrumenten auseinandergesetzt. Die theoretische und grundlegende Herangehensweise eröffnet neue Möglichkeiten, insbesondere wenn so in den unterschiedlichen Problemanätzen die grundlegenden Abhängigkeiten erkannt, beschrieben und gezielt beeinflusst werden können. Ich schätze als Geigenbaumeister die Kommunikation mit den Forschern des Fraunhofer LBF und genieße die Zusammenarbeit mit der Welt der Forschung.“



Die Fraunhofer LBF-Innovationsprojekte sind technologisch trendsetzend und haben ein hohes wirtschaftliches Potenzial. Für das Institut sind sie von strategischer Bedeutung.

The Fraunhofer LBF innovation projects are technological trendsetters and are attested to have a high innovation potential with regard to their economic relevance. They have strategic significance for Fraunhofer LBF.

Politik, Wirtschaft und Wissenschaft suchen insbesondere nach Innovationen, um einen Beitrag zur Sicherung unseres Standorts und unseres Wohlstands zu leisten.

Auch Fraunhofer LBF-intern ist dies ein Thema. Im Strategieprozess ist die Erkenntnis gewachsen, dass aus der Vielzahl der Themen des Instituts einige wenige, technologisch herausragende mit besonderer Kraft vorangetrieben werden müssen. Deshalb wurden die Themen evaluiert und drei unserer Arbeitsthemenfelder als besonders innovativ identifiziert:

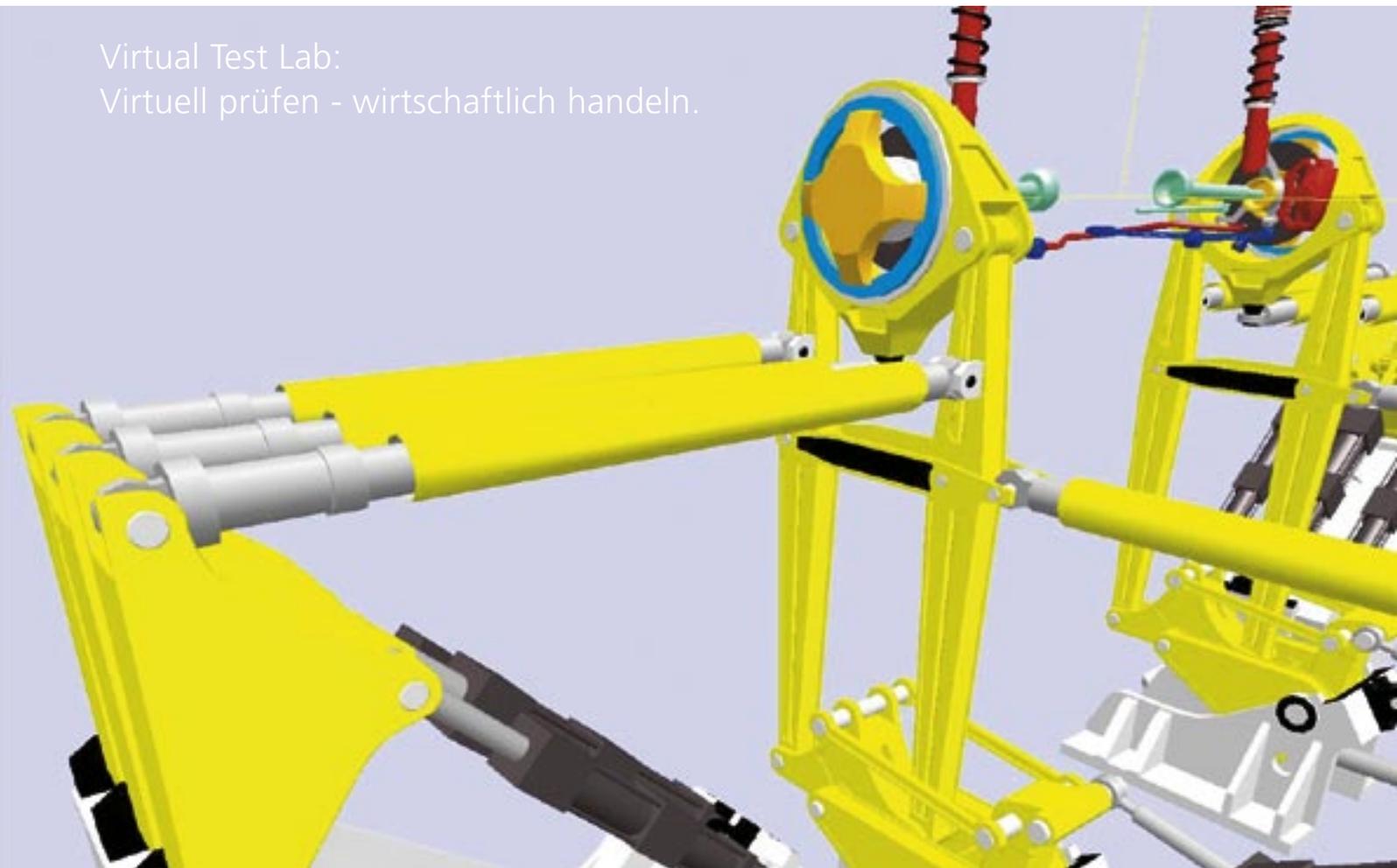
- **Virtual Test Lab (VTL)**
- **Aktives Fahrwerk (AFW)**
- **Structural Health Control (SHC)**

Diese Themen sind charakterisiert durch ihren hohen Neuheitsgrad, hohen wissenschaftlichen Anspruch und hohe wirtschaftliche Bedeutung.

Darüber hinaus zeichnen sie sich dadurch aus, dass zu ihrer Bearbeitung eine abteilungsübergreifende Zusammenarbeit zwingend erforderlich ist.

Sie erhalten hausintern den Status „Innovationsprojekte“ und werden zur Bearbeitung mit besonderen Rechten und Ressourcen ausgestattet. Jedes dieser Innovationsprojekte ist als Projektfamilie zu verstehen, in der eine Vielzahl von intern und extern finanzierten Kleinprojekten stromlinienförmig einem großen Projektziel dienen. Der jeweilige Projektleiter hat diese Projektfamilie fachlich und betriebswirtschaftlich zu managen und ist insbesondere angehalten, zur Erreichung der strategischen Ziele ergänzend Forschungsmittel-Akquise zu betreiben sowie die Forschungsergebnisse im Sinne eines Marketings zu kommunizieren.

Virtual Test Lab:  
Virtuell prüfen - wirtschaftlich handeln.



In der Konzeptionsphase von technischen Produkten sind durch gezielte Simulationsunterstützung bereits zu frühen Zeitpunkten Aussagen über die Güte technischer Systeme ableitbar. Deshalb steigt im Bereich der Baugruppen- und Komponentenprüfung die Nachfrage nach effizienten Berechnungsverfahren. Die Erkenntnis, dass bei der Auslegung und Optimierung von Einzelkomponenten die im System entstehenden Lasten mit zu berücksichtigen sind, verstärkt die Notwendigkeit einer durchgängigen virtuellen Abbildung und Simulation kompletter Prüfumgebungen.

Ansprechpartner für das Innovationsprojekt VTL:  
Dr.-Ing. Michael Jöckel  
Dipl.-Ing. Marc Wallmichrath  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-2 72  
michael.joeckel@lbf.fraunhofer.de

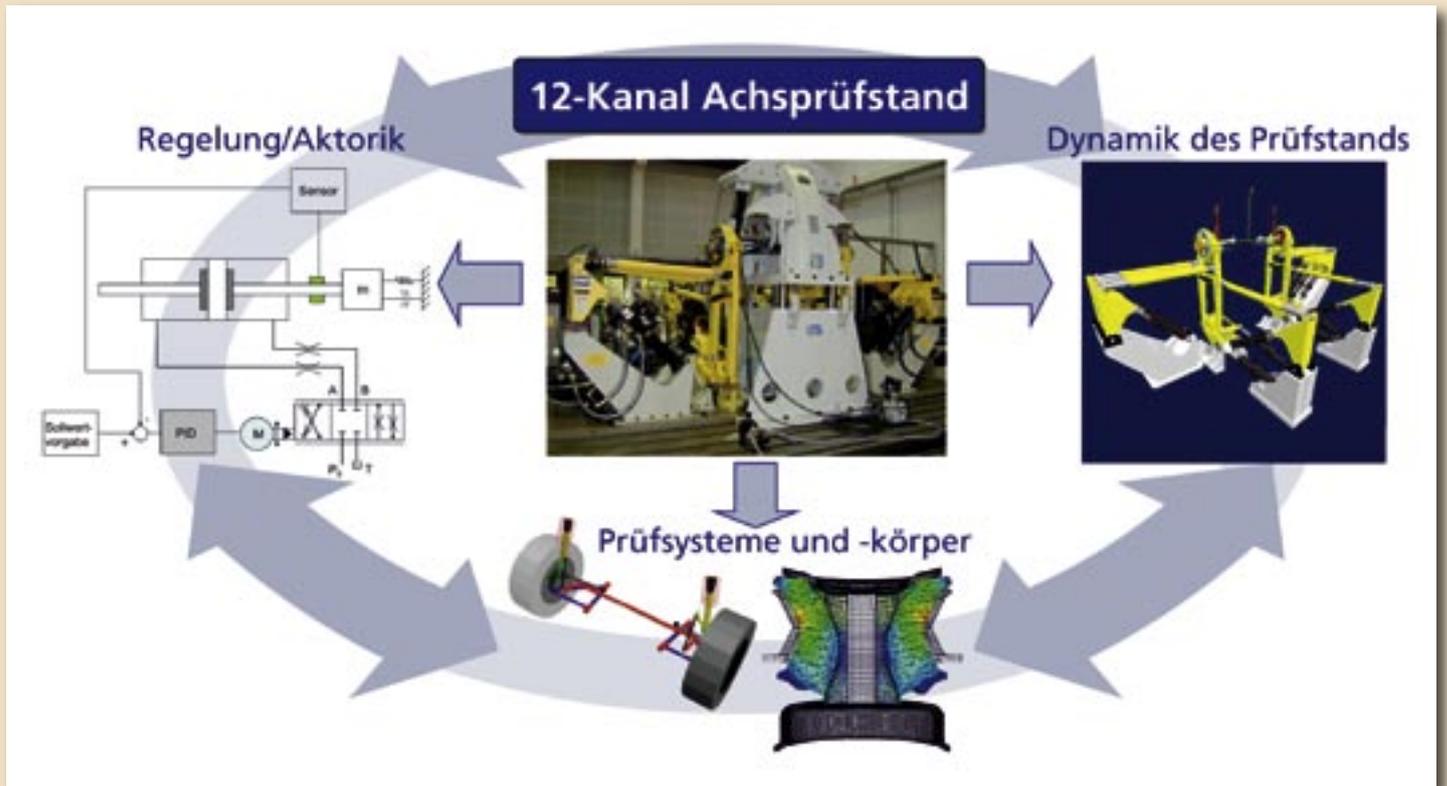
### 12-Kanal-Achsprüfstand real und virtuell

Zielsetzung dieses Innovationsprojektes ist die ganzheitliche Realisierung eines Virtual Test Lab (VTL). Hierzu müssen Simulationstechniken aus unterschiedlichsten Disziplinen miteinander verknüpft werden. Über die numerische Spannungs- und Betriebsfestigkeitsanalyse hinaus, sind hier beispielhaft Modellbildungen aus den Bereichen Hydraulik, Regelungstechnik und Struktur- bzw. Systemdynamik zu nennen, die über geeignete Schnittstellen interagieren.

Im Fokus der Forschungstätigkeiten steht die Realisierung einer gemeinsamen Plattform zur Integration der einzelnen Simulationsprogramme, die Steuerung der Datenübergaben sowie die zielgerichtete Auswertung und Visualisierung. Mit dieser interdisziplinären Aufgabe werden im Fraunhofer LBF Kompetenzen aus den Bereichen Mess- und Regelungstechnik, Mehrkörpersimulation und FEM gebündelt.

Die langjährigen Erfahrungen in Versuchsplanung, -durchführung und -bewertung, verbunden mit den umfangreichen technischen Versuchseinrichtungen, ermöglichen die kontinuierliche Beurteilung der Berechnungsgüte. So wurde im Jahr 2004 ein detailliertes Mehrkörpermodell des LBF-eigenen 12-Kanal-Achsprüfstands aufgebaut, optimiert und durch geeignete experimentelle Vergleichsuntersuchungen verifiziert.

Im ersten Schritt erfolgte hierzu eine quasi-statische Analyse der Prüfstandskinematik. Die Verschiebungen der Messradaufnahme wurden in Bezug auf alle sechs Freiheitsgrade gemessen. Aus dem Vergleich der Simulationsergebnisse mit den 3-D Messungen bei Vorgabe gleicher Zylinderwege ist ableitbar, dass das numerische Modell die reale Kinematik mit guter Genauigkeit wiedergibt.



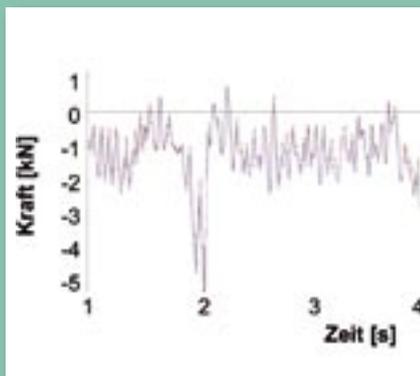
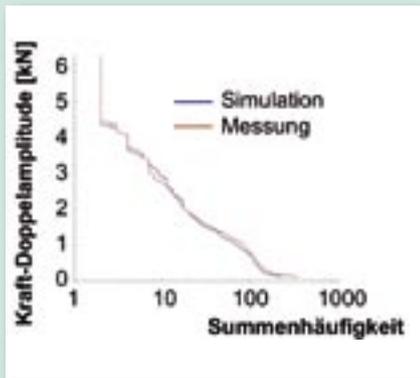
VTL – Ganzheitliche Simulation kompletter Prüfanordnungen.



Verifikation durch Messungen am realen Achsprüfstand im Fraunhofer LBF.

