

Bionik

Ideenreich Natur

Impressum

Bionik – Ideenreich Natur

ISBN: 978-3-936395-94-6

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Telefon: 0821 9071-0
Fax: 0821 9071-5556
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Autor:

Dr. Korbinian Freier

Redaktion:

LfU, Referate 12, 13 und 16

Kartographie und Layout:

LfU, Referat 13

Titelbild:

eye of science

Bildnachweis:

Siehe Seite 112

Druck:

Druckerei Himmer
Steinerne Furt 95
86167 Augsburg

Stand:

Juli 2014

Auflage:

5.000 Stück

Der Inhalt dieses Buches wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung.

Unter Tel. 089 12 22 20 oder per E-Mail unter direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

Inhalt

Vorwort	5
Bionik – Expedition ins Ideenreich der Natur	7
Stark wie ein Baum – Stabilität im Pflanzen- und Tierreich	10
Molekulare Bionik	19
Wohnst du schon bionisch? Wärme, Licht und Lüftung in Gebäuden	30
Selbst ist das Material – Selbst-X-Materialien	41
Roboter nach dem Vorbild der Biologie	52
Fliegen ist schöner	58
Reibungsarmut von Wasser bis Wüste	64
Wasser in der Wüste	72
Ortung und Kommunikation	78
Schwarmintelligenz und Evolution	86
Artenvielfalt macht ideenreich	95



Stark wie ein Baum – Stabilität im Pflanzen- und Tierreich

In der Natur haben sich im Laufe der Evolution Wachstumsprozesse entwickelt, die zu hochstabilen Konstruktionen bei gleichzeitig geringem Materialeinsatz führen. Wer hat sich noch nicht gewundert, welche Lasten ein relativ dünner Ast tragen kann? Oder warum einem Elefanten in vollem Lauf nicht die Beine unter seinem Gewicht zusammenbrechen?

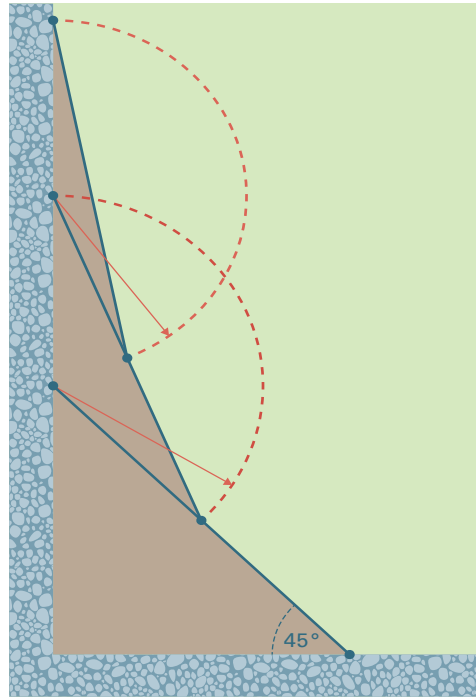
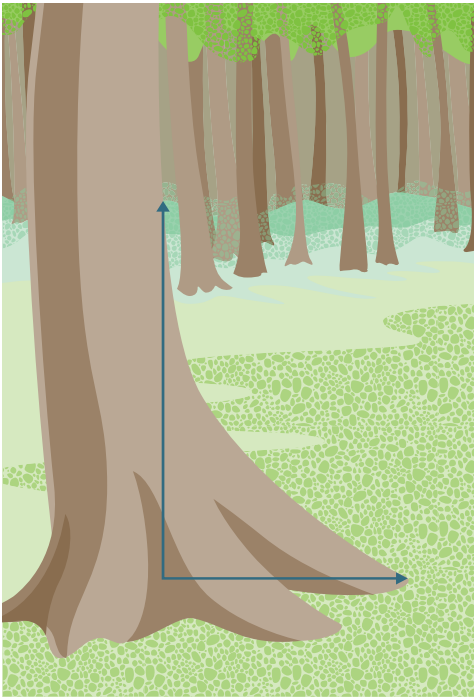


Zugdreiecke machen stabil

Bäume und Knochen reagieren als lebendiges Material auf Belastungen und wachsen immer nur dort, wo es nötig ist. Ein Baum „erkennt“ beispielsweise gefährliche Spannungsspitzen in seinem Holz. Bei großen Belastungen würde das Holz an diesen Stellen brechen. Daher lagert der Baum so lange Material an die kritischen Bereiche an, bis die auftretenden Spannungen entlang der Oberfläche gleichmäßig verteilt sind. Durch diese Art des Wachstums entstehen die typisch abgerundeten Formen von Wurzelansätzen und Astgabeln. In ihrer Struktur entsprechen diese Formen sogenannten **Zugdreiecken**,

die miteinander verbunden sind und zu ausgeglichenen Spannungsverhältnissen führen. Kommt es durch extreme Bedingungen wie Sturm oder Schneelast dennoch zu einem Bruch, so kann man in den Folgejahren beobachten, wie der Baum auf die veränderten Spannungsverhältnisse erneut reagiert.

