

**SIEMENS**

# Besuchen Sie uns auf der Cebit 2005: Halle 26, Stand C32

DAS M.I.T. - MAGAZIN FÜR INNOVATION  
**TECHNOLOGY**  
 R E V I E W  
 MÄRKTE VON MORGEN

**FEATURES****FOKUS**

LABOR

INNOVATION

PERSPEKTIVE

WISSEN

TR aktuell

Forum

Frage der Woche

Anzeige

**Aktuelle Ausgabe****FEBRUAR 2005****FOKUS****Smarte Materialien**

Von Astrid Dähn

[Seite 1 2 3 &gt;&gt;]

Bislang sind die Eigenschaften der meisten Materialien festgelegt. Stahl zum Beispiel ist hart, ein Laternenmast daher stabil und mit einer gewissen Belastungsreserve ausgestattet. Aber über die Jahre korrodiert er und muss ausgetauscht werden - ebenso wenn ein Auto dagegen fährt. In ferner Zukunft könnte ein solcher Mast automatisch weich werden, wenn er einen Aufprall verspürt. "Das ist die Richtung, die die Materialwissenschaften in diesem Jahrhundert einschlagen werden", sagt der Chemieprofessor André Laschewsky.

Die Themen im Einzelnen:

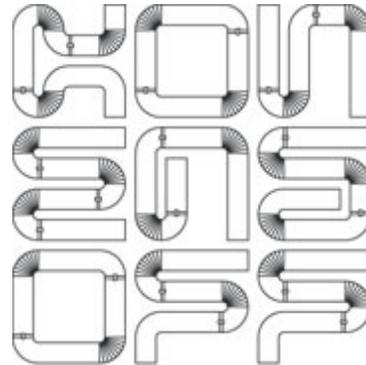
**Die Schuhsohle denkt mit**

Illustration: Albert Exergjan

**Suche**

In TR-Artikeln

[Hilfe](#)**Newsletter**Aktuell und kostenlos!  
**Hier bestellen!**

Ihre E-Mail-Adresse:

**TR aktuell**[Die offene Flanke von  
Online-Musikabos](#)[Programmierer als  
Entwicklungshelfer](#)[HP-Beschäftigte feiern  
Ablösung von Fiorina](#)[Linux-Musik vom MP3.  
com-Gründer](#)[Digitale Videorekorder:  
Das Drama um Tivo](#)[Dehnungsübungen für  
effizientere Chips](#)

[Inhalt](#)  
[Abonnieren](#)  
[Heft bestellen](#)



[frühere Ausgaben](#)  
[Vorschau](#)

## Technologie-Partner



Die S-Bahn rast mit Vollgas in Richtung Hudson River, die Fahrgäste schreien panisch. Spiderman klemmt sich vor den Triebwagen und wirft sein Spinnennetz an die vorbeirauschenden Häuser. Die Fäden ziehen sich wie Gummi, bremsen den Zug. Kurz vor dem Abgrund kommt er zum Stehen. Diese Action-Szene aus dem vergangenen Kinosommer zeigt: Selbst Superhelden wären ohne Materialforschung aufgeschmissen. Die milchige Flüssigkeit aus Spidermans Drüsen, die in Luft gerinnt, beim Kontakt mit Häuserfassaden kleben bleibt und sich anschließend biologisch abbaut, ist Polymerchemie in Höchstform.

"Smart Materials" nennt die Wissenschaft jene Werkstoffe, deren Eigenschaften sich durch elektrische Spannung, Magnetfelder, Licht oder Wärme gezielt verändern lassen. Was früher nur tote Materie war, scheint plötzlich mitzudenken: Brillen werden dunkler, wenn draußen die Sonne blendet, Tennisschläger versteifen sich, wenn sie zu stark vibrieren. Ingenieure basteln an intelligenten Häuserfassaden, die den Straßenlärm dämpfen, und träumen von mikroskopisch kleinen Hohlkugelchen, die als Medikamentenfähren dienen und im Gewebe eines Tumors ihren Inhalt freigeben.

