

NEUGIERIG AUF MORGEN

P.M.



AUTOS, HANDYS, HÄUSER

VERBINDUNG FÜR DIE EWIGKEIT

250 000 **KLEBSTOFFE** halten die moderne Welt zusammen.
Forscher verleihen ihnen immer neue Eigenschaften

INTELLIGENZ

Werden wir immer
dümmer?

SONNENSYSTEM

Die Suche nach Leben
in fernen Mondmeeren

GEGENGIFT

Was gegen
Schlangenbisse hilft

P.M. 4,90 € 11/2020

Österreich 5,40 € · Schweiz 7,80 sFr · Benelux 5,80 € · Spanien 6,50 € · Portugal (Cont.) 6,50 € · Griechenland 7,30 €

www.pm-wissen.com

4 130584 404908



WAS SICH EWIG BINDET

Hightech-Klebstoffe mit maßgeschneiderten Eigenschaften halten die Welt zusammen. Doch die besten Rezepte hat die Natur

TEXT: ULF SCHÖNERT

FEST VERBUNDEN
Roboter montieren den Deckel des Akkupacks für einen Audi E-Tron. Die einzelnen Zellen in der Batterie sind mit wärmeleitendem Klebstoff fixiert; der Deckel wird mit einer speziellen Dichtungspaste am Gehäuse befestigt.



Drei Gramm Epoxidharzkleber zwischen zwei Aluminiumzylindern trugen beim Weltrekord der Firma Delo das Gewicht des schwebenden Lkw: 17,5 Tonnen. Die rot lackierten Verbinder aus Metall dienten lediglich der Sicherheit.

Und genauso kommt es. Als die Zeit um ist, schießen riesige blaue Luftschlangen in den Himmel. Die Mitarbeiter der Firma Delo im oberbayerischen Windach, die die Hängepartie im Juli 2019 organisiert haben, jubeln. Jetzt ist es offiziell: Sie haben den stärksten Klebstoff der Welt hergestellt.

Der Rekord von Windach zeigt, wozu moderne Klebstoffe fähig sind. Lasten, die früher nur mittels Nieten oder Schrauben getragen werden konnten, finden heute allein durch die Kraft der Chemie Halt. Der Rekord zeigt zudem, welche Fortschritte die Klebetechnik in den letzten Jahren gemacht hat: Zehn Jahre zuvor kam man mit gerade mal 6,18 Tonnen schwebender Last ins Guinness-Buch, also mit weniger als der Hälfte des aktuellen Weltrekords. »Es ist einer der am häufigsten gebrochenen Rekorde«, sagt Matthias Stollberg, Leiter der Pressestelle von Delo. »Da ist im Moment sehr viel in Bewegung.«

Klebstoffe halten die Welt zusammen, buchstäblich. Würde man in einem Auto auf einen Schlag allen Klebstoff entfernen, würde es augenblicklich auseinanderfallen. Die Windschutzscheibe würde sich aus dem Rahmen lösen, die Batterie nicht mehr funktionieren, die Lampen würden aus ihren Halterungen kippen. Vor allem gäbe die Elektronik den Geist auf. Denn auch die meisten Mikrochips werden heutzutage geklebt. Bis zu 15 Kilogramm Klebstoff befinden sich in einem normalen Auto, in E-Autos sind es in der Regel noch mehr.

Nach Definition des Deutschen Instituts für Normung, Norm DIN EN 923, sind Klebstoffe »nichtmetallische Werkstoffe, die Fügebauteile durch Adhäsion und Kohäsion miteinander verbinden«. Adhäsion bezeichnet dabei die Fähigkeit, sich mit dem, was geklebt werden soll, zu verbinden. Kohäsion steht für die innere Festigkeit des Klebstoffs.

Um den Unterschied zu verstehen: Zwei Glasplatten lassen sich mit einem simplen Wasserfilm



1 In Bottichen werden bei Delo die Komponenten eines Klebstoffs gemischt. 2 Im Labor der Firma werden jährlich Tausende neue Kleber entwickelt. 3 Viele davon werden unter langwelligem gelbem Licht produziert. 4 Der Grund: Kurzwelliges Licht im UV-Bereich setzt die Aushärtung in Gang.



D

rei Gramm Klebstoff. Mehr ist es nicht, was den riesigen gelben Lkw hält. 17,5 Tonnen ist der schwer, in einem Meter Höhe hängt er an einem Kran in der Luft. Nur 39,8 Quadratzentimeter groß ist die Klebefläche, die Fahrzeug und Kran verbindet. Größer darf sie nicht sein, so schreiben es die Regularien des Guinness-Buchs der Rekorde vor. Mehr als eine Stunde lang muss der Lastwagen auf diese Weise schweben.