Nun können technische Bauteile keine Belastungen „spüren“ wie Bäume. Computer können jedoch Belastungen berechnen, wenn man ihnen sagt, wie ein Bauteil aussieht und welchen Beanspruchungen es standhalten muss. Inspiriert von der Art des Wachstums bei Bäumen hat der Physiker



Verbundene Zugdreiecke, wie sie bei Wurzelansätzen von Bäumen auftreten, verhindern Spannungsspitzen. Die Form lässt sich mit der Methode von Claus Mattheck mit Zirkel und Lineal konstruieren.

Claus Mattheck ein bionisches Konstruktionsverfahren entwickelt, das bei technischen Bauteilen Belastungsspitzen vermindert und damit Brüche vermeidet. Bei diesem Verfahren berechnet ein Computer wiederholt die Spannungen an Oberflächen von Bauteilen. Wie bei einer Astgabel wird Schritt für Schritt immer dort Material angelagert, wo noch Belastungsspitzen bestehen. Dieses Verfahren wird als **Computer Aided Optimization (CAO)** bezeichnet, auf Deutsch „computer-gestützte Optimierung“.

Mit der Methode der CAO wurden beispielsweise orthopädische Schrauben der Firma Aesculap optimiert, die bei Operatio-

nen zur Stabilisierung der Wirbelsäule eingesetzt werden und möglichst lange halten sollen. Herkömmliche Schrauben sind mit sogenannten **Ingenieurskerben** konstruiert, bei denen die Kerben am Gewinde der Schraube mit Viertelkreisen ausgeformt werden. Bionisch optimierte Schrauben überbrücken die Kerben mit verbundenen Zugdreiecken. Der Unterschied zwischen einer herkömmlichen und einer bionisch optimierten Schraube fällt nur unter der Lupe auf, die optimierte Schraube hat aber im Vergleich zur herkömmlichen eine mehr als zehnmals längere Lebensdauer bei Belastungsversuchen. Das erspart vielen Menschen schmerzvolle Operationen.

Links: Aufgrund ihrer langen Lebensdauer sind bionisch optimierte orthopädische Schrauben vor allem für kritische Operationen an der Wirbelsäule interessant.

Rechts: Beim klassischen Schraubengewinde werden rechte Winkel mit einem Viertelkreis überbrückt. Dadurch entstehen allerdings Spannungsspitzen am oberen Ansatzpunkt. Die bionisch optimierte Kerbe vermeidet diese Spannungsspitzen.



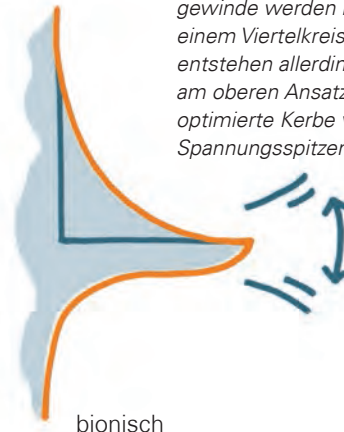
bionisch



klassisch



klassisch



bionisch



Haften: Geckos und Co.

Neben ihrer Seide besitzen Spinnen auch die spannende Eigenschaft, dass sie sehr gut klettern können. In ihrem Netz, aber auch an Wänden, trifft man Spinnen meist kopfüber an. Auch Insekten sind gute Kletterer, die scheinbar nur auf wenigen Oberflächen Probleme damit haben, vorwärts zu kommen. Besonders beeindruckend sind in diesem Zusammenhang Geckos, die noch um ein Vielfaches größer und schwerer sind als Spinnen und Insekten und trotzdem selbst an einer Glaswand kopfüber laufen können. Wie machen sie das? Um dies zu klären, muss man wie bei der Spinnenseide sehr genau hinsehen, bis auf die Ebene von millionstel Millimetern und sogar Molekülen.

Alle drei, Spinnen, Insekten und Geckos, nutzen eine ähnliche Technik, um auf dem Boden zu bleiben. Am besten untersucht ist diese Technik bei den Geckos, die mittlerweile auch schon Pate stehen für Produkte, die sich auf deren reversibel klebende Füße beziehen. So haben amerikanische Forscher und deutsche Wissenschaftler um den Physiker Eduard Arzt Geckos und Co. genauer unter das Elektronenmikroskop genommen. Dabei fanden sie heraus, dass sich der Gecko ohne Krallen und ohne Klebstoff an glat-

ten Unterlagen festhält. Stattdessen nutzt er weiche Polster an seinen Füßchen, die unzählige Lamellen tragen. Diese sogenannten **Setae** kann man noch mit bloßem Auge sehen. Mit Hilfe des Mikroskops stellten die Wissenschaftler fest, dass sich die lamellenartigen Verzweigungen bis auf die Ebene von Millionstel Millimetern fortsetzen. Die Lamellen sind wieder unterteilt in kleinere Lamellen und diese enden in feinen Härchen, die **Spatula** heißen. Strukturell gesehen ist das schon der ganze Kniff der Geckos: Sie haben ultrafeine Härchen, die ihnen ermöglichen an der Decke quasi zu kleben. Doch was geschieht dabei genau?

