



Fraunhofer

LBF

VIBRATION TECHNOLOGY, LIGHTWEIGHT DESIGN,
RELIABILITY, POLYMER TECHNOLOGY

**SCHWINGUNGS-
TECHNIK**
VIBRATION
TECHNOLOGY



POLYMERTECHNIK
POLYMER
TECHNOLOGY



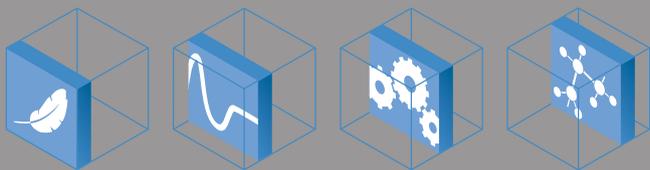
LEICHTBAU
LIGHTWEIGHT
DESIGN



ZUVERLÄSSIGKEIT
RELIABILITY



Jahresbericht Annual report 2015



Strukturdynamik und Schwingungstechnik
Baugruppen und Systeme
Forschungsgroßgeräte
Zuverlässige Signalverarbeitung und Strukturüberwachung
Zentrum für Systemzuverlässigkeit / Elektromobilität
Betriebsfester und funktionsintegrierter Leichtbau
Aktoren und Sensoren

Polymersynthese
Kunststoffverarbeitung und Bauteilauslegung
Rezepturenentwicklung und Dauerhaftigkeit
Betriebsfester und funktionsintegrierter Leichtbau
Forschungsgroßgeräte

SCHWINGUNGSTECHNIK
VIBRATION
TECHNOLOGY



POLYMERTECHNIK
POLYMER
TECHNOLOGY



ZUVERLÄSSIGKEIT
RELIABILITY



LEICHTBAU
LIGHTWEIGHT
DESIGN



Aktoren und Sensoren
Werkstoffe und Bauteile
Baugruppen und Systeme
Betriebsfester und funktionsintegrierter Leichtbau
Kunststoffverarbeitung und Bauteilauslegung
Rezepturenentwicklung und Dauerhaftigkeit
Zuverlässige Signalverarbeitung und Strukturüberwachung
Zentrum für Systemzuverlässigkeit / Elektromobilität ZSZ-e

Strukturdynamik und Schwingungstechnik
Baugruppen und Systeme
Werkstoffe und Bauteile
Betriebsfester und funktionsintegrierter Leichtbau
Kunststoffverarbeitung und Bauteilauslegung
Polymersynthese

Inhalt

EINBLICKE

- 6 Vorwort der Institutsleitung.
- 10 Das Fraunhofer LBF in Zahlen.
- 12 Das Fraunhofer LBF im Profil.

FORSCHUNG MIT SYSTEM!

- 16 Mit Sicherheit vernetzt.
- 18 Geschäftsfelder.
- 20 Leistung auf den Punkt gebracht.
- 30 Forschungsbereiche.
- 38 Das LBF Managementteam.
- 40 Kuratorium.
- 42 Partner 2015.

LEISTUNG MIT SYSTEM

Schwingungstechnik

- 46 Bestimmung der dreidimensionalen Schallausbreitung.
- 48 Hochpräzise Versuchsstände für dynamisch belastete mechatronische Komponenten.
- 50 Hybrider magnetorheologischer Fahrwerksdämpfer.
- 52 Schwingungsminderung mit der Mechanical Simulation Toolbox.
- 54 Minderung des Wolftons.
- 56 Leichtbau Querlenker mit integrierter Piezokeramik.
- 58 Digitalisierung von Prozessen und Produkten.

Leichtbau

- 62 Verformung von CFK-Teilen im Testflug exakt nachgewiesen.
- 64 Individuelle Prüftechnik für PKW-Kraftstoffbehälter.
- 66 Hybride Leichtbauhinterachse für E-Mobile.
- 68 FasTEST – Festigkeitsbezogene anwendungsspezifische Test-Verfahren.

Zuverlässigkeit

- 72 Effiziente Modellbildung für echtzeitfähige Systemsimulationen.
- 74 Ableitung eines Ersatzversuches zur Bauteilprüfung.
- 76 Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität FSEM II.

- 78 Erreicht das E-Fahrzeug sein Ziel?
- 80 Neue Methoden zur Validierung von Simulationsmodellen.
- 82 Kosteneffiziente Batterieentwicklung.

Polymertechnik

- 86 FKV-Sandwichbauteile mit homogenen Funktionalitäten.
- 88 Chemische Synthese zwischen Labor und Produktion.
- 90 Bestimmung der Harze und Härter in gehärteten Epoxidharzen.
- 92 Früherkennung von witterungsbedingten Lackschäden.
- 94 Hohe Wirtschaftlichkeit bei der Compoundierung.
- 96 Optimierte Auslegung von kurzfaserverstärkten Kunststoffbauteilen.

NEUE PERSPEKTIVEN

- 100 Recycling halogenfrei flammgeschützter Kunststoffe.
- 101 Ein Tag im Zeichen des Elastomers.
- 102 Mechanisches Langzeitverhalten von Kunststoffen – Messen, Modellieren, Simulieren.
- 103 Rotordynamik.
- 104 Entwicklung innovativer Energie- und Thermomanagementtechnologien für Elektrofahrzeuge.
- 105 Das assoziierte Fachgebiet.

LABOREINRICHTUNG UND PRÜFLEISTUNGEN

NETZWERKE

- 112 Die Fraunhofer-Gesellschaft.
- 113 Fraunhofer-Verbund MATERIALS.
- 114 Ausgründungen und Beteiligungen des Fraunhofer LBF.
- 115 Kompetenznetz Adaptronik e.V.
- 116 Allianzen und Netzwerke.
- 117 Impressum.
- 118 Besuchen Sie uns im Fraunhofer LBF.



Index

INSIGHTS

- 8 Directos preface.
- 10 Fraunhofer LBF in numbers.
- 14 Profile Fraunhofer LBF.

SYSTEMATIC RESEARCH!

- 17 Networked for sure.
- 18 Business Areas.
- 20 Focused services.
- 30 Research Divisions.
- 38 LBF Management Team.
- 40 Board of Trustees.
- 42 Partner 2015.

SYSTEMATIC SERVICES

Vibration Technology

- 46 Evaluation of the three-dimensional propagation of noise.
- 48 High-precision test rigs for dynamically loaded mechatronic components.
- 50 Hybrid magnetorheological damper.
- 52 Vibration Reduction on the basis of the Mechanical Simulation Toolbox.
- 54 Wolf note elimination.
- 56 Lightweight control arm with integrated piezoceramics for vibration control.
- 58 Industrial Internet of Things.

Lightweight Design

- 62 Precise demonstration of CFRP parts deformed during a test flight.
- 64 Individual test technique for passenger car petrol tanks.
- 66 Hybride rear axle in lightweight design for e-mobil.
- 68 FasTEST – Fatigue Related Application Specific Testing Solution.

Reliability

- 72 Efficient modelling for real-time system simulations.
- 74 Development of a simplified component test.
- 76 Fraunhofer System Research for E-Mobility FSEM II.

- 78 Will the electric vehicle reach its destination?
- 80 New Methods for Validating Simulation Models.
- 82 Cost-effective battery development.

Polymer Technology

- 86 FRP sandwich components with homogeneous functionalities.
- 88 Chemical synthesis between laboratory and production.
- 90 Determining the resins and hardeners in crosslinked epoxy resins.
- 92 Early detection of weathering-induced damages in coatings.
- 94 Improve of efficiency during compoundig.
- 96 Optimized dimensioning of short fibre reinforced thermoplastic components.

NEW PROSPECTS

- 100 Recycling of halogen-free flame retardant plastics.
- 101 A day dedicated to elastomers.
- 102 Mechanical long-term behavior of plastics – measure, model, simulate.
- 103 Rotor Dynamics.
- 104 Innovative energy and thermal management technologies for electric vehicles.
- 105 Associated Department.

LABORATORY EQUIPMENT AND TESTING FACILITIES

NETWORKS

- 112 The Fraunhofer Gesellschaft.
- 113 The Fraunhofer Group MATERIALS.
- 114 Fraunhofer LBF spin-offs.
- 115 Rhein-Main Adaptronik e.V.: One partnership – many advantages.
- 116 Alliances and networks.
- 117 Imprint.
- 118 Visite us at Fraunhofer LBF.



»Forschung mit System!«

Sehr geehrte Damen und Herren,
liebe Kunden und Partner des Fraunhofer LBF,

die Mission von Fraunhofer ist es, anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen für die Wirtschaft und zum Vorteil für die Gesellschaft zu fördern und zu betreiben. Diese Mission treten wir gemeinsam mit Ihnen jeden Tag erfolgreich auf. Neue an und richten Handeln und Weiterentwicklung daran aus.

Diese Mission lebt das Team des LBF traditionell mit einer großen Nähe zur Anwendung und zur Wirtschaft. Eine enge Abstimmung mit Ihnen, unseren Kunden und Partnern, sowie ein vertrauensvoller Dialog sind uns sehr wichtig, um heutige und zukünftige Bedarfe bestmöglich zu verstehen und uns darauf auszurichten. Dass wir auf dem richtigen Weg sind, spiegeln Ihre positiven Rückmeldungen und die stabile wirtschaftliche Lage des Fraunhofer LBF wider: Auch in 2015 liegt unser Ertrag durch Wirtschaftskooperationen bei 55 % des Haushaltes – ein überdurchschnittlich starker Wert, wenn man das Fraunhofer-Finanzierungsmodell betrachtet.

Zusammengefasst ist unsere wirtschaftliche und wissenschaftliche Lage weiterhin sehr stabil und wir freuen uns, Ihnen auch zukünftig ein verlässlicher, innovativer Partner zu sein.

Unser Selbstverständnis und Angebot

Das LBF versteht sich als zentraler Experte in letztlich allen Fragen rund um mechanische Bauteile bis hin zu Struktursystemen. Dabei reicht unser FuE-Angebot von der Analyse, Entwicklung und Verbesserung von Werkstoffsystemen, der Einflussbewertung von Fertigungs- und Verarbeitungstechnologien, der Auslegung und Optimierung von Bauteilen und Systemen, der prototypischen Realisierung über die Systemintegration bis hin zur Untersuchung und Funktionsnachweis im produkttechnischen Umfeld.

Unser Anspruch ist es, unsere Partner in diesem Umfeld mit unseren Forschungsbereichen der Betriebsfestigkeit, der Kunststofftechnik, der Adaptronik und der Systemzuverlässigkeit optimal zu unterstützen und technologie- und kundenorientiert

die jeweils besten Lösungen zu erarbeiten. Dabei greifen wir auf ein Team von mehr als 400 Mitarbeitenden zurück, die in unterschiedlichen Disziplinen z. B. dem Maschinenbau, der Chemie, der Elektronik, Physik und Mathematik ausgebildet sind. Diese fachliche Breite und die hohe Kundennähe erlaubt es uns, zunehmend geforderte ganzheitliche, vernetzte und interdisziplinäre Systemlösungen zu erarbeiten.

Zu diesem Jahresbericht

Um dieses Angebot im Außenraum gut zu verdeutlichen und auch neuen Kunden den Zugang zu uns zu erleichtern, haben wir unsere FuE-Leistungsfelder, in denen eine überwiegende Vielzahl unserer Projektthemen liegen, offensiver herausgestellt. In den Feldern der Schwingungstechnik, dem Leichtbau, der Zuverlässigkeit und der Polymertechnik arbeiten Teams aus unseren vier Forschungsbereichen eng zusammen, um Sie bestmöglich zu unterstützen.

Der vorliegende Jahresbericht soll dies mit einigen Beispielen beschreiben und Ihnen helfen, sich mit Ihren Herausforderungen bei uns gut wiederzufinden.

Die im letzten Jahr unter »Neue Perspektiven« angekündigte Toolbox zur schnellen Simulation von schwingungstechnischen Maßnahmen (S. 52) hilft Ihnen zukünftig bei schwingungstechnischen Problemstellungen. Mittels Hardware-in-the-loop-Lösungen (S. 48) bringen wir für Sie die Realität ins Labor (S. 74), bieten Ihnen effiziente Möglichkeiten zur Modellbildung für die Systemsimulation (S. 72) und steigern dabei gleichzeitig die Simulationsgüte (S. 80). Dies erlaubt es, Entwicklungszeiten zu verkürzen.

Im Leichtbau agieren wir für Sie schon viele Jahre als bewährter, branchenübergreifender Impulsgeber. Von Kleinstproben (S. 68), über Fahrzeug- (S. 64 und S. 66) bis hin zu ganzen Flugzeugkomponenten (S. 62) sind wir der richtige Ansprechpartner.

Als anwendungsnahe Forschungseinrichtung helfen wir kontinuierlich bei der Überführung wissenschaftlich-technologischer

Ergebnisse in reale Produkte. Dabei helfen unsere Einrichtungen wie das polymerchemische Kilolabor (S. 88) und der neue multiaxiale Schwingtisch MAST (S. 82).

Auch beim Trend nach zunehmender Digitalisierung von Produkten helfen wir Ihnen. Als Experte der aktiven Struktursysteme arbeiten wir seit 15 Jahren an der Digitalisierung mechanischer Strukturen und entwickeln uns von hier aus weiter. Im Jahresbericht sprechen wir exemplarisch ein aktuelles Thema der Nutzung kostengünstiger Sensorik an, hier am Beispiel der Schallintensitätsmessung (S. 46). Wir arbeiten an der Integration sensorischer und aktorischer Funktionen in Bauteile und Systeme, auch hier geht es immer mit um Kosten. Den aktorischen Eingriff in das Schwingungsverhalten stellen wir dieses Mal am Beispiel der energieeffizienten Dämpfungsanpassung im Fahrwerkbereich (S. 50) und an schwingungsberuhigten Trägern (S. 56) dar. Auch neue Möglichkeiten im Kontext der Industrie 4.0 sprechen wir an (S. 58).

Diese Projekte verdeutlichen beispielhaft: Das Fraunhofer LBF bietet Ihnen in vielerlei Hinsicht »Forschung mit System«.

Eine letzte Sache

Zum 1. Januar 2016 wurde ich von der Fraunhofer-Gesellschaft als neuer Institutsleiter berufen. Gleichzeitig hat die TU Darmstadt mir die Leitung des Fachgebietes Systemzuverlässigkeit, Adaptronik und Maschinenakustik übertragen. Ich freue mich über diese neue Herausforderung und eine spannende Zukunft mit Ihnen, unseren Kunden und Projektpartnern!

Ich danke Ihnen für die sehr guten Kooperationen, den offenen, konstruktiven Austausch und für Ihr Vertrauen, das es uns ermöglicht, Ihnen bestmöglich zu helfen. Ich freue mich auf eine gemeinsam erfolgreiche Zukunft!



Prof. Dr.-Ing. Tobias Melz

Ladies and Gentlemen, Clients and Partners of the Fraunhofer LBF,

It is Fraunhofer's mission to carry out and promote applied research to the benefit of industry and to the advantage of society. Every day, with you on board, we succeed in enhancing this mission. The LBF team traditionally operates in very close proximity to the application and to industry. It is very important for us to work in harmony with our customers and partners and to hold frank and fruitful discussions with them. This enables us to appreciate both their current and future requirements and so empowers us to satisfy them. Your positive feedback and the stable economic situation of the Fraunhofer LBF reflect the fact that we are on the right track. In 2015 our earnings due to economic cooperation are again 55 % of the budget – an exceptionally high figure considering the Fraunhofer funding model.

In summary, our economic and scientific situation remains very stable and we are pleased to present ourselves as a reliable, innovative partner for the future.

Our self-image and range

The LBF ultimately views itself as a leading expert in all matters relating to mechanical components and structural systems. Our range of R&D services covers the analysis, development and improvement of material systems, the impact assessment of manufacturing and processing technologies, the design and optimization of components and systems, implementation of prototypes, system integration, investigation and proof of function in the product-related environment.

Our commitment to provide our partners with optimum service in this environment is supported by our research divisions of Structural Durability, Plastics Technology, Smart Structures and System Reliability, where the best technology- and customer-oriented solutions are developed. We benefit from a reliable team of more than 400 employees who are trained in various disciplines, such as mechanical engineering, chemistry,

electronics, physics and mathematics. This professional breadth and our high level of customer proximity enables us to prepare the integrated, networked and interdisciplinary system solutions that are increasingly required.

About this annual report

In order to share our range of services with a wider public and also to facilitate contact from new customers, we are taking a proactive approach by highlighting our key performance fields in R&D, the area which covers most of our project topics. Teams from our four research areas, Vibration Technology, Reliability, Lightweight Construction and Polymer Technology, work closely together, thus providing you with the best possible support.

The current annual report contains illustrations of how we can help you meet your challenges.

The toolbox for fast simulation of vibration control measures (p. 52), which was announced last year in »New Perspectives«, will help you with vibration problems in the future. Using hardware-in-the-loop solutions (p. 48), we take reality into the laboratory (p. 74), offering you efficient opportunities for creating models for system simulation (p. 72) and at the same time increasing the simulation quality (p. 80). This makes it possible to shorten development times.

In Lightweight Construction, we have been acting for you already as a proven cross-industry motivator for many years. From very small samples (p. 68) and vehicle components (p. 64 and p. 66) to whole aircraft components (p. 62), we are the right people for the job.

As an applied research establishment, we continuously aid the transfer of scientific and technological results to real products. Our facilities, such as the polymer chemical kilo laboratory (p. 88) and the new multiaxial shaker MAST (p. 82), contribute to this process.

We can also help you with the trend towards the increasing digitization of products. As experts in active structural systems, we have been working on the digitization of mechanical structures for 15 years and are continuing along this development route. In the annual report we illustrate a current topic on the utilization of low-cost sensors based on the example of developing new methods for measuring sound intensity (p.46). We are working on the integration of sensor and actuator functions in components and systems where cost is increasingly a factor. In this report we describe the intervention of actuators in vibration behavior using the example of energy-efficient damping adjustment in the chassis (p. 50) and vibration-attenuated carriers (p. 56). We also address new opportunities in the context of Industry 4.0 (p. 58).

All of these are merely examples aimed at showing the many ways the Fraunhofer LBF can offer »Systems-based research«.

One last thing

On 1 January 2016, I was appointed as the new institute director of the Fraunhofer Gesellschaft. At the same time, the TU Darmstadt made me head of the Department of System Reliability, Adaptronics and Machine Acoustics. I am really happy about this new challenge and look forward to an exciting future with you, our customers and project partners!

On behalf of the team at the Fraunhofer LBF, I would also like to thank you for the excellent cooperation, open and constructive exchange of ideas and for your confidence in us. This all helps us to help you, to the best of our ability and so I look forward to a successful future together!



Prof. Dr.-Ing. Tobias Melz

Das Fraunhofer LBF in Zahlen.

Fraunhofer LBF in numbers.

Betriebshaushalt Operational budget [T €]	2015
Aufwand Betriebshaushalt	30.070

Erträge Betrieb | Income of operation

Bearbeitung von Aufträgen aus der Industrie	14.694
Bearbeitung von Forschungsaufgaben für Wirtschaftsverbände	1.790
Bearbeitung von Forschungsaufgaben für die EU	1.485
Bearbeitung von Forschungsaufgaben für Bund/Länder	3.030
Institutionelle Förderung des BMBF und der Länder zum Betriebshaushalt	5.579
Anschubfinanzierung Land Hessen	1.518
Interne Programme	1.347
sowie sonstige Erträge	627
Summe total	30.070

Investitionen | Investments

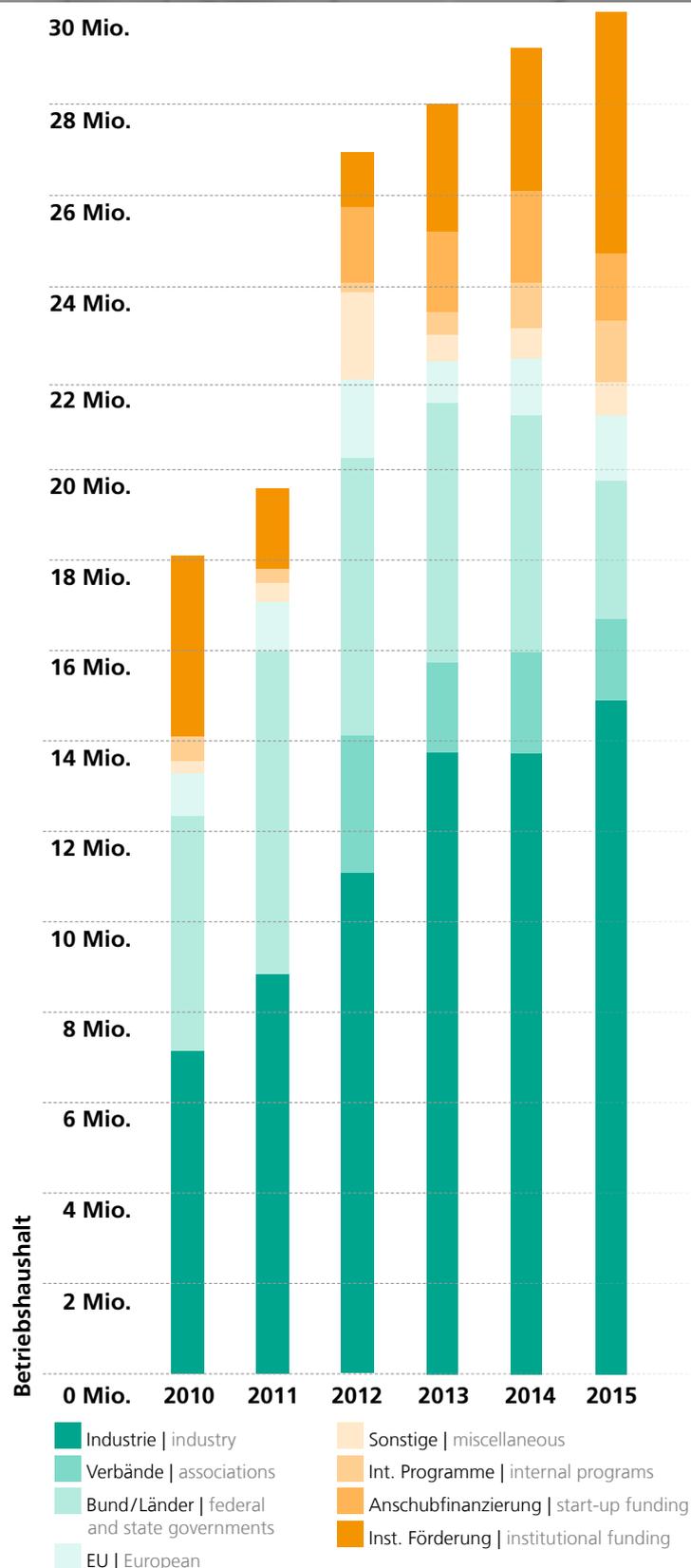
aus der institutionellen Förderung des BMBF und der Länder	1.258
aus Vertragsforschungsvorhaben	406
Summe total	1.664

Personal

2015 waren am Institut insgesamt 414 Mitarbeiter beschäftigt (inkl. Hiwis, Azubis, Praktikanten, Diplomanden und Leiharbeitnehmer). Zusätzlich waren 64 Mitarbeiter an den assoziierten Lehrstühlen der TU Darmstadt tätig.

Personnel

In 2015 the institute had 414 employees (including research assistants, apprentices, trainees, graduate students and borrowed workers). In addition 64 persons were employed by the Technical University Darmstadt (all numbers refer to persons).



Fraunhofer LBF – Zahlen und Fakten.

Fraunhofer LBF – further facts and figures.

Informationen zu wissenschaftlichen Veröffentlichungen 2015, Vorträgen, Vorlesungen, Promotionen, Patenten sowie unserem Engagement in Fachausschüssen bieten wir Ihnen in einem gesonderten PDF an. Sie finden es auf unserer Internetseite www.lbf.fraunhofer.de/datenundfakten. Darüber hinaus informieren wir Sie auf den Fraunhofer LBF-Webseiten auch stets über aktuelle Vorträge unserer Wissenschaftler sowie über Veranstaltungen und Messen, an denen das Fraunhofer LBF beteiligt ist.

Information regarding scientific publications released in 2015, papers, lectures, doctorates, patents and our involvement in various technical committees has been consolidated in a separate pdf file, which you will find on our website www.lbf.fraunhofer.de/datenundfakten. In addition, our website also provides information on the latest papers read by our scientists as well as information on ongoing events and trade shows attended by Fraunhofer LBF.

74x Mitarbeit in internationalen
Fachausschüssen und Gremien

Work in international expert committees and panels

30x Vorlesungen
Lectures

47x Akademische Abschlüsse
(Promotionen, Master, Diplomarbeiten)
Academic examinations

314x Presseerwähnungen
Media Coverages

77x wissenschaftliche Veröffentlichungen
Scientific publications



Weitere Informationen unter:
[www.lbf.fraunhofer.de/
datenundfakten](http://www.lbf.fraunhofer.de/datenundfakten)



Fraunhofer

LBF

Forschung mit System!

Mehr als 400 Mitarbeiter, Experten und Fachkräfte unterschiedlicher Disziplinen bringen am Fraunhofer LBF und dem assoziierten Fachgebiet Systemzuverlässigkeit, Adaptronik und Maschinenakustik an der TU Darmstadt gemeinschaftlich ihr Know-how in die interdisziplinäre Projektarbeit und fortschrittliche FuE-Dienstleistungen ein. Im Mittelpunkt steht das Bestreben, hervorragende Ergebnisse mit größtmöglichem Nutzen für Kunden und Projektpartner zu erzielen. Als eines der traditionsreichsten Institute der Fraunhofer-Gesellschaft kann das Fraunhofer LBF auf fast acht Jahrzehnte Kooperationserfahrung setzen, mit OEM und mit Zulieferunternehmen, mit Unternehmen der Großindustrie und KMU, mit Partnern aus der Wirtschaft und aus der Wissenschaft. Nicht zuletzt hierauf begründet sich das gute System- und Wertschöpfungsverständnis der LBF-Wissenschaftler.

Hierfür erbringt das Team des Fraunhofer LBF Leistungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette, vom Werkstoff und dessen Verarbeitung über die Realisierung des fertigen Bauteils und des komplexen Systems bis hin zur Qualifizierung im Hinblick auf Sicherheit und Zuverlässigkeit. Dies geschieht in den Leistungsfeldern **Schwingungstechnik, Leichtbau, Zuverlässigkeit und Polymertechnik** und beinhaltet Lösungen vom Produktdesign bis zur Nachweisführung – maßgeschneidert für Sie, für jeden einzelnen Kunden. Speziell im Leistungsfeld Polymertechnik kann das Institut mit der Polymersynthese und umfassender Materialcharakterisierung bereits in einer besonders frühen Stufe der Wertschöpfung unterstützen.

Partner im Entwicklungsprozess

Über sein charakteristisches, weit gespanntes Kompetenz- und Leistungsportfolio erreicht das Fraunhofer LBF eine Vielzahl unterschiedlicher Märkte. Die Kunden des Instituts stammen vor allem aus dem Automobil- und Nutzfahrzeugbau sowie aus der Chemischen Industrie, aber auch aus dem Maschinen- und Anlagenbau, der Luftfahrt und Verteidigung, der Schienenverkehrstechnik, dem Schiffbau, der Energietechnik, dem Bauwesen, der Elektronik und Elektrotechnik sowie weiteren

Branchen. Die Wissenschaftler und Techniker des Instituts verstehen sich als aktive Begleiter im Innovationsprozess ihrer Kunden. Sie wirken als verlässliche Partner bei der Produktentwicklung mit, analysieren komplexe Problemstellungen, erarbeiten, bewerten und realisieren maßgeschneiderte Lösungen für sicherheitsrelevante maschinenbauliche Systeme, schwingungsanfällige Leichtbaustrukturen und komplexe elektromechanische Systeme. Sie unterstützen strukturierte Produktentstehungsprozesse, unter anderem nach dem »V-Modell«.

Neben der Bewertung und optimierten Auslegung passiver mechanischer Strukturen werden auch aktive, mechatronisch-adaptronische Systemlösungen erarbeitet und prototypisch umgesetzt. Begleitend entwickelt das Fraunhofer LBF die entsprechenden numerischen sowie experimentellen Entwicklungsmethoden und Prüftechniken vorausschauend weiter. Das Institut schlägt damit die Brücke zwischen Wissenschaft und industrieller Anwendung – regional, national und international.

Die operative Arbeit wird durch kontinuierliche Analysen zur Kundenzufriedenheit der kritischen Prüfung unterzogen. Das Managementsystem des Fraunhofer LBF ist nach DIN ISO EN 9001:2000 zertifiziert, das Prüflabor nach den Anforderungen der DIN ISO-IEC 17025 akkreditiert. Auf dieser Basis erfreut sich das Institut einer außerordentlich hohen Kundentreue, über Jahrzehnte hinweg. Diese zu halten und weiter auszubauen, ist unser fester Wille.

Zukunft gestalten!

In enger Zusammenarbeit mit dem assoziierten Fachgebiet an der TU Darmstadt greift das Fraunhofer LBF zukunftsorientierte Forschungsthemen auf und entwickelt sie im Verbund mit seinen Kunden gezielt zu Produkt- und Prozessinnovationen weiter. Es entstehen Lösungen, durch die neue Trends mitgeprägt werden. Dabei nutzt das Institut seine starken Kernkompetenzen systematisch und bereichsübergreifend: Die numerische und experimentelle Betriebsfestigkeit, die Systemzuverlässigkeit, die Adaptronik und die Kunststofftechnik werden mit hoher

Innovationskraft und großer Dynamik sowohl in der Tiefe als auch in der Breite weiter entwickelt. Das Institut fasst seinen Zukunftsplan in ein regelmäßig aktualisiertes Strategiedokument und lässt dieses durch externe Gutachter überprüfen und bewerten.

Was uns verbindet

Die vertrauensvolle, nachhaltig erfolgreiche Zusammenarbeit, im Team des Fraunhofer LBF und der Fraunhofer-Gesellschaft

ebenso wie mit Kunden und Partnern, betrachten wir als höchstes Gut. Dafür setzen sich die Führungskräfte und die Mitarbeiter des Fraunhofer LBF mit großem persönlichem Engagement ein. Die Grundlage bilden **Leistungsbereitschaft, Integrität, Mut, Transparenz und Verbindlichkeit**. Über ein gemeinsames Qualitätsverständnis im Team, gepaart mit Offenheit, Toleranz und gegenseitiger Wertschätzung, bringt das Fraunhofer LBF immer wieder innovative Forschungsergebnisse und marktfähige Lösungen hervor.

»Schwingungstechnik, Leichtbau,
Zuverlässigkeit, Polymertechnik«



PROFILE



Fraunhofer

LBF



Institutsgebäude Bereich Kunststoffe (Schlossgartenstraße)



Institutsgebäude Bereich Adaptronik



Fraunhofer-Transferzentrum Adaptronik



Zentrum für Systemzuverlässigkeit/Elektromobilität ZSZ-e

Systematic Research!

More than 400 employees, experts and specialists from different disciplines put their collective expertise into interdisciplinary project work and advanced R&D services at the Fraunhofer LBF and the associated specialist field of System Reliability, Smart Structures and Machine Acoustics at the TU Darmstadt. The focus is on striving to achieve excellent results with maximum benefit for customers and project partners. As one of the most tradition-stepped institutes of the Fraunhofer-Gesellschaft, the Fraunhofer LBF can rely on nearly eight decades of experience in cooperating with OEMs and subcontractors, with large industrial companies and SMEs, with partners from industry and from science. The LBF scientists have an excellent understanding of systems and value creation which is based not least on this experience.

For this, the Institute's team provides services along the entire value chain, extending from the material and its processing, implementation of the finished component or complex system to qualification in respect of safety and reliability. This is carried out in the performance fields of **Vibration Technology, Lightweight Design, Reliability and Polymer Technology** and includes solutions ranging from product design to verification – customized for you, for each individual client. Particularly in the performance field of polymer technology, the institute can assist at a very early stage of value creation with polymer synthesis and in-depth material characterization.

Partner in the development process

The Fraunhofer LBF reaches a large number of different markets via its characteristically wide-ranging portfolio of skills and services. The institute's customers originate mainly from automotive and commercial vehicle construction, from the chemical industry but also from machine and plant engineering, aviation and defense, railway transport engineering, shipbuilding, power engineering, construction, electronics and electrical engineering as well as other industries.

The institute's scientists and engineers see themselves as active participants who guide their customers' innovation process. They act as reliable partners in product development, analyze complex problems, develop, evaluate and implement customized solutions for safety-related mechanical engineering systems, vibration-prone lightweight structures and complex electromechanical systems. They support structured product development processes, among other things according to the »V model«.

In addition to the evaluation and optimized design of passive mechanical structures, they also develop active mechatronic-adaptronic system solutions and implement prototypes. At the same time, the Fraunhofer LBF proactively refines appropriate numerical and experimental development methods and testing techniques. As a result, the institute forms the link between science and industrial application – regionally, nationally and globally.

The institute's operational work is under critical examination due to ongoing analyses of customer satisfaction. The Fraunhofer LBF's management system is certified in accordance with DIN ISO EN 9001:2000, the testing laboratory is accredited in accordance with the requirements of DIN ISO-IEC 17025. Based on this, the institute enjoys an extraordinary level of customer loyalty which extends over decades. It is our firm intention to maintain and develop this even further.

Shaping the future!

In close cooperation with the associated department at the TU Darmstadt, the Fraunhofer LBF picks up future-oriented research topics and specifically develops them into product and process innovations in association with its customers. This leads to solutions which in turn influence new trends. The institute uses its strong core competencies systematically and interdepartmentally in this process. Numerical and experimental Structural Durability, System Reliability, Smart Structures and Plastics Technology have been further developed in terms of both depth and breadth employing a high level of innovative strength and exceptional dynamism.

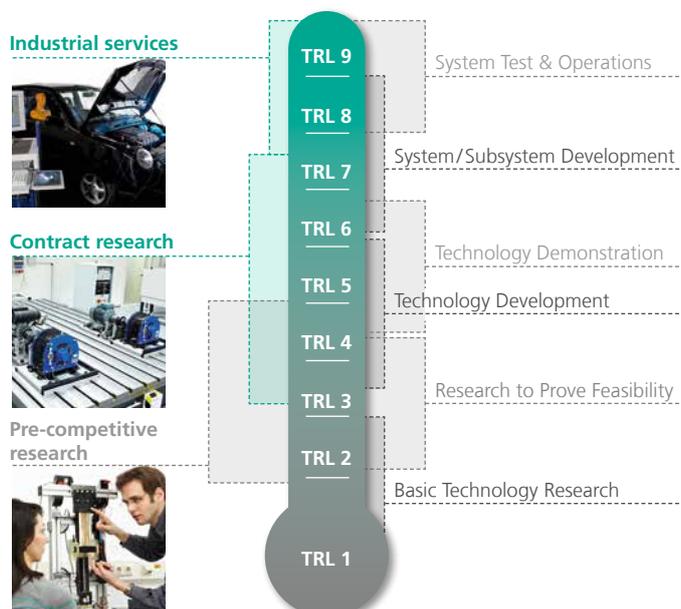
The institute drafts its future plan in a regularly updated strategy document and it has this document examined and assessed by external experts.

What unites us

We consider trusting, successful long-term cooperation, within the Fraunhofer LBF's team and the Fraunhofer-Gesellschaft, as well as with customers and partners, to be our most valuable asset.

The managers and staff of the Fraunhofer LBF put a great deal of personal dedication into this. It is based on **commitment, integrity, courage, transparency and responsibility**. By way of a common understanding of quality in the team, coupled with openness, tolerance and mutual respect, the Fraunhofer LBF constantly produces innovative research results and marketable solutions.

Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer LBF Corporation with Fraunhofer LBF





»Mit Sicherheit vernetzt – Erfolgreich im Team.«



Contact

Strategisches Management
Dr. phil. nat. U. Eul
Phone: +49 6151 705-262
ursula.eul@lbf.fraunhofer.de

Sehr geehrte Geschäftspartner und Freunde des Fraunhofer LBF, liebe Leser,

erfolgreiche Forschung und Entwicklung basiert auf Interdisziplinarität und gelungener Kooperation. Das gilt heute mehr denn je.

Das Fraunhofer LBF konnte in den zurückliegenden Jahren eine große Zahl junger Wissenschaftler und viele erfahrene Forscher unterschiedlichster Fachrichtungen für die Mitarbeit im Institut gewinnen. Einen besonderen Wachstumsschub hat das Kompetenz- und Wissensspektrum des Instituts durch die Erweiterung um den Bereich Kunststoffe erfahren (Integration des ehemaligen Deutschen Kunststoffinstituts DKI im Jahr 2012). So bringen heute Naturwissenschaftler und Ingenieure, Physiker, Chemiker, Mathematiker, Materialwissenschaftler, Maschinenbau-, Elektro-, Bau- und Wirtschaftsingenieure, Betriebswirtschaftler und Informationstechniker sowie Experten etlicher weiterer Fachrichtungen ihr Know-how in die interdisziplinäre Projektarbeit ein.

Durch diese neue Vielfalt, kombiniert mit dem reichen Erfahrungsschatz der Mitarbeiter aus zum Teil langjähriger FuE-Tätigkeit in Forschungseinrichtungen oder Industrieunternehmen, ist das Institut jetzt in noch stärkerem Maße als bisher in der Lage, ganz systematisch geschlossene Kompetenzketten in den Projektteams abzubilden. Das gilt je nach Aufgabenstellung und Kundenwunsch für alle TRL-Stufen (Technology Readiness Level, s. S. 15), von der grundlagennahen Vorlauftforschung bis zum produktnahen FuE-Service.

Forschung mit System!

Sie gelingt durch themen- bzw. aufgabenspezifische Vernetzung und enge Kooperation über Fachabteilungen und

Forschungsbereiche hinweg in allen zentralen Leistungsfeldern des Fraunhofer LBF, also bei allen komplexeren FuE-Projekten im Kontext von **Schwingungstechnik, Leichtbau, Zuverlässigkeit und Polymertechnik** (s. S. 20/21). Größtmöglichen Nutzen und höchste Zufriedenheit für ihre Kunden zu erreichen, das sind stets verbindende Ziele und gemeinsame Motivation für die Wissenschaftler in den interdisziplinären Teams. Dazu vernetzen sie sich auch über die Institutsgrenzen hinweg mit externen Experten in Forschungsverbänden, Gremien und Fachausschüssen – regional, national und international (s. S. 11).

Hieraus resultiert ein erweitertes und zugleich vertieftes Verständnis für die Wertschöpfungsprozesse unserer Kunden, insbesondere im Fahrzeug- und Maschinenbau, in der Chemie, in der Energietechnik, in der Meß- und Prüftechnik, aber auch im Bauwesen, in der Elektronik und Elektrotechnik, in der Verteidigung, der Medizintechnik und weiteren Branchen. Dieses Verständnis und die interdisziplinäre Vernetzung ermöglichen es uns, maßgeschneiderte Lösungsangebote für Sie zu erarbeiten, auch und gerade bei komplexeren Aufgabenstellungen. **Fordern Sie uns!**

Nutzen Sie für eine erste Kontaktaufnahme gerne auch die Postkarte am Ende dieses Jahresberichts. Nennen Sie uns Ihr Interessensgebiet! Wir informieren Sie Ihren Wünschen entsprechend und laden Sie zu geeigneten Veranstaltungen in unser Institut ein. Wir freuen uns auf den Dialog mit Ihnen.

Darmstadt, im Februar 2016

Dr. Ursula Eul

Leiterin Strategisches Management

Dear Business Partners and Friends of
Fraunhofer LBF, Dear Readers

Successful research and development is based on interdisciplinary and fruitful cooperation. This is true now more than ever.

In the past, Fraunhofer LBF has managed to attract a large number of young scientists and many experienced researchers from a wide variety of disciplines for collaboration within the Institute. Expanding the plastics division (integration of the former German Plastics Institute DKI in 2012) resulted in a significant increase in the Institute's range of skills and knowledge. Today, physicists, chemists, mathematicians, material scientists, mechanical, electrical, civil and industrial engineers, business administration and information scientists, and experts from a number of other disciplines bring their expertise to interdisciplinary project work.

This new diversity, combined with the wealth of experience contributed by employees who have sometimes been working in R&D in research establishments or industrial enterprises for many years, means that now the Institute is even more capable than before of mapping systematically closed competence chains in its project teams. Depending on the task and customer requirements, this applies to all TRLs (technology readiness levels, see p. 15) from the basic preliminary research to the product-related R&D service.

Systems-based research!

This research is successful due to topic- or task-specific networking and close cooperation across departments and research divisions in all key performance areas of Fraunhofer LBF, that is to say in all the more complex R&D projects in the context of **vibration control technology, lightweight**

construction, reliability and polymer technology

(see p. 20/21). The scientists in these interdisciplinary teams are driven by common aims and a joint motivation to achieve the greatest possible benefit and maximum satisfaction for their customers. To do this, they network with external experts beyond the boundaries of the Institute in research associations, working groups and technical committees – regionally, nationally and globally (see p. 11).

