

März | 2021

Menschen | Projekte | Events



© Fraunhofer IST

## TRANSFORMATION - VON DER ALLIANZ ZUM GESCHÄFTSBEREICH ADAPTRONIK

### VORWORT

2 Dr.-Ing. Christian Henke

### MENSCHEN

3 Interview M.Sc. Marcel Plogmeyer

### PROJEKTE

4 Intelligente Schraubverbindung -  
Drahtlose und energieautarke  
Monitoringlösung

5 Verlängerte Lebensdauer von  
Führungskomponenten durch  
adaptive Vorspannkraft

7 Neuartige Vorrichtungen im Bereich der  
laparoskopischen Chirurgie

9 Verteilte Emergente Regelung im IoT  
mittels agil kollaborierender Systeme

11 Teilstrukturen realitätsnah prüfen  
mit flexiblen Anbindungselementen

13 I2PANEMA – IoT und aktiver  
Schallschutz in Hafen- und  
Industrieanlagen

### EVENTS

15 4SMARTS 2021\_2022  
Hannovermesse 2021

**» Die neue Adaptronik führt Fertigungs- und Informationstechnologien der Zukunft zusammen und schafft damit Mehrwerte in hochwertigen funktionalen, sicheren und nachhaltigen Produkten für die Menschen und die Wirtschaft in Europa. «**



Liebe Leser,

das Jahr 2020 hat unerwartete Veränderungen gebracht und die Rahmenbedingungen unseres Lebens und Arbeitens haben sich deutlich gewandelt. Die Fraunhofer-Gesellschaft konnte der Krise mit seiner Innovationskraft und Flexibilität gut begegnen. Zudem haben wir uns mit Forschungsprojekten in die Bewältigung der durch Corona ausgelösten Herausforderungen eingebracht. Das Ziel ist nicht nur die medizinische Krise schnellstmöglich zu überwinden, sondern auch unsere Wirtschaft für die Zeit nach Corona maximal zu ertüchtigen. Auch wir befinden uns in einem Wandel und haben uns im Zuge der Transformation der Allianz zu einem Geschäftsbereich innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft neu aufgestellt. Die „neue Adaptronik“ beschreiben wir in unserem aktuellen Positionspapier, das gerade erschienen ist. Die neue Adaptronik führt Fertigungs- und Informationstechnologien der Zukunft zusammen und schafft damit Mehrwerte in hochwertigen funktionalen, sicheren und nachhaltigen Produkten für die Menschen und die Wirtschaft in Europa. Unsere zentralen Forschungsfelder sind dabei nach den Bedürfnissen der Menschen hinsichtlich Gesundheit, Sicherheit, Kommunikation, Mobilität, Energie und Umwelt ausgerichtet.

Unser Geschäftsbereich Adaptronik beschäftigt sich mit der Entwicklung, Anwendung sowie Optimierung von intelligenten Materialsystemen und Komponenten. Darüber hinaus nimmt die Vernetzung intelligenter Systeme stetig zu, sodass auch moderne Algorithmen der Signalverarbeitung, wie z.B. Data Analytics und Maschinelles Lernen, zunehmend an Bedeutung gewinnen. Für die Realisierung und die Beherrschung der Komplexität dieser Systeme sind angepasste und neue cyberphysische interdisziplinäre Entwicklungsprozesse notwendig, die eine übergreifende Zusammenarbeit voraussetzen und den gesamten Lebenszyklus der Produkte berücksichtigen. Die neue Adaptronik führt uns hin zu intelligenten, nachhaltig und autonom agierenden technischen Ökosystemen.

Im vorliegenden Newsletter finden Sie einen Querschnitt ausgewählter Forschungsergebnisse und Aktivitäten der beteiligten Institute im Themenfeld adaptronische Systeme. Dies sind unter anderem intelligente Schraubverbindungen; die verlängerte Lebensdauer von Führungskomponenten; neuartige Vorrichtungen im Bereich der laparoskopischen Chirurgie; IoT und aktiver Schallschutz sowie die realitätsnahe Prüfung von Teilstrukturen mit flexiblen Anbindungselementen.

Auch das Jahr 2021 wird anspruchsvoll werden. Wir werden unsere Kompetenzen in den strategischen Initiativen ausbauen, zum Beispiel in den Feldern Ressourceneffizienz, Mobilität, IoT oder intelligente Medizin. Das ist der Grundstein dafür, dass wir auch in Zukunft erfolgreich sein können. In diesem Jahr wird die Hannover Messe in einem digitalen Format stattfinden. Besuchen Sie unseren virtuellen Stand und entwickeln Sie gemeinsam mit uns innovative Ideen für Ihr zukünftiges Geschäft.

Viel Spaß beim Lesen

**Geschäftsbereich Adaptronik**

Dr.-Ing. Christian Henke  
Stellvertretender Sprecher

info@adaptronik.fraunhofer.de  
www.adaptronik.fraunhofer.de

## Interview mit Marcel Plogmeyer



**»Marcel Plogmeyer studierte Physik mit den Schwerpunkten Festkörper- und Halbleiterphysik an der Ruprecht-Karls Universität Heidelberg.**

**Seit 2018 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST.«**

**■ Was ist Ihr Zuständigkeitsbereich beim Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST in Braunschweig?**

In der Gruppe Mikro- und Sensortechnologie leite ich sowohl öffentlich geförderte Projekte wie auch bilaterale Industrieprojekte zu dem Thema Dünnschichtsensorik. Unsere Gruppe entwickelt sensorintegrierte Oberflächen, die es ermöglichen Temperaturen, Kräfte, Dehnungen und Verschleiß direkt auf Oberflächen zu erfassen. Mit einer Dicke von weniger als 10 µm können unsere verschleißbeständigen sensorischen Dünnschichtsysteme auf einer Vielzahl von Werkzeugen und Bauteilen aufgebracht werden und somit die Digitalisierung von Produktionsprozessen und Produkten erst ermöglichen.

**An welchen Projekten sind Sie dort beteiligt? Was waren bisher ihre größten Erfolge?**

Unsere Projekte sind sehr vielfältig: Dünnschichtsensoren auf Moduleinsätzen oder ganzen Werkzeugen für das Blechbiegen und Tiefziehen, für die Halbwarmumformung oder den Kunststoffspritzguss, aber auch auf Wendeschneidplatten ermöglichen es Prozesse zu optimieren, regeln und zu simulieren und sie ressourceneffizient

zu gestalten. In dem AiF-Projekt „Sensorik für Mischreibung“ haben wir auf Lagern und Zahnrädern verschleißbeständige Temperatursensoren entwickelt. Ein großer Erfolg war dabei, auf den gekrümmten Oberflächen 10 µm schmale Sensor-Strukturen herstellen zu können, wodurch eine sehr hohe Ortsauflösung und Sensitivität möglich ist. Sehr spannend ist auch ein Fraunhofer CCIT-Projekt, in dem wir mit den Fraunhofer-Instituten IIS, AISEC und LBF zusammen eine drahtlose und energieautarke intelligente Schraubverbindung zur Überwachung von Schraubverbindungen entwickeln. Von unserer Seite wird dabei eine sensorische Unterlegscheibe zur Messung der Anzugskraft eingebracht.

**Welche Herausforderung stellen Sie sich zukünftig vor?**

In Zukunft gilt es die bestehenden Sensorsysteme weiterzuentwickeln, etwa hinsichtlich Lebensdauer und Sensitivität, und neue Anwendungsfelder zu erschließen. Wir wollen aber auch gänzlich neue Sensorkonzepte erarbeiten, wie beispielsweise eine Schmierspalthöhenmessung.

**Wenn Sie 20 Jahre in die Zukunft schauen könnten, welche Entwicklungen, die jetzt noch in den Kinderschuhen**

**stecken, könnten ihrer Meinung nach dann Realität sein?**

Wir sehen, dass in vielen Bereichen der Produktion, aber auch in unserem alltäglichen Leben, etwa der Mobilität, smarte Komponenten Einzug erhalten. Vor diesem Hintergrund befindet sich ein matrixbasiertes Produktionssystem auf dem Forschungscampus Open Hybrid LabFactory (OHLF) in Wolfsburg unter Beteiligung des Fraunhofer IST im Aufbau, mit dem funktionale Schichten und oberflächenintegrierte Dünnschichtsensoren flexibel und effizient hergestellt werden können. In 20 Jahren könnten Dünnschichtsensoren dann kostengünstig produziert werden und zu einer modernen nachhaltigen Welt beitragen.

**Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST**

M.Sc. Marcel Plogmeyer  
 Bienroder Weg 54E  
 38108 Braunschweig  
 Telefon: +49 531 2155 661

marcel.plogmeyer@ist.fraunhofer.de  
 www.ist.fraunhofer.de

# Intelligente Schraubverbindung - Drahtlose und energieautarke Monitoringlösung



Abb. 1: Intelligente Schraubverbindung zur Überwachung von Schraubverbindungen

Ein erhebliches Sicherheitsrisiko sind sich mit der Zeit lockernde Schrauben an wichtigen Verbindungsstellen, wie z.B. an Brücken, Gerüsten oder Windkraftanlagen. Das Forschungszentrum IoT-COMMs – Teil des Fraunhofer-Clusters of Excellence Cognitive Internet Technologies CCIT – hat eine intelligente Schraubverbindung entwickelt, die eine drahtlose, energieautarke und damit permanente Überwachung dieser kritischen Verbindungen ermöglicht. Dabei misst ein vom Fraunhofer IST entwickelter Dünnschichtsensor kontinuierlich die Vorspannkraft der Schraubverbindung und Veränderungen der Umgebungstemperatur am Montageort. Energieversorgung und Energiemanagement sowie die Funktechnologie mioty® werden vom Fraunhofer IIS beigesteuert.