FOTOS: DELO (6), SCIENCE PHOTO LIBRARY

300

Klebeanwendungen

stecken in etwa in einem modernen Auto. Selbst Karosserieteile aus Stahl werden verklebt: So erreicht man eine höhere Stabilität als beim Punktschweißen.

zusammenhalten, denn das Wasser hat eine gute Adhäsion: Es haftet am Glas. Trotzdem kann man die Platten leicht trennen, denn das Wasser hat eine geringe Kohäsion, also innere Festigkeit. Das ändert sich, wenn man die mit dem Wasser verbundenen Glasplatten ins Eisfach legt. Gefriert der Wasserfilm, bekommt er eine hohe Kohäsion. Nun sind die Glasplatten fest verbunden.

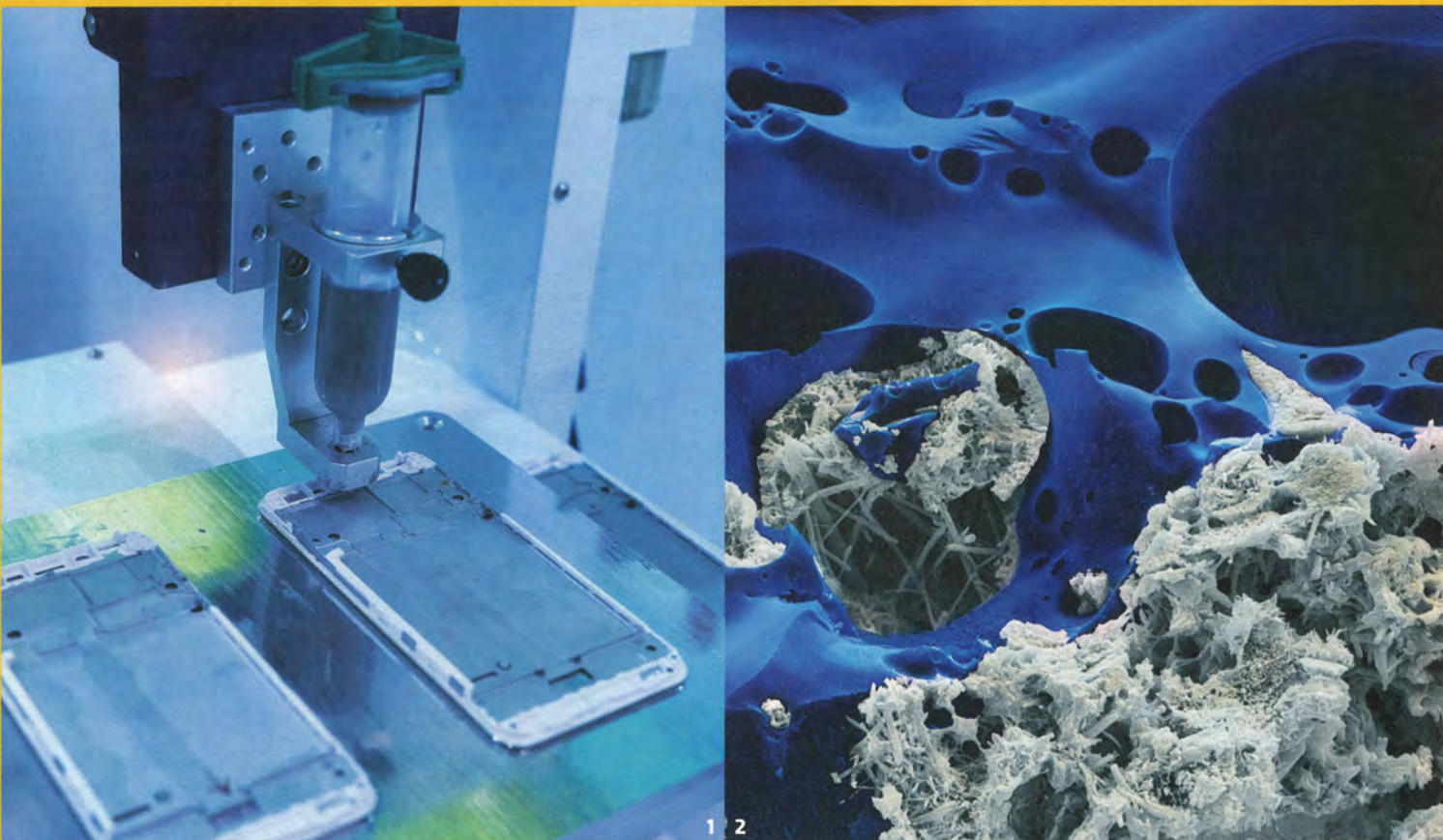
Umgekehrt nützt ein perfekt härtender Kleber mit hoher Kohäsion nichts, wenn er sich nicht mit der Oberfläche der Bauteile verbindet, die er zusammenhalten soll. Nur wenn Adhäsion und Kohäsion ausreichend hoch sind, kleben Kleber wirklich gut.