This results in an enhanced and at the same time deeper understanding of our customers' value-adding processes, particularly in automotive and mechanical engineering, chemistry, power engineering, measuring and testing technology, not to mention construction, electronics and electrical engineering, defense, medical technology and other industries. This understanding and the interdisciplinary networking enable us to develop customized solutions for you, especially and specifically for more complex tasks.

Please feel free to use the postcard at the end of this annual report to make initial contact with us. Tell us about your area of interest! We will send you information relevant to your requirements and invite you to appropriate events at our Institute. We look forward to hearing from you.

Darmstadt, February 2016



Dr. Ursula Eul

Head of Strategic Management





Unser Engagement für Ihren Erfolg.

Our commitment for your success.



AUTOMOTIVE – Pkw, Nfz und Sonderfahrzeuge
AUTOMOTIVE – Cars, commercial vehicles and special vehicles

Mit ganzheitlichen FuE-Angeboten unterstützt das Fraunhofer LBF den Produktentwicklungsprozess bei OEM und Zulieferern. Dies gilt für konventionell und für elektrisch angetriebene Fahrzeuge. Von der Fahrbetriebsanalyse und Ableitung relevanter Anforderungen für Werkstoffe, für die Auslegung von Bauteilen und Systemen, über die Optimierung und prototypische Umsetzung mechanischer, elektromechanischer und signalverarbeitungstechnischer Komponenten bis hin zu Systemintegration, Inbetriebnahme und Bewertung. Den Erfordernissen einer nachhaltigen Mobilität trägt das Fraunhofer LBF auch mit spezieller Prüftechnik im Zentrum für Systemzuverlässigkeit/Elektromobilität ZSZ-e Rechnung.

The Fraunhofer LBF supports the product development process among OEMs and suppliers with a range of integrated R&D services. They apply to both conventional and electrically driven vehicles. From the analysis of driving conditions and derivation of relevant requirements for the design of components and systems, optimization and prototypical implementation of mechanical, electromechanical and signal processing technology components to system integration, commissioning and evaluation. The Fraunhofer LBF takes account of the requirements for sustainable mobility with its special testing technology at the *Center for System Reliability/Electric Mobility ZSZ-e*.



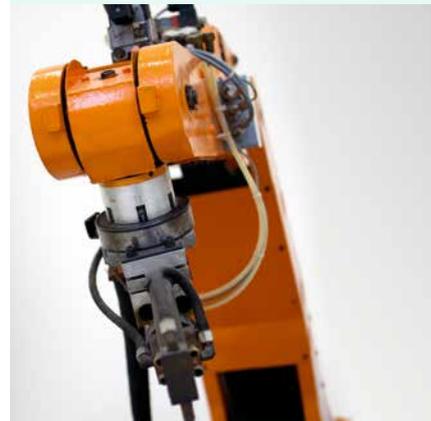
TRANSPORT – Luft- und Raumfahrt, Schiffbau, schienengebundene Fahrzeuge
TRANSPORT – Aviation and aerospace, shipbuilding, rail vehicles

Die Reduktion von Lärm- und Emissionsbelastungen für Mensch und Umwelt, die Erhöhung der Energieeffizienz und Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit durch Kostensenkung über den gesamten Lebenszyklus sind im Schienenverkehr, in der Luftfahrt und im Schiffbau unverkennbare Trends. Daraus leiten sich FuE-Herausforderungen wie z. B. die Entwicklung energieeffizienter Antriebe, Energierückgewinnungsstrategien, funktionsintegrierte und System-Leichtbaukonzepte ab. Das LBF unterstützt beispielsweise durch Verfahren der Versuchszeitverkürzung, angepasste Prüfverfahren, neue Materialien, mechatronische Systemlösungen und Methoden der Zuverlässigkeitsbewertung.

Reduction of noise and emission loads on people and the environment, advances in energy efficiency and increasing competitiveness due to cost reductions throughout the entire life cycle are unmistakable trends in rail transport, aviation and shipbuilding. This results in R&D challenges such as the development of energy-efficient drives, energy recovery strategies, functionally integrated and lightweight system design concepts. The LBF provides support, for example, with procedures for reducing test times, adapted test procedures, new materials, mechatronic system solutions and methods of reliability assessment.

Die Maschinentechnik hat in der Energieerzeugung, Fluidtechnik, Robotik, Automation, Landtechnik, Präzisionstechnik und vielen weiteren Segmenten des Maschinen- und Anlagenbaus besondere Bedeutung. Aufgaben für die FuE sind z. B. Verbesserung von Präzision, Energieeffizienz, Leichtbaueigenschaften und Einsatzdynamik sowie die Reduktion von Ausfall- und Wartungszeiten. Das Fraunhofer LBF bietet Lösungen auf Komponenten- und Systemebene wie die Optimierung des Schwingungsverhaltens, aktorische Baugruppen für Automatisierungsaufgaben, Technologien zur Zustandsüberwachung auch im Kontext Industrie 4.0 sowie angepasste Kunststoffe und Konstruktionsprinzipien.

Mechanical engineering is of particular importance in power generation, fluid technology, robotics, automation, agricultural engineering, precision engineering and many other segments of Machine and Plant Engineering. Examples of R&D tasks are improvement of precision, energy efficiency, lightweight properties and application dynamics as well as the reduction of downtimes and maintenance times. The Fraunhofer LBF offers solutions at component and system level, such as optimization of the vibrational behavior, actuator assemblies for automation tasks, technologies for status monitoring also within the context of Industry 4.0, and adapted plastics and design principles.



MASCHINEN- UND ANLAGENBAU
MACHINE AND
PLANT ENGINEERING

Das LBF unterstützt Unternehmen der Branchen Energie, Umwelt und Gesundheit bei der Entwicklung leichter, schwingungsarmer, leiser und zuverlässiger Produkte auf Material-, Bauteil- und Beanspruchungsebene. Beispiele sind: Bewertung, Optimierung und Überwachung von Kraftwerkskomponenten hinsichtlich ihres schwingungstechnischen Verhaltens und ihrer Zuverlässigkeit, Überwachung von Strukturen und Systemen u. a. durch energieautarke Sensornetzwerke, Verbesserung des vibroakustischen Verhaltens dezentraler Energieversorgungseinrichtungen, die erhöhte akustische Anforderungen definieren, Optimierung der Zuverlässigkeit technischer Komponenten beim Transport zum Einsatzort.

The LBF supports companies in the energy, environment and health sectors during the development of lighter, low-vibration, quiet and reliable products at the material, component and stress levels. Examples of this are: evaluation, optimization and monitoring of power plant components with regard to their vibration behavior and their reliability, monitoring of structures and systems, among other things by means of self-sufficient sensor networks, improving the vibroacoustic behavior of distributed energy supply systems, defining the increased acoustic requirements, optimizing the reliability of technical components during transport to the job site.



ENERGIE, UMWELT UND GESUNDHEIT
ENERGY, ENVIRONMENT AND
HEALTH

Leistung auf den Punkt gebracht.

Focused services.

Das Fraunhofer LBF steht für fortschrittliche Lösungen und innovative Konzepte in den Leistungsfeldern Schwingungstechnik, Leichtbau, Zuverlässigkeit und Polymertechnik.

Mitarbeiter aus zehn Forschungsabteilungen sowie aus dem »Zentrum für Systemzuverlässigkeit/Elektromobilität ZSZ-e« und dem assoziierten Fachgebiet »Systemzuverlässigkeit, Adaptronik und Maschinenakustik« an der TU Darmstadt setzen ihre Erfahrung, ihre spezifische Fachexpertise, ihre Kreativität und ihr ganz persönliches Engagement ein, um die besten Lösungen für Ihre Problemstellung zu erarbeiten.

The Fraunhofer LBF is committed to forward-looking solutions and innovative concepts in the performance fields of Vibration Technology, Lightweight Construction, Reliability and Polymer Technology.

Employees from ten research departments and from the »Center for System Reliability/Electric Mobility – ZSZ-e« and the associated department of »System Reliability, Smart Structures and Machine Acoustics« at the TU Darmstadt use their experience, their specific technical expertise, their creativity and their own personal commitment to work out the best solutions to your problems.

BEREICH BETRIEBSFESTIGKEIT STRUCTURAL DURABILITY DIVISION

Werkstoffe und Bauteile | Materials and Components

Baugruppen und Systeme | Assemblies and Systems

BEREICH ADAPTRONIK SMART STRUCTURES DIVISION

Strukturdynamik und Schwingungstechnik
Structure Dynamics and Vibration Technology

Betriebsfester und funktionsintegrierter Leichtbau
Lightweight Structures

Zuverlässige Signalverarbeitung und Strukturüberwachung
Reliability and System Integration

Aktoren und Sensoren | Actuator and Sensor Technology

BEREICH KUNSTSTOFFE PLASTICS DIVISION

Polymersynthese | Polymer Synthesis

Rezepturenentwicklung und Dauerhaftigkeit
Formulation Development and Durability

Kunststoffverarbeitung und Bauteilauslegung
Polymer Processing and Component Design

Forschungsgroßgeräte
Large-Scale Research Systems

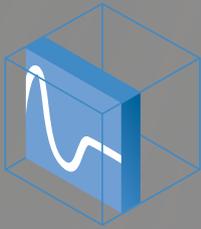
PROJEKTBEREICH SYSTEMZUVERLÄSSIGKEIT SYSTEM RELIABILITY PROJECT AREA

Zentrum für Systemzuverlässigkeit/Elektromobilität ZSZ-e
Center for System Reliability/Electric Mobility – ZSZ-e

Fraunhofer LBF

FORSCHUNG MIT SYSTEM

SCHWINGUNGSTECHNIK VIBRATION TECHNOLOGY 	LEICHTBAU LIGHTWEIGHT DESIGN 	ZUVERLÄSSIGKEIT RELIABILITY 	POLYMERTECHNIK POLYMER TECHNOLOGY 
	■		
■	■	■	
■	■		
■	■		■
■		■	
■		■	
	■		■
		■	■
	■	■	■
■			■
■		■	



Aktoren und Sensoren

Dipl.-Ing. M. Matthias
michael.matthias@lbf.fraunhofer.de

Betriebsfester und funktionsintegrierter Leichtbau

Prof. Dr.-Ing. A. Büter
andreas.bueter@lbf.fraunhofer.de

Strukturdynamik und Schwingungstechnik

Dr.-Ing. S. Herold
sven.herold@lbf.fraunhofer.de

Zentrum für Systemzuverlässigkeit / Elektromobilität ZSZ-e

Dr.-Ing. Ch. el Dsoki
chaid.el.dsoki@lbf.fraunhofer.de

SCHWINGUNGSTECHNIK VIBRATION TECHNOLOGY

Baugruppen und Systeme

Dipl.-Ing. M. Wallmichrath
marc.wallmichrath@lbf.fraunhofer.de

Zuverlässige Signalverarbeitung und Strukturüberwachung

Dr.-Ing. D. Mayer
dirk.mayer@lbf.fraunhofer.de

Forschungsgrößgeräte

Dr.-Ing. C. Beinert
christian.beinert@lbf.fraunhofer.de

Schwingungstechnik mit System.

Systematic Vibration Technology.

Schwingungen und Lärm treten in vielen Anwendungen häufig als unerwünschte Begleiterscheinungen auf. Hier beeinträchtigen sie Betriebssicherheit, Funktionalität, Genauigkeit und Produktivität von Prozessen und Systemen. Insbesondere Leichtbaustrukturen sind hiervon betroffen. Außerdem wirken Schwingungen und Lärm auf den Menschen ein und können dabei zu Komforteinbußen und gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen. Damit kommt schwingungstechnisch optimierten Produkten eine zunehmend hohe Bedeutung zu.

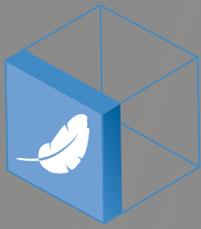
Aufgrund der meist hohen Komplexität bei schwingungstechnischen Fragestellungen arbeiten Forscher am Fraunhofer LBF an effizienten Methoden für die Entwicklung optimierter Systeme. Hierbei werden diverse Fragestellungen beginnend mit der numerischen und/oder experimentellen Analyse der Problemstellung, über die Anpassung der Materialeigenschaften von Kunststoffen, die Charakterisierung von Komponenten und Baugruppen, die Bildung von Systemmodellen bis hin zur Umsetzung und Systemintegration betrachtet. Die abschließende Bewertung der Systeme im Labor oder im Feldtest sichert Funktionalität und Zuverlässigkeit ab. Neben klassischen passiven Ansätzen werden am Fraunhofer LBF auch aktive Maßnahmen zur Verbesserung der Systemdynamik eingesetzt. Damit sind wir in der Lage, selbst bei schwierigen Fragestellungen entlang des Produktentstehungsprozesses ganzheitlich und zielgerichtet zu unterstützen. Unsere Kunden profitieren außerdem von der hervorragenden experimentellen und numerischen Ausstattung unseres Instituts.

Das besondere Potenzial für die Realisierung schwingungstechnisch optimierter Systeme ergibt sich mit der Bündelung sich ergänzender Kompetenzen. Durch eine ganzheitliche Betrachtung – idealerweise bereits während der Entwicklung – können wir Lösungen für Produkte mit maßgeschneiderten dynamischen Eigenschaften anbieten. Im Vordergrund stehen häufig die Sicherstellung von Funktion und Effizienz unter definierten Randbedingungen (**mehr dazu ab S. 45**).

Vibrations and noise occur in many applications often as undesirable side-effects. In this case, they compromise the operational safety, functionality, accuracy and productivity of processes and systems. This particularly affects lightweight structures. In addition, vibrations and noise have an effect on people and can lead to sacrifices in terms of comfort and even health problems. As a result, vibration-optimized products are becoming increasingly important.

Due to the usually high level of complexity in vibration control problems, researchers at the Fraunhofer LBF are working on efficient methods for the development of optimized systems. Several issues are considered, starting with numerical and/or experimental analysis of the problem, adaptation of the material properties of plastics, characterization of components and assemblies, creation of system models and extending to implementation and system integration. Final evaluation of the systems in the laboratory or in field tests ensures functionality and reliability. In addition to traditional passive approaches, the Fraunhofer LBF also employs active measures to improve system dynamics. As a result we are able to provide integrated and targeted support even for difficult issues during the product development process. Our customers also benefit from the excellent experimental and numerical amenities of our institute.

The special potential for implementing vibration-optimized systems is the result of pooling many different, complementary skills. Using an integrated approach – ideally during the development phase – we can offer solutions for products with customized dynamic properties. The focus here is frequently on ensuring function and efficiency under defined boundary conditions (**More on page 45**).



Strukturdynamik und Schwingungstechnik

Dr.-Ing. S. Herold
sven.herold@lbf.fraunhofer.de

Polymersynthese

Prof. Dr. rer. nat. M. Döring
manfred.doering@lbf.fraunhofer.de

Baugruppen und Systeme

Dipl.-Ing. M. Wallmichrath
marc.wallmichrath@lbf.fraunhofer.de

LEICHTBAU LIGHTWEIGHT DESIGN



Werkstoffe und Bauteile

Dr.-Ing. H. Kaufmann
heinz.kaufmann@lbf.fraunhofer.de

Betriebsfester und funktionsintegrierter Leichtbau

Prof. Dr.-Ing. A. Büter
andreas.bueter@lbf.fraunhofer.de

Kunststoffverarbeitung und Bauteilauslegung

Prof. Dr.-Ing. J. Wieser
juergen.wieser@lbf.fraunhofer.de

Leichtbau mit System.

Systematic Lightweight Design.

Ressourcenproduktivität und –effizienz sind zentrale Elemente einer Nachhaltigkeitsstrategie für Produkte, von der Herstellung, über die Nutzung bis zur Entsorgung. Im Betrieb ist das Gewicht oft von entscheidender Bedeutung. Die Fahrwiderstände eines Kraftfahrzeugs etwa, und damit der Kraftstoffverbrauch, sind unmittelbar von seiner Masse abhängig. Leichtbau wird zum konkreten Entwicklungsziel.

Die Gestaltung effizienter Lösungen umfasst viele Aspekte: Werkstoffentwicklung und -verarbeitung, Auslegung, Konstruktion, Fertigungs- und Fügetechnologie, Bewertungs- und Nachweisverfahren, die auch unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit überzeugen müssen. Die Lösung solcher Aufgaben erfordert umfassendes Knowhow und systemisches Verständnis. Die Kenntnis relevanter Belastungszustände und -häufigkeiten ist Voraussetzung für die Optimierung einer Konstruktion: LBF-Wissenschaftler ermitteln hierfür Lastdaten mit rechnerischen und messtechnischen Methoden. Für maschinenbauliche Produkte, insbesondere für sicherheitsrelevante Komponenten, ist Leichtbau nicht ohne Betriebsfestigkeit denkbar.

Stahl und Eisenguss, NE-Metalle sowie Sinterwerkstoffe, aber auch Polymer- und faserverstärkte Composite-Materialien, werden in den akkreditierten Laboren des Fraunhofer LBF umfassend geprüft. Statistische Methoden und modernste zerstörungsfreie Prüfverfahren – u. a. Computertomographie – machen die Ergebnisse sicher und exakt. Mit systemischem Blick auf den Leichtbau entstehen Produkte, die so leicht wie möglich sind und für die vorgesehene Nutzungsdauer ihre Funktion sicher und zuverlässig erfüllen. Oder Bauteile mit integrierten Sensoren, Aktoren und Funktionselementen, die Wartungs- und Servicebedarf melden oder sogar aktiv in das Strukturverhalten eingreifen.

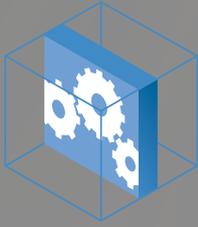
Festigkeit, Haltbarkeit und Schwingungsverhalten definieren Randbedingungen und Anwendungsgrenzen für viele Leichtbaulösungen: Das Fraunhofer LBF unterstützt bei konzeptionellen Fragestellungen, in der Entwicklung sowie abschließend bei Test und Validation **(mehr dazu ab S. 61)**.

Resource productivity and resource efficiency are key elements of a sustainability strategy for products along the path from manufacturing to use and disposal. Weight is often crucial, particularly for the operating phase. For example, major driving resistances of a motor vehicle, and therefore the fuel consumption, depend directly on its mass. Lightweight design is becoming a concrete development goal.

The design of efficient lightweight solutions includes miscellaneous aspects: the development and processing of materials, design and construction technologies, manufacturing and joining technologies, assessment and verification methods which also have to be economical solutions. The implementation of reliable lightweight solutions requires extensive expertise and systemic understanding. Knowledge of relevant loading conditions and frequencies is essential for design optimization: Fraunhofer LBF scientists determine this load data using computational and measurement methods. For engineering products, particularly for safety-relevant components, lightweight design is not conceivable without structural durability.

Steel and cast iron, nonferrous metals and sintered materials, but above all polymer and fiber-reinforced composite materials are thoroughly investigated in Fraunhofer LBF accredited laboratories. Statistical methods and state-of-the-art non-destructive test procedures – including CT – make our results reliable and accurate. A systematic view of lightweight design helps to realize products that are as light as possible and fulfill their function safely and reliably for the product's intended service life, or components that integrate sensors, actuators and functional elements which report maintenance and service needs, or actively intervene in the structural behavior.

Strength, durability and vibration behavior are difficult boundary conditions for many lightweight solutions and define application limits: LBF helps customers with conceptual issues, with development and subsequently with testing and validation. **(More on page 61)**.



Aktoren und Sensoren

Dipl.-Ing. M. Matthias
michael.matthias@lbf.fraunhofer.de

Kunststoffverarbeitung und Bauteilauslegung

Prof. Dr.-Ing. J. Wieser
juergen.wieser@lbf.fraunhofer.de

Werkstoffe und Bauteile

Dr.-Ing. H. Kaufmann
heinz.kaufmann@lbf.fraunhofer.de

Zentrum für Systemzuverlässigkeit / Elektromobilität ZSZ-e

Dr.-Ing. Ch. el Dsoki
chalid.el.dsoki@lbf.fraunhofer.de

Baugruppen und Systeme

Dipl.-Ing. M. Wallmichrath
marc.wallmichrath@lbf.fraunhofer.de

Zuverlässige Signalverarbeitung und Strukturüberwachung

Dr.-Ing. D. Mayer
dirk.mayer@lbf.fraunhofer.de

Betriebsfester und funktionsintegrierter Leichtbau

Prof. Dr.-Ing. A. Büter
andreas.bueter@lbf.fraunhofer.de

Rezeptentwicklung und Dauerhaftigkeit

Dr. rer. nat. R. Pfaendner
rudolf.pfaendner@lbf.fraunhofer.de

Zuverlässigkeit mit System.

Systematic Reliability.

Die Zuverlässigkeit technischer Produkte und Systeme ist nicht direkt messbar. Es ist nicht möglich, den Ausfall eines Bauteils oder eines Systems vollständig auszuschließen. Nicht zuletzt dank der Arbeiten und Forschungsergebnisse des Fraunhofer LBF sind heute viele technische Produkte dennoch ausgereift, robust und wartungsarm.

Gerade in der Automobil-, Schienenfahrzeug- und Luftfahrt-industrie werden viele Strukturen betriebsfest ausgelegt, d. h. Schäden innerhalb typischer Nutzungsperioden werden weitgehend ausgeschlossen – vielfach ohne zwischenzeitliche Inspektionen und/oder Wartungsumfänge. Seit mehr als 75 Jahren arbeitet das Fraunhofer LBF kontinuierlich daran, Unsicherheiten in technischen Produkten beherrschbar zu machen.

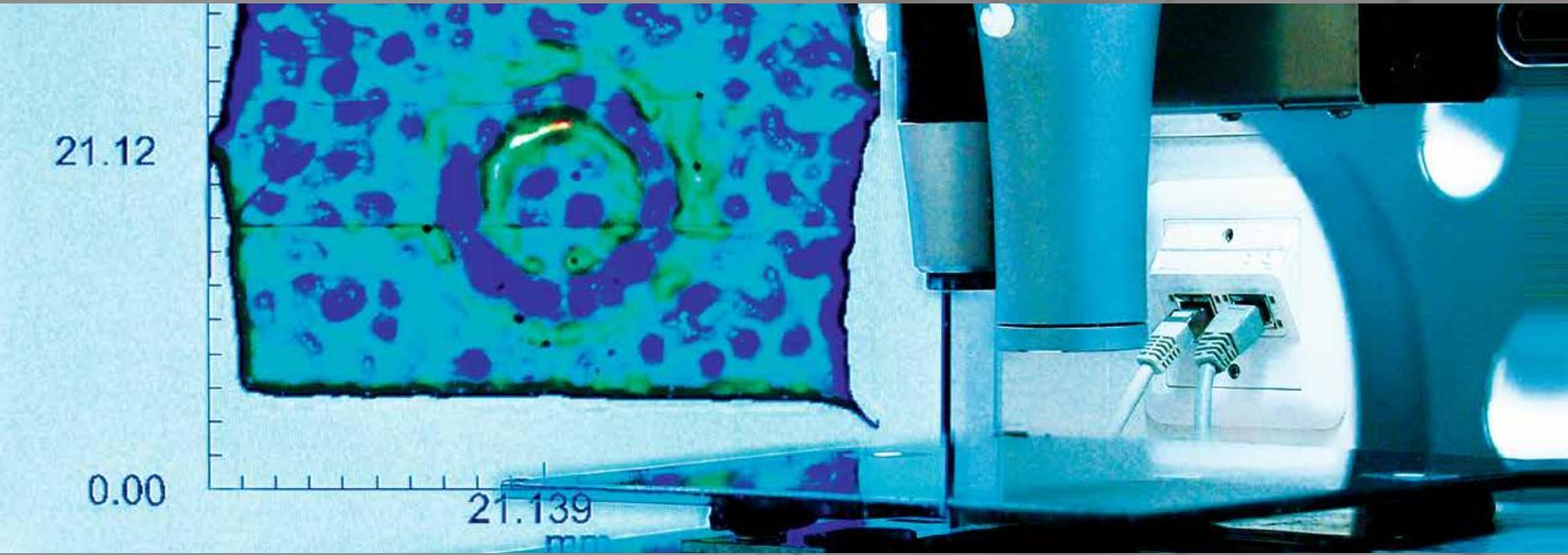
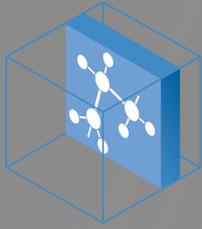
Umfassendes Verständnis für im Betrieb wirksame Lasten und Umwelteinflüsse, Werkstoff- und fertigungstechnische Eigenschaften sowie Gestaltung und Konstruktion sind hierfür notwendig: die Wissenschaftler des LBF stellen dazu Methoden sowie Kompetenzen zur Verfügung, gerade auch für neue Materialien (u. a. Composite-Werkstoffe und -Strukturen), modernste Füge- oder Fertigungsprozesse (u. a. machinable ADI), Strukturkomponenten (u. a. aktive Systeme zur Lastminderung) oder komplette Systeme (u. a. Fahrzeugrohkarosserie oder Batteriesysteme für EV). Außerdem beschäftigt sich das LBF mit der Lastdatenerfassung und -analyse sowie mit kosteneffizienten Monitoringverfahren, um die im Betrieb wirksame Belastung und Beanspruchung messtechnisch zu erfassen.

Mit der Integration elektromechanischer Komponenten steigen Komplexität und Anzahl möglicher Ausfallursachen. Die Zuverlässigkeit solcher Systeme erfordert ein multiphysikalisches Lebensdauermanagement sowie entsprechende Testverfahren. Das Fraunhofer LBF arbeitet an Methoden, die Zuverlässigkeit und Funktionssicherheit bereits im Auslegungsprozess zu berücksichtigen, Fehler- und Ausfallmechanismen zu verstehen, zu bewerten und kostengünstige Ansätze für Last- und Health-Monitoring umzusetzen **(mehr dazu ab S. 71)**.

The reliability of technical products and systems is an attribute that is not directly measurable. It is not possible to completely rule out the failure of any component or system. However - because of the Fraunhofer LBF work and research results - many technical products are now highly developed, robust and low-maintenance. Today, many structures, particularly in the automotive, railway and aviation industries, are designed to be structurally durable, i.e. damage within typical usage periods has been very largely excluded – often without interim inspections and/or maintenance work. Our team has been working continuously for more than 75 years on becoming better and better at managing uncertainties in technical products.

It is necessary to have extensive understanding of the loads and environmental influences effective during operation, the materials and manufacturing properties, and the design and construction. The scientists at the Fraunhofer LBF work on precisely these issues in many departments and provide methods and skills, particularly for new materials (e.g. engineering plastics, composite materials and structures), advanced joining or manufacturing processes (e.g. thread forming or machinable ADI), structural components (e.g. elastomeric bearings and active systems for load reduction) or complete systems (e.g. body-in-white or battery systems for power supplies). We also deal in-depth with the acquisition and analysis of load data, as well as cost-effective monitoring methods for measuring and recording the stress and strain effective during operation.

The complexity and number of possible causes of failure increases as electronic, software and control components are integrated. The reliability of such systems requires multi-physical life cycle management and appropriate test procedures. Fraunhofer LBF is working on methods for taking into account reliability and functional safety at the design process stage, for understanding and evaluating fault and failure mechanisms, or for implementing low-cost approaches to load and 'health' monitoring. **(More on page 71)**.



Polymersynthese

Prof. Dr. rer. nat. M. Döring
manfred.doering@lbf.fraunhofer.de

Forschungsgroßgeräte

Dr.-Ing. C. Beinert
christian.beinert@lbf.fraunhofer.de

POLYMERTECHNIK
POLYMER
TECHNOLOGY



**Kunststoffverarbeitung
und Bauteilauslegung**

Prof. Dr.-Ing. J. Wieser
juergen.wieser@lbf.fraunhofer.de

**Betriebsfester und
funktionsintegrierter Leichtbau**

Prof. Dr.-Ing. A. Büter
andreas.bueter@lbf.fraunhofer.de

Rezepturenentwicklung und Dauerhaftigkeit

Dr. rer. nat. R. Pfaendner
rudolf.pfaendner@lbf.fraunhofer.de

Polymertechnik mit System.

Systematic polymer technology.

Maßgeschneiderte Kunststoffe, Kunststoffverbunde und Kunststoffverarbeitungstechnologien sind wesentliche Elemente, um den globalen Herausforderungen der Zukunft wie Mobilität, Kommunikation, Gesundheit, Ernährung, Klimaschutz und Sicherheit zu begegnen. Leistungsfähige und zuverlässige Kunststoffe übernehmen dabei Schlüsselfunktionen bei der Ressourcen- und Energieeffizienz. Durch Leichtbau werden Autos und Flugzeuge dank Kunststoff sparsamer. Mit Kunststoff gedämmte Häuser benötigen weniger Energie und helfen damit, den Ausstoß von Treibhausgasen zu verringern. Kunststoffe sind nachhaltig, können nach ihrem ersten Leben hochwertig recycelt oder aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden. Kunststoffe werden darüber hinaus mit zusätzlichen Funktionen ausgestattet, wie elektrische und thermische Leitfähigkeiten, Sensorik, Flammschutz oder Lichtstabilität.

Das Fraunhofer LBF begleitet in der Polymertechnik die gesamte Entwicklungskette von der chemischen Synthese, der Formulierungsentwicklung, der Verarbeitung und Prüfung über die Simulation bis zur Prüfung und Freigabe des Endteils.

Das Fraunhofer LBF bietet in einmaliger Weise ein Netzwerk der Kompetenzen in der Polymertechnik. Kunststoffe mit optimiertem Eigenschaftsprofil werden synthetisiert oder bestehende Produkte gemäß Anforderungen modifiziert. Leistungsfähige Additive sind der Schlüssel zu Innovationen und Garantien für den dauerhaften Einsatz von Kunststoffen, z. B. in Außenanwendungen. Chemische Materialanalytik und physikalische Werkstoffcharakterisierung sind essentielle Gebiete von einer praxisnahen Rezepturempfehlung, für Struktur/Eigenschaftsbeziehungen und bis hin zur Schadensanalytik. Verarbeitung durch Compoundierung und Spritzguss sowie Materialmodelle und effiziente Methoden zur Materialdatenermittlung und Bauteilprüfung stehen zur Verfügung.

Wir helfen Ihnen in Ihrem gesamten Entwicklungsprozess zu konkurrenzfähigen Bauteil- und Systemlösungen vom Konzept bis zur Validierung (**mehr dazu ab S. 85**).

Customized plastics, composite plastics and plastics processing technologies are important elements for meeting the global challenges of the future, such as mobility, communication, health, nutrition, climate protection and security. This is where efficient and reliable plastics assume key functions in resource and energy efficiency. Cars and planes will become more economical thanks to Lightweight Design. Houses insulated with plastics will require less energy and will therefore help to reduce the emission of greenhouse gases. Plastics are sustainable, they can be recycled to a high degree after their first life cycle or can be manufactured from renewable raw materials. In addition to this, plastics are equipped with additional functions such as appropriate electrical and thermal conductivities, sensor technology, flameproofing or light stability.

In polymer technology, the Fraunhofer LBF provides support for the entire development chain from chemical synthesis, formulation development with appropriate additives, processing and testing of plastics to simulation, finished parts testing and approval.

The Fraunhofer LBF offers a unique network of expertise in polymer technology. Plastics with an optimized features profile are synthesized or existing products are modified according to requirements. High-performance additives are the key to innovations and a guarantee for the long-term use of plastics, e.g. in outdoor applications. Chemical material analysis and physical material characterization are essential areas of practical recommendation for the formulation, for structure-property relationships through to failure analysis. Processing by compounding and injection molding as well as material models and efficient methods for determining material data and component testing are all available.

We will help you throughout your entire development process to find competitive component and system solutions from design concept to validation (**More on page 85**).



Contact

Dipl.-Ing. R. Heim
Bereichsleiter, stellv. Institutsleiter
Phone: +49 6151 705-283
ruediger.heim@lbf.fraunhofer.de

»In der Betriebsfestigkeit verknüpfen wir Leichtbau mit einer lebensdauerorientierten Bemessung. Das führt zu einer besonders ressourceneffizienten Lösung und ist ein echter Beitrag zur Nachhaltigkeit.«

Dipl.-Ing. R. Heim

BEREICH BETRIEBSFESTIGKEIT

Die Betriebsfestigkeit liefert Methoden für eine sichere und lebensdauerorientierte Bemessung sowie effiziente Verfahren für zeitgeraffte Prüfungen und Nachweisführung. In allen Branchen der Verkehrstechnik, also im Straßen- und Schienenfahrzeugbau, in der Schifffahrt, in der Luftfahrt, aber auch im Eisenbahnbrücken- oder Kranbau finden sich erfolgreiche Anwendungen.

Die typischen Aufgaben in der Betriebsfestigkeit sind Bewertung und Überwachung von Schädigungseffekten bei zyklischer Schwingbeanspruchung, die auch nach langen Betriebszeiten nicht zu fortgeschrittenen Schäden oder Bauteilbrüchen führen dürfen. Es werden numerische Methoden und messtechnische Verfahren angewandt, sowie Funktions- und Lebensdauerprüfungen mit Komponenten, Baugruppen oder vollständigen Systemen durchgeführt. Aufgrund deutlicher Vorteile hinsichtlich Zeit, Kosten und Reproduzierbarkeit werden experimentelle Tests und Prüfungen häufig im Rahmen von Laborerprobungen abgebildet; für diesen Schwerpunkt des Fraunhofer LBF wurden in den letzten Jahren eine ganze Reihe hochmoderne und leistungsfähige Prüfeinrichtungen in das Betriebsfestigkeitslabor des LBF integriert, z. B. ein 25-Kanal-Vollfahrzeugprüfstand mit eigenen Fahrzeugfesselungskonzepten, angepasste Elastomerprüfstände, VHCF- und Kleinlastprüfeinrichtungen mit Piezoaktoren oder eine neue Nfz-ZWARP Prüfeinrichtung.

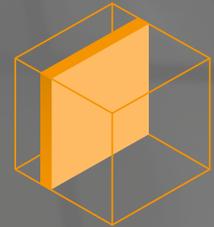
Angewandte Forschung und Aufgabenstellungen direkt aus der Industrie umfassen das komplette Spektrum von der Materialcharakterisierung bis zur Prüfung komplexer Systeme.

Werkstoffe und Bauteile (Dr.-Ing. Heinz Kaufmann):

- Prüfung und Bewertung der Betriebsfestigkeit von metallischen und keramischen Werkstoffen und Bauteilen unter zyklischer Schwingbelastung mit konstanten und variablen Lastamplituden.
- Entwicklung und Anwendung numerischer Methoden unter Berücksichtigung von Fertigungseigenschaften und Oberflächennachbehandlung.
- Effiziente Ermittlung von Bauteilschwingfestigkeiten von u. a. Kurbelwellen, Pleuel einschließlich der statistischen Merkmale von Wöhler- und Lebensdauerlinien (Gaßner-Versuche).
- Angepasste Prüftechnik für VHCF-Prüfungen auch mit variablen Amplituden sowie Kleinlastprüfungen mit hochgenauer, reproduzierbarer Kraft- und Wegvorgabe.
- Ermittlung der Schwingfestigkeit von Werkstoffen und Bauteilen unter der Einwirkung von aggressiven Medien wie z. B. Kraftstoffe, korrosive wässrige Lösungen oder Wasserstoff.

Baugruppen und Systeme (Dipl.-Ing. Marc Wallmichrath):

- Charakterisierung von Gummi-/Metallbauteilen, Ermittlung der Betriebsfestigkeit – auch unter erhöhten Temperaturen.
- Numerische Elastomermodelle und deren quantitative Belegung mit Daten aus dem Versuch.
- Beschreibung komplexer Kinematiken mittels Mehrkörpersimulation (MKS) sowie Aufbau und Verifikation entsprechender Modelle bis zum Gesamtfahrzeug.
- Ableitung von zeitgerafften Versuchsprogrammen für die Laborerprobung auf Basis von gemessenen Last-Zeitreihen.
- Multiaxiale Laborprüfungen für Baugruppen und Systeme – u. a. radführende und rotierende Fahrwerkssysteme sowie allgemein lasttragende Komponenten.
- Konzeption, Entwicklung und Durchführung angepasster Erprobungsumfänge einschließlich des Aufbaus ggf. notwendiger Spezialprüfstände.
- Betriebslastennachfahrversuche, Absicherung der Betriebsfestigkeit von Baugruppen und Systemen.



STRUCTURAL DURABILITY DIVISION

Structural durability provides methods for safe and lifetime-oriented design as well as efficient procedures for time-lapse tests and verification. Successful applications can be found in all sectors of traffic engineering, i. e. in the construction of road and rail vehicles, in shipping and aviation but also in the construction of railway bridges or cranes.

Typical tasks in structural durability are the evaluation and monitoring of damage effects in cyclic loading which must not lead to advanced damage or component failures even after long periods of operation. Numerical methods and metrological methods are used in addition to carrying out fatigue life tests with components, assemblies or complete systems. Due to significant advantages in terms of time, cost and reproducibility, experimental tests and trials are often mapped as part of laboratory tests; in recent years, to meet the Fraunhofer LBF's focus on this area, a wide range of state-of-the-art, high-performance test equipment has been integrated in the LBF's structural durability laboratory, e. g. a 25-channel full-vehicle test rig with its own vehicle fixing concepts, customized elastomer test rigs, VHCF and low-load test equipment with piezoelectric actuators and a new commercial vehicle ZWARP (multiaxial wheel) tester.

Applied research and challenges direct from industry encompass the entire range from material characterization to the testing of complex systems.

Materials and Components (Dr.-Ing. Heinz Kaufmann):

- Testing and assessment of the structural durability of metallic and ceramic materials and components under cyclic loading with constant and variable load amplitudes.
- Development and application of numerical methods allowing for production properties and surface post-treatment.
- Efficient determination of component fatigue strengths of, among other things, crankshafts and connecting rods, including the statistical characteristics of S/N and fatigue life curves (Gassner tests).

- Customized test technology for VHCF tests with variable amplitudes and low-load tests with highly accurate, reproducible force and path specification.
- Determination of the fatigue strength of materials and components under the influence of aggressive media such as fuels, corrosive aqueous solutions or hydrogen.

Assemblies and Systems (Dipl.-Ing. Marc Wallmichrath):

- Characterization of rubber/metal components, determination of the structural durability – also at elevated temperatures.
- Numerical elastomer models and assignment to them of quantitative data from the experiment.
- Description of complex kinematics using multi-body simulation (MBS) as well as construction and verification of such models up to the complete vehicle.
- Derivation of time-lapse test programs for laboratory testing based on measured load-time series.
- Multiaxial laboratory tests for assemblies and systems – among others wheel-guiding and rotating chassis systems and general load-bearing components.
- Design, development and implementation of customized testing scopes including the construction of any necessary special test rigs.
- Operational load simulation trials, ensuring the structural durability of assemblies and systems.

»In structural durability, we combine lightweight design with a lifetime-oriented design. This results in a particularly resource-efficient solution and is a real contribution to sustainability.«

Dipl.-Ing. R. Heim



Contact

Prof. Dr.-Ing. T. Melz
Institutsleiter
Bereichsleiter Adaptronik
Phone: +49 6151 705-252
tobias.melz@lbf.fraunhofer.de

BEREICH ADAPTRONIK

Der Bereich Adaptronik entwickelt effiziente smarte Lösungen für die Überwachung und Verbesserung mechanischer Eigenschaften moderner Stuktursysteme. Neben neuartigen mechatronischen und adaptronischen Strukturmaßnahmen werden auch fortschrittliche passive Strukturmaßnahmen berücksichtigt. Dabei stehen das schwingungstechnische Verhalten, der funktionsintegrierte Leichtbau und die Steigerung der Zuverlässigkeit mechanischer Systeme im Vordergrund. Das Adaptronik-Team unterstützt bei der Problem- und Machbarkeitsanalyse, konzipiert und setzt prototypisch kundenoptimierte Lösungen um, entwickelt angepasste Entwicklungstools für die Systemauslegung und begleitet beim Knowhow- und Technologietransfer für kommerzielle Implementierungen. Hierfür werden Methoden der numerischen und experimentellen Struktur- und Zuverlässigkeitsanalyse, der Strukturmechanik und der Signalverarbeitung genutzt und Strukturbauteile in faserverstärkter Kunststoffleichtbauweise umgesetzt. Für die Realisierung zuverlässiger aktiver Strukturösungen werden smarte Sensor- und Aktorsysteme und elektronische Subsysteme entwickelt und regelungstechnische Lösungen auf Eingebetteten Systemen abgeleitet. Eine umfassende Entwurfskette bestehend aus messtechnischer Analyse mobiler und immobiler Systeme, numerischen Verfahren für Auslegung und Simulation, Fertigung von prototypischen mechanischen, elektromechanischen und elektronischen Funktionsmustern sowie Methoden und Werkzeuge zur Absicherung von Funktion und Zuverlässigkeit im Labor und im Feldversuch steht zur Verfügung.