Erstmals in Mode kamen die smarte Werkstoffe in den 80er Jahren. Metalle mit Formgedächtnis und Kristalle mit Piezoeffekt ("Piezos") standen damals im Mittelpunkt der Forschung. Mittlerweile sind diese Substanzen recht gut untersucht - und weitgehend ausgereizt. Der jüngste Trend geht daher in Richtung intelligenter Kunststoffe. Ähnlich wie Piezokristalle schrumpfen und dehnen sich elektroaktive Polymere, wenn man eine elektrische Spannung an sie anlegt.

Während Piezos ihre Größe nur um maximal ein Promille verändern, können flexible Kunststoffe ihr Volumen nahezu verdoppeln. Anpassungsfähige und billige Silikonfolien bieten sich deshalb an, um in Flugzeugummantelungen oder im Autoboden Schwingungen zu dämpfen. In der Medizin könnten die neuen

[Schnee: Geheimnisse der weißen Pracht](#)

[Yahoo will mit ortsbezogener Suche glänzen](#)

[Die zwei Gesichter der Biometrie](#)

[Microsoft: Geschäft mit Viren und Würmern](#)

## Service

[TR zum Hören](#)  
in Zusammenarbeit mit  
[audible.de](#)

[Veranstaltungen](#)

## TR-International

[USA](#)

[Italien](#)

[Niederlande](#)

Kunststoffe ebenfalls Verwendung finden, zum Beispiel als Gefäßprothesen mit Formgedächtnis, die sich bei Bestrahlung mit Infrarotlicht im Körper von selbst in die richtige Passform entfalten.

Auch an der nächsten Entwicklungsstufe der smarten Materialien wird bereits intensiv gearbeitet: der so genannten "Adaptronik". Darunter versteht man komplexe Systeme, die aus flexiblen Werkstoffen, Sensoren, Adaptoren sowie elektronischen Reglern bestehen und selbstständig auf äußere Einflüsse reagieren. Ein Beispiel für ein solches adaptives System ist ein Ski des Herstellers Head. Er enthält Fasern aus einem piezokeramischen Material und kann damit unerwünschte Vibrationen selbsttätig ausgleichen. Besonders intelligent: Die Flatterbewegungen versorgen den Ski gleichzeitig mit der nötigen elektrischen Energie.

auf der nächsten Seite: [Die Selbstheilungskräfte der Technik](#)

[Seite 1 2 3 >>]

[Heft bestellen](#)

[Druckversion](#)

[Leserbrief verfassen](#)

[Artikel versenden](#)

[Leserbrief](#) | [Newsletter](#) | [Aboservice](#) | [Mediadaten](#)

**SIEMENS**

# Besuchen Sie uns auf der Cebit 2005: Halle 26, Stand C32

DAS M.I.T. - MAGAZIN FÜR INNOVATION  
**TECHNOLOGY**  
 R E V I E W  
 MÄRKTE VON MORGEN

**FEATURES****FOKUS**

LABOR

INNOVATION

PERSPEKTIVE

WISSEN

TR aktuell

Forum

Frage der Woche

Anzeige

**Aktuelle Ausgabe****FEBRUAR 2005****FOKUS****Die Selbstheilungskräfte der Technik**

Von Roland Wengenmayr

[Seite 1 2 3 &gt;&gt;]

Der erste Kratzer im nagelneuen Auto macht es schmerzhaft deutlich: Auch die teuerste Sonderlackierung kann eines nicht - sich selbst reparieren. Darin sind alle künstlichen Materialien einem biologischen Gewebe wie der Haut bisher weit unterlegen.



Foto: GKKS  
Forschungszentrum

Wissenschaftler und Ingenieure träumen zwar schon seit langem von Substanzen, die Dellen, Risse oder Kratzer von allein ausheilen können. Besonderes Augenmerk richten sie dabei auf mikroskopische Haarrisse in tragenden Teilen von technischen Geräten, denen Menschen ihr Leben anvertrauen, wie etwa Autos, Flugzeuge oder Raumschiffe. Bis in die 1990er Jahre aber scheiterten alle Ideen an der Komplexität des Problems. Denn um einen Riss ohne Eingriff von außen zu kitten, bedarf es nicht nur eines zuverlässigen Füllmaterials, das die Fehlöffnung dauerhaft verschließt. Der Kleber muss auch selbstständig an die Reparaturstelle wandern. Nicht umsonst treibt die Natur beim Heilen von Wunden einen hohen Aufwand.

