

Haften ohne Klebstoff – der Geckofuß

Der Gecko (z.B. der Taggecko, *Phelsuma*) zählt zu den interessantesten und gleichzeitig spektakulärsten Untersuchungsobjekten der modernen bionischen Wissenschaften. Er ist nämlich zu etwas Erstaunlichem fähig, das ihr in der Lehrsammlung der Universität auch selbst bewundern könnt.

Aufgabe 1:

Suche den Gecko in der Biologischen Lehrsammlung und schau ihn dir genau an. Welche außergewöhnliche Fähigkeit zeigt der Taggecko? Beschreibe, worin sie besteht!

Geckos können ohne Probleme selbst an glatten senkrechten Oberflächen (wie z. B. Glas, glatten Bambusstängeln) haften. Dabei benötigen sie keinerlei „Klebesekrete“.

Es sei soviel verraten: Das Erstaunliche steckt in den Füßen des Geckos!

*Der Gecko kann dazu z. B. an eine Glasscheibe des Terrariums gesetzt werden. Betrachte dir nun die Füße des Geckos etwas genauer (benutze eine Lupe)! Versuche, einen der Füße etwas vergrößert abzuzeichnen! Welche Feinheiten kannst du unter der Lupe maximal erkennen? Beschreibe **genau!***

Vgl. z. B. Abbildung links in Aufgabe 2. Die Schüler sollen hier die Füße genau mit der Lupe betrachten, während der Gecko an der Glasscheibe haftet. Ggf. ist es auch förderlich, eine vergrößerte Zeichnung anfertigen zu lassen. Die Schüler können darauf zumindest sichtbar machen, dass sich am Fuß des Geckos auf der Unterseite lamellenartige Strukturen befinden.

Aufgabe 2:

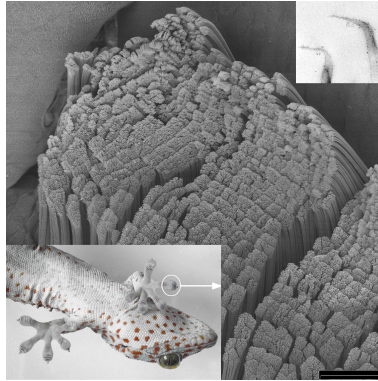


Abb. links: An einer Glasscheibe haften-der Taggecko.

Abb. rechts: verschiedene Vergrößerungen der Unterseite des Geckofußes. Das große Bild zeigt eine mittlere Vergrößerung, das Bild oben rechts zeigt die größtmögliche Vergrößerung.

Quelle: jeweils Prof. Dr. Stanislav N. Gorb, Funktionelle Morphologie und Biomechanik, Zoologisches Institut, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Welche feinen Strukturen sind bei jeweiliger Vergrößerung jeweils erkennbar? Beschreibe genau! Welchen Effekt erzielen die kleinsten der sichtbaren Strukturen auf den Oberflächen, auf denen der Gecko entlang läuft?

Zunächst kann man feststellen, dass die Fußunterseite des Geckofußes in kleine Falten (Lamellen) gelegt ist. Diese sind auch ohne Lupe oder Mikroskop gut sichtbar. Jede dieser Lamellen stellt eine Aneinanderreihung von Haarbüschelchen dar, die sich ihrerseits wieder in feinste Härchen, die so genannten *Setae*, verzweigen. Die feinsten aller Härchen enden in einer spatelförmigen Verbreiterung (*Spatulae*). Diese Härchen sind, nebenbei gemerkt, so fein, dass sie sich bis auf die molekulare Ebene verzweigen (nur noch mit Elektronenmikroskopen sichtbar zu machen).

Kannst du bereits vermuten, wie es der Gecko durch diese Strukturen schafft, **ohne „Klebstoff“** wie festgeklebt selbst an senkrechten Glasscheiben (und sogar über Kopf!) zu haften, ohne herunter zu fallen?