Strukturmechanik und Schwingungstechnik (Dr.-Ing. Sven Herold) Schwerpunkte:

- Schwingungstechnische Analyse, Auslegung und Bewertung von Produkten und Systemen mit numerischen und experimentellen Methoden.
- Entwicklung und Anwendung moderner Methoden der Schwingungsmesstechnik und der numerischen Systemsimulation.
- Vibroakustische Optimierung strukturmechanischer Systeme mit passiven und aktiven Maßnahmen.

Betriebsfester und funktionsintegrierter Leichtbau (Prof. Dr.-Ing. Andreas Büter) Schwerpunkte:

- Experimentelle Charakterisierung neuer Leichtbaumaterialien.
- Bewertung und Optimierung der Betriebsfestigkeit von Leichtbaustrukturen, z. B. über Methoden der integrativen Simulation, auch unter Umweltbelastung.
- Auslegung und prototypische Fertigung konventioneller und funktionsintegrierter Kunststoffbauteile.
- Entwicklung und Bewertung angepasster SHM-Systeme. Entwicklung angepasster Berechnungs- und Prüfverfahren.
- Schadensfortschrittuntersuchungen mit Hilfe von 4d-CT (inSitu CT).

Zuverlässige Signalverarbeitung und Strukturüberwachung (Dr.-Ing. Dirk Mayer) Schwerpunkte:

- Systementwicklung mit Rapid-Control-Prototyping und Hardware-in-the-Loop-Methoden.
- Signalverarbeitung und Regelungstechnik für aktive Systeme.
- Entwicklung elektronischer und eingebetteter Systeme.
- Systeme zur autonomen Strukturanalyse und Schadensdetektion.
- Entwicklung energieautarker intelligenter Sensorsysteme.
- Analyse und Bewertung der Zuverlässigkeit mechatronischer Komponenten und Systeme.

Aktoren und Sensoren

(Dipl.-Ing. Michael Matthias) Schwerpunkte:

- Planung und Durchführung von messtechnischen Untersuchungen zur Ermittlung von Betriebslasten und Betriebsbeanspruchungen; Messdatenanalyse.
- Entwicklung und Umsetzung anwendungsoptimierter Aktoren und Antriebe auf Basis sowohl konventioneller Wirkprinzipien als auch multifunktionaler Materialien (unkonventionelle Aktoren).
- Entwicklung und Integration kundenspezifisch angepasster Sensoren.

»Smarte Strukturtechnologien erweitern den technischen Lösungsraum für strukturmechanische Produktentwicklungen deutlich. Durch die konsequente Kombination von Maschinenbau und Digitalisierung werden im Leichtbau und in der Schwingungstechnik oft Lösungen erzielt, die klassisch nicht erreichbar sind.«

Prof. Dr.-Ing. T. Melz

SMART STRUCTURES DIVISION

The Smart Structures Division develops efficient smart solutions for monitoring and enhancing the mechanical properties of modern structural systems. Of course, in addition to novel mechatronic and adaptronic structural measures, consideration is also given to advanced passive structural measures.

The main focus here is on vibrational behavior, functionally integrated lightweight design and increasing the reliability of mechanical systems. The smart structures team, supported by the problem and feasibility study, designs and implements prototypical customer-optimized solutions, develops adapted development tools for system design and assists during the transfer of expertise and technology for commercial implementations. Advanced methods of numerical and experimental structural and reliability analysis, structural dynamics and signal processing are used for this, and passive to active structural components are implemented in fiber-reinforced lightweight plastic construction. Smart sensor and actuator systems and electronic subsystems are developed for realizing reliable active structural solutions and control technology solutions are derived on embedded systems.

There exists a comprehensive design chain composed of the metrological analysis of mobile and immobile systems, numerical methods for design and simulation, production of prototype mechanical, electromechanical and electronic functional models in addition to methods and tools for safeguarding function and reliability in the laboratory and in field trials. The four research departments complement each other and link up to develop complex adaptronic structural systems.

Structure Dynamics and Vibration Technology

(Dr.-Ing. Sven Herold) focusing on:

- Vibration analysis, design and evaluation of products and systems using numerical and experimental methods.
- Development and application of modern methods of vibration measurement and numerical system simulation.
- Vibro-acoustic optimization of structural dynamic systems using passive and active measures.

Lightweight Structures

(Prof. Dr.-Ing. Andreas Büter) focusing on:

- Characterization of new Lightweight Design materials.
- Assessment and optimization of the Structural Durability of lightweight structures, including under environmental load.

- Design and prototype production of conventional and function-integrated plastic components.
- Development and assessment of adapted SHM systems.
- Development of adapted calculation and test procedures.

Reliability and System Integration

(Dr.-Ing. Dirk Mayer) focusing on:

- System development with rapid control prototyping and hardware-in-the-loop methods.
- Signal processing and control technology for active systems.
- Development of electronic and embedded systems.
- Systems for autonomous structural analysis and damage detection.
- Development of energy self-sufficient intelligent sensor systems.
- Analysis and assessment of the Reliability of mechatronic components and systems.

Actuator and Sensor Technology

(Dipl.-Ing. Michael Matthias) focusing on:

- Planning and performance of metrological investigations to determine operating loads and operating stresses; measured data analysis.
- Development and implementation of application-optimized drives and actuators based on both conventional modes of action as well as multifunctional materials (unconventional actuators).
- Development and integration of custom-matched sensors.

»Smart structure technologies significantly extend the range of technical solutions for product developments in structural mechanics. New smart solutions are often feasible in lightweight design and in vibration control.«

Prof. Dr.-Ing. T. Melz



Contact

Dr. rer. nat. R. Pfaendner
Bereichsleiter Kunststoffe
Phone: +49 6151 705-8605
rudolf.pfaendner@lbf.fraunhofer.de

»Das Potenzial von Kunststoffen ist bei Weitem noch nicht ausgeschöpft. Wir können dieses Potenzial im LBF zusammen mit unseren Kunden verwirklichen.«

Dr. rer. nat. R. Pfaendner

BEREICH KUNSTSTOFFE

Spitzenprodukte können heute nur über einen zuverlässigen und schnellen Zugang zu innovativen und leistungsfähigen Materialien und Werkstoffen wettbewerbsfähig auf den Weltmärkten angeboten werden. Maßgeschneiderte Kunststoffe und Kunststoff-Verbunde sowie Kunststoffverarbeitungstechnologien tragen wesentlich dazu bei, die großen globalen Herausforderungen auf den Gebieten Mobilität, Energie, Umwelt, Kommunikation, Gesundheit, Ernährung und Sicherheit zu meistern. Kunststoffe bieten ein immenses Energie- und Ressourceneinsparpotenzial sowie vielfältige Leichtbauoptionen. Insbesondere faserverstärkt, partikelgefüllt, geschäumt oder in Sandwich-Strukturen integriert, können Kunststoffe höchsten Belastungen Stand halten und erhebliche Mengen an Energie absorbieren. Sie können mit zusätzlichen Funktionalitäten etwa zum Schutz vor UV-Strahlung und Witterungseinflüssen sowie im Interesse reduzierten Brandverhaltens, zur Entwicklung spezieller optischer Eigenschaften, elektrischer und thermischer Leitfähigkeit, sensorischer und aktuatorischer Funktion versehen werden.

Alle zur Realisierung anspruchsvoller Kunststoff-Anwendungen relevanten Kompetenzen, beginnend bei den grundlegenden naturwissenschaftlichen Disziplinen wie Chemie und Physik über die Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in der Verarbeitung bis hin zur Expertise in Analytik, Prüfung und Modellierung, sind auf hohem Niveau unter einem Dach vereint.

Dafür stehen vier fachlich und methodisch sich untereinander ergänzende Fachabteilungen.

Polymersynthese (Prof. Dr. rer. nat. Manfred Döring)

Schwerpunkte:

- Entwicklung chemischer Synthesen für Monomere, Polymere, Additive, reaktive Modifier.
- Technische Syntheseoptimierung und Upscaling.
- Entwicklung und Screening von duromeren Kunststoffen.

Rezepturentwicklung und Dauerhaftigkeit (Dr. rer. nat. Rudolf Pfaendner)

Schwerpunkte:

- Entwicklung von Additiven zur gezielten Beeinflussung von Kunststoffeigenschaften z. B. hinsichtlich Materialsicherheit, Zuverlässigkeit, Versagenscharakteristik, Ressourceneffizienz.
- Gezielte Einstellung von Grenzflächeneigenschaften.
- Materialanalytik und Charakterisierung.
- Kinetik reaktiver Prozesse.

Kunststoffverarbeitung und Bauteilauslegung (Prof. Dr.-Ing. Jürgen Wieser)

Schwerpunkte:

- Kunststoffverarbeitung: Spritzgießen, Folienherstellung und Fügeverfahren.
- Verarbeitung des Werkstoffs zum Bauteil, Vorhersage der mechanischen Eigenschaften.
- Materialmodellierung: Materialverhalten unter hohen Beanspruchungsgeschwindigkeiten und bei mehrachsigen Beanspruchungen, insbes. bei technischen Thermoplasten, Hochleistungskunststoffen, Schäumen und Composites.

Forschungsgroßgeräte (Dr.-Ing. Christian Beinert)

Schwerpunkte:

- Compoundierung und reaktive Extrusion.
- Pflege und problemorientierte Bereitstellung der Forschungsgeräte.
- Spezifische Weiterentwicklungen (z. B. NMR-Spektroskopie, REM, TEM, Technikumsgeräte für Compoundierung, Spritzguss, High Throughput Screening oder zur Folienextrusion).



PLASTICS DIVISION

Only cutting-edge products with a reliable and rapid access to innovative and high-performance materials can be offered on the world market today. Tailored plastics, plastic composites and plastic processing technologies play a central role in meeting global demands in the areas of mobility, energy, environment, communication, health, nutrition and safety. Plastics enable tremendous savings in resources and energy as well as a wide variety of options in lightweight design. Particularly when they are fiber-reinforced, particle-filled, foamed or integrated into sandwich structures, plastics can withstand the highest degree of loading and absorb a great deal of energy. They can be supplemented with an additional range of functions such as protection from UV rays or atmospheric influence, reduced fire behavior, functions for the development of special optical properties, electric and thermal conductivity and with sensor and actuator functions.

All components relevant for the realization of sophisticated plastic applications, running the scope from basic natural-science disciplines such as chemistry and physics, material sciences and material technology in processing to expertise in analytics, testing and modeling are all united at a high level under one roof.

The following four departments are complementary in their disciplines and methods:

Polymer Synthesis (Prof. Dr. rer. nat. Manfred Döring)

Focal Points:

- Development of chemical synthesis for monomers, polymers, additives, reactive modifiers.
- Technical synthesis optimization and upscaling.
- Development and screening of thermosets.

Formulation Development and Durability

(Dr. rer. nat. Rudolf Pfaendner) Focal Points:

- Development of additives for tailor-made properties' modification e. g. with regard to material safety, reliability, failure characteristics, resource efficiency.
- Adjustment of interface properties.
- Material analytics and characterization.
- Kinetics of reactive processes.

Polymer Processing and Component Design

(Prof. Dr.-Ing. Jürgen Wieser) Focal Points:

- Plastics processing: injection molding, film casting and joining technologies, processing of the material, component design, prediction of mechanical properties.
- Materialmodelling: material behavior under high strain rates and with multiaxial loading, especially for engineering plastics, high-performance polymers, foams and composites.

Large-Scale Research Systems (Dr.-Ing. Christian Beinert)

Focal Points:

- Compounding and reactive extrusion.
- Maintenance and problem-oriented provision for research systems.
- Specific further developments (e. g. NMR spectroscopy, REM, TEM, processing equipment for compounding, injection molding, high throughput screening or film extrusion).

»The potential of plastics is far from exhausted as yet. We can realize this potential in the LBF together with our customers.«

Dr. rer. nat. R. Pfaendner



Contact

Dipl.-Ing. R. Heim
Phone: +49 6151 705-283
ruediger.heim@lbf.fraunhofer.de

»Die Elektromobilität ist eine Chance für die nachhaltigkeitsorientierte Gesellschaft und für unsere Automobilwirtschaft: Deshalb betrachten wir alle Aspekte dieses Ökosystems und nicht allein die Traktionskomponenten.«

Dipl.-Ing. R. Heim

PROJEKTBEREICH SYSTEMZUVERLÄSSIGKEIT

Die Zuverlässigkeit komplexer mechatronischer sowie aktiver Systeme wird am Fraunhofer LBF seit vielen Jahren gezielt erforscht. Hierfür werden analytische sowie experimentelle Verfahren, aber auch numerische Simulationsmethoden, zur Bewertung von Sensitivität und Robustheit angewendet. Im neuen »Zentrum für Systemzuverlässigkeit / Elektromobilität – ZSZ« stehen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten für Traktionskomponenten von Elektrostraßenfahrzeugen im Fokus. Dank finanzieller Unterstützung des Landes Hessen, des Bundesministeriums für Bildung und Forschung und der Fraunhofer-Gesellschaft stehen dem LBF und seinen Kooperationspartnern aus Industrie und Forschung ein exzellentes FuE-Umfeld in der Elektromobilität zur Verfügung.

Im ZSZ-e wurde eine hochmoderne Prüf- und Testumgebung für Batteriesysteme aufgebaut, die multiphysikalische Erprobungsbedingungen erlaubt – also mechanische, elektrische und thermische Lasten für die Batterieprüfung zusammenführt. Auf weiteren Laborflächen werden spezielle Antriebsstrangprüfstände – u. a. für Ganzfahrzeuge sowie elektrische Radnabennmotoren – betrieben. Mit aktuell sieben eigenen Forschungsfahrzeugen werden relevante Nutzungs- und Lastszenarien von Elektroautos untersucht. Die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Elektrofahrzeugen sind für die Kundenakzeptanz von großer Bedeutung und gleichwertig zu Reichweite, Komfort und Preis. Mit dem neuen Zentrum für Systemzuverlässigkeit leistet das LBF einen wichtigen Beitrag, die Marktfähigkeit solcher Fahrzeuge zu fördern und damit die Ziele hinsichtlich Leitmarkt und Leitanieterschaft zu erreichen.

Zentrum für Systemzuverlässigkeit, Schwerpunkt

»Future Mobility« am Beispiel des »GEV/one«

Mit dem neuen generator-elektrischen Konzeptfahrzeug des LBF wird die Elektrotraktion ein Stück weit unabhängiger von Batterie und Ladeinfrastruktur: Anders als bei bekannten Range-Extender Konzepten sind hier die Komponenten zur Energieerzeugung und -speicherung auf die größtmögliche Energieeffizienz abgestimmt und gewährleisten einen elektrischen Antrieb ohne Reichweitenprobleme.

»Electromobility is an opportunity for the sustainability-oriented society and for our automotive industry: we therefore consider all aspects of this »ecosystem« and not just the electrified traction components.«

Dipl.-Ing. R. Heim



SYSTEM RELIABILITY PROJECT AREA

The reliability of complex mechatronic and active systems has been under targeted investigation at the Fraunhofer LBF for many years: to do this, analytical and experimental methods, but also numerical simulation methods, are applied to assess degradation mechanisms, failure rates, sensitivity and robustness. In the »Center for System Reliability / Electric Mobility – ZSZ-e«, the focus is on research and development activities for traction components of electric road vehicles. Thanks to the financial support provided by the state of Hesse, the German Federal Ministry of Education and Research and the Fraunhofer-Gesellschaft, the LBF and its cooperation partners from industry and research have an excellent R&D environment in electric mobility at their disposal.

A state-of-the-art testing and test environment for HV battery systems has been set up in the ZSZ-e. It enables multi-physical testing conditions – i.e. it brings together mechanical, electrical and thermal loads for battery testing. Special power train test rigs – for traction drives, electric wheel hub motors and even whole vehicles – are operated in other parts of the laboratory. The center's own fleet of fully equipped research vehicles are also used to study relevant use and load scenarios of electric vehicles.

The Center for System Reliability is therefore making significant contributions to increasing the functional safety and reliability of the drives and energy accumulators of future generations of vehicles in addition to making potential synergies available for other applications in electronics and electrical engineering.

Center for System Reliability, Key Area »Future Mobility«, example »GEV/one«

With the LBF's new generator-electric concept vehicle, electric traction will become a little bit more independent of the battery and charging infrastructure: unlike known range extender concepts, here the components for power generation and energy storage are tuned for maximum energy efficiency and guarantee an electric drive that has no range problems.



Der *GEV/one* – das generator-elektrische Konzeptfahrzeug des Fraunhofer LBF.

GEV/one – LBF's new generator-electric concept vehicle.



Die Abteilungsleiter im Fraunhofer LBF.

Heads of departments.

BEREICH ZENTRALE DIENSTE CENTRAL SERVICES

ABTEILUNGEN:



Wissenschaftsmanagement
Prof. Dr.-Ing. T. Bein
Phone: +49 6151 705-463
thilo.bein@lbf.fraunhofer.de



Strategisches Management
Dr. phil. nat. U. Eul
Phone: +49 6151 705-262
ursula.eul@lbf.fraunhofer.de



Administration und strategisches Controlling
Dipl.-Betriebswirt P. Betzholz
Phone: +49 6151 705-233
peter.betzholz@lbf.fraunhofer.de



Technisches Management
Dr.-Ing. T. Hering
Phone: +49 6151 705-8513
thorsten.hering@lbf.fraunhofer.de

BEREICH BETRIEBSFESTIGKEIT STRUCTURAL DURABILITY DIVISION

ABTEILUNGEN:



Werkstoffe und Bauteile:
Dr.-Ing. H. Kaufmann
Phone: +49 6151 705-345
heinz.kaufmann@lbf.fraunhofer.de



Baugruppen und Systeme:
Dipl.-Ing. M. Wallmichrath
Phone: +49 6151 705-467
marc.wallmichrath@lbf.fraunhofer.de



BEREICH ADAPTRONIK
SMART STRUCTURES DIVISION

ABTEILUNGEN:



Betriebsfester und funktionsintegrierter Leichtbau: Prof. Dr.-Ing. A. Büter
Phone: +49 6151 705-277
andreas.bueter@lbf.fraunhofer.de



Strukturdynamik und Schwingungstechnik: Dr.-Ing. S. Herold
Phone: +49 6151 705-259
sven.herold@lbf.fraunhofer.de



Aktoren und Sensoren:
Dipl.-Ing. M. Matthias
Phone: +49 6151 705-260
michael.matthias@lbf.fraunhofer.de



Zuverlässige Signalverarbeitung und Strukturüberwachung: Dr.-Ing. D. Mayer
Phone: +49 6151 705-261
dirk.mayer@lbf.fraunhofer.de

BEREICH KUNSTSTOFFE
PLASTICS DIVISION

ABTEILUNGEN:



Forschungsgroßgeräte:
Dr.-Ing. Ch. Beinert
Phone: +49 6151 705-8735
christian.beinert@lbf.fraunhofer.de



Polymersynthese:
Prof. Dr. rer. nat. M. Döring
Phone: +49 6151 705-8675
manfred.doering@lbf.fraunhofer.de



Rezepturenentwicklung und Dauerhaftigkeit:
Dr. rer. nat. R. Pfaendner
Phone: +49 6151 705-8605
rudolf.pfaendner@lbf.fraunhofer.de

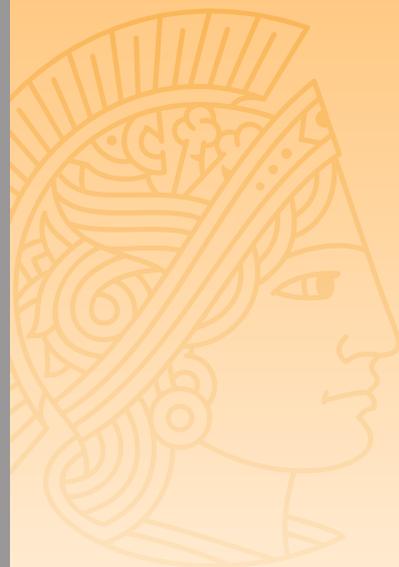


Kunststoffverarbeitung und Bauteilauslegung: Prof. Dr.-Ing. J. Wieser
Phone: +49 6151 705-8725
juergen.wieser@lbf.fraunhofer.de

ASSOZIIERTES FACHGEBIET
ASSOCIATED DEPARTMENT



Systemzuverlässigkeit, Adaptronik und Maschinenakustik: Prof. Dr.-Ing. T. Melz
Phone: +49 6151 705-252
tobias.melz@lbf.fraunhofer.de



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





Kuratorium.

Board of Trustees.

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.

Vielen Dank an:

Prof. Dr. Hartmut Baumgart (Vorsitzender)

Adam Opel AG, Rüsselsheim

Dr.-Ing. Gerold Bremer

Volkswagen AG, Wolfsburg

Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Mathias Glasmacher

Diehl Stiftung & Co. KG, Nürnberg

Dr. Arbogast M. Grunau

Schaeffler Technologies AG & Co. KG, Herzogenaurach

Sven Hamann

Robert Bosch GmbH, Renningen

Dr.-Ing. Ferdinand Hollmann

Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn

Dr. Stefan Kienzle

Daimler AG, Ulm

Dr. Patrick Kim

Bayerische Motorenwerke AG, München

Dr.-Ing. Peter Klose

GWP Technologies GmbH, Gesellschaft für
Werkstoffprüfung und neue Technologien, Zorneding

MinR'in Dr. Ulrike Mattig

Hessisches Ministerium für Wissenschaft und Kunst, Wiesbaden

Prof. Dr.-Ing. Matthias Oechsner

Technische Universität Darmstadt, Darmstadt

MinR Hermann Riehl

Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn

Dr.-Ing. Oliver Schlicht

Audi AG, Ingolstadt

MinR Dipl.-Ing. Norbert Weber

Bundesministerium der Verteidigung, Bonn

Dr.-Ing. Hans-Joachim Wieland,

FOSTA Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V.,
Düsseldorf

Martin Winkler

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

Wir danken unseren Partnern!

Thank you for your trust!

 **BOREALIS**

 **Putzmeister**

BMW GROUP  

 **PMG**

 **BOSCH**
Technik fürs Leben

Nabaltec

 **HOCHBAHN**

Polymer Char

 **UNI WHEELS**
UNITED WHEELS GROUP

DAF
A **PACCAR** COMPANY

 **PORSCHE**

DAIMLER

FEIN. Unverwüstliche
Elektrowerkzeuge.



 **AVL**

Truck
speedline

FLUDICON
smart **PID** solutions

 **ALCOA**
WHEELS



 **FREUDENBERG**
INNOVATING TOGETHER

EISENMANN



 **APP TECH**

Ticona
Performance Driven Solutions™

 **ALBIS**

 **EVONIK**
INDUSTRIES



BORBET
Borbet Group

Höganäs 

BEHR



Herding
reine Produktivität
FILTERTECHNIK



STEYRMOTORS
INNOVATION WITH LIGHTNESS 

 **Hirschvogel**
Automotive Group

PSS
POLYMER STANDARDS SERVICE

KISTLER
measure. analyze. innovate.


HBM


POSTNOVA
Leading in FFF

 **DPI**
Dutch Polymer Institute

TRW


Audi
Vorsprung durch Technik

MBDA
Bayern-Chemie GmbH

coperion
confidence through partnership

HÄMMERLING
G R O U P

BENTELER 


Eberspächer


MAN

Innovation in Motion


Miba

SCHAEFFLER

  **FAG**

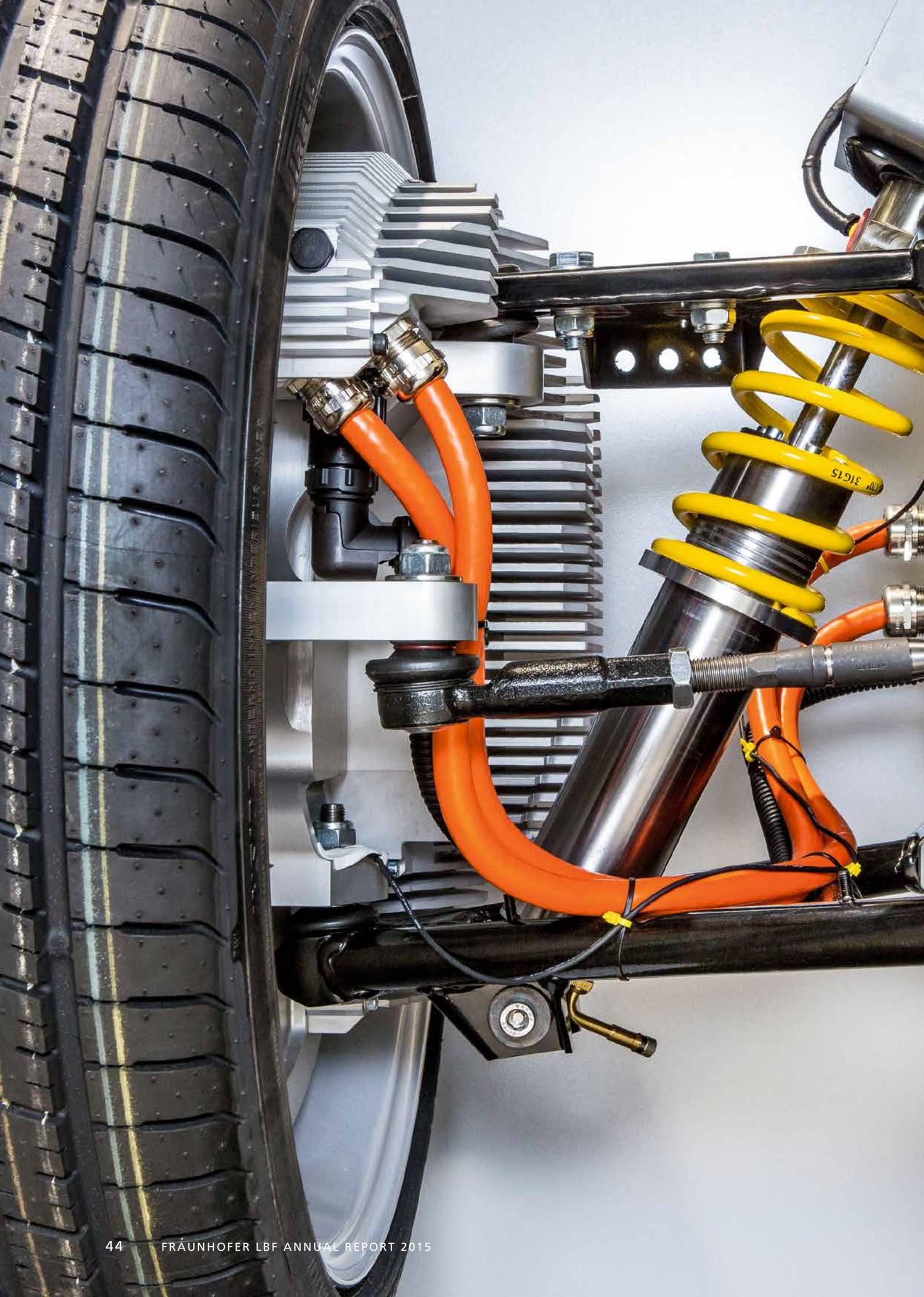

Wir leben Autos.

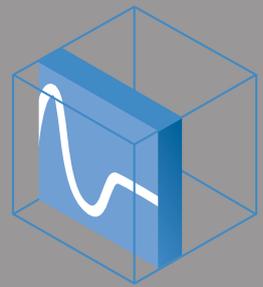

SCHOTTEL

 **Harmonic**
Drive AG

BSST 

Ausschnitt aus dem Kundenportfolio. Wir bedanken uns für die Zustimmung zur Verwendung der Logos!





Schwingungstechnik mit System.

Systematic Vibration Technology.

	Bestimmung der dreidimensionalen Schallausbreitung. Evaluation of the three-dimensional propagation of noise.	46
	Hochpräzise Versuchsstände für dynamisch belastete mechatronische Komponenten. High-precision test rigs for dynamically loaded(mechatronic components).	48
	Hybrider magnetorheologischer Fahrwerksdämpfer. Hybrid magnetorhological damper.	50
	Schwingungsminderung mit der Mechanical Simulation Toolbox. Vibration Reduction on the basis of the Mechanical Simulation Toolbox.	52
	Minderung des Wolftons. Wolf note elimination.	54
	Leichtbau Querlenker mit integrierter Piezokeramik. Lightweight control arm with integrated piezoceramics for vibration control.	56
	Digitalisierung von Prozessen und Produkten. Industrial Internet of Things	58





LOW-COST SCHALLINTENSITÄTSSCANNER
LOW-COST SOUND INTENSITY SCANNER

Bestimmung der dreidimensionalen Schallausbreitung.

Evaluation of the three-dimensional propagation of noise.

Contact: *Tim Bastian Klaus* · Phone: +49 6151 705-8368 · tim.bastian.klaus@lbf.fraunhofer.de

Die von Maschinen abgestrahlte Schallintensität kann mit kommerziellen Schallintensitätssonden, bestehend aus hochpräzisen Mikrofonen bzw. Hitzedrahtanemometern, bestimmt werden. Diese Sensoren machen die Technologie relativ teuer, weshalb sie nur einem begrenzten Nutzerfeld zur Verfügung steht. Heutige Low-Cost Komponenten ermöglichen eine günstige Umsetzung bei hinreichender Messgüte.

Entwicklung eines Schallintensitätsscanners

Auf Grund der hohen Messgenauigkeit ist die Anschaffung von konventionellen Messsystemen, insbesondere für dreidimensionale Messungen, mit hohen Kosten verbunden. Aus diesem Grund beschäftigt sich das Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit mit der Entwicklung von Low-Cost Sonden auf Basis von Elektret Mikrofonen, mit denen die Schallintensität im dreidimensionalen Raum bestimmt werden kann. Es konnte eine 3D-Schallintensitätssonde entwickelt werden, mit der die Schallintensität bis zu einer Frequenz von ca. 10kHz eine vergleichbare Messgenauigkeit zu kommerziellen Sensoren aufweist (Abb. 1).

Da es sich bei der Schallintensität um eine vektorielle Größe handelt, kann sie neben der Bestimmung der abgestrahlten Schalleistung ebenfalls verwendet werden, um die Richtcharakteristik abstrahlender Strukturen zu erfassen. Hierzu wird auf einem dreidimensionalen Feld die Schallintensität um die Quelle herum gemessen. Um eine hinreichende Messgenauigkeit zu gewährleisten, ist hierzu eine hohe Anzahl an Messpunkten erforderlich. Hierbei stellen handgeführte Schallintensitätssonden den Benutzer vor die Herausforderung der Positioniergenauigkeit bei einer zugleich hohen Anzahl an Messungen. Aus diesem Grund wurde vom Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit ein Portalsystem entworfen, mit dem die Positionierung der Schallintensitätssonde automatisiert durchgeführt wird. Dieses System basiert, wie die Schallintensitätssonde, ebenfalls auf Low-Cost Komponenten, wodurch die Kosten des Gesamtsystems, je nach Vergleichssystem, um einen Faktor von bis 200 reduziert werden können.



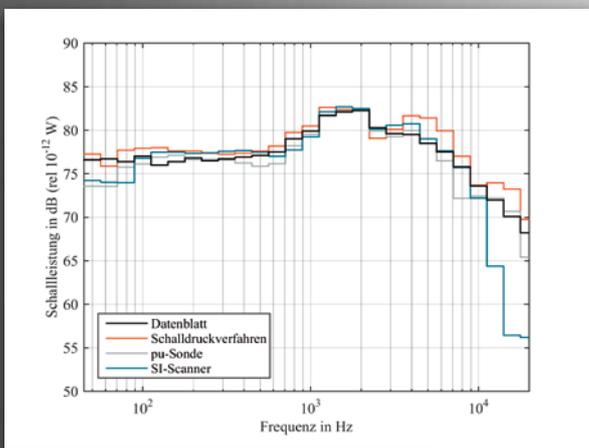


Abb. 1: Vergleich der gemessenen Schalleistung einer Vergleichsschallquelle mit unterschiedlichen Messverfahren.
 Fig. 1: Comparison of the measured sound power of a reference source based on different measurement principles.

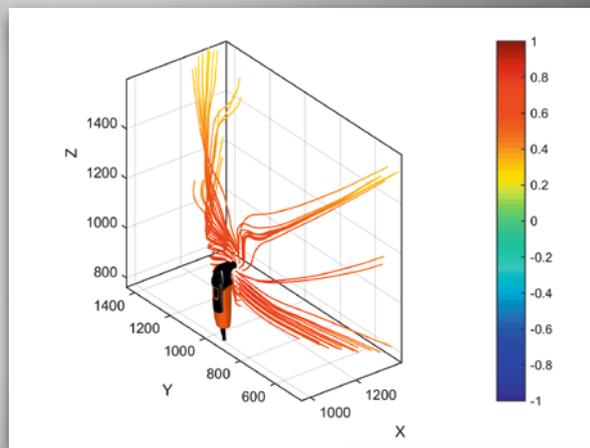


Abb. 2: Gemessener Schalleistungsfluss eines Fein Multimasters.
 Fig. 2: Measured acoustic power flow of a Fein Multimaster.

Durch die Automatisierung der Schallintensitätsmessungen wird die Abtastung eines dreidimensionalen Volumens mit einer hohen Punktdichte möglich. Aus diesen Messungen lässt sich die kontinuierliche Ausbreitung des Schalls im Raum visualisieren. Beispielhaft ist in Abbildung 2 das Ergebnis einer Schalleistungsfluss-Messung eines Fein Multimasters abgebildet. Hierbei sind die Ausbreitungspfade der Schallenergie zu erkennen. Die Farbskala definiert hierbei die Amplitude der Schallintensität. Hiervon ausgehend ist nun eine Optimierung der Struktur möglich, wobei ein Augenmerk auf die Beeinflussung der abgestrahlten Schalleistungsflüsse gelegt werden kann. Darüber hinaus ist die automatisierte Messung der abgestrahlten Schalleistung von Maschinen und Strukturen möglich.

Customer Benefits The development of the sound intensity scanner has expanded its use, due to drastically reduced costs. Consequently, LMCs are now also able to perform measurements of the radiated noise and perform optimizations of their products.

Summary Soundwaves are compression oscillations of the air. The acoustic radiation of structures can be described by means of sound intensity. With this vectorial dimension the radiated sound power and the spatial sound propagation in the three-dimensional space can be evaluated. Conventional measurement systems consisting of a hand-held probe are often quite expensive. Furthermore, the manual element of measurements results in a reduction of reproducibility and an increase in costs. For this reason we have developed a system for low-cost, automated measurements of the sound intensity.

»Mit der Automatisierung der Messung und Auswahl von Low-Cost Komponenten ist eine kostengünstige Lokalisierung von Lärmquellen möglich.«

Tim Bastian Klaus

*Mehrachsprüfstand zur
Nachbildung von Fahr-
manövern gleichzeitig in
alle sechs Raumachsen.
Multiaxle test rig to simu-
late driving maneuvers in
all six spatial axes.*

HARDWARE-IN-THE-LOOP
HARDWARE-IN-THE-LOOP

Hochpräzise Versuchsstände für dynamisch belastete mechatronische Komponenten.

High-precision test rigs for dynamically loaded mechatronic components.

Contact: Dr. Dirk Mayer · Phone: +49 6151 705-261 · dirk.mayer@lbf.fraunhofer.de

Die Schwingbelastung auf Komponenten im Betrieb hängt zum einen von der Anregung und zum zweiten von der mechanischen Wechselwirkung zwischen der Komponente und der Umgebung ab. Probleme mit der Funktionalität oder der Zuverlässigkeit hochdynamisch belasteter Komponenten werden daher häufig erst nach Integration ins Gesamtsystem erkennbar, was hohen Arbeits- und Zeitaufwand für entsprechende Versuche nach sich zieht. Eine Nachbildung der Wechselwirkungen im Laborversuch kann daher Produktentwicklungsprozesse deutlich beschleunigen und vereinfachen.

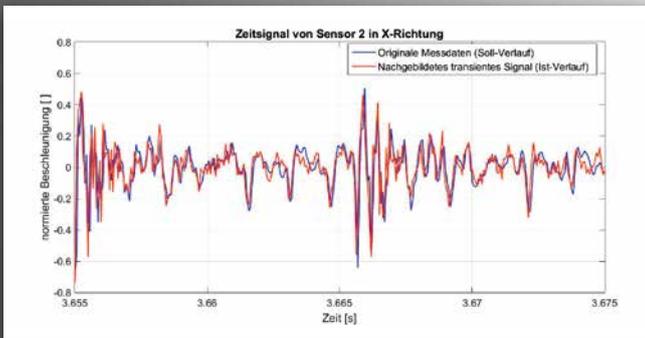
Prozessbeschleunigung in der frühen Entwicklungsphase

Die Herausforderung besteht in solchen Fällen darin, Testumgebungen zu entwickeln, die die im Feld auftretenden Schwingungen präzise simulieren können, um so zum Beispiel Ausfallmechanismen zu studieren. Hierbei sind vor allem zwei Aufgaben relevant: Zum ersten muss in Fällen, bei denen der Prüfkörper auf die Umgebung zurückwirkt, diese Wechselwirkung im Labor simuliert werden. Dies ist zum Beispiel relevant, wenn große und schwere Leistungselektronik in Leichtbaufahrzeuge integriert werden soll; insbesondere ist auch der Fall interessant, dass Systeme zur Schwingungsminderung, bei denen die Rückwirkung natürlich beabsichtigt

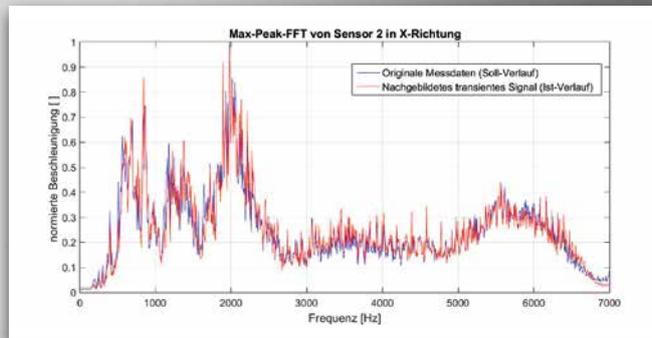
ist, im Labor getestet werden sollen. Dies erfordert neuartige Konzepte, welche das bereits in der Automobilelektronik etablierte Hardware-in-the-Loop-Konzept auf dynamische mechanische Schnittstellen erweitern.

Zum zweiten müssen die Stellsignale für die Belastungseinrichtung mit hoher Genauigkeit erzeugt werden. Dazu werden Algorithmen angepasst, welche das Fraunhofer LBF bereits erfolgreich in der aktiven Schwingungsminderung eingesetzt hat. Weiterhin werden für die Nachbildung von hochdynamischen Signalen mit kleiner Amplitude Piezoaktoren verwendet, wobei darauf zu achten ist, dass der Versuchsstand selbst im relevanten Frequenzbereich keine eigene Dynamik z. B. in Form von Resonanzen aufweist.

In einer Zusammenarbeit mit der Robert-Bosch GmbH wurde insbesondere letztere Aufgabe relevant: In Steuergeräten kommt es zu hochfrequenten Schwingeregungen durch die angesteuerte Aktorik, welche Funktionen des Steuergeräts beeinträchtigen kann. Diese potenziellen Effekte sollten möglichst früh im Entwicklungsprozess untersucht werden, um durch Designänderungen für Abhilfe sorgen zu können. Der entwickelte mehraxiale Prüfstand kann unterschiedlichste transiente Anregungen in alle sechs Raumrichtungen gleich-



*Zeitsignal eines nachgebildeten Manövers auf Mehrachsprüfstand.
Time signal of a simulated maneuver on multiaxle test rig.*



*Spektrum nachgebildeter transienter Anregungen auf Mehrachsprüfstand.
Spectrum of transient excitations simulated on multiaxle test rig.*

zeitig sehr gut nachbilden und wird somit aufwendigere Tests mit Betrieb des Gesamtsystems ersetzen. Die eingesetzten sieben piezokeramischen Aktoren bilden die transienten Anregungen bis 7000Hz reproduzierbar ab und können mit beliebigen Signalen angesteuert werden. Das Steuergerät wird wie im realen Betrieb belastet und der Einfluss verschiedener Designvorschläge auf Funktionen des Steuergeräts kann ermittelt werden.

Customer Benefits Validating vibration-related properties as early as possible in the development process has a number of advantages. Firstly, efficient laboratory tests can reduce the effort and expense required for substantially more extensive test setups or field trials. In addition, it is generally considerably easier to carry out early design changes in mechatronic systems than to make modifications in later stages of development. The added value is particularly high if design variations can be validated quickly in this way. Potential uses include development projects in which laboratory tests with conventional shakers cannot reproduce problems sufficiently accurately but where the cost of complete system integration and testing in the field is too high.

