

[Home](#) > [Wissenschaft](#) > [Mensch & Technik](#)

21. Februar 2005

[Druckversion](#) | [Versenden](#) | [Leserbrief](#)
**EXOTISCHE MATERIALIEN**

## Beulen und Kratzer heilen sich selbst

*Von Roland Wengenmayr*

**Noch fahren Autos aus dellenresistentem Blech nur in Science-Fiction-Romanen. Doch Forscher tüfteln bereits an Beschichtungen, die Beulen, Kratzer und Risse in Eigenregie reparieren können. Schäden im Lack sollen auf ähnliche Art heilen wie Wunden in lebendem Gewebe.**

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.

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 neunziger 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.

### Verkapselter Klebstoff

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.



Unfallwagen:  
Selbstreparatur bisher nur ein Traum

DPA

**MEHR WISSENSCHAFT** ▶▶

 ▶ **Wissenschaftstagung:**

Forscher proben Aufstand gegen Bush

 ▶ **Exotische Materialien:**

Beulen und Kratzer heilen sich selbst

 ▶ **Schwarzes Loch:**

Forscher finden kosmischen Winzling

 ▶ **DNS-Design:**

Zwirbeln spart Platz

 ▶ **Raumfahrt:**

Space Shuttle soll im Mai wieder fliegen

 ▶ **Studie:**

Jährlich 65.000 Tote durch Feinstaub

**EXKLUSIV**

 ▶ **Angst vor Aids:**

New York jagt das Supervirus


 ▶ **Amerikas Heldin der Lüfte:**

Neue Suche nach Earharts nassem Grab

 ▶ **Bilder der Zerstörung:**

Dresdens Apokalypse

 ▶ **Spontanheilung:**

Wenn Krebs von selbst verschwindet

 ▶ **Pompejis Bordell:**

Wo Liebe so billig war wie Brot

**SPEZIAL**

 ▶ **Top Ten der Forschung:**

Die Entdeckungen des Jahres 2004


 ▶ **Interaktiver Flash-Film:**

Die Panoramabilder aller bisherigen Mars-Rover

 ▶ **Fotostrecken:**

Faszinierende Bilder vom Roten Planeten

 ▶ **Gendebatte:**

Der manipulierte Mensch

 ▶ **Artensterben:**

Der Todeskampf der Tierwelt

**SERIEN**

 ▶ **Faszinierende Bilder:**

Astronomische Ausblicke


 ▶ **Sicherheitsrisiko**
**Forschung:**

Wie viel Freiheit verträgt die Wissenschaft?

 ▶ **Ausblick:**

Die Welt im 21. Jahrhundert

**Technology****Review**

Das M.I.T.-Magazin für Innovation

Dieser Text stammt aus der aktuellen Ausgabe von "Technology Review".

- ▶ [Inhaltsverzeichnis](#)
- ▶ [Aktuelles Heft bestellen](#)



Und auch außerhalb dieses Instituts wird in den USA intensiv an den 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.

### Reparatur mit Verzögerung

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



DPA    
 Flugzeug-Produktion: Branche sehr an selbstreparierenden Materialien interessiert

### SPIEGEL-DOSSIERS ▶▶

▶ **Depression:**

Die Finsternis der Seele



▶ **Organspende:**

Im Grenzland des Todes

▶ **Windenergie:**

Die große Luftnummer

▶ **Klimawandel:**

"Kann das noch Zufall sein?"

▶ **Krebs:**

Der Wunsch nach Heilung

▶ **Thema der Woche:**

Die Physiker

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.

**Weiter in Teil 2:**

### **Mikrowürste als Transportbahnen - wie Wissenschaftler die Reparaturchemikalien durchs Material strömen lassen**



ANZEIGE

Surftipps

- **Harvard Businessmanager im Mini-Abo.**  
Jetzt testen: 3 Ausgaben plus Dankeschön für nur € 23,-..

#### ZUM THEMA IM INTERNET

- ▶ [Institute for Biologically Inspired Materials](#)
- ▶ ["Technology Review" \(deutsche Ausgabe\)](#)

SPIEGEL ONLINE ist nicht verantwortlich für die Inhalte externer Internetseiten.

© SPIEGEL ONLINE 2005

Alle Rechte vorbehalten

Vervielfältigung nur mit Genehmigung der SPIEGELnet GmbH

TOP

[ [Home](#) | [Politik](#) | [Wirtschaft](#) | [Panorama](#) | [Sport](#) | [Kultur](#) | [Netzwelt](#) | [Wissenschaft](#) | [UniSPIEGEL](#) | [Reise](#) | [Auto](#) ]  
[ [Wetter](#) | [Marktplatz](#) | [Schlagzeilen](#) | [Forum](#) | [Leserbriefe](#) | [Newsletter](#) | [Archiv](#) | [Shop](#) ]  
[ [DER SPIEGEL](#) | [SPIEGEL TV](#) | [SPIEGEL-Jahrbuch](#) | [KulturSPIEGEL](#) | [SCHULE@SPIEGEL](#) ]  
[ [Impressum](#) | [Hilfe](#) | [Kontakt](#) | [SPIEGEL-Gruppe](#) | [SPIEGEL Media](#) | [Mediadaten](#) ]

Home > Wissenschaft > Mensch & Technik

21. Februar 2005

[Druckversion](#) | [Versenden](#) | [Leserbrief](#)

## EXOTISCHE MATERIALIEN

# Beulen und Kratzer heilen sich selbst (2)

## ◀ Zurück zum 1. Teil

Deshalb will Sottos ihr System verbessern: "Wir haben angefangen, sogenannte 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.



