

# KÖRPERWELTEN

der Tiere



*Lernen von der Natur*

# Bionik

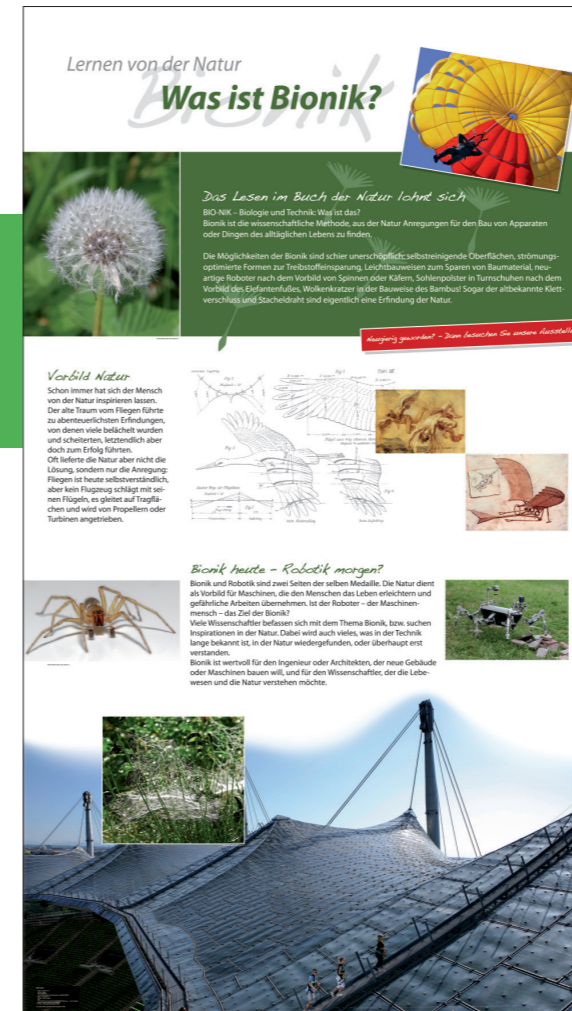
Begleitband für Schulklassen



Für inhaltliche Unterstützung und Leihgabe von Exponaten bedanken wir uns bei:

Action Sports Sportartikel GmbH  
Adam Opel AG, International Technical Development Centre (ITDC)  
Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung  
Architekturbüro Dieter Oligmüller  
ASICS Deutschland GmbH  
Bionik Sigma  
Dr. Senckenbergische Anatomie Frankfurt  
EMPA – Center for Synergetic Structures  
ERLUS AG

Fraunhofer Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM)  
Hochschule Karlsruhe, Fachbereich Bionik  
Karlsruhe Institut of Technology (KIT), Institut für Angewandte Informatik (IAI)  
Otto-Lilienthal-Museum in Anklam  
SENCKENBERG Forschungsinstitut und Naturmuseum  
STELZNER Illustration & Grafikdesign  
Technische Universität Berlin, Fachbereich Bionik und Evolutionstechnik  
VossChemie GmbH  
Wolter Design GmbH



Fliegen, frei wie ein Vogel, Schwimmen, schnell wie ein Fisch, Oberflächen, die sich selbst reinigen, Spinnennetze, Bambus und Bäume als Vorbild für moderne Gebäude – das alles sind Beispiele für Bionik. **BIO**logie und **TECH**NIK sind in der Bionik nicht nur im Wort miteinander eng verwoben: Die Natur liefert die Vorbilder, Ingenieure und Wissenschaftler bauen hiernach Apparate, Maschinen, Bauwerke und Roboter, sie entwickeln neue Oberflächen und Materialien. Die Möglichkeiten, welche die Natur liefert, sind unerschöpflich. Immer neue Ideen werden geboren, wenn man nur genau hinschaut.

Die Bionik-Ausstellung macht all das für die Besucher sichtbar, was sonst nur Wissenschaftler und Ingenieure sehen. Wie Details der Natur erforscht und wie ihre Geheimnisse in technische Produkte umgesetzt werden, das können Sie auf 24 großformatigen Schautafeln und exemplarischen Exponaten sehen und erleben.

**Impressum**

**Konzept:**  
PD Dr. Michael Gudo, Christine Gunia

**Herausgeber:**  
MORPHISTO – Evolutionsforschung und Anwendung GmbH  
Weismüllerstraße 45, 60314 Frankfurt am Main  
www.morphisto.de

**Autoren:**  
PD Dr. Michael Gudo, Christine Gunia  
**unter Mitarbeit von:**  
Dr. Tareq Syed, Manfred Grasshoff

**Projektverantwortliche:**  
PD Dr. Michael Gudo, Christine Gunia

**Projektleitung:**  
PD Dr. Michael Gudo, Christine Gunia

**Grafische Gestaltung der Schautafeln und Broschüre:**  
STELZNER Illustration & Grafikdesign, Frankfurt am Main



### Lernen von der Natur Der Lotos-Effekt

**Eine saubere Sache**  
Nach unzähligen, selbstreinigenden Oberflächen sind die Blätter von Indemum. Die Natur hat bereits die Lösung: In ihnen kein Schmutzpartikel haften bleibt. Dieser bemerkenswerte Effekt findet sich bei einer ganzen Reihe von Pflanzen. An Lotus, Kaktusweiden oder Weidenblättern nur ein Tropfen Wasser als ohne Schmutz zu sehen, ohne die Blattoberfläche zu berühren, ohne in die Taue einzutauchen, Schmutzpartikel werden mit dem abperlenden Wasser einfach weggespült. Entsprechend gibt es eine ganze Reihe von Produkten, bei denen dieser Effekt umgesetzt worden ist: Farben, Lacke, Baustoffe, Bauelemente und Fenstergläser. Der Geheimnis liegt in der mikroskopischen Struktur, die hier dem natürlichen Vorbild nachempfunden wurde.

**Die Mikrostruktur macht den Unterschied**  
Der Lotos-Effekt beruht nicht, wie man vielleicht meinen könnte, darauf, dass die Oberflächen vollkommen glatt sind, ganz im Gegenteil: Unter dem Mikroskop sieht man viele regelmäßig angeordnete warzenartige Erhebungen (Papillen). Wassertropfen liegen auf den Papillen. Die hohe Oberflächenspannung hält das Wasser in Form von Tropfen zusammen. Es kann nicht in die Täler zwischen den Papillen fließen. Feine Schmutzpartikel werden von den Wassertropfen aufgenommen und mit ihnen fortgeführt.

**Künstliche selbstreinigende Oberflächen**  
Gerade im Außenbereich gibt es vielfältige Einsatzmöglichkeiten für Produkte mit selbstreinigenden Oberflächen. Die technische Umsetzung der Mikrostruktur ist relativ leicht, denn gleichmäßige Mikrostrukturen lassen sich als Farben, Lacke, Oberflächenfolien und Fensterfolien herstellen.

**Eines jedoch ist natürliches wie künstliches Lotos-Oberflächen**  
Gerade im Außenbereich gibt es vielfältige Einsatzmöglichkeiten für Produkte mit selbstreinigenden Oberflächen. Die technische Umsetzung der Mikrostruktur ist relativ leicht, denn gleichmäßige Mikrostrukturen lassen sich als Farben, Lacke, Oberflächenfolien und Fensterfolien herstellen.

**Einfach zu reinigen statt selbstreinigend**  
Besser reinigen lassen sich in der Tat die meisten Oberflächen und Armaturen mit glatten Oberflächen sind viel einfacher zu reinigen als beispielsweise ein unglatter Blumentopf. Aber sobald im Waschbecken wieder Wasser geflossen ist, bilden erneut Wassertropfen und Kalkflecken zurück. Leicht zu reinigende Oberflächen sind eben keine selbstreinigenden Oberflächen.

### Lernen von der Natur Der Klettverschluss

**Mit Haken und Ösen**  
Der Klettverschluss funktioniert nach einem simplen Prinzip: Es werden zwei Textilfasern benötigt, von denen der eine auf seiner Oberfläche viele kleine Häkchen, der andere eine wellige Struktur besitzt. Legt man beide Oberflächen aufeinander, verfangen sich durch leichten Druck die Häkchen in den Fäden und können sich nicht mehr lösen. Reißt man nun die beiden Textilfasern auseinander, lassen die elastischen Häkchen die Wollfasern los und die Streifen sind wieder getrennt. Es gibt viele verschiedene Formen von Klettverschlüssen, die nicht alle aus den üblichen Textilien sind. In speziellen Bereichen wie der Luftfahrt verwendet man feuerfeste Stoffe, in der Raumfahrt sogar metallene Oberflächen oder Klettverschlüsse aus Glasfasern. Der Klettverschluss ist ein Paradebeispiel dafür, wie aus genauer Beobachtung der Natur Erkenntnisse und Anregungen gewonnen werden, die zur Entwicklung neuartiger Technologien führen.

**Der Klette abgesehen**  
Man unterscheidet verschiedene Typen von Klettverschlüssen. Haken- und Faserband ist der ursprüngliche Typ und wird größtenteils bei Kleidung verwendet. Filz- und Velourband sorgen durch die pilzförmigen Hakenklappe für mehr Halt, die nächste Stufe ist dann Filz- und Velourband, die extreme Beanspruchungen aushalten. Filz- auf Filz wird hauptsächlich in der Industrie angewandt. Der Vorteil ist die punktuelle Haftung. Die Klettverschlüsse werden auch als Gürtel bezeichnet.

