

# ADAPTRONIK

## NEWSLETTER

März | 2014

Menschen | Events | Projekte | Institute

 **Fraunhofer**  
ADAPTRONIK



## Empfindliche Geräte schwingungsfrei lagern.

Mit Hilfe einer entwickelten funktionsintegrierten Multiaxiallagereinheit ist dies möglich.  
Erfahren Sie mehr auf Seite 9.

### VORWORT

2 Prof. Dr.-Ing. Tobias Melz

### MENSCHEN IN DER FAA

2 Prof. Dr.-Ing. Tobias Melz

### INSTITUT

10 Fraunhofer LBF

### EVENTS

2 Hannover Messe Industrie

9 Actuator 2014

### PROJEKTE

3 Aktive Torsionsschwingungsminderung

4 Smarte Hochtemperatur-Messsysteme

5 Aktorik in Produktionssystemen

6 Smart<sup>3</sup> – Intelligenz in drei Potenzen

6 Adaptive Helmholtz-Resonatoren

7 Sensormodule für den  
Kunststoffspritzguss

8 Hardware in the Loop

9 Schwingungsfreie Lagerung

## Vorwort



■ Über mehr als zwölf Jahre war Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka als Sprecher der Fraunhofer-Allianz Adaptronik tätig. Anlässlich seiner Berufung zum Präsidenten der Karlsruher Institute für Technologie KIT, wurde mir die Aufgabe des Allianzspechers anvertraut.

Die Fraunhofer-Allianz Adaptronik wird weiterhin durch die Verschmelzung der Expertise seiner Institute innovative und branchenübergreifende Lösungen auf den Weg bringen. Dabei werden wir an spannenden Projekten mit unseren Partnern aus Wirtschaft und Forschung arbeiten, unsere Kunden unterstützen und gemeinsam erfolgreich Projekte zum Abschluss bringen und neuartige Produktlösungen entwickeln.

Besuchen Sie uns auf der Hannover Messe Industrie, wo wir vom 7.-11. April in Halle 2 adaptronische Neuheiten präsentieren und gerne Fragestellungen aus Ihrem Produktumfeld diskutieren. Unsere vielseitigen Exponate reichen von selbstjustierenden Verbindungsklemmen mit Formgedächtnislegierungen über vielfältige Beschichtungssensoren bis hin zu multiaxialen, aktiven Isolationsplattformen – um nur einige Beispiele zu nennen.

Sprechen Sie uns an – wir freuen uns auf Sie!

Ihr  
Tobias Melz 

Allianzspecher  
Fraunhofer-Allianz Adaptronik

## Events

### Hannover Messe Industrie 2014

Bereits zum siebten Mal hat die Fraunhofer-Allianz Adaptronik 2013 auf der Hannover Messe Industrie gemeinsam mit Partnern aus Forschung und Wirtschaft smarte adaptive bis aktive Strukturlösungen präsentiert und konnte sich dem Fachpublikum als zuverlässiger und innovativer Partner im Bereich Adaptronik empfehlen. Dabei kamen die Exponate nicht nur beim breiten Publikum gut an, sondern lockten auch Prominenz wie Frau Prof. Wanka, Bundesministerin für Bildung und Forschung, sowie Herrn Prof. Neugebauer, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, auf den Stand.

Die FAA will an diesen Erfolg anknüpfen und wird vom 7. bis 11. April 2014 erneut auf der HMI in Halle 2, im Rahmen der „Research & Technology“ mit einer Gemeinschaft Adaptronik vertreten sein und neue FuE-Ergebnisse der Adaptronik präsentieren. Wir freuen uns schon jetzt auf einen spannenden Messeauftritt mit vielen guten Fachdiskussionen.

Mehr Informationen finden Sie unter:  
[www.adaptronik.fraunhofer.de](http://www.adaptronik.fraunhofer.de)



## Menschen

### Prof. Dr.-Ing. Tobias Melz



■ Tobias Melz studierte in den USA und anschließend an der TU Braunschweig Maschinenbau und schloss sein Studium als Diplom-Ingenieur mit dem Schwerpunkt auf Leichtbau und Luft- und Raumfahrttechnik ab. Im Anschluss an sein Studium arbeitete er als wissenschaftlicher Mitarbeiter beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Seit 2001 ist Tobias Melz am Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF (siehe Seite 10/11) tätig. Dort hat er die Strukturtechnologie Adaptronik mit seiner Abteilung ZaS, sowie anschließend das Kompetenzzentrum Mechatronik / Adaptronik und das LOEWE-Zentrum AdRIA, mit aufgebaut. Im Januar 2002 promovierte Herr Melz an der TU Darmstadt zur aktiven Schwingungskontrolle an Satellitensystemen.

Von 2004 bis 2013 war Tobias Melz Geschäftsführer der Fraunhofer-Allianz Adaptronik, die mit ihren neun Instituten adaptronische Lösungen besonders im Bereich der Funktionsintegration, der Schwingungs- und Formkontrolle und der Strukturüberwachung anbietet. Am 26. September 2013 wurde er zum Allianzspecher gewählt. Im April 2011 trat er die Professur für Adaptronische Systeme an der TU Darmstadt, Fachgebiet Systemzuverlässigkeit und Maschinenakustik (SzM), an. Ein Jahr später, im April 2012 übernahm er die Aufgabe des Bereichsleiters Adaptronik und Systemzuverlässigkeit am Fraunhofer LBF. Im Oktober 2013 wurde ihm die kommissarische Leitung des Fraunhofer LBF übertragen.

Herr Melz ist überzeugt, dass partnerschaftliche Kooperationen wesentlicher Schlüssel für neuartige, wettbewerbsfähige und nachhaltige Produktlösungen sind. Nach diesem Motto arbeitet die FAA mit seinen Partnern zusammen.

#### Kontakt:

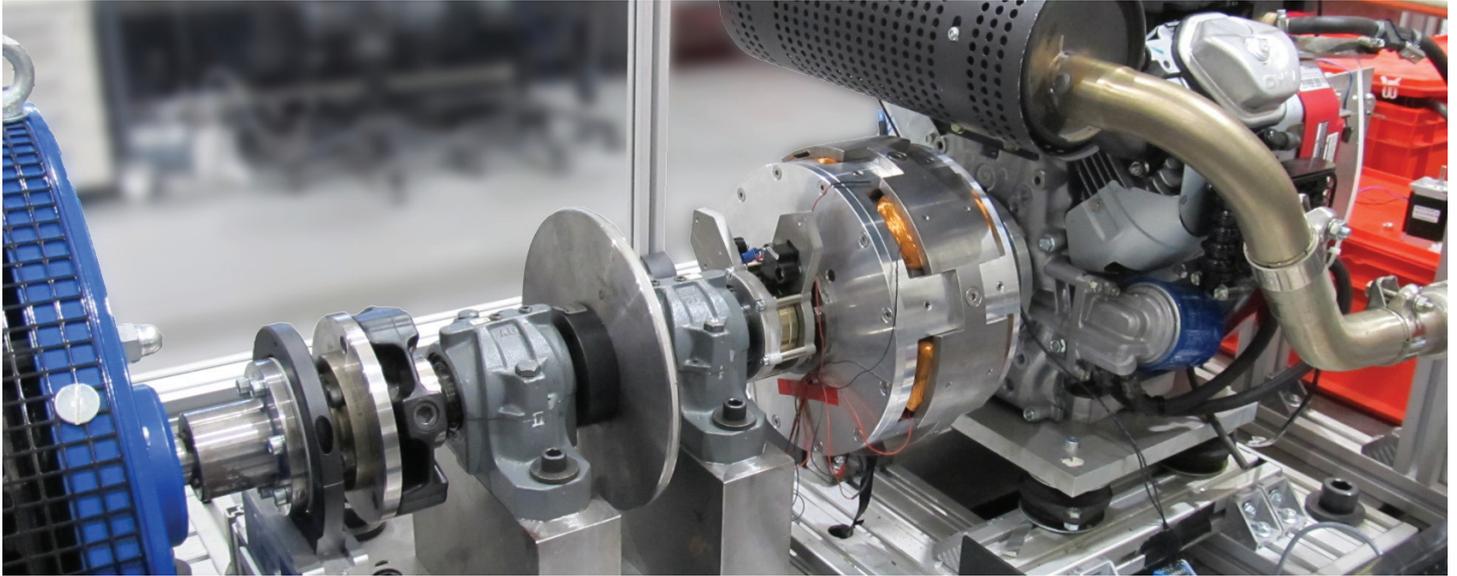
Prof. Dr.-Ing. Tobias Melz  
Fraunhofer LBF