Und das tun sie. Kleben ist im Trend. Etwa die Hälfte aller Produkte, die in Deutschland verkauft werden, enthalten Klebstoffe. Gegenüber anderen Verfahren hat Kleben viele Vorteile: Es müssen keine Löcher gebohrt werden wie beim Schrauben, es muss nichts erhitzt werden wie beim Schweißen. Vor allem aber können ganz verschiedenartige Materialien miteinander verbunden

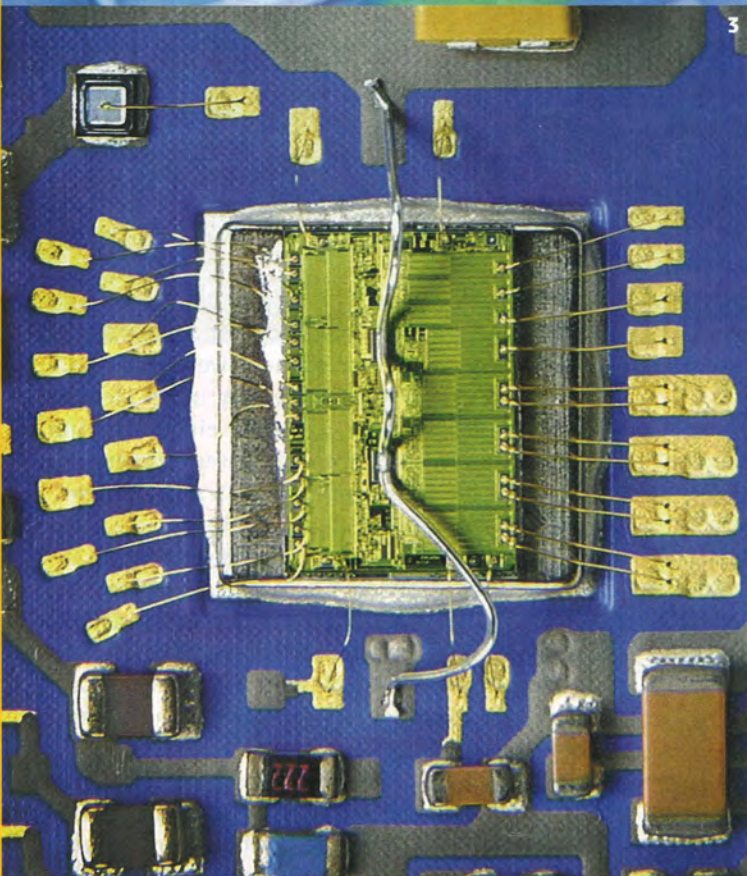
werden. Schuhe, die je nach Art Stoff, Plastik, Metall und Gummi enthalten können, werden deshalb heutzutage eher geklebt als genäht. In der Medizin wird immer häufiger Klebstoff eingesetzt, um Wunden zu schließen, etwa Schnittverletzungen der Haut. Das ist weniger aufwendig, als sie zu nähen.

Auch Elektronikprodukte wie Handys, die meist aus Glas, Plastik und Metall bestehen, werden inzwischen oft mit Kleber zusammengehalten. Das hat den Vorteil, dass sie immer kleiner konstruiert werden können. Eine Handykamera wird an 20 bis 30 Punkten geklebt. Würde man all diese Stellen mit Schrauben verbinden, wäre das Bauteil – und damit das ganze Gerät – deutlich größer.