**Innovationsprojekt schafft weiteres Forschungspotenzial**

Im Rahmen der Arbeiten zum Virtual Test Lab wurde weiterer Forschungsbedarf identifiziert, der Inhalt mehrerer aktueller Projekte ist. Eines der Hauptthemen ist die realistische Modellierung nichtlinearer Komponenten, wobei vor allem Elastomerlager im Mittelpunkt des Interesses stehen. Parallel werden die Grundlagen für effiziente „Software-in-the-Loop“-Anwendungen entwickelt, bei welchen Teilbereiche von Systemen durch numerische Modelle und entsprechend angesteuerte Aktoren ersetzt werden. Neben vielen anderen Themengebieten kommt der kontinuierlichen Verifikation der Berechnungsergebnisse weiterhin eine gewichtige Rolle zu.



Virtuelle und reale Prüfung einer Achse unter Betriebslasten, Vergleich der Kraft-Zeit-Verläufe (oben) und Range-Pair-Darstellung.



Mess-Sensorik zur Erfassung der Kräfte und Wege am Federbein.

### Abstract

Integrated simulations of test procedures offer lots of potentials also with respect to quality, time and costs. On the one hand experimental efforts can be reduced considerably while, on the other, the interpretability of effects is improved considerably. The target of the Virtual Test Lab Project is to provide methods and tools for the precise simulation of technical test systems, including control loops, hydraulics and dynamics of the test rig as well as the properties of the testee. In particular the possibility to run virtual tests without any hardware needed at early stages of the development process offers various benefits.

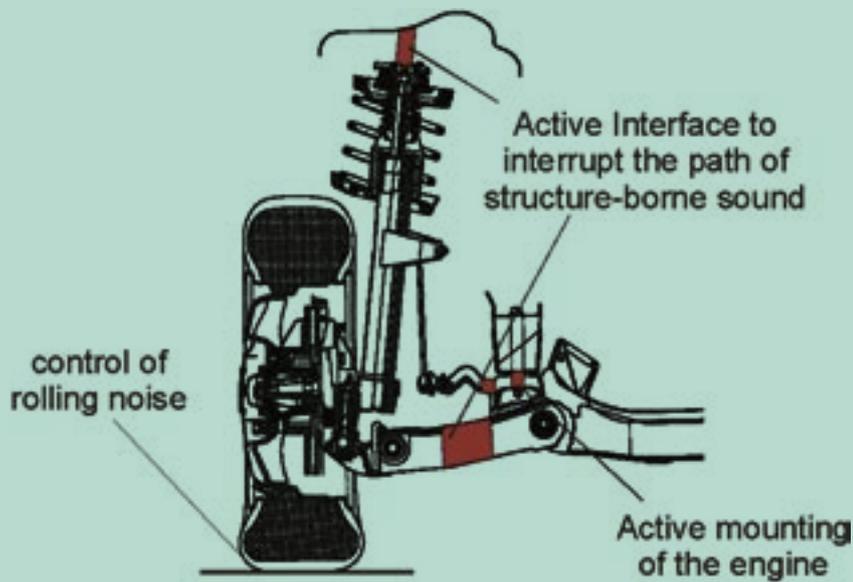
### Kundennutzen

Durch die Forschungsaktivitäten im Bereich des Virtual Test Lab soll die Vision zuverlässiger und realitätsgetreuer simulationsgestützter Prüfungen Wirklichkeit werden. Mit der Einführung virtueller Methoden sind vielfältige wirtschaftliche und technische Vorteile verknüpft, z. B.

- Reduzierung des experimentellen Versuchsaufwands
- Vorbemessung ohne reale Prototypen
- Qualifizierte Auslegung von Prüfständen
- Vereinfachung von Prüfanordnungen
- Verbesserung der Ergebnistransparenz
- Möglichkeiten zur „Software-in-the-Loop“-Prüfung

So wird die virtuelle Prüfung nicht nur Zeit und Aufwendungen einsparen sondern auch Ergebnisse bereits zu sehr frühen Zeitpunkten von Entwicklungsprozessen bereitstellen. Weiterhin wird sie dabei helfen, Unzulänglichkeiten bei bestehenden realen Prüfanordnungen zu analysieren und zu beheben sowie neu zu entwickelnde Prüfstände zu optimieren.

## Aktives Fahrwerk



### Abstract

Smart structures are nowadays applied in chassis components of automobiles aiming at a higher comfort, increased safety and higher driving dynamics. Although the potential has been proven also in safety-critical components, smart structures are not commercialised yet in chassis. In order to introduce them in the automotive mass market, technical and economical barriers need still to be overcome. In particular the lack in performance, missing cost-effective design tools and the long time from concept to prototypical demonstration are hurdles for their commercialisation. Aiming to overcome these barriers and to meet the demands of the industry, the Fraunhofer LBF has set-up the internal project "Smart Chassis". The objectives of this project are to build-up and demonstrate competencies in designing and qualifying smart chassis and its components. Beside the design of smart systems, the numerical and experimental simulation of such chassis and the underlying light weight design are considered.

Adaptive Systeme im Fahrwerksbereich erlauben die Umsetzung einer erweiterten Funktionalität von lasttragenden Strukturkomponenten, die zunächst auf eine Erhöhung des Insassenkomforts, eine Verbesserung der Fahrdynamik und der Systemsicherheit zielt. Adaptive Systeme sind jedoch im Gegensatz zu aktiven Systemen im Fahrwerksbereich noch nicht kommerziell umgesetzt, da bei der Entwicklung als auch bei der Zulassung weiterhin technische und ökonomische Hürden überwunden werden müssen. Letztendlich werden sich adaptive Systeme im Fahrwerksbereich erst dann kommerziell durchsetzen, wenn sie im Vergleich zu „passiven“ Lösungen technische Vorteile aufweisen, die entweder vom Gesetzgeber gefordert oder wirtschaftlich vermarktbar sind.

### Aufgabenstellung

Gegenüber kommerziellen aktiven Systemen im Fahrwerk umfasst das Innovationsprojekt „Aktives Fahrwerk“ alle aktiven Komponenten zukünftiger Fahrdynamikregelungen, aktive Sicherheits- und Komfortkonzepte sowie Konzepte adaptiver Systeme, die ein intelligentes Leichtbaufahrwerk ermöglichen. Letzteres sind Konzepte, die eine Kontrolle der auftretenden Betriebslasten oder ein Structural Health Monitoring (SHM) für bedarfsgerechte Wartung ermöglichen. Gemäß dieser Definition werden langfristig im Innovationsprojekt sowohl bestehende aktive Systeme wie ABC oder einstellbare Feder-Dämpfer-Systeme als auch zukünftige X-by-Wire Technologien und adaptive Systeme für NVH Fragestellungen betrachtet. Ziele des Innovationsprojektes „Aktives Fahrwerk“ sind dabei der Aufbau von marktfähigen Kompetenzen sowie die Umsetzung innovativer Technologien in marktreife Produkte.

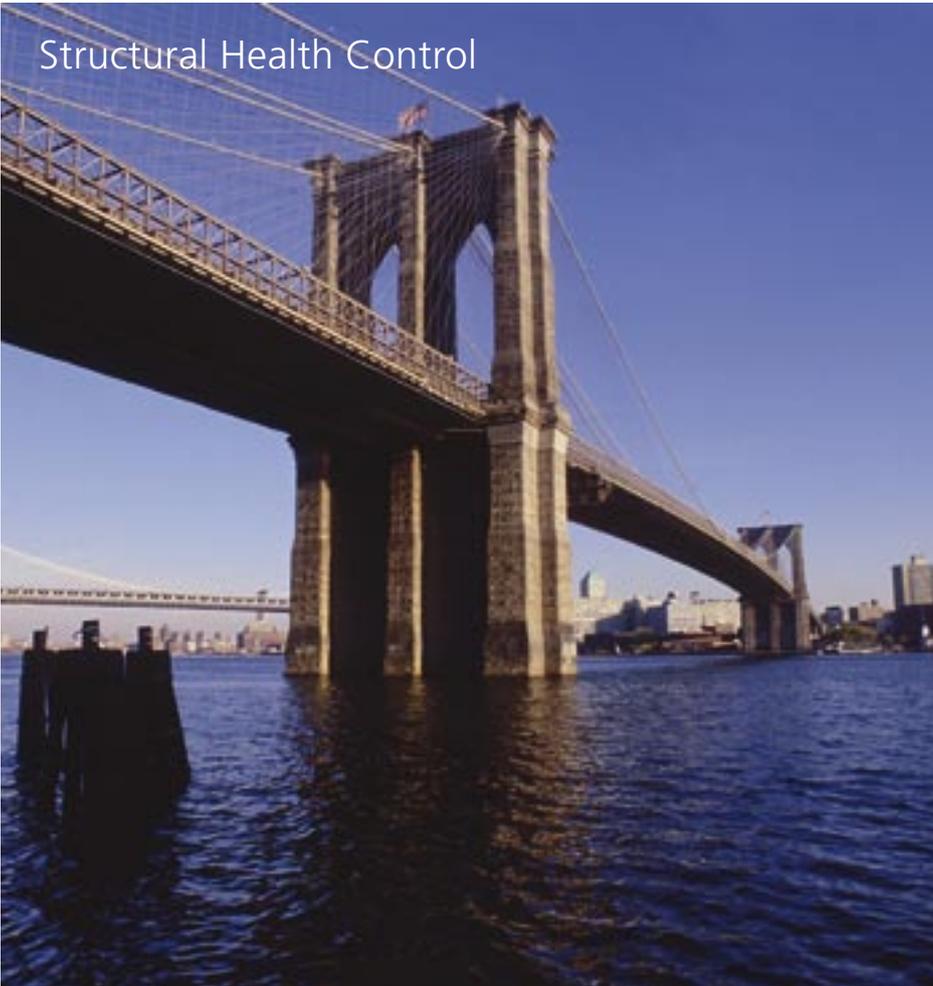
Hierzu sind u.a. die Entwicklung

- neuer Leichtbaumaterialien (Multimaterial, nanoverstärkte Kunststoffe und Composite)
- neuer Konstruktionsweisen und -philosophien
- integrierbarer Aktor- und Sensorsysteme
- neuer Regelstrategien
- experimenteller Simulation im interessierenden Frequenzbereich (0 – 500 Hz)
- von Methoden und Verfahren zur Bewertung der Systemzuverlässigkeit

voranzutreiben und umzusetzen.

Ansprechpartner für das Innovationsprojekt AFW:  
 Dr.-Ing. Thilo Bein  
 Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-4 63  
 thilo.bein@lbf.fraunhofer.de

## Structural Health Control



### Abstract

The combination of Structural Health Monitoring with Smart Structures and advanced method of Structural Durability allows the realisation of an advanced Structural Health Control (SHC). Beside a functional SMH system the availability of a reliable smart structure able to control the structural properties is a precondition for designing an SHC system. Currently, smart structures are primarily developed to control noise and vibrations but could also be used to control the structural health at the same time. The SHM system provides information on the endured operational loads and the actual condition of the structure. From this, the remaining durability and life time expectancy can be estimated and new cost functions for the smart structure derived. The embedded actuators and sensors now allow the minimisation of the local loads in the damaged area and extend the lifetime of the overall structure.

Aus der Verknüpfung von Structural Health Monitoring-Konzepten (SHM) mit den Möglichkeiten der Adaptronik und unter Ausnutzung der Methoden der modernen Betriebsfestigkeit erschließt sich die völlig neue Möglichkeit einer Structural Health Control (SHC). Voraussetzung hierfür ist neben einem leistungsfähigen SHM-System vor allem ein zuverlässiges adaptives System, welches eine Beeinflussung der strukturellen Eigenschaften zumindest von Teilbereichen erlaubt. Solche Systeme werden zurzeit primär in Hinblick auf Lärm- und Schwingungskontrolle entwickelt.

Eine Anwendung für ein Structural Health Control ist eine sekundäre Verwendung der vorhandenen Komponenten des adaptiven Systems. Das SHM-System liefert eine Aussage über den erfahrenen bzw. aktuellen Belastungszustand, aus denen mit den Methoden der Betriebsfestigkeit die momentane Belastbarkeit und Restlebensdauer des Systems ermittelt werden kann. Bei gleichzeitiger Kenntnis der geschädigten bzw. geschwächten Bereiche können für das adaptive System neue Zielfunktionen abgeleitet und mit den strukturierten Aktoren die Kraftflüsse und die lokalen Beanspruchungen im geschädigten Bereich beeinflusst werden. So kann z. B. der abgenutzte/geschädigte Bereiche geschont und die Belastungen in ansonsten weniger ausgenutzte Bereiche gelenkt werden. Langfristig gesehen könnte mit Hilfe der adaptiven Systeme ein selbstheilender, adaptiver Werkstoffverbund entwickelt werden, der über das SHM-System getriggert wird.

Um die Kompetenzen des Fraunhofer LBF auf den Gebieten der modernen Betriebsfestigkeit mit denen der Adaptronik und Structural Health Monitoring zu verbinden, wurde das interne Innovationsprojekt „Structural Health Control“ initiiert. Ziel des Vorhabens ist die Erarbeitung der Technologie des Structural Health Control anhand von ausgewählten Applikationsbeispielen.



Structural Health Control: Demonstratorplatte mit integrierten PZT-Faserkompositsensoren/-aktoren.

Ansprechpartner für das Innovationsprojekt SHC:  
Dr.-Ing. Thilo Bein  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-4 63  
thilo.bein@lbf.fraunhofer.de

# Wir erweitern Ihre Möglichkeiten in Verbänden und Netzwerken

Mit unserem Engagement in Verbänden und marktorientierten Netzwerken innerhalb und außerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft erweitern wir Ihre Möglichkeiten in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht. Die enge und interdisziplinäre Zusammenarbeit mit unseren spezialisierten Schwester-Instituten im Fraunhofer-Leistungsverbund schafft uns optimale Voraussetzungen für den Aufbau von Systemleistungen und verstärkt unsere Innovationskraft für die Auslegung Ihrer Produktentwicklungen. Gleichzeitig können wir mit den Industriepartnern in marktbezogenen Netzwerken über die Prozesskette hinweg neue Entwicklungen wettbewerbsfähig und höchst wirtschaftlich gestalten. Nutzen Sie also unsere umfangreichen Möglichkeiten in einem Netzwerk von Experten aus Wirtschaft, Forschung und Verwaltung.

Our involvement in alliances and market-oriented networks within and outside of the Fraunhofer Gesellschaft expands your technical and economic possibilities. The close and interdisciplinary cooperation with our specialized sister institutes in the Fraunhofer performance alliance lays the optimum foundations for the setup of system performances and strengthens our innovation potential for the design of your product developments. At the same time, we can create competitive and very profitable new developments along the process chain with industry partners in market-related networks. Take advantage of our extensive possibilities in a network of experts from business, research and administration.

**Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile**  
[www.vwb.fraunhofer.de](http://www.vwb.fraunhofer.de)  
Ansprechpartner im Fraunhofer LBF: Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka · stellvertretende Verbundvorsitzender · holger.hanselka@lbf.fraunhofer.de



Fraunhofer  
Verbund  
Werkstoffe, Bauteile

**Fraunhofer-Themenverbund Adaptronik**  
[www.adaptronik.fraunhofer.de](http://www.adaptronik.fraunhofer.de)  
Ansprechpartner im Fraunhofer LBF: Dr.-Ing. Tobias Melz · Geschäftsführer · tobias.melz@lbf.fraunhofer.de



Fraunhofer  
Verbund  
Adaptronik

**Fraunhofer-Themenverbund Hochleistungskeramik**  
[www.hochleistungskeramik.fraunhofer.de](http://www.hochleistungskeramik.fraunhofer.de)  
Ansprechpartner im Fraunhofer LBF: Dr.-Ing. Ulrich May · ulrich.may@lbf.fraunhofer.de



Fraunhofer  
Verbund  
Hochleistungskeramik

**Fraunhofer-Themenverbund Numerische Simulation**  
[www.nusim.fraunhofer.de](http://www.nusim.fraunhofer.de)  
Ansprechpartner im Fraunhofer LBF: Dr.-Ing. Thomas Bruder · Dipl.-Ing. Klaus Störzel · thomas.bruder@lbf.fraunhofer.de



Fraunhofer  
Verbund  
Numerische Simulation  
von Produkten, Prozessen

**Fraunhofer-Themenverbund Verkehr**  
[www.verkehr.fraunhofer.de](http://www.verkehr.fraunhofer.de)  
Ansprechpartner im Fraunhofer LBF: Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka · Lenkungs-kreis · holger.hanselka@lbf.fraunhofer.de



Fraunhofer  
Verbund  
Verkehr

**Fraunhofer-Themenverbund Nanotechnologie**  
[www.nano.fraunhofer.de](http://www.nano.fraunhofer.de)  
Ansprechpartner im Fraunhofer LBF: Dr.-Ing. Ralf Sindelar · ralf.sindelar@lbf.fraunhofer.de



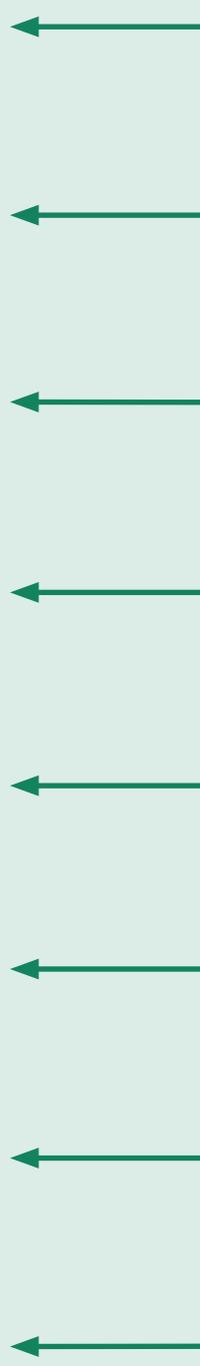
Fraunhofer  
Verbund  
Nanotechnologie

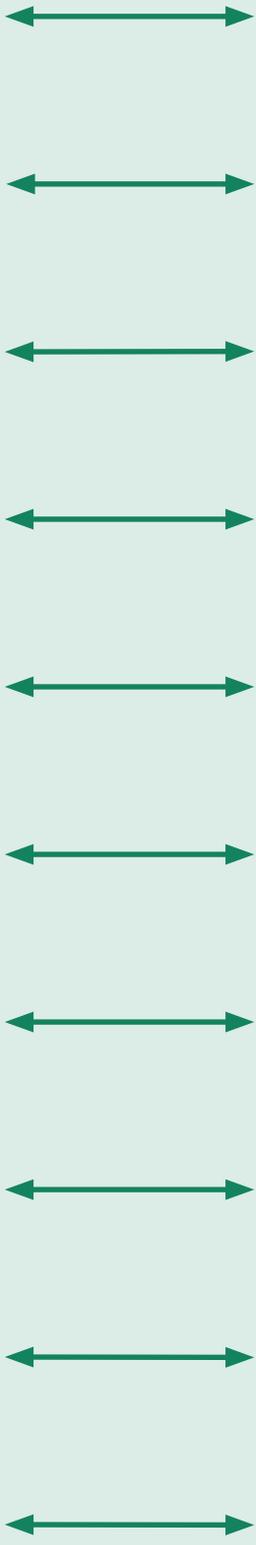
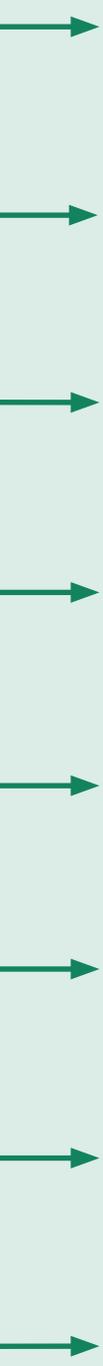
**Fraunhofer Simtop**  
[www.simtop.de](http://www.simtop.de)  
Ansprechpartner im Fraunhofer LBF: Dipl.-Ing. Klaus Störzel · klaus.stoerzel@lbf.fraunhofer.de



Österreichische Wirtschaftsuniversität  
Wirtschaftsuniversität Wien  
Wirtschaftsuniversität Wien

**Fraunhofer Advancer**  
[www.advancer.fraunhofer.com](http://www.advancer.fraunhofer.com)  
Ansprechpartner im Fraunhofer LBF: Dr.-Ing. Ulrich May · ulrich.may@lbf.fraunhofer.de





[www.materials-valley-rheinmain.de](http://www.materials-valley-rheinmain.de)  
 Ansprechpartner im Fraunhofer LBF: Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka ·  
 Vorstandmitglied · holger.hanselka@lbf.fraunhofer.de



[www.matform.tu-darmstadt.de](http://www.matform.tu-darmstadt.de)  
 Ansprechpartner im Fraunhofer LBF: Prof. Dr. Holger Hanselka ·  
 Vorstandsprecher · holger.hanselka@lbf.fraunhofer.de



[www.fws.tu-darmstadt.de](http://www.fws.tu-darmstadt.de)  
 Ansprechpartner im Fraunhofer LBF: Dr.-Ing. Roland Platz ·  
 Geschäftsführer · roland.platz@lbf.fraunhofer.de



[www.kompetenznetze.de/navi/de/  
 Kompetenznetze/adaptronik](http://www.kompetenznetze.de/navi/de/Kompetenznetze/adaptronik)  
 Ansprechpartner im Fraunhofer LBF: Dr.-Ing. Tobias Melz ·  
 Geschäftsführer · tobias.melz@lbf.fraunhofer.de



[www.dvm-berlin.de](http://www.dvm-berlin.de)  
 Ansprechpartner im Fraunhofer LBF:  
 Prof. Dr.-Ing. Cetin Morris Sonsino · c.m.sonsino@lbf.fraunhofer.de



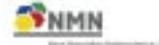
[www.earpa.org](http://www.earpa.org)  
 Ansprechpartner im Fraunhofer LBF: Dr.-Ing. Thilo Bein ·  
 thilo.bein@lbf.fraunhofer.de



[www.euceman.com](http://www.euceman.com)  
 Ansprechpartner im Fraunhofer LBF: Prof.-Dr.-Ing. Holger Hanselka,  
 Vorstandmitglied, holger.hanselka@lbf.fraunhofer.de



[www.nmn-ev.de](http://www.nmn-ev.de)  
 Ansprechpartner im Fraunhofer LBF: Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka ·  
 Dr.-Ing. Th. Bein · holger.hanselka@lbf.fraunhofer.de



[www.cfk-valley.com](http://www.cfk-valley.com)  
 Ansprechpartner im Fraunhofer LBF: Dr.-Ing. Andreas Büter ·  
 andreas.bueter@lbf.fraunhofer.de



[www.ecas-europe.com](http://www.ecas-europe.com)  
 Ansprechpartner im Fraunhofer LBF: Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka  
 holger.hanselka@lbf.fraunhofer.de





## Flexibel testen

Das Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF bietet komplette Lösungen für die Entwicklung und Qualifikation innovativer Strukturen und Komponenten. Dazu werden zunehmend experimentelle und numerische Simulation miteinander kombiniert. Mit unserem Know-how, den modularen Aufbauten sowie den vielfältigen Versuchseinrichtungen können wir auf Ihre individuellen Anforderungen flexibel und schnell reagieren. Fraunhofer LBF realisiert ergebnisorientierte, effiziente Lösungen von höchster Qualität, die sie bei Ihrer Produktentwicklung unterstützen: Mit Sicherheit innovativ.

## Experimentelle Simulationstechniken

### Variable Versuchsaufbauten:

- Servohydraulische Versuchsanlagen (>200 hydraulische Prüfzylinder, 330 Kraftsensoren, 60 Dehnungsaufnehmer) für Kräfte zwischen 6 und 2 500 kN und Torsionsmoment bis 64 kNm)
- Resonanzprüfmaschinen für Prüfkräfte von 20 kN bis 600 kN
- Diverse elektrodynamische Schwingereger (Shaker) für Lastbereich von 20 N bis 27 kN (RKV), Frequenzbereich bis 15 kHz
- Dynamische Kleinlastprüfmaschinen ab 1 N, Frequenzbereich bis 400 Hz
- Innendruckversuchseinrichtungen bis 1 000 bar
- Fallgewichtsanlage bis 11 000 J Energieeintrag
- Schwingfundament mit einer Arbeitsfläche von 10 x 6 m und einer Masse von rd. 450 t

### Stationäre Versuchsaufbauten:

- 9 Zweiaxiale Rad/Naben-Versuchsstände für Pkw, Nutzfahrzeuge und Motorräder einschließlich Bremssimulation und Antriebssimulation
- 12-Kanal- und 8-Kanal-Achsprüfstand für Betriebsfestigkeitsuntersuchungen komplexer Systeme von Pkw- und Nutzfahrzeugachsen
- Getriebeprüfstand für Komponenten im Antriebsstrang (Antriebswellen, Gelenke, Kupplungen und Komplettgetriebe), Nenn Drehmoment 2 000 Nm bei 2 500 U/min

- Lagerprüfstand zur praxisnahen Prüfung von Pkw-Radlagern in der Originalbaugruppe
- dreiaxialer Versuchsstand zur Prüfung von Pkw-Anhängerkupplungen
- Schienenradsatzversuchsstand
- Propellerprüfstand
- Fallhammerprüfstand (Impact)

### Spezial-Messtechnik:

- Messdatenerfassung physikalischer Größen, Telemetrieanlagen zur Erfassung an rotierenden Systemen, Hochfrequenzanalyse
- Messdatenerfassung für Langzeituntersuchungen an Kunden-Fahrzeugen mit Abfrage per Modem
- Wärmebildkamera zur Untersuchung thermischer Vorgänge
- Hochgeschwindigkeitskamera
- Spezialgeräte zur Leistungsanalyse
- Elektrometer
- Entwicklung von Sensorik, speziell an Messaufgaben des Kunden angepasst
- hochdynamische Sonderprüftechnik (z.B. auf Piezo-Basis)



### Vibroakustische Analyse:

- Halbschalltote Messumgebung
- stationäre und transiente akustische Holographie
- Schallpegelmessungen Messtechnik zur Analyse dynamischer Beanspruchungsgrößen:
- 64-kanaliges System zur experimentellen Modalanalyse (EMA)
- Scanning Vibrometer
- FFT-Analyser
- Belastungseinrichtungen zur Qualifikation multifunktionaler Materialien,
- Hochdynamische Prüfanlagen für Anwendungen in der Mikrosystemtechnik
- Geräte zur analogen und digitalen Signalverarbeitung (Impulshämmer, Lasermesstechnik)

### Materialographie:

- Licht- und Rasterelektronenmikroskopie, EDX-Analyse, Härteprüfung nach Vickers, Brinell, Rockwell, Charakterisierung von Oberflächenprofilen

### Umweltsimulation unter zyklischer Belastung:

- Klimakammern zur Konditionierung von Proben und Bauteilen sowie zur Simulation von Umweltbedingungen für Temperaturbereiche von  $-70\text{ °C}$  bis  $+350\text{ °C}$
- Hochtemperaturversuchseinrichtungen bis  $1100\text{ °C}$  sowie Heißgaserzeuger bis  $950\text{ °C}$  für Untersuchungen an Kfz-Abgasanlagen
- Einrichtungen zur Simulation von Medienflüssen (z. B. Salz, Bremsflüssigkeit, Benzin)

### Numerische Analyse

Gerne ergänzen wir unsere Dienstleistungen im Testbereich durch Lastanalysen und numerische Simulation im Vorfeld:

- Extrapolation von gemessenen Belastungsdaten auf die Nutzungsdauer des Bauteils
- Schädigungsneutrale Verkürzung von mehraxialen Belastungs-Zeitfolgen
- Ermittlung von Belastungsspektren, die den Kundeneinsatz abdecken (sog. „Kundenkollektive“) auf Basis von Kurz- und Langzeitmessungen
- Ableitung von Bemessungs- und Prüfanforderungen (für Prüfstandsversuch oder Teststrecke)
- Bauteilbezogene Raffung des Belastungskollektives bei Kenntnis der Geometrie von Bauteil bzw. Subsystem
- Optimierung/Vereinfachung von Versuchsaufbauten auf Basis von Finite-Element- und Mehrkörper-Analysen
- Auslegung und Bewertung von Bauteilen und Systemen mittels numerischer Simulationen
- Gezielte Bauteiloptimierung im Hinblick auf die Betriebsfestigkeit sowie weiterer Attribute
- Integrierte Simulation von elektronischen und mechanischen Komponenten
- Eigene Software zur betriebsfesten Vorbemessung von drehenden Komponenten

### Und ganz neu:

- Virtual Test Lab (VTL)
- Prüfstand für Adaptive Strukturen im Automobil (ASF)
- Schienenmessrad für multiaxiale Beanspruchungsermittlung
- Aktive Interface
- sowie die erweiterten Möglichkeiten im Bereich „Maschinenakustik“, z.B. Hallraum, Kunststoffkopf für binaurale Aufnahmen, Software zur Berechnung von Luft- und Köperschallfeldern



# Daten und Fakten: Messen und Konferenzen



*Dr. Andreas Büter vom Fraunhofer LBF gibt im Interview am Rande der Aerospace Testing Expo in Hamburg Auskunft über aktuelle Arbeiten zum Thema „Intelligenter Leichtbau“*



*Aerospace Testing EXPO: Fraunhofer LBF präsentiert Neuentwicklungen in der Versuchstechnik und im virtuellen Testen.*



*Der Niedersächsische Wirtschaftsminister Walter Hirche im Gespräch mit Prof. Holger Hanselka auf dem Adaptronic Congress 2005*

## Aerospace Testing Expo

Zum zweiten Mal präsentierte das Fraunhofer LBF seine Kompetenz für die Luft- und Raumfahrttechnik: die Entwicklung neuartiger Prüfmethoden, Usage Monitoring, die Software LBF®. DAP - ein Werkzeug zur Datenanalyse und Betriebsfestigkeitsbewertung. Gemeinsam mit den Projektpartnern des Fraunhofer ISC und Fraunhofer IZFP zeigten wir außerdem neueste Entwicklungen zu strukturintegrierbarer Sensorik/Aktuatorik für die akustische Schadensdetektion.