☎ +49 6151 705-236

✉ [info@adaptronik.fraunhofer.de](mailto:info@adaptronik.fraunhofer.de)

[www.adaptronik.fraunhofer.de](http://www.adaptronik.fraunhofer.de)

# Aktive Torsionsschwingungsminderung



■ Im Verbrennungsmotorenbau werden immer häufiger Konzepte wie Downsizing, Downsizing oder Zylinderabschaltung eingesetzt. Diese Maßnahmen senken den Kraftstoffverbrauch und den CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Sie haben allerdings eine erhöhte bzw. veränderte Torsionsschwingungsanregung der Antriebsstränge zur Folge. Die Auslegung der Antriebsstränge hinsichtlich ihres dynamischen Torsionsverhaltens wird daher stetig komplexer und die Grenzen klassischer Lösungen werden zunehmend erreicht.

Konventionell werden verschiedene Ausführungen von Schwungrädern, Dämpfungselementen und verschiedenen Ausführungen von Tilgern zur Beeinflussung des dynamischen Verhaltens von Antriebssträngen eingesetzt. Diese Maßnahmen sind fest auf einen Betriebsbereich abgestimmt, können also nicht auf eine veränderte Anregung wie zum Beispiel bei Zylinderabschaltung reagieren.

Aus diesem Grund beschäftigen wir uns mit innovativen Konzepten zur Reduktion von Torsionsschwingungen im Antriebsstrang.

In verschiedenen Projekten wurden passive, adaptive bzw. aktive Systeme zur Schwingungsreduktion untersucht. Zunächst wurden die Systeme am abgeglichenen numerischen Modell eines Referenz-Antriebsstrangs simulativ untersucht. Dieser Referenz-Antriebsstrang besteht aus einem 2-Zylinder 4-Takt Ver-

brennungsmotor, der über eine elastische Kupplung eine Welle antreibt. Der Abtrieb besteht aus einer Wirbelstrombremse.

Die vielversprechendsten Lösungen wurden im Rahmen verschiedener Projekte realisiert und mit der Simulation abgeglichen.

Als besonders vielversprechende Lösungen haben sich dabei bereits die aktiven Systeme zur Torsionsschwingungsminderung herauskristallisiert. Sie bestehen dadurch, dass die Schwingungsreduktion auf keine einzelne Ordnung oder Eigenfrequenz festgelegt ist, sondern breitbandig wirken kann. Es können mehrere Ordnungen gleichzeitig reduziert und flexibel auf Änderungen in der Anregung reagiert werden. Besonders effektiv können solche Systeme in Kombination mit passiven Systemen eingesetzt werden.

Ein System, das aktuell untersucht wird, ist eine aktive Kupplung, bei der einem passiven Kupplungselement eine elektromagnetische Aktoreinheit parallel geschaltet ist. Als Basis für die prototypische Umsetzung dient die passive elastische Kupplung, welche die Übertragung des Antriebsmoments sicherstellt. Die elastische Kupplung wird von den aktiven Komponenten in Form zweier Trommeln umschlossen. Der parallel angeordnete Aktor ist somit nicht lasttragend. Das aktive System besteht aus Aktoreinheiten, welche rotationssymmetrisch über den Umfang verteilt angebracht sind. Die Generierung des aktiven

Moments erfolgt elektromagnetisch. Damit ist es möglich, die Kupplungseinheit drehzahl- und anregungsabhängig aktiv zu beeinflussen. Es kann sowohl auf die Struktur als auch auf die Anregung eingewirkt werden, um so im gesamten Arbeitsbereich bestmögliche Torsionsschwingungsreduktion zu erreichen. Zur Regelung hat sich eine schmalbandige adaptive Regelung, die auf die entsprechend in der Regelgröße dominierenden Ordnungen abgestimmt wird, bewährt. Erste Messungen zeigen vielversprechende Ergebnisse. Weitere Systeme wurden bereits erfolgreich getestet. Aktive Systeme zur Reduktion von Torsionsschwingungen eignen sich hervorragend zur Reduktion der Anregung durch Verbrennungskraftmaschinen, können aber auch in anderen Bereichen, wie z.B. der Prüfstandtechnik angewendet werden.



## Kontakt:

Daniel Schlote  
Fraunhofer LBF

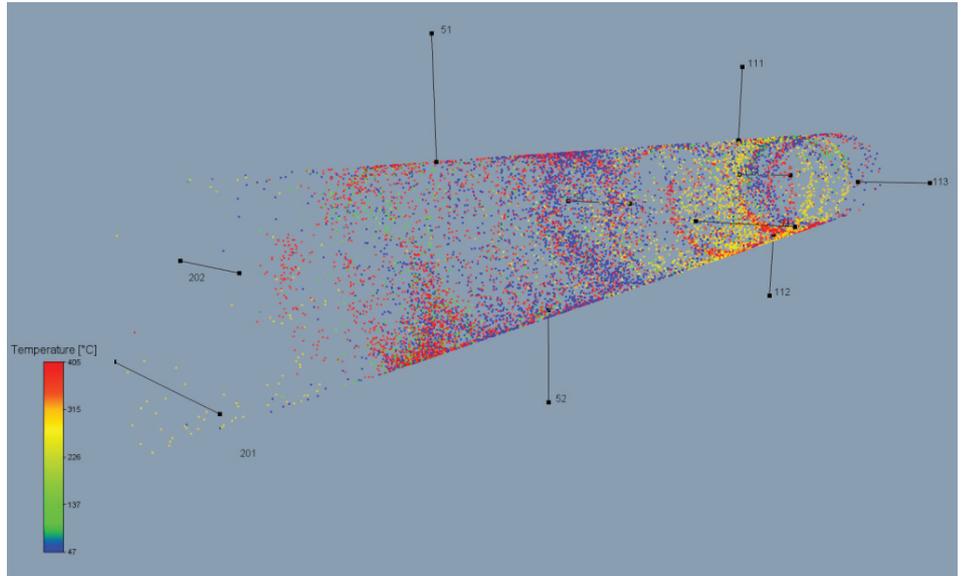
☎ +49 6151 705-405

✉ [daniel.schlote@lbf.fraunhofer.de](mailto:daniel.schlote@lbf.fraunhofer.de)

