

Wie Geckos an der Decke "kleben"

Spektrum der Wissenschaft (September 2000)

Ausgerechnet die schwächste bekannte Bindungsart - die Van-der-Waals-Wechselwirkung - dient den Kletterechsen zum Festhalten. Die Lösung des Rätsels: Die Beiträge von Milliarden feinsten Härchen an den Füßen addieren sich zu einer enormen Gesamtkraft.

Für manche Tiere ist die Erde im Prinzip flach. Mühelos erklimmen sie senkrechte Wände, laufen kopfüber an der Decke und können im Extremfall ihr ganzes Körpergewicht mit nur einer einzigen Zehe an der Unterlage halten. Die Familie der Geckos hat eine ganze Reihe solch talentierter Fassadenkletterer hervor- gebracht.

Das Geheimnis der bis zu vierzig Zentimeter langen Echsen liegt, wie der deutsche Name "Haftzeher" andeutet, in der besonderen Struktur ihrer Füße. Jeder Einzelne davon zeigt unter dem Mikroskop annähernd 500.000 Härchen aus Keratin. Diese so genannten Setae haben nur ein Zehntel der Dicke eines menschlichen Haars; dicht gepackt, drängen sich zum Beispiel beim Tokee (*Gekko gecko*) rund 5000 davon auf einem Quadratmillimeter.

An den Enden tragen die Setae Hunderte von noch feineren, spatelförmigen Strukturen, deren Dicke mit 200 bis 500 Nanometern im Bereich der Wellenlänge ultravioletter und blauer Lichts liegt: die sogenannten Spatulae. Sie sind es letztlich, die den Gecko an der Wand halten - und zwar so sicher, dass man, wie Messungen ergaben, schon eine Gewichtskraft von einem Kilopond (zehn Newton) pro Fuß aufwenden muss, um ihn mit Gewalt abzulösen. Welche Mechanismen dieser enormen Haftwirkung zu Grunde liegen, wurde jedoch erst jetzt klar, als Wissenschaftler die Biomechanik einzelner Setae im Detail untersuchten.

Dazu entwickelte ein interdisziplinäres Wissenschaftlerteam um die Biologen Kellar Autumn vom Lewis and Clark College in Portland (Oregon) und Robert J. Full von der Universität von Kalifornien in Berkley ein spezielles mikroelektro-mechanisches System (MEMS). Mit ihm lassen sich die Adhäsionskräfte eines einzelnen Härchens unter verschiedenen Bedingungen messen. Als Testoberfläche dient ein Aluminiumdraht, und die Haftkraft wird über den elektrischen Widerstand eines piezoelektrischen Kristalls ermittelt.

Die ersten Messungen brachten gleich eine Überraschung: Wenn die Forscher die Seta vorsichtig in Kontakt mit dem Aluminium brachten, blieb sie kaum haften, sondern ließ sich ohne nennenswerten Kraftaufwand einfach wieder abziehen. Offensichtlich bedienen sich die Geckos eines Tricks, den die Wissenschaftler zunächst übersehen hatten. Die Forscher schauten sich daher genauer an, wie die Echsen ihre Füße auf den Grund aufsetzen. Dabei entdeckten sie, dass sich die Fußsohle verbreitert, kurz nachdem sie die Oberfläche berührt hat - so als ob das Tier sie ein bisschen andrücken würde. Die Härchen an den Zehen werden also offenbar auf die Unterlage gepresst und ein wenig darauf entlanggeschoben.

