



### Kleinstkuschel-Klebstoff

Haftstreifen mit Gecko-Technik nähern sich der Nützlichkeit

**Klebstoff ist zwar eine nette Sache, einmal ausgehärtet aber nicht gerade ein Musterbeispiel für Wiederverwendbarkeit. Forscher mit dem Hang, Dinge immer mal wieder zu fixieren und zu lösen, träumen daher von einem recyclebaren Kleisterersatz aus der Natur und rücken ihrem Ziel immer dichter auf den Pelz. »**

#### kurz&knapp

Begrenzter Lotuseffekt

Ein Haftfuß mit Wasserkraft

Kompositmaterial ist steifer als Diamant

#### DenkMal

Was ist das?



- a) "Hariger" Fuß einer Stubenfliege
- b) Nanoröhrchen mit Korken
- c) Oberfläche eines Mikrofasertuches
- d) Tentakeln einer Seeanemone
- e) Antischmutz-Beschichtung

#### Antwort

#### Patente aus dem Meer

Bremer Bionikstudiengang erforscht die besten Strategien der Unterwasserwelt



Was haben Algen, Seepocken und Haine gemeinsam? Sie alle leben im Meer. Und sie alle dienen Wissenschaftlern als... »

#### Tipp

#### Newsletter von wissenschaft-online

##### Newsletter Aktuell + kostenlos

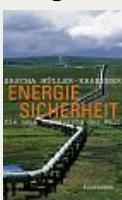
Möchten Sie bequem per E-Mail über die aktuellen Artikel aus spektrumdirekt informiert werden?

Dann empfehlen wir den kostenlosen Newsletter-Service von wissenschaft-online. Dieser enthält neben der Übersicht unserer Beiträge auch noch weitere interessante Hinweise in Sachen Wissenschaft.

#### Anzeige

Sascha Müller-Kraenner

#### Energiesicherheit



Beim Run auf die letzten Energiressourcen wird derzeit die Welt neu vermessen.

**19,90** □ (D)  
20,50 € (A)

[www.science-shop.de/artikel/867015](http://www.science-shop.de/artikel/867015)

### Ausnahmsweiße

Einzigartige Oberfläche macht einen Käfer blendend weiß



Einen Lack derart dünn aufzutragen, wäre schlicht sinnlos - die Schuppen auf *Cyphochilus*' Panzer sind nur mikrometerdick, erstrahlen aber trotzdem so weiß wie Papier. Feinste Nanostrukturen sind des Rätsels Lösung. Sie einmal nachzubauen, könnte sich lohnen. »

### Von Muscheln lernen

Mit Gefriertrocknen zu stabilen Keramiken



Bei der Suche nach neuen Materialien mit besonderen Eigenschaften versuchen Forscher gern, erfolgreiche Konzepte von Mutter Natur nachzuhahmen. Diesmal hatten sie Perlen im Blick. »

### Mit Facetten sieht man besser

Forscher entwickeln künstliches Insektenauge



Den vollen Rundumblick verspricht ein synthetisches Kunststoffauge, das selbst unter dem Mikroskop einem echten Insektenauge zum Verwechseln ähnlich sieht. Und dabei ist es relativ einfach herzustellen - die schwierigsten Prozesse übernimmt das Material selbst. »

### Salamandra robotica

Roboter simuliert Bewegungsmuster von Amphibien



Als die Amphibien vor Urzeiten das Meer verließen, passten sie ihre Bewegungen dem ungewohnten Untergrund an - ohne dabei die alten Muster zu verlernen. Wie genau sie zwischen Schwimmen und Laufen hin- und herschalten können, war lange ein Rätsel. Ein salamanderähnlicher Roboter bringt nun Licht ins Dunkel der Amphibienmotorik. »

#### Rezension

### Zurück zur Natur

Über "Bionik. Was ist das? Was kann das? Was soll das?" von Werner Nachtigall



Bionik - das ist viel mehr als der berühmte Lotus-Effekt, der keine Schmutzränder mehr auf Oberflächen hinterlässt. Was sich hinter all den von der Natur abgekupferten Errungenschaften verbirgt und was die Zukunft uns bringt, erzählt Werner Nachtigall in "Bionik. Was ist das? Was kann das? Was soll das?" »

## Kleinstkuschel-Klebstoff

Haftstreifen mit Gecko-Technik nähern sich der Nützlichkeit

**Klebstoff ist zwar eine nette Sache, einmal ausgehärtet aber nicht gerade ein Musterbeispiel für Wiederverwendbarkeit. Forscher mit dem Hang, Dinge immer mal wieder zu fixieren und zu lösen, träumen daher von einem recyclebaren Kleisterersatz aus der Natur und rücken ihrem Ziel immer dichter auf den Pelz.**

Eins kann Spiderman beim Klettern über Wolkenkratzer-Abgründen gar nicht brauchen - Superkleber an den Händen. Gut, es beruhigt an der Außenseite des Fensters im 85. Stock enorm, fest - sehr fest - am Glas zu pappen. Derart anzenmentiert dem flinken Bösewicht hoch zur 86. Etage zu folgen, wird dann allerdings mühsam: Agile Kletterkünstler brauchen nicht nur sicheren Halt, sondern müssen auch mal loslassen können. Geckos haben dazu 500 000 Härchen mit jeweils Hunderten von Spatel-Stäbchen an flexiblen Fußsohlen.

Diese Minihaare und die spatelförmig aufgespreizten Härchenfächer, in denen sie auslaufen - die "Setae" und "Spakulae" - haben Biologen und Materialwissenschaftler mikroskopisch genau vermessen, um hinter das Geheimnis der Geckohaftung zu kommen und sie vielleicht einmal künstlich nachahmen zu können. Schnell war theoretisch klar: Die Minstrukturen haften am Untergrund wahrscheinlich mit Hilfe einer großen Zahl eigentlich schwacher Bindungen, die auf der Van-der-Waals-Kraft beruhen.

### Nähe schafft Verbindung

Die Kraft resultiert aus kurzzeitig ungleich verteilen Elektronen in Molekülen, die sich sehr nahe kommen. Wenn zufällig ein winziger elektrischer Dipol in Material A (Gecko) entsteht, dann reagieren die Elektronen des benachbarten Materials B (Hauswand) darauf, indem sie ebenfalls einen Dipol mit entgegengesetzter Ausrichtung bilden. So entstehen und vergehen rasend schnell und immer wieder sich anziehende Ladungsungleichgewichte, die im zeitlichen Mittel die Moleküle der beiden Materialien zusammenhalten - wobei eine einzige Van-der-Waals-Brücke getrost vernachlässigt werden kann, Milliarden dieser kleinen Brücken aber für eine bemerkenswerte Haftkraft sorgen.

Das funktioniert unabhängig von den Molekülsorten - aber auch nur dann, wenn sich sehr viele Moleküle von Fuß und Wand großflächig nahe kommen. Große Kontaktfläche und extreme Annäherung sind also der Schlüssel zum Hafterfolg - und genau an diesen beiden Parameter drehen Nanotechnologen seit ein paar Jahren in der Praxis, um mit künstlichen Oberflächen Hafterfolge wie mit Geckofüßen zu erzielen. Der Fortschritt, von dem nun Ali Dhinojwala von der Universität von Akron und seine Kollegen berichten, beruht auf eben diesen Ansätzen: Die Forscher haben ihre Nano-Kopie der Geckofußoberflächenbeschichtung allerdings offenbar noch etwas geckoiger hinbekommen.

### Doppelt hält besser

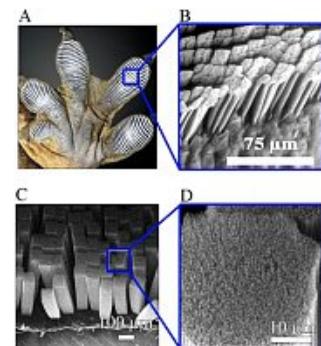
Die Idee der Forscher war erfrischend schlicht: Sie strebten einfach an, nicht nur den biologischen Setae ähnliche Nanoröhrchen von etwa 25 Mikrometern oder spatulaeische Härchen von 150 Nanometern Durchmesser auf Oberflächen zu packen - sondern, eben wie beim Gecko, sowohl die kleinen als auch die winzigen Strukturen, also beide Sorten.