# Hotpipes – Entwicklung von smarten Hochtemperatur-Messsystemen zur Risikoabschätzung



■ Das Hauptziel für eine nachhaltige Gestaltung der globalen Klimapolitik ist die Verringerung des Schadstoffausstoßes bei der Elektroenergieerzeugung. Eine zuverlässige Energieversorgung kann jedoch nicht ausschließlich durch Nutzung regenerativer Energiequellen, wie Wind- und Solarenergie garantiert werden, da diese nicht kontinuierlich zur Verfügung stehen. Besonders zur Erzeugung der Grundlast sind Gas- oder Kohlekraftwerke noch für eine längere Zeit unentbehrlich. Bei herkömmlichen, mit fossilen Brennstoffen betriebenen Kraftwerken steht dabei die Steigerung des Wirkungsgrades im Mittelpunkt der Technologieentwicklung. Dieses kann vor allem durch die Anhebung der Dampfparameter (Druck und Temperatur) des Frischdampfes sowie im Zwischenüberhitzer erreicht werden. Die typische Frischdampf-temperatur lag in den 1980-er Jahren bei 540°C. In modernen Kraftwerken werden Temperaturen bei ca. 600°C genutzt, womit ein Wirkungsgrad von etwa 43-45% erzielt wird. In Zukunft werden Temperatu-



ren von mehr als 700°C angestrebt, wodurch eine Verbesserung des Wirkungsgrades auf bis zu 55% erwartet wird. In fossil befeuerten Kraftwerken wird die Integrität druck- und zeitstandsbelasteter Komponenten durch zyklische Prüfung gewährleistet. Dabei spielt die frühzeitige Erkennung beginnender Kriechschädigung eine wesentliche Rolle.

Heiße Rohrleitungen können mittels Schallemissionsanalyse (AE) und permanent installierter Ultraschallwandler überwacht werden. Im Schadensfall führen Versetzungen innerhalb der Rohrwandung zum Auftreten akustischer Emissionen, die mit den angeschlossenen Wandlern lokalisiert werden können. Für die Anwendung der AE-technik im Kraftwerk mussten Lösungen für heiße Rohrleitungen erarbeitet und an die Messtechnik angepasst werden. Es handelt sich dabei um Wellenleiterlösungen. Um die hitzeempfindliche Elektronik zu schützen, wird der Sensor an einem Wellenleiter befestigt, der am Rohr angeschweißt wird. Die akustische Welle koppelt am Rohr in den Wellenleiter ein und am Sensor wieder aus. Dazwischen können 1-2m Wellenleiter liegen.

Als Ergebnis erhält man lokalisierte Schallemissionsereignisse, wobei farbcodiert die Temperatur beim Auftreten der Emissionen zugeordnet werden kann (Titelbild).

Es ist gut erkennbar, dass spezifische Bereiche des Rohres bei Temperaturwechseln eine höhere Schallemissionsrate aufweisen.

Neben den temperaturinduzierten Schallemissionen sind bei Betriebstemperaturen von 400°C (rote Punkte) strömungsinduzierte Emissionen zu erkennen.

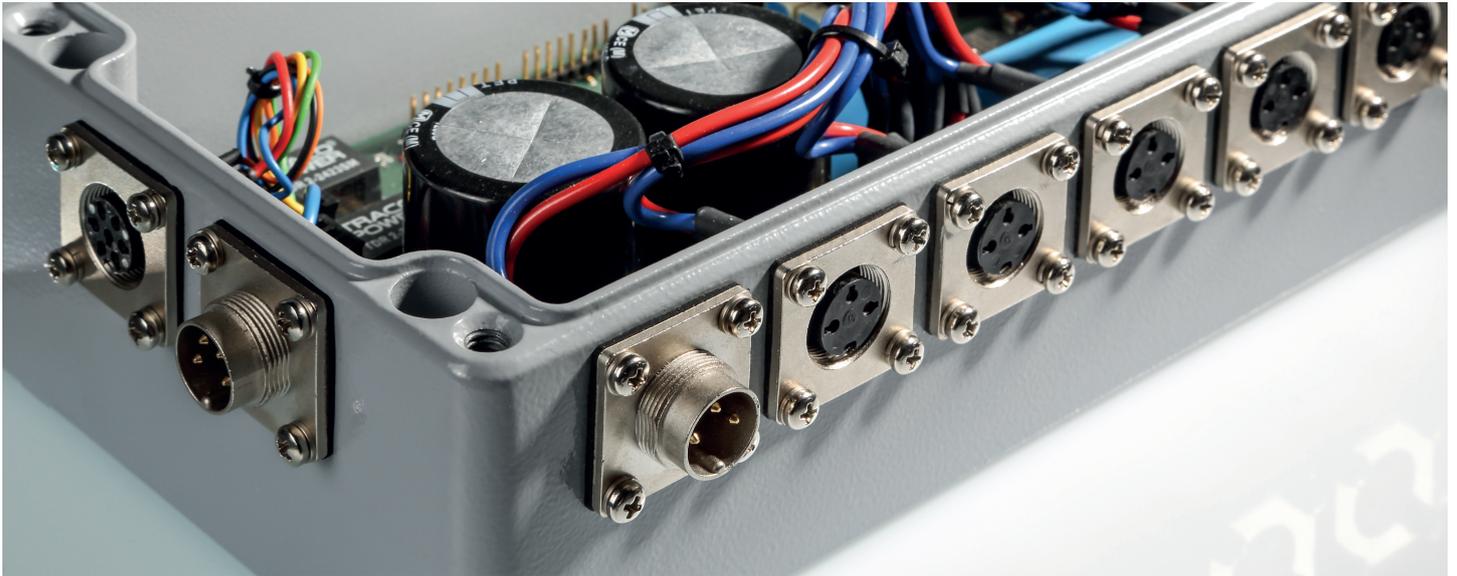
Der Einsatz dieses Systems ermöglicht eine zustandsbasierte Wartung ohne Erhöhung des Gefahrenpotentials und befindet sich derzeit im Zertifizierungsprozess. Das Verfahren eignet sich für alle heißen Komponenten wie Turbinen, Öfen und Rohrleitungen bis ca. 600°C.

Fraunhofer kann eine problemangepasste Auslegung, den Entwurf und die Fertigung von SHM-Systemen zur Strukturüberwachung realisieren. In vorangegangenen Projekten wurden beispielsweise galvanisch entkoppelte Systeme, basierend auf optischer Energieversorgung und Kommunikation, entwickelt. Die vorhandenen Kompetenzen reichen von der Simulation von Wellenausbreitungsvorgängen und Fehlerindikationen mit Ansys, EFIT oder Wave 3000 bis zur messtechnischen Begleitung von Fatigue-Tests an industriellen Großstrukturen. Neben der Instrumentierung von Kraftwerkskomponenten werden auch On- und Offshore- Windenergieanlagen überwacht, die notwendigen Zertifizierungen sind vorhanden.

**Kontakt:**

Dr. Bianca Weinhacht  
 Fraunhofer IKTS-MD  
 ☎ +49 351 88815-536  
 ✉ bianca.weinhacht@ikts-md.fraunhofer.de

# Aktorik in Produktionssystemen – Elektrische Ansteuerung von Piezoaktoren mit Energierückgewinnung



Prototyp des Kompaktmoduls; Piezo-Ansteuer-Einheit.