Summary Vibrations often have an impact on mechatronic components, such as reduced service life and precision, or they may even cause malfunctions. A test using a shaker is carried out in the laboratory in order to predict such effects. This method, however, reaches its limits when interactions occur between test specimen and shaker, or if the dynamics of the shaker are not sufficient to reproduce relevant effects. At the Fraunhofer LBF, testing technology is being developed which will enable experimental simulation of vibration-related problems using highly dynamic actuators and corresponding regulation. Ultimately, this will reduce the effort for developers as it will reduce the number of test series in real operation of the mechatronic system.



*Dr. rer. nat.
Thomas Kimpel
Automotive Electronics,
Robert Bosch GmbH*

»Mit Hilfe des entwickelten Prüfstands können Versuche an Steuergeräten in frühen Entwicklungsstadien durchgeführt und notwendige Designänderungen schnell umgesetzt werden.«

»Using the test rig developed, it is possible to carry out tests on control units in the early stages of the development process and implement any necessary design changes quickly.«



ADAPTIV UND ENERGIEEFFIZIENT
ADAPTIVE AND ENERGY EFFICIENT

Hybrider magnetorheologischer Fahrwerksdämpfer.

Hybrid magnetorheological damper.

Contact: Marco Jackel · Phone: +49 6151 705-8274 · marco.jackel@lbf.fraunhofer.de



Der Einsatz von Radnabenmotoren in Elektroautos stellt neue Anforderungen an die Fahrwerkskomponenten. Unter anderem wird durch die erhöhten reifengefederten Massen der Zielkonflikt zwischen Fahrsicherheit und Fahrkomfort verschärft. Im Rahmen des Projekts wurde der Ansatz verfolgt, dem mit einem energieeffizienten adaptiven Fahrwerksdämpfer auf Basis einer magnetorheologischen Flüssigkeit entgegen zu wirken.

Überlagerte Magnetfelder

Magnetorheologische Flüssigkeiten (MRF) sind Suspensionen aus einer Trägerflüssigkeit und ferromagnetischen Partikeln. Unter Einfluss eines Magnetfeldes bilden sich Festkörperbrücken, die zu einer Erhöhung der übertragbaren Schubspannung führen.

Der hybride magnetorheologische Dämpfer nutzt diesen Effekt, um die Dämpferhärte in einem Fahrzeug anzupassen: Je stärker das Magnetfeld, desto höher die Dämpfungskraft. Durch ständiges Anpassen der Dämpfung an die aktuelle Fahrsituation können so die negativen Auswirkungen der durch Radnabenmotoren erhöhten reifengefederten Massen minimiert werden.

Eine Besonderheit des am Fraunhofer LBF entwickelten Dämpfers ist dessen Magnetfeldführung. Ein von einer Magnetspule erzeugtes Magnetfeld wird mit dem eines in seiner Position verschiebbaren Permanentmagneten überlagert (siehe Abb. 1). Beide Felder können sich verstärken oder abschwächen. Das von dem Permanentmagneten erzeugte Feld lässt sich über dessen Position variieren. Hierbei ist der große Vorteil, dass nur für das Verschieben Energie benötigt wird und nicht für die Erzeugung des Magnetfelds.

In der Anwendung im Fahrzeug können so notwendige langsame Anpassungen der Dämpferhärte (z. B. aufgrund von Beladung) durch Verstellung des Permanentmagneten mit schnellen Anpassungen (z. B. bei einem Ausweichmanöver) durch Änderung des Spulenstroms überlagert werden.

Nach diesem neu entwickelten Prinzip mit superponierten Magnetfeldern wurde ein Dämpfer konstruiert, simuliert und aufgebaut (siehe Abb. 2). Für die Verstellung des Permanentmagneten wird ein Linearschrittmotor genutzt. Die für den Dämpfer notwendige Elektronik zur Ansteuerung des Motors und die der bipolaren Stromregelung der Magnetspule wurden

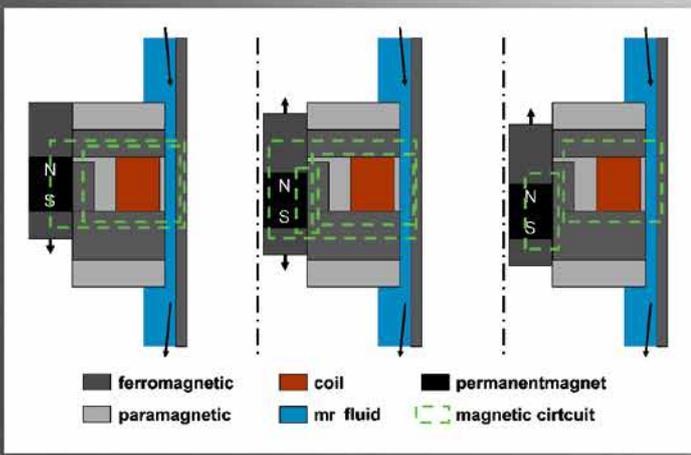


Abb. 1: Prinzip des hybriden magnetorheologischen Dämpfers.
Fig. 1: Basic principle of the hybrid magnetorheological damper.

Abb. 2: Hybrider magnetorheologischer Dämpfer.
Fig. 2: Hybrid magnetorheological damper.



umgesetzt. Anschließend wurde der hybride magnetorheologische Dämpfer auf einem Versuchsstand charakterisiert und in den im Rahmen des FSEM II Projektes aufgebauten Demonstrators integriert. (Siehe auch Beitrag auf Seite 76.)

Customer Benefits With the hybrid magnetorheological damper in combination with a built up quarter vehicle test bench the Fraunhofer LBF has a powerful demonstrator as well as a development platform. For example different control strategies for adaptive suspensions can be tested and compared.

Summary In the project »Fraunhofer System Research for Electromobility – FSEM II« an adaptive damper based on a magnetorheological fluid was developed. The target is to minimize the effect of the raised unsprung masses that come along with the integration of wheel hub motors. As the energy consumption plays a major role in electric vehicles, an energy efficient magnetic circuit design was developed. An adjustable field generated by a physically moveable permanent magnet is superposed by a second field generated by a solenoid coil. The benefit of using a permanent magnet is that energy is only needed for moving the permanent magnet and not for genera-

ting a magnetic field. For adjusting the damping force for slow changing boundary conditions (e. g. loading condition) mainly the moveable permanent magnet is used and for fast changing boundary conditions (e. g. at quick evasion manoeuvres) the solenoid coil is used.

»Unsere Arbeit soll dazu beitragen, die Akzeptanz für elektromobiles Fahren zu erhöhen.«

Marco Jackel

gefördert von der Fraunhofer-Gesellschaft



Fraunhofer



AUSLEGUNG PASSIVER, SEMI-AKTIVER UND AKTIVER SYSTEME
 DESIGN OF PASSIVE, SEMI-ACTIVE AND ACTIVE SYSTEMS

Schwingungsminderung mit der Mechanical Simulation Toolbox.

Vibration Reduction on the basis of the Mechanical Simulation Toolbox.

Contact: Jennifer Thiel · Phone: +49 6151 705-8393 · Info@mechanical-simulation.de



Die Kombination von Leichtbau mit Anforderungen an Komfort, Präzision oder Festigkeit stellt branchenübergreifend viele Hersteller vor Herausforderungen. Dazu tragen störende Schwingungen erheblich bei. Mit der Mechanical Simulation Toolbox setzt das Fraunhofer LBF am Zahn der Digitalisierung an und ermöglicht es seinen Kunden strukturdynamisch optimierte Produkte zu entwickeln.

Numerische Auslegung aktiver Systeme

Leichtbau-Produkte sparen gegenüber herkömmlichen Produkten Gewicht und Material. Das macht sie wiederum anfälliger für Schwingungen. Diese wirken sich negativ auf Komfort, Präzision oder Festigkeit aus. Auch Zeit- und Ressourcenaufwand, um optimale Lösungen mittels Prototypen zu finden, sind schwierig zu bewerkstelligen. Das stellt an Hersteller oftmals Herausforderungen, die dem Leichtbau entgegenstehen.

Aktive Systeme können die Anwendungsbereiche von Leichtbaumaßnahmen erweitern und beeinflussen Komfort, Präzision und Festigkeit positiv.

Drei Module für unterschiedliche Anforderungen

Mit der **Mechanical Simulation Toolbox** geben wir unseren Kunden drei Matlab-basierte Module an die Hand,

um das Schwingverhalten Ihrer Produkte zu analysieren und geeignete aktive Systeme auszulegen.

1. Das Modul **Structure and Vibration** beinhaltet Anregungsmodelle und Werkzeuge zur Erstellung mechanischer Strukturen und Auswertungsmöglichkeiten.
2. Aktorik, Sensorik und Regelungstechnik erweitern ein mechanisches System zu einem aktiven System. Diese Komponenten befinden sich in dem **Smart Structure**-Modul.
3. Als weiteres Werkzeug wurde das Modul **Ansys-Matlab Interface** entwickelt. Damit werden komplexe, elastische Systeme aus den Finiten Elementen in Matlab/Simulink integriert – bei gleichzeitiger Reduktion der Freiheitsgrade. Sehr große Modelle behalten auch im reduzierten Zustand ihr charakteristisches Gesamtsystemverhalten bei und leisten zeitlich gute Performance.

Die verschiedenen Module versetzen Hersteller branchenunabhängig in die Lage, aktive Systeme auszulegen und Machbarkeitsstudien und Konzeptvergleiche durchzuführen. Um das Systemverhalten von unerwünschten Schwingungen zu befreien, können verschiedene Maßnahmen, Methoden und Konzepte angewendet und untereinander verglichen werden. Ein Erfolgsfaktor ist die modulare Modellierungs-



Wesentliche Elemente der Toolbox entstanden im LOEWE-Zentrum AdRIA, das vom Land Hessen gefördert wurde.
 Major parts of the toolbox were developed in the LOEWE Center AdRIA, which was funded by the State of Hesse.

strategie, die die stufenweise Detaillierung der Komplexität der Modelle erlaubt, sowie die Einbindung von analytischen, numerischen und messtechnisch erfassten Daten.

Am Fraunhofer LBF werden die Module entwickelt, implementiert, dokumentiert und getestet. Die Module der **Mechanical Simulation Toolbox** sind ab sofort käuflich erhältlich. Über den Verkauf hinaus, bieten wir Ihnen Schulungen und Beratung an. Gerne erstellen wir individuelle Modelle und Module für Sie. Sprechen Sie uns an und besuchen Sie uns unter www.mechanical-simulation.de

Customer Benefits The Mechanical Simulation Toolbox is designed to help companies that need to find new engineering solutions to vibration problems, which may compromise the comfort, precision and reliability of their products. Independent of the branch of engineering, the toolbox facilitates the process of modelling structural dynamics and allows the numerical investigation and validation of active and passive vibration control measures. Our costumers profit from an ease in the development process, which results in time savings in the design phase of prototypes and final products. The toolbox can be used complementary to other MATLAB toolboxes and provides data conversion interface to the finite element simulation software ANSYS.

Summary Unwanted vibrations can compromise the comfort, precision and reliability of a product. Particularly in the development of light-weight structures vibration control needs to be taken into account in the product design process, which is often complex and time consuming. Therefore it is usually assisted by CAD and various numerical simulation tools. Fraunhofer LBF has developed a specific Mechanical Simulation Toolbox, which allows designing and developing passive, semi-active and active vibration control solutions. A data conversion interface allows using the toolbox complementary to other numerical simulation tools. In addition the toolbox features tools that allow to evaluate vibration data from measurements in laboratory and in the field. Apart from providing the software license and costumer specific training, we also support our customers in optimizing their own computational design approaches and offer customized toolboxes.

»Durch die Mechanical Simulation Toolbox können Projekte schneller und effizienter bearbeitet werden.«

Jennifer Thiel



»INTELLIGENTE« WERKSTOFFE UND AKTIVE SYSTEME
SMART MATERIALS AND ACTIVE SYSTEMS

Minderung des Wolftons.

Wolf note elimination.

Contact: M.Sc. Philipp Neubauer · Phone: +49 6151 16-23594 · neubauer@sam.tu-darmstadt.de



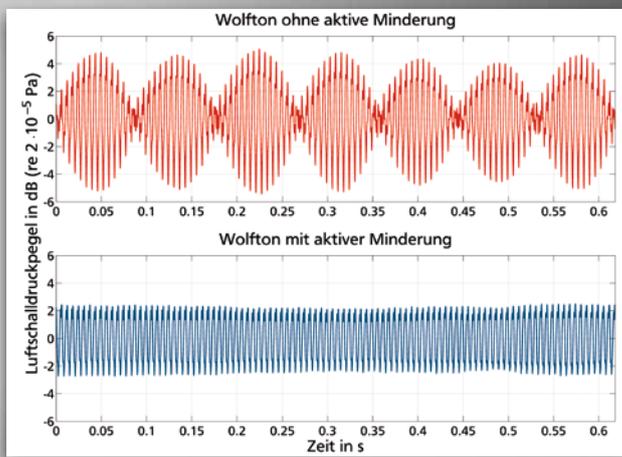
Der Name des Wolftons stammt von seinem charakteristischen Klang, der an das Heulen eines Wolfs erinnert. Der Wolf entsteht, wenn der Musiker einen Ton anspielt, der der Frequenz einer Korpusresonanz entspricht. Durch die präzisere Verarbeitung sind vor allem handgefertigte Profi-Celli von diesem Phänomen betroffen. Diese Tatsache erregt das Aufsehen von Profi-Musikern, wie auch Wissenschaftlern des Fraunhofer LBF und des Fachgebiets für Systemzuverlässigkeit, Adaptionik und Maschinenakustik SAM der TU Darmstadt.

Anpassungsfähigkeit unter allen Bedingungen

Musikinstrumente verstimmen sich nach einem Transport oder durch Änderung der Umgebungsbedingungen. Hierbei kann sich ebenfalls die Frequenz des Wolftons verschieben. Bereits auf dem Markt etablierte, passive »Wolfötter« verlieren ihre Wirksamkeit, wenn sich die Frequenz des Wolftons verändert. Die größte Herausforderung bei der Entwicklung des neuartigen, aktiven Systems zur Minderung des Wolftons ist deshalb die Anpassungsfähigkeit an veränderliche Umgebungsbedingungen. Ein weiterer Aspekt der Anpassung ist die universelle Kompatibilität des Systems zu verschiedenen Tonhöhen, bei denen der Wolfton auftritt. Die aus den Werkstätten unterschiedlicher Cellobauer stammenden

Musikinstrumente weisen jeweils ihren individuellen Wolfton auf. Auch mangels dieser Anpassungsfähigkeit stoßen die passiven »Wolfötter« erneut an ihre Grenzen. Das neu entwickelte aktive System zur Minderung des Wolftons kann sowohl mit veränderlichen Umgebungsbedingungen als auch mit unterschiedlichen Tonhöhen des Wolftons umgehen.

Das sich in der Prototypenphase befindende System erfasst die Schwingungen des Korpus durch zwei Miniatur-Beschleunigungssensoren, die sich in der Nähe des Stegs befinden. Der entwickelte Algorithmus kann durch diese Informationen ein Auftreten des Wolftons in Echtzeit detektieren. Nur wenn eine Detektion stattgefunden hat, werden die Schwingungen des Korpus beeinflusst und so der Wolfton bedarfsgerecht gemindert. Die Einwirkung geschieht durch einen auf der Korpusoberfläche angebrachten piezokeramischen Patch-Aktor, der nach dem Prinzip der bedarfsgerechten Geschwindigkeitsrückführung angesteuert wird. Hierbei wird auf aktivem Weg dem Korpus mechanische Dämpfung zugeführt. Es gilt den Zielkonflikt zwischen der Minderung des Wolftons und der möglichst geringen Beeinflussung des Instrumentenklangs optimal zu lösen. Hierzu wird die Stärke der eingebrachten Dämpfung so gewählt, dass der Wolfton vollständig unterdrückt, der Klang des Cellos jedoch nur vernachlässigbar beeinflusst wird.



*Der Wolfon im zeitlichen Verlauf ohne und mit aktiver Minderung.
The wolf note in the time domain without and with the active
wolf eliminator.*



*Seitenansicht des Cellos mit Sensoren und piezokeramischem
Patch-Aktor.
Side view of the cello with sensors and the piezoceramic
patch actuator.*

*Das Cello mit angebrachtem aktiven Minderungssystem.
The cello with the mounted active wolf eliminator.*

Das aktive System zur Minderung des Wolfons wurde erfolgreich umgesetzt. Das System wird durch Wissenschaftler des Fachgebiets Systemzuverlässigkeit, Adaptronik und Maschinenakustik SAM weiterentwickelt, um die Praxis-tauglichkeit zu untersuchen. Es konnten bereits erfolgreich Patente für die aktive Minderung des Wolfons am Cello angemeldet werden.

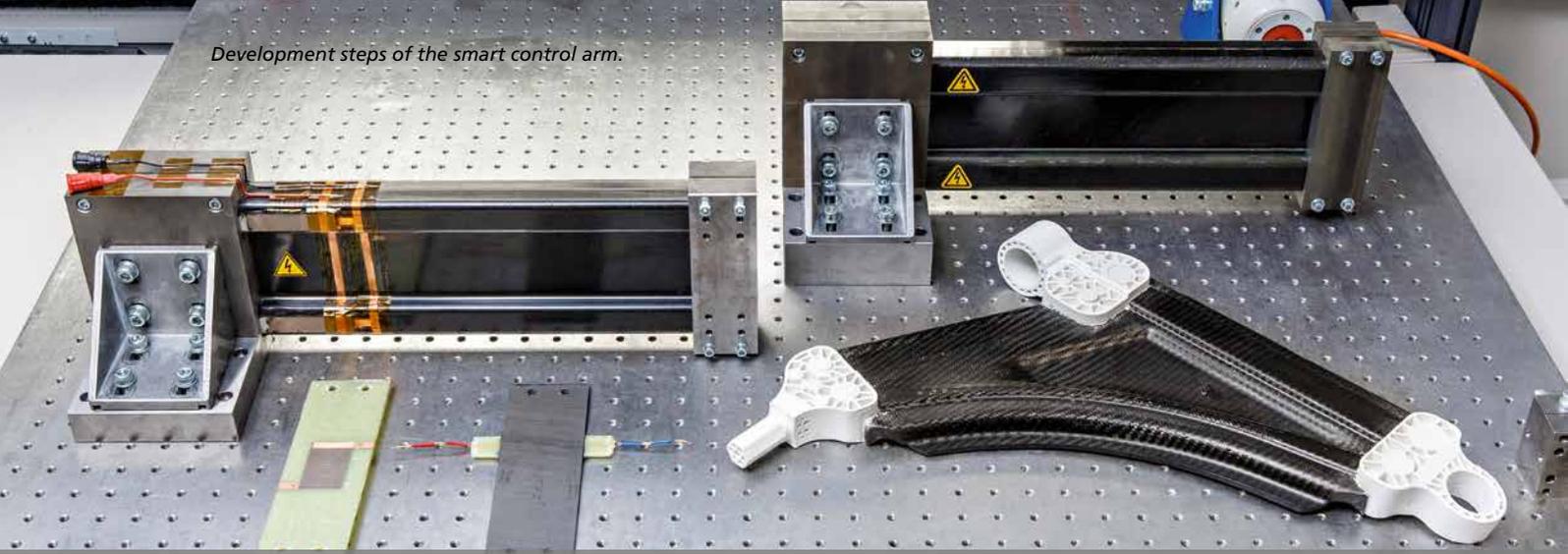
Customer Benefits Professional musicians can fully concentrate on their play when using the active wolf note eliminator. The wolf note will be eliminated under all environmental conditions and for all types of individually manufactured cellos.

Summary The »wolf in the cello« is an acoustical phenomenon that arises from the interaction of string and body. Practically every cello is affected by the wolf, while it occurs in an individual frequency for each cello. The wolf note is characterized by strong beats in the radiated air-borne sound, reminding the howl of a wolf, which is considered to be annoying. The wolf note can be eliminated by the combination of smart materials and active systems. The development of real-time-algorithms enables the detection and the effective elimination of the wolf notes while being able to adapt itself to changing environmental conditions.



*»Durch das aktive System wird
der Wolfon zuverlässig und
adaptiv gemindert. Dabei wird
der Instrumentenklang nur so
viel wie nötig beeinflusst.«*

M. Sc. Philipp Neubauer, Fachgebiet SAM



MINIMALES GEWICHT, MAXIMALE SCHWINGUNGSMINDERUNG
MINIMUM WEIGHT, MAXIMUM VIBRATION ATTENUATION

Lightweight control arm with integrated piezoceramics.

Contact: Rogério Salloum · Phone: +49 6151 705-8534 · rogerio.salloum@lbf.fraunhofer.de

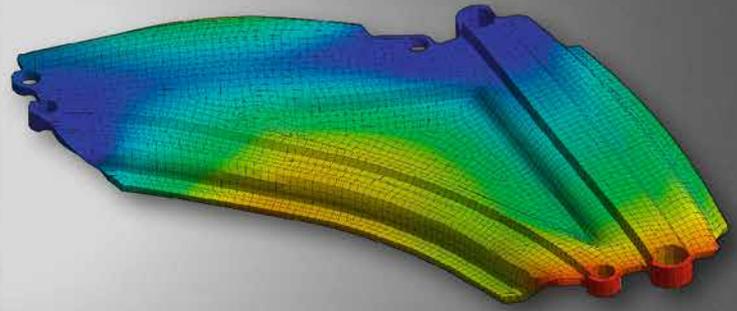
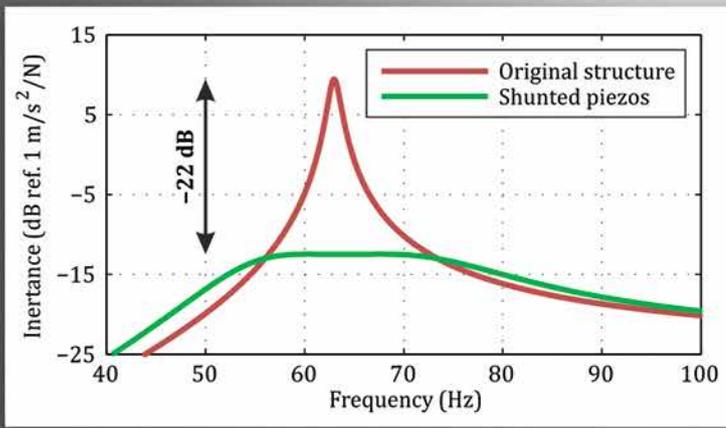
The control arm in an automotive suspension is one of the main transfer paths for vibrations going into the chassis. To avoid bulky countermeasures in other vehicle parts and improve the driving experience, Fraunhofer LBF has developed an integrated solution for vibration attenuation inside the control arm itself, combining the advantages of both fiber-reinforced plastics and piezoceramic materials.

Different methods of integration

The reduction of unwanted noise and vibrations in vehicles is often a design requirement related to the comfort of passengers. However, classical countermeasures are usually associated with additional weight. In an automotive suspension, the control arm is a major transfer path for small vibrations induced e. g. by the road roughness, resulting in decreased NVH comfort inside the car. The goal of this research project was to develop a smart control arm that is lightweight, that meets the stiffness requirements and that presents enhanced structural damping without excessive additional weight. It has been especially designed with lightweight composite materials and with integrated piezoceramic transducers capable of absorbing mechanical vibrations through a semi-active shunt damping.

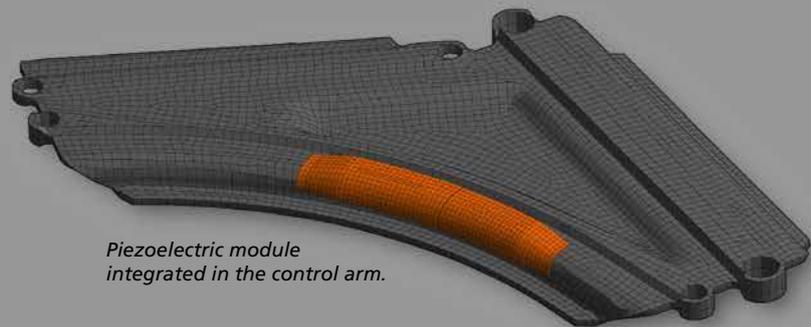
Different methods of integration of the piezoceramic transducers have been evaluated, using both glass and carbon fiber-reinforced laminates. In contrast to surface-bonded transducers, embedded piezoceramics inside the laminate are protected from the external environment and provide direct coupling to the structure. In shunt damping applications, this coupling is the driving parameter for performance. Within this project, a novel fiber-reinforced piezoelectric module has been developed in order to allow a more realistic functional integration. The transducers are housed in a separate module and mounted to the surface of the control arm. This is the basis for the further improvement of the design of the control arm with integrated semi-active damping.

A novel strategy to deal with the application of shunted piezoceramics in lightweight composite structures for vibration attenuation has been established. For the first time, the mechanical structure, the integrated piezoceramics and the electronics of the shunt have been simultaneously designed. Taking into account several input variables from all sub-systems, it is possible to meet all technical requirements in an optimal way. By substituting passive structural mass by active material, the overall structural weight can be potentially reduced and the coupling maximized. This means that high vibration attenuation and high mass savings can be simultaneously attained.



Vibration attenuation of the control arm by means of piezoelectric shunt damping.

Finite element simulation of the first eigenfrequency mode shape.



Piezoelectric module integrated in the control arm.

Customer Benefits The automotive industry will take benefit not only from the reduced structural weight of the part, but also from the compact solution against unwanted vibrations, which leads to improved driving comfort, in contrast to classical bulky countermeasures. Other industries where lightweight design is crucial will also benefit from this development, such as railway, wind turbines, aerospace and machinery.



Prototype of the control arm made of fiber-reinforced plastic developed at the Fraunhofer LBF.

Summary Vibrations in modern cars constitute a real issue that can lead to undesirable noise and diminished durability. To solve this, Fraunhofer LBF has developed a control arm for midsize vehicles made of fiber-reinforced plastics and integrated piezoceramic materials. For the first time, semi-active vibration attenuation in a non-elementary structure has been made possible thanks to the simultaneous design of the mechanical structure, the piezoceramics and the electronics. Considering both passive and active materials early in the design process allows finding a better compromise between weight, static stiffness and damping. The resultant smart structure represents a compact solution against unwanted vibrations.

»We want to investigate an integrated solution for vibration attenuation in a non-elementary structure, combining the advantages of both, fiber-reinforced plastics and piezoceramic materials.«

Rogério Salloum

This research was funded by the European Commission via the FP7 Marie Curie ITN GRESIMO Project, GA 290050 and via the FP7 ENLIGHT Project, GA 314567. This financial support is gratefully acknowledged.

Auch im Kranbau: Digitalisierung
als Prozessbeschleuniger.
Also in crane construction:
Digitization as a process accelerator.

VERBESSERTE PRODUKTE UND NEUE GESCHÄFTSMODELLE
ADVANCED PRODUCTS AND NOVEL BUSINESS MODELS

Digitalisierung von Prozessen und Produkten.

Industrial Internet of Things.

Contact: Dr. Dirk Mayer · Phone: +49 6151 705-567 · dirk.mayer@lbf.fraunhofer.de

Die drastischen Fortschritte in der Halbleitertechnologie und die inzwischen fast vollständige digitale Vernetzung der Welt haben bereits zu einer Omnipräsenz digitaler Technologien im Alltag geführt. Die Digitalisierung von Prozessen, aber auch der Produkte, auch unter den Begriffen Industrie 4.0 oder (Industrial) Internet of Things bekannt, ist eine der interessantesten und wichtigsten Entwicklungen für die Industrie.

Das Fraunhofer LBF besitzt breite Erfahrung, um den Transfer dieser Technologien in Unternehmen, von KMU bis zum Konzern, zu unterstützen. Die jahrzehntelange Erfahrung in der Unterstützung der Industrie bei der Auslegung sicherheitsrelevanter Bauteile, kombiniert mit dem Wissen um die Integration intelligenter Sensorik, eröffnet hier weitreichende Möglichkeiten: Die dauerhafte Erfassung und Analyse von Betriebslasten durch Sensoren an Anlagen während der Nutzung liefert laufend Informationen über Materialermüdung und die zu erwartende Restlebensdauer der wesentlichen Komponenten und aufkommende Schäden. Entsprechende Lösungen wurden im Projekt Zustandsüberwachung in der Intralogistik (von der AiF gefördert) mit verschiedenen Herstellern entwickelt und getestet.

Nachhaltige Systementwicklung

Auch im Institut selbst gibt es relevante Anwendungen: So wird daran gearbeitet, energieintensive Versuchseinrichtungen mit verteilter Sensorik, beispielsweise für die Durchflussmessung der Hydraulik, direkt an den einzelnen Versuchsständen auszustatten. Die erfassten Daten werden die Basis für die energetische Optimierung des Versuchsfelds darstellen. Im Bereich Kunststoffe wird an der Online-Optimierung des Prozesses hinsichtlich Effizienz und Qualität durch Kombination von Prozesswissen mit Sensordaten an eigenen Produktionsmaschinen gearbeitet.

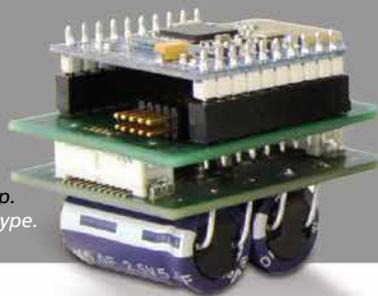
Großes Potenzial bietet aber auch die Integration von Sensorik in sicherheitskritische Bauteile und Systeme. Auf Basis der erfassten Daten können zustandsbasierte Intervalle für Inspektion oder Austausch festgelegt werden; darüber hinaus ergeben sich so Möglichkeiten für neue Produktmerkmale und Dienstleistungen: Statt ein Produkt zu verkaufen, kann dessen Nutzung in Rechnung gestellt und bei einem Ausfall ein schneller Service ermöglicht werden. Nicht zuletzt wird hier auch das Energy Harvesting relevant, welches in vielen Fällen eine nachhaltige Lösung zur Energieversorgung der intelligenten Sensoren darstellt, beispielsweise in Güterwagen, welche keinerlei Stromversorgung besitzen.



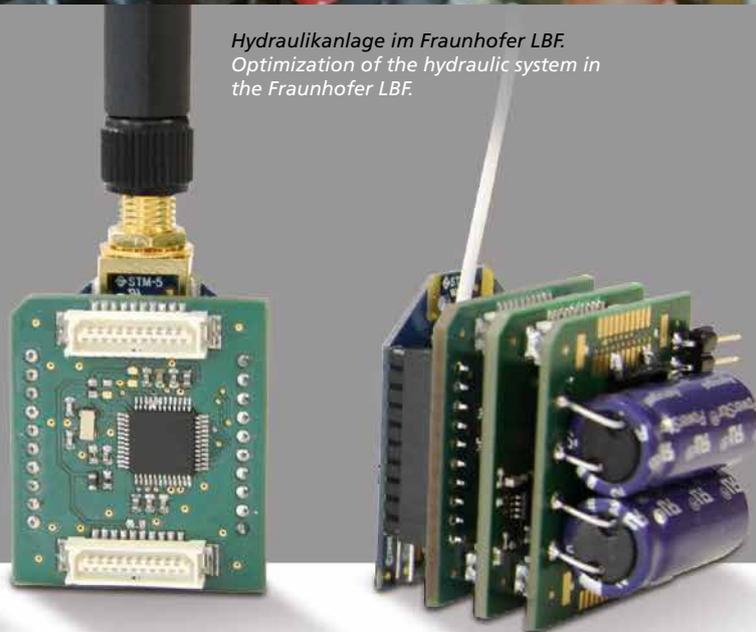
*Nachhaltige Energieversorgung von intelligenten Sensoren an Güterwagen dank Schwingungsenergiewandler.
Sustainable energy supply of intelligent sensors on freight cars thanks to vibrational energy converters.*



*Hydraulikanlage im Fraunhofer LBF.
Optimization of the hydraulic system in the Fraunhofer LBF.*



*LBF-Smarter Sensor als Prototyp.
LBF Smarter Sensor as a prototype.*



Customer Benefits Digitization offers direct economic added value by increasing the efficiency of production. This may be a decrease in energy consumption but may also be the optimization of plans for replacing components to reduce downtimes and costs for spare parts.

Using data from the product additionally offers potential for new developments: On the one hand, intelligent components enable demand-driven, and therefore more resource-efficient, use of materials and on the other hand, new product features provide the manufacturer with a USP and innovative service-oriented business models.

Summary The Internet of Things enables opportunities from increasing the efficiency of production processes to novel service-oriented business models. Current research projects with relevance to this topic at LBF include system development for condition monitoring systems of industrial plants, integration of smart sensors into mechanical components and energy harvesting for the power supply of wireless, autonomous systems.



Fraunhofer LBF ZUKUNFTSTHEMA

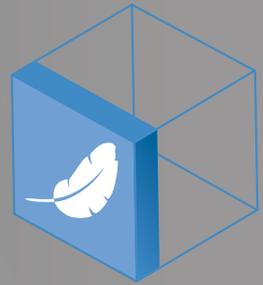


*Dr.-Ing.
Oliver Kempkes
KULI Hebezeuge –
Helmut Kempkes
GmbH*

»Unsere Krananlagen und Krankomponenten besitzen wegen ihrer Sicherheit, Betriebsfestigkeit und Zuverlässigkeit weltweit ein hohes Ansehen. Wir schätzen deshalb die Möglichkeiten des Fraunhofer LBF, mit modernster Messtechnik und auf Basis neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse Methoden der Zustandsüberwachung zu entwickeln.«

»Our crane systems and crane components enjoy an excellent reputation worldwide due to their safety, structural durability and reliability. We therefore appreciate Fraunhofer LBF's opportunities for developing methods of condition monitoring using leading edge measuring techniques and based on the latest scientific findings.«





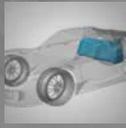
Leichtbau mit System.

Systematic Lightweight Design.



Verformung von CFK-Teilen im Testflug exakt nachgewiesen.
Precise demonstration of CFRP parts deformed during a test flight.

62



Individuelle Prüftechnik für PKW-Kraftstoffbehälter.
Individual test technique for passenger car petrol tanks.

64



Hybride Leichtbauhinterachse für E-Mobile.
Hybride rear axle in lightweight design for e-mobil.

66



FasTEST – Festigkeitsbezogene anwendungsspezifische Test-Verfahren.
FasTEST – Fatigue Related Application Specific Testing Solution.

68





FRAUNHOFER LBF MIT MESSTECHNIK IM MITTELSTRECKENFLIEGER
FRAUNHOFER LBF ON BOARD OF A MEDIUM-RANGE AIRCRAFT

Verformung von CFK-Teilen im Testflug exakt nachgewiesen.

Precise demonstration of CFRP parts deformed during a test flight.

Contact: M.Eng. Oliver Schwarzhaupt · Phone: +49 6151 705-490 · oliver.schwarzhaupt@lbf.fraunhofer.de
M. Eng. Conchin Contell Asins · Phone: +49 6151 705-8462 · conchin.contell.asins@lbf.fraunhofer.de

An Bord: Keine Passagiere, nicht mal Sitzreihen. Die Verkleidung der Innenwände fehlt. Stattdessen Kabel, Sensoren, am Boden fest verschraubte Messgeräte. Der Rumpf des Fliegers besteht nicht wie üblich aus Aluminium. Ein Bauteil aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) bildet die obere Außenhaut vom Cockpit bis zu den Tragflächen. Dass es den Belastungen des Testflugs standhält, ist sicher. Aber wie weit wird es sich bei unterschiedlichen Flugmanövern verformen? Exakte Werte liegen bislang nicht vor.

LBF-Messtechnik zeichnet Flugbeanspruchungen eindeutig auf

CFK-Strukturen verhalten sich während eines Flugs anders als Aluminium. Wie genau, hat ein Team aus Forschern des Fraunhofer LBF mit einem speziellen Messaufbau bei Testflügen herausgefunden. Ziel der Messflüge war es, robuste Daten zu erhalten, die mit den Berechnungen über das Flugverhalten von CFK verglichen werden können. Die realen Daten benötigen Flugzeugbauer, um Bauteile exakt so zu konstruieren, dass sie den auftretenden Belastungen standhalten. Die Testflüge haben gezeigt, dass mit dem Messaufbau jedem einzelnen Flugmanöver eine eindeutige CFK-Verformung zugeordnet werden kann. Die Wissenschaftler verteilten bei dem Testflug

die komplette Messhardware im Flugzeug und werteten die Daten aus. Die Testflüge sind Teil von Clean Sky – Green Regional Aircraft ITD, einem gemeinsamen Forschungsprojekt der Europäischen Kommission und der europäischen Luftfahrtindustrie. Die Ergebnisse werden nun vom Flugzeughersteller ausgewertet. Die Flugzeugbauer wollen noch leichtere CFK-Bauteile bauen, unnötiges Material und damit Treibstoff einsparen. Außerdem ist es mit diesem System möglich, die Struktur während des Flugs auf ihren Zustand hin zu überwachen und somit Bauteile deutlich länger im Einsatz zu belassen, was zu deutlichen Einsparungen führt.

Als Testflugzeug diente ein Mittelstreckenmodell für etwa 70 Passagiere. Für die Flüge wurde ein Teil des oberen Rumpfs durch ein etwa fünf Mal drei Meter langes CFK-Bauteil ausgetauscht. Dieser Bereich ist einer der am stärksten belasteten Bauteile bei einem Flug. Die optischen Messfasern legten die Forscher an der zum Flugzeuginnenraum gewandten Seite an. Die dünnen, länglichen Glasfasern eignen sich gut, um auch sehr schwache Veränderungen von größeren Bauteilen anzuzeigen.

Dazu wurden Messstellen definiert, die dann an den Fasern angebracht wurden. Die Messsignale nahm eine opto-





© ATR/Alenia Aermacchi

Optische LBF-Messtechnik an einer der höchstbeanspruchten Stellen eines Mittelstreckenflugzeuges.

Optical sensors illustrate the deformation of the carbon fiber aircraft structure very accurately.

Im Testflug konnte jedem einzelnen Flugmanöver eine eindeutige CFK-Verformung zugeordnet werden.

To investigate the behavior of a carbon fiber aircraft structure during flight, scientists at the Fraunhofer LBF developed a measurement concept.



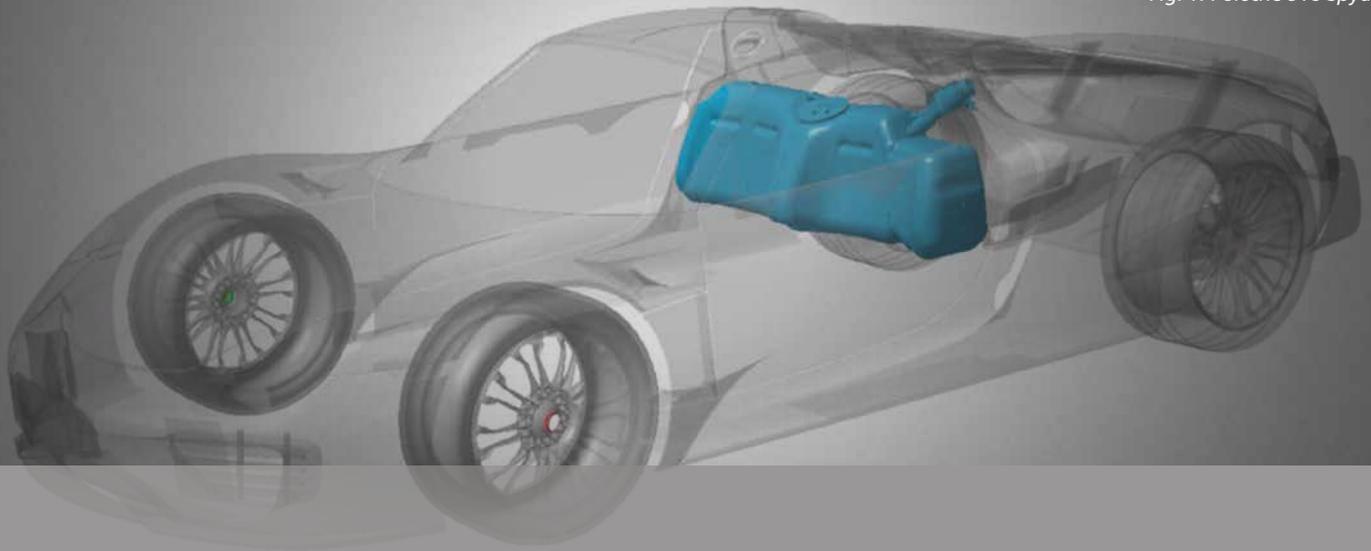
Research leading to these results has received funding from the European Union (FPJ/2007-2013) for the Clean Sky Joint Technology Initiative under relevant grant agreement

elektronische Messeinheit auf. Die Blackbox lieferte zusätzliche Informationen zur Flughöhe, Fluggeschwindigkeit oder zu Flugmanövern. Anschließend wurden beide Datenpools – Dehnungsmessung und Flugdaten – miteinander korreliert. So ließ sich exakt nachvollziehen, wie der Flug auf das CFK-Bauteil gewirkt hat. Um die Dehnungssensoren an den richtigen Stellen anzubringen, mussten die Forscher wissen, wo Belastungen üblicherweise bei Flugmanövern auftreten. Hier konnte das Fraunhofer LBF sein Know-how zum Verhalten von CFK einbringen: Die Stellen mit den höchsten Belastungen hatten die Wissenschaftler zuvor berechnet und die Messstellen genau dort angebracht.

