

Edoardo Mazza

Zusammenfassung des Vortrages

„Intelligente Materialien für neuartige Aktuatoren und adaptive Strukturen“

8. Thurgauer Technologietag, 11. April 2008

Die Materialforschung im letzten Jahrhundert läutete neue Perspektiven für die Ingenieurwissenschaften ein. Sie brachte Verbundwerkstoffe hervor, deren Eigenschaften sehr unterschiedlich sind von denen ihrer Ausgangskomponenten. Gleichzeitig wurden Materialien mit völlig neuartigen Eigenschaften entdeckt beziehungsweise synthetisiert. Diese Entwicklungen ermöglichen es beispielsweise heute, Sensoren und Aktuatoren in tragfähige Strukturen wie Brücken oder Gebäude einzubetten. Auch sind Strukturen denkbar, die sich selbst überwachen und sich ihrem Umfeld selbständig anpassen können. Die Empa leistet hieran wesentliche Beiträge durch ihre anwendungsorientierte Grundlagenforschung und Entwicklungsarbeit im Rahmen des Forschungsprogramms „Adaptive Werkstoffsysteme“. Die untersuchten Materialien zeichnen sich durch ihre Fähigkeit aus, eine oder mehrere Eigenschaften aufgrund externer Anregung zu verändern. Folgende Beispiele werden im Vortrag illustriert:

Elektroaktive Polymere

Elektroaktive Polymere (EAP) können elektrische Energie direkt in mechanische Arbeit umwandeln, indem elastische Polymerfolien ihre Form unter dem Einfluss eines elektrischen Feldes ändern: Sie dehnen sich aus beziehungsweise ziehen sich ohne Spannung wieder zusammen. Dazu werden die Folien auf beiden Seiten mit elektrisch leitendem Graphit beschichtet. An die möglichst dünnen Graphitschichten wird eine elektrische Spannung angelegt, was einem nachgiebigen elektrischen Kondensator entspricht. Die zwischen ihnen entstehenden Kräfte quetschen das Polymer senkrecht zur Fläche, wodurch es sich in der Fläche ausdehnen muss. Diese Verformung kann dazu benutzt werden, ein Luftschiff anzutreiben, Objekte zu verschieben oder beschädigte Muskeln zu ersetzen. Dies geschieht lautlos und (energie-)effizient. EAP erreichen einen Wirkungsgrad von bis zu 70 Prozent.

Magnetorheologische Dämpfer

Magnetorheologische Fluid-Dämpfer (MR-Dämpfer) können Schwingungen adaptiv dämpfen: zum Beispiel bei Schrägseilbrücken, deren Seile vor allem durch Wind und Verkehr zum Schwingen angeregt werden. Ein Regelalgorithmus verändert die Dämpfungskraft abhängig von den momentanen Seilschwingungen. Im Gegensatz zu passiven Öldämpfern – welche nur auf eine Schwingungsform und für eine Dämpferposition eingestellt werden können - berücksichtigt der Regelalgorithmus von MR-Dämpfern Seildaten, Schwingungsform, Schwingungsamplitude und Dämpferposition. Da MR-Dämpfer auch bei Stromausfall mit ihrer Grunddämpfungskraft arbeiten, ist ein solches System ausfallsicher. Seile mit geregelten MR-Dämpfern sind rund zehnfach stärker gedämpft als Seile ohne Dämpfer, was einem vergleichsweise sehr hohen Dämpfungswirkungsgrad von 70% entspricht.

Zerstörungsfreie Strukturüberwachung mittels Active Fiber Composites

Active Fiber Composites (AFC) wurden ursprünglich als Aktuatoren für adaptive Materialsysteme entwickelt. Dank ihrer Eigenschaften können AFC aber auch als Sensoren und Sender-Empfänger Systeme für verschiedene Anwendungen eingesetzt werden (z.B. bei der Strukturüberwachung mittels „Acoustic Emission“ (AE), „Acousto-Ultrasonic“ (AU) oder „Impedance Monitoring“). Im Vergleich zu herkömmlichen piezoelektrischen Wandlern bieten AFC Vorteile hinsichtlich ihrer reduzierten Dicke, des Formanpassungsvermögens auf zweifach gekrümmten Flächen oder der Abstimmung auf einem bestimmten Frequenzbereich. Viel Zeit bei der periodischen Inspektion kann durch die permanente Anbringung oder Integration von AFC

Elementen gespart werden. Denkbar ist auch eine kontinuierliche Überwachung der Struktur, wobei Schläge mittels AE ermittelt werden könnten; das Schadenausmass und die Schadenentwicklung könnten dann mit den gleichen Wandlern mittels AU evaluiert werden.

Nachgiebige Mechanismen

So genannte nachgiebige Mechanismen sind mechanische Systeme, die sich die strukturelle Flexibilität der verwendeten Materialien zu Nutze machen, um grosse Verformungen hervorzurufen. Dies ist beispielsweise in der Medizinaltechnik oder in der Robotik von Vorteil. Denn gegenüber konventionellen Mechanismen mit Gelenken und Lagern zeichnen sich nachgiebige Mechanismen dadurch aus, dass Laufruhe und Genauigkeit erhöht, wodurch Spiel, Verschleiss und Partikelverunreinigungen weitgehend vermieden werden. Bei miniaturisierten Präzisionsgeräten und Micro-Electro-Mechanical-Systems (MEMS) sind nachgiebige Mechanismen bereits Stand der Technik. Auf anderen Gebieten sind sie jedoch aufgrund ihrer Komplexität noch eher selten. Dank der Unterstützung der Gebert RUF Stiftung führt die Empa mehrere Projekte mit Industriepartnern durch, um das Potential von nachgiebigen Mechanismen für verschiedene Anwendungen nachzuweisen. Zum Beispiel bei der Herstellung chirurgischer Instrumente, in deren nachgiebigen Griffen eine grosse Anzahl von Kleinteilen wie Lager und Gelenke, die bei Differentialbauweise nötig wären, in einer monolithischen Einheit verschmelzen.

Werkzeuge und Methoden

Die Bewertung des Potentials neuer Technologien setzt ein gründliches Verständnis für das Material- und Komponentenverhalten voraus. Mehrfeld-Simulationen helfen physikalische Aspekte bei intelligenten Materialien zu verstehen und können die Antwort von komplexen Systemen voraussagen. Mit einem Optimierungsalgorithmus gekoppelt, führen solche Simulationen oft zu Lösungen, die von der Intuition eines Ingenieurs nicht mehr erfasst werden können. Zur Validierung numerischer Ergebnisse benötigt der Ingenieur entsprechende Experimente, mit neuen Messgeräten und Messanordnungen. Neue Fertigungsprozesse werden entwickelt. Technologien zur Einbettung von Sensoren und Aktuatoren in tragenden Strukturen werden untersucht und weiterentwickelt. Der optimalen Platzierung von Sensoren und Aktuatoren (als aktive Komponenten des Regelkreises) sowie der robusten Regelung dieser Systeme kommt eine grosse Bedeutung zu, sei es bei der Schwingungsdämpfung, bei der Formkontrolle oder bei der Strukturüberwachung.

Das Forschungsprogramm «Adaptive Werkstoffsysteme» wurde im Jahr 2000 von Prof. Dr. h.c. Urs Meier injiziert. Seitdem entwickelten Forschende der Empa in Zusammenarbeit mit Instituten der ETH Zürich und anderen Partnern eine Reihe neuartiger adaptiver Systeme. Die Forschung erstreckt sich von der Materialentwicklung und der Erarbeitung von Theorien und Algorithmen zur Modellierung bzw. Optimierung der aktiven Systeme über die Entwicklung neuartiger experimenteller Methoden zur Charakterisierung der intelligenten Materialien bis hin zu anwendungsnahen Projekten, in denen das Potential dieser neuen Technologien an Modellen erprobt und an so genannten «Demonstratoren» aufgezeigt wird. Die Kooperation mit Partnern aus dem universitären Umfeld, insbesondere mit der ETH Zürich, erlaubt nicht nur eine effizientere Entwicklung, sondern auch das Einfließen der neusten Erkenntnisse in die Ausbildung junger Ingenieure und WissenschaftlerInnen. Die industrielle Umsetzung der entwickelten Technologien steht nun an. Deshalb sucht die Empa unter den innovativen, zukunftsorientierten Unternehmen geeignete Partner. Die Attraktivität dieser Forschungsrichtung zeigt auch das vor kurzem bewilligte Nationale Forschungsprogramm (NFP) «Intelligente Materialien». Es wird dank einem regen Gedankenaustausch unter den beteiligten Forschungsgruppen vermehrt interdisziplinäre Lösungsansätze und damit einen effizienteren Einsatz der Ressourcen fördern.