## Sensorische Unterlegscheibe

Für die Sensorik der intelligenten Schraubverbindung wird vom Fraunhofer IST ein Dünnschichtsystem auf der Oberfläche von Unterlegscheiben aufgebaut. Zunächst wird in einem PACVD-Prozess (plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidung) die am Fraunhofer IST entwickelte piezoresistive DiaForce®-Schicht homogen abgeschieden. Anschließend werden einzelne Elektrodenstrukturen aus Chrom gefertigt, welche die belastungsmessenden Sensorflächen sowie eine Struktur zur Temperaturkompensation bilden (vgl. Abbildung 2). Auf einer darauf folgenden elektrisch isolierenden SiCON®-Zwischenschicht, einer mit Silizium und Sauerstoff modifizierten Kohlenwasserstoffschicht, die ebenfalls im PACVD-Verfahren abgeschieden wird, werden sowohl Leiterbahnen zu den

Kontaktierungspunkten, als auch eine temperaturmessende Mäanderstruktur aus Chrom strukturiert. Diese Strukturen werden mit einer zweiten abschließenden SiCON®-Schicht vor Verschleiß geschützt.

## Eigenschaften der »Intelligenten Schraubverbindung«

Die intelligente Schraubverbindung ist ein vollintegriertes IoT-Device, das eine drahtlose und energieautarke Überwachung von Schraubverbindungen ermöglicht. Dazu ist das sensorische Unterlegscheibensystem mit einem Schraubkörper verbunden, in dem Energieversorgung und Funkübertragung integriert sind (vgl. Abbildung 3). Mit der mioty®-LPWAN-Technologie des Fraunhofer IIS ist eine energieeffiziente, zuverlässige Datenübertragung über weite Distanzen bei gleichzeitig hoher Anzahl an parallel kommunizierender Funkknoten gewährleistet. Ebenfalls liefert das Fraunhofer IIS die Energy Harvesting-Technologie und ein Energiemanagement zum autarken Betrieb aus Umgebungsenergie, ohne Batteriewechsel oder kabelgebundener Versorgung. Dazu befindet sich ein Thermogenerator in der Schraube, der bei kleinsten Temperaturgradienten am Schraubgewinde elektrische Energie erzeugt und so den Sensor energieautark betreibt. Alternativ können Sensor und Funkmodul durch eine Solarzelle oder Batterie betrieben werden. Vor der Installation werden die Schrauben in der manipulationssicheren Programmiereinheit »FunkeyBox« über eine RFID-Schnittstelle konfiguriert und erhalten einen individuellen Schlüssel. Dadurch sind die Sensordaten bei der Übertragung an die Basisstation bzw. das Backend angriffssicher.

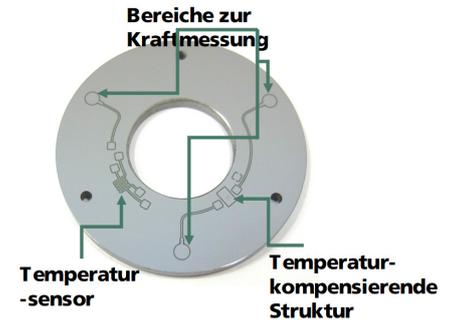


Abb. 2: Sensorische Unterlegscheibe

## Ausblick

Mit den erzielten Projektergebnissen sollen nach einer Marktstudie und Experteninterviews sensorische Unterlegscheiben und Schrauben für drei ausgewählte Zielanwendungen optimiert, realisiert und potentiellen Anwendern als Evaluation-Kits zur Verfügung gestellt werden.

## Das Projekt

Diese Lösung wird im Rahmen des Fraunhofer-Forschungszentrums IoT-COMMs in Zusammenarbeit der Fraunhofer-Institute IIS, IST, AISEC und LBF entwickelt. Das Fraunhofer-IIS ist ein Teil der Clusterinitiative CCIT (Cluster of Excellence Cognitive Internet Technologies) der Fraunhofer-Gesellschaft.

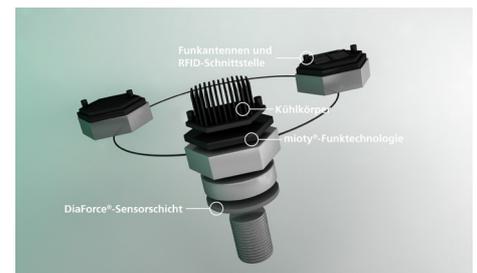


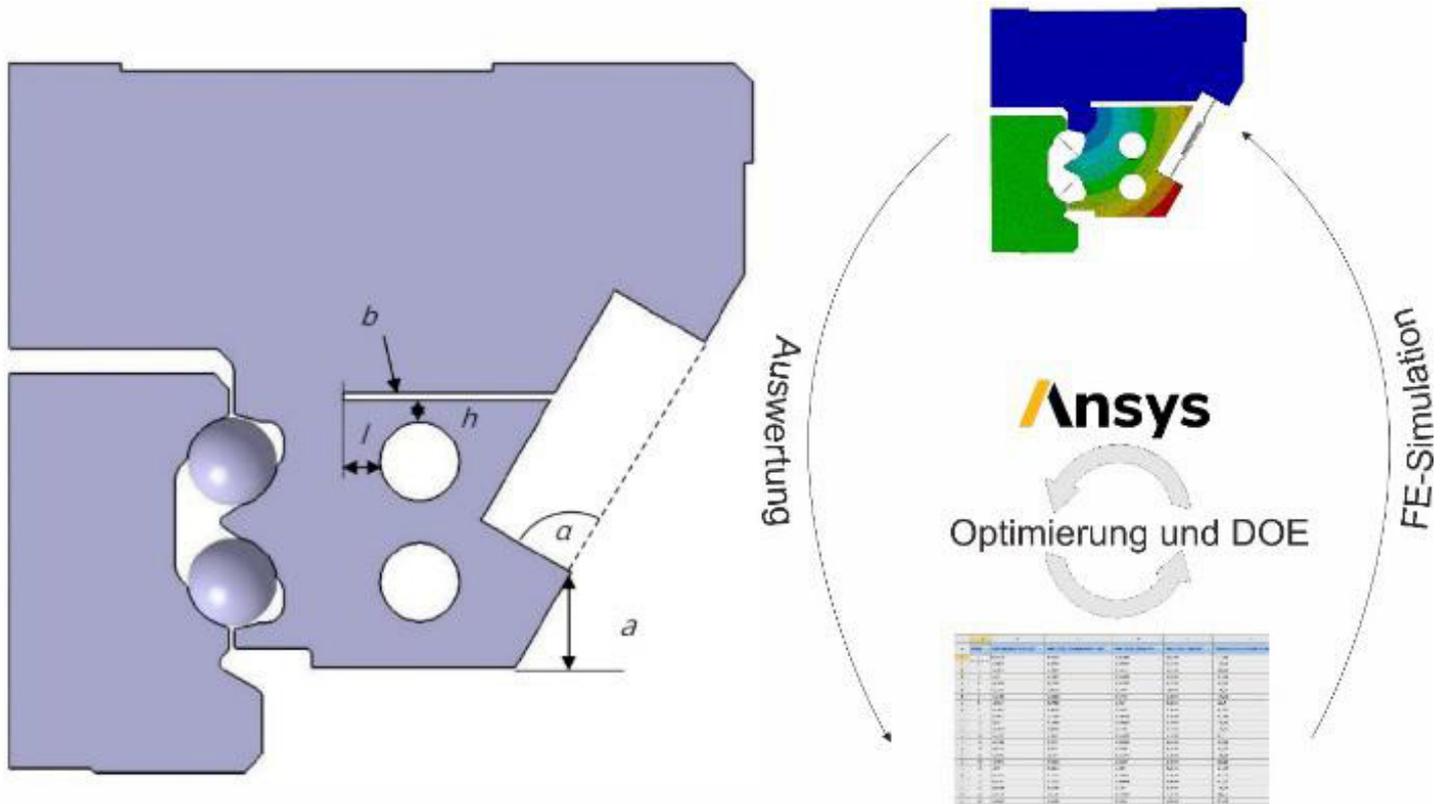
Abb. 3: Komponenten der intelligenten Schraubverbindung

## Kontakt

M.Sc. Marcel Plogmeyer  
 Telefon +49 351 2155-661  
 marcel.plogmeyer@ist.fraunhofer.de  
 www.ist.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Peter Spies  
 Projektleiter Intelligente Schraubverbindung  
 Telefon +49 911 58061-3310  
 peter.spies@iis.fraunhofer.de  
 www.ccit.fraunhofer.de

# Verlängerte Lebensdauer von Führungskomponenten durch adaptive Vorspannkraft



Optimierungsvorgehen

Parameter	Wert
Basis-Komponente	KUVE-35B (Fa. Schaeffler AG)
Stellperformance (Ziel)	0,04C (V1) 0,1C (V2) (C: dynamische Tragzahl)
Dynamik (Ziel)	$f > 10\text{Hz}$
Betriebsspannung	24V
Aktorspannung	150V