Um das zu verstehen, muss man sich in die Nanowelt vorwagen. In der Nanowelt (oder auch Nanotechnologie) geht es um Längenmaße, die nur wenig größer sind als einzelne Moleküle (etwa ein tausendstel von einem millionstel Millimeter). In dieser Welt herrschen zwar die selben Gesetze, wie in unserer „großen“ Welt, sie wirken sich aber anders aus. Wenn man zum Beispiel ein Buch auf eine Tischfläche legt, dann hat man den Eindruck, das Buch liegt mit seiner ganzen Fläche auf dem Tisch. Unter einem Elektronenmikroskop betrachtet entpuppt sich

Ein Gecko klebt ohne Klebstoff an glatten Oberflächen.



Geckos besitzen an ihren Füßen (links) Haftlamellen, die bis auf die Ebene von Millionstel Millimetern aufgefächert sind (rechts) und Anziehungskräfte zwischen den Molekülen von Gecko und Unterlage erzeugen.

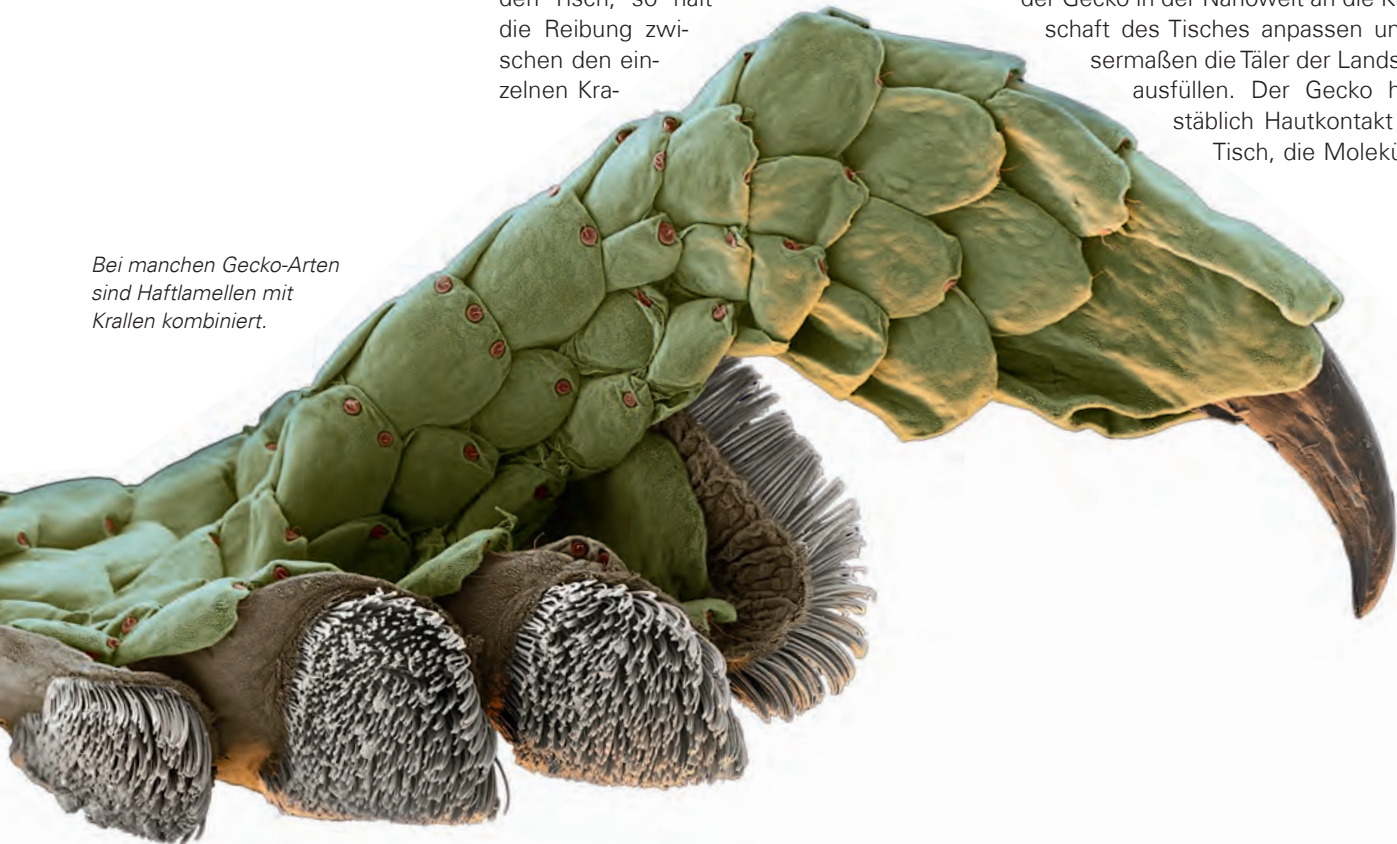


das als Täuschung, denn sowohl das Buch als auch der Tisch sehen in der Nanowelt aus wie eine Kraterlandschaft. Wenn das Buch auf dem Tisch liegt, berühren sich von diesen Kraterlandschaften nur ganz vereinzelte Spitzen. Was das Buch in der Horizontalen auf dem Tisch hält, ist die Schwerkraft. Sie zieht das Buch nach unten. Kippt man den Tisch, so hält die Reibung zwischen den einzelnen Kra-

terspitzen das Buch auf dem Tisch, bis es ab einem bestimmten Gefälle zu rutschen beginnt. Bei einem Gecko könnte man den Tisch dagegen einmal komplett herumdrehen und er würde nicht herunterfallen.