Dazu richteten sie zunächst auf einer Fläche Bündel von Kohlenstoffröhren mit acht Nanometern Durchmesser zu einem gleichmäßigen Feld von Spatulae-Ersatzhärchen. So beschichtete Oberflächen haften zwar schon ganz gut, werden vom Geckofuß aber deutlich in den Schatten gestellt. Dann gruppierten die Forscher aber zusätzlich die künstlichen Spatulae ihrerseits zu größeren, vom Durchmesser her etwa Gecko-Setae-dimensionalen Bündeln - und probierten zudem verschiedene Längen dieser Kombiröhrchen aus. Am Ende bestand ein Teststreifen mit 200 Mikrometer langen Gecko-Ersatzhärchen eindrucksvoll einen Hafttest: Das Material kuschelt sich so fest an jedwede getestete Oberfläche, dass schon viermal so starke Kräfte wie beim Geckofuß vonnöten wären, um es abzulösen.

### Loslassen können

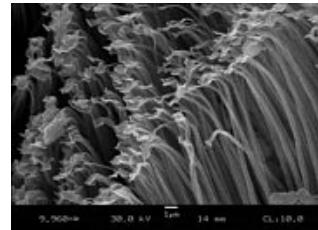
Schön am Kunstgecko-Nanomaterial: Es lässt, anders als Tesa- oder sonstige klebebeschichteten, viskoelastischen Haftfilmvarianten, mit der Zeit nicht in seiner Wirkung nach. Im Prinzip könnte, rechnen die Forscher vor, ein damit optimiert beschichteter Gecko an einem Quadratzentimeter Fingerspitze bis in alle Ewigkeit ermüdfrei hängen - und dabei vier Kilo wiegen.

Und dann? Das Problem des Loslassens ist kein Problem, beruhigen Dhinojwala und Co am Ende noch mit ein paar abschließenden Versuchen - im Prinzip. Wichtig ist nur, den basalen Fuß- oder Klebestreifen-Untergrund, aus dem die Hafthärchen wachsen, subtil von einem Ende her aufrollen zu können. Dabei werden nach und nach die einzelnen



Die Oberfläche des Gecko-Fußes (A) ist mit Setae bedeckt, die in Spatulae auslaufen (im Detail B). Kohlenstoffnanoröhrchen können dieses Arrangement funktional offenbar ziemlich gut nachbilden: Eine feine Oberfläche von kleinen Röhrchenbündeln (D) dient als Spatulae-Ersatz, zusammengelagert bilden sie Setae-ähnliche Härchen. Damit diese Oberfläche haftet, müssen Durchmesser, aber auch die Länge der Röhrchen optimiert werden.

© University of Akron



Feinste Härchen (Setae) unter einem Geckofuß

schwachen Van-der-Waals-Kräfte gelöst - bis irgendwann eine Rissfront den Rest ruckartig freigibt. Das kann dann verschleißfrei wiederholt werden: Grundvoraussetzung für Spiderman-Hände wie die Super-Klebestreifen der Zukunft.

**Jan Osterkamp**

**Quellen:**

[Proceedings of the National Academy of Sciences 10.1073/pnas.0703505104 \(2007\)](https://doi.org/10.1073/pnas.0703505104)

© spektrumdirekt

## Ausnahmsweiße

Einzigartige Oberfläche macht einen Käfer blendend weiß

**Einen Lack derart dünn aufzutragen, wäre schlicht sinnlos - die Schuppen auf *Cyphochilus*' Panzer sind nur mikrometerdick, erstrahlen aber trotzdem so weiß wie Papier. Feinste Nanostrukturen sind des Rätsels Lösung. Sie einmal nachzubauen, könnte sich lohnen.**

Sich hinter Pilzen zu verstecken, verlangt im Allgemeinen nach keiner hohen Kunstfertigkeit - vorausgesetzt natürlich, man ist nicht allzu groß. Sind die angepeilten Pilze allerdings weiß, während man selbst in allen Regenbogenfarben schillert, hilft einem auch genügende Kleinheit nicht mehr weiter. Käfer der südostasiatischen Gattung *Cyphochilus* machten deshalb den einzig logischen Schritt: Sie erleichten ebenfalls.

Das hingegen ist keineswegs trivial. Um richtig weiß zu werden, reichen die gängigen Färbemechanismen im Tierreich - weder die Pigmentierung, noch die schillernde Oberflächenstruktur vieler Insektenpanzer - meist nicht aus. Denn: Sie reflektieren immer nur Licht einzelner Wellenlängen. Für die Farbe Weiß ist aber normalerweise ein Material gefragt, das sämtliche Wellenlängen auf einmal streut.

*Cyphochilus* hat dieses Problem brillant gemeistert. Er erstrahlt nicht nur in einem Weiß, das es mit sämtlichen künstlichen Farbstoffen aufnehmen kann - und die meisten sogar noch übertrifft -, ihm gelingt dieses Kunststück auch noch mit einer extrem dünnen Struktur von nur fünf Mikrometern (also Tausendstel Millimeter) Dicke. Künstliche Farbstofflacke und andere Materialien müssten um zwei Größenordnungen dickere Schichtstärken erreichen, um vergleichbar gut das Licht reflektieren zu können, meint Peter Vukusic, Physiker von der Universität Exeter.

Zusammen mit seinen Kollegen hat er jetzt herausgefunden, wie der Trick des Käfers funktioniert: Der Grund für die weiße Farbe liegt in den hauchdünnen Schuppen, die den Körper des Insekts bedecken und deren Oberfläche komplett aus einem Geflecht feiner Fasern besteht. Diese so genannten Filamente, jedes davon nur rund 250 Nanometer im Querschnitt, haben die Eigenschaft, Licht zu reflektieren, und machen die Schuppen zu einem photonischen Material, das die Ausbreitung auftreffender Lichtwellen gezielt beeinflussen kann.

Auch von Schmetterlingen und anderen Käfern kennt man solche photonischen Stoffe. Im Unterschied zu denen des *Cyphochilus* weisen sie jedoch eine regelmäßige, kristallartige Struktur auf. Der irisierende Effekt solcher photonischer Kristalle entsteht genau dadurch, dass ihre regelmäßige dreidimensionale Anordnung aus verschiedenen Blickwinkeln jeweils unterschiedliche Wellenlängen zurückwirft. Bei *Cyphochilus* hingegen sind die Filamente hochgradig ungeordnet. Erst diese zufällige Anordnung schafft die Streuung aller Wellenlängen und macht den Krabbler weiß.

In beiden Fällen spielt außerdem noch der Raum zwischen den lichtaktiven Strukturausteinen eine Rolle. Dort wird das Licht eingefangen und solange hin- und herreflektiert, bis es wieder aus dem Material hinausfindet. Wie oft dies geschieht und welche Winkel dabei auftreten, bestimmt dann den optischen Eindruck.

Geht es nach Vukusic, sind jetzt die Bioniker gefragt, die besonderen Farbeigenschaften der Käferschuppen für technische Zwecke in Beschlag zu nehmen. Neuentwicklungen von Handydisplays und E-Paper, also elektronisches "Zeitungspapier", verwenden heute bereits so genannte organische Leuchtdioden (OLEDs). Ihr Vorteil, etwa gegenüber den Flüssigkristall-Anzeigen, liegt unter anderem in der Biegsamkeit und geringen Dicke der Anzeigefläche. Hier könnte auch ein Material, das die Käferschuppen nachahmt, zum Einsatz kommen, spekuliert der Forscher.

Vukusic selbst hatte sich vor einigen Jahren die optischen Eigenschaften der Schmetterlingsflügel zum Vorbild genommen und zusammen mit einer Kosmetikfirma ein Make-up entwickelt, das ganz ohne Pigmente auskommt. Da der Käfer nun, wie die Wissenschaftler herausfanden, um ein Vielfaches weißer ist als Zahnschmelz, stellten sie bereits jetzt eine blendende Zukunft in Aussicht: Schon eine winzige Zusatzschicht würde genügen und der Begriff "strahlendes Lächeln" hätte eine völlig neue Bedeutung.

