

Kleben ohne Klebstoff

In Laborgemeinschaft mit Geckos: Forscher aus Saarbrücken, Freiburg und Ludwigshafen auf der Suche nach klebstofffreien Haftsystemen

Wie ein Gecko die Wände hochlaufen, ohne Haken und Ösen zu nutzen, ist eine Vorstellung, die vor allem in Comic-Heften mit Leben gefüllt wird. Aber nicht in der Wissenschaft – oder doch? Wer offen ist für außergewöhnliche Herausforderungen, wagt sich auch an solche Themen, wie Forscher aus Saarbrücken, Freiburg und Ludwigshafen beweisen. Allerdings verfolgen die Wissenschaftler nicht das Ziel, die Wände hochzugehen; sie wollen klebstofffreie Haftsysteme für Hochtechnologie und Medizintechnik entwickeln.

Elmar Kroner ist von Kopf bis Fuß in einen blauen Kunststoff-Overall gehüllt. Langsam legt er eine runde, schillernde Siliziumscheibe unter ein Belichtungsgerät, das aussieht wie ein Mikroskop mit Anbauten. Er blickt durch die Okulare und bringt die Scheibe vorsichtig in die richtige Position. Der Reinraum, in dem er gerade arbeitet, ist in gelbes Licht getaucht; diese Beleuchtung verhindert, dass das Werk der vergangenen Stunden zerstört wird – denn den Silizium-Wafer hat Kroner vorher mit einem empfindlichen Fotolack beschichtet. Ein Knopfdruck, und das Belichtungsgerät brennt eine mikrometerfeine Struktur in diesen Lack: das Negativ eines Geckofußes. Der junge Forscher am INM Leibniz-Institut für Neue Materialien in Saarbrücken gehört zu einem von der Stiftung mit 800.000 Euro geförderten interdisziplinären Team, das sich die Herstellung klebstofffreier Haftsysteme zum Ziel gesetzt hat.

Vorbild für den klebstofffreien Kleber sind Geckofüße, denn Geckos verfügen über eine beeindruckende Haftkraft. Sie laufen problemlos kopfüber sogar auf der Unterseite einer Glasscheibe entlang und könnten dabei bis zu 100 Kilogramm Gewicht tragen – natürlich rein theoretisch, denn kein Forscher würde die Tiere mit solch einem Gewicht behängen. Diese enorme Haftkraft wollen Forscher des INM in Saarbrücken, des Fraunhofer-Institutes für Solare Energiesysteme in Freiburg und der BASF in Ludwigshafen für Menschen nutzbar machen. „Natürlich sind starke Klebeverbindungen an sich nichts Neues“, erklärt der Projektleiter Professor Dr. Eduard Arzt vom INM. „Das Besondere an den Haftmaterialien nach dem Geckovorbild aber ist, dass sie extrem stark haften, sich jedoch auch einfach wieder lösen lassen – und vor allem nach dem Ablösen keine Spuren zurückbleiben.“ Hat der Gecko die Glasscheibe wieder verlassen, ist es, als wäre er nie dort gewesen.

„Am Anfang unserer Arbeit ähnelte unser Institut mehr einem Zoo“, erinnert sich Arzt. Denn um das Prinzip dieser enormen natürlichen Adhäsionskraft



Dem Vorbild Natur technisch nacheifern:
Ein Forscherteam aus Saarbrücken, Freiburg und Ludwigshafen orientiert sich an der außergewöhnlichen Struktur und Haftkraft von Geckofüßen (Bild oben). Diplomingenieur Elmar Kroner (links) vom INM Leibniz-Institut für Neue Materialien in Saarbrücken hält die in eine Silikonscheibe gebrannte künstliche Version eines Geckofußes in der Hand. Ziel der Forschung sind klebstofffreie Haftsysteme für die Hochtechnologie und die Medizintechnik.



