



BAND 18

Bernd Hill

BIONIK

Wald und Flur



Knabe Verlag Weimar

Bernd Hill

BIONIK

in Wald und Flur

Knabe Verlag Weimar



BERND HILL wurde 1947 geboren. Er studierte an der PH/Universität Erfurt im Schwerpunkt Polytechnik. 1987 promovierte er über Erfindungsmethodik, 1995 erfolgte seine Habilitation über Biostrategien und biologische Organisationsprinzipien an der Martin-Luther-Universität Halle. Von 1998 bis 2012 lehrte Prof. Hill an der Universität Münster im Fachbereich Physik, Institut für Technik und ihre Didaktik. In verschiedenen Unternehmen führt er Innovationskurse durch und bezieht die angewandte Bionik in systematische Produktentwicklungsprozesse ein. Seine Forschungstätigkeit bezieht sich auf Innovationsstrategien, technische Kreativität sowie systematische und angewandte Bionik.

BILDNACHWEIS

Illustrationen Prof. em. Dr. phil. habil. Prof. h.c. Bernd Hill;
Cover shutterstock.com/weter78;
S. 22 links Noel Guevara/Greenpeace, rechts Robert Marc Lehmann/Greenpeace;
S. 61 nach Frieling 1939;
S. 83 Mirtsch 2000;
S. 110 Cover shutterstock.com/Stephane Bidouze, FZI Forschungszentrum Informatik Karlsruhe – Abteilung IDS, Wikimedia Commons, lizenziert unter CC BY-SA 3.0

Der Text wurde vom Autor nach vorliegendem Wissen erstellt und sorgfältig geprüft. Da inhaltliche Fehler trotzdem nicht ganz auszuschließen sind, erfolgen die Textangaben ohne jegliche Verpflichtung des Verlages und Autors. Autor und Verlag übernehmen daher keinerlei Haftung für mögliche inhaltliche Unrichtigkeiten.

1. Auflage April 2021
© 2021 Knabe Verlag Weimar | Herderplatz 11, 99423 Weimar
Alle Rechte sind dem Verlag vorbehalten.

Grafische Bearbeitung, Satz und Layout Rike Schmidt
Lektorat Friederike Andrees
Fachliches Lektorat Konrad Hahn
Druck und Bindung ADverts Printing House

Dieses Buch folgt den Regeln der neuen deutschen Rechtschreibung.
Printed in Latvia

ISBN 978-3-944575-45-2
www.knabe-verlag.de



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	6
① Einleitung	8
② Analogiebildung – Verständnismittel und Problemlösungsmethode ..	11
③ Die Natur – Lösungsquelle für technische Probleme	14
④ Ideenquelle Garten	17
⑤ Lösungssuche in Bach und Teich	30
⑥ Anregungen von Wald und Wiese	46
Arbeitsblatt 1: Quiz – Vervollständigen	80
Arbeitsblatt 2: Eine Experimentiereinrichtung zum Nachweis des Selbstreinigungseffektes bauen und erproben	82
Lösungen	85
Literatur	87
Register	89
Danksagung	91



Alle Titel der Buchreihe (nach Erscheinen):

1. Die Natur als Ideenschmiede
2. Von Flugfrüchten abgeschaut
3. Leichtbau
4. Riesenseerose und Kristallpalast
5. Schmetterlingen abgeschaut
6. Vom Fliegen
7. Schätze aus dem Tropenwald
8. Schwimmen und Tauchen
9. Wärmedämmung
10. Seil- & Netzkonstruktionen
11. Klimatisierung und Lüftung
12. Schönheit der Natur
13. Tarnen und Täuschen
14. Wettrüsten der Sinne
15. Arznei und Kosmetik
16. Verpacken
17. Roboter und Prothesen
18. Bionik in Wald und Flur
19. Evolution in Natur und Technik
20. 1x1 des naturorientierten Erfindens



»Mir kommen die Wege, auf denen die Menschen zur Erkenntnis gelangen fast ebenso bewunderungswürdig vor wie die Natur der Dinge selbst.«

Johannes Kepler
(1571-1630)

Deutscher Astronom, Physiker, Mathematiker,
Naturphilosoph sowie bedeutender
Erfinder und Entdecker

VORWORT

Lernen von der Natur

Mit dem achtzehnten Band »Bionik in Wald und Flur« wird die Buchreihe unter dem Motto »Frag' die Natur« fortgeführt. Die Reihe wendet sich an eine breite Leserschaft. Sie ist sowohl auf aktiven Wissenserwerb als auch auf eigenständiges Entdecken und Experimentieren ausgerichtet. Comics und Infoboxen lockern die Wissensaneignung auf.

Durch Ausprobieren und interessante Sachverhalte lernen Lesende die Natur in ihrer Vielfalt und ihre Übertragungsmöglichkeiten in die Technik kennen. Die Texte zielen dabei auf mehr als Wissensvermittlung ab: Sie machen neugierig und fordern zum Hinterfragen, Beobachten, Forschen, Modellieren, und Konstruieren auf.