**Simple und doch vielseitig**  
Klettverschlüsse sind tägliche Begleiter. Wir finden sie im Haus, im Garten, im Büro, in der Werkstatt, einfach überall. Das einmalige Zusammenspiel der Eigenschaften der enormen Stabilität und der unendlichen Wiederverwendbarkeit machen den Klettverschluss zu einem sinnvollen Alltagsprodukt. Hier nur ein paar wenige Beispiele für ihren Einsatz:

- an Schuhen
- an Kleidung, sogar Raumanzügen
- an Rucksäcken und Taschen
- als Kabelbinder
- an Blindenleitgeräten
- zum Befestigen von Planen
- zum Fixieren von Kunststoffarmen

**Wer hat's erfunden?**  
Die Idee für den Klettverschluss kam dem Schweizer Ingenieur Georges de Mestral auf Spaziergängen mit seinem Hund. Nachdem er viele Male Blüten aus dem Feld entfernt musste, untersuchte er sie unter dem Mikroskop und entdeckte dabei die winzigen elastischen Häkchen an den Spitzen der Blüten. Mestral erkannte darin eine Möglichkeit, zwei Materialien auf einfache Weise miteinander zu verbinden. Mestral entwickelte daraus den ersten Klettverschluss und meldete seine Idee 1951 zum Patent an.

### Selbstreinigung – eine saubere Sache

#### Vorbild aus der Natur

Die Oberfläche von einigen Pflanzen, insbesondere des Lotos, besitzen eine raue Mikrostruktur, an der Schmutzpartikel nicht haften sondern mit dem Regen abgewaschen werden.

#### Technische Umsetzung

Durch Mikropartikel in Anstrichen/Farben wird die Oberflächenstruktur des Lotos imitiert, der Effekt ist der gleiche.

### Mit Haken und Ösen

#### Vorbild aus der Natur

Einzelne Häkchen der „Klette“ verfangen sich im Fell von Hunden und überall wo es wollig ist. Sie rauszuziehen ist schwierig, meist gehen dabei Haare mit ab.

#### Technische Umsetzung

Man stattet eine Fläche mit vielen Häkchen, eine andere mit einer wolgigen Struktur aus – das Prinzip „Häkchen verfangt sich in Ösen“ ist das Grundprinzip des allgegenwärtigen Klettverschlusses.

### Lernen von der Natur Perfekte Tarnung

**Mit der Umgebung verschmelzen**  
Sich tarnen heißt sich unsichtbar machen, so wie es durch die Tarnung im Tierreich findet. Wir viele Fälle von erstaunlich guter Tarnung, durch Farben oder durch Formen, und manche Tiere haben sogar einen fast glasig durchsichtigen Körper.

Wer nicht erkannt werden will, tarnt sich. Soldaten, auch Krieger, tragen Tarnfarben oder Tarnmuster. In Shakespeares Drama Macbeth rückt die Arme Macduff's mit Zwergen des Wäldes Bann gegen die Burg von Macbeth zu, der sein Ende nahen sieht.

**Musterhafte Tarnung**  
Das Fleckenmuster des Leoparden, das Muster des Nachtfalters oder die wechselnde Musterung des Chamäleon lassen die Umrisse eines Tieres mit der Umgebung verschmelzen. Der Nachtfalter ist für den Vogel schwieriger zu erkennen, als Chamäleon kann sich besser an seine Beute anschließen und auch der Umriss des Insektes verschmilzt mit seiner Umgebung. Tarnungsmuster des Militärs bedienen sich dieses Prinzips. Bei Einsätzen in Steppen- oder Wüstengebieten trägt der Soldat groß-grüne Muster, bei Einsätzen in Wald- oder Dschungelgebieten trägt er grün in grün.

**Formverlede Tarnung**  
Nach besser als Muster und Flecken wirkt eine Tarnung, bei der die Konturen mit der Umgebung verschmelzen, wenn nicht auszumachen ist, wo das Tier anfängt und wo es aufhört. Das natürlichste Beispiel ist wie ein Fels in seiner Umgebung, der fast unsichtbar ist, wenn er genau wie die Umgebung ist, in dem er lebt, und der Ökologe aber nicht nur die Farben, sondern auch die Oberfläche des Bodens nach. Die mit Sträuchern behangene Lärche verschwindet fast in seiner Umgebung.

**(Fast) unsichtbar**  
Der Körper der Glaswelle ist fast durchsichtig, nur die Wirbelhäute und die Augen treten deutlicher hervor. Häufig zwischen Pflanzen stehend, verschmelzen die Fische gänzlich. Quallen und Rippquallen bestehen weitgehend aus glasig durchsichtiger Gallerte. Gerade wie Rippquallen sind selbst aus der Nähe nur durch Lichtreflexe auf ihren mit Wimpern besetzten Rippen zu erkennen. Die technische Umsetzung ist bislang nur in Science-Fiction und Agentenromanen gelungen, wie dem Film „Zur Zeit Anton Martin von James Bond“ oder dem Wandermaler des Wissenschaftlers Griffin in H.G. Wells' Roman „Der Unsichtbare“.

### Mit der Umgebung verschmolzen

#### Vorbild aus der Natur

Viele Tiere haben verschiedenste Methoden, mit denen sie sich fast unsichtbar machen können. Flexible Oberflächen, Farbänderungen und Auswüchse lassen sie mit der Umgebung verschmelzen.

#### Technische Umsetzung

Auch der Mensch tarnt sich und seine Gerätschaften, zum Beispiel im Krieg. Er passt sich seiner Umgebung an und nutzt dabei die gleichen Methoden, die auch Tiere nutzen.

### Lernen von der Natur Haftung

**Haften ohne zu verkleben**  
Zwei Objekte können problemlos haften, ohne verklebt zu sein. Man findet das überall um sich herum, bei Haftnotizen, der Füllung im Zahn oder bei Autoreifen auf der Straße. Unmöglich ist es das Haften bei Schmutz auf Oberflächen oder beim Kibekleben, der das geliebte Poster zerstört. Sicheres Haften und zerrenunempfindliches Abheben sind der Wunsch in Industrie und Alltag.

**Die Spinne an der Wand**  
Geckos, Spinnen und andere Tiere hängen scheinbar mühelos an der Wand. Ihre Fußsohlen sind mit winzigen Häkchen ausgestattet, die eine hohe Anziehungskraft erzeugen. Nicht die Größe des Fußes ist dabei entscheidend, sondern die Anzahl der feinen Häkchen. Will das Tier seinen Lieblingen Fuß lösen, müssen alle Häkchen einzeln wieder von Untergrund genommen werden. Der Fuß wird langsam abgerollt. Und es passiert millisekundenlang, ohne dass die Struktur verwechselt.

**Winterräder**  
Allerdings: Auch die Frischhaltefolie funktioniert durch ihre entgeltete Oberfläche nach dem gleichen Prinzip wie die vielen feinen Häkchen der Spinnen- und Geckfüße. Jeder kennt das Phänomen, dass sich die Folie über die Salatblätter legt und sie luftdicht abschließt, aber auch besonders gerne und fest an sich selber haftet.

**„Zur-Tützen und Reifen**  
Sie hat einen besonderen Aufbau: Sie ist bei jedem Lauf energiegeladener, beim Abbremsen ist sie und bereit somit mehr Haftfläche. Radreifen auf diese Prinzipien zurück, um Fahr- und bei Autoreifen zu verbessern. gehen haben selbstartige Muster auf der Fußsohle, die die Haftung von der Sohle wegleiten und somit die rutschigen Wasserfilme verhindern. Die gleiche die Profil der Autoreifen, bei Regen, Matsch und ist es besonders tief.

### Lernen von der Natur Schutzkleidung

**Jederzeit gut gerüstet**  
Der Mensch will seinen Körper schützen – und das schon seit der Steinzeit! Was damals Haut der erlegten Tiere waren, ist heute feste Kleidung. Dazwischen liegt eine lange Entwicklung von Rüstungen und Panzerungen. Historischer Schutz, zum Beispiel die Rüstungen, erriekt er gepanzerte Tiere wie Schildkröten, Krabbe oder Gürteltiere.

Heute wird Schutzkleidung nur noch in speziellen Situationen eingesetzt. Aber gerade da muss sie guten Schutz bieten. Die Bonik bietet unter anderem künstliche Spinnweb- oder Struktur von Nass- und Fruchtstücken zur Optimierung an.

**Sie sind überall!**  
Die Natur besitzt viele Elemente, die geschützt werden müssen – ob man bei Pflanze oder Tier. Dementsprechend haben sich viele unterschiedliche Schutzstrukturen entwickelt. Nüsse und Früchte haben harte Schalen, Tiere sind gepanzert, Spinnen weben Schutzstrukturen um ihr Eigefüge. Viele der dahinterstehenden Prinzipien lassen sich in der Technik verwenden.

**Überkreuzte Fasern**  
Moderne Schutzkleidung ist nach einem ähnlichen Prinzip aufgebaut wie die Wand der Fiberglasfasern. Dabei werden Kunststofffasern in mehreren Schichten übereinander gelegt. Eine Zuckerverfestigung wäre anstelle der bisherigen Kunststoffarmen die Verwendung künstlicher Spinnweb- oder Struktur. Sie ist nämlich wesentlich leichter und dabei stabiler.

Bei der Entwicklung von Fahrrad- und Motorradhelmen, Schutzschichten für in-line-Skater Schalen von Nüssen und Früchten sind hier das Vorbild. Sie sind leicht und stabil.

**Wie ein Fisch**  
Die Schuppenpanzer ist einer der ältesten Rüstungen. Schilde fertigen ihn aufwendig aus weichen Metallen wie Kupfer und Bronze. Dabei wurden sie wohl vom Schuppenpanzer der Fische und Reptilien inspiriert.

Der Aufbau der tierischen Schuppenhaut unterscheidet sich aber deutlich vom abstrakten Schuppenpanzer. Mit seinen beweglichen Schuppen wäre er für den im Süden Afrikas heimischen Schuppenpanzer ähnlich. Das aber bekamen die Schilde von damals wohl kaum zu Gesicht.



### Haften statt verkleben

#### Vorbild aus der Natur

Baumfrösche springen elegant von Blatt zu Blatt, Geckos können an Wänden hochlaufen und die Fliege sitzt entspannt kopfüber an der Decke.