DPA

Letzter Schliff:  
Intelligente Lacke könnten  
schon bald Kratzer  
verschwinden lassen

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.

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

## MEHR WISSENSCHAFT ▶▶

- ▶ **Wissenschaftstagung:** Forscher proben Aufstand gegen Bush
- ▶ **Exotische Materialien:** Beulen und Kratzer heilen sich selbst
- ▶ **Schwarzes Loch:** Forscher finden kosmischen Winzling
- ▶ **DNS-Design:** Zwirbeln spart Platz
- ▶ **Raumfahrt:** Space Shuttle soll im Mai wieder fliegen
- ▶ **Studie:** Jährlich 65.000 Tote durch Feinstaub

## EXKLUSIV

- ▶ **Angst vor Aids:** New York jagt das Supervirus
- ▶ **Amerikas Heldin der Lüfte:** Neue Suche nach Earharts nassem Grab
- ▶ **Bilder der Zerstörung:** Dresdens Apokalypse
- ▶ **Spontanheilung:** Wenn Krebs von selbst verschwindet
- ▶ **Pompejis Bordell:** Wo Liebe so billig war wie Brot



## SPEZIAL

- ▶ **Top Ten der Forschung:** Die Entdeckungen des Jahres 2004
- ▶ **Interaktiver Flash-Film:** Die Panoramabilder aller bisherigen Mars-Rover
- ▶ **Fotostrecken:** Faszinierende Bilder vom Roten Planeten
- ▶ **Gendebatte:** Der manipulierte Mensch
- ▶ **Artensterben:** Der Todeskampf der Tierwelt



## SERIEN

- ▶ **Faszinierende Bilder:** Astronomische Ausblicke
- ▶ **Sicherheitsrisiko Forschung:** Wie viel Freiheit verträgt die Wissenschaft?
- ▶ **Ausblick:** Die Welt im 21. Jahrhundert



Bond an der University of Bristol in England.

## Hohe Sicherheitsanforderungen

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, welche ätzende Flüssigkeit aus Schweiß, Cola, Rotwein und runtergefallenen Fischstückchen entsteht", schmunzelt Schouten. Sogar Titan korrodiert daher im Bodenbereich sehr schnell, wenn Kratzer die Schutzbeschichtung durchlöchern. Die Folge: Sämtliche Schienen zur Sitzbefestigung müssen regelmäßig ausgetauscht werden. Eine teure Reparaturmaßnahme, die man sich gern sparen würde.



Moderne Küche: Dellenresistente Oberflächen gesucht



## Dellenresistente Küchenmöbel

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

## SPIEGEL-DOSSIERS ▶▶

### ▶ Depression:

Die Finsternis der Seele



### ▶ Organspende:

Im Grenzland des Todes

### ▶ Windenergie:

Die große Luftnummer

### ▶ Klimawandel:

"Kann das noch Zufall sein?"

### ▶ Krebs:

Der Wunsch nach Heilung

### ▶ Thema der Woche:

Die Physiker

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 dann auch wirklich daran interessiert sein, ihren Produkten ein längeres Leben zu verleihen.

© *Technology Review*, Heise Zeitschriften Verlag, Hannover

ANZEIGE

Surftipps

- **Harvard Businessmanager im Mini-Abo.**  
Jetzt testen: 3 Ausgaben plus Dankeschön für nur € 23,-..

ZUM THEMA IM INTERNET

- ▶ [Institute for Biologically Inspired Materials](#)
- ▶ ["Technology Review" \(deutsche Ausgabe\)](#)

SPIEGEL ONLINE ist nicht verantwortlich für die Inhalte externer Internetseiten.

© SPIEGEL ONLINE 2005

Alle Rechte vorbehalten

Vervielfältigung nur mit Genehmigung der SPIEGELnet GmbH

▲ TOP

[ [Home](#) | [Politik](#) | [Wirtschaft](#) | [Panorama](#) | [Sport](#) | [Kultur](#) | [Netzwelt](#) | [Wissenschaft](#) | [UniSPIEGEL](#) | [Reise](#) | [Auto](#) ]  
[ [Wetter](#) | [Marktplatz](#) | [Schlagzeilen](#) | [Forum](#) | [Leserbriefe](#) | [Newsletter](#) | [Archiv](#) | [Shop](#) ]  
[ [DER SPIEGEL](#) | [SPIEGEL TV](#) | [SPIEGEL-Jahrbuch](#) | [KulturSPIEGEL](#) | [SCHULE@SPIEGEL](#) ]  
[ [Impressum](#) | [Hilfe](#) | [Kontakt](#) | [SPIEGEL-Gruppe](#) | [SPIEGEL Media](#) | [Mediadaten](#) ]