## Automotive Testing Expo

Neuentwicklungen in der Versuchstechnik, mehrkanalige Prüfung von Anhängervorrichtungen, Betriebsfestigkeitsnachweis an Motorradrädern und Virtuelles Testen stellten die Themen des Fraunhofer LBF dar. Ebenfalls dabei: die Stress & Strength GmbH, Ausgründung des Fraunhofer LBF. Sie entwickelt und vermarktet Software, deren Schwerpunkt im Bereich der Betriebsfestigkeit liegt. Dazu wurden die langjährigen Erfahrungen des Fraunhofer LBF aus der experimentellen Simulation in Softwareprodukte, wie z.B. LBF®.WheelStrength, LBF®.HubStrength und LBF®.DAP umgesetzt.

## Hannover Messe

Das Fraunhofer LBF beteiligte sich an drei Gemeinschaftsständen der Fraunhofer-Gesellschaft: Systementwicklung mit Hochleistungskeramik, Simulation und Adaptronik.

## Safety Expo

Aktive Materialien für aktive Fahrzeugsicherheit - Fortschritt im Seitenaufprallschutz: Fraunhofer LBF Wissenschaftler präsentierten auf der Aschaffener SafetyExpo ein neu entwickeltes, schnell schaltendes reversibles Verriegelungssystem für PKW. Mittlerweile existiert ein modifiziertes Modell, das 2006 auf Messen präsentiert wird und auch im Fraunhofer LBF zu sehen ist.

## Adaptronic Congress

Aktuelle Entwicklungen zum Thema „Aktive Systeme für dynamische Märkte“ präsentierte der Fraunhofer-Themenverbund Adaptronic auf dem Adaptronic Congress 2005. Wissenschaftler aus 10 Fraunhofer Instituten zeigten einige ihrer Entwicklungsschwerpunkte. Das Fraunhofer LBF, das den Verbund leitet, stellte bis mehrschichtig wirkende Interfacestrukturen, per Embedded Systems geregelte Teststrukturen sowie ein System zur Schadensdetektion in Faserverbunden vor. In Fachdiskussionen wurden nächste Schritte hin zu adaptiven Produkten besprochen sowie Kooperationen abgestimmt.

## Erprobung und Simulation im Fahrzeugbau

Das Fraunhofer LBF berichtete auf dieser VDI-Veranstaltung in zwei Vorträgen zum Thema „Verknüpfung von numerischer und experimenteller Simulation bei der Entwicklung von Leichtmetallbauteilen“ (Dr. Ulrich May), und „Vollfahrzeug-Versuchsstand zur experimentellen Simulation NVH-relevanter Fahrbetriebszustände“ (Michael Matthias). Bei der begleitenden Fachaussstellung präsentierten wir unsere Kompetenz im Bereich des Virtuellen Testens.

## Leichtbau und Betriebsfestigkeit

Auf der diesjährigen Tagung des DVM-Arbeitskreises Betriebsfestigkeit präsentierte sich das Fraunhofer LBF mit seiner Ausgründung, der auf Versuchssimulation spezialisierten Stress & Strength GmbH. Seitens des Fraunhofer LBF referierten C. Morgenstern und C. M. Sonsino über die betriebsfeste Auslegung von Schweißverbindungen.

## Congress Intelligente Leichtbau Systeme ILS

Der Einsatz von Leichtbau-Konstruktions-Prinzipien, neuen Werkstoffen und/oder Fertigungsmethoden erfordert für die Auslegung, neben umfangreichen Materialkennwerten, auch die Entwicklung angepasster Bemessungsverfahren. Vom Fraunhofer LBF wurde ein analytisch-numerisches Bemessungsverfahren für



Fraunhofer LBF und Partner Degussa Röh m präsentieren in Alborg (Dänemark) ihr „Health Monitoring“-Konzept an einem Flügelmodell aus Faserverbundwerkstoff.



Auf der WING Konferenz in Aachen begutachten Fachbesucher das „Akustikaquarium“ des Fraunhofer LBF.



Fraunhofer Workshop in Brüssel: Dr. Thilo Bein vom Fraunhofer LBF im Gespräch mit dem Fraunhofer Präsident Prof. H.-J. Bullinger.

verstärkte Kunststoffbauteile entwickelt und verifiziert. Über Ergebnisse und Erfahrungen referierte Katrin Bolender, wissenschaftliche Mitarbeiterin im Kompetenzzentrum „Betriebsfester Leichtbau“. Auf der begleitenden Produktshow konnten sich die Besucher über Strukturintegrierbare Sensorik/Aktuatorik zur akustischen Schadensdetektion am Beispiel einer Faserverbundplatte mit integrierten PZT-Faserkomposit-Sensoren/-aktuatoren informieren.

**Sandwichconference in Dänemark**  
Anlässlich der siebten International Conference on Sandwich Structures in Aalborg, Dänemark, präsentierte das Fraunhofer LBF zusammen mit seinem Partner Degussa, Rhöm GmbH, den Fügeldemonstrator zum Thema „Health Monitoring“ einem internationalen Publikum. Der Flügel stellt die Strukturüberwachung und Beurteilung von Faserverbundbauteilen durch in den Verbund integrierte piezokeramische Sensoren/Aktuatoren anschaulich dar.

#### HUSUMWind Messe

Erstmals präsentierte das Fraunhofer LBF auch zur Vorhersage der technischen Sicherheit von Windkraftanlagen zuverlässige Simulationsmethoden: Last- und Beanspruchungssimulation, Werkstoffbewertung und strukturintegrierbare Sensorik/Aktuatorik zur akustischen Schadensdetektion am

Beispiel einer Sandwichflügelschale mit integrierten Piezofasermodulen.

#### Fraunhofer-Technologie-tag bei Continental

Eine Auswahl an Fraunhofer-Instituten nutzte die Möglichkeit, Technologien und Forschungstrends zu ausgewählten Themen an zentraler Stelle im Foyer der Firma Continental in Frankfurt/Eschborn vorzustellen. An verschiedenen Ständen wurden existierende Lösungen, Forschungsprojekte und Konzepte präsentiert, so dass die 3000 Mitarbeiter von Conti die Möglichkeit hatten, sich individuell zu informieren und auszutauschen, und interessante Neuigkeiten sofort in ihren Abteilungen und Bereichen weiterzugeben und ggf. weitere Kolleginnen und Kollegen zur Fraunhofer-Kundenmesse einzuladen. Das Fraunhofer LBF koordinierte als FIT-Adaptronik-Beauftragter und Sprecher des Themenverbundes Adaptronik für die Partnerinstitute einen FhG-Gemeinschaftsstand Adaptronik und bot das „aktive Federbein“, ein aktives Interface im Stoßdämpfer, eine „intelligente Werkstoffkette“, PZT-Pulver, PZT-Halbzeuge, PZT-Aktoren und Sensoren und „aktive Gesamtsysteme“, aktives Interface der ersten und zweiten Generation sowie einen Kompensator an. Außerdem ein Faserverbundflügelstück (Demonstrator) mit strukturintegrierten Piezomodulen.

#### Werkstoffwelten

Das BMBF veranstaltete in Aachen die 2. WING-Konferenz „Der Stoff, aus dem Innovationen sind“. In Plenarvorträgen und sechs thematischen Sessions wurden neue Erkenntnisse der Werkstoff-Forschung präsentiert. Mit den „Werkstoffwelten“ wurde parallel zur Tagung eine Ausstellung organisiert, in der an zahlreichen Objekten Wege vom Rohstoff über Werkstoff bis hin zum fertigen Produkt dargestellt werden. Professor Dr.-Ing. Hanselka war Leiter der Session „Intelligente Werkstoffe“ und Interviewpartner bei der Pressekonferenz sowie der Abschlussdiskussion auf dem Podium.

#### Fraunhofer Workshop in Brüssel

Im Dezember lud das Fraunhofer-Büro in Brüssel hochrangige Gäste zu einem Workshop in die Brüsseler Vertretung des Landes Baden-Württemberg bei der Europäischen Union ein. Unter dem Motto »Am Ball bleiben« wurden Beiträge der Fraunhofer-Gesellschaft zum 7. FRP präsentiert. Forschungskommissar Janez, Europaabgeordnete Dr. Angelika Niebler, Fraunhofer-Präsident Prof. Hans-Jörg Bullinger und alle anderen Teilnehmer konnten unter anderem auch das berühmte Akustikaquarium des Fraunhofer LBF in Augenschein nehmen.

## **Adaptronic Congress, Expertenrat**

Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka,  
Dr.-Ing. Tobias Melz,  
Dr.-Ing. Thilo Bein

## **ASTM American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Committee E-08 Fatigue and Fracture; Subcommittee EXX.04 Structural Applications; Subcommittee EXX.05 Cyclic Deformation and Crack Formation; Subcommittee EXX.09 Fracture of Advanced Materials**

Prof. Dr.-Ing. Cetin Morris Sonsino

## **AVK Arbeitsgemeinschaft, Naturfaserverstärkte Kunststoffe**

Dr.-Ing. Andreas Büter

## **Bundesverband WindEnergie e.V., Arbeitskreis WEA**

Dr.-Ing. Antje Berg-Pollack,  
Dr.-Ing. Andreas Büter

## **CFK Valley**

Dipl.-Ing. Katrin Bolender,  
Dr.-Ing. Anderas Büter,  
Dipl.-Ing. Martin Lehmann

## **Dechema e.V.**

Dr. Ursula Eul

## **Dechema e.V., Fachsektion Nanotechnologie Kompetenznetz CC-Nanochem**

Dr.-Ing. Ralf Sindelar

## **Deutscher Wasserstoff- und Brennzellenverband**

Dr.-Ing. Ralf Sindelar

## **DGM Deutsche Gesellschaft für Materialkunde, Arbeitskreis Ermüdung**

Dipl.-Ing. Martin Küppers

## **DGM Deutsche Gesellschaft für Materialkunde Mitglied**

Prof. Dr.-Ing. Cetin Morris Sonsino

## **DVM Deutscher Verband für Materialforschung- und -prüfung, Obmann Betriebsfestigkeit**

Prof. Dr.-Ing. Cetin Morris Sonsino

## **DVM Deutscher Verband für Materialforschung- und -prüfung, Obmann Zuverlässigkeit adaptiv-erischer und mechatronischer Systeme**

Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka,  
Dr. rer.nat. Jürgen Nuffer

## **DVS Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren, Fachausschuss 9 Konstruktion und Berechnung**

Dipl.-Ing. Christoph Morgenstern,  
Prof. Dr.-Ing. Cetin Morris Sonsino

## **DVS Deutscher Verband für Schweißtechnik, Arbeitsgruppe Q1 und Q1.1**

Dr.-Ing. Thomas Bruder

## **EARPA European Automotive Research Partners Association,**

Dr.-Ing. Thilo Bein,  
Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka

## **EARPA European Automotive Research Partners Association, Task Force Simulation**

Dr.-Ing. Thomas Bruder

## **EGKS Europäische Gemeinschaft für Kohle und Stahl, Exekutivausschuss F3 Stainless Steels**

Dr.-Ing. Heinz Kaufmann,  
Dipl.-Ing. Martin Küppers

## **ESIS European Structural Integrity Society Fatigue and Multiaxial Fatigue**

Prof. Dr.-Ing. Cetin Morris Sonsino

## **FAT Forschungsvereinigung Automobiltechnik, Arbeitskreis 25 Fügetechnik**

Prof. Dr.-Ing. Cetin Morris Sonsino,  
Dr.-Ing. Thomas Bruder,  
Dipl.-Ing. Marc Wallmichrath

## **FAT Forschungsvereinigung Automobiltechnik, Arbeitskreis 17 Leichtbau**

Dipl.-Ing. Marc Wallmichrath,  
Dr.-Ing. Ullrich May

## **FKM Forschungskuratorium Maschinenbau, Arbeitskreis Betriebsfestigkeit**

Dr.-Ing. Thomas Bruder

## **Fraunhofer Demozentrum AdvanCer**

Dr.-Ing. Ulrich May

## **Fraunhofer Demozentrum SIMTOP**

Dipl.-Ing. Klaus Störzel

## **Fraunhofer-Institutsverbund Werkstoffe und Bauteile, stellvertretender Verbundssprecher**

Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka

## **Fraunhofer-Themenverbund Nanotechnologien**

Dr.-Ing. Ralf Sindelar

## **Fraunhofer-Themenverbund Hochleistungskeramik**

Dr.-Ing. Ulrich May

## **Fraunhofer-Themenverbund Numerische Simulation**

Dr.-Ing. Thomas Bruder,  
Dipl.-Ing. Klaus Störzel

## **Fraunhofer-Themenverbund Verkehr**

Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka,  
Dr.-Ing. Thilo Bein

## **Fraunhofer-Themenverbund Adaptronik, Verbundssprecher und Geschäftsstelle**

Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka,  
Dr.-Ing. Tobias Melz

## **FVA Forschungsvereinigung Antriebstechnik, Arbeitskreis Welle-Nabe-Verbindung**

Dipl.-Ing. Martin Küppers

## **FVA Forschungsvereinigung Antriebstechnik, Workshop Betriebsfestigkeit**

Dr.-Ing. Heinz Kaufmann

## **GESA Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, Mitglied Experimentelle Strukturanalyse**

Dipl.-Ing. Michael Matthias

**GFT Gesellschaft für Tribologie,  
Mitglied Tribologie**

Dr. Ing. Ulrich May

**GMA Gesellschaft Mess- und Au-  
tomatisierungstechnik, GMA-Fach-  
ausschuss 4.16 Unkonventionelle  
Aktorik der VDI/VDE**