Beim Festhalten an der Tischfläche helfen dem Gecko die ultra-feinen Härchen an seinen Füßen. Mit diesen Härchen kann sich der Gecko in der Nanowelt an die Kraterlandschaft des Tisches anpassen und gewissermaßen die Täler der Landschaft mit ausfüllen. Der Gecko hat buchstäblich Hautkontakt mit dem Tisch, die Moleküle seiner

Bei manchen Gecko-Arten sind Haftlamellen mit Krallen kombiniert.





Wohnst du schon bionisch? Wärme, Licht und Lüftung in Gebäuden

Die Blüten der Strelitzien sind Vorbilder eines preisgekrönten Gebäudebeschattungssystems. Präriehunde und Termiten zeigen, wie man Gebäude energiesparend belüftet und klimatisieren kann. Die Übersetzung der pflanzlichen Fotosynthese in Technik soll Solarzellen der Zukunft in der Herstellung energiesparender machen. Die Isolationstechnik der Eisbären wurde zwar jahrelang falsch verstanden, die Überlegungen dazu haben allerdings zu einer von der Natur inspirierten Technik geführt.



Blütenschatten

Manchmal kann Bionik recht einfach sein: Man setzt sechs Nachwuchswissenschaftler aus Baden-Württemberg an einen Tisch und lässt sie überlegen, welche Bewegungsmechanismen es im Pflanzenreich gibt und was man daraus machen könnte. Etwa vier Jahre später hatte die Gruppe ein Beschattungssystem nach Vorbild einer Pflanze zur Einsatzreife gebracht. Von der Idee bis zum Prototypen dauerte es dabei nur wenige Monate. Viel länger mussten die Forscher arbeiten, um den Prototypen zur Marktreife zu

entwickeln. Das zeigt, dass in der Bionik die Schwierigkeit oftmals weniger in der grundlegenden Idee als in ihrer wirtschaftlichen Umsetzung besteht. Der Erfolg am Ende des Projekts wurde gekrönt mit einem spektakulären Auftritt auf der Weltausstellung EXPO in Süd-Korea und mit dem Internationalen Bionik Preis 2012. Womit lässt sich derartiges Aufsehen erregen?

Die Geschichte beginnt im Blumenladen, beziehungsweise im südlichen Afrika: Dort ist die hübsche Paradiesvogelblume

heimisch, die wissenschaftlich als Strelitzie (*Strelitzia reginae*) bezeichnet wird. Nur in freier Wildbahn kann man bei der Strelitzie beobachten, dass ihre Blüten von Nektar- und Webervögeln bestäubt werden. Im Laufe der Evolution haben sich Vögel und Pflanze auf eine gegenseitig nützliche Beziehung eingelassen. Freundlicherweise bietet die Strelitzie den Vögeln eine Art Sitzstange vor ihrem Blütenkelch, die die Vögel dankbar nutzen. Allerdings ist diese Sitzstange nicht ganz so uneigennützig, wie es auf den ersten Blick wirkt. Denn in der Sitzstange sind hinter einem pflanzlichen Bewegungsmechanismus Pollen versteckt: Setzt sich ein Vogel auf die Sitzstange, so biegt sich diese ein wenig durch und gibt über einen Klappmechanismus die Pollenkammer frei. Dabei bleibt an jedem Besuch etwas von den Pollen an den Füßchen der Vögel hängen. So wird jeder Vogel, der etwas von dem Nektar der Strelitzie kostet, zum Liebesboten für die Pflanze. Bei ihren Flügen von Blume zu Blume werden so die Strelitzien bestäubt.

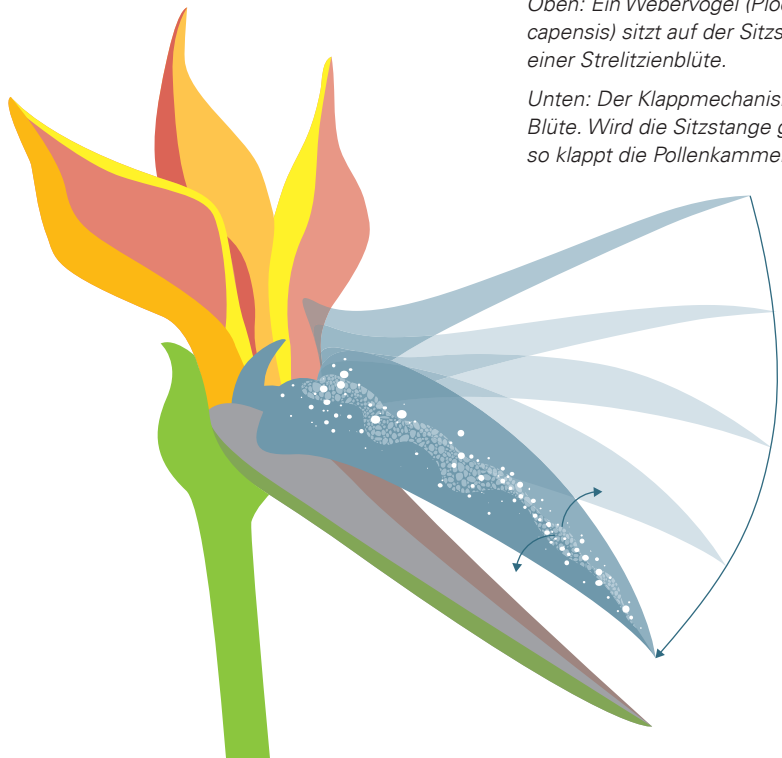
Unter den Nachwuchswissenschaftlern, die die Strelitzie untersuchten, war auch ein Architekt und so entstand die Idee, dass man mit Hilfe des Klappmechanismus' der Pflanze neue Gebäudebeschattungen entwickeln könnte. Denn der Mechanismus funktioniert erstens bei krummen Sitzstangen und zweitens kommen in der Sitzstange keine Gelenke oder Scharniere vor. Bisherige Gebäudebeschattungen, wie etwa Jalousien, haben jedoch genau damit Probleme: Erstens können damit nur gerade Flächen beschattet werden und zweitens sind die vielen einzelnen Gelenke und Scharniere der Jalousien störanfällig. Mit der Technik der Strelitzie ließen sich diese Probleme beseitigen.

