

Alle Artikel stammen aus der Internetplattform: [www.scinexx.de](http://www.scinexx.de)

## Das Wissensmagazin



Der Gecko: Geheimnisträger in Sachen Haftkraft © MMCD

### Die Gecko-„Kopierer“

Den Haft- und Klebetricks der Natur auf der Spur

**Geckos kleben an senkrechten Wänden, Fliegen hängen kopfüber an der Decke - die Natur hat eine enorme Vielfalt biologischer Haft- und Klebekonstruktionen hervorgebracht, deren Raffinesse Erstaunen auslöst: Denn sie sind vor allem eins: Genial einfach und dabei effektiv bei maximaler Energie- und Materialausnutzung.**

Was liegt näher, als sich diese Konstruktionen zum Vorbild zu nehmen? Schließlich sind sie das Ergebnis des seit Jahrmillionen ablaufenden „Optimierungsprozesses“ der Evolution. Die Bionik, eine Wissenschaft an der Grenze zwischen Technik und Biologie, tut genau dies. Als Grenzgänger zwischen den Disziplinen forschen die Wissenschaftler dabei nach den Gesetzmäßigkeiten, die hinter den Konstruktionen der Natur stehen und versuchen, diese in die Technik und Materialforschung zu übertragen.

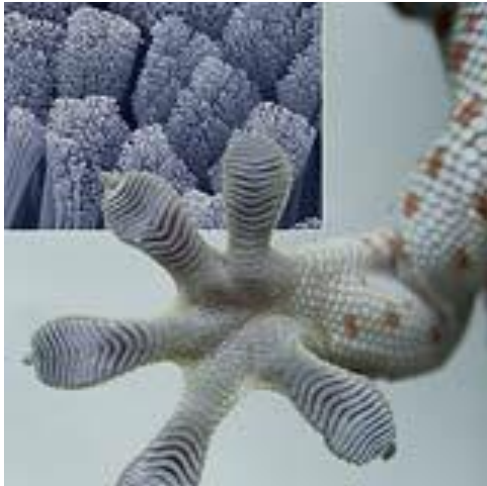
Genau daran arbeiten auch die Materialwissenschaftler und Biologen am Max-Planck-Institut für Metallforschung in Stuttgart. Sie wollen klären, wie sich mikromechanische Konzepte, Theorien und Methoden auf biologische Phänomene anwenden lassen. Die Forscher um Eduard Arzt haben sich dabei unter anderem auf die Haft- und Klebetricks der Natur spezialisiert. Ihre Studienobjekte sind vor allem Insekten, die über eine Vielzahl ganz unterschiedlicher Haftsysteme verfügen, aber auch Wirbeltiere wie der Gecko.

Die Forscher wollen wissen, wie die biologischen Haft-, Reibungs- und Verklammerungssysteme funktionieren, die, nur wenige Mikro- bis Nanometer groß, doch das gesamte Tier senkrecht an einer Wand

emporlaufen lassen oder kopfüber an der Decke halten. Ihre größte Herausforderung besteht dabei darin, den Untersuchungsgegenstand bei diesen Größenordnungen überhaupt experimentell fassbar zu machen.

### **Haftstrukturen: Je kleiner desto klebriger**

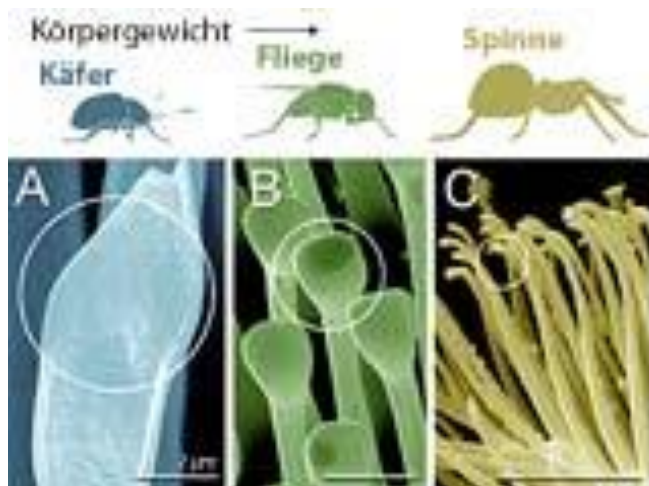
Der Gecko kann sich kopfüber an nahezu allen Oberflächen festhalten. Wie durch Zauberhand und scheinbar völlig mühelos sitzt er an einer senkrechten Wand. Der Schlüssel seiner Haftung liegt in seinen Füßen, genauer gesagt im feinhaarigen Haftsystem seiner Zehen:



Haft Härchen (Spatulae) des Geckofußes (kleines Bild) und Lamellen am Fuß © MPI für Metallforschung

An der Sohle eines Gecko-Fußes sitzen etwa eine Milliarde so genannter Spatulae – winzige, etwa 200 Nanometer breite und ebenso lange Haft Härchen. Diese sind für den direkten Kontakt des Geckos mit seiner Umgebung verantwortlich. Diese Nano-Haft Härchen sitzen an den so genannten Setae, die etwa 100 Mikrometer lang sind und mit einer Breite von sechs Mikrometern gerade einmal ein Zehntel des Durchmessers eines menschlichen Haares erreichen. Die reihenförmig angeordneten Setae bilden wiederum 400 bis 600 Mikrometer lange Lamellen, die bereits mit dem menschlichen Auge gut zu sehen sind.

Dieses sich über drei Ebenen immer feiner verästelnde Haftsystem erlaubt es dem Gecko, mit seinen Füßen auf nahezu allen Oberflächen zu haften und selbst kopfüber an der Zimmerdecke zu marschieren. Würde der Gecko alle Hafthaare zugleich an die Wand drücken, könnte er bis zum zehnfachen seines Körpergewichts tragen.



Haftstrukturgröße und Körpergewicht © MPI für Metallforschung

Die Maxime des Hafttricks der Natur scheint dabei zu lauten: Je kleiner, desto „klebriger“. Das jedenfalls haben die Max-Planck-Wissenschaftler schon im Jahr 2004 festgestellt, als sie die Haftstrukturen von Käfern, Fliegen, Spinnen und Geckos verglichen: Mit wachsendem Körpergewicht der „Haftkünstler“ nimmt die Feinheit und Dichte der Strukturen zu.

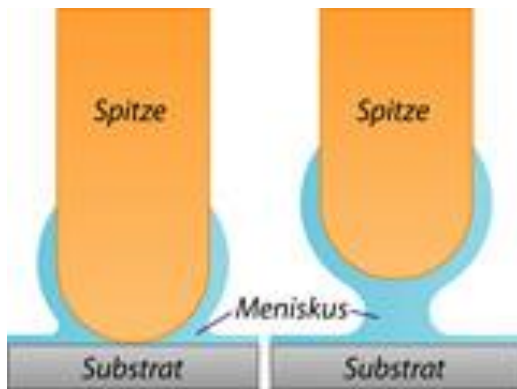
Streit um die Haftkraft

Welche Wechselwirkung hält den Gecko an der Wand?

Doch was lässt diese feinen Härchen so extrem gut haften? Um zwei Oberflächen – in diesem Fall den Geckofuß und eine Wand – in engem Kontakt aneinander zu binden, kommen theoretisch immerhin elf verschiedene Kräfte und Wechselwirkungen in Frage. Aber welche davon nutzt der Gecko? Als aussichtsreichste Kandidaten gelten einerseits die Kapillarkraft, andererseits die so genannten van-der-Waals-Kräfte.

### **Einfache Ladungsunterschiede...**

Van-der-Waals-Kräfte treten zwischen zwei Atomen oder Molekülen auf, deren elektrische Ladung asymmetrisch verteilt ist: an einem Ende des Moleküls überwiegt die negative Ladung, am anderen die positive. Die Anziehungskräfte zwischen den jeweils entgegengesetzten Ladungen zweier Moleküle sorgen für eine schwache Bindung zwischen ihnen. Diese Kraft wirkt jedoch nur auf sehr kurze Entfernungen, die Moleküle müssen sich dafür fast berühren. Unebenheiten oder Verunreinigungen schwächen diese Anziehungskraft, von Natur aus stark asymmetrische, polare Substanzen stärken die Ladungsdifferenzen und damit auch die Haftkraft.