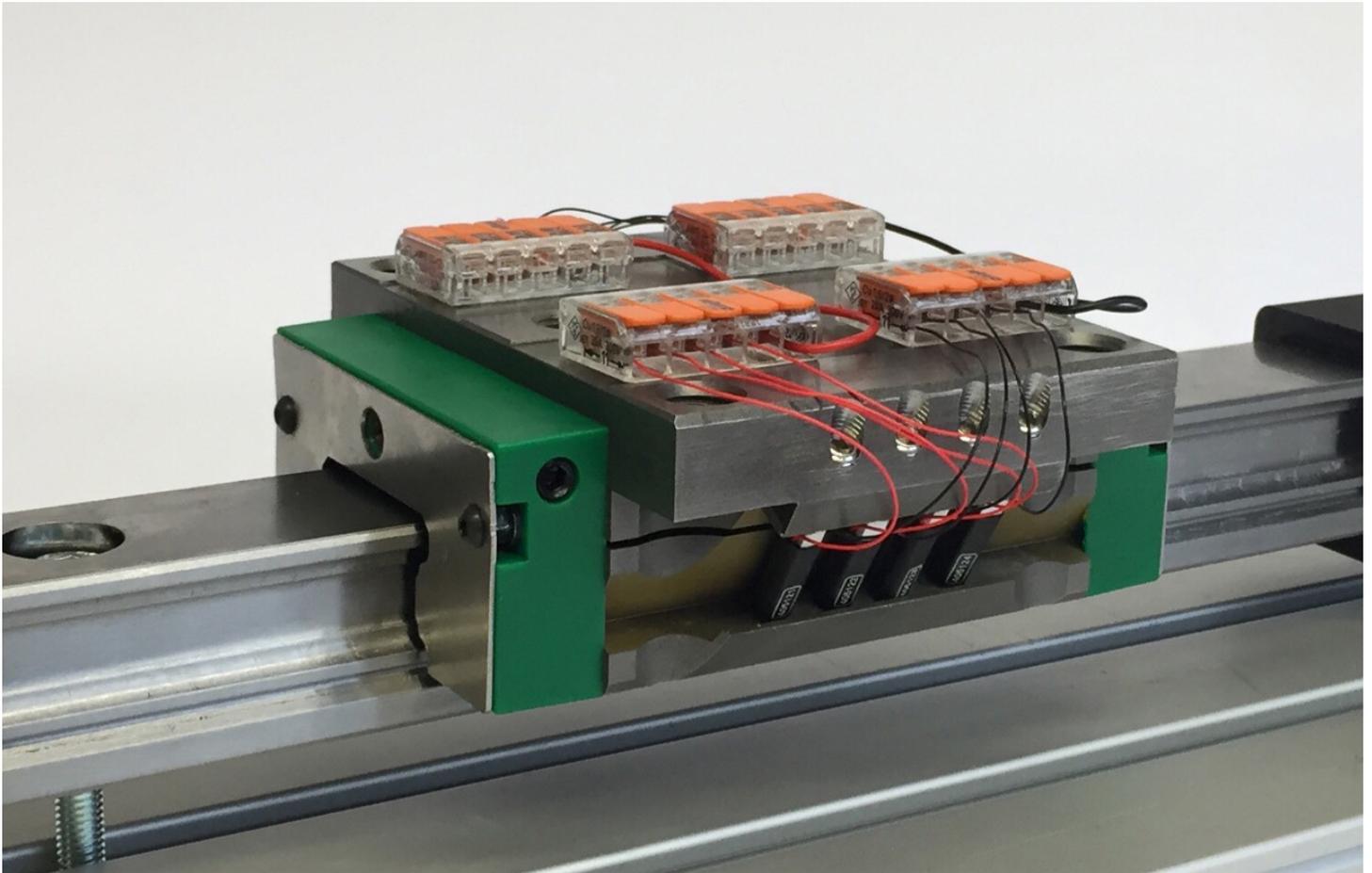
Tabelle 1: Auflistung der Zielparameter für die piezoaktive Profilschienenführung

■ Neue Materialien und Kostendruck zwingen die Hersteller, ihre Maschinen und Prozesse an der Auslastungsgrenze und damit mit maximalen Standzeiten zu betreiben. Maschinenausfälle infolge von planmäßigen Wartungen führen zwangsweise dazu, dass Stillstandszeiten entstehen. Derartige Eingriffe dienen dazu, Verschleißteile in Maschinen zu überprüfen und ggf. zu ersetzen. Insbesondere Antriebssystemen von Werkzeugmaschinen kommt eine hohe Bedeutung in der Fertigungspräzision zu. Damit diese auch bei hoher Dynamik und Wärmeentwicklung gewährleistet ist, werden zur Führung meist Profilschienenführungen eingesetzt, da diese mit entsprechender Vorspannung eine spielfreie Relativbewegung ermöglichen. Demgegenüber stellt die Vorspannung eine wesentliche Einflussgröße auf

die Lebensdauer der beteiligten Komponenten dar, da damit die mittlere Last vergrößert wird. Entscheidend dabei ist, dass diese Last auch in den Arbeitsphasen der Maschine wirkt, in denen die Fertigungsgenauigkeit nicht relevant ist. Beispiele sind z.B. Werkzeugwechsel und Zustellbewegungen in Werkzeugmaschinen oder die rückwärtige Stößelbewegung in Umformmaschinen beim Öffnen des Werkzeugs. Integrierte Mechanismen zur adaptiven Anpassung der Vorspannkraft je nach Situation könnten somit die Lebensdauer von Komponenten verlängern.

Im Rahmen eines laufenden IGF-Projektes wird am Fraunhofer IWU derzeit eine aktive Profilschienenführung entwickelt. Die Basis dafür stellt eine reale, kommerziell verfügbare Komponente, welche durch ei-

nen Industriepartner eingebracht wird. Integrierte Piezoaktoren sollen dafür sorgen, dass die Komponente zwischen zwei Vorspannklassen wechseln kann. Üblicherweise bestimmen die Kunden bereits beim Kauf über die gewünschte Vorspannklasse – eine nachträgliche Anpassung ist nur durch den Austausch der Wälzkörper möglich und daher sowohl zeit- als auch kostenaufwändig. Ein flexibles Umschalten ermöglicht den Anwendern damit, den Kompromiss aus Präzision und Lebensdauer zumindest teilweise umgehen zu können. Die adressierten Vorspannklassen bestimmen hierbei die Zielvorgaben für die zu realisierende Stellperformance bzw. Effektstärke durch die Aktorik. Das Erreichen der erforderlichen Effektstärke unter Berücksichtigung der verfüg-



*Funktionsfähiger Demonstrator mit integrierter Aktorik*

baren Bauräume (normierte Außenabmessung, Kugelrückführungen) stellt die wesentliche Herausforderung des Projektes dar, welche Kompetenzen aus dem Bereich Konstruktion, Simulation und FE-gestützter Optimierung erfordert. Der mechatronische Systementwurf basiert auf einer möglichst exakten Nachbildung der strukturmechanischen und nichtlinearen Eigenschaften der Profilschienenführungs-Komponente. Diese werden maßgeblich durch die Wälzkörper und die damit eingebrachte Systemvorspannung bestimmt. Mit dem Modell ist es möglich, die Auswirkung von konstruktiven Anpassungen am Führungswagen zu berechnen und die damit verbundenen Parameter mittels einer FE-Optimierung so einzustellen, dass die Zielvorgaben erreicht werden. Bild 1 zeigt neben dem Vorgehen auch die schließlich aufgebaute Variante als funktionsfähigen Demonstrator. Die für den Betrieb erforderliche Leistungselektronik wird unmittelbar an die Komponente angebracht und ermöglicht damit

einen Betrieb mit einer 24 V Spannungsversorgung. Um die realisierbare Effektivstärke validieren zu können, erfolgen derzeit der Aufbau der Komponente, der erforderlichen Elektronik sowie eines geeigneten Prüfstandes. fasst die grundlegenden Zielparameter zusammen.

Im weiteren Verlauf des Projektes ist es auch geplant, die piezoaktive Profilschienenführung als Stößelführung in eine Umformmaschine zu integrieren. Damit soll untersucht werden, welchen Einfluss die Vorspannungsänderung der Führung während des Umformprozesses auf das Prozessergebnis haben kann. Ein erfolgreicher Abschluss des Projektes eröffnet zudem die Möglichkeiten, die Entwicklungsmethodik und den systemintegrativen Ansatz auch auf andere Komponenten auszurollen. Hierfür werden bereits während der Projektlaufzeit gezielt Industrieunternehmen angesprochen.



Fraunhofer Institut für  
Werkzeugmaschinen und Umform-  
technik

Wolfgang Zorn  
Nöthnitzer Straße 44  
01187 Dresden  
Telefon 49 (0) 351 / 4772 - 2789

wolfgang.zorn@iwu.fraunhofer.de  
www.iwu.fraunhofer.de

# Neuartige Vorrichtungen im Bereich der laparoskopischen Chirurgie

Das Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik und Mechatronik (IEM) setzt sich als Ziel, mechatronische Innovationen auf dem Gebiet der laparoskopischen und endoskopischen Chirurgie in Form von intelligenten Assistenz- und Greifersystemen für die Medizintechnik nutzbar zu machen. Innovative Assistenz- und Greifersysteme sollen den Operateur bei der Handhabung, der Koagulation, der Morcellation und der Bewegung von Organen während der laparoskopischen und endoskopischen Operation unterstützen. Die mechatronisierten Assistenten oder Vorrichtungen sind wertvoll für eine schnelle und sichere Durchführung von minimal invasiven Operationstechniken. Dank der intelligenten Assistenzsysteme sollen unter anderem geringe postoperative Schmerzen und Blutungen während der Operation, kürzere stationäre Aufenthalte und deutlich kürzere Rekonvaleszenz erreicht werden.

## Laparoskopische Chirurgie

Unter einer Laparoskopie oder auch endoskopischen Bauchspiegelung wird eine medizinische Methode verstanden, bei der die Bauchhöhle und die darin liegenden Organe mit speziellen optischen Instrumenten sichtbar gemacht werden. Die optischen und medizinischen Instrumente werden während der Operation in der Regel über 0,3 bis 2,0 mm lange Hautschnitte eingebracht und ermöglichen auf diese Weise die Durchführbarkeit der laparoskopischen Chirurgie. Als Beispiel für eine laparoskopische Chirurgie können unter an-

derem die Totale Laparoskopische Hysterektomie (TLH), die Laparoskopische Appendektomie (LAP) und die Lymphadenektomie (Ly) genannt werden.