**Jan Dönges**

**Quellen:**

Science 315: 344 (2007), [Abstract](#)



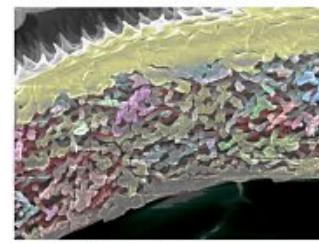
*Cyphochilus* hat seine weiße Farbe zur Tarnung entwickelt: Er versteckt sich bevorzugt zwischen weißen Pilzen. Dazu musste er spezielles photonisches Material auf seiner Oberfläche ausbilden.

© P. Vukusic / University of Exeter



Die Schuppen auf *Cyphochilus*' Oberfläche sind fünf Mikrometer dick, 250 Mikrometer lang und 100 Mikrometer breit - extrem dünn für eine Oberfläche dieser Farbe.

© P. Vukusic / University of Exeter



Nachträglich eingefärbte elektronenmikroskopische Aufnahme der Filamente. Das Geflecht lässt keinerlei geordnete Struktur erkennen, weist dafür aber relativ große Freiräume auf. So entsteht das brillante Weiß des Käfers.

© P. Vukusic / University of Exeter



*Cyphochilus* unter sich: Kaum ein anderes Tier erstrahlt in einem ähnlich reinen Weiß.

© P. Vukusic / University of Exeter

## Von Muscheln lernen

Mit Gefriertrocknen zu stabilen Keramiken

**Bei der Suche nach neuen Materialien mit besonderen Eigenschaften versuchen Forscher gern, erfolgreiche Konzepte von Mutter Natur nachzuahmen. Diesmal hatten sie Perlen im Blick.**

Es ist der Traum eines jeden Feinschmeckers: Einmal in einer Auster eine Perle finden - obwohl kaum jemand das eisgekühlte Schalentier selbst öffnet. Perlen sind wohl die schönste Form des Perlmuts, jenes glatten, schillernden Materials, mit dem sich Muscheln oder einige andere Weichtiere zu umgeben pflegen - oder in das sie eingedrungene Fremdkörper einschließen. Auch Naturwissenschaftler haben ein Auge darauf geworfen - und das nicht, weil sie diese bezaubernde Form einer Abfallbehandlung fasziniert, sondern weil sich das relativ leicht und dennoch stabile Gebilde für vielerlei technische Zwecke nutzen ließe.

Chemisch gesehen besteht Perlmutt hauptsächlich aus Aragonit, einer speziellen Form von Kalziumkarbonat. In der Natur kommen diese keramischen Verbindungen ebenso als Kalkspat sowie in feinkristalliner Form als Kalkstein, Kreide oder auch Marmor vor. Die relative Härte des Perlmutts ist eine direkte Folge des inneren Aufbaus: Feinste Schichten aus Aragonit wechseln ab mit organischen Materialien wie Proteinen oder Chitin, die wie ein Mörtel wirken.

Schon viele Wissenschaftler wollten diese Baukunst der Natur nachahmen, versprechen die hitzebeständigen Keramiken doch widerstandsfähige Werkstoffe beispielsweise für Motoren oder Turbinen, die bei sehr hohen Temperaturen arbeiten und damit einen deutlich besseren Wirkungsgrad erzielen. Oder es ließen sich feste Gewebe herstellen, die als Knochen- oder Zahnersatz dienen könnten. Doch sind keramische Materialien normalerweise außerordentlich spröde und zerbröseln oft bei der kleinsten Belastung.

Nun hat eine Arbeitsgruppe um Sylvain Deville vom Lawrence Berkeley National Laboratory einen viel versprechenden Ansatz vorgestellt. Die Forscher orientierten sich dabei an Vorgängen, die ebenso im natürlichen Meerwasser ablaufen könnten: Zunächst ließen sie eine Lösung aus Kalk und Wasser gefrieren. Je nachdem, wie schnell sie die Eisbildung vorantrieben, drängte das gefrorene Wasser die Kalziumkarbonat-Schwebstoffe in mehr oder weniger dünne Schichten zusammen oder schloss Teile davon ein. Mit einem Verfahren, ähnlich dem Gefriertrocknen von Kaffee oder anderen Lebensmitteln, verdampften sie danach blitzschnell das Wasser. Übrig blieb eine perlmuttartig geschichtete, poröse Substanz.

Um dieser ähnlich gute mechanische Eigenschaften zu verleihen, wie sie Perlmutt besitzt, füllten die Experimentatoren ihre gerüstartige Struktur mit Epoxidharz oder mit Aluminium, dem sie zur Steigerung der Festigkeit zusätzlich kleine Menge Titan hinzufügten. Alle Fertigungsschritte beruhen auf üblichen, verbreiteten Verfahren, sodass einer industriellen Massenproduktion nichts im Wege stünde.

Als ein Betätigungsgebiet böte sich die Implantationschirurgie an. Daher erzeugten die Materialwissenschaftler mit dem gleichen Herstellungsverfahren ein Gerüst aus Hydroxylapatit, einer Substanz aus kristallinem Kalziumphosphat, das ebenso Hauptbestandteil von Knochen und Zähnen ist. Es erwies sich als viermal so stabil wie herkömmliche, in der Medizin eingesetzte Transplantate. Ähnlich wie die heute gebräuchlichen Materialien bietet es gleichfalls genügend Platz und Ansatzpunkt für das Eindringen und Nachwachsen natürlicher Knochenzellen. Einem Schienbein aus perlmuttartigem Gewebe scheint daher künftig nichts mehr im Wege zu stehen.

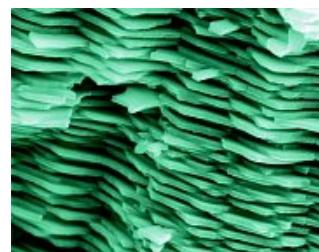
### Gerhard Samulat

Freier Journalist für Wissenschaft und Technik

### Quellen:

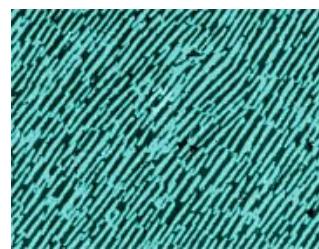
Science 311: 515-518 (2006), [Abstract](#)

© spektrumdirekt



Natürliches Perlmutt besteht aus Aragonit-Schichten, die durch Proteine oder andere organische Schichten "verklebt" sind.

© Science



Mit ihrer Gefriertrocknungstechnik ist es Wissenschaftlern nun gelungen, den schichtförmigen Aufbau von Perlmutt nachzuahmen.

© Science



Beim plötzlichen Gefrieren der Probe werden einzelne keramische Partikel in den wachsenden Eiskristallen gefangen. Dadurch entstehen kuriose Figuren.

© Science

## Mit Facetten sieht man besser

Forscher entwickeln künstliches Insektenauge

**Den vollen Rundumblick verspricht ein synthetisches Kunststoffauge, das selbst unter dem Mikroskop einem echten Insektenauge zum Verwechseln ähnlich sieht. Und dabei ist es relativ einfach herzustellen - die schwierigsten Prozesse übernimmt das Material selbst.**

Wer auf vieler Feinde Speiseplan steht, sollte seine Augen überall haben. Gemäß dieser Maxime haben Insekten einen optischen Apparat entwickelt, mit dem sie vorne und hinten zugleich im Blick haben und Blumen, Beute sowie Bewegungen in der Nähe blitzschnell erkennen können: das Facettenauge. Es setzt sich aus hunderten oder tausenden einzelner Einheiten - so genannter Ommatidien - zusammen, die gemeinsam ein Bild von der Umgebung liefern. Ein wahres Wunderwerk der Natur, das mit seinen winzigen Ausmaßen die technische Optik des Menschen wie grobes Glaszeug wirken lässt.