Das Prinzip der Kapillarkräfte: Ein Wasserfilm sorgt für Anziehung  
© MMCD

### **...oder doch die Haltekraft des Wassers?**

Kapillarkräfte dagegen beruhen auf der Bildung eines dünnen Wasserfilms zwischen zwei Oberflächen. Sie lassen beispielsweise das Wasser in den dünnen Leitungsbahnen der Pflanzen oder einem Glasröhrchen in die Höhe steigen. Gleichzeitig bewirken sie aber auch eine Anziehung – Adhäsion – zwischen den beiden durch den Wasserfilm verbundenen Oberflächen. Voraussetzung für die Entstehung von Kapillarkräften ist jedoch das Vorhandensein von Wasser. Klar war jedoch, dass das „trockene“ Haftsystem des Geckos in jedem Fall ohne eigene Sekretausscheidung – wie man sie zum Beispiel von Fliegen kennt – funktioniert.

### **1:0 für van-der-Waals**

Eine Forschergruppe um Kellar Autumn am Lewis & Clark College in Portland, Oregon hält daher die van-der-Waals-Kräfte für entscheidend. Im Jahr 2002 führten die Wissenschaftler Experimente durch, bei denen sie die Haftung von ganzen Geckozehen, aber auch einzelnen Setae an verschiedenen Wasser abweisenden und Wasser anziehenden Oberflächen testeten. In weiteren Versuchen spannten sie künstlich hergestellte Geckohaare aus Polymeren in eine Messapparatur ein, um auch deren Haftverhalten zu ermitteln.

Das Ergebnis: Die „Klebkraft“ sowohl der ganzen Zehen als auch der einzelnen Setae war an Wasser abweisenden und Wasser anziehenden Oberflächen nahezu gleich. Wären aber Kapillarkräfte im Spiel, müsste die Haftung an den Wasser abweisenden Oberflächen deutlich geringer ausfallen. Für Autumn stand daher fest: „Nach diesen Versuchen können wir nun endlich die 30 Jahre alte Theorie der Wasseradhäsion widerlegen.“ Für die Bioniker folgte daraus, dass der Entwicklung von „trockenen“ künstlichen Haftstrukturen nichts mehr im Wege stand. Stehen van-der-Waals-Kräfte im Vordergrund, könnten solche Materialien unter Wasser sogar genauso gut „kleben“ wie an der Luft.

## **Hafthärchen im Nanotest**

Rasterkraftmessungen deuten auf Mitwirkung von Wasser hin  
Doch mit den Ergebnissen der Forschergruppe am Lewis & Clark College in Portland war das letzte Wort in dieser Sache nicht gesprochen: Denn Ende 2005 erschienen gleich zwei Veröffentlichungen, die Autumns van-der-Waals-Theorie eindeutig widerlegten.

Eine davon stammt von den Stuttgarter Max-Planck-Forschern um Eduard Arzt und ihren Kollegen der Universitäten des Saarlandes. Gemeinsam war es den Wissenschaftlern gelungen, das Haftverhalten nicht nur einzelner Setae, sondern sogar einzelner Spatulae, der nur 200 Nanometer kleinen Hafthärchen des Geckofußes, gezielt zu analysieren – ein technisches Meisterstück.



Gecko vor Aufnahme seiner Hafthaare © MPI für Metallforschung

## **Klebmessungen im Atommaßstab**

Mithilfe einer Nadelspitze trennten die Forscher dazu zunächst eine einzelne Seta ab und fixierten das isolierte Haar unter dem Binokularmikroskop mittels eines Klebstofftropfens an der Abtastnadel eines Rasterkraftmikroskops. Dieser Tropfen besaß in etwa die Größe der Spitze einer menschlichen Wimper und wurde samt Seta nun in einem „Focussed Ion Beam“-Mikroskop, einem modifizierten Elektronenmikroskop weiter bearbeitet, bei dem der Elektronenstrahl durch einen wesentlich stärkeren Gallium-Ionen-Strahl ersetzt ist.

Mit diesem Ionenstrahl können die Forscher – ähnlich einer Laserkanone, nur viel kleiner – gezielt einzelne Bereiche des Probematerials ausschneiden. In diesem Fall schnitten sie entlang der Seta an jeder Haarverzweigung einen Ast ab und reduzierten so die Anzahl der Spatulae von ursprünglich mehreren hundert auf weniger als fünf.