Der Einsatz der laparoskopischen Operationstechniken hat vor etwa 30 Jahren zu einem Umbruch in der abdominalen Chirurgie geführt. Das laparoskopische Vorgehen birgt allgemein ein geringeres Risiko von interoperativen sowie postoperativen Komplikationen und kommt aus diesem Grund vermehrt zum Einsatz. Um die abdominalen Eingriffe weiter zu reduzieren bzw. die Effektivität und Attraktivität der laparoskopischen Operationstechnik zu verbessern, wird heute am IEM intensiv an flexiblen und multifunktionalen Werkzeugen geforscht. Denn wenn eine laparoskopische oder eine endoskopische Operation durchgeführt wird, zählt jede Minute. Während der Operation stehen die Chirurgen beim Setzen von minimalinvasiven Hautschnitten und beim präzisen Führen von Koagulationsklemmen oder Nut-Greifern unter hohem Zeitdruck. Sie tragen die Verantwortung für das Menschenleben. Sie erbringen über eine Dauer von mehreren Stunden die höchste Konzentration und die höchste physische Leistung. Dabei gilt, dass bei einem laparoskopischen oder endoskopischen Vorgehen der Operateur nur ein begrenztes Sichtfeld und einen begrenzten Operationsraum hat. Er muss stets darauf achten, dass das umliegende Gewebe und die Organe nicht verletzt werden. Diese Umstände machen die Schaffung eines abgeschlossenen Operati-

onsbereiches zu einer besonders anspruchsvollen Aufgabe für den Operateur in Bezug auf das Handling und die Dauer des Eingriffs. In diesem Zusammenhang weisen die laparoskopischen Operationstechniken Möglichkeiten zur Verbesserung auf. So lässt sich beispielsweise die Belastung des Patienten durch die Narkose, aber auch die Wirtschaftlichkeit und die Dauer der Operation erheblich verbessern, wenn intelligente Assistenten- und Greifersysteme und Werkzeuge die Arbeiten während des operativen Eingriffs verkürzen, erleichtern und noch sicherer machen.

## Verkürzte Operationszeit und geringe Narkoseeinwirkung dank der flexiblen und multifunktionalen Werkzeuge

Im Rahmen eines bilateralen Forschungsprojekts zwischen dem Fraunhofer-Institut und der Firma Büscherhoff Packaging Solutions GmbH wird für die TLH an der Realisierung eines innovativen Operationsverfahrens geforscht. Dieses ermöglicht in naher Zukunft eine laparoskopische Gebärmutterentfernung ohne das Risiko der Verschleppung von Karzinom- oder Myomzellen. Dabei wird der Schwerpunkt bei dieser Entwicklung auf die Zerkleinerung des Gewebes im Inneren des Bauchraumes gelegt, um ein späteres Entfernen des Uterus durch einen Bauchnabelschnitt von ca. 20 mm zu erleichtern. Abbildung 2 zeigt am Beispiel eines umgesetzten, großskaligen Demonstrators ein innovatives Greifersystem und ein Konzept eines modular aufgebauten und pneumatisch angetriebenen Morcellators für die laparoskopische Chirurgie. Ferner wird in der gleichen Abbildung der entwickelte Ansatz für die Zerkleinerung des zu entfernenden Gewebes in einem nach außen abgeschlossenen „Behältnis“ dargestellt.

In diesem Zusammenhang wird im Verlauf des Projekts ein spezieller Insufflationsbeutel entwickelt, welcher sich durch einen laparoskopischen Schnitt zusammen mit einem flexiblen Greifersystem einführen lässt. Das zu zerkleinernde Gewebe wird mechanisch mit Hilfe von speziellen Sauggreifern im Beutel platziert und später maschinell zerkleinert. Der Beutel wird mit Hilfe des flexiblen Greifers verschlossen, sodass innerhalb des Bauchraumes

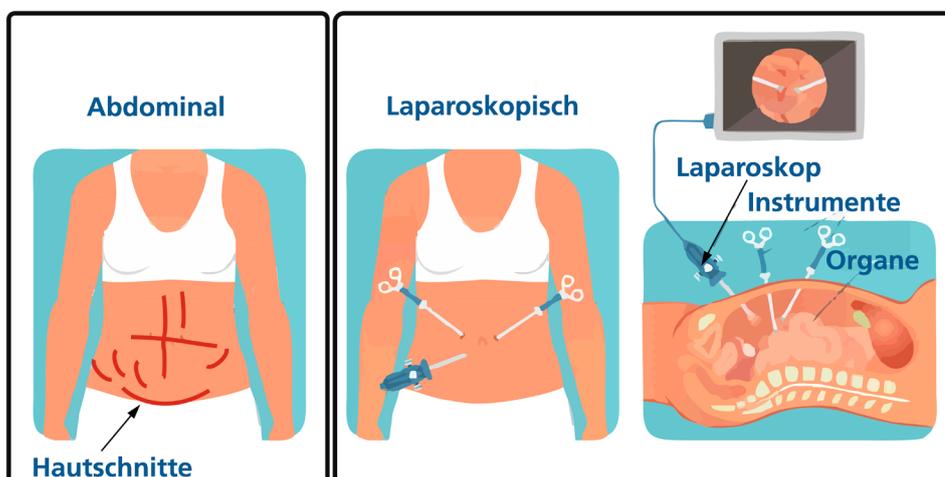


Abbildung 1: Prinzip der abdominalen und laparoskopischen Operationstechnik

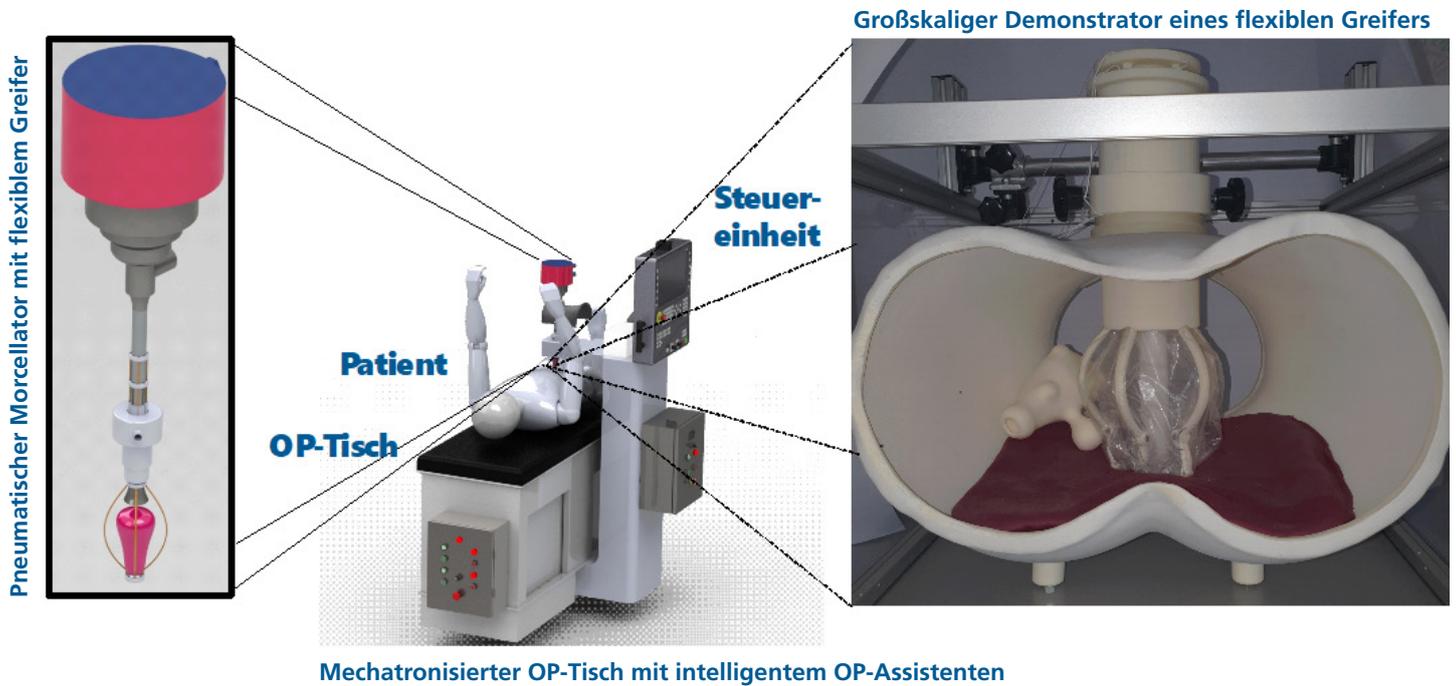


Abbildung 2: Innovativer Greifer und modularer Morcellator für die laparoskopische Chirurgie

ein vom Körper isolierter Operationsbereich entsteht. Dabei wird der Beutel durch einen mechanischen Mechanismus automatisch um die Greifapparatur herumgeführt und luftdicht verschlossen. In diesem flüssigkeitsdichten Beutel findet später die sichere Zerkleinerung des Gewebes statt. Das innovative Greifersystem ermöglicht an dieser Stelle auch einem weniger erfahrenen Operateur das Handling des Beutels. Das bisher notwendige zeitaufwendige Platzieren des Gewebes in einem Beutel muss nicht mehr eigenständig vom Operateur bewerkstelligt werden, sodass hier deutliche Zeitersparnisse erreicht werden. Ein weiterer wichtiger Effekt der Greifapparatur ergibt sich während des Morcellementes selbst. Anders als bei herkömmlichen Morcellationsvarianten im Safebag wird hier das Morcellement innerhalb der Greifarme durchgeführt. Die Klinge des Morcellators bleibt während der Zerkleinerung ortsfest und rotiert mit bis zu 15.000 rpm. Das Gewebe wird langsam an die Klinge angedrückt, zerkleinert und anschließend über den Schneckenantrieb der Klinge in einen separaten Behälter außerhalb des Bauchraumes abgeführt. Durch die ortsfeste Posi-

on des Morcellators und dem nach außen abgeschlossenen Raum werden die Funktionen der Barriere zum Bauchrauminneren, der Aufbewahrung und des Auffangens des Gewebes räumlich getrennt. In diesem Zusammenhang gilt auch, dass die ortsfeste Position der Klinge innerhalb des Greifers passiv vor Perforation des Beutels während der Gewebezerkleinerung schützt und somit eine höhere Sicherheit vor Kontaminationen ermöglicht.

