

Intelligente Imitate

Maschinen und technische Geräte wären effizienter, wenn sie kleiner und leichter konzipiert werden könnten. Mit schlaunen Materialien, die sich wie Lebewesen ihrer Umwelt anpassen, ließe sich in vielen Bereichen Energie einsparen und das Klima schonen.

Von Sascha Rentzing

Der Roboter des Leibnitz-Instituts für Neue Materialien (INM) in Saarbrücken besitzt besonderes Feingefühl: Mit einem Paddel, das mit tausenden winzigen Kunststoffhärchen bestückt ist, kann er Gegenstände schonend und sicher hin und her bewegen – sogar Glasscheiben, wie ein Video des INM belegt: Der Roboter hebt auf dem Film die Scheibe mit dem Paddel vorsichtig an und legt sie nach einer viertel Drehung sanft wieder ab. Molekulare Wechselwirkungen zwischen den Grenz-

se sind ihre dichten, kleinen Haarfelder an den Zehen. Ein solches Haar ist zehnmal dünner als ein menschliches. Deshalb kann der Gecko Kräfte nutzen, die sonst nur zwischen einzelnen Molekülen wirken: Sind die elektrischen Ladungen der Moleküle asymmetrisch verteilt, ziehen sich die entgegengesetzt geladenen Molekülenenden wie zwei Magnete an.

Um den Geckofuß nachzubilden, haben die Saarbrücker Wissenschaftler ein spezielles Prägeverfahren entwickelt. Sie füllen flüssigen Kunststoff in eine Negativform der Härchen. Das Ergebnis ist eine Oberfläche, auf der gleichgroße Härchen regelmäßig angeordnet sind. Die Industrie zeigt bereits großes Interesse. „Mit Hilfe von Unternehmen überführen wir derzeit Laborprozesse in einen industriellen Maßstab“, sagt Moh.

Die Begeisterung für die neue Greiftechnik ist verständlich, denn mit ihr ließe sich in der industriellen Automation viel Energie sparen. Fast überall kommen heute Vakuumgreifer zum Einsatz. Die Vaku-

umpumpen verbrauchen jedoch viel Strom und treiben die Fertigungskosten in die Höhe. Roboter mit Geckotechnik arbeiten effizienter, weil für das „Ausschalten“ der Adhäsion deutlich weniger Energie benötigt werden, erklärt Moh.

Drähte statt Motoren

Die polymeren Mikrohärchen sind nur eines von vielen Beispielen für Materialien, die nach dem Vorbild der Natur funktionieren. Weltweit suchen Wissenschaftler nach intelligenten Werkstoffen, die Fähigkeiten besitzen wie Pflanzen und Tiere. Sie entwickeln Superkleber nach dem Geckoprinzip, Harze und Lacke, die sich selbst heilen können oder Kunstmuskeln, die Reize aufnehmen und darauf reagieren. Die Innovationen sollen vor allem eines bewirken: das Profil von Bauteilen und Maschinen optimieren und somit technische Abläufe vereinfachen. Denn auf diese Weise lassen sich in ganz verschiedenen Bereichen Ressourcen sparen und somit das Klima schonen.

Markbeobachter glauben, dass sich Kunstmuskeln und Co schon bald auf breiter Front durchsetzen könnten. Nach Informationen der US-Marktforschungsfirma Transparency Market Research lag der glo-

„
Neben den USA, Japan, Frankreich und England hat Deutschland nicht viel Konkurrenz bei der Entwicklung smarterer Materialien.“

Frank Fischer, Deutsche Gesellschaft für Materialkunde

flächen, so genannte Van-der-Waals-Kräfte, lassen das Glas fest an den Härchen haften. Mit einem Magnetfeld wird der mechanische Zusammenhalt wieder gelöst.

„Wir imitieren den Mechanismus des Geckos, da er fast an allen Oberflächen haften kann“, erklärt INM-Wissenschaftler Karsten Moh. Das Geheimnis der Ech-

bale Umsatz mit intelligenten Materialien im Jahr 2011 bei rund 20 Milliarden Dollar. Bis 2018 soll sich dieser Umsatz auf knapp 50 Milliarden Dollar mehr als verdoppeln. Besonders starkes Wachstum sagen die Experten für so genannte Aktoren voraus. Als Antriebselemente setzen sie die elektrischen Signale einer Regelung in mechanische Energie um. Ein Beispiel wäre etwa das Verstellen des Blattwinkels einer Windturbine.