Doch der Mensch ist ehrgeizig und mitunter raffiniert. Glaubte man lange Zeit, es sei praktisch unmöglich, ein künstliches Facettenauge zu bauen, so ist nun genau dies Wirklichkeit geworden. Die Bioniker Ki-Hun Jeong, Jaeyoun Kim und Luke Lee von der Universität von Kalifornien in Berkeley haben erstaunlich präzise Komplexaugen entwickelt, die den natürlichen Vorbildern weit gehend ähneln - selbst unter dem Mikroskop.

### Gar nicht komplex

Vielleicht am überraschendsten an der Arbeit der drei Wissenschaftler ist jedoch der Umstand, wie simpel das filigrane Produkt herzustellen ist - wenn man weiß, wie es geht. Die Aufgabe besteht immerhin darin, Linsen von etwa 25 Mikrometern - tausendstel Millimetern - Durchmesser zu produzieren, an welche sich ein Lichtleiter von bis zu 300 Mikrometern Länge anschließt. Die relative Anordnung zueinander muss dabei so präzise sein, dass möglichst kein Licht verloren geht.

Hat man mehrere tausend dieser künstlichen Ommatidien beisammen, müssen sie so ausgerichtet sein, dass sie ihr Licht geordnet auf einen Detektor zulenden. Wer sich für eine Fete einmal die Mühe gemacht hat, einen Käseigel gleichmäßig zu bestücken, kann sich vorstellen, welche Schwierigkeiten das im Maßstab 1:10 000 macht.

### Vom Großen zum Kleinen

Lees Team wählte darum einen leicht abgewandelten Weg. Sie begannen mit der Konstruktion des Gesamtauges und ließen das Licht anschließend seine eigenen Leiterbahnen bohren. Dazu erstellten sie mit dem vorhandenen Handwerkszeug der Mikrotechnologie eine honigwabene Schicht von winzigen Linsen, die sie mit einem elastischen Polymer überzogen. Die Linsen drückten sich in dem Kunststoff ab, der daraufhin mit einem Unterdruck in die gewünschte Halbkreisform gezogen wurde. Das war die Form, in welcher eine beliebige Zahl von Kunstharzabgüssen gemacht werden konnte.

Der entscheidende Trick in der weiteren Produktion war die Art und Weise, wie das Harz aushärtete. Als Initiator des Prozesses diente ultraviolettes Licht, das mit einer konventionellen großen Linse auf den Rohling gelenkt wurde. An jeder seiner Erhebungen brach sich das Licht wie an einer Mikrolinse und fokussierte sich in dem Harz von selbst.

Durch die Einstrahlung polymerisierte das Material, änderte seinen Brechungsindex und bildete eine Art Lichtleiter, der exakt zur Geometrie der jeweiligen Mikrolinse passte. Die Forscher mussten anschließend nur noch das nicht belichtete Harz thermisch auf andere Weise vernetzen und den erreichten Zustand so fixieren.

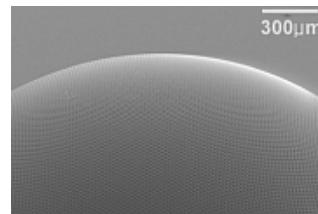
### Fehlt nur noch ein Rezeptor

Das Ergebnis ist ein Komplexauge aus 8370 Einzellinsen mit jeweils 25 Mikrometern Durchmesser und einem individuell angepassten Lichtleiter von 150 bis 300 Mikrometern Länge - technische Daten, die ziemlich genau einem Bienenauge entsprechen, das allerdings lediglich bis zu 4900 Ommatidien umfasst.

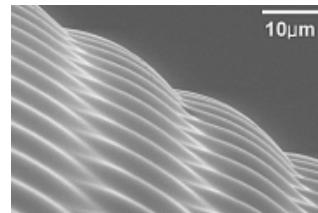
Was den künstlichen Augen noch fehlt, ist der Rezepteur am Ende des Lichtleiters. Hier denken die Wissenschaftler an elektronische CCD-Sensoren, wie sie auch in Digitalkameras verwendet werden. Oder an Spektroskope, die das einfallende Licht in seine Wellenlängenbestandteile zerlegen und so analysieren können.

### Vielseitige Zukunft

Mit der Optik liegt jedenfalls der schwierigste Teil einer Mikrokomplexkamera vor. Sobald das ganze Gerät fertig ist, wird es in einer Vielzahl von Gebieten für neue Einblicke sorgen. In der Medizin könnte es beispielsweise Bilder von Bereichen aus dem Körperinneren liefern, die für gewöhnliche Endoskope einfach zu eng sind.

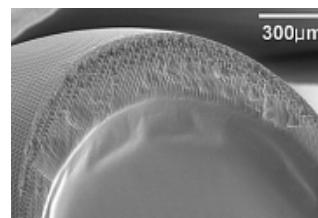


8370 künstliche Lichtsammler bilden eine Halbkugel mit 2,5 Millimetern Durchmesser.



Die Mikrolinsen des synthetischen Facettenauges sind wie beim natürlichen Vorbild hexagonal angeordnet.

© Science



Der Schnitt durch das künstliche Komplexauge zeigt die Ähnlichkeit mit echten Insektenaugen. Für jedes Teilsystem sammelt eine Linse das Licht und lenkt es durch einen länglichen Lichtleiter.

© Science

Mit seinem Rundumblick bietet es sich für Überwachungsaufgaben an, und natürlich hat das Militär ganz eigene Ideen, wo es gerne hinschauen möchte. Facettenaugen erledigen ihre Arbeit eben bei friedlichen Eintagsfliegen wie bei räuberischen Wespen. Da hilft zur Not nur ein gezielter Hieb mit der zusammengerollten Zeitung - dann ist die Privatsphäre wiederhergestellt.

**Olaf Fritsche**

Freier Journalist [www.wissenschaftwissen.de](http://www.wissenschaftwissen.de)

**Quellen:**

Science 312: 557-561 (2006), [Abstract](#)

© spektrumdirekt

## Salamandra robotica

Roboter simuliert Bewegungsmuster von Amphibien

**Als die Amphibien vor Urzeiten das Meer verließen, passten sie ihre Bewegungen dem ungewohnten Untergrund an - ohne dabei die alten Muster zu verlernen. Wie genau sie zwischen Schwimmen und Laufen hin- und herschalten können, war lange ein Rätsel. Ein salamanderähnlicher Roboter bringt nun Licht ins Dunkel der Amphibienmotorik.**

Salamandra robotica ist keine Schönheit. Ihr eckiger, lang gezogener Körper besteht aus pastellgelben Plastiksegmenten, statt Augen zierte sie ein breiter ockerbrauner Plastefpropf. Vier primitive schwarze Beine ragen von ihrem Körper zur Seite, auf Knopfdruck setzen sie sich kreisförmig in Bewegung.

Doch die Rotation der plumpen Füße gibt endlich das Geheimnis des 85 Zentimeter langen Automaten preis: Salamandra Robotica bewegt sich wie ihr biologischer Namensgeber - und das sowohl zu Lande wie auch im kalten Nass des Genfer Sees.

### Lauftechnische Unterschiede

Der Roboter ist eine Schöpfung des Teams um Auke Jan Ijspeert von der Biologically Inspired Robotics Group der Ecole Polytechnique Fédérale von Lausanne. Seine elektronische Schaltung ist den neuronalen Verknüpfungen lebender Salamander nachempfunden: Eine Hauptschaltstelle im Kopf des Roboters entspricht dem Stammhirn des Tieres, eine doppelsträngige elektronische Leitung mit jeweils acht Oszillatoren von Kopf bis Schwanz soll die Neuronenbündel entlang des Knochenmarks von Salamandern simulieren.

Auch die vier Extremitäten enthalten jeweils einen eigenen Oszillator. Auf diese Weise hofften die Forscher die elektrischen Impulse nachzubauen, die eine Amphibie jeweils zum Schwimmen oder zum Landgang motivieren.