**4SMARTS<sup>®</sup>**  
 Symposium für Smarte Strukturen und Systeme

**20. Mai 2021**  
**10.00 – 12.00 Uhr**  
**4 SMARTS Digital Event\_1**

Innerhalb des ersten Digital Events berichten Industriereferenten über ihre aktuellen Forschungsvorhaben und Problemstellungen und geben somit der Forschung wertvolle Impulse. Anmeldungen an: [4smarts@dlr.de](mailto:4smarts@dlr.de)

**Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM**

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

[christian.henke@iem.fraunhofer.de](mailto:christian.henke@iem.fraunhofer.de)  
[www.iem.fraunhofer.de](http://www.iem.fraunhofer.de)

# Verteilte Emergente Regelung im IoT mittels agil kollaborierender Systeme

■ Drahtlos kommunizierende Systeme verbessern die Flexibilität und Skalierbarkeit von automatisierten von Fertigungs- und Logistikprozessen. Bereits heute sind automatisierte Transportsysteme und Roboter weit verbreitet und werden zukünftig auch Drohnen unterstützt. In der industriellen Praxis werden solche Systeme allerdings weiterhin von einer zentralen Instanz orchestriert, was die Realisierung komplexer Prozesse erschwert und die Anfälligkeit des Gesamtsystems erhöht (Single Point of Failure). Eine Verteilung der entsprechenden Algorithmen auf die einzelnen Internet of Things (IoT)-Geräte verspricht daher einen deutlichen Schritt hin zu einer agilen Kollaboration, welche robust gegenüber dynamischen Anforderungen auf der Anwendungsebene bis hin zur Resilienz gegen Störungen beispielsweise der drahtlosen Kommunikation ist. Für die industrielle Anwendung ist ent-

scheidend, dass solche technologischen Innovationen in zuverlässigen und hoch verfügbaren Systemen münden, um die wirtschaftlichen Vorteile in der Praxis zu erschließen. Eine Herausforderung bei der Validierung derart komplexer Systems-of-Systems ist die Emergenz, d.h. die Eigenschaften und Fähigkeiten, die erst durch die Kollaboration der einzelnen Subsysteme ermöglicht wird. Diese Fähigkeiten und Eigenschaften werden durch die Interaktion der einzelnen Subsysteme geprägt und lassen sich kaum mehr deterministisch vorhersagen lässt, insbesondere bei der Betrachtung konkreter Fehlerszenarien. Dabei sind verschiedene Dimensionen der Verkopplung der Systeme zu berücksichtigen (Siehe 1): Einerseits sind die Subsysteme durch den Austausch von Informationen miteinander verbunden, andererseits aber auch physikalisch bspw. in Kollaborationsszenarien.

Es stellt sich daher die Aufgabe eines modellbasierten Co-Designs der verteilten IoT-Geräte und ihrer drahtlosen Vernetzung, sowie eines dynamischen Co-Managements beider Bereiche im Betrieb. Die Anwendung sollte möglichst rasch von der Analyse der Anforderungen bis zur Implementierung im Produktionsumfeld entwickelt werden können, wobei eine frühzeitige virtuelle Validierung durch System- und Fehlersimulationen einen effizienten Entwicklungsprozess ermöglicht. Am Fraunhofer EAS wird derzeit eine Entwicklungsumgebung realisiert, welche die Bewältigung dieser Aufgabe deutlich beschleunigt.

Als einfaches Anwendungsbeispiel für den Aufbau dieser Entwicklungs- und Testumgebung wurde am EAS ein System kollaborierender Kräne, welche gemeinsam eine Last bewegen sollen, betrachtet (2).

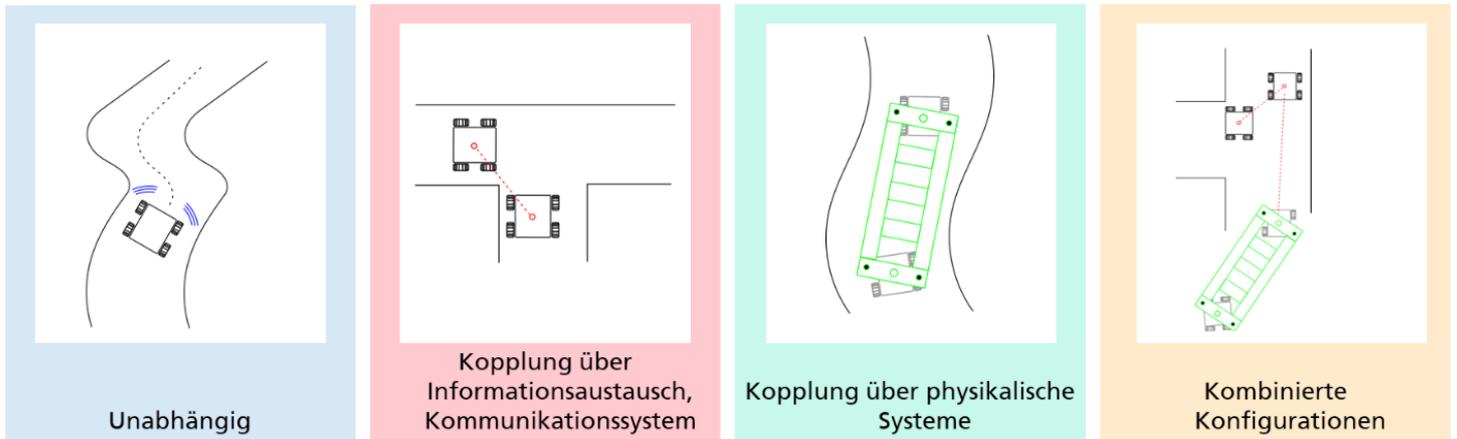


Abbildung 1 Arten der Kollaboration cyberphysikalischer Systeme

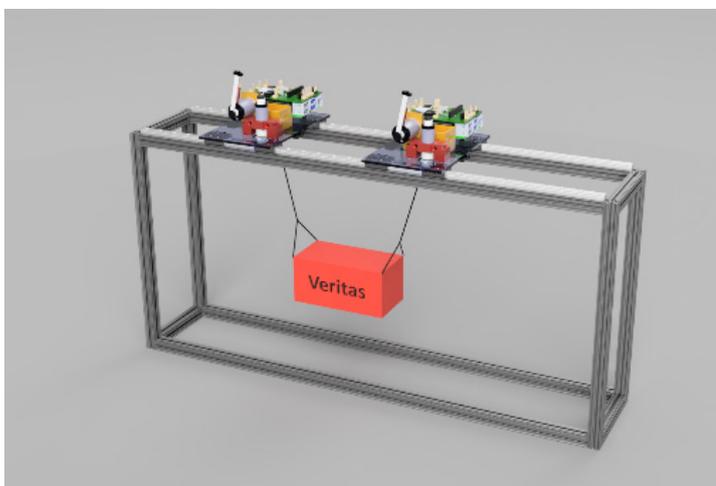
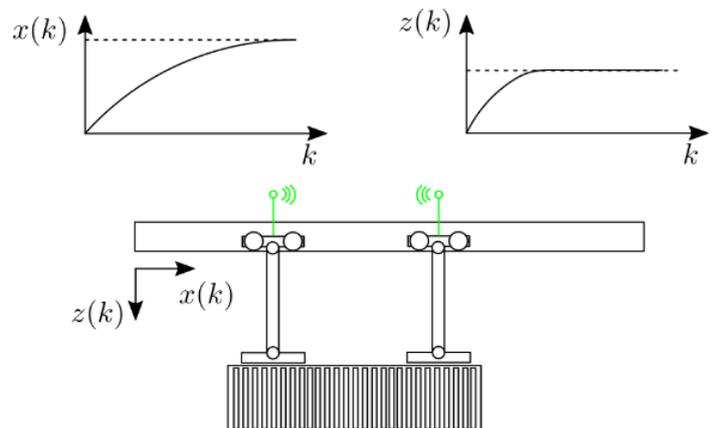


Abbildung 2 Arten der Kollaboration cyberphysikalischer Systeme



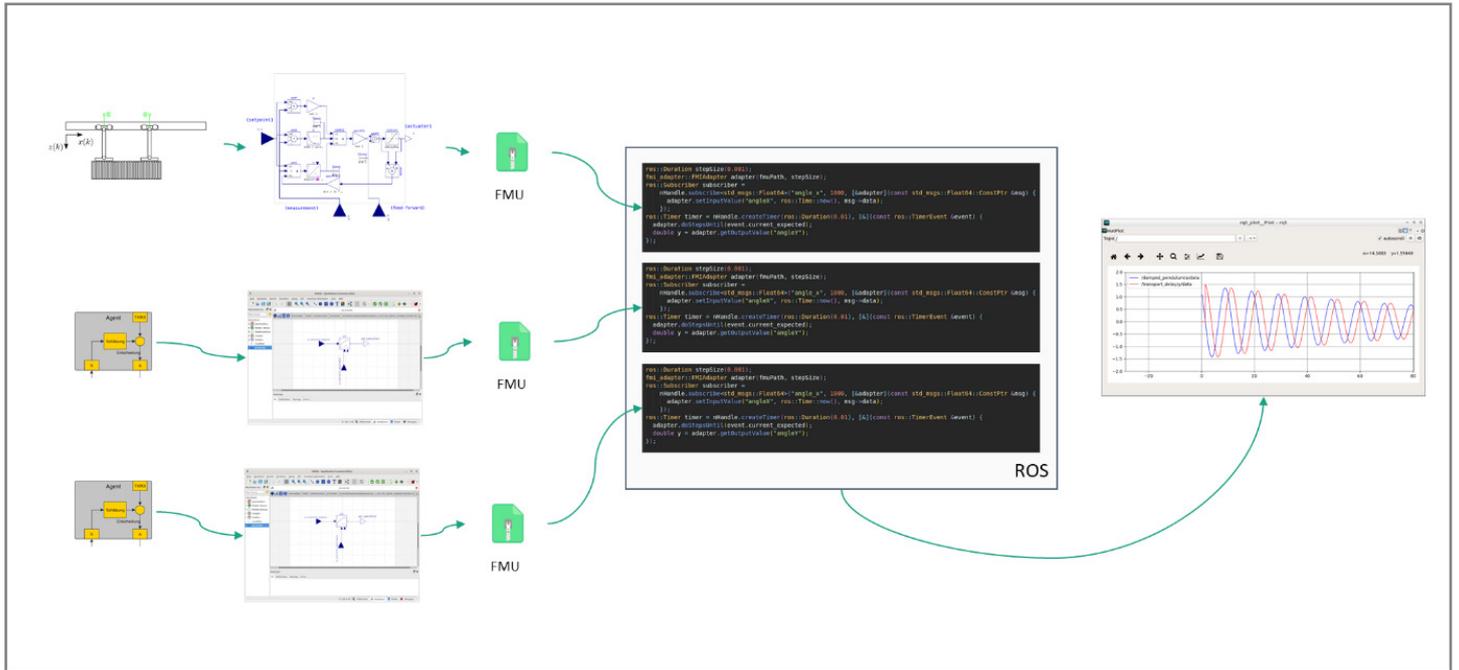


Abbildung 3: Systemsimulation eines verteilten Systems mit ROS

Die Basis ist die Verkopplung der Subsysteme und ihrer Komponenten über das Robot Operating System ROS. Die Systemsimulation folgt der Strategie der Verteilung des Systemmodells in ROS. Einzelne Teilm Modelle können in der für die jeweilige Domäne geeigneten Umgebung implementiert und über ROS orchestriert werden (3). Im dem Beispiel wurde OpenModelica verwendet, um die Regelstrecke und die miteinander kommunizierenden Regler zu modellieren. Grundsätzlich sind aber auch zahlreiche weitere Möglichkeiten gegeben.