Arzt und seine Kollegen führten nun verschiedene Versuchsreihen durch: Zum einen testeten sie, wie stark die einzelnen Hafthärchen an Wasser anziehenden beziehungsweise Wasser abweisenden Oberflächen „klebten“, zum anderen, wie sich dieses Haftverhalten bei verschiedenen Luftfeuchtigkeiten und damit einhergehend dem Benetzungsgrad der

Oberfläche veränderte. Als Messinstrument diente das Rasterkraftmikroskop, an dessen Spitze die Hafthärchen befestigt waren und gezielt auf die einzelnen Oberflächen abgesenkt wurden.

### **1:1 unentschieden?**

Dabei zeigte sich Überraschendes: Im Gegensatz zu den Ergebnissen der amerikanischen Forscher hafteten die Härchen auf den Wasser anziehenden Oberflächen sehr viel besser als auf Wasser abweisenden. Gleichzeitig verstärkte sich die „Klebkraft“ mit steigender Luftfeuchtigkeit.

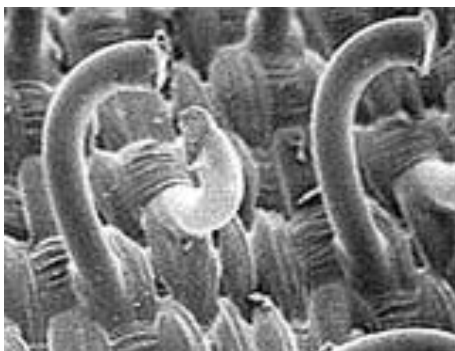
„Dieses auffallende Verhalten deutet darauf hin, dass die ultradünnen Wasserschichten zwischen Spatulae und Substrat einen eindeutigen Einfluss auf die Stärke der Haftkräfte ausüben“, so das Fazit von Arzt. Im Klartext hieß das: Nicht nur van-der-Waals-Kräfte, sondern auch Kapillarkräfte sind hier am Werk. Steht es also jetzt unentschieden im Disput um die Haftkräfte des Geckos?

### **„Geckohaftung“ statt Kleben und Schweißen - Lehren aus der Natur für die Technik**

Augenfällig ist zurzeit zumindest eines: Das „klebrige Geheimnis“ des Geckos beruht primär auf der extrem feinen Struktur seiner Hafthärchen an den Fußsohlen, lässt sich aber durch Feuchtigkeit noch weiter verbessern – eine Erkenntnis, die gerade bei der Entwicklung künstlicher Haftstrukturen wichtig ist.

### **Von der Natur zum Modell und weiter zur Anwendung**

Die Stuttgarter Forscher haben inzwischen aus ihren Erfahrungen mit Fliege, Gecko und Co. mathematische Modelle entwickelt, die die Hafteigenschaften von Materialien – egal ob biologisch oder künstlich – theoretisch beschreiben. Der große Vorteil: Mithilfe dieser Gesetzmäßigkeiten können sie nun technische Oberflächen mit ähnlich guten Hafteigenschaften entwickeln.



Klettverschluss

© Nanoworld

Und der Bedarf ist da: Denn Verbindungstechniken wie Schweißen oder Kleben sind zwar stabil, aber auch aufwändig und teuer. Einmal auf diese

Weise verbundene Bauteile lassen sich zudem nicht mehr ohne Materialverlust voneinander lösen – ungünstig, wenn Reparaturen durchgeführt werden müssen oder aber der Werkstoff recycelt werden soll. Eine Alternative wären Klettverschlüsse, diese müssen aber immer einen entsprechend angepassten „Haftpartner“ haben und verfilzen mit der Zeit.

Erste Patente erteilt

Und genau hier setzen Arzt und seine Kollegen an: Sie haben bereits ein Verfahren entwickelt und patentieren lassen, mit denen sie eine Art Verschluss nach dem Vorbild der Natur erzeugen können. Diese Haftsysteme erlauben Verbindungen von Werkstoffen so fest wie Schweißen oder Kleben, aber reversibel. Darüber hinaus verschmutzen die neuen Haftstrukturen im Gegensatz zu konventionellen Klebebändern nicht so leicht. Und im Vergleich zu herkömmlichen Klettverschlüssen benötigen sie kein speziell strukturiertes Gegenüber mehr.