Hier werden die Schüler m. u. sehr viele Ideen äußern, die ggf. ds ein oder andere richtige Element enthalten. Sammeln Sie zunächst Schülerantworten bzw. lassen sie einige notieren und dann in der Gruppe vorstellen. Die nachfolgenden Erklärungen dienen vor allem Ihrem Verständnis der Haftkraft des Geckos. Sollten die Schüler der wirklichen Ursache der Haftung nicht nahe kommen, verzichten Sie am besten darauf, hier genauere Ausführungen zu machen. Verweisen Sie stattdessen auf die folgenden Experimente. Zunächst ist wichtig, dass die SchülerInnen die richtige Vermutung darüber anstellen, welchen Vorteil die Haarstruktur gegenüber einer einfachen ebenen Fußfläche hat (ideale Aussage: Schaffung vieler Haftreibungspunkte und dadurch bessere Haftung durch genaue Anpassung der Fußoberfläche an die Unterlage). Die Haftung erfolgt im Grunde über anziehende Van-der-Waals-Kräfte. Das sind zwischenmolekulare Kräfte, die zwischen den kleinen Teilchen von Stoffen wirken. (Anmerkung: Mit Hilfe der Stärke der Van-der-Waals-Kräfte kann u. a. das Zustandekommen verschiedener Aggregatzustände erklärt werden.) Die Van-der-Waals-Kräfte wirken zwischen den Oberflächenmolekülen der Unterlage und den kleinsten Hafthärchen (*Spatulae*) an den *Setae* der Geckofüße. Näheres siehe Aufgabe 4!

Aufgabe 3:

Fülle folgenden Lückentext mit Hilfe der unten stehenden Begriffe aus! Nutze dazu auch nochmals die Bilder aus Aufgabe 2!

Wie Du in den Bildern in Aufgabe 2 sehen konntest, ist die die **Hautoberfläche** der **Fußunterseite** eines Gecko-Fußes in lauter kleine „Falten“ gelegt. Diese **rippenartigen** Strukturen (Bild 1) dienen der **Oberflächenvergrößerung**. Hier befinden sich zahlreiche feinste **Haarbüschel** (Bild 3), bestehend aus lauter **Einzelhärchen**, den so genannten Setae (Bild 5). Diese verzweigen sich am oberen Ende nochmals in viele kleine **spatelartig** abgeflachte Strukturen (Bild 2), die so genannten Spatulae. Diese Strukturen sind so **winzig** und so **fein**, dass sie mit der Unterlage, auf der sich der Gecko bewegt, auf **molekularer** Ebene, also auf der Ebene der kleinen **Teilchen**, wechselwirken können. Diese Wechselwirkungen bezeichnet man als **Van-der-Waals-Wechselwirkungen**.

An jedem der 4 Füße eines Geckos sitzen im Schnitt **eine Milliarde** der sehr feinen Hafthärchen, die Spatulae genannt werden, weil sie an ihren Enden spatelförmig verbreitert sind. Diese Spatulae sind in etwa 200nm lang und ebenso breit. Mit bloßem Auge sind sie nicht sichtbar. Selbst die Setae, an deren Enden die Spatulae sitzen, sind nur etwa 100µm lang und lediglich 6µm breit.

Ein Vergleich: Ein menschlichen Haar ist im Schnitt 6/100 mm breit. Mit bloßem Auge ist es für uns noch gut sichtbar.

Die Setae sind also im Durchschnitt nur 1/10 so breit wie ein menschliches Haar. Das kann man ohne Vergrößerungsgläser oder Mikroskope schon nicht mehr sehen.

Stelle dir nun vor, dass die auf den Setae sitzenden Spatulae nur etwa 200nm dick sind, also etwa 1/30 so dick wie die Setae und nur 1/300 so dick wie ein menschliches Haar. Dann bekommst du eine Vorstellung davon, auf welcher Ebene die beschriebenen Haftkräfte wirken.

Nehmen wir einmal an, Dein Zeigefinger ist im Durchmesser ca. 1,5cm dick. Gehen wir davon aus, dass der Zeigefinger eine Seta ist, dann wäre eine Spatula etwa 0,5mm breit. Das entspricht etwa dem Durchmesser einer Stecknadel.