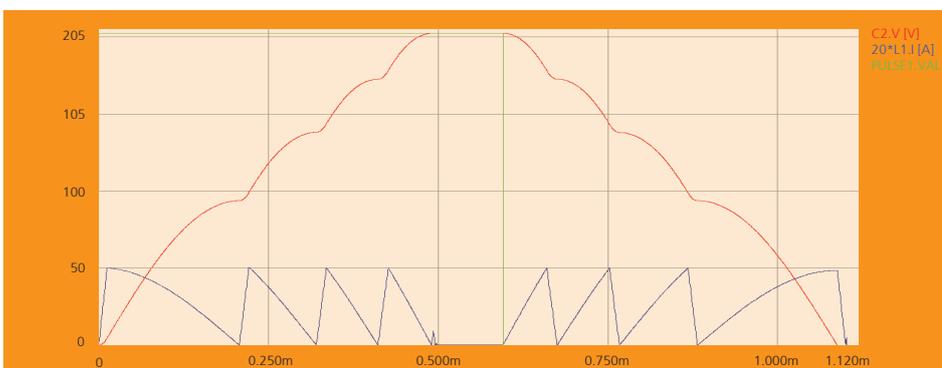
■ Stalleinrichtungen mit piezokeramischen Aktoren haben für Feinpositionierung, Schwingungserzeugung, Verformungskompensation und die Schwingungskompensation heute einen festen Platz eingenommen. Der Arbeitsbereich umfasst Stellwege bis 200  $\mu\text{m}$  und Stellkräfte bis zu 100 kN bei Hochlastausführungen. Durch zusätzliche Wegübersetzer kann Stellkraft in Stellweg „getauscht“ werden. Die spezifischen Einsatzbedingungen erfordern eine angepasste Ansteuerung.

Im Schaltbetrieb arbeitende handelsübliche Ansteuergeräte ermöglichen beim Entladevorgang die teilweise Rückgewinnung

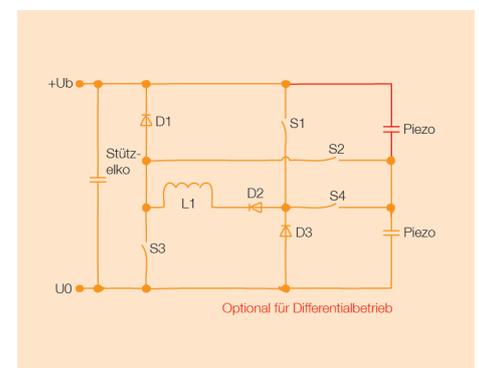
der dem Aktor vorher zugeführten Energie. Diese Ansteuergeräte sind aber meist universell ausgelegt, benötigen im Vergleich zum eigentlichen Aktor relativ viel Platz und stellen dabei auch einen erheblichen Kostenfaktor dar. Daraus resultiert der Bedarf an preisgünstigen vor Ort integrierbaren Ansteuermodulen mit möglichst geringem Bauraum.

Ein wesentlicher Kostenbestandteil der Ansteuertechnik ist die Leistungsstufe zum kontinuierlichen oder geschalteten Laden beziehungsweise Entladen des Piezoaktors, der in grober Näherung eine elektrische Kapazität darstellt. Die Stellweg- oder Stell-

kraftauflösung ist direkt von der Auflösbarkeit der elektrischen Ansteuerspannung abhängig. Eine hohe Stelldynamik kann nur durch stromintensives Laden und Entladen erreicht werden. Die von Fraunhofer entwickelte Lösung für eine im Schaltbetrieb arbeitende Leistungsstufe und deren Ansteuerlogik ist durch die softwareunterstützte Optimierung wesentlicher elektrischer Schaltungsparameter so auf den verwendeten Piezoaktor abstimmbare, dass mit vertretbarem elektronischen Aufwand bei Erfordernis eine sehr hohe Stelldynamik bei hohem Wirkungsgrad erzielt wird.



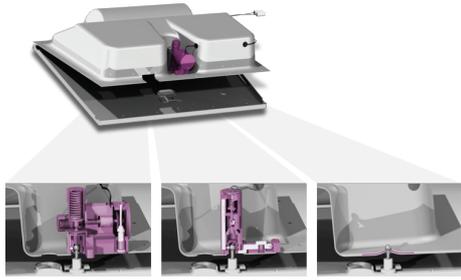
oben: Beispielhaft erreichbare Stelldynamik. Die durch das Arbeitsprinzip bedingte Welligkeit der Stellspannung ist voreinstellbar. Es können Piezoaktoren sowohl in Hochvoltausführung als auch in Niedervoltausführung angesteuert werden. Im Niedervoltbereich sind Aktor-Arrays bis zu 1000  $\mu\text{m}$  Gesamtkapazität betreibbar. Der Endstufenantrieb ist spannungsgeführt. Für den internen Regelkreis wurde als Bindeglied zur Ansteuerlogik der elektronischen Leistungsschalter ein sehr schneller Umsetzer entwickelt. Dadurch kann die elektrische Spannung am Aktor hochauflösend gestellt werden. Ein Prototyp für den Niedervoltbereich wurde in Zusammenarbeit mit der DIGALOG GmbH Berlin realisiert.



Prinzipschaltung der Leistungsstufe dargestellt.

**Kontakt:**  
 Dr. Hans-Jürgen Roscher  
 Fraunhofer IWU  
 ☎ +49 371 5397-1421  
 ✉ hans-juergen.roscher@iwu.fraunhofer.de

## Smart<sup>3</sup> – Intelligenz in drei Potenzen



■ Bereits Ende der 1980er Jahre begannen Vordenker aktive Funktionen verschiedener Werkstoffe als technisches Abbild intelligenten Handelns biologischer Organismen zu verstehen. Das Thema der „smart materials and structures“ war geboren. Das smart<sup>3</sup>-Konsortium sucht nach intelligenten Lösungen auf Basis von smart materials. Die faszinierenden Fähigkeiten von smart materials stehen für intelligente Lösungen künftiger gesellschaftlicher Probleme. smart<sup>3</sup> setzt

sich zum Ziel, die Entwicklung neuer, innovativer Produkte auf Basis von smart materials zu forcieren.

Unter smart materials wird eine Gruppe von Werkstoffen verstanden, welche die herausragenden Fähigkeiten besitzen, sich selbständig veränderten Umweltbedingungen anzupassen bzw. ihre Eigenschaften durch äußere Einflüsse gezielt so zu verändern, dass sie optimal angepasst sind. Sie ermöglichen eine hohe Funktionalität in vereinfachten Strukturen und eröffnen gleichzeitig völlig neue Perspektiven im Produktdesign.

Der Mensch misst den Nutzen von Produkten an den Kriterien Funktionalität, Bezahlbarkeit, Zuverlässigkeit und Nachhaltigkeit. In diesem Bestreben werden Produkte wie Prozesse stets komplexer. Der Aufwand zum Lösen von Problemen steigt

überproportional an - zulasten der Entwicklungsdynamik, die steil abfällt. smart<sup>3</sup> setzen daher auf einen Paradigmenwechsel, der die Potentiale von smart materials strategisch aufgreift und in schöpferischen Prozessen Innovationen generiert! Um diese Ziele zu erreichen, wird auf vier intelligente Materialklassen gesetzt: Thermische Formgedächtnislegierungen (FGL), Magnetische Formgedächtniswerkstoffe (MSM), Dielektrische Elastomeraktoren (DEA) und Piezokeramiken.

Künftige innovative Produkte werden signifikant leichter, zeichnen sich durch eine äußerst hohe Lebensdauer aus, reduzieren Schadstoffemissionen und bilden durch ihre Funktionsverdichtung die Grundlage des intelligenten Leichtbaus.