Dieser Ansatz bietet einige Vorteile:

- Das Konzept eignet sich über die rein virtuelle Simulation der kollaborierende Subsysteme hinaus auch für die Entwicklung der Steuerungssystemen und hybrider Formen der Systemverifikation (Hardware-in-the-Loop)
- Durch die Architektur von ROS, welches eine Kommunikationsinfrastruktur realisiert, sind die virtuell oder real implementierten Systeme leicht skalierbar, so dass auch komplexe Szenarien erprobt und umgesetzt werden können.
- ROS wird zunehmend für industrielle Anwendungen eingesetzt. Es sind zahlreiche Erweiterungen für industriegängige Tools und Hardwarekomponenten verfügbar.

Die weiteren Entwicklungen werden zum einen Verfahren zur Verteilung von Regelungsalgorithmen beinhalten, insbesondere solche zum verteilten Lernen der einzelnen Subsysteme im Sinne der Bildung eines Netzwerks von Agentensystemen. Zum anderen wird die Systemsimulation um Verhaltensmodelle des Kommunikationssystems erweitert, mit denen die zeitveränderlichen Eigenschaften und Leistungsfähigkeit insbesondere von drahtlosen Übertragungssystemen nachgebildet werden kann. Diese Arbeiten bilden die Basis für die Erforschung von effizienten Verfahren zum Co-Management verteilter funkvernetzter Automatisierungssysteme. Danach erfolgt die Erschließung weiterer Anwendungsfelder, insbesondere der kollaborierenden Robotik in Produktions- und Intralogistikanwendungen, wobei auch weitere domänenspezifische Werkzeuge integriert werden.



Symposium für Smarte Strukturen und Systeme

**22. September 2021**  
**10.00 – 12.00 Uhr**  
**4 SMARTS Digital Event\_2**

Das zweite Digital Event - Young Researcher Pitch – liefert die Antwort der Wissenschaft auf die aus dem ersten Digital Event gewonnenen Impulse der Industrie.

Anmeldungen an: [4smarts@dlr.de](mailto:4smarts@dlr.de)

**Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS - Institutsteil Entwicklung Adaptiver Systeme EAS**

Dr. Dirk Mayer  
 Zeunerstraße 38  
 01069 Dresden  
 Telefon +49 351 4640 - 701

[dirk.mayer@eas.iis.fraunhofer.de](mailto:dirk.mayer@eas.iis.fraunhofer.de)  
[www.eas.iis.fraunhofer.de](http://www.eas.iis.fraunhofer.de)

# Teilstrukturen realitätsnah prüfen mit flexiblen Anbindungselementen

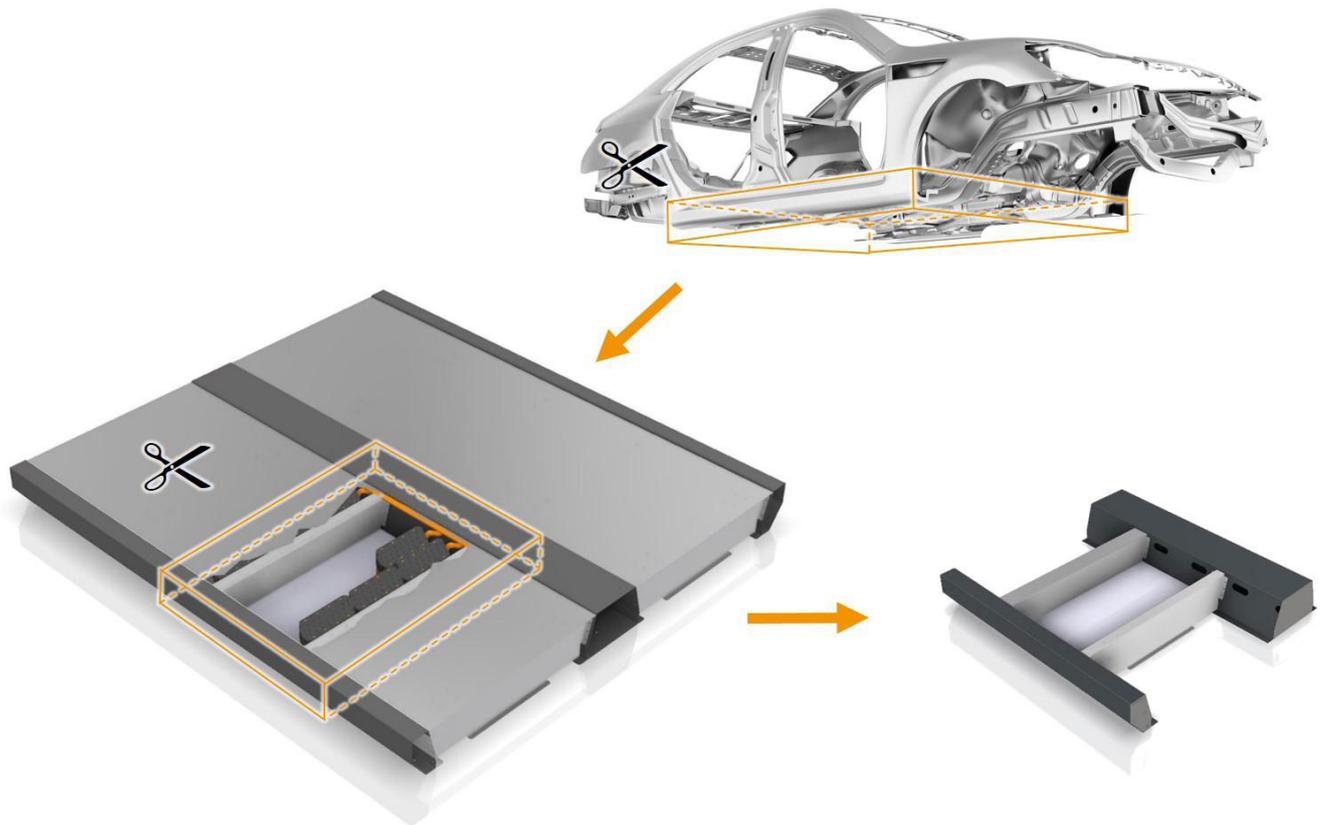


Abbildung 1: Anstatt der vollständigen Rohkarosserie oder des vollständigen Fahrzeugbodens wird nur ein Segment getestet.

■ Durch die Entwicklung neuer Methoden und Technologien arbeiten Forschende am Fraunhofer LBF seit der Institutsgründung daran, Betriebsfestigkeitsversuche möglichst einfach und aussagekräftig zu gestalten. Eine wichtige Forschungsfrage ist die Wechselwirkung zwischen Prüfobjekt und dessen Anbindungsstrukturen im Prüfstand. Im Rahmen des Projekts „Light Materials for Mobility“ wurden methodische Kompetenzen der Lebensdauerbewertung mit Technologien der Schwingungstechnik zusammengeführt und weiterentwickelt. Perspektivisch erlaubt dies genauere Versuche und ein flexibleres Versuchsdesign.

Am Ende einer erfolgreichen Produktentwicklung steht der Nachweis der Produkteignung. Ein wichtiger und oft aufwändiger Aspekt ist dabei der experimentelle Nachweis der Lebensdauer unter Betriebsbedingungen. Ist ein Bauteil oder eine Baugruppe Teil einer größeren Struktur, kann eine realistische Erprobung bisher nur unter Einbeziehung der Gesamtstruktur erfolgen. Die Lebensdauer von Karosseriebauteilen kann z.B. nur im Rahmen von Ganzfahrzeugversuchen abschließend beurteilt werden. Diese können jedoch erst sehr spät im Entwicklungsprozess

erfolgen, wenn für die Gesamtstruktur – z.B. die gesamte Karosserie - ein Prototyp vorliegt. Werden in dieser Phase Schwachstellen in der Teilstruktur aufgedeckt, ist das für den Projektzeitplan oft kritisch – es folgen späte kostenintensive Änderungen und potentielle Verzögerungen der geplanten Markteinführung. Besser wäre es, die Teilstrukturen bereits früher in möglichst realistischen Prüfumgebungen zu testen.

Ziel dieses Projekts war daher die Integration und Demonstration eines Workflows zur Ableitung und Realisierung einer realitätsnahen Erprobung einer Teilstruktur.

Als Beispiel dient dabei die Struktur eines Fahrzeugbodens für ein Elektrofahrzeug, welche die Batteriezellen aufnimmt. Diese Bodenstruktur muss große mechanische Belastungen ertragen, etwa die Karosserieverwindung, die sich bei einer Schlaglochüberfahrt ergibt. Für diesen Fall soll im Demonstrationsprüfstand eine realitätsnahe Bauteilbeanspruchung erzeugt werden, obwohl statt der gesamten Karosserie nur eins der sechs Segmente der Bodenstruktur für die Prüfung zur Verfügung steht, siehe Abbildung 1.