Aufgabe 4:

Um Deine Vermutungen aus Aufgabe 2 zu überprüfen, kannst du folgendes Experiment durchführen:

Nimm die Gipsplatte zur Hand und lege sie auf einen Tisch. Während einer von euch die folgenden zwei kleinen Versuche ausführt, müssen alle anderen seitlich auf die Gipsplatte schauen. Nur dann könnt ihr die Effekte deutlich sehen.

Die Handbürste, die ihr im Bionik-Koffer findet, sei euer „experimenteller Fuß“. Er hat zwei

mögliche Fußoberflächen: eine glatte, recht unbewegliche, und eine „haarige“ Oberfläche, vergleichbar mit der des Gecko-Fußes. Der „Experimentator“ drückt die Bürste nun nacheinander zunächst mit der völlig glatten und anschließend mit der „Haarigen“ Seite auf die Gipsplatte.

Schreibt auf, was ihr jeweils beobachten könnt!

Die haarige Seite schmiegt sich der unebenen Gipsoberfläche besser an als die glatte, starre Seite. Sie passt sich ihrer Gestalt nahezu vollständig an.

Durch mit Wasserfarbe angefärbte Bürstenflächen kann man dies genauer sichtbar machen: die auf der Gipsfläche abgebildete Farbfläche ist im Falle der haarigen Bürstenseite größer, weil hier eine größere „Fußfläche“ tatsächlich auch in die Mulden der Gipsplatte kommt. Die Anzahl der Berührungspunkte zwischen Fußfläche und Unterlage ist größer, was eine bessere Haftung bedingt (vergleichbares Prinzip: je größer die Berührungsfläche zwischen zwei Körpern, desto größer ist im Allgemeinen die Reibungskraft zwischen beiden Körpern).

Damit der Effekt noch deutlicher wird, könnt ihr folgendes ausprobieren:

Mischt auf der breiten Mischpalette großflächig einen dünnen Film Wasserfarbe an. Die Farbe findet ihr ebenfalls im Bionik-Koffer. Führt dann die eben beschriebenen zwei Versuche noch einmal (jetzt aber auf unterschiedlichen Bereichen der Gipsplatte) durch. Vorher bestreicht ihr die jeweilige Seite der Bürste („Fußfläche“) vorsichtig mit Farbe. Die gesamte Fußfläche sollte jeweils leicht (nicht tropfnass! sonst gelingt der Versuch nicht!) mit Farbe bedeckt sein.

Was könnt ihr beobachten? Notiert es hier!

(s. o.)

Überlegt gemeinsam, was die Farbspuren, die die beiden Fußflächen auf dem Gips hinterlassen, jeweils repräsentieren.

Nennt Beispiele für Oberflächen, die eurer Meinung nach durch die Gipsplatte repräsentiert werden!

Die Farbspuren repräsentieren die Gesamtheit der Berührungs- und damit der Haftpunkte zwischen Fußfläche und Unterlage. Anders, als man vermutet, repräsentiert die Gipsplatte nicht nur unebene Oberflächen wie Holz, unpoliertes Metall o. ä. Sondern auch polierte oder lackierte Flächen aus Glas, Metall oder Kunststoff weisen mikroskopisch sichtbare Unebenheiten auf (s. Abbildung unten links). Da der Geckofuß sehr feine Härchen hat, können die sich auch an sehr feine, mikroskopisch kleine Unebenheiten sehr genau anpassen. Dadurch erreicht der Gecko auch an für uns glatt erscheinenden Flächen eine extrem große Haftung.

Formuliert dann gemeinsam eine kurze Zusammenfassung, in der ihr erklärt, welches Prinzip der Gecko nutzt, um selbst an glatten Flächen zu haften! Die unten stehenden Abbildungen können euch dabei helfen.