Parallel zum faseroptischen System für die Messung der Verformungen des CFK-Panels wurde auch ein ultraschallbasiertes Strukturüberwachungssystem zur Detektion von Impactschäden installiert. Dieses Messsystem besteht aus einem piezobasierten Sensornetzwerk und einer luftfahrtkonformen, elektronischen Messeinheit. Ähnlich wie das Nervensystem des menschlichen Körpers überwachen die direkt auf der Oberfläche angebrachten Sensoren kontinuierlich die Struktur auf der Suche nach unsichtbaren Schäden, die z. B. durch Hagelgewitter verursacht werden können, und melden kritische Ereignisse rechtzeitig an das Flugzeugpersonal.

Customer Benefits It is possible to measure and illustrate the deformation of the carbon fiber aircraft structure very accurately due to the measurements carried out by Fraunhofer. This knowledge can be used in future to produce lighter and optimised components which will lead to weight reduction and therefore fuel savings. This structure monitoring can also be used to significantly extend the operating times of the components and thus reduce costs.

Summary To investigate the behavior of a carbon fiber aircraft structure during flight, scientists at the Fraunhofer LBF developed a measurement concept as part of the European aviation research project Clean Sky – Green Regional Aircraft ITD, which was subsequently installed and used in the aircraft. With these measurements based on optical measuring fibers and piezoelectric patches, it was possible to determine real loads on the structure in flight and to monitor the structure. Based on these results, it is now possible to optimize components and thus save weight. As a result of structure monitoring, these components can also remain in service longer before they need to be replaced.



BETRIEBSLASTENVERSUCHE AN DRUCKTANKS STRUCTURAL DURIBILITY TESTS ON PRESSURETANKS

Individuelle Prüftechnik für PKW-Kraftstoffbehälter.

Individual test technique for passenger car petrol tanks.

Contact: M.Eng. Daniel Hofferberth · Phone: +49 6151 705-443 · daniel.hofferberth@lbf.fraunhofer.de

Die kontinuierlich steigenden Anforderungen der Abgasnormen erhöhen ebenfalls die Anforderungen an das Gesamtsystem der Kraftstoffversorgung. Im dargestellten Projekt wird speziell auf die umgesetzte Prüftechnik zur Durchführung von Betriebslastenversuchen an Drucktanks aus dem Automobilssektor eingegangen.

Die im aktuellen Supersportwagen mit Hybridantrieb, Porsche 918 Spyder, erstmals eingesetzten speziellen Drucktanks wurden am Fraunhofer LBF unter zyklischer Innendruckbelastung untersucht. Aufgrund des großen Tankvolumens und der geringen Prüfdrücke wurde ein neues Prüfkonzept entwickelt und im Zuge der Validierung des Porsche 918 Spyder Drucktanks unter Raumtemperatur und erhöhter Temperatur erfolgreich eingesetzt.

Das Prüfkonzept zeichnet sich zum einen durch seine hohe Flexibilität bezüglich der zu untersuchenden Volumina (mit oder ohne Füllmedium) aus. Zum anderen sind mit Prüfdrücken im Bereich von ± 500 hPa relativ zum Umgebungsdruck sowohl Über- als auch Unterdrücke an Bauteilen möglich. Zusätzlich

sind Umwelteinflüsse (Temperatur) durch den Anschluss externer Klimakammern an den Prüfraum simulierbar, um das Einsatzspektrum des Tanks individuell abzubilden. Wegen der oftmals komplexen Einbausituation von Kraftstoffbehältern in Fahrzeugen und im Hinblick auf eine realitätsnahe Prüfung besitzt die isolierte Prüfkammer einem Rauminhalt von 2m^3 . In der Prüfkammer sind Untersuchungen unter Raumtemperatur sowohl mit Einzelkomponenten, als auch mit größeren, zu einer Baugruppe zusammengefügt Komponenten möglich. Die zyklische Prüfung mit überlagertem Temperaturprofil beinhaltet eine automatisiert ablaufende Druckprüfung und die Möglichkeit zur Füllstandüberwachung sowie die Überwachung neuralgischer Stellen mittels Dehnungsmessstreifen zur Messung örtlicher Beanspruchungen sowie zur Versagensdetektion.

Der Nachweisversuch (Betriebslastenversuch) wurde auf der Basis der von der Porsche AG zur Verfügung gestellten Prüfzyklen unter Raumtemperatur und erhöhter Temperatur durchgeführt. Der zu untersuchende Drucktank wurde für die Betriebslastenversuche in einem original Monocoque montiert und zyklisch mit Innendruck belastet. Abb. 2 zeigt das fertig



Abb. 3: Porsche Rennwagen im Einsatz.
Fig. 3: Porsche racing car.



Abb. 2: Monocoque des 918 Spyder mit eingebautem DrucktankBF.
Fig. 2: 918 Spyder monocoque with integrated pressure tank

montierte Monocoque in der Prüfkammer vor Versuchsbeginn mit angeschlossener Messtechnik (Drucksensoren, DMS und Temperatursensoren) und den zur Druckbeaufschlagung erforderlichen Schläuchen.

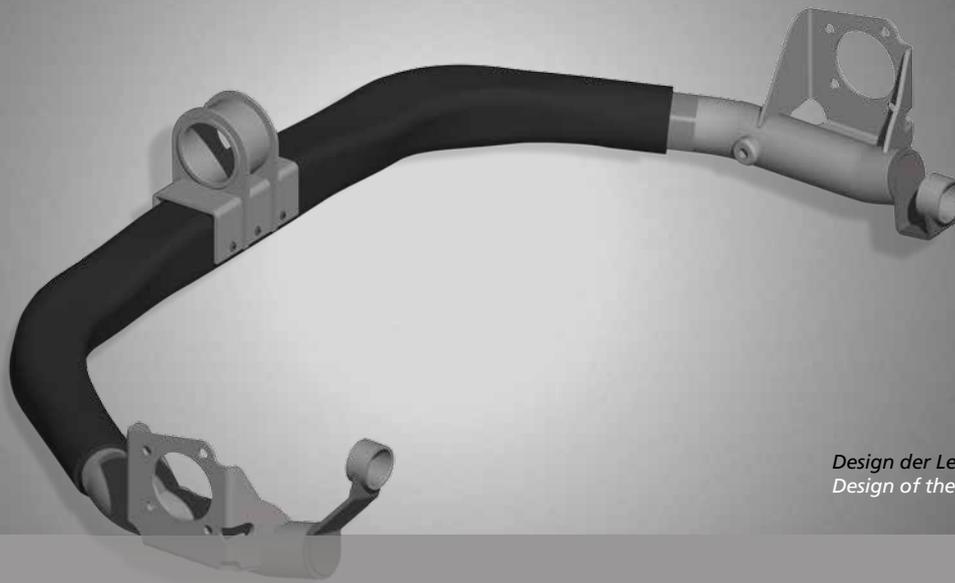
Customer Benefits Test facilities pursuant to customer specification allow the consideration of important influencing factors for the proof of structural durability of pressure tanks. Based on the established test procedure design and optimisation processes can be accompanied parallel by experiment and allow the feedback of the gathered findings into numerical design approaches.

Summary With the extension of the test facilities concerning internal pressure fatigue tests under low pressure bilateral projects with the Porsche AG can be carried out reliable and contemporary. The automated executing proof of structural durability for pressure tanks with superimposed temperature profile supports the customer during the design process.

Dipl.-Ing. (FH)
Stefan Rieser
Entwicklung
Gesamtfahrzeug
Werkstofftechnik,
Porsche AG

»Mit der am Fraunhofer LBF umgesetzten Prüftechnik konnte die Validierung des Porsche 918 Spyder Kraftstoffbehälters erfolgreich durchgeführt werden. Die aus dem Prüfstandsversuch gewonnenen Erkenntnisse können zudem auf andere Fahrzeugmodelle übertragen werden und so die Entwicklungszeit verkürzen.«

»Using the testing technology implemented at Fraunhofer LBF, it was possible to successfully validate the fuel tank of the Porsche Spyder 918. The knowledge gained from the bench test can also be applied to other car models, thus reducing development time.«



*Design der Leichtbauhinterachse.
Design of the lightweight rear axle.*

ENTWURF, NUMMERISCHE SIMULATION, PROTOTYPHERSTELLUNG
DESIGN, NUMERICAL COMPUTATIONS, PROTOTYPE MANUFACTURE

Hybride Leichtbauhinterachse für E-Mobile.

Hybride rear axle in lightweight design for e-mobiles.

Contact: M. Eng. Paul Becker · Phone: +49 6151 705-510 · paul.becker@lbf.fraunhofer.de

Im Rahmen des EU-Projekts **epsilon** beschäftigte sich das Fraunhofer LBF mit der Entwicklung und Fertigung einer neuartigen Fahrwerkskomponente, einer Hinterachse. Dabei sollten die Aspekte des Leichtbaus und der Fahr-tüchtigkeit einen besonderen Schwerpunkt bilden. Um das Ziel des Projekts zu erreichen, bestand die Notwendigkeit, eine umfangreiche Studie über das Leichtbaupotenzial der Vorder- und Hinterachsen durchzuführen. Die Aufgabenstellung wurde mithilfe der Verbundbauweise und dem Einsatz von faserverstärkten Kunststoffen gelöst.

Gegenwärtige Situation

Leichtbau spielt nicht zuletzt durch die aufstrebende Elektromobilität eine wichtige Rolle. Die Erhöhung des Gesamt-fahrzeuggewichts durch die nötigen Akkumulatoren in Elektrofahrzeugen stellt die Automobilhersteller vor eine enorme Herausforderung. Auch bei konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor spielt die Leichtbauweise aufgrund der immer höheren Anzahl von Zusatzfunktionen und der damit verbundenen Erhöhung der Gesamtmasse eine große Rolle. Aufgrund dessen befassen sich immer mehr Entwickler und Hersteller mit der Aufgabe der Gewichtsoptimierung

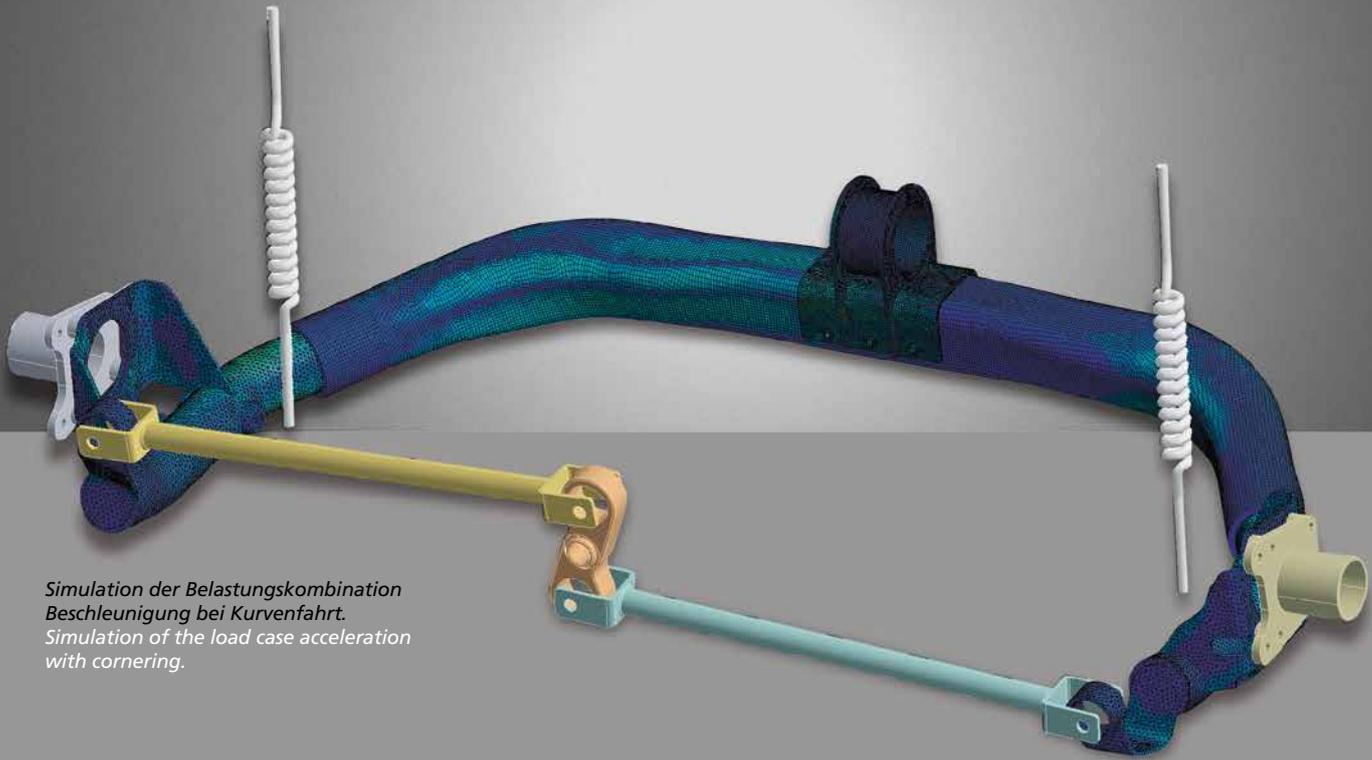
und setzen dabei innovative Lösungen ein. Karosserie- und Fahrwerksbauteile, die früher aus Metallwerkstoffen hergestellt wurden, werden zunehmend häufiger durch Kunststoffteile und Faserverbundteile substituiert.

Die hybride Leichtbauhinterachse

Die vom Fraunhofer LBF entwickelte hybride »Leichtbauhinterachse« beinhaltet eine Reihe von innovativen Lösungen:

- Verwendung eines innovativen Verbindungselements zwischen Metall- und Faserverbundbauteil. Nutzung der sogenannten T-Igel®-Verbindung.
- Optimierung der Faserorientierung der CFK-Komponente hinsichtlich der mehraxialen Belastung aus dem Fahrbetrieb.
- Entwicklung einer kerbspannungsarmen, formschlüssigen Metall- und Faserverbundverbindung.

Im Laufe des Projekts erfolgte die Berechnung der Hinterachse mittels der FE-Methode in mehreren Schritten. Parameterstudien und Konstruktionsvarianten führten schließlich zu einem optimierten Entwurf. Dieser besteht aus zwei metallischen Seitenteilen und einem Mittelteil aus Faser-Kunststoff-Verbund. Durch diese Hybridbauweise wird die Gestaltung der



*Simulation der Belastungskombination
Beschleunigung bei Kurvenfahrt.
Simulation of the load case acceleration
with cornering.*

Anbindungsstellen an die Fahrzeugstruktur vereinfacht und Temperatureinflüsse bzw. Beanspruchungen können besser berücksichtigt werden. Durch das FKV-Mittelteil reduziert sich das Gesamtgewicht der Hinterachse um ca. 42 %.

Da die Leichtbauhinterachse auch noch im Fahrversuch geprüft werden soll, lag bei der Auslegung ein besonderes Augenmerk auf der Sicherheit und der Einsatztauglichkeit des Bauteils. Aufgrund fehlender Vergleichswerte von ähnlichen Hinterachsen mussten die Sicherheitsfaktoren für die Auslegung entsprechend hoch angesetzt werden. Nach den Fahrtests besteht aber die Möglichkeit, über eine nachfolgende Optimierung der Geometrie das Leichtbaupotential der Leichtbauhinterachse noch besser auszuschöpfen.

Customer Benefits The lightweight rear axle developed by Fraunhofer LBF represents an important advance in weight optimization for suspension components. By reducing the weight of suspension components, the weight of the overall vehicle is also reduced, as is the fuel and energy consumption. Additionally, driving dynamics can also be improved. These effects are particularly important for electric cars.

Summary Since lightweight design is especially important for e-mobility; the main aim of the project was the reduction in weight of a rear axle whilst, at the same time, minimizing any resultant change in chassis properties. Fraunhofer LBF was able to reduce the axle weight by 42 %, compared to the conventional metal design. During the project, »Lightweight Real Axle E-Mobil«, all the stages of development were handled by Fraunhofer LBF. This included the specification of requirements, design, numerical computations, prototype manufacture and testing.



epsilon



Funded by the Seventh Framework Programme
of the European Union: www.epsilon-project.eu



MASSGESCHNEIDERTE PRÜFKONZEPTE FÜR KLEINE BAUTEILE
CUSTOMIZED TESTING CONCEPTS FOR SMALL COMPONENTS

FasTEST – Festigkeitsbezogene anwendungsspezifische Test-Verfahren.

FasTEST – Fatigue Related Application Specific Testing Solution.

Contact: Matthias Hell, M.Eng. · Phone: +49 6151 705-8468 · matthias.hell@lbf.fraunhofer.de



Allgemeine Entwicklungstrends, wie Funktionsintegration und Miniaturisierung, stellen auch die Betriebsfestigkeit vor neue Herausforderungen. Zum einen wird die Entwicklung zunehmend numerisch betrieben, wofür zutreffende Kennwerte benötigt werden, zum anderen werden Freigabe- und Entwicklungsversuche für Bauteile erforderlich, die bisher nur einer geringen mechanischen Belastung bei hoher lokaler Beanspruchung unterlagen.

Prüfung von Mini-Bauteilen mit integrierter Funktion

Die Miniaturisierung von Bauteilen bei gleichzeitiger Funktionsintegration führt zu einer optimierten Ausschöpfung der Werkstoffeigenschaften, bedeutet aber auch neue Herausforderungen für die experimentelle Betriebsfestigkeit. Bei kleinen Bauteilabmessungen können sich fertigungsbedingte Einflüsse, wie beispielsweise Oberflächenbearbeitungen, aufgrund des Randschicht-Volumen-Verhältnisses wesentlich stärker auf das Bauteilverhalten auswirken. Für die numerische Beanspruchungsanalyse werden somit Modelle benötigt, die das gradientenbehaftete Werkstoffverhalten präziser beschreiben,

so dass die unterschiedlichen lokalen Gefügemorphologien entsprechend ihrer zyklischen Eigenschaften berücksichtigt werden können. Für die Ableitung von zutreffenden Werkstoffkennwerten kann die Verwendung von Kleinstproben erforderlich werden.

Hierzu kommt neben einer entsprechenden Probenpräparation eine Prüftechnik zum Einsatz, die eine reproduzierbare Auflösung von Kräften im (Sub-) Mikrometer bzw. (Sub-) Newton-Bereich garantiert. Diese Prüftechnik ermöglicht jedoch nicht nur Betriebsfestigkeitsversuche mit Kleinstproben, sondern auch mit kleinen Bauteilen bzw. Komponenten.

Aufbauend auf den guten Erfahrungen mit der piezobasierten Prüftechnik wurden und werden stetig neue Prüfsysteme entwickelt. So verfügt das Fraunhofer LBF über ein Baukastensystem mit unterschiedlichen Antriebstechniken, um anwendungsrelevante Betriebsfestigkeitsversuche auch für Bauteile der Elektronik und Elektrotechnik zu realisieren bzw. Kennwerte für deren numerische Bewertung ableiten zu können.



Das Fraunhofer LBF bietet vielfältige Möglichkeiten und hohe Kompetenzen der anwendungsspezifischen Prüfung von Werkstoffen und Bauteilen unterschiedlicher Größenordnung.

Fraunhofer LBF offers a lot of possibilities and competencies in application specific testing of different scaled materials and components.



Durch die Weiterentwicklung von Prüfsystemen ist es möglich, den Anforderungen an die experimentelle Betriebsfestigkeit gerecht zu werden. Dazu ist der konsequente Einsatz von alternativen bzw. neuen Antriebskonzepten erforderlich, um die benötigten Kennwerte zuverlässig ableiten zu können. Nur auf diese Weise kann das Verständnis über das lokale Werkstoff- bzw. Bauteilverhalten gesteigert und das Festigkeitspotenzial aktueller und zukünftiger Werkstoffe und Werkstoffsysteme im Sinne des Leichtbaus gehoben werden.

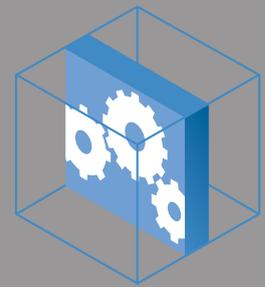
Customer Benefits In order to fulfill the growing requirements an ongoing development of testing facilities is necessary to enable the experimental durability analysis. Therefore, the usage of alternative as well as new actuator concepts for the fatigue testing is necessary in order to derive reliable characteristic values. In this manner the knowledge of the local material as well as component behavior will be increased so that the (fatigue) strength of current and upcoming materials can be raised with the scope on light weight design.

Summary Due to product development trends, durability analyses are getting more and more important for components in domains like electrical and electronics engineering. Hence, new concepts of test systems with alternative as well as new types of actuators are required in order to ensure a sufficient test quality and reliability of the results.

»Mit unseren maßgeschneiderten Prüfkonzepthen wollen wir das bauteilgebundene Werkstoffverhalten in komplexen Umgebungen besser verstehen und die Möglichkeit haben, das Festigkeitspotenzial im Sinne des Leichtbaus konsequent auszunutzen.«

Matthias Hell, M.Eng.





Zuverlässigkeit mit System.

Systematic Reliability.



Effiziente Modellbildung für echtzeitfähige Systemsimulationen.
Efficient modelling for real-time system simulations.

72



Ableitung eines Ersatzversuches zur Bauteilprüfung.
Development of a simplified component test.

74



Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität FSEM II.
Fraunhofer System Research for E-Mobility FSEM II.

76



Erreicht das E-Fahrzeug sein Ziel?
Will the electric vehicle reach its destination?

78



Neue Methoden zur Validierung von Simulationsmodellen.
New Methods for Validating Simulation Models.

80



Kosteneffiziente Batterieentwicklung.
Cost-effective battery development.

82





MODELLIERUNG MIT NICHTLINEAREN SYSTEMIDENTIFIKATIONSVERFAHREN MODELLING WITH NONLINEAR SYSTEM IDENTIFICATION METHODS

Effiziente Modellbildung für echtzeitfähige Systemsimulationen.

Efficient modelling for real-time system simulations.

Contact: Björn Haffke · Phone: +49 6151 705-659 · bjoern.haffke@lbf.fraunhofer.de
Riccardo Möller · Phone: +49 6151 705-408 · riccardo.moeller@lbf.fraunhofer.de

Mathematische Modelle sind ein wesentlicher Bestandteil der technischen Entwicklung und werden heute hauptsächlich zur Auslegung sowie zur simulativen Absicherung der geforderten Produkteigenschaften eingesetzt. Aufgrund der breiten Verfügbarkeit günstiger und leistungsfähiger Prozessoren können diese Modelle aber auch direkt in Produkte integriert werden und somit neue und verbesserte Funktionen ermöglichen.

Simulationsmodelle im Produkt

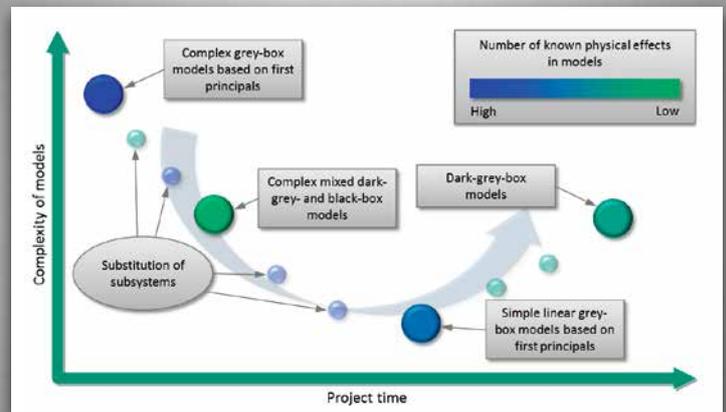
Im Rahmen des EU-Forschungsprojekts COnVENienT hat das Fraunhofer LBF echtzeitfähige Simulationsmodelle entwickelt, mit denen sich der Energiebedarf von Nutzfahrzeugen vorausschauend und online auf Steuergeräten im Fahrzeug berechnen lässt. Diese Modelle sollen zukünftig für eine modellbasierte prädiktive Regelung verwendet werden, um den Treibstoffbedarf des Nutzfahrzeugs zu reduzieren. Die besondere Herausforderung lag dabei in der Wahl einer geeigneten Modellierungsstrategie, die es ermöglicht, alle an solch ein Modell gestellten Anforderungen zu erfüllen.

Die Anforderungen an in Systeme integrierte Simulationsmodelle unterscheiden sich von klassischen Simulationsmodellen insbesondere hinsichtlich der Komplexität und Modellierungstiefe. Während der Trend bei klassischen Simulationsmodellen in Richtung immer komplexerer und genauerer Modelle geht, müssen für integrierbare Modelle andere Strategien entwickelt werden, die einen Kompromiss zwischen Komplexität und Genauigkeit darstellen. Einerseits sollen die Modelle physikalisch interpretierbar sein, auch um die Parametrierung und Validierung zu vereinfachen, andererseits sollen möglichst wenige physikalische Parameter und Effekte abgebildet werden, um die Komplexität möglichst gering zu halten. Hierdurch wird eine Fokussierung auf die wesentlichen dynamischen Effekte des Systems erreicht.

Innerhalb des Forschungsprojektes COnVENienT hat das Fraunhofer LBF hierfür auf nichtlineare Systemidentifikationsmethoden zurückgegriffen. Die besondere Herausforderung lag in der optimalen Formulierung des Identifikationsproblems, um einerseits die physikalische Interpretierbarkeit des Modells



COnVENienT Prototyp.
COnVENienT prototype truck.



Iterative Bestimmung der idealen Modellierungsstrategie.
Iterative determination of the optimal modelling strategy.

beizubehalten, aber andererseits eine möglichst geringe Komplexität zu erreichen. Hierfür wurden sogenannte White-Box-Modelle, deren mathematische Beschreibung inklusive aller Parameter bekannt ist, mit Black-Box-Modellen gekoppelt, bei denen nur die grobe Struktur des Modells definiert wird. Unter Berücksichtigung der jeweiligen spezifischen Anforderungen an die Teilmodelle wurde somit ein Gesamtmodell erstellt, das den Energiebedarf des Nutzfahrzeugs mit einer hohen Güte widerspiegelt.

Customer Benefits By applying Fraunhofer LBF's extensive expertise in the field of modelling and simulation of complex systems, new and improved product features can be developed. Beside model based control, the focus here is on model based monitoring. Applications are model based monitoring of loads as well as model based damage detection.

Summary By utilizing an efficient modelling approach and nonlinear system identification methods, Fraunhofer LBF developed real-time models for predicting the energy consumption of commercial vehicles. These models can be implemented into a model predictive controller to reduce the energy consumption.

»Hersteller und Kunden profitieren gleichermaßen von verbesserten Produkten mit einer höheren Sicherheit und mehr Funktionalitäten.«

Björn Haffke



RALITÄTSNAHE PRÜFUNG KOMPLEX BEANSPRUCHTER BAUTEILE
CLOSE TO REALITY TESTING OF COMPLEX LOADED COMPONENTS

Ableitung eines Ersatzversuches zur Bauteilprüfung.

Development of a simplified component test.

Contact: Dr. Volker Landersheim · Phone: +49 6151 705-475 · volker.landensheim@lbf.fraunhofer.de

Der Integralträger ist ein komplex beanspruchtes PKW-Bauteil, das u. a. Lasten aus dem Fahrwerk aufnimmt. Da die Steifigkeit der Karosserie den Kraftfluss im Integralträger stark beeinflusst, ist eine realitätsnahe Prüfung bisher nur zusammen mit der Fahrzeugerprobung möglich. Das erfordert die Verfügbarkeit einer Karosserie und ist mit erheblichen Aufwänden verbunden.

Vereinfachung von Lasten und Anbindungssteifigkeiten

In diesem Projekt wurde ein Versuchsaufbau erarbeitet, mit dem der Integralträger als Einzelkomponente unabhängig vom Gesamtfahrzeug geprüft werden kann: Dieser Aufbau enthält vereinfachte Lasten und Anbindungssteifigkeiten. Dennoch lässt er eine hohe Genauigkeit bei der Nachbildung der lokalen Beanspruchungen des Bauteils erwarten.

Für den Integralträger lagen aus Fahrbetriebsmessungen 30 Kraft-Zeitverläufe vor. Die Lasten kommen aus dem Fahrwerk, der Lenkung und dem Motor und greifen an 10 verschiedenen Lastangriffsstellen am Integralträger an. Für diese Lastangriffspunkte wurden jeweils ein- bis zwei-kanalige bauteilinvariante Ersatzlasten abgeleitet. In FE-basierten Schädigungsanalysen wurde die Auswirkung der Vereinfachung von 30 auf 10 richtungskonstante Lastkanäle bewertet. Dabei wurde die

Zulässigkeit dieser Vereinfachung bestätigt. Darüber hinaus wurde überprüft, ob die für den Kraftfluss als nebensächlich erachteten Anbindungspunkte am Integralträger in Schädigungsanalysen vernachlässigt werden können.

Der Schwerpunkt des Projekts lag auf der Ableitung geeigneter Anbindungssteifigkeiten zur Lagerung des Integralträgers am Prüfstand. Diese Anbindungssteifigkeiten sollen die wesentlichen Steifigkeiten der Karosserie nachbilden, ohne dass tatsächlich Karosseriebauteile verwendet werden müssen. Zu diesem Zweck wurde aus einem FE-Modell der Karosserie die auf die 24 Anbindungsfreiheitsgrade des Integralträgers kondensierte Steifigkeitsmatrix abgeleitet. Diese enthält 300 unabhängige Elemente. Um diese zu reduzieren, wurde ein vereinfachtes Kriterium entwickelt, mit dem sich ohne FE-Analyse die Auswirkung einer Änderung im Prüfaufbau auf die Schädigung an den Hot-Spots bewerten lässt. Dieses Kriterium wurde in einen systematischen Algorithmus eingebunden, mit dem viele tausend mögliche Varianten der Steifigkeitsmatrix bewertet werden konnten. Im Projektergebnis konnten aus den 300 Elementen 25 identifiziert werden, die im Prüfstand umgesetzt werden müssen, um die Abweichung der Schädigung an allen Hot-Spots in Folge der Vereinfachung der Steifigkeitsmatrix unter 20 % (entspricht weniger als 5 %



*Numerisch ermittelte Schädigungsverteilung am untersuchten Integralträger.
Numerically derived damage distribution of the integral subframe under investigation.*



*Aluminium-Integralträger im Daimler-Labor. Für eine genaue Prüfung fehlen bisher realistische Anbindungssteifigkeiten und wesentliche Lasten.
Aluminium integral frame at Daimler Laboratory. For a realistic test attachment stiffnesses and important loads are missing up to now.*

© Daimler AG

Spannungsamplitude) zu halten. Für jedes dieser 25 Elemente wurde eine konstruktive Umsetzungsmöglichkeit vorgeschlagen und dimensioniert.

Customer Benefits Such a test of an integral subframe can reduce the necessary number of much more expensive full vehicle tests on test rig or test track. Additionally integral subframes may be tested even before prototypes of body and chassis exist. Thus, weak points can be identified earlier and product development cycles may be shortened.

Summary A simplified test for an automotive integral frame was developed using a method, which was developed for this purpose. This test shall reduce expensive full vehicle tests and comprises simplified loads and attachment stiffness. The attachment stiffness to be realized in the simplified test was reduced to 25 instead of 300 elements of the full vehicle body attachment stiffness matrix using an automated reduction algorithm. This simplification causes deviations of Hot-Spot damage even below 20 %. Additionally studies concerning the load simplifications have been conducted. Realization concepts have been proposed for the simplified test.



*Dr. Dittmann,
Daimler AG*

»Durch die Unterstützung des Fraunhofer LBF soll ein Prüfstand für Integralträger entwickelt werden. Die Konzeptanalysen zeigen die zu erwartenden Abweichungen im Prüfergebnis bei vereinfachten Belastungen und Lagerungsbedingungen auf. Darauf aufbauend soll ein Prüfstand mit optimalem Kosten/Nutzen-Verhältnis bei hoher Modularität abgeleitet werden.«

»With the support of Fraunhofer LBF a test rig for integral subframes shall be developed. The analyses of the concept show the expected deviations of the test results due to simplified loads and attachment conditions. Based on these results a test set up shall be derived with an optimal cost-benefit ratio and high modularity.«

»Der Automobil-Entwickler profitiert durch Einsparungen bzw. Verkürzungen von wesentlich aufwändigeren Tests am Gesamtfahrzeug.«

Dr. Volker Landersheim



*Untersuchungen im Windkanal zum Einfluss des Speichendesigns auf die Kühlluft.
Investigations in the wind tunnel on the influence of the spoke design on the cooling air.*

INNOVATIVES, LUFTGEKÜHLTES ELEKTRISCHES ANTRIEBSSYSTEM
INNOVATIVE AIR-COOLED ELECTRIC POWERTRAIN

Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität FSEM II.

Fraunhofer System Research for E-Mobility FSEM II.

Contact: Eva-Maria Hirtz · Phone: +49 6151 705-8265 · eva-maria.hirtz@lbf.fraunhofer.de



Mit der Integration von Antriebsmotoren in das Rad ergeben sich vollständig neue technische Randbedingungen. Ergebnisse aus FSEM I haben gezeigt, dass in der betrachteten Konfiguration aufgrund der erhöhten reifengefederten Massen die in das Fahrwerk eingeleiteten Kräfte um 25 % steigen. Dies macht es erforderlich, das Fahrwerk für ein mit Radnabenmotoren angetriebenes Fahrzeug anzupassen. Mit der »Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität II – FSEM II« führt die Fraunhofer-Gesellschaft die im Jahr 2009 im Rahmen des Konjunkturpakets der Bundesregierung begonnenen Forschungsaktivitäten fort. Gleichzeitig werden diese in Richtung einer verstärkten Zusammenarbeit mit Forschungspartnern aus der Industrie ausgerichtet.

Elektrische Antriebsstränge für die Mobilität von Morgen

Die Herausforderungen für die Elektromobilität bestehen in der Entwicklung von hoch effizienten, zuverlässigen, leichten und sehr kostengünstigen Antriebslösungen zum Einsatz in »Stadtfahrzeugen«. Diese Herausforderungen geht das Fraunhofer-Cluster »Antriebsstrang/Fahrwerk« mit der Entwicklung eines rein luftgekühlten Antriebssystems auf 48V Basis an. Die Arbeiten des Fraunhofer LBF umfassen

hierbei drei Schwerpunkte, welche im partnerübergreifenden Achs-Demonstrator auf der IAA 2015 vorgestellt wurden: Ein adaptiver Fahrwerksdämpfer, eine kühlloftoptimierte Felge und ein Prüfkonzept für effizientere Betriebsfestigkeitserprobung. Zur Realisierung des gemeinsamen Ziels wurde ein magnetorheologischer Dämpfer mit einer neuartigen und energieeffizienten Magnetfeldführung entwickelt. Wenn beim Einsatz im Fahrzeug die Dämpferhärte langfristig angepasst werden soll, lässt sich hierfür der Permanentmagnet verstellen. Soll dies kurzfristig und schnell geschehen, kann der Spulenstrom geändert werden, Details berichten wir auf Seite 50.

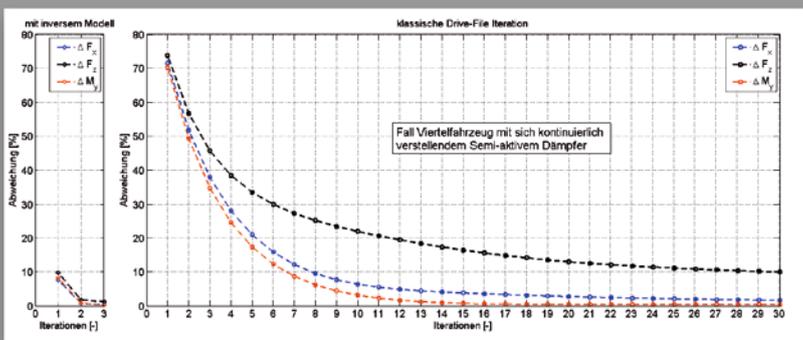
Des Weiteren wurde für das definierte Zielsystem der Einfluss des Radscheibendesigns untersucht, um den Luftstrom und die damit verbundene erzwungene Konvektion am Rad für den luftgekühlten Radnabenmotor (Fraunhofer IFAM) und den luftgekühlten Antriebsumrichter (Fraunhofer IISB) zu verbessern. Entscheidende Kriterien waren neben dem Kühleffekt und der besseren Durchströmung auch das Ergebnis der numerischen Betriebsfestigkeitsberechnung und das mögliche Gewicht. Es entstand eine Leichtbau-Felge in 20 Zoll, mit einer verbesserten Kühlluftführung für den Radnabenmotor und den Umrichter. Ein weiterer Projektinhalt befasste sich mit der Thematik der mechanischen dynamischen



Drei-Kanal-Prüfstand für Viertelfahrzeug zur Prüfung der elektrifizierten Achse.
Three-channel test rig for a quarter vehicle for testing the electrified axis.



Dehnmessstreifen auf der LBF Felge zur verbesserten Kühlluftführung.
Strain gauge on the LBF rim which ensures improved cooling air flow.



Ergebnisse zur Drive-File Iteration mit inversem nichtlinearem Modellansatz.
Results for drive file iteration with inverse non-linear model approach.

Prüfung des Systems. Eine Herausforderung besteht darin, vor Beginn der eigentlichen Prüfung die Ansteuerungssignale (»Drive-Files«) für den Prüfstand zu bestimmen. Anstatt, wie bisher üblich, die Systemdynamik abzubilden, wurde hierzu ein physikalisches, nichtlineares Modell von Prüfstand und Prüfling erstellt. Es erfasst die Effekte der nichtlinearen Systemdynamik und ist außerdem in der Lage, das dynamische Verhalten des adaptiven Dämpfers abzubilden. Die iterative Optimierung des Drive-Files konvergiert wesentlich schneller als bei Verwendung der bisher üblichen linearen Übertragungsmatrix. Hieraus ergibt sich ein erhebliches Potential zur Zeit- und Kostenersparnis in der Prüfvorbereitung.

Customer Benefits The automotive industry can benefit from the expertise of networked research partners on e-mobility issues. Fraunhofer provides development support for the design, simulation and testing of electrified powertrains and can support new or further development for the design, simulation and testing of wheels. The Fraunhofer LBF is an experienced consulting partner for all aspects of testing.

Summary Within the Fraunhofer System Research for E-Mobility (FSEM II) project, 16 Fraunhofer Institutes jointly drafted solutions for the future of e-mobility and presented the results at the IAA in Frankfurt from 09/15–09/18/2015. The Fraunhofer LBF, the Fraunhofer Institute for Integrated Systems and Device Technology IISB and the Fraunhofer Institute for Manufacturing Technology and Advanced Materials IFAM pooled their expertise in the »powertrain/ chassis« cluster for an innovative air-cooled electrified powertrain. This consists of an air-cooled wheel hub motor, an air-cooled drive inverter, an adaptive chassis damper and a rim for promoting cooling air.

gefördert von der Fraunhofer-Gesellschaft



Fraunhofer



FAHRZEUGMODELLE FÜR ENERGIEOPTIMALE ROUTENPLANUNG.
VEHICLE MODELS FOR ENERGY-OPTIMIZED ROUTE PLANNING.

Erreicht das E-Fahrzeug sein Ziel?

Will the electric vehicle reach its destination?

Contact: Eva-Maria Hirtz · Phone: +49 6151 705-8265 · eva-maria.hirtz@lbf.fraunhofer.de
Christiane Schäfer · Phone: +49 6151 705-466 · christiane.schaefer@lbf.fraunhofer.de

Die Frage der Reichweite ist bei E-Fahrzeugen nach wie vor von zentralem Interesse, insbesondere unter dem Gesichtspunkt langer Ladezeiten. Mit einem Routenplaner erhält der Nutzer einen wesentlichen Mehrwert, wenn die Reichweite noch vor Fahrtantritt in Abhängigkeit der einzelnen Fahrtziele zuverlässig angegeben werden kann.