Dr.-Ing. Tobias Melz

**GMM Gesellschaft für Mikrotech-  
nik, Mikroelektronik und Feinwerk-  
technik, GMA Fachausschuss 4.1,  
Grundsatzfragen der Mikro- und  
Nanotechnik**

Dr. Ursula Eul

**IDS Industrieverband Deutscher  
Schmieden, Arbeitsgruppe  
Produktoptimierung**

Dr.-Ing. Heinz Kaufmann,  
Dipl.-Ing. André Heinrietz

**IIAV International Institute of  
Acoustics and Vibration**

Dr.-Ing. Joachim Bös

**IIW, IIS Internationales Institut  
für Schweißtechnik, DVS-Delegier-  
ter in Arbeitsgruppe XIII/XV**

Prof. Dr.-Ing. Cetin Morris Sonsino,  
Dipl.-Ing. Martin Küppers

**Intelligente Leichtbau Systeme,  
Expertenkreis**

Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka

**International Advisory Board of  
the Centre of Structural Integrity  
Opole, Polen, Kuratoriumsmitglied**

Prof. Dr.-Ing. Cetin Morris Sonsino

**Magdeburger Verein für Techni-  
sche Mechanik e.V., Editorial Board  
Technische Mechanik**

Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka

**Materials Valley e.V.,  
Vorstandsmitglied**

Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka

**MatForm Materialforschungs-  
verbund Rhein-Main  
Vorstandsvorsitzender,**

Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka

**Pulvermetallurgieausschuss,  
Expertenbeirat Simulation in  
der Pulvertechnologie**

Dr.-Ing. Klaus Lipp

**Pulvermetallurgieausschuss,  
Expertenkreis Sinterstähle**

Dr.-Ing. Klaus Lipp

**Pulvermetallurgieausschuss,  
Mitglied**

Prof. Dr.-Ing. Cetin Morris Sonsino

**Pulvermetallurgieausschuss,  
Expertenkreis Aluminium**

Dr.-Ing. Jochen Laakmann

**SAE Society of Automotive Engi-  
neers, Warrendale, USA, Biaxial  
Wheel-Hub Fatigue Test Procedure,  
Task Force**

Dr.-Ing. Gerhard Fischer

**SAE Society of Automotive Engi-  
neers, Warrendale, USA, Mitglied  
Fatigue Design and Evaluation  
Committee**

Prof. Dr.-Ing. Cetin Morris Sonsino

**SPIE International Society for  
Optical Engineering**

Mitglied, Dr.-Ing. Joachim Bös

**SSTAG, EU-Beratungsgremium für  
land- und seebasierenden Verkehr**

Mitglied, Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka

**TÜV Süd, Programmausschuss  
tyrewheel.tech**

Dipl.-Ing. Andreas Herbert

**TÜV Rheinland, Arbeitsgruppe  
Kunststoffräder**

Dr.-Ing. Andreas Büter

**VDEh Verein Deutscher Eisenhüt-  
tenleute, Werkstoffausschuss,  
Unterausschuss für unlegierte  
Baustähle**

Dr.-Ing. Heinz Kaufmann,  
Dr.-Ing. Ulrich May

**VDEh Verein Deutscher Eisenhüt-  
tenleute, Werkstoffausschuss,  
Unterausschuss für chemisch  
beständige Stähle**

Dr.-Ing. Heinz Kaufmann,  
Dr.-Ing. Ulrich May

**VDG Verein Deutscher Gießerei-  
fachleute, Fachausschuss Duktiles  
Gusseisen**

Dr.-Ing. Heinz Kaufmann

**VDG Verein Deutscher Gießerei-  
fachleute, Fachausschuss Konstru-  
ieren im Guss**

Dr.-Ing. Heinz Kaufmann,  
Prof. Dr.-Ing. Cetin Morris Sonsino

**VDG Verein Deutscher Gießerei-  
fachleute, Fachausschuss Leichtme-  
tallguss**

Dr.-Ing. Heinz Kaufmann

**VDG Verein Deutscher Gießerei-  
fachleute, Fachausschuss Leichtme-  
tall-Legierungen**

Dr.-Ing. Heinz Kaufmann

**Verein für Betriebsfestigkeits-  
forschung, Stahl-Zentrum Unter-  
ausschuss, Betriebsfestigkeit und  
Anlagenüberwachung**

Dr.-Ing. Heinz Kaufmann,  
Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka,  
Prof. Dr.-Ing. C.M. Sonsino

**Wiley-VCH-Verlag, Weinheim,  
Advisory Board Materialwissen-  
schaften und Werkstofftechnik**

Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka

**Hanselka, H.:** Adaptronik und Zuverlässigkeit - in Kombination eine Schlüsseltechnologie für intelligent angewandten Maschinenbau. MatFoRM-Tag: Nanotechnologie - Die große Bedeutung des winzig Kleinen für unser zukünftiges Leben, Darmstadt, 26.11.2005

**Sonsino, C. M.; Lipp, K.; Eksi, A. et. all.:** Warmkompaktieren von Aluminiumpulvern - Mechanismen und Einfluss auf die Eigenschaften.

**Sonsino, C. M.:** Zukunftsperspektiven für die Pulvermetallurgie durch Betriebsfestigkeit. · Zukunftsperspektiven für die Pulvermetallurgie durch die Betriebsfestigkeit. 24. Hagener Symposium Pulvermetallurgie, Hagen, 24.-25.11.2005

**Schnick, M.; Küppers, M.:** Erhöhung der Momentenübertragungsfähigkeit bei Torsion und Umlaufbiegung durch Press-Presslöt-Verbindungen. Würzburg, FVA-Infotagung 22. 11.2005

**Hanselka, H.:** Adaptronik und Intelligente Werkstoffe. WING-Konferenz 2005, Aachen, 9.-11.11.2005

**Bein, Th.; Hanselka, H.:** Lärmreduktion durch intelligente Materialien. WING-Konferenz 2005, Aachen, 9.-11.11.2005

**Berg-Pollack, A.; Lipp, K.:** Das Fraunhofer-Simulationszentrum für die Technische Zuverlässigkeit von Offshore-Bauwerken - Aufgaben, Ziele, Projekte Windenergieanlagen - Eine Herausforderung für die Getriebetechnik?, Stiftung Institut für Werkstofftechnik, Bremen, 08.11.2005

**Kaufmann, H.:** High-strength steels in welded state for light-weight constructions under high and variable stress peaks. 1st International Conference Super-High Strength Steels, Rom, Italien, 2.-4.11.2005

**Sonsino, C. M.:** Light-Weight Design Chances Using High-Strength Steels. 1st International Conference Super-High Strength Steels, Rom, Italien, 2.-4.11.2005

**K. Bolender:** Fatigue Behavior of Short Fiber Reinforced Polyamide under Multiaxial Loading with Constant and Changing Principal Stress Directions - Consideration of the Lightly Anisotropic Material Property, Euromech 473, Porto/Portugal, 27.-29.10.2005

**Kieninger, M.; Heim, R.; Große, P.:** Virtuelle Produktentwicklung von Fahrwerkskomponenten auf Basis experimenteller Betriebsfestigkeits-Methoden unter Berücksichtigung des Systemverhaltens Fahrwerk. 10. Internationaler VDI Kongress Reifen-Fahrwerk-Fahrbahn, Hannover, 25.-26.10.2005

**Lehmann, M.; Büter, A.; Frankenstein, B.; Schubert, F.; Brunner, B.:** Monitoring System for Delamination Detection. 3rd Workshop „NDT in PROGRESS“, International Meeting of NDT Experts, Prag, Tschechien, 10.-12.10.2005

**Hanselka, H.:** Mikrosysteme vor der Markteinführung - Bedeutung der Betriebsfestigkeit. Mikrosystemtechnik Kongress 2005, Freiburg, 10.-12.10.2005

**Eul, U.:** Adaptronik - Von intelligenten Materialien zu besseren Produkten. Mikrosystemtechnik Kongress 2005, Freiburg, 10.-12.10.2005

**Zhang, G.; Sonsino, C. M.:** Ein Kerbspannungskonzept für die schwingfeste Bemessung von Aluminiumschweißverbindungen mit rissähnlichen Nahtgeometrien. 32. Tagung des DVM-Arbeitskreis Betriebsfestigkeit „Fügen und Betriebsfestigkeit“, Darmstadt, 5.-6.10.2005

**Morgenstern, C.; Sonsino, C. M.:** Schwingfeste Auslegung von Schweißverbindungen aus Aluminium mit dem Konzept des fiktiven Ersatzradius von  $r_f=1,0\text{mm}$ . 32. Tagung des DVM-Arbeitskreis Betriebsfestigkeit „Fügen und Betriebsfestigkeit“, Darmstadt, 5.-6.10.2005

**Sonsino, C. M.; Radaj, D.; Fricke, W.:** Lokale Konzepte zur betriebsfesten Auslegung von Naht- und Punktschweißverbindungen. 32. Tagung des DVM-Arbeitskreis Betriebsfestigkeit „Fügen und Betriebsfestigkeit“, Darmstadt, 5.-6.10.2005

**Bruder, T.:** Beanspruchungssimulation und Verifikation DVM Arbeitskreis Betriebsfestigkeit Weiterbildungsseminar (3. Runde, Teil 1) „Simulation in der Betriebsfestigkeit“, Darmstadt, 4.10.2005

**Sigl, L.; Delarbre, P.; Lipp, K.:** Static and Fatigue Properties of High Strength PM-Steels. Euro PM2005, Prag, Tschechien, 2.-05.10.2005

**Lipp, K.; Bender, H.J.; Coffin, C.; Dunkley, J. et all.:** Alloying and sintering behaviour of selected iron-graphite-master alloy powder mixtures. Euro PM2005, Prag, Tschechien, 2.-05.10.2005

**May, U.:** Lebensdauerkonzepte. Schulung „AdcanCer“ Block III, IWM Freiburg, 27.9.-28.9.2005

**Büter, A.; Bolender, K.:** Flexibles Berechnungsverfahren zur Bewertung dünnwandiger, elastischer, stabähnlicher Strukturen unter Berücksichtigung der Wölbkrafttorsion. Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2005, Friedrichshafen, 26.-29.9.2005

**Sonsino, C. M.:** Design principles. · Overview of Basics. · Testing. Powder Metallurgy Training Courses, Aachen, 3.-11.9.2005

**W. Grünbeck, W.; Herbert, A.:** Development of a load programme for wheels of a loader vehicle including braking operations. 7th International User Meeting Biaxial Wheel/Hub Test Facility, Fraunhofer LBF, Darmstadt, 22.9.2005

**Heim, R.:** Investigation of wheel stud pre-tension under reality-like operational loads in the Biaxial Test Rig. 7th International User Meeting Biaxial Wheel/Hub Test Facility, Fraunhofer LBF, Darmstadt, 22.9.2005

**Fischer, G.:** Special event and misuse loading. 7th International User Meeting Biaxial Wheel/Hub Test Facility, Fraunhofer LBF, Darmstadt, 22.9.2005

**Pohl, C.:** Effects of the environment on the life of light metal components. 7th International User Meeting Biaxial Wheel/Hub Test Facility, Fraunhofer LBF, Darmstadt, 22.9.2005

**Sindelar, R.:** Characterization of Materials in Pressurized Hydrogen under Cyclic Loading at Service Conditions in Hydrogen Powered Engines. International Conference on Hydrogen Safety, Pisa, Italy, 8.-10. September 2005

**Kaufmann, H.:** Ermittlung und Bedeutung der Schwingfestigkeit. VDG-Weiterbildung Metallurgie und Werkstofftechnik der Gusseisenwerkstoffe, Düsseldorf, 6.9.-7.9.2005

**Bolender, K.:** Entwicklung eines einfachen numerischen Bemessungswerkzeuges zur Bewertung mehraxial beanspruchter kurzfaserverstärkter Kunststoffe. Congress Intelligente Leichtbausysteme, ILS 2005, Hildesheim, 6.-7.9.2005

**Bein, Th.; Börs, J.; Doll, T.; Kurtze, L.:** Noise Insulation applying Active Elements onto Facades. Forum Acusticum 2005, Budapest, 29.8.-2.9.2005

**Krämer, R.; Roth, D.:** Experimental and numerical analysis of hollow and foam-filled A-stringer/ A-former under axial compression load and bending moment“. 7th International Conference on Sandwich Structures, Aalborg University, Aalborg, Denmark, 29.-31.8.2005

**Hanselka, H.:** Innovation und Zuverlässigkeit. Zentec-Treffen KMU, Darmstadt, 23.6.2005

**Hanselka, H.:** Adaptronics and reliability - A combination for breakthrough technology in motor vehicle design. MicroCar 2005, Leipzig, 21.6.2005

**Küppers, M.:** Festigkeitsbewertung mehrachsiger beanspruchter Bauteile. WKF-Kolloquium am 20.6.2005, Universität Siegen

**Matthias, M.; Melz, T.; Klock, J.:** Vollfahrzeugversuchsstand zur experimentellen Simulation NVH-relevanter Fahrbetriebszustände (NVH-Prüfstand). VDI Erprobung und Simulation in der Fahrzeugtechnik; Würzburg, 16.–17.6.2005

**Atzrodt, H.; Herold, S.; Mayer, D.; Thomaier, M.; Melz, T.:** Gesamtsystemsimulation aktiver Strukturen am Beispiel eines aktiven Interfaces. ifm Internationales Forum Mechatronik, Augsburg, 15.–16.6.2005

**Berger, C.; Hanselka, H.; Vormwald, M.:** Future of structural durability in Darmstadt. 1st Symposium on Structural Durability in Darmstadt, Darmstadt, 9.–10.6.2005

**Melz, T.; Matthias, M.; Thomaier, M.:** Design of a smart interface for vibration reduction in complex structures. 1st Symposium on Structural Durability in Darmstadt, Darmstadt, 9.–10.6.2005

**Atzrodt, H.; Mayer, D.; Herold, S.; Melz, T.:** Untersuchungen zur Schadensüberwachung an einem aktiven Interface. Mechatronik 2005, Juni 2005, Heidelberg, 2005

**Hanselka, H.:** Structural durability - A controversial research field of current interest. 1st Symposium on Structural Durability in Darmstadt, Darmstadt, 9.–10.6.2005