Deutschland könnte bei den intelligenten Materialien eine führende Rolle übernehmen. Es sei in den vergangenen Jahren sehr viel Forschungsgeld im Bereich von Formgedächtnislegierungen, Piezokeramiken oder elektrischen Polymeren investiert worden, sagt Frank Fischer, Geschäftsführer der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde. „Neben den USA, Japan, Frankreich und England haben wir nicht viel Konkurrenz.“

In der Tat nähern sich in den Ländern diverse Ansätze der Schwelle zur industriellen Umsetzung. Rasche Fortschritte gibt es unter anderem bei den so genannten Formgedächtnismaterialien, denen im weiteren Sinne auch schalt-

häktionssysteme wie die Geckotechnik zuzuordnen sind. Dabei handelt es sich um eine Gruppe von Metallen, Kunststoffen und Verbundwerkstoffen, die ihre Form ändern, wenn sie einem geeigneten Stimulus ausgesetzt werden. Das ist möglich, weil in ihrer Molekülstruktur gewissermaßen zwei Gestalten gespeichert sind.

Ein besonderes Interesse gilt schlaun Drähten auf der Basis von Eisen, Kupfer oder Nickel. Wird ein solcher Draht erwärmt, indem ein elektrischer Strom durch ihn fließt, zieht er sich zusammen. Wird der Strom abgeschaltet, kühlt der Draht ab und wird so lang wie vorher. Dank dieser Funktion können die filigranen Drähte zum Beispiel schwere und teure Stellmotoren ersetzen, die in Autos, Flugzeugen oder Windturbinen viele Funktionen steuern. In Luxusfahrzeugen werden Memory-Metalle bereits verbaut. Angeregt durch einen schwachen Strom dehnen sich die Drähte aus und öffnen dabei Tankdeckel und Schlösser. Denkbar, dass auf diese Art und Weise künft- ▶



Perfekte Haftung: Mit ihren Härchen zwischen den Zehen können sich Geckos selbst an glatten Oberflächen festhalten – ein Vorbild für Robotergreifarme.

tig auch Turbinenflügel aus dem Wind gedrückt werden, wenn kritische Böen aufkommen. Bisher übernehmen diese Aufgabe mindestens drei schwere Pitchmotoren.

Schaltbare Fenster

In der Gebäudetechnik bieten sich weitere Einsatzmöglichkeiten für Materialien mit Formgedächtnis. Fensterscheiben mit chromogenen Kunststoffen etwa, die je nach Lichteinfall, Temperatur oder elektrischer Ansteuerung ihre optischen Eigenschaften verändern, können für eine automatische Klimatisierung von Räumen sorgen – und so stromfressende Klimaanlage überflüssig machen. Forscher des Lawrence Berkeley National Laboratory in den USA zum Beispiel haben eine schaltbare Beschichtung entwickelt, die gezielt Wärmestrahlung blockiert, sichtbares Licht jedoch ungehindert passieren lässt. Basis der schlaun Schicht sind winzige Kristalle aus Indiumzinnoxid und Nioboxid, die sich je nach elektrischer Spannung zu Strukturen mit unterschiedlichen optischen Eigenschaften anordnen.

Bei einer hohen Spannung lasse die durchsichtige Beschichtung das komplette Lichtspektrum inklusive der Wärmestrahlung passieren, berichten die Berkeley-Forscher im Fachmagazin Nature. Bei reduzierter Spannung werde die Wärmestrahlung gezielt blockiert, das sichtbare Licht

könne hingegen weiter ungehindert durchdringen. Erst bei niedriger Spannung verdunkle sich das Material und schlucke zudem nahezu das gesamte Lichtspektrum. Der Vorgang kann laut den Wissenschaftlern beliebig oft ohne Funktionseinschränkung wiederholt werden. Das erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass die Industrie dieses Konzept des schaltbaren Fensters bald aufgreift.

Intelligente Werkstoffe ermöglichen aber nicht nur einen effizienteren Umgang mit Energie, sondern können sie auch produzieren. So genannte Energy-Harvesting-Techniken wie Piezokeramiken sind in der Lage, kleinste Schwingungen in Strom umzuwandeln. Thermoelektrische Materialien schaffen das gleiche Kunststück mit Wärme. Dank ihrer Eigenschaften könnten die Harvester eingesetzt werden, um Sensoren, Kommunikationstechnik und andere Kleinverbraucher mit Strom zu versorgen. So ließen sich Brücken, Industrieanlagen oder regenerative Kraftwerke energieautark überwachen. Nachteil der bisher eingesetzten thermoelektrischen Elemente ist jedoch, dass sie recht teuer sind und bedenkliche und seltene Rohstoffe wie Blei, Selen und Tellur enthalten.

Wissenschaftlern des Instituts für Energie- und Umwelttechnik (Iuta) in Duisburg ist es gemeinsam mit Projektpartnern gelungen, die teuren und umweltschäd-



lichen Stoffe durch unbedenkliches und gut verfügbares Silizium zu ersetzen. „Wir zersetzen Silan in einem thermischen Prozess und gewinnen so Siliziumnanopartikel, die anschließend in einem Sinterprozess in die gewünschte Form gebracht werden“, erklärt Iuta-Experte Stefan Peil. Die Demonstratoren des Iuta bestehen aus mehreren elektrisch leitfähigen Siliziumkörpern, die zwischen zwei keramische Platten mit vier mal vier Zentimetern Größe eingebaut werden. Die Zellen könnten in künftigen Fabriken Steuerelemente drahtloser Netzwerke mit Energie versorgen oder in größeren Einheiten die Abluft von Kraftwerken verstromen, so Peil. Um die Technik für die Industrie interessant zu machen, wollen die Wissenschaftler die Leistungsfähigkeit der Zellen noch weiter erhöhen.