Die Haftkraft der FüÙe eines Geckos ist enorm (im Bild auf S. 79 ein von der Unterseite einer Glasscheibe aufgenommenes Tier). Milliarden feinsten Härchen binden einzeln schwach, in der Summe jedoch stark an die Oberfläche des Untergrundes. Das Forscherteam nutzt dieses Prinzip für seine künstlichen Haftsysteme. Hier prüft Elmar Kroner vom INM in Saarbrücken im Reinraum eine Siliziumscheibe zunächst auf Staubfreiheit (Bild oben) und trägt dann eine Schicht empfindlichen Fotolack auf (Bild unten). In einem weiteren Arbeitsschritt brennt ein Belichtungsgerät das Negativ einer mikrometerfeinen Haftfläche in den Lack, das später mit einem Silikonfilm übergossen wird: Fertig ist das Silikonpositiv eines Haftsystems.

zu verstehen, mussten die Wissenschaftler erst einmal die FüÙe der Geckos genau untersuchen. Betäubt und auf dem Rücken unter einem Mikroskop liegend, haben die Geckos ihr Geheimnis verraten: Aus Milliarden feinsten Härchen besteht die scheinbar glatte Unterseite ihrer FüÙe. Mit nur 200 Nanometer dünnen Keratinfasern, zweihundert Mal so dünn wie ein menschliches Haar, binden sie locker über sehr schwache Oberflächenkräfte – die sogenannten Van-der-Waals-Kräfte – an den Untergrund. Jede einzelne dieser Bindungen wäre kaum messbar, gemeinsam erreichen sie jedoch eine sehr starke und vor allem reversible Haftkraft. Aber nicht nur Größe und Anzahl der Härchen sind entscheidend, sondern auch der Winkel, mit dem sie auf die Oberfläche aufkommen, ihre Form und die Feuchtigkeit der Oberfläche. Sogar selbstreinigend sind die FüÙe. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Körperspannung des Geckos. So wie wir mit unseren zehn Fingern nur dann einen Ball fangen können, wenn wir die Finger anspannen, müssen auch Geckos ihre Haltevorrichtung aktiv steuern. „Wenn sie abgelenkt sind – etwa bei der Paarung – fallen sie auch schon mal von der Wand“, hat Arzt beobachtet.

Das „System Gecko“ ist optimiert für die Lebensbedingungen dieser Reptilien, und sogar innerhalb der Tierfamilie gibt es noch Unterschiede in den Strukturen an den FüÙen. Ziel der Wissenschaftler kann es also nicht sein, einfach die FüÙe der Geckos nachzubauen. Vielmehr gilt es, das Prinzip nachzuempfinden und für verschiedene Haftaufgaben passgenaue Haftsysteme zu entwickeln. Das können beispielsweise Systeme sein, die sich zwar abziehen, aber nicht abheben lassen – und umgekehrt. Oder solche, deren Haftfähigkeit sich steuern lässt: die zum Beispiel erst bei bestimmten Temperaturen haften. Eine konkrete Anwendung wären Reparaturpads für Trommelfellverletzungen, die sich leicht im Ohr positionieren lassen, die aber ihre Haft Härchen erst aufstellen und dann kleben, wenn sie Körpertemperatur erreicht haben.

Elmar Kroner hat inzwischen den Reinraum verlassen und den blauen Overall abgestreift. Er bewegt sich wieder in Normalgeschwindigkeit. In die Siliziumscheibe hat er das Muster eines Haftsystems geätzt. Bei diesem Exemplar sind die winzigen Hohlräume rechteckig, ragen in einem leichten Winkel in den Siliziumkristall und enden in einer Rundung. Es ist eine von vielen Geometrien, die der Wissenschaftler auf ihre Haft Eigenschaften testet. Die Geometrien sehen unter dem Mikroskop meist völlig anders aus als bei den lebenden Geckos, nur die hohe Dichte der Fasern haben die GeckofüÙe und ihre Nachbauten gemeinsam. Mit diesem Silizium-Negativ geht Kroner nun in sein chemisches Labor und übergießt die Platte mit einer Flüssigkeit, die zu einem farblosen, flexiblen Silikonfilm aushärtet. Diesen zieht er ab, und prompt hält er ein kleines, labberiges Stück Silikonfilm in der Hand.

„Dass sich auf solchen Silikonfilmen ein Geckomuster befindet, ist mit dem bloßen Auge nicht zu erkennen“, erklärt Arzt. Nur im Gegenlicht zeigt sich, dass die Oberfläche nicht glatt ist. „Die Seite mit der Geckostruktur schillert in unterschiedlichen Farben. Sie reflektiert das Licht nicht, die glatte Rückseite hingegen schon!“ Unter den unzähligen Geometrien, die die Wissenschaftler

am INM errechnet, geätzt und in Silikon gegossen haben, sind sehr vielversprechende Exemplare. Einige derart vielversprechend, dass die Saarbrücker bereits zahlreiche Industrieanfragen nach Machbarkeitsstudien abarbeiten.