#### Technische Umsetzung

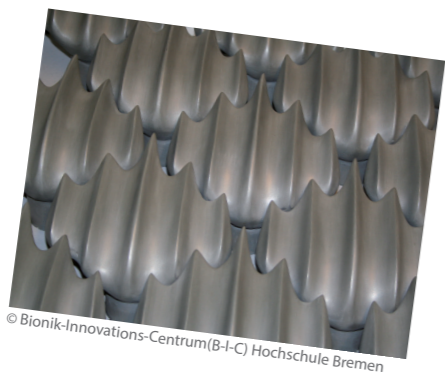
Bessere Haftung nach diesen Vorbildern versucht man vor allem für Autoreifen umzusetzen. Spezielle Profilmuster verbessern die Haftung auf nasser Strasse.



© Rette den Hai e.V., www.rette-den-hai.de



Foto: CC-BY-SA-2.0, Mike Knell, <http://www.flickr.com/photos/mpk/3283003324/>



© Bionik-Innovations-Centrum (B-I-C) Hochschule Bremen

### Lernen von der Natur

## Strömungsformen

**Schnell wie ein Fisch**

Das die Form eines Körpers seinen Widerstand beeinflusst, ist wohl dem meisten Menschen einsehbar. Niemand würde ein schnelleres Auto bauen, das vorne eine große Widerstandsfläche bietet. Je schmaler ein Fahrzeug oder Flugzeug vorne ist, desto geringer ist sein Reibungswiderstand. Am ICE ist der Standard-Motoren-Bild nur in dem roten und grünen Bereich sehr hoch und verläuft sich dann gleichmäßig über den Rumpf. Die dunklen Bereiche zeigen sogar Unterdruck an.

Der Blick ins Tierreich liefert hier aber noch weitere Geheimnisse: Die Form von Fischen, Haen, Walen, Pinguinen und Vögeln zeigt Bauformen, die nicht nur geringsten Widerstand bieten, sondern zugleich die Strömung reibungsarm am Körper vorbeiführen.

**Die "Laminar-spindel"**

Eine vorn abgerundete Spindel hat ideale (Laminar-)Strömungseigenschaften, wenn sie doppelt so lang wie dick ist. Die Form kann physikalisch berechnet werden und beeinflusst die Formgebung von Torpedos, U-Booten, Flugzeugen und Schiffswalmen.

**Spindelform im Tierreich**

Die Laminar-spindelform, also die geringe Strömungswiderstand bietet, ist im Tierreich bei allen Organismen realisiert, die ihren Forttrieb nicht primär durch den ganzen Körper, sondern durch ihre Flossen, Beine oder Flügel besorgen. Es wird nur wenig Kraft benötigt, um dauerhaft hohe Geschwindigkeiten aufrechtzuerhalten. Die Schnellschwimmer unter den Fischen biegen ihren Körper auf großer Länge nur wenig. Pinguine halten ihren Körper stark, sie bewegen nur die Flossen zum Schwimmen und Steuern.

**Inspirationen**

Das Torpedo oder die strömungsdynamische Form von Schiffen und Flugzeugen wurden stärker von physikalischen Erkenntnissen als von Beobachtungen der Natur inspiriert, jedoch hat man die Körperform von Tieren viel besser verstanden, als die physikalischen Grundlagen der Strömungsdynamik bekannt waren. Heute lassen sich Ingenieure von den Tieren inspirieren und bauen fliegende Pinguine, Hai-fisch-Flugzeuge und nachempfundenen Schwimmsportgeräte.

- Schnell wie ein Fisch**
- Vorbild aus der Natur**
- Der Körper von Haien und Thunfischen, auch von Pinguin und Pottwal ist strömungsdynamisch optimiert.
- Technische Umsetzung**
- Autos, Flugzeuge, Schiffe werden geformt wie Fische, dies spart Treibstoff und verbessert die Leistungsfähigkeit.

### Lernen von der Natur

## Hai-fischhaut

### Strömungsgünstig

**Haifischhaut**

Die Haut der Haie besitzt gleich zwei erstaunliche Eigenschaften, die sie für die Biologie interessant macht. Obwohl sie glatt wirkt, fühlt sie sich bei Berührung rau an. Haihaut ist nämlich mit unzähligen winzigen Zähnen - den sogenannten Denticles - besetzt, die in Richtung der Schwanzflosse gerichtet sind. Streichelt man einen Hai von vorne nach hinten, so fühlt er sich glatt an, streicht man ihn von hinten nach vorne, spürt man die raue Struktur eines Reibstoffs.

Solche Oberflächenstrukturen werden in der Technik schon in kleinem Maßstab angewandt. Im großen Maßstab, wie an Flugzeugen, ist man noch in der Versuchsphase. Erste Tests waren aber erfolgreich.

**Haifischhaut**

Die nach hinten gerichteten Zähne der Haihaut erzeugen beim Schwimmen wirrige Verwirbelungen des Wassers. Diese Mikrowirbel bilden eine dünne Schicht aus Wasserwirbeln um den ganzen Körper und verringern den Reibungswiderstand. Der Hai gleitet auf diese Weise sehr elegant durch das Wasser. Es scheint fast, als würde er an einer unsichtbaren Schur geizen.

**Strömung auf Strömung**

Die nach hinten gerichteten Zähne der Haihaut erzeugen beim Schwimmen wirrige Verwirbelungen des Wassers. Diese Mikrowirbel bilden eine dünne Schicht aus Wasserwirbeln um den ganzen Körper und verringern den Reibungswiderstand. Der Hai gleitet auf diese Weise sehr elegant durch das Wasser. Es scheint fast, als würde er an einer unsichtbaren Schur geizen.

**Bionisch frisiert**

Mit den strömungsoptimierenden Eigenschaften von Haihaut lassen sich viele technische Verbesserungen erzielen. Für Frisierschleimer und stauchendes Haifisch-Anzüge, mit denen man sich schneller und müheloser durch das Wasser bewegt. Bei Verunstaltungen im Schwimmen- und Segelsport ist der Gebrauch von Haihaut-Material allerdings verboten.

**Energie und Treibstoff sparen**

Was im Wasser funktioniert sollte auch in der Luft funktionieren. Feine Mikrokügelchen bieten weniger Reibungswiderstand als eine glatte Flugzeugoberfläche. Im Zuge einer Machbarkeitsstudie wurde ein Airbus A320 mit einer haihautartigen Folie überzogen und auf Reisen geschickt. Der Treibstoffverbrauch reduzierte sich erheblich. In diese in der Herbfahrt sehr saure und aufwändige Folie aber auf allen Flugzeugen aufgetragen wird, werden noch einige Jahre der Produktentwicklung vergehen.

Auch für Schiffe eignet sich diese Überzug. Die Wassereibung reduziert sich, die Schiffe brauchen weniger Treibstoff für eine Überfahrt. Einsparungen von Millionen Litern Treibstoff pro Jahr wären möglich, wenn alle Schiffe mit entsprechenden Folien überzogen wären.

- Hai-Tech**
- Vorbild aus der Natur**
- Die Haut der Haie hat eine einzigartige Oberfläche. Kleine Zähne reduzieren Verwirbelungen und damit den Reibungswiderstand.
- Technische Umsetzung**
- Mit einer künstlichen Haihaut kann man heute bei Flugzeugen Treibstoff einsparen. Imitiert wird die Haut mit Hilfe von Mikropartikeln oder besonderen Strukturen, die die Eigenschaft von echter Haihaut nachahmen.

### Lernen von der Natur

## Hai-fischhaut

### Antihafbeschichtet

**Antihafbeschichtet**

**Warum der Hai keine Flecken hat**

Die Haihaut mit ihren vielen feinen Zähnen hat eine raue Struktur. Ein Hai wird nicht wie ein Buckelwal von Seeopocken befallen, weil sie auf seiner Haut keinen festen Halt finden. Für die Schifffahrt ist der Bewuchs der Schiffe durch Seeopocken und andere Organismen eines der größten Probleme. Innerhalb weniger Stunden siedeln die ersten Pilze, Bakterien und Larven von Seeopocken, Korallen, Würmern, etc. auf einem Schiffsrumpf. Diese Organismen machen das Schiff nicht nur schwerer, sie sind auch noch gefährlich für seine Strömungseigenschaften und können insbesondere die Schiffschraube blockieren. Was also liegt näher, als dem Hai seine Geheimnisse abzuschauen?

**Wer bauen will, braucht festen Untergrund**

Seeopocken, Korallen, Würmer, Schwämme und viele andere Tiere des Meeres siedeln auf festen Untergründen. Im Meer verankerte Gegenstände werden schnell besiedelt, weil glatte Oberflächen besonders guten „Anstrich“ für diese Tiere liefern. Feinere Sandkörner sie hingegen nicht, weil er zu rau ist und sich die Sandkörner bewegen. Die Larven finden dort keinen festen Halt.

Die Haihaut mit ihren vielen Zähnen ist rau. Zudem sitzen die Zähne nicht ganz fest, sie „wickeln“. Auf einer solchen Fläche können sich keine Tiere wie Seeopocken anheften.

**Mit Hai-Tech bis ins hohe Alter keine Rinzeln**

In der Schifffahrt musste man bisher die Farbanstriche und Schiffschrauben mühsam von Bewuchs reinigen oder von vorne herein farbanstriche verwenden, die giftige Chemikalien enthalten. Diese Chemikalien töten die Larven direkt ab, müssen aber dauernd erneuert werden und verfliegen langsam auch die Meere. Das mechanische Reinigen ist mühsam und kostet viel Zeit und Geld, weil das Schiff im Dock liegt und nicht fahren kann. Der künstliche Haihaut-Anstrich löst dieses Problem auf einfache Weise. In seiner Matrix sind feine Partikel eingebettet, die sich gegeneinander bewegen und wie die Haihaut eine raue bewegliche Oberfläche bilden. Ohne Chemie und ohne ständige Reinigung kann das Schiff lange Zeit fahren und spart dabei auch noch tausende Liter Treibstoff.

