

ADAPTRONIK

NEWSLETTER

März | 2019

Menschen | Events | Projekte | Institute



#WHATSNEXT: TOMORROW'S INDUSTRY

Erfahren Sie mehr auf Seite 4.

VORWORT

2 Prof. Dr.-Ing. Tobias Melz

MENSCHEN

2 Dr.-Ing. Sven Herold

INSTITUT

14 Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

PROJEKTE

4 Spannen von Bauteilen mit magnetorheologischen Flüssigkeiten

5 Schallemissionsmessungen an Verbundstrukturen zur frühzeitigen Schadensidentifikation

6 Entwicklung eines sensorischen Königszapfens als neuartiges Messsystem für elektrifizierte Trailer

8 Energy Harvesting zur Energieversorgung von IoT-Sensoren

9 Kraftsensitiver Greifer mit Formgedächtnislegierung

10 Symbiose virtueller und experimenteller Methoden in der Produktion sichert Standortvorteile

12 SensoTool und PermaVib

HANNOVER MESSE

16 Lageplan

EVENTS

11 Hannover Messe 2019

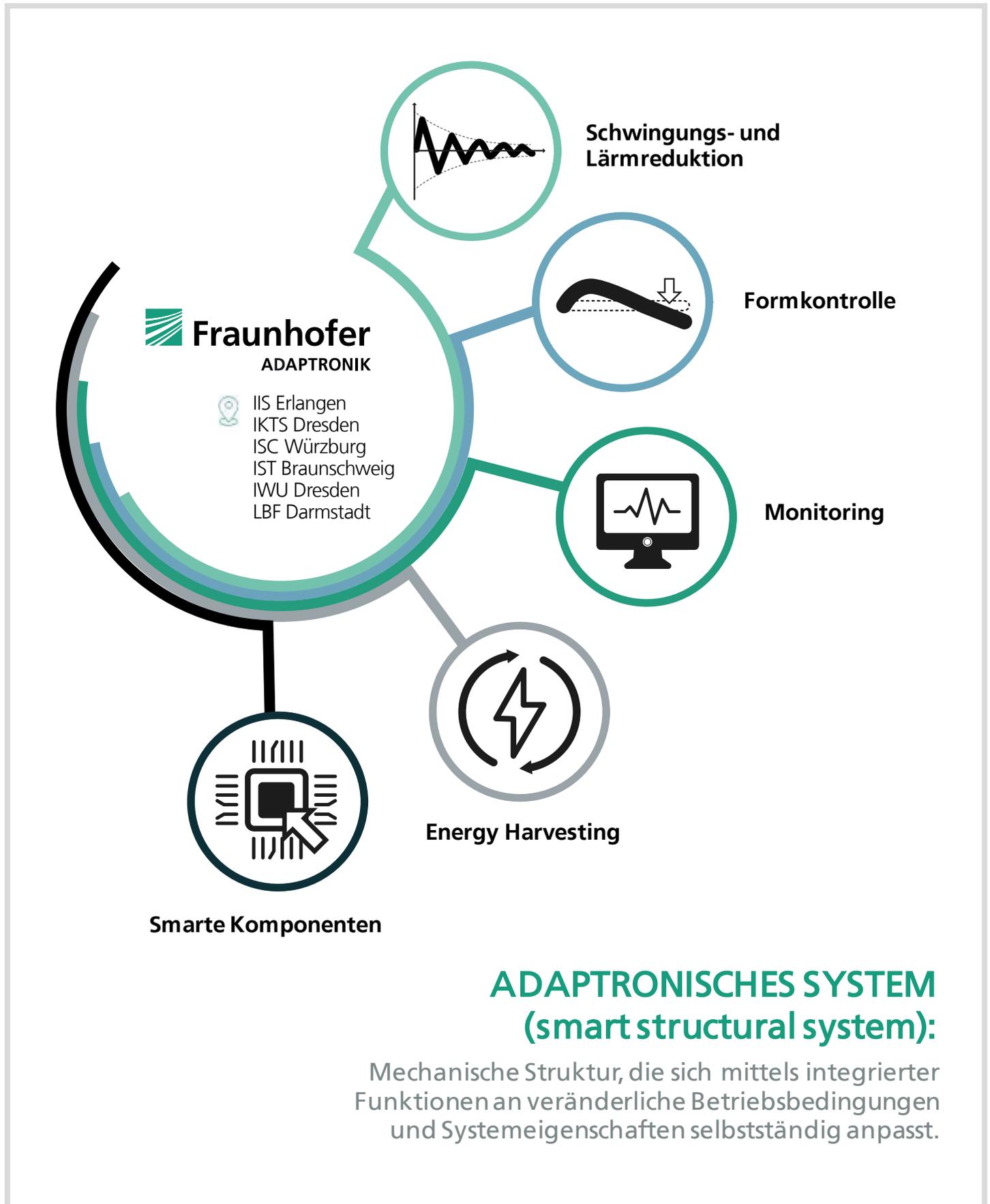
13 4SMARTS

13 ISPA

IMPRESSIONEN

7 Hannover Messe 2018

Das Leistungsspektrum der Allianz Adaptronik



Liebe Leser,

In unserer 70-jährigen Fraunhofer-Geschichte erforschen wir gemeinsam mit unseren Partnern die Themen von übermorgen und gestalten die Zukunft mit unmittelbarem Nutzen für Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft. Eine der zentralen Veranstaltungen im Jubiläumsjahr ist der Auftritt der Fraunhofer-Gesellschaft auf der Hannover Messe. In diesem Rahmen zeigt die Fraunhofer-Allianz Adaptronik Lösungen und Projektideen für unsere Industriekunden mit dem Fokus auf digitalisierte Systeme für Industrie 4.0-Technologien und Produktionssysteme der Zukunft.

Mit der Integration neuer Funktionen in Strukturen und Systemen ergeben sich gänzlich neue Möglichkeiten der intelligenten System- und Prozessüberwachung sowie -steuerung. Einerseits erlauben dabei smarte Sensorfunktionen vorausschauend Wartungsbedarfe oder Instandsetzungsnotwendigkeiten zu identifizieren, andererseits wird durch eingebettete Signalverarbeitung und multifunktionale Aktorsysteme direkt im Betrieb eine effiziente System- und Prozessoptimierung ermöglicht. Die smarte Strukturtechnologie wird in der Fraunhofer-Allianz Adaptronik auf allen Ebenen der Produktentwicklung angewandt - vom Material bis hin zum System. In der Produktionstechnik tragen adaptronische Ansätze zur Flexibilisierung, Individualisierung, Verkürzung von Taktzeiten sowie zur Genauigkeits- und Qualitätssteigerung bei. Sie ermöglichen damit fortschrittliche Produktlösungen mit Unique Selling Points sowie eine ressourcenschonende, zeit- und kosteneffiziente Produktion von morgen. Damit unterstützt die Allianz ihre Kunden in unterschiedlichsten Fragestellungen von der Funktionalisierung einzelner Bauteile bis hin zur ganzheitlichen Optimierung komplexer Systeme.

In diesem Newsletter stellen wir konkrete Beispiele für adaptronische Anwendungen in Produktentwicklung und Produktionstechnik vor. Dies sind unter anderem Spann- und Greifelemente mit multifunktionalen Materialien, innovative Sensorsysteme und Hardware-in-the-Loop Ansätze für die durchgängige Eigenschaftsabsicherung mechatronischer Produkte.