Als Autumn und seine Kollegen dasselbe mit der isolierten Seta taten, war es tatsächlich erheblich schwerer, das Härchen wieder zu lösen. Die stärkste Haftung trat auf, wenn die Seta nach dem Andrücken fünf Mikrometer an der Oberfläche entlanggeglitten war; die Adhäsionskraft lag dann bei rund 200 Mikronewton - genug, um eine Ameise anzuheben. Hochgerechnet ergibt das bis zu 100 Newton, die nötig wären, einen ganzen Geckofuß von der Wand zu lösen. Das entspricht etwa der Gewichtskraft eines vollen Wassereimers - wahrscheinlich mehr, als ein Geckobein aushalten würde. Tatsächlich genügte im Experiment, wie erwähnt, schon ein Zehntel dieser Kraft zum Ablösen des

Fußes. Der Grund für die Diskrepanz dürfte sein, dass unter natürlichen Bedingungen keineswegs alle Härchen dicht genug an die Oberfläche gelangen, um die volle Haftwirkung zu erreichen.

Die Stärke der Bindung widerlegt eine alte Annahme, wonach sich Geckos mittels Reibung am Untergrund festhalten; gerade ein Sechshundertstel der gemessenen Kraft wäre so zu erklären. Auch für die Hypothese kleiner Saugnäpfe ist die Adhäsion zu fest. Außerdem haben andere Arbeitsgruppen bereits demonstriert, dass die Echsenfüße sogar im Vakuum funktionieren. Elektrostatische Anziehungskräfte als Mechanismus scheiden gleichfalls aus - wie Experimente ergeben hatten, bei denen die Luft mit Röntgenstrahlung ionisiert worden war. Und schließlich benutzen Geckos auch keine Klebstoffe; sie besitzen nicht einmal Drüsen an den Füßen, um derlei Substanzen zu produzieren.

Full und Autumn schließen aus ihren Messungen auf eine intermolekulare Wechselwirkung, die so schwach ist, dass andere Kräfte sie normalerweise an den Rand drängen: die Van-der-Waals-Bindung. Sie kommt dadurch zu Stande, dass die Elektronen in einem neutralen Molekül nicht an Ort und Stelle bleiben, sondern stetig umherflitzen. Dies verursacht kurzzeitige Schwankungen in ihrer Verteilung, sodass temporäre Dipolmomente entstehen, die in einem eng benachbarten Molekül entgegengesetzte Dipolmomente hervorrufen. Verändert sich die Elektronenverteilung wieder, verlaufen die Oszillationen in den beiden Molekülen gekoppelt miteinander. Das Resultat ist eine Anziehungskraft.

Während eine einzelne Van-der-Waals-Bindung nicht schwer zu brechen ist, bilden sich an den Setae vermutlich unzählige Kontakte aus, wenn ein Gecko seinen Fuß auf die Unterlage drückt. Zusammen schaffen sie eine Adhäsionskraft, die nach den theoretischen Berechnungen von Fulls Team dem experimentell ermittelten Wert für eine einzelne Seta entspricht

Bei einer derart großen Haftung drängt sich sofort die Frage auf, wie die Echsen es überhaupt schaffen, ihre Füße wieder von der Wand zu lösen - und zwar schnell, denn laufende Geckos machen um die 15 Schritte in der Sekunde. Wieder lieferte die detaillierte Beobachtung der Tiere die Antwort. Als ziehe man einen Klebefilm vom Untergrund schälen Geckos ihre Zehen von glatten Oberflächen. Dadurch muss immer nur ein kleiner Teil der Setae gelöst werden, und obendrein verändert sich der Winkel zwischen den Härchen und dem Grund. Erreicht er dabei 30 Grad, so bricht die Verbindung fast von selbst, stellten die Forscher in ihren Versuchen fest.

Angeregt von der Erfindungsgabe der Evolution, haben die Wissenschaftler inzwischen Experimente mit künstlichen Härchen als trockenem Klebstoff gestartet, der Materialien fest miteinander verbindet und bei Bedarf erlaubt, den Kontakt spurlos wieder zu lösen. Zwar liegen die winzigen Dimensionen der Setae noch außerhalb des technisch Machbaren, doch Anwendungen für einen solchen Wunderkleber gäbe es sicherlich genug - mal abgesehen von gelegentlichen Spaziergängen an der Zimmerdecke.