<http://www.smarthoch3.de>

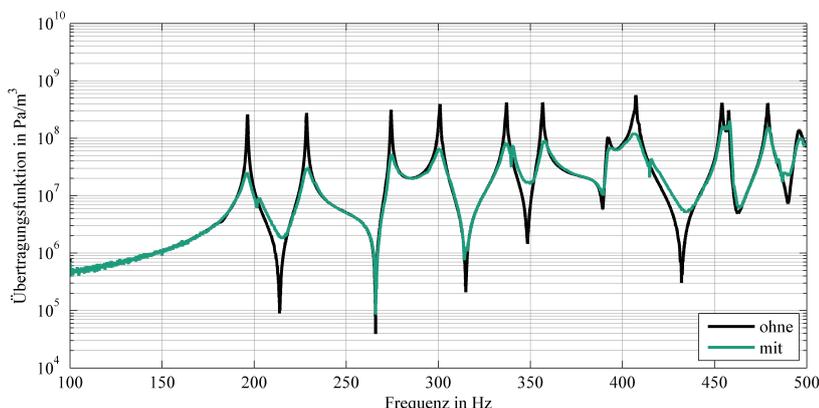
## Adaptive Helmholtz-Resonatoren

■ Helmholtz-Resonatoren sind passive Maßnahmen zur Reduktion von Schallfeldern in Räumen und durch Doppelglasfenster. Ein neuartiges Konzept ermöglicht es, Resonatoren effizient auf herrschende Signale mit einer zeitveränderlichen Frequenzcharakteristik adaptiv zu regeln. Grundsätzlich können Helmholtz-Resonatoren analog zu mechanischen Tilgern betrachtet werden. Ihre Tilgungsfrequenz wird durch die Änderung geometrischer Eigenschaften variiert. Helmholtz-Resonatoren bestehen aus einem Hals und einem Bauch,

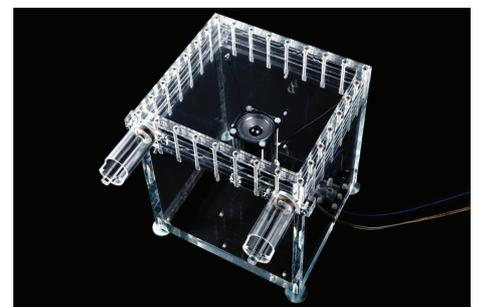
die sich wie die Masse, Steifigkeit und Dämpfung des mechanischen Systems verhalten. Die Anpassung des Resonators auf die gewünschte Tilgungsfrequenz kann sowohl durch eine Variation der Hals- als auch der Körpergeometrie geschehen. Da die Anpassung über die Halsgeometrie negative Nebeneffekte nach sich ziehen kann, wurde die Resonanzfrequenz durch die Variation des Resonatorbauches bzw. der Steifigkeit mittels eines axial wirkenden Kolbens eingestellt.

Zur Untersuchung der Reduktionswirkung

von Raummoden wird z.B. der unten abgebildete Akustikdemonstrator verwendet. Hierbei handelt es sich um einen quaderförmigen Hohlraum mit den Innenabmessungen von 870x620x750 mm<sup>3</sup>. Zur Untersuchung der Wirkung auf die Minderung der Schalltransmission durch ein symmetrisches Doppelglas-Fenster mit den Dimensionen 650x900x16 mm<sup>3</sup> wurde ein Helmholtz-Resonator, wirkend auf den Hohlraum zwischen den Scheiben, angebracht.



Wirkung eines adaptiven Helmholtz-Resonators auf die Hohlraumresonanzen im Akustikdemonstrator.



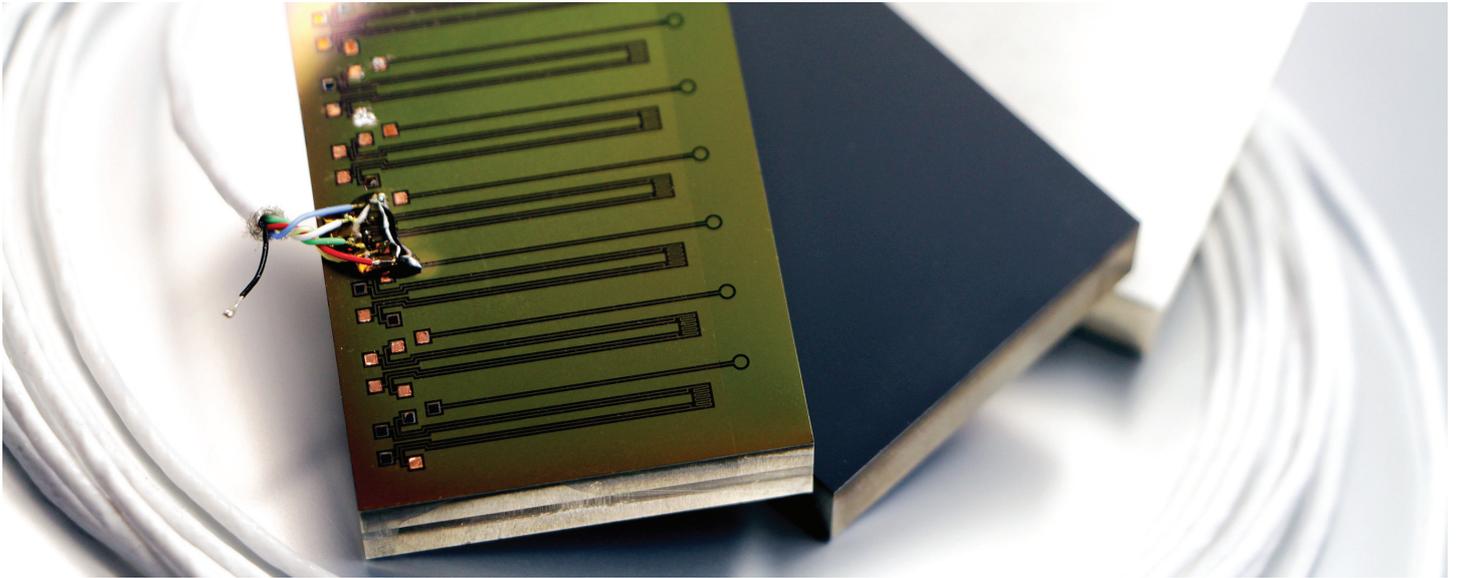
### Kontakt:

Dipl.-Ing. Tim Bastian Klaus  
Fraunhofer LBF

☎ +49 6151 705-8368

✉ [tim.bastian.klaus@lbf.fraunhofer.de](mailto:tim.bastian.klaus@lbf.fraunhofer.de)