Fortschritte in der Mikro- und Nanotechnik ermöglichen nun jedoch ganz neue Ansätze zur Lösung der Schwierigkeiten. Entsprechend groß ist zurzeit das Interesse von Industrie und Forschung an den selbstheilenden Materialien. Im Jahr 2002 gründete beispielsweise die amerikanische Raumfahrtbehörde Nasa eigens ein virtuelles Institut, das die Fähigkeiten biologischer Systeme auf künstliche Materialien übertragen soll. Mit insgesamt dreißig Millionen Dollar ausgestattet, umfasst das "Institute for Biologically Inspired Materials" Arbeitsgruppen bei der Nasa sowie an verschiedenen amerikanischen Universitäten.

**Suche**

In TR-Artikeln

[Hilfe](#)**Newsletter**

Aktuell und kostenlos!  
**Hier bestellen!**

Ihre E-Mail-Adresse:

**TR aktuell**[Die offene Flanke von Online-Musikabos](#)[Programmierer als Entwicklungshelfer](#)[HP-Beschäftigte feiern Ablösung von Fiorina](#)[Linux-Musik vom MP3.com-Gründer](#)[Digitale Videorekorder: Das Drama um Tivo](#)[Dehnungsübungen für effizientere Chips](#)

[Inhalt](#)  
[Abonnieren](#)  
[Heft bestellen](#)



[frühere Ausgaben](#)  
[Vorschau](#)

#### Technologie-Partner



Und auch außerhalb dieses Instituts wird in den USA intensiv an selbstheilenden Substanzen geforscht. Besonders ausgereift sind die Ideen der beiden Materialwissenschaftler Nancy Sottos und Scott White von der University of Illinois in Urbana-Champaign. Ihr Team entwickelt faserverstärkte Spezialkunststoffe, zum Beispiel aus Epoxidharz. Sie sind mit vielen kleinen Mikrokapseln oder noch winzigeren Nanokapseln durchsetzt. Diese Kapseln enthalten einen flüssigen Kleber. Frisst sich nun ein Riss durch das Material, dann reißt er unweigerlich auch einige der Kapseln auf. Der Kleber ergießt sich in den Spalt, füllt die Lücke und verklebt sie wieder. Das Material wird durch die Selbstreparatur an dieser Stelle sogar ein wenig fester, als es vorher war.

Damit das Verfahren funktioniert, darf der Epoxidharz-Kleber nur im Schadensfall aktiv werden. Ansonsten würde er schon in den Mikrokapseln aushärten und seine Wirkung verlieren. Die US-Forscher haben sich deshalb einen Trick ausgedacht: Erst wenn der Kleber auf einen Katalysator trifft, wird er chemisch aktiv. Die Katalysator-Substanz enthält das Metall Ruthenium. Sie löst im Kleber einen Polymerisationsprozess aus, sodass sich die Moleküle der Kleberflüssigkeit zu einem stabilen molekularen Netzwerk verbinden. So entsteht am Ort des Risses von selbst neues Kunstharz, das die Fehlstelle wieder fest verschließt. Um zu verhindern, dass der Katalysator zu früh mit dem Kleber in Kontakt kommt, steckt er in einer zweiten Sorte von Kapseln, die ebenfalls im Material verteilt sind.