Knackpunkt Verbrauchs- und Reichweitenberechnung E-Fahrzeuge

Im Verbundvorhaben DieMo RheinMain werden innovative Dienstleistungen für die elektrische Mobilität im Rhein-Main Gebiet entwickelt. Eine dieser Dienstleistungen umfasst die Erweiterung der vom Projektpartner ivm GmbH betriebenen Informationsplattform www.vielmobil.info um den Aspekt der Verbrauchs- und Reichweitenberechnung für E-Fahrzeuge. Ein allgemeiner Verbrauchswert, welcher für E-Fahrzeuge in kWh/100km angegeben wird, ist aufgrund der Herstellerangaben für jedes Fahrzeug bekannt. Diese Verbrauchswerte werden unter definierten Bedingungen im Labor auf dem Prüfstand ermittelt. Die idealisierten Laborbedingungen haben

allerdings zur Folge, dass im Einsatz auf der Straße Abweichungen in Abhängigkeit von beispielsweise der Außentemperatur und der Beladung auftreten.

Untersuchungen weisen darauf hin, dass bei Elektrofahrzeugen im Vergleich zum angegebenen durchschnittlichen Verbrauchswert die Reichweite im Fahrbetrieb je nach Fahrbedingungen um bis zu 50 % niedriger liegen kann. Hier fällt vor allem der nicht zu vernachlässigende Energiebedarf zum Beheizen des Innenraums eines E-Fahrzeuges ins Gewicht. Im Rahmen des Projektes DieMo RheinMain entwickelt das Fraunhofer LBF Fahrzeugmodelle zur modellbasierten Verbrauchsberechnung. Diese Berechnungen basieren im Wesentlichen auf Daten des Antriebsstrangs und der Reifen, berücksichtigen aber auch wesentliche Nebenverbraucher wie Heizung und Klimaanlage. In Abhängigkeit des jeweiligen Fahrzeugs, der Fahrgeschwindigkeit und der eingeschalteten Nebenverbraucher kann dadurch der Gesamtverbrauch in kWh kalkuliert werden.





*DieMo RheinMain Auftaktkonferenz, Frankfurt a. M., 05/2015
Bild zeigt die Projektpartner und Vertreter des Projektträgers DLR.
Project partners and representatives of project sponsor DLR at the
inaugural DieMo RheinMain conference, Frankfurt/Main, 05/2015.*



*Vernetzte Dienstleistungen fördern
Elektromobilität im Rhein-Main Gebiet.
Networked services encourage e-mobility
in the Rhine-Main area.*

*Erweiterung von intermodaler Routenplanung
um das Thema Elektromobilität.
Expansion of intermodal route planning
allowing for e-mobility aspects.*



Durch die Verwendung der modellbasierten Verbrauchsbe-
rechnung, die in den vorhandenen Routenplaner integriert
wird, lässt sich eine realistische Reichweite vor Fahrtbeginn
ermitteln. Gekoppelt mit aktuellen Informationen in Echtzeit
zu Verkehrsbehinderungen auch im Stadtbereich und
vorhandenen Lademöglichkeiten in der Region Frankfurt Rhein
Main, runden diese das Gesamtangebot des energieoptimalen
Routings für E-Fahrzeuge ab.

Customer Benefits The Fraunhofer LBF offers different
model-based methods, e. g. for determining operating loads,
numerical evaluation of consumption or creation of real-time-
capable models for hardware-in-the-loop applications for
conventional and electric vehicles. The simulated consumption
presented here enables high-quality range forecasting.

Summary The joint project »DieMo RheinMain« is developing
services to encourage the integration of e-mobility in the
multimodal services offered by the Frankfurt-Rhine-Main
region. One aspect of the project, which is funded by the
Federal Ministry of Education and Research, is to expand a
route planner by consumption and range calculations for
electric vehicles. For this the Fraunhofer LBF is developing
suitable vehicle models to calculate the consumption of
various electric vehicles, taking into account relevant con-
straints such as payload and auxiliary equipment. The results
of the project will enable users of electric vehicles to obtain
some information about their consumption or range using
an online route planner before starting the trip.

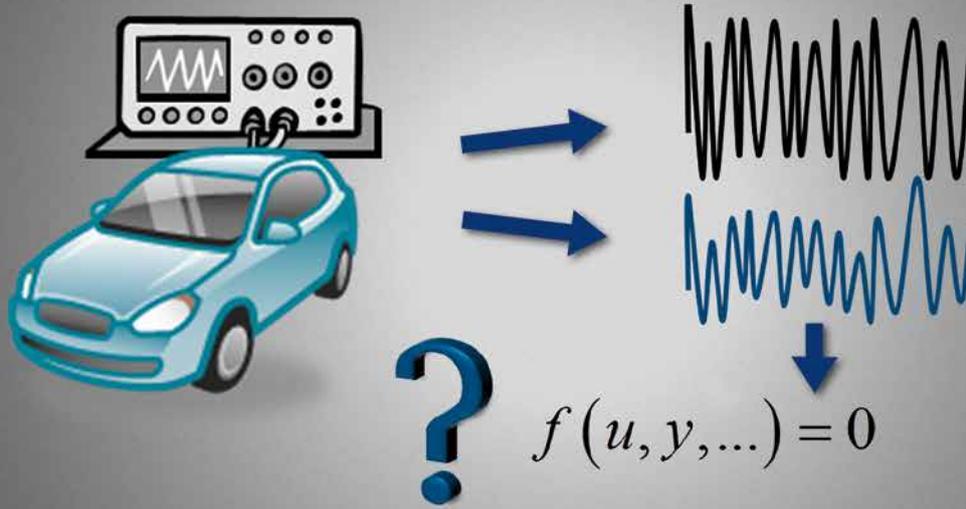
gefördert vom:



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



DLR Projektträger



Strukturelle Validierung von Modellansätzen mittels Differentialalgebra.
Structural validation of model approaches using differential algebra.

ABSTRAKT, ABER HOCH-EFFIZIENT
ABSTRACT, BUT HIGHLY EFFICIENT

Neue Methoden zur Validierung von Simulationsmodellen.

New Methods for Validating Simulation Models.

Contact: Björn Haffke · Phone: +49 6151 705-659 · bjoern.haffke@lbf.fraunhofer.de

Die breite Verfügbarkeit von günstiger und leistungsfähiger Hardware, verbunden mit hochentwickelter Simulationssoftware, führt zu steigenden Anforderungen an die Ergebnisgüte von Simulationsmodellen. Gleichzeitig vergrößert sich durch die höhere Komplexität der Modelle der Aufwand für deren Validierung und damit verbunden der Aufwand für die Suche nach Abweichungen zwischen Messungen und Simulationen.

Modellbasierte Fehlerdiagnose

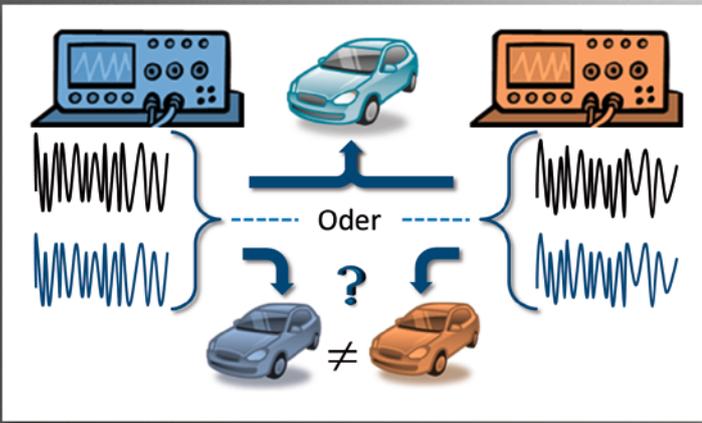
Im praktischen Arbeitsablauf werden häufig verhältnismäßig einfache Methoden für die Validierung von Simulationsmodellen und für das Auffinden der Ursachen von Abweichungen zwischen Messungen und Simulationen eingesetzt. Einerseits sind diese Methoden schnell und mit begrenztem Aufwand anwendbar, andererseits ist ihre Aussagefähigkeit in vielen Fällen begrenzt. Ein Beispiel für solch eine Methode ist der direkte Vergleich von Simulationsergebnissen mit Messungen im Zeitbereich, der aber nur im begrenzten Umfang Rückschlüsse auf die Ursachen von Abweichungen zulässt.

Trotz des vorhandenen Bedarfs an effizienten Validierungsmethoden sind bisher nur äußerst wenige Methoden verfügbar, die auf eine Vielzahl von unterschiedlichen Systemen

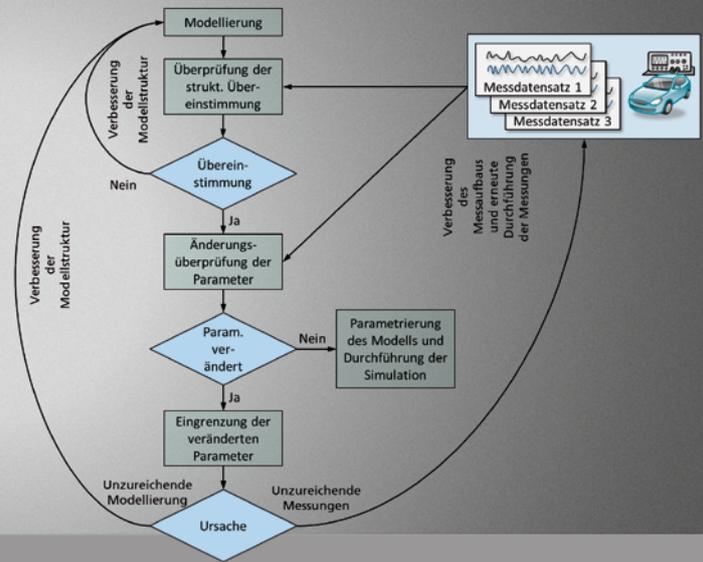
angewendet werden können und gleichzeitig einen deutlichen Vorteil gegenüber den erwähnten einfachen Validierungsmethoden besitzen. Aus diesem Grund wurden innerhalb einer Dissertation unterschiedliche Methoden aus dem Bereich der modellbasierten Fehlerdiagnose auf ihre Einsetzbarkeit hin zur Validierung von Simulationsmodellen untersucht.

Dabei hat sich gezeigt, dass insbesondere Systemidentifikationsmethoden und Methoden aus dem Bereich der Differentialalgebra vielversprechende Lösungsansätze darstellen. Beide Methoden werden detailliert anhand von Beispielen aufgezeigt, weiterentwickelt und ihre derzeitigen Grenzen erläutert. Für die Systemidentifikationsmethoden wurden Algorithmen aus dem Umfeld der genetischen Programmierung verwendet, die eine hohe Leistungsfähigkeit besitzen und für Modelle im industriellen Maßstab eingesetzt werden können. Verbunden mit einer geeigneten mathematischen Formulierung des zu validierenden Systems lassen sich so effizient die Ursachen für eventuelle Abweichungen auffinden.

Eine weitere Verbesserung von Simulationsprozessen ist durch die Verwendung von Methoden aus der Differentialalgebra erreichbar. Hiermit ist es möglich eindeutig nachzuweisen, dass ein Gleichungssystem in der Lage ist, ein vermessenes

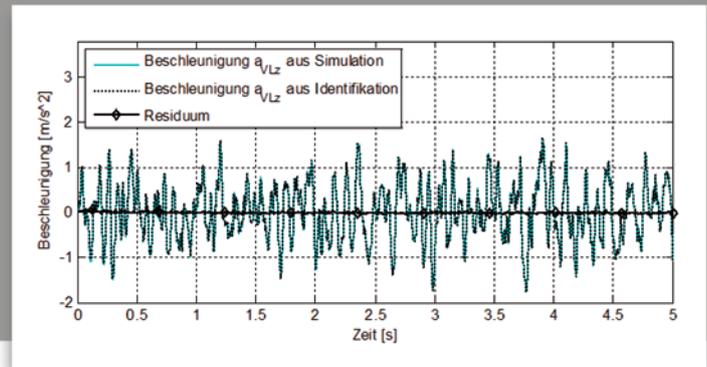


Validierung von Messdaten mittels Differentialalgebra.
Validation of measured data using differential algebra.



Vollständiger Validierungsprozess mittels Differentialalgebra.
Complete validation process using differential algebra.

Identifikationsergebnis eines Ganzfahrzeugmodells.
Identification result of a whole-vehicle model.



Ein- und Ausgangsverhalten exakt abzubilden. Dies stellt eine direkte Validierung des Modellierungsansatzes dar. Zusätzlich kann nachgewiesen werden, dass mehrere Messdatensätze vom gleichen System mit den gleichen physikalischen Parametern erzeugt wurden. Somit ist nicht nur eine Validierung des Modells möglich, sondern auch eine Validierung der verwendeten Messdaten. Stellt sich heraus, dass sich während der Messungen einige physikalische Parameter des vermessenen Systems geändert haben, lassen sich diese veränderten Parameter zusätzlich eingrenzen.

Customer Benefits Using the illustrated methods for validating simulation models, it is possible to reduce the expenditure for simulation processes and thus to increase the cost-benefit ratio and the economic viability of simulations.

Summary The increasing complexity of simulation models and the associated high demands on the quality of the results of simulations lead to an escalating need for new and efficient model validation methods. Within the dissertation »Modellbasierte Fehlerdiagnoseverfahren zur Validierung von Simulationsmodellen dynamischer Systeme«, methods are therefore developed from the field of model-based fault diagnosis and used to address this need. On the one hand,

the focus is on system identification methods and on the other hand, on more abstract but highly efficient methods from the field of differential algebra. The dissertation can be purchased from the Fraunhofer-Verlag as Fraunhofer LBF Report FEB-244.

»Durch neue Methoden zur Validierung von Simulationsmodellen lässt sich die Effizienz und damit das Kosten-Nutzen-Verhältnis von Simulationen deutlich verbessern.«

Björn Haffke



MULTIPHYSIKALISCHE PRÜFVERFAHREN
MULTIPHYSICAL TEST METHODS

Kosteneffiziente Batterieentwicklung.

Cost-effective battery development.

Contact: Christian Debes · Phone: +49 6151 705-8382 · christian.debes@lbf.fraunhofer.de



Aufgrund des hohen Gewichts von Traktionsbatterien, mit bis zu einem Drittel Anteil am Gesamtgewicht bei Elektrofahrzeugen, gibt es gegenüber konventionellen Fahrzeugen ganz neue Randbedingungen hinsichtlich Belastungsgrößen und Fahrdynamik. Gleichzeitig ist das HV-Batteriesystem die teuerste Einzelkomponente solcher Fahrzeuge. Deshalb ist deren Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit über einen langen Zeitraum, günstigstenfalls sogar über die gesamte Fahrzeuglebensdauer, zu gewährleisten. Hierfür sind u.a. geeignete Prüf- und Nachweisverfahren zwingend notwendig.

Effiziente Prüfverfahren für Traktionsbatterien lassen sich insbesondere mit der Kenntnis über reale Lastdaten im Fahrbetrieb entwickeln. Für eine verkürzte Entwicklungszeit und wirtschaftliche Entwicklungsprozesse, z. B. bei der Validierung von Batteriesystemen hinsichtlich Funktion, Sicherheit und Zuverlässigkeit, geht der Trend deutlich in Richtung multiphysikalischer Batterieprüfung. Die simultane Beanspruchung eines Prüflings mit allen auftretenden Belastungsarten bringt neben einer realistischen Simulation den entscheidenden zeitlichen Vorteil. Die Überlagerung thermischer, klimatischer, elektrischer sowie multiaxialer mechanischer Lasten bildet die Basis für die Realisierung einer ausschlaggebenden Versuchszeitverkürzung.

Für die Batteriezelle sind vor allem die gekoppelten Lasten entscheidend. Durch die elektrischen Belastungen, also Lade- und Entladevorgänge, entstehen Degradationseffekte sowie teilweise irreversible strukturelle Schäden im Inneren der Zellen. Korrosion, Risse und Kontaktierungsverluste erhöhen die zellinterne Temperatur und somit die thermische Belastung. Interkalationsmechanismen – also Ionentransport und -einlagerung – verursachen Volumenänderungen bis zu zehn Prozent, wodurch innere Spannungen bzw. mechanische Belastungen entstehen. Weiterhin führen hohe Ladezustände und Temperaturen zur signifikanten Abnahme der nutzbaren Kapazität der Batterie zur Speicherung elektrischer Energie. Der direkte Zusammenhang unterschiedlicher Belastungsarten verdeutlicht die Relevanz einer multiphysikalischen Betrachtung auf Basis realer Fahrbetriebsmessungen.

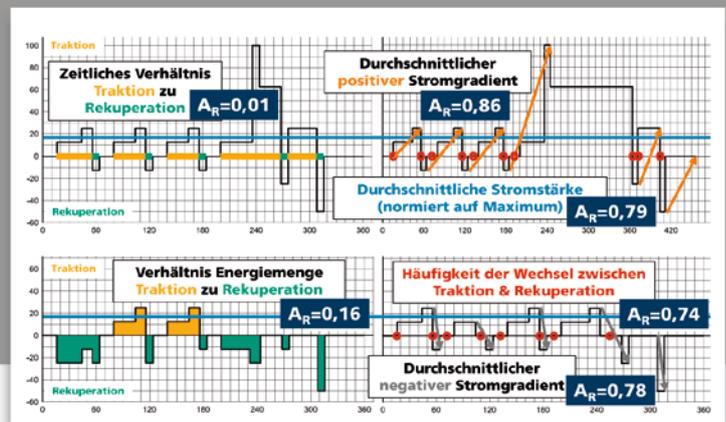
Normen müssen angepasst werden

Prüfverläufe aus gängigen Normen zeigen hier deutliches Optimierungspotenzial. Überlagerungen von Lasteffekten – also z. B. gleichzeitig auftretende Schwingbelastung sowie Temperaturen und elektrische Ströme – sind nur bedingt vorgesehen; oft beschränkt sich ein Prüfabschnitt auf separierte Belastungsarten unter Zunahme eines Temperaturverlaufs. Hierdurch nehmen Batterieprüfungen unnötig viel Zeit in Anspruch und



Abb. 2: Für Referenzversuche wurde im Fraunhofer LBF ein 10 kWh Batteriesystem mit eigensicheren LFP-Zellen sowie integriertem Batterie-Managementsystem entwickelt und aufgebaut.
 Fig. 2: At the Fraunhofer LBF, a 10 kWh battery system with intrinsically safe LFP cells and an integrated battery management system has been developed and constructed for reference tests.

Abb. 1: Stromprofile zum Cycle Life Test von Batteriesystemen; $x=t$ [Minuten]; $y=I/I_{max}$ []
 Fig. 1: Current curves for the cycle life test of battery systems; $x=t$ [minutes]; $y=I/I_{max}$ []



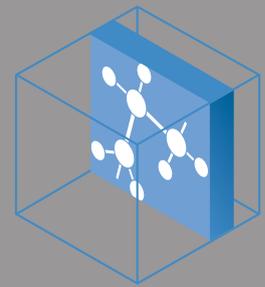
treiben die Entwicklungskosten in die Höhe. Darüber hinaus offenbaren sich beim Vergleich von Strombelastungsprofilen aus Prüfnormen mit Lastdaten aus dem realen Fahrbetrieb prägnante Unterschiede. Abbildung 1 zeigt Stromprofile zum Cycle Life Test eines Batteriesystems, wie sie in der ISO 12405 als Zeitverlauf zu finden sind. Die y-Achse beschreibt die Stromstärke gemessen am angegebenen Maximalwert einer Batterie, auf der positiven Seite die Traktion, also Entladung der Batterie, und auf der negativen Seite die Rekuperation.

Die in der Prüfnorm unabhängig voneinander auftretenden Stromverläufe werden durchgehend auf festgelegte charakteristische Größen untersucht und mit realen Werten aus Fahrbetriebsmessungen verglichen. Das zeitliche Verhältnis von Traktion zu Rekuperation ist in der Norm nahezu optimal umgesetzt. Die weiteren dargestellten Charakteristiken müssen für einen sinnvollen Prüfverlauf noch optimiert werden. Am Fraunhofer LBF werden speziell hierfür anwendungsspezifische Belastungsblöcke entwickelt, die beliebig kombiniert eine realistische Charakteristik des Stromverlaufs für die Traktionsbatterie abbilden. Die elektrischen Belastungen können somit vom zeitlichen Verlauf entkoppelt und mit mechanischen und thermischen Belastungen überlagert werden.

Customer Benefits At the Fraunhofer LBF, special application-specific load blocks are being developed which, when combined arbitrarily, map a realistic characteristic of the current curve for the traction battery. This procedure supports the further development of relevant standards. It will therefore be possible in future to assess the reliability of expensive HV battery systems more realistically. It will be possible to produce electric vehicles more cost-efficiently and acceptance among users will increase.

Summary The HV battery system is the single most expensive single component of electric vehicles. Its operational safety and reliability must therefore be guaranteed, if possible, over the entire lifetime of the vehicle. The time-based ratio of traction to recuperation is implemented almost optimally in the testing and verification methods existing so far. However, the additional characteristics shown need to be optimized for a meaningful test procedure. Application-specific load blocks are being developed specially for this at Fraunhofer LBF. The electrical loads can thus be decoupled from the time curve and overlaid with mechanical and thermal loads.





Polymertechnik mit System.

Systematic Polymer Technology.



FKV-Sandwichbauteile mit homogenen Funktionalitäten.
FRP sandwich components with homogeneous functionalities.

86



Chemische Synthese zwischen Labor und Produktion.
Chemical synthesis between laboratory and production.

88



Bestimmung der Harze und Härter in gehärteten Epoxidharzen.
Determining the resins and hardeners in crosslinked epoxy resins.

90



Früherkennung von witterungsbedingten Lackschäden.
Early detection of weathering-induced damages in coatings.

92



Hohe Wirtschaftlichkeit bei der Compoundierung.
Improve of efficiency during compounding.

94



Optimierte Auslegung von kurzfaserverstärkten Kunststoffbauteilen.
Optimized dimensioning of short fibre reinforced thermoplastic components.

96





Spritzgießwerkzeug zur Herstellung von Sandwich-Faserverbund-Bauteilen mit homogen ausgeformten Funktionalitäten. Injection molding tool for manufacturing fiber-reinforced composite sandwich components with functionalities homogeneously molded inside-out.

NEUARTIGE SPRITZGIESSTECHNOLOGIE FÜR GROSSE SERIEN
NOVEL INJECTION MOLDING TECHNOLOGY FOR LARGE-SCALE PRODUCTION

FKV-Sandwichbauteile mit homogenen Funktionalitäten.

FRP sandwich components with homogeneous functionalities.

Contact: Felix Weidmann, M.Sc · Phone: +49 6151 705-8843 · felix.weidmann@lbf.fraunhofer.de



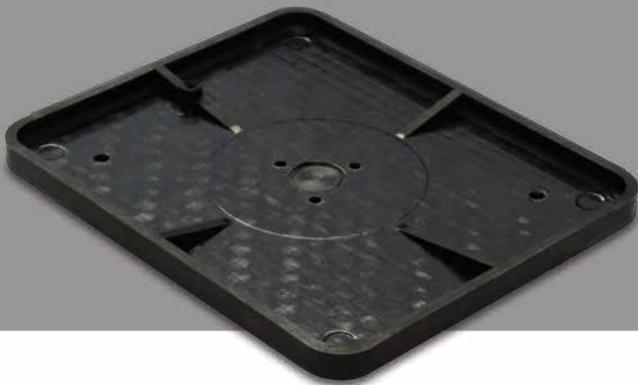
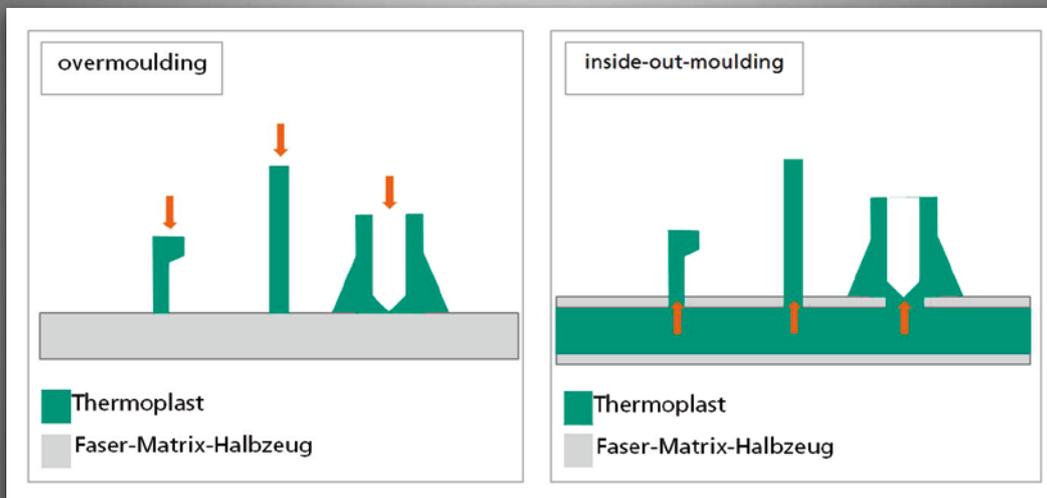
Trotz des hohen Leichtbaupotenzials endlosfaserverstärkter Thermoplaste ist es bislang schwierig, diese in kostensensitiven Anwendungsbereichen einzusetzen. Denn etablierte Verfahren verwenden häufig relativ dickwandige Faser-Matrix-Halbzeuge, was mit hohen Materialkosten einhergeht. Ebenso stellt die Anbindung von Verrippungen eine Schwachstelle dar, da diese lediglich auf das heiße Halbzeug aufgespritzt werden.

Optimierter Spritzgießprozess

Am Fraunhofer LBF wurde eine Spritzgießtechnologie entwickelt, welche die großserientaugliche Herstellung thermoplastischer Faserverbund-Sandwichstrukturen mit homogen ausgeformten Funktionalitäten in einem einzigen Prozessschritt ermöglicht. Hierbei wird thermoplastische Schmelze mithilfe eines speziellen Spritzgießwerkzeugs zwischen Deckschichten aus sehr dünnen Faser-Matrix-Halbzeugen gespritzt. Das hergestellte Sandwich-Bauteil besitzt hohe Biegefestigkeiten und -steifigkeiten, benötigt jedoch weit weniger kostenintensives Halbzeugmaterial, da dieses lediglich in den hoch biegebelasteten Randschichten angeordnet wird. Darüber hinaus müssen die Faser-Matrix-Halbzeuge entgegen vergleichbarer Technologien nicht vorgewärmt werden. So entfallen ein zusätzlicher Arbeitsschritt sowie die hierfür nötigen Vorwärmöfen und Handlingsysteme.

Um das mechanische Potenzial des derartig gefertigten Sandwich-Verbunds optimal ausreizen zu können, müssen die Deckschichten eine hohe Anbindungsqualität an den Kern aufweisen. Hierzu wurden Fertigungsparameter gezielt variiert, um ein Prozessfenster zu ermitteln, welches zu einer optimalen Verbundqualität führt. Die Quantifizierung und Bewertung der Verbundqualität erfolgte anhand mechanischer Prüfungen, welche speziell hierzu entwickelt und angepasst wurden. Durch die Auswertung beider Versuche war es möglich, materialspezifisch für Polypropylen und Polyamid 6 ein optimales Prozessfenster zu ermitteln, bei dem die Anbindung der Deckschichten, und damit die mechanischen Eigenschaften des Verbunds, optimal ausgenutzt werden.

Einen besonderen Vorteil des Sandwichspritzgusses stellen die integrierbaren Funktionalitäten dar. Diese werden nicht aufgespritzt, wie es gegenwärtig üblich ist, sondern homogen aus dem Kern heraus ausgeformt. Versuchsergebnisse zeigen, dass auf diese Weise höhere Anbindungsfestigkeiten der Funktionalitäten erreicht werden, da diese keine Fügestelle mehr darstellen.



Sandwich-Faserverbund-Bauteil auf Polyamid-6-Basis mit homogen aus dem Kern heraus ausgeformten Verrippungen sowie hochfesten Organoblechen als Deckschichten.

Fiber-reinforced composite sandwich component based on polyamide-6 with ribs homogeneously molded inside-out from the core and high-strength organic sheets as top layers.

Customer Benefits Using the method developed by the Fraunhofer LBF it is possible to produce injection molded heavy-duty fiber-reinforced composite sandwich components. In addition to reduced material costs due to the reduction in fiber-matrix semi-finished products, the customer also benefits from the short cycle times which make the process interesting for mass production applications. Furthermore, compared with conventional overmolding technology the tooling costs are lower. A combined thermoforming and injection molding tool is not necessary and it is possible to dispense with preheating of the semi-finished products which would require furnaces and special handling systems.

Summary The Fraunhofer LBF has developed a new injection molding process, which enables the manufacture of a continuous-fiber-reinforced thermoplastic sandwich composite with integrated functionalities and ribs in a single process step. The advantages of this technology are the low material costs with simultaneously high component strength as well as the increased connection strength of functionalities since they are homogeneously molded inside-out from the core. In addition to

short cycle times for manufacturing a functionalized sandwich component, it is also possible to dispense with preheating of the semi-finished products which is otherwise necessary. This reduces both production and tooling costs.

»Der Kunde profitiert neben den reduzierten Materialkosten von den niedrigen Taktzeiten.«

M.Sc. Felix Weidmann

Das IGF-Vorhaben 17442 N der Forschungsvereinigung Forschungsgesellschaft Kunststoffe e. V., Schlossgartenstraße 6, 64289 Darmstadt zum Thema »Großserientaugliche Faserverbundtechnologien für flächige Strukturbauteile mit integrierten Funktionselementen« wurde über die AIF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert.



ZUVERLÄSSIGES UP-SCALING IM KILOLABOR
RELIABLE UP-SCALING IN THE KILOGRAM-SCALE LAB

Chemische Synthese zwischen Labor und Produktion.

Chemical synthesis between laboratory and production.

Contact: Dr. Roland Klein · Phone: +49 6151 705-8611 · roland.klein@lbf.fraunhofer.de

Bei der Entwicklung neuer oder der Optimierung existierender Kunststoffe steht am Anfang der Prozesskette häufig die Synthese neuer Additive, Monomere und Hilfsstoffe oder sogar der Polymere selbst. Gelingt der grundsätzliche Machbarkeitsnachweis im Labor, ist der nächste Schritt die Verarbeitung und Prüfung unter realitätsnahen Bedingungen.

Das Kilolabor im Bereich Kunststoffe des Fraunhofer LBF ermöglicht den Brückenschlag

Im chemischen Labor sind in der Regel nur wenige Gramm einer Substanz synthetisierbar. Diese sind normalerweise ausreichend, um physikalische, chemische oder thermische Eigenschaften der daraus hergestellten Materialien untersuchen zu können. Um jedoch verlässliche Aussagen über die Einsatzmöglichkeiten dieser Materialien treffen zu können, ist es notwendig, größere Mengen davon zur Verfügung zu haben. Denn insbesondere praxisrelevante Eigenschaften, wie beispielsweise mechanische Eigenschaften, Dauerhaftigkeit, Haptik oder Optik, können erst beurteilt werden, wenn die Materialien unter realitätsnahen Bedingungen verarbeitet werden. Dies gilt vor allem für thermoplastische Werk-

stoffe, bei denen die Prozessparameter beim Verarbeiten einen entscheidenden Einfluss auf die finalen Produkteigenschaften haben. Für die Verarbeitung auf praxisrelevanten Maschinen werden mindestens einige hundert Gramm – besser jedoch mehrere Kilogramm – eines Materials benötigt.

Um sowohl eigene Entwicklungen als auch solche, die vom Kunden beauftragt wurden, hausintern aus einer Hand unter geeigneten Bedingungen untersuchen zu können, hat das Fraunhofer LBF ein Kilolabor eingerichtet. Darin ist die Synthese unterschiedlichster Substanzen im Kilogrammmaßstab möglich, so dass diese im eigenen Technikum weiterverarbeitet und für entsprechende Prüfungen bereitgestellt werden können. Hierzu stehen Reaktoren und Autoklaven bis zu einem Volumen von 20l in verschiedenen Ausführungen zur Verfügung, die Reaktionen in Temperaturbereichen von -80°C bis 250°C , unter Inertbedingungen, bei Drücken bis zu 60 bar oder im Vakuum ermöglichen.

Das Up-scaling einer Reaktion stellt dabei mehr als nur eine Vervielfachung des Reaktionsvolumens dar. Zusätzliche Aspekte, wie eine veränderte Wärmeübertragung, eine sichere Handhabung





*Das Kilolabor im Fraunhofer LBF ermöglicht eine Übertragung chemischer Lösungsansätze zu speziellen Kundenfragestellungen auf den nächsten Maßstab.
The kilogram-scale lab at Fraunhofer LBF allows an in-house transfer of chemical approaches for customers issues from the lab-scale to the kilogram-scale.*

größerer Mengen an Reaktanden und Produkten sowie deren Vor- und Nachbereitung sind zu berücksichtigen. Beispiele für Reaktionen, die im Kilolabor durchgeführt werden können, sind die Synthese von Polymeren mit speziellen Architekturen, die zum Beispiel als haft- oder phasenvermittelnde Kunststoffadditive eingesetzt werden können, um die mechanischen Eigenschaften, Transparenz oder Adhäsion zu artfremden Materialien zu verbessern. Auch der Einsatz von gasförmigen Monomeren und Reaktanden ist möglich. So können beispielsweise thermoplastische Elastomere aus Styrol und Butadien durch anionische Polymerisation und anschließende Hydrierung hergestellt werden. Weitere Synthesebeispiele sind die Herstellung von wässrigen Polymerdispersionen, die als Bindemittel dienen können, Additiven wie z. B. Flammschutzmittel oder Stabilisatoren, Härter für Epoxidharze sowie auch die Oberflächenfunktionalisierung von Fasern oder (Nano-)Füllstoffen.

Customer Benefits The kilogram-scale lab at Fraunhofer LBF allows an in-house transfer of chemical approaches for customers issues from the lab-scale to the kilogram-scale. Thus, the synthesized products can either be further processed at

Fraunhofer LBF plastics engineering center or provided to the customer for own application tests. Customers, who realized a new development in the lab-scale can let transfer their results to the kilogram-scale at Fraunhofer LBF with the aim of an evaluation concerning their applicability.

Summary For the evaluation of the applicability of newly developed polymers, auxiliaries and additives, it is essential that they can be converted to parts and specimens for characterization and testing under realistic conditions. This is only possible when they are available in sufficient amounts. Therefore, Fraunhofer LBF installed a kilogram-scale lab, which enables polymerizations and organic syntheses in reaction vessels and autoclaves with volumes up to 20l under various conditions. The obtained products can subsequently be investigated under practical conditions.



Bestimmung der Harze und Härter in gehärteten Epoxidharzen.

Determining the resins and hardeners in crosslinked epoxy resins.

Contact: Dr. Frank Malz · Phone: +49 6151 705-8763 · frank.malz@lbf.fraunhofer.de



Derzeit ist eine chemische Analyse von Duromeren nicht möglich. Für die Schadensanalytik und Produktentwicklung ist es jedoch essentiell, Information über die chemische Zusammensetzung zu erhalten. Demzufolge besteht ein hoher Bedarf an einer geeigneten Charakterisierungsmethode. Das Fraunhofer LBF erarbeitet eine Analytik zur Identifizierung der verwendeten Harze und Härter in Duromeren.

LDI-ToF-MS zur Materialcharakterisierung von gehärteten Epoxidharzen

Duromere haben sich in den vergangenen Jahrzehnten zu Hochleistungswerkstoffen entwickelt, die über exzellente mechanische Eigenschaften und hohe Temperatur- und Chemikalienbeständigkeit verfügen. Die Eigenschaften eines Duromers werden hauptsächlich vom eingesetzten Harz und zugesetzten Härter bestimmt. Bisher existiert jedoch keine analytische Methode, mit der an einem Duromer die eingesetzten Harze und Härter identifiziert werden können. Daher ist es das Ziel des Fraunhofer LBF, eine Duromeranalytik aufzubauen, mit der Duromere erstmalig chemisch charakterisiert werden.

Die LDI-ToF-MS (Matrix-freie LDI-ToF-MS, Laser Desorption/Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometry) ist daher zur Identifizierung der verwendeten Harze und Härter evaluiert worden. Dieser Ansatz sieht vor, mittels intensivem Laserimpuls Fragmente aus dem Netzwerk »herauszusprengen«, deren Massenzahlen dann Rückschlüsse auf die eingesetzten Harze und Härter liefern. Von einer Auswahl an industriell relevanten Epoxidharzen und Härtern wurden gehärtete Modellharzsysteme hergestellt (Abb. 2). Lösungsmittel, Konzentration und Art der Auftragung der erhaltenen Suspension auf das Target wurden so optimiert, dass reproduzierbare und von Targetsignalen freie LDI-ToF-MS-Spektren erhalten werden (Abb. 1). Durch systematische Kombination von Harz und Härtern gelang es für die untersuchten Harze und Härter generell spezifische Peaks zu identifizieren und eine Spektren-Datenbank aufzubauen.

An Duromeren, bestehend aus einem Härter und zwei Harzen, wurde der Beweis erbracht, dass auch mehrere Harzkomponenten nebeneinander nachgewiesen werden können. Abschließend wurde in einer Konzeptstudie belegt, dass mit der erarbeiteten

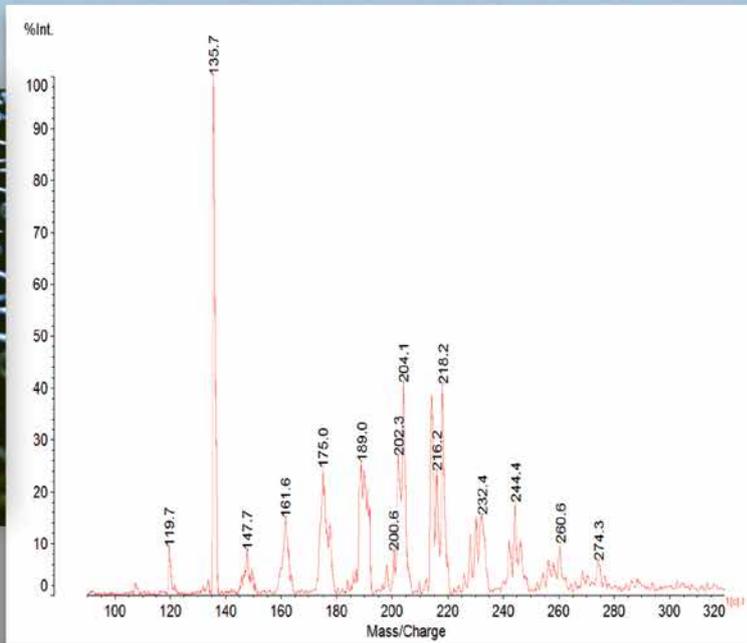


Abb. 1: Gehärtetes Epoxidharz auf einem MALDI-Target mit Massenspektrum.
Fig. 1: Cross-linked epoxy resin on MALDI target with mass spectrum.



Abb. 2: Gehärtetes Epoxidharz.
Fig. 2: Cross-linked epoxy resin.

Spektralen-Datenbank das verwendete Harz und die Art des Härterers eines kommerziellen 2-Komponenten-Klebers erfolgreich identifiziert werden konnten.

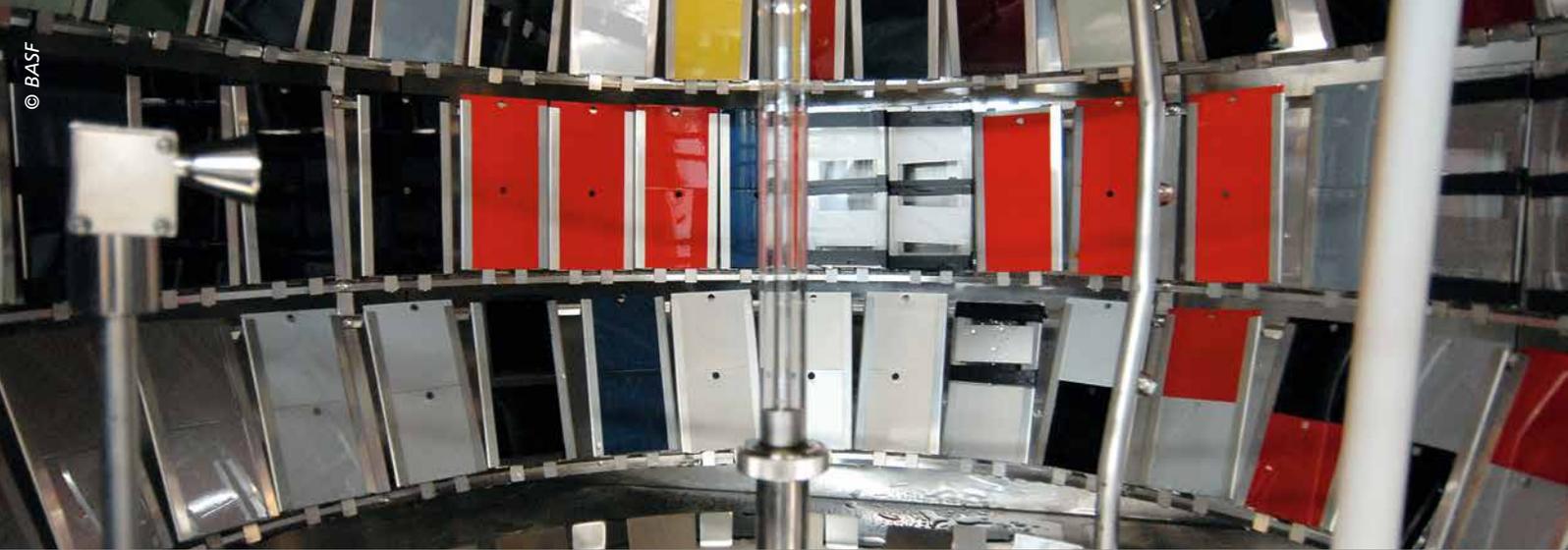
Durch diese Arbeiten wurde erstmals belegt, dass auch nach Aushärtung Informationen über die eingesetzten Härter und Harztypen zu gewinnen sind.