Vorschlag: Durch die feinen Härchen an der Unterseite des Gecko-Fußes kann sich die Fußfläche eher und wesentlich besser den Unebenheiten der Unterlage anpassen. Durch die größere Anzahl an Haftpunkten zwischen Fußfläche und Unterlage wirken mehr zwischenmolekulare Kräfte zwischen beiden „Körpern“. Die Kräfte zwischen jeder einzelnen Spatula und den Molekülen der Unterlage summieren sich auf. In der Summe reichen sie aus, um den Gecko selbst an senkrechten Glasflächen zu halten, so dass er sogar über Kopf an ihnen hängen kann, ohne herunter zu fallen.

Aufgabe 5:

Aus dem Experiment aus Aufgabe 4 hast Du eine wichtige Schlussfolgerung ziehen können:

Die Haftkraft zwischen zwei Oberflächen (z. B. zwischen einer Glasfläche und dem Geckofuß) ist umso größer, je mehr Berührungspunkte zwischen beiden Flächen bestehen.

Diese Gesetzmäßigkeit kannst Du auch mittels folgendem kleinen Versuch demonstrieren:

Nimm die kleine Glasschüssel aus dem Koffer und spanne über die offene Seite ein größeres Stück Frischhaltefolie! Versuche nun, die Glasschüssel dadurch anzuheben, dass Du *vorsichtig* in die darüber gespannte Folie greifst. Gelingt es dir, ohne dass die Schüssel herunter fällt? Notiere was Du beobachtest!

Die Frischhaltefolie scheint am Glas zu „kleben“. Die Schüssel lässt sich so anheben, wenn man vorsichtig in die gespannte Folie hineingreift und sie langsam hochhebt.

Versuche das gleiche mit der im Koffer enthaltenen Plastikschüssel! Was kannst Du beobachten?

Hier funktioniert das Anheben nicht!

Vergleiche und erkläre Deine Beobachtungen aus den Versuchen a) und b)!

Folgende Vorstellung ist dabei hilfreich: man muss sich vor Augen führen, dass der Versuch nicht direkt den „Geckofuß“ imitiert, sondern vielmehr das Prinzip nachahmt, welches im Geckofuß verwirklicht ist. Die Glasfläche ist makroskopisch glatt, mikroskopisch hingegen rau. Die Plastikschüssel hingegen ist nicht nur mikroskopisch, sondern auch makroskopisch rau. Dadurch bestehen zwischen der Frischhaltefolie und der rauhen Plastikoberfläche nicht so viele Haftpunkte wie zwischen der glatteren Glasfläche und der Frischhaltefolie. Die Folie haftet demnach besser am Glas als am Kunststoff. Das Prinzip „Je mehr Berührungspunkte, desto größer die Haftung.“ Ist damit gezeigt.

Formal könnte man sagen: Der Gecko hat an seiner Fußunterseite Milliarden kleiner „Streifen von Frischhaltefolie“.



Mikroskopische Aufnahme einer (unbehandelten) Glasoberfläche.

Die feinen Härchen des Gecko-Fußes bestehen aus einem Eiweiß (einem Protein), das Keratin heißt. Sie bewirken, dass sich die Unterseite des Gecko-Fußes selbst kleinsten Unebenheiten, die auch in noch so glatt polierten Glasoberflächen vorkommen, anzupassen. Durch die dadurch sehr zahlreichen Haftpunkte kann der Gecko optimal an der Oberfläche haften, auch wenn sie uns spiegelglatt und rutschig erscheint.

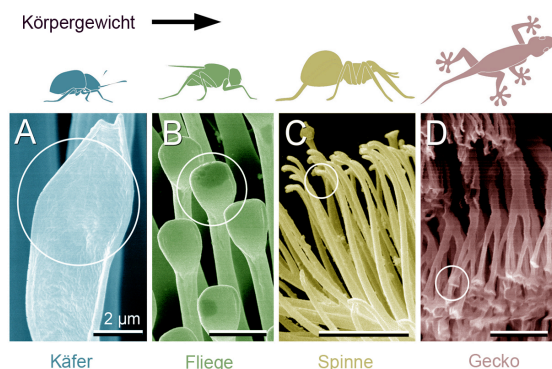
Die Haftwirkung des Gecko-Fußes ist so groß, dass das Tier sein gesamtes Körpergewicht an einer senkrechten Glaswand an nur einem Fuß „aufhängen“ kann.