Für Anwendungen, die über Klebetests im Labor hinausgehen, sind allerdings die Silikone, mit denen die Forscher am INM arbeiten, ungeeignet. Zu weich, zu elastisch, zu aufwändig in der Herstellung; sie kommen damit für eine industrielle Fertigung nicht infrage. „Für den praxistauglichen Einsatz müssen die Haftsysteme aus belastbareren Polymeren bestehen“, erläutert Projektpartner Dr. Dieter Urban, verantwortlich für Klebstoffe in der Polymerforschung bei der BASF. Dort arbeiten die Spezialisten für Polymere an Mischungen, die flexible und haltbare Materialien liefern – die sich aber gleichzeitig auch in die feinen, nur 200 Nanometer breiten Kanäle der Gussform einarbeiten lassen. „Unser Beitrag zum Projekt ist die Bereitstellung passender Polymersysteme“, umreißt Urban seine Rolle als Industriepartner. „Was uns an einem solchen interdisziplinären Forschungsprojekt inspiriert, ist die Idee, einen Haftklebstoff herzustellen, der sich nicht plastisch verformt und beim Lösen keine Spuren hinterlässt – weder als Klebstoffrest noch in Form von Schmerzen etwa beim Abziehen eines Pflasters.“ Die Härchen herstellen werden dann andere. „Wir suchen nach dem Material, das die richtige Kombination aus Steifigkeit und Elastizität hat“, fasst Urban zusammen.

Unterdessen drückt Elmar Kroner seinen neuesten Silikon-Haftstreifen auf eine Glaskugel und zieht ihn kurze Zeit später langsam wieder ab. Dabei messen Sensoren auf der Kugel die Kräfte, die er aufbringen muss. Die liegen – umgerechnet in Gewichtskräfte – zwischen einem Milligramm bis 100 Gramm. Über diese Werte kann er die Streifen charakterisieren und geeignete von weniger geeigneten unterscheiden. Dieser spezielle Silikonstreifen kann in Zukunft vielleicht einem Menschen helfen, steile Hänge zu erklimmen. In der Tat arbeiten die Forscher derzeit an Sohlen für Kletterschuhe. Im Gegensatz zu den ursprünglich geplanten Anwendungen wie Klebeflächen, mit denen High-End-Roboter winzige Mikrochips in Reinräumen transportieren, ist ein Kletterschuh ein Billigprodukt – ein nicht zu unterschätzender Faktor.

Mit dem Kostenargument kommt dann auch der dritte Partner in diesem Projekt ins Spiel. „Unsere Kooperation mit dem Fraunhofer ISE ist ein Beispiel dafür, wie Wissenschaft im Optimalfall funktionieren kann“, betont Arzt. Denn die Freiburger suchen nach Wegen, wie sich Negative für Geckofolien einfacher und damit vor allem kostengünstiger herstellen lassen als auf Silizium-Wafern. Um einen Gecko-Kletterschuh auf den Markt zu bringen oder ein Pflaster, das beim Abreißen nicht mehr zieht, müssen die Folien in großen Mengen und breiten Formaten gegossen werden. „Und besonders diese Herausforderung, vom Geckofuß unter dem Mikroskop zu einem massentauglichen Produkt zu gelangen, macht den Reiz unserer gemeinschaftlichen Arbeit aus“, resümiert Arzt. Für ihn und seine Kollegen ein wirklich außergewöhnliches Vorhaben.

Jo Schilling

Das Saarbrücker Team vor dem Eingang des INM Leibniz-Instituts für Neue Materialien (von links): Dipl.-Ing. Graciela Castellanos, Dr. Baptiste Girault, Joachim Blau, Dadhichi Paretkar, Dipl.-Ing. Andreas Schneider, Dr. Marleen Kampermann, Projektleiter Professor Dr. Eduard Arzt, Dipl.-Ing. Elmar Kroner. Die Forscher um Professor Arzt kooperieren eng mit Kollegen vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg und von der BASF in Ludwigshafen.