[Seite 1 2 3 >>]

[Heft bestellen](#)

[Druckversion](#)

[Leserbrief verfassen](#)

[Artikel versenden](#)

[Schnee: Geheimnisse der weißen Pracht](#)

[Yahoo will mit ortsbezogener Suche glänzen](#)

[Die zwei Gesichter der Biometrie](#)

[Microsoft: Geschäft mit Viren und Würmern](#)

#### Service

[TR zum Hören](#)  
 in Zusammenarbeit mit [audible.de](#)

[Veranstaltungen](#)

#### TR-International

[USA](#)

[Italien](#)

[Niederlande](#)

**SIEMENS**

# Besuchen Sie uns auf der Cebit 2005: Halle 26, Stand C32

DAS M.I.T. - MAGAZIN FÜR INNOVATION  
**TECHNOLOGY**  
 R E V I E W  
 MÄRKTE VON MORGEN

**FEATURES****FOKUS**

LABOR

INNOVATION

PERSPEKTIVE

WISSEN

TR aktuell

Forum

Frage der Woche

Anzeige

**Aktuelle Ausgabe****FEBRUAR 2005****FOKUS****Die Selbstheilungskräfte der Technik**

Von Roland Wengenmayr

[Seite &lt;&lt; 1 2 3 &gt;&gt;]

Ein natürlicher Heilungsprozess braucht Zeit: Einige Tage dauert es schon, bis nur noch ein bisschen Schorf an den tiefen Schnitt im Finger erinnert. Das gilt auch für den neuen Kitt aus Illinois. Zum vollständigen Aushärten benötigt der Kleber mehrere Stunden. Ein langer Zeitraum, möchte man meinen. Doch die Forscher sind sich sicher, dass dieses Zeitspanne für die meisten Anwendungen reicht.

So zum Beispiel für Maschinenkomponenten, die mechanischen Vibrationen ausgesetzt sind und dadurch ermüden. Durch die Kunststoffplatinen für elektronische Bauteile etwa fressen sich mit der Zeit feine Mikrorisse - allerdings sehr langsam. Der Kleber kann den Prozess deshalb leicht stoppen. Selbst bei einigen Stunden Aushärtungszeit ist er schneller als der Riss und verfestigt den Kunststoff wieder, bevor sich der Spalt weiter ausbreitet. "Es gibt also ein signifikantes Zeitfenster, in dem wir wachsende Risse heilen können", fasst Nancy Sottos das Phänomen zusammen.

Die Kleb-Kapseln in den Kunststoffen der beiden amerikanischen Forscher sind zu klein, um die Stabilität des Materials zu verringern. Sie haben jedoch einen grundlegenden Nachteil: Sind sie in einem Bereich des Bauteils erst einmal entleert, ist es dort vorbei mit der Fähigkeit zur Selbstheilung. Ein prinzipielles Problem, das höhere biologische Organismen durch die ständige Zufuhr von Blut durch viele kleine Kapillargefäße gelöst haben. Die offene Massenbilanz - also der permanente Nachschub an "Kleber" - sei ein charakteristischer Unterschied zu künstlichen Materialien, erläutert André Laschewsky vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung in Golm bei Berlin.

**Suche**

In TR-Artikeln

[Hilfe](#)**Newsletter**Aktuell und kostenlos!  
**Hier bestellen!**

Ihre E-Mail-Adresse:

**TR aktuell**[Die offene Flanke von  
Online-Musikabos](#)[Programmierer als  
Entwicklungshelfer](#)[HP-Beschäftigte feiern  
Ablösung von Fiorina](#)[Linux-Musik vom MP3.  
com-Gründer](#)[Digitale Videorekorder:  
Das Drama um Tivo](#)[Dehnungsübungen für  
effizientere Chips](#)

[Inhalt](#)  
[Abonnieren](#)  
[Heft bestellen](#)



[frühere Ausgaben](#)  
[Vorschau](#)

Deshalb will Sottos ihr System verbessern: "Wir haben angefangen, so genannte mikrovaskuläre Netzwerke für die Selbstheilung einzubauen." Anstelle von kleinen Kapseln durchzieht dabei ein Netz aus dünnen Röhren das Material. Wie das Blut durch die Blutgefäße können die Reparaturchemikalien dann kontinuierlich durch das Röhrensystem zu einer Bruchstelle strömen. Die Heilmethode funktioniert auch, wenn sich ein Riss am selben Ort mehrmals hintereinander öffnet.