Der Trick der Strelitzie besteht in einer geschickten Anordnung von Pflanzenfasern in der Sitzstange und dem angeschlossenen Blütenblatt. Die Fasern legen die Steifigkeit fest, sodass der Sitzstange keine andere Wahl bleibt, als sich bei Biegung durch seitliches Umklappen den auftretenden Kräften zu entziehen. In etwa kann man diesen Mechanismus auch mit einem Streifen Papier nachstellen. Dazu nimmt man das Papier unter Spannung senkrecht zwischen beide Hände, Daumen und Zeigefinger setzen an den jeweils unteren Ecken an. Versucht man, den Papierstreifen dann über die Kante nach unten zu biegen (was nicht sehr naheliegend



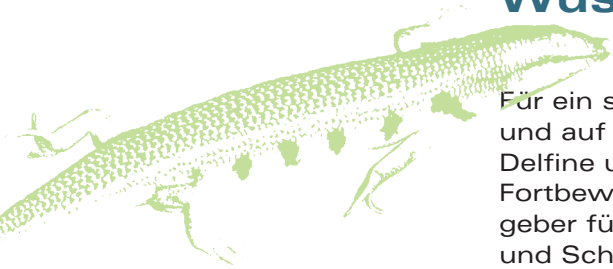
Oben: Ein Webervogel (*Ploceus capensis*) sitzt auf der Sitzstange einer Strelitzienblüte.

Unten: Der Klappmechanismus der Blüte. Wird die Sitzstange gebogen, so klappt die Pollenkammer auf.



ist, weil es offensichtlich nicht funktionieren kann), so reagiert das Papier auf die angreifenden Kräfte mit einer Klappbewegung der oberen, freien Hälfte. Genau dieser Mechanismus bewirkt, dass die Pollenkammer der Strelitzie aufklappt.

Reibungsarmut von Wasser bis Wüste



Für ein schnelles Vorankommen sind Tiere auf einen kräftigen Antrieb und auf eine geringe Reibung mit ihrer Umgebung angewiesen. Haie, Delfine und Pinguine sind die klassischen Vorbilder für reibungsarme Fortbewegung im Wasser und teils auch in der Luft. Moderne Ideengeber für Reibungsarmut sind Sandfische, die im Sand schwimmen und Schwimmfarne, nach deren Vorbild Luftpolster möglicherweise bald Schiffen zu geringerem Verbrauch verhelfen.



Vom Schwimmen im Sand

Der Sandfisch (*Scincus scincus*, auch Apotheker-Skink genannt) ist eine etwa 20 Zentimeter lange Eidechsenart, die in den Dünengebieten der Sahara vorkommt. Der Sandfisch bewegt sich auf und unter dem Sand. Letzteres dient vor allem zur Flucht vor Feinden. Im Sand gelingt ihm ein erstaunlich schnelles Vorankommen, was durch die schlängelnden Bewegungen an Schwimmen erinnert und seinen Namen erklärt.

Neben der Geschwindigkeit, mit der sich der Sandfisch im bremsenden Sand bewegt, ist die hohe Kratzfestigkeit seiner Haut be-

merkenswert. Denn im technischen Bereich dient der Prozess des Sandstrahlens dazu, Oberflächen stumpf zu machen. Während Wüstenstürme Steine mit Sand abschleifen, sind dagegen selbst tote Sandfische, die man in der Wüste findet, auch nach Monaten noch unzerkratzt.

Versuche von Ingo Rechenberg von der Technischen Universität Berlin haben ergeben, dass die Haut des Sandfisches in Hinblick auf Reibungsarmut und Kratzfestigkeit viele technische Materialien bei Weitem übertrifft. So konnte Rechenberg in Rutsch-

Widerstand kommt aufgrund zweier maßgeblicher Komponenten zustande: dem Reibungswiderstand auf der Oberfläche des Tieres (Fell, Schleim et cetera) und dem Formwiderstand des Tieres (eckig, rund, spindelförmig)

versuchen nachweisen, dass auf einer schiefen Ebene Sand von der Haut des Sandfisches deutlich leichter abrutscht, als von Nylon, Glas, poliertem Stahl und sogar Teflon. Weiterhin konnte er zeigen, dass eine dauerhafte Einwirkung von Sand bei den gleichen Materialien schneller zum Verkratzen führte als bei Sandfischhaut.