1,5 Millionen Tonnen Klebstoffe, dazu eine Milliarde Quadratmeter Klebebänder und Klebefolien werden jedes Jahr in Deutschland produziert – meistens Baukleber, die zum Beispiel beim Anbringen von Dämmstoffen eingesetzt werden. Auch Windkraftanlagen benötigen Unmengen an Klebstoff. Bei manchen Modellen wird eine halbe Tonne aufgetragen, nur um ein einziges Rotorblatt ▶



1 2



3 4



1 Bei der Produktion von Smartphones setzen Roboter genau dosierte Klebemengen. 2 Klebemörtel unter dem Rasterelektronenmikroskop: Die winzigen Kristalle vergrößern die Kontaktfläche zwischen dem Kleber und den Fliesen, die er halten soll; Schaumglas (blau)

verringert das Gewicht. 3 Elektrisch leitender Kleber ersetzt Lötverbindungen auf Mikrochips. 4 Zahnfüllungen aus Kunststoff werden meist mit blauem Licht ausgehärtet. Die Bestrahlung stößt eine Reaktion an, bei der kleine Moleküle sich zu langen Ketten verbinden.

zusammenzuhalten. Ein großer Wachstumsmarkt ist zudem die E-Mobilität, denn bei der Herstellung der Akkus wird eine Menge Klebstoff benötigt. Gerade hat die Firma Henkel 130 Millionen Euro in ein neues Entwicklungszentrum in Düsseldorf gesteckt, Ende dieses Jahres soll es eröffnen.

Denn nicht nur die Umsätze, auch die Ansprüche steigen immer weiter. Festigkeit allein ist längst nicht mehr alles. Klebstoffe sollen auch vor Korrosion schützen, Elastizität gewährleisten, manche sollen Strom leiten, andere wiederum isolieren. Der Alleskleber mag im Bastelkeller noch eine Rolle spielen, in der Industrie geht der Trend hingegen zum Spezialprodukt.

Bis zu 250 000 unterschiedliche Sorten gibt es am Markt, schätzen Experten. Für große Kunden entwickeln Industriekleberhersteller wie Delo auf Wunsch sogar individuelle Gemische. Dazu stellen die Klebechemiker erst einmal Fragen: Welche Materialien sollen miteinander verbunden werden? Was genau soll geklebt werden? Wie viel Fläche steht zur Verfügung? Welche Umweltbedingungen – zum Beispiel Luftfeuchtigkeit und Temperatur – herrschen vor? Dann wird gemixt und getestet.

Bei Delo stehen Dutzende kleinere und größere Kessel, in denen sich Knetmaschinen drehen. Hier werden die Mischungen ausprobiert, die für den Einsatz



2014 verlor die Totenmaske des Tutanchamun ihren Bart. Erst wurde er stümperhaft mit Epoxidharz angepappt, dann mühevoll mit Holzspachteln gesäubert und schließlich mit Bienenwachs und Spezialkleber von Henkel erneut befestigt.

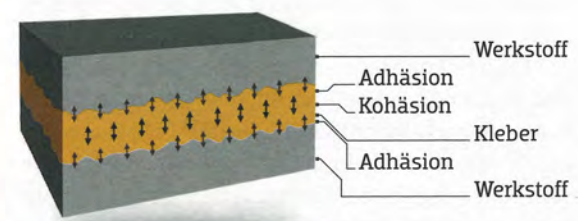
beim Kunden infrage kommen. »Mitunter geht es zu wie in einer Großbäckerei«, erklärt Stollberg.

Auch Rezepte gibt es, aber die sind geheim. Klar ist: Harz und Härter sind auf jeden Fall mit dabei. Harz ist die Basis der meisten Klebstoffe. Es besteht aus Molekülbausteinen, die sich mithilfe des Härters untereinander vernetzen. Durch chemische Bindungen und elektrostatische Anziehung halten sie sich dann aneinander fest. Am besten eignen sich dafür aus Erdöl gewonnene Polymere, die chemisch mit Plastik verwandt sind.

Damit man einen Klebstoff verwenden kann, darf er erst nach dem Auftragen fest werden. Um das zu erreichen, gibt es zwei grundsätzliche Verfahren. Die erste Methode ist, die Kunstharze mit Lösungsmitteln zu versetzen, zum Beispiel Azeton. Sie verhindern, dass die Harzmoleküle sich verbinden und verknäulen. Die Aushärtung startet erst, wenn das Lösungsmittel nach dem Auftragen verdunstet. Auf diese Weise funktionieren klassische Alleskleber aus der Tube, zum Beispiel Uhu.

Bei der zweiten Methode wird eine chemische Kettenreaktion ausgelöst, damit der Kleber zu kleben beginnt. Dazu fügt man eine weitere Chemikalie hinzu (»Zwei-Komponenten-Kleber«), erhitzt den Klebstoff oder bestrahlt ihn mit Licht bestimmter Wellenlängen. Letzteres tun Zahnärzte, wenn sie Zahnfüllungen härten. All diese Methoden bewirken das Gleiche: Die kurzkettigen Moleküle (Monomere) des Ausgangsstoffs verbinden sich zu langkettigen Polymeren, die für den Zusammenhalt sorgen.