Noch steht diese Forschungsarbeit ganz am Anfang. Doch die Wissenschaftler aus Illinois haben bereits erfolgreich dreidimensionale Systeme aus winzigen Röhren hergestellt, deren Durchmesser nur 10 bis 250 tausendstel Millimeter beträgt. In der Mikro- und Nanotechnik ist vor allem das Bauen in die Höhe, also in der dritten Dimension, ein echtes Problem. Seit Jahrzehnten kämpfen die Hersteller elektronischer Chips damit.

Sottos und White benutzen zu diesem Zweck einen Roboter, der mäandernde Leitungsbahnen aus einer organischen Tinte auf Paraffinbasis auf eine Trägerplatte schreibt. Das Resultat sieht aus, als ob jemand eine mikroskopisch kleine Zahnpastatube ausgedrückt und die Mikrowürste aus Paste schichtweise in Schlingen übereinander gelegt hätte. Der Schlingenstapel wird dann mit Epoxidharz aufgefüllt. Das Harz härtet aus und schließt die Tintenwürste in einen stabilen Klotz ein. In mehreren Schritten wird nun die Tinte entfernt, sodass sich die Mikrowürste in offene Mikrokanäle mit stabilen Wänden verwandeln: Das mikrovaskuläre Netzwerk ist fertig.

[Seite << 1 2 3 >>]

[Heft bestellen](#)

[Druckversion](#)

[Leserbrief verfassen](#)

[Artikel versenden](#)

[Schnee: Geheimnisse der weißen Pracht](#)

[Yahoo will mit ortsbezogener Suche glänzen](#)

[Die zwei Gesichter der Biometrie](#)

[Microsoft: Geschäft mit Viren und Würmern](#)

#### Service

[TR zum Hören](#)  
 in Zusammenarbeit mit [audible.de](#)

[Veranstaltungen](#)

#### TR-International

[USA](#)

[Italien](#)

[Niederlande](#)

#### Technologie-Partner



[Leserbrief](#) | [Newsletter](#) | [Abo-service](#) | [Mediadaten](#)

**SIEMENS**

# Besuchen Sie uns auf der Cebit 2005: Halle 26, Stand C32

DAS M.I.T. - MAGAZIN FÜR INNOVATION  
**TECHNOLOGY**  
 R E V I E W  
 MÄRKTE VON MORGEN

**FEATURES****FOKUS**

LABOR

INNOVATION

PERSPEKTIVE

WISSEN

TR aktuell

Forum

Frage der Woche

Anzeige



American Express  
Gold Card jetzt  
1 Jahr ohne  
Grundgebühr testen!

**Aktuelle Ausgabe****FEBRUAR 2005****FOKUS****Die Selbstheilungskräfte der Technik**

Von Roland Wengenmayr

[Seite &lt;&lt; 1 2 3]

Neben Sottos und White entwickeln derzeit auch andere Forschergruppen solche Systeme, die Kapillargefäße künstlich nachahmen, darunter zum Beispiel ein Wissenschaftlerteam um Ilhan Aksay an der Princeton University und die Gruppe von Ian Bond an der University of Bristol in England.

Trotz allen Forschungseifers wäre es jedoch unrealistisch anzunehmen, dass selbstheilende Materialien schon bald in tragende Strukturen von Luftfahrzeugen oder Raumfähren eingebaut werden. "Es dauert etwa zehn bis fünfzehn Jahre, bis ein neues Material eingesetzt wird", sagt Marinus Schouten. Der Materialexperte arbeitet bei der European Aeronautic Defence and Space Company (EADS), die auch den Airbus baut. Wegen der hohen Sicherheitsanforderungen sind Flugzeughersteller extrem konservativ und werden sich bei tragenden Teilen gewiss nicht so schnell auf Baustoffe verlassen, die Defekte selbst heilen können. "Im Moment ist ein Flugzeug so überdimensioniert, dass selbst ein außerplanmäßiger Riss nicht zu einem Schaden führt", sagt Schouten.