# Sensormodule für den Kunststoffspritzguss



Die Entwicklung von Sensormodulen für den Kunststoffspritzguss muss mehrere Anforderungen erfüllen. Zum einen soll das sensorische Dünnschichtsystem die Temperatur- und Kraftverteilung auf der Werkzeugoberfläche messen, zum anderen soll ihre Oberfläche ein Anhaften des Kunststoffes verhindern, damit der Einsatz von Entformungshilfen wie z. B. Trennmitteln entfallen kann. Es wurde ein multifunktionales Dünnschichtsystem für die kunststoffverarbeitende Industrie entwickelt, das außer diesen Eigenschaften eine hohe Verschleißbeständigkeit aufweist und damit für eine langzeitstabile Überwachung der Produktionsprozesse geeignet ist. Das Schichtsystem besteht aus folgenden Funktionsschichten: Die Grundsicht bildet die piezoresistive Sensorschicht (Material: DiaForce®,  $d \sim 6 \mu\text{m}$ ) auf der eine lithographisch strukturierte Metallschicht (Material: Chrom,  $d \sim 250 \text{ nm}$ ) appliziert ist. Diese Strukturen sind zum einen Elektrodenstrukturen, die eine ortsaufgelöste Kraftmessung ermöglichen, zum anderen sind es Temperaturmäanderstrukturen, die zur lokalen Temperaturmessung dienen. Als Zwischen- und Deckschicht wird eine elektrische Isolations- und Verschleißschutzschicht, die gleichzeitig noch sehr gute Entformungseigenschaften gegenüber der Kunststoffschmelze aufweist (Material: SiCON®,  $d \sim 3 \mu\text{m}$ ), abgeschieden. Die Kraftsensorstrukturen haben einen kreisförmigen Messbereich wie in Abbil-

dung 1 zu erkennen ist. Die Temperatursensoren bestehen aus Mäanderstrukturen aus Chrom, die zwischen den Kraftsensorstrukturen angeordnet sind. Die Funktionsschichten DiaForce® und SiCON® (mit Silizium und Sauerstoff modifizierte Kohlenwasserstoffschicht) werden mittels einer plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung (PACVD) erzeugt, während die Chromschicht im Sputterprozess (PVD) abgeschieden wird.

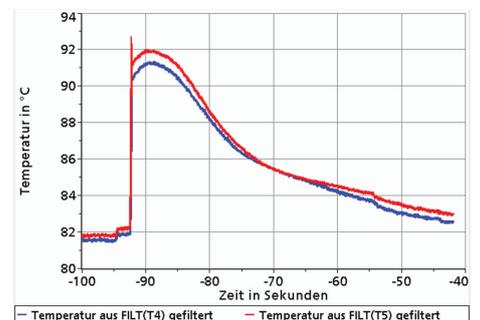
### Integration der Sensormodule in die Kunststoffspritzgussanlage.

Die Funktionstüchtigkeit des multifunktionalen Dünnschichtsystems wurde in einer Spritzgussanlage für Kunststoffe am Kunststoff-Institut in Lüdenscheid (KIMW) beispielhaft an ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol) getestet. Dafür wurde das Sensormodul in das Werkzeug eingebaut und auf  $80^\circ\text{C}$  vorgeheizt. Im Anschluss erfolgten die Spritzgussprozesse bei 450 bar. Das Messergebnis ist im Diagramm dargestellt. Durch den Kontakt der Schmelze mit zwei Temperatursensoren wurde ein schneller Temperaturanstieg verursacht. In der anschließenden Abkühlphase erstarrt der Kunststoff. Es konnte gezeigt werden, dass dank der niedrigen Oberflächenenergie der Deckschicht SiCON® keine Anhaftungen an dem sensorischen Schichtsystem stattfanden.

Das multifunktionale Schichtsystem ermöglicht die ortsaufgelöste Messung von Belastungen und Temperaturen im Kunst-

stoffspritzgussprozess. Durch seine gute Entformungseigenschaft ist es zudem ausgezeichnet für die trennmittelfreie Verarbeitung von Kunststoffschmelzen geeignet.

Diese Ergebnisse wurden innerhalb des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages geförderten Projektes Oberflächenwechselwirkung im Projektkonsortium mit der Firma Mold & Hotrunner Technology AG MHT, dem Kunststoff-Institut für die mittelständische Wirtschaft NRW GmbH KiMW, der Uddeholm AB, dem Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik IKFF und dem Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST erzielt.

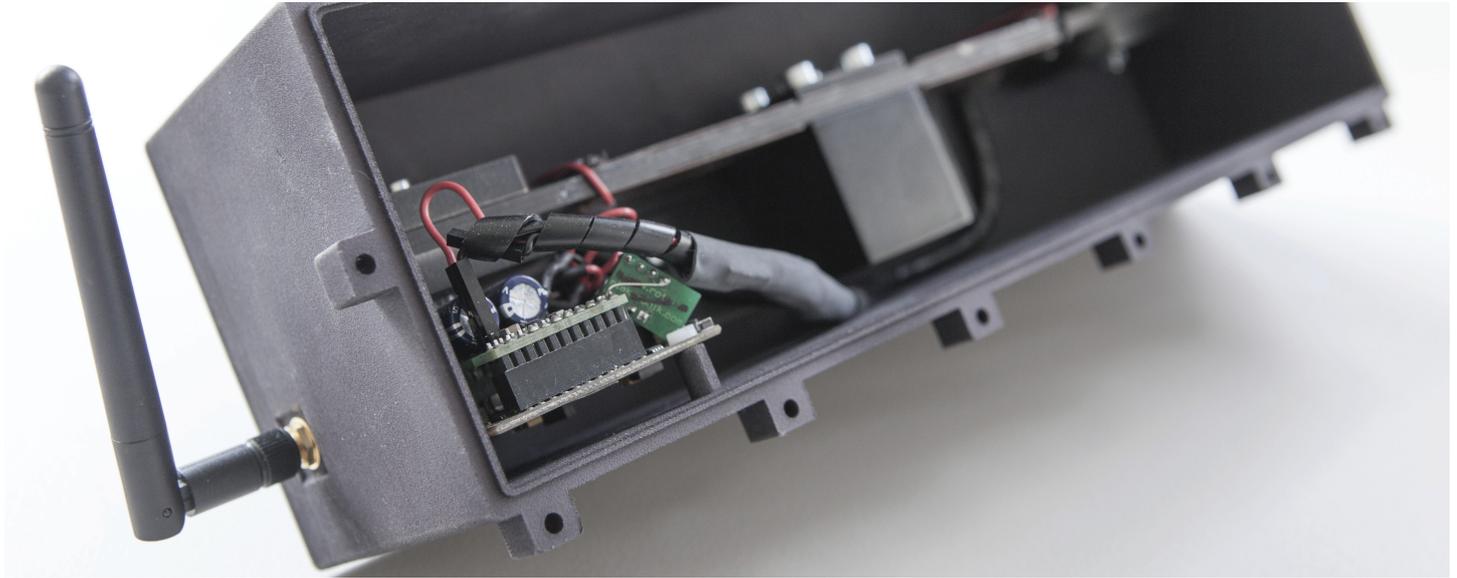


Widerstandsverläufe der einzelnen Temperatursensorstrukturen für einen Spritzgussvorgang.

