

# FRAUNHOFER-ALLIANZ ADAPTRONIK



# WAS IST ADAPTRONIK?

Die Adaptronik ist eine aktive Strukturtechnologie, die auf der Integration sensorischer und aktorischer Funktionen in mechanische Strukturen basiert. Im Angelsächsischen spricht man von Smart Structure Technologie. Sie zielt auf eine Optimierung von Produkten durch eine gezielte Beeinflussung mechanischer Struktureigenschaften. Im Fokus stehen die aktive Kontrolle von Schwingungen, Lärm und Verformungen und die Überwachung von Bauteileigenschaften. Bei der Systemauslegung wird üblicherweise auf multifunktionale Materialsysteme zurückgegriffen (z. B. elektromechanische Wandler und Piezokeramiken). Dies ermöglicht den Aufbau sensorischer und aktorischer Materialsysteme, die – in mechanische Bauteile integriert – eine Kontrolle von Störenergien erlauben.

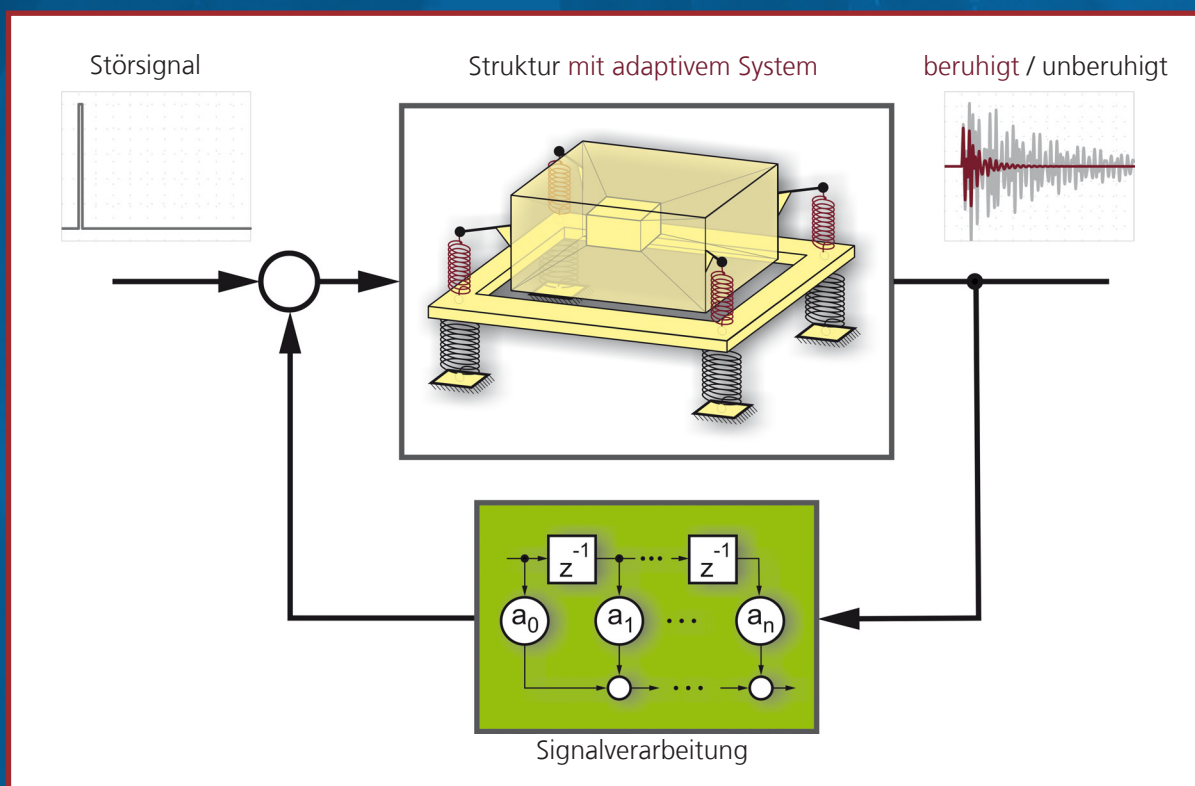


Bild 1: Schematische Darstellung eines adaptronischen Systems am Beispiel einer Gerätelagerung (schwarz: passive Komponenten, rot: aktive Komponenten)

Mittels Adaptronik werden Strukturen realisiert, die eine Anpassung (Adaption) von Struktureigenschaften an sich betrieblich verändernde Bedingungen erlauben. Solche Strukturen erfüllen Forderungen nach einer Produktverbesserung bezüglich Leistung, Lebensdauer, Leichtbau und Funktion. So können beispielsweise Sicherheitseigenschaften durch Bauteilüberwachung oder Lastkontrolle sowie Komforteigenschaften und Präzision durch verbesserten Leichtbau optimiert oder mechanische Systemfunktionen vereinfacht werden.

# Wissenschaftliche Bereiche

Einen besonderen Stellenwert für die Entwicklung adaptronischer Struktursysteme haben die Themenfelder:

- intelligente Werkstoffsysteme für Aktoren und Sensoren
- Auslegung und Entwicklung von Komponenten und Systemen
- Fertigung und Systemintegration
- Funktionsnachweis und Systemzuverlässigkeit.

Gemäß diesen Schwerpunkten werden kontinuierlich FuE-Projekte zur Strukturoptimierung und Know-how-Erweiterung und zur Lösung anwendungsspezifischer Probleme bearbeitet. Ein wichtiges Thema ist die Entwicklung und Verwendung neuartiger intelligenter Materialsysteme, um Komponenten mit verbesserten gekoppelten z. B. elektro-, magneto-, thermomechanischen Funktionseigenschaften nutzbar zu machen. Darüber hinaus werden die relevanten Systemkomponenten wie die Aktorik, Sensorik, Elektronik, Regelungstechnik und Software mit dem Ziel der Zuverlässigkeitssteigerung und Kostenminderung weiterentwickelt. Um eine kosteneffiziente Realisierung robuster adaptiver Systeme in kleiner bis großer Stückzahl zu ermöglichen, werden neue Verfahren und Werkzeuge zur Auslegung und Fertigung adaptiver Komponenten und Systeme erarbeitet. Darunter fallen die Produktionstechnik, Designregeln sowie die Systemanalyse und Simulation. Unter dem Stichwort Systemintegration werden die vorgenannten Bereiche zusammengeführt und implementiert. Die betriebliche Zuverlässigkeit dieser Bereiche muss dabei unter allen relevanten Randbedingungen ermittelt und jederzeit sichergestellt werden.



*Bild 2: Allianssprecher  
Prof. Dr.-Ing. Tobias Melz*

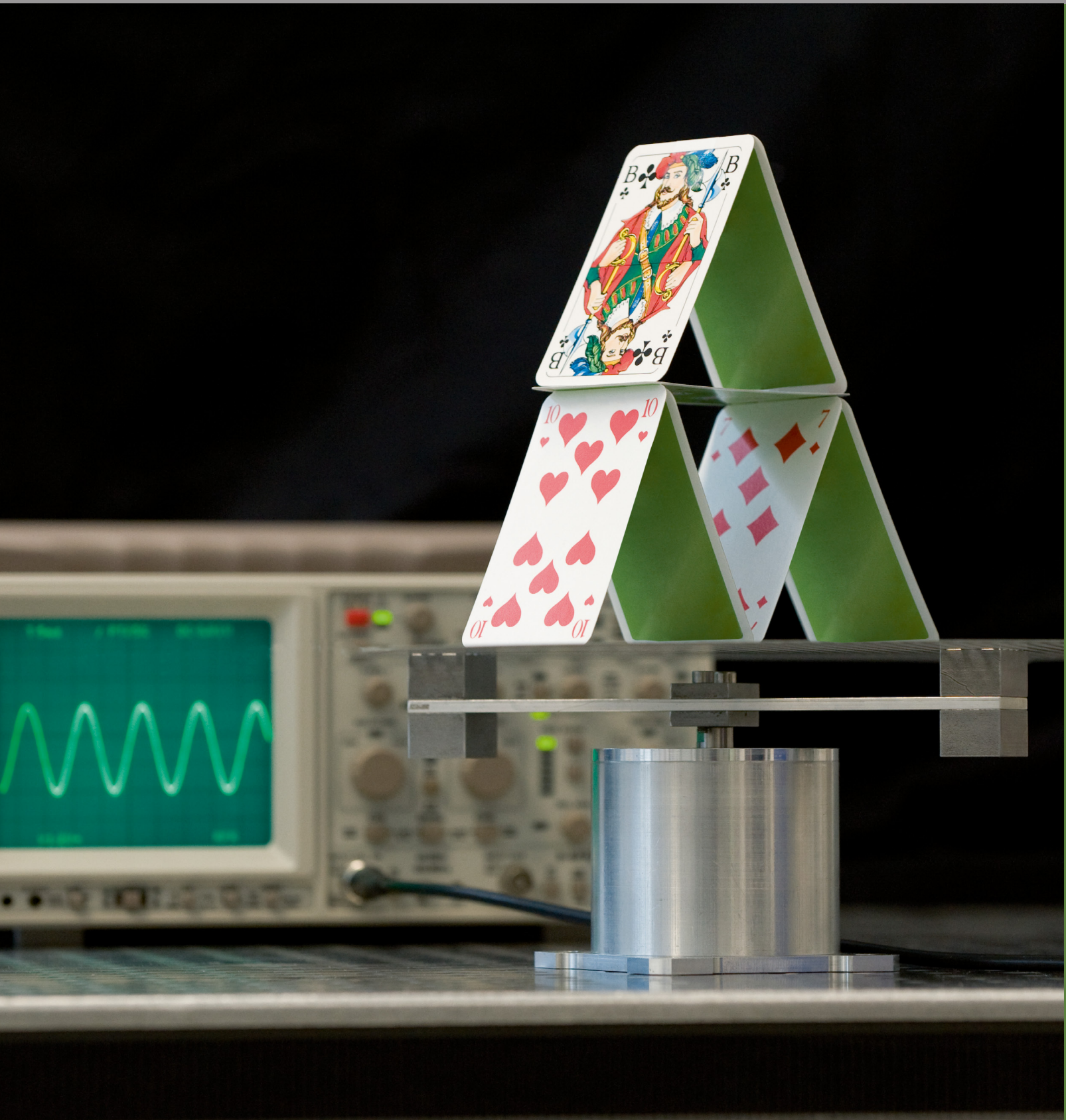
# Die Fraunhofer-Allianz Adaptronik

Mit dem anwendungsorientierten Forschungsauftrag der Fraunhofer-Gesellschaft kooperieren in der Fraunhofer-Allianz Adaptronik (FAA) thematisch komplementär ausgerichtete Institute im Bereich Adaptronik. Die Partner arbeiten dabei sowohl in wissenschaftlichen als auch in industriellen Forschungsk Kooperationen je nach Anwendungsbedarf zusammen. Dadurch sind interdisziplinär basierte Lösungen aus einer Hand möglich.

Die Kompetenzen der Partner liegen in den Bereichen:

- Materialien und Komponenten
- numerische und experimentelle Simulation
- Elektronik und Regelungstechnik
- Herstellung und Verarbeitung
- Bewertung, Anwendungen und Technologietransfer.

# AKTIVE SCHWINGUNGSKONTROLLE



### Funktionsweise:

Die Aufgabe der aktiven Schwingungskontrolle besteht häufig in der Schwingungsminderung. Lösungsansätze zielen oft auf eine aktive Lagerung der Störquelle (z. B. eines Motors) oder des gestörten Systems (z. B. einer Sensoreinheit). Alternativ können inertialmassenbasierte Feder-Masse-Dämpfersysteme wie beispielsweise adaptive Tilger oder Inertialmassenerreger, die mit an die Struktur montiert werden, helfen, störende und schädigende Schwingungen zu mindern. Man spricht von Active Vibration Control (AVC).

### Anwendungsbeispiel:

#### Schwingungsminderung mithilfe adaptiver Tilger

Mit dem Leichtbau nimmt die Schwinganfälligkeit zu. Ein Lösungsansatz ist die Verwendung von adaptiven Tilgern, deren Resonanzfrequenz im Betrieb automatisch der Erregerfrequenz oder der Strukturresonanz folgt, sodass stets eine optimale Kompensation gegeben ist. Um die Resonanzfrequenz eines Feder-Masse-Systems zu verstellen, wird meist die Veränderung der Federsteifigkeit bevorzugt. Eine Veränderung der Masse ist ebenfalls möglich, in der Regel aber aufwändig und daher nur bei sehr großen Tilgersystemen für Schiffe oder Bauwerke interessant.

Adaptive Tilger können bei wechselnder Drehzahl, beim Hochlaufen von Anlagen, bei Belastungsänderungen im Einsatz, bei veränderlichen Eigenfrequenzen durch Temperaturänderungen oder Degradation und bei nichtlinearem Materialverhalten eingesetzt werden. Mittels adaptiver Tilger lassen sich höhere Drehzahlen erreichen bzw. kann der ruhige Betrieb von Maschinen sichergestellt werden. Adaptive Tilger eignen sich für Anwendungen in vielen Bereichen des Maschinenbaus, wie z. B. in der Fahrzeugtechnik, in der Luftfahrt oder im Anlagenbau.

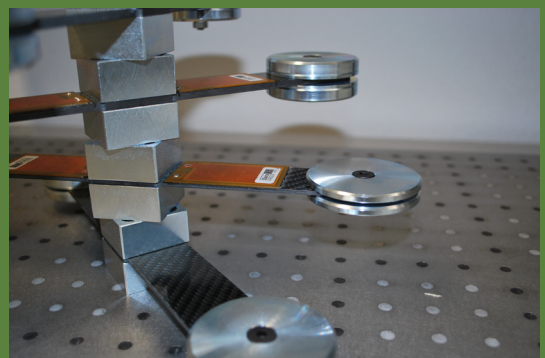
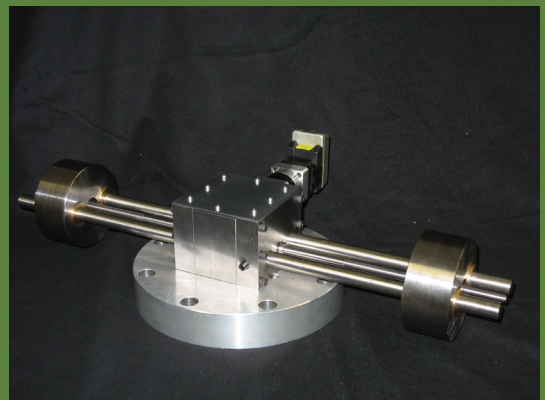
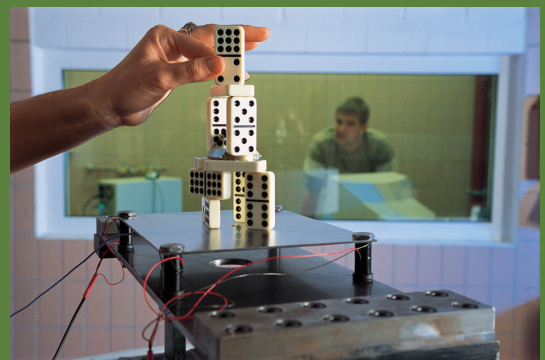


Bild 1: Aktive Schwingungsentkopplung mit piezokeramischen Wandlern

Bild 2: Adaptiver Tilger mit Motorantrieb für kleine und mittlere Frequenzen und mittlere und hohe Kräfte

Bild 3: Adaptive Tilger mit piezokeramischen Aktoren für höhere Frequenzen und kleinere und mittlere Kräfte

# AKTIVE LÄRMKONTROLLE



### **Funktionsweise:**

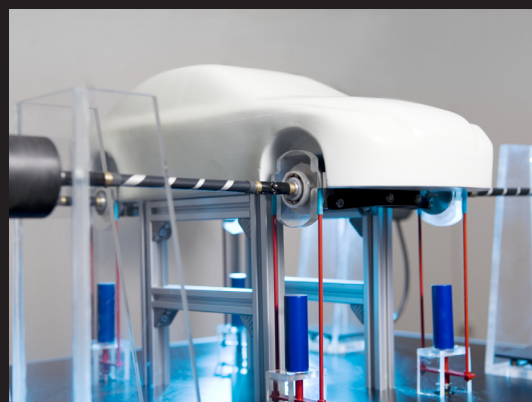
Analog zur vorgenannten AVC können in Strukturen adaptronische Maßnahmen eingebracht werden, mit dem Ziel, die Schallabstrahlung von Bauteilen zu überwachen. Die Adaptive Structural Acoustic Control (ASAC) zielt im Gegensatz zu alternativen aktiven Ansätzen zur Lärminderung darauf ab, die Störausbreitung bereits innerhalb der Strukturbauteile aktiv zu kontrollieren, um eine daraus resultierende Schallabstrahlung zu verhindern.

### **Anwendungsbeispiel:**

#### **Aktive Aggregatlagerung zur Reduktion von Struktur-schwingungen und Körperschallübertragung**

Um den Lärm und die Vibrationen an Bord von Schiffen wirksam zu verringern, wurden aktive Lager zur Schwingungsentkopplung entwickelt. Zum Einsatz kommen hierbei piezokeramische Wandler, dessen sensorische Funktionen über einen elektronischen Regler miteinander verbunden sind. Dabei werden die vom Motor eingeleiteten Schwingungen gemessen und an Phase, Frequenz und Amplitude angepasste Kräfte in die Struktur eingeleitet. So lassen sich mechanische Eigenschaften wie das Dämpfungsverhalten oder die Steifigkeit der Motorlager aktiv beeinflussen. Diese Lösung ist breitbandig einsetzbar und kann direkt in konventionelle Lagerungen integriert werden.

Das entwickelte aktive Lagerungskonzept ermöglicht den aktorischen Eingriff in Frequenzbereiche von 30 bis 350 Hz, in einem Spektrum, in dem passive konventionelle Elastomerlager keine oder nur unzureichende Wirksamkeit erzielen. Die aktive Aggregatlagerung hingegen wirkt direkt im Kraftfluss der Motorlager und reduziert damit die Übertragung deutlich besser als passive Lösungen. Damit unterscheidet sich das Projekt klar von anderen Lösungsansätzen, bei denen mittels elektrodynamischer, nicht im Kraftfluss der Lager arbeitenden Kompensatoren eine Gegenschwingung erzeugt wird. Schwingungs- und lärmberuhigten Aggregaten wird deshalb im Schiffbau und in anderen Branchen wie dem Automobil-, Schienen- und Flugzeugbau eine hohe wirtschaftliche und technologische Bedeutung beigemessen.



*Bild 1: Untersuchung zur Schallausbreitung in Automobilen*

*Bild 2: Modell eines Test-Prüfstandes zur Entwicklung aktiver Systeme im Automobilbau*

*Bild 3: Erprobung der aktiven Aggregatlagerung auf der Nordsee*

# AKTIVE FORMKONTROLLE / SONDERAKTORIK





### Funktionsweise:

Durch die Integration und Ansteuerung geeigneter multifunktionaler Materialien in Strukturbauteile (z. B. Reflektoren) kann deren Form oder Eigenschaft aktiv kontrolliert werden. Dies erlaubt im Vergleich zu konventionellen Ansätzen eine kontinuierliche Kontrolle des elastischen Formzustands bei gleichzeitig kompakter Leichtbauweise und die Realisierung neuartiger Aktoransätze zur optimalen Erweiterung der Funktionalität.

### Anwendungsbeispiel:

#### FGL-Aktoren als Basis eines sensorlosen Antriebs- und Steuerungskonzeptes für die Exoprothetik

Der aktorische Einsatz thermischer Formgedächtnislegierungen (FGL) rückt aufgrund der deutlichen Verbesserungen der Werkstoffeigenschaften immer mehr in den Fokus der anwendungsorientierten Forschung. Neben den Möglichkeiten des Einsatzes derartiger Aktoren bei Werkzeugmaschinen und im Bereich der Fahrzeugtechnik erlauben die Formgedächtnismaterialien auch medizintechnische Applikationen. Aktuell werden thermische FGL auf ihre Anwendbarkeit als Aktoren für die Exoprothetik untersucht. Das Hauptanliegen ist hierbei die Entwicklung eines sensorlosen Antriebs- und Steuerungskonzeptes zur Ergänzung vorhandener Antriebssysteme von Fremdkraftprothesen.

Ein vielversprechendes Resultat dieser Untersuchungen ist die Entwicklung eines Greifmechanismus auf Basis eines Self-Sensing-Aktors, der verschiedene Möglichkeiten zur Ergänzung vorhandener Antriebssysteme im Bereich der Exoprothetik und Orthetik bietet.

Bei dem entwickelten Greifmechanismus entsprechen die Aktoren dem natürlichen Vorbild der Muskeln: Die Aktordrähte sind im Unterarm des Greifsystems aufgespannt und übertragen ihre Zugkraft über künstliche Sehnen auf die Finger. Um das Funktionsprinzip zu verdeutlichen, ist die Gelenkstruktur in einem aktuellen Testbauteil (siehe Bild 2) auf insgesamt neun Drehgelenke begrenzt.

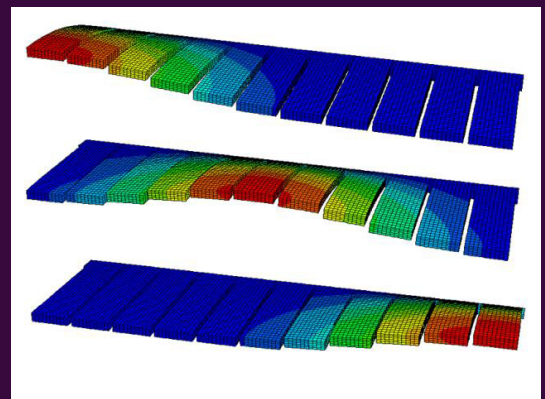


Bild 1: FEM-Simulation der Pumpenfunktion einer Mikropumpe mit PZT-CFK-Biegerarrays

Bild 2: Pinzettengriff mithilfe eines FGL-Self-Sensing-Aktors

Bild 3: MRF-Kupplung für automotive Anwendungen im Bereich der Elektromobilität

# STRUCTURAL HEALTH MONITORING



### Funktionsweise:

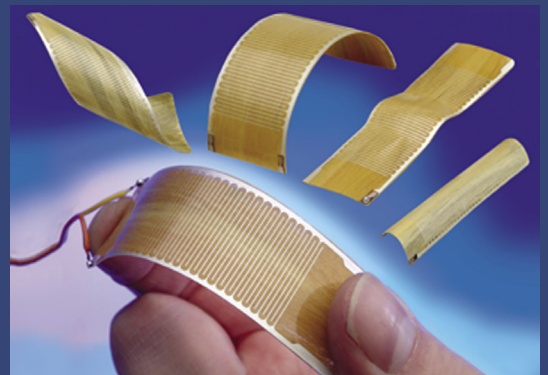
Mittels adaptiver Ansätze lassen sich gezielt Vibrationen in Strukturen einleiten. Daraus resultierende Strukturreaktionen können durch eine geeignete Signalverarbeitung hinsichtlich ihrer mechanischen Beanspruchungen oder Schädigungsmerkmale bewertet werden. Hierdurch können Bauteile während des Betriebs überwacht und ggf. bedarfsgerecht Wartungsmaßnahmen angefordert werden. Alternativ können mit vorgenannten Maßnahmen der AVC oder Sonderakustik gezielt Bauteilbeanspruchungen gemindert werden. Dadurch lassen sich Lebensdauer und Verlässlichkeit von Strukturen steigern.

### Anwendungsbeispiel:

#### Structural Health Monitoring zur Bauteilüberwachung

Derzeit arbeiten Wissenschaftler der Fraunhofer-Allianz Adaptronik daran, natürliche Faktoren wie Wind oder Wasser für eine automatisierte Schwingungsanalyse zu nutzen. Um z. B. die Struktur eines Windrades zu überwachen, kann die Winderregung selbst genutzt werden. In einem Testaufbau werden dazu Beschleunigungssensoren angebracht und die aufgenommenen Schwingungsdaten von eingebetteten Signalverarbeitungssystemen verarbeitet. Ein System übernimmt die Vorverarbeitung der Signale und komprimiert die Daten, ein anderes erledigt die weitere Auswertung und bestimmt die Strukturcharakteristik (hier die Resonanzfrequenzen). Ändern sich die Resonanzfrequenzen im Betrieb, kann dies eine Schädigung der Struktur bedeuten.

Nicht nur bei Windenergieanlagen, sondern auch bei Brücken, Schiffen oder Flugzeugen ist es wichtig, das Strukturverhalten zu überwachen. Bei Flugzeugen verwendet man bisher gewöhnlicherweise unter den Tragflächen angebrachte elektrodynamische Erreger, um Defekte festzustellen. Im Unterschied zu bisherigen Testverfahren wie diesem verzichtet die Output Only Modal Analysis (OMA) auf eine künstliche Strukturerrögen (z. B. Hammer oder Shaker) und greift auf natürliche Erregerquellen der Umwelt zurück. Langwierige und teure Hammertests könnten mit OMA teilweise überflüssig werden.



*Bild 1: Aluminiumtretkurbel mit eingegossenen piezokeramischen Wandlern zur Ermittlung der Verlust- und Wirkkraft beim Fahrradfahren*

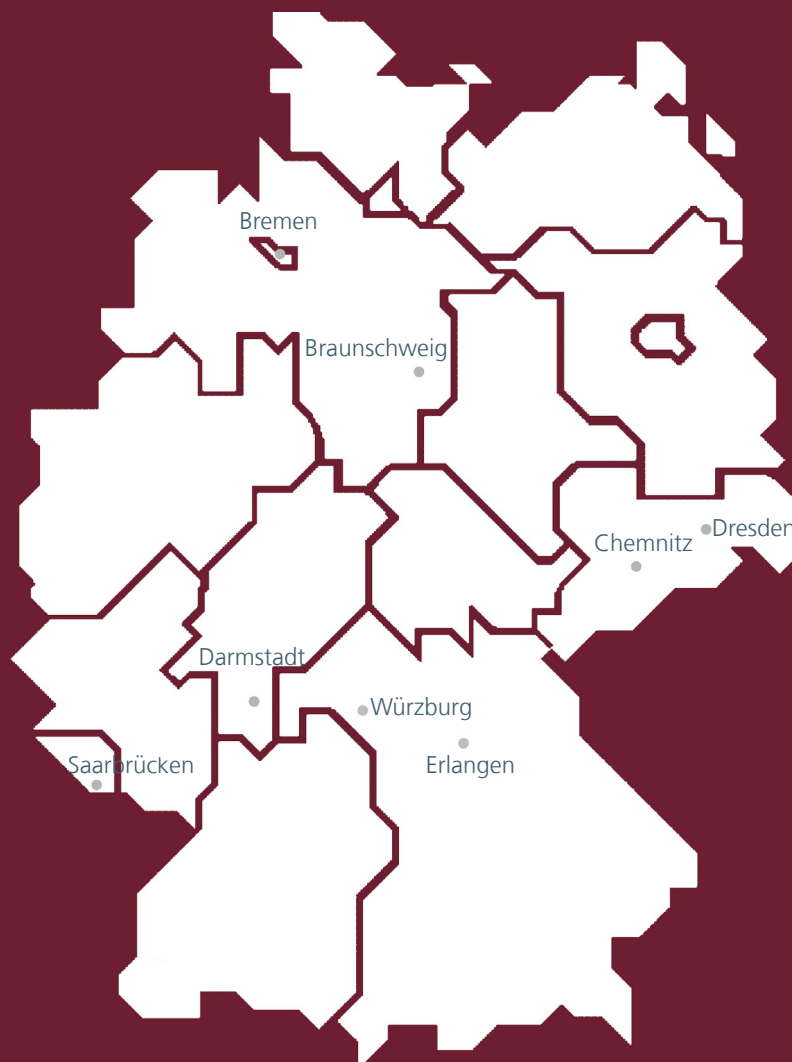
*Bild 2: Piezokeramische Wandler zur Schwingungserregung*

*Bild 3: Flugzeugmodell mit integrierter SHM-Sensorik*

# ADAPTRONIK - TECHNIK, DIE VERÄNDERT

## Die beteiligten Institute

Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF, Darmstadt  
Fertigungstechnik und angewandte Materialforschung IFAM, Bremen  
Integrierte Schaltungen IIS, Erlangen  
Keramische Technologien und Systeme IKTS, Dresden  
Schicht- und Oberflächentechnik IST, Braunschweig  
Silicatforschung ISC, Würzburg  
Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, Dresden  
Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken



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

Allianzsprecher:  
Prof. Dr.-Ing. Tobias Melz

Geschäftsführer:  
Dipl.-Ing. Heiko Atzrodt