Unter dem Rasterelektronenmikroskop betrachtet, zeigen sich auf den Schuppen der Sandfischhaut sogenannte **Mikrograte**. Auf die Dicke eines menschlichen Haares würden etwa 20 dieser Mikrograte passen. Zusätzlich enden die Mikrograte auf den Hautschuppen in sägezahnartigen Spitzen, deren Abstände nochmal um das etwa zehnfache kleiner sind. Aufgrund dieser Beobachtungen war man davon ausgegangen, dass die Eigenschaften der Sandfischhaut von der Mikrostruktur der Schuppen abhängen. Dann allerdings stellte sich heraus, dass auch verwandte Arten des Sandfisches über diese Schuppenstruktur verfügen. Außerdem tritt die Struktur nur am Rücken des Sandfisches auf, obwohl am Bauch der Wüsten-Eidechse die Beanspruchung durch den Sand am höchsten ist.

Aufwendige Untersuchungen einer Forschungsgruppe um Werner Baumgartner an der Technischen Hochschule Aachen (RWTH) zeigten schließlich, dass die chemische Zusammensetzung für die Reibungsarmut und Kratzfestigkeit der Schuppen verantwortlich ist.

Die Schuppen der Sandfischhaut bestehen wie bei anderen Reptilien hauptsächlich aus Keratin, einem Protein, das dem Material unserer Haare ähnlich ist. Zusätzlich sind darin aber in kleinsten Mengen Substanzen eingelagert, die mit Zucker und Stärke verwandt sind (Glycoside). Den Forschern ist es gelungen, das Keratin und die darin enthaltenen Substanzen aufzulösen und danach wieder zu gießen und auszuhärten. Der Unterschied nach dem Prozess bestand lediglich darin, dass das Material keine Mikrostruktur mehr besaß. In Experimenten konnten die Forscher dann zeigen, dass das Material der Sandfischhaut auch ohne Mikrostruktur reibungsarm ist.

Vermutungen der Forscher zufolge führen die eingelagerten Substanzen in der Sandfischhaut zu einem umgekehrten Effekt wie beim Gecko. Die Substanzen verhindern die Ausbildung von elektrischen Wechselwirkungen

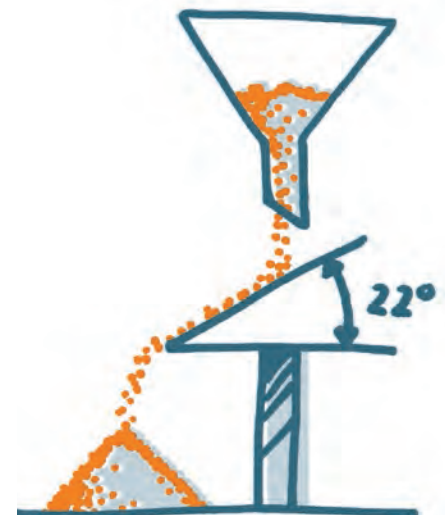


Der Sandfisch ist eine Eidechse, die in den Wüsten der Sahara und Arabiens vorkommt.

gen zwischen Molekülen des Sandes und der Haut des Sandfisches (Van-der-Waals-Kräfte). Die Substanzen wirken also wie ein Anti-Haftmittel und verringern dadurch die Reibung. Als die Forscher versuchten, ein Gecko-Tape an der Haut eines Sandfisches anzukleben, bestätigte sich ihre Theorie: Das Tape hielt nicht.

Die Kratzfestigkeit der Sandfischhaut steht mit der Reibungsarmut in direkter Verbindung. Ölt man eine Feile, so verliert die Feile einen Großteil ihrer Fähigkeit, Material abzukratzen. Bei der Haut des Sandfisches stellen die Substanzen im Keratin gewissermaßen das Öl zwischen Haut und Sand dar. Die Moleküle der Haut werden daran gehindert, mit den Molekülen des Sands in Wechselwirkung zu treten. Der Sand kann daher kaum an der Haut des Sandfisches kratzen. Zudem ist das Keratin der Sandfischhaut gleichzeitig hart und elastisch, was bedeutet, dass die Haut bei großem Druck durch Sandkörner nicht bröseln, sondern elastisch nachgibt und Belastungen abfedert.

Wozu die Schuppenstruktur beim Sandfisch dient ist bisher nicht verstanden. Es könnte aber sein, dass die Mikrograte und Spitzen wie kleine Blitzableiter dabei helfen, elektrische Spannungen zu entladen. Denn durch die ständige Reibung am Sand lädt sich der Sandfisch elektrisch auf, wie bei einem Luftballon, den man an den Haaren reibt. Damit diese elektrische Spannung nicht zu höherer Reibung zwischen Sandfisch und Sand



Rutschversuche von Sand auf einer schiefen Ebene mit Sandfischhaut haben ergeben, dass ein geringes Gefälle genügt, um Sand von der Haut abrutschen zu lassen.