Denn Salamander benutzen hierfür zwei unterschiedliche Techniken: Bewegen sie sich an Land, setzen sie jeweils die diagonal gegenüberliegenden Beine gleichzeitig in Bewegung, was zu der typischen S-förmigen Krümmung des Körpers führt. Im Wasser jedoch winkeln die Tiere ihre Beine an und schalten um auf rhythmische Wellenbewegungen, die vom Kopf bis zum Schwanz hindurchlaufen - wie etwa auch bei den aalähnlichen Neunaugen.

### Feinheiten der Bewegungssteuerung

Im Labor hatten Tests mit Neuronenbündeln des Rückenmarks von Amphibien bereits ergeben, dass eine geringe Stimulation der Nervenzentralen die Tiere zur Bewegung ihrer Beine anregt. Eine höhere Reizdosis führte zur Schüttelbewegung. Doch wie genau die Nervenbündel miteinander vernetzt sind, und warum es keinen Übergangsbereich von der einen Bewegungsform zur anderen gibt, war bislang ungeklärt. Mit Hilfe des hellgelben Plastiksalamanders konnte das Rätsel nun gelöst werden.

Die Forscher konzipierten ihren Robo-Salamander mit zwei zentralen Schaltstellen, die den Aktivitäten im Stammhirn entsprachen: eine für die Wellenbewegung des Rückgrates, eine für die Diagonal-Bewegungen der Beine. Dann programmierten sie die Schaltstellen so, dass der Roboter bei einer kontinuierlichen elektrischen Reizung der Rückgrat-Schaltstelle via Fernbedienung in den Schwimmmodus verfiel - es sei denn, gleichzeitig wäre auch die Schaltstelle für die Extremitäten aktiviert. Dann nämlich würde die Schwimmbewegung unterdrückt. Die Schaltstelle für die Fußbewegungen des Roboters jedoch reagierte auf die Frequenz der elektrischen Reizung: War sie niedrig, aktivierte sie die Beinoszillatoren. Bei höherer Frequenz schaltete sie sich ab.

### Vorbildmäßig vorwärts

Bei einer niedrigschwelligen elektrischen Reizung tapste der Roboter denn auch gemächlich vor sich hin. Überschritt die Frequenz jedoch einen bestimmten Schwellenwert, wurde der Schwimmmodus eingeleitet und die Wirbelsegmente des Roboters entsprechend bewegt. Die Umpolung vom Landgang auf die Schwimmbewegung erfolgte also durch eine Erhöhung der Reizfrequenz.

Gleichzeitig wurde die Bewegung schneller, je höher die Frequenz der Reizung war. Die Konsequenz: In Freilandversuchen am Genfer See bewegte sich der elektronische Salamander genauso wie sein lebendes Vorbild - langsam zu Lande, schnell im Wasser. Zudem ähnelten die Bewegungsabläufe des Roboters die seines biologischen Vetters aufs Haar.

Ob die Neuronenschaltungen im Salamander nun denen des Modells eins zu eins entsprechen, muss noch ermittelt werden. Für die Robotik jedoch ist der Robo-Salamander schon jetzt ein Erfolg. Denn die Bewegung in unterschiedlichem Gelände und das Umschalten auf unterschiedliche Geschwindigkeiten und Gangarten stellt für die meisten Automaten bislang noch eine riesige Hürde da.

Sich für die Lösung solcher Probleme an der Natur zu orientieren, könne daher



Der Salamander-Roboter kann sich sowohl im Wasser als auch zu Lande fortbewegen. Und zwar genau so wie sein biologisches Vorbild.

© A. Herzog, Biologically Inspired Robotics Group, EPFL



Salamander oder andere Schwanzlurche nutzen im Wasser eine andersartige Bewegungsstrategie als an Land: Während sie auf der Erde jeweils die diagonal entgegen gesetzten Beine gleichzeitig bewegen und sich so zu der typischen S-Form krümmen, klappen sie im Wasser die Beine an und schlängeln sich mit Wellenbewegungen voran.

© BMC Biology



Die Schaltkreise des Salamander-Roboters entsprachen in ihrem Aufbau den neuronalen Verknüpfungen im Stammhirn und im Rückenmark von Molch und Salamander. So wollten die Forscher die genauen Abläufe der Reizverarbeitung bei Amphibien simulieren.

© A. Herzog, Biologically Inspired Robotics Group, EPFL



Außer dem Salamander-Roboter bauten die Forscher um Auke Ijspeert auch schon einen Robo-Fisch und einen Baby-

durchaus fruchtbar sein, sind sich Auke Ijspeert und sein Team sicher. Sie müssen es wissen: Neben ihrem Robo-Salamander haben die Forscher schon andere biologisch inspirierte Roboter gebaut, unter anderem einen Fisch und einen krabbelnden Baby-Humanoiden.

**Tanja Krämer**

Freie Wissenschaftsjournalistin in Bremen

**Quellen:**

**Science** 315: 1416 (2007)

© spektrumdirekt

Humanoiden, der auf allen Vieren durch die Gegend kriecht.

© A. Herzog, Biologically Inspired Robotics Group, EPFL

## Begrenzter Lotuseffekt

Die Fähigkeit der Lotosblume, Wasser abzuweisen, hat Grenzen. Das fanden die Physiker Yang-Tse Cheng von General Motors und Daniel Rodak von der Firma Ricardo Meda heraus. Mit Wasserdampf ist es ihnen gelungen, die als unbenetzbar geltenden Blattoberflächen mit einem Flüssigkeitsfilm zu versehen.

Die besondere Eigenschaft der Pflanze - bekannt als Lotuseffekt - beruht auf der Mikrostruktur ihrer Oberflächen: Sie bestehen aus einer Wachsschicht, die durch Noppen und feinste Stoppeln besonders rau ist. Fällt ein Wassertropfen auf diese Struktur, berührt er nur die Kuppen der Noppen, während zwischen den Vertiefungen der Oberfläche und dem Tropfen ein Luftpolster verbleibt. Daher perlit der Tropfen ab und nimmt dabei auch Schmutzpartikel mit. Aus diesem Grund findet der Lotuseffekt inzwischen vielfach technische Anwendung, wie bei Schmutz abweisenden Fassadenfarben und Windschutzscheiben.

Als Cheung und Rodak nun die Oberfläche eines Blattes bedampften, schlug sich der Wasserdampf in kleinsten Tröpfchen auf der Wachsschicht nieder und konnte dabei bis in die Vertiefungen der rauen Struktur vordringen. Überraschend war, dass die Oberfläche auch dann benetzt blieb, wenn mehrere der kleinen Tröpchen zu einem großen verschmolzen. Mit dem entstehenden Flüssigkeitsfilm verloren die Lotosblätter ihre Wasser abweisende Eigenschaft. Damit stellt sich nach Ansicht der Wissenschaftler die Frage, ob absolut Wasser abweisende Oberflächen überhaupt möglich sind.

**Quellen:**

[Applied Physics Letters 86: 144101 \(2005\), Abstract](#)

© spektrumdirekt

## Ein Haftfuß mit Wasserkraft

Statt mit komplexen Substanzen klebt ein neu entwickelter Minisaugfuß mit einfachem Wasser. Über eine elektrische Spannung ist er sogar an- und abschaltbar. Entwickelt wurde das Gerät von Wissenschaftlern um Peter Ehrhard vom Forschungszentrum Karlsruhe, obwohl die Idee eigentlich von einem Käfer stammt.

Nur nicht loslassen!, lautet die Devise des Palmkäfers, wenn jemand an ihm zerrt. Durch ein Öl, das er in 120 000 Tröpfchen auf seine Unterlage gibt, bleibt er haften - mit einer Kraft, die dem Hundertfachen seiner Gewichtskraft entspricht. Das Geheimnis liegt in der Oberflächenspannung der Flüssigkeit, die den festen Zusammenhalt gewährleistet.

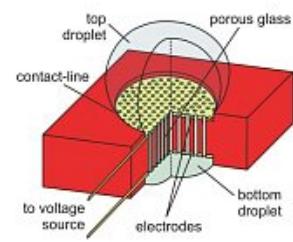
Das gleiche Prinzip, allerdings mit Wasser als Haftmittel, verfolgen die Wissenschaftler mit ihrem Apparat. Er besteht aus einer winzigen Glasscheibe mit Poren, durch welche Wasser wandern kann. Ob es sich auf den Weg macht, hängt von einer angelegten Spannung ab, welche die Ionen in der Flüssigkeit lenkt. Fünf Volt reichen aus, um innerhalb einer Sekunde Millimeter große Wassertröpfchen erscheinen zu lassen. Bei noch kleineren Ausmaßen sollte es entsprechend schneller gehen.

