

# Bio logie Tech n i k

Unterrichtsmaterialien für Schulen



**TECHNOSEUM**

Landesmuseum  
für Technik und Arbeit  
in Mannheim



# INHALT

	Vorwort	3
	Bionik: Biologie und Technik – wie passt das zusammen?	4
	Informationen zur Ausstellung 	9
	Grundrissplan	14

## Themenkomplex

	Nutzen und Schonen	15
	Fliegen und Schwimmen	27
	Fliegen	27
	Der Strömungswiderstand beim Fliegen und Schwimmen	34
	Optimieren	37
	Erkennen	43
	Bauen	49
	Laufen, Greifen, Haften	55
	Laufen	55
	Greifen und Haften	58



Falten und Verpacken

61



Bionik: Ein Blick zurück und ein Blick nach vorne

70

Lösungen

74

Literatur

82

Bildnachweise

86

Impressum

88

# Vorwort

Bionik, die spezifische Verbindung von Biologie und Technik, stellt ein interdisziplinäres Forschungsgebiet dar: Eine intensive Grundlagenforschung naturwissenschaftlicher Phänomene geht einher mit einer engen Zusammenarbeit von Partnern aus Industrie, Wirtschaft, Forschung und Design. Die zugrundeliegende Philosophie zielt darauf ab, die Natur als Inspirationsquelle für technische Innovationen und Optimierungen zu nutzen.

Das Themengebiet der Bionik ist bereits seit vielen Jahren auch ein Arbeitsfeld des TECHNOSEUM; bereits in den 1990er Jahren wurde eine Wanderausstellung konzipiert, die im Laufe einiger Jahre eine überaus umfangreiche Resonanz an vielen Ausstellungsorten erzielen konnte. Vor diesem Hintergrund ist jetzt im TECHNOSEUM ein Abschnitt der Dauerausstellung diesem Thema gewidmet.

Obwohl Bionik kein eigenes Unterrichtsfach ist, bieten sich im naturwissenschaftlichen Unterricht zahlreiche Anknüpfungspunkte an, wobei das vorliegende Heft einen ersten Überblick über die unterschiedlichen Themengebiete der Bionikausstellung im TECHNOSEUM ermöglicht. Die vorgeschlagenen Experimente und Aufgaben sind im Hinblick auf die Bildungsplanbezüge der Grundschule sowie der Sekundarstufe I und II ausgewählt worden und beziehen sich auf die Bundesländer Baden-Württemberg, Hessen und Rheinland-Pfalz. Das Heft beginnt mit einer Einführung in das Forschungskonzept der Bionik. Es folgen Informationen über die Bionikausstellung im TECHNOSEUM mit sieben verschiedenen Forschungsschwerpunkten, die in einzelnen Kapiteln vorgestellt werden. Jedes Kapitel beginnt mit möglichen Bezügen zum Bildungsplan und einer kurzen Zusammenfassung der jeweiligen Ausstellungseinheit. Vertiefende Hintergrundinformationen sowie Experimente und Aufgaben zur Vor- und Nachbereitung eines Museumsbesuches helfen, die einzelnen Aspekte des Themas zu veranschaulichen.

Rückmeldungen sowie kritische Ergänzungen nehmen wir gern entgegen. Bitte richten Sie diese an [paedagogik@technoseum.de](mailto:paedagogik@technoseum.de). Wir hoffen, dass Sie diesem Heft die eine oder andere Anregung für Ihren Unterricht entnehmen können, und würden uns freuen, Sie mit Ihrer Schulklasse sowohl in der Bionikausstellung als auch bei anderer Gelegenheit im TECHNOSEUM begrüßen zu dürfen.

Hartwig Lüdtko  
Direktor

# Bio <sup>logie</sup> Tech **nik**

## – wie passt das zusammen?

### Was ist Bionik?

Bionik (engl: biomimetics, biomimicry) stellt eine faszinierende Wissenschaftsdisziplin dar, bei der Biologen, Ingenieure, Architekten, Chemiker, Physiker und Materialwissenschaftler fächerübergreifend zusammenarbeiten.

Prof. Werner Nachtigall, der als einer der Begründer der Bionik in Deutschland gilt, definiert Bionik als Wissenschaftsdisziplin, die sich systematisch mit der technischen Umsetzung und Anwendung von Konstruktionen, Verfahren und Entwicklungsprinzipien biologischer Systeme befasst. Dazu gehören auch Aspekte des Zusammenwirkens belebter und unbelebter Teile und Systeme sowie die wirtschaftlich technische Anwendung biologischer Organisationskriterien (nach Nachtigall, 2002).

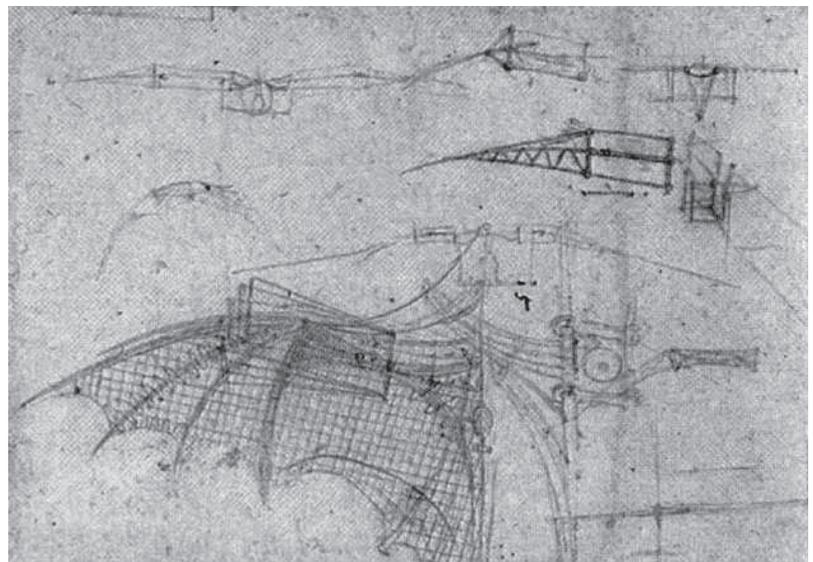
### Geschichte der Bionik

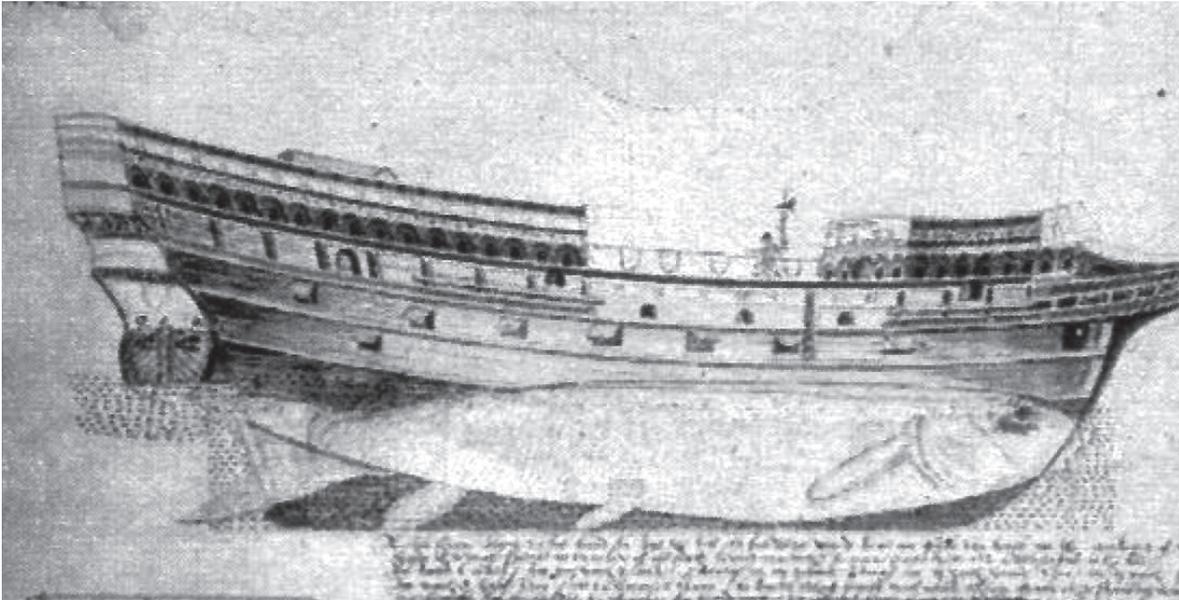
1960 wurde der Begriff „bionics“ zum ersten Mal auf einer Tagung in Amerika verwendet. Jedoch zeigt der Blick in die Vergangenheit, dass bereits seit vielen hundert Jahren Naturbeobachtungen zu Ideen und Entwicklungen führten, die aus heutiger Sicht eine bionische Herangehensweise darstellen. Im Folgenden seien nur ein paar Beispiele genannt.

Bekannt sind die Skizzen von Leonardo da Vinci (1452 – 1519). Seine Konstruktionsskizzen eines Flugapparates zeigen deutliche Ähnlichkeiten zu einem Vogelflügel.

Während da Vincis Flugstudien nie praktisch umgesetzt wurden, hielten Matthew Bakers (1530-

*Da Vincis Studien für die Entwicklung einer Flugmaschine*





Matthew Bakers Skizze zur Optimierung der Schiffsform

1613) Vorschläge zur Reduktion des Strömungswiderstandes und Verbesserung der Manövrierfähigkeiten Einzug in den Schiffsbau. Nach dem Vorbild von Dorschkopf und Makrelenschwanz baute er die nach ihm benannte Baker-Galeone. Um 1719 erkannte der französische Forscher René Antoine Ferchaut de Réaumur, dass Wespen aus Holzfasern Papier herstellen. Bis diese Erkenntnis jedoch industriell umgesetzt wurde, sollten noch über 100 Jahre vergehen. Otto Lilienthal war der Erste, der aus der Naturbeobachtung Experimente ableitete und die daraus gewonnenen Erkenntnisse in ein technisches Objekt, einen Gleitapparat, umsetzte. Er kann deshalb als erster wissenschaftlich arbeitender Bioniker angesehen werden.

Heutzutage untergliedert sich die Bionik in Abhängigkeit des Forschungsschwerpunkts in verschiedene Teilbereiche. In der Bionikausstellung des TECHNOSEUM werden die Themenfelder Nutzen und Schonen; Fliegen und Schwimmen; Optimieren; Erkennen; Bauen; Laufen, Greifen, Haften sowie Falten und Verpacken näher beleuchtet.

### **Der Weg vom biologischen Vorbild zur technischen Anwendung**

Prinzipiell werden zwei Herangehensweisen bei der Entwicklung bionischer Produkte unterschieden: der „Bottom-Up-Prozess“ und der „Top-Down-Prozess“.

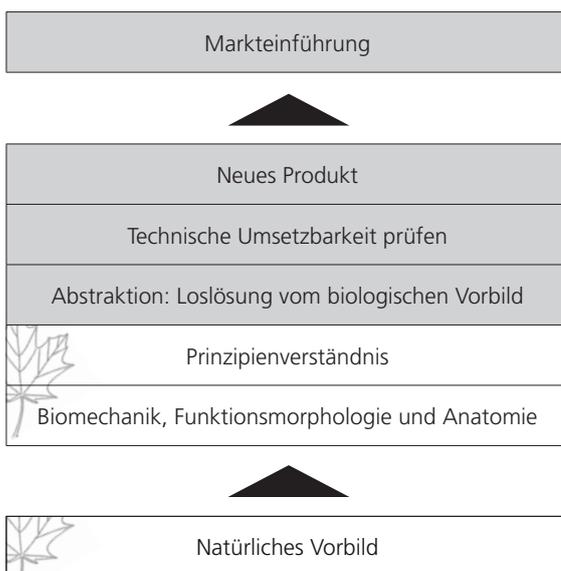
Beim „Bottom-Up-Prozess“ wird zunächst auf der Ebene der Grundlagenforschung eine biologische Fragestellung genau untersucht. Ist dies gelungen, wird überlegt, ob und wenn ja, in welchem Rahmen die gewonnenen Erkenntnisse eine Anwendung für den Menschen erlauben. Ein sehr einfaches und klassisches Beispiel für einen „Bottom-Up-Prozess“ ist die Erfindung des Klettverschlusses, der heute aus dem alltäglichen Leben nicht mehr wegzudenken ist. Dem Schweizer George de Mestral fiel bei Spaziergängen mit seinem Hund auf, dass dieser häufig mit Kletten bedeckt war. Zuhause untersuchte er diese stacheligen Kugeln und stellte fest, dass die Spitzen der Kletten häkchenförmig ausliefen. Jahre später entwickelte er von dieser Erkenntnis ausgehend den Klettverschluss. Die eine Seite des Klettverschlusses ist mit lauter feinen Häkchen versehen, während die Gegenseite mit kleinen Schlaufen ausgestattet ist. Beim Zusammendrücken des Klettverschlusses greifen die Häkchen in die Schlaufen und nur ein kräftiger Zug kann sie wieder herauslösen.

Beim „Top-Down-Prozess“ steht am Anfang ein Produkt beziehungsweise eine technische Fragestellung, für die es eine Verbesserung oder Lösung zu finden gilt. Davon ausgehend suchen Bioniker gezielt in der Natur nach Vorbildern und Ideen. Inspiriert von diesen Ideen gelangen sie durch Abstraktion und Modifikation schließlich zu einem technisch optimierten Produkt.



Ein Ergebnis dieser Vorgehensweise stellt das Verschattungssystem Flectofin® dar. Als klassischer Sonnenschutz gelten Markisen, die aus horizontal angeordneten Lamellen bestehen. Dieses System hat den Nachteil, dass es aufgrund zahlreicher Scharniere sehr wartungsintensiv ist. Die Suche nach einer besseren Lösung endete für eine Forschergruppe aus Freiburg bei der Paradiesvogelblume *Strelitzia reginae*, welche durch kleine Vögel bestäubt wird. Die Vögel lassen sich auf zwei verwachsenen Blütenblättern nieder, die aufgrund des Gewichts der Vögel nach unten klappen und den Pollen der Blume freisetzen. Der Klappmechanismus funktioniert – ohne Scharnier – bis zu 3000 Mal. Tatsächlich ist es gelungen, den Strelitzien-Effekt auf ein Fassadenverschattungssystem zu übertragen, das ohne Scharniere auskommt.

Sowohl beim „Bottom-Up-Prozess“ als auch beim „Top-Down-Prozess“ läuft die Entwicklung von Produkten stufenweise ab. Ausgehend von einem biologischen Vorbild oder einer technischen Fragestellung, folgt eine Phase der Grundlagenforschung. Die gewonnenen Erkenntnisse können, im Idealfall, durch Abstraktion technisch umgesetzt werden und zu einem neuen oder verbesserten Produkt führen, das schließlich erfolgreich auf dem Markt etabliert werden kann.



„Bottom-Up-Prozess“



„Top-Down-Prozess“

## Was ist Bionik?

(Kl. 5 – 13)

### Arbeitsauftrag

Führt in der Klasse eine Umfrage durch!

1. Wie viele Schülerinnen und Schüler der Klasse wissen, was Bionik ist?

---

2. Wie haben sie davon erfahren?

---

---

3. Kennen die Schülerinnen und Schüler „bionische“ Produkte? Wenn ja, welche?

---

---

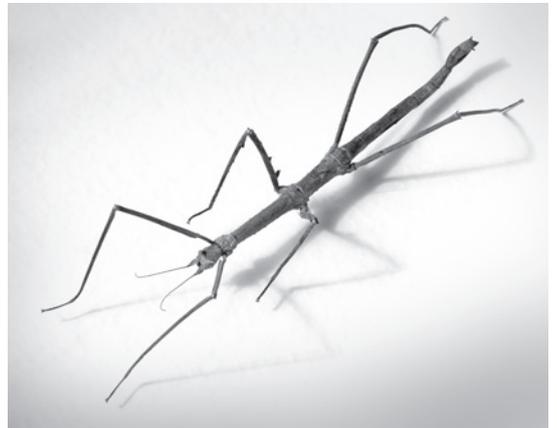
---

4. Betrachtet die nebenstehenden Abbildungen und überlegt Euch eine Definition für Bionik!

---

---

---





## Vom natürlichen Vorbild zur technischen Anwendung

(Kl. 5 – 13)

### Arbeitsauftrag

Informiert Euch in der Bionikausstellung des TECHNOSEUM, welche Vorbilder der Natur den Menschen zu technischen, architektonischen und künstlerischen Anwendungen inspirierten!

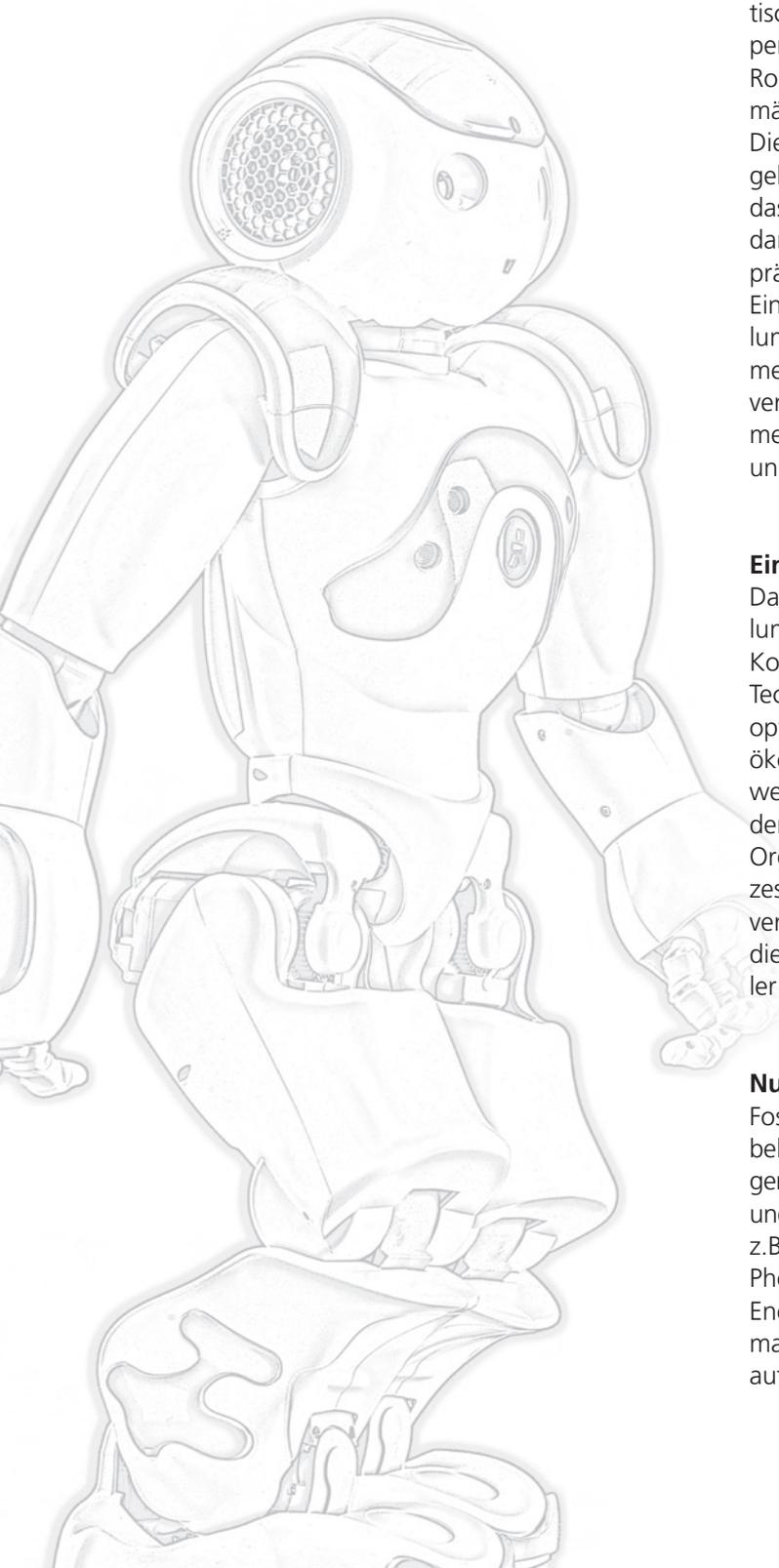
### Durchführung

Vervollständigt die beiden linken Spalten der Tabelle und vermerkt in der rechten Spalte, ob die technische Anwendung

- zu einem verkäuflichen Produkt führte,
- sich noch in der Entwicklung befindet,
- in einem Prototyp/Modell resultierte.

Natürliches Vorbild	Technische Anwendung	Entwicklungsstand der technischen Anwendung
Lotusblume		
	Fassadenverschattung	
Salvinia		
Photosynthese		
	Transparente Wärmedämmung	
	Akustische Kamera	
	Brandmelder	
Selbstorganisation		
Vogel		
	Bauwerke	
Haifischschuppen		
	Evolutionsstrategie	
	Laufmaschinen	

## Informationen zur Ausstellung



Die Ausstellung zum Thema Bionik befindet sich im TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit – auf der Ebene F.

Nach einer Einführung in die Bionik erwarten die Besucherinnen und Besucher sieben Themeninseln (Nutzen und Schonen; Fliegen und Schwimmen; Optimieren; Erkennen; Bauen; Laufen, Greifen, Haften sowie Falten und Verpacken), die sich mit unterschiedlichen Forschungsgebieten der Bionik beschäftigen. Zusätzlich laden vier Experimentierstationen dazu ein, sich mit ausgewählten Themen experimentell auseinanderzusetzen. Der humanoide Roboter „Nao“ wird von TECHNOscouts in regelmäßigen Abständen vorgeführt.

Die Gemeinsamkeit aller vorgestellten Themengebiete ist, dass zunächst anhand von Exponaten das Vorbild aus der Natur erläutert wird und dann daraus abgeleitete, technische Anwendungen präsentiert werden.

Einen festgelegten Rundgang durch die Ausstellung gibt es nicht, da die verschiedenen Themenfelder der Bionik unabhängig voneinander verstanden werden können. Aufgrund der Themenvielfalt spricht die Ausstellung Schülerinnen und Schüler aller Jahrgangsstufen an.

### Einführung

Das Ziel der bionischen Forschung und Entwicklung ist das innovative Übertragen, nicht das Kopieren von Problemlösungen der Natur in die Technik. Die in Jahrmillionen entwickelten und optimierten „Erfindungen der Natur“ sollen im ökologischen wie im ökonomischen Sinne genutzt werden. In der Natur findet man vielfältige Vorbilder: biologische Prozesse, Materialien, Strukturen, Organismen, Funktionen und natürlich den Prozess der Evolution selbst. Eine kurze Filmsequenz verdeutlicht den Besucherinnen und Besuchern die Ideenvielfalt der Natur, von der der Mensch lernen und sich inspirieren lassen kann.

### Nutzen und Schonen

Fossile Brennstoffe sind nur begrenzt verfügbar und belasten die Umwelt und unser Klima. Dies ist Grund genug, nach umweltverträglichen Energieformen und effektiveren Nutzungen zu suchen. So wird z.B. das Prinzip der Photosynthese eingesetzt, um Photovoltaik-Zellen für die Gewinnung elektrischer Energie zu entwickeln. Größte Erwartungen setzt man dabei in Farbstoffzellen, die ohne teures und aufwendig zu verarbeitetes Silizium funktionieren.

Eine weitere Möglichkeit, um fossile Brennstoffe einzusparen, ist beim Bau von Niedrig-Energie-Häusern die Sonnenenergie direkt als Wärmequelle zu nutzen. Auch die Entwicklung von speziellen Oberflächenstrukturen nach dem Vorbild der Natur kann zum Umweltschutz beitragen. Die Blattoberfläche der Lotuspflanze ist stark wasser- und schmutzabweisend. Dieser Lotus-Effekt konnte erfolgreich imitiert werden und hilft nun dabei, chemische Reinigungsmittel zu sparen.

Eine weitere Pflanze, die Bioniker inspiriert, ist der Schwimmpflanz *Salvinia molesta*. Winzigste Härchen bilden auf seiner Blattoberfläche schneebesenartige Strukturen. Wird der Schwimmpflanz unter Wasser gezogen, entsteht zwischen den Härchen ein stabiles Luftpolster, das durch die wasseranziehenden „Schneebesen“-Spitzen zuverlässig auf der Blattoberfläche zusammengehalten wird. Die Möglichkeiten einer technischen Anwendung des *Salvinia*-Effekts werden momentan noch intensiv untersucht. Angedacht ist, den *Salvinia*-Effekt auf Schiffsrümpfe zu übertragen. Das dort entstehende Luftpolster könnte wegen der Reduktion des Reibungswiderstandes den Treibstoffbedarf der Schiffe merklich reduzieren. Neben dem Wasserwiderstand kostet auch die Anhaftung von Seepocken (Fouling) an Schiffen Antriebsenergie. Als Gegenmaßnahme (Anti-Fouling) wurden Schiffsrümpfe mit giftigen Substanzen behandelt, die das Anwachsen der Seepocken verhindern. Seit einigen Jahren sind diese Anstriche jedoch aus Umweltschutzgründen verboten und umweltverträglichere Lösungen werden gesucht: So zeigte die Untersuchung der Schuppenoberfläche von einigen Haiarten, dass ihre Schuppen mit sehr feinen Rillen und Zähnchen bedeckt sind, die den Bewuchs von Seepocken verhindern. Diese Oberflächenstruktur versuchen Bioniker durch Lacke zu imitieren, um damit einen umweltfreundlichen Schutz vor Seepocken herzustellen.

Beispiele für Exponate in der Ausstellung:

- Grätzelsolarzelle in Betrieb
- Lotus-Pflanzenmodell
- Schiffsmodell mit *Salvinia*-Effekt.

Experimente zum Mitmachen:

- Testen des Lotus-Effekts
- Beobachtung des *Salvinia*-Effekts an lebenden Pflanzen
- Betrachtung von Haifischschuppen unter dem Stereomikroskop.

## Fliegen und Schwimmen

Jahrhundertlang blieb der Traum der Menschen, sich vogelgleich in die Lüfte zu erheben, eine Vision. Erst Otto Lilienthal erfüllte diesen Traum. Von da an entwickelte sich die „Fliegekunst“ praktisch unvermindert bis zur Gegenwart.

Heute steht das Fortbewegen mit möglichst wenig Energie im Vordergrund des Interesses. Und wieder ist die Natur voller Vorbilder: Zugvögel legen auf einer einzigen Reise 20.000 Kilometer und mehr zurück, Wanderalbatrosse fliegen in ihrem Leben mehrere Millionen Kilometer weit und Lachse schwimmen zum Laichen einen 2.000 Kilometer langen Fluss stromaufwärts. Die Analyse solcher natürlichen Vorbilder zeigt, wie Formen und Oberflächen den Strömungswiderstand reduzieren können.

Bionik hilft auch, Fluglärm zu reduzieren. Für Eulen zum Beispiel ist es wichtig, beim Jagen nahezu geräuschlos zu fliegen. Den geräuschlosen Flug ermöglicht ihnen ihr Gefieder. Da die Beutetiere die Eulen nicht hören können, ist eine rechtzeitige Flucht ausgeschlossen.

Beispiele für Exponate in der Ausstellung:

- Modell des von Leonardo da Vinci vorgeschlagenen Flugapparats
- Vortriebserzeugung beim Schwingenflug der Vögel
- Flüsterventilator nach dem Vorbild der Eule
- Flugsamen.

Experimente zum Mitmachen:

- Versuche zum Strömungswiderstand mit einem Fahrrad-Ergometer
- Herstellung von künstlichen Flugsamen-Flugzeugen.

## Optimieren

Während technische Konstruktionen meist gezielt entstehen, schlägt die Natur andere Wege ein: Sie konstruiert durch Versuch und Irrtum. Zufällig auftretende kleine Änderungen im Erbgut, sogenannte Mutationen, werden durch Selektion bewahrt oder verworfen, in Abhängigkeit davon, ob sie einen Überlebensvorteil bringen oder nicht. Mit dieser Strategie von Versuch und Irrtum lassen sich auch auf dem Felde der Technik Probleme lösen und Produkte optimieren. Das Verfahren nennt man Evolutionsstrategie.

In der Ausstellung informiert ein Film über die Grundprinzipien der Evolutionsstrategie. Im Anschluss daran kann man diese in Computersimulationen anwenden. Es gilt zum Beispiel Frösche zu tarnen oder eine optimale Brückenkonstruktion zu erstellen.

### Erkennen

Ohne Sensoren ist keine technische Automatisierung möglich. Die Natur kennt vielerlei Rezeptoren, die auf Licht, Schall, Berührung und Erschütterung sowie elektrische und magnetische Felder ansprechen. Der Mensch besitzt nur einen Teil dieser Rezeptoren, die häufig weniger empfindlich sind, als dies in der Tierwelt der Fall ist. Zum Beispiel kann der Mensch Infrarotstrahlung in Form von Wärme fühlen. Manche Schlangenarten besitzen jedoch sogenannte Grubenorgane, womit sie Infrarotstrahlung „sehen“ können. Dies hilft ihnen bei der Jagd von Beutetieren.

Auch hält die Natur verschiedene Lösungen parat, um Schwingungsquellen erkennen zu können. Eulen orten Geräusche von allen Wirbeltieren am besten und finden auch in völliger Dunkelheit noch eine Maus in 60 Metern Entfernung. Nach demselben Ortungsprinzip funktioniert die akustische Kamera. Sie ortet selbst eine Teil-Geräuschquelle, die vom Hauptgeräusch überdeckt wird, aber psycho-akustisch oft wichtiger ist.

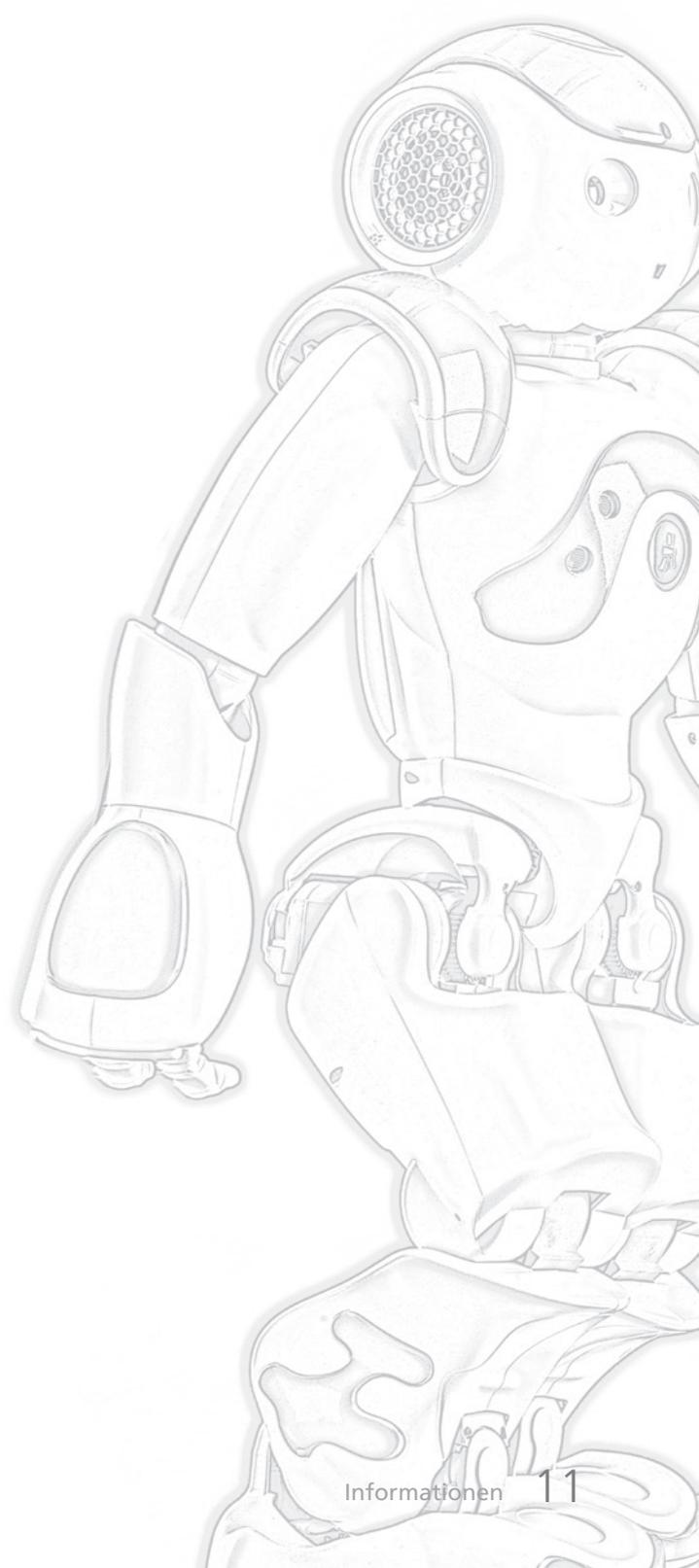
Beispiele für Exponate in der Ausstellung:

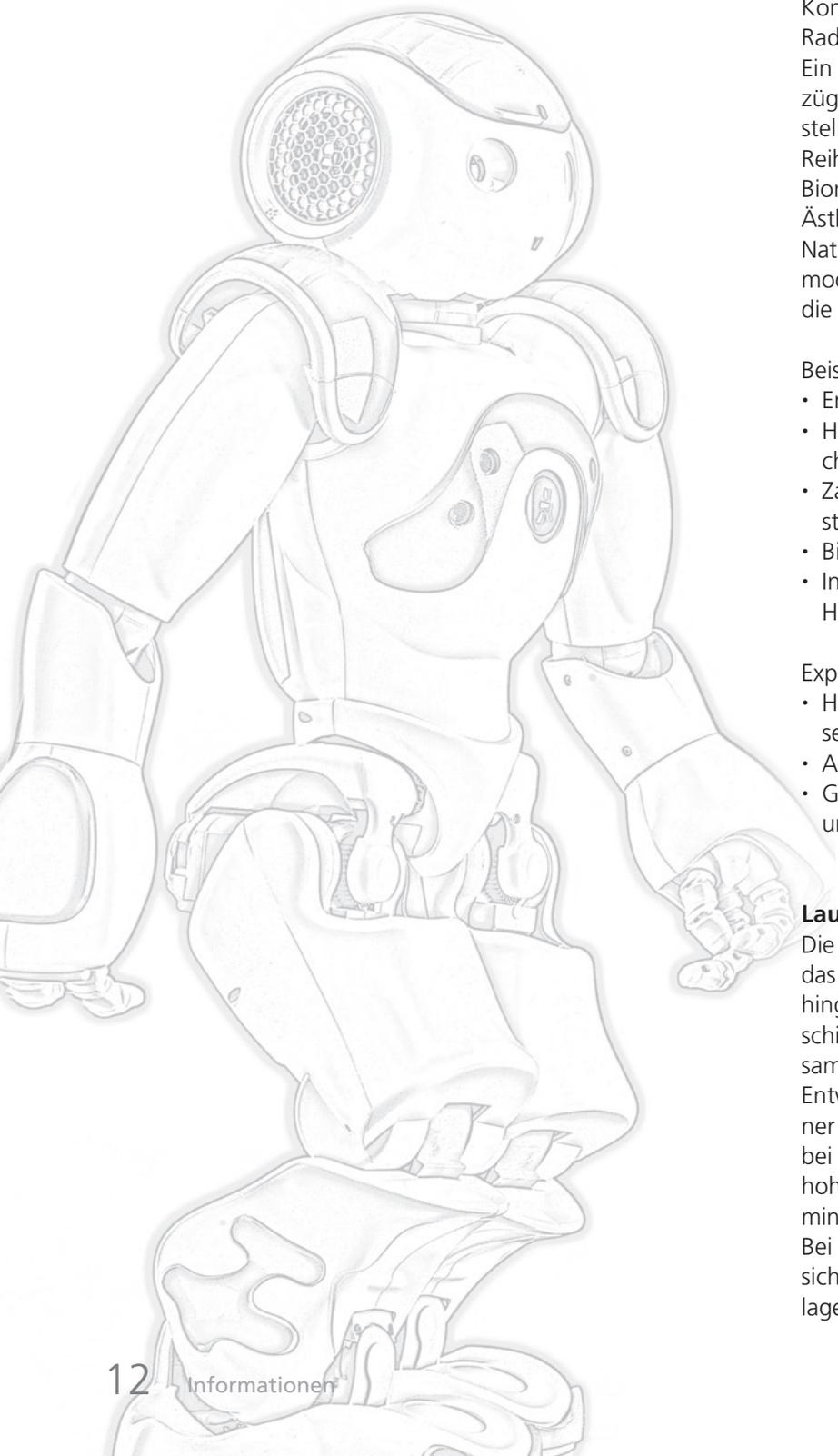
- Schwarzer Kiefernprachtkäfer (feuerliebender Käfer)
- Prototyp eines Infrarotsensors nach dem Vorbild des Schwarzen Kiefernprachtkäfers
- Roboter mit Rundumblick à la Stubenfliege (Robot Mouche II)
- Akustische Kamera.

### Bauen

Der Aufbau von Pflanzen und Tierskeletten gilt als meisterliche Konstruktion der Natur. Die nötige Festigkeit wird bei kleinstmöglichem Gewicht und geringstem Materialaufwand realisiert.

Das bionische Bauteile-Design überträgt dies auf technische Leichtbau-Konstruktionen. Die damit verbundenen Vorteile sind ein reduzierter Rohstoffverbrauch, eine kostengünstigere Herstellung und später eine einfachere Entsorgung. Bei Fahrzeugen hilft die Leichtbau-Konstruktion Kraftstoff einzusparen.





Kieselalgen haben, wie in der Ausstellung zu sehen ist, Baubioniker inspiriert. Die Zellen der Kieselalgen (je nach Art können diese wenige Mikrometer bis Millimeter groß werden) bilden zum Schutz gegen Fressfeinde stabile und äußerst formenreiche Zellwände aus Silikat. Beeindruckend sind der minimale Materialaufwand, die leichte Konstruktion der Schalen und die damit einhergehende Festigkeit. Untersuchungen der Kieselalgenart *Arachnoidiscus spec.* führten zur Konstruktion einer leichten, aber extrem stabilen Radfelge mit formschönem Design.

Ein Material mit überragenden Eigenschaften bezüglich der Festigkeit ist Spinnenseide. Die Herstellung nach natürlichem Vorbild eröffnet eine Reihe von Hightech-Anwendungen.

Bionisches Industrie-Design nutzt aber auch die Ästhetik und harmonische Formgestaltung der Natur: Seifenhaut-, Hängernetz- und Gitterschalenmodelle führen in der Architektur zu Lösungen, die ästhetisch wie auch funktional überzeugen.

Beispiele für Exponate in der Ausstellung:

- Endoprothesen
- Hängernetz- und Gitterschalenmodelle des Architekten Frei Otto
- Zahlreiche Beispiele für ideale natürliche Konstruktionen (Bäume und Knochen)
- Bionisch optimierte Bauteile
- Informationseinheit über die biotechnologische Herstellung von Spinnenseide.

Experimente zum Mitmachen:

- Herstellung von Minimalflächen mit Seifenblasenlösung
- Anwendung der "Methode der Zugdreiecke"
- Gewichtsvergleich zwischen konventionellem und bionisch optimiertem Bauteil.

### **Laufen, Greifen, Haften**

Die Natur bevorzugt für Fortbewegungen zu Lande das zwei- oder mehrbeinige Laufen. In der Technik hingegen dominiert das rotierende Rad. Laufmaschinen werden speziell für den Einsatz in unwegsamem Gelände erforscht. Vorbild für bionische Entwicklungen waren zuerst Acht- und Sechsheiner – also Spinnen und Insekten. Der Vorteil dabei ist, dass diese Tiere bei allen Laufphasen eine hohe Kippsicherheit aufweisen, weil sich stets mindestens drei Beine am Boden befinden.

Bei vier- oder zweibeinigen Laufmaschinen lässt sich nur durch ständige kontrollierte Gewichtsverlagerung ein Kippen verhindern.

Natürliche Lauforgane dienen auch zum Klettern oder gar Überkopflaufen an der Decke, wie zum Beispiel bei der Fliege oder beim Gecko. Bionisch kann man hieraus flexible Greifsysteme oder lös-bare Verbindungssysteme ableiten. Verblüfft hat eine kürzlich entdeckte Spinne: Für beschleunigtes Fortkommen wechselt sie vom Laufen auf wiederholtes Radschlagen. Technisch umgesetzt ergeben sich hier interessante Kompromisse für sandiges Gelände: Räder zum Abrollen und Beine zum Abstoßen.

Beispiele für Exponate in der Ausstellung:

- Künstlicher Muskel
- Handprothese mit Fluidaktoren
- Sechsbewegiger Laufroboter Lauron
- Vierbeiniger Laufroboter Aramies
- Klebeband mit „Gecko-Haftung“.

Vorführstation:

In regelmäßigen Abständen führen die TECHNOscouts den humanoiden Roboter „Nao“ vor. Er kann auf zwei Beinen laufen, sprechen, tanzen und nach einem Sturz wieder selbstständig aufstehen.

### Falten und Verpacken

Faltstrukturen finden sich überall in der Natur. Sie erfüllen die unterschiedlichsten Aufgaben. In den meisten Fällen helfen sie Platz zu sparen, manchmal sollen sie aber auch Platz schaffen – etwa für Wachstum oder Bewegung.

Faltstrukturen können auch schützen oder festigen: Nach dem Palmblatt-Prinzip entstehen Faltflächen, kinetisch gekoppelt, aufgefaltet formstabil und dennoch zuverlässig auf- und zusammenfaltbar. Technisch angewandt wird dies in der Raumfahrt, der Architektur oder in der Verpackungsindustrie. Für leichtgewichtige und stabile Konstruktionen nutzen Natur und Technik Faltstrukturen wegen ihrer festigkeitssteigernden Wirkung. Mit der Wölbstrukturierung geschieht dies in natürlicher Selbstorganisation fast von selbst. Es lässt sich damit nicht nur Gewicht sparen, sondern auch Material und Energie.

Ein Teil der Blütenblätter der Paradiesvogelblume Strelitzie umhüllt schützend die Staubblätter dieser Blume. Landet ein Vogel auf der Blume, um ihren Nektar zu trinken, löst er durch sein Gewicht einen Klappmechanismus an der Strelitzie aus. Dieser bewirkt, dass die Staubblätter umhüllenden Blütenblätter zur Seite klappen, der Vogel so mit den Pollen in Kontakt kommt und diese weiter verbreitet.

Dieser Klappmechanismus wurde auf eine neue Art von Fassadenverschattung übertragen. Das „Flectofin®“-System besteht aus vertikalen Lamellen, welche Gebäudefassaden vor Sonneneinstrahlung schützen. Eine interessante Alternative zu den klassischen, aufgrund der notwendigen Scharniere, sehr wartungsintensiven Jalousien. In den Knautschzonen von Fahrzeugen hilft Faltung sogar Leben zu retten: Die abzubauen kinetische Energie beim Aufprall wird umgesetzt in die Energie zur Erzeugung der Falten.

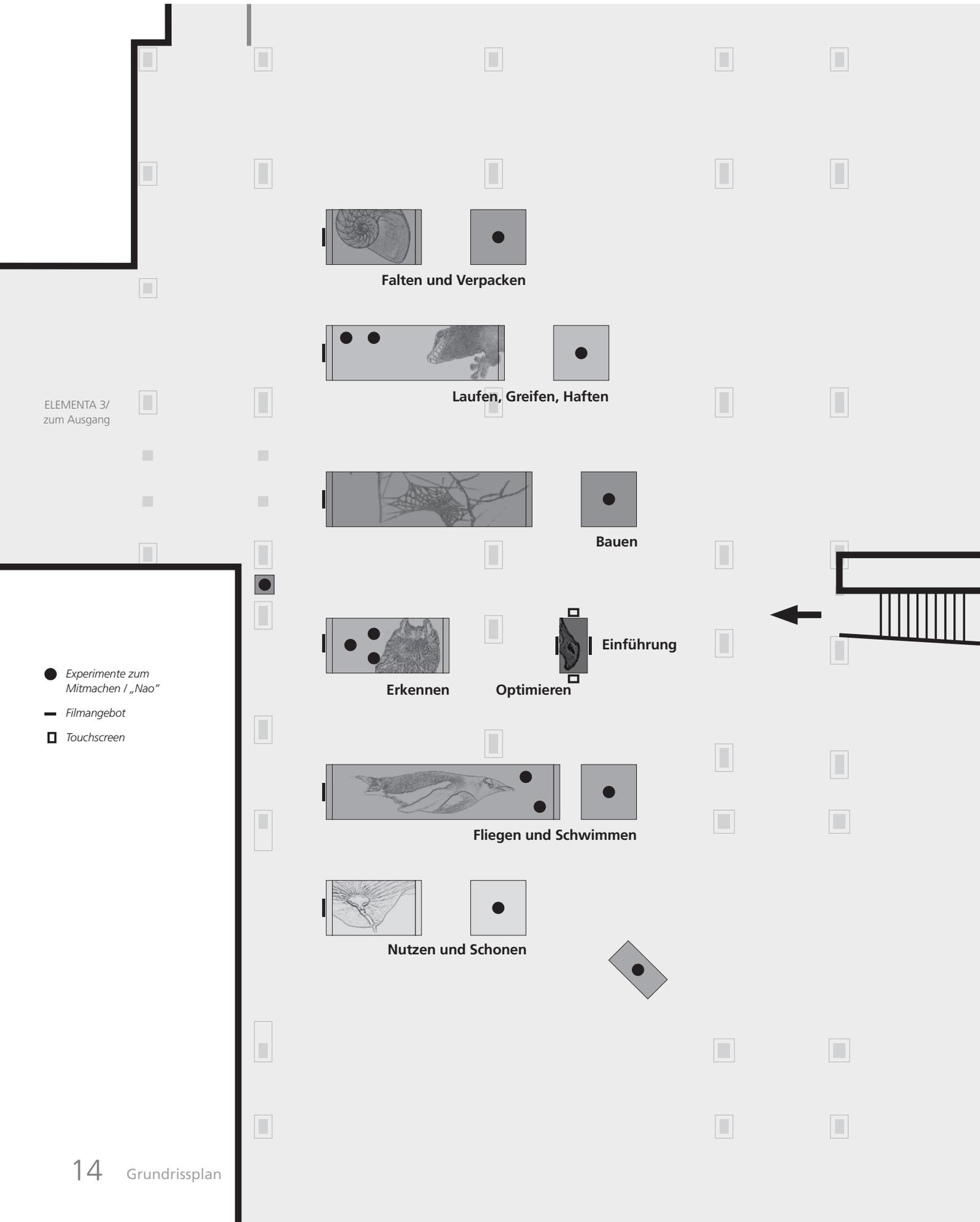
Beispiele für Exponate in der Ausstellung:

- Modell der doppelseitigen Fassadenverschattung Flectofin®
- Wölbstrukturen in natürlicher Selbstorganisation
- Faltmodelle der Architektin und Bionikerin Biruta Kresling.

Experimente zum Mitmachen:

- Verschiedene Faltungen zum Selbermachen
- Natürliche Selbstorganisation beim gestauchten Kegelversuch
- Demonstration der Wölbstrukturierung.

# Grundrissplan



ELEMENTA 3/  
zum Ausgang

- Experimente zum Mitmachen / „Nao“
- Filmangebot
- Touchscreen

Falten und Verpacken

Laufen, Greifen, Haften

Bauen

Erkennen

Optimieren

Einführung

Fliegen und Schwimmen

Nutzen und Schonen

# Nutzen und Schonen

## Bildungsplanbezug

### Grundschule

Mensch, Natur und Kultur: experimenteller Umgang mit Naturmaterialien – Gegenstände und Stoffe aus dem Erfahrungsbereich der Kinder und ihre Eigenschaften im experimentellen Vergleich.

### Sek I

Biologie: Versuche zur Wärmeisolation von Fell – Lebewesen sind bezüglich Bau und Lebensweise an ihre Umwelt angepasst.

Physik: Wärme und Umwelt – Wärmestrahlung, Absorption, Wärmeisolierung und Wärmedämmung – Solarzelle – Umwandlung von Strahlungsenergie der Sonne.

### Sek II

Chemie: Möglichkeiten der Einsparung von Energie – Redoxgleichungen.

Biologie: regenerative Energien.

Physik: elektrische Stromstärke – elektrisches Potential – elektrische Spannung (zum Beispiel Solarzelle).

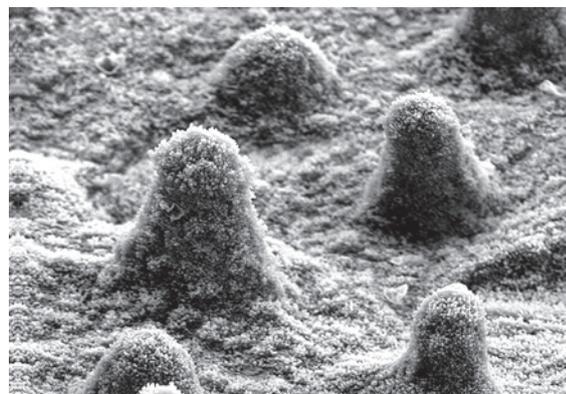
## In der Ausstellung

Zahlreiche Forschungsgebiete zielen darauf ab, umweltverträglichere Entwicklungen voranzutreiben.

Die Blätter der Lotuspflanze weisen eine mit Wachs überzogene noppenartige Feinstruktur auf. Diese bewirkt, dass Wassertropfen abperlen und Schmutzpartikel mitnehmen. Zahlreiche Produkte

links: Fassadenfarbe Lotusan®

rechts: die Blattoberfläche der Lotuspflanze



sind mittlerweile mit diesem Lotus-Effekt ausgestattet. Die Grätzelsolarzelle erzeugt aus Sonnenlicht Strom. Wie bei Pflanzen absorbiert ein Farbstoff die Lichtenergie. Die sogenannte transparente Wärmedämmung wird ebenfalls in der Ausstellung thematisiert. Hier diente das Eisbärenfell als Anregung.

## Hintergrundinformationen

### Lotus

#### Familie:

Lotusgewächse (*Nelumbonaceae*)

#### Gattung:

Lotusblumen (*Nelumbo*)

#### Arten:

Indische Lotusblume (*Nelumbo nucifera*)

Amerikanische Lotusblume (*Nelumbo lutea*)

#### Vorkommen:

Seen, Tümpel, Sümpfe

*N. nucifera*: Indien, China, Südostasien

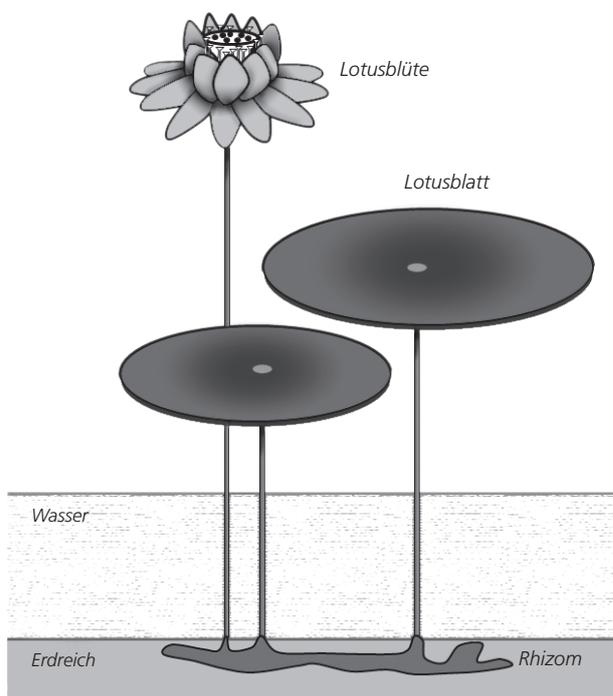
*N. lutea*: Mexiko, Atlantikküste USA

#### Verwendung:

Alle Pflanzenteile (Wurzeln, Blätter, Blüten, Früchte) können verzehrt werden. Zudem werden ihnen heilende Wirkungen gegen Durchfall, Depressionen, Fieber ... zugeschrieben.

#### Tipp für Hobbygärtner:

Lotusblumen sind winterhart und können relativ leicht in Gartenteichen oder großen Wasserkübeln gehalten werden. Sowohl Samen als auch Rhizome können im Versandhandel erworben werden.



### Der Lotus-Effekt

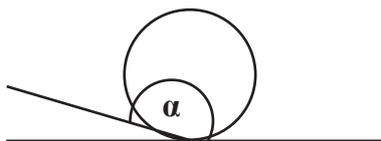
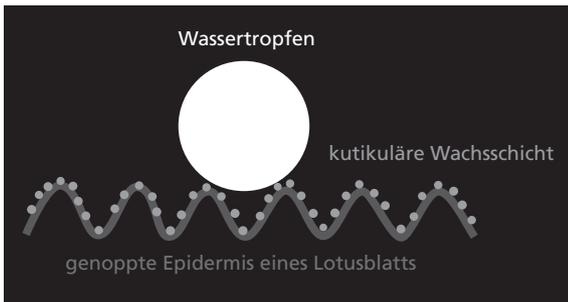
Tropft man mit der Fingerspitze einen Wassertropfen auf ein Lotusblatt, beobachtet man, dass der Tropfen eine kugelrunde Form annimmt und auf dem Blatt abperlt, ohne es anzufeuchten. Dieses Phänomen wird als Lotus-Effekt bezeichnet und wurde in den 1970er Jahren von dem Biologen Prof. Wilhelm Barthlott näher erforscht. Er untersuchte mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskops die Oberfläche von verschiedenen Blättern und erkannte, dass Wassertropfen besonders gut abperlen, wenn die Blattoberflächen eine überlagerte Doppelstrukturierung im Mikro- bis Nanometerbereich aufweisen.

Die Epidermiszellen der Lotusblätter bilden fünf bis zehn Mikrometer ( $\mu\text{m}$ ) große Noppen. Aufgelagert sind Wachskristalle, die einerseits eine hydrophobe Wirkung haben und andererseits für eine noch feinere Strukturierung der Oberfläche sorgen, da sie lediglich wenige Nanometer ( $\text{nm}$ ) groß werden. Diese Oberflächenstrukturierung sorgt dafür, dass Wassertropfen nur eine minimale Kontaktfläche zum Lotusblatt haben. Der Kontaktwinkel zwischen Wassertropfen und Oberfläche ist größer als  $160^\circ$ . Die Adhäsionskräfte (Anziehungskräfte) zwischen Wassertropfen und Blatt sind somit sehr gering, die zwischenmolekularen Kräfte der Wassermoleküle dominieren und der Wassertropfen nimmt eine kugelige Form ein. Die Oberfläche wird aufgrund dieser geringen Benetzbarkeit als superhydrophob bezeichnet. Der Lotus-Effekt und die besondere Strukturierung der Blattoberfläche sind nicht auf die Lotuspflanze beschränkt. Ähnlich stark wasserabweisend sind z.B. auch die Kapuzinerkresse oder Kohlpflanzen.

Andere Pflanzen, wie beispielsweise der Ahorn, haben ebenfalls eine Wachsschicht auf der Blattoberfläche, die aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung hydrophobe Eigenschaften besitzt. Jedoch sind diese Blätter nicht – wie beim Lotus – superhydrophob, sondern nur hydrophob. Der Kontaktwinkel des Wassertropfens zur Oberfläche liegt zwischen  $90^\circ$  und  $160^\circ$ . Dadurch vergrößert sich die Benetzung der Blattoberfläche. Die zwischen Wassertropfen und Blatt auftretenden Adhäsionskräfte sind etwas größer als bei superhydrophoben Oberflächen und der Wassertropfen perlt vom Blatt weniger gut ab, als dies auf superhydrophoben Flächen der Fall ist.

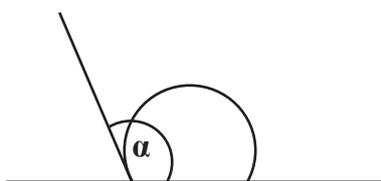
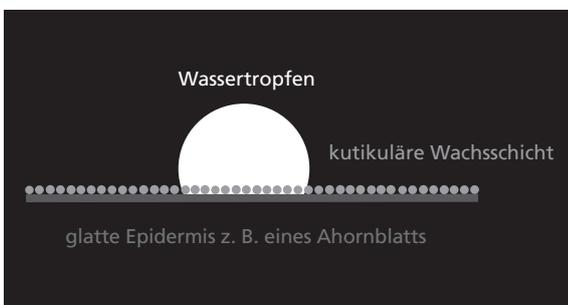
Die am Lotusblatt orientierte Fassadenfarbe Lotusan® verfügt über eine ähnlich mikrostrukturierte, hydrophobe Oberfläche, an der Wasser und Schmutzpartikel abperlen. Dieser Selbstreinigungseffekt führt dazu, dass Hauswände durch auftreffendes Regenwasser länger sauber bleiben und Algenbewuchs verhindert wird.

A



Kontaktwinkel  $\alpha$  über  $160^\circ$ : superhydrophob

B



Kontaktwinkel  $\alpha$  über  $90^\circ$ : hydrophob

Zusammenhang zwischen Blattoberfläche, Kontaktwinkel und Benetzung mit Wasser: A) superhydrophobe Oberfläche B) hydrophobe Oberfläche

### Die Grätzelsolarzelle

Pflanzen dienen zudem im Bereich der Photovoltaik als Inspirationsquelle, da sie im Rahmen der Photosynthese aus Kohlenstoffdioxid, Wasser und Sonnenlicht ihre Energie gewinnen. Die Grätzelsolarzelle, nach ihrem Erfinder Prof. Michael Grätzel benannt, erzeugt aus Sonnenlicht Strom und funktioniert – im Gegensatz zur konventionellen Solarzelle – ohne Silizium.

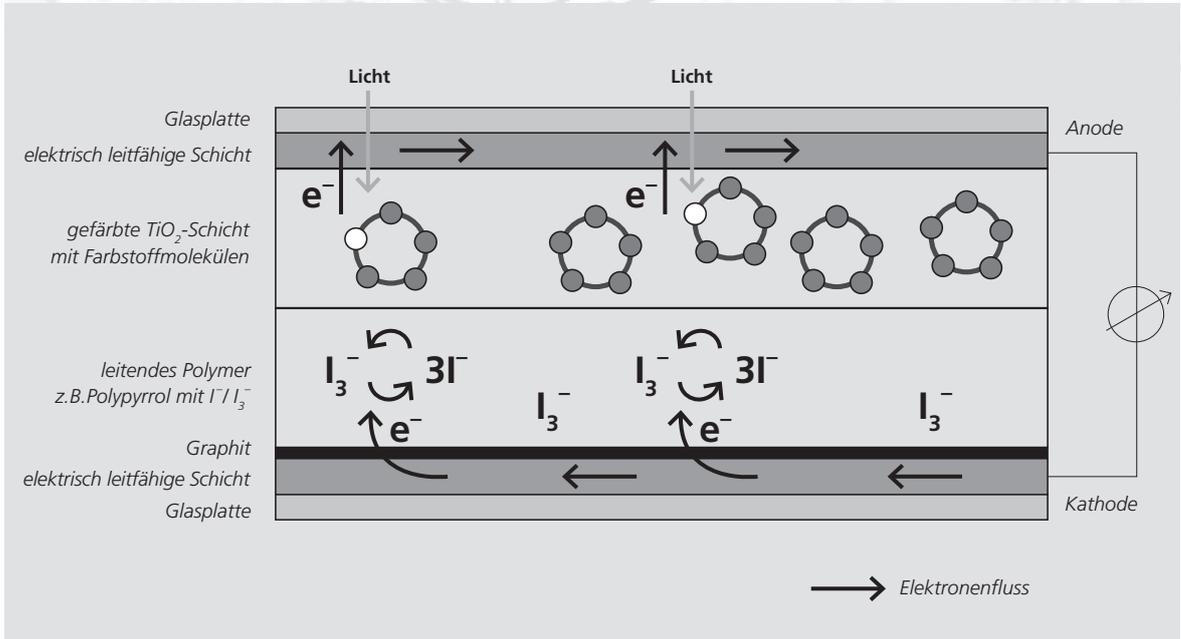
Zwei elektrisch leitend beschichtete Glasplatten, welche Anode und Kathode darstellen, bilden die Hauptkomponenten der Grätzelsolarzelle:

Die Anode trägt eine zehn  $\mu\text{m}$  dicke Titandioxid-Schicht ( $\text{TiO}_2$ ).  $\text{TiO}_2$  ist ein Halbleiter. Die Bandlücke zwischen Valenzband und Leitungsband ist gerade klein genug, dass Elektronen bei Energiezufuhr vom Valenzband ins unbesetzte Leitungsband angehoben werden können. Die 60 – 80 nm großen Titandioxidpartikel absorbieren Licht mit einer Wellenlänge  $<400$  nm, d.h. die Energie des sichtbaren Lichts reicht bei diesem Halbleiter nicht aus, um ein Elektron ins Leitungsband anzuheben. Als Elektronendonator dient bei der Grätzelsolarzelle deshalb ein Farbstoffmolekül, das durch sichtbares Licht angeregt wird. Mehrere Farbstoffmoleküle bilden dabei eine Monoschicht auf der Oberfläche des Titandioxidpartikels, sodass bei Lichteinstrahlung viele Elektronen gleichzeitig in das Leitungsband eines Titandioxidpartikels übertragen werden können. Die Elektronen werden zur Anode transportiert und fließen von dort über den Verbraucher zur Kathode.

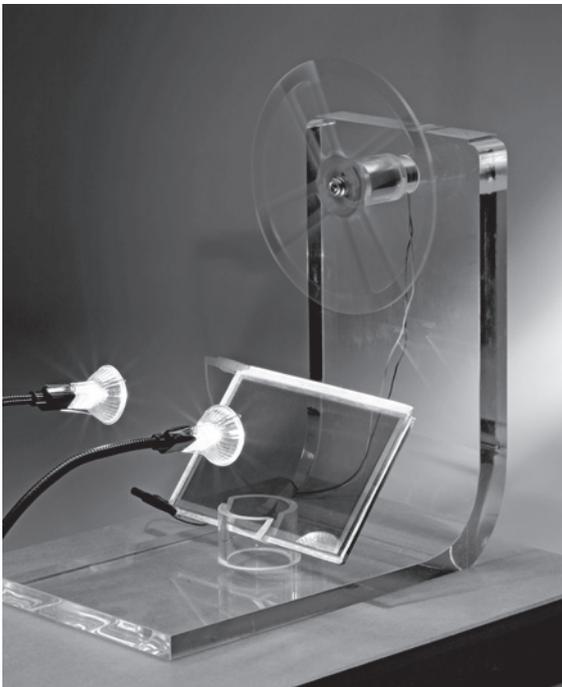
Die Kathode ist mit einer wenigen  $\mu\text{m}$  dicken Schicht Graphit sowie mit einem leitenden Polymer beschichtet. Zwischen beiden Platten befindet sich eine Iodid/Triiodid-Elektrolytschicht. An der Kathode werden die  $\text{I}_3$ -Moleküle zu Iodid-Ionen reduziert. Die entstehenden Iodid-Ionen reduzieren ihrerseits die positiv geladenen Farbstoffmoleküle. Das Graphit an der Kathode dient als Katalysator und beschleunigt die Elektronenübertragung.

Im Unterschied zu einer herkömmlichen Silizium-Solarzelle finden bei der Grätzelsolarzelle die Absorption von Licht durch Farbstoffmoleküle und der Transport der Ladungsträger im Leitungsband des Titandioxids voneinander getrennt statt. Bei einer Silizium-Solarzelle werden beide Funktionen vom Silizium-Halbleiter übernommen.

Schematische Darstellung der Funktion einer Grätzelsolarzelle



Funktionstüchtige Grätzelsolarzelle



### Transparente Wärmedämmung

Der natürliche Lebensraum der Eisbären (*Ursus maritimus*) ist die Arktis. Dort können die Temperaturen bis  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  fallen. Während den Menschen trotz multifunktionaler Outdoor-Kleidung bereits die deutlich milderen Winter in Deutschland zu schaffen machen, fühlen sich Eisbären selbst bei arktischer Kälte pudelwohl. Ihr dichtes weißes Fell, die darunter liegende schwarze Haut und eine dicke Speckschicht schützen die Tiere optimal vor den Minusgraden.

Eisbär im Zoo

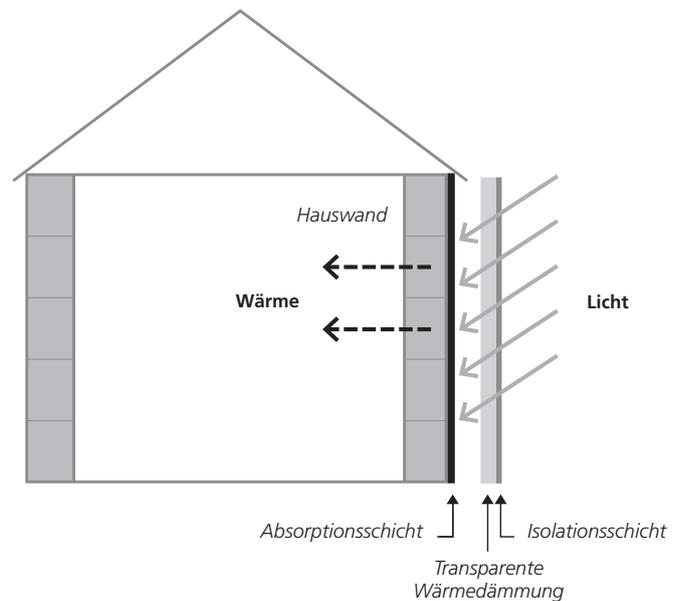


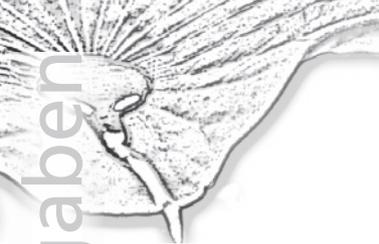
Die Eisbärenhaare sind transparent und im Inneren hohl. Es wurde lange darüber spekuliert, ob sie eine Funktion als Lichtleiter ausüben. Man dachte, dass das auf das Fell einfallende Sonnenlicht durch Totalreflexion im Inneren der einzelnen Haare direkt zu der dunklen Haut geleitet wird und diese erwärmt. Neuere Forschungsergebnisse besagen jedoch, dass die Eisbärenhaare keine spezielle Lichtleiterfunktion ausüben. Sicher ist jedoch, dass in und zwischen den einzelnen Eisbärenhaaren Luft eingeschlossen ist. Das so entstehende Luftpolster ist für die Wärmeisolation von Bedeutung. Die schwarze Eisbärenhaut absorbiert zusätzlich Sonnenlicht und wandelt es in Wärme um.

Bioniker haben die Erkenntnisse über die Funktion des Eisbärenfells genutzt, um eine transparente Wärmedämmung (TWD) für Häuser zu entwickeln. Die Idee ist, dass mit Hilfe einer geeigneten Hauswandverkleidung das Sonnenlicht dazu beiträgt, die Wohnungen zu heizen. Das Licht fällt durch die transparente Dämmschicht auf eine dunkle Fassade und erwärmt diese. Aufgrund des vor-

gelagerten Dämmmaterials und eines isolierenden „Luftpolsters“ breitet sich die Wärme nur in eine Richtung aus, nämlich über die Hauswand ins Hausinnere. Dadurch kann Heizöl eingespart und die Umwelt geschont werden. Um im Sommer eine Überhitzung des Hauses zu vermeiden, ist zusätzlich ein geeignetes Verschattungssystem nötig, z.B. ein Laubbaum, dessen Blätter im Sommer für genügend Schatten sorgen.

Prinzip der transparenten Wärmedämmung





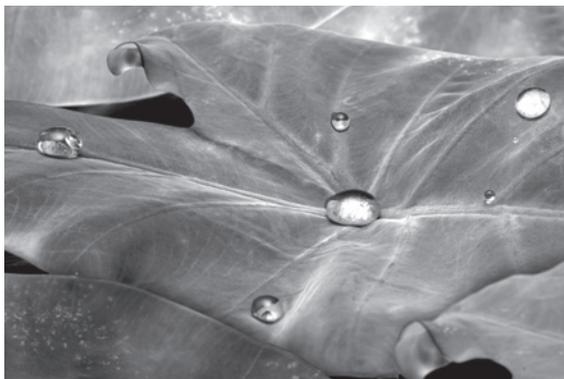
**Dem Lotus-Effekt auf der Spur**  
(Kl. 3 – 7)

*Arbeitsauftrag*

Untersuche die Blattoberfläche von verschiedenen Pflanzen!

*Materialien*

- frische Blätter (Lotus, Kohl, Kapuzinerkresse, Tulpen sowie Löwenzahn und Salatblatt)
- Wasser
- wasserlöslicher Kleber oder Honig
- Mehl
- Spülmittel
- Wattestäbchen
- Pipette



*Durchführung/Aufgaben*

1. Tropfe mit der Pipette Wasser auf die verschiedenen Blätter. Welche Blätter zeigen einen Lotus-Effekt, welche nicht?

---



---



---



---

2. Bestreue die Blätter mit Mehl und lasse erneut Wasser über die Blattoberfläche laufen. Was beobachtest Du?

---



---



---



---

3. Tropfe Honig oder wasserlöslichen Kleber auf die Blattoberflächen. Beschreibe Deine Beobachtung!

---



---



---



---

4. Reibe mit einem Wattestäbchen über ein Blatt mit Lotusoberfläche und tropfe erneut Wasser darüber. Was stellst Du fest?

---



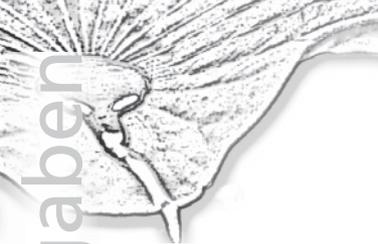
---



---



---



### Das Verhalten von Wassertropfen (Kl. 5 – 8)

#### Arbeitsauftrag

Stelle einen künstlichen Lotus-Effekt her!



#### Materialien

Kerze  
2 kleine Glasplatten  
Streichhölzer  
Papiertücher  
Pipette  
1 kleine Plastschüssel mit Wasser  
1 kleine Zange  
Kohlblatt  
Salatblatt

#### Durchführung

Zünde die Kerze an und halte einen Objektträger mit der Zange so lange in die Flamme, bis er rußgeschwärzt ist. Nach dieser Vorbereitung lässt Du über beide Objektträger mit der Pipette einen Wassertropfen rollen.

#### Aufgaben

1. Vergleiche das Verhalten der Wassertropfen auf den beiden Glasplatten!

---



---



---



---

2. Tropfe jeweils einen Wassertropfen auf das Kohl- und das Salatblatt. Beschreibe das Verhalten der Wassertropfen auf den Blättern!

---



---



---



---

3. Welche Glasplatte symbolisiert welches Blatt? Welche Schlussfolgerung kann man daraus für die Oberflächen des Kohl- und des Salatblatts ziehen?

---



---



---



---



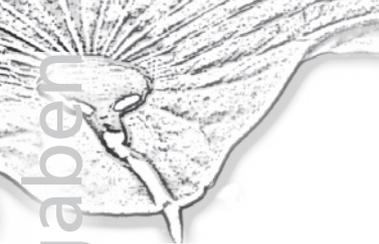
---



---



---



### Bau einer Grätzelsolarzelle

(Kl. 10 – 13)

#### Arbeitsauftrag

Erzeuge mit Hilfe einer selbstgebauten Grätzelsolarzelle Strom.

#### Materialien

##### Chemikalien

Iod ( $I_2$ )  
 Kaliumiodid (KI)  
 Titandioxid, nanoskalig ( $TiO_2$ )  
 Essigsäure  
 Ethylenglykol, Ethanol

##### Gerätschaften

pro Grätzelsolarzelle: 2 elektrisch leitende Glasplatten (Größe z.B. 80 x 30 mm)  
 Becherglas (50 und 100 ml)  
 Magnetrührer  
 dunkle Glasflasche  
 Mörser & Pistill  
 Ceran-Laborschutzplatte auf Vierfuß  
 Pasteurpipette  
 weicher Bleistift (Härte z.B. B8)  
 Bunsenbrenner  
 Alufolie  
 Küchenpapier  
 Labor-Waage  
 Glasstab  
 Klebestreifen  
 Multimeter  
 Multiclips  
 2 Krokodilklemmen  
 Petrischale  
 kleiner batteriebetriebener Wecker oder Taschenrechner

##### Sonstiges

destilliertes Wasser  
 Klares Spülmittel  
 Hagebuttentee  
 PC mit Internetzugang

#### Durchführung

##### Schritt 1:

##### Herstellung der elektrolytischen Iod-Lösung

- 0,127 g  $I_2$  werden in einem 50 ml Becherglas unter kräftigem Rühren mit dem Magnetrührer in 10 ml Ethylenglycol gelöst.

- 0,83 g KI werden hinzugefügt und ebenfalls unter kräftigem Rühren gelöst.
- Die elektrolytische Iodlösung muss in einem dunklen Gefäß aufbewahrt werden (Tipp: Alufolie um eine dunkle Flasche wickeln, um sie vollständig abzudunkeln!)

##### Schritt 2:

##### Herstellung der Titandioxid ( $TiO_2$ ) - Suspension

- 6 g nanoskaliges  $TiO_2$  werden in einen Mörser gegeben.
- Nach und nach werden 10 ml 100%-ige Essigsäure zugegeben und mit dem Pistill verrieben, bis eine weiße, glatte und klumpenfreie Suspension entsteht. Dieser Vorgang soll maximal fünf Minuten dauern.
- Anschließend wird ein Tropfen klares Spülmittel hinzu gegeben und leicht mit der Suspension verrührt. Achtung: Das Spülmittel darf kein Verklumpen verursachen; ansonsten muss Schritt 2 vollständig mit einem anderen Spülmittel wiederholt werden.
- Die Titandioxid-Suspension schließlich 15 Minuten stehen lassen.

##### Schritt 3:

##### Beschichtung der Glasplatte mit der $TiO_2$ -Suspension

- Die leitfähige Seite der Glasplatte (Widerstand 10 bis 30 Ohm) wird an drei Seiten mit Klebestreifen 3 mm breit abgeklebt, sodass die Platte mit dem überstehenden Teil des Klebestreifens auf der Unterlage befestigt werden kann.
- Auf der nicht abgeklebten Seite der Glasplatte wird parallel zum Rand ein 5 mm breiter Streifen der  $TiO_2$ -Suspension mithilfe einer Pasteurpipette aufgetragen.
- Nun wird die Suspension so auf der Glasplatte verteilt, dass die Platte mit einer dünnen und gleichmäßigen  $TiO_2$ -Schicht bedeckt ist: Hierzu verwendet man einen Glasstab, der langsam und leicht angedrückt, ausgehend von der auf gebrachten Suspension, über die Platte gerollt wird (ähnlich einem Nudelholz).
- $TiO_2$ -Schicht einige Minuten trocknen lassen.
- Klebestreifen abziehen.
- Die beschichtete Glasplatte mit der unbeschichteten Seite nach unten fünf Minuten auf eine Ceran-Laborschutzplatte legen, die sich über der Bunsenbrennerflamme auf einem Vierfuß befindet (Achtung: Glasplatte soll sich durch Hitze nicht verformen). Zunächst färbt sich die Glasplatte gelb, während der Abkühlphase dann wieder weiß.



- Nachdem die  $\text{TiO}_2$ -Platte vollständig abgekühlt ist, von der Ceran-Laborschutzplatte nehmen! Sie kann an der Luft gelagert werden.

#### Schritt 4:

##### Färbung der $\text{TiO}_2$ -Platte mit Hagebuttentee\*

- ein Teebeutel Hagebuttentee wird in einem 100 ml Becherglas mit 50 ml heißem, destilliertem Wasser überbrüht.
- Tee zehn Minuten ziehen lassen und 3 – 5 mm hoch in eine Petrischale füllen.
- Die  $\text{TiO}_2$ -Platte wird mit der beschichteten Seite nach unten in den Hagebuttentee gelegt und darin zehn Minuten lang gefärbt.
- Die Platte mit einer Pasteurpipette 1x mit demineralisiertem Wasser, danach 1x mit Ethanol waschen und abschließend vorsichtig mit Küchenpapier trocknen.
- Die gefärbten Platten müssen sofort weiterverwendet werden.

*\*Anmerkung: Beim Bau mehrerer Grätzelsolarzellen könnten an dieser Stelle beispielsweise unterschiedlich farbige Teesorten, Säfte o.ä. verwendet werden um zu untersuchen, mit welchem Farbstoff die Grätzelsolarzelle am besten funktioniert.*

#### Schritt 5:

##### Herstellung der Kohlenstoffbeschichteten Glasplatte

- Mit Hilfe des weichen Bleistifts wird eine Schicht Graphit auf die leitfähige Seite der zweiten Glasplatte aufgetragen.

#### Schritt 6:

##### Zusammenbau der Grätzelsolarzelle

- fünf Tropfen der elektrolytischen Iodlösung werden mit einer Pasteurpipette in die Mitte der  $\text{TiO}_2$ -Schicht gegeben.
- Die mit Graphit überzogene Glasplatte wird mit der beschichteten Seite nach unten so auf die  $\text{TiO}_2$ -Schicht gelegt, dass die Platten versetzt aufeinander zum Liegen kommen. Siesollten nun jeweils einen überstehenden Rand von 5 – 7 mm besitzen.
- Die Platten werden zur besseren Verteilung der elektrolytischen Iodlösung leicht angedrückt und an zwei gegenüberliegenden Seiten wird nun je ein Multiclip angebracht, damit die Platten nicht mehr verschoben werden können.
- An den beiden überstehenden Rändern wird je eine Krokodilklemme angebracht, die dann über Kabel mit dem Multimeter verbunden werden.

#### Aufgaben

1. Bestimme mit dem Multimeter die von Deiner Grätzelsolarzelle erzeugte Spannung im Sonnenlicht!

---



---

2. Ermittle die Spannung der Grätzelsolarzelle unter einer Leuchtstoffröhre! Führe auch eine Messung im abgedunkelten Raum durch!

---



---

3. Lassen sich mit mehreren Grätzelsolarzellen ein Wecker oder ein Taschenrechner betreiben?

---



---

4. Recherchiere im Internet: Wo liegen die Vor- und Nachteile der Grätzelsolarzelle im Vergleich zu der Silizium-Solarzelle?

---



---

5. Welche Reaktionen laufen in der Grätzelsolarzelle ab? Stelle die Reaktionsgleichungen auf!

---



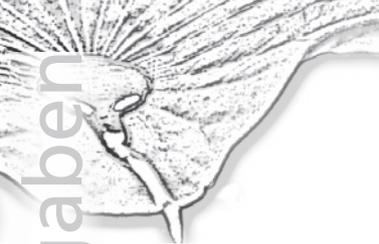
---



---



---



### Ein haariges Experiment

(Kl. 3 – 7)

#### Fragestellung

Eisbären besitzen im Gegensatz zum Menschen ein dichtes Fell. Die Eisbärenhaare sind durchsichtig und innen hohl. Wie sehen eigentlich die Kopfhaare des Menschen unter dem Mikroskop aus?



#### Materialien

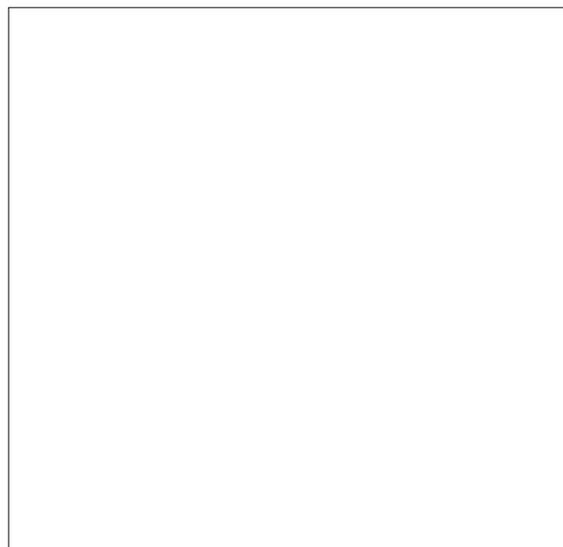
Mikroskop  
Haare (rote, blonde, schwarze, braune, Locken etc.)  
Objektträger  
Deckgläschen  
Schere  
Wasser

#### Durchführung

Tropfe mit dem Finger einen kleinen Wassertropfen auf den Objektträger. Entferne ein Haar von Deinem Kopf und schneide ein ca. 1 cm langes Stück zurecht, das Du in den Wassertropfen auf dem Objektträger legst. Lege vorsichtig ein Deckgläschen auf. Achte darauf, dass Du das Deckgläschen nur an den Rändern anfasst und keine Luftblasen im Präparat entstehen. Betrachte Dein Haar unter dem Mikroskop. Beginne mit der kleinsten Vergrößerung!

#### Aufgaben

1. Zeichne Dein Haar unter dem Mikroskop bei mittlerer Vergrößerung ab!



2. Ordne Deiner Zeichnung folgende Begriffe zu: Schuppenschicht, Faserschicht und Mark.

3. Betrachte die Haarpräparate Deiner Mitschüler. Kannst Du Unterschiede erkennen? Wenn ja, welche?

---



---



---



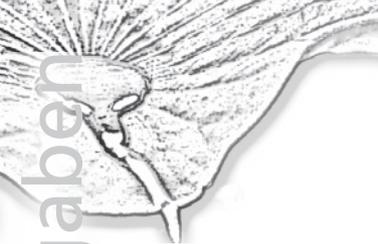
---



---



---



## Das wärmende Luftpolster

(Kl. 7 – 10)

### Fragestellung

Hohlräume im Inneren der Eisbärenhaare schließen Luft ein. Auch bleibt Luft in den Zwischenräumen der Fellhaare „hängen“. Welchen physikalischen Zweck erfüllt der Lufteinschluss in den Haaren und im Fell?

### Materialien

1 mittelgroße Plastikwanne, halb gefüllt mit Wasser und Eiswürfeln  
 4 Bechergläser (50 ml)  
 5 Reagenzgläser  
 1 Reagenzglasständer  
 5 Stabthermometer  
 1 Trichter  
 Stoppuhr  
 Watte, Wolle, „Ostergras“, Sand

### Durchführung

- Gib Watte, Wolle, Ostergras und Sand jeweils separat in ein Becherglas.
- Fülle in die fünf Reagenzgläser gleichviel warmes Wasser derselben Temperatur (die Reagenzgläser symbolisieren Eisbären und ihre Körpertemperatur, die möglichst lange erhalten bleiben soll).
- Ermittle die Anfangstemperatur und notiere diese in der unten stehenden Tabelle.
- Setze die vier mit Wasser gefüllten Reagenzgläser in die Bechergläser und diese wiederum ins Eiswasser. Das fünfte Reagenzglas wird in einem Reagenzglasständer in die Wanne gestellt.
- Bestimme 4x nach je zwei Minuten die Temperatur und trage diese in die Tabelle ein.

### Aufgaben

- Welches Reagenzglas kühlt am schnellsten ab, welches kühlt am langsamsten ab?

---



---

- Welches Isoliermaterial ist am wirkungsvollsten?

---

- Welche Bedeutung erhält das fünfte Reagenzglas in diesem Experiment?

---



---

- Informiere Dich über die Funktionsweise einer Thermoskanne und erkläre anhand der daraus erworbenen Erkenntnisse den Luftpolster-Effekt des Eisbärenfells!

---



---

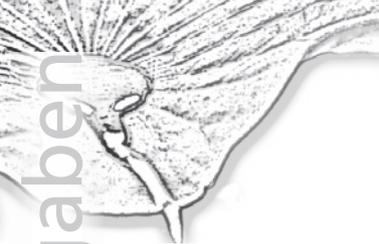


---



---

	Becherglas 1	Becherglas 2	Becherglas 3	Becherglas 4	Reagenzglas
	gefüllt mit:	gefüllt mit:	gefüllt mit:	gefüllt mit:	
<b>°C nach</b>					
0 min					
2 min					
4 min					
6 min					
8 min					
<b>Differenz</b>					



## Licht „transportiert“ Energie!

(Kl. 5 – 7)

### Arbeitsauftrag

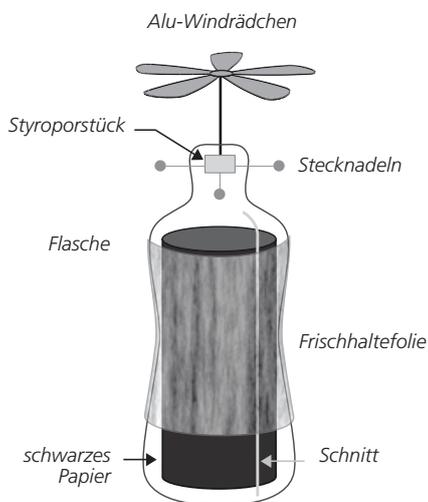
Untersuche den Zusammenhang: Licht – Wärme – Bewegung!

### Materialien

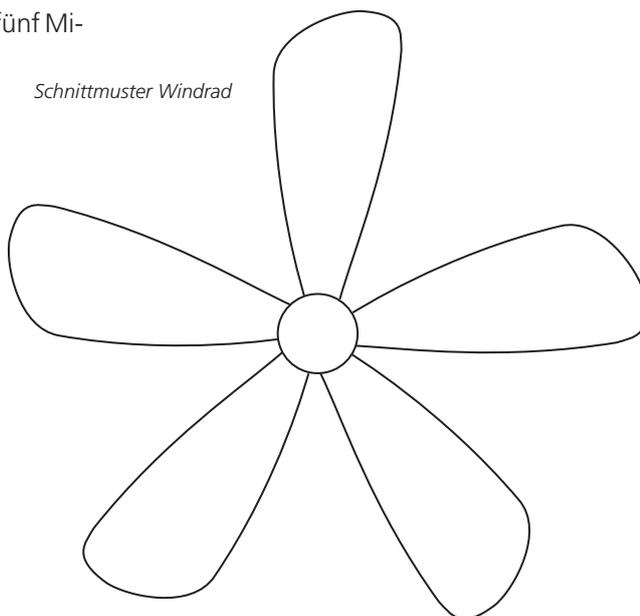
1 Plastikflasche  
Frischhaltefolie  
1 Schere  
schwarzes Tonpapier  
Alufolie  
Stecknadeln  
ein kleines Stück Styropor  
Klebstreifen

### Versuchsaufbau/Durchführung

1. Schneide die Plastikflasche mit der Schere der Länge nach auf.
2. Schiebe das Tonpapier hinein, sodass es das Innere der Flasche auskleidet.
3. Wickle fest über den oberen Teil der Flasche die Frischhaltefolie.
4. Baue mit Hilfe des Schnittmusters ein Windrädchen aus der Alufolie.
5. Stecke eine Stecknadel durch das Styroporstückchen und befestige dieses mit Hilfe weiterer Nadeln im Flaschenhals.
6. Stelle die Flasche auf dem Fensterbrett in die Sonne und setze Dein Windrädchen vorsichtig auf die überstehende Nadelspitze am Flaschenhals. Vermeide Zugluft und warte bis zu fünf Minuten.



Schnittmuster Windrad



### Aufgaben

1. Beschreibe Deine Beobachtung!

---



---



---



---

2. Erkläre das Phänomen!

---



---



---



---

3. Warum hat der Eisbär eine schwarze Haut?

---



---

# Fliegen und Schwimmen

## Bildungsplanbezug:

### Grundschule

Mensch, Natur und Kultur: ein Experiment mit Tragflächen

Sachunterricht: Tragfähigkeit – Konstruktionen und Verfahren vergleichen z.B. bei unterschiedlich gefalteten Fliegern

### Sek I

Biologie: Verbreitung von Samen – Versuche zu Stromlinienform und Auftrieb – Zusammenhänge von Struktur und Funktion erforschen – Zusammenhang von typischen Körpermerkmalen von Lebewesen und ihrer Fortbewegungsart – Bionik: Vogel, Flugzeug – Das Phänomen Fliegen anhand geeigneter Experimente untersuchen.

### Sek II

Physik: Druck und Auftriebskräfte – Strömungswiderstand

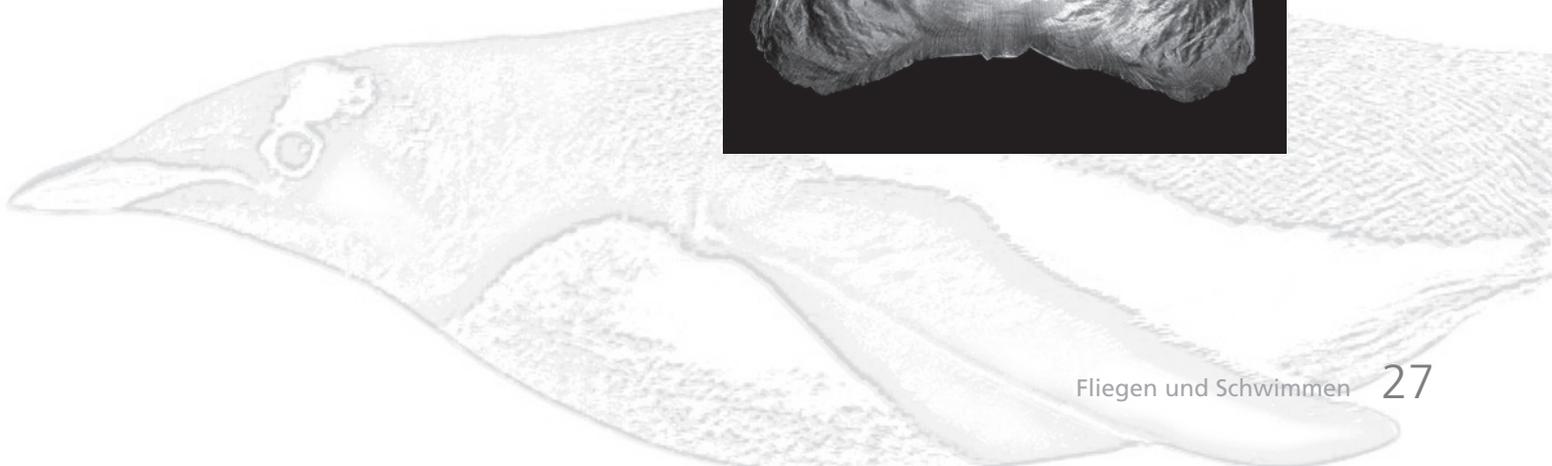
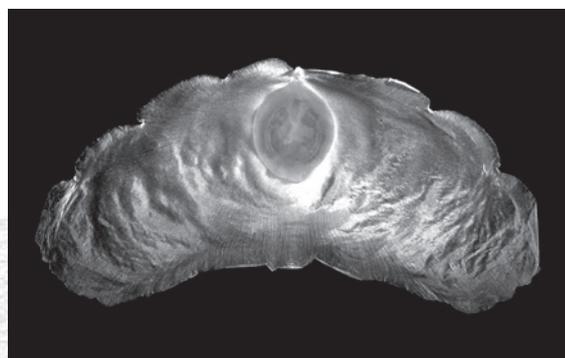
## Fliegen

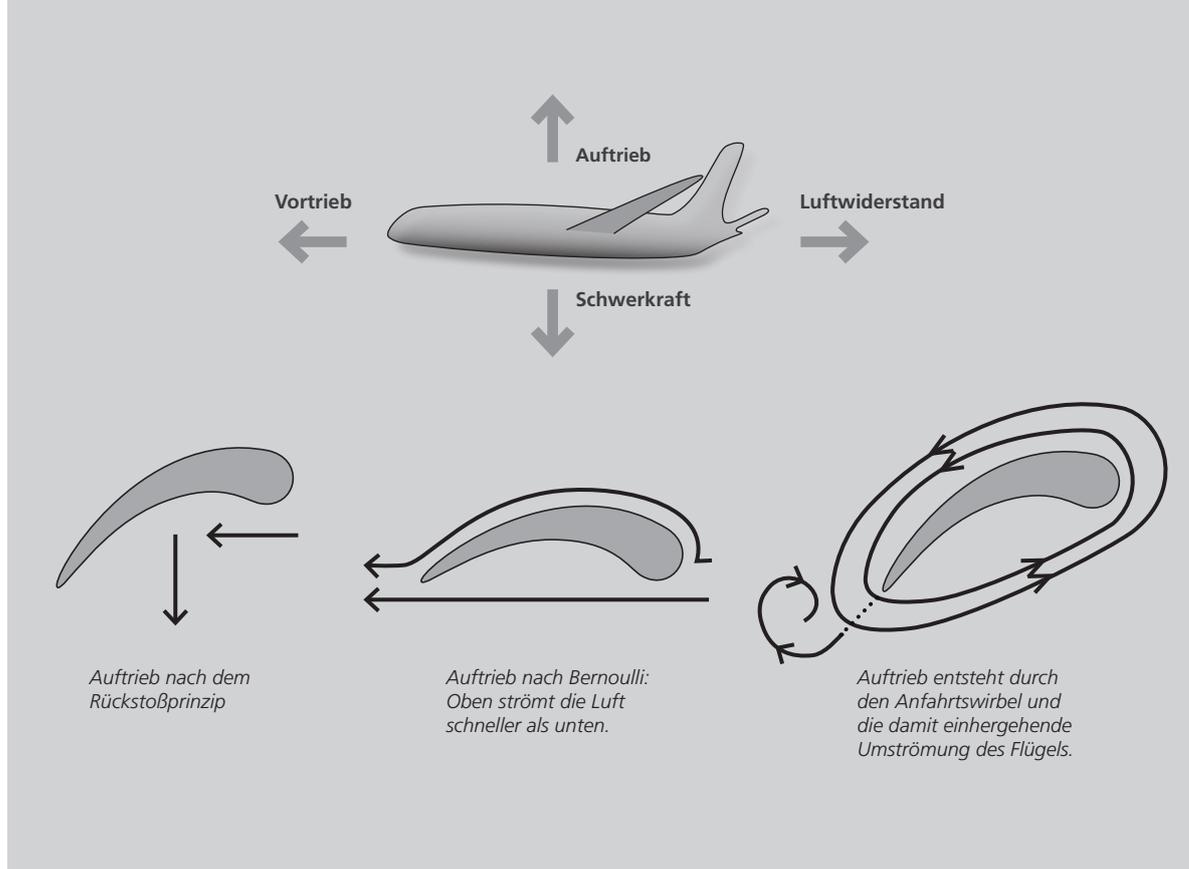
### In der Ausstellung

Otto Lilienthal gilt als Pionier der Luftfahrt in Deutschland. Eine Nachbildung seines nach dem Vorbild der Störche konstruierten Gleitapparats, mit dem er letztendlich 400 m weit segeln konnte, ist in der Ausstellung zu sehen.

Weitere Vorbilder für den Bau von Flugmodellen werden in einer Vitrine mit verschiedenen Flugsamen gezeigt.

*Zanonia-Samen*





Auch der Schwingenflug ist ein Thema der Ausstellung. Ein Vogelschwingen-Flugmodell können die Besucherinnen und Besucher in Bewegung setzen und sehen, dass der mechanische Flügelschlag allein ausreicht, um Vortrieb zu erzeugen.

## Hintergrundinformationen

### Lilienthal

Fliegen zu können wie die Vögel, ist ein uralter Menschheitstraum. Bereits in der Antike gab es, wie die Geschichte von Daedalus und Ikarus zeigt, Überlegungen, diese Art der Fortbewegung zu kopieren. Leonardo da Vinci (1452 – 1519) führte wissenschaftliche Untersuchungen zum Vogelflug durch, die in einer Konstruktionszeichnung eines Flugapparats mündeten. Heute weiß man aber, dass dieser Apparat nicht flugtauglich gewesen wäre. Das Verdienst, den ersten Flug unternommen zu haben, gebührt Otto Lilienthal: „Alles Fliegen beruht auf Erzeugung von Luftwiderstand, alle Flugarbeit besteht in Überwindung von Luftwiderstand“ (Otto Lilienthal, 1889). Lilienthal führte seine Laborexperimente zum Fliegen auf der Grundlage einer genauen Naturbeobachtung durch und erkannte, dass auf den fliegenden Körper vier Kräfte wirken: Auftrieb, Schwerkraft, Vortrieb und Luftwiderstand.

Um in der Luft zu bleiben, muss der durch die Bewegung erzeugte dynamische Auftrieb genauso groß sein, wie die zur Erde hin wirkende Schwerkraft. Seine Experimente widmete Lilienthal vor-

rangig der Erzeugung des Auftriebs und erkannte dabei die Vorteile von gewölbten Tragflächen. Alle Ergebnisse seiner über zwanzigjährigen Experimentierphase sowie die Anweisungen zur „Konstruktion von Flugapparaten“ finden sich in seinem Buch „Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst“. Den für seine späteren Flugversuche notwendigen Vortrieb erhielt er wie die heutigen Drachengleiter durch das Ausnutzen einer Höhendifferenz und der Wirkung der Schwerkraft.

### Dynamischer Auftrieb

Zwei einfache Erklärungsmöglichkeiten erfassen jeweils nur Teilaspekte des Phänomens Auftrieb.

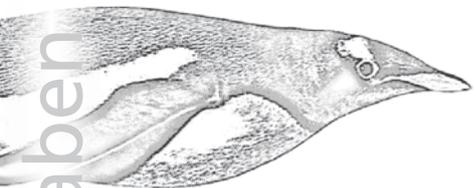
1. Ein schräg gestellter Flügel lenkt die Luft nach unten. Dabei wird der Flügel selbst mit der gleichen Kraft nach oben gedrückt. Diese mechanische Erklärung nach Newton (1642 – 1727) ist nicht falsch, erklärt jedoch nicht, wieso ein waagrecht gestelltes Flügelprofil einen Auftrieb erfährt.
2. Das Profil des Flügels sorgt dafür, dass die Luft oberhalb eines bewegten Flügels schneller vorbeiströmt als unten herum (da der Weg oben länger ist als unten). Dadurch entsteht nach Bernoulli (1700 – 1782) auf der Tragflächenoberseite ein geringerer Druck. Dieser Druckunterschied zwischen oben und unten führt zum Auftrieb.

Eine umfassende Erklärung erhält man nur mit Hilfe der Strömungsmechanik. Damit lässt sich eine Zirkulationsströmung herleiten, die sämtliche Auftriebsinformationen enthält.

### Flugsamen

Um als Population zu überleben und sich auszubreiten, müssen Pflanzen besondere Strategien (z.B. Ausbreitung durch Wasser, Tiere oder Wind) entwickeln. Als Vorbild für Flugmodelle dienen Samen, die sich mit Hilfe des Windes verbreiten. Besonders beeindruckend ist die Gleitleistung des Samens der tropischen Kürbisfrucht *Alsomitra macrocarpa* (alter wissenschaftlicher Name: *Macrozanonia marcocarpa*). Durch die gebogene Form der Flügel und die günstige Gewichtsverteilung kann der Samen schon bei Windstille mehrere hundert Meter weit gleiten, unter günstigen Bedingungen können mehrere Kilometer im stabilen Gleitflug zurückgelegt werden. Igo Etrich (1879 – 1967), ein Schüler Lilienthals, entwickelte nach dem Vorbild dieses Samens seinen bemannten Zanonias-Gleiter. Samen wie Zanonias sind Vorbilder für die Entwicklung von Nurflüglern, d.h. Flugzeugen ohne Höhenruder, bei denen es keine Unterscheidung zwischen Rumpf und Tragflächen gibt. Nurflügler haben im Vergleich zu konventionellen Flugzeugen, bezogen auf eine bestimmte Nutzlast, einen niedrigeren Kerosinverbrauch. Allerdings ist die Flugstabilität geringer und sie sind schwieriger zu manövrieren.





**Flügelstellung und Auftrieb**

(Kl. 7 – 10)

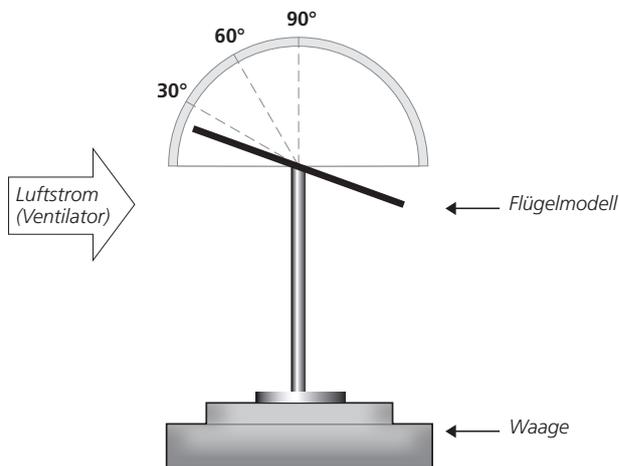
*Fragestellung*

Wie hängt der Auftrieb von der Flügelstellung ab?

*Materialien*

- Ventilator
- Waage
- rechteckige Platte aus Styropor, Balsaholz oder Pappe (dient als Flügelmodell)
- Halterung
- Skala (wenn halbquantitativ gearbeitet werden soll)

*Versuchsaufbau*



*Aufgaben*

1. Ermittle die Gewichtskraft (in N) von Halterung und Flügel ohne Wind!  
\_\_\_\_\_
  
2. Miss die Gewichtskraft von Halterung und Flügel mit Wind bei unterschiedlicher Flügelstellung und trage die Werte in die unten stehende Tabelle ein!
  
3. Berechne die jeweils wirkende Auftriebskraft und trage die Werte ebenfalls in die Tabelle ein. Bei welcher Flügelstellung ist die Auftriebskraft am stärksten?
  
4. Ist das Flügelmodell leichter oder schwerer geworden? Erkläre mit eigenen Worten, was bei dem Versuch passiert ist!

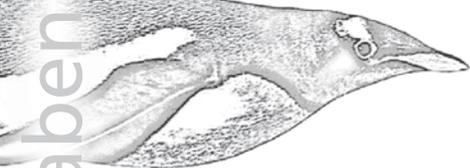
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

	-30°	-15°	0°	15°	30°	60°	90°
Kraft, mit der das Flügelmodell auf die Waage drückt $F_W$ [N]							
Auftriebskraft $F_A$ [N]							



### Bau eines Zanonia-Gleiters

(Kl. 1 – 7)

#### Arbeitsauftrag

Baue einen Zanonia-Gleiter und untersuche, welcher am weitesten segelt!

#### Materialien

Depron (Stärke: 3 mm, erhältlich im Baumarkt)

Schere

Büroklammern

#### Durchführung

Übertrage die Form des Zanonia-Samens auf das Depron und schneide sie aus.

#### Aufgaben

1. Halte das ausgeschnittene Samenmodell zwischen Daumen und Zeigefinger. Halte Deinen Arm leicht schräg und lass das Samenmodell aus möglichst großer Höhe auf den Boden gleiten (nicht werfen!). Beschreibe den Flug Deines Modells!

---



---



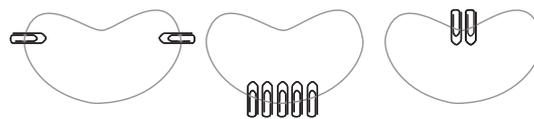
---



---

2. Der „echte“ Zanonia-Samen hat nicht nur Flügel, sondern auch ein kleines Gewicht in Form des Samenkorns. Nimm eine oder mehrere Büroklammern und versuche Dein Samenmodell zu einem möglichst langen Gleitflug zu bringen. Teste verschiedene Varianten!

3. Welches der drei Samenmodelle gleitet gut, welches nicht?




---



---



---

4. Erkläre in Deinen Worten, wozu die Büroklammern dienen!

---



---

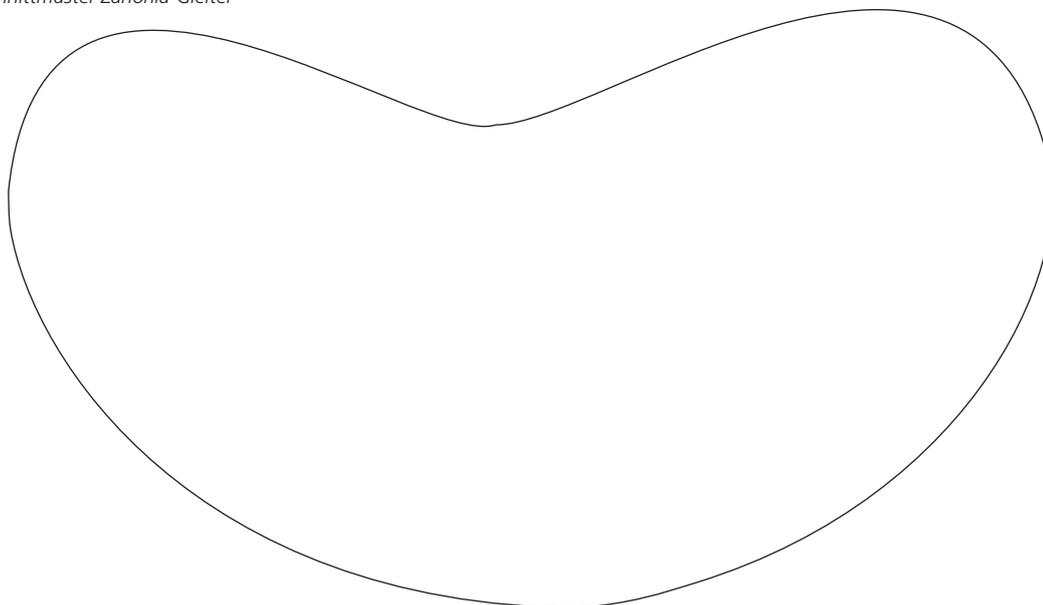


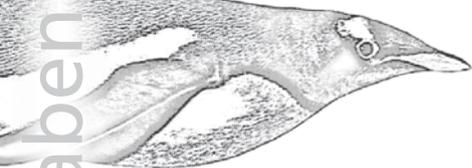
---



---

#### Schnittmuster Zanonia-Gleiter





### Vom Flugsamen zum Hubschrauber (Kl. 3 – 10)

#### Arbeitsauftrag

Erfinde ein Hubschraubermodell, das möglichst lange in der Luft bleibt.

#### Materialien

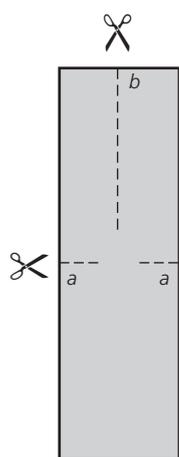
Flugsamen (am besten selbst gesammelt)  
z.B. Samen von Ahorn, Esche, Ulme, Hainbuche, Linde ...  
Papier  
Schere  
Stoppuhr

#### Durchführung/Aufgaben

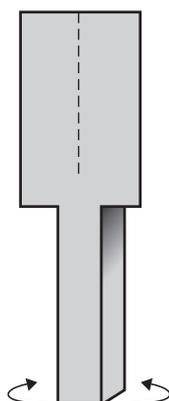
1. Beobachte den Flug der Flugsamen. Welcher Same bleibt am längsten in der Luft?

---

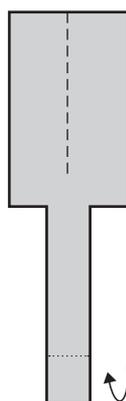
2. Schau Dir den Ahornsamen genau an. Wozu dienen die verschiedenen Teile des Samens? Schneide dazu den Samen auseinander und teste das Flugverhalten der Einzelteile!



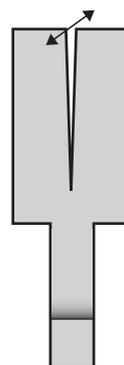
1. **Schneide das Papier ein**  
a) 2x in der Hälfte (jeweils bis zu 1/3 der Breite)  
b) in der Mitte (bis ca. 1 – 2 cm oberhalb der seitlichen Einschnitte)



2. **Falte die untere Hälfte zu einem Stiel**



3. **Falte 2x ein kurzes Stück nach oben**



4. **Biege die Flügel etwas auseinander (nicht falten!)**



### Zusatzaufgabe für Sekundarstufe 1

Trage in die Tabelle Flügellänge und Gewicht der Samen (jeweils Mittelwert aus zehn Messungen) und Deiner Modelle ein. Berechne die Sinkgeschwindigkeit (Mittelwert aus zehn Messungen)!

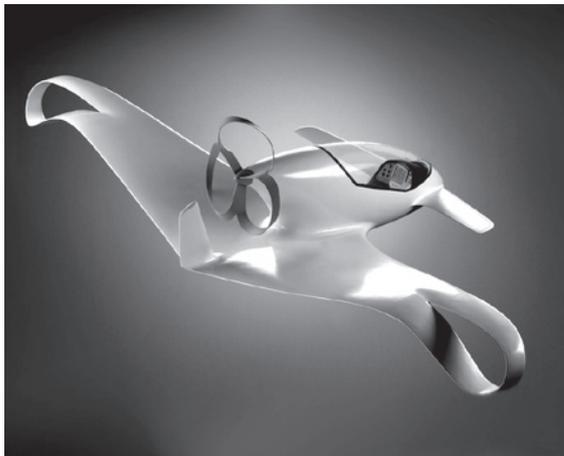
			Abwurfhöhe: _____ m	
	Flügellänge [mm]	Gewichtskraft [g]	Flugzeit [s]	Sinkgeschwindigkeit [m/s]
Ahorn				
Esche				
Linde				
Ulme				
Dein Modell				

## Der Strömungswiderstand beim Fliegen und Schwimmen

### In der Ausstellung

Um sich fort zu bewegen zu können, benötigt man Energie, die vorher in Form von Nahrung aufgenommen werden muss. Um diesen Energieverbrauch zu minimieren, wurden in der Natur im Laufe der Evolution einige Mechanismen entwickelt, die heute als Vorbild für Bioniker dienen. Für eine möglichst ökonomische Fortbewegung ist zunächst die Körperform von ausschlaggebender Bedeutung. Vögel vermindern den Strömungswiderstand zusätzlich durch die Form ihrer Flügel. Seevögel wie Albatrosse haben sehr langgestreckte Flügel mit schmalen Flügelenden. Diese Idee der Natur wurde bei Hochleistungs-Seegeflugzeugen übernommen. Auch die aufgefingerten Spreizflügel der großen Landvögel dienen dazu, den Strömungswiderstand zu verringern und führten zu einer ganz speziellen Art des Flügels, dem Schlaufenflügel, der in der Ausstellung zu sehen ist.

Modellflugzeug mit Schlaufenflügeln



### Hintergrundinformationen

#### Strömungswiderstand

Körper, die sich in Wasser oder Luft bewegen, müssen den Strömungswiderstand überwinden. In der Umgebung eines Körpers lassen sich zwei Strömungsschichten unterscheiden: die dünne Schicht in unmittelbarer Nähe des Körpers, die sogenannte Grenzschicht, in der die Reibung dominiert, und die praktisch reibungsfreie Strömung außerhalb dieser Schicht. Liegt die Strömung überall am Körper an, wird der Strömungswiderstand hauptsächlich über die Reibung und damit durch die Oberflächenbeschaffenheit des Körpers be-

stimmt. Löst sich die Strömung jedoch vom Körper ab, kommt es zu Verwirbelungen und der dadurch entstehende Druckwiderstand, der deutlich über dem Reibungswiderstand liegt, führt zu einem hohen Gesamtwiderstand. Ziel einer effizienten Fortbewegung muss es also sein, eine Körperform auszubilden, bei der die Strömung am Körper anliegt.

Eine außergewöhnlich strömungsgünstige Körperform haben Pinguine entwickelt. Sie legen Entfernungen von mehr als 1.500 Kilometern zurück und verbrauchen dabei einen Energiebetrag, der einem Liter Treibstoff entspricht. Obwohl die Vorteile der Pinguinform bekannt waren, wurden die Wissenschaftler durch den in Experimenten ermittelten extrem niedrigen Widerstandsbeiwert ( $c_w$ -Wert) überrascht. Der dimensionslose  $c_w$ -Wert ist ein Maß für den Widerstand, den ein Objekt in einer Strömung erfährt: Je größer der Widerstand, desto größer ist die Kraft, welche die Strömung auf das Objekt ausübt und desto größer ist der  $c_w$ -Wert. Der  $c_w$ -Wert ist somit ein Maß für die Strömungsschlüpfrigkeit eines Objekts. Der Widerstandsbeiwert ergibt sich durch folgende Formel:

$$F_{W \text{ real}} = c_w * 0.5 * \rho * A * v^2$$

Dabei ist  $F_{W \text{ real}}$  der Widerstand des umgebenden Mediums.  $\rho$  stellt die Dichte des strömenden Mediums dar (für Luft = 1,2 kg/m<sup>3</sup>; für H<sub>2</sub>O bei 20 °C = 998,203 kg/m<sup>3</sup>),  $A$  die dem Wind zugewandte Querschnittfläche und  $v$  die Bewegungsgeschwindigkeit.

Die Spindelform des Pinguins erreicht in praxisnaher turbulenter Umströmung  $c_w$ -Werte von 0,025, bei PKWs gilt bereits der zehnmal höhere Wert von 0,3 als strömungsgünstig. Flugzeuge mit Spindelform hätten bei einem erhöhten Fassungsvermögen einen geringeren Kerosinverbrauch. Bereits 1960 wurde von Heinrich Hertel ein Flugzeug mit Spindelform vorgestellt. Technisch-wirtschaftliche Gründe bei der Herstellung der fülligen Spindelform, aber auch generelle Zweifel an der Praxistauglichkeit der Laminarrumpfformen haben bisher die Realisierung im Verkehrsflugzeugbau verhindert.

Beim Fliegen führen Randwirbel an jedem Flügelende zur Ausbildung eines Wirbelzopfs, der nach hinten abströmt, den Strömungswiderstand er-



*Wirbelschleppen bei einem Flugzeugstart*

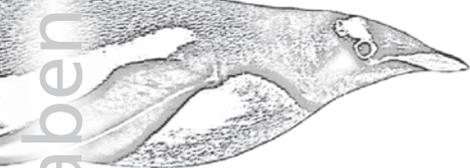
höht und eine Gefahr für nachfolgende Flugzeuge darstellt. Die aufgefingerten Spreizflügel der größeren Landvögel lassen viele kleine und dadurch verlustärmere Wirbelzöpfe entstehen. Die Spreizung der Handschwingen muss aber immer an den Flugzustand angepasst werden. Eine entsprechende Lösung hat sich bisher für Flugzeuge nicht realisieren lassen. Bei heutigen Flugzeugen reduzieren lediglich Monowinglets an den Flügelenden den Strömungswiderstand. Zusätzliche Winglets (Multiwinglets) würden zwar zu einer weiteren Reduktion des Strömungswiderstands führen, aber gleichzeitig auch den Reibwiderstand erhöhen. Schlaufenflügel (Split-Wing-Loop oder Spiroid) stellen eine Weiterentwicklung dieses Prinzips dar und versprechen eine Kraftstoffersparnis von zehn Prozent.

#### *Reibungsarme Oberflächen: Modell Hai*

Bereits in den 70er Jahren wurden auf den Schuppen schnellschwimmender Haie in Strömungsrichtung verlaufende feine Längsrillen entdeckt. Inzwischen weiß man, dass diese Rillen den Strömungswiderstand reduzieren, indem sie die turbulente, wandnahe Wasserschicht entlang der Strömungsrichtung führen und damit den Querströmungsanteil vermindern. Ausführliche Untersuchungen verschiedener Rillenstrukturen führten zur Entwicklung einer Rillenfolie (Ribbletfo-

lie), mit der eine Wandreibungsverminderung von etwa zehn Prozent möglich wird. Der erste Airbus A 340, der im Liniendienst der Cathay Pacific Airways mit einer 30prozentigen Beschichtung fliegt, verbraucht nachweislich ein Prozent weniger Kerosin. Bei optimaler Folienbeschichtung könnte das Flugzeug wegen des eingesparten Treibstoffs 15 Passagiere mehr mitnehmen.

Strömungsmechanisch optimierte Körper sind jedoch häufig komplex geformt, weshalb das Aufbringen von Ribbletfolien relativ umständlich ist. Am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM wird deshalb versucht, den Ribbleteffekt in den Lack selbst zu integrieren.



## Strömungswiderstand und $c_w$ -Wert

(Kl. 8 – 13)

### Fragestellung

Wie unterscheiden sich die Strömungswiderstände verschiedener Formen?

### Materialien

Messapparatur zur Messung des Luftwiderstands

Knete

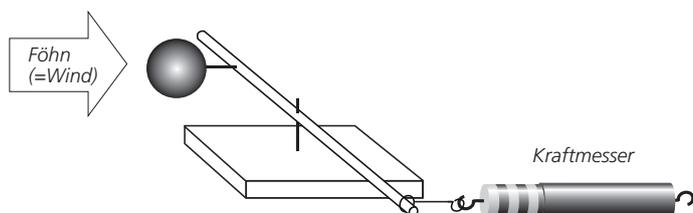
Kraftmesser

Föhn

Anemometer

PC mit Internetzugang

### Versuchsaufbau/Durchführung



Forme aus Knete mehrere Körper mit ähnlichem Querschnitt, aber unterschiedlicher Form (z.B.: Kugel, Halbkugel, Zylinder, Würfel, Spindelform). Der Querschnitt der Körper muss kleiner sein als der Luftkegel des Föhns!

Bringe die Körper an der Messapparatur an.

Stelle den Föhn an (Abstand Föhn – Objekt muss in allen Versuchen gleich bleiben).

### Aufgaben

1. Trage die Form und die Querschnittsfläche der zu vermessenden Körper in die unten stehende Tabelle ein!
2. Berechne den Mittelwert des Luftwiderstands der Körper. Führe dazu pro Körper jeweils drei Messungen durch! Notiere die Werte ebenfalls in der Tabelle.
3. Nimm den letzten Körper aus dem Luftstrom und miss mit dem Anemometer die Windgeschwindigkeit an dieser Stelle!

Windgeschwindigkeit

m/s \_\_\_\_\_

4. Berechne für jeden Körper den entsprechenden  $c_w$ -Wert!
5. Recherchiere im Internet: Welche  $c_w$ -Werte haben Autos und Flugzeuge? Vergleiche diese Werte mit Deinen gemessenen  $c_w$ -Werten aus dem Versuch!

Form	Querschnittsfläche	Luftwiderstand [N]				$c_w$ -Wert
		Messung 1	Messung 2	Messung 3	Mittelwert	

**Bildungsplanbezug:***Sek I*

Biologie: Mutation und Rekombination sind die Ursache für die Variabilität – Mutation und Selektion als wichtige Evolutionsfaktoren erläutern.

*Sek II*

Biologie: Evolution – genetische Variabilität durch Mutation und Rekombination

**In der Ausstellung**

Der englische Naturforscher Charles Darwin erlangte mit seiner 1859 erschienenen Veröffentlichung „The Origin of Species“ Weltruhm. Darin beschrieb er Variation und Selektion als treibende Kräfte, die zu der beeindruckenden Vielfalt des Lebens auf unserem Planeten führten.

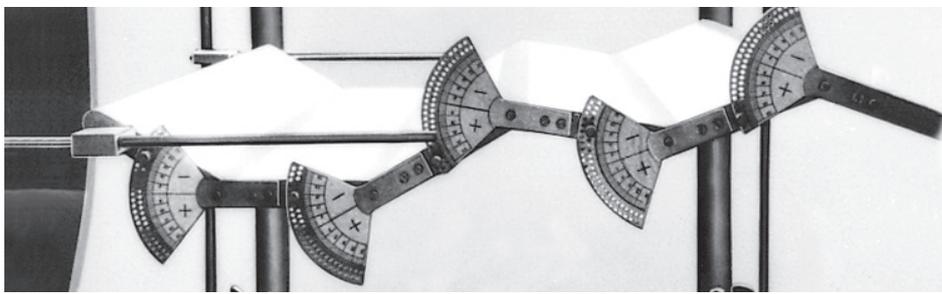
Eine spannende und an sich nahe liegende Idee ist, wissenschaftliche und technische Fragestellungen durch die Anwendung ähnlicher Prinzipien wie in der Evolution zu lösen und damit zu einer optimalen Lösung zu kommen. In der Ausstellung führt ein Film in dieses abstrakte Thema ein. Im Anschluss daran können auf Touch-Screens Evolutionsstrategien nachgespielt werden.

**Hintergrundinformationen***Das „Darwin-im-Windkanal“ - Experiment*

Jahre nach dem Tod von Charles Darwin, durch die Wiederentdeckung der Mendelschen Regeln und dem rasch wachsenden Forschungsbereich der Genetik, erkannte man, dass die Veränderungen von Organismen u.a. auf Mutationen und Rekombinationen des Genmaterials zurückgeführt werden können. Diese zufällig auftretenden Variationen in den Genen von Individuen innerhalb einer Population bewirken, dass die dadurch am besten an ihre Umwelt angepassten Organismen überleben und ihre Merkmale an die nachfolgende Generation weitergeben können. Die Artenvielfalt entstand über Milliarden von Jahren hinweg, völlig ungerichtet, durch „Versuch und Irrtum“. Prof. Ingo Rechenberg und Prof. Hans-Paul Schwefel begannen bereits in den 1960er Jahren mit der Entwicklung der sogenannten Evolutionsstrategie, welche die Anwendung von Evolutionsprinzipien auf technische Fragestellungen beinhaltet. Als Student führte Rechenberg an der Technischen

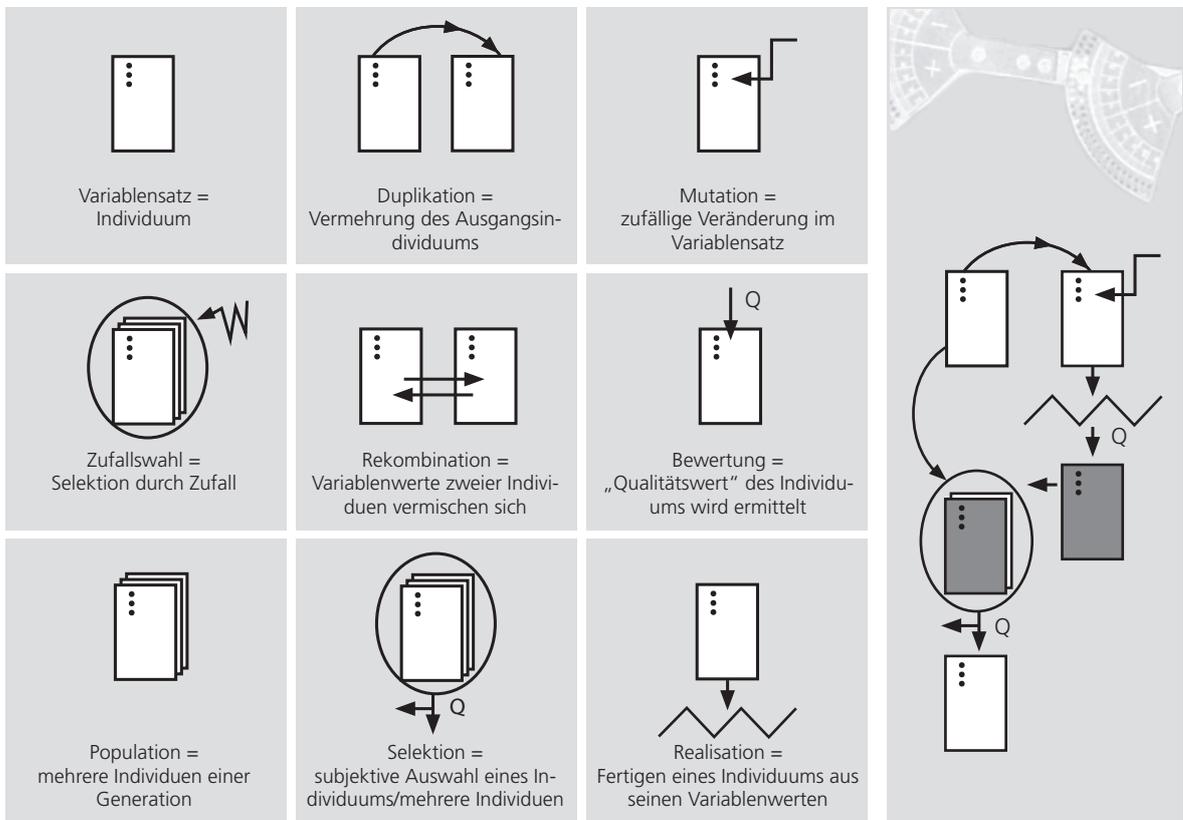


Charles Darwin (1809 – 1892)



Universität in Berlin das sogenannte „Darwin-im-Windkanal“-Experiment durch: Sechs verstellbare Platten waren in einem Windkanal zickzackförmig angeordnet. Das Ziel war, ausgehend von dieser Konstellation, die strömungsgünstigste Anordnung zu finden. Die Winkel der fünf Verbindungsscharniere konnten zu diesem Zweck variiert werden. Für jedes Scharnier waren 51 Einstellungen möglich, so dass 515 (= 345 025 251) Kombinationsmöglichkeiten vorlagen. Um die Zufälligkeit einer Mutation zu simulieren, würfelte Rechenberg und justierte anhand der erzielten Augenzahlen die Platten neu. Im Anschluss wurde eine Widerstandsmessung im Windkanal durchgeführt. War die Anordnung der Platten mit einem geringeren Strömungswiderstand assoziiert als vorher, wurden die neuen Einstellungen beibehalten. Fand eine Verschlechterung des Strömungswiderstandes statt, wurde die vorherige Einstellung der Platten wieder hergestellt. Auf diese Art und Weise gelang es nach 320 Generationen (Mutationen) eine fast ebene und damit strömungsgünstige Platte zu erstellen.

Rechenberg entwickelte neun „Spielzeichen der Evolution“, um die verschiedenen Schritte der Evolutionsstrategie bildlich darzustellen: Für sein „Darwin-im-Windkanal“-Experiment ergibt sich folgende symbolische Darstellung: Die fünf verstellbaren Platten bilden einen sogenannten Variablensatz. Das Würfeln entspricht dem Auftreten einer Mutation, das Verstellen der Platten ihrer Realisation. Dadurch entsteht ein neuer Variablensatz, der sich in geringem Maße vom Ausgangsvariablensatz unterscheidet. Da beim „Darwin-im-Windkanal“-Experiment stets die neue Platteneinstellung mit der alten verglichen wird, findet eine Selektion zwischen dem alten und dem neuen Variablensatz statt. Je nachdem, welcher Variablensatz für besser befunden wurde, steht dieser nun an der Spitze der nächsten „evolutiven“ Schleife. Evolutionsstrategien können auf sehr verschiedene Fragestellungen angewendet werden. Klassische Beispiele sind der optimale Geschmack von Kaffeemischungen, der Brückenbau, die Entwicklung eines Gesundheitssystems, die Phantombild-erstellung etc.



A) Symbole, um einzelne, der Evolution nachempfundene Schritte im Rahmen von Optimierungsprozessen zu beschreiben (nach Rechenberg).

B) Anwendung der Symbole auf das „Darwin-im-Windkanal“-Experiment

**Der Geschmack von Bohnenkaffee**  
(Kl. 10 – 13)

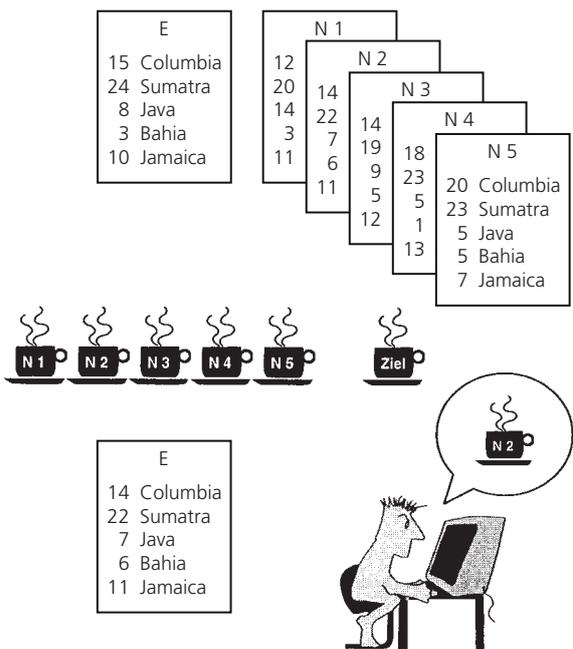
*Fragestellung*

Wie kann eine stets gleich schmeckende Kaffeesorte erzeugt werden?

*Hintergrund*

Der Kaffee einer Marke schmeckt – wie vom Kunden erwartet – immer gleich. Die Tatsache, dass es für den Hersteller keineswegs trivial ist, immer den gleichen Kaffeegeschmack zu erzeugen, ist nur wenigen bewusst. Der Grund dafür ist, dass der Geschmack der Bohnen von vielen Einflüssen abhängt, z.B. von der Sorte, dem Anbaugebiet, den Witterungsbedingungen, dem Transport und der Lagerung.

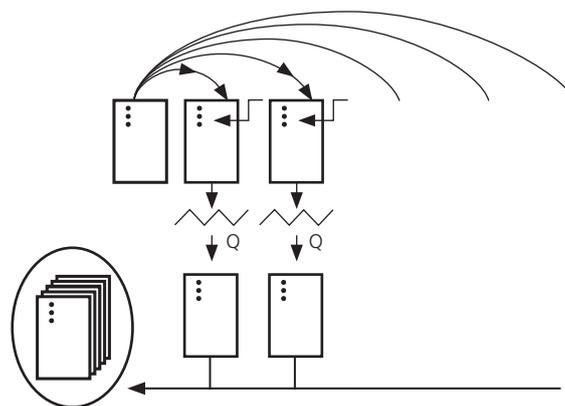
Der Ingenieur Dr. Michael Herdy hat dieses Problem mit Hilfe der Evolutionsstrategie gelöst. Ein Computer mischt ausgehend von einer Anfangsmischung fünf neue Kaffeevarianten. Eine Testperson probiert im Anschluss daran, welche von diesen Kaffeemischungen vom Geschmack her am ehesten an die Zielmischung heranreicht. Seine Wahl teilt er einem Computer mit, der davon ausgehend erneut fünf unterschiedliche Mischungen ansetzt. Durch diese Methode gelang es nach nur elf Generationen einen Geschmack zu erzielen, der dem bisher verkauften Kaffee gleich.



Computer und Mensch beim Erstellen einer Kaffeemischung (E = Elter, N = Nachkomme)

*Aufgaben*

1. Wende die von Prof. Rechenberg eingeführten „Spielzeichen der Evolution“ auf die Mischtechnik des Bohnenkaffees an! Vervollständige das folgende Schema!



2. Bei welchen Produkten der Lebensmittelindustrie könnte dieses Verfahren noch verwendet werden?

---



---



---

3. Was ist der größte Unterschied zwischen Evolution und Evolutionsstrategie?

---



---



---

## Tarne die Blumenwanze

(Kl. 10 – 13)

### Arbeitsauftrag

Wende eine stark vereinfachte Form der Evolutionsstrategie an!

### Hintergrund

In Anlehnung an den auf [www.bionik-online.de](http://www.bionik-online.de) beschriebenen Mimikry-Versuch, der an einem Computer durchgeführt werden kann, wurde ein vereinfachtes Experiment abgeleitet.

Fiktive Geschichte: Eine helle Blumenwanze erschließt sich als neues Nahrungsgebiet die Blüten der Schachbrettblume (*Fritillaria meleagris*). Aufgrund des Blütenblattmusters der Schachbrettblume überleben die Blumenwanzen einer Population, die zufällig eine schachbrettartige Pigmentierung ausbilden, da Fressfeinde sie schlechter erkennen.

### Materialien

Kopiervorlage (siehe nächste Seite)

Würfel

Bleistift

Radiergummi

### Durchführung

Die „Start-Blumenwanze“ wird als weißes Quadrat mit 4x4 Kästchen dargestellt. Die pigmentierte „Ziel-Blumenwanze“ ist analog ebenfalls als Quadrat aus 4x4 Kästchen gezeichnet. In den Zeilen darunter sind weitere Quadrate angeordnet. Das erste Quadrat in jeder Reihe stellt eine „Elter-Blumenwanze“ dar. Die dahinter befindlichen Quadrate sind die Nachkommen.

1. Du beginnst nun die Simulation einer spontanen Mutation in den Nachkommen – ausgehend von der weißen „Start-Blumenwanze“. Würfle 2x. Der erste Wurf ergibt die zu mutierende Spalte, der zweite die zu mutierende Zeile im Quadrat an. Bei der Augenzahl fünf oder sechs würfelst Du erneut. Das Kästchen, das Du durch das Würfeln triffst, wird markiert.
2. Am Schluss der ersten Runde hast du folgende Situation: ein Elter (weiß) sowie vier Nachkommen, die jeweils einen Pigmentfleck besitzen. Vergleiche diese fünf Blumenwanzen mit Dei-

ner „Ziel-Blumenwanze“. Im besten Falle hast du mehrere Nachkommen erzeugt, die eine Übereinstimmung in der Pigmentierung aufweisen. Davon bestimmst Du willkürlich einen als Elter der nächsten Generation. Im schlechtesten Falle hat die „Start-Blumenwanze“ weiterhin die höchste Übereinstimmung mit der „Ziel-Blumenwanze“, dann muss sie erneut als Elter für die nächste Generation herhalten.

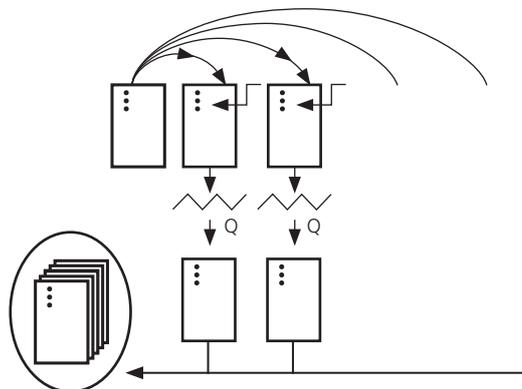
Für alle Generationen nach der ersten Runde gilt: Ist das Feld bereits im Elterntier markiert, so findet in dem jeweiligen Nachkommen eine „Rückmutation“ statt und das Feld wird wieder weiß (radiert).

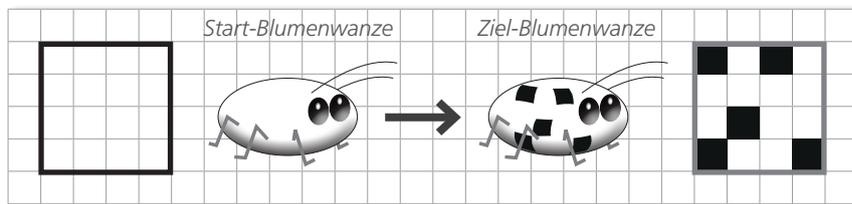
3. Auf diese Art und Weise erstellst Du die nachfolgenden Generationen, die zunehmend pigmentiert sind, bis das Muster der „Ziel-Blumenwanze“ erreicht ist. Ein illustriertes Beispiel befindet sich bei den Lösungen.

### Aufgaben

1. Wie viele Generationen benötigst Du mindestens, bis das Tarnmuster erreicht ist?

2. Wende die von Prof. Rechenberg entwickelte Symbolik der Evolutionsstrategie auf das „Blumenwanzen-Experiment“ an! Vervollständige das folgende Schema!





1. Generation  
(= 1 Runde) ...

Start				



3. Diskutiert: War die Anwendung der Evolutionsstrategie in diesem Beispiel sinnvoll oder wäre man mit einer anderen Methode schneller gewesen?

---



---



---



---

Quadrat. Das unten stehende magische Quadrat wurde von einem Computer nach den Regeln der Evolutionsstrategie berechnet. Bei welcher Problemstellung macht die Anwendung der Evolutionsstrategie Sinn? Wann macht sie keinen Sinn?

---



---



---



---

4. Eine Spielerei, bei der die Evolutionsstrategie hilft, ist die Erstellung sogenannter magischer

79	109	71	128	124	57	124	76	64	112	65	145	158	67	115	55	103	75	105	89	81
76	116	129	34	87	89	88	108	87	98	97	119	106	53	128	57	104	127	103	95	101
71	65	112	102	104	73	78	118	107	125	94	138	85	102	100	73	21	78	151	116	89
108	92	82	136	117	93	120	73	87	153	63	136	62	50	142	57	132	79	67	113	40
89	105	80	82	63	54	95	74	135	129	99	98	111	115	57	76	213	69	107	102	49
86	116	138	96	157	96	120	98	112	70	24	57	77	77	126	71	91	107	130	98	55
89	111	92	86	149	66	129	160	63	97	77	113	115	76	137	37	68	94	72	125	46
94	159	2	2	159	150	236	0	0	190	180	167	0	0	122	107	172	2	2	117	141
81	2	165	149	2	152	0	235	162	0	138	0	191	167	0	90	2	153	183	2	128
129	192	179	131	2	117	0	128	115	0	101	0	111	153	0	174	87	126	129	2	126
137	135	124	2	110	100	0	117	125	0	140	0	80	156	0	150	179	144	2	129	172
120	144	2	160	165	75	0	74	105	0	113	0	124	170	0	200	152	2	99	157	140
89	2	169	137	113	121	0	109	200	0	168	0	128	141	0	86	2	179	110	127	121
213		2		2	208	288	0	0	238	218	185	0	0	249	195	2	2	2	2	192
77	87	100	87	40	112	123	138	129	102	40	131	87	87	126	50	121	123	94	116	32
51	116	85	116	102	26	87	81	106	100	74	100	107	109	114	100	82	131	102	99	114
92	74	58	123	137	60	116	66	83	127	71	95	58	67	143	111	150	145	64	51	111
89	128	78	123	102	100	110	109	42	95	21	156	119	136	56	84	87	118	85	105	59
42	120	111	98	143	94	81	49	105	117	102	91	125	91	109	100	76	60	102	138	48
98	32	128	121	38	20	140	112	96	112	63	129	60	88	136	89	98	90	150	145	57
92	95	95	87	86	139	67	77	79	137	54	142	98	97	142	40	60	98	143	74	100

*Magisches Quadrat.  
Die Summe der Spalten, Zeilen und Diagonalen ist jeweils 2002. In der Mitte des Quadrates ist zudem die Zahl 2002 aus Zweien und Nullen dargestellt.  
(nach Bionik, TU Berlin)*

**Bildungsplanbezug:***Sek I*

Physik: Schall und Licht – Wahrnehmung: Lautstärke, Tonhöhe, Hören – Schallerzeugung und Schallausbreitung

Biologie: Sinne erschließen die Welt – Tiere nehmen unterschiedliche Ausschnitte der Welt wahr – Experimente zur Aufnahme von Umweltreizen durch Sinnesorgane.

**In der Ausstellung**

Je nach Lebensraum und Lebensweise können verschiedene Tierarten unterschiedliche Reize registrieren.

Der Schwarze Kiefernprachtkäfer nutzt das Infrarotlicht zur Orientierung. Die Infrarotrezeptoren der Kiefernprachtkäfer dienen Forschern der Universität Bonn als Vorbild für die Entwicklung von neuen, besonders empfindlichen Feuermeldern.

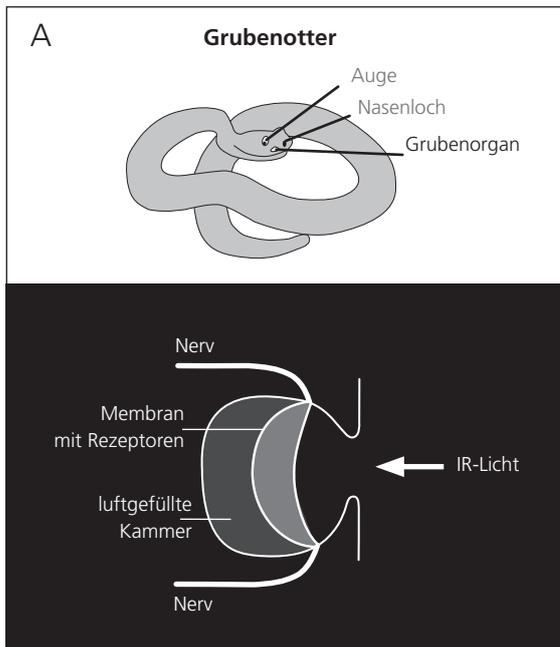
Eulen wiederum vertrauen bei der nächtlichen Jagd ganz ihrem Hörsinn, der viel empfindlicher ist als der des Menschen. Sie können ihre Beutetiere sehr exakt orten und waren Vorbild für die Entwicklung einer akustischen Kamera. Wie eine solche funktioniert, erfahren die Besucherinnen und Besucher in der Ausstellung.

**Hintergrundinformationen***Orientierung mit Infrarotlicht*

Das für den Menschen sichtbare Licht umfasst einen Wellenlängenbereich zwischen ca. 380 und 780 nm. Elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen zwischen 780 nm und 1 mm bezeichnet man als Infrarotstrahlung bzw. kurz IR-Strahlung. Die IR-Strahlung hat damit eine größere Wellenlänge und einen geringeren Energieinhalt als das sichtbare Licht. Umgangssprachlich wird IR-Strahlung mit Wärmestrahlung gleichgesetzt, obwohl das gesamte elektromagnetische Spektrum zur Temperaturerhöhung beiträgt.

Im Gegensatz zum Menschen können Schlangen IR-Strahlungen nicht nur fühlen, sondern auch sehen. Grubenottern haben zwei sogenannte Grubenorgane, die sich auf der linken und rechten Kopfseite zwischen dem Auge und der Nasenöffnung befinden. Eine dünne Membran absorbiert die IR-Strahlung, wodurch Wärmerezeptoren und Nerven aktiviert werden. Das Grubenorgan ist so effektiv, dass die Schlangen damit Temperatur-



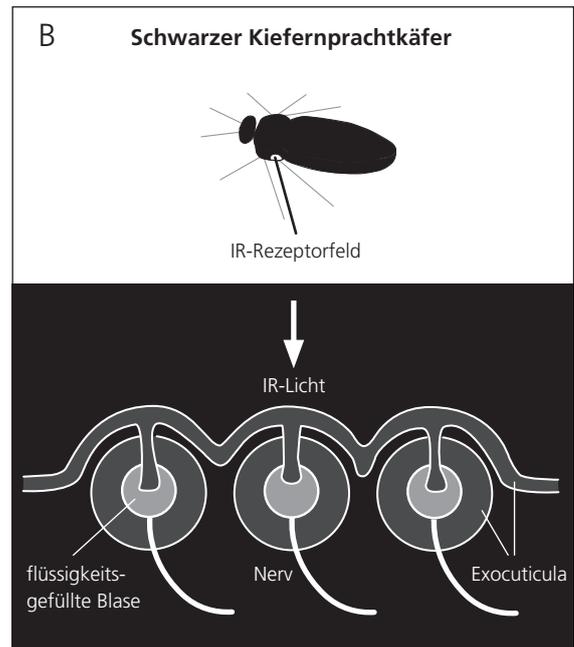


unterschiede von bis zu 0,003 °C wahrnehmen. Die paarweise Anordnung der Grubenorgane am vorderen Oberkiefer ermöglicht zusätzlich eine räumliche Orientierung und befähigt die Schlangen, durch Kopfbewegung vorab schon Größe und Gestalt des Beutetiers zu erkennen (Bild A).

Auch manche Insektenarten sind in der Lage, minimale Temperaturschwankungen detektieren zu können. Beim Schwarzen Kiefernprachtkäfer (*Melanophila acuminata*) befinden sich seitlich am Brustbereich IR-Rezeptorfelder. Sie bestehen aus winzigen, mit Flüssigkeit gefüllten Blasen. Durch die Temperaturerhöhung dehnen sich die Blasen aus und Nervenfasern werden aktiviert. Diese Art der Thermorezeption ist noch sensitiver als bei den Schlangen und die technische Umsetzung aufgrund der mechanischen Funktion einfacher. Das Prinzip ist inzwischen patentiert und die ersten Prototypen der verbesserten Brandmelder wurden bereits erprobt (Bild B).

#### *Orientierung mit Schall*

Während sich die elektromagnetischen Wellen des Lichts auch im Vakuum ausbreiten können, ist die Übertragung von Schall stets auf ein „Trägermedium“ angewiesen. Als Trägermedium können Luft, Wasser oder Festkörper dienen. Schallwellen sind Longitudinalwellen. Das jeweilige Medium wird lokal komprimiert und diese Verdichtung breitet sich kontinuierlich über den Raum hinweg aus. Das menschliche Gehör kann Schallfrequenzen zwischen 16 Hz und 20 kHz (1 Hertz bedeutet



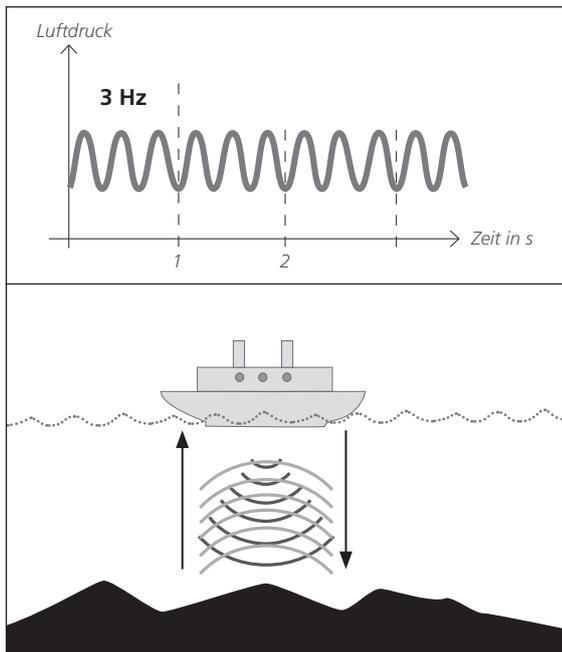
A) Das Grubenorgan der Grubenotter befindet sich zwischen Auge und Nasenloch auf jeder Seite des Kopfes. Eine Vergrößerung zeigt, dass sich eine eingesenkte Membran über einer kleinen luftgefüllten Kammer befindet. In der Membran werden Rezeptoren durch die IR-Strahlung aktiviert und aktivieren ihrerseits Nerven, die zum Gehirn führen.

B) Beim Schwarzen Kiefernprachtkäfer sind die IR-Rezeptorfelder seitlich im Brustbereich lokalisiert. IR-Strahlung trifft auf flüssigkeitsgefüllte Bläschen und führt zur Ausdehnung der Flüssigkeit. Aufgrund dessen werden Nervenendigungen aktiviert und ein Nervensignal ausgelöst (vereinfachte Darstellung nach Klacke & Schmitz, 2012).

eine Schwingung pro Sekunde) wahrnehmen. Je schneller das jeweilige Medium schwingt, desto höher wird der zugehörige Ton. Schwingungen unter 16 Hz und über 20 kHz können vom menschlichen Ohr nicht mehr wahrgenommen werden. Man spricht von Infra- bzw. Ultraschall.

Um Objekte unter Wasser zu orten bzw. zu vermessen, werden derzeit Sonargeräte oder Echolote genutzt. Diese messen die Zeit, die zwischen der Aussendung eines Ultraschallsignals und der Ankunft der am Objekt reflektierten Schallwelle vergeht.

Schwierig wird die Aufgabe dann, wenn die Schallwellen größere Entfernungen überwinden müssen und außer dem zu empfangenden Signal weitere Geräusche von Schiffen und Tieren, Echos, Verzerrungen und Nachhalleffekte auftreten. Delfine, die



Oben: Die Tonhöhe wird in Hertz gemessen (= Schwingungsanzahl pro Sekunde).

Unten: Vermessung der Meerestiefe durch Echoloten (dunkle, gewölbte Linien = vom Schiff ausgesandte Sonarwellen)

sich unter Wasser verständigen, sind mit denselben Problemen konfrontiert und haben zur Lösung eine elegante Strategie entwickelt. Sie verwenden keine starren Frequenzen, sondern variieren die Höhe der Töne in einem weiten Frequenzbereich. Dadurch werden die Signale robuster gegen Störeinflüsse. Da jedes Objekt bestimmte Frequenzen absorbiert und andere reflektiert, bekommen die Delfine durch Analyse der empfangenen Signale sogar Informationen über die stoffliche Zusammensetzung der Gegenstände. So waren Delfine bei Versuchen in der Lage, auch unterschiedliche Stahlsorten noch aus großer Entfernung zu unterscheiden. Dr. Rudolf Bannasch von der TU Berlin hat das Sonarsystem der Delfine intensiv untersucht und darauf aufbauend ein Ultraschallmodem entwickelt, das wie die Delfine Informationen auf ständig wechselnden Frequenzen sendet und so in der Lage ist, Daten im Meer über eine weite Distanz hinweg störungsfrei zu übertragen.

An Land sind Eulen Meister darin, sich mit Schallsignalen zu orientieren. Nachts „sehen“ sie mit den Ohren. Möglich wird das durch die fast über die gesamte Kopfhöhe reichenden, schlitzförmigen Ohröffnungen, die noch dazu artspezifisch unter-

schiedlich vertikal gegeneinander versetzt sind. Dadurch wird ein Geräusch sowohl in waagrecht als auch in senkrechter Ebene zu verschiedenen Zeitpunkten empfangen. Zur Beuteortung dreht die Eule ihren Kopf so lange hin und her, bis das Schallsignal auf beiden Ohren gleichzeitig eintrifft und kann damit Beutetiere sehr exakt orten. Vergleichbar mit den menschlichen Ohrmuscheln wirken die kreisförmig angeordneten Gesichtsfedern der Eule. Wie ein Trichter lenken sie die Schallwellen zu den Ohren.

Nach diesem Vorbild wurde von der Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e.V. (GFAI) eine akustische Kamera konstruiert. Diese besteht aus zahlreichen, in Kreis- oder Kugelform angeordneten Mikrofonen, die an einen Rechner angeschlossen sind. Geräusche, die von einer Schallquelle ausgehen, beispielsweise von einer lauten Maschine, können auf diese Weise genau analysiert werden. Es können Aussagen darüber getroffen werden, woher welches Geräusch aus der Maschine kommt. Die exakte Lokalisierung und Analyse der Geräusche ist aufgrund von Laufzeitunterschieden, Phasenverschiebungen und Schalldruckintensitäten des Schalls zu den einzelnen Mikrofonen möglich. Durch die Überlagerung mit einem Videobild ergibt sich eine anschauliche und schnelle Darstellung der Geräusche. Die Teile der Maschine, von denen die lautesten Geräusche ausgehen, werden rot eingefärbt, Bereiche der Maschine mit geringerer Geräuschintensität werden in der Reihenfolge gelb, grün oder blau eingefärbt.

Eingesetzt wird dieses Verfahren inzwischen weltweit zur Geräuschanalyse und kann damit maßgeblich zur Schallreduktion und bei der Qualitätssicherung zur Fehlerreduktion beitragen.

# Experimente und Aufgaben

Arbeitsblatt 1

## Die Rezeption von Schallwellen und Lichtwellen durch verschiedene Sinnesorgane

(Kl. 8 – 10)

### Fragestellung

Welches Sinnesorgan verarbeitet welchen Reiz?

Wellenlängen	elektromagnetisches Spektrum	Sinnesorgan	Schallwellen
10 km - 10 m	Ultra-violett	Bienenauge	
1 m - 1 mm	Radiowellen	Echolot Fledermaus	Infraschall <16Hz
50 µm - 780 nm	sichtbares Licht	menschliches Auge	Hörschall 16 Hz - 20 kHz
780 nm - 380 nm	Infrarot	menschliches Ohr	Ultraschall 20 kHz - 1,6 GHz
380 nm - 50 nm	Röntgenstrahlung	Grubenorgan Schlange	
50 nm - 10 pm		Sonarsystem Delfin	

### Aufgaben

1. Ordne den Wellenlängen die entsprechenden Bereiche im elektromagnetischen Spektrum zu!
2. Verbinde die Sinnesorgane jeweils mit dem Wellenspektrum, das sie wahrnehmen können!
3. Wie reagieren wir Menschen auf Infrarot- bzw. UV-Strahlung?

---



---



---



---



**Richtungshören**  
(Kl. 8 – 10)

*Arbeitsauftrag*

Untersucht das Richtungshören beim Menschen!

*Materialien*

Augenbinde

Schallquelle für tiefen Dauerton (z.B. Gong)

Schallquelle für hohen Dauerton (z.B. Flöte)

*Experiment 1: Orten einer Geräuschquelle*

Eine Versuchsperson stellt sich mit verbundenen Augen in die Mitte des Raums. An beliebiger Stelle des Raums wird ein Geräusch erzeugt.

*Aufgaben*

1. Kann die Versuchsperson angeben, aus welcher Richtung der Ton kommt?

---

2. Erkläre mit Hilfe der Abbildung, wie das Richtungshören funktioniert!




---



---



---

3. Was ist entscheidend für die Ortung?

---



---

4. Kann die Versuchsperson das Geräusch orten, wenn sie sich ein Ohr zu hält? Finde eine Erklärung für Deine Beobachtung!

---



---



---

*Experiment 2: Orten eines Dauertons*

Eine Versuchsperson stellt sich mit verbundenen Augen in die Mitte des Raums. Sie verschließt beide Ohren mit den Fingerkuppen. An einer Stelle des Raums wird ein Dauerton erzeugt. Wichtig ist, dass die Versuchsperson erst dann die Finger aus dem Ohr nimmt, wenn der Dauerton bereits eingesetzt hat.

Der Versuch wird mit einem Dauerton hoher und einem Dauerton niedriger Frequenz durchgeführt.

*Aufgaben*

1. Welcher Ton kann besser geortet werden?

---



---



---

2. Was ist in diesem Fall für die Schallortung ausschlaggebend?

---



---



---

## Wegunterschied und Laufzeitdifferenz beim Richtungshören

(Kl. 8 – 10)

### Arbeitsauftrag

Teste, wie exakt das Richtungshören beim Menschen ist!

### Materialien

Schlauch (1m lang)

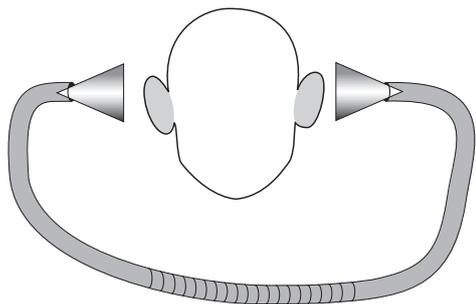
2 Trichter

Lineal

Permanentmarker

### Vorbereitung

Stecke die Trichter in die Schlauchenden und markiere die Schlauchmitte. Bringe rechts und links von der Schlauchmitte im Abstand von jeweils 1 cm 20 Markierungen an (vgl. Abb.).



### Durchführung

Person 1 hält die zwei Trichter an die Ohren. Der Schlauch liegt dabei hinter der Person auf einem Tisch auf.

Person 2 klopft leicht mit einem Stift auf den Schlauch.

### Aufgaben

1. Welchen Wegunterschied können die Ohren noch unterscheiden?

---



---



---



---

2. Welchen Laufzeitunterschied können die Ohren noch unterscheiden?

Es gilt:  
 Geschwindigkeit  $v = \frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}}$   
 Schallgeschwindigkeit  $v_{\text{schall}} = 340 \text{ m/s}$

---



---



---



---

Themenkomplex  
**Bauen**

**Bildungsplanbezug:**

*Grundschule*

Mensch, Natur und Kultur: einfache Modelle mit Materialien und Naturmaterialien – Brücken, Türme und Bauwerke – Planung, Skizze, Montage, Bau, Präsentation unterschiedlicher, fantastischer/surriler Maschinen, Fahrzeuge und Objekte – Architektur und gestaltete Landschaft

Sachunterricht: Bauen und Konstruieren – Mit Bauklötzen Türme, Häuser, Brücken usw. bauen, verschiedene Konstruktionsweisen miteinander vergleichen und die Standfestigkeit beurteilen.

*Sek I*

Mathematik: Entwicklung zeichnerischer Fähigkeiten, Handhabung von Geodreieck und Zirkel – einfache Dreieckskonstruktionen – Geometrie in der Architektur

*Sek II*

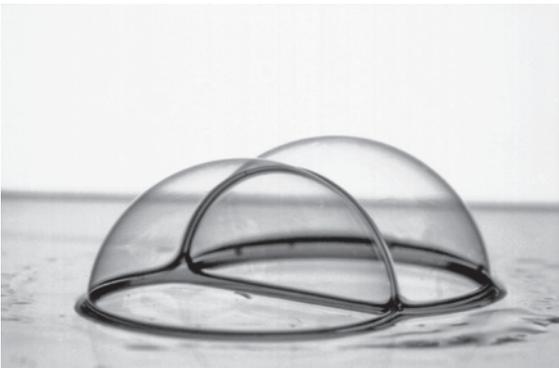
Chemie: Oberflächenspannung von Wasser und Seifenlösungen

**In der Ausstellung**

Aus der belebten und der unbelebten Natur kann sich der Mensch Anregungen für die Optimierung von Bauteilen und die Gestaltung von Bauwerken holen.

Die Besucherinnen und Besucher können an einer Experimentierstation auf anschauliche Art und Weise die Idee der Zugdreiecke nachvollziehen und werden danach vermutlich ihre Umwelt mit anderen Augen sehen.

Zarte Gebilde wie Seifenblasen dienen den Architekten als Vorbild. Taucht man ein Drahtgestell in eine Seifenlösung, bildet die Seifenhaut beim Herausziehen eine energetisch gesehen besonders günstige Fläche, eine Minimalfläche. Baut man diese Gebilde nach, entstehen futuristische Gebäude, die mit geringem Materialaufwand ein großes Volumen einschließen und sich durch eine hohe Stabilität auszeichnen. Versuche zur Entstehung und zum Aussehen solcher Minimalflächen können in der Ausstellung durchgeführt werden.



*Seifenblasen inspirieren Architekten*

## Hintergrundinformationen

### Zugdreiecke

Ein Baum übersteht Stürme meist ohne stärkere Beschädigungen. Dies ist auf die biegeelastische Struktur des Holzes zurückzuführen sowie auf die optimale Formgebung der Astansätze und Astgabeln.

Prof. Claus Mattheck vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) zeigt durch sein von ihm entwickeltes „Denkwerkzeug Zugdreieck“ anschaulich, wie in der Natur das Auftreten von lokalen Spannungen vermieden wird.

Als Spannung  $\sigma$  wird in der Mechanik eine Kraft ( $F = \text{kg m/s}^2$ ) bezeichnet, die auf eine Fläche ( $A$ ) wirkt. Es gilt:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Wirkt die Spannung senkrecht auf die Fläche, handelt es sich in Abhängigkeit von der Richtung um eine Druck- oder um eine Zugspannung. Spannungen, die tangential zur Fläche auftreten, werden als Schubspannungen bezeichnet.

Am Beispiel einer Baumwurzel soll erläutert werden, wie in der Natur das Auftreten von lokalen Spannungsspitzen vermieden wird, um Beschädigungen (bspw. durch Stürme) zu verhindern. Das Einzeichnen eines Rechtecks veranschaulicht, dass die Wurzel nicht rechtwinklig am Baum wächst. Die Krümmung der Wurzel setzt sich aus drei gleichschenkligen Dreiecken zusammen. Das größte Dreieck ist ein rechtwinkliges Dreieck. Das

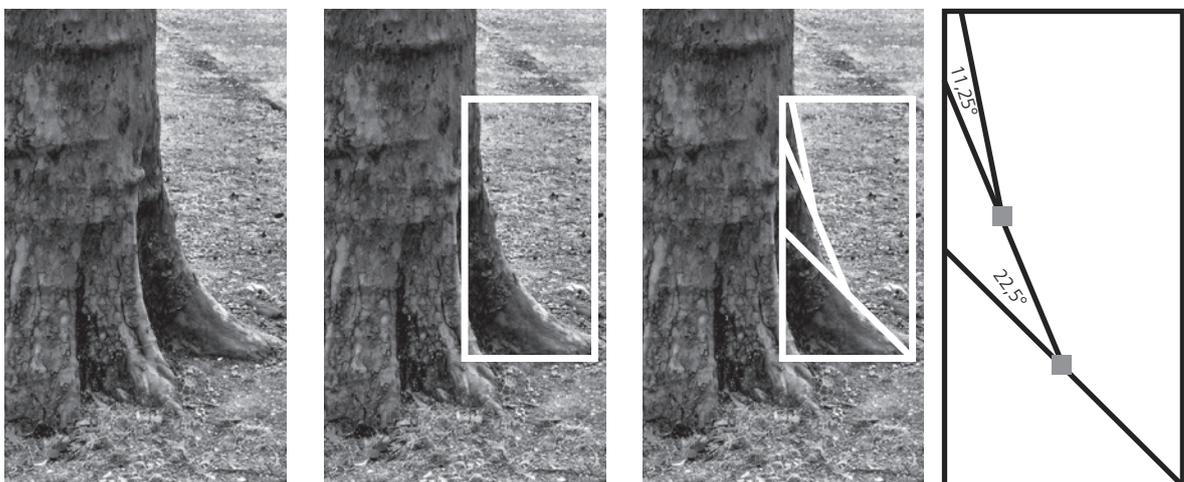
anschließende Dreieck fußt im Zentrum der Basis des rechtwinkligen Dreiecks, sein Basiswinkel beträgt  $22.5^\circ$ . Das letzte Dreieck beginnt ebenfalls in der Mitte der Basis des vorherigen Dreiecks, der Basiswinkel beträgt hier  $11.25^\circ$ . Damit ergibt sich ein formoptimaler Wurzelansatz, bei dem zusätzliches Holz nur an den Stellen gebildet wird, wo gegebenenfalls Spannungen auftreten.

Diese Stabilisierung ist darauf zurückzuführen, dass eine „Ausrundung“ des  $90^\circ$ -Winkels Spannungsspitzen gar nicht erst auftreten lässt. Diese Strategie findet auch in der Technik Anwendung, da die Ecken von Bauteilen gemäß der Zugdreieckmethode modifiziert werden können. Das Denkwerkzeug der Zugdreiecke findet auch Anwendung, nachdem Dinge Belastungen ausgesetzt worden und kaputt gegangen sind. Die Kontur der entstandenen Risse in verschiedenen Materialien weist darauf hin, dass durch die Beschädigung formoptimierte Bruchstücke entstanden sind.

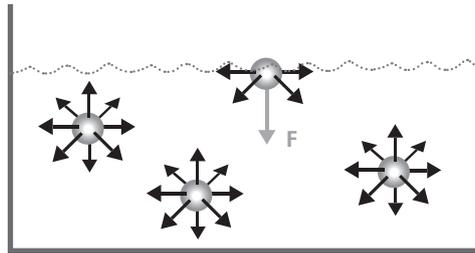
Die Erkenntnis über die Funktion der Zugdreiecke ist in vielen technischen und medizinischen Bereichen anwendbar, sodass sich Verschleißerscheinungen bei Bauteilen, medizinischen Schrauben oder Endoprothesen minimieren lassen.

### Seifenblasen und Minimalflächen

Aus der „unbelebten“ Natur sind jedem von Kindesbeinen an Seifenblasen bekannt. Eine Seifenblase verblüfft durch ihre schillernden Farben sowie ihre kugelige Gestalt, die ein kleineres oder größeres Luftvolumen einschließt. Noch bevor man die Seifenblase aus dem Stäbchen pustet, lässt sich ein hauchdünner Film in dem Ring des Stäbchens beobachten. Taucht man komplizierter geformte, in sich geschlossene Drahtgestelle ein, ergeben sich verblüffend geformte Seifenfilme.



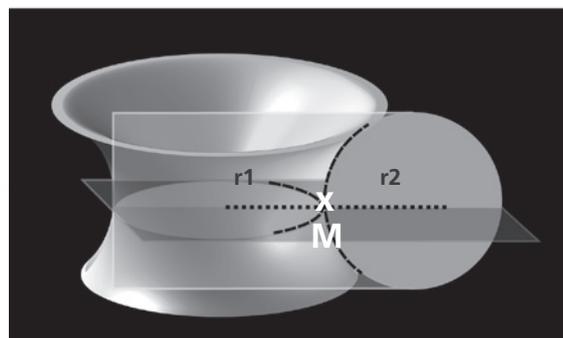
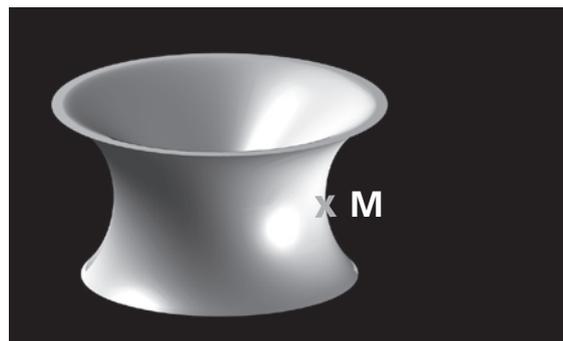
Diese sogenannten Minimalflächen zeichnen sich dadurch aus, dass ihr Flächeninhalt so klein wie möglich ist. Damit einher geht eine besonders geringe potentielle Energie ihrer Oberfläche. Minimalflächen entstehen dadurch, dass Wassermoleküle im Inneren einer Flüssigkeit aufgrund zwischenmolekularer Kräfte gleichmäßige Anziehungskräfte in alle Raumrichtungen erfahren. Nur an der Wasseroberfläche tritt eine resultierende Kraft auf (grauer Pfeil), die ins Innere der Flüssigkeit gerichtet ist. Es muss also Energie aufgewendet werden, um ein Teilchen an die Wasseroberfläche zu bringen.



Entstehung der Oberflächenspannung

Weiterhin ist bei allen Minimalflächen die mittlere Krümmung  $H$  in jedem Punkt der Fläche gleich Null.

Was das bedeutet, illustriert die nebenstehende Abbildung. Sie zeigt eine Minimalfläche, die von einem oberen und unteren Ring begrenzt wird. Nun wählt man sich einen Punkt  $M$  auf der Fläche aus. Dieser Punkt liegt sowohl auf einem gedachten Kreisradius, der sich von außen an die Minimalfläche anschmiegt (rechte Kreisfläche) als auch auf der Kreislinie, die sich von innen anlegen lässt (linke Kreisfläche) und im  $90^\circ$  Winkel zum äußeren Kreisradius steht. Die Radien der beiden Krümmungskreise  $r_1$  und  $r_2$  sind betragsgleich und unterscheiden sich in ihren Vorzeichen. Eingesetzt in die Formel für die mittlere Krümmung ergibt sich somit Null – ein entscheidendes Kriterium dafür, ob es sich bei einer Fläche um eine Minimalfläche handelt oder nicht.



Grafische Darstellung der Krümmungsradien  $r_1$  und  $r_2$  in einem Punkt  $M$  einer Minimalfläche

$$H = \frac{(r_1 + r_2)}{2} = 0$$

Die Berechnung der Krümmungsradien ist in Abhängigkeit der Form der Minimalfläche alles andere als trivial und erfordert tiefer gehende Kenntnisse im Gebiet der Differentialgeometrie. Das Finden, Berechnen und Beweisen von Minimalflächen stellt seit hunderten von Jahren eine beliebte Herausforderung für Mathematiker dar. Da sich Minimalflächen auch durch einen besonders niedrigen Energieinhalt auszeichnen, werden sie in der Architektur verwendet, um ausgefallene, aber stabile Gebäude zu entwerfen. Häufig werden dazu vorgefertigte Drahtmodelle in Seifenlösung getaucht. Die sich ausbildenden Minimalflächen werden studiert und dienen als Vorbild für die spätere Gestaltung der Bauwerke.

**Zugdreiecke sind (fast) überall!**

(Kl. 7 – 10)

*Fragestellung*

Wo kannst Du überall das „Denkwerkzeug Zugdreiecke“ anwenden?

*Materialien*

Stift & Geodreieck

*Durchführung*

Zeichne mit Hilfe Deines Geodreiecks Zugdreiecke in die untenstehenden Abbildungen ein!

*Aufgaben*

1. Woran könnte es liegen, dass die unten gezeigten Risse im Straßenasphalt (Bild C) nicht immer dem Gesetz der Zugdreiecke unterliegen?

---



---



---

2. Schau Dich im Klassenzimmer, auf dem Schulweg und daheim um! Wo kannst Du überall das Wirken von Zugdreiecken beobachten?

---



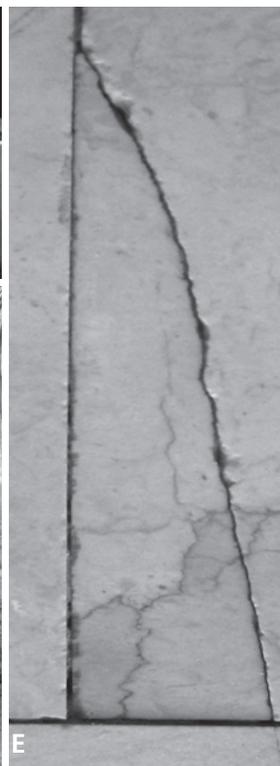
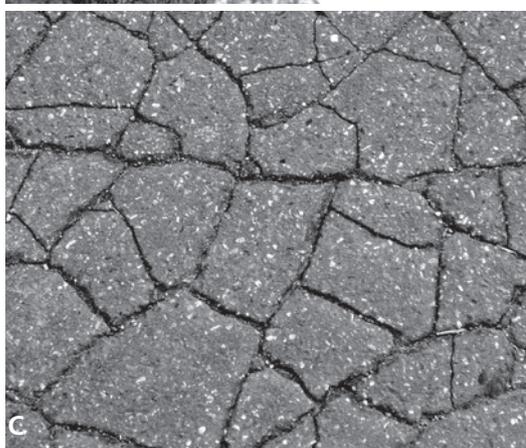
---



---



---



# Experimente und Aufgaben

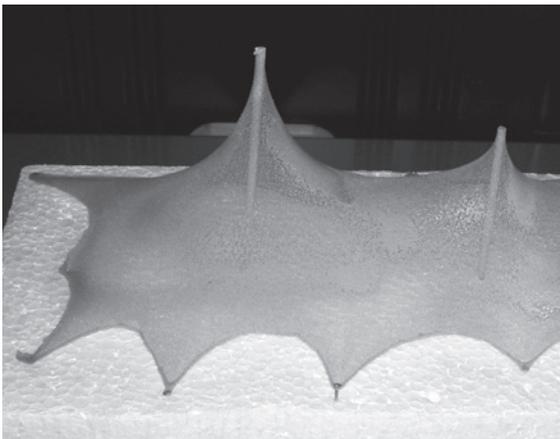
Arbeitsblatt 2

## Netzdächer

(Kl. 1 – 5)

### Arbeitsauftrag

Entwerfe ein Dach mit einer möglichst individuellen Form.



### Materialien

Nylonstrumpfhose  
Zahnstocher  
Styroporplatte (1 – 2 cm dick)  
kleine Nägel

### Durchführung

1. Schneide, in Abhängigkeit von der Größe Deines Bauvorhabens, eine Styroporplatte zurecht.
2. Stecke unterschiedlich lange Zahnstocher hinein. Achte darauf, dass der Abstand zwischen den Zahnstochern nicht zu klein ist.
3. Schneide aus einer Nylonstrumpfhose ein durchgehendes Stück Stoff zu (also möglichst im Beinbereich, wo sich keine Nahtstellen befinden).
4. Lege den Nylonstoff über die Holzstäbchen und stecke ihn mit einem Nagel fest.

5. Halte den Stoff an dieser Stelle fest und ziehe ihn stramm. Stecke mit einem weiteren Nagel den Stoff auf der gegenüberliegenden Seite fest. Sollte an dieser Stelle nun Stoff überhängen, schneide ihn ab.
6. Jetzt kannst Du rund um Dein Gebäude den Stoff feststecken. Achte dabei darauf, dass die Zahnstocher nicht umknicken und der Stoff immer fest gespannt ist.

**Beobachtung von Minimalflächen in Drahtgestellen**

(Kl. 10 – 13)

*Arbeitsauftrag*

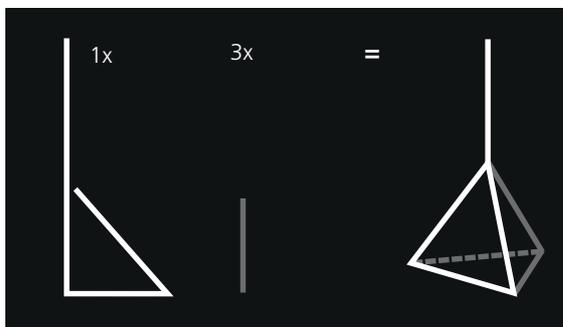
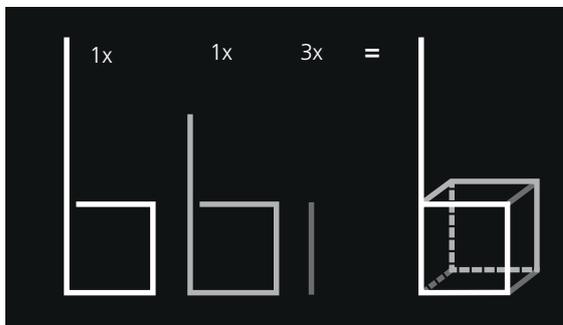
Welche Minimalflächen bilden sich in geschlossenen Drahtgerüsten aus?

*Materialien*

Lötkolben  
unbeschichteter Kupferdraht  $\varnothing$  2mm  
Lötzinn  
kleine Zange  
Seifenblasenlösung  
Plastikschüssel

*Durchführung*

Überlege Dir ein dreidimensionales Drahtgestell, schneide aus dem Kupferdraht die benötigten Teile zurecht und löte sie zusammen. Denke daran, ein Haltestäbchen anzubringen! Danach tauchst Du Deine Figur in Seifenblasenlösung und ziehst sie langsam wieder heraus!

**A****B***Aufgaben*

1. Welche Minimalflächen kannst Du beobachten?

---



---



---



---

2. Warum benötigt man Seifenblasenlösung, damit sich diese Minimalflächen bilden können? Warum funktioniert es nicht mit reinem Wasser?

---



---



---



---

# Laufen, Greifen, Haften

## Bildungsplanbezug:

### Sek I

Materie – Natur – Technik: Bewegungsapparat des Menschen und ausgewählte Funktionseinheiten – Vergleich der Fortbewegungsarten bei Landtieren und Untersuchung von verschiedenen Formen der Bewegung

Biologie: Lebewesen sind bezüglich Bau und Lebensweise an ihre Umwelt angepasst.

Chemie: Zusammenhang zwischen Molekülstruktur und Dipol-Eigenschaft herstellen – zwischenmolekulare Wechselwirkungen nennen und erklären (Van-der-Waals-Kräfte, Dipol-Wechselwirkung, Wasserstoffbrücken) – Elektronegativität

### Sek II

Biologie: Elektronenmikroskopische Bilder der Zelle interpretieren

Chemie: zwischenmolekulare Kräfte – Wasserstoffbrücken, Van-der-Waals-Kräfte, induzierte Dipole – Klebstoffe

## Laufen

### In der Ausstellung

Die Entwicklung von Laufrobotern dient dem Zweck, eine im Vergleich zum Rad flexiblere Fortbewegung zu realisieren. Mit ihnen können auch auf unwegsamem Gelände Einsätze durchgeführt werden, z.B. auf fernen Planeten oder in Gebieten, die von Erdbeben verwüstet sind.



Laufroboter „Nao“

Ausgestellt ist der Laufroboter „Lauron“, dessen Konstruktion auf den Erkenntnissen der Fortbewegung der sechsbeinigen Stabheuschrecke basiert.

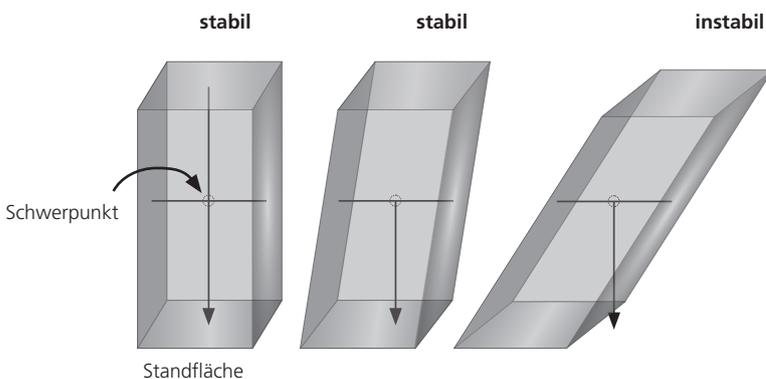
Neben dem vierbeinigen Roboter „Aramies“, gibt es zudem den humanoiden Roboter „Nao“ zu bestaunen. „Nao“ beherrscht zahlreiche Tricks, die dem Besucher von TECHNOscouts vorgeführt werden.

## Hintergrundinformationen

### *Die Rolle des Schwerpunktes beim Gehen*

Das Thema Fortbewegung spielt in der Natur eine große Rolle. Während der Mensch auf zwei Beinen durchs Leben geht, bewegen sich Insekten mit sechs, Spinnen mit acht und Tausendfüßer auf hunderten von Beinen fort. Das Rad, eine der wichtigsten Erfindungen der Menschheit, spielt in der Natur keine Rolle. Für die Fortbewegung in unebenem, hindernisreichem Gelände ist es nicht tauglich. Beim Laufen ist neben dem exakten Zusammenspiel von Exo- bzw. Endoskelett, Gelenken, Sehnen, Muskeln und Nerven das Halten des Gleichgewichts ein entscheidender Faktor. Dass dies vor allem für Zweibeiner nicht trivial ist, sieht man, wenn kleine Kinder anfangen laufen zu lernen. Insekten lösen das Gleichgewichtsproblem beim Gehen, indem sich zwei Beine der einen Körperhälfte auf dem Boden befinden und auf der anderen Körperhälfte nur das mittlere der drei Beine. So entsteht immer kurzzeitig ein stabiler, dreibeiniger Stand.

Entscheidend dafür, dass ein beliebiger Körper stabil aufrecht steht, ist, dass sich sein Schwerpunkt senkrecht über seiner Standfläche befindet. Unter dem Schwerpunkt versteht man die Stelle, an der

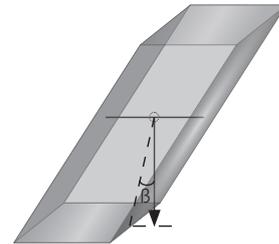


man den Körper aufhängen kann und dieser aufgrund des ausbalancierten Gewichts nicht kippt bzw. durch die Einwirkung einer äußeren Kraft immer wieder in diese Ausgangsposition zurückkehrt. Liegt die senkrechte Projektion des Schwerpunkts außerhalb der Standfläche des Körpers, ist die Situation instabil und der Körper kippt. Ob ein Körper stabil steht oder kippt, ist mit dem Drehmoment korreliert:

$$M = G \times L$$

M bezeichnet den Betrag des Drehmoments, G die Gewichtskraft des Körpers und L ist die Entfernung des Schwerpunkts von der Standfläche. Bei einem stabil stehenden Körper ist das Drehmoment gleich Null, bei einem kippenden Körper ist das Drehmoment ungleich Null.

Die instabile Situation eines Körpers kann graphisch folgendermaßen dargestellt werden:



Für das resultierende Drehmoment gilt demnach:

$$M = G \times \sin\beta$$

Bei der Fortbewegung von Zweibeinern wird zwischen dynamisch stabilem Gehen und statisch stabilem Gehen unterschieden. Während bei dem dynamisch stabilen Gehen große Schritte durchgeführt werden und somit der Schwerpunkt kurzzeitig immer außerhalb der Standfläche liegt, erfolgt das statisch stabile Gehen durch kleine Schritte. Dadurch liegt der Schwerpunkt stets über der Standfläche. Die Nachteile beim statisch stabilen Gehen sind z.B. eine verminderte Fortbewegungsgeschwindigkeit, höherer Energieverbrauch und die Einschränkung der Flexibilität in unwegsamem Gelände.

Die Mobilität von zweibeinigen Robotern stellt aufgrund der reduzierten Standfläche (im Vergleich zu Vier- oder Sechsbeinigen Robotern) und der damit verbundenen permanenten Kippgefahr eine große Herausforderung für die Ingenieure dar.



### Dynamisch und statisch stabiles Gehen

(Kl. 7 – 10)

#### Fragestellung

Welche Rolle spielt der Körperschwerpunkt beim Gehen?

#### Materialien

alte Tapete  
Klebstreifen  
Stift

#### Durchführung in Kleingruppen

Überlegt Euch zunächst, wo sich der Schwerpunkt beim Menschen befindet! Ist er bei allen Menschen an der gleichen Stelle?

Befestigt dann mit Klebstreifen ein ca. drei Meter langes Stück Tapete auf dem Fußboden. Eine Versuchsperson stellt sich mit beiden Füßen auf die Tapete. Fahrt mit dem Stift die Konturen der Füße nach. Dann muss die Versuchsperson im „Zeitlupentempo“ Zwei bis drei große Schritte auf der Tapete gehen. Sobald ein Fuß abgesetzt wird, wird er auf das Papier gezeichnet. Abschließend wird die Standfußposition aufgezeichnet.

#### Aufgaben

1. Markiert die Standflächen und zeichnet in der auf der Tapete festgehaltenen Schrittfolge die senkrechte Projektion der Schwerpunktverschiebung schematisch durch Kreuzchen ein!
2. Wie verschiebt sich die senkrechte Projektion des Schwerpunkts während des Gehens?

---



---



---



---



---



---



---



---



---

3. Wie muss man laufen, dass sich die Projektion des Schwerpunkts immer über der Standfläche befindet?

---



---



---



---

4. Welche zwei „Gangarten“ können unterschieden werden? Diskutiert Vor- und Nachteile beider „Gangarten“!

---



---



---



---

## Greifen und Haften

### In der Ausstellung

Während Hände auf die Gruppe der Primaten beschränkt sind, ist das Pendant in anderen Tiergruppen der Vorderfuß oder die Vorderpfote. Die Besucherinnen und Besucher erfahren, warum Geckos für Bioniker sehr interessant sind: Mit Hilfe ihrer Vorder- und Hinterfüße sind sie in der Lage, glatte Wände hochzugehen und sogar ein Aufenthalt an einer Zimmerdecke stellt kein Problem für sie dar. Ihr Geheimnis liegt auf den Fußunterseiten. Die Erkenntnisse über die Funktionsweise des Geckofußes führten zur Entwicklung von selbstklebenden Folien, die sich nach Gebrauch wieder rückstandslos entfernen lassen.

### Hintergrundinformationen

#### *Hände und klebrige Füße*

Die menschliche Hand verfügt über eine faszinierende Funktionalität: Mit Daumen und Zeigefinger kann ein Pinzettengriff durchgeführt werden; für das Anheben von Gegenständen werden alle Finger gekrümmt und bringen die nötige Kraft auf, damit der Gegenstand nicht herunterrutscht; Hände unterstützen uns bei der Kommunikation. Wer je einem guten Klavierspieler auf die Finger geschaut hat, bekommt eine vage Vorstellung davon, was für ein komplexes Zusammenspiel von Muskeln, Knochen, Sehnen und Nerven für diese mannigfaltigen Bewegungen nötig ist. Die Anfertigung von künstlichen Händen stellt ein großes Forschungsgebiet dar. Zum einen soll da-

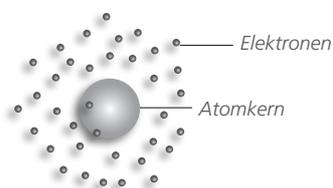
*Entstehung der Van-der-Waals-Kräfte*

mit Menschen geholfen werden, die durch Krankheit oder Unfall diese Gliedmaßen verloren haben, und zum anderen versucht man auch im Rahmen der Robotik, die unglaubliche Funktionalität von Händen zu kopieren. Sinnvoll eingesetzt könnten diese Roboter in der Zukunft eine Bereicherung darstellen und den Menschen im Alltag hilfreich zur Seite stehen.

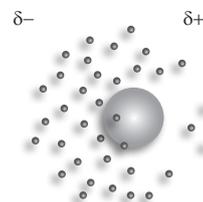
Dass Spinnen und Insekten sich an der Zimmerdecke genauso wohl fühlen wie auf einer Tischfläche, lässt sich jeden Tag beobachten. Der Grund, warum Spinnen mühelos kopfunter an der Decke laufen können, liegt darin, dass sie an den Fußunterseiten feinste Härchen (Setae) aus Keratin besitzen, die über „Van-der-Waals-Kräfte“ den Halt an der Zimmerdecke vermitteln. Bei Fliegen trägt vor allem die Absonderung von Klebeflüssigkeiten an den Fußsohlen zum Halt bei.

Auch Geckos können an Wänden und Decken haften. Der Kontakt zur Oberfläche wird hier ebenfalls über feinste Härchen aus Keratin vermittelt, die sich an der Spitze in feine, ca. 200nm große Blättchen (Spatula) aufspalten. Ein Härchen ist ca. 6 µm breit und kann mit Hilfe der Spatulae ein Gewicht von 6.2 µN halten. Der Grund für die Haftkraft liegt in den „Van-der-Waals-Kräften“. Diese beruhen auf kurzzeitigen, winzigen Ladungsverschiebungen in den Elektronenhüllen von Atomen und/oder Molekülen. Die Kräfte, die durch die Wechselwirkung dieser sogenannten temporären Dipole entstehen, sind sehr schwach. Jedoch summieren sie sich bei der großen Anzahl von Spatulae so, dass theoretisch das zehnfache Gewicht des Geckos gehalten werden kann.

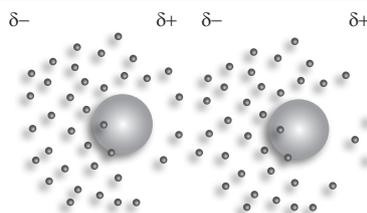
#### 1. symmetrische Ladungsverteilung



#### 2. zufällige asymmetrische Ladungsverteilung



#### 3. Anziehung durch Van-der-Waals-Kräfte



# Experimente und Aufgaben

Arbeitsblatt 1

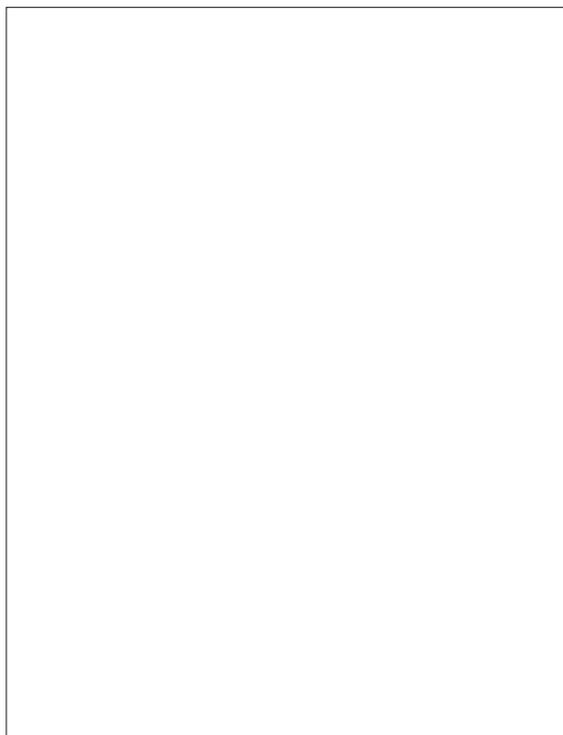
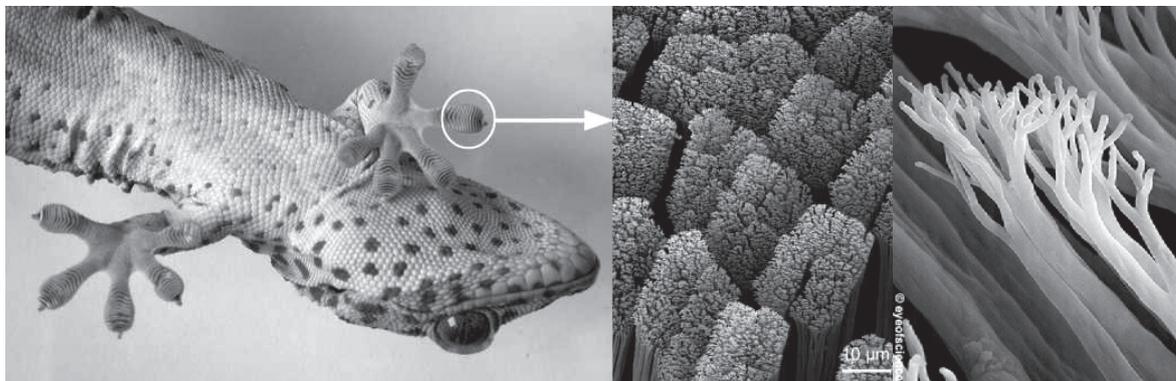
## Das Geheimnis des Geckofußes (Kl. 9 – 12)

### Fragestellung

Warum kann der Gecko an der Wand und unter der Decke laufen?

### Aufgaben

1. Betrachte die folgenden Fotos und zeichne anhand dessen, was Du erkennen kannst, die Unterseite eines Geckofußes!



2. Ordne Deiner Zeichnung folgende Begriffe zu: Lamellen, Seta (Borste) und Spatula (spatelförmige Verbreiterung).

3. Was nützen dem Gecko die „haarigen“ Füße?

---



---

4. Wenn die Kräfte, die den Gecko an der Decke halten, so stark sind, wie kann es dann sein, dass er mühelos laufen kann und sich beim Abheben der Füße nicht überanstrengt? Was vermutest Du?

---



---



---



5. Seinen Trick kann man sehr gut mit einem Stück Klebstreifen nachvollziehen!

- Nimm ein Stück Klebstreifen und schlage ein kleines Stück der linken unteren Ecke um und ein kleines Stück der rechten oberen Ecke.
- Befestige den Klebstreifen ohne Falten auf dem Tisch.
- Versuche nun den Klebstreifen dadurch ab-zuziehen, dass du gleichzeitig und gleichstark sowohl an der linken unteren Ecke, als auch an der rechten oberen Ecke ziehst. Was stellst Du fest? Wie musst Du den Klebstreifen zie-hen, dass er leicht abgeht?

---



---



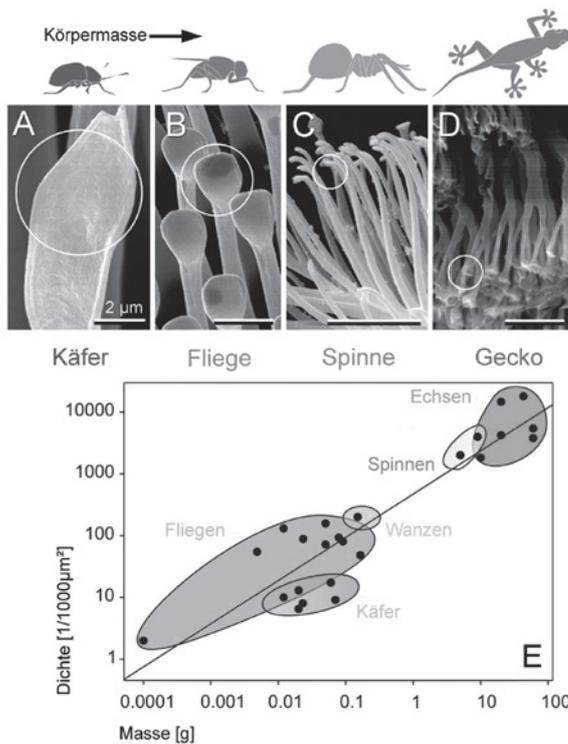
---



---

6. Schaue Dir im Internet folgenden Clip an, der zeigt, wie ein Gecko die FüÙe anhebt:  
<http://www.planet-schule.de/wissenspool/tot-alphaenomenal/inhalt/sendungen/klebeku-entstler.html>

7. Nicht nur Geckos besitzen „Haftaare“, sondern auch Spinnen und Insekten. Dabei spielt der Um-fang und somit die Haardichte eine entschei-dende Rolle. Erkläre das folgende Diagramm!




---



---



---



---

8. Überlege Dir, wie man das Wissen über den Geckofuß in der Technik verwenden könnte!

---



---



---



---

# Falten und Verpacken

## Bildungsplanbezug:

### *Grundschule*

Mensch, Natur und Kultur: Natur als „Künstlerin“  
 – Naturphänomene als Auslöser für Gestaltungen  
 – Papier als Werkstoff für Experimente und Gestaltungserkundungen  
 Sachunterricht: Bauen und Konstruieren – Papier, Pappe so umformen, dass Stabilität erreicht wird (Träger, Stütze)

### *Sek I*

Mathematik: Falten – Ausschneiden – Messen

### *Sek II*

Biologie: Einblick in die Selbstordnung bzw. Selbstorganisation dynamischer, nichtlinearer Systeme der unbelebten und belebten Natur

## In der Ausstellung

Das Thema Falten spielt in der Natur eine große Rolle. Falten haben einen schützenden und stabilisierenden Effekt, helfen aber auch Platz zu sparen. Die Tatsache, dass Falten einen stabilisierenden Effekt ausüben, nutzt man z.B. bei der Wellstruktur von Wellblechdächern, um kleinere oder größere Dachflächen zu stabilisieren, oder bei dünnwandigen Rohren, um mit Hilfe von Faltmanschetten das Knicken der Rohre zu verhindern. Das Prinzip der Selbstorganisation findet im technischen Bereich in der sogenannten Wölbstrukturierung Anwendung. Auf diese Art stabilisierte dünne Bleche können als Verkleidungen, Rohre oder auch als wassersparende und wäscheschonende Waschmaschinentrommeln eingesetzt werden.

## Hintergrundinformationen

### *Falten stabilisieren*

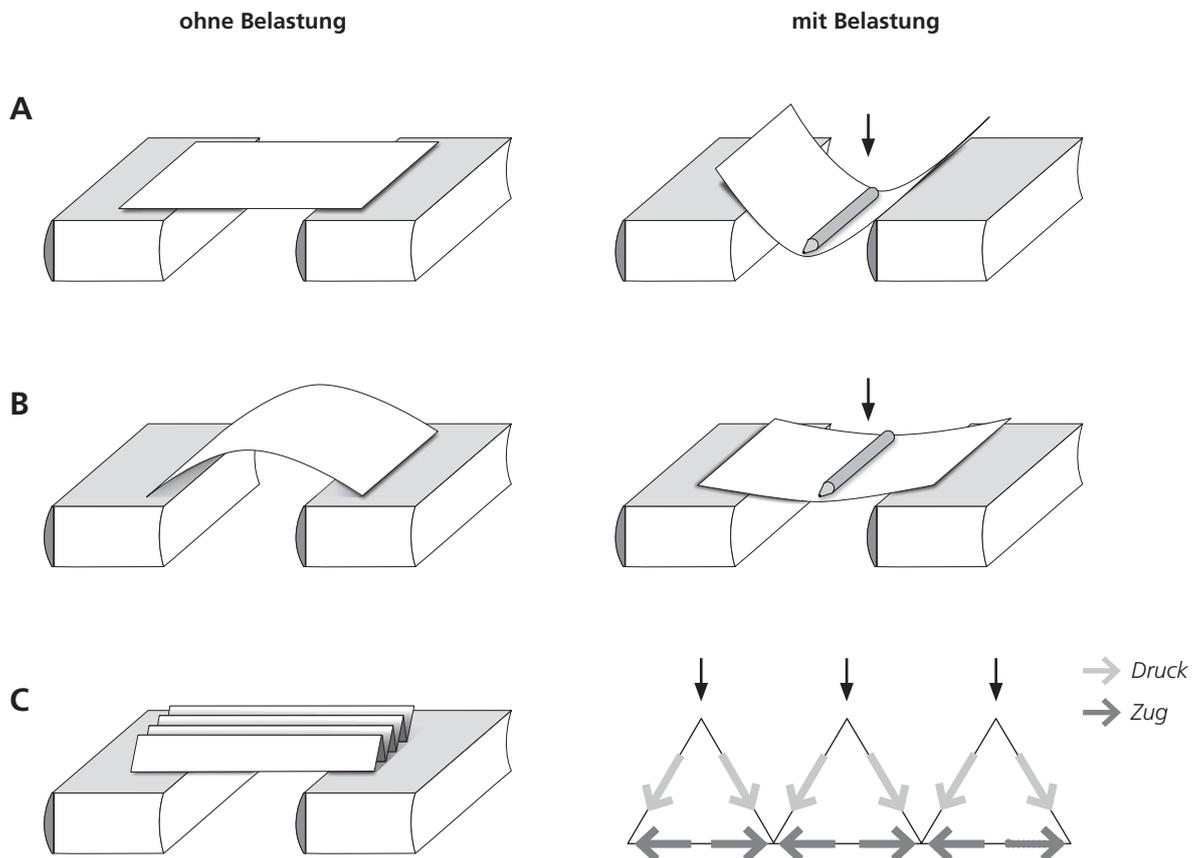
Bekannte Faltbeispiele aus dem Gebiet der Botanik sind die Palmwedel von Fächerpalmen. Die Falten der Palmblätter bewirken einerseits die Stabilisierung der Blätter und ermöglichen andererseits, dass die Blätter bei großer Trockenheit wieder zusammengefaltet werden können. Dies verringert die Verdunstungsverluste über die Blattoberfläche.

Beim Bau einer Papierbrücke sieht man eindrucksvoll den stabilisierenden Effekt, den Falten bewirken. Wenn man ein DIN-A5-Papier über zwei Bücherstapel legt und versucht, darauf einen Bleistift

abzulegen, beobachtet man, dass sich das Papier durchbiegt und der Stift herunter fällt (A).

Rollt man das Papier zusammen und streicht es im Anschluss mit der Hand wieder halbwegs glatt, zeigt das Papier eine leichte U-Form. Legt man es dann über die beiden Bücherstapel, (die gewölbte Seite zeigt nach oben), beobachtet man, dass das Papier nun in der Lage ist den Bleistift zu halten (B). Winzigste Verformungen/Falten im Papier haben bereits eine enorme Auswirkung auf seine Tragkraft. Eine weitere Erhöhung der Stabilität, und damit der Tragkraft des Papiers, kann erreicht werden, indem das Papier zieharmonikaartig gefaltet wird. Dadurch entstehen, etwas abstrahiert

gedacht, mehrere aneinander grenzende Dreiecke. Dreiecksstrukturen gelten im Bauwesen als besonders stabile Konstruktionen, da die auf die Spitze wirkenden Kräfte in seitliche Druckkräfte und schließlich an der Basis des Dreiecks in Zugkräfte „umgewandelt“ werden (C).



Falten führen zu einer Stabilisierung von Papierbrücken

### Falten helfen Platz sparen

Falten üben neben ihrer stabilisierenden Wirkung auch einen platzsparenden und schützenden Effekt aus. Dies kann man gut bei Blüten und Blättern beobachten. Eng zusammengefaltet wachsen sie in den Knospen heran. Öffnen sich die Knospen, entfalten sich die Blüten zu ihrer vollen Größe. Käfer entfalten ihre Flügel zum Fliegen. Beim Laufen oder Sitzen jedoch legen sie die empfindlichen Flügel unter ihren schützenden Deckflügeln zusammen.



Um Platz zu sparen, macht sich auch der Mensch tagtäglich das Falten zu Nutze: Beipackzettel von Arzneimitteln, Kleidung für den Urlaubskoffer und Regenschirme stellen nur ein paar Beispiele dar. Neben ihrer Funktion spielen Falten auch in ästhetischer Hinsicht eine große Rolle. Seit Jahrhunderten wird vor allem in Japan die Kunst des Papierfaltens (Origami) praktiziert. Aus einfachen, zweidimensionalen Papierbögen entstehen verblüffende, dreidimensionale Kunstwerke. Der japanische Astrophysiker Prof. Koryo Miura entwickelte die nach ihm benannte Miura-ori Faltung. Diese Faltung bewirkt, dass ein flächiger Gegenstand mit nur einem Zug zusammen- oder auseinander gefaltet werden kann.

Diese Falttechnik kann in der Raumfahrt verwendet werden, um Solarpaneele bei Start- und Landung platzsparend zu verwahren und im Weltall wieder schnell und zuverlässig zu entfalten. Auch bei der Faltung von manchen Stadtplänen findet die Miura-ori Faltung Anwendung.

### Selbstorganisation

Der Begriff der Selbstorganisation beschreibt das spontane Auftreten neuer, stabiler Strukturen, häufig ausgelöst durch eine Veränderung der Umweltparameter, sodass sich innerhalb des Systems eine neue Ordnung herausbildet.

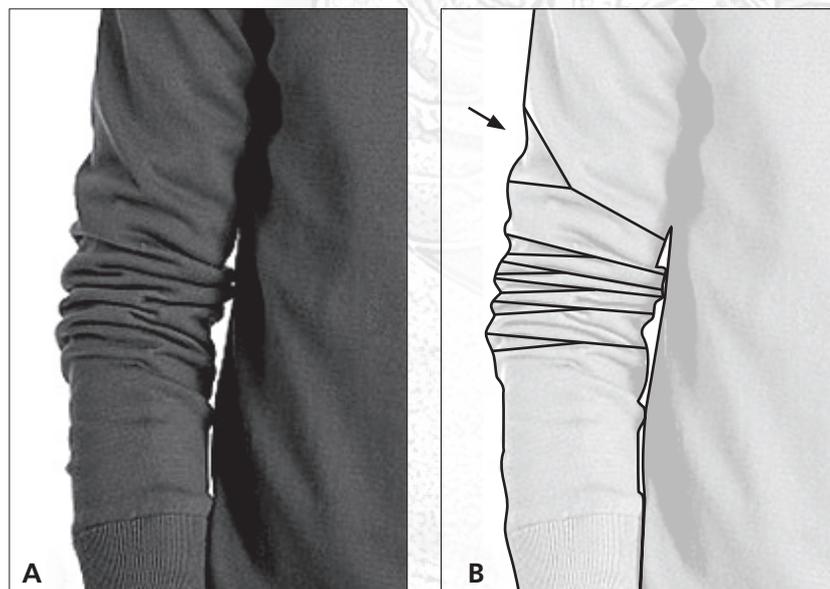
Das Prinzip der Selbstorganisation tritt in der Natur häufig auf: Die Bildung von Vogel- und Fischschwärmen, von Eiskristallen, die Faltung von Proteinen oder die sechseckige Form von Bienenwaben, ist auf sich selbst organisierende Prozesse zurückzuführen. Der Würzburger Bienenforscher Prof. Jürgen Tautz konnte mit seiner Arbeitsgruppe zeigen, dass Bienenwaben zunächst rund angelegt werden. Ihre charakteristische, sechseckige Form erhalten sie erst später aufgrund eines von den Bienen erzeugten Temperaturanstiegs. Die Bienenwabenstruktur ist ein typisches Beispiel für einen selbstorganisierten Faltungsprozess, der auf innere Spannungen im erwärmten Bienenwachs zurückzuführen ist.

Auch der Faltenwurf bei Kleidungsstücken unterliegt einem selbstorganisierten Prozess. Schiebt man beispielsweise den Ärmel eines Pullovers

### Selbstorganisation am Beispiel eines Ärmels

A) Fotografie eines leicht nach oben geschobenen Pulloverärmels

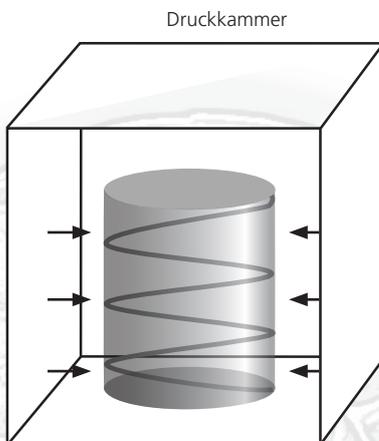
B) Skizze der sich bildenden Falten. Der Pfeil zeigt auf eine markante Y-Falte.



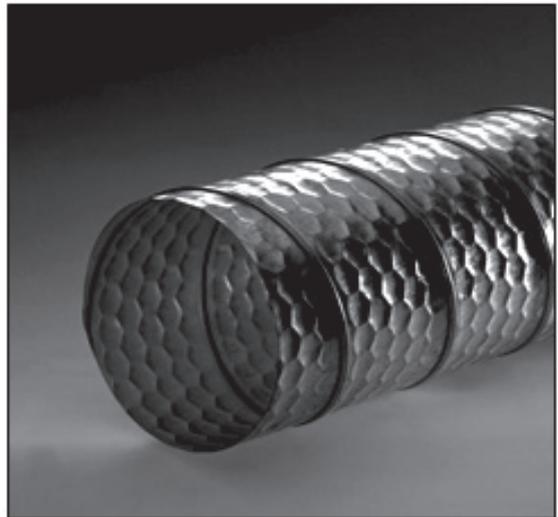
leicht nach oben, so entpuppen sich die Falten bei genauem Hinsehen als geordnetes Muster, bei dem sich die Falten y-förmig aufwölben. Auf vielen Gemälden alter Künstler, die aufwändige Draperien zeigen, wird genau dieses Faltenmuster wiedergegeben.

In der Technik nutzt man ebenfalls die Mechanismen der Selbstorganisation, um Wölbstrukturbleche zu produzieren. Ein glatter Metallzylinder wird durch das Anbringen einer Drahtwendel im Inneren und dem Anlegen von äußerem Druck (was der Änderung eines Umweltparameters entspricht) durch minimalen Aufwand und Materialverschleiß in eine formstabilere Struktur gebracht. Hier geht das Phänomen, dass Falten stabilisieren und festigen, Hand in Hand mit dem Phänomen der Selbstorganisation.

*Schematische Darstellung einer Druckkammer zur Herstellung der Wölbstrukturierung*



*Rohr mit Wölbstrukturierung*





### Falten festigen und stabilisieren

(Kl. 1 – 4)

#### Fragestellung

Welches Papier trägt das meiste Gewicht?

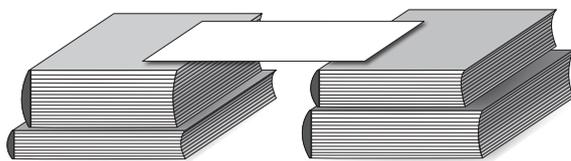
#### Materialien

A4-Papier (80 Gramm schwer)

Schere

Gegenstände mit unterschiedlichem Gewicht  
(Stift, Radiergummi, Federmäppchen o.ä.)

2 gleich hohe Bücherstapel



#### Durchführung/Aufgaben

1. Baue mit Hilfe der Bücher und dem Blatt Papier eine Brücke und lege einen Stift darauf. Was beobachtest Du?

---



---



---



---

2. Falte drei Ziehharmonika-Falten in das Papier und lege es erneut über die Bücherstapel. Lege den Radiergummi darauf. Was passiert jetzt?

---



---



---



---

3. Lege abwechselnd verschieden schwere Gegenstände auf das Papier. Ab welchem Gewicht verliert das Papier seine Tragfähigkeit erneut?

---



---



---



---

4. Wie musst Du die Faltung verändern, dass auch schwerere Gegenstände auf dem Papier liegen bleiben?

---



---



---



---

5. Überlege, wo in Deiner Umwelt der „Falten-trick“ angewandt wird, um Gegenstände zu stabilisieren!

---



---



---



---



## Falten helfen Platz sparen

(Kl. 5 – 10)

### Arbeitsauftrag

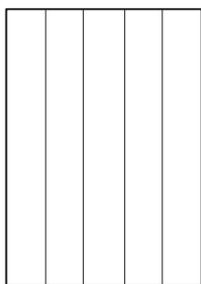
Arbeite die Miura-ori Faltung nach und beobachte, wie sich durch einen Zug ein Blatt Papier entfalten und wieder zusammenfallen lässt.

### Materialien

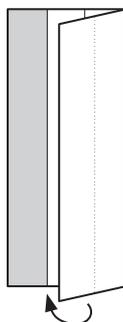
A4-Papier (80 Gramm schwer)

Schere, Stift, Lineal

### Durchführung



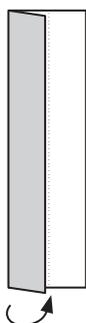
1. Unterteile das A4-Blatt in fünf gleich große Flächen. Nimm dazu das Lineal zu Hilfe.



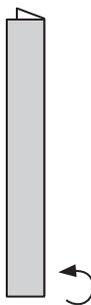
2. Falte das Papier bis zum grau markierten Streifen.



3. Knicke 1/5 der Faltung wieder nach außen. Drei gleich breite Streifen liegen nun nebeneinander.



4. Falte die grau markierte Fläche zur Mittellinie.



5. Falte die Hälfte des rechten Streifens unter den linken.



Seitenansicht



Ziehharmonika

6. Vor Dir liegt ein mehrfach gefalteter Papierstreifen.



7. Knicke die linke obere Ecke zur rechten unteren Ecke des Streifens.



8. Zeichne eine gerade Linie von der einen in die andere Ecke und schneide die Enden ab.



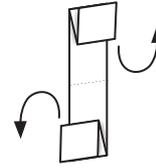
9. Falte die letzte Faltung wieder auf.



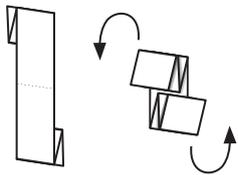
**10.** Falte die untere Ecke in die Mitte, sodass sie dort mit der Kante eine Linie bildet.



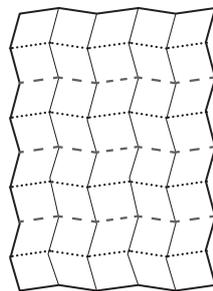
**11.** Falte die obere Ecke in die Mitte, sodass sie dort mit der Kante eine Linie bildet.



**12.** Falte die Enden nach außen, dass sie mit den Kanten eine Linie bilden.

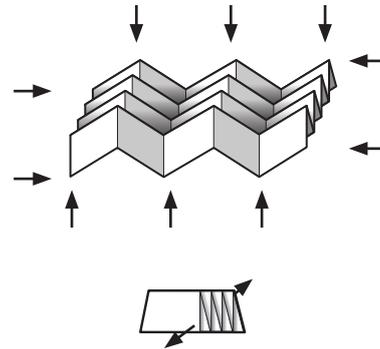


**13.** Drehe die Faltarbeit um und lege die Enden in der Mitte erneut zusammen. Klappe die mittlere Falte zusammen.



**14.** Entfalte das Papier und knicke – entsprechend der Skizze – die vorhandenen Fallinien in Berg- bzw. Tal-falten um. Achtung: Keine neuen Falten einarbeiten, nur die bereits vorhanden „verschärfen“

- ..... Bergfalten
- - - - - Tal-falten



**15.** Drücke wieder alle Längs- und Querfalten zusammen, wodurch ein kleines Paket entsteht. Dieses kann dann durch Ziehen an den gegenüberliegenden Ecken auf- und zugefaltet werden.

*Aufgaben*

1. Was bewirkt die Miura-ori Faltung?

---



---



---



---

2. Fallen Dir Anwendungsmöglichkeiten für diese Falttechnik ein? Welche?

---



---



---



---



## Der Strandsegler

(Kl. 5 – 7)

### Arbeitsauftrag

Integriere die Miura-ori Faltung in einen Strandsegler!

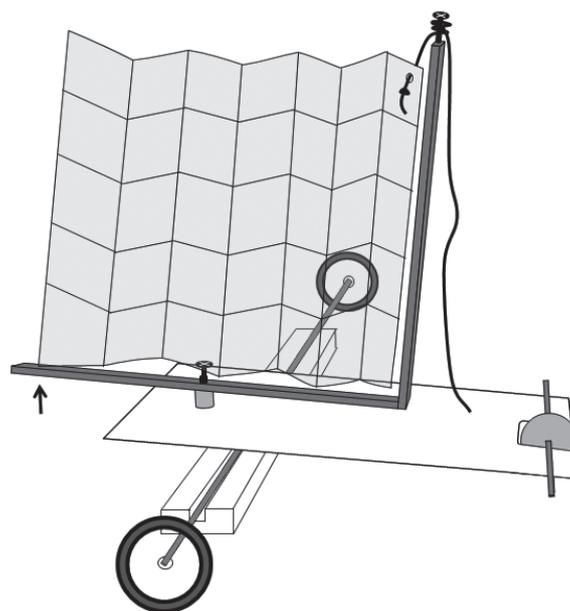
### Materialien

- 1 Miura-ori Faltung (1 DIN A4 Blatt)
- 2 fixierbare Räder
- 1 loses Rad
- 1 Holzbrettchen mit Einkerbung
- 1 dünne Sperrholzplatte mit Ausbuchtung
- 2 Vierkanthölzer
- 2 Holzstäbchen/Schaschlikspieße
- 1 Schraubenmutter
- 3 Schrauben
- 1 kurzes Plastikröhrchen
- 1 Faden
- 1 Holz-/Alleskleber

### Durchführung

1. Falte zunächst das „Segel“ aus einem DIN A4 Papier (Anleitung siehe Arbeitsblatt 2).
2. Dann baust Du die Vorderachse des Fahrzeugs zusammen. Die zwei fixierbaren Räder werden links und rechts auf ein Holzstäbchen gesteckt, welches Du in die Einkerbung des Holzbrettchens legst. Ist Dir die Radachse zu lang, kannst Du sie nach Bedarf kürzen. Insgesamt sollte sich die Achse mit den beiden festgesteckten Rädern locker in der Einkerbung des Brettchens drehen.
3. Das lose Rad schiebst Du in die Mitte des anderen Holzstäbchens. Dort dreht es sich frei um die eigene Achse.
4. Nun klebst Du die dünne Sperrholzplatte mit der Ausbuchtung auf die Vorderachse. Achte darauf, dass nicht die Radachse mit angeklebt wird.
5. In die hintere Einbuchtung legst Du nun das Hinterrad. Dort fixierst Du die Hinterradachse mit genügend Klebstoff.
6. Für das Segel schraubst Du die beiden Vierkanthölzer rechtwinklig zusammen. Evtl. genügt für die Stabilität bereits ein großzügig aufgetragener Tropfen Holzkleber.
7. An einem Ende dieses rechten Winkels befestigst Du eine Schraube, die nach oben steht.

8. Mit Hilfe des kleinen Plastikröhrchens, einer Schraube und passender Mutter befestigst Du das Segel an dem Fahrzeugunterbau.
9. Abschließend spannst Du das Miura-ori Segel ein: Die linke untere Ecke der Faltung wird festgeklebt (Klebeplatz, siehe Abbildung Pfeil). An der rechten oberen Ecke schneidest Du ein kleines Loch hinein und fädelst die Schnur hindurch. Den Abschluss bildet ein dicker Knoten. Der Faden wird um die herausstehende Schraube locker herum geschlungen. Durch den Zug am Faden kannst Du nun das Segel einfach entfalten.



Strandsegler mit Miura-ori Faltung



## Selbstorganisation von Falten

(Kl. 10 – 13)

### Fragestellung

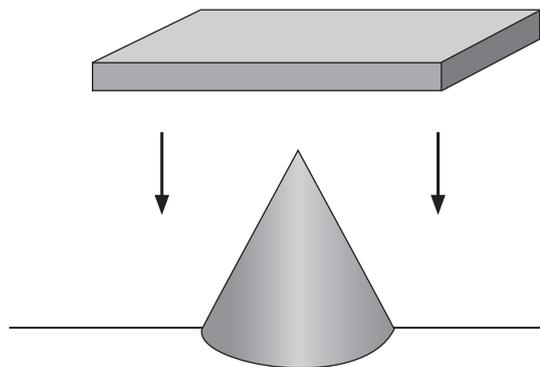
Was beobachtest Du, wenn Du ein Papierhütchen mit großer Kraft zusammendrückst?

### Materialien

Papier  
Zirkel  
Schere  
Kleber  
schweres Buch

### Durchführung

1. Zeichne einen Kreis (Radius z.B. 5,5 cm) auf das Papier und schneide diesen aus.
2. Schneide den Kreis bis zur Mitte ein und streiche eine Kreishälfte komplett mit Kleber ein.
3. Lege die Kante der kleberfreien Hälfte auf die gegenüberliegende Seite und rolle ein Hütchen.
4. Nun führe den Versuch durch. Halte ein Buch in beiden Händen (ACHTE AUF DEINE FINGER!) und schlage mit dem Buch auf die Spitze des Papierhütchens.



### Aufgaben

1. Beschreibe die entstehenden Falten!

---



---

2. Wiederhole den Versuch mit einem größeren bzw. kleineren Papierhütchen oder drücke den Kegel nur bis zur Hälfte zusammen. Beschreibe das entstandene Muster!

---



---



---



---

# Bio<sup>logie</sup> Tech<sup>nik</sup> – Ein Blick zurück und ein Blick

Der Forschungsbereich Bionik stößt bei vielen Menschen auf großes Interesse und wird im Gegensatz zu anderen Forschungsgebieten wie Gentechnik oder Nanotechnologie von der Bevölkerung äußerst positiv aufgenommen.

Als Grund wird häufig angeführt, dass Bionik keinen direkten Eingriff in die Natur darstellt. Vielmehr werden Produkte, die als „bionisch“ vermarktet werden, häufig mit Umweltverträglichkeit assoziiert. Gemäß dem Motto: Was sich die Natur ausgedacht hat und der Mensch nachmacht, kann nicht schädlich sein!

Gleichzeitig wird auch ein Qualitätsversprechen für das jeweilige Produkt abgegeben, da es auf Erfindungen basiert, die sich in der Natur teilweise über Millionen von Jahren hinweg bewährt haben.

Ein weiterer Punkt, den sich Bioniker zu Nutze machen können, ist, dass viele komplizierte technische Zusammenhänge den Menschen durch eine einfache Bildsprache näher gebracht werden. Ein Beispiel für eine solche bildhafte Sprache stellt der Roboterarm dar, der einem Elefantenrüssel nachempfunden ist. Wäre der Roboterarm allein abgebildet, fällt es schwerer seine Funktion auf Antrieb nachzuvollziehen. Durch die parallele Abbildung eines Elefantenrüssels werden sofort positive Assoziationen geweckt, die die meisten Menschen mit Elefanten verbinden. Sicher hat jeder schon einmal einen Elefanten im Zoo gesehen und kennt die extreme Beweglichkeit des Rüssels und seine Funktionalität: sei es um Nahrung aufzunehmen, Hindernisse zur Seite zu schieben oder zur sozialen Interaktion. Durch diese Assoziationskette wird – ohne große Worte zu benötigen – die Vielseitigkeit des Roboterarmes vermittelt.

Doch unabhängig von der Popularität bionischer Themen in der Öffentlichkeit: Wie erfolgreich ist die Wissenschaftsdisziplin Bionik tatsächlich, gemessen an den daraus resultierenden marktfähigen Produkten?

Mit dieser Frage beschäftigen sich zahlreiche Studien. Dabei stellt sich zunächst die Schwierigkeit, dass der Begriff Bionik nicht einheitlich definiert ist. So tauchen in der Literatur noch weitere Umschreibungen wie „Lernen von der Natur“, „selbstheilend“, „intelligent“, „smart“ etc. auf, hinter denen sich bei genauerem Nachforschen ebenfalls bionische Ansätze verbergen.



Elefantenrüssel und Roboterarm  
(©Testo AG & Co. KG)

## nach vorne

Zudem sind viele Betriebe eher zurückhaltend, wenn es darum geht, über ihre aktuellen Forschungen zu berichten, sodass vermutlich zahlreiche bionisch motivierte Forschungsansätze existieren, der Öffentlichkeit aber (noch) nicht bekannt sind.

Festzuhalten ist, dass biologische Vorbilder im makroskopischen Bereich sich leichter auf technische Anwendungen übertragen lassen als im Mikro- oder Nanometermaßstab. Vor allem in der Strömungsmechanik konnten z.B. durch die Orientierung am Vogelflug relativ einfach Verbesserungen beim Flugzeugbau erzielt werden.

Wird jedoch versucht, kleinere Maßstäbe zu imitieren, stößt die technische Umsetzung schnell an ihre Grenzen. Die Qualität des Lotus-Effekts einer richtigen Lotusblume konnte beispielsweise nie erreicht werden.

Ein häufiger Kritikpunkt an der Bionik ist auch, dass die Anzahl an marktfähigen Produkten überschaubar ist und viele zunächst sehr vielversprechend klingende Innovationen wie beispielsweise Ribletfolien nach dem Vorbild von Haifischschuppen zur Reduktion des Strömungswiderstands an Flugzeugen, nie die Marktfähigkeit erreicht haben. Analysen über die konkreten Gründe dafür, warum bionische Entwicklungen im Sande verlaufen, liegen nicht vor.

Es gibt aber auch keinen Vergleich, wie viele technische Ideen und Innovationen existieren, die ohne bionischen Ansatz entwickelt worden sind und sich auch nicht durchsetzen konnten. Pauschal kann also keine Aussage darüber gemacht werden, ob die Erfolgchancen von bionisch inspirierten Entwicklungen besser oder schlechter einzustufen sind, als die von konventioneller Industrieforschung.

Insgesamt ist ein Ergebnis von Studien, dass Bionik keine Technologie ist, welche die Industrie und Wirtschaft völlig umkrempeln wird. Jedoch ist sie als Ideengeber und Inspirationsquelle nicht mehr wegzudenken. Zukünftiges Potential sieht man für die Bionik vor allem in der Medizin, bei der Gewebeherstellung oder Prothetik, in der Sensorik und Robotik, bei der Entwicklung neuer Materialien und bei der Weiterentwicklung regenerativer Energien.

Ein Blick in die Literatur zeigt auch, dass sich in den Köpfen der Bioniker noch viele Ideen befinden, an deren Realisierung intensiv gearbeitet wird. Es bleibt auf jeden Fall spannend und interessant, was die bionische Forschung in Zukunft noch mit sich bringt!



## Die Zukunft der Bionik

(Kl. 10 – 13)

### Arbeitsauftrag

Diskutiert anhand des folgenden Abschnitts aus dem Endbericht des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Vorhabens „Trends und Potenziale der Bionik“ das Zukunftspotential der Bionik!

Aus der Innovationsperspektive heraus ist die Bionik wahrscheinlich keine Schlüsseltechnologie, von der erwartet werden kann, dass sie ganze Branchen oder Volkswirtschaften revolutioniert. Sie ist aber auch kein auf bestimmte Produktlinien und Branchen fokussierter technologischer Ansatz. Die Bionik stellt vielmehr einen sehr heterogenen, generisch querschnittsorientierten Ansatz dar, der im Grundsatz in vielen verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen und F&E-Bereichen anwendbar ist. Am ehesten trifft eine Charakterisierung als „enabling technology“ zu. Es handelt sich bei der Bionik nämlich um eine „befähigende Technologielinie“ mit einer ganz bestimmten Entstehungsgeschichte und – darauf aufbauend – mit einer ganz bestimmten (Lösungs-)Qualität. Bionik steht dabei meist im Wettbewerb zu herkömmlichen Ansätzen und muss ihre Vorteilhaftigkeit immer wieder aufs Neue am Markt beweisen. Wie schon mehrfach erwähnt, sind bisher etliche vielversprechende bionische Lösungsansätze bereits in frühen Innovationsstadien auf (bislang) unüberwindbare Hemmnisse gestoßen. Insofern spricht wenig für überschwängliche Erwartungen hinsichtlich potenziell erfolgreicher Markteinführungen bionischer Lösungen. Das gilt allerdings in gleicher Weise auch für weite Bereiche der Bio- und Gentechnologie oder der Materialwissenschaften. Angesichts bestehender Systemträgheiten und Pfadabhängigkeiten hat es zunächst einmal jede Innovation schwer – und sie hat es noch schwerer, wenn sie nicht ohne weiteres auf bestehende Innovationssysteme zurückgreifen kann, sondern wenn die Voraussetzungen für erfolgreiche Innovationen erst noch mit geschaffen werden müssen. Damit Innovationen vorankommen, müssen schon gute Gründe und starke Treiber existieren. Innovationen müssen bspw. die Erschließung neuer Märkte ermöglichen oder sehr weit reichende Vorteile gegenüber den bisherigen Lösungen aufweisen, oder sie müssen für den Erhalt der Wettbewerbsposition der betroffenen Unternehmen von grundlegender Bedeutung sein. Inwiefern diese „guten Gründe“ und Treiber im Fall vieler bionischer Lösungen gegeben sind, lässt sich nicht zuletzt aufgrund der oben erwähnten starken Heterogenität bionischer Ansätze kaum pauschal beurteilen.



# Lösungen



## Bionik: Biologie und Technik – wie passt das zusammen?

### Arbeitsblatt 1

1. Freie Bearbeitung
2. Freie Bearbeitung
3. Freie Bearbeitung
4. Mögliche (einfache) Definition: Ideen aus der Natur werden vom Menschen – in abstrahierter Art und Weise – auf technische Anwendungen übertragen.

### Arbeitsblatt 2

Biologisches Vorbild	Technische Anwendung	Entwicklungsstand der technischen Anwendung
Lotusblume	Fassadenfarbe Lotusan®	Verkäufliches Produkt und Initialzündung für ähnliche, nicht bionische Produkte
Strelitzie	Fassadenverschattung	Weiterentwicklung von Prototypen
Salvinia	„Luftpolster für Schiffe“ durch Beschichtung der Schiffsrümpfe	noch am Anfang der Entwicklung
Photosynthese	Grätzelsolarzelle	Großtechnisch Prototypen sowie kleinere kommerzielle Anwendungen vorhanden
Eisbär	Transparente Wärmedämmung	Verkäufliches Produkt
Eule	Akustische Kamera	Verkäufliches Produkt
Feuerkäfer	Brandmelder	In der Entwicklung
Selbstorganisation	Wölbstrukturen	Verkäufliches Produkt
Vogel	Flugzeug	Verkäufliches Produkt
Seifenblasen/Minimalflächen	Bauwerke	Verkäufliches Produkt
Haifischschuppen	Riblet-Folien	Verkäufliches Produkt (noch unrentabel)
	Lacke für Anti-Fouling	Teilweise noch in der Entwicklung, teilweise bereits verkäufliche Produkte
Evolution	Evolutionsstrategie	Verkäufliches Produkt
Zwei-, Vier- und Sechsbeiner	Laufmaschinen	Weiterentwicklung von Prototypen



## Nutzen und Schonen

### Arbeitsblatt 1

1. Lotus-Effekt: Lotus, Kohl, Kapuzinerkresse, Tulpen  
Kein Lotus-Effekt: Löwenzahn, Salatblatt
2. Bei Blättern mit Lotus-Effekt perlt das Wasser ab und nimmt dabei das Mehl mit. Bei Blättern ohne Lotus-Effekt passiert das nicht.
3. Auch bei zähen Substanzen wie wasserlöslichem Kleber oder Honig funktioniert der Lotus-Effekt.
4. Der Lotus-Effekt funktioniert nicht mehr, da das Wattestäbchen einen Abrieb der Oberflächenstrukturen verursacht hat.

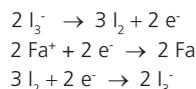
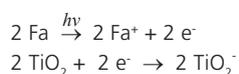
### Arbeitsblatt 2

1. Auf der rußgeschwärzten Glasplatte kugelt sich der Wassertropfen viel stärker ab als das auf einer unbehandelten Glasplatte der Fall ist.
2. Kohlblatt: Wassertropfen kugelt sich sehr stark ab.  
Salatblatt: Wassertropfen kugelt sich weniger stark ab.
3. Die rußgeschwärzte Glasplatte symbolisiert das Kohlblatt. Die „saubere“ Glasplatte steht für das Salatblatt. Die Blattoberfläche des Kohls ist mikrostrukturierter als die des Salatblattes. Dies ist der Grund, warum der Kohl einen Lotus-Effekt zeigt.

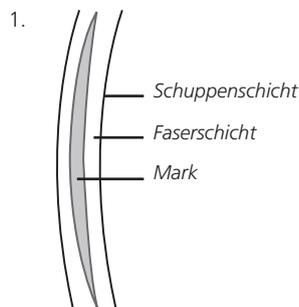
### Arbeitsblatt 3

1. Spannungen zwischen 250 mV und 300 mV zeigen, dass die Zelle gut gelungen ist; Spannungen über 300 mV, dass die Zelle sehr gut gelungen ist.
2. Eigene Messergebnisse
3. Je nachdem, wie die Zellen gelungen sind, lässt sich durch eine Reihenschaltung von drei bis vier Grätzelsolarzellen ein Taschenrechner o.ä. betreiben.
4. Vorteile der Grätzelsolarzelle gegenüber der Silizium-Solarzelle:
  - umweltfreundlicher und billiger in der Herstellung
  - arbeitet auch bei diffusem Licht
  - Wirkungsgrad ist weniger temperaturabhängig
  - flexiblere Bauform.
 Nachteile der Grätzelsolarzelle gegenüber der Silizium-Solarzelle:
  - Abdichtung der Zellen ist schwierig
  - Wirkungsgrad ist schlechter
  - der Farbstoff wird über einen längeren Zeitraum hinweg zerstört.
 (Quelle: Technik im naturwissenschaftlichen Unterricht. 2010 Robert Bosch Stiftung GmbH, Zeitbild Verlag Berlin)
5. Reaktionen, die in der Grätzelsolarzelle ablaufen:

(Fa = Farbstoffmolekül)



### Arbeitsblatt 4



- 1.
2. Der Aufbau des Haares besteht aus drei Schichten. Ganz außen liegt die Schuppenschicht, die an eine Faserschicht angrenzt. Im Zentrum des Haares liegt der zentrale Markkanal. Während man die Strukturen der Schuppen- und Faserschicht unter einem einfachen Lichtmikroskop nicht unterscheiden kann, ist das Mark häufig gut zu erkennen.
3. Unterschiede liegen beispielsweise in der Haarfarbe und auch in der Ausprägung des zentralen Markkanals, der bei sehr hellen Haaren auch fehlen kann.

### Arbeitsblatt 5

1. Am schnellsten kühlt das ungeschützte Reagenzglas ab, am langsamsten die mit Wolle und Watte isolierten Reagenzgläser.
2. Watte und Wolle isolieren am besten.
3. Das Reagenzglas ohne Isoliermaterial dient als Kontrolle. Es kühlt am schnellsten ab.
4. Feste, flüssige und gasförmige Stoffe sind aus kleinsten Teilchen aufgebaut (Moleküle, Atome oder Ionen). Je wärmer der betreffende Stoff ist, desto schneller bewegen sich die darin enthaltenen Teilchen. Stößt so ein „schnelles“ Teilchen gegen ein langsames, gibt es einen Teil seiner kinetischen Energie an dieses ab. In dem Behälter einer Thermoskanne befindet sich eine doppelte Wand, welche ein Vakuum oder Luft einschließt. Ein Vakuum enthält keine Moleküle, Luft im Vergleich zu einem Feststoff oder einer Flüssigkeit sehr wenige. Die Wahrscheinlichkeit, dass kinetische Energie auf diese wenigen Teilchen aus dem Getränk übertritt, ist sehr gering. Trotzdem erwärmt sich die darin befindliche Luft minimal. Die zweite Wand unterbindet das Wegströmen dieser erwärmten Luft und verhindert – zusätzlich auskühlend wirkende – Konvektionsströme. Das gleiche Prinzip findet sich beim Luftabschluss des Fells und der Haare des Eisbären wieder. Aufgrund des Luftpolsters wird die Wärmeabgabe des Eisbären nach außen reduziert.



## Arbeitsblatt 6

1. Nach kurzer Zeit beginnt sich das Alurädchen zu drehen.
2. Das schwarze Papier absorbiert das Sonnenlicht und erwärmt sich. Ein Teil der Wärme geht auf die umliegende Luft über. Warme Luft steigt nach oben und treibt das Alurädchen an („Weihnachtspyramiden-Effekt“). Kalte Luft strömt durch den unteren Spalt der Flasche nach.
3. Schwarz kann sehr gut Sonnenlicht absorbieren. Dieses wird dadurch in Wärme umgewandelt. Eine Theorie beim Eisbären ist, dass seine schwarze Haut zur Absorption des Sonnenlichts dient.

## Fliegen und Schwimmen

### Fliegen

## Arbeitsblatt 1

1. Eigene Messergebnisse
2. Eigene Messergebnisse
3. Die Auftriebskraft ist bei einer Flügelstellung von 30° am stärksten.
4. Das Flügelmodell ist durch die vom Ventilator erzeugte Auftriebskraft leichter geworden.

## Arbeitsblatt 2

1. Der Modellsamen segelt ein Stück weit und dreht sich dabei um seine Längsachse.
2. Eigene Experimente
3. Das Samenmodell mit den zwei Büroklammern am linken und rechten Flügel fällt unter Drehungen um die Längsachse zu Boden. Das Samenmodell mit den vier Büroklammern fällt relativ senkrecht zu Boden und das Samenmodell mit den zwei Büroklammern an der Spitze gleitet – ohne Drehungen – zu Boden. Dieses Modell fliegt am besten.
4. Die Büroklammern verlagern den Schwerpunkt des Samenmodells vom Zentrum an die „Spitze“. Dadurch werden Drehbewegungen um die eigene Achse verhindert und das Samenmodell gleitet zu Boden.

## Arbeitsblatt 3

1. Eigene Messergebnisse
2. Der Kern des Samens bildet den Schwerpunkt. Die Flügelfläche bremst den Fall des Samens ab, wodurch er langsamer zu Boden fällt und durch den Wind in einem größeren Umkreis verbreitet werden kann.

## Der Strömungswiderstand beim Fliegen und Schwimmen

## Arbeitsblatt 1

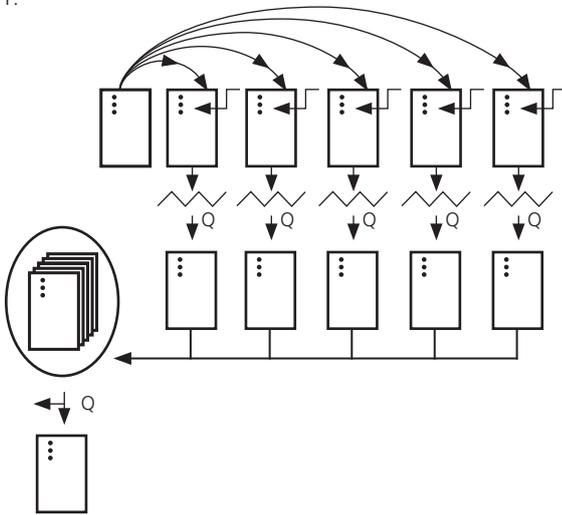
1. Eigene Messergebnisse
2. Eigene Messergebnisse
3. Eigene Messergebnisse
4. Eigene Messergebnisse
5.  $c_w$ -Werte Autos (je nach Modell): 0,24 – 0,78  
 $c_w$ -Wert Flugzeug: 0,08



## Optimieren

Arbeitsblatt 1

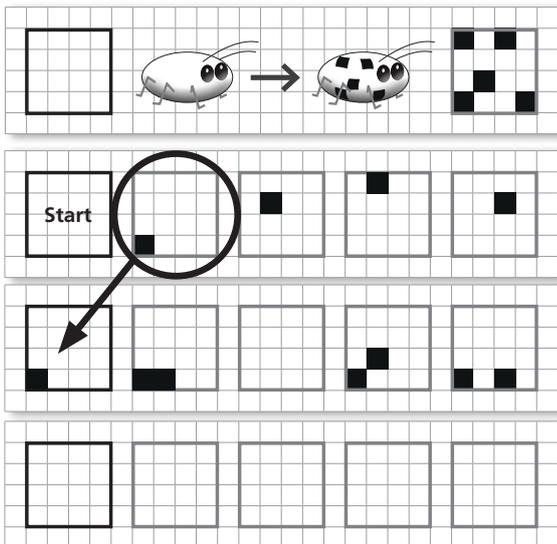
1.



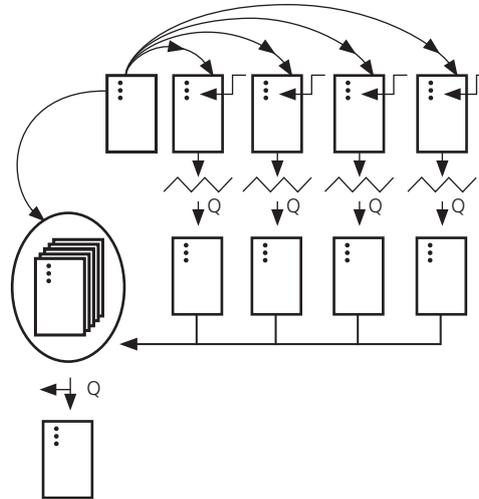
2. Weitere Anwendungsgebiete sind beispielsweise in der Lebensmittelindustrie wie bei Tee und Kakaomischungen.
3. Die Evolutionsstrategie kennt ein Ziel (spezieller Kaffeegeschmack), die Evolution kennt KEIN Ziel!

Arbeitsblatt 2

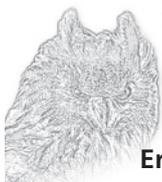
Spielbeispiel:



1. Zur Erstellung des Tarnmusters durch Würfeln braucht man mindestens fünf Generationen.
- 2.



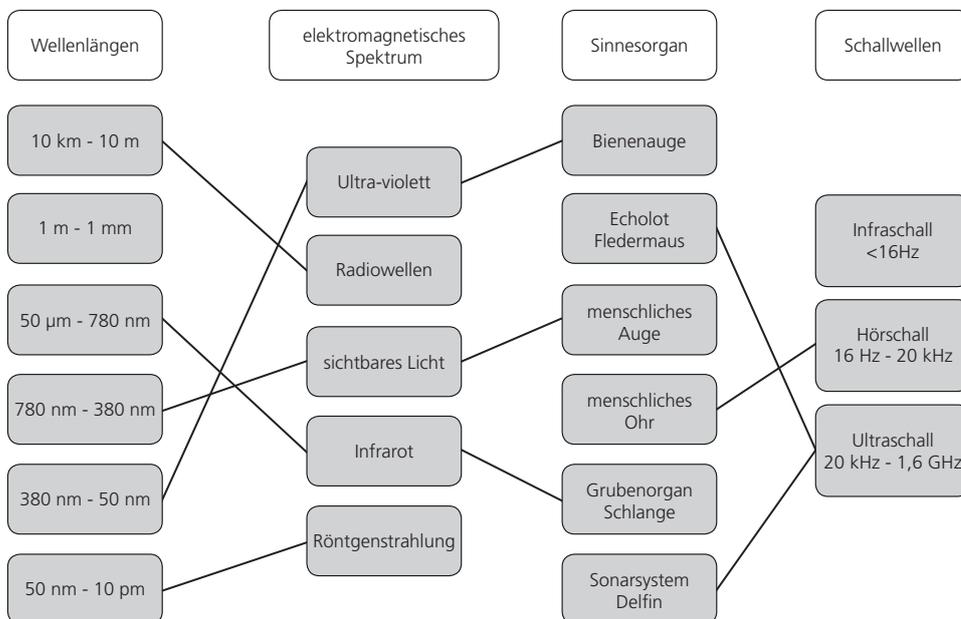
3. Zwar wurde das Prinzip einer Evolutionsstrategie in diesem Beispiel angewendet, jedoch wäre man mit einem systematischen Ausprobieren, sprich durch Testen der Kästchen (ähnlich wie Schiffe versenken), schneller ans Ziel gekommen.
4. Bei sehr komplexen Problemen mit vielen variablen Parametern kommt man mit der Evolutionsstrategie („Versuch und Irrtum“) tatsächlich schneller ans Ziel als mit einem systematischen Ausprobieren nach einer logischen Vorgehensweise!



## Erkennen

### Arbeitsblatt 1

1./2.



3. Menschen spüren Infrarotlicht als Wärmestrahlung, UV-Licht führt zu Hautschädigungen (Sonnenbrand).

3. Entscheidend für die Ortung sind der räumliche Abstand vom linken und vom rechten Ohr, die Lautstärke und die Tonhöhe.

4. Aufgrund der Form der Ohrmuschel ist Richtungshören auch mit einem Ohr möglich.

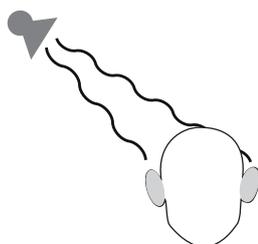
### Arbeitsblatt 2

#### Experiment 1

1. Die Versuchsperson kann genau hören, aus welcher Richtung das Geräusch kommt.
2. Je nachdem aus welcher Richtung der Schall kommt, treffen die Schallwellen zuerst am linken oder am rechten Ohr auf. Nach einer minimalen zeitlichen Differenz erreichen die Schallwellen das jeweils andere Ohr. Das Gehirn kann aufgrund dieser zeitlichen Differenz die Richtung berechnen, aus der das Geräusch kommt.

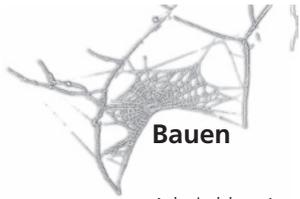
#### Experiment 2

1. Höhere Töne lassen sich besser lokalisieren als tiefere, da bei den höheren Tönen unser Ohr empfindlicher reagiert.
2. Bei einem Dauerton spielt die Richtungsortung durch Laufzeitdifferenzen keine Rolle. In diesem Fall tragen geringe Lautstärkenunterschiede (dadurch bedingt, dass die Geräuschquelle sich entweder näher am linken oder rechten Ohr befindet) zum Richtungshören bei.



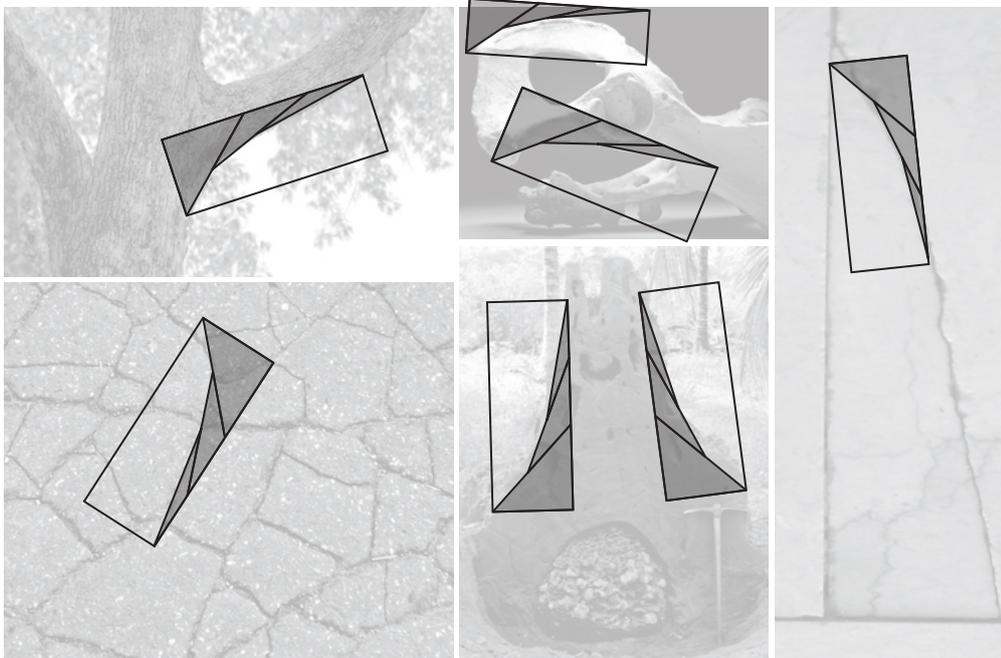
### Arbeitsblatt 3

1. Meist kann die Richtung, aus der der Ton kommt, noch bei 1 cm Abstand von der Mitte wahrgenommen werden.
2. Schlauchlänge von der Mitte bis zum Trichter 50 cm, → Wegunterschied 2 cm,  
 $Zeit = \text{Weg} / \text{Geschw.} = 0,02 \text{ m} / 340 \text{ m/s} \approx 0,00006 \text{ s}$



## Bauen

### Arbeitsblatt 1



1. Inhomogene Strukturierung des Materials bewirkt die Abweichung der Risse und Sprünge vom Zugdreieckmodell. Dies ist besonders gut zu sehen beim „körnigen“ Material des Straßenasphalts.

### Arbeitsblatt 3

1. Eigene Beobachtungen
2. Der Grund für die Bildung von Minimalflächen ist die Oberflächenspannung. Reines Wasser besitzt eine sehr hohe Oberflächenspannung, in Seifenblasenlösung ist die Oberflächenspannung jedoch reduziert. Seifenmoleküle bestehen aus einem hydrophilen Kopf (COO- Gruppe) und einer langen, unpolaren Kohlenwasserstoffkette. Die COO-Gruppe der Seifenmoleküle kommt an der Wasseroberfläche zwischen den Wassermolekülen zu liegen, die unpolare Kohlenwasserstoffkette ragt in die darüber befindliche Luftschicht hinein. Die COO-Gruppe beeinträchtigt die Ausbildung von Wasserstoffbrückenbindungen an der Wasseroberfläche, die Wassermoleküle ziehen sich weniger stark an und die Oberflächenspannung geht zurück. Dadurch können sich „größere“ Minimalflächen in den Drahtgerüsten ausbilden als das mit reinem Wasser möglich wäre.



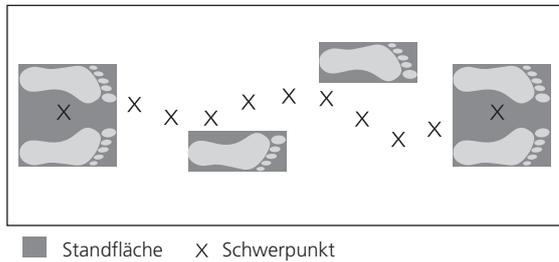
**Laufen, Greifen, Haften**  
**Laufen**

Arbeitsblatt 1

Vorüberlegung:

Der Schwerpunkt beim ausgewachsenen menschlichen Körper liegt in der Nähe des Bauchnabels. Bei kleinen Kindern liegt er etwas höher. Insgesamt variiert die exakte Lage des Schwerpunkts in Abhängigkeit vom Geschlecht und der Gewichtsverteilung.

1.



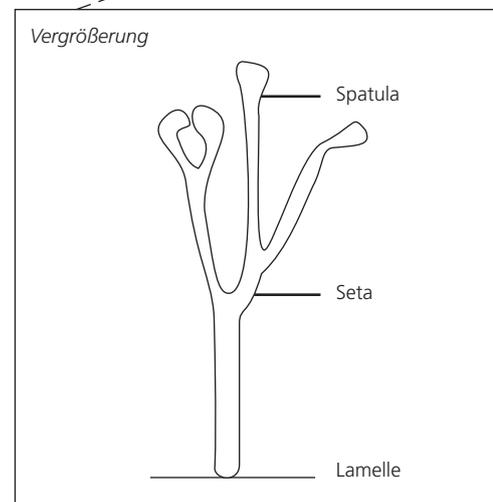
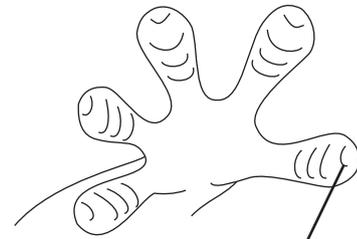
2. Wenn beide Füße auf dem Boden stehen, ist die Standfläche am größten. Die Projektion des Schwerpunktes liegt in der Mitte der Standfläche. Beim Gehen liegt der Schwerpunkt außerhalb der Standfläche. Aufgrund der Bewegung ist das „System“ trotzdem stabil. Diese Art der Bewegung nennt man dynamisch stabiles Gehen.
3. Wenn man ganz kleine Schritte macht, liegt der Schwerpunkt immer über der Standfläche. Dies liefert einen Stabilitätsvorteil und wird als statisch stabiles Gehen bezeichnet.
- 4.

	Dynamisches Gehen	Statisch stabiles Gehen
<b>Vorteile</b>	- Hohe Geschwindigkeiten möglich - Hindernisse können relativ leicht überwunden werden.	- Die Stabilität beim Gehen ist sehr hoch.
<b>Nachteile</b>	- Stabilität ist geringer.	- Die Fortbewegung erfolgt nur langsam. - Hindernisse müssen „umrundet“ werden. Ein Darübersteigen ist nicht möglich.

**Greifen und Haften**

Arbeitsblatt 1

1./2.



3. Ein Gecko kann aufgrund seiner besonderen Füße an steilen Ästen und Wänden mühelos laufen.
4. Verschiedene Schülerantworten (z.B. der Gecko hat eine außergewöhnlich starke Fuß-/Beinmuskulatur, die Härchen können in den Fuß zurückgezogen werden etc.).
5. Vom Kraftaufwand her ist es sehr schwer, den Klebestreifen als Ganzes von der beklebten Fläche zu lösen. Leicht lösen lässt er sich, wenn man nur an einer Ecke zieht und ihn auf diese Weise sukzessive von der Unterfläche abzieht. Der Gecko löst seine Füße durch sukzessives Abrollen. Der Kraftaufwand ist dabei minimal, weil die „Van-der-Waals-Kräfte“ einzeln betrachtet, sehr schwach sind.
7. Je schwerer das Tier ist, desto feiner sind die Hafthaare. Pro Fußfläche nimmt damit die Dichte der Fußhaare zu und die Tragkraft erhöht sich.
8. Wiederablösbare und verwendbare Folie; Klebebänder für Medizin und Technik; Pflaster, die sich ohne Ziepen wieder entfernen lassen; Roboter, die Wände hinauflaufen können...



## Falten und Verpacken

### Arbeitsblatt 1

1. Das Papier verformt sich. Der Radiergummi fällt herunter.
2. Das gefaltete Papier ist relativ formstabil. Der Radiergummi bleibt auf der Faltung liegen.
3. Teste unterschiedliche Gegenstände aus, bis das Gewicht so schwer ist, dass es von der Papierbrücke nicht mehr gehalten werden kann.
4. Die Ziehharmonikafaltung muss beispielsweise verkleinert werden, d.h. mehr Falten pro Fläche sind zu erzeugen.
5. Wellblechdächer, Wellpappe und Wellkartons, seitliche Falten bei Konservenbüchsen, Auto- und Zugseitenteile etc.

### Arbeitsblatt 2

1. Eine große Fläche, in diesem Fall ein DIN A4 Papier, wird durch Quer- und Längsfalten zu einem kompakten Paket. Dieses lässt sich durch nur einen Zug entfalten und genauso unkompliziert wieder zusammenfalten.
2. Stadtpläne, Sonnensegel für die Raumfahrt, Beipackzettel, Gebrauchsanweisungen etc.

### Arbeitsblatt 4

1. Das Papierhütchen verformt sich vollständig, zerreißt aber nicht. Die Spitze des Hütchens wird in die Mitte des Kegels gedrückt. Dabei entsteht ein gleichmäßiges, konzentrisches Muster im Papier, das sich bis zum Rand des Hütchens fortsetzt. Es erinnert im Aufbau an ineinander gefaltete Rosenblätter oder an die Aufsicht eines Tannenzapfens.
2. Es ist egal, ob das Papierhütchen größer oder kleiner ist. Das sich ausbildende Muster sieht jedes Mal gleich aus. Auch wenn das Hütchen nur bis zur Hälfte zusammengedrückt wird, bildet sich das oben beschriebene Faltmuster.

## Bionik: Ein Blick zurück und ein Blick nach vorne

### Arbeitsblatt 1

1. Bionik ist keine Schlüsseltechnologie. Sie stellt eine „enabling technology“ dar, also eine Möglichkeit, um Lösungen für Problemstellungen zu finden. Dabei muss sie auch zukünftig ihre Vorteilhaftigkeit immer wieder unter Beweis stellen.
2. Damit sich eine Innovation durchsetzt, muss es gute Gründe und starke Fürsprecher geben. Die Vorteile einer Innovation müssen dabei so groß sein, dass sie dem jeweiligen Unternehmen einen deutlichen Wettbewerbsvorteil verschaffen.

#### 3. Mögliche Schülerantworten:

Das Forschungskonzept Bionik ist gut, weil:

Wissenschaftler aus unterschiedlichen Disziplinen miteinander ins Gespräch kommen und sich gegenseitig Ideen liefern können – Die Natur steckt voller Lösungen und der Mensch kann sich davon inspirieren lassen – Man kommt schneller auf mögliche Lösungsansätze, weil man das „Rad nicht neu erfinden“ muss.

Das Forschungskonzept Bionik ist schlecht, weil:

Es besteht möglicherweise die Gefahr, dass man sich in Lösungsansätze verrennt. Nach dem Motto: Was die Natur kann, kann der Mensch auch technisch umsetzen – Es steckt „doppelter“ Forschungsaufwand dahinter: intensive Naturstudien und intensive technische Forschung.



## Literatur

### Bionik: Biologie und Technik – wie passt das zusammen?

Speck, T., Speck, O., Neinhuis, C., Bargel, H.: Bionik. Faszinierende Lösungen der Natur für die Technik der Zukunft. LAVORI VERLAG, Freiburg im Breisgau 2012

Was die Technik von Pflanzen lernen kann – Bionik in botanischen Gärten. 86-seitige Broschüre vom Verband Botanischer Gärten e.V. 2011

Nachtigall, W.: Bionik. Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Springer, Berlin. 2. Auflage 2002

von Gleich, A., Pade, C., Petschow, U., Pissarskoi E.: Bionik. Aktuelle Trends und zukünftige Potentiale. URL: [http://www.ioew.de/uploads/tx\\_ukioewdb/Bionik\\_Aktuelle\\_Trends\\_und\\_zuk%C3%BCnftige\\_Potentiale.pdf](http://www.ioew.de/uploads/tx_ukioewdb/Bionik_Aktuelle_Trends_und_zuk%C3%BCnftige_Potentiale.pdf) (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Internationales Bionik-Zentrum. Stiftung für Bionik. Geschichte der Bionik. URL: <http://www.bionikzentrum.de/default.asp?navA=bionik&navB=geschichte&navID=3&editable=1> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

### Nutzen und Schonen

Barthloff, W und Neinhuis, C: Das Experiment: Lotus-Effekt und Autolack: Die Selbstreinigungsfähigkeit mikrostrukturierter Oberflächen. Biologie in unserer Zeit. 28. Jhrg. 1998/Nr. 5, S. 314 – 321

Peter, B.: Lotus – vielfältiges Symbol in Asien. URL.: <http://www.bernhardpeter.de/Indien/Sonstige/seite376.htm> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Botanischer Garten Wuppertal. Pflanze des Monats August 2006 – Indische Lotusblume. Herstellung einer Farbstoffsolarelle (Grätzelzelle). URL.: <http://www.botanischer-garten-wuppertal.de/pflanzedesmonats/archiv-pflanze-des-monats-2006/august/index.php> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Lotus-Effekt. URL.: <http://www.lotus-effect.de/index.php> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Sto AG, Deutschland – Lotusan®. URL.: [www.lotusan.de](http://www.lotusan.de) (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Nano! Nutzen und Visionen einer neuen Technologie. 18. März – 3. Oktober 2010. Unterrichtsmodule für weiterführende Schulen. TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit in Mannheim. Mannheim 2010

Robert Bosch Stiftung GmbH. Technik im naturwissenschaftlichen Unterricht. URL.: [http://natworking.bosch-stiftung.de/content/language1/downloads/Arbeitsblatt\\_Herstellung\\_Farbstoffsolarelle.pdf](http://natworking.bosch-stiftung.de/content/language1/downloads/Arbeitsblatt_Herstellung_Farbstoffsolarelle.pdf) (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Kunststoffe: Die Grätzel-Zelle, eine organische Solarzelle. URL.: [http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/cnat/kunststoffe/solarelle\\_s1.htm](http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/cnat/kunststoffe/solarelle_s1.htm) (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Fromme, B., Didaktik der Physik: Bau einfacher Solarzellen. URL.: <http://www.physik.uni-bielefeld.de/didaktik/Experimente/Solar1.pdf> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Photovoltaik.org.: Unabhängige Beratung: Photovoltaik Wirkungsgrad. URL.: <http://www.photovoltaik.org/wissen/photovoltaik-wirkungsgrad> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Stegmaier, T., Linke, M., Planck, H.: Bionics in textiles: flexible and translucent thermal insulations for solar thermal applications. Phil. Trans. R. Soc. A (2009)367, S. 1749-1758

Speck, T., Speck, O., Neinhuis, C., Bargel, H.: Bionik. Faszinierende Lösungen der Natur für die Technik der Zukunft. LAVORI VERLAG, Freiburg im Breisgau 2012

Energiesparhaus.at. Dämmung: Transparente Wärmedämmung. URL.: <http://www.energiesparhaus.at/gebäudehülle/twd.htm> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Energie-sparen-im-Haushalt.de. Hauswand wird zur Heizung. Transparente Wärmedämmung (TWD). URL.: <http://www.energiesparen-im-haushalt.de/energie/bauen-und-modernisieren/hausbau-regenerative-energie/energiebewusst-bauen-wohnen/emission-alternative-heizung/transparente-waermedaemmung.html> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Weiler, C., Schofer, J.: a) Vom Eisbärenfell zur transparenten Wärmedämmung. b) Licht-Leiteffekt der Haare. (a+b: Versuchshefte – entstanden im Rahmen eines Praktikums am TECHNOSEUM)

Beitrag für den NWA-Tag 2010. Luft im naturwissenschaftlichen Unterricht. Am staatlichen Seminar für Didaktik und Lehrerbildung Reutlingen. Wie der Wind entsteht – Wind eine Folge von Luftströmungen. URL.: <http://www.rs.seminar-reutlingen.de/site/pbs-bw/get/documents/KULTUS.Dachmandant/KULTUS/Seminare/seminar-reutlingen-rs/pdf/nwa-tag-2010-ko-windentstehung.pdf> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

### Fliegen und Schwimmen

#### Fliegen

Lilienthal, Otto: Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst. URL.: [http://www.museumnet.lilienthal-museum.de/digitalisate/gl\\_10.pdf](http://www.museumnet.lilienthal-museum.de/digitalisate/gl_10.pdf) (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Otto-Lilienthal-Museum. URL.: <http://www.lilienthal-museum.de/> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Planet Schule. Warum fliegen Flugzeuge? URL.: <http://www.planet-schule.de/warum/fliegen/Themenseiten/t1/s1.html> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Wodzinski, Rita: "Wie erklärt man das Fliegen in der Schule? Versuch einer Analyse verschiedener Erklärungsmuster". URL.: <http://pluslucis.univie.ac.at/PlusLucis/992/s1822.pdf> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Rechenberg, Ingo: Bionik und Evolutionstechnik an der TU Berlin. URL.: <http://www.bionik.tu-berlin.de/> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Löfken, J. O.: Mit dem Nurfügler in die Lüfte. Welt der Physik. URL.: <http://www.weltderphysik.de/gebiet/technik/verkehr/nurflugler/> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Helmholtz Gemeinschaft. Geschäftsbericht 2011. Nurfügler für 750 Passagiere. URL.: [http://www.helmholtz.de/gb11/luftfahrt\\_raumfahrt\\_und\\_verkehr/projekte\\_aus\\_der\\_forschung/ein\\_flug\\_rochen\\_fuer\\_750\\_passagiere/](http://www.helmholtz.de/gb11/luftfahrt_raumfahrt_und_verkehr/projekte_aus_der_forschung/ein_flug_rochen_fuer_750_passagiere/) (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Vom Flugsamen zum Flugmodell. Naturorientiertes Lernen mit Bionik. In: Unterricht Arbeit + Technik, 9 (2007) 36, S. 13-17

Frag die Natur. Naturorientiertes Lernen. Forscher- und Erfinderwerkstatt Bionik. URL.: <http://www.inspiration-natur.net/media/07110605302706ae.pdf> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

### **Der Strömungswiderstand beim Fliegen und Schwimmen**

Universität Saarland. Folie nach dem Prinzip von Haifischhaut. URL.: <http://www.uni-saarland.de/fak8/bi13wn/projekte/umsetzung/fischhaut.html> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Internationales Bionik-Zentrum. Stiftung für Bionik. Schnell wie ein Hai im Wasser. URL.: <http://www.bionik-zentrum.de/default.asp?navA=newsdetail&main=news&newsid=99> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Ferchau Engineering. Hai-Lack senkt Treibstoffverbrauch. URL.: <http://www.ferchau.de/news/details/hai-lack-senkt-treibstoffverbrauch-1163/> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Speck, T., Neinhuis, C.: Bionik. Biomimetik: Ein interdisziplinäres Forschungsgebiet mit Zukunftspotential. URL.: <http://www.naturwissenschaftliche-rundschau.de/navigation/dokumente/Bionik.pdf> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Der Riblet-Effekt bei Haien und in der Technik. Anpassung an schnelle Fortbewegung. In: Unterricht Biologie, 32 (2008) 332, S. 28-31

### **Optimieren**

Bappert, R., Benner, S., Häcker, B. und Kern, U.: Biologie Technik. Zukunfts-Technik lernt von der Natur. Herausgeber: Landesmuseum für Technik und Arbeit in Mannheim. Mannheim 1996

Planet Wissen. Charles Darwin – Revolutionär und Gentleman. URL.: [http://www.planet-wissen.de/natur\\_technik/forschungszweige/evolutionsforschung/charles\\_darwin.jsp](http://www.planet-wissen.de/natur_technik/forschungszweige/evolutionsforschung/charles_darwin.jsp) (letzter Zugriff: 30.09.2013)

COFFEE CIRCLE. Kaffeegeschmack. URL.: <http://www.coffeecircle.com/kaffeewissen/kaffeegeschmack/> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Bionik-online.de. Evolutionsstrategie – Optimieren nach dem Vorbild der Natur. URL.: <http://www.bionik-online.de/bionik-experimente/evolutionsstrategie/> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Evocomp. Evolutionsstrategien. URL.: <http://www.evocomp.de/themen/evolutionsstrategien/evostat.html> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Schreiber, A.: Der Computer als Kaffeemaschine. URL.: <http://www.bionik.tu-berlin.de/user/isk/presse/story00.html> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Rechenberg, I.: Bionik und Evolutionstechnik. URL.: <http://www.bionik.tu-berlin.de/> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Zickzack nach Darwin. URL.: <http://www.spiegel.de/spiegel/print/d-46176161.html> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Steffen, R.: Bionik, die Evolution in der Technik. URL.: <http://www.rolandsteffen.de/bionik> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Tipp: Auf der Internetseite <http://www.boxcar2d.com/index.html> findet sich ein Programm, das aus einer bestimmten Anzahl von Einzelteilen nach der „Versuch und Irrtum“-Methode ein „geländefähiges“ Auto baut. Anschauen lohnt sich! (letzter Zugriff: 30.09.2013)

### **Erkennen**

Evologics. Underwater communication. Equipment for professionals. URL.: <http://www.evologics.de> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Biotechnologie.de. Entwicklung eines Farbsonars nach dem Vorbild von Delfinen und Fledermäusen. URL.: <http://www.biotechnologie.de/BIO/Navigation/DE/root,did=67216.html> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Planet Wissen. Sinnesleistungen der Tiere. URL.: [http://www.planet-wissen.de/natur\\_technik/forschungszweige/bionik/sinnesleistung.jsp](http://www.planet-wissen.de/natur_technik/forschungszweige/bionik/sinnesleistung.jsp) (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Nationales Bernstein Netzwerk Computational Neuroscience. Beutefang bei Dunkelheit – der sechste Sinn der Schlangen. URL.: <http://www.nncn.uni-freiburg.de/Aktuelles/Forschungsergebnisse/BeutefangSchlangen/> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Schwarzer Kiefernprachtkäfer als Vorbild für mikrotechnologischen Infrarotsensor. URL.: <http://www.caesar.de/infrarotsensor0.html> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Westhoff, G.: Infrarotsehen bei Schlangen. Vier Augen sehen mehr als zwei. URL.: <http://www.caesar.de/infrarotsensor0.html> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Brickmann, J., Schallbilder. URL.: <http://www.laborundmore.de/archive/343838/Schallbilder.html> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik. Akustische Kamera. URL.: <http://www.gfai.de/deutsch/produkte/signalverarbeitung-akustische-kamera-produkte/akustische-kamera.html> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Meyer, A., Döbler, D., GFai: Die akustische Kamera als bildgebendes, akustisches Analyseverfahren. URL.: [http://www.tsb-wtt.de/uploads/media/Meyer\\_WTT\\_15.10.09.pdf](http://www.tsb-wtt.de/uploads/media/Meyer_WTT_15.10.09.pdf) (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Physik und ihre Didaktik. URL.: <http://www.physik.uni-bielefeld.de/didaktik/Modulbeschr-Dateien/Versuche%20Hoeren.pdf> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

**Bauen**

Mattheck, Claus: Universalformen der Natur, Sonderdruck aus labor & more 2012

Mattheck, Claus: Siegen durch Nachgeben, Sonderdruck aus labor & more 2012

Mythos Mathe. Minimalflächen. URL.: [http://www.mythos-mathe.de/exponate/mathematische\\_anwendungen/minimalflaechen.php](http://www.mythos-mathe.de/exponate/mathematische_anwendungen/minimalflaechen.php) (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Seifenhäute. Minimalflächen. URL.: [http://www.math.unibe.ch/content/schueler/e8276/e8322/EulerFlyer2\\_ger.pdf](http://www.math.unibe.ch/content/schueler/e8276/e8322/EulerFlyer2_ger.pdf) (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Cycon, H.L.: Von Seifenhäuten, Zeltdächern und Schneckenhäusern – Minimalflächen und andere mathematische Schönheiten. URL.: <http://home.htw-berlin.de/~hcycon/minfl.htm> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

**Laufen, Greifen, Haften****Laufen**

DFKI GmbH. Robotics Innovation Center (RIC).

URL.: <http://robotik.dfk-bremen.de/de/forschung/projekte/aramies.html> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Mathematik und Physik für Schüler, Lehrer und Eltern von MatheBrinkmann. URL.: [http://www.brinkmann-du.de/physik/sek1/ph07\\_14.html](http://www.brinkmann-du.de/physik/sek1/ph07_14.html) (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Köller, J.: Mathematische Basteleien. Schwerpunkt von Figuren. URL.: <http://www.mathematische-basteleien.de/schwerpunkt.htm> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Naturwissenschaft und Technik. Arbeitsbuch. Baden-Württemberg. Duoden Paetec Schulbuchverlag 2007, S. 211-222

TK-Logo. Schwimmende Eidechsen und rollende Spinnen. URL.: <http://www.tk-logo.de/cms/beitrag/10002615/217576> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

**Greifen und Haften**

Langer, M., G., Ruppertsberg, J., P. und Gorb, S.: Adhesion forces measured at the level of a terminal plate of a terminal plate of the fly's seta. Proc. R. Soc. Lond. B (2004) 271, 2209–2215

Campus Magazin Uni Saarland 49 (2006) 20. Geckos haften besser an feuchten Oberflächen. URL.: <http://jacobs.physik.uni-saarland.de/forschung/gecko.htm> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

TECHMAX: Neugierig auf Wissenschaft. Mit unbeschränkter Haftung – wie Gecko & Co die Materialforschung inspirieren. Ausgabe 8, Frühjahr 2007

Autumn, K. und College, C.: Gecko adhesion: evolutionary nanotechnology. Phil. Trans. R. Soc. A (2008) 366, S. 1575-1590

Bodensee-Naturmuseum Konstanz. Haften ohne Klebstoff – der Gecko fuß. URL.: <http://www.uni-konstanz.de/botanischergarten/Bionik/AB-Geckofuss-Mittelstufe.pdf> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Max-Planck-Gesellschaft. Wissen ist max. Neugierig auf Wissenschaft. Molekulare Wechselwirkungen. URL.: <http://www.max-wissen.de/Fachwissen/show/5307.html> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

**Falten**

Speck, T., Speck, O., Neinhuis, C. und Bargel, H.: Was die Technik von Pflanzen lernen kann – Bionik in botanischen Gärten. Eine Ausstellung des Verbands Botanischer Gärten im Rahmen der Woche der Botanischen Gärten 2011

Julius-Maximilians-Universität Würzburg. Runde Rohlinge und Bienenwärme ergeben perfekte Waben. URL.: <http://www.uni-wuerzburg.de/presse/mitteilungen/p04-045w.html> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Mirtsch F.: Bionische Wölbstrukturen für effektive Leichtbauweise. URL.: [http://www.graepel.de/fileadmin/download/pdf/InForm/2011/Bionische\\_Woelbstrukturen.pdf](http://www.graepel.de/fileadmin/download/pdf/InForm/2011/Bionische_Woelbstrukturen.pdf) (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Lambert, A. und Reddeck, P.: Brücken – Türme – Häuser. Statisch-konstruktives Bauen in der Grundschule. Herausgeber: Zolg, M., Wodzinski, R. und Wöhrmann, H., Materialien für den naturwissenschaftlichen und technischen Sachunterricht. Universität Kassel 2007. URL.: <http://www.uni-kassel.de/hrz/db4/extern/dbupress/publik/abstract.php?978-3-89958-259-8> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Kähler, M.: Versuchsbericht zum Schülerversuch: Belastungsexperiment einer Papierbrücke. URL.: <http://www.didaktik.physik.uni-due.de/veranstaltungen/soe/versuchsberichte/SS06/Bericht%20Br%C3%BCckenexperiment.pdf> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Yutaka Nishiyama.: Folding: Applying Origami to Space Exploration. Department of Business Information, Faculty of Information Management, Osaka University of Economics. Osaka Keidai Ronshu, Vd. 60 No. 1 May 2009

Schmidt, L.: Origami für die Industrie: Alles beim Falten URL.: <http://www.faz.net/aktuell/gesellschaft/design/origami-fuer-die-industrie-alles-beim-falten-11657665.html> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Origami science. URL.: <http://www.origami-resource-center.com/> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Anmerkung: Absolut phantastische Seite mit detaillierten Anleitungen zu Origami

PSM. Official Miura-ori site: URL.: <http://www.miura-ori.com/English/index.html> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

**Bionik: Ein Blick zurück und ein Blick nach vorne**

Das Bionik-Geschäftsmodell: Von der Entwicklung bis zum Marketing.  
URL.: <http://ideenouveau.de/innovation/bionik-geschäftsmodell/> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Ferdinand, J-P.; Petschow, U., v. Gleich, A., Seipold, P.: Literaturstudie Bionik – Analyse aktueller Entwicklungen und Tendenzen im Bereich der Wirtschaftsbionik. URL.: [http://www.ioew.de/uploads/tx\\_ukioewdb/IOEW\\_SR\\_201\\_Literaturstudie\\_Bionik.pdf](http://www.ioew.de/uploads/tx_ukioewdb/IOEW_SR_201_Literaturstudie_Bionik.pdf) (letzter Zugriff: 30.09.2013)

Oertel, D., Grunwald, A.: Potentiale und Anwendungsperspektiven der Bionik. URL.: <http://www.anorganik.jku.at/Knoer/Bionik%20Anwendungsperspektiven.pdf> (letzter Zugriff: 30.09.2013)

## Bildnachweise

- S. 4** [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Leonardo\\_Design\\_for\\_a\\_Flying\\_Machine,\\_c.\\_1505.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Leonardo_Design_for_a_Flying_Machine,_c._1505.jpg)
- S. 5** Vorlage Knut Brauen, Science Park 2 Universität des Saarlandes, Saarbrücken
- S. 6** TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Heike Morath
- S. 7** Oktopus: TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Klaus Luginsland  
Saugnapfe: TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Klaus Luginsland  
Stabheuschrecke: TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Klaus Luginsland  
Laufroboter: TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Klaus Luginsland  
Storch: TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Klaus Luginsland  
Flugzeug: Daimler-Benz Aerospace Airbus GmbH, Hamburg
- S. 15** links: TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Klaus Luginsland  
rechts: eye of science, Reutlingen (Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme Lotusblatt)
- S. 16/17** TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Heike Morath
- S. 18** oben: TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Heike Morath  
unten: TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Klaus Luginsland
- S. 19** links: Susanne Benner, Köln  
rechts: TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Heike Morath
- S. 20/21** TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Klaus Luginsland
- S. 24** Susanne Benner, Köln
- S. 26** TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Heike Morath
- S. 27** P. Leins, Institut für Systematische Botanik und Pflanzengeographie, Universität Heidelberg
- S. 28/30** TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Heike Morath
- S. 31/32** TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Heike Morath
- S. 34** TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Klaus Luginsland
- S. 35** Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
- S. 36** TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Heike Morath
- S. 37** TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit
- S. 38** oben: Institut für Bionik und Evolutionstechnik, Berlin  
unten: TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Heike Morath
- S. 39** M. Herdy, Institut für Bionik und Evolutionstechnik, Berlin
- S. 40-48** TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Heike Morath
- S. 49** oben: Institut für Leichte Flächentragwerke (IL), Universität Stuttgart  
unten: Institut für Leichte Flächentragwerke (IL), Universität Stuttgart
- S. 50** TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Irene Schnellhammer
- S. 51** TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Heike Morath
- S. 52** A) TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Irene Schnellhammer  
B) TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Klaus Luginsland  
C) TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Irene Schnellhammer  
D) R. Leuthold, Zoologisches Institut, Universität Bern, Schweiz  
E) TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Irene Schnellhammer
- S. 53** oben: Institut für Leichte Flächentragwerke (IL), Universität Stuttgart  
unten: TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Irene Schnellhammer
- S. 54** TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Heike Morath
- S. 55** TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Klaus Luginsland
- S. 56/58** TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Heike Morath
- S. 59** links: Max-Planck-Institut für Metallforschung, Evolutionary Biomaterials Group, Stuttgart  
Mitte: Max-Planck-Institut für Metallforschung, Evolutionary Biomaterials Group, Stuttgart  
rechts: eye of science, Reutlingen (Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme)
- S. 60** Max-Planck-Institut für Metallforschung, Evolutionary Biomaterials Group, Stuttgart
- S. 62** TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Heike Morath
- S. 63** oben: TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Klaus Luginsland  
unten: TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Heike Morath

- S. 64** links: TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Heike Morath  
rechts: TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Klaus Luginsland
- S. 65-67** TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Heike Morath
- S. 68** TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Irene Schnellhammer
- S. 69** TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Heike Morath
- S. 70** ©Festo AG & Co.KG, alle Rechte vorbehalten
- S. 75-80** TECHNOSEUM – Landesmuseum für Technik und Arbeit: Heike Morath

*Trotz aufwendiger Recherchen ist es nicht gelungen, alle Rechteinhaber von Abbildungen ausfindig zu machen. Wir bitten Personen oder Institutionen, die Rechte an diesen Abbildungen haben, sich mit dem Bildarchiv des TECHNOSEUM in Verbindung zu setzen.*

# Impressum

*Bionik*  
*Unterrichtsmaterialien für Schulen*

*Herausgegeben vom TECHNOSEUM*  
*Landesmuseum für Technik und Arbeit*  
*in Mannheim*  
*Museumsstraße 1*  
*68165 Mannheim*  
*[www.technoseum.de](http://www.technoseum.de)*

*Konzeption und Redaktion*  
*Reiner Bappert*  
*Antje Kaysers*  
*Anke Neuhaus*  
*Irene Schnellhammer*

*Texte*  
*Anke Neuhaus und Irene Schnellhammer*

*Titelbild*  
*Frank Ketterl*

*Gestaltung*  
*Heike Morath*

*Schlussredaktion*  
*Wolf-Diether Burak*

*Mannheim, Oktober 2013*