Dennoch sei das Interesse der Luftfahrtbranche an selbstreparierenden Materialien groß. Gute Einsatzmöglichkeiten für die neuartigen Werkstoffe sieht Schouten im Innenraum von Flugzeugen. Dort könnten selbstheilende Beschichtungen die Metallstrukturen im Boden vor Korrosion schützen. "Sie können sich nicht vorstellen, welch eine ätzende Flüssigkeit aus Schweiß, Cola, Rotwein und runtergefallenen Fischstückchen entsteht", sagt Schouten. Sogar Titan korrodiert daher im Bodenbereich sehr schnell, wenn Kratzer die Schutzbeschichtung durchlöchern haben. Die Folge: Sämtliche Schienen zur Sitzbefestigung müssen regelmäßig ausgetauscht werden. Eine teure Reparaturmaßnahme, die man sich gern sparen würde.

**Suche**

In TR-Artikeln

[Hilfe](#)**Newsletter**Aktuell und kostenlos!  
**Hier bestellen!**

Ihre E-Mail-Adresse:

**TR aktuell**[Die offene Flanke von  
Online-Musikabos](#)[Programmierer als  
Entwicklungshelfer](#)[HP-Beschäftigte feiern  
Ablösung von Fiorina](#)[Linux-Musik vom MP3.  
com-Gründer](#)[Digitale Videorekorder:  
Das Drama um Tivo](#)[Dehnungsübungen für  
effizientere Chips](#)

[Inhalt](#)  
[Abonnieren](#)  
[Heft bestellen](#)



[frühere Ausgaben](#)  
[Vorschau](#)

#### Technologie-Partner



Doch nicht nur Risse, auch Verformungen lassen sich mit zukünftigen Kunststoffmaterialien ausheilen. Davon ist Andreas Lendlein überzeugt. Der Leiter des Instituts für Chemie am GKSS Forschungszentrums in Teltow und Mitbegründer des Start-ups mnemoScience arbeitet an Formgedächtnis-Kunststoffen. Solche Materialien ändern ihre Form bei Erwärmung und können im Prinzip auch Beulen wieder ausbügeln. Sie würden sich zum Beispiel gut als Kotflügel für Autos eignen.

Ähnlich wie die Flugzeugindustrie hat die Autobranche jedoch extrem hohe Ansprüche an neu designte Werkstoffe. Der serienmäßige Einbau in den Familienwagen wird deshalb vermutlich noch ein Weilchen auf sich warten lassen. Dafür setzen auch Industriezweige auf die neuartigen Materialien, von denen man ein solches Engagement kaum erwarten würde. Kürzlich habe sich bei ihm ein Möbelhersteller aus Portugal gemeldet, der seinen Küchenmöbeln gern dellenresistente Oberflächen verpassen würde, erzählt Lendlein. "Das ist ein Projekt, das gerade anläuft."

Während komplexe biomimetische Baustoffe, die sich durch künstliches Bluten selbst heilen, wohl noch lange Grundlagenforschung bleiben werden, könnten Materialien mit simpleren Selbstreparaturmechanismen also schon bald den Weg in unseren Alltag finden - unter einer Bedingung: Die Hersteller müssen auch wirklich daran interessiert sein, ihren Produkten ein längeres Leben zu verleihen.

(entnommen aus [Technology Review Nr. 2/2005](#); das komplette Heft können Sie [hier](#) bestellen)

[Seite << 1 2 3]

[Heft bestellen](#)

[Druckversion](#)

[Leserbrief verfassen](#)

[Artikel versenden](#)

[Schnee: Geheimnisse der weißen Pracht](#)

[Yahoo will mit ortsbezogener Suche glänzen](#)

[Die zwei Gesichter der Biometrie](#)

[Microsoft: Geschäft mit Viren und Würmern](#)

#### Service

[TR zum Hören](#)  
in Zusammenarbeit mit [audible.de](#)

[Veranstaltungen](#)

#### TR-International

[USA](#)  
[Italien](#)  
[Niederlande](#)

[Leserbrief](#) | [Newsletter](#) | [Aboservice](#) | [Mediadaten](#)