Obwohl die Entwicklung zum Patent angemeldet ist, sind konkrete Anwendungsziele noch nicht in Sicht.

### Quellen:

Proceedings of the National Academy of Sciences 102: 11974-11979 (2005), [Abstract](#)

© spektrumdirekt



Eine elektrische Spannung bewegt das Wasser durch dünne Kapillaren aus dem Saugfuß hinaus oder hinein. Die Oberflächenspannung hält ihn an der jeweiligen Fläche fest.

© Michael Vogel, Paul Steen / PNAS

## Kompositmaterial ist steifer als Diamant

Eine deutsch-amerikanische Forschergruppe hat ein Kompositmaterial entwickelt, dessen Steifigkeit auch bei statischer Belastung die von Diamant weit übersteigt. Die Steifigkeit beschreibt über die Elastizitätskoeffizienten die Verformung eines Körpers unter mechanischer Spannung.

Das Material, das von Timothy Jaglinski, Roderic Lakes und ihren Kollegen hergestellt und analysiert wurde, besteht aus relativ weichem Zinn mit kleinen Einschlüssen von Bariumtitanat [1]. Diese Verbindung zeigt je nach Temperatur drei verschiedene Kristallstrukturen mit unterschiedlichem Volumen. Eingebettet in die Zinn-Matrix können sich die Bariumtitanat-Einschlüsse bei Erhitzung jedoch nur begrenzt ausdehnen und sorgen so für die hohe Steifigkeit des Komposit. Steifer als Diamant ist das neue Material aber nur bei Verbiegung, nicht bei Verdrehung, und nur über einen engen Temperaturbereich bei knapp sechzig Grad Celsius.

Die außergewöhnliche Stabilität des Kompositmaterials basiert auf der negativen Steifigkeit des verwendeten Bariumtitanats. Gewöhnliche Materialien besitzen eine positive Steifigkeit: ein Körper wird in Richtung der angelegten Kraft verformt und drückt dagegen. In Substanzen gespeicherte Energie kann aber zu einer Umkehrung dieses Zusammenhangs führen - drückt man diese, so zerlegen sie sich in ihre Einzelteile oder fallen in sich zusammen. Solche Materialien mit negativer Steifigkeit sind ohne äußere Stabilisierung sehr empfindlich gegen kleinste Störungen.

Die mathematische Theorie hinter den Experimenten stammt von Walter Drugan, der gezeigt hat, wie Substanzen mit positiver und negativer Steifigkeit zu extrem stabilen Materialien kombiniert werden können, die auch bei statischer Belastung standhalten [2]. Ein Komposit aus gewöhnlichen Materialien mit positiver Steifigkeit kann dagegen keine größere Gesamtsteifigkeit erreichen als die einzelnen Komponenten.

Drugan und Lakes arbeiten schon seit einigen Jahren gemeinsam an diesem Problem. Die ursprüngliche Idee wurde bereits 2001 veröffentlicht, 2002 konnten sie erstmals die Stabilität eines Komposit sowohl theoretisch als auch experimentell nachweisen, allerdings nur unter einer weniger anspruchsvollen veränderlichen Belastung.

Die Steifigkeit ist nicht zu verwechseln mit der Festigkeit, der maximalen Belastbarkeit bis zum Bruch, oder der Härte, der Widerstandsfähigkeit gegen das Eindringen eines anderen Körpers. Hier bleibt der Diamant weiterhin überlegen. (vs)

**Quellen:**

- [1] [Science](#) 315: 620-622 (2007)
- [2] [Physical Review Letters](#) (im Druck)

## Patente aus dem Meer

Bremer Bionikstudiengang erforscht die besten Strategien der Unterwasserwelt

**Was haben Algen, Seepocken und Haie gemeinsam? Sie alle leben im Meer. Und sie alle dienen Wissenschaftlern als Fundgrube für die Verbesserung moderner Technik. Der weltweit erste Internationale Studiengang Bionik der Hochschule Bremen hat sich auf die Meereswesen spezialisiert.**

Der Pinguin ist ein Erfolgsmodell. Schießt er kopfüber ins Meer, fließt das eiskalte Wasser an seinem schmalen Kopf und dem dicken Leib vorbei, mit minimalem Widerstand. "Der Pinguin hat eine perfekte Spindelform", bestätigt auch die Bionikerin Antonia Kesel von der Hochschule Bremen, "und die Spindel ist hydrodynamisch gesehen die günstigste Form, die ein Objekt haben kann." Die Wissenschaftlerin muss es wissen, leitet sie doch den weltweit ersten und einzigen Studiengang für Bionik in Bremen.

Seit dem Wintersemester 2003/2004 lernen Studierende hier, wie sich die Erfolgsrezepte der Natur auch im Bereich moderner Technik anwenden lassen. "Es geht dabei nicht darum, die Natur zu kopieren, sondern zu lernen, wie physikalische Prinzipien in der Natur eingesetzt werden - und was davon letztendlich potentiell übertragbar ist", erklärt Kesel, die selbst bei dem renommierten Bioniker Werner Nachtigall an der Universität des Saarlandes in Saarbrücken in die Lehre ging. Kenntnisse der Biologie seien hierfür ebenso bedeutend wie ein fundiertes Verständnis der Ingenieurwissenschaften.

Die Idee, von der Natur zu lernen, gibt es schon seit Hunderten von Jahren. Berühmt sind etwa die Versuche Leonardo da Vincis, aus dem Flug der Vögel Konzepte für den Bau von Flugmaschinen zu entwickeln. Dennoch ist die Bionik, die sich aus den Begriffen Biologie und Technik zusammensetzt, selbst noch eine relativ junge Wissenschaft. Der Begriff Bionik wurde 1958 in den USA auf einem Kongress in Dayton (Ohio) zum ersten Mal verwandt. In Deutschland gründete der Diplomingenieur Heinrich Hertel 1963 an der Technischen Universität Berlin die Gruppe "Biologie und Technik", die Forschungsrichtung Bionik war aus der Taufe gehoben.

Heute beschäftigen sich etwa dreißig deutsche Universitäten mit Bionik, zusammengeschlossen im Bionik-Kompetenz-Netz Biokom. Zu wenige, wie Antonia Kesel findet: "Bionik ist ein Forschungsfeld der Zukunft." Dieser Ansicht ist anscheinend auch das Bundesministerium für Bildung und Forschung: Dort wurde kürzlich beschlossen, in den nächsten drei bis fünf Jahren 30 Millionen Euro in die bionische Forschung zu investieren.

Die marine Bionik hat schon jetzt einiges vorzuweisen. So entwickelten Forscher der Northwestern-Universität in Evanston einen Roboter, dessen Sensoren den Tasthaaren von Seehunden nachempfunden sind. Christian Hamm und Ulf Lüdemann vom Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven analysierten die Aufbaumechanismen der Skelette von antarktischen Kieselalgen - und ließen sich dadurch zu Leichtbaufelgen inspirieren, die trotz ihrer Leichtigkeit besonders stabil sind.

Die Bionik-Wissenschaftler in Bremen interessierten sich besonders für den Bewegungsapparat von Meerestieren. "Über Tausende von Generationen haben sich diese Organismen immer wieder auf einen möglichst optimalen Umgang mit den jeweiligen Ressourcen angepasst und Wege gefunden, für ihre jeweilige Fortbewegungsstrategie so wenig Energie zu verbrauchen wie irgend möglich", erklärt Kesel.

Einen besonders effektiven Kniff hat hierbei der Hai entwickelt. Er, der scheinbar mühelos durch die Meere gleitet, verlässt sich nicht allein auf seine Spindelform, die er mit fast allen schnellen Schwimmern im Tierreich gemein hat. Sein Geheimnis ist seine Haut. Sie ist mit winzigen Schuppen besetzt, deren gezackten Ränder feine Längsrillen bilden, die genau zur Strömung ausgerichtet sind. Dadurch verringert sich der Reibungswiderstand des Wassers, das Schwimmen ist weniger kräftezehrend.