Passend zum Motto des Fraunhofer-Gemeinschaftsstandes „#WHATSNEXT: TOMORROW'S INDUSTRY“ stellen wir Ihnen unsere adaptronischen Lösungen, die die Produktion von morgen revolutionieren, in diesem Jahr auf der Hannover Messe Industrie in Halle 2, Stand C22 vom 1. bis 5. April vor. Besuchen Sie unseren Stand und entwickeln Sie gemeinsam mit uns innovative Ideen für Ihr zukünftiges Geschäft.



Prof. Dr.-Ing. Tobias Melz

MENSCHEN

Dr.-Ing. Sven Herold



■ Dr.-Ing. Sven Herold studierte Allgemeinen Maschinenbau mit der Vertiefungsrichtung Angewandte Mechanik an der Otto-von-Guericke-Universität in Magdeburg. Im Themengebiet der Simulation des dynamischen und akustischen Verhaltens aktiver Systeme promovierte er an der Technischen Universität in Darmstadt.

Am Fraunhofer Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF in Darmstadt ist er seit 2003 als Wissenschaftler tätig. Seit 2012 leitet er die Abteilung Struktur- und Schwingungstechnik und hat in 2016 zudem die Leitung des Bereichs Adaptronik übernommen.

Forschungsschwerpunkte im Bereich sind virtuelle und experimentelle Methoden für die ganzheitliche Analyse, Auslegung optimierter strukturdynamischer und vibroakustischer Systeme, die Funktionserweiterung mit smarten Strukturkonzepten sowie betriebsfeste Leichtbaulösungen mit faserverstärkten Materialien. Moderne Methoden zur quantitativen Zuverlässigkeitsbewertung, die Wechselwirkungen in komplexen cyber-physischen Systemen einbeziehen sind Gegenstand der Forschungsarbeiten im Bereich. Aktuell sind besonders intelligente Methoden zum frühen Erkenntnisgewinn sowie zur Beschleunigung von Entwicklungsprozessen, die numerische und

experimentelle Ansätze integrieren sowie gezielt Informationen aus dem gesamten Produktlebenszyklus nutzen, Gegenstand der Forschungsarbeiten. Hieraus generieren wir gemeinsam für unsere Kunden neue digitalisierte Tools und Geschäftsmodelle.

Aktuell sind im Bereich Adaptronik 95 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter beschäftigt, die in Forschungs- und Industrieprojekten innovative und smarte Lösungen für Produkte und Prozesse mit optimierten Eigenschaften entwickeln.

Sven Herold ist zudem seit 2009 Lehrbeauftragter an der Hochschule Darmstadt für die Themengebiete Schwingungen sowie passive und aktive Systeme zu deren Minderung. In den vergangenen Jahren war er in diversen nationalen und internationalen Forschungs- und Entwicklungsprojekten im Bereich der Struktur- und Schwingungstechnik smarterer Strukturen involviert.

Spannen von Bauteilen mit magnetorheologischen Flüssigkeiten

■ In sehr vielen Produktionsprozessen müssen Werkstücke oder Bauteile für verschiedene Prozessschritte gespannt werden, um sie entweder bearbeiten oder prüfen zu können. Dies führt besonders bei geometrisch komplex geformten oder mechanisch empfindlichen Bauteilen zu erheblichen Problemen, da konventionelle Spannvorrichtungen das Bauteil nicht geeignet fassen oder es sogar beschädigen können. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Spannwerkzeug das Bauteil häufig nur auf einer kleinen Fläche berührt. Durch die damit verbundene Konzentration der Spannkraft auf diese Fläche entsteht eine relativ hohe lokale Druck- oder Scherspannung auf das Bauteil. Vorteilhaft wäre die Verteilung der Spannkraft auf eine möglichst große Fläche des Bauteils. Dies setzt jedoch eine Anpassung der Spannmittelform an die Form des Bauteils voraus. Eine solche Formanpassung wird durch eine Flüssigkeit möglich, die das Bauteil umschließt und sich anschließend versteift. Magnetorheologische Flüssigkeiten (MRF) weisen eine solche Eigenschaft auf. Sie sind im Grundzustand fließfähig und versteifen sich in einem starken Magnetfeld zu einem festen Gel. Dieser Versteifungsvorgang kann bei einem schnellen Magnetfeldaufbau innerhalb von einigen Millisekunden erfolgen und ist vollständig reversibel.

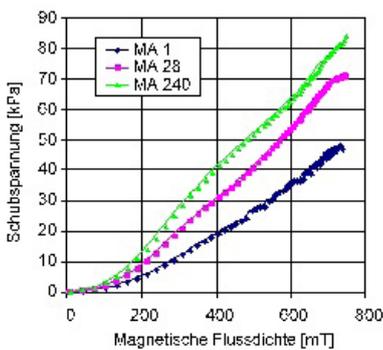


Abb. 1: Steigerung der Schubspannung verschiedener MRF im Magnetfeld



Abb. 3: Fräsprozess an T-Stringer aus Titan in einer im Magnetfeld versteiften MRF (Quelle: Fatronik-Tecnalia)



Abb. 2: Testkörper in durch Magnetfeld versteifter MRF (Quelle: Fraunhofer ISC)

Eine MRF besteht aus einer Trägerflüssigkeit mit darin verteilten magnetisierbaren Partikeln in hoher Konzentration, die durch Additive gegenüber Sedimentation stabilisiert werden. Als Trägerflüssigkeit dient in der Regel ein dünnflüssiges Öl, während die Partikel meist aus Eisen bestehen. Die rheologischen Eigenschaften der MRF einschließlich des Versteifungsgrades, der durch die Schubspannung spezifiziert wird, lassen sich durch die Zusammensetzung der MRF in einem weiten Rahmen beeinflussen. Bild 1 zeigt die Abhängigkeit der Schubspannung von drei verschiedenen MRF von der magnetischen Flussdichte. Die Schubspannung kann bei hohen Magnetfeldstärken um bis zu etwa drei Größenordnungen gesteigert werden.

Zum Spannen des Werkstückes wird dieses in die MRF eingetaucht, die sich in einem speziellen Behälter befindet. Durch diesen Behälter wird das von Elektromagneten oder Permanentmagneten erzeugte Magnetfeld hindurchgeleitet und versteift die MRF. Der aus der MRF herausragende Teil des Werkstückes kann dann einem Bearbeitungs- oder Prüfprozess unterzogen werden. Bild 2 zeigt als Beispiel einen in eine MRF eingetauchten Testkörper. Die versteifte MRF umschließt den eingetauchten Teil vollständig und verteilt damit die bei einer Bearbeitung auftretenden Kräfte auf eine große Fläche, wodurch keine hohen Druckspitzen mehr auftreten.

Ein solches Spannverfahren wurde in einem von der EU geförderten Verbundprojekt für einen speziellen Anwendungsfall entwickelt und erprobt. Bei dem spanend zu bearbeitenden Werkstück handelt es sich um einen sog.

T-Stringer, ein Bauteil im Flugzeugrumpf, das aus Titan gefertigt wird. Bei Titan-Bauteilen kann es im Fräsprozess unter ungünstigen Spannbedingungen zu einem Verzug kommen. Einem möglichst gleichmäßig belastenden Spannen des Bauteils kommt daher eine besondere Bedeutung zu.