Customer Benefits With the LDI-ToF-MS, there is an analysis process available that for the first time enables plastics processing companies and users to have their thermoset materials characterized at the Fraunhofer LBF. Such companies can use this information to improve their products or even to develop new types of thermoset materials and bring them to market. Moreover, if damage occurs, there are now new ways of discovering whether the resins or hardeners used have a chemical identity in relation to the master batch if material failure occurs.

Summary Knowledge of the chemical composition of thermoset materials in respect of resin and hardeners is very important for failure analysis and product development. As thermoset materials are insoluble, there is currently no method of obtaining this information. The Fraunhofer LBF therefore developed a new method which is based on a solids analysis. The LDI-ToF-MS was evaluated in defined manufactured thermoset materials (epoxy resins). Specific fragments were identified both for the resins and also for the hardeners, and a spectrum database was set up. Using a sample of a cross-linked 2-component adhesive, its components (resin and hardeners) were successfully identified.

»Mittels massenspektrometrischer Detektion bestimmen wir die einzelnen Komponenten an ausgehärteten Epoxidharzen.«

Dr. Frank Malz



KÜRZERE ALTERUNGS- UND PRÜFPROZEDUREN FÜR BESCHICHTUNGEN
SHORTER AGING AND TEST PROCEDURES FOR COATINGS

Früherkennung von witterungsbedingten Lackschäden.

Early detection of weathering-induced damages in coatings.

Contact: Priv.-Doz. Dr. Ingo Alig (Fraunhofer LBF) · Phone: +49 6151 705-8659 · ingo.alig@lbf.fraunhofer.de
Dr. Michael Hilt (Fraunhofer IPA) · Phone: +49 711 970-3820 · michael.hilt@ipa.fraunhofer.de

Beschichtungen sind wechselnden Umwelteinflüssen ausgesetzt. Temperaturschwankungen, Sonnenstrahlung, Feuchte, chemische Substanzen und mechanische Belastungen wirken in Kombination und verändern die Materialeigenschaften. Für eine schnellere Rezepturentwicklung ist es deshalb erforderlich, Alterungs- und Versagensmechanismen besser zu verstehen, Schädigungen möglichst frühzeitig zu erkennen und damit die Dauer der Laborwitterung zu verkürzen.

Bewitterungsprüfung und Früherkennung von Werkstoffveränderungen

Ziel eines gemeinsamen Projektes der Abteilungen Rezepturentwicklung und Dauerhaftigkeit des Fraunhofer LBF und Beschichtungssystem- und Lackiertechnik des Fraunhofer IPA zur »Ermittlung von Indikatoren zur frühen Erkennung von witterungsbedingten Lackschäden mittels eines degradationsbegleitenden Prüfansatzes« war es, die Bewitterungs- und somit die Entwicklungszeiten für neue Lackformulierungen zu verkürzen. Hierfür galt es, Prüfmethode zu finden, die frühzeitig auf Änderungen der Lackeigenschaften während der Bewitterung reagieren und »Frühindikatoren« für Veränderungen einzelner Lackeigenschaften zu identifizieren.

Hierbei setzen beide Institute eine langjährige Zusammenarbeit fort und kombinieren ihre analytischen und bildgebenden Verfahren. Gängige Methoden, wie Gitterschnitt, Farb- und Glanzmessungen, Infrarot-Spektroskopie oder dynamisch-mechanische Analyse wurden mit hochempfindlichen Methoden, wie Elektronenspinresonanz-Spektroskopie, elektrochemischer Impedanzspektroskopie und Ultraschallmikroskopie gekoppelt, um die bei der Bewitterung auftretenden photochemisch induzierten Degradationsprozesse zu detektieren. Die verschiedenen Eigenschaftsveränderungen konnten mit einem vereinfachten Photodegradationsmechanismus in einen zeitlichen Zusammenhang gebracht werden. Hieraus wurden Indikatoren identifiziert, die Rückschlüsse auf ein späteres Beschichtungsversagen erlauben.

Aus den Messdaten der elektrochemischen Impedanzspektroskopie konnte beispielsweise die Wasseraufnahmereversibilität als sensibler Parameter für das Wasserrückhaltvermögen abgeleitet werden, der sich schon nach kurzen Bewitterungszeiten verändert. Mit der Elektronenspinresonanz-Spektroskopie lässt sich die Verminderung der für die photooxidative Degradationsreaktionen verantwortliche Zahl der Radikale bereits nach sehr kurzer Bewitterungsdauer nachweisen (Abb. 1). Ein neues Analyseverfahren für Ultraschallsignale und ultraschallmikroskopische



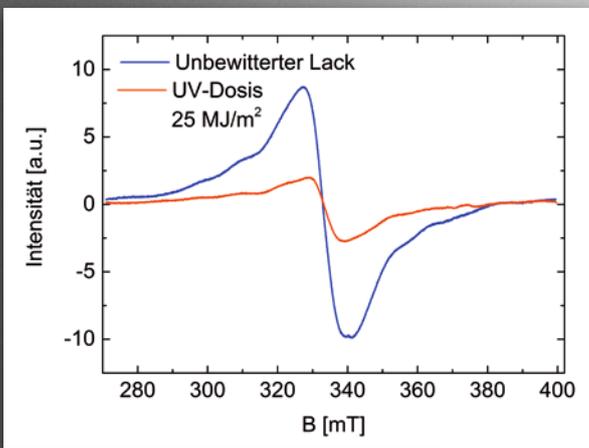


Abb. 1: ESR-Spektren einer in situ UV-bestrahlten Lackprobe vor und nach einer kurzen Bewitterungsperiode (Fraunhofer IPA).
Fig. 1: ESR spectra of an in situ UV-irradiated paint sample before and after a short period of aging (Fraunhofer IPA).

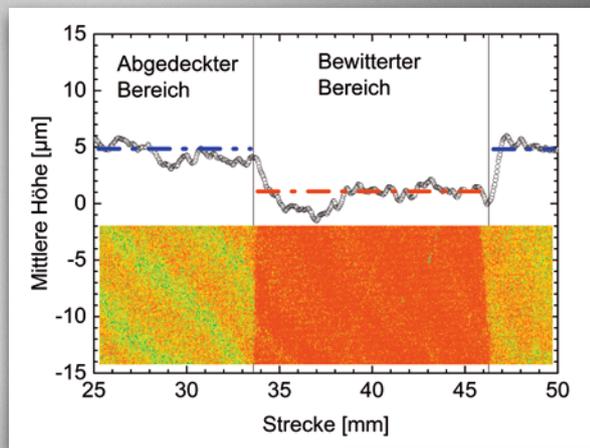


Abb. 2: Ultraschallmikroskopisches Bild einer für 171 h bewitterten Lackprobe mit partiell abgedeckter Lackoberfläche (linker und rechter Rand). Die Messkurve stellt das aus der Schalllaufzeit berechnete Höhenprofil dar. (Fraunhofer LBF).
Fig. 2: Ultrasonic microscope image for a paint sample with partially covered paint surface weathered for 171 h (left and right edge). The measured curve represents the elevation profile calculated from the sound propagation time (Fraunhofer LBF).

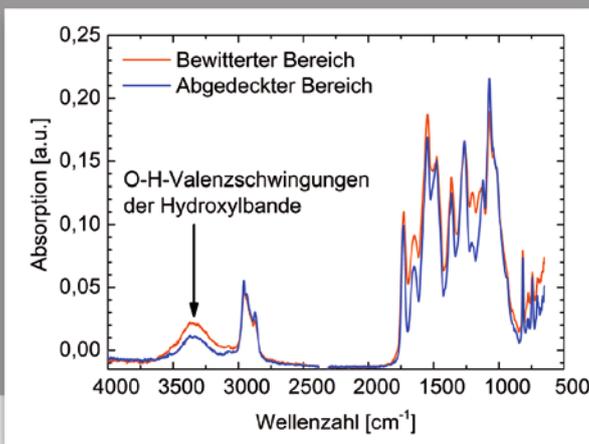


Abb. 3: Infrarot-Spektren für den abgedeckten und nicht abgedeckten Bereich einer bewitterten Lackprobe (siehe Abb. 2) (Fraunhofer LBF).
Fig. 3: Infrared spectra for the covered and non-covered area of a weathered paint sample (see Fig. 2) (Fraunhofer LBF).

Bilder erlaubt es, Veränderungen der Oberflächentopologie (z. B. Risse oder Welligkeit) zu identifizieren. Modellexperimente mit partiell versiegelten Lackstellen zeigten, dass sich in Abhängigkeit der Art der Abdeckung schon nach kurzer Bewitterungsdauer Höhenunterschiede von wenigen Mikrometern im Lackaufbau einstellen (Abb. 2) und mit IR-Analysen nachweisbare chemischen Veränderungen eintreten (Abb. 3).

Customer Benefits Shortening of weathering times is of interest for manufacturers and users of paints and coatings for outdoor use. Such users include the automotive industry, shipping and aviation and also the construction sector. Shortening of the weathering times enables faster product development and considerably reduces the direct testing costs.

Summary Tracking all the phases of paint aging using highly sensitive measuring methods enabled the early detection of changes in properties during the weathering process. Based on a simplified photo degradation mechanism, it is possible to draw conclusions about future damage from even minor changes in properties. This enables shorter testing times.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 17045N der Forschungsvereinigungen Deutsche Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung e. V. (DFO), Forschungsgesellschaft für Pigmente und Lacke e. V. (FPL) und Forschungsgesellschaft Kunststoffe e. V. (FGK) wurde über die AIF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Wir bedanken uns für die finanzielle Unterstützung.

»Eine verkürzte Prüfdauer hilft Herstellern von Beschichtungen, die Rezepturentwicklung zu beschleunigen und Prüfkosten zu reduzieren.«

Priv.-Doz. Dr. Ingo Alig



ZUVERLÄSSIGER PROZESS BEI REDUZIERTEM ENERGIEEINTRAG
RELIABLE PROCESS AND REDUCED ENERGY INPUT

Hohe Wirtschaftlichkeit bei der Compoundierung.

Improve of efficiency during compounding.

Contact: Dr. Christian Beinert · Phone: +49 6151 705-8601 · christian.beinert@lbf.fraunhofer.de



Das initiale Aufschmelzen hat eine hohe Bedeutung für die Compoundierindustrie, da bis zu 80 Prozent der gesamten Energie in der Plastifizierungszone und hier im speziellen in der ersten Knetblockstufe eingebracht wird. Eine Optimierung bzw. Minimierung des Energieeintrags in der Aufschmelzzone hat daher ein vielversprechendes Potenzial für eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit sowie einer Verbesserung der Materialeigenschaften durch schonendere Verarbeitung.

Energieeintrag und initiales Aufschmelzen

Für die systematische Untersuchung des Energieeintrags in der Aufschmelzzone gleichläufiger Doppelschneckenextruder wurde am Fraunhofer LBF ein neuartiges Werkzeug entwickelt, mit dessen Hilfe ein Ausschnitt der Plastifizierungszone visualisiert werden kann. Mit Hilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera kann somit erstmalig die Bewegung, Deformation und das initiale Aufschmelzen von Kunststoffgranulaten dargestellt, dokumentiert und bewertet werden. In Kombination mit einer hochauflösenden Drehmomenten-Messung kann nun der Energieeintrag orts aufgelöst jedem visualisierten Zustand zugeordnet und die theoretische Temperaturerhöhung berechnet werden.

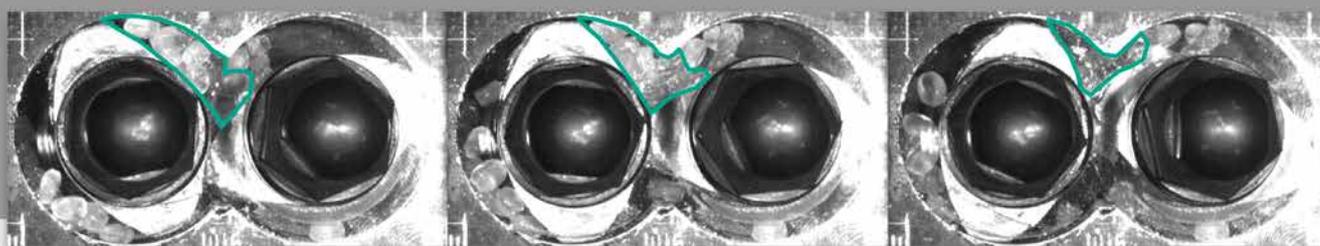
Plastische Deformation wird sichtbar

Beispielhaft dargestellt zeigt die Abbildung 1 die plastische Deformation eines Polypropylengranulats. Es kann beobachtet werden, dass das Granulat durch eine massive plastische Deformation zum Fließen gebracht wird und lokal initial innerhalb von Sekundenbruchteilen plastifiziert. Dabei wird das Granulat zunächst zwischen der aktiven Flanke und der Zylinderwand verklemt. Anschließend folgt eine Deformation, welche in zwei Phasen eingeteilt werden kann. In der ersten Phase wird das Granulat verdichtet und in das freie Volumen gepresst. In einer zweiten Phase wird in dieses vorkompaktierte Volumen, durch weitere plastische Deformation, massiv Energie eingebracht. Diese Vorgänge dauern bei einer Schnecken Drehzahl von 1200 Umdrehungen/min lediglich ca. 5 ms. Neben der plastischen Deformation im Zwickelbereich kommt es auch zu einer Kompression vor der aktiven Flanke. Bei weiterer Betrachtung der Vorgänge wird klar, dass neben den Materialeigenschaften vor allem geometrische Aspekte wie z. B. die Granulatgröße und -form und das freie Volumen im Knetblockbereich, einen wesentlichen Einfluss auf das Aufschmelzen haben. Die Quantifizierung erfolgt mit einer hochauflösenden Drehmomentenmessung. Neben



Abb.2: Versuchsaufbau zur Visualisierung der plastischen Deformation von Kunststoffgranulat in der Aufschmelzzone gleichläufiger Doppelschneckenextruder.
Fig. 2: Experimental set-up to visualize the plastic deformation of polymeric granules within the plastification zone of co-rotating twin-screw-extruder.

Abb. 1: Verkeilen des Granulats im Zwickelbereich, Kompression des Materials in das freie Volumen, Deformation des kompaktierten Kunststoffgranulats.
Fig. 1: Wedging of the granules in the intermeshing area, compression of the material in the free volume, deformation of the compacted plastic granules.



der Herausforderung der Quantifizierung der unterschiedlichen Mechanismen, liegt eine weitere auch in der Abbildung dieser in Form eines für den Anwender praktikablen Modells. In dieser Frage arbeitet das Fraunhofer LBF eng mit der Kunststofftechnik Paderborn (KTP) zusammen. Durch die Kopplung beider Kompetenzen kann ein direkter Mehrwert für die Compoundierindustrie erzielt werden.

Customer Benefits Due to this work, in future the compounding industry can access new findings and models which allow a very material- and process specific design of the melting zone. As a result it will be possible to reduce the overall energy input in the polymer to the necessary minimum while maintaining process reliability. Consequently, the polymer will be damaged less both thermally and mechanically which contributes to improved product characteristics and thus also reduces the emissions induced by processing. The energy input required for compounding can also be reduced significantly, leading to higher profitability of the whole process.

Summary Research on the subject of co-rotating twin-screw extruders in the last 50 years has contributed to a very high level of knowledge about all aspects of the compounding process. Nevertheless, there are still fundamental questions at different points which still remain unanswered even now. One of these »last« questions deals with initial melting and the linked mechanisms for energy input in the melting zone. It is now possible to gain an insight into these processes as a result of innovative new measuring techniques at the Fraunhofer LBF. The findings to be derived from them will contribute in future to a reduction of the total energy input, gentler compounding and thus an increase in profitability.



INTEGRIERTE SIMULATION
INTEGRATIVE SIMULATION

Optimierte Auslegung von kurzfaserverstärkten Kunststoffbauteilen.

Optimized dimensioning of short fibre reinforced thermoplastic components.

Contact: Dominik Laveuve · Phone: +49 6151 705-492 · dominik.laveuve@lbf.fraunhofer.de
Sebastian Mönnich · Phone: +49 6151 705-8751 · sebastian.moennich@lbf.fraunhofer.de

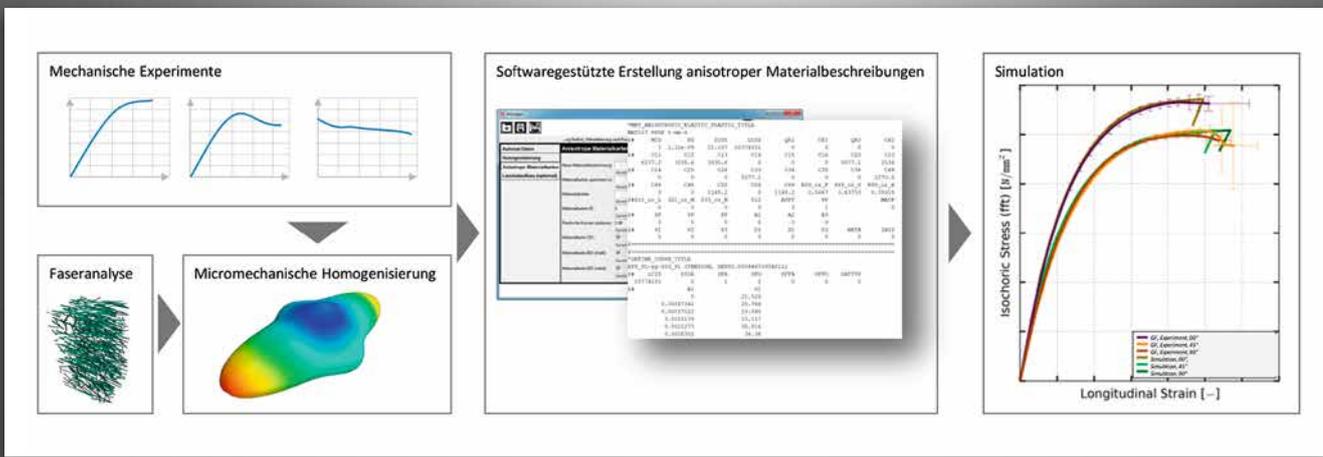
Die optimierte Auslegung von Kunststoffbauteilen ist in den letzten Jahren verstärkt in den Fokus von Unternehmen und Forschungseinrichtungen getreten. Dabei entwickeln sich unterschiedlich komplexe Ansätze zur Berücksichtigung prozessbedingter Bauteileigenschaften. Bei der sogenannten Integrativen Simulation ist es Ziel, eine bauraum- und materialoptimierte Auslegung bei gleichzeitig hoher Betriebssicherheit zu erreichen und so den Entwicklungsprozess wirtschaftlicher zu gestalten.

Integrative Simulation

Die Abteilungen »Betriebsfester und funktionsintegrierter Leichtbau« und »Kunststoffverarbeitung und Bauteilauslegung« des Fraunhofer LBF arbeiten seit vielen Jahren auf den genannten Gebieten. Bei der Auslegung von Bauteilen aus kurzfaserverstärkten Kunststoffen gilt es neben dem dominierenden Merkmal, den lokal anisotropen Materialeigenschaften, weitere Einflussfaktoren wie mehraxiale Spannungszustände, hohe Spannungsgradienten oder Mittelspannungsempfindlichkeiten zu berücksichtigen. Um eine möglichst zuverlässige Aussage über die Beanspruchungen im Bauteil und die zu erwartende Lebensdauer zu erhalten, ist eine geschlossene numerische Prozesskette, die den Herstellungsprozess berücksichtigt, sinnvoll.

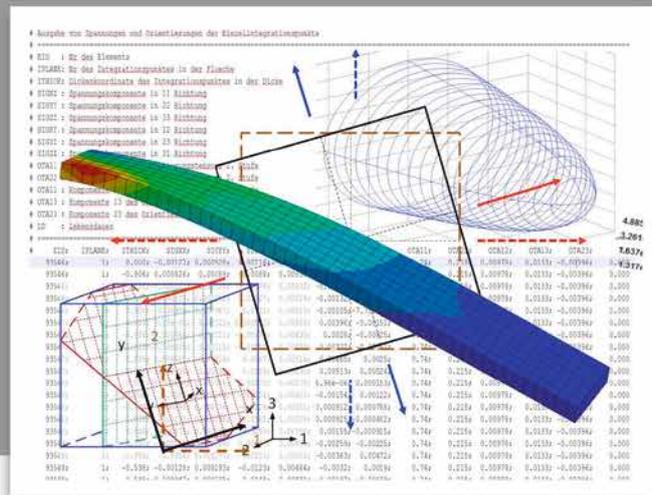
Im Rahmen eines Eigenforschungsprojekts wurden in Zusammenarbeit mit einer Vielzahl unserer Industriepartner die drängendsten Fragestellungen zur Auslegung von kurzfaserverstärkten Kunststoffbauteilen identifiziert. Aus der gesamten Prozesskette der Integrativen Simulation wurden die Themen Struktursimulation, mit Berücksichtigung verschiedener Detaillierungsgrade, und die darauf basierende Lebensdauerberechnung herausgegriffen und weiterentwickelt. So sind für die betriebsfeste Bauteilauslegung beliebige mehrachsige Spannungszustände bei anisotropen Materialien besonders zu beachten, da nicht nur multiaxiale, sondern auch uniaxiale Schwingbelastungen örtlich zu multiaxialen Schwingbeanspruchungen führen. Zusätzlich ist die Festigkeit des Materials richtungsabhängig.

Bei der Wahl einer geeigneten Hypothese zur Lebensdauerabschätzung sind diese Erkenntnisse zu berücksichtigen. D. h., die im isotropen Fall gängigen Verfahren der Festigkeitsbeurteilung mehrachsiger Beanspruchungszustände (z. B. klassische Vergleichsspannungshypothesen) sind für den anisotropen Fall ungeeignet. Vielmehr müssen Ansätze zur Anwendung kommen, die es ermöglichen, die zeitabhängige mehraxiale Beanspruchung in Abhängigkeit der Beanspruchungshöhe und -richtung zu beurteilen.



Modellierung des anisotropen Materialverhaltens kurzfaserverstärkter Thermoplaste.
Modelling of anisotropic material behavior of short fiber reinforced thermoplastics.

Lebensdauerabschätzung für kurzfaserverstärkte Thermoplaste (Spritzguss) als FE-postprocessing.
Lifetime prediction for short-fiber-reinforced thermoplastics (injection molding) as FE postprocessing.



Customer Benefits The methods of »integrative simulation« developed accompany the project engineer from injection molding simulation (microstructure of the fibers) and »fiber mapping« in the finite element model to the structural durability assessment using adapted strength theories.

Summary As part of an in-house research project, the main issues relating to the topic of optimized design of short-fiber-reinforced plastic components were identified in close collaboration with several industrial customers. The subareas of structural simulation with consideration of various levels of detail and the lifetime calculation based on it were singled out of the integrated process chain and developed further.

»Wir garantieren unseren Industriepartnern die zeitnahe Beschaffung von Materialdaten und unterstützen bei der mechanischen Simulation (Struktursimulation und Lebensdauerberechnung) sowie bei der Prozesssimulation für den Fertigungsprozess.«

Sebastian Mönich



Fraunhofer LBF
ZUKUNFTSTHEMA





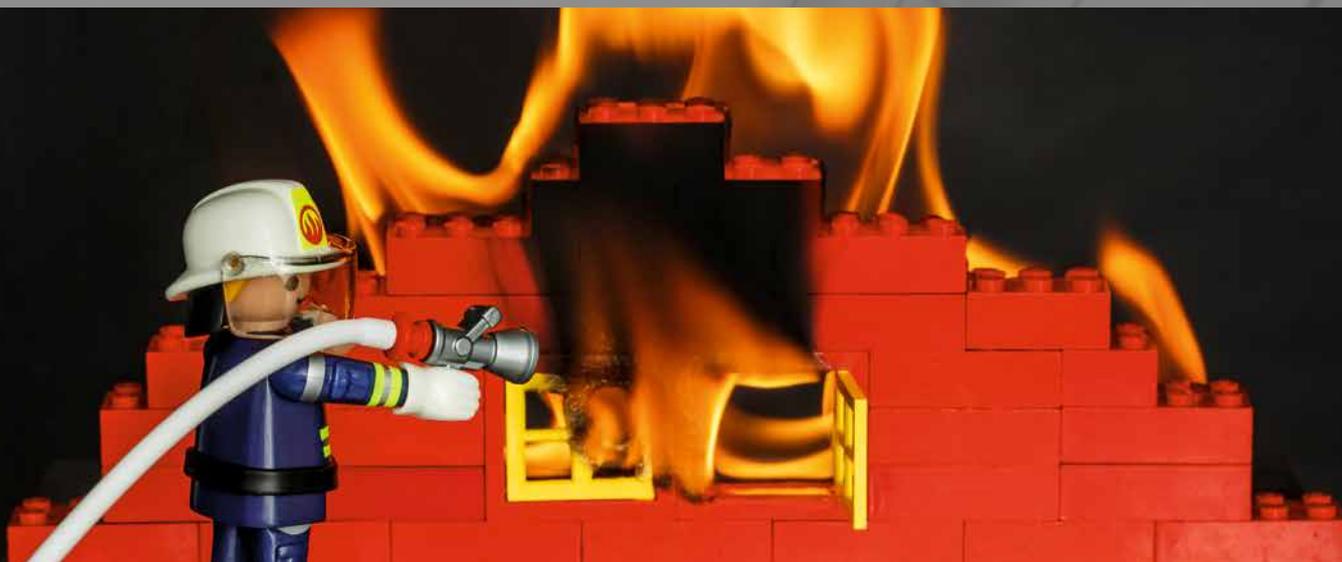
Neue Perspektiven

New prospects.

	Recycling halogenfrei flammgeschützter Kunststoffe. Recycling of halogen-free flame retardant plastics.	100
	Ein Tag im Zeichen des Elastomers. A day dedicated to elastomers.	101
	Mechanisches Langzeitverhalten von Kunststoffen – Messen, Modellieren, Simulieren. Mechanical long-term behavior of plastics – measure, model, simulate.	102
	Rotordynamik. Rotor Dynamics.	103
	Entwicklung innovativer Energie- und Thermomanagement- technologien für Elektrofahrzeuge. Innovative energy and thermal management technologies for electric vehicles.	104

Recycling halogenfrei flammgeschützter Kunststoffe.

Recycling of halogen-free flame retardant plastics.



Contact: Dr. Elke Metzsch-Zilligen · Phone: +49 6151 705-8609 · elke.metzsch.zilligen@lbf.fraunhofer.de

In Europa werden heute mengenmäßig bereits rund 70 Prozent sogenannte halogenfreie PIN-Flammschutzmittel verwendet, die auf Basis von Phosphor (P), anorganischen Substanzen (I) und Stickstoff (N) hergestellt werden und nicht auf Halogenen (z. B. Brom oder Chlor) aufgebaut sind. Ihr Anteil wird wachsen, da sie dem Wunsch vieler Anwender nach guter Umweltverträglichkeit, Kosteneffizienz und verlässlichem Flammenschutz in der Endanwendung entgegen kommen. Zum werkstofflichen Recycling dieser Kunststoffe ist jedoch nur sehr wenig bekannt.

Recyclingfähigkeit sicherstellen

Das neue Forschungsprojekt des Fraunhofer LBF wird erstmalig Antworten auf die Recyclingfähigkeit von halogenfrei flammgeschützten Kunststoffen geben und Wege aufzeigen, die Recyclingfähigkeit sicher zu stellen. Gleichzeitig wird ein wichtiger Beitrag zu den gesellschaftspolitischen Themen Ressourceneffizienz und Sicherheit geliefert. Die Forschung findet im Rahmen der Projektförderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung der AiF (Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen, hier Forschungsgesellschaft Kunststoffe e. V.) und unter Beteiligung von Mitgliedsfirmen der PINFA (Phosphorus, Inorganic & Nitrogen Flame Retardants Association) statt. Da das Fraunhofer LBF anwendungsrelevante

und kommerzielle Formulierungen verwendet, können Unternehmen, z. B. aus der Elektroindustrie, die Erkenntnisse unmittelbar umsetzen. Durch die Wiederverwendung von z. B. Produktionsabfällen entsteht auch ein klarer Wettbewerbsvorteil. Risiken wie Produkthaftung bei der Verwendung von Rezyklaten können durch die erarbeitete Datenbasis minimiert werden.

Dank verbesserter Eigenschaften von rezyklierten Kunststoffen wird es möglich, neue Anwendungen für diese Rezyklate zu erschließen und neue Geschäftsfelder aufzubauen. Bei einem Marktvolumen in Europa von drei Milliarden Euro für halogenfrei flammgeschützte Kunststoffe schätzt das Fraunhofer LBF das Kosteneinsparungspotenzial durch die Verwendung von Produktionsabfällen auf 150 Millionen Euro jährlich. Der mögliche Wert für Altkunststoffe liegt noch deutlich darüber.

Für die Qualitätsverbesserung beim werkstofflichen Recycling von Kunststoffen spielen Recycling-Additive eine wichtige Rolle. Mit der Zugabe von maßgeschneiderten Stabilisatoren, Kompatibilisatoren und reaktiven Zusätzen erreichen Rezyklate Qualitäten, die mit denen von Neuware konkurrieren können.



Ein Tag im Zeichen des Elastomers.

A day dedicated to elastomers.

*Podiumsdiskussion zum Thema Elastomere.
Panel discussion on the subject of elastomers.*



Contact: Heiko Hahnenwald · Phone: +49 6151 705-8330 · heiko.hahnenwald@lbf.fraunhofer.de

Elastomermaterialien sind heute in vielen schwingungstechnischen Anwendungen etabliert. Dennoch stellt das komplexe Werkstoffverhalten noch immer große Herausforderungen an die Bauteilauslegung. Neben den viskoelastischen Materialeigenschaften und dem nichtlinearen Übertragungsverhalten sind Fragen der Schwingfestigkeit und Lebensdauer insbesondere unter wechselnden Umweltbedingungen zu beachten. Um diesen Fragen auf den Grund zu gehen, veranstaltete das Fraunhofer LBF im November 2015 einen Technologietag unter dem Motto »Elastomere in der Schwingungstechnik«. Im Rahmen der Veranstaltung wurden aktuelle Entwicklungen aus der Arbeit am Institut vorgestellt. So wurden unter anderem Projektergebnisse und Methoden zu den Themen Elastomeralterung und Lebensdauer-Untersuchungen, uni- und multiaxiale Modellansätze zur dynamischen Simulation von Elastomerkomponenten, insbesondere zur hochdynamischen Analyse von passiven und aktiven schwingungstechnischen Elastomer-Komponenten sowie zur Anwendung von Elastomeraktoren als aktive Bauteile zur Schwingungsreduktion präsentiert.

Darüber hinaus wurden zukünftige Anforderungen an Materialien und deren Anwendung in schwingungstechnischen Lösungen im Automobil bzw. in Schienenfahrzeugen durch Praxisvorträge von Herrn Dr. Hans-Jürgen Karkosch (ContiTech

Vibration Control) und Herrn Andreas Wolf (Bombardier Transportation) näher beleuchtet. Abgerundet wurde das Tagesprogramm durch eine Podiumsdiskussion, in der Anforderungen und Herausforderungen an Industrie und Forschung adressiert wurden. Neben den Referenten Dr. Karkosch und Wolf diskutierten auf dem Podium Dr. Marcus Hofmann (AVL Deutschland), Dr. Thomas Früh (Lanxess Deutschland GmbH) sowie Prof. Melz und Dr. Pfaendner als Vertreter des Fraunhofer LBF.

Insgesamt folgten der Einladung rund 50 Teilnehmer aus der Automobil- und Zuliefererindustrie, der chemischen Industrie und dem Maschinenbau. Die Teilnehmer zeigten sich sowohl von den behandelten Themen und der Diskussion als auch der Gestaltung der Veranstaltung positiv beeindruckt. Mehr Informationen zum Leistungsangebot des Fraunhofer LBF gibt es hier: www.elastomerpruefung.de



Fraunhofer LBF
ZUKUNFTSTHEMA

Mechanisches Langzeitverhalten von Kunststoffen – Messen, Modellieren, Simulieren.

Mechanical long-term behavior of plastics – measure, model, simulate.



Contact: Sebastian Mönnich · Phone: +49 6151 705-8751 · sebastian.moennich@lbf.fraunhofer.de

Unter langfristig einwirkenden, konstanten mechanischen Belastungen nehmen die Deformationen in Kunststoffbauteilen zeitabhängig zu – Kunststoffe kriechen.

Bei der Bauteilauslegung muss dieses Kriechverhalten entsprechend berücksichtigt und z. B. durch Simulationen vorhergesagt werden. Dazu sind geeignete Materialmodelle erforderlich und eine präzise Ermittlung der notwendigen Materialparameter in Abhängigkeit von Zeit, Temperatur und Beanspruchungszustand. Eine Recherche hat gezeigt, dass am Markt vorhandene Prüfeinrichtungen den heutigen Anforderungen moderner Hochleistungskunststoffe hinsichtlich Last- und Temperaturgrenzen häufig nicht mehr gerecht werden. Lastaufbringung und Dehnungsmessung lassen bei herkömmlichen Prüfständen ebenfalls viele Fragen offen.

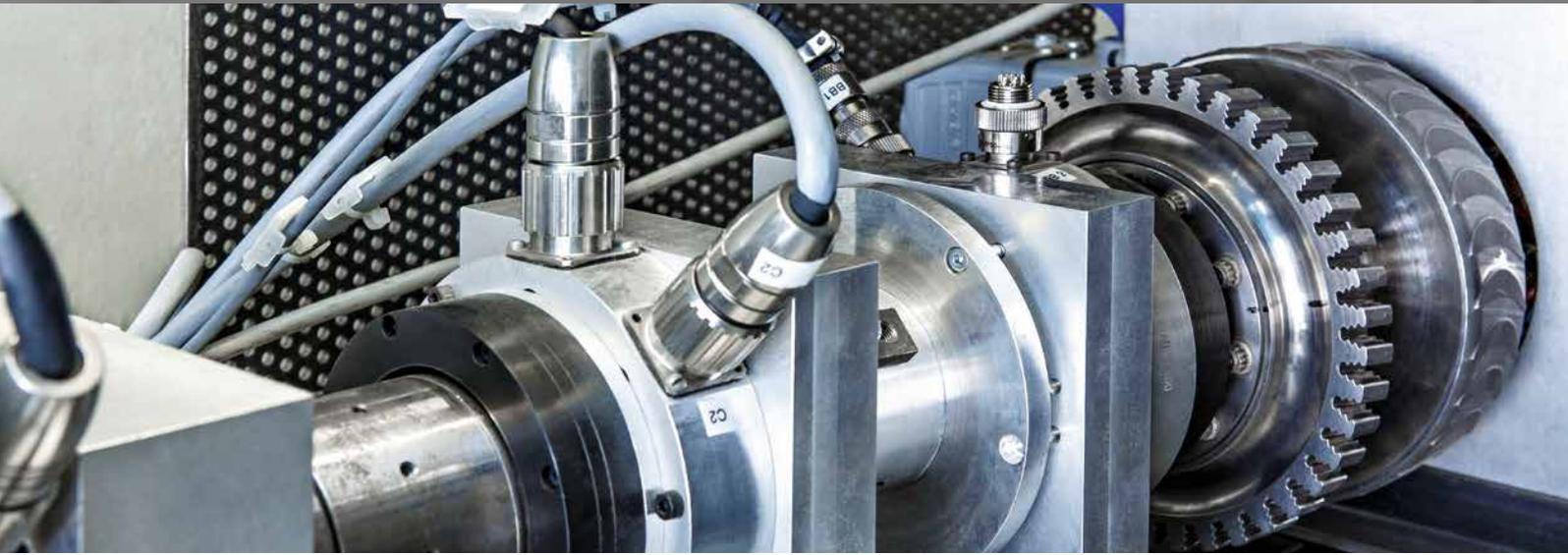
Der Bereich Kunststoffe des Fraunhofer LBF beschäftigt sich seit mehr als 30 Jahren mit Werkstoffmodellen zur Beschreibung des Kriechverhaltens unter verschiedenen Beanspruchungszuständen und Temperaturen. Weiterhin liegen langjährige Erfahrungen mit dem Bau von Prüf- und Messeinrichtungen vor. Es war daher naheliegend, die gesammelten Erfahrungen in einem neuen Prüfstandkonzept umzusetzen.

Mit einem völlig neu konzipierten Prüfstand werden jetzt fast alle bekannten Limitationen herkömmlicher Prüfeinrichtungen aufgehoben. So ist die stoßfreie Lastaufbringung bei vielen Prüfständen sehr stark vom Bediener abhängig. Bei dem neu konzipierten Prüfstand wird die Lastaufbringung elektronisch geregelt und kann dadurch genau definiert erfolgen. Die optische berührungslose Dehnungsmessung erlaubt eine hohe Auflösung, die für die Ermittlung von Werkstoffkennwerten an hochsteifen Werkstoffen notwendig ist. Erstmals ist auch die exakte Ermittlung der Querdehnung möglich, was die Materialmodelle und damit die Vorhersagegüte von Simulationen erheblich verbessert. Es können Prüftemperaturen von RT bis 205 °C abgedeckt werden. Durch die neu entwickelte Spanntechnik wird die Prüfung unterschiedlicher Probekörperabmessungen ermöglicht. Der Prüfstand ist aber nicht nur für hochsteife Werkstoffe, sondern gleichermaßen für die Kennwertermittlung an Elastomeren und TPE geeignet.



Rotordynamik.

Rotor Dynamics.



Contact: Heiko Atzrodt · Phone: +49 6151 705-349 · heiko.atzrodt@lbf.fraunhofer.de

Rotierende Baugruppen haben ihre Eigenheiten. Insbesondere bei hohen Drehzahlen können Schwingungsphänomene auftreten, die an der stillstehenden Maschine nicht zu beobachten sind. Zwei Beispiele sind drehzahlabhängige Eigenfrequenzen aufgrund von gyroskopischen Effekten sowie Instabilitäten. Letztere können wiederum aus Gleitlagerungen, hoher innerer Dämpfung, unrunder Wellen oder Selbsterregungen in Dichtspalten resultieren. Solche rotordynamischen Effekte sind unter anderem bei Turbinen in der Energietechnik, Pumpen und Verdichtern in Produktionsanlagen, Spindeln in Werkzeugmaschinen sowie rotierenden Maschinen in der Medizintechnik zu berücksichtigen.

Im Sinne eines ganzheitlichen Leistungsangebotes erweitert das Fraunhofer LBF sein bestehendes Forschungs- und Dienstleistungsangebot im Bereich der Schwingungstechnik daher um die Rotordynamik. Wie bei allen Themengebieten kommen hierfür eng verzahnte und sich ergänzende numerische und experimentelle Verfahren zum Einsatz. Aus diesem Grund wurde sowohl in leistungsfähige Software als auch in einen Prüfstand mit magnetgelagertem Rotor investiert.

Das erweiterte Leistungsangebot richtet sich insbesondere auch an kleinere und mittlere Unternehmen, für die eine Investition in eigene Experten und Werkzeuge zur Beantwortung rotordynamischer Aufgabenstellungen nicht rentabel ist. Neben Berechnung, Auslegung und Optimierung werden auch Beratungen und Schulungen angeboten. Interessante neue wissenschaftliche Handlungsfelder ergeben sich insbesondere durch eine Verknüpfung mit aktuellen Forschungsgebieten wie aktiven Systemen zur Schwingungsminderung, der Charakterisierung und Beschreibung elastomerer Bauteile in einem großen Frequenzbereich, Hardware-in-the-Loop-Simulationen oder Verfahren der parametrischen Modellreduktion.



Prof. Dr.-Ing.
Rainer Nordmann,
Wissenschaftlicher
Berater

»Ich freue mich, dass dieses wichtige und interessante Gebiet in das Leistungsangebot des Instituts aufgenommen wird. Gerne gebe ich die in vielen Projekten gesammelten Erfahrungen zur Lösung rotordynamischer Fragestellungen an das Team junger, hochmotivierter Mitarbeiter weiter.«

Entwicklung innovativer Energie- und Thermomanagement-technologien für Elektrofahrzeuge.