Schwarmintelligenz und Evolution

Bionik kann auch für Problemlösungen bei Organisationsstrukturen und Unternehmensabläufen eingesetzt werden. Das Verfahren der Ameisen, kurze Wege zu ihren Nahrungsquellen zu finden, hilft bei der Verkürzung von Flugrouten und Fahrtzeiten bei Logistikunternehmen. Die Arbeitsteilung von staatenbildenden Insekten ist Vorbild für neuartige Unternehmensstrukturen. Die Methoden der natürlichen Evolution lassen sich auch bei der Konstruktion von technischen Bauteilen anwenden.



Ameisen sind nicht als Einzeltiere, aber als Gruppe wahre Organisations-Genies.

Ameisen haben kurze Wege

Eine Ameise in der Küche ist noch kein Problem. Aber spätestens beim Entdecken einer zweiten Ameise ist Alarm angesagt: Denn es ist typisch für diese Insekten, dass sie zu Futterquellen Straßen anlegen, wenn nicht sogar regelrechte Autobahnen. Während man als Reaktion auf die zweite Ameise also den verstreuten Zucker aufkehrt, kann man sich die Frage stellen, wie Ameisen diese Leistung vollbringen: Wie können Tiere, die nicht miteinander reden und die ein Gehirn haben, das weit kleiner ist als ein Stecknadelkopf, so wirkungsvoll Futter sammeln?

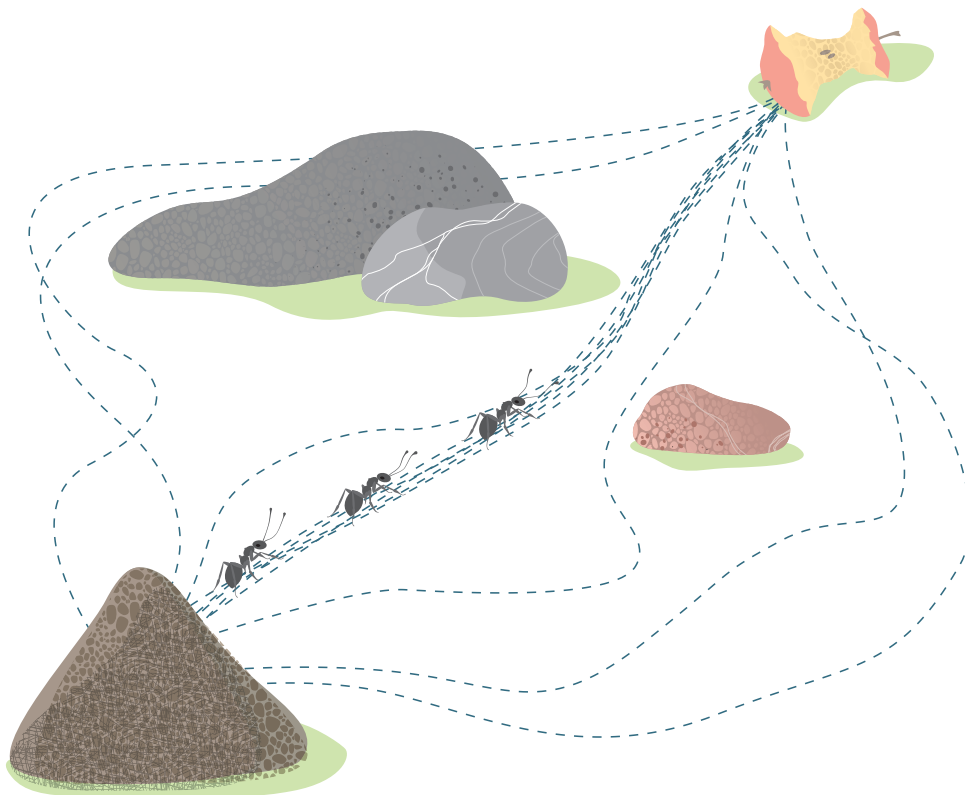
Die Frage der Ameisenstraßen fasziniert Biologen schon lange. Doch erst mit den sensiblen Messinstrumenten, die heute zur Verfügung stehen, konnten sie dem Rätsel auf den Grund gehen. Man fand heraus, dass geringste Mengen chemischer Botenstoffe den Ameisen bei ihrer Futtersuche helfen. Diese Botenstoffe, auch **Pheromone** genannt, wirken wie eine Parfümspur, die eine wandernde Ameise hinter sich herzieht. Findet eine Ameise eine Futterquelle, so läuft sie an ihrer Spur entlang zurück zum Ameisenbau und hinterlässt weitere Pheromone. Der Duft der Spur wird intensiver.

Andere Ameisen, die vom Bau starten, bemerken die markierte Spur und folgen ihr bis zur Futterquelle und wieder zurück. Da jede weitere Ameise auf ihrem Weg ebenfalls Pheromone hinterlässt, wird die Spur schnell sehr attraktiv. Das heißt, je mehr Ameisen auf einer Spur laufen, desto anziehender wird die Spur für weitere Ameisen. Durch diesen Effekt wird in dem obigen Beispiel aus der einen Erkundungsameise in der Küche schnell eine ganze Ameisen-Transportgesellschaft.