Lösungsmittelklebstoffe findet man eigentlich nur noch bei Bastelklebern im Haushalt. Die ►



Zwei, die zusammenhalten

CHEMIE Zwei Arten des Zusammenhalts verbinden Klebermoleküle sowohl miteinander (Kohäsion) als auch mit der Oberfläche eines Werkstoffs (Adhäsion). Die schwächere der beiden ist die **elektrostatische Anziehung**. Sie rührt daher, dass die Ladungen in Molekülen nicht gleichmäßig verteilt sind. Es gibt positive und negative Bereiche, die einander anziehen. Einen deutlich stärkeren Zusammenhalt bieten **kovalente Bindungen**, in denen Atome sich Elektronen teilen. Sie verknüpfen einzelne Teilchen zu einer chemischen Einheit. Im Kleber verschmelzen kleine Moleküle zu langen Ketten, die sich miteinander verhaken.

FOTOS: SHUTTERSTOCK, SCIENCE PHOTO LIBRARY, ALAMY, HENKEL, DPA PICTURE-ALLIANCE; QUELLE INFOGRAFIK: PONAL

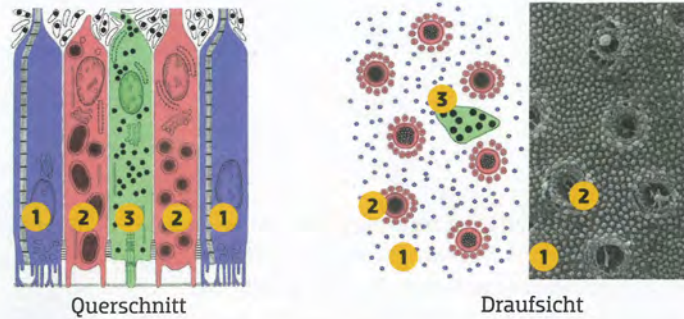
Industrie setzt fast ausschließlich auf Methode Nummer zwei. Zu warten, bis sich Lösungsmittel verflüchtigt haben, kann sich am Fließband einer Autofabrik niemand leisten. Deshalb tragen hier zunächst Roboter den Klebstoff automatisch auf. Anschließend wird der noch feuchte Kleber an der nächsten Station der Fertigungsstraße mit UV-Licht angeblitzt, damit er aushärtet. Auf diese Weise können Tausende Klebevorgänge sekundenschnell nacheinander ausgeführt werden.

Die Eigenschaften des Spezialklebers verfeinern Füll- und Zusatzstoffe. Sie sorgen für die richtige Farbe, für Elastizität, dafür, dass der Stoff wasserabweisend oder vielleicht sogar stromleitfähig wird. Sie sind das eigentliche Geheimnis eines guten Klebers.

Sie bestimmen auch, wie widerstandsfähig die Klebestelle gegen Einflüsse von außen wird. Im menschlichen Mund etwa einen Zahn zusammenzukleben ist gar nicht so schwierig. Dort herrschen weitgehend konstante Temperaturen, die Feuchtigkeit beträgt stets 100 Prozent, und die Materialien sind auch immer gleich: Zähne halt. Bei vielen industriellen Anwendungen dagegen ändern sich Temperatur, Belastung und Luftfeuchtigkeit ständig. Die Kleber müssen je nach Einsatzgebiet vielen verschiedenen Materialien widerstehen: Salzwasser im Meer, heißem Maschinenöl im Automotor, Gülle im Kuhstall.

Erst dann zeigt sich, ob die bei der Entwicklung des Klebstoffs vorhergesagten Eigenschaften auch wirklich erreicht worden sind. Was anderswo im Simulator berechnet werden kann, müssen Hersteller von Klebern nämlich nach wie vor ganz klassisch auf dem Prüfstand testen: Haltbarkeit und Elastizität, Alterung und Reißfestigkeit. Um feine Risse zu entdecken, kommen dabei auch Ultraschall und Röntgen zum Einsatz. »In 90 Prozent der Fälle geht es aber darum, etwas zu kleben und anschließend wieder kaputt zu machen«, sagt Stollberg. Geklebte Stellen werden 1000 Stunden lang 85 Grad Celsius und 85 Prozent Luftfeuchtigkeit ausgesetzt. Smartwatches werden mit künstlichem Schweiß benetzt oder auf den Boden fallen gelassen. »Wir haben 50 Kollegen im Labor, die den ganzen Tag nur kleben und zerstören, kleben und zerstören«, sagt Stollberg.