**Grubisic, V.; Kloos, K. H.; Seeger, T.:** Opening Lecture: Darmstadt's basic contribution to structural durability - Historical review. 1st Symposium on Structural Durability in Darmstadt, Darmstadt, 9.–10.6.2005

**Sonsino, C. M.; Fischer, G.:** Local assessment concepts for the structural durability of complex components. 1st Symposium on Structural Durability in Darmstadt, Darmstadt, 9.–10.6.2005

**Heuler, P.; Bruder, T.; Klätschke, H.:** Standardized load-time histories - A contribution to durability issues under spectrum loading. 1st Symposium on Structural Durability in Darmstadt, Darmstadt, 9.–10.6.2005

**May, U.; Heinrietz, A.; Berg-Pollack, A.:** Verknüpfung von numerischer und experimenteller Simulation bei der Entwicklung von Leichtmetall-Bauteilen. VDI-Tagung, Berechnung und Simulation 2005, Darmstadt, 05.4.2005

**Bein, Th.; Hanselka, H.:** The Integrated Project „Intelligent Materials for Active Noise reduction – InMAR“ – An overview and first results. 3rd Styrian Noise, Vibration & Harshness Congress, Graz, 2.–3.6.2005

**Atzrodt, H.; Herold, S.; Thomaier, M.; Melz, T.:** Numerische Gesamtsystemsimulation aktiver Strukturen und experimenteller Abgleich. Adaptronic Congress, Göttingen, 31.5.–1.6.2005

**Mayer, D.; Poigné, A.; Riedel, M. Shakil, A.:** Eingebettete Systeme zur Regelung adaptiver Strukturen. Adaptronic Congress, Göttingen, 31.5.–1.6.2005

**Matthias, M.; Thomaier, M.; Melz, T.:** Entwicklung, Bau und Test eines multiaxialen, modularen Interfaces zur aktiven Schwingungsreduktion für automotiv Anwendungen. Adaptronic Congress, Göttingen, 31.5.–1.6.2005

**Bein, Th.; Seipel, B.; Koch, T.:** Aktive Systeme im Crash. Adaptronic Congress, Göttingen, 31.5.–1.6.2005

**Bein, Th.; Hanselka, H.:** The IP InMAR – First Results. Adaptronic Congress, Göttingen, 31.5.–1.6.2005

**Hanselka, H.; Matthias, M.:** Adaptronic – an important innovation for automotive industry. 7. International Congress Innovative Automotive Technology IAT '05, 21.–22.4.2005, Bled, Slowenia

**Seipel, B.:** Einsatzmöglichkeiten aktiver Materialien zur Verbesserung des Seitenaufprallschutzes. SafetyExpo, Aschaffenburg, 13.–15.4.2005

**Fischer, G.; Zinke, R.:** Validation of Wheel Bearing Systems in Biaxial Wheel Test Facilities. SAE World Congress, Detroit, USA, 11.–14.4.2005

**Sonsino, C. M.; Berg-Pollack, A.; Grubisic, V.:** Structural Durability Proof of Automotive Aluminium Safety Components - Present State of the Art. SAE World Congress, Detroit, USA, 11.–14.4.2005

**Sonsino, C. M.; Lipp, K.:** Fatigue Design of PM-Gears Under Consideration of Herzian Pressure with Sliding and Tooth Bending. SAE World Congress, Detroit, USA, 11.–14.4.2005

**Büter, A.:** Betriebsfestigkeit im Leichtbau mit Faserverbund. DGM/DVM-Arbeitsgruppe „Materialermüdung“, Darmstadt, 05.4.2005

**Wallmichrath, M.; Jöckel, M.:** Virtual Test Lab - Neue Ansätze in der simulationsgestützten Bauteil- und Systemprüfung. 2005 Conference „Virtual Product Development (VPD) in Automotive Engineering“, Müzzzuschlag, Österreich, 9.–10.3.2005

**Melz, T.; Matthias, M.:** The Fraunhofer MaVo FASPAS for smart system design for automotive and machine tool engineering. 12th SPIE International Symposium, San Diego, California, USA, 6.–10.3.2005

**Fischer, G.; Große-Hovest, M.; Grubisic, V.:** Betriebsfestigkeit der Schrumpfsitzverbindungen von Radsatzwellen. 7. Internationale Schienenfahrzeugtagung, Dresden, 23.–25.2.2005

**Hanselka, H.:** Adaptronic - Werkstoffe, Methoden und Anwendungen für vibroakustische Problemstellungen. Workshop Aktive Lärminderung und Leiser Verkehr, Müller-BBM GmbH, Planegg, 27.1.2005

**Thomaier, M.; Melz, T.; Matthias, M.:** Multi-axiales aktives Interface zur Schwingungsreduktion - Anwendungspotenziale und Restriktionen. VDI Seminar – Schwingungen in Werkzeugmaschinen, Leonberg, 2005

**Nuffer, J.; Atzrodt, H.; Mayer, D.; Melz, T.:** Sensitivity analysis for assessing the reliability of Active Vibration Control (AVC) systems. ICAST 2005, Paris, 2005

**Melz, T.; Seipel, B.; Bein, Weber, U.; Sedlbauer, K.:** Innovation durch Sicherheit - Sicherheit durch Innovation - Einblicke in die Sicherheitsforschung der Fraunhofer-Gesellschaft. 29. Kongress für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Düsseldorf, 2005

**Seipel, B.; Koch, T.:** Aktive Systeme zur Verbesserung des Seitenaufprallschutzes von PKW. VDI 2005

**Mayer, D.; Atzrodt, H.; Herold, S.; Thomaier, M.:** An approach for the Model Based Monitoring of Piezoelectronic Actuators. 2nd Eccomas Thematic Conference on Smart Structures and Materials, Lissabon, 2005

**Sonsino, C. M.; Zenner, H.; Yousefi, F.; Küppers, M.:** Assessment of Components Under Multiaxial Service Loading - Calculations and Experiments. Fatigue design 2005, Centre Technique des Industries Mécaniques – CETIM, 2005

Atzrodt, H.; Herold, S.; Thomaier, M.; Melz, T.:

## **Numerische Gesamtsystemsimulation aktiver Strukturen und experimenteller Abgleich.**

In: Adaptronic Congress 2005 - Active Systems for Dynamic Markets, Göttingen, (2005), S. 26.1–26.7

Atzrodt, H.; Herold, S.; Mayer, D.; Thomaier, M.; Melz, T.:

## **Gesamtsystemsimulation aktiver Strukturen am Beispiel eines aktiven Interfaces.**

In: Internationales Forum Mechatronik, Augsburg (2005), S. 495–510

Bein, Th.; Hanselka, H.:

## **Intelligent Materials for Active Noise reduction.**

In: Vibration & Harshness Congress, Graz, 2.–3. Juni 2005

Bein, T.; Hanselka, H.:

## **The IP InMAR - First Results.**

In: Adaptronic Congress 2005 - Active Systems for Dynamic Markets, Göttingen, (2005), S. 13.1–13.6

Bein, T.; Hanselka, H.; Nuffer, J.:

## **Adaptronik- ein technischer Ansatz zur Lösung bionischer Aufgaben.**

In: Bionik - aktuelle Forschungsergebnisse in Natur-, Ingenieur- und Geisteswissenschaft. Berlin (2005), S. 17–30

Bein, Th.; Bös, J.; Doll, T.; Kurtze, L.:

## **Noise Insulation applying Active Elements onto Facades.**

In: ForumAcusticum Budapest (2005) S. 869–874

Bein, Th.; Hanselka, H.;

## **Lärmreduktion durch Intelligente Materialien.**

In: Wing – Die Konferenz – Der Stoff, aus dem Innovationen sind (2005) S. 35–37

Bein, Th.; Seipel, B.; Koch, Th.; Melz, T.; Zimmermann, E.:

## **Aktive Systeme im Crash.**

In: Adaptronic Congress 2005 - Active Systems for Dynamic Markets, Göttingen, (2005)

Berger, C.; Hanselka, H.; Vormwald, M.:

## **Future of structural durability in Darmstadt.**

In: Proceedings of the first Symposium on structural durability. SoSDiD, Darmstadt. Fraunhofer LBF (2005), S.359–378

Bolender, K.; Büter, A.; Gerharz, J.:

## **Entwicklung eines einfachen numerischen Bemessungswerkzeuges zur Bewertung mehraxial beanspruchter kurzfaserverstärkter Kunststoffe.**

In: Intelligente Leichtbau Systeme : Strategiekonzepte für den hybriden Leichtbau, Hildesheim, (2005), S. 8.1–8.8

Bolender, K.; Büter, A.; Sonsino, C.M.:

## **Betriebsfeste Auslegung hochbelasteter Kunststoffbauteile unter Berücksichtigung von Mehrachsigkeit.**

Polymer Forschung Darmstadt 4 (2005) Nr. 1

Bolender, K.; Büter, A.; Sonsino, C.M.:

## **Belastung kurzfaserverstärkter Kunststoffe.**

In: Konstruktion (2005), 7-8, IW 13–IW 15

Bruder, T.:

## **Beanspruchungssimulation und Verifikation.**

In: Simulation in der Betriebsfestigkeit-Perspektiven und Grenzen, Weiterbildungsseminar (3. Runde- Teil 1), DVM Arbeitskreis Betriebsfestigkeit, Darmstadt: Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung (2005), S. 1–28

Bruder, T.; Klätschke, H.; Sigwart, A.; Riehle, J.:

## **Leichtbau und Betriebsfestigkeit durch realitätsnahe Lastannahmen am Beispiel von PKW-Anhängervorrichtungen.**

In: Materialprüfung 47 (2005), 7-8, S. 429–436

Bruder, T.; Störzel, K.; Wallmichrath, M.:

## **Betriebsfeste Auslegung dünnwandiger Strukturen.**

In: Dünnwandige Strukturbauteile – Werkstoffkonzepte, Fertigungskonzepte, Simulation. DVM-Bericht 672, Berlin: Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung, 2005, S. 157–169

Büter, A.; Bolender, K.:

## **Flexibles Berechnungsverfahren zur Bewertung dünnwandiger, elastischer, stabähnlicher Strukturen unter Berücksichtigung der Wölbkrafttorsion.**

In: Grenzen überwinden – Horizonte erweitern, Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress, Friedrichshafen, 26.-29.9.2005. Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt, Lilienthal-Oberth e.V., Bonn (2005), Paper 126

Fischer, G.:

## **Betriebsfestigkeit der Schrumpfsitzverbindungen von Radsatzwellen.**

In: Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH) u.a.: 7. Internationale Schienenfahrzeugtagung - Rad Schiene 2002. Hamburg: Tetzlaff Verlag GmbH & Co. Kg, 2005, S. 49–51

Fischer, G.:

## **Validation of Complex Wheel/Hub Subassemblies by Multiaxial Laboratory Tests Using Standardized Load Files.**

In: Fatigue Testing and Analysis under Variable Amplitude Loading Conditions (2005) S. 556–566

Fischer, G.; Grubisic, V.:

**Bemessung von Radsatzwellen – Einflussgrößen und Vorgehen bei der Auslegung.**

LBF-Bericht Nr. FB 226 (2005)

Fischer, G.; Grubisic, V.:

**Dimensioning of wheel set axles – Influencing parameters and procedure for the structural durability validation.**

LBF-Report No. FB-226e (2005)

Fischer, G.; Zinke, R.:

**Validation of wheel bearing systems in biaxial wheel/hub test facilities.**

In: SAE Technical Paper 2005-01-1827, Warrendale, (2005)

Grubisic, V.:

**Globalization in automotive industry and product reliability.**

In: Proceedings of the Innovative Automotive Technology IAT, Bled, (2005), S. 1–18

Grubisic, V.; Kloos, K. H.; Seeger, T.:

**Darmstadt's basic contribution to structural durability – historical review.**

In: Proceedings of the first Symposium on structural durability SoSDiD, Darmstadt. Fraunhofer LBF (2005), S.11–82

Gumnior, P.; Gerharz, J.;

Moosbrugger, E.; Wieland, R.:

**Betriebsfeste Auslegung hochbelasteter Kunststoffbauteile im Motorraum.**

In: DVM-Nachrichten (2005), Beilage 40, S. 1–2

Hanselka, H.:

**Structural durability - A controversial research field of current interest.**

In: Proceedings of the first Symposium on structural durability SoSDiD, Darmstadt. Fraunhofer LBF (2005), S. 3–7

Hanselka, H.:

**Adaptronik – eine innovative Technologie auf dem Weg in die Praxis.**

In: Fraunhofer-Gesellschaft, Jahresbericht, München (2005) S. 36–43

Hanselka, H.:

**Darmstadt – Zentrum der Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit.**

In: Wirtschaftsstandort Darmstadt (2005) S. 90–93

Hanselka, H.:

**Forschung gegen Lärm: Hörbuch**

In: FhG: Zukunft erleben – Technik hören (2005) 6:41 Minuten

Hanselka, H.; Füssel, U.:

**Erhöhung der Momentenübertragungsfähigkeit bei Torsion und Umlaufbiegung durch Press-Presslöt-Verbindung : FVA-Arbeitsblatt zum Forschungsvorhaben Nr. 390 I+II.**

Frankfurt: Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V., 2005

Hanselka, H.; Matthias, M.:

**Adaptronic - An important innovative technology for the automotive industry.**

In: Proceedings of the Innovative Automotive Technology IAT, Bled, (2005), S. 19–30

Hanselka, H.; Melz, T.:

**Adaptronics and Reliability - A Combination for Breakthrough Technology in Motor Vehicle Design.**

In: Microcar 2005: micro materials, nano materials for automotives (2005)

Herold, S.; Atzrodt, H.; Mayer, D.;

Thomaier, M.:

**Integration of different approaches to simulate active structures for automotive applications.**

In: ForumAcusticum Budapest (2005)

Heuler, P.; Bruder, T.; Klätschke, H.:

**Standardised load-time histories – a contribution to durability issues under spectrum loading.**

In: Proceedings of the first Symposium on structural durability SoSDiD, Darmstadt. Fraunhofer LBF (2005), S.193–210

Heuler, P.; Klätschke, H.:

**Generation and Use of Standardised Load Spectra and Load-Time Histories.**

In: International Journal of Fatigue 27 (2005), 8, 974–990

Kaufmann, H.; Sonsino, C. M.; Demofonti, G.; Riscifuli, S.:

**High-strength steels in welded state of light-weight constructions under high and variable stress peaks.**

In: Super-High Strength Steels, 1st International Conference, Rom: Associazione Italia di Metallurgia AIM, Mailand, (2005), S. 13.1–13.11

Kieninger, M.:

**SPURT: EU-Forschungskonsortium um Fraunhofer erhebt Strukturdaten zur Optimierung schienengebundener Fahrzeuge und Bahnhöfen.**

In: Nahverkehrspraxis (2005), 7/8, S. 4

Kieninger, M., et. al:

**Design and Realization of a High Performance Slab Track System.**

In: Proceedings of the European Slab Track Symposium. IFV Bahntechnik, Berlin (2005) ISBN 3980933571

Kieninger, M.; Heim, R.; Große, P.:

**Virtuelle Produktentwicklung von Fahrwerkskomponenten auf Basis experimenteller Betriebsfestigkeits-Methoden unter Berücksichtigung des Systemverhaltens Fahrwerk.**

In: VDI-Berichte 1912 (2005) -Reifen - Fahrwerk - Fahrbahn : Markt- und kundengerechte Innovationen, S. 353–370

Krämer, R.; Roth, D.:

**Experimental and numerical analysis of hollow and foam-filled A-stringer/ A-former under axial compression load and bending moment.**

Sandwich Structures 7: Proceedings of the 7th International Conference on Sandwich Structures, Aalborg University, Aalborg, Denmark, 29–31 August 2005

Lipp, K.; Bender, H.J.; Coffin, C.; Dunkley, J. et al.:

**Alloying and sintering behaviour of selected iron-graphite-master alloy powder mixtures.**

In: EPMA: European Congress and Exhibition on Powder Metallurgy, PM 2005 : Vol. 1,3. Bellstone, Strewbury : European Powder Metallographie Association, 2005, S. 371–378

Lipp, K.; Sonsino, C.M. Sigl, L.; Delarbre, P.:

**Static and Fatigue Properties of High Strength PM-Steels.**

In: EPMA: European Congress and Exhibition on Powder Metallurgy, PM 2005 : Vol. 1,3. Bellstone, Strewbury : European Powder Metallographie Association, 2005, S. 151–156

Matthias, M.:

**Hochdynamische Prüftechnik auf Basis aktiver Werkstoffe.**

In Konstruktion (2005), 9, IW 22–IW 23

**Entwicklung, Bau und Test eines multiaxialen, modularen Interfaces zur aktiven Schwingungsreduktion für automotive Anwendungen.**

In: Adaptronic Congress 2005 - Active Systems for Dynamic Markets, Göttingen, (2005), S. 4.1–4.11

Matthias, M.; Melz, T.; Klock, J.

**Vollfahrzeugversuchsstand zur experimentellen Simulation NVH-relevanter Fahrbetriebszustände (NVH-Prüfstand).**

In: : VDI-Berichte 1900 (2005), S. 343–356

May, U.; Heinrietz, A.; Berg-Pollack, A.:

**Verknüpfung von numerischer und experimenteller Simulation bei der Entwicklung von Leichtmetall-Bauteilen.**

In: VDI-Berichte 1900 (2005), S. 213–225

Mayer, D.; Poigné, A.; Riedel, M.; Shakil, A.:

**Eingebettete Systeme zur Regelung adaptiver Strukturen.**

In: Adaptronic Congress 2005 - Active Systems for Dynamic Markets, Göttingen, (2005), S. 6.1–6.6

Mayer, D.; Atzrodt, H.; Herold, S.; Thomaier, M.:

**An approach for the Model Based Monitoring of Piezoelectronic Actuators.**

In: 2nd Eccomas Thematic Conference on Smart Structures and Materials, Lissabon (2005)

Melz, T.; Matthias, M. Drossel, W.G.; Sporn, D. et al.:

**The Fraunhofer MaVo FASPAS for smart system design for automotive and machine tool engineering.**

In: Proceeding of the 12th SPIE International Symposium, San Diego, California. Ed. A.B. Flatau, The International Society of Optical Engineering, Bellingham, USA (2005) Vol. 5764, pp.402–410

Melz, T.; Matthias, M.:

**Adaptronische Systeme für Automotive Anwendungen.**

In: Das Zukunftsmagazin 1 (2005) S. 2

Melz, T.; Matthias, M.; Thomaier, M.:

**Design of a smart interface for vibration reduction in complex structures.**

In: Proceedings of the first Symposium on structural durability SoSDiD, Darmstadt. Fraunhofer LBF (2005), S.347–358

Morgenstern, C.; Sonsino, C. M.; Hobbacher, A.; Sorbo, F.:

**Schwingfeste Auslegung von Schweißverbindungen aus Aluminium mit dem Konzept des fiktiven Ersatzradius von  $r_f = 1,0$  mm.**

In: DVM-Bericht 132: Fügen und Betriebsfestigkeit- 32. Tagung des DVM-Arbeitskreises Betriebsfestigkeit, Darmstadt: Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung (2005), S. 271–290

Morgenstern, C.; Streicher, M.; Oppermann, H.:

**Leichtbau mit Aluminium-Schweißverbindungen des Fahrzeugbaus.**

In: Materialprüfung 47, (2005), 7–8, S. 411–416

Nuffer, J.:

**Ermüdung piezokeramischer Aktorwerkstoffe.**

In: Konstruktion (2005), 4, IW12-IW13

Nuffer, J.; Hanselka, H.:

**Characterization of Reliability.**

In: Handbook of Materials Measurement Methods (2005), Chapter 16

**Rupp, A.; Masieri, A.; Dornbusch, T.: Durability transfer concept for the monitoring of load and stress conditions on vehicles.**

In: Proceedings of the Innovative Automotive Technology IAT, Bled, (2005), S. 31–39

Seipel, P.; Koch, T.:

**Aktive Systeme zur Verbesserung des Seitenaufprallschutzes von PKW.**

In: VDI-Berichte 1911 (2005)

Sonsino, C. M.:

**Dauerfestigkeit - eine Fiktion.**

In: Konstruktion (2005), 4, S. 1–6

Sonsino, C. M.:

**Structural durability of cast aluminium gearbox housings of underground railway vehicles under variable amplitude loading.**

In: International Journal of Fatigue 27,(2005), 8, S. 944–953

Sonsino, C. M. ; Berg-Pollack, A.; Grubisic, V.:

**Structural Durability Proof of Automotive Aluminium Safety Components - Present State of the Art.**

In: SAE World Congress, Detroit, (2005): SAE Paper 2005-01-0800, Warrendale : Society of Automotive Engineers, (2005)

Sonsino, C. M.:

**Light-weight design chances using high-strength steels.**

In: Super-High Strength Steels, 1st International Conference, Rom: Associazione Italia di Metallurgia AIM, Mailand, (2005), S. 171.1–171.24

Sonsino, C. M.:

**Zukunftsperspektiven für die Pulvermetallurgie durch die Betriebsfestigkeit.**

In: Pulvermetallurgie in Wissenschaft und Praxis Band 21 (2005) S. 9–27

Sonsino, C. M.:

**Principles of Variable Amplitude Fatigue Design and Testing.**

In: Fatigue Testing and Analysis under Variable Amplitude Loading Conditions (2005) S. 3–23

Sonsino, C. M.:

**Proceedings of the first Symposium on Structural Durability SoSDiD.**

In: First Symposium on Structural Durability SoSDiD, 9–10 Juni, 2005 in Darmstadt

Sonsino, C. M.; Lipp, K.; Eksi, A. et. al.:  
**Warmkompaktieren von Aluminiumpulvern - Mechanismen und Einfluss auf die Eigenschaften.**

In: Kolaska, H. (Hrsg.); VDI u.a.: Hochleistungsprodukte der Pulvermetallurgie: Pulvermetallurgie in Wissenschaft und Praxis. 2005, S. 143–160

Sonsino, C. M.; Fagschlunger, C.; Eichlsleder, W.:

**Abschätzung der tolerierbaren Oxidhautgröße in schwingend belasteten Druckgussbauteilen.**

In: Giesserei-Rundschau (2005), 3/4, S. 60–66

Sonsino, C. M.; Berg-Pollack, A.; Grubisic, V.:

**Betriebsfestigkeitsnachweis von Aluminium-Sicherheitsbauteilen- Stand der Technik.**

In: Materialprüfung 47 (2005), 7-8, S. 404–410

Sonsino, C. M.; Fischer, G.:

**Local assessment concepts for the structural durability of complex loaded components.**

In: Proceedings of the first Symposium on structural durability SoSDiD, Darmstadt. Fraunhofer LBF (2005), S.175–191

Sonsino, C. M.; Lipp, K.:

**Fatigue Design of PM-Gears Under Consideration of Hertzian Pressure with Sliding and Tooth Bending.**

In: SAE World Congress, Detroit, (2005): SAE Paper 2005-01-0709, Warrendale : Society of Automotive Engineers, (2005)

Sonsino, C. M.; Radaj, D.; Fricke, W.:  
**Lokale Konzepte zur betriebsfesten Auslegung von Naht- und Punktschweißverbindungen.**

In: DVM-Bericht 132: Fügen und Betriebsfestigkeit- 32. Tagung des DVM-Arbeitskreises Betriebsfestigkeit, Darmstadt: Deutscher Verband für Materialforschung und –prüfung (2005), S. 21–50

Sonsino, C. M.; Wallmichrath, M.; Küppers, M.:

**Assessments of multiaxial fatigue test results on welded joints by application of the IIW-Formula and modifications.**

IIW-Doc. No. XII-2046-05 (2005)

Sonsino, C. M.; Zenner, H.; Yousefi, F.; Küppers, M.:

**Assessment of Components Under Multiaxial Service Loading - Calculations and Experiments.**

In: Fatigue design 2005. Centre Technique des Industries Mécaniques –CETIM (2005)

Sonsino, C.M.; Zenner, H.; Yousefi-Hashtyani, F. Küppers, M.:

**Present limitations in assessment of components under multiaxial service loading.**

In: Materialprüfung 47 (2005), 5, S. 255–260

Sonsino, C.M.; Zinke, R.; Heim, R.; Hanselka, H.:

**Fahrwerksbauteile aus EN-GJS-400-15 und EN-GJS-800-8 (ADI) unter quasistatischen, schlagartigen und zyklischen Betriebsbelastungen.**

Gießereiforschung 57 (2005) Nr. 4, S. 26–32

Tersch, H.; Schnick, M.; Küppers, M. et. al.:

**Press-Presslöt-Verbindungen: Erhöhung der Momentenübertragungsfähigkeit bei Torsion und Umlaufbiegung durch Press-Presslöt-Verbindung : Forschungsvorhaben Nr. 390/I+II.**

Frankfurt: Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V., 2005, FVA Forschungsvorhaben Heft 758

Tersch, H.; Küppers, M.; Füssel, U.; Hanselka, H. et al.:

**Erhöhung der Momentenübertragung bei Torsion und Umlaufbiegung durch Press-Presslöt-Verbindung.**

In: FVA Forschungsreport (2005)

Wallmichrath, M.; Bruder, T.; Jöckel, M.:

**Virtuelle Prüfumgebung – Neue Ansätze in der simulationsgestützten Bauteil- und Systemprüfung.**

In: 23rd CADFEM User's Meeting 2005, Bonn

Wallmichrath, M.; Jöckel, M.:

**Virtual Test Lab - A simulation based method for the optimisation of test procedures.**

In: Virtual Product Development (VPD) in Automotive Engineering, Müzzzuschlag, (2005)

Wallmichrath, M.; Kaufmann, H.;

Roll, K.:

**Betriebsfeste Auslegung mittels Innenhochdruck umgeformter Bauteile aus AlMgSi0,5 V.**

In: Materialprüfung 47 (2005), 7–8, S. 417–424

Wessling, U.:

**Methodik zur experimentellen und numerischen Schwingfestigkeitsbewertung von Motorradrädern.**

LBF-Bericht Nr. FB 228 (2005)

Wessling, U.; Hanselka, H.; Ehl, O.:

**Sicherheit von Motorrädern: Abgestimmtes Vorgehen von Experiment und Rechnung.**

In: Automotive Engineering Partners 11-12 (2005), S.22–25

Zhang, G.; Sonsino, C. M.:

**Ein Kerbspannungskonzept für die schwingfeste Bemessung von rissähnlichen Schweissnähten aus Aluminiumlegierungen.**

In: DVM-Bericht 132: Fügen und Betriebsfestigkeit- 32. Tagung des DVM-Arbeitskreises Betriebsfestigkeit, Darmstadt: Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung (2005), S. 61–72

Prof. Dr.-Ing. H. Hanselka,  
Dr.-Ing. Kai Wolf  
**Technische Universität Darmstadt**  
**„Zuverlässigkeit im Maschinenbau“**

Prof. Dr.-Ing. H. Hanselka,  
Dr.-Ing. Kai Wolf, Dr. Xisheng Cao  
**Technische Universität Darmstadt**  
**„Systemzuverlässigkeit im Maschinenbau“**

Prof. Dr.-Ing. H. Hanselka,  
Dr.-Ing. Th. Bein  
**Technische Universität Darmstadt**  
**„Grundlagen der Adaptronik“**

Prof. Dr.-Ing. H. Hanselka,  
Dr.-Ing. Th. Bein  
**Technische Universität Darmstadt**  
**„Adaptronik – ein technischer Ansatz zur Lösung bionischer Aufgabenstellungen“**

Prof. Dr.-Ing. H. Hanselka,  
Dipl.-Ing. J. Nuffer,  
Prof. Dr.-Ing. C. M. Sonsino  
**Fraunhofer LBF „Seminar zur Systemzuverlässigkeit im Maschinenbau - Ausgewählte Beiträge zur Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit“ (Seminar)**

Prof. Dr.-Ing. C. M. Sonsino  
**Technische Universität Darmstadt**  
**„Betriebsfestigkeit und bauteilgebundenes Werkstoffverhalten“**

Prof. Dr.-Ing. C. M. Sonsino  
**Universität des Saarlandes Saarbrücken**  
**„Betriebsfestigkeit Teil 1“**

Prof. Dr.-Ing. C. M. Sonsino  
**Universität des Saarlandes Saarbrücken**  
**„Betriebsfestigkeit Teil 2“**

Dr.-Ing. Rainer Storm  
**Technische Universität Darmstadt**  
**„Maschinenakustik – Grundlagen 1“**

Dr.-Ing. Rainer Storm  
**Technische Universität Darmstadt**  
**„Maschinenakustik – Anwendungen 2“**