Die Natur ist in der Regel eine Meisterin in Sachen Effizienz, weil sie Probleme mit sehr geringem Energie- und Materialaufwand löst. Forscher vermuteten daher, dass die Ameisen ihren Weg nicht einfach zufällig festlegen, sondern besonders kurze Wege einschlagen. Weitere Untersuchungen an Ameisenstraßen haben dann tatsächlich gezeigt, dass Ameisen in Rekordzeit den kürzesten Weg zu ihrer Futterquelle einschlagen. Ameisen optimieren also ihr Straßennetz so, dass sie möglichst kurze Wege laufen und möglichst wenig Energie verbrauchen. Das Verblüffende dabei ist, dass ihnen diese Optimierung ohne eine zentrale Steuerung gelingt.

Als die kurzen Wege der Ameisen entdeckt wurden, haben sie bei Mathematikern sofort für Aufregung gesorgt: Denn über Jahrhunderte war in der Mathematik das knifflige Problem des Handlungsreisenden bearbeitet worden. Dieses Problem beschreibt die Frage, wie ein Handlungsreisender möglichst viele Stationen auf einem möglichst kurzen Weg besuchen kann. Derartige Fragen stellen sich zum Beispiel für Postflugzeuge: Wie gelingt es, die Post der einzelnen Stationen möglichst schnell an alle anderen Stationen zu bringen? Je mehr Stationen erreicht werden sollen, umso schwieriger wird die Lösung mit klassischen mathematischen Methoden. Selbst Supercomputer stoßen dabei an ihre Grenzen.

Mathematiker und Computerspezialisten haben sich also die Frage gestellt, ob man das Problem des Handlungsreisenden auch mit Hilfe der Methode der Ameisen bewältigen kann. Statt klassischer Mathematik verwendeten sie in sogenannten **agentenbasierten Computerprogrammen** virtuelle Ameisen. Vergleichbar mit einem Computerspiel liefen dabei Ameisen auf einem programmierten Spielfeld umher. Diesen Computerameisen wurden Regeln gegeben,



Ameisen finden über die Intensität von Duftspuren schnell den kürzesten Weg zu ihrem Futter.



Tropische Regenwälder gehören zu den artenreichsten Lebensräumen auf der Erde. Es wird geschätzt, dass sich allein an die etwa 50.000 tropischen Baumarten bis zu 5 Millionen unterschiedliche Käferarten angepasst haben.

Ausgelöst wird dieses Massensterben durch den Menschen. Die Ursachen dafür sind vielfältig, fußen aber auf drei Grundproblemen: erstens die Gewinnung von Rohstoffen einschließlich der Gewinnung von Nahrungsmitteln, zweitens der Einsatz unserer technischen Entwicklungen und drittens die Entsorgung von Zivilisationsprodukten aller Art. Alle drei Grundprobleme verstärken sich durch die hohe Anzahl von Menschen, die auf unserer Erde leben. Das führt in der Summe zu einem riesigen Problem für unsere Umwelt, die Lebensräume, die darin vorkommenden Arten – und für uns selbst.

Rohstoffgewinnung als die erste der drei Hauptursachen bezieht sich nicht nur auf große Bergwerke, für die ganze Landschaften weichen müssen, oder Ölförderanlagen, für die artenreiche Wälder im Amazonasgebiet mit Straßen durchschnitten werden. Rohstoffgewinnung betrifft auch die Art und Weise, wie wir durch Landnutzung unsere täglichen Nahrungsmittel und neuerdings die sogenannten nachwachsenden Rohstoffe erzeugen.

Intensivierung und Änderung der Landnutzung sind nach Einschätzung von Experten die größten Ursachen des Artensterbens. Beispiele hierfür sind die Überfischung der Weltmeere oder die Umwandlung von ehemals naturbelassenen Wäldern in Energieplantagen. Tier- und Pflanzenarten verlieren so ihre Nahrungsgrundlagen oder ihre angestammten Lebensräume und stehen vor ihrer Ausrottung. Die Problematik dabei wird deutlich, wenn man die Verbindung einer Art zu ihrer ökologischen Nische betrachtet: Da sich eine Art über Jahrtausende an diese Nische angepasst hat, kann sie nicht ohne Weiteres außerhalb der Nische überleben. Wenn dem an die Kronen des Regenwaldes angepassten Orang-Utan der Lebensraum entzogen wird, indem man den Wald rodet um dort Ölpalmen für europäischen Biodiesel anzubauen, dann entspricht das dem Totalverlust seiner ökologischen Nische. Ein derartiger Verlust kann mit einem Albtraum eines Taxifahrers verglichen werden: Dem Taxifahrer werden plötzlich Stadt, Menschen und sein



Mit großflächigen Brandrodungen werden Naturwälder in Plantagen oder Weidflächen umgewandelt. Ausgangspunkt für derartige Rodungen in tropischen Regenwäldern sind meist Straßen, die zum Transport von Rohstoffen gebaut wurden.

Für Plantagen von Ölpalmen werden in Indonesien große Teile des Regenwaldes abgeholzt. Das Palmöl wird in westlichen Ländern als Ausgangsstoff für Lebensmittel, Kosmetik und Biosprit verwendet.



ISBN: 978-3-936395-94-6