- Allein unterwegs**
- Vorbild aus der Natur**
- Haie sind nicht nur sparsamer unterwegs, durch die Struktur der Zähne auf elastischer Haut wird auch der Bewuchs durch andere Organismen verhindert.
- Technische Umsetzung**
- Schiffsanstriche werden nach diesem Vorbild aus elastischen und grobkörnigen Komponenten hergestellt - völlig giftfrei, im Gegensatz zu herkömmlichen Anstrichen.



### Lernen von der Natur Fliegen wie ein Vogel

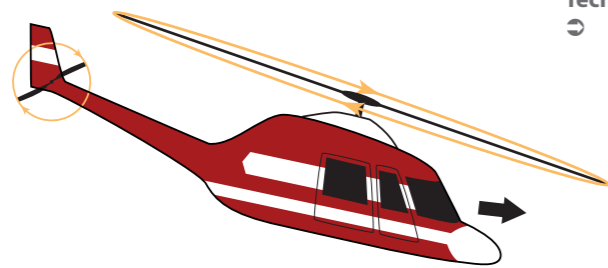
**Von Ikarus zum Airbus**  
Die Vögel sind bis heute Vorbild für einen alten Menschheitstraum: Fliegen - die Erde von oben betrachten, auf die Menschen hinausschauen und sich frei fühlen wie ein Vogel. Von Ikarus aus der griechischen Mythologie bis zum ersten, erfindungsreichen Fluggerät vergangen über 2000 Jahre und bis heute ist die Leichtigkeit des Vogelfluges vom Menschen unerreicht.

Vögel sind aber nicht die einzigen Lebewesen, die sich in die Lüfte erheben haben. Insekten, Fledermäuse, ja sogar die Säuger haben vor Millionen von Jahren vor und zusammen mit den Vögeln den Luftraum beherrscht. Der Mensch jedoch hat es nur mit Hilfe aufwändiger Apparate geschafft, sich in die Luft zu erheben.

**Kein Vorbild**  
Vögel heben vom Boden ab, indem sie mit ihren Flügeln schlagen. Sobald sie in der Luft sind, erhalten sie Auftrieb, weil ihre Flügel von Luft umströmt werden. Dabei wird die über die gewölbten Schwingen streichende Luft beschleunigt und die unter den Schwingen strömende Luft verlangsamt. Der hieraus entstehende Sog lässt den Vogel steigen. Der Körper minimiert durch seine Form den Luftwiderstand, der Vogel kann durch Verstellung der Flügel, des Schwanzes und Ausrichtung des Kopfes seine Flugrichtung steuern.

**Das Flugzeug**  
Das Flugzeug wird nicht durch „schlagende Flügel“, sondern durch Düsenantriebe oder Propeller auf Geschwindigkeit gebracht. So die Sogkraft über den Flügel ausreicht, das Gewicht in der Luft zu tragen. Das Flugzeug braucht kontinuierlichen Antrieb, um in der Luft zu bleiben. Das Prinzip ist fast aber das gleiche wie beim Vogel. Lediglich Segelflieger bleiben unter Nutzung von Luftströmungen und Aufwinden allein durch geschickte Steuerungen in der Luft, aber letztlich stehen sie der Schwerkraft nachgebend zu Boden.

**Schlagflügel-Flugzeuge**  
Aufgaben wurde die „Vogel-Flug-Variante“ nie. Die ersten Fluggeräte versuchten dieses Prinzip zu kopieren und die „Ornithopter“ ist ein schönes Beispiel für misslungene Biolik. Die Physik des Fliegens spielt bei nahezu jedem Wunschraum des „Fliegens per Muskelkraft“ eine beherrschende Rolle.



#### Fliegen wie ein Vogel

##### Vorbild aus der Natur

- ☞ Vögel können etwas ganz besonderes: Fliegen. Schon immer hat der Mensch sie darum beneidet und versucht, selbst in die Lüfte abzuheben.

##### Technische Umsetzung

- ☞ Durch Beobachtung des Vogelflugs wurde das Flugzeug erfunden und immer noch werden Flugzeuge nach diesem Vorbild optimiert, z. B. durch Winglets an den Tragflächenenden.

### Lernen von der Natur Schweben

**Schwerelos - aber nur im Wasser**  
Schwerelos ist der Mensch nur im Wasser oder im Wasser mit Bauchstützung. Ein „biotischer“ schwerelos wird er aber mit einem Fallschirm, der ihn sanft zu Boden schweben lässt. Im Tier- und Pflanzenreich gilt das gleiche. Tiere sind nur unter Wasser schwerelos, und auch hier nur „zeitweilig“, denn die Körpergewichte sind immer etwas schwerer als das Wasser, so sinkt auch die Qualle irgendwann zu Boden, wenn sie sich nicht mehr bewegt.

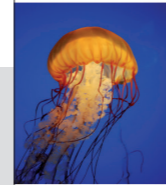
Flugman von Pflanzen, wie der des Löwenzähns („Postelblume“) brauchen nur einen sanften Windstoß um davonzuschweben. Sie sind durch ihre weit ausladende Struktur so leicht, dass sie lange in der Luft schweben, bevor sie zur Erde niederfallen.

**Geringes Gewicht, hoher Widerstand**  
Schweben ist genau das umgekehrte Prinzip vom schnellen Schwimmen. Wo für schnelles Schwimmen der Widerstand reduziert sein muss, ist er beim Schweben erhöht. Breit ausladende Schirme, welche Luft oder Wasser unter sich sammeln, halten die Qualle im Wasser und den Postelblumen in der Luft. Der Fallschirm lässt den Springer sanft zu Boden schweben, weil der Luftwiderstand die Schwerkraft fast ausgleicht.

**Schweben**  
Dies „schlagende Fliegen“  
Der Heißluftballon und der Gasballon funktionieren nach dem Auftriebprinzip. Der Inhalt des Ballons ist leichter als die umgebende Luft, der Ballon steigt auf wie ein Holzstück, das unter Wasser gedrückt wurde.

**Inspirationen**  
Die Aikelly („Luftquelle“) ist eine technische Studie der Firma Festo. Der Global Player in der Automatisierungstechnik kombiniert den Auftrieb durch einen mit Helium gefüllten Ballon mit einer peristaltischen Bewegung der sechs stützenden Arme. Aikelly schwebt durch den Raum. Die Ergebnisse der Studie liefern wichtige Impulse für völlig neue energieeffiziente Antriebsformen.

Der Zeppelin ist ein altbekanntes Luftschiff, das ebenfalls mehrere Prinzipien vereint. Laminaerdriftform, Schweben des reinigen, mit Wasserstoff gefüllten Ballons und Steuerung durch Rosten und Propeller.



#### Fast schwerelos

##### Vorbild aus der Natur

- ☞ Mit Hilfe des Rückstoßprinzips bewegen sich Qualle beinahe schwerelos im Wasser.

##### Technische Umsetzung

- ☞ Der Mensch ist nur mit Hilfsmitteln schwerelos. Ein Fallschirm lässt ihn zu Boden gleiten, ein Ballon aufsteigen.

### Lernen von der Natur Senkrechtstarter

**Senkrecht starten und schweben**  
Ohne Anlauf nach oben in die Luft abheben, in der Luft über einer Position zu schweben, sich vorwärts und rückwärts bewegen oder aufwändige Weidemanöver zu machen. Das ist die Leistung, die lange Zeit nur Insekten und wenige Vogel (Kolibri) beherrschen.

Die technische Umsetzung in das „Drehflügelflugzeug“ dauerte viel länger, als die Entwicklung der Flugzeuge. Erst 1941 ging der erste Hubschrauber in Serienproduktion, und die ersten Versuche mit diesem Flugprinzip begannen erst Anfang des 20. Jahrhunderts.

**Schweifflug im Tierreich**  
Schweifflug ist im Tierreich nur bei wenigen Säugetieren realisiert. Obwohl bereits im Karbon, vor rund 350 Millionen Jahren, einige Libellen köben, welche den Schwanz beherrschen, haben bis heute nur weitere Libellen und die Taubenschwänze unter den Nachfaltern, sowie die Kolibri diese Flugkunst erreicht. Es hängt mit ihrer jeweils speziellen Körperkonstruktion zusammen, dass sie solche Flugmanöver durchführen können.

**Fällende Abzuden**  
Besondere Anregungen für den Bau von Hubschraubern und anderen Fluggeräten liefern Samen von Ahorn und anderen Pflanzen. Die Samen haben eine spezielle Form, die sie sanft zu Boden schweben lässt. Sie drehen sich herbei und fallen nicht einfach, sondern legen auch großes Distanzen zurück. Es ist ein einfaches physikalisches Prinzip, demzufolge die den Samen umströmende Luft ihn zur Rotation bringt.

**Der Hubschrauber**  
Die technische Umsetzung hat sich vom natürlichen Vorbild weit entfernt. Die Flügel des Hubschraubers entsprechen einem quer gestellten Propeller. Dieser Rotor hebt den Hubschrauber in die Luft. Ein zweiter Propeller am Heck verhindert, dass das ganze Fluggerät sich mißverhält, und eine Änderung des Anstellwinkels des Rotors bewegt den Hubschrauber nach vorn.



#### Senkrechtstarter und Manövrierkünstler

##### Vorbild aus der Natur

- ☞ Libellen können in der Luft stehen, vorwärts und rückwärts fliegen: Eine Kunst, die den Menschen inspirierte.

##### Technische Umsetzung

- ☞ Hubschrauber fliegen nach einem ähnlichen Prinzip und sind damit sehr präzise steuerbar, die technische Entwicklung dauerte aber viel länger als die des Flugzeuges.