Kleben und zerstören: Genau das könnte in Zukunft zu einem großen Trend in der Branche werden. Chemikalien, die enorm fest halten, wenn sie



Das System Seestern

BIOLOGIE Stachelhäuter wie Seesterne und Seegurken, aber auch Plattwürmer, Fadenwürmer und Flaschentierchen besitzen ein Zwei-Drüsen-System aus **spezialisierten Zellen**, mit denen sie sich an ihren Untergrund heften und wieder davon lösen können. Beim Seestern befinden sich diese Zellen an den winzigen **Ambulakralfüßen**. Eingebettet in stützende Ankerzellen **1** sitzen dort Drüsenzellen **2**, die einen Kleber aus zahlreichen Proteinen und Kohlenhydraten absondern. Will der Seestern weiterwandern, stößt ein zweiter Typ von Drüsenzellen **3** ein Lösungsmittel aus – vermutlich in Form von Enzymen, die chemische Bindungen zwischen den Bestandteilen des Klebers wieder lösen.



Geht an die Nieren

Aus feinen Fragmenten zertrümmerter Nierensteine können sich neue Quälgeister bilden. Forscher des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik entwickeln eine Substanz, die die Splitter im Körper verklebt. So können sie restlos entfernt werden.

sollen, sich aber auf Kommando lösen lassen – immer und immer wieder, wie die gelben Klebezettel der Marke Post-it.

Neben vielen Vorteilen bringt der Klebeboom nämlich auch einen großen Nachteil mit sich. Man kriegt Geklebtes meist schwer wieder auseinander. Dadurch ist es schwieriger zu recyceln und noch schwieriger zu reparieren.

Früher konnte man einfach Schrauben lösen und wieder anziehen, um Bauteile auszutauschen. Bei modernen technischen Geräten geht das nicht mehr. Apples drahtlose Kopfhörer beispielsweise sind so stark geklebt, dass man defekte Teile kaum mehr wechseln kann. Ist der Kopfhörer kaputt, kann man ihn nur noch wegschmeißen.

Abhilfe schaffen könnten Klebstoffe, deren Wirkung sich ein- und ausschalten lässt. Dazu müssen in die Klebesubstanz chemische Sollbruchstellen eingebaut werden, die auf Wunsch aktiviert werden können, um die Verbindung wieder zu lösen.

Einer, der diese Technik seit Millionen von Jahren beherrscht, ist der Seestern. Einerseits ist er problemlos in der Lage, sich an einer Wand festzuhalten, zum Beispiel an der Scheibe eines Meerwasseraquariums. Andererseits kann er diese Verbindung schnell wieder lösen, um davonzukriechen. Auf welche Weise der Seestern festklebt, daran ▶



1 Die Ambulakralfüße des Seesterns haften dank eines reversiblen Bioklebers. 2 Geckofüße besitzen ultrafeine Härchen, die über schwache molekulare Anziehungskräfte an ihrem Untergrund haften. Sie kleben also ganz ohne Klebstoff. 3 Die Fäden der Miesmuschel halten

unter Wasser an verschiedensten Materialien. Forscher der TU Berlin wollen daraus medizinischen Kleber entwickeln, etwa für Knochenbrüche. 4 Spinnenseide haftet gut. Damit die Beute nicht entwischt, benetzen die Tiere sie oft zusätzlich mit einem zähen Klebesekret.

FOTOS: ALAMY (2), OKAPIA, GETTY IMAGES, SCIENCE PHOTO LIBRARY; INFOGRAFIK: BIRGIT LENGERER



Andreas Krypczyk vom Thüringischen Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung entwickelt Heißkleber auf Basis nachwachsender Rohstoffe. Die Basis ist ein Harz aus Polymilchsäure, die aus den Resten von Mais, Zuckerrohr und Kartoffeln gewonnen und mit weiteren Zutaten versetzt wird.

forscht zurzeit die Innsbrucker Biologin Birgit Lengerer. Sie vermutet, dass die Meerestiere sowohl für das Festkleben an der Aquariumwand als auch für das Lösen des Klebers körpereigene Eiweiße einsetzen. »Durch das Zusammenspiel einer Vielzahl von Proteinen kann der Seestern die Verbindung beliebig oft an- und wieder abschalten.«

Um herauszufinden, welche Proteine das Tier dabei genau einsetzt, betreiben sie und ihre Kollegen zurzeit aufwendige Versuche. Sie analysieren die Substanzen, die der Seestern an den Enden seiner zahllosen Füßchen ausscheidet (siehe Kasten Seite 24). Und sie versuchen, jene Enzyme im Labor nachzubauen, von denen sie vermuten, dass sie die Klebewirkung des Seesternsekrets wieder aufzuheben vermögen.

