

Mechatronische Systeme gestalten die Zukunft

Mechatronische Systeme nutzen die technische Symbiose aus Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik. Im Rahmen eines interdisziplinären Entwicklungsprozesses ist sowohl die Funktionalität der Subsysteme selbst als auch deren Zusammenspiel im Gesamtsystem entscheidend (Abbildung 1). Neue Maßstäbe werden vor allem im Hinblick auf Nutzerfunktionen, Effizienz und Sicherheit gesetzt, so können z. B. mechanische Grundsysteme mit instabilem Verhalten durch elektronische Regelung stabilisiert werden. Nachfolgend werden unterschiedlichste Anwendungen vorgestellt, die am Institut für Mechatronische Systeme im Maschinenbau (IMS) erforscht werden.

► *Mechatronic Systems Design the Future*

Mechatronic Systems utilize the technical symbiosis of mechanical engineering, electrical engineering and computer science. Throughout an interdisciplinary development, the functionality of subsystems as well as their interaction within the entire system is significant. New advancements take place in terms of usability, efficiency and safety since e.g. mechanical systems with an instable performance can be controlled electronically. Various applications from the research at the Institute for Mechatronic Systems in Mechanical Engineering (IMS) are introduced in the following.

Stephan Rinderknecht, Daniel König • Mechatronische Systeme ermöglichen durch die übergreifende Vernetzung der verschiedenen Fachdisziplinen neue Lösungsansätze zur Bewältigung der technologischen Herausforderungen. Die Mechatronik findet zum Beispiel Anwendung in den Forschungsgebieten Fahrzeugantriebe, Flugtriebwerke, Medizintechnik oder bei Energiespeichersystemen.

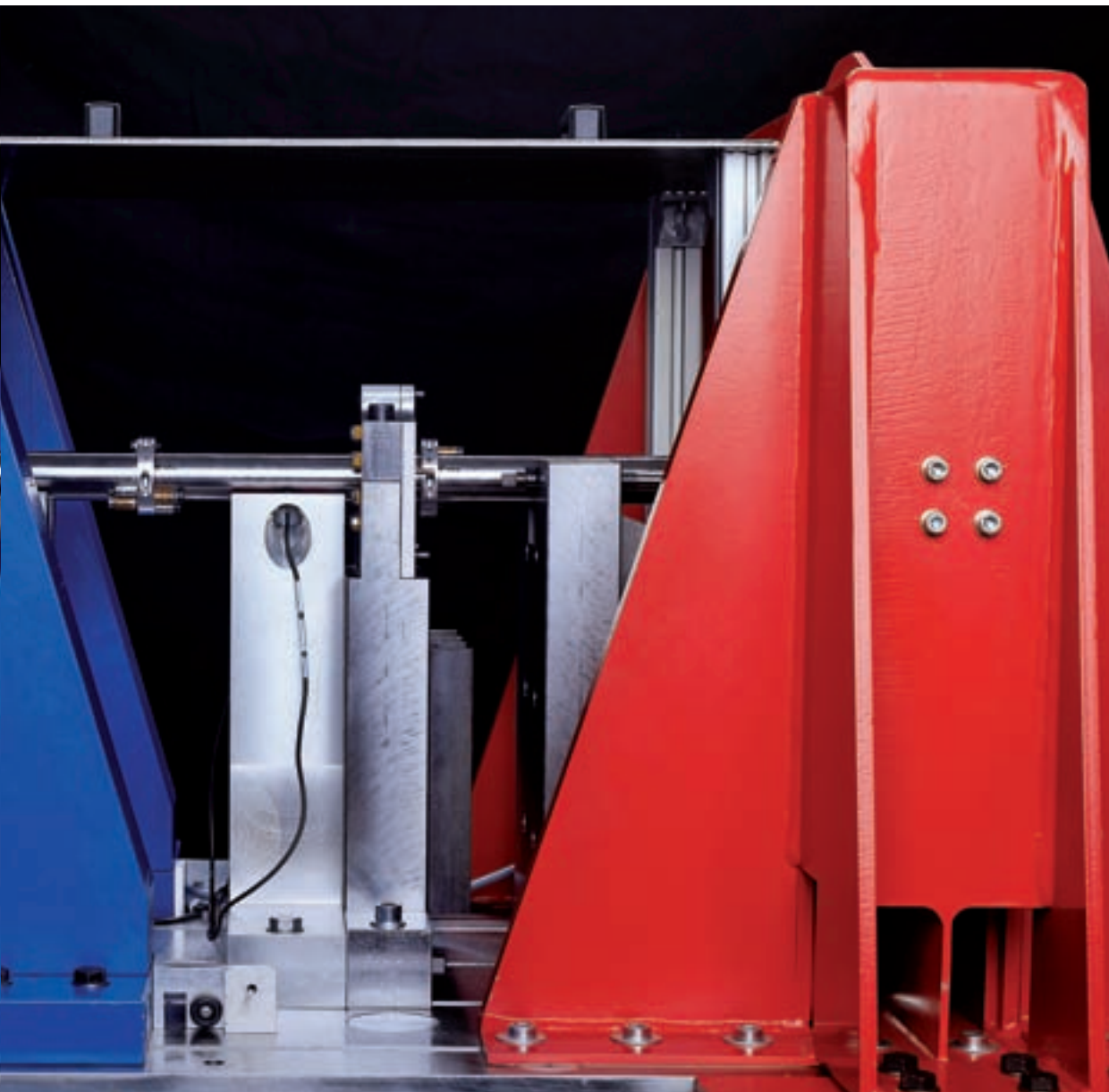
Entwicklung der Fahrzeugantriebstechnologie

Bei Fahrzeugantrieben kommt eine Vielzahl an mechatronischen Subsystemen zum Einsatz, die dann eine geschlossene, funktionierende Einheit bilden müssen. Während der Entwicklung bis zur Produktion des Fahrzeugs spielen zahlreiche Faktoren eine wichtige Rolle, unter anderem die Konzeptfindung, die Komponentenauswahl, die Subsystemintegration, die Fahrzeugintegration sowie die Optimierung.

Die Variationsmöglichkeiten der mechatronischen Antriebssysteme sind vielfältig und bedürfen bei der Auswahl zukunftssträchtiger Konzepte bereits in einer frühen Entwicklungsphase zuverlässiger



Simulations- und Bewertungsmethoden. Als konkretes Beispiel kann hier die Konzeptfindung für ein Elektrofahrzeug mit Range Extender (Zusatzaggregat zur Reichweitenerhöhung) genannt werden, bei der unter anderem die Ausführung des Range Extenders, die Anzahl der eingesetzten



Rotorprüfstand
mit aktiver
Lagerung.

E-Maschinen, der verwendete Getriebetyp sowie die Gangzahl variiert werden können. Darüber hinaus besteht erhebliches Potenzial in der Weiterentwicklung der Betriebsstrategien, die vermehrt prädiktive Fahrzyklusinformationen nutzen können.

Bei der Integration und Optimierung spielt neben der Hardware-in-the-Loop-Simulation der Subsysteme auch zunehmend die Simulation des Gesamtfahrzeugs eine Rolle. Mit einem mechatronischen Car-in-the-Loop-Prüfstand soll es zukünftig möglich sein, Reaktionskräfte bzw. -momente an

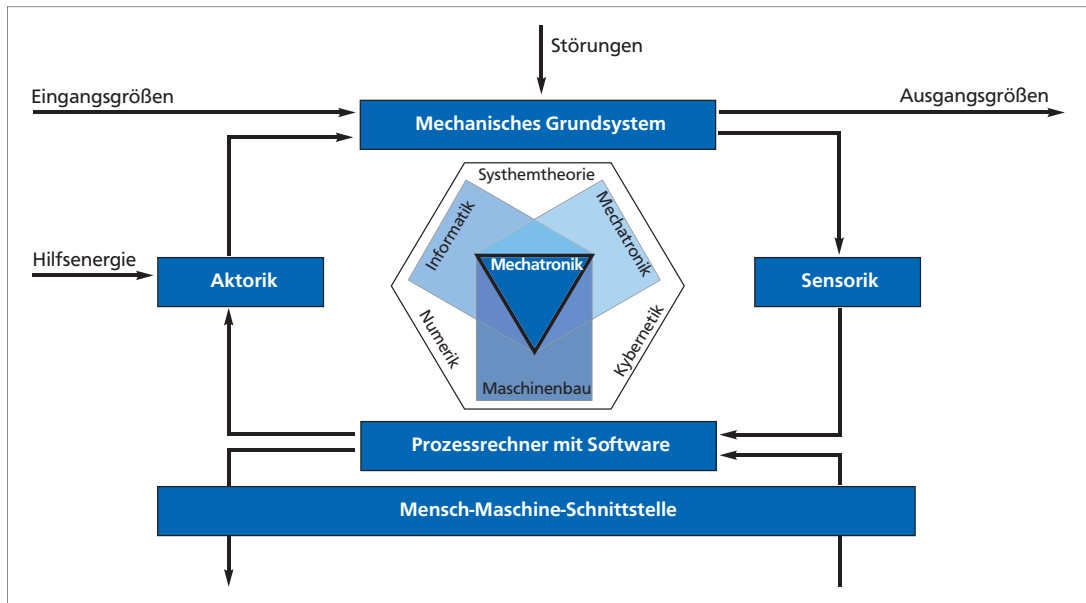


Abbildung 1
Mechatronisches
Gesamtsystem.

der Schnittstelle zwischen Reifen und Fahrbahn zu simulieren, die für die funktionale Entwicklung mechatronischer Antriebs-, Lenk- und Fahrwerksysteme relevant sind (Abbildung 2). Ziel ist die Anzahl erforderlicher realer Fahrversuche zu reduzieren und somit die Systementwicklung effizienter und flexibler zu gestalten.

Neuartige Ansätze in Flugtriebwerken

Die Mechatronik eröffnet bei der Gestaltung von Flugtriebwerken neue Lösungsansätze wie z. B. die aktive Lagerung, die Verbesserungspotenziale bei der Schwingungsminderung und der Fehlerdiagnose erschließt. Heutzutage werden bei Flugtriebwerken passive Quetschöldämpfer zur Dämpfung der Schwingungen beim Durchlaufen der Eigenfrequenzen überkritisch betriebener Rotoren verwendet. Allerdings weisen diese hydrodynamisch wirkenden Quetschöldämpfer ein stark nichtlineares Verhalten auf und benötigen eine experimentelle Auslegung aufgrund nur unzureichender Genauigkeit der verfügbaren mathematischen Modelle. Eine aktive Lagerung kann unter Verwendung von Piezostapelaktoren realisiert werden (Abbildung 3). Deren Einsatz ist in anderen Anwendungsbereichen zwar schon üblich, die Realisierung in Flugtriebwerken allerdings noch ein Zukunftsbild. Piezostapelaktoren weisen eine hohe Steifigkeit und Dynamik auf und eignen sich daher für die in Flugtriebwerken auftretenden Kräfte gut. Herausforderungen liegen vor allem im Bereich der thermischen Eigenschaften, der geometrischen Integration ins Triebwerk sowie der Regelung. Zunehmend gewinnen modellbasierte Reglerkonzepte an Bedeutung, die bislang nicht in der Industrie etabliert sind. Robustere und effizientere Regelungen sollen zur Realisierung der Zukunfts-

konzepte beitragen. Ferner ergibt sich gegenüber den passiven Systemen ein Zusatznutzen durch Erweiterung der Funktionalität sowohl im Hinblick auf die Fehlerdiagnose, die zukünftig z. B. Informationen über auftretende Unwuchten und potenziell auch deren Lokalisierung geben kann, als auch auf eine Schwingungsisolation, die zu einer Reduktion der Lagerkraftamplituden außerhalb der Resonanzbereiche führt.

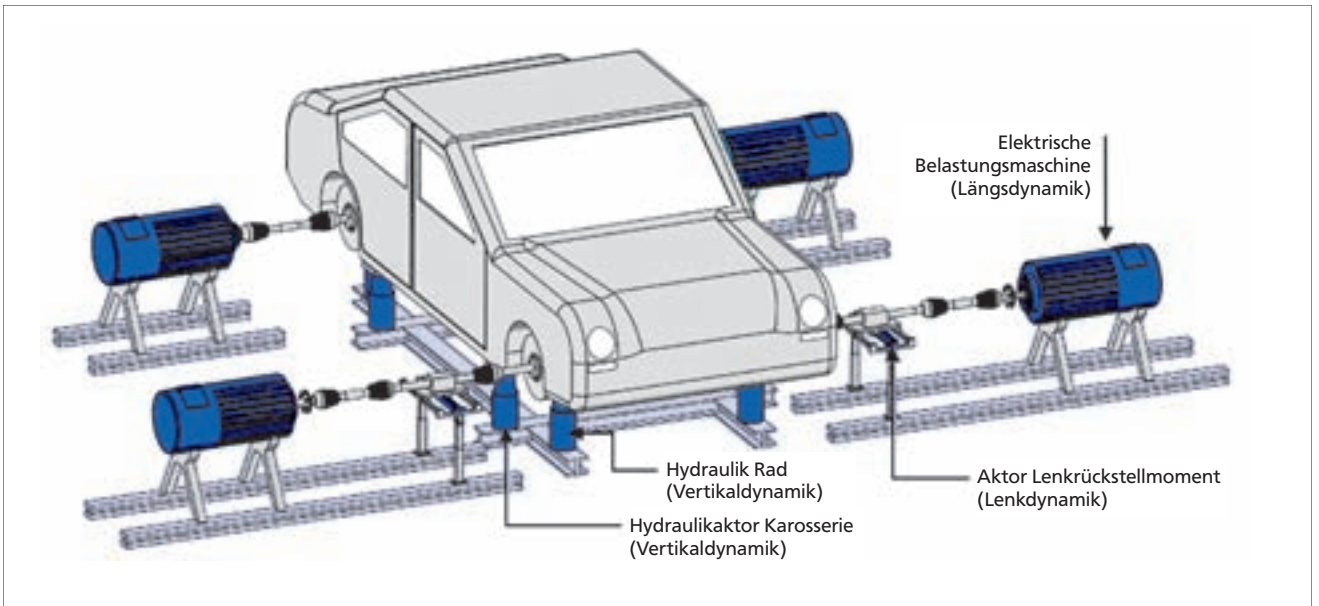
Mechatronische Systeme in der Medizintechnik

Auch in der Medizintechnik gestalten mechatronische Systeme die Zukunft, wie die Beispiele Rollstühle und Prothesen zeigen. Ziel dieser Anwendungen ist in besonderem Maße die Erleichterung des Alltags von Menschen mit Behinderung. Dabei stellt vor allem auch die Interaktion des Benutzers mit dem System und damit die Mensch-Maschine-Schnittstelle eine Herausforderung dar. Auf Basis eines doppelt inversen Pendels wird aktuell ein Rollstuhlssystem erforscht, das zukünftig autonomes Treppensteigen ermöglichen soll. Die Problemstellung umfasst dabei vor allem die Regelung des instabilen Grundsystems, die erforderlichen Sensorinformationen sowie die hybride dynamische Modellierung zur Berücksichtigung des Aufsetzens und Abhebens der Radachsen beim Treppensteigen. Darüber hinaus gehört auch die

Fachgebiet Mechatronische Systeme im Maschinenbau

Prof. Dr.-Ing. Stephan Rinderknecht
Tel. 06151/16-2074
E-Mail: rinderknecht@ims.tu-darmstadt.de

Daniel König, M.Sc.
Tel. 06151/16-5607
E-Mail: koenig@ims.tu-darmstadt.de
www.ims.tu-darmstadt.de



Gestaltung einer Bedienerschnittstelle, die möglichst geringe Anforderungen an den Nutzer stellt, zum Umfang der Forschung. Hierfür werden Ansätze der willkürlichen Muskelkontraktion (WMK) eingesetzt, die zur Detektion der Muskelbewegung ebenfalls Piezotechnik verwenden, und zukünftig hirnwellenbasierte Verfahren (EEG) erforscht. Diese Mensch-Maschinen-Schnittstellen können Menschen mit Schwerstbehinderung darüber hinaus als allgemeine Eingabegeräte z. B. für Computer oder Telefone dienen.

Für Menschen mit Oberschenkelamputation bieten mechatronische Beinprothesen mit aktiv angetriebenem Knie- und Sprunggelenk neue Möglichkeiten, das Gangbild wesentlich flexibler und natürlicher als mit den bisher am Markt verfügbaren Lösungen zu gestalten. Insgesamt soll die Muskulatur des Prothesenträgers ähnlich wie beim gesunden Bein belastet werden und die Variabilität für möglichst natürliche Bewegungsabläufe zum Beispiel bei Richtungswechseln oder beim Treppensteigen bieten. Besondere Herausforderungen lie-

Abbildung 2
Car-in-the-Loop
Prüfstand.

—ANZEIGE




KLEINE DINGE, GROSSE WIRKUNG

Wo sich kluge Köpfe treffen, werden oft bahnbrechende Ideen geboren. Und manchmal sind es nur relativ kleine Dinge, die den Ausschlag für eine große Idee geben: Inspirierende Architektur, die perfekte Präsentationstechnik, eine Atmosphäre einfach zum Wohlfühlen.

Das darmstadtium wissenschaft | kongresse –
Treffpunkt für die Macher der Märkte von morgen.





darmstadtium
wissenschaft | kongresse
www.darmstadtium.de

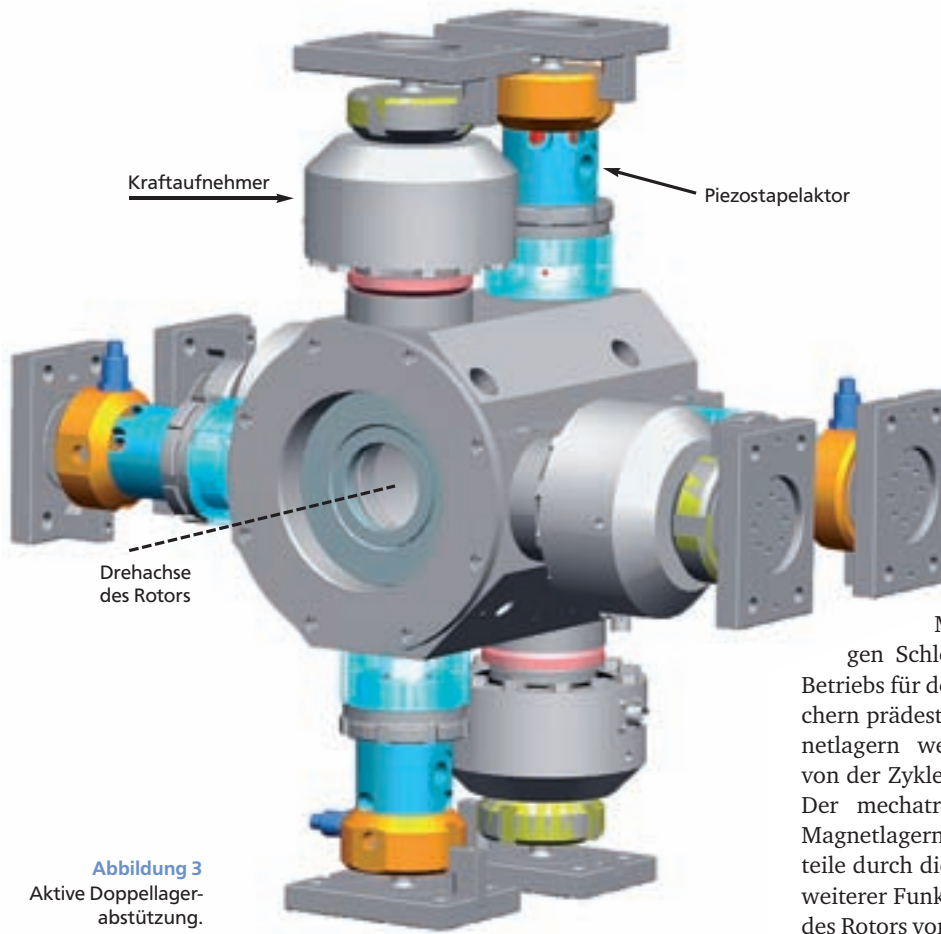


Abbildung 3
Aktive Doppellager-
abstützung.

bzw. Leerlaufverluste ausschlaggebend. Bei Anwendungen mit großer Zyklenzahl, zum Beispiel bei der Rekuperation der Bremsenergie, spielen dagegen die Wandlungsverluste eine sehr große Rolle. Berührungslose

Magnetlager sind aufgrund der geringen Schleppverluste und des wartungsfreien Betriebs für den Einsatz in kinetischen Energiespeichern prädestiniert. Bei der Verwendung von Magnetlagern weisen Schwungmassenspeicher eine von der Zyklenzahl unabhängige Lebensdauer auf. Der mechatronische Systemansatz mit aktiven Magnetlagern bietet darüber hinaus besondere Vorteile durch die direkte Möglichkeit der Umsetzung weiterer Funktionen wie die Schwingungsisolierung des Rotors vom Stator oder die Fehlererkennung eines sich ankündigenden Bauteilversagens.

gen in der Kombination mechanischer und elektronischer Regelungen, im Gewicht der Antriebseinheiten sowie in der Energieversorgung bzw. Laufzeit.

Innovative kinetische Energiespeicher

Die Notwendigkeit der Weiterentwicklung der Energiespeicher zeigt sich gerade mit Blick in die Zukunft bei sehr vielen mechatronischen Systemen, wobei die Energiespeicher selbst auch wiederum mechatronische Lösungsansätze aufweisen können. Die kinetischen Energiespeicher speichern Bewegungsenergie einer Schwungmasse bzw. eines Schwungrades und zeichnen sich gegenüber chemischen Energiespeichern besonders durch hohe Leistungsdichte aus. Aktuell kommen kinetische Energiespeicher hauptsächlich in Unterbrechungsfreien Stromversorgungen (USV) zum Beispiel in Rechenzentren und Krankenhäusern zum Einsatz. Aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften sind in Zukunft vermehrt auch Anwendungen im Bereich der Rekuperation der Bremsenergie von Fahrzeugen, der Lastgangglättung im Stromnetz sowie allgemein der Speicherung regenerativ erzeugter Energie zu erwarten. Abhängig vom Einsatzgebiet ergeben sich unterschiedliche Systemanforderungen an das System. Für Anwendungen mit hoher Leistungszeit, z. B. bei der Speicherung regenerativ erzeugter Energie, sind vor allem die Standby-

Chancen und Optimierungsansätze

Mit mechatronischen Systemen lässt sich zukünftig noch erhebliches Optimierungspotenzial schöpfen. Neben der Weiterentwicklung der Subsysteme ist vor allem die Systemintegration durch eine weitere Intensivierung der interdisziplinären Zusammenarbeit zu stärken. Zur Reduzierung steigender Kosten sind insbesondere auch die Produktionstechnologien wesentlich intensiver einzubeziehen. Insgesamt sind bei der Bewältigung der technologischen Herausforderungen der Zukunft, die einen maßgeblichen Beitrag zur Nachhaltigkeit und damit ein Höchstmaß an Effizienz verlangen, mechatronische Systemansätze nicht mehr wegzudenken.



Stephan Rinderknecht ist seit 2009 Professor im Fachbereich Maschinenbau der TU Darmstadt. Er leitet das Fachgebiet Mechatronische Systeme im Maschinenbau.



Daniel König ist seit November 2010 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Mechatronische Systeme im Maschinenbau im Bereich Elektromobilität.