Die Wissenschaftler können zudem die feinen Strukturen auf der Materialoberfläche, wie die Dicke der Säulen, die Abstände, die Elastizität und Form, gezielt modifizieren. Die Hafteigenschaften der Oberflächen lassen sich so exakt auf die jeweiligen technischen Anforderungen einstellen – beste Voraussetzungen für vielfältige Einsatzmöglichkeiten im Alltag.

Quelle: <http://www.scinexx.de/dossier-344-1.html> (15.02.2016)



# Spiderman-Haftkraft bald für alle?

## Neues Haftgerät auf Basis der Wasser-Adhäsion könnte Menschen an Wänden laufen lassen

Für Spiderman ist das Laufen an senkrechten Wänden kein Problem. Aber wie sieht es mit normalen Menschen aus? Glaubt man amerikanischen Forschern, könnte ein handgroßes Gerät bald auch uns zu solchen Fähigkeiten verhelfen. Wie sie in der Fachzeitschrift „Proceedings of the National Academy of Sciences“ (PNAS) berichten, nutzt es die Oberflächenspannung des Wassers, um Haftung zu erzielen.



Spiderman in Aktion

© gemeinfrei 

Den Anstoß für das Projekt gab ein in Florida heimischer Käfer, *Hemisphaerota cyanea*, der sich mit einer Kraft, die dem hundertfachen



seines Körpergewichts entspricht, an ein Blatt kleben kann. Gleichzeitig aber kann er diese Haftung jederzeit und in Bruchteilen von Sekunden wieder lösen. Sein Geheimnis: Er nutzt die Kraft, die die Oberflächenspannung bei Flüssigkeitstropfen bewirkt. Konkret haftet er mit Hilfe zehntausender winziger Borsten und einer von Drüsen freigesetzten Flüssigkeit, vermutlich einem Öl.

„In unserer Alltagserfahrung sind diese Kräfte relativ schwach“, erklärt Paul Steen, Professor für chemische und biomolekulare Technologien an der Cornell Universität. „Aber wenn man eine Menge davon macht und sie kontrollieren kann, wie es der Käfer tut, dann kann man starke Adhäsionskräfte erhalten.“

### **Mikrotropfen als Haftorgan**

Die Wissenschaftler um Steen und seinen Kollegen Michael Vogel entwickelten nun auf der Basis der Käferhaftung den Prototypen eines Geräts. Es besteht an der Oberseite aus einer flachen Platte, die von zahlreichen Löchern durchbrochen ist, jedes nur wenige Mikrometer groß. Auf der Unterseite befindet sich eine zweite Platte, die in ihrem Inneren ein Flüssigkeitsreservoir enthält. Zwischen beiden liegt eine poröse Schicht. Ein elektrisches Feld, gespeist von einer normalen neun Volt-Batterie pumpt nun Wasser durch das Gerät und drückt dadurch winzige Tropfen durch die Poren an der Oberseite.

Kommen diese Tropfen in Berührung mit einer anderen Oberfläche, beispielsweise einer senkrechten Wand, sorgt die Oberflächenspannung der Tropfen dafür, dass diese angezogen wird. Als Ergebnis haftet das Gerät an der Oberfläche. Steen vergleicht den Effekt mit der Haftung zweier nasser Glasscheiben aneinander. Um die Haftung abzuschalten, wird das elektrische Feld einfach umgekehrt und das Wasser durch die Poren zurückgezogen. Dadurch gehen auch die Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den Tropfen und der anhaftenden Oberfläche verloren.

### **2,5 Zentimeter großes Gerät trägt acht Kilogramm**

In ersten Versuchen, die die Forscher mit Prototypen von rund 1.000 Löchern der Größe von jeweils 300 Mikrometern durchführten, reichte die Haftung immerhin für eine Tragkraft von 30 Gramm – mehr als 70 Büroklammern. Als sie das Ganze verkleinerten und mehr Löcher auf engeren Raum packten, wurde die Haftung noch stärker. Ihrer Schätzung nach könnte ein Gerät der Größe von 2,5 Quadratzentimetern mit Millionen von einem Mikrometer kleinen Poren bereits knapp acht Kilogramm halten.