### Kontakt:

Dr. Saskia Biehl  
 Fraunhofer IST  
 ☎ +49 531 2155-604  
 ✉ saskia.biehl@ist.fraunhofer.de

# Hardware-in-the-Loop – Technologie zur Beschleunigung und Entwicklung adaptronischer und mechatronischer Systeme



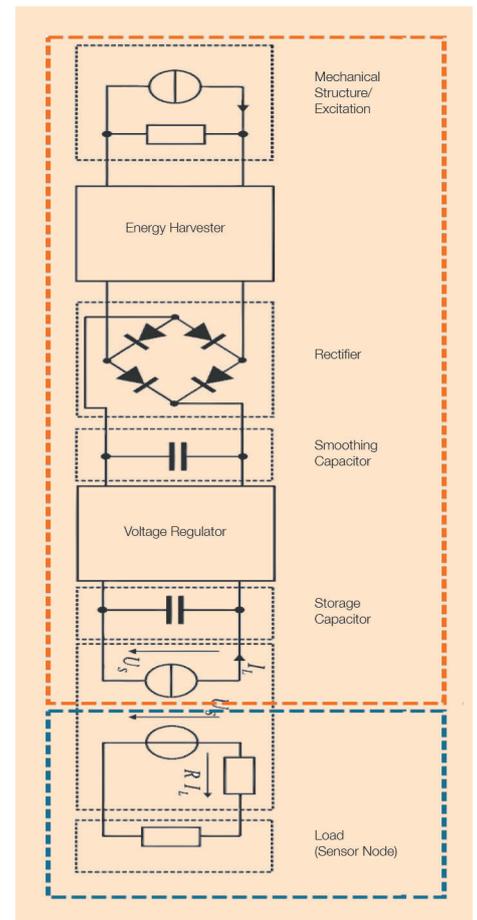
■ Mittels HIL-Tests lassen sich Komponenten mechatronischer Systeme validieren, ohne das gesamte System als Prototyp realisieren zu müssen. Eine typische Anwendung ist der Test von elektronischen Steuergeräten, welche mit einer Echtzeitsimulation ihrer Umgebung (beispielsweise eines ESP-Systems im Kraftfahrzeug) gekoppelt werden. Hardware-in-the-Loop ermöglicht so vielfältige Verbesserungen im Entwicklungsprozess: Einsparung von Prototypenhardware, z.B. von Testfahrzeugen, reproduzierbare Testbedingungen und -programme, automatisierte Dauertests und das Testen gefährlicher Zustände.

Die Validierung von Komponenten im Zusammenspiel mit einem simulierten Gesamtsystem verkürzt daher Entwicklungszeiten und erhöht die Zuverlässigkeit des Systems. Der Test von eingebetteten Systemen bis zur Absicherung der funktionalen Sicherheit mittels HIL ist deshalb weit verbreitet. Wenn Komponenten hochintegrierter mechatronischer oder adaptronischer Systeme in solche Tests eingebunden werden sollen, wird eine Erweiterung der Technologie erforderlich. Beispielsweise können zur zu testenden Hardware auch aktorische oder andere elektromechanische Komponenten gehören. Die sich ergebenden Schnittstellen mit der Simulation setzen dann allerdings nicht mehr nur den Austausch von Signalen voraus, sondern von elektrischer oder mechanischer Energie. Weitere Herausforderungen

ergeben sich aus der sehr hohen Dynamik von Systemen zur Schwingungsreduktion.

Die Vorteile der HIL-Methoden wurden beispielsweise bei der Entwicklung eines energieautarken Sensorsystems für einen Güterwagen deutlich, der durch einen Schwingungsgenerator mit Energie versorgt wird (Abbildung rechts). Vor der Umsetzung eines Prototypen wurde ein echtzeitfähiges Modell des Energy Harvesters erzeugt und als Modell auf einem Simulator betrieben. Die Sensorplattform selbst wurde in Hardware realisiert. An der Schnittstelle zwischen beiden Systemen wird in dieser Anwendung elektrische Energie ausgetauscht, d.h. in der Simulation wird die erzeugte elektrische Spannung analysiert und über eine gesteuerte Spannungsquelle ausgegeben. Die Rückwirkung der Leistungsentnahme auf das System wird durch eine Strommessung realisiert, welche in der Simulation eine entsprechende Quelle steuert.

Der Vorzug dieses Testszenarios besteht darin, dass verschiedene Konfigurationen von Energy Harvestern, Sensorplattformen sowie der entsprechenden Software im Labor unter reproduzierbaren Bedingungen miteinander verglichen werden können. Weiterhin wird die aufwändige Durchführung von Feldtests auf ein Minimum reduziert.



## Kontakt:

Dr. Dirk Mayer  
 Fraunhofer LBF  
 ☎ +49 6151 705-261  
 ✉ dirk.mayer@lbf.fraunhofer.de

# Empfindliche Geräte schwingungsfrei lagern



## Events

### Actuator 14

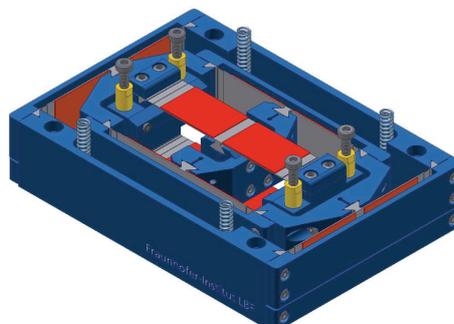
Die achte Internationale Ausstellung für Smart Actuators und Drive Systems präsentiert Bauelemente, Systemlösungen und Anwendungen von intelligenten Aktoren und elektromagnetischen Antrieben kleiner Leistung auf der Basis konventioneller (elektromagnetischer) und innovativer Wirkprinzipien (neuer Aktoren), sowie verwandte Inhalte. Die Themenliste umfasst darüber hinaus aktorikrelevante Messtechnik, Ansteuerkonzepte und -schaltkreise, Treiberbausteine und Steuergeräte, Konzepte und Lösungen zur Systemintegration, Layout- und Simulationstools etc.

Auch in diesem Jahr nimmt die FAA an der Actuator 14 in Bremen teil. Wir freuen uns schon jetzt gemeinsam mit den Instituten der Allianz als Gemeinschaftsstand auszustellen und das Publikum erneut mit unseren Exponaten zu begeistern.

Mehr Informationen finden Sie unter:  
<http://www.actuator.de>



■ Im BMBF-Projekt FuMaxSis wurde eine Plattform zur multiaxialen aktiven Schwingungsisolierung aufgebaut, welche die Übertragung von Umgebungsschwingungen auf sensible Geräte vermindern soll. Dabei wurden funktionsintegrierte Multi-axiallagereinheiten entwickelt, die strukturelle, aktorische und sensorische Aufgaben übernehmen. Eine flexible Anpassung an unterschiedliche Isolationsaufgaben und eine Vernetzung der Lagereinheiten wird sowohl durch den modularen Aufbau der Plattform als auch durch die Verwendung der Methode des Rapid Control Prototyping (RCP) auf Basis einer digitalen Regelplattform ermöglicht.



### Multi-axiale Isolationsplattform.

Der aufgebaute Versuchsträger ist ein in sich geschlossenes adaptronisches System, welches die Schwingungsübertragung in sechs Dimensionen reduziert. Die Regelaktorik ist dabei in die Systemsteifigkeit integriert. Dadurch wird eine niedrige passive Systemeigenfrequenz erzielt, welche eine Isolation im höheren Frequenzbereich ermöglicht. Zur Signalerfassung werden speziell entwickelte, hochempfindliche Sensoren verwendet, welche Beschleunigungssignale in drei Raumrichtungen messen können. Ein digital implementierter Regelalgorithmus bewirkt eine Steifigkeitsverringern und eine aktive Dämpfung der Systemresonanz.

### Die Funktionsintegration für aktive Lager.

Der Nutzen der Isolationsplattform besteht in der niederfrequenten multiaxialen Schwingungsisolierung, der Reduktion der Komplexität durch Funktionsintegration und der flexiblen Anpassbarkeit der modularen Bauweise und Rapid Control Prototyping.