Anschaulich werden Methoden zur Problemerkennung und -lösung dargestellt. So entstehen Freiräume für Kreativität, in denen eigenständiges Erfinden möglich ist. Ein Zugang zur faszinierenden Welt der Naturphänomene ist damit gegeben.

Illustrationen von Tieren mit Sprechblasen sollen dabei helfen, eine andere Perspektive zu eröffnen. Damit ist es möglich, wichtige Erkenntnisse über sie lebendig und unterhaltsam darzustellen.

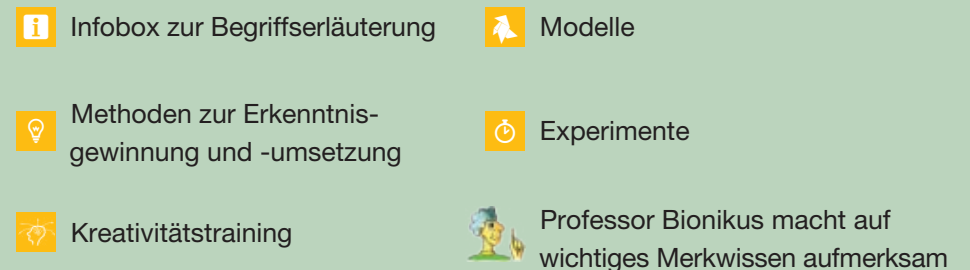
An manchen Stellen des Buchs regen Rätsel und Denksportaufgaben die Kreativität sowie den Forscher- und Erfindergeist zusätzlich an.



Die Bände enthalten:

- Sachinformationen über interessante und erstaunliche biologische und technische Phänomene,
- Abenteuer des Entdeckens und Erfindens in Form von Bildergeschichten,
- Denk- und Arbeitsweisen von Entdecker- und Erfinderpersönlichkeiten,
- Nützliche Methoden zur individuellen Erschließung von Natur und Technik,
- Spannende Experimente zur Erkenntnisgewinnung und Selbstbau-Anleitungen zur praktischen Erprobung.

Im fortlaufenden Text dienen folgende Symbole zur Orientierung:



*Viel Spaß beim Lesen,
Forschen und Experimentieren.*



1

EINLEITUNG

Der Natur auf der Spur

»In den kleinsten Dingen zeigt die Natur die allergrößten Wunder.«

Carl von Linné (1707–1778)

Die Natur mit all ihren Pflanzen und Tieren steckt voller Wunder. Es gibt wohl kaum etwas Schöneres, als Zeit in der Natur zu verbringen und dort aufmerksam Pflanzen und Tiere in den verschiedensten Lebensräumen zu beobachten. Mit Freude am Entdecken, Wissbegier und Forschergeist können wir den Geheimnissen der Natur auf die Spur kommen, ihre Rätsel lüften und so unser Wissen vermehren. Haben wir neue Erkenntnisse über Pflanzen und/oder Tiere erlangt, entstehen wieder neue Fragen, die einer Beantwortung bedürfen.

Dabei ist es eine Tatsache, dass wir die Schönheit und den Formenreichtum der Lebewesen oft als selbstverständlich hinnehmen. Vieles übersehen wir im Vorbeigehen, weil uns das Staunen und aufmerksame Beobachten fremd ist. Dabei lohnt es sich, genau hinzuschauen: Wenn man den Blick auf die Pflanzen und Tiere am Wegesrand richtet, ihren Aufbau und ihre Lebensfunktionen ergründet, lässt sich manches entdecken, was sich für eine Übertragung in die Technik eignet. Die Natur um uns wird zum Erlebnisraum.



Auf Streifzug durch Wald und Flur



Die Erfahrung können wir schon am Wegesrand bei einem Schmetterling, Käfer oder einer unscheinbaren Brennnessel machen. Von unserer Aufmerksamkeit, Aufnahmebereitschaft und Kreativität hängt es ab, ob wir die Vorbilder und Anregungen finden, die wir brauchen. Selbst der heimische Garten, die Hecken und Sträucher, Steinhäufen, Bäche und Teiche mit ihrer Lebensvielfalt eignen sich als Ideengeber für neue Entwicklungen. So hat der Biotechniker Raoul H. Francé (1874–1943) in seinem Buch »Die Pflanze als Erfinder« in den 1920er Jahren dazu treffend geschrieben:

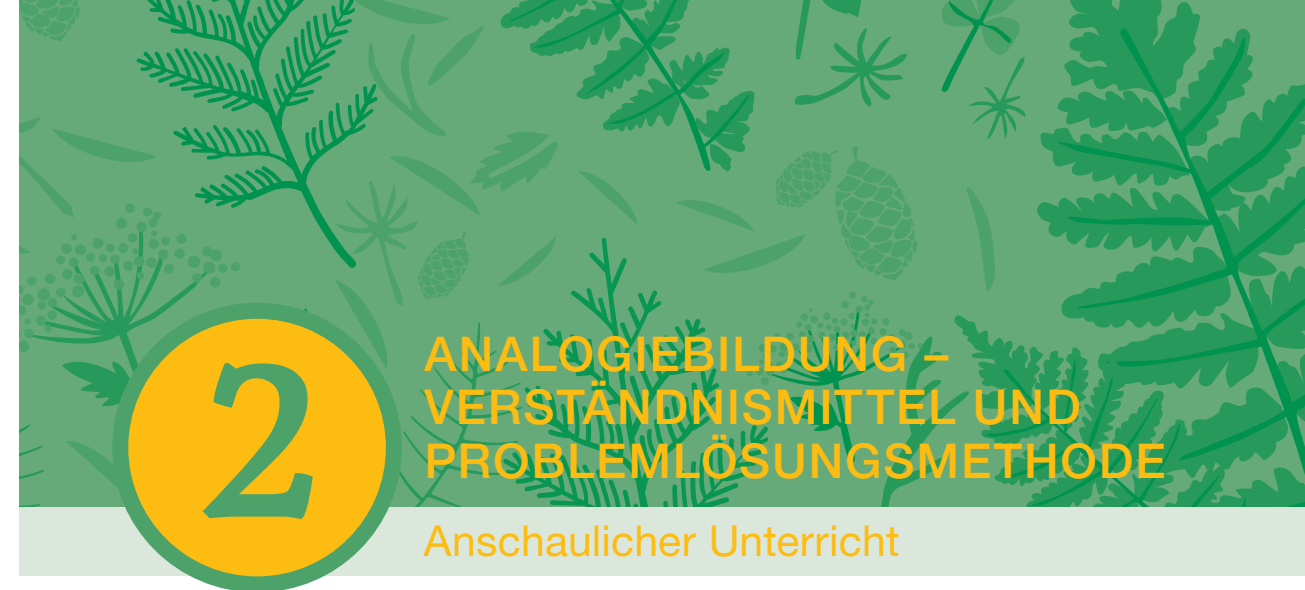
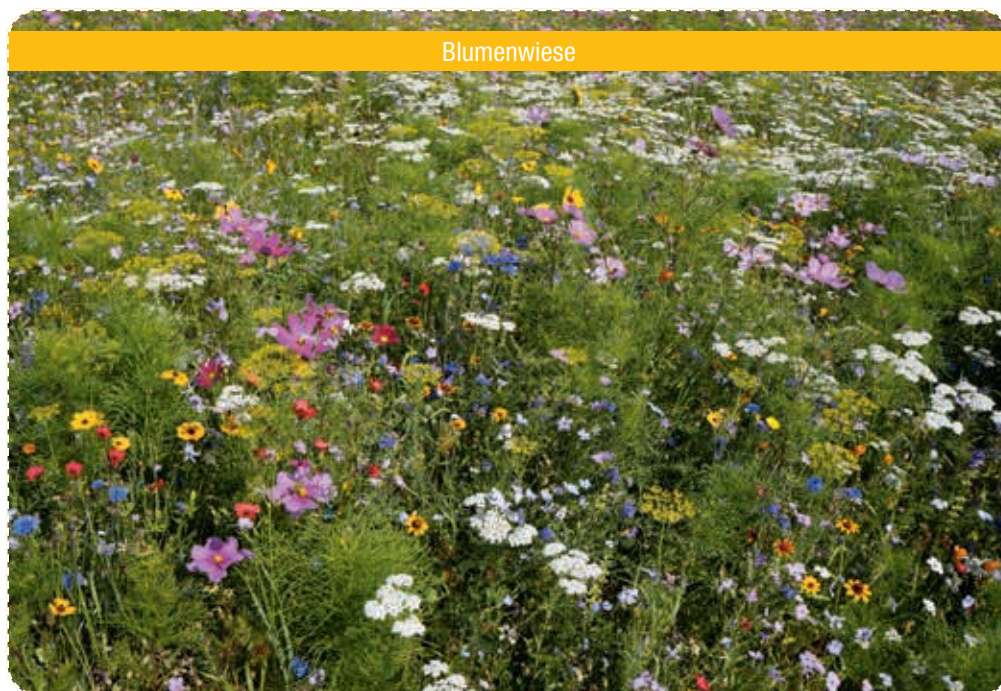
»Jeder Busch, jeder Baum kann ihn (den Menschen) dabei belehren, ihn beraten und ihm Erfindungen, Apparate und technische Einrichtungen sonder Zahl vorweisen.«

Wie viele raffiniert einfache Lösungen für die verschiedensten technischen Probleme liegen noch in der Natur verborgen und warten darauf, entdeckt zu



werden? Es lohnt sich, aufmerksamer und systematisch Pflanzen und Tiere auf ihre technischen Übertragungsmöglichkeiten hin zu untersuchen. Je mehr wir von der Natur lernen und abschauen, umso mehr können wir auch erfinden und so die weitere technische Entwicklung vorantreiben. Denn Erfindergeist beruht größtenteils auf Beobachtungen und Anregungen aus der lebenden Natur. Zum Beispiel wurden Solarsegel nach dem Vorbild des Flügelfächers vom Ohrwurm gebaut. Es gibt chirurgische Sonden, die vom Legebohrer der Holzwespe abgeleitet sind, oder Salzstreuer, die wie Mohnkapseln funktionieren. Diese und weitere Beispiele werden im vorliegenden Band vorgestellt. An vielen Stellen wird dabei deutlich, dass Natur und Technik oftmals gleiche bzw. ähnliche Lösungen für ein und dieselbe Funktion besitzen. Dabei sind auch solche Funktionen und Baupläne von Lebewesen aufgeführt, für die eine technische Anwendung noch aussteht. Vielleicht habt ihr Ideen, was man daraus ableiten und entwickeln könnte?