Um den T-Stringer über seine ganze Länge durch die MRF spannen zu können, wurde in dem Projekt ein Aufnahmesystem mit einem an das Bauteil angepassten Behälter und einer speziellen Magnetfelderzeugung entwickelt und getestet (Bild 3). Dabei zeigte sich, dass die durch die versteifte MRF erzeugten Spannkraftreichte ausreichen, um den T-Stringer spanend zu bearbeiten. Ein entsprechendes Spannverfahren kann auch für andere Bauteile realisiert werden, die sich mit anderen Mitteln nicht oder nur mit sehr großem Aufwand spannen lassen. Durch einen solchen Spannprozess lässt sich die Zahl der notwendigen Umspannvorgänge reduzieren, wodurch Zeit und Kosten eingespart werden.

KONTAKT:

Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC

Dr. Holger Böse
Neunerplatz 2
97082 Würzburg
Telefon +49 931 4100 203

holger.boese@isc.fraunhofer.de
www.isc.fraunhofer.de
www.cesma.de

Schallemissionsmessungen an Verbundstrukturen zur frühzeitigen Schadensidentifikation



Abb.1: Mit Schallemissionssensoren instrumentiertes Leichtbaurad während quasistatischer Ermüdungstests auf einer Universalprüfmaschine

■ Faserverstärkte Kunststoffe sind aus dem modernen Fahrzeugbau aus heutiger Sicht kaum noch wegzudenken. Besonders bei sicherheitsrelevanten Bauteilen steht die Zuverlässigkeit von faserverstärkten Kunststoffen an oberster Stelle. Die Lebensdauer von FVK-Bauteilen wird meist durch Alterungsprozesse oder Fehlnutzung beeinflusst. So können Schäden, wie Rissbildungen in der Matrix, Delaminationen oder Faserbrüche zum Versagen des Bauteils führen.

Die Schallemissionsprüfung, oder Acoustic Emission Testing (AT), ist ein Verfahren der zerstörungsfreien Prüfung von Bauteilen, das akustische Signale an der Oberfläche von Festkörpern detektiert, wenn unter Belastung Energie in Form einer elastischen Welle freigesetzt wird. Die Schallemissionsanalyse unterscheidet sich somit von der klassischen Ultraschallprüfung, da der Schall durch den eigentlichen Schaden im Werkstoff - der Schallemissionsquelle - initiiert wird.

Schädigungen zeigen spezifische Schallemissionen

Testergebnisse auf Couponebene identifizierten Cluster im Parameterraum aus gewichteter Vorzugsfrequenz - oder Weighted Peak Frequency (WPF) - und der partiellen

wächst. Bei der Bauteilprüfung können zwei verschiedenen Clusterbereichen der WPF unterschiedliche Schädigungsmechanismen zugeordnet werden. Niederfrequente Schallereignisse weisen auf matrixdominierte Schädigungsmechanismen (blau gekennzeichnete Ereignisse in Abb. 2) und hochfrequente Bursts signale auf faserdominierte Schädigungsmechanismen (gelb markierte Ereignisse in Abb. 2) hin.

Kundenspezifische Schallemissionsmesssysteme werden angeboten

Mit dem am IKTS entwickelten Schallemissionsmesssystem können auf der Basis einer speziell angepassten Mess- und Auswertesoftware auch AT-Messungen unter hohem Umgebungsruschen erfolgen, z.B. bei dynamischen Ermüdungstests. So gelang es beispielsweise im Rahmen der Biegeumlaufprüfung (BUP) Schäden mit AT zu identifizieren.

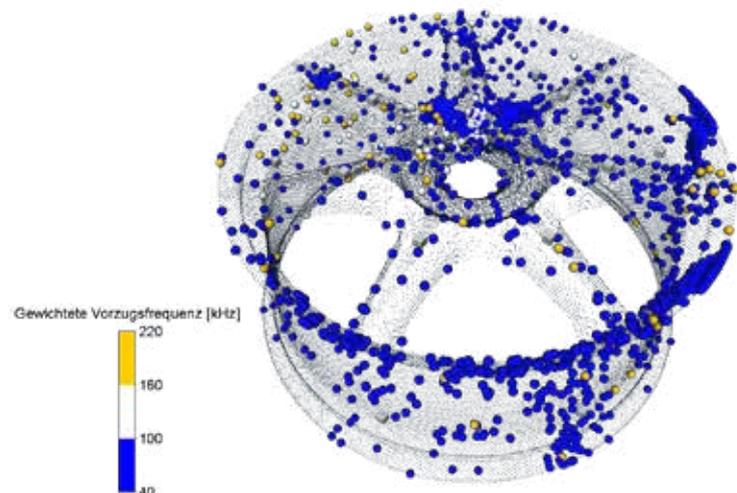


Abb.2: Carbonfaser-Leichtbaurad, 3D-Ortungsplot der Schallemissionen während der BUP, Farbparameter: WPF.

akustischen Leistung in einem spezifischen Frequenzband als denjenigen Schallemissionsparameter, der aussagekräftig über die Schädigungsart, den Schädigungsfortschritt und somit auch über die Strukturintegrität der geprüften Bauteile ist. Bei der Interpretation der Schallemissionssignale im Rahmen von Ermüdungstests ganzer Bauteile, musste speziell bei der Frequenzanalyse der Dämpfungseffekt mit einbezogen werden, da mit zunehmendem Abstand der Schallemissionsquelle zum Schallaufnehmer die Dämpfung hochfrequenter Signalanteile

KONTAKT:

Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS

Dr.-Ing. Holger Neubert
Winterbergstr. 28
01277 Dresden
Telefon +49 351 2553 7615

holger.neubert@ikts.fraunhofer.de
www.ikts.fraunhofer.de

Entwicklung eines sensorischen Königszapfens als neuartiges Messsystem für elektrifizierte Trailer

■ Im Rahmen des vom BMWi geförderten Projekts ev (=electric vehicle) Trailer wird ein innovatives elektrisches Antriebs- und Regelungssystem für Fahrzeug-Anhänger entwickelt. Herausragendes Merkmal ist die herstellerunabhängige autarke Arbeitsweise des evTrailers mit jeder beliebigen konventionellen Sattelzugmaschine. Innerhalb dieses Projektes wird am Fraunhofer IST ein multisensorisches Dünnschichtsystem entwickelt, welches direkt auf dem komplex geformten mechanischen Bindeglied zwischen Sattelzugmaschine und Anhänger, dem Königszapfen (siehe Bild), abgeschieden wird. Das Zusammenspiel der applizierten Komponenten Kraftmessensorik, elektrisches Antriebsmodul, Traktionsbatterie und Batteriemanagementsystem wird durch intelligente Regelalgorithmen sichergestellt. Bei Verzögerung oder Bergabfahrt reкупeriert der Trailer über das elektrische Antriebsmodul Energie, welche bei Beschleunigungsvorgängen zur Unterstützung des Zugfahrzeugs bereitsteht und die Fahrdynamik erhöht. Im Idealfall (abhängig von Ladezustand und Regelstrategie) spürt die Zugmaschine also weder Ziehen noch Schieben des anhängenden evTrailers. Das Zugfahrzeug wird entlastet, wodurch Energieverbrauch, CO₂-, Lärm- und Bremsstaub-Emissionen reduziert werden.

Aufgabe des sensorischen King Pins

Das sensorische Schichtsystem wird direkt auf die dreidimensionale Oberfläche eines King Pins abgeschieden und strukturiert mit dem Ziel der lokalen Zugkraftmessung. Anhand dieser Messergebnisse erfolgt eine Regelung, die bestrebt ist die auftretenden Zug-/Schubkraft in der Anhängerkupplung zu kompensieren. Das bedeutet, dass die Bremsleistung, die bei einer Bergabfahrt über die Elektromotoren rückgewonnen und in Batterien gespeichert wird, bei Bedarf, also bei der Bergauffahrt, als Antriebsleistung dem Fahrzeug zur Verfügung steht.

Entwicklung des sensorischen King Pins

Die Aufgabe in diesem Projekt ist die direkte Applikation eines verschleißbeständigen multisensorischen Schichtsystems auf die mit zwei Schaftbereichen ausgestattete komplex geformte Oberfläche eines 6,5 kg schweren King Pins. Die Sensorik misst in direktem Reibkontakt mit dem Verschleißring in Schaftbereich 1 und dem Verschleißhaken in Schaftbereich 2. Dieses sensorische Dünnschichtsystem vereint in



Abb. 1: Der Königszapfen verbindet die Zugmaschine mit dem Trailer.

unterschiedlichen Designs metallische Temperatursensorstrukturen, wie auch piezoresistive Sensorstrukturen auf Basis der amorphen Kohlenwasserstoffschicht DiaForce® und piezoresistive Sensorstrukturen bestehend aus vier, zu einer Vollbrücke verschalteten, Dehnungsmessstreifenstrukturen (DMS) aus Chrom. Die Sensorstrukturen sind in den beiden hochbelasteten Schaftbereichen angeordnet und zusätzlich die DMS im unbelasteten unteren Krümmungsbereich. Die folgenden Abbildungen 2 und 3 geben einen Eindruck von der Lage und dem Design der Dünnschichtsensorik. Die Funktionsschichten aus Chrom und Al₂O₃ werden in der physikalischen Gasphasenabscheidung (PVD) hergestellt. Aus Chrom bestehen die mäanderförmigen Temperatursensorstrukturen, die Leiterbahnen und auch die DMS. Aus Al₂O₃ werden die elektrisch isolierenden Verschleißschutzschichten gefertigt. Die piezoresistive DiaForce® Schicht, die zur lokalen Kraftmessung dient, wird in einer plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung (PACVD) erzeugt. Die sehr komplexe Strukturierung erfolgt in Kombinationsprozessen aus Photolithographie und Ätzverfahren.

Ausblick

Nach der erfolgreichen Herstellung des multisensorischen Dünnschichtsystems auf der Königszapfenoberfläche wurden die Sensorstrukturen vorcharakterisiert und mit der Messtechnik des Projektpartners CuroCon GmbH verbunden. Daran wird sich im weiteren Projektverlauf die Untersuchung der Funktionstüchtigkeit der Dünnschichtsensorik in Probefahrten mit einem Sattelaufleger der Firma Wilhelm Schwarz Müller GmbH anschließen.

Das Projekt

Die beschriebenen Ergebnisse wurden innerhalb des Projekts »evTrailer« erzielt, an dem das Fraunhofer IST gemeinsam mit dem Fraunhofer Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuver-



Abb. 2: Anordnung von waagrecht verlaufenden linienförmigen piezoresistiven Sensorstrukturen im Schaftbereich 1 des King Pins. Dort treten die Sensorstrukturen in direkten Reibkontakt mit dem Verschleißring und messen die Zug- und Schubkräfte. Zusätzlich sind in nächster Nähe mäanderförmige Temperatursensoren angeordnet. Außerdem sind im unbelasteten Bereich die DMS-Vollbrücken strukturiert, welche die lokale Dehnung langzeitstabil messen werden.



Abb. 3: Anordnung von waagrecht verlaufenden linienförmigen piezoresistiven Sensorstrukturen im Schaftbereich 2 des King Pins. Über komplex strukturierte Leiterbahnen erfolgt die elektrische Verbindung der messenden Bereiche mit den Kontaktierungsbereichen.

lässigkeit LBF, dem Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Fahrzeugantriebe VKM der Technischen Universität Darmstadt sowie den Firmen CuroCon GmbH und OSWALD Elektromotoren GmbH arbeitet. Das Projekt wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BWi) gefördert und hat eine Laufzeit vom 01.01.2016 bis zum 30.09.2019.

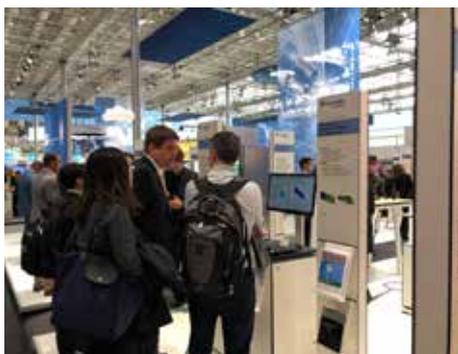
KONTAKT:

Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST

Dr.-Ing. Saskia Biehl
Bienroder Weg 54E
38108 Braunschweig
Telefon +49 531 2155 604

saskia.nina.biehl@ist.fraunhofer.de
www.ist.fraunhofer.de

Hannover Messe 2018



Energy Harvesting zur Energieversorgung von IoT-Sensoren

■ Bis 2025 wird es weltweit geschätzt eine Milliarde IoT-Geräte geben, die alle mit Energie versorgt werden müssen. Hierbei steht man oft vor der Herausforderung, dass ein häufiger Batteriewechsel extrem aufwendig oder die Verwendung von Stromkabeln nicht möglich ist. Eine optimale Alternative als Energieversorgung der vielen IoT-Sensoren ist Energy Harvesting. Energy Harvesting nutzt die Energie aus der Umwelt, um kleine elektronische IoT-Geräte autark mit elektrischer Energie zu versorgen. Neben dem Bluetooth Low Energy-Sensor BlueTEG, der seinen Energiebedarf aus Temperaturdifferenzen deckt, können mit dem neuen Vibrationswandler VIHWA bereits kleinste Vibrationen genutzt werden, um genügend elektrische Energie zur Versorgung mehrerer Sensoren zu generieren.

Vorhandene Schwingungen mit Vibrationswandlern sinnvoll nutzen

Bereits kleinste Bewegungen reichen dem Vibrationswandler VIHWA des Fraunhofer IIS aus, um so viel elektrische Energie zu generieren, dass mehrere Sensoren damit versorgt werden können und eine sekundliche

Datenübertragung zu einem mobilen Endgerät stattfinden kann. In unserer Messelivedemo erfassen wir die aktuelle Beschleunigung und senden diese Daten zur weiteren Darstellung und Verarbeitung an ein Tablet.

Energiegewinnung mit BlueTEG

Des Weiteren hat das Fraunhofer IIS einen Bluetooth Low Energy-Sensor BlueTEG mit thermoelektrischer Energieversorgung entwickelt. Er misst Sensorwerte wie die Temperatur oder Erdbeschleunigung und versendet diese via Bluetooth. In ein kompaktes Gehäuse integriert, nutzt BlueTEG die Temperaturdifferenz zwischen warmen oder kalten Gegenständen und der Umgebung, um daraus elektrische Energie zur Versorgung der Elektronik zu gewinnen.

Energy Harvesting in der industriellen Anwendung

Mit den Energy Harvesting Technologien können Sensoren zur Erkennung von Verschleiß oder Schädigung an Maschinen (Condition Monitoring) autark mit Energie versorgt werden. Besonders an schwer erreichbaren Stellen



Geringste Temperaturunterschiede reichen, um genügend Energie für den Betrieb von IoT-Sensoren zu gewinnen. ©Fraunhofer IIS/Kurt Fuchs

len oder bei einer häufigen Erfassung von Daten bieten unsere Technologien enorme Vorteile gegenüber herkömmlichen Energieversorgungen mit Batterien. Vorhandene Vibrationen und Temperaturunterschiede an Produktionsanlagen können folglich sinnvoll zur Energiegewinnung von Sensoren genutzt werden. Somit lassen sich Maschinenzustände permanent und wartungsfrei überwachen und analysieren.

Das Besondere an der Energy Harvesting Technologie des Fraunhofer IIS

Das Fraunhofer IIS hat sich auf die Entwicklung von hocheffizienten Powermanagement-Systemen und Energieversorgungen sowie kompletten Mikrosystemen konzentriert. Bereits geringe Temperaturdifferenzen oder Bewegungen reichen zur Energieversorgung von drahtlosen Sensoren und Funksendern aus. Möglich wird diese durch mikroelektronische Schaltungen, die schon kleinste Ströme oder Spannungen nutzen und umwandeln können. Durch eine optimale mechanische und elektrische Auslegung aller Systemkomponenten werden hocheffiziente Anwendungen auf kleinstem Raum realisiert und setzen sich so deutlich vom Stand der Technik ab.



Abb.: Vorhandene Vibrationen sinnvoll zur Betrieb von IoT-Sensoren in der Produktion nutzen ©Fraunhofer IIS/Kurt Fuchs

KONTAKT:

Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS

Dr.-Ing. Peter Spies
Nordostpark 84
90411 Nürnberg
Telefon +49 911 58061 3310

peter.spies@iis.fraunhofer.de
www.iis.fraunhofer.de

Kraftsensitiver Greifer mit Formgedächtnislegierung



Abb.: Kraftsensitiver Greifarm für empfindliche Bauteile

■ Robotergreifer werden üblicherweise durch Elektromotoren oder Pneumatik angetrieben. Diese nehmen viel Raum in Anspruch und benötigen zur Stabilisierung ein hohes Eigengewicht. Greifer auf Basis einer Formgedächtnislegierung (FGL) kommen dagegen ohne rotierende Teile und aufwendige Sensorik aus. Ausgestattet mit einem kraftsensitiven Messstreifen (FSR) und einem Thermo-Element, wird der Greifer durch einen FGL-Draht angetrieben. Wird der Draht erhitzt, fährt der Greifer zusammen. Kühlt der Draht ab, wird der Greifer durch eine Rückstellfeder wieder auseinander gedrückt.

Der Draht bietet vielfältige Anwendungsmöglichkeiten, benötigt nur wenig Platz und ist kostengünstig. Das Material zeichnet sich außerdem durch eine sehr hohe Energiedichte aus. Dehnungen bis zu 8 Prozent der Drahtlänge sind möglich, wodurch beachtliche Stellwege erreicht werden. Aufgrund des Durchmessers von nur 0,3 mm, kann der Draht bereits durch einen geringen Strom von max. 1,5 A erhitzt werden. Angesichts der nichtlinearen Materialeigenschaften ist eine intelligente Regelung notwendig, die auf einem Mikrocontroller umgesetzt wurde. Als Eingangsgrößen der Regelung dienen die Werte des Kraft- bzw. Temperatursensors. Der FSR-Sensor erfasst Kräfte bis zu 10 N, so dass die Greifkraft sehr genau eingestellt werden kann. Als Temperatursensor dient ein ultradünnes Thermoelement, das direkt am Draht befestigt ist. Der Messe-Demonstrator zeigt, wie selbst dünnwandige, sensible Werkstücke von einem Roboter „mit Fingerspitzengefühl“ gegrif-

fen werden. Die Regelung des FGL-Drahtes basiert auf einem Modell, das den Zusammenhang zwischen Längenausdehnung und geforderter Kraft in eine dafür erforderliche Drahttemperatur umwandelt. Dabei bildet das Modell die nichtlinearen Materialeigenschaften exakt ab. Es ist eine kaskadierte Regelungsstruktur implementiert, mit einer inneren Temperaturregelschleife und einer überlagerten Regelung der Greifkraft. Mithilfe dieser zwei Regelschleifen wird eine hohe Regelgüte erreicht.

Die erfassten Sensordaten werden in einer speziell für diesen Zweck entwickelten Applikation dargestellt. Aktuelle Drahttemperaturen, Kräfte, Stromstärken und die dafür vorgegebenen Sollwerte lassen sich ablesen. Die Daten werden im Zeitverlauf

dargestellt und lassen sich z.B. für eine nachträgliche Auswertung exportieren. Die Kommunikation zwischen Mikrocontroller und Tablet-PC bietet die Möglichkeit Sollwerte oder Parametrisierungen auch während des Betriebes vorzugeben.

Der FGL-Greifer eignet sich besonders für das feinfühlige Greifen empfindlicher Bauteile, wie z.B. dünne Glas- oder Kunststoffbauteile, sowie für Greifvorgänge, die mit einer exakt dosierten Kraft durchzuführen sind. Das stufenlose Einstellen der Greifkraft sowie die leichte und platzsparende Bauweise des Greifers, sind weitere Vorteile des FGL-Greifers. Mittels zwei einfacher Sensoren und einer kleinen Elektronikbaugruppe kann der smarte, kraftsensitive FGL-Greifer in vielen Anwendungen effizient und kostengünstig eingesetzt werden.

KONTAKT:

Fraunhofer-Institut für
Entwurfstechnik Mechatronik IEM

Dr.-Ing. Christian Henke
Zukunftsmeile 1
33102 Paderborn
Telefon +49 5251 5465 126

christian.henke@iem.fraunhofer.de
www.iem.fraunhofer.de



Abb.: Variable Einstellung der Greifkraft

Symbiose virtueller und experimenteller Methoden in der Produktion sichert Standortvorteile

■ Der globale Wandel sowie die zunehmende Vernetzung und Digitalisierung stellen die deutsche Wirtschaft in Zukunft vor vielschichtige Herausforderungen. Insbesondere der Einsatz digitaler Methoden in der Produktionstechnik kann dazu beitragen, die Wertschöpfung im Hochindustriestandort Deutschland zu halten und den technischen Fortschritt zu sichern. Im kürzlich abgeschlossenen Projekt „Digitalisierung in der Prüftechnik“ haben sich Experten des Fraunhofer-Instituts für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF mit der Fragestellung beschäftigt, wie der Entwicklungsweg von der Idee zum kundenspezifisch individualisierten Produkt maßgeblich beschleunigt werden kann. Im Bereich der Steuergeräteentwicklung wird

hierzu von der Hardware-in-the-Loop-Methode Gebrauch gemacht, mit der sich eine durchgängige Eigenschaftsabsicherung im gesamten Wertschöpfungsprozess sicherstellen lässt. Dabei wird ein reales Produkt mit einer virtuellen Repräsentation – dem digitalen Zwilling – des kundenspezifischen Anwendungsszenarios gekoppelt. Mit diesem Vorgehen können auch komplexe und sicherheitskritische Kundenanforderungen effizient entwickelt und validiert werden. Doppelarbeiten, Redundanzen und Fehler bei der Technologieintegration werden vermieden. Das Fraunhofer LBF stellt diese neue Technologie auf der Hannover Messe, 1 bis 5. April 2019 (Halle 2 Stand C22) vor. Den Wissenschaftlern des Fraunhofer LBF ist es erstmals gelungen, die Hardware-in-

the-Loop Methode auf die durchgängige Eigenschaftsabsicherung mechatronischer Produkte zu übertragen. Hierfür koppeln die Darmstädter Forscher Simulationsmodelle mechanischer Strukturen oder leistungselektrischer Schaltungen mit dem mechatronischen Prüfling. So kann dieser mit einer virtuellen Repräsentation seiner Umwelt interagieren. Eine realitätsnahe Wechselwirkung wird durch den Einsatz mechanischer oder leistungselektrischer Hardware-in-the-Loop-Schnittstellen, mit denen der Prüfling in Echtzeit mechanische oder leistungselektrische Energie austauschen kann, ermöglicht. Durch den Einsatz selbstlernender Digitalregler wird dabei eine hohe Regelgüte bis in den Frequenzbereich von 1 kHz erreicht, der perspektivisch zudem weiter erhöht werden kann.

„Mit der mechanischen und leistungselektrischen Hardware-in-the-Loop-Methode zur durchgängigen Eigenschaftsabsicherung mechatronischer Produkte ergeben sich vielschichtige Möglichkeiten für eine hybride Wertschöpfung, die neben dem eigentlichen Produkt, ebenfalls den Verkauf einer kundenspezifischen Produktindividualisierung integriert“, so Jonathan Millitzer, Gruppenleiter für Regelungstechnik am Fraunhofer LBF.

Details zu der neuen, im Fraunhofer LBF entwickelten Methode, stellt das Forschungsinstitut in einem Dialogtag zur Symbiose virtueller und experimenteller Methoden im Mai dieses Jahres vor. Die neue Technologie kann die intelligente Produktion unterstützen, ein Treiber zur Erhöhung der Innovationsdynamik der deutschen Wirtschaft zu werden.



Abb.2: Mechanische Hardware-in-the-Loop-Schnittstelle. (Foto: Fraunhofer LBF).



Abb.1: Leistungselektrische Hardware-in-the-Loop-Schnittstelle (Foto: Fraunhofer LBF).

KONTAKT:

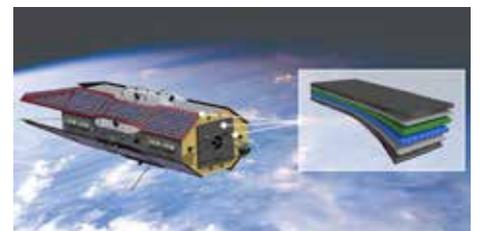
Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

M.Sc. Jonathan Millitzer
 Bartningstr. 47
 64289 Darmstadt
 Telefon +49 6151 705 8218

jonathan.millitzer@lbf.fraunhofer.de
 www.lbf.fraunhofer.de

Allianz Adaptronik auf der Hannover Messe 2019

Die Fraunhofer-Allianz Adaptronik präsentiert dem Fachpublikum elf innovative Exponate, wie z.B. digital funktionalisierte Automotive-Komponenten, die eine flexible und Stückzahl-unabhängige Produktion ermöglichen oder eine neuartige hybride Antriebstechnologie, die mit hoher Genauigkeit, Dynamik und Effizienz arbeitet. Der kraftsensitive Greifer mit Formgedächtnislegierung (FGL) ist sehr flexibel in seiner Anwendung, platzsparend und kostengünstig. Zur Auslegung und zum selbstoptimierenden Betrieb wird ein digitaler Zwilling eingesetzt.




Fraunhofer
ADAPTRONIK

Copyright: Fraunhofer LBF

HANNOVER MESSE 2019

01. - 05. April

Wir sind dabei!



Besuchen Sie uns am Gemeinschaftsstand in Halle 2, Stand C 22.

Unter anderem stellen wir Ihnen vor:

- Hybridantriebe und integrierte Funktionen für Produktions- und Fertigungsmaschinen
- Digitalisierungssymbiose virtueller und experimenteller Methoden
- Smarte Sensoren und energieautarke Systeme
- Sensorisches Unterlegscheibensystem
- Energy Harvesting - Regenerative Energieversorgung für drahtlose Sensoren

Gern informieren wir Sie in einem persönlichen Gespräch vor Ort. Wir empfehlen eine Terminvereinbarung vorab über unsere E-Mail-Adresse: info@adaptronik.fraunhofer.de

Weitere Informationen finden Sie unter: www.adaptronik.fraunhofer.de

SensoTool und PermaVib

■ Intelligente Maschinenkomponenten für die Zerspanung

Die Steigerung von Produktivität und Qualität ist eine wesentliche Aufgabe in der spannenden Fertigung. Bereits seit langer Zeit kommen deshalb Systeme zur Überwachung der Fertigungsprozesse zum Einsatz. Bisher muss man dazu auf Sensorik zurückgreifen, die weit weg von der Wirkstelle platziert ist, wie z.B. die Stromsignale der Antriebe oder eine Schwingungsmessung am Gestell der Maschine. Eine zuverlässige und genaue Charakterisierung des Prozesszustandes ist damit nur ungenügend möglich, was ein zuverlässiges Erkennen von Prozessfehlern wie z.B. Schneidenausbrüchen oder erhöhter Schneidenschleiß deutlich erschwert.

Prozesskräfte messen, wo sie auftreten

Wissenschaftler des Fraunhofer IWU und des Fraunhofer IKTS entwickelten deshalb gemeinsam mit mehreren Industrieunternehmen im Projekt „SensoTool - Werkzeugintegrierte Sensorik zur Prozessüberwachung in der Zerspanung“ eine wirkstellennahe Sensorik für den Einsatz auf einem Werkzeugträger eines Zerspanungswerkzeuges. Das Projekt wird vom BMBF im Rahmen der Initiative „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ gefördert und ist Teil des Konsortiums „smart3 | materials – solutions - growth“ (<http://www.smarthoch3.de>). Direkt unter der Wendeschneidplatte können mit der Sensorik Kraftverlauf und Temperatur während der Bearbeitung erfasst werden. Als Sensortechnologie werden pie-



Abb.: Das sensorische Werkzeug ›SensoTool‹ ermöglicht eine exakte Charakterisierung von Fertigungsprozessen.

zokeramische Dickschichten sowie Aluminiumnitrid-Dünnschichten betrachtet. Beide Schichtsysteme besitzen piezoelektrische Eigenschaften und können deshalb zur Kraftmessung genutzt werden. Während die piezokeramischen Dickschichten eine hohe Sensitivität aufweisen, bieten Aluminiumnitrid-Schichten eine hohe Temperaturstabilität und eine hohe Festigkeit. Das gemessene Signal wird direkt auf dem rotierenden Werkzeug vorverarbeitet. Mittels einer in den Werkzeugträger integrierten Elektronik wird das Signal verstärkt, gefiltert sowie komprimiert bzw. codiert. Für die Zuführung der

notwendigen Energie von außen und für die Übertragung des komprimierten Messsignals sorgt eine drahtlose Übertragungsstrecke auf RFID-Basis. Auf der Maschinenseite wird das Kraftsignal wieder decodiert und an die Steuerung der Werkzeugmaschine übergeben. Diese setzt das Signal in Relation zur aktuellen Bearbeitungsaufgabe und erkennt Abweichungen vom Normalzustand wie z.B. einen durch einen Schneidenausbruch veränderten Schnittkraftvektor.

Mit Ultraschall zur Produktivitätssteigerung

Ein weiteres Handlungsfeld der Wissenschaftler des Fraunhofer IWU ist die Entwicklung von Komponenten, die ein Eingreifen in den Fertigungsprozess ermöglichen. Bei der spannenden Bearbeitung von faserverstärkten Kunststoffen und Keramik treten heute noch typische Fehler wie Faserausrisse, Delamination und Ausbrüche des Werkzeuges bzw. des Werkstücks auf. Die Effizienz der Bearbeitung metallischer Werkstoffe beschränken schlecht abzuführende Späne und Gratbildung. Die von Fraunhofer IWU gemeinsam mit vier Industriepartnern entwickelten ›PermaVib‹-Systeme ändern das. Sie regen das Werkzeug mit Ultraschall zum Schwingen an und sorgen so dafür, dass bis zu 40 Prozent weniger Kraft für die Bearbeitung aufgebracht werden muss. Dadurch werden geringere Spangrößen, eine verbesserte Spanabfuhr und eine verbesser-

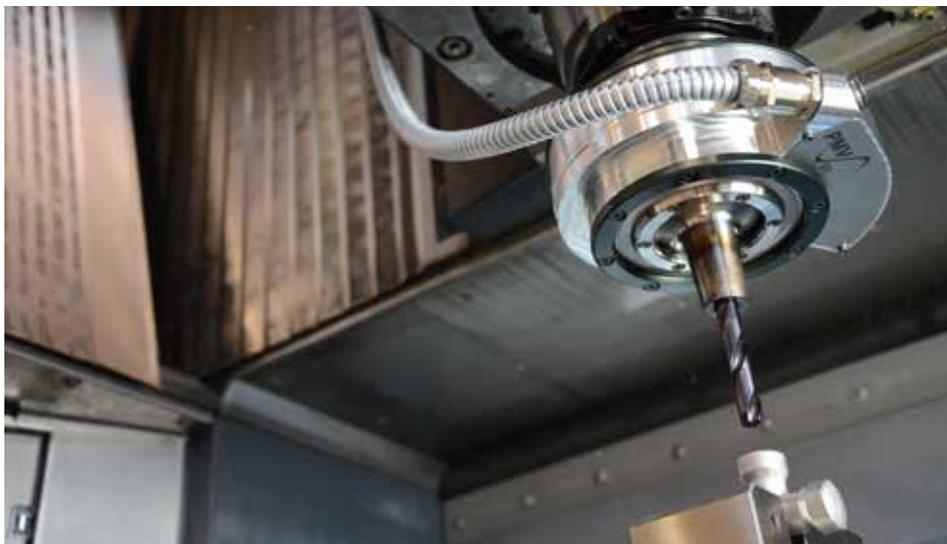


Abb.: Universelles Schwingensystem ›PermaVib‹ zur Produktivitätssteigerung in der Zerspanung

te Bauteilqualität erzielt, gleichzeitig wird der Werkzeugverschleiß um bis zu 50 Prozent reduziert. Zudem lassen sich bestehende Werkzeugmaschinen ohne großen Aufwand mit den Systemen nachrüsten, weil diese als Module in beliebige Bearbeitungszentren integriert werden können. Ausgeführt sind die ›PermaVib‹-Systeme als Werkzeughalter mit Schrumpffutter, die anstelle der konventionellen Werkzeughalter in die Maschinenspindel eingesetzt werden. Im Innern verfügen sie über einen piezokeramischen Wandler, der eine hochfrequente elektrische Wechselspannung in schnelle Bewegungen übersetzt. So werden die konventionellen Vorschub- und Schnittbewegungen von einer Längsschwingung überla-

gert. Durch die Geometrie des Systems wird die Schwingungsamplitude verstärkt. An der Werkzeugspitze werden so Werte im zweistelligen Mikrometerbereich erreicht. Das Gehäuse ist jedoch von den Schwingungen entkoppelt, womit Spindel und Lager vor unerwünschten Vibrationen geschützt sind. Die Regelung und Energieversorgung von ›PermaVib‹ erfolgt unabhängig von der Energieversorgung und Steuerung des jeweiligen Bearbeitungszentrums, indem eine externe Versorgungseinheit außerhalb des Arbeitsraumes aufgestellt wird. Auf diese Weise müssen keine Umbauten an der Maschine vorgenommen werden. Die Erprobung des Schwingensystems bei Interessenten ist so unkompliziert möglich.

Nähere Informationen finden sich unter <http://www.ultraschall-schwingensystem.de>.

KONTAKT:

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU

André Bucht
Nöthnitzer Straße 44
01187 Dresden
Telefon +49 351 4772 2344

andre.bucht@iwu.fraunhofer.de
www.iwu.fraunhofer.de

EVENTS

Symposium 4SMARTS

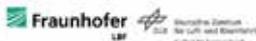
Prof. Dr. Johann-Dietrich Wörner
ESA-Generaldirektor, European Space Agency
Raumfahrt: Treiber von innovativen Materialien, Strukturen und Systemen

Daniel Büning
Co-Founder and Managing Director NOWLAB
| The BigRep Consultancy
Ideate | Design | Manufacture – How additive manufacturing is enabling a novel innovation protocol

Dr. Udo Jauernig
Robert Bosch GmbH, Automotive Electronics, Reutlingen
Collaboration as Key - in networks across functions, disciplines, organizations



22.-23. Mai 2019
Darmstadt



Prof. Dr.-Ing. Welf-Guntram Drossel
Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
smart3 - Forschungsnetzwerk für die Adaptionik

Dr. Stefan Loheide
Boge Rubber & Plastics GmbH, Damme
Neue Trends der Automobilentwicklung „Whats in for me“ – Wandel aus Sicht eines Zulieferers

<https://4smarts2019.inventum.de>

Tagungsort
Maritim Hotel Darmstadt
Rheinstraße 105
64295 Darmstadt

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PIEZOCOMPOSITE APPLICATIONS

https://www.ikts.fraunhofer.de/en/communication/events/ispa_2019.html

OCTOBER 9–11, 2019,
DRESDEN, GERMANY



Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit (LBF)



Abb.: Institutshauptgebäude des LBF

■ Das Angebot des Fraunhofer LBF basiert auf umfassenden Kernkompetenzen im Bereich der numerischen und experimentellen Betriebsfestigkeit, der Systemzuverlässigkeit, der Adaptronik sowie der Polymertechnik und erstreckt sich 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.

Mehr als 400 Mitarbeiter, Experten und Fachkräfte unterschiedlicher Disziplinen, arbeiten unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. Tobias Melz am Fraunhofer LBF und den assoziierten Fachgebieten Makromolekulare Chemie sowie Systemzuverlässigkeit und Maschinenakustik an der TU Darmstadt zusammen und bearbeiteten 2017 Industrie- und Forschungsprojekte im Wert von rund 28 Millionen Euro.

Forschung

Das Fraunhofer LBF bietet angewandte Forschung und Entwicklung sowie Technologietransfer in den Leistungsbereichen Leichtbau, Zuverlässigkeit, Schwingungstechnik und Polymertechnik. Die Lösungen erstrecken sich

vom Produktdesign bis hin zur Nachweisführung. Speziell im Leistungsfeld Polymertechnik kann das Institut mit der Polymersynthese und umfassender Materialcharakterisierung bereits in einer besonders frühen Stufe der Wertschöpfung unterstützen.

Forschungsschwerpunkte sind die Entwicklung von aktiven bzw. adaptiven Systemen (Cyber Physical Systems) zur Schwingungs- und Lärmreduktion sowie zur Struktur- und Zustandsüberwachung (Structural Health Monitoring, Condition Monitoring), z.B. von Maschinen, außerdem die Synthese von Kunststoffen, deren Additivierung und damit die Funktionalisierung von Kunststoffen (z.B. Flammschutz), die Entwicklung und Bewertung von Kompositmaterialien und -bauteilen bis hin zur Entwicklung und Optimierung von Fertigungsprozessen. Weitere Forschungsthemen sind die Additive Fertigung und damit verbunden die Zuverlässigkeitsbewertung von additiv gefertigten Bauteilen für lasttragende Strukturen sowie insbesondere integrierte Simulations- bzw. Prüf- und Testumgebungen vor dem Hintergrund der zunehmenden Digitalisierung in der Produktentwicklung (Digital Twin, Digital Prototyping).

Das Fraunhofer LBF ist in einer Vielzahl von internationalen und nationalen sowie regionalen Verbundprojekten aktiv dazu zählen u.a.

„Mittelstand 4.0 – Kompetenzzentrum Darmstadt“ (BMW), „TechReal – Anheben des Technology Readiness Levels durch frühzeitiges realitätsnahes vernetztes Prüfen von E-Antrieben“ (BMW), Badge-B – Betriebsfestigkeit additiv gefertigter Bauteile (BMBF), „OpenAdaptronik – Open Source Werkzeugkasten für die adaptronische Erhöhung der Präzision in photonischen Systemen“ (BMBF), „ALLIANCE – Affordable Lightweight Automobiles Alliance“ (EU), „ZuLeSELF-Zustandsüberwachung von Leistungselektronik für Serien-Elektrofahrzeuge“ (BMBF), „Bio-Flammschutz“ (BMBF), „LeichtFahr – Optimierter Leichtbau unter Berücksichtigung des Schwingungs- und Akustikverhaltens der Fahrzeugstruktur“ (BMW).



Institutsgeschichte

Die bewegte Geschichte des LBF startete mit Gründung der Bautz-Bergmann Werkstoff- und Konstruktionsberatung GmbH in Darmstadt, die 1950 mit dem Physikalisch-Technischen Labor, zum namensgebenden Laboratorium für Betriebsfestigkeit (LBF) fusionierte. Als eines der ersten Mitglieder wurde das LBF 1962 in die Fraunhofer-Gesellschaft aufgenommen und 1979 als Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit LBF umbenannt. Im Laufe der Geschichte entwickelte sich die Fahrzeugindustrie neben der Luftfahrtindustrie zu einem wichtigen Markt für das Institut. Mit der Berufung von Prof. Holger Hanselka folgte nicht nur der Aufbau des Forschungsbereichs Adaptronik in das Forschungsportfolio des Instituts, sondern auch die Namensänderung in Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und System-

zuverlässigkeit (2004). Weitere wichtige Meilensteine der jüngsten Geschichte waren die Integration des ehemaligen Deutschen Kunststoff-Instituts als Forschungsbereich Kunststoffe (2012) und die Gründung des Zentrums für Systemzuverlässigkeit Elektromobilität/ZSZ-e (2015).

Branchen/Kunden

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 Bran-

chen. Als eines der traditionsreichsten Institute der Fraunhofer-Gesellschaft verfügt das Fraunhofer LBF über Kooperationen, mit OEM und mit Zulieferunternehmen, mit Unternehmen der Großindustrie wie auch kleinen und mittelständischen Unternehmen sowie mit Partnern aus der Wirtschaft und aus der Wissenschaft.

KONTAKT:

Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

Bartningstraße 47
64287 Darmstadt

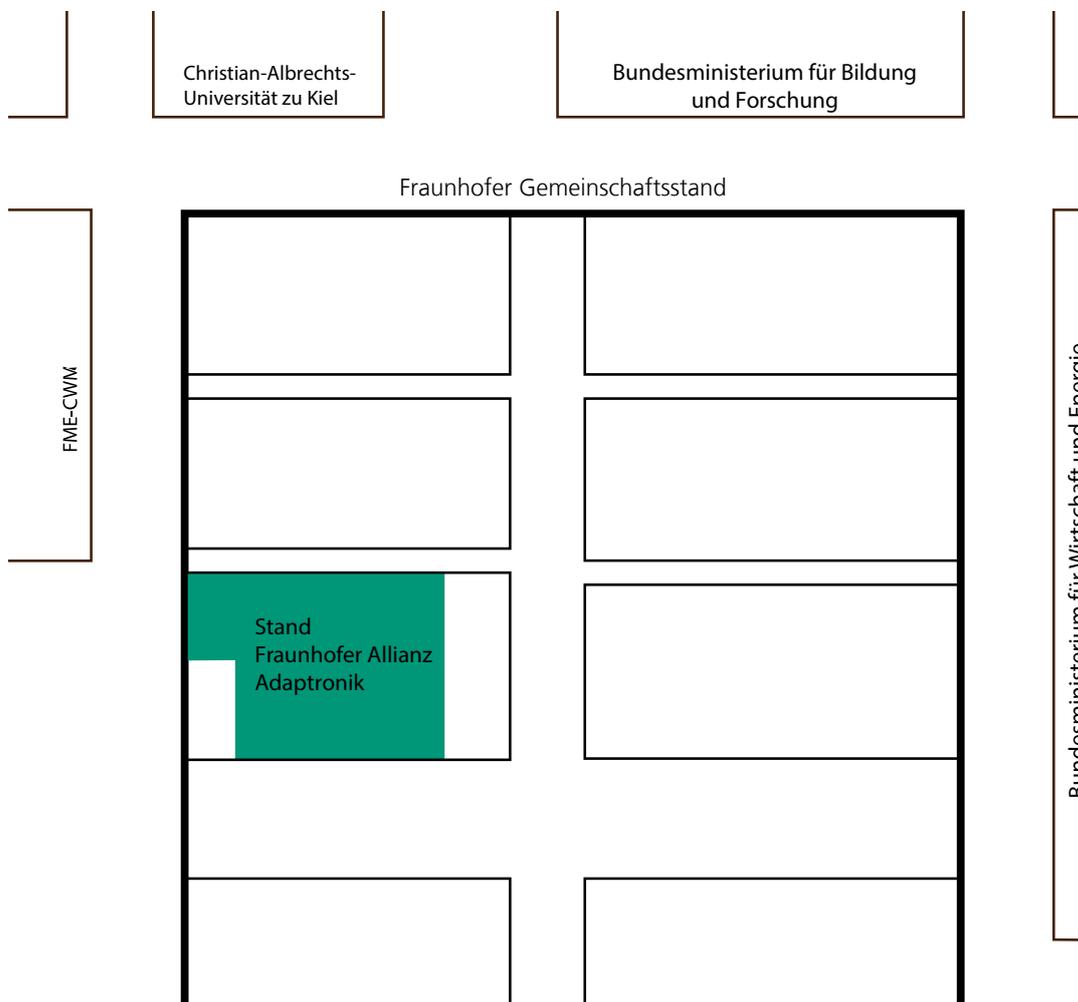
Telefon +49 6511 705 0
info@lbf.fraunhofer.de



Abb.: Transferzentrum Adaptronik (Halle)

Adaptronik - Technik, die verändert

Hier finden Sie uns:



Lageplan Halle 2

Fraunhofer
Hannover Messe
1.-5. April 2019
Halle2, Stand C22

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:

Dipl.-Ing. Heiko Atzrodt

ALLIANZSPRECHER:

Prof. Dr.-Ing. Tobias Melz

REDAKTION:

Elena Gaudchau, Stefanie Schmahl

SOCIAL MEDIA

[Twitter: Fraunhofer Allianz Adaptronik](#)
[Facebook: Fraunhofer Allianz Adaptronik](#)
Instagram: fraunhofer_aa

 **Fraunhofer**
ADAPTRONIK