Immer dem Wind angepasst

Denkbar wäre es auch, Energy-Harvesting-Techniken als Stromlieferanten für künstliche Muskeln einzusetzen. Kunstmuskeln gelten als weiteres Paradebeispiel für intelligente Materialien. Für sie haben Wissenschaftler unter anderem elektroaktive Elastomere ins Auge gefasst, also aktivierbare elektrisch leitfähige Kunststoffe, die verformbar sind wie ein Gummiband. Dehnt sich der Kunststoff, sendet er ein Signal und übernimmt damit die Funktion eines Sen-

sors. Legt man andererseits eine elektrische Spannung an, ziehen sich die dielektrischen Schichten zusammen und der Kunststoff verkürzt sich – der Sensor wandelt sich zum aktiven Antrieber, zum Aktor.

Forscher des Fraunhofer-Instituts für Betriebsfestigkeit- und Systemzuverlässigkeit (LBF) in Darmstadt nutzen dieses Prinzip, um Schwingungsdämpfer etwa für Autos zu konzipieren. „Wir arbeiten an Elastomeren, die aktiv auf Vibrationen des Motors reagieren. Steuert eine intelligente Elektronik das Elastomer so an, dass es genau im Gentakt vibriert, kann es die unerwünschten Schwingungen weitgehend auslöschen“, erklärt LBF-Experte Thorsten Koch. Gleichzeitig könnten die Elastomere aus den Rüttelbewegungen Energie gewinnen. So könnte sich der Schwingungsdämpfer zum Teil selbst mit Strom versorgen.

Um zu zeigen, dass die Technik funktioniert, haben die Darmstädter Wissenschaftler einen Demonstrator in der Größe einer Zigarettenschachtel aus 40 dünnen Elastomer-Elektroden-Schichten gebaut. In der Regel bestehen Elektroden aus Metall. Es ist jedoch relativ starr und behindert die Verformung des Elastomers. Die Experten lösen das Problem, indem sie kleine Löcher in die Elektroden bohren. Wird das Elastomer durch eine elektrische Spannung verformt, kann es in diese Löcher ausweichen.

Die Technik sei weitgehend ausgereift, sagt Koch. „Der Fertigungsprozess lässt sich gut automatisieren.“ Zuvor müssten jedoch Dauertests zeigen, wie beständig die intelligenten Aktoren seien.

Theoretisch ließen sich mit Hilfe elektrisch leitfähiger Kunststoffe auch ganz neue, windschnittige Autos, Flugzeuge oder Windturbinen bauen. Das intelligente Material misst den Anpressdruck der Luft und passt seine Form so den Windverhältnissen an, dass der Widerstand re-

”

Smart Materials werden aus dem alltäglichen Leben künftig nicht mehr wegzudenken sein.“

Dieter Sporn, Fraunhofer ISC

duziert wird. Die Überlegungen der Forscher gehen noch weiter: Damit keine aufwendigen Reparaturen mehr an Autos und Turbinen nötig sind, wenn ihre äußeren Hüllen beschädigt werden, entwickeln sie Emulsionen und Lacke mit der Fähigkeit zur Selbstheilung.

Forscher des Fraunhofer-Instituts für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (Umsicht) in Oberhausen etwa haben nach dem Vorbild des Selbstheilungsme-

chanismus des Kautschukbaums eine Reparaturflüssigkeit für Gummi hergestellt. Sie reicherten eine Emulsion aus synthetischem Kautschuk mit Mikrokapseln mit einem klebenden Material an. Bei Druck zerplatzen die Kapseln, die Klebe vermischt sich mit dem zähflüssigen Kunstkautschuk und kann Risse verschließen. Würde man die Emulsion beispielsweise in Dichtungen einlagern, könnten sie sich bei Schäden künftig von selbst reparieren. Mit heilenden Kapseln ließen sich genauso gut

Schutzlacke für Autos oder Windturbinen produzieren. Dann wäre Korrosion kein Thema mehr.

Bis selbstheilende Anstriche oder windschnittige Formen für Windturbinen Marktreife erlangen, ist aber noch viel Forschungsarbeit

nötig. „Das Zusammenspiel von Sensorik und Aktorik ist bei den Kunstmuskeln extrem komplex“, erklärt Dieter Sporn, Leiter des Center Smart Materials am Fraunhofer-Institut für Silicatforschung (ISC) in Würzburg. In anderen Bereichen wie der Sensorik oder dem Energy Harvesting stünden intelligente Materialien hingegen kurz vor der Marktreife. „Smart Materials werden aus dem alltäglichen Leben künftig nicht mehr wegzudenken sein“, so Sporn. ◀