## Modellbasierter digitaler Prozess zur Ableitung des Ersatzversuchs

Um dieses Ziel zu erreichen ist zunächst ein digitaler Modellierungsprozess erforderlich: In einem numerischen Modell der Gesamtstruktur wird im ersten Schritt ermittelt, welche Beanspruchung in dem Prüfteil im Betrieb auftreten würden, siehe Abbildung 2. Diese wird neben der äußeren Belastung auch durch die Steifigkeit der Umgebungsstruktur beeinflusst, welche im Prüfaufbau durch Lagerpunkte mit

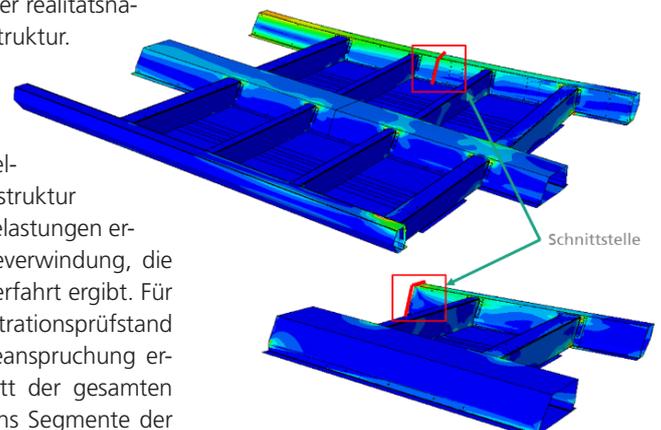


Abbildung 2: FE-Analyse zur Ermittlung der mechanischen Randbedingungen für den Prüfling.

einstellbarer Steifigkeit nachgebildet wird. Daher wird in einem zweiten Schritt ein digitales Modell des Prüfaufbaus mit einstellbaren Randbedingungen aufgebaut. In dem Modell werden über Sensitivitätsstudien die maßgeblichen Einflussgrößen auf die örtliche Bauteilbeanspruchung identifiziert. Je mehr Anbindungssteifigkeiten als Einflussgrößen verwendet werden, desto genauer lässt sich die Beanspruchung nachbilden, jedoch mit steigendem Aufwand bei der Realisierung des Prüfaufbaus. Daher wird in diesem Schritt das Verhältnis aus Aufwand und Nutzen bewertet: Welche Freiheitsgrade müssen tatsächlich mit einer definierten Steifigkeit nachgebildet werden um eine hinreichende Genauigkeit zu erzielen? Welchen zusätzlichen Genauigkeitsgewinn kann ich durch weitere Lagerpunkte erzielen? Im Ergebnis dieses Schritts wird diejenige Prüfkonfiguration ermittelt, welche das beste Verhältnis von Prüfaufwand zu Prüfgenauigkeit bietet. Im dritten Schritt wird das digitale Modell des Prüfstands verwendet um die erforderlichen

Steifigkeitswerte zu ermitteln, mit denen sich an den Schnittstellen die gleichen Schnittlasten ergeben, wie es auch in der Gesamtstruktur zu erwarten wäre.

**Einstellbare Lager und programmierbare Interfaces**

Durch die Verwendung von einstellbaren Lagern und programmierbaren Interfaces wird eine schnelle Parametervariation ohne Umbauarbeiten möglich. Sollen verschiedene Einbausituationen – beispielsweise durch die Verwendung des Prüflings in verschiedenen Fahrzeugen – experimentell abgesichert werden, so sind zwischen den Versuchen keine Umbauarbeiten notwendig. Es muss lediglich die gewünschte Steifigkeit am Lager eingestellt werden (einstellbares Lager), oder das numerische Ziel-Modell des nachzubildenden Fahrzeuges geladen werden (Mechanisches Hardware-in-the-loop-Interface). Die Steifigkeiten von einstellbarem Lager und mHIL-Interface sind zwischen 0,4 kN / mm und „starr“ (> 60 kN/mm) stufenlos einstellbar.

**Kundennutzen**

Die Prüfung von Teilstrukturen mit einstellbaren Steifigkeitsrandbedingungen ermöglicht es, Bauteile und Baugruppen früher im Produktentwicklungsprozess zu prüfen. Dadurch werden Schwachstellen deutlich vor der abschließenden Gesamterprobung erkannt und kostspielige Projektverzögerungen vermieden. Auch ist auf Teilstrukturebene die Prüfung größerer Stückzahlen möglich, was zu einer besseren statistischen Absicherung der Lebensdauer der Prüfteile führt. Fehlversuche, die aufgrund von Schäden in der mitgeprüften Umgebungsstruktur keine Aussage für das eigentliche Prüfteil liefern, werden vermieden. Die Verstellbarkeit der Ersatzsteifigkeitselemente erlaubt zudem die einfache Prüfung der Baugruppe für verschiedene Varianten der Umgebungsstruktur, etwa von unterschiedlichen Karosserieversionen. Insgesamt ermöglichen die einstellbaren Anbindungselemente somit einen schnelleren erfolgreichen Abschluss der Produktvalidierung.

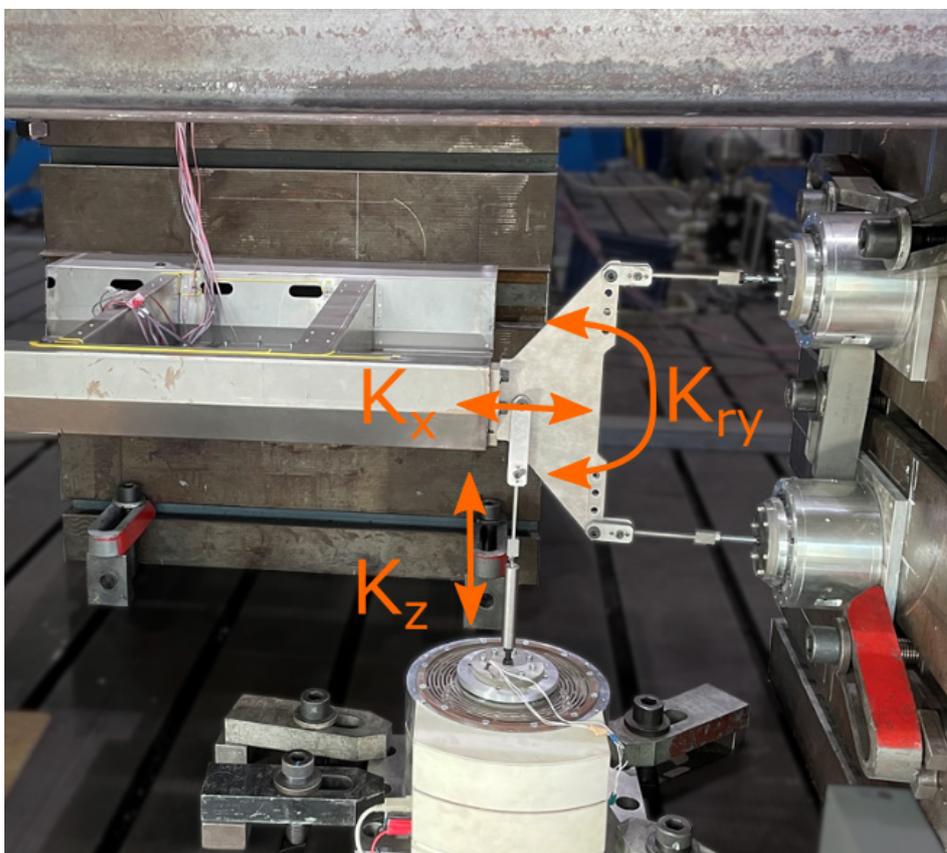


Abbildung 3: Realisierter Prüfstand mit Nachbildung der z- und x-Steifigkeit, sowie der Biegesteifigkeit um y mit Hilfe von mechanischen Hardware-in-the-Loop-Schnittstellen.

**4SMARTS<sup>®</sup>**  
 Symposium für Smarte  
 Strukturen und Systeme

**09.+10.März 2022**  
 (Präsenzveranstaltung)

Steigenberger Parkhotel Braunschweig  
 Weitere Infos unter: 4SMARTS2022  
 (besl-eventservice.de).

Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

Dr.-Ing. Volker Landersheim  
 Bartningstr. 47  
 64289 Darmstadt  
 Telefon: +49 6151 705 8431