Gelänge ihnen das, könnte das nicht nur für die meeresbiologische Forschung ein Durchbruch sein. Auch die Industrie beobachtet die Arbeit der Zoologen aufmerksam. Von Menschenhand nachgebaute



Ulf Schönert musste bei der Recherche oft an Pippi Langstrumpf denken. Die klebt mit Konrads Spezialkleber, der »Kleistermasse der Meisterklasse«.

Seestern-Enzyme hätten durchaus das Zeug, auch menschliche Klebetechniken voranzubringen.

Denn auch ein zweites Problem, das der Klebeboom mit sich bringt, könnte er zu lösen helfen: die mangelnde Umweltverträglichkeit. Ebenso wie die chemisch mit ihnen verwandten Kunststoffe sind auch Kunstharzkleber extrem langlebig und nicht biologisch abbaubar. Einmal in der Umwelt, kann man sie kaum wieder loswerden. Außerdem werden Klebstoffe bislang hauptsächlich auf Erdölbasis hergestellt. Für eine nachfassile Zukunft, in der das Erdöl ausgeht, gibt es bislang keine gleichwertige Alternative.

Immer mehr Forscher versuchen deshalb, nachwachsende Rohstoffe als Klebstoffgrundlage zu entwickeln. Dabei experimentieren sie nicht nur mit Meerestieren, sondern beispielsweise auch mit Hefepilzen. Forscher der Technischen Hochschule Köln fütterten Stämme des Pilzes *Starmerella bombicola* mit Zucker und Pflanzenöl, um Sophorolipide zu gewinnen, Naturstoffe, mit denen sich erdölbasierte Polymere ersetzen lassen. Am Thüringischen Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung (TITK) setzen die Entwickler auf Reste von Mais, Zuckerrohr und Kartoffeln.

Dort, im TITK-Labor in Rudolstadt, probiert Entwicklungsingenieur Andreas Krypczyk jeden Tag neue Mischungen aus. Sein Spezialgebiet sind Schmelzklebstoffe, wie sie außer in Heißklebepistolen auch in der Industrie zum Einsatz kommen. Um die Kunstharze zu ersetzen, experimentiert Krypczyk mit Polymilchsäure, einem Grundstoff, der ähnliche Eigenschaften besitzt, dafür aber vollständig biologisch abbaubar und klimaneutral ist.

Im Labor funktioniere das schon sehr gut, sagt Krypczyk. »Alle Ausgangsstoffe sind am Markt vorhanden, die Verarbeitung ähnelt der von herkömmlichen Klebstoffen.« Auch in Sachen Haltbarkeit steht der Biokleber konventionellen Produkten kaum nach. Zwar gibt es die Thüringer Bioklebstoffe bislang noch nicht zu kaufen, doch Krypczyk ist zuversichtlich, dass das nur eine Frage der Zeit ist. »In Zukunft werden Klebstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen allgegenwärtig sein.«

Dazu bedarf es allerdings noch weiterer Vorarbeiten. Denn bisher haben die Biokleber gegenüber herkömmlichen Plastik-Klebstoffen vielerlei Nachteile. Sie sind beispielsweise nicht so elastisch, werden erst bei höheren Temperaturen flüssig und verbinden sich bislang nicht so gut mit Kunststoffoberflächen. »All das ist aber grundsätzlich lösbar«,

FOTOS: THOMAS VICTOR, PAUL KOZOWYK/LEIDEN UNIVERSITY



Der erste Kleber

ARCHÄOLOGIE Funde aus Italien deuten darauf hin, dass Neandertaler schon vor 200 000 Jahren Kleber benutzten – und zwar in Form von **Pech**, einem teerartigen Destillat aus Birkenrinde. Es lässt sich aus aufgerollten Rindenstreifen gewinnen, die über Stunden auf mehrere Hundert Grad Celsius erhitzt werden – je nach Methode mit unterschiedlicher Ausbeute, wie Versuche von Experimentalarchäologen zeigen. Vermutlich klebten die Steinzeitmenschen damit Stein und Holz zusammen, um Waffen und Werkzeuge zu schaffen. Später entwickelten Ägypter, Griechen und Römer Klebstoffe aus **natürlichen Eiweißen**, etwa aus Getreide, Eiklar oder den Knochen von Tieren.

ist Krypczyk überzeugt. »Dabei ist nichts, was sich nicht durch mehr Forschung, Erfahrung und optimierte Ausgangsmaterialien ausgleichen ließe.«

Das Bioklebstoffe herkömmlichen Produkten nicht unterlegen sein müssen, glaubt auch Meeresforscherin Birgit Lengerer – und verweist auf das Beispiel der Gemeinen Napfschnecke. In der Natur ist das muschelähnliche Tier, das unter anderem in der Nordsee lebt, die ungekrönte Königin des Klebens. Mittels Chemie kann sich die nur wenige Zentimeter große Schnecke derart stark an ihren Felsen heften, dass es Fressfeinden nahezu unmöglich ist, sie zu lösen.

Ihr körpereigener Kleber vereint alle Eigenschaften, die man sich von einem Traumklebstoff wünschen würde: Er ist stabil, elastisch, wasserfest, hält auf nahezu beliebigen Untergründen und könnte, da er ungiftig ist, sogar in der Medizin zum Einsatz kommen. Allem, was der Mensch an Klebern erfunden hat, ist das Produkt der Napfschnecke haushoch überlegen. »Die enorme Festigkeit des Klebers ist für die Tiere überlebensnotwendig«, sagt Lengerer. »Da stecken Millionen Jahre Evolution drin.«

Wenn Lengerer und ihre Forscherkollegen bei Exkursionen an der englischen Küste auf Napfschneckenjagd gehen, hebeln sie die Tiere mit einem Spatel vom Fels. Das klappt aber nur, wenn



Ich kleb dir eine

Was haben Ohrfeigen und Kleben gemein? Wohl die schwingvolle Bewegung, mit der man auch einen Aufkleber anbringen könnte. Und danach klebt ein Handabdruck auf der Wangen des Empfängers.

sie sich dabei sehr, sehr vorsichtig nähern. Sobald die Napfschnecke den Menschen bemerkt und erschrickt, klebt sie sich noch fester an den Fels – und ist danach nicht mehr unbeschadet abzulösen.

Bis vor Kurzem dachten die Experten, die Schnecken würden sich festsaugen und dank Unterdruck so fest am Stein haften. Erst die Forschung von Lengerer und ihren Kollegen brachte ans Licht, dass nicht das Saugen, sondern hauptsächlich die Klebewirkung des Schneckenschleims für den festen Halt verantwortlich ist.

Inzwischen haben Lengerer und ihr Team 171 Proteinsequenzen ermittelt, aus denen der tierische Superkleber zusammengesetzt ist. Sie haben die Substanz gewonnen, indem sie die Tiere dazu brachten, sich an Overheadfolien festzusaugen. Und sie haben die RNA der Napfschnecke analysiert, die molekulare Baupläne für die Klebe-Eiweiße enthält. Auf welche Weise genau die Proteine ihre Wirkung entfalten, ist allerdings noch nicht klar. Vielleicht sind es elektrostatische Kräfte, wie sie zum Beispiel Geckos nutzen, wenn sie an der Zimmerdecke herumlaufen. Denkbar ist aber auch, dass die Klebstoffe chemische Bindungen zu den Molekülen des Untergrundes aufbauen.

Früher oder später werde es gelingen, den Napfschneckenkleber nachzubauen, ist sich Lengerer sicher. In China optimieren Forscher bereits ein von Schnecken abgeschautes Klebverfahren für die Medizin. Der Klebstoff soll Wunden im menschlichen Körper schnell verschließen. Der Clou: Sobald er Licht ausgesetzt ist, härtet er in Sekunden aus. Zurzeit wird er im Tierversuch getestet.

»Die Industrie und die Biomedizin sind extrem an Muschelklebern interessiert. Da ist aber noch viel Forschung notwendig«, sagt Lengerer. »Dass so ein Kleber funktioniert, bedeutet ja noch nicht, dass er auch kosteneffizient ist. Bis ein Produkt dabei herauskommt, können noch Jahre vergehen.« Bis es soweit ist, bleibt die Natur dem Menschen in Sachen Haftkraft eine Klebefadenlänge voraus. ■

P.M. KOMPAKT

- In der **Industrie** wird Schweißen, Nieten oder Schrauben immer häufiger durch Kleben ersetzt.
- Der Vorteil: schnellere Fertigung, höhere Vielseitigkeit, Platzersparnis und oft sogar **höhere Stabilität**.
- Klebstoffe **aus der Natur** sind umweltfreundlich, dazu oft stark, vielseitig und wieder ablösbar. Forscher arbeiten daran, sie zu analysieren und zu imitieren.