Wissenschaftler um den Diplom-Ingenieur Dietrich Bechert vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt übertrugen 1991 diese Rillenstruktur auf Folien. Heute werden Flugzeuge damit beklebt. "Noch gibt es jedoch Probleme in der Anwendung", erläutert Antonia Kesel. Denn spätestens alle zwei Jahre müssen Flugzeuge einer genauen Sicherheitsüberprüfung unterzogen werden. Dafür muss die Folie wieder ab. "Wegen der hohen Temperaturunterschiede am Boden und in der Luft benötigt man aber sehr starke Klebstoffe, wodurch die Entfernung aufwändig und entsprechend teuer wird", sagt sie.

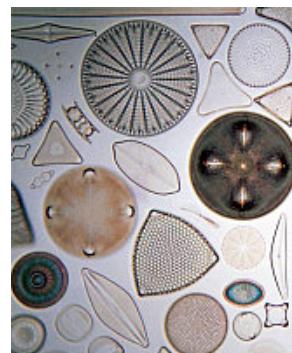
Die finanziellen Vorteile, welche die Betreiber durch die energiesparenden Folien gewinnen, gingen ihnen durch den längeren Ausfall ihrer Maschinen so wieder verloren. "Hier muss nach anderen Lösungen gesucht werden", sagt die Bionikerin. Möglicherweise könnte man die Mikrostrukturen in Lackfarben integrieren und so die Folien vollends vermeiden.

Aber die Haihaut hat noch andere Tricks auf Lager. Denn Seepocken oder



Die Haut des Hais hat in der Bionik schon in mehrfacher Hinsicht für Aufsehen gesorgt. Sie ist dank einer besonderen Mikrostruktur nicht nur widerstandsfrei, sie bietet auch Seepocken und Muscheln keinen Halt - eine Eigenschaft, die in der Schifffahrt von großer Bedeutung sein könnte.

© Scripps Institution of Oceanography



Die Skelette von Kieselalgen sind sehr leicht und gleichzeitig äußerst stabil. Hier sind eine Exemplare aus antarktischen Gewässern versammelt. Forscher des Alfred-Wegener-Instituts in Bremerhaven nutzten den Aufbau der Skelette zum Design neuer Leichtbaufelgen für Autoreifen.

© Richard Crawford



Dieses Modell einer Leichtbaufelge von Christian Hamm und Ulf Lüdemann vom Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven wurden durch ein Vorbild aus der Natur inspiriert: die Skelette von Kieselalgen. Sie sollen Leichtigkeit mit Stabilität vereinen.

© Markus Geisen

Miesmuscheln, die sich ansonsten auf so gut wie jeder Oberfläche in den Meeren ansiedeln, finden auf ihr keinen Halt. Eine beneidenswerte Fähigkeit - die Schiffsrümpfe oder Bohrplattformen leider nicht vorweisen können. Sie werden in kürzester Zeit von den so genannten Foulingorganismen besiedelt. Das sieht nicht nur unschön aus, sondern erhöht auch den Reibungswiderstand. "Seepocken sind richtige Bremsen", sagt Antonia Kesel, "schon ein geringer Bewuchs von nur wenigen Millimetern kann für ein Schiff bedeuten, dass es fünfzig Prozent mehr Sprit verbraucht. Das ist bei einem Containerschiff mit 3000 bis 4000 Containern eine zusätzliche Ausgabe von etwa 35000 Dollar pro Tag."

Früher rückte man den Muscheln und Pocken schlicht mit Giften zuleibe - in Form von Lacken auf Tributylzinn-Basis. Doch die Gifte wanderten ins Meer, seit 2003 ist die Farbe verboten. "Heute verwendet man daher kupferbasierte Anstriche. Die sind allerdings nicht so wirksam, was dazu führt, dass die Reedereien größere Mengen benutzen", kritisiert Kesel. Seit Jahren wird an neuen Methoden geforscht. Die Bremer Bioniker hoffen mit der Haihaut eine funktionsfähige und umweltfreundliche Alternative gefunden zu haben. Die Idee ist bereits patentiert, erste Folien für Schiffsrümpfe im Test. Auch die Wirtschaft zeigte auf regionalen Treffen schon Interesse. "Wir hoffen, in zwei Jahren auf den Markt gehen zu können", sagt die Bionikerin zufrieden.

In den Forschungslabors der Bremer Hochschule hat inzwischen ein anderer Proband das Interesse der Bioniker geweckt: Der Stör. Der wegen seines Kaviars gefährdete Fisch reist bis zu tausend Kilometer, um seinen Laich abzulegen. Da sollte sein Körperbau möglichst wenig Reibungswiderstände produzieren, um die anstrengende Reise nicht unnötig zu erschweren. Dennoch hat der Stör fünf dornenähnliche Knochenplatten auf seinem Körper, die ihn vor Fraßfeinden schützen. "Auf den ersten Blick würde man vermuten, dass die strömungstechnisch eher hinderlich sind", sinniert Antonia Kesel. Doch erste Tests im eigenen Strömungskanal haben das Gegenteil erwiesen. Warum dies so ist, bleibt allerdings noch aufzuklären. Aber womöglich birgt auch der Stör ein Geheimnis, bei dem es sich lohnt, es aus dem Wasser zu fischen.

**Tanja Krämer**

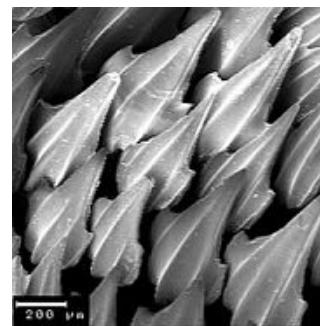
Freie Wissenschaftsjournalistin in Bremen

© spektrumdirekt



Als dieses Foto entstand, war die Schiffsschraube gerade sieben Wochen dem Meerwasser und den darin lebenden Meeresorganismen ausgesetzt gewesen. Ohne eine giftige Schutzschicht haben Seepocken leichtes Spiel.

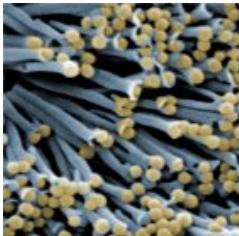
© Ralph Liedert



Diese Aufnahme eines Rasterelektronenmikroskops zeigt die kleinen Zähnchen, aus denen die Haihaut zusammengesetzt ist. Die Zacken am oberen Ende der Zähnchen bilden feine Rillen, die der Strömung entsprechend ausgerichtet sind. So verringert sich der Reibungswiderstand, der Hai kann sachte durch die Meere gleiten.

© HS Bremen

## Frage



## Was ist das?

- a) "Haariger" Fuß einer Stubenfliege
- b) Nanoröhrchen mit Korken
- c) Oberfläche eines Mikrofasertuches
- d) Tentakeln einer Seeanemone
- e) Antischmutz-Beschichtung

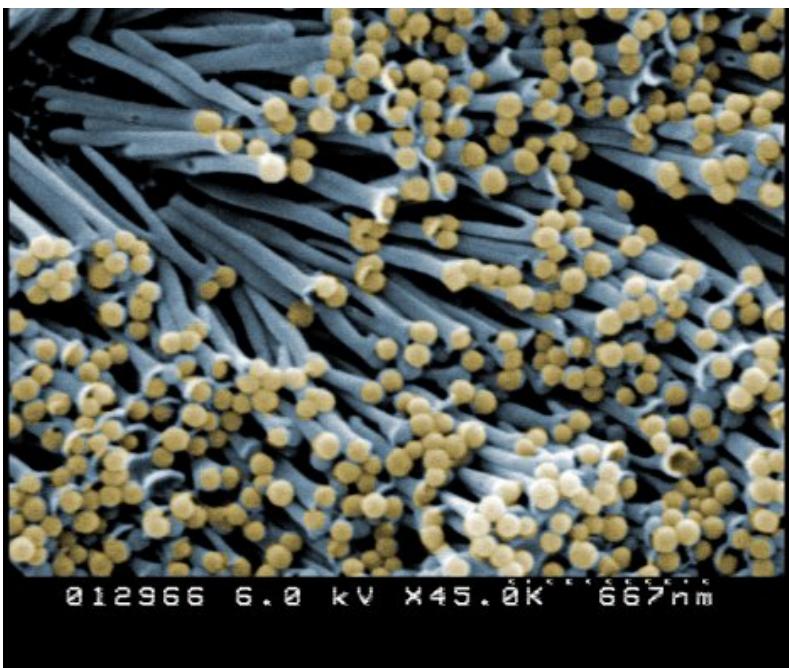
## Antwort:

Eins auf den Deckel bekommen haben diese **Nanoröhrchen** - in Form eines winzigen **Korkens**.