Die größte Herausforderung sei es gewesen, so erklärt Steen, die winzigen

Wassertröpfchen vor dem Zusammenfließen zu bewahren. Denn würde sich eine glatte Wasseroberfläche bilden, deren Adhäsionskraft zu schwach sei, um eine Haftung zu erreichen. Das Prinzip funktioniert nur deshalb, weil das Gerät das Bestreben der Tropfen nach Vereinigung quasi auf die anhaftende Oberfläche umlenkt.

### **Haftschuhe, Post-it-Aufhänger oder Türsprenger**

Steen arbeitet nun daran, den Pumpmechanismus so zu perfektionieren, dass noch größere Geräte machbar werden. Zudem könnte zukünftig die Tropfenschicht zusätzlich in einer Membran eingeschlossen werden, um die Nässebildung zu minimieren. Anwendungen sieht der Forscher viele: Ob Schuhe oder Handschuhe, die an Wänden haften oder Post-it-ähnliche Haftblättchen, mit denen Dinge aufgehängt werden können. Doch auch anderes ist denkbar: „Man kann sich vorstellen, ein Kreditkarten-großes Gerät zu entwickeln, das man in einen Felsriss oder eine Tür klemmt und diese dann mit sehr wenig Strom aufbrechen kann“, so Steen.  
(Cornell University, 03.02.2010 - NPO)

Quelle: <http://www.scinexx.de/wissen-aktuell-11176-2010-02-03.html>  
(15.02.2016)

# "Tesafilm" klebt Wunden

## Vom Gecko-Prinzip zum Klebeband für die Medizin

**Normalerweise werden Wunden mit Nadel und Faden genäht. In Zukunft könnte man sie vielleicht einfach mit einem speziellen, abbaubaren Band zukleben. Denn ein internationales Wissenschaftler-Team hat einen neuartigen „Tesafilm“ für die Medizin entwickelt, der von Geckos inspiriert wurde. Die Forscher berichten über ihre Ergebnisse in der aktuellen Ausgabe der Fachzeitschrift Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS).**



Gecko © U.S. Fish and Wildlife Service

Geckos sind Reptilien, die sich im Verlaufe der letzten 50 Millionen Jahre über den ganzen Globus verteilt haben. Das Besondere an ihnen ist, dass sie selbst glatte vertikale Wände erklettern oder kopfüber an einer Decke entlanggehen können. Das liegt an der speziellen Beschaffenheit ihrer Zehen, die über Milliarden feinsten speziell geformter Härchen verfügen. Eine Kombination von Reibung und Adhäsion hält die Echse auf einer Oberfläche fest, erlaubt es ihr gleichzeitig aber auch, sich schnell darauf fortzubewegen.

Dieses Gecko-Prinzip versuchen Forscher seit einiger Zeit mit künstlichen Oberflächen nachzuahmen. Ziel von Andreas Zumbuehl vom Biozentrum der Universität Basel in Zusammenarbeit mit Kollegen vom Massachusetts Institute of Technology war es, eine Art Klebeband zu machen, das nicht mittels eines Klebstoffs sondern mit dem Gecko-Prinzip zusammenhält. Statt Nadel und Faden zu gebrauchen, könnte der Chirurg bei einer Operation die Organe einfach wieder „zusammenkleben“.

### **Oberflächen mit kleinsten flachen Spitzen**

In Zusammenarbeit mit dem Massachusetts General Hospital, gelang es den Forschern eine solche Gecko-Oberfläche zu entwickeln, die auch im Kontakt mit Wasser kleben bleibt. Die Wissenschaftler fabrizierten mit Hilfe lithographischer Methoden Oberflächen mit kleinsten flachen Spitzen, die dann mit einem klebeverstärkenden Zuckerpolymer bedeckt wurden.

Zumbuehl und Karp konnten zeigen, dass die von ihnen entwickelte Oberfläche auch auf tierischem Gewebe haften bleibt. Damit ist der Schritt zum Einsatz beim Menschen nicht mehr weit, und die Chancen, dass das Klebeband, bald Einzug in den Operationssaal hält sind groß, da es zudem abbaubar und biokompatibel ist.

(idw - Universität Basel,, 22.02.2008 - DLO)

Quelle : <http://www.scinexx.de/wissen-aktuell-7848-2008-02-22.html>  
(15.02.2016)