Wissenschaftler sind dabei, Klebebänder mit dem Gecko-Fuß-Effekt herzustellen. Experimentell ist das in Ansätzen schon gelungen (s. Abbildung oben rechts). Diese Klebebänder sollen völlig rückstandsfrei ablösbar und immer wieder verwendbar sein.

Aufgabe 6:

Auch andere Tiere nutzen „Geckofuß-ähnliche“ Konstruktionen, um an Oberflächen haften zu können. Schau dir dazu folgende Abbildungen an.

Erkläre das abgebildete Schema mit Hilfe der Erkenntnisse, die Du bisher über die Funktionsweise des Geckofußes gewinnen konntest!



Quelle der Abb.: mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Stanislav N. Gorb, Funktionelle Morphologie und Biomechanik, Zoologisches Institut, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Je größer die Masse und damit die Gewichtskraft des Tieres ist, desto stärker müssen die Anziehungskräfte zwischen der Fußfläche und der Unterlage sein, damit das Tier auf der entsprechenden Oberfläche haften kann. Die Größe dieser Anziehungskräfte steigt mit der Feinheit der Strukturen auf der Fußunterseite der Tiere. Je feiner diese Strukturen sind, desto mehr Haftpunkte existieren zwischen Fußunterseite und Unterlage, und desto größer ist die Summe der anziehenden Kräfte zwischen beiden.

Außerdem gilt: Für ein Tier mit kleiner Körpermasse (wie z. B. einem Käfer) ist es nicht sinnvoll, ebenso feine Strukturen auszubilden wie etwa der Gecko, dessen Masse ungleich größer ist. Denn schließlich muss das Tier zum Loslösen der Füße von der Unterlage auch die entsprechende Kraft aufbringen können.

Aufgabe 7:

Amerikanische Wissenschaftler haben bereits ein Klebeband entwickelt, das ähnlich funktioniert wie der Geckofuß, und das eine extrem große Haftkraft hat. Es trägt eine Masse von 10kg pro Quadratzentimeter.

Wie groß müsste die Fläche sein, die man von einem solchen Klebeband bräuchte, um

- a) Deinen Schulranzen ($m = 3,5\text{kg}$)
- b) ein Auto ($m = 1\text{t}$)

senkrecht an einer Wand zu befestigen? Notiere Deinen Rechenweg jeweils genau!

Zu a):	Man benötigt $0,35\text{cm}^2$ des Klebebands.
Zu b):	Man benötigt 100cm^2 des Klebebands.

Genutzte Quellen:

Webseiten:

<http://de.wikipedia.org/wiki/Geckos>, Stand 27.05.2010, 18.40 Uhr

<http://www.scinexx.de/dossier-detail-344-4.html>, Stand 27.05.2010, 18.45 Uhr

<http://www.uni-saarland.de/fak7/jacobs/forshung/gecko.htm>, Stand 27.05.2010, 18.47 Uhr

Bild Aufgabe 5, Seite 6, links: Glasoberfläche unter dem Mikroskop:

<http://www.glastechnikrottler.de/veredel.shtml>, Stand 14.06.2010, 16.44 Uhr

Fachbücher:

Belzer, S.: Die genialsten Erfindungen der Natur. Bionik für Kinder. S. Fischer Verlag GmbH, Frankfurt am Main, 2010, S. 171 - 175

Ein Herzlicher Dank gilt Prof. Dr. Stanislav N. Gorb (Funktionelle Morphologie und Biomechanik, Zoologisches Institut, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel) für die freundliche Genehmigung zur öffentlichen Nutzung der entsprechend im Dokument gekennzeichneten Bilder. Diese Bilder sind urheberrechtlich geschützt und dürfen aus diesem Dokument nicht ohne die Genehmigung durch den Urheber zur Verwendung in dritten Dokumenten entnommen werden.