Lizenz: CC-BY-2.0, Urheber: grongar, URI: http://www.flickr.com/photos/grongar/4929151495/

### Lernen von der Natur

## Leichtbauweise

### Stabile Netze

**Baum wie Wechsell**  
Bienenbau wie Spinnweb, aber können sie beide. Der Spinnfaden ist ein regelrechtes Wunderwerk, aber nicht nur der Faden selbst, auch die Netze, welche die Spinne demt baut, sind architektonische Meisterwerke. Sie sind leicht und benötigen wenig Material, sind aber sehr zugfest. Wissenschaftler versuchen nicht nur das Material der Spinnweb nachzubauen, sondern auch die speziellen Bauweisen. Das wohl bekannteste Bauwerk, welches sich am Netz der Spinne orientiert, ist das Münchener Olympiastadion. Der Architekt Frei Otto entwickelte die spezielle Bauweise anhand von Studien an Spinnweben, Seilnetzen und hydraulischen Systemen. Das Ergebnis der Experimente waren weite hängende Zeltfelder über weiten Stützflächen.

**Am seidigen Fäden**  
Der seidene Faden der Spinne wird von mehreren speziellen Drüsen produziert. Klebrig ist er nicht. Nur im Radieren setzt die Spinne ein einziges Fäden-Klebstoffen, an denen sich die Beute verfangt. Das Leitbild des Olympiastadions in München liecht aber ein wenig an Hauben- und Deckennetze, wie Spinnweben sie auf Wäsen, Gebüsch und Bäumen ausbreiten (oben).

**Keine leichtfertig Bauweise**  
Inspiration vom Netz der Spinne haben Wissenschaftler die mechanischen und statischen Eigenschaften von hängenden Bauwerken untersucht. Die Ergebnisse einer gemeinsamen Sonderforschungsbereich der Deutschen Forschungsgemeinschaft SFB 374 zu diesem Thema sind bis heute eine wichtige Grundlage für die Erforschung des Tragverhaltens von Bauwerken und Materialien. Insulator hat der Mensch aber schon immer hängende, selbst verspannende Konstruktionen gebaut. Das bekannteste Beispiel sind Hängedächern, die mit hochfesten Erkenntnissen immer effizienter werden.

**Das Olympiastadion**  
Die Olympiastadion in München und Montreal sind wohl die bekanntesten Gebäude im Leichtbauweise. Die Form der Dächer ergibt sich aus dem Übergang von der Dachkonstruktion, die am möglichst wenig Aufhängepunkten befestigt ist und dabei trotzdem hohe Stabilität gewährleistet. Hier hat die Natur nicht nur die Forschung, sondern auch die Bauingenieure inspiriert.

### Hängekonstruktionen

#### Vorbild aus der Natur

- Spinnennetze sind sehr dünn und leicht, aber zugleich äusserst stabil. Das liegt nicht nur am Material Spinnseide, sondern auch am Aufbau der Netze.

#### Technische Umsetzung

- Architekten nehmen sich ein Beispiel an den natürlichen Hängekonstruktionen und können so stabile, netzartige Dachkonstruktionen bauen.

### Lernen von der Natur

## Leichtbauweise

### Weniger bringt mehr

**Stark, grazil, stabil**  
Trotz ihrer runden Körperform sind die mit den Kugelfischen verwendeten Kofferrische extrem wendig, und trotz ihrer Panzerung aus kleinen direkt unter ihrer Haut liegenden Knochenplatten sind sie verhältnismäßig leicht. Obwohl ihre Katzenform sperrig wirkt, wirkt sie dennoch hervorragend Strömungseigenschaften auf. Aufgrund dieser Umstände nahm man bei der Daimler AG den Kofferrisch als Vorlage für den Entwurf eines Concept-Car. Die Katzenform bietet einen großen Innenraum, der durch das stabile Grundraster bei Unfällen zuverlässig geschützt ist. Trotzdem wird wenig Material verbaut, was nicht nur die Produktionskosten, sondern auch das Gewicht reduziert. An diese Eigenschaften resultieren in einem durchschnittlichen Brennstoffverbrauch von nur 4,1 auf 100 km.

**Der Fisch und das Auto**  
Das Biok-Auto von Daimler ist das Ergebnis von gleich mehreren Anwendungen der Biok. Zum einen die Körperform des Kofferrisches, die entscheidend zur enorm geringen Widerstandswerte im Strömungskanal liefert, zum zweiten die materialsparende Leichtbauweise des Kofferrisches. Die architektonischen Kofferrischplatten sind so gewachsen, dass sie bei geringem Gewicht ein Höchstmaß an Stabilität liefern. Der Körper des Fisches ist stark, er biegt sich beim Schwimmen nicht bei und hat wie bei anderen Fischen, sondern steuert und schwimmt allein durch die Bewegung seiner Flossen. Gerade dies verleiht ihm seine hohe Wendigkeit.

**Der Knochen als Vorbild**  
Ein Leichtbauwunder ist auch der Knochen. Da Knochenmaterial nur da wächst, wo Kräfte wirken, ist der Knochen immer Abbild der auf ihn einwirkenden Kräfte und zugleich ein Gebilde minimalen Materialaufwandes. Der menschliche Oberarmknochen zeigt im Querschnitt den kräfteangepassten entsprechenden Säulenstrukturen. Ausgehend von dieser Bauweise haben Ingenieure Bauteile für Automotoren entwickelt, die nicht nur materialsparend, sondern zugleich auch besonders stabil sind.

**Von der Smaragd zur Dachkuppel**  
Schon lange bevor der Begriff der Biok geprägt worden war, haben sich Baumeister Anregungen aus der Natur geholt. Die Kuppel des berühmten Kristallpalastes in London (gebaut 1851) zur Weltausstellung, durch einen Brand 1936 zerstört) wurde in Anlehnung an die Biomechanik von Smaragd konstruiert. Das Vorbild der Kuppel hohe Stabilität bei geringem Materialaufwand. Die Stabilitätsergüsse auf den Blättern der Smaragde sind ebenso angeordnet.

### Weniger bringt mehr

#### Vorbild aus der Natur

- Knochen und einige Pflanzen weisen einen speziellen Aufbau auf: wo es geht, wird Material eingespart, indem das Material nur dort wächst, wo es gebraucht wird.

#### Technische Umsetzung

- In der Automobilindustrie wird dieses Prinzip umgesetzt, um leichtere Autos mit geringerem Verbrauch zu bauen, die aber zugleich Sicherheit bieten sollen. Auch in der Architektur wird nach diesem Schema gearbeitet, um Material zu sparen.

### Lernen von der Natur

## Leichtbauweise

### Stabile Gerüste

**Folgen-Tuning mit Algen**  
Was hat die Alge mit Autoteilen zu tun? Rein gar nichts würde man eigentlich antworten. Nicht so der Biokler: Die Inspirationen können aus weit entfernten Bereichen kommen. Die besondere Form bestimmter Diatomeen-Gestirte inspirierte Wissenschaftler dazu, einwellige Konstruktionen auszuprobieren. Obwohl das Gerüst der Alge kettenweise zu hohen Belastungen ausgelegt ist, liefert ihre Bauweise eine Vorlage für Folgerkonstruktionen hoher Stabilität bei minimalem Materialaufwand. Der Blick ins Mikroskop eröffnet eine fremdartige Welt kleiner Lebewesen. Ihre Gerüste erinnern an authentische Baumstrukturen aus Science-Fiction-Filmen. Vielleicht waren es gerade diese Formen, welche die Ingenieure auf ihre besonderen Ideen brachten.

**Das Kieselgerüst der Diatomeen**  
Die mikroskopisch kleinen Diatomeen zählen zu den evolutionsmäßig ältesten Organismen. Sie waren maßgeblich beteiligt, die Atmosphäre mit Sauerstoff anzureichern und sie zählen zu den wenigen Lebewesen, welche ihre Körpergerüste nicht aus Kalk, sondern aus Kieselsäure („Quarz“) bauen. Das Kieselgerüst stabilisiert den Körper, es gibt der Alge ihre Form. Diese Organismen schwimmen im Wasser. Nach ihrem Tod sinken sie nach unten und bilden mitunter mächtige Kieselalgenmatten, die, wenn sie von weiteren Sedimenten eingeschlossen werden, zu Feuerstein werden können.

**Von der Alge zum Felge**  
In der Automobilwelt wird mit Hilfe moderner Computer ein spezielles Verfahren zur Entwicklung neuer Leichtbaustrukturen eingesetzt, „Evolutionary Light Structure Engineering“ (ELSE). Hierbei werden bestimmte Leichtbaustrukturen vorgeschlagen, aber diese sind in bestimmten Bereichen geplant. Sobald man nun ein bestimmtes „Leichtbauteil“ benötigt, wird anhand von Formergleichungen ein passendes Stück gesucht und verwendet. Formen aus der Natur liefern hier einen umfangreichen Fundus für solche „evolutionären“ Formen. Auf genau diese Weise ist die ELSE-Felge entstanden. Die geringste Materialaufwand, größte Stabilität bei hohen Lasten, geringster und maximale Kräfteaufbringung.

### Lernen von der Natur

## Leichtbauweise

### Hoch hinaus

**Bambus & Co im Hochhaus**  
Wie baut man ein Hochhaus? Nicht einfach, indem man ein „hohes Haus“ baut, sondern indem man die besonderen Anforderungen an ein solches Bauwerk berücksichtigt. Das Hochhaus muss fest stehen, es muss stabil über dem Boden bleiben, die Materialien müssen extremen Belastungen standhalten können. Was man kaum glauben mag: Sogar die Hochhäuser in Frankfurt bewegen sich, sie schwanzen bei starkem Wind hin und her, und sie bleiben nur deshalb stehen, weil sie dies können. Noch höhere Hochhäuser stellen noch höhere Anforderungen an Material und Bauweise. Der Blick in die Natur hilft auch hier weiter. Der Bambus, der Schindelmilchbaum und auch so mancher Grasartigen Bauweisen, die sich beim Hochhausbau umsetzen lassen und den Gebäuden die notwendige Stabilität und Flexibilität verleihen.

**Schmalwuchs und Rosenwuchs**  
Der Bambus wächst nicht nur sehr schnell, sondern auch sehr hoch. Unter optimalen Bedingungen und Wachstumsraten von bis zu 100 cm pro Tag möglich, und hoch hinaus geht es dabei auch hoch. Wuchshöhen von über 30 Metern sind mit etwa 20 cm Stammdicke und keine Seitenäste, sie erfordern aber eine ganz besondere Bauweise: innen hohle, biegsame Segmente, die abschüssig verstreut sind, so wie ein besonderes Verbundmaterial in der Außenwand verflochten dem Bambus seine Eigenschaften.

**Das Geheimnis der Stabilität**  
Das Geheimnis der Stabilität des Bambus liegt in mehreren Besonderheiten: (1) Die Bauweise als innen hohles Rohr, (2) die Abstände im Stamm, die sich in die Querenden fortsetzen und (3) der Verbund von unterschiedlichen Materialien in der Außenwand. Auf diese Weise werden die einzelnen Abschnitte einerseits sehr fest, andererseits flexibel miteinander verbunden. Kräfte setzen sich über die Fasern auf die Querenden fort und werden dort aufgefangen. Der Bambus biegt sich, aber er bricht nicht. Aus diesem Grund wird Bambus schon seit Jahrhunderten für den Gerüstbau eingesetzt, seine Bauweise inspirierte Generationen von Architekten.

**Der Taipei 101**  
Die spezielle Bauweise des Bambus haben sich die Architekten des Taipei 101 (Taipei, Taiwan) zu Nutzen gemacht. Der 508 m hohe Turm besteht aus mehreren ineinander steckenden Bauabschnitten, die über flexible Gerüste miteinander verbunden sind. Das Gebäude ist auf diese Weise besonders stabil gegen Kräfte wie Wind und Erdbeben. Als weitere Besonderheit ist im Inneren ein über 600 Tonnen schweres Gewicht wie ein Pendel aufgehängt, welches Schwankungen des Gebäudes durch hydraulisch gesteuerte Gegenbewegungen abfängt.

### Unter Bambus

#### Vorbild aus der Natur

- Bambussprossen, so genannte Halme, sind schlank und hohl, können jedoch erstaunliche Höhen erreichen. Dank seiner speziellen Faserzusammensetzung ist es sowohl flexibel als auch stark.

#### Technische Umsetzung

- In Asien ist Bambus ein beliebtes Baumaterial. Heute nutzen Architekten die Eigenschaften des Bambus, um auch in Erdbebengebieten sichere Wolkenkratzer bauen zu können.

### Aus dem Meer auf die Straße

#### Vorbild aus der Natur

- Diatomeen sind superleichte winzige Algen mit extrem robusten Skeletten aus Kieselsäure, die in vielen außergewöhnlichen Formen vorkommen.

#### Technische Umsetzung

- Forscher setzen nach diesem Vorbild bei Automobilen und vielem mehr neue Maßstäbe, z. B. wurden Autofelgen nach entsprechenden Mustern gebaut.

### Lernen von der Natur

## Leichtbauweise

### Lebendige Bauwerke

**Bioclimatisches Bauen**  
Bioclimatisches Bauen ist das Bauen in gewisser Einfachheit. Nicht nur die Fertigung, sondern auch der Betrieb des Gebäudes folgt dem Vorbild der Natur. Geringer Energieverbrauch durch Nutzung des Sonnenlichts, angenehmes Klima durch natürliche Belüftung, biologische Wasseraufbereitung und Warmwassererzeugung durch Sonnenenergie sind nur einige Eckdaten eines bioclimatischen Gebäudes. Bioclimatisches Bauen bringt eine eigenständige Form in der Architektur hervor. Sie ist nicht der Bau eines organisch aussehenden Gebäudes, sie ist sich und allen Details gewogen. Die Gebäudeform entsteht als Symbol von natürlicher Konstruktion, natürlichen Funktionen und geplanter Gestalt.

**Baummeister in der Natur**  
Bäume wachsen indem sich Zellen teilen und neue Zellwände einziehen. So wächst ein insgesamt aus einem Zellverbund bestehendes Ganzes immer höher. Diese Bauweise macht den Baum stabil und elastisch zugleich, er trotzt dem Wind, und alle Räume der Zellen sind untereinander verbunden. Durch Verflechtungen des Wurzelwerks über Pfahlzellen steht sogar der ganze Wald in einem Stoff- und Materialaustausch von Baum zu Baum. Die wohl ausgeklügeltsten Belüftungssysteme bauen Termiten. Ihre Bauwerke werden von Millionen von Tieren bewohnt und das Belüftungssystem sorgt für optimale Klima im ganzen Gebäude.

### Lernen von der Natur

## Leichtbauweise

### Ganzheitlich bauen

Bioclimatisches Bauen bedeutet, dass es keine einzelnen Bauteile gibt, sondern dass Dächer, Wände, Fassaden, Stützen und Dach eine Gesamtkonstruktion bilden, die die Zellstrukturen der Natur nachempfunden sind. Das Ergebnis sind Gewicht- und Materialersparungen von bis zu 40%. Es lässt sich sehr leicht der technische Ausbau integrieren oder später eine Nachrüstung vornehmen, ohne die Belüftung des Wurzelwerks über Pfahlzellen „Veränderungen, Rückbau oder Ergänzungen sind ohne Zerstörung der Konstruktion möglich. Das bioclimatische Bauwerk ist quasi „lebendig“!

### Lernen von der Natur

## Leichtbauweise

### Tensarität - spannende Sache

Tensarität ist eine neuartige Bauweise, die sich an verschiedene Vorbilder in der Natur anlehnt. Hierbei wird ein hohler, mit Luft befüllter Körper mit spiralförmig verlaufenden Seiten umspannt und dann unter Druck und Zugspannung gesetzt. Ein so gebauer Balken weist eine enorme Tragkraft auf. Das Material wagt hier nur wenige Kilogramm, trotzdem können Gewichte von mehreren Tonnen problemlos getragen werden.

### Lebendig bauen

#### Vorbild aus der Natur

- Termitenhügel haben ein natürliches Belüftungssystem, Baumstämme weisen besonders raffinierte Materialzusammensetzungen auf und Lianen reparieren ihre Risse mit Hilfe von besonderen Sekreten.

#### Technische Umsetzung

- Auch hier nehmen sich die Architekten ein Beispiel, um die Belüftung von Bauwerken zu optimieren, besonders leichte und widerstandsfähige Tragekonstruktionen zu entwickeln oder im „Baum-Stil“ höher und sicherer zu bauen.



### Lernen von der Natur

## Hydraulik

**Hydraulik – Wasser als Kraftüberträger**  
 Hydraulik ist die Wirkung von Flüssigkeit in einem geschlossenen System, wie z.B. einem Gummi- oder Metallzylinder oder Rohr. Sobald auf das Wasser Druck ausgeübt wird, leitet er sich vertikal weiter. In der Technik wird dieses Prinzip zum Heben und Bewegen schwerer Gegenstände eingesetzt. Wie Sesseltiere, die sich durch die Verformung ihrer Körperhydraulik bewegen, zeigen die Evolution der Lebewesen, Tiere zeigen vielfältige Varianten des hydraulischen Funktionsprinzips. Die Form der Seeanemone ist vom Wechselspiel der Muskeln und der Körperhydraulik bestimmt, der Regenwurm bewegt sich durch ein Wechselspiel seiner Körperhydraulik und Muskeln, die Spinne kann ihre Beine durch Muskeln nur biegen, gestreckt werden sie durch den Druck ihrer Körperflüssigkeit.

**Hydraulische Lebewesen in flexiblen Hüllen**  
 Das einfachste weiche hydraulische System ist ein mit Wasser gefüllter Ballon. Unter Druck verformt er sich. Je dicker die Hülle, desto geringer die Verformung. Verformungen in der Hülle leiten die Verformung in bestimmte Richtungen und erzeugen zugleich bestimmte Formen. Lebewesen sind hydraulische Einheiten mit Verengungen (Muskeln, Bindegewebe, Fasern) und Verstärkungen (Knochen, Horn, Chitin und Kalk).

**Vision Hydraulik**  
 Hydraulik in Tieren wurde erst erkannt, als die Hydraulik in der Technik verstanden war. Die hydraulischen Systeme im Körper von Tieren sind unglaublich komplizierter aufgebaut und zeigen ein breites Spektrum von Möglichkeiten, die der besonderen Bauweise aus kontraktile Elementen (Muskeln) und kuffelnden Elementen (Hydraulik) Rechnung tragen. Die Untersuchung der hydraulischen Konstruktionen der Lebewesen birgt noch viele Antworten und Anregungen für technische Entwicklungen, aber auch für die Erklärung bestimmter Formen. Oft sind es einfache Prinzipien, die sichtbar aufwändige Formen begründen. So entsteht das Muster der Bienenwaben zwangsläufig, wenn mehrere hydraulische Einheiten eng aneinander gepresst liegen. Hierbei wirken auf alle Außenwände identische Kräfte.



**Von Würmern und Waben**

**Vorbild aus der Natur**

- Überall in der Natur sind pneumatische und hydraulische Elemente zu finden, oft in Wabenanordnung. Diese Formen entstehen allein durch physikalische Gesetzmäßigkeiten.

**Technische Umsetzung**

- Ob in hydraulischen Armen, die überall Verwendung finden (z.B. als Stoßdämpfer) oder wabenförmigen Dachkonstruktionen – die Forschung hat längst das Potential hydraulischer Strukturen erkannt und versucht diese weiter zu optimieren.

### Lernen von der Natur

## Schlängeln & Kriechen

**Schlängeln & Kriechen**  
 Tiere ohne Beine sind wahre Meister der Fortbewegung. Sie bewegen sich in Wellenbewegungen und schlängeln sich geschickt durch Wasser, Sand oder gar durch die Luft. Andere machen ihren Körper weicher wie dick und dünn und kriechen auf dem Boden oder graben sich in ihn ein. Die Schlange ist das bekannteste Beispiel für bewusste, schlängelnde Tiere. Am Ende sind es aber die unscheinbaren und kleinen Tiere, die hier einfache aber geniale Lösungen der Fortbewegung vorführen: Würmer, Schnecken, Seequaken und andere Gattungen. Das Zusammenspiel von Muskeln und Hydraulik im Regenwurm inspiriert Biomimiker zum Bau neuerer Sensoren und Roboter. Die Hydraulik im Körper ist ein einfaches, aber gerade darum so erfolgreiches Prinzip, das noch viele technische Innovationen erwarten lässt.

**Schlängeln**  
 Mechanisch gesehen besteht die Fortbewegung durch Schlängeln darin, dass der Körper des Wasser löder den Boden sanft nach hinten und sich selbst dadurch nach vorne schiebt. Die Schlängen biegen sich nicht links. Die Egel leben im Wasser, sie sind bauchwärts nach und biegen sich abwärts. Einen Spezialfall des Schlängelns zeigen Spinnen-Rauben: Sie biegen sich auf und ab und halten sich mit ihren Stummelfüßen am Untergrund fest. Die Raue ergt damit auch, dass der Schermetzger letztendlich nur ein in der Evolution umgewandelte Wurm ist.

**Peristaltik**  
 Der Regenwurm erscheint weich, in Wirklichkeit ist er straff gespannt. Seine Bindegewebe und Muskeln spannen sich über den Flüssigkeitsräumen seines Inneren. Der unterirdische Zug der Muskeln verformt die hydraulischen Räume und verformt den Körper in der Weite lang dünn – kurz dick. Diesen Bewegungsablauf nennt man Peristaltik. Der Wurm kriecht auf diese Weise über den Boden oder bildet in der Erde, indem er sie zur Seite wegschiebt. Dieser Bewegungsablauf ist übrigens der gleiche, der im Darm den Darminhalt transportiert (= Darmperistaltik).

**Kriechende und schlängelnde Apparate**  
 Schlängeln und Kriechen in der beschriebenen Form inspirieren die Ingenieure zum Bau von neuartigen Apparaten. Roboter, die selbstständig im Boden oder in Gelände vorwärtskommen, wie Bäder oder Karten versagen oder Sonden die in den Körper eingeführt werden und keine Verletzungen hervorrufen, weil sie sich selbst und sanft ihren Weg suchen. Seit längerer Zeit schon sind peristaltische Pumpen in Betrieb, die Flüssigkeiten in gleicher Weise transportieren wie der Wurm sich bewegt.

**Schlängeln und Kriechen**

**Vorbild aus der Natur**

- Schlangen, Würmer, Schnecken: sie alle bewegen sich dank ihres besonderen Körpers effektiv auch im kleinsten Raum.

**Technische Umsetzung**

- Forscher entwickeln Roboter nach diesen Vorbildern, um Operationen schonender durchzuführen oder um unwegsame Räume zu erreichen.

### Lernen von der Natur

## Hydraulische Polster

**Vom Elefanten zum Laufen gelernt**  
 Sesseltiere wie ein Elefant: Eine besondere Konstruktion des Elefantenfußes inspiriert und revolutioniert das Schuhgewerbe. Gelpolsterungen für Schuhe aller Art sind mittlerweile weit verbreitet. Turnschuhe für Kurz- und Langstreckläufer mit Gelpolstern in der Sohle dämpfen dem Druck auf Ferse und Fußgelenk und erleichtern das Laufen. Abgeschaut wurde das beim Elefanten. Diese großen Landwirbeltiere, die es heute noch gibt, erscheinen schwerfällig und gewaltig, sie laufen jedoch auf sanften Sohlen. Ein dickes Fettpolster unter ihrem Fuß hilft, das enorme Gewicht zu tragen und zu balancieren und zugleich sorgt der breite Fuß für eine große Auflagefläche, so dass der Elefant auch in weichen Boden nicht versinkt.

**Er läuft auf Zehenspitzen**  
 Der Elefant läuft auf seinen Zehenspitzen. Der gesamte Fuß ist hochgerichtet, die Ferse ruht auf einem dicken hydraulischen Fettpolster. Dieses Fettpolster verteilt das über die Ferse und die Fußwurzel einwirkende Gewicht gleichmäßig auf die gesamte Sohlenfläche. Das Prinzip der Hydraulik ist hier umgesetzt: die einwirkende Kraft wird gleichmäßig auf die gesamte Fläche verteilt. Trotz des enormen Gewichtes des Elefantenfußes von bis zu 10 Tonnen lastet auf einem Quadratmeter Elefantenfuß weniger Gewicht als auf dem Absatz eines Stöckelschuhs einer schlanken Dame.

**Laufen wie ein Elefant**  
 Inspiriert von diesem Prinzip der Druckverteilung auf die gesamte Sohlenfläche haben einige Hersteller Laufschuhe konstruiert, die über Gelpolster in der Sohle das Körpergewicht auf die gesamte Fußfläche verteilen und damit zur Entlastung und Dämpfung beitragen. Es wirkt auch umgekehrt: die Kraft beim Aufsetzen verteilt sich gleichmäßig auf die gesamte Ferse und den Fußballen und nicht nur punktförmig. Dies soll gelenkschonend und kraftsparend sein.

**Bandscheiben-Polster in der Wirbelsäule**  
 Hydraulische Polster sind auch die Bandscheiben in der Wirbelsäule. Ein hydraulischer Gallertkern ist von einer dicken Bandscheibe umschlossen. Dieser Verbundmaterial vermittelt und verteilt die Kräfte und Gewicht, die auf den Wirbeln lasten und sorgt für weiche Bewegungsabläufe ohne Schmerzen. Wenn die Wirbelbälbe gelassen wird, verteilt die Bandscheibe den partiell wirkenden Druck auf die gesamte Wirbelsäule.

**Hydraulische Polster**

**Vorbild aus der Natur**

- Elefanten haben unter der Ferse ein Fettpolster, das ihr Gewicht auf die gesamte Fußsohle verteilt.

**Technische Umsetzung**

- Hersteller von Sportartikeln haben diese Eigenschaft umgesetzt und Laufschuhe mit Gelpolstern ausgestattet.



© Touch EMAS Ltd

### Lernen von der Natur Höher, weiter, schneller

**Auf dem Sprung**  
Wer möchte nicht eine enorme Schere statt einem hüften gleich mehrere Meter zurück legen, um sich wie im Märchen mit Siebenmeilenstiefeln schneller fortzubewegen?  
Bionik macht es möglich. Die Basen der Beine des Kängurus zum Vorbild, haben fröhliche Sportwissenschaftler die Springstiefel oder „Powerizer“ erfunden. Mit diesem Gerät lassen sich nicht nur akrobatische Sprünge und zum Teil weitaus größere Sprünge realisieren, sondern man kann auch einfach in großen Schritten eine lange Strecke sehr schnell überwinden – ein Märchen wurde wahr!

**Dem Känguru auf die Fäße geschaut**  
Wenn die Hinterfüße des Kängurus beim Sprung auf den Boden treffen und das ganze Körpergewicht abfangen, so wird eine starke elastische Sehne in den Beinen wie ein Gummiband gespannt. Kurz darauf folgt die nächste Absprung entspannt sich die Sehne (wie ein zurückschaltendes Gummiband) und treibt den Körper zusammen mit der Muskulatur der Beine nach vorn. Physikalisch gesehen wird ein Teil der Bewegungsenergie des Aufschlags in der Sehne gespeichert, indem sie gespannt wird. Beim Absprung wird sie wieder abgegeben, indem sie sich entspannt und.

**Kängurusehne aus Metall und Fiberylas**  
Die Funktionsweise von Springgelenken lässt sich an den Fußball der Kängurusehne an. Hier wird in einer elastischen Sehne aus Fiberylas die Langstreckenergie gespeichert und beim Absprung wieder genutzt. Dadurch werden Schrittlänge und Sprunghöhe vervielfacht, ohne viel mehr Energie zu verbrauchen. Durch einige Übung werden Kunststücke wie Salto oder Flip-Flop möglich.

**Ein großer Schritt für die Menschheit – die medizinische Anwendung**  
Springstiefel als Prothesen eröffnen eine konkrete medizinische Anwendung dieses Bionik-Produktes, sie führen aber auch zu Diskussionen über die Verhältnismäßigkeit von Prothesen. Prinzipiell können Springstiefel als Prothesen für amputierte Unterschenkel die Laufleistung der Prothesen-Träger sogar denen eines gesunden Menschen gegenüber verbessern. Relevant ist dies jedoch wohl nur für sportliche Leistungen.

### Lernen von der Natur Bionische Prothesen

**Cyborgs und kybernetische Maschinen**  
Die Schmeißfliegen-Linse ist ein kleiner, aber sehr wichtiger Organismus, der seine Aufgaben durch Prothesen erfüllt werden. Die Linse selbst ist unabhängig von allen damit einhergehenden biologischen Fragen und die geometrische Medientechnik nach vielen Stunden nehmen müssen, bis sie solche Geräte bauen kann. Weltweit durchaus von verschiedenen Seiten das Interesse an einem „Robocopy“ oder einem „Jacht-Milionen-Dollar-Mann“ besteht, wird effizient gefordert – wobei ich schon anatomische Studien im Laborwesen den entscheidenden Durchbruch für Kybernetik (Steuerungstechnik) und Prothetik bringe.

**Das Vorbild**  
Arme und Beine sind für die Prothetik Vorbild in zweifacher Hinsicht: Funktion und Aussehen sollen möglichst identisch nachgebildet werden. Wegen dieser besonderen Herausforderung sind Prothesen das Bionik-Thema schlechthin. Das folgende Zusammengefasst von Muskeln, Sehnen, Bändern, Gelenken und Knochen bei gleichen Aussehen und leichter Steuerung nachzuzugliedern ist das wesentliche Ziel der Prothesen-Bionik.

**Von der Esacklute...**  
Bereits seit Jahrtausenden fertigt man einfachen Ersatz für nicht mehr funktionstüchtige Gliedmaßen an. So wurden an altägyptischen Mumien künstliche Zehen zum Anschließen gefunden, und auch eine Handkante wie die des Captain Hook ist an sich kein Fortschrittsgedanke.  
Gottfried GALT von Berlin (1840-1962) wurde berühmt als der Ritter mit der eisernen Hand. Seine rund 1,5 kg schwere Prothese musste er mit der gesunden Hand bedienen um zwischen den beweglichen Fingern und dem beweglichen Daumen Gegenstände zu klemmen.

**...zum gelenkgesteuerten Arm**  
Die ersten von „Jemen“ steuerbaren Prothesen entwickelte der Chirurg Ferdinand Sauerbruch (1875-1961). Der „Sauerbruch-Arm“ wird über die Arterien des empfangenen Boten und seitliche Bewegung. Ab den 1950er Jahren stellte man pneumatische Prothesen her, die abgebildet wurden von elektrischen und schließlich den heutigen wartungsarmen und effizienten hydraulischen Prothesen.

**Gelenkersatz – Kunst-erneuerung im Alter**  
Prothesen werden mittlerweile nicht nur für verletzte Extremitäten, sondern auch für erkrankte oder verschleierte Gelenke entwickelt. Sie werden aus Edelstahl, Titan und Keramik gefertigt und gegen die ausgedehnten „Überschneidungen“ ausgerichtet, so dass schmerzfreie Bewegung wieder möglich wird.

### Lernen von der Natur Künstliche Muskeln

**Muskeln – Einzigartige Kraftaggregate**  
Ein Muskel setzt sich aus einer großen Anzahl von Myofibrillen zusammen. Jede einzelne besteht aus vielen langgestreckten (Elastin-) Molekülen, die sich ineinander schieben können wie Teile einer Federkapsel und so die Muskelfasern und damit den ganzen Muskel verkürzen. Die Fasern können sich jedoch nicht leicht selbst auseinander bewegen. Deshalb gehören zu einem Muskel immer ein entsprechender Gegenmuskel, der ihn wieder in die Länge zieht.  
Die Erfindung künstlicher Muskeln ist eines der großen Themen für die Bionik. Der Durchbruch steht noch aus, denn bis heute sind keine Materialien erfunden worden, die sich wie ein Muskel auf einen Reiz hin zusammenziehen können. Man simuliert die Muskelkontraktion auf andere Weise, z.B. durch Zuglösen oder pneumatische Leckde mit einem Querschnitt der benötigten Spindel. Mit dem Aufbau von Muskeln hat dies jedoch nichts zu tun.

**Skelette als Kraftüberträger**  
Zwischen Muskeln vermittelt Skelette als Kraftüberträger. Ziele sind der eine Muskel zusammen, so daher ein enger Gelenk. Die Kraft wird dabei über Gelenke und Skelette übertragen. Beim Menschen ist das Skelett aus festen Knochen gebaut. Bei vielen Tieren (wie dem Insekt) sind es flüssigkeitsgefüllte Räume, welche die Muskulatur übermitteln. Hier spricht man von Hydroskeletten.

**Vision künstliche Muskeln**  
Künstliche Muskeln werden schon seit einigen Jahren entwickelt. Bislang funktionieren sie pneumatisch, d.h. die Muskelkontraktion wird durch eine Kontraktion aus Spindel und Druckluft simuliert („Luftkissen-Muskel“). In manchen Robotern werden solche Muskeln schon verbaut. Hydraulische selbstkontrollierende künstliche Muskeln, wie im Film „Avatar 2“ und zwar noch Zukunftsmusik, für die Bionik eröffnet sich dem jedoch ein Feld von Möglichkeiten, komplexe Maschinen ohne verschleißende Teile zu bauen.  
Die Anwendungsgebiete künstlicher Muskeln sind vielfältig. Von Roboter-Armen und anderen Greif- und Bewegungshelfen bis hin zu neuartigen Prothesen reicht das Feld denkbarer Einsatzgebiete.

### Lernen von der Natur Hier sind die Roboter

**Der „essbare“ MENSCH**  
Roboter, als dem Menschen ähnliche Maschinen, sind ein alter Rhetorik-Topos. Diese ungerühmte Motivation ist schon jetzt weit verbreitet. Die meisten Roboter sind dem Menschen nicht ähnlich, aber sie verrichten ihre Arbeit in der Industrie zuverlässiger, schneller und besser als der Mensch es jemals konnte.  
Der Körperbau des Menschen eignet sich kaum als Vorlage für den Bau von Maschinen. Da sind andere Organismen vorkommender: Insekten, Spinnen, Würmer, Schlangen, sogar Quallen oder Pinguine sind Vorbilder aus der Natur für Roboter.

**Sechs Beine sind besser als vier**  
Die Anzahl der Beine ist für stabiles Laufen ausschlaggebend. Der Mensch mit seinen zwei Beinen muss seine Position ständig durch Muskeln stabilisieren. Die Kuh mit ihren vier Beinen hat es einfacher, doch wenn sie läuft wird sie auch nur von drei oder zwei Beinen getragen. Insekten, Spinnen und Krabben sind hier stabiler: mindestens drei, meist sogar mehr Beine haben. Bodenkontakt und so können sich diese Tiere auch in schwierigem Gelände sicher bewegen.

**Laufende Maschinen**  
Roboter für schwieriges Gelände werden daher in Anlehnung an sechs- oder mehrbeinige Gliederkriecher konstruiert. Sogar Fahrzeuge mit sechs Beinen oder mehr sind wesentlich geländegängiger als die klassische vierbeinige. Für besonders anspruchsvolle Aufgaben kommen wurmartige Roboter oder Fahrzeuge mit Kettenantrieb in Frage, da sie breittreffenden Bodenkontakt haben.

**Der Menschen-Roboter**  
Der menscheliche Roboter findet sein Dasein vor allem in Science-Fiction-Filmen, Zukunftsfantasien oder in den Forschungsinstituten, wo menschliche Bewegung erlesene und technisch umgesetzt werden soll. Dennoch ist gerade der Roboter mit dem Menschensicht eine besondere Faszination aus.  
Der menscheliche Roboter findet sein Dasein vor allem in Science-Fiction-Filmen, Zukunftsfantasien oder in den Forschungsinstituten, wo menschliche Bewegung erlesene und technisch umgesetzt werden soll. Dennoch ist gerade der Roboter mit dem Menschensicht eine besondere Faszination aus.

**Höher, schneller, weiter**  
**Vorbild aus der Natur**  
☞ Kängurus können so hoch und weit springen, weil eine lange Sehne beim Aufkommen die Energie speichert und beim Absprung wieder freisetzt.  
**Technische Umsetzung**  
☞ Der Mensch rüstet sich mit „Sieben-Meilen-Stiefeln“ auf, die nach dem gleichen Prinzip funktionieren. Was noch ein Freizeitspaß ist, kann in Zukunft vielleicht auch sinnvoll genutzt werden.

**Prothesen**  
**Vorbild aus der Natur**  
☞ Der menschliche Körper ist ein Zusammenspiel von Knochen, Muskeln, Sehnen und Haut. Der Verlust eines Armes, Beines oder Erkrankung eines Gelenkes ist folgeschwer.  
**Technische Umsetzung**  
☞ Schon früh wurden Prothesen entwickelt, die helfen sollten, am normalen Alltag wieder teilzunehmen. Die Forschung bringt immer modernere Prothesen auf den Markt, die letzten Endes Ebenbilder unserer Gliedmaßen sind.

**Künstliche Muskeln**  
**Vorbild aus der Natur**  
☞ Muskeln sind sehr kompliziert aufgebaut und müssen lange ihre Arbeit verrichten. Sie sind kleine Wunder, wenn man bedenkt, wie gering der Verschleiß bei so viel Nutzung und Kraftübertragung ist.  
**Technische Umsetzung**  
☞ Heute versuchen Forscher künstliche Muskeln zu bauen, um sie ähnlich wie hydraulische Arme in der Wirtschaft einzusetzen – die Projekte erscheinen endlos. Vor allem in der Robotik sind sie gefragt, da sie helfen, Arbeitsabläufe zu präzisieren.

**We are the Robots**  
**Vorbild aus der Natur**  
☞ Menschen und Tiere funktionieren nach komplizierten Abläufen, die ihr Körper problemlos umsetzt. Dabei hat jeder Organismus seine Stärken und Schwächen, vorallem bei der Fortbewegung gibt es große Unterschiede.  
**Technische Umsetzung**  
☞ Roboter sollen Bewegungsabläufe und Fähigkeiten haben wie ihre Vorbilder, damit man sie statt einem Tier oder Mensch in gefährlichen Situationen einsetzen kann, aber auch, um unseren Alltag zu erleichtern.



# KÖRPERWELTEN

der Tiere



www.koerperweltendertiere.de

**Arts & Sciences**  
**Exhibitions and Publishing GmbH**  
Im Bosseldorn 17  
69126 Heidelberg

Telefon: 06221 / 3311 - 0  
Telefax: 06221 / 3311 - 12

tiere@plastination.com  
www.koerperweltendertiere.de

**MORPHISTO®**  
**Evolutionsforschung und Anwendung GmbH**  
Weismüllerstraße 45  
60314 Frankfurt am Main

Telefon: 069 / 400 3019 - 60  
Telefax: 069 / 400 3019 64

info@morphisto.de  
www.morphisto.de