

1 Prüfumgebung für aktive Motorlager

## POTENZIAL VON IN-THE-LOOP-TECHNOLOGIEN LÜCKENLOS NUTZEN

### Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

Bartningstraße 47  
64289 Darmstadt

Ansprechpartner

Jonathan Millitzer  
Telefon +49 6151 705-8218  
jonathan.millitzer@lbf.fraunhofer.de

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

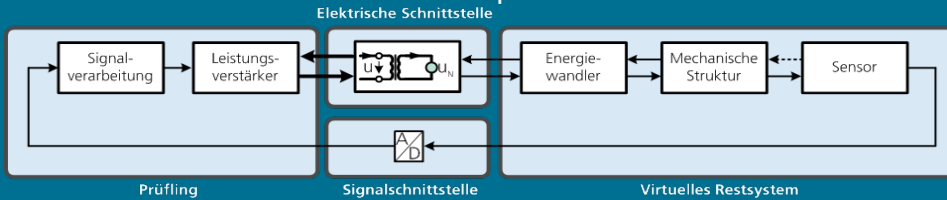
Moderne mechatronische Systeme integrieren eine große Anzahl von Funktionen und besitzen vielfältige Schnittstellen mit ihrer Umgebung. Um solche Systeme im Versuchsfeld testen zu können, ist eine realitätsnahe Simulation ihrer Umgebung erforderlich. Im Bereich komplexer mechatronischer Systeme sind dabei die realitätsnahe Nachbildung von mechanischen Wechselwirkungen sowie der Austausch von elektrischen Energie- und Informationssignalen des zu testenden Systems mit seiner Umgebung von besonderem Interesse. Die Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme folgt im Allgemeinen dem V-Modell. Wie gut bestehende Anforderungen an ein zu entwickelndes System tatsächlich erfüllt wurden, kann dabei oftmals erst im Feldversuch evaluiert werden, da dort alle

relevanten Wechselwirkungen zwischen dem zu testenden System mit seiner Umgebung berücksichtigt werden. In Folge dessen entsteht ein hoher Aufwand für die Funktionsvalidierung und die Kosten für eine Nachbesserung am bereits realisierten Gesamtsystem sind hoch. Dies erklärt die Motivation, Komponententests realitätsnäher zu gestalten und Wechselwirkungen zwischen dem Prüfling und seiner Umgebung bereits am Prüfstand nachzubilden.

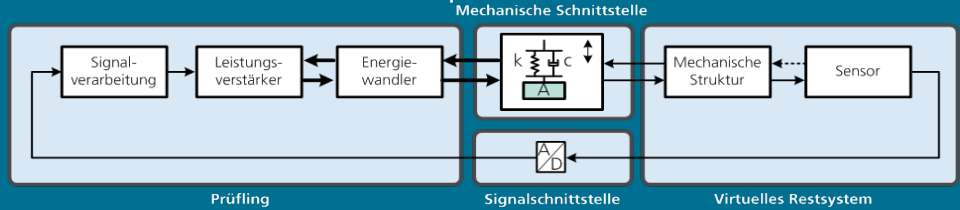
Im Bereich der Funktionsvalidierung eingebettete Steuergeräte tauscht das Steuergerät mit der Echtzeitsimulation des virtuellen Restsystems Signale und Informationen aus. Ein solcher Hardware-in-the-Loop-Test auf Signalebene ermöglicht somit einen frühzeitigen und reproduzierbaren Komponententest auch unter kritischen



## Electrical Power-Level Hardware-in-the-Loop



## Mechanical-Level Hardware-in-the-Loop



### 2 Leistungselektrischer und mechanischer Hardware-in-the-Loop-Test am Beispiel eines aktiven Systems zur Schwingungsminderung

Systemzuständen. Das Fraunhofer LBF verfolgt das Ziel die In-the-Loop-Technologie ebenfalls auf mechanische und leistungselektrische Systeme zu erweitern. Durch Power-Level oder Mechanical-Level Hardware-in-the-Loop können zukünftig leistungselektronische Komponenten oder mechanische Struktursysteme an einem virtuellen Restsystem getestet werden. Zur Kopplung des zu testenden Teilsystems mit der virtuellen Echtzeitsimulation seiner Umgebung werden dabei leistungselektrische und mechanische Energieschnittstellen eingesetzt, die selbst eine geregelte Leistungselektronik oder ein aktives Struktursystem darstellen. Die am LBF realisierten Prüfumgebungen für leistungselektrische und mechanische Systeme sind frei programmierbar zeichnen sich durch die Integration adaptiver Regelalgorithmen, leistungsfähiger Aktoren, echtzeitfähiger Simulationsmodelle und einer optimierten strukturdynamischen Auslegung durch eine hohe Signalgüte aus.

Ein leistungselektrischer Power-Level Hardware-in-the-Loop Test wurde bereits konzeptionell für den realistischen Test eines Leistungsverstärkers umgesetzt. Mit der realisierten 3kW-Energieschnittstelle lassen sich dabei elektrische Spannungen im Bereich von  $\pm 200V$  und Ströme in der Größenordnung von  $\pm 15A$  nachbilden. Das virtuelle Restsystemverhalten – in diesem Fall ein elektrodynamischer Strukturaktor – konnte mit einer hohen Dynamik bis in den Frequenzbereich von etwa 200 Hz emuliert werden. In einem nächsten Schritt wurde die Prüfung des Leistungsverstärkers zusätzlich um eine Umweltsimulation (Vibrationen, Schock, Temperatur und Feuchte) erweitert. Mechanische Hardware-in-the-Loop-Schnittstellen werden im einfachsten Fall als verstellbare Steifigkeits- oder Dämpfungselemente realisiert, die einen großen Verstellbereich abdecken. Durch die Integration von zusätzlichen Aktoren in eine mechanische Schnittstelle, konnte in ersten Versuchen das Verhalten eines nicht-linearen Elastomerlagers

nachgebildet werden. Durch die Kombination einer semiaktiv einstellbaren Steifigkeit mit einem Aktor und einer geeigneten Regelung ist es möglich, mit der Schnittstelle verschiedene Lagereigenschaften nachzubilden und die Steifigkeit und Hysterese unabhängig voneinander einzustellen. Parametervariationen zur Ermittlung eines optimalen Elastomerlagers können so im Versuch in kurzer Zeit und ohne Umbauten am Prüfstand umgesetzt werden.

Zukünftig kann der Entwicklungsprozess mechatronischer Systeme mit hoher Bandbreite und Dynamik damit durch die variable Echtzeitsimulation der mechanischen und leistungselektrischen Umgebungsbedingungen profitieren. Durch die Kopplung einer virtuellen Echtzeitsimulation mit einem signalverarbeitenden, mechanischen oder leistungselektrischen Teilsystem schließt das Fraunhofer LBF die Lücke zwischen modellbasierter Entwicklung und dem Systemtest unter Betriebsbedingungen.

#### 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

 **Fraunhofer**  
ADAPTRONIK