## Erklärung:

Den nur wenige Nanometer messenden Röhrchen, die meist aus reinem Kohlenstoff, inzwischen aber auch aus anderen Materialien wie Silizium bestehen, wird eine glänzende Zukunft vorhergesagt. Als Bausteine für Miniaturcomputer sollen sie dienen, als Werkstücke im Nanobaukasten, Schnittstelle zwischen Maschine und Mensch und vieles mehr - die Liste erhoffter Anwendungen ist lang. Charles Martin von der Universität in Florida und seine Mitarbeiter haben eine andere Sache im Sinn: Ihre Nanoröhrchen sollen zu Medikamentenlieferanten werden. Dafür entwickelten die Forscher zum einen Röhrchen, die nicht wie sonst auf beiden Seiten offen, sondern an einer Seite geschlossen sind wie die klassischen Labor-Eppis - kleine, mit einem Schnappdeckel verschließbare Kunststoffröhren zur Probenaufbewahrung.

Fehlte bislang nur der Deckel, den die Forscher nun nachgeliefert haben: Sie versahen den Rand der Röhrchen mit Amino-Gruppen und die Deckel mit Aldehyd-Gruppen. Auf Grund elektromagnetischer Wechselwirkungen ziehen sich diese beiden Gruppen an, und schon sitzt der Korken fest. Womit sich nun für Charles und sein Team die nächste Aufgabe stellt: Wie kriegen sie ihr Miniatur-Medikamentenröhren wieder auf?



© University of Florida

Problemlos wieder ab von glatten Oberflächen bekommt eine **Stubenfliege** ihren mit winzigen Härchen besetzten Fuß. Das haarfein verzweigte Polster ermöglicht ihr mittels Van-der-Waals-Wechselwirkungen, selbst an Glas zu "kleben". Anders als Geckos beispielsweise, die auf dasselbe Prinzip vertrauen, setzen Schmeißfliegen aber tatsächlich auch auf Klebstoff in Form eines Sekrets, das sie an den Fußsohlen absondern.

Schnell wieder weg sollen **Mikrofasertücher** solche Spuren wischen. Auch sie beruhen auf dem Miniaturprinzip: Die schmutzaufnehmenden Fasern ihrer Oberfläche sind so winzig, dass sie auch kleinste Schmutz- und Staubteilchen noch aufnehmen und festhalten. So lassen sich gerade auf nur leicht verschmutzten, glatten Oberflächen Putzmittel und Wasser sparen.

Einen Schritt weiter - nämlich gar nicht erst schmutzig zu werden - gehen **Antischmutzbeschichtungen**. Sie beruhen auf einer starken Antihalt-beziehungsweise antiadhäsiven Wirkung: Sie treten kaum oder gar nicht mit auflagernden Substanzen in Wechselwirkung. Vorbild solcher Beschichtungen ist unter anderem der so genannte Lotus-Effekt, benannt nach der Lotusblume, deren Blätter sich im Schlammwasser entfalten und trotzdem blitzblank sind. Feine Mikrostrukturen auf der Oberfläche und wasserabweisende Wachse verhindern hier, dass sich Unerwünschtes ablängert.

Die **Tentakeln einer Seeanemone** hingegen wollen nicht nur abweisen - hungrige Fressfeinde -, sondern auch binden. Berührt etwas Fressbares die langen Ausläufer, schleudern deren Nesselkapseln explosionsartig den Nesselfaden aus und setzen ein Gift frei, welches das Opfer direkt tötet oder zumindest lähmt. Diese Bewegung gehört zu den schnellsten des Tierreiches: Bei dem Süßwasserpolypen *Hydra* dauert das Ganze nur 700 Nanosekunden. Der entstehende Druck von mehr als sieben Gigapascal liegt ähnlich hoch wie bei einer Gewehrkugel.

**Antje Findeklee**

## Zurück zur Natur

Der Lotus verfügt über eine erstaunliche Eigenschaft, die schon früh registriert worden ist. Womit seine riesigen schildförmigen Blätter auch in Berührung kommen, sie sehen immer wie frisch gewaschen aus. Heute weiß man, wie dieser "Lotus-Effekt" zu Stande kommt: Die Lotusblätter sind mit winzigen Noppen übersät, die aus Wasser abstoßenden Wachskristalloiden aufgebaut sind. An diesen Noppen bleibt kaum etwas haften, und wenn etwas haften bleibt, wird es vom Regenwasser schnell weggespült.

Diese Erkenntnis hat den Anstoß zu bedeutenden technischen Innovationen gegeben. Mittlerweile ist es gelungen Lacke, Dachziegel und Folien zu entwickeln, die sich selbst so reinigen, wie es der Lotus tut. Die Natur ist aber generell wie eine Fabrik, die bei allem, was sie produziert, mit verschwindend wenig Rohstoffen auskommt. Energie verbraucht sie kaum - was sie auch herstellt, die Temperaturen in ihren "Öfen" sind immer lächerlich niedrig. Ihre Produkte sind vollständig biologisch abbaubar und wiederverwertbar. Und was sie auch tut, mit schlafwandlerischer Sicherheit gelingt es ihr immer wieder, die in technischer, ökonomischer und ökologischer Hinsicht optimalen Lösungsstrategien zu finden.

Der Gedanke liegt deshalb nahe, sich biologische Systeme zum Vorbild zu nehmen und ihre Konstruktions- und Organisationsprinzipien, ihre Regelungs- und Steuerungsmechanismen, ihre Verfahrensweisen und Materialien für technische Innovationen nutzbar zu machen. Genau das versucht die Bionik.

Der Zoologe und Bionik-Pionier Werner Nachtigall befasst sich auf seiner CD "Bionik. Was ist das? Was kann das? Was soll das?" exemplarisch mit ihren wesentlichen Errungenschaften und erläutert ihre vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten: vom Schiffs- und Roboterbau angefangen bis hin zum Verkehrswesen, zur Medizin und zur Nanotechnik. Nachtigall skizziert die Geschichte und Vorgeschichte der Bionik und arbeitet heraus, was Mutter Natur zur Erfindung des Stacheldrahts, des Salzstreuers und des Stahlbetons beigetragen hat.

Er beschäftigt sich mit den ungeheuren Potentialen, die noch in der Bionik stecken. So könnte die Bionik den Bau von solarbetriebenen Wasserstoff-Farmen ermöglichen, die nach dem Prinzip der künstlichen Fotosynthese arbeiten werden. Und letztlich macht er deutlich, warum die Bionik zum Fundament eines neuen, systemischen Weltbildes und einer neuen, ökologisch ausgerichteten Ethik werden könnte.

Eine brillante Einführung in die Grundlagen und die Arbeitsweise der Bionik.

Dr. Frank Ufen  
Der Rezensent ist promovierter Soziologe und freier Wissenschaftsjournalist, Marne

Werner Nachtigall  
**Bionik, 1 Audio-CD**

SUPPOSE VERLAG

ISBN: 393251372X



Dieses Buch können Sie im Science-Shop für **18,00** (D), 18,00 € (A) kaufen.  
»

### 5x5-Bewertung

Inhalt		
Qualität		
Mehrwert		
Spaßfaktor		
Preis/Leistung		
Expertenwertung		22