Dipl.-Ing. Klaus Störzel  
**Fachhochschule Giessen**  
**„Betriebsfestigkeit“**

## Gutachter bei Promotionen

Professor Holger Hanselka:  
Referat / Korreferat:

Schmid, Andreas Joseph  
**Aufbau und Charakterisierung von smarten piezokeramischen Multilayer-Biegewandlern mit integrierter Auslenkungs- und Kraftsensorik, TU Darmstadt.**

Wessling, Ulrich  
**Methodik zur experimentellen und numerischen Schwingfestigkeitsbewertung von Motorrädern, TU Darmstadt.**

Jöckel, Michael  
**Grundlagen des Spaltprofilierens von Blechplatinen, TU Darmstadt.**

Roshdi, Alireza Alizadeh  
**Robuste Regelung zur aktiven Schwingungsdämpfung elastischer Rotoren mit Piezo-Stapelaktoren, TU Darmstadt.**

Vogt, Ted Steffen  
**Prognose des emittierten Luftschalls von Motoren mit Hilfe zweier Methoden zur Schallidentifikation, TU Darmstadt.**

Lührig, Tobias  
**Risikomanagement in der Produktentwicklung der deutschen Automobilindustrie - von der Konzept bis zum Produktionsanlauf, TU Darmstadt.**

Professor Cetin Morris Sonsino:  
Referat / Korreferat:

Fagschlunger, Christoph  
**„Schwingfestigkeit von Al-Druckgusslegierungen unter Berücksichtigung fertigungsprozessbedingter Werkstoffinhomogenitäten“, Montanuniversität Leoben.**

## Gutachter bei Habilitationen

Professor Cetin Morris Sonsino:  
Referat / Koreferat:

Taheri, Said  
**«Sur le comportement cyclique et la fatigue des métaux et des structures métalliques», Université Paris XIII.**

**FhG-Nr. 04F45110**

H. Hanselka, E. Schwen

Streicherbogen für Streichinstrumente  
Patent-Nr.: DE 10 2004 024 918 B3  
Erteilung: 24. 11. 2005

**FhG-Nr. 03F43450**

T. Melz, H.-S. Kang, E. Zimmerman

Vorrichtung für ein Kraftfahrzeug  
zum Insassenschutz bei einem kollisionsbedingten, auf eine Kraftfahrzeugtür gerichteten Energieeintrag  
Patent-Nr.: DE 103 58 023 B4  
Erteilung: 13. 10. 2005

**FhG-Nr. 03F43290**

T. Melz, M. Matthias,  
T. Bein, E. Zimmerman

Vorrichtung und Verfahren zur Erhöhung des Insassenschutzes in einem Fahrzeug bei einem Seitenaufprall  
Patent-Nr.: DE 103 41 329 B4  
Erteilung: 22. 09. 2005

**FhG-Nr. 03F43291**

T. Melz, M. Matthias,  
E. Zimmerman,  
R. Aufmkolk, H. Köllner

Vorrichtung und zugehöriges Verfahren zum Insassenschutz in einem Fahrzeug  
Patent-Nr.: DE 103 41 328 B4  
Erteilung: 01. 09. 2005

**FhG Nr. 98F34156**

C. M. Sonsino, U. Brandt

Verfahren und Einrichtung zur Belastungsprüfung von Ventilen  
Patent-Nr.: DE 198 36 963 C2  
Erteilung: 07. 09. 2000

**FhG Nr. 97F33377**

G. Fischer, V. Grubisic

Einrichtung zur Prüfung von Fahrzeugrädern  
Patent-Nr.: DE 197 58 241 C2  
Erteilung: 07. 09. 2000

Anwendung einer Einrichtung zur Prüfung von Fahrzeugrädern  
Patent-Nr.: EP 0 927 879 B1  
Erteilung: 03. 04. 2002

Device for Testing Vehicle Wheel  
Patent-Nr.: US 6,116,084  
Erteilung: 12. 09. 2000

**FhG Nr. 95F31338**

K. Amelung

Verfahren zur optischen Anrißerkennung  
Patent-Nr.: DE 196 25 419 C2  
Erteilung: 15. 06. 2000

**FhG Nr. 97F33376**

G. Fischer, V. Grubisic, J. Klock

Einrichtung zur Prüfung von Fahrzeugrädern o. dgl., insbesondere zum Betriebsfestigkeitsnachweis an Motorrad-Rädern  
Patent-Nr.: DE 198 00 350 C2  
Erteilung: 02. 03. 2000

Apparatus for Testing Automotive Wheels and Parts thereof especially Motorcycle Wheels  
Patent-Nr.: US 6,382,020 B1  
Erteilung: 07. 05. 2002

**FhG Nr. 93F30591**

D. Schütz, H. Klätschke

Verfahren zur Raffung gemessener, mehraxialer Belastungszeitfunktionen, insbesondere für Schwingfestigkeitsuntersuchungen von Bauteilen  
Patent-Nr.: EP 0 684 465 B1  
Erteilung: 01. 03. 2000

**FhG Nr. 91F24966**

J. Klock, V. Grubisic,  
G. Fischer, P. Wypich, M. Streicher

Einrichtung zum Prüfen von Balgfedern, insbesondere für Kraftfahrzeuge und Kraftfahrzeuganhänger, unter betriebsähnlichen Belastungsbedingungen  
Patent-Nr.: EP 0 569 939 B1  
Erteilung: 18. 03. 1998

**FhG Nr. 92F30042**

A. Rupp, V. Grubisic, J. Neugebauer

Messrad mit mehreren kombinierten Radial-/Tangentialverbindungen  
Patent-Nr.: EP 0 570 671 B1  
Erteilung: 29. 12. 1997

**FhG Nr. 91F24916**

A. Müller, V. Grubisic, G. Fischer

Verfahren zur Prüfung von Kraftfahrzeugbaugruppen, insbesondere von Einzelradaufhängungen  
Patent-Nr.: EP 0 554 779 B1  
Erteilung: 23. 10. 1996

Test Rig and Process for Testing Motor Vehicle Assemblies, in particular Independent Wheel Suspension  
Patent-Nr.: US 5,487,301  
Erteilung: 30. 01. 1996

**FhG Nr. 91F24804**

G. Fischer, V. Grubisic

Einrichtung zum Prüfen der an Fahrzeugrädern angreifenden Drehantriebsverbindung unter betriebsähnlichen Belastungsbedingungen  
Patent-Nr.: EP 0 507 058 B1  
Erteilung: 09. 08. 1995

**FhG Nr. 88F21838**

A. Rupp, H. Loritz, W. Merten

Vorrichtung für das Einspannen von dünnwandigen Hohlprofilen  
Patent-Nr.: DE 39 04 903 C2  
Erteilung: 28. 07. 1994

**FhG Nr. 88F22298**

J. Klock, G. Fischer, V. Grubisic

Einrichtung zum Prüfen von Anhängerkupplungen unter betriebsähnlichen Belastungsbedingungen, vorzugsweise unter Einschluß der Anhängerkupplungs-Befestigungskonstruktion  
Patent-Nr.: EP 0 368 054 B1  
Erteilung: 09. 06. 1993

**FhG Nr. 88F21917**

J. Klock, G. Fischer, V. Grubisic

Verfahren und Vorrichtung zum Prüfen von Nutzfahrzeugachsen mit Federn.  
Patent-Nr.: EP 0 350 608 B1  
Erteilung: 29. 09. 1993

Process and Apparatus for Testing the Axles and/or Springs and/or Adjacent Components of Commercial Vehicles  
Patent-Nr.: US 4,951,504  
Erteilung: 28. 08. 1990

**FhG Nr. 85F19419**

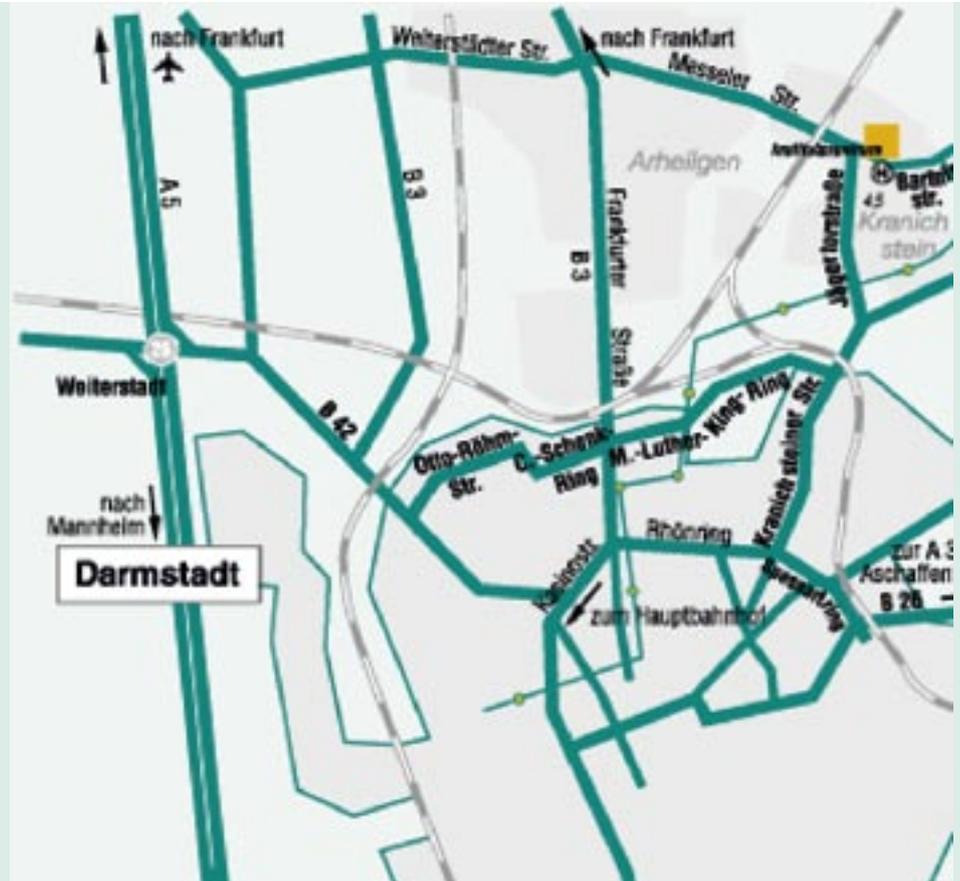
G. Fischer, V. Grubisic

Verfahren und Einrichtung zur Prüfung von Schienenfahrzeugrädern  
Patent-Nr.: EP 0 232 855 B1  
Erteilung: 10. 10. 1990

Method and Apparatus for Testing Rail Vehicle Wheels  
Patent-Nr.: US 4,800,748  
Erteilung: 31. 01. 1989



**Fraunhofer** Institut  
Betriebsfestigkeit  
Systemzuverlässigkeit



Fraunhofer-Institut für  
Betriebsfestigkeit und  
Systemzuverlässigkeit LBF  
Bartningstraße 47  
64289 Darmstadt

Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-1  
Fax: +49 (0) 61 51 / 7 05-2 14  
info@lbf.fraunhofer.de  
www.lbf.fraunhofer.de

## Auto

Autobahn A 5, Ausfahrt Weiterstadt, B 42 Richtung Darmstadt, nach ca. 1,5 km hinter der Eisenbahnunterführung links (Otto-Röhm-Straße), nach ca. 800 m an der Ampel links (Carl-Schenck-Ring), danach immer geradeaus über die große Kreuzung Frankfurter Straße (Martin-Luther-King-Ring) bis zum Ende (1 300 m), dort links abbiegen (Eisenbahnunterführung) und nach 250 m erneut links, Richtung »Institutszentrum« (Jägertorstraße). Die 5. Straße rechts ist die Bartningstraße. Hier finden Sie das Fraunhofer LBF nach ca. 100 m, links im Institutszentrum.

Autobahn A 3, Ausfahrt Aschaffenburg, Bundesstraße B 26 bis nach Darmstadt. Dort an der ersten Ampel rechts, Richtung Frankfurt, nach ca. 1 km an der 2. Ampel rechts, Richtung Messel, Darmstadt-Kranichstein, nach ca. 1,5 km dem Hinweis »Institutszentrum« folgen.

Besucherparkplätze für Pkw auf dem Parkdeck direkt vor dem Institut.

## Bahn

Vom Hauptbahnhof Darmstadt mit der Straßenbahn 4/5 Richtung »Kranichstein Bahnhof« direkt bis zur Haltestelle »Institutszentrum«, Fahrzeit etwa 25 Minuten.

## Flugzeug

Ab Flughafen Frankfurt/Main Bahnverbindungen bis Darmstadt-Hauptbahnhof, oder Bus AIR ab Haltestelle Nr. 14, gegenüber der Ankunftshalle B bis Darmstadt-Luisenplatz, weiter mit Straßenbahn 4/5 Richtung »Kranichstein Bahnhof« direkt bis zur Haltestelle »Institutszentrum«, Fahrzeit ca. 50 Minuten.

## Koordinaten für GPS:

49° 54' 13" N  
08° 40' 56" E

# Impressum

## **Herausgeber**

Fraunhofer-Institut für  
Betriebsfestigkeit und  
Systemzuverlässigkeit LBF  
Bartningstraße 47  
64289 Darmstadt

Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-1  
Fax: +49 (0) 61 51/ 7 05-2 14  
info@lbf.fraunhofer.de  
www.lbf.fraunhofer.de

## **Institutsleitung**

Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka

## **Redaktion**

Dr. Ursula Eul,  
Strategisches Management

## **Koordination**

Anke Zeidler-Finsel,  
Presse und Öffentlichkeitsarbeit

## **Konzeption**

Sperlich Consulting GmbH,  
Göttingen, [www.sperlich-consulting.de](http://www.sperlich-consulting.de)

## **Design/Layout/PrePress**

Buttgereit und Heidenreich GmbH,  
Haltern am See, [www.b-und-h.de](http://www.b-und-h.de)

## **Fotografie**

Wolfram S.C. Heidenreich

## **Druck**

printmediapart GmbH & Co. KG,  
Gelsenkirchen,  
[www.printmediapart.com](http://www.printmediapart.com)

© Fraunhofer-Institut für Betriebs-  
festigkeit und Systemzuverlässigkeit  
LBF, Darmstadt, Februar 2006

Alle Rechte, insbesondere das Recht  
der Vervielfältigung und Verbreitung  
sowie der Übersetzung, vorbehalten.

**LBF**

Mit Sicherheit **innovativ.**