Innovative energy and thermal management technologies for electric vehicles.

SotA Fiat 500e



OPTEMUS



Normal:
20 °C

Hot:
+35 °C 40 % rH

Cold:
-10 °C 90 % rH

Vergleich der effektiven Reichweiten eines A-Segment Elektrofahrzeugs bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen. Innovative energy and thermal management technologies for electric vehicles.

Contact: Felix Weidmann, M.Sc. · Phone: +49 6151 705-8843 · felix.weidmann@lbf.fraunhofer.de

Im Jahr 2015 wurden laut Kraftfahrzeugbundesamt ca. 12.300 Elektrofahrzeuge (engl. electric vehicle, EV) zugelassen. Im Vergleich zu den 2015 insgesamt etwa 3,8 Mio. zugelassenen Fahrzeugen stellt dies einen verschwindend geringen Anteil dar. Eine der Ursachen ist die begrenzte Reichweite von EVs, die darüber hinaus abhängig von den Umgebungstemperaturen stark schwankt. Dies liegt zum einen an der Temperaturabhängigkeit der Batterieeigenschaften selbst, zum anderen ist die Klimatisierung des Fahrzeuginnenraums energieintensiv.

In diesem Kontext hat das EU-Projekt »OPTEMUS« das Ziel, die Reichweite eines A-Segment-EVs zu steigern, jedoch insbesondere die Schwankung der Reichweite zu reduzieren. Ermöglichen soll dies ein holistisches Fahrzeugkonzept, das eine Vielzahl innovativer Energieeffizienztechnologien in einem EV integriert und ihre Funktionen intensiv miteinander vernetzt.

Eine dieser Technologien ist ein smartes Batteriemodulgehäuse, welches das Fraunhofer LBF entwickelt. Dieses soll die Batteriezellen während des Fahrbetriebs in einem optimalen Temperaturbereich halten. Ein neuartiger Polymercompound soll dies ermöglichen, indem er zusätzlich zur Batterie hohe

Mengen thermischer Energie aufnehmen und wieder abgeben kann. Anhand individueller Fahrerprofile kann so das Batteriemodul vor seinem Einsatz gezielt thermisch vorkonditioniert werden. Dies steigert die Batterieeffizienz und reduziert den Energiebedarf aktiver Temperiertechnologien.

Ein weiteres Ziel des Projekts ist es, den Energieverbrauch der Klimatisierung des Fahrzeuginnenraums mithilfe eines smarten Armaturenbretts zu reduzieren, welches ebenfalls am Fraunhofer LBF entwickelt wird. So soll im Falle starker Sonneneinstrahlung das Armaturenbrett die eingebrachte Wärmemenge mithilfe anisotrop wärmeleitender Materialien gezielt abführen, um so die nötige Kühlleistung des Innenraums zu reduzieren. Um dagegen bei niedrigen Temperaturen die notwendige Heizleistung zu vermindern, soll ein Mikroklima um die Passagiere herum generiert werden. Dies geschieht u. a. mit in dem Armaturenbrett integrierten Wärmestrahler-elementen, welche definierte Körperbereiche des Fahrers gezielt erwärmen.

Mit diesen Technologien profitiert der Kunde von einer gesteigerten Reichweite und Energieeffizienz eines EVs sowie einer deutlich reduzierten Reichweiteschwankung.



Das assoziierte Fachgebiet.

Associated Department.

Contact

Prof. Dr.-Ing. T. Melz
Phone: +49 6151 705-252
tobias.melz@bf.fraunhofer.de

Dr.-Ing. J. Bös
Phone: +49 6151 16-23512
boes@szm.tu-darmstadt.de

Das Fachgebiet Systemzuverlässigkeit, Adaptronik und Maschinenakustik (SAM) der Technischen Universität Darmstadt ist mit seinen insgesamt etwa 45 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern personell und inhaltlich eng mit dem Fraunhofer LBF verbunden. Das Fachgebiet SAM entwickelt und erweitert wissenschaftliche Grundlagen und wendet Methoden und Verfahren zur Bewertung der Zuverlässigkeit komplexer technischer Systeme an. Dies umfasst auch die Untersuchung und gezielte Minderung von Unsicherheit im Rahmen des Sonderforschungsbereiches SFB 805 „Beherrschung von Unsicherheit in lasttragenden Systemen des Maschinenbaus“, an dem das Fachgebiet SAM

SYSTEMZUVERLÄSSIGKEIT, ADAPTRONIK UND MASCHINENAKUSTIK SYSTEM RELIABILITY, ADAPTIVE STRUCTURES, AND MACHINE ACOUSTICS

maßgeblich beteiligt ist. In Kombination mit der Maschinenakustik können leise und zuverlässige Produkte entwickelt werden. Zusätzlich zur Systemzuverlässigkeit und Maschinenakustik wurde zum Jahresbeginn 2016 mit der Berufung von Herrn Prof. Melz zum neuen Fachgebietsleiter das Forschungsgebiet der Adaptronik in Forschung und Lehre des Fachgebiets SAM verankert. Dies wird auch im neuen Fachgebietsnamen deutlich und unterstreicht die enge Verbindung zum Fraunhofer LBF.

The Technische Universität Darmstadt research group of System Reliability, Adaptronic Structures, and Machine Acoustics with around 45 employees is closely connected to Fraunhofer LBF in terms of staff and content. The research group develops and expands scientific

principles and applies methods and procedures for evaluating the reliability of complex technical systems. This includes the investigation and targeted reduction of uncertainty within the framework of the Collaborative Research Center SFB 805 »Control of Uncertainty in Load-carrying Structures in Mechanical Engineering«, in which the research group has a significant involvement. In combination with machine acoustics, it is possible to develop quiet and reliable products. In addition to system reliability and machine acoustics, at the beginning of 2016 the research field of adaptive structures was included in the research and teaching of the research group on the appointment of Prof. Melz as the new Head of Department. This is also clearly expressed in the research group's new name and underlines the close connection with Fraunhofer LBF.





Weitere Labor- und Prüfeinrichtungen des Fraunhofer LBF finden Sie auf unserer Internetseite:

www.lbf.fraunhofer.de/de/labor-pruefeinrichtungen



Laboreinrichtung und Prüfleistungen für Ihre individuellen Anforderungen.

Laboratory equipment and testing services – the entire world of testing technology.

FORSCHUNG MIT SYSTEM

Von der Materialsynthese bis zum kompletten System, von der Konzeptidee bis zum fertigen Produkt, von der Auslegung bis zur Einsatzprüfung – das Fraunhofer LBF erstellt im engen Dialog mit Ihnen das passende Leistungspaket.

In allen Phasen der Systementwicklung und -bewertung werden numerische wie experimentelle Methoden eingesetzt um technisch und wirtschaftlich vorteilhafte Lösungen zu erzielen. Als Projektpartner profitieren Sie von der interdisziplinären Zusammensetzung unserer Projektteams, insbesondere bei komplexen systemischen Fragestellungen.

Experimentelle Versuchstechniken

Variable Versuchsaufbauten:

- Elektrodynamische rotatorische Prüfungen
- Servohydraulische Prüfzylinder für Kräfte zwischen 5 und 2.500 kN und Torsionsmomente bis 64 kNm (> 200 hydraulische Prüfzylinder, 330 Kraftsensoren, Dehnungsaufnehmer)
- Diverse elektrodynamische Schwingerreger (Shaker) für Lastbereich von 20 N bis 27 kN (RKV) und einem Frequenzbereich bis 15 kHz und Beschleunigungen bis 100 g
- Innendruckversuchseinrichtungen bis 750 bar
- Entwicklung neuartiger Antriebe für mechanische Sonderprüfaufbauten
- Versuchseinrichtung für aktive Systeme im Antriebsstrang (VaSA)
- Integration von Verbrennungsantrieben in komplexe Prüfaufbauten
- Prüfstandsdesign, Spannzeugkonstruktion und Probenherstellung nach Kundenanforderung

Stationäre Versuchsaufbauten:

- 8 Zweiaxiale Rad-/Naben-Versuchsstände für Pkw, Nutz- und Sonderfahrzeuge sowie Motorräder einschließlich Bremssimulation und Antriebssimulation

- Vollkinematischer Rad-Straßensimulator W/ALT (Wheel Accelerated Life Testing)
- 25-Kanal Ganzfahrzeugprüfstand für Pkw, Transporter, Elektro- und Hybridfahrzeuge
- 12-Kanal-Achsprüfstand für Betriebsfestigkeitsuntersuchungen komplexer Systeme von Pkw- und Nutzfahrzeugachsen
- Flexibel einsetzbarer 8-Kanal-Prüfstand (Nutzfahrzeuge, Militärfahrzeuge, Schienenfahrzeuge)
- Versuchsaufbau zur 2- oder 3-kanaligen Prüfung von Sattelkupplungen
- Getriebeprüfstand für Komponenten im Antriebsstrang (Antriebswellen, Gelenke, Kupplungen und Kompletgetriebe), Nenndrehmoment max. 2.000 Nm, Drehzahl max. 7500 U/min
- Lagerprüfstand zur praxisnahen Prüfung von Pkw-Radlagern in der Originalbaugruppe
- Dreiaxialer Versuchsstand zur Prüfung von Pkw-Anhängerkupplungen
- Servohydraulische Säulenprüfmaschinen von 5 bis 2.500 kN
- Resonanzprüfmaschinen für Prüfkräfte von 20 bis 600 kN
- Kleinlastprüfstände ab 1 N
- 3 Tension-Torsion Prüfstände
- 2 Elastomerprüfstände (1- und 3-Kanal)
- Fallgewichtsanlage bis 11.000 J Energieeintrag
- Impactprüfstände von 2 bis 800 J, z. B. für Leichtbaustrukturen
- Statische Zug- und Druckprüfung mit bis zu 200 kN, z. B. Compression after Impact (CAI)
- Prüfstand zur Simulation der Performance von Motorlagern
- Prüfstand zur Charakterisierung von Piezoaktoren
- Batterieprüfzentrum mit großer Klimakammer und leistungsstarkem mehraxialen Schwingungstisch (MAST)
- Hochdynamische Prüfmaschine bis ca. 2000 Hz zur Charakterisierung von passiven und aktiven Lagern
- Elektromechanischer Prüfstand zur parallelen Prüfung von Werkstoff-Proben für Elastomer-Wöhlerlinien unter Temperaturbeanspruchung



Messtechnik:

- Kundenspezifische analoge Signalaufbereitung (Filter, Messbereichsanpassung, Temperatur- und Frequenzmessung)
- Kostengünstige, flexibel auf einen Anwendungsfall anpassbare Beschleunigungsaufnehmer
- Messdatenerfassung physikalischer Größen, Telemetrieanlagen zur Erfassung an rotierenden Systemen, Hochfrequenzanalyse
- Modulare, freiprogrammierbare Messdatenerfassung für Langzeituntersuchungen an Kundenfahrzeugen mit Abfrage per Modem
- Wärmebildkamera, z. B. zur Thermischen Spannungsanalyse (TSA) oder Lock-in Thermographie
- Bildkorrelationssystem (optische Dehnungs- und Verformungsmessung)
- Entwicklung von Sensorik, speziell an Messaufgaben des Kunden angepasst
- Schienenmessrad für multiaxiale Beanspruchungsermittlung LBF®.R-Wheelos
- Abrollprüfstand für Fahrzeugräder
- Rapid Control Prototyping Systeme als Entwicklungs-umgebung für Algorithmen der Regelungstechnik und Signalverarbeitung
- 4 Pkw/Lieferwagen-Messräder RoaDyn® S650 der Firma Kistler anpassbar an verschiedene Felgengrößen und statische Radlasten
- 4 Nfz-Messräder der Firma Kistler-IGel RoaDyn® S6HT mit Vertikal- und Longitudinalkraft maximal 200kN, Seitenkraft maximal 100kN, und entsprechenden Brems-/Antriebs-, Hoch- und Längsmomenten an verschiedene Fahrzeuge und Konfigurationen anpassbar

- System zur Ortung von Schäden in Großstrukturen (Acoustic Emission)
- Farbeindringprüfung
- Faseroptische Dehnungsmesstechnik mit Spleissgerät und mehreren Interrogatoren
- Ultraschallhandgerät mit verschiedenen Frequenzbereichen für Metalle und Kunststoffe
- Berührungslose Messung der Dehnungsverteilung mit 3D-Kamerasystem bis 400Hz
- Optische Dehnungsregelung von Wöhlerversuchen mit Kunststoffen
- Computertomographie und Röntgenlaminographie, z. B. für große flächige Faserverbundstrukturen
- Unwuchterreger für die Simulation von Aggregaten
- Digital Video Mikroskop
- Mobiles Auswuchtsystem
- Messplatz TF-Analyzer
- Rotations-Laservibrometer für ein exzellentes Signal-Rausch-Verhältnis und einen bis zu 20.000 U/min erweiterten Drehzahlbereich

Strukturschwingungen und Akustik:

- Reflexionsarmer Akustik-Messraum
- Schallpegelmesser, Messmikrofone (20kHz), 2 Mikrofonarrays
- Mehr als 50 ein- bzw. dreiaxiale Beschleunigungsaufnehmer (Messbereich: 0 Hz bis 20 kHz)
- Impulshämmer, elektrodynamische Shaker
- Laser Scanning Vibrometer (ein- und dreidimensionale, berührungslose Schwinggeschwindigkeitsmessung)
- Ein 16-, 40- und ein 64-kanaliges System zur Erfassung und Analyse vibroakustischer Messgrößen
- Datenlogger



- LMS Test Lab und LMS Test Xpress
- Akustische Kamera zur Lokalisierung akustischer Emissionen
- Kunstkopf Messsystem für hörgerechtes erfassen akustischer Messgrößen
- Bauakustik Messsystem nach DIN Standard
- 3D-Schallintensitäts-Messung
- Schallquellenortung mittels akustischer Holographie
- Experimentelle (EMA) und operationelle (OMA) Modalanalyse, Betriebsschwingformanalyse (ODS)
- Transferpfadanalyse
- Analyse im Zeit- und Frequenzbereich (z. B. Transferverhalten, Fourier Analyse, Terzanalyse, Torsionsschwingungen, Psychoakustik)
- Bewegungs- und Verformungsanalyse inkl. Visualisierung mit Hochgeschwindigkeitskameras

Umweltsimulation unter zyklischer Belastung:

- Klimakammern zur Trocknung, Konditionierung von Proben und Bauteilen sowie zur Simulation von Umweltbedingungen für Temperaturbereiche von -70°C bis +350°C
- Hochtemperaturversuchseinrichtungen bis 1.100°C
- Einrichtungen zur Simulation von Medieneinflüssen, wie z. B. Salz, Bremsflüssigkeit, Kraftstoffen mit Temperaturregelung bis 100°C, Wasserstoff
- Mechanische Vibrationsbelastung (Sinus, Rauschen, Schock) mit überlagerter thermischer Beanspruchung
- Simulierte Bewitterung (Ci4000 Weather-Ometer)
- Prüfkörper für Umwelteinflüsse an Kunststoffen (MultiTester und MultiWeldTester)

Sonderversuchsstände:

- Kombiniert elektrisch, mechanische Prüfung von Sensoren (z. B. DMS, FOBG) und strukturintegrierten Komponenten (z. B. Faserverbund-Sensor-Wechselwirkungen)
- Belastungseinrichtungen zur Qualifikation multifunktionaler Materialien
- Hochdynamische Prüfanlagen für Anwendungen bis zu 2000Hz (z. B. zur Prüfung von Mikrosystemen, Charakterisierung von Elastomeren etc.)
- Elektrische und mechanische Zuverlässigkeitsprüfung von Akkus und Elektronik-Bauteilen

Prototypen Fertigung:

- Kunststoff-Lasersinter-System EOSINTP3
- Drahterodiermaschine
- Startlochbohrmaschine
- Wasserstrahlschneidanlage
- 3D-Drucker
- Fräsmaschine Datron M8
- Ätzanlage
- Reflow Ofen

Für verschiedene, standardisierte Prüfungen (z. B. die Radprüfung im zweiaxialen Rad-/Naben-Versuchsstand) ist unser Institut akkreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005.





MATERIAL- UND BAUTEILENTWICKLUNG VON KUNSTSTOFFEN

Für die Entwicklung neuer und die kundenspezifische Anpassung etablierter Materialien, Werkstoffe und Bauteile verfügt das Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF über flexibel nutzbare Syntheselabore, analytische Charakterisierungsmethoden und Verarbeitungstechnika.

Polymersynthese und Additiventwicklung:

- Synthesen unter verschiedensten Bedingungen vom Gramm bis zum Kilogramm-Maßstab
- Moderne Syntheseverfahren z. B. kontrollierte Polymerisation
- Oberflächenmodifizierung
- Formulierungsentwicklung

Kunststoffverarbeitung:

- Compoundierung mit Doppelschneckenextrudern von 11 bis 34 mm
- Flachfolienextrusion
- Spritzguss
- Korrosions- und Verschleißuntersuchungen
- Inline-Prozesskontrolle verschiedener Kunststoffverarbeitungsverfahren

Faserverbundlabor:

- Formenbau unter Nutzung von z. B. Rapid-Prototyping
- Prototypen-Fertigung
- Herstellung von Faserverbundproben mit Prepreg, Vakuuminfusion, VAP, RTM

Polymeranalytik:

- Bestimmung der chemischen Identität von Kunststoffen und Additiven
- Molekulargewichtsbestimmung und -verteilung von Polymeren durch Größenausschlusschromatographie (GPC, SEC)
- Chemische Zusammensetzung und Funktionalitätsanalyse von Polymeren
- Mehrdimensionale Trennverfahren und Methodenkopplungen

Matereieigenschaften / Materialographie:

- Thermische Eigenschaften: z. B. Schmelztemperatur / Glasübergangstemperatur durch DSC oder DMA
- Thermische Stabilität und Füllstoffgehalte von Kunststoffen durch Thermogravimetrie (TGA)
- Morphologie/Kristallinität mit Streumethoden
- Bestimmung elektrischer Eigenschaften, triboelektrische Aufladung
- Rheologie
- Brandeigenschaften von Kunststoffen
- Faservolumengehaltsbestimmung durch Veraschung
- Feuchtigkeitsbestimmung an Kunststoffproben
- Sorptionsmessungen an organischen Lösemitteln und Wasser
- Bestimmung von Diffusions- und Permeationskoeffizienten
- Ultraschallprüfung
- Flüssigchromatographie zur Trennung von Polymeren nach chemischer Zusammensetzung, Funktionalität, Topologie
- Infrarot-Kamera-Messsystem
- Ultraschallmikroskopie, FTIR- und Raman-Mikroskopie
- Licht-, Transmissionselektronen- und Rasterelektronenmikroskopie mit EDX-Analyse
- Härteprüfung nach Vickers, Brinell, Rockwell
- Oberflächenmessungen

REALITÄTSNAH SIMULIEREN

Mit unserem Know-how und der vielseitigen Ausrüstung können wir auf Ihre individuellen Anforderungen flexibel und schnell reagieren. Wir bieten die numerische Analyse von Systemen, ihre Optimierung und auch die Neuentwicklung von passiven und aktiven Teil- oder Gesamtsystemen.

Profitieren Sie auch von unserer engen Zusammenarbeit mit richtungsweisenden Gremien. Das Fraunhofer LBF realisiert anwendungsorientierte, effiziente Lösungen von höchster Qualität, die Sie bei Ihrer Produktentwicklung unterstützen.



Systemanalyse und Bewertung:

Wir beurteilen Ihre Komponenten und Systeme nach statischen, dynamischen, zyklischen und multiphysikalischen Gesichtspunkten:

- Numerische Bauteilbewertung unter Berücksichtigung der Fertigung (Urformen, Umformen, Fügen, Kerben, Eigenspannungen)
- Rechnerische Betriebslastensimulation und Lebensdauerabschätzung auf Basis simulierter und gemessener Belastungen
- Simulation inhomogener Werkstoffsysteme, z. B. Verbundwerkstoffe
- Berücksichtigung des nichtlinearen Werkstoffverhaltens
- Analyse mechanischer, elektromechanischer, thermomechanischer und vibroakustischer Systeme
- Schwingungstechnische Bewertung und Optimierung technischer Systeme

Unser Know-how verbessert Ihren Entwicklungsprozess:

Wir dimensionieren Ihre Komponenten und Bauteile bedarfsgerecht:

- Topologie- und Gestaltoptimierung im Hinblick auf Funktionalität, Betriebsfestigkeit, Leichtbau und Fertigungsrestriktionen
- Lastdatenableitung, z. B. durch Mehrkörpersimulation, auch unter Verwendung domänenübergreifender Simulationen
- Entwicklung mechatronischer und adaptronischer Systeme

Wir entwickeln Modelle zur realistischen Beschreibung des Werkstoff-, Bauteil- und Systemverhaltens:

- Modellierung von Komponenten (Aktoren und Sensoren) auf Basis von Funktionswerkstoffen mit elektromechanischer Kopplung (piezoelektrische Wandler, elektroaktive Elastomere, magnetorheologische Fluide, Formgedächtnislegierungen)
- Entwicklung nichtlinearer Werkstoff- und Strukturmodelle (z. B. Elastomermodelle, Verbundwerkstoffe)
- Multidisziplinäre Simulation – Kopplung von Simulationscodes
- Ordnungsreduktion von FE-Modellen für die Systemsimulation

- Identifikation von Simulationsmodellen aus Messdaten
- Überführen von Modellen in Echtzeitanwendungen
- Anpassung und Optimierung von dynamischen Simulationsmodellen zur Lastdatenbestimmung
- Auslegung von faserverstärkten Kunststoffbauteilen unter Berücksichtigung des Herstellungsprozesses
- Materialkartenentwicklung für die Spritzgießsimulation und Struktursimulation
- Aufstellen von anisotropen Steifigkeitsmatrizen über Homogenisierungsmethoden

Entwicklung von Neusystemen:

Ergebnisse unserer Marktvorlauftforschung können Ihre Produkte voranbringen. Die enge Verknüpfung zur Technischen Universität Darmstadt und Beteiligung an Sonderforschungsbereichen der DFG und anderer wissenschaftlicher Großprojekte vernetzen uns mit der Grundlagenforschung auch im Bereich der numerischen Methoden. An der Schnittstelle zwischen Forschung und Umsetzung nutzen wir diese Erkenntnisse zur Unterstützung Ihrer Entwicklungsaufgaben.

Profitieren Sie auch von unseren starken Netzwerken und unserer Expertise bei der Akquisition von Fördermöglichkeiten durch EU, Bund und Land.

Mehr über unsere Angebote erfahren Sie auf den Fraunhofer LBF-Internetseiten: www.lbf.fraunhofer.de

Nehmen Sie Kontakt zu uns auf!

info@lbf.fraunhofer.de

Die Fraunhofer-Gesellschaft.

The Fraunhofer Gesellschaft.

Forschen für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit 67 Institute und Forschungseinrichtungen. 24.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von mehr als 2,1 Milliarden Euro. Davon fallen über 1,8 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Mehr als 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Knapp 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studierenden eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung an Fraunhofer-Instituten hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826). Er war als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich.

www.fraunhofer.de



Fraunhofer-Verbund MATERIALS.

The Fraunhofer Group MATERIALS.

Der Fraunhofer-Verbund MATERIALS bündelt die Kompetenzen der materialwissenschaftlich orientierten Institute der Fraunhofer-Gesellschaft.

Materialwissenschaft und Werkstofftechnik umfassen bei Fraunhofer die gesamte Wertschöpfungskette von der Entwicklung neuer und der Verbesserung bestehender Materialien über die Fertigungsverfahren im quasi-industriellen Maßstab, die Charakterisierung der Eigenschaften bis hin zur Bewertung des Einsatzverhaltens. Entsprechendes gilt für die aus den Materialien hergestellten Bauteile und deren Verhalten in Systemen. In all diesen Feldern werden neben den experimentellen Untersuchungen in Labors und Technika gleichrangig die Verfahren der numerischen Simulation und Modellierung eingesetzt, dies über alle Skalen, vom Molekül bis zum Bauteil und zur Prozesssimulation. Stofflich deckt der Fraunhofer-Verbund MATERIALS den gesamten Bereich der metallischen, anorganisch-nicht-metallischen, polymeren und aus nachwachsenden Rohstoffen erzeugten Werkstoffe sowie Halbleitermaterialien ab.

Der Verbund setzt sein Know-how vor allem in den Geschäftsfeldern Energie & Umwelt, Mobilität, Gesundheit, Maschinen- und Anlagenbau, Bauen & Wohnen, Mikrosystemtechnik und Sicherheit ein. Über maßgeschneiderte Werkstoff- und Bauteilentwicklungen sowie die Bewertung des kundenspezifischen Einsatzverhaltens werden Systeminnovationen realisiert. Mit strategischen Vorschauen unterstützt der Verbund die Entwicklung von Materialien und Technologien für die Zukunft.

Ziele des Verbunds sind:

- Erhöhung von Sicherheit und Komfort sowie Reduzierung des Ressourcenverbrauchs in den Bereichen Verkehrstechnik, Maschinen- und Anlagenbau, Bauen & Wohnen.
- Steigerung der Effizienz von Systemen der Energieerzeugung, Energiewandlung, Energiespeicherung und -verteilung.
- Verbesserung der Biokompatibilität und der Funktion von medizin- oder biotechnisch eingesetzten Materialien.
- Erhöhung der Integrationsdichte und Verbesserung der Gebrauchseigenschaften von Bauteilen der Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik.

- Verbesserung der Nutzung von Rohstoffen und Qualitätsverbesserung der daraus hergestellten Produkte, Recyclingkonzepte

Beteiligt sind die Fraunhofer-Institute für

- Angewandte Polymerforschung IAP
- Bauphysik IBP
- Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF
- Chemische Technologie ICT
- Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM
- Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut, WKI
- Keramische Technologien und Systeme IKTS
- Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI
- Silicatiforschung ISC
- Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS
- Solare Energiesysteme ISE
- System- und Innovationsforschung ISI
- Werkstoffmechanik IWM
- Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP
- Windenergie und Energiesystemtechnik IWES

sowie als ständige Gäste die Institute für:

- Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM
- Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB
- Integrierte Schaltungen IIS.

Verbundvorsitzender:

Prof. Dr.-Ing. Peter Elsner
 Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT
 Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7 · 76327 Pfinztal

Stellv. Verbundvorsitzender:

Prof. Dr.-Ing. Peter Gumbsch, Fraunhofer IWM

Geschäftsführung:

Dr. phil. nat. Ursula Eul
 Phone: +49 6151 705-262 · ursula.eul@lbf.fraunhofer.de
 Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF · Bartningstraße 47 · 64289 Darmstadt

www.materials.fraunhofer.de



Ausgründungen und Beteiligungen des Fraunhofer LBF.

Fraunhofer LBF spin-offs.

ISYS Adaptive Solutions GmbH – Reliable tests for reliable products



Die ISYS Adaptive Solutions GmbH ist ein Spin-Off des Fraunhofer LBF aus dem Bereich Adaptronik. Kerngeschäft ist die Entwicklung und der Vertrieb von sonderprüftechnischen Anlagen und Komponenten. Im Fokus stehen prüftechnische Lösungen einerseits zur höherfrequenten und andererseits hochpräzisen mechanischen Charakterisierung und Prüfung von Klein- und Kleinstbauteilen. Dabei werden die besonderen Vorteile der Piezotechnologie für die Umsetzung von Haupt- und Nebenaktoren gezielt ausgenutzt. Es werden Standardprüfstände und prüftechnische Komponenten angeboten, kundenspezifische Anforderungen erfüllt und entsprechende mechatronische Systemlösungen realisiert sowie beim Kunden vorhandene Anlagentechnik bzgl. ihrer dynamischen Eigenschaften und ihrer Präzision verbessert. Zusammen mit dem Fraunhofer LBF wird zudem an der Entwicklung effizienter prüftechnischer Lösungen für den VHCF- (Very High Cycle Fatigue) Bereich gearbeitet. Außerdem bietet die ISYS den Vertrieb von Dehnungsmessstreifen an, die in ihren Eigenschaften individuell an die Bedürfnisse des Kunden angepasst werden können. Bei Bedarf können auch das Aufbringen der Dehnungsmessstreifen sowie deren Auswertung als Dienstleistung angefragt werden.

Ansprechpartner: Dipl.-Kfm. André Neu · Phone: +49 6151 66920-0 · info@isys-as.de · www.isys-as.de

Stress & Strength GmbH – Software zur Struktur- und Systemanalyse



Die Stress & Strength GmbH (S&S) wurde im Mai 2000 vom Fraunhofer LBF als Spin-Off gegründet. Kerngeschäft ist die Entwicklung und Vermarktung der Spezialsoftware LBF®.WheelStrength für die numerische Betriebsfestigkeitsanalyse rotierender Fahrwerkskomponenten. Die Stress & Strength GmbH befasst sich in enger Kooperation mit dem Fraunhofer LBF mit der Umsetzung der im Institut entwickelten numerischen Methoden in anwendungs- und vermarktungsfähige Software und vertreibt diese selbstständig. Als Partner mit breitgefächelter Kompetenz betreuen wir Geschäftspartner aus verschiedenen Bereichen rund um die Themen Forschung und Entwicklung. Mit langjähriger Erfahrung werden die Kunden in den verschiedensten Gebieten der Numerik im Rahmen von CAE-Dienstleistungen und kundenspezifischer Softwareentwicklung unterstützt. Zusätzlich bietet die S&S Schulungen, Workshops und Seminare für die entwickelten Softwareprodukte an. Auch in Förder- und Forschungsprojekten rund um die Themen Betriebsfestigkeit und Numerik steht die Stress & Strength GmbH als Projektpartner zur Verfügung. Zu unseren Kunden gehören unter anderem: Alcoa Wheel Products (USA) | Audi AG | Borbet Leichtmetallräder | BBS GmbH | Georg Fischer Automotive AG (Schweiz) | Lioho Precision Tooling Co. Ltd. (China) | MAN Nutzfahrzeuge AG | Otto Fuchs Metallwerke | Dr. Ing. h. c. F. Porsche Aktiengesellschaft | UNIWHEELS Automotive (Germany) GmbH | SAF Holland GmbH | Wheels India (Indien) | Steel Strips Wheels Limited (Indien).

Ansprechpartner: Dipl.-Kfm. André Neu · Dipl.-Ing. Rüdiger Heim · Phone: +49 6151 96731-0 · info@s-and-s.de · www.s-and-s.de

Fluid Digital Control



Die Fludicon GmbH ist Technologieführer im Bereich der Elektrorheologie. Elektrorheologische Fluide (ERF) lassen sich in ihrer Viskosität durch Anlegen eines elektrischen Steuerfelds verändern. Darüber können adaptive Komponenten wie z. B. verstellbare Dämpfer, Kupplungen, nicht-mechanische Ventile und Aktoren realisiert werden. Fludicon wurde 2001 als Spin-Off der Schenck AG in Darmstadt gegründet. Heute sind das Fraunhofer LBF und sein Würzburger Schwesterinstitut, das Fraunhofer ISC, an der Fludicon GmbH beteiligt. Durch die Beteiligung der Forschungsinstitute am Unternehmen können Forschungsergebnisse und Markterfordernisse besser abgeglichen und Innovationen schneller realisiert werden. Fraunhofer ISC und LBF bringen dabei ihre Expertise in den Bereichen der Materialtechnologie (ISC) und aktiven, elektromechanischen Struktursystemen sowie der Strukturoptimierung (LBF) ein.

Ansprechpartner: Dipl.-Ing. Heinz Ulrich Hensgen · Phone: +49 6151 2798-6 · kontakt@fludicon.de · www.fludicon.de

Kompetenznetz Adaptronik e. V.: Eine Partnerschaft, viele Vorteile.

One partnership – many advantages.

Das Technolozienetzwerk wurde 2007 auf Initiative des Fraunhofer LBF als Rhein-Main Adaptronik e. V. in Darmstadt gegründet. Hier ist auch die Geschäftsstelle angesiedelt. Im Zuge der bundesweiten Ausweitung der Vereinsaktivitäten hat sich der Verein 2014 in Kompetenznetz Adaptronik e. V. umbenannt.

Zu den Mitgliedern gehören kleine und mittlere Betriebe sowie große Industrieunternehmen, hinzu kommen Universitäten, Fachhochschulen und Forschungseinrichtungen. Der Verein bietet damit ein breites Kompetenzspektrum rund um die Adaptronik, von Materialien und Werkstofftechnik über Sensorik und Aktorik bis hin zu Prototyping und Prüftechnik, von der Grundlagenuntersuchung bis zur Anwendung.

Ziel des Kompetenznetz Adaptronik e. V. ist es, Akteure aus Wirtschaft und Wissenschaft, die an unterschiedlichen Stellen der Wertschöpfungskette forschen, entwickeln oder anwenden, zu vernetzen und weitere Potenziale der Technologie zu erarbeiten und auszuschöpfen.

Der Verein bietet seinen Mitgliedern eine Plattform zum offenen Dialog, zum vertrauensvollen Erfahrungsaustausch und zur Initiierung und Umsetzung gemeinsamer Projekte. Darüber hinaus zählen u. a. Informationen zu Förderoptionen und Fachveranstaltungen, gemeinsame Marketingaktivitäten sowie Vermittlung von Kooperationspartnern. Das Kompetenznetz Adaptronik e. V. richtet sich vor allem an die Zielmärkte Automotive, Maschinen- und Anlagenbau, Luft- und Raumfahrt sowie Automation und Sondermaschinenbau.

Vorstand:

Prof. Dr.-Ing. Tobias Melz (Vorsitzender), Fraunhofer LBF

Dipl.-Ing. Klaus Osterhage, Adam Opel AG

Prof. Dr.-Ing. Hans Peter Monner, DLR

Dr. phil. nat. Ursula Eul (Geschäftsführung), Fraunhofer LBF

Phone: +49 6151 705-262

eul@kompetenznetz-adaptronik.de

www.kompetenznetz-adaptronik.de

Mitglieder im Netzwerk sind (Stand Januar 2016):

- Adam Opel AG
- ContiTech Vibration Control GmbH
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)
- FLUDICON GmbH
- Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF
- Freudenberg New Technologies SE & Co. KG
- Hochschule Darmstadt
- KSB Aktiengesellschaft
- Linz Center of Mechatronics GmbH
- LORD Germany GmbH
- Mecatronix AG
- Sparkasse Darmstadt (Fördermitglied)
- Technische Universität Darmstadt
- ts3 – the smart system solution gmbh



Mitgliederversammlung 2015.
General meeting 2015.

Allianzen und Netzwerke.

Alliances and networks.

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

Fraunhofer-Verbund
Werkstoffe, Bauteile

www.materials.fraunhofer.de

Geschäftsführung: Dr. phil. nat. Ursula Eul

ursula.eul@lbf.fraunhofer.de

Verbandsprecher: Prof. Dr.-Ing. Peter Elsner (Fraunhofer ICT)



Fraunhofer-Allianz
Numerische Simulation
von Produkten und Prozessen

www.simulation.fraunhofer.de

Ansprechpartner im Fraunhofer LBF:

Dipl.-Ing. Björn Haffke · bjoern.haffke@lbf.fraunhofer.de



Fraunhofer-Allianz Leichtbau

www.leichtbau.fraunhofer.de

Sprecher: Prof. Dr.-Ing. Andreas Büter

andreas.bueter@lbf.fraunhofer.de



Fraunhofer Academy

www.academy.fraunhofer.de

Ansprechpartner im Fraunhofer LBF:

Prof. Dr.-Ing. Andreas Büter

andreas.bueter@lbf.fraunhofer.de



Fraunhofer-Allianz
Adaptronik

www.adaptronik.fraunhofer.de

Geschäftsführung: Dipl.-Ing. Heiko Atzrodt

Sprecher: Prof. Dr.-Ing. Tobias Melz

tobias.melz@lbf.fraunhofer.de



Fraunhofer-Allianz Batterien

www.batterien.fraunhofer.de

Ansprechpartner im Fraunhofer LBF:

Dr.-Ing. Chalid elDsoki

chalid.el.dsoki@lbf.fraunhofer.de



Dipl.-Ing. Christian Debes

christian.debes@lbf.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz Verkehr

www.verkehr.fraunhofer.de

Ansprechpartner im Fraunhofer LBF:

Prof. Dr.-Ing. Tobias Melz

tobias.melz@lbf.fraunhofer.de



Fraunhofer-Innovationscluster
Technologien für den hybriden
Leichtbau »KITE hyLITE«, Karlsruhe

www.fahrzeugleichtbau.de

Ansprechpartner im Fraunhofer LBF:

Prof. Dr.-Ing. Andreas Büter · andreas.bueter@lbf.fraunhofer.de



Fraunhofer-Allianz
autoMOBILproduktion

www.automobil.fraunhofer.de

Ansprechpartner im Fraunhofer LBF:

Dipl.-Ing. Ivo Krause

ivo.krause@lbf.fraunhofer.de



www.kompetenznetz-adaptronik.de

Vorstandsvorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Tobias Melz

Geschäftsführung: Dr. phil. nat. Ursula Eul

eul@kompetenznetz-adaptronik.de





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.

materials valley

www.materials-valley-rheinmain.de

Ansprechpartner im Fraunhofer LBF:
Prof. Dr.-Ing. Tobias Melz
tobias.melz@lbf.fraunhofer.de



www.dvm-berlin.de

Mitglied im Vorstand:
Dipl.-Ing. Rüdiger Heim
ruediger.heim@lbf.fraunhofer.de



www.forum-elektromobilitaet.de

Ansprechpartner im Fraunhofer LBF:
Dipl.-Ing. Rüdiger Heim
ruediger.heim@lbf.fraunhofer.de



www.earpa.org

Ansprechpartner im Fraunhofer LBF:
Prof. Dr.-Ing. Thilo Bein
thilo.bein@lbf.fraunhofer.de



www.euceman.com

Ansprechpartner im Fraunhofer LBF:
Prof. Dr.-Ing. Tobias Melz
tobias.melz@lbf.fraunhofer.de



Fraunhofer Innovations- **FutureCar**
netzwerk FutureCar

Ansprechpartner im Fraunhofer LBF:
Dipl.-Ing. Christian Debes
christian.debes@lbf.fraunhofer.de



Impressum.

Editorial notes.



Herausgeber | Publisher

Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit
und Systemzuverlässigkeit LBF
Bartningstraße 47
64289 Darmstadt

Phone: +49 6151 705-0

Fax: +49 6151 705-214

info@lbf.fraunhofer.de

www.lbf.fraunhofer.de

Institutsleitung | Director of Institute

Prof. Dr.-Ing. Tobias Melz

Redaktion | Editor

Dr. phil. nat. Ursula Eul,
Abteilungsleiterin Strategisches Management

Koordination | Coordination

Anke Zeidler-Finsel,
Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Die Anfahrtsbeschreibung finden

Sie im Internet unter:

www.lbf.fraunhofer.de/kontakt

Konzeption | Conception

Dr. phil. nat. Ursula Eul, Fraunhofer LBF
[innos – Sperlich GmbH, Göttingen, www.innos-sperlich.de](http://www.innos-sperlich.de)

Design/Layout/PrePress

Gute Botschafter GmbH
Spezialisten für Positionierungsdesign
Haltern am See, Köln am Rhein, Wien an der Donau
www.gute-botschafter.de

Fotografie | Photography

Katrin Binner, fotolia (Gunnar Assmy, Clarini, PictureArt),
istockphoto (koi88), Felix Krumbholz, Hessen schafft Wissen,
LBF-Archiv, Jürgen Mai, MEV Verlag GmbH, Ursula Raapke,
shutterstock (Adam Radosavljevic, iunewind),

Druck | Printing

gutenberg beuys gesellschaft für digital-
und printmedien mbh, feindruckerei, Hannover
www.feindruckerei.de

ISSN

1864-0958

© Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und
Systemzuverlässigkeit LBF, Darmstadt, März 2016

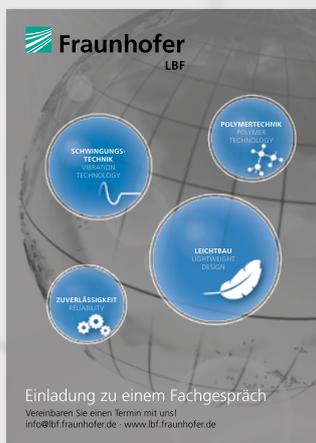
Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung
und Verbreitung sowie der Übersetzung, vorbehalten.

Besuchen Sie uns im Fraunhofer LBF.

Visite us at Fraunhofer LBF.

Keine Postkarte vorhanden?

Postcard missing?



Dann wenden Sie sich an das Fraunhofer LBF

Please contact Fraunhofer LBF

Phone: +49 6151 705-0

info@lbf.fraunhofer.de · www.lbf.fraunhofer.de