### Kontakt:

Torsten Bartel  
 Fraunhofer LBF  
 ☎ +49 6151 705-497  
 ✉ [torsten.bartel@lbf.fraunhofer.de](mailto:torsten.bartel@lbf.fraunhofer.de)

# Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF





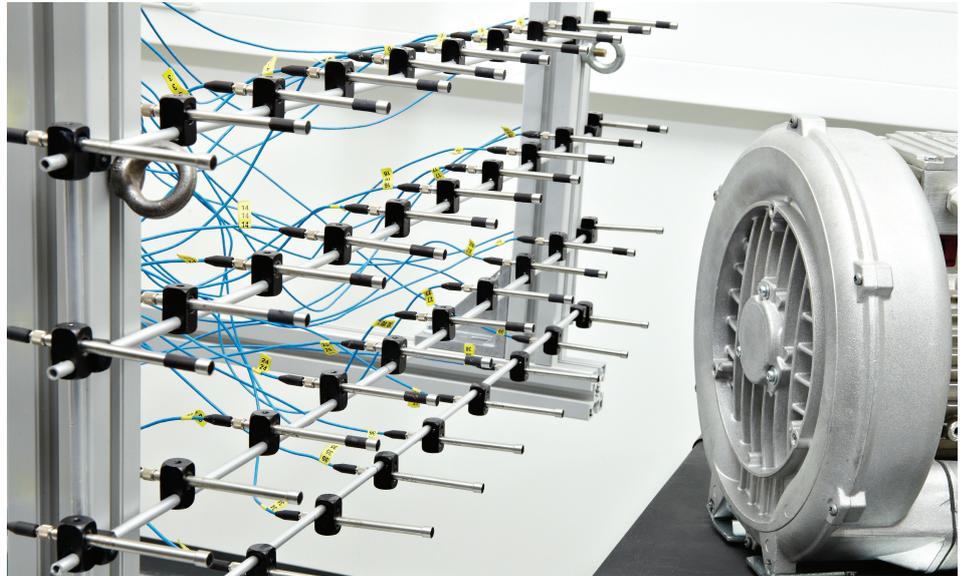
### Traditionell innovativ!

Das Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF in Darmstadt ist eines der traditionsreichsten Institute der Fraunhofer-Gesellschaft. Vor über 75 Jahren wurde durch das ehemalige „Laboratorium für Betriebsfestigkeit LBF“ ein völlig neues, aber bereits damals wirtschaftlich bedeutsames Forschungsgebiet geprägt, das bis heute nichts an Aktualität und Relevanz verloren hat. Ausgehend von der experimentellen Betriebsfestigkeit baute das Institut insbesondere im letzten Jahrzehnt sein Kompetenzspektrum mit hoher Innovationskraft und großer Dynamik sowohl in der Tiefe als auch in der Breite aus. Über die traditionellen Branchen des Fahrzeug- und Maschinenbaus hinaus wurden zusätzliche Marktsegmente erschlossen.

Jüngster Meilenstein in der strategischen Entwicklung des Fraunhofer LBF war die Integration des renommierten Deutschen Kunststoff-Instituts DKI im Jahr 2012. Ausgewiesene Kernkompetenzen liegen damit heute in der numerischen und der experimentellen Betriebsfestigkeit, in der Adaptronik und der Systemzuverlässigkeit sowie auf dem Gebiet der Kunststoffe.

### Partner im Entwicklungsprozess.

Zum Nutzen von Kunden und Partnern bringen mehr als 550 Experten aus unterschiedlichen Fachdisziplinen, besonder Ingenieure, Naturwissenschaftler, Techniker und Sachbearbeiter, am Fraunhofer LBF und an den assoziierten Fachgebieten der TU Darmstadt



über die Bereichsgrenzen hinweg ihr Know-how in interdisziplinäre Projektarbeit und Services ein. Sie greifen zukunftsorientierte Themen auf, entwickeln sie in engem Dialog mit ihren Kunden zu Produkt- und Prozessinnovationen weiter und prägen neue Trends mit.

Das Team des Fraunhofer LBF erbringt Leistungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette, sowohl vom Werkstoff über seine Verarbeitung bis hin zum fertigen Bauteil bzw. bis zum komplexen System und seiner Qualifizierung im Hinblick auf Sicherheit und Zuverlässigkeit, als auch von Grundlagenforschung über den Zuverlässigkeitsnachweis bis hin zum Technologietransfer in moderne Produkte. Speziell bei Kunststoffen kann das Institut mit der Polymersynthese und einer tiefgehenden Materialcharakterisierung in einer besonders frühen Stufe der Wertschöpfung unterstützen.

Es entstehen ganzheitliche, material- und energieeffiziente Lösungen auf den Gebieten Schwingungstechnik, Leichtbau, Zuverlässigkeit und Polymertechnik – maßgeschneidert für jeden einzelnen Kunden. Über sein charakteristisches, weit gespanntes Kompetenz- und Leistungsportfolio erreicht das Fraunhofer LBF eine Vielzahl unterschiedlicher Märkte, vor allem den Automobil- und Nutzfahrzeugbau, die Schienenverkehrstechnik, den Schiffbau, die Luftfahrt, den Maschinen- und Anlagenbau, die Energietechnik, die Medizintechnik sowie die Chemische Industrie.

### Zukunft gestalten!

Die Wissenschaftler verstehen sich als aktive, verlässliche Begleiter im Produktentwicklungs- und Innovationsprozess ihrer Kunden, als Impulsgeber und Prozessbeschleuniger. Sie wirken zunehmend als strategische Partner bei der Produktentwicklung mit, erarbeiten, bewerten und realisieren maßgeschneiderte Lösungen, vor allem für sicherheitsrelevante maschinenbauliche Systeme und schwingungsanfällige Leichtbaustrukturen. Sie unterstützen strukturierte Produktentstehungsprozesse unter anderem nach dem „V-Modell“. Neben der Bewertung und optimierten Auslegung passiver mechanischer Strukturen werden auch adaptive und aktive Systemlösungen bearbeitet und prototypisch umgesetzt. Begleitend entwickelt das Fraunhofer LBF die entsprechenden numerischen sowie experimentellen Entwicklungsmethoden und Prüftechniken vorausschauend weiter. Das Fraunhofer LBF schlägt damit eine starke Brücke zwischen Wissenschaft und industrieller Anwendung. Regional, national und international.

### Kontakt:

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

[www.lbf.fraunhofer.de](http://www.lbf.fraunhofer.de)  
[info@lbf.fraunhofer.de](mailto:info@lbf.fraunhofer.de)

# Adaptronik - Technik, die verändert

## Die beteiligten Institute:

**Fraunhofer-Institute für** Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit **LBF, Darmstadt**  
Fertigungstechnik und angewandte Materialforschung **IFAM, Bremen**  
Integrierte Schaltungen **IIS, Erlangen**  
Keramische Technologien und Systeme **IKTS, Dresden**  
Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut **EMI, Freiburg**  
Schicht- und Oberflächentechnik **IST, Braunschweig**  
Silicatforschung **ISC, Würzburg**  
Techno- und Wirtschaftsmathematik **ITWM, Kaiserslautern**  
Werkstoffmechanik **IWM, Freiburg**  
Werkzeugmaschinen und Umformtechnik **IWU, Dresden**  
Zerstörungsfreie Prüfverfahren **IZFP, Saarbrücken**



## Impressum

### Herausgeber:

Fraunhofer-Allianz Adaptronik  
Postfach 10 05 61  
64205 Darmstadt  
Tel: +49 6151 705-236  
Fax: +49 6151 705-214  
info@adaptronik.fraunhofer.de  
www.adaptronik.fraunhofer.de

### Geschäftsführer:

Heiko Atzrodt

### Allianzsprecher:

Prof. Dr.-Ing. Tobias Melz

### Redaktion:

Stefan Elges

 **Fraunhofer**  
ADAPTRONIK