volker.landensheim@lbf.fraunhofer.de  
 www.lbf.fraunhofer.de

# I2PANEMA – IOT UND AKTIVER SCHALLSCHUTZ IN HAFEN- UND INDUSTRIEANLAGEN

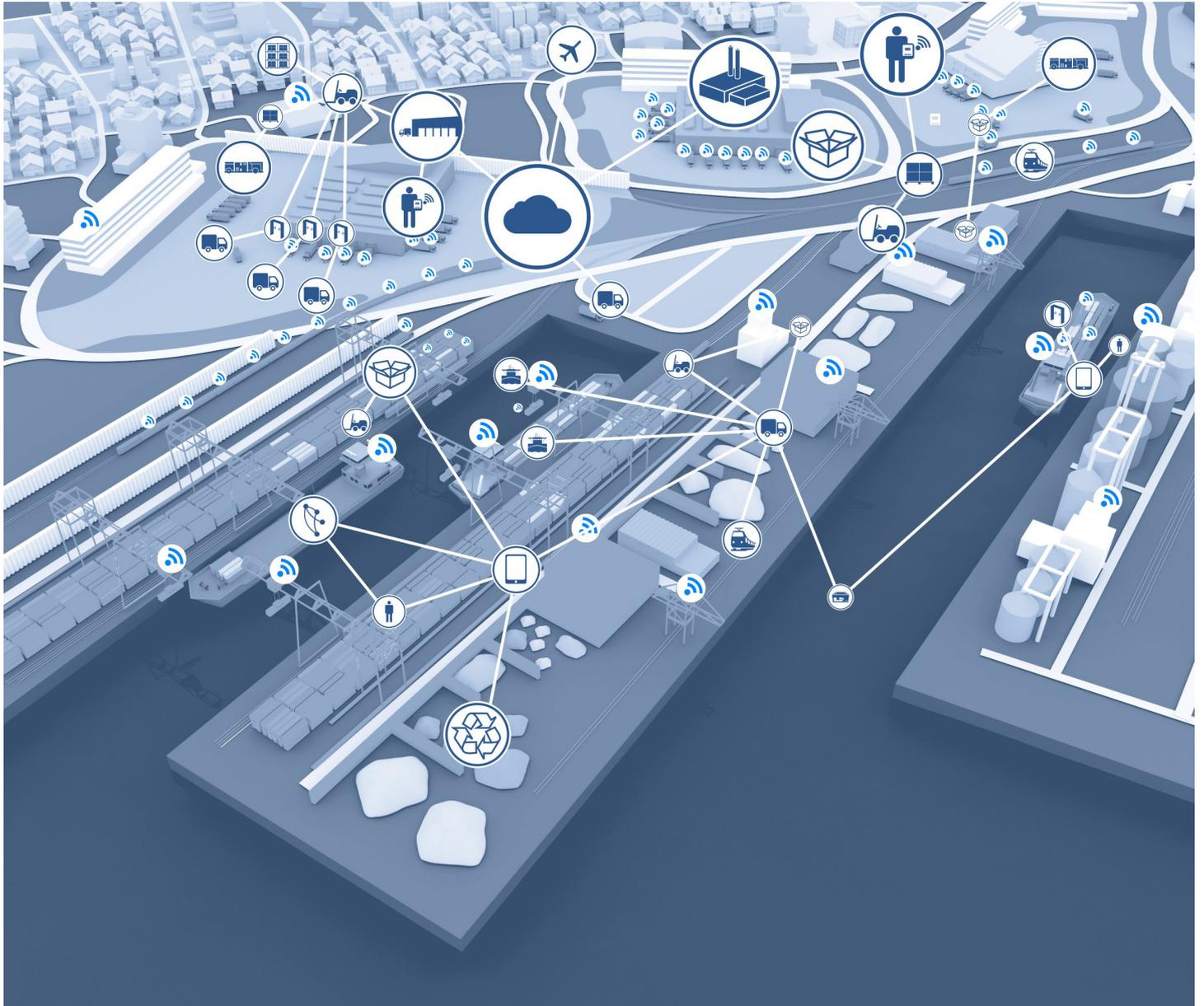


Abbildung 1: IoT im Hafenumfeld verknüpft Daten aus einer Vielzahl von Prozessen und Sensoren (Quelle: Fraunhofer IML)

■ Geräuschemissionen spielen eine wichtige Rolle in Binnen- und Seehäfen sowie Logistikzentren, da sie sich häufig in der Nähe von Wohnbebauung befinden. Dies führt zu Konflikten bezüglich der Betriebszeiten und -abläufe in den Häfen. Diese Konflikte werden im europäischen Forschungsprojekt I2PANEMA adressiert. Ziel des Projekts ist es, die Möglichkeiten des Internets der Dinge (IoT) zu nutzen, um Häfen effizienter und nachhaltiger zu gestalten. Damit adressiert es einige der aktuellen Kernherausforderungen im Transport- und Logistiksektor in den Bereichen Digitalisierung, Klimawandel, Effizienz und Emissionen. Zu den Umwelteinflüssen

zählen nicht zuletzt Schallemissionen durch Verladevorgänge, wodurch Anwohner beeinträchtigt und die Arbeitszeiten des Hafens eingeschränkt werden. Um diese zu verringern, wird ein Active-Noise-Control-System (ANC) an einem Portalcrane implementiert, der Container zwischen Straße und Schiene verlädt.

## Verladeprozesse im Hafen verursachen Lärm

Schallemissionen von Logistkivorgängen in Häfen wie Verkehr und Containerumschläge beeinträchtigen Anwohner in benachbarten Siedlungen. Die lautesten Geräusche entstehen dabei bei der Verladung

von Containern. Um die Geräuschemissionen wirksam zu reduzieren, muss also bei der Geräuschemission des einzelnen Containerhandlings angesetzt werden. Eine wesentliche Schwierigkeit stellt die im Vorfeld unbekannt Signalform des Störgeräuschs dar. Daher kann nur ein adaptives System zum Einsatz kommen, das geeignet ist, breitbandige Signale zu beeinflussen. Ähnliche Systeme sind bekannt aus ANC-Kopfhörern, die mit Hilfe von Mikrofonen auf der Außen- und Innenseite einfallenden Lärm aktiv reduzieren können. Im Gegensatz zu geschlossenen Räumen, wie zwischen Kopfhörer und Trommelfell, gibt es im Freifeld keine spe-



Abbildung 2: Containerhandlings mit Portalkranen verursachen Lärm beim Aufnehmen und Absetzen (Symbolbild, Quelle: Pixabay)

ziellen Positionen, an denen Wellen bestimmter Frequenz vollständig ausgelöscht werden können. Daher muss ein ganzes Array von Lautsprechern eingesetzt werden, um eine virtuelle Schallschutzwand bilden können. Die erforderliche Multiple-Input-Multiple-Output-Konfiguration (MIMO) benötigt in Kombination mit dem breitbandigen Vorwärtsregler eine hohe Recheneffizienz der eingesetzten Algorithmen, um auf kompakter Hardware in Echtzeit ausführbar zu sein.

### Vernetzte Lösungen für den aktiven Schallschutz

Im Rahmen des Projektes wird ein Demonstrator im bayernhafen Nürnberg aufgebaut. Dort sind vier Portalkräne im Einsatz, um im trimodalen Terminal TriCon Container zwischen Straße und Schiene umzuladen. Einer dieser Kräne wird mit Mikrofonen und Lautsprechern ausgerüstet. Die Referenzmikrofone nehmen die entstehenden Geräusche an der Katzenposition auf. Daraus wird ein geeignetes Gegenschallsig-

nal berechnet und wiedergegeben. Das verbleibende Geräusch außerhalb des Kran-Arbeitsraums wird durch Fehlermikrofone erfasst. So kann sich der Algorithmus adaptiv auf veränderte Ausbreitungsbedingungen einstellen. Durch die Verwendung wetterfester Lautsprecher und Mikrofongehäusen ist das System für einen dauerhaften Einsatz vorbereitet.

### Aktiver Schallschutz im Kontext IoT

Ein wesentlicher Inhalt des Projekts ist die Nutzung von IoT-Technologien zur Einbindung der Stakeholder und Datenquellen im Hafenumfeld. Dazu hat das LBF zusammen mit Projektpartnern ein Dashboard entwickelt, auf dem aktuelle Zustandsdaten des ANC-Systems dargestellt werden. Das ANC-System kann als Sensorknoten in ein größeres IoT-System eingebunden werden.

### Effizientere Prozesse durch reduzierte Emissionen

Das demonstrierte System kann Reduktionen in Höhe von 6 dB(A), das entspricht

einer Halbierung des Schalldrucks, erreichen. Theoretische Betrachtungen zeigen mögliche Reduktionen bis hin zu 20 dB(A) durch die Verwendung zweidimensionaler Lautsprecher-Arrays. Durch die Reduktion des emittierten Schalls ist ein erhöhtes Umschlagsvolumen erreichbar, insbesondere nachts, da aktuell häufig Lärmkontingente die Anzahl der nächtlichen Umschläge limitieren.

Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

Valentin Mees  
Bartningstr. 47  
64289 Darmstadt  
Telefon: +49 6151 705 667

valentin.mees@lbf.fraunhofer.de  
www.lbf.fraunhofer.de



# 4SMARTS<sup>®</sup>

## Symposium für Smarte Strukturen und Systeme

EVENTS  
2021  
2022

### TERMINE

**20. Mai 2021**  
10.00 – 12.00 Uhr  
4 SMARTS Digital Event\_1

Innerhalb des ersten Digital Events berichten Industriereferenten über ihre aktuellen Forschungsvorhaben und Problemstellungen und geben somit der Forschung wertvolle Impulse.

**22. September 2021**  
10.00 – 12.00 Uhr  
4 SMARTS Digital Event\_2

Das zweite Digital Event - Young Researcher Pitch – liefert die Antwort der Wissenschaft auf die aus dem ersten Digital Event gewonnenen Impulse der Industrie.

**09. + 10. März 2022**  
4 SMARTS Symposium  
(Präsenzveranstaltung)  
Steigenberger Parkhotel Braunschweig

Weitere Infos unter: 4SMARTS2022  
([besl-eventservice.de](mailto:besl-eventservice.de))  
Anmeldungen zu den Digital Events an:  
[4smarts@dlr.de](mailto:4smarts@dlr.de)

**Wir sind digitaler Aussteller auf der  
HANNOVER MESSE 2021!**

Seien Sie am 13.04.2021 Live dabei:

**15.30 – 16.00 |**  
Strukturintegrierte, drahtlose Sensorik/Aktuatorik  
für Industrie 4.0 Anwendungen im Maschinenbau

**18.00 – 18.30 |**  
Innovative Sensortechnologien und  
oberflächenintegrierte Aktorik

Unsere Highlight Exponate:

1. Automatisiertes EMI-Messsystem zur strukturellen Qualitätsüberwachung
2. Strukturintegrierte, drahtlose Sensorik/Aktuatorik für Industrie 4.0 Anwendung im Maschinenbau
3. Innovative Sensortechnologien in der Produktion



**HANNOVER  
MESSE**

**12. - 16. April 2021**  
Täglich 6:00 - 20:00 Uhr MEZ

# Das Leistungsspektrum des Geschäftsbereichs Adaptronik



## Impressum

### HERAUSGEBER:

Fraunhofer-Gesellschaft  
Geschäftsbereich 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

### GESCHÄFTSSTELLE:

Dipl.-Ing. Christoph Tamm

### SPRECHER:

Dr. Ing. Sven Herold

### REDAKTION & GRAFIK

Lena-Mareen Helmer  
Dipl. Des. Elena Gaudchau

 **Fraunhofer**  
Fraunhofer-Gesellschaft