Viel Spaß beim Entdecken und Erforschen.



2

ANALOGIEBILDUNG – VERSTÄNDNISMITTEL UND PROBLEMLÖSUNGSMETHODE

Anschaulicher Unterricht

»Analogien sind meine zuverlässigsten Lehrmeisterinnen, vertraut mit den Geheimnissen der Natur.«
Johannes Kepler (1571–1630)

Bevor wir mit dem Entdecken und Erforschen beginnen, schauen wir, wie man von der Natur lernen kann. Um technische Probleme zu lösen, kann man sich anschauen, wie solche oder ähnliche Probleme in der Natur gelöst sind. Diese Übertragung nennt man Analogiebildung.

Analogien, also Ähnlichkeiten zwischen zwei Dingen, können auch als Verständnishilfe das Lernen erleichtern. Das ist sicherlich bekannt. Es ist nämlich hilfreich, wenn der neue Lernstoff durch bereits Bekanntes und Vertrautes verständlich gemacht wird.

Dazu ein Beispiel aus eigener Erfahrung: Im Mathematikunterricht hatte ich nur befriedigende Leistungen. Der Unterricht in diesem Fach war mir zu abstrakt, verbunden mit wenig Anschaulichkeit und Lebensverbundenheit. Das Lernen fiel mir dadurch ziemlich schwer und bereitete mir einfach keine Freude. Als beispielsweise die Sinusfunktion behandelt wurden, habe ich an andere Dinge gedacht, die für mich viel reizvoller waren. Aber diese so abstrakt und langweilig erscheinenden Lerninhalte wurden für mich interessant, als ich später feststellte, dass die Bewegungen der Schwanzflossen von Fischen in

Form einer Sinusschwingung ablaufen. Und als im Physikunterricht das Hebelgesetz vermittelt wurde, war es ähnlich – ich habe auch dort oft abgeschaltet und wendete mich gedanklich anderen Dingen zu. Wenn mir der Physiklehrer damals aber anschaulich vermittelt hätte, dass viele Bewegungen in der lebenden Natur durch das Hebelgesetz zu erklären sind, wäre auch dieser Unterricht für mich viel interessanter und verständlicher gewesen. Hebel sind in der Natur überall zu finden: zum Beispiel im Vogelschnabel oder im Fischmaul. Besonders anschaulich ist Wirkung des Hebels bei den Knochen und Muskeln des menschlichen Armes. Auf diesen interessanten Hebelmechanismus wird später noch genauer eingegangen.

Unterarm als einseitiger Hebel

Da der Bizeps-Muskel viel näher an der Drehachse des Unterarms angreift, als die zu stemmende Hantel, muss die dort wirkende Kraft viel größer sein.

F_1	– Muskelkraft des Bizeps
F_2	– Gewichtskraft der Hantel (Last)
a_1 a_2	– Angriffspunkte der Kräfte
L_1	– Kraftarm
L_2	– Lastarm

Zur Erklärung und Vermittlung neuer Erkenntnisse ist es also hilfreich, wenn man Analogien verwendet – das belegen die beiden Beispiele aus dem Mathematik- und Physikunterricht.

Merkel!



Analogie bedeutet allgemein Ähnlichkeit bzw. Übereinstimmung zwischen zwei Dingen.

Um Übertragungen aus der Natur in die Technik zu leisten, ist das Erkennen des Zusammenhanges von Aufbau und Funktion bedeutsam. In der Bionik wird daher ausgehend von der gesuchten Funktion nach Pflanzen und Tiere mit ähnlichen Funktionen geschaut. Anschließend werden Übertragungsmöglichkeiten insbesondere vom Aufbau überprüft. Die Bildung von Analogien wird als Analogiemethode bezeichnet.

METHODENBAUSTEIN: ANALOGIEMETHODE

Geht es beispielsweise um eine technische Lösung für die Befestigung von Gegenständen an glatten, festen Wänden, ist eine Analogie mit Haftorganen mancher Tierarten hilfreich. Das können Saugwürmer, Kopffüßer, Fische oder Gelbrandkäfer sein.

Natürliche Saugnäpfe sind wirkungsvolle Haftorgane und können durch Zusammenziehen der Muskulatur flach auf eine Unterlage gedrückt werden. Bei anschließender Erschlaffung der Muskulatur entstehen Hohlräume. Sie weisen im Vergleich zur Umgebung einen Unterdruck auf. Das Wirkprinzip gleicht der Befestigung von Haken mit Gummisaugern an beispielsweise Badfliesen.

Ein interessantes Naturprinzip regt allgemein dazu an, eine Erfindung daraus zu machen. Dabei muss nicht unbedingt ein technisches Problem vorliegen. Ein Beispiel dafür ist der allgemein bekannte Klettverschluss. Aus der Entdeckung der Klettfrüchte mit ihren winzigen Klettähkchen, die im Fell von Tieren haften, wurde die Erfindung des Klettverschlusses abgeleitet.

3

DIE NATUR – LÖSUNGSQUELLE FÜR TECHNISCHE PROBLEME

Alles schon da gewesen

»In der Klugheit der Natur mit all ihrer wundersamen Vielfalt und einmaligen Schönheit, findest du Antworten auf viele deiner Fragen.«
Unbekannt

Vieles, was der Mensch erfand, gab es schon seit Jahrmillionen in der lebenden Natur. Harpunen, Zangengreifer, Gleitflieger oder selbstreinigende Oberflächen und noch manches mehr existierten als Organe oder Organteile bei Lebewesen längst, bevor der Mensch auf die Idee kam, etwas Ähnliches herzustellen.

Es ist eine Tatsache, dass der Mensch beim Entwickeln technischer Lösungen oft erst später feststellte, dass Gleiches oder Ähnliches schon in der lebenden Natur vorhanden war. Entwicklungsmühe und Zeit hätten gespart werden können, wenn der Mensch sich bei der Lösungssuche in der Natur umgeschaut hätte.

NATUR AUS TECHNISCHER PERSPEKTIVE BETRACHTET

Begibt man sich auf Lösungssuche in die Natur, sollte man Pflanzen und Tiere als Ideenquelle stets mit technischem Blick aufmerksam betrachten. So



Natur als Lösungsquelle für die Technik

Harpunenformen der Steinzeit



Harpunenformen bei Lebewesen

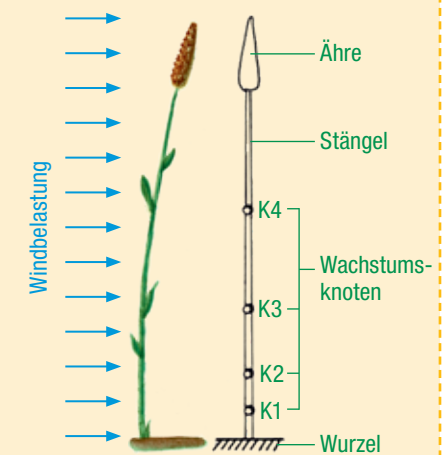


Die Größenverhältnisse entsprechen nicht der Wirklichkeit.

- 1 Samen des Zweizahns
- 2 Spitze der Spechtzunge
- 3 Haftrüssel eines parasitischen Wurmes
- 4 Stachel der Wespe
- 5 Stechsaugorgan des Holzbockes
- 6 Hakenfrucht des Löwenzahns

können wir bei einer Exkursion auf einer Wiese sehen, wie der Wind die ziemlich langen, aber sehr dünnen Grashalme hin und her bewegt und sie dabei leicht auf Biegung beansprucht. Die Halme zeigen elastisches Verhalten. Das bedeutet, dass der Halm nach dem Biegen wieder in seine vorherige Ausgangslage zurückkehrt. Schaut man einen solchen Halm genauer an, so ist ersichtlich, dass er aus kegelstumpfförmigen Stabelementen besteht. Der Halmdurchmesser nimmt daher mit zunehmender Höhe ab. Außerdem wird die Stabilität des Halmes gegenüber Windbelastungen durch die unregelmäßige Verringerung der Abstände zwischen den Stängelknoten von unten nach oben erreicht. So wird die

Pflanzenhalm als Leichtbaukonstruktion



Elastizität des Halmes mit steigender Höhe bei gleichzeitiger Verringerung des Halmdurchmessers immer größer.

Beim näheren Betrachten erkennt man eine Heuschrecke, die auf einem der Halme sitzt. Der dünne Halm ist imstande, nicht nur seine Eigenlast mit dem ausladenden Blütenstand zu tragen, sondern auch noch die gewichtige Heuschrecke. Dabei dehnt sich die Halmwand stets auf der Seite, von der der Wind angreift, und staucht sich auf der gegenüberliegenden Halmseite. Auch bei stärkerer Windbewegung gibt der Halm nicht nach und bleibt standfest. Er ist knicksteif und zeichnet sich gegenüber Belastungen durch eine hohe Stabilität aus.

Fertigt man von einem solchen Halm einen Längs- und Querschnitt an und untersucht die Halmschnitte anschließend mit einer Lupe, kann man den Halmaufbau gut erkennen. Der Halm ist innen hohl und bildet ein langes, dünnes Rohr. Die Schnittflächen des Halmrohrs sind aus festen Pflanzenfasern, die aus langgestreckten Zellen bestehen und den Halm gegen äußere Windbelastungen widerstandsfähig machen. Die Halmwand entspricht dem Prinzip der Verbundstabilisierung. Zwei feste, dünne Deckschichten und eine poröse, schwammartige, dicke Zwischenschicht aus Zellen ermöglichen die hohe Stabilität.

Halme gehören zu den materialsparenden Konstruktionen der Natur und verkörpern dort mit dem Röhrenprofil und der Verbundstabilisierung in idealer Weise den Leichtbau (vgl. Band 3 »Leichtbau« der Bionik-Reihe). Solche Leichtbaukonstruktionen lassen sich überall im Pflanzen- und Tierreich aufdecken. Sie können also nicht nur in Pflanzenstängeln und Halmen, sondern beispielsweise auch in Krallen und Vogelschnäbeln, Knochen sowie in Chitinpanzern von Insekten nachgewiesen werden.

In den Entwicklungsprozessen der Natur werden Körperteile und Organe, die einer hohen Belastung ausgesetzt sind, mit biologischer Masse verstärkt. Bei geringer belasteten Bereichen dagegen wird weniger Material angeordnet. Das entspricht dem Minimum-Maximum-Prinzip in der Natur. Es besagt, dass die Materialausnutzung im Aufbau von Pflanzen und Tieren durch wirkungsvolle Anordnung von Verstärkungselementen erfolgt. Mit einem Minimum an Biomasse bzw. Material und eingesetzter Energie wird daher ein Maximum an Stabilität und Funktionszuverlässigkeit erreicht.



IDEENQUELLE GARTEN

Unterüberschrift

Unsere Gärten können Lebensraum für viele Tier- und Pflanzenarten sein. Überlassen wir dort einige Stellen sich selbst, fühlen sich Tiere und Pflanzen besonders wohl. Dann können wir ihnen in unserer unmittelbaren Umgebung begegnen. Oft entdecken wir bei vielen dieser Tiere und Pflanzen interessante Dinge, die für Übertragungen in die Technik bedeutsam sein können.

VORBILD REGENWURM

Ein Tier, das wir im Garten finden können, ist der Regenwurm. Auf einem Hektar Ackerboden, das entspricht einem Quadrat von 100 Metern Seitenlänge, leben etwa ein bis zwei Millionen Regenwürmer. Sie sind sehr nützlich, weil sie den Boden durchmischen und mit Nährstoffen anreichern. Bei ihnen gibt es außerdem einiges abzuschaun. Der Regenwurm, mit wissenschaftlichen Namen *Lumbricus terrestris*, verfügt nämlich nicht nur über eine außergewöhnliche Grabetechnik, sondern auch seine Fortbewegung ist beachtenswert.

Obwohl er keine Grabeschaufeln wie der Maulwurf hat, kann er sich ziemlich mühelos durch das Erdreich wühlen. Dafür benutzt er sein spitzes, kegelförmiges Kopfende, welches er mit seinen kräftigen Muskeln wie einen Keil



Regenwurm (*Lumbricus terrestris*) – Grabetechnik und Wirkung der Borsten beim Verankern



in das Erdreich drückt. So schiebt er die Erde auseinander. Der Regenwurm besteht aus einer Vielzahl gleichartiger, gegliederter Ringe. Bewegt sich der Regenwurm fort, verkürzt und streckt er abwechselnd diese Ringe mit Hilfe seiner Längs- und Quermuskeln (vgl. Band 17 »Roboter und Prothesen« der Bionik-Reihe). Aber zur Fortbewegung gehört noch etwas Wichtiges dazu – die Borsten, die sich an jedem Ring befinden. Jeder Ring ist mit acht Ankerborsten ausgestattet. Diese kann man deutlich als Widerstand spüren, wenn man mit den Fingern am Wurm entlangstreicht. Mit den Ankerborsten stemmt sich der Regenwurm im Boden fest. Wer schon einmal versucht hatte, einen Regenwurm aus seinem Erdgang zu ziehen, stellte fest, dass das ziemlich schwierig ist. Auch Amseln müssen sich beim Herausziehen ihrer Lieblingsspeise ganz schön anstrengen, um den Widerstand der Ankerborsten zu überwinden.

Der Regenwurm bewegt sich durch das Zusammenwirken der Ankerborsten und der Längs- und Quermuskeln nach vorn. Wissenschaftler haben eine Tunnelbohrmaschine entwickelt, deren hinteres Segment sich wie der Regenwurm vorwärtsbewegt. Der Tunnelbohrer wühlt sich nicht nur ebenso durch das Erdreich, sondern er kann auch den Abraum nach dem Prinzip einer Pfeffermühle zerkleinern und wie ein Staubsauger nach hinten schieben. Gleichzeitig betoniert die Maschine die entstehende Tunnelröhre. Damit ist

die technische Anwendung des Fortbewegungsprinzips des Regenwurmes keineswegs erschöpft. So wurden mit Kameras ausgerüstete Wurmroboter entwickelt, die nach Erdbeben verschüttete Personen aufspüren.

Wortwurm

Der »Wortwurm« kriecht nur waagrecht durch alle Buchstaben und kreuzt sich selbst nicht. Wie heißt das gesuchte Lösungswort?



VORBILD OHRWURM

Manche denken sicherlich, dass der Ohrwurm nichts Besonderes ist – aber weit gefehlt. Denn sein Fächerflügel mit Scharniergelenken ist für die Technik besonders interessant. Der Gemeine Ohrwurm (*Forficula auricularia*) ist ein Insekt, welches sich in feuchter Umgebung aufhält. Er ist besonders in der Dämmerung und in der Nacht aktiv. Man findet ihn beispielsweise in feuchten Holzverschlägen, zusammengeklappten Sonnenschirmen oder vermoderndem Holz. Nimmt man einen Ohrwurm in die Hand, spürt man seine Zange am

Hinterleibsende, mit der er bei Gefahr zukneift. Seine Zange ist ein universelles Werkzeug: Sie wird als Verteidigungs- und Angriffswaffe sowie als Greifer eingesetzt. Mit ihr kann auch sein Fächerflügel entfaltet und wieder exakt zusammengefaltet und verstaut werden. Er befindet sich auf der Rückseite der Brustsegmente unter den beiden kleinen Deckflügeln. Ausgebreitet hat der Fächerflügel Ähnlichkeit mit der Gestalt des menschlichen Ohres.

Der Fächerflügel wird durch Adern versteift. Sie bilden ein regelmäßiges Speichenmuster. Den ganzen Flügel durchzieht außerdem eine bogenförmige Querader. Mittig der Speichenadern sind verdickte Stellen zu sehen, die als Scharniergelenke zum Falten der Flügel dienen. Dort, wo die Radialadern zusammentreffen, befindet sich noch ein zentrales Scharniergelenk. Wenn sich der Flügel entfaltet, klappen die Scharniergelenke aus und werden arretiert. Dadurch sind die ausgebreiteten Flügel formstabil und knicken nicht. Beim Schließen klappen die Scharniergelenke ein und jeder Flügel legt sich in Falten längs zum Körper wieder zusammen. Zum Schluss bleibt nur noch ein kleines »Flügelpaket« übrig, welches unter den Deckflügeln sicher verstaut wird.

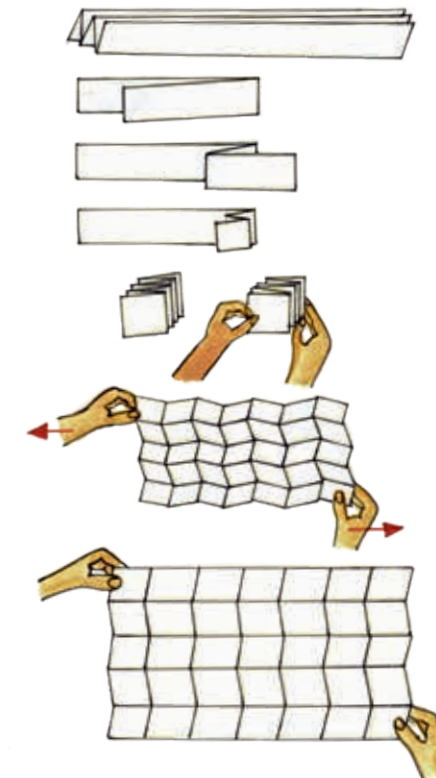
Technisch interessant sind solche fächerartigen Faltflügel für die Raumfahrt. Dort müssen Solarsegel ins All transportiert werden. Sie sind mit Solarzellen bestückt, um die Stromversorgung von Raumstationen zu sichern. Der Transport muss möglichst platzsparend sein, sodass man auf einem Flug möglichst viel Material mitnehmen kann. Platzsparendes Zusammenklappen kann am Regenschirm demonstriert werden. Uns ist klar, dass ein zusammengeklappter Regenschirm gegenüber einem aufgespannten Regenschirm viel weniger Platz beansprucht. So auch beim Solarsegel: Erst an der Raumstation wird das Solarsegel auf seine volle Größe zur Sicherung der Stromversorgung entfaltet. Ein Solarsegel-Modell lässt sich aus einem Bogen Papier herstellen. Dabei wird es so gefaltet, dass es sich durch Ziehen an zwei gegenüberliegenden Ecken öffnen lässt.

Übrigens hat der Fluggpionier Otto Lilienthal (1848–1896) das gleiche Faltprinzip wie das des Ohrwurmes bei einem Gleiter angewandt. Da er für das Testen der Flugapparate in seiner Umgebung kein geeignetes Fluggelände fand, mussten die Apparate zusammengelegt zu einem geeigneten Gelände transportiert werden. Zusammenlegbare Flugapparate waren auch deshalb notwendig, da sie per Schiff nach Amerika befördert werden mussten. Dort sollten sie zunächst getestet und später verkauft werden. Frachtraum auf

Benötigte Materialien, Werkzeuge und Hilfsmittel:

- 1 Bogen Zeichenkarton DIN A4
- Falzbein

Faltanleitung für das Solarsegel-Modell (nach Miura 2021)



1. Knicken des Bogens Zeichenkarton nach der Faltanleitung
2. Nachziehen der Knickstellen mit dem Falzbein
3. Entfalten und Zusammenklappen in diagonaler Haltung von Daumen und Zeigefingern beider Hände

Handelsschiffen war damals schon sehr teuer und die Apparate besaßen eine Flügelspannweite von 7 Metern. Lilienthal musste also einen Weg finden, die Flugapparate für den Transport so zu verpacken, dass sie möglichst wenig Platz brauchten.

Er hätte sie zwar in Einzelteile, also in Leitwerk, Gestellring und Flügel, zerlegen können, aber dann müssten sie nach dem Transport wieder zusammengebaut werden. Der Zeitaufwand dafür wäre jedoch zu groß gewesen, denn es gab nicht viel Zeit, um die Gleiter zu testen.

Die Flügelächer des Ohrwurmes und Otto Lilienthals zusammenfaltbarer Gleiter

- 1** Hauptscharniergelenk
- 2** Scharniergelenke der radialen Adern
- 3** Zentrales Scharniergelenk

Zusammenfaltbarer Flugapparat mit leicht gewölbter Flügelfläche, die aus einem Holzgerüst mit Stoffbespannung besteht.

Phasen des Zusammenfaltens der Hinterflügel

Schließlich fand Lilienthal die Lösung, als er die Flügelaltung eines Ohrwurmes untersuchte: Die gekreuzten Holme für die Unterarme wurden an ihren

Enden mit Gelenktaschen versehen, in denen die Flügelrippen dreh- bzw. schwenkbar gelagert sind. Hier bestätigt sich wieder, dass in der lebenden Natur gleiche bzw. ähnliche Lösungen für ein und dieselbe Funktion, in diesem Fall das Zusammenklappen von Flügeln, vorliegen.

VORBILD FLIEGE

Die Echten Fliegen (*Muscidae*) kommen bei uns häufig vor und präsentieren sich in etwa 500 verschiedenen Arten. Sie sind von kleiner bis mittelgroßer Gestalt. Am Körper besitzen sie Borsten. Es sind geschickte und vor allem ziemlich schnelle Flieger. Ihre Körperfärbung ist meist schwarz, gelblich oder grau. Es gibt auch Arten, die metallisch grün oder blau schillern. Interessant sind ihre Mundwerkzeuge, mit denen sie saugen oder manchmal stechen können.

Fliege und ihr Rüssel – Stellungen des Fliegenrüssels

Stellungen des Fliegenrüssels (nach Barth 1982)

1 Ruhestellung

2 Saugstellung

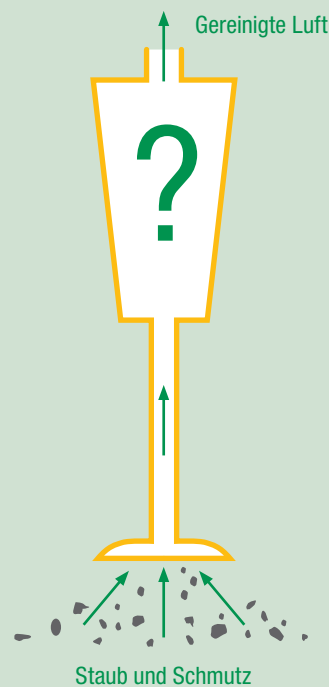
Öffnungsbewegung

Wenn man eine Fliege anschaut, fällt sofort ihr Rüssel auf. Bei einer größeren Fliege ist der Rüssel recht gut zu sehen, wenn sie sich am Rand einer verschütteten Flüssigkeitspfütze niedergelassen hat, um diese aufzusaugen. Der Fliegenrüssel besteht aus dem Unterlippenrohr, an dessen Ende sich zwei polsterförmige Unterlippentaster befinden. Sie sind mit Kanälen und Querrinnen versehen. Damit nimmt die Fliege flüssige Nahrung auf. Die polsterförmigen Taster sind mit Sinnesorganen versehen, die die Fliege über die Zusammensetzung der Nahrung sowie über ihre Konsistenz, also ob flüssig oder fest, informieren. An der Innenseite der Taster befinden sich winzig kleine Zähnchen. Damit können nicht nur größere Nahrungsteilchen mundgerecht zerkleinert werden, sondern auch Pollen aus Blüten abgeschabt werden.



Kreativitätstraining: Ergänzungskonstruktion

Entwickle das Innere des abgebildeten Staubsaugers und zeichne es ein.
Hinweis: Der Staub und Schmutz sollen in einem Filterbeutel im Inneren des Gerätes gesammelt werden.



Der interessante Bau des Fliegenrüssels wurde zum biologischen Vorbild für einen neuen Staubsaugerfuß. Dabei wurde die Anordnung der Kanäle und Rinnen beim Fