

Wissen

05.04.2005

Künstliche Muskelpakete aus Klebefolie

Schweizer Forscher entwickeln ein Material, das sich unzählige Male ausdehnen und wieder zusammenziehen kann.

Von Christa Rosatzin-Strobel

Im März fand in San Diego, Kalifornien, eine Weltmeisterschaft der besonderen Art statt: Eine 17-jährige Studentin mass sich im Armdrücken mit Robotern. Drei Teams, zwei aus den USA und eines aus der Schweiz, von der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) in Dübendorf, traten zum Wettbewerb an. Wären die Gegner mit herkömmlichen Motoren oder pneumatischen Pumpen ausgerüstet gewesen, hätte die junge Frau kaum eine Chance gehabt. Doch die Studentin trat gegen elektroaktive Polymere an, eine Art künstliche Muskeln – und gewann.

Den Robotern fehlte es dabei nicht an Kraft, sondern an Ausgereiftheit. «Unser Roboter ist im Prototypenstadium. Wenn alle Teilsysteme funktionieren, wird er gewinnen», sagte Silvain Michel, Gruppenleiter Adaptive Struktursysteme an der Empa in Dübendorf, vor dem Wettbewerb. Doch die Studentin bezwang den Roboter in kurzer Zeit. Er konnte nicht mit voller Kraft drücken, da nur ein Teil der künstlichen Muskelstränge aktiviert wurde.

Trotzdem bedeutet die Weltmeisterschaft einen grossen Erfolg für das Team. Der Roboter aus der Schweiz war den anderen Maschinen weit überlegen. «Die Fachwelt war beeindruckt, dass wir künstliche Muskeln in dieser Menge und Stabilität herstellen können», schildert Michel die Reaktionen aus San Diego.

Mit Grafit beschichtet

Für ihren Roboter bauten die Forscher der Empa über 250 zylinderförmige Muskelstränge. Dabei nutzten sie die Eigenschaften eines alltäglichen Materials. Polymerfolien – bekannt als handelsübliche Klebefolien - sind sehr elastisch und ändern ihre Form unter dem Einfluss eines elektrischen Feldes. Sie werden dünner und dehnen sich in der Länge und Breite aus.

Um das elektrische Feld zu erzeugen, beschichten die Forscher das Polymer auf beiden Seiten mit leitfähigem Grafitpulver. Legt man nun eine Spannung zwischen den Grafitschichten an, entsteht wie bei einem Kondensator ein elektrisches Feld. Die Polymerfolie und mit ihr die Grafitschichten dehnen sich seitlich aus – eine leichte, elastische Fläche, die sich kontinuierlich auf mehr als das Doppelte vergrössern lässt.

Die Anwendungen sind vielfältig: Flügelprofile aus elektroaktiven Polymeren könnten beispielsweise ihre Form dynamisch an die jeweiligen Flugbedingungen anpassen. Dadurch würde der Treibstoffverbrauch stark reduziert.

Ein besonders interessantes Anwendungsgebiet elektroaktiver Polymere ist die biomedizinische Technik. Es gibt zwar viele technische Systeme wie pneumatische Pumpen oder Elektromotoren, die wie Muskeln Kraft erzeugen können. Doch alle haben gewichtige Nachteile. Mal sind sie zu schwer und zu gross, mal zu wenig dehnbar oder

zu schwach.

Elektroaktive Polymere hingegen sind natürlichen Muskeln sehr ähnlich: Bei vergleichbarer Leistungsfähigkeit sind die künstlichen Systeme etwa gleich gross und gleich schwer wie natürliche Muskeln. Dank ihrer hohen Elastizität können sie sich unzählige Male ausdehnen und wieder zusammenziehen.

Zudem lassen sich elektroaktive Polymere fast beliebig klein bauen, ohne dass sie ihre hohe Effizienz einbüssen. Die künstlichen Muskeln wandeln vierzig Prozent der elektrischen Energie in Kraft um und arbeiten damit effizienter als Motoren oder pneumatische Systeme. Ein weiterer Vorteil: Die künstlichen Muskelstränge sind einfache Systeme und damit robust und stabil.

Grosses Potenzial

Bei der Herstellung der Muskelstränge wickeln die Forscher 10 bis 50 Lagen der beschichteten Polymerfolie um eine zusammengedrückte Feder. Die Folienenden werden so fixiert, dass sich die Feder nicht mehr strecken kann. Legt man nun eine elektrische Spannung an, dehnt sich die Polymerfolie in Längsrichtung, und die Feder entspannt sich. Der künstliche Muskel verlängert sich um bis zu 30 Prozent. Schaltet man die Spannung ab, zieht sich der Zylinder wieder auf die ursprüngliche Länge zusammen. Damit verhalten sich die technischen Systeme genau umgekehrt zu natürlichen Muskeln, die im Ruhezustand länger sind.

Ob elektroaktive Polymere dereinst natürliche Muskeln ersetzen können, wird sich erst zeigen. «Das Potenzial der Technologie wird in Fachkreisen sehr hoch eingeschätzt», sagt Michel. Doch der Forscher erwartet noch einen erheblichen Entwicklungsaufwand.

Ein Hindernis sind die hohen Spannungen. Die künstlichen Muskeln der Empa werden derzeit mit Spannungen von vier bis fünf Kilovolt betrieben - für den Einsatz im menschlichen Körper sind diese Werte mehr als hundertmal zu gross. Die Grösse der Spannung ist dabei direkt abhängig von der Dicke der Polymerschicht. Je dünner die Schicht, desto geringere Spannungen sind nötig.

An der Empa werden die Polymerfolien vor der Beschichtung auf eine Dicke von wenigen Hundertstelmillimetern gedehnt. Um die Spannungen zu senken, wären Schichtdicken im Bereich von einigen Nanometern, also Millionstelmillimeter nötig. So stark lassen sich die handelsüblichen Folien jedoch nicht dehnen. Bei zu starker und unregelmässiger Belastung reisst das Material. Die Schichtdicke ist zudem durch die Kurzschlussfestigkeit beschränkt. Unterhalb einer bestimmten Dicke isoliert das Material nicht mehr genügend, die beiden leitenden Schichten werden kurzgeschlossen.

Dünnere und schneller

Die Forscher der Empa untersuchen deshalb auch andere Materialien, zum Beispiel Silikon. Damit lassen sich Schichten in einer Dicke von wenigen Tausendstelmillimetern herstellen. Zudem eignet sich Silikon für biomedizinische Anwendungen und hat eine höhere Reaktionsgeschwindigkeit. Das heisst, es verformt sich sehr schnell. Polymerfolien erreichen 60 bis 70 Prozent der maximalen Verformung zwar in Bruchteilen von Sekunden. Bis sich die vollständige Flächenänderung eingestellt hat, dauert es jedoch ein paar Sekunden.

Forscher der Empa und der ETH Zürich arbeiten in verschiedenen Projekten an konkreten Anwendungen elektroaktiver Polymere. Ein Beispiel sind Operationshandschuhe für angehende Chirurgen. Die Lernenden tragen eine Monitorbrille, auf der eine Operation in dreidimensionaler Darstellung abläuft.

Elektroaktive Polymere in den Handschuhen simulieren dabei den Druck der Instrumente und geben dem Lernenden das Gefühl, Instrumente und Organe direkt anzufassen.

Denkbar sind auch Schläuche aus elektroaktiven Polymeren, die lokal ihren Durchmesser verkleinern und so empfindliche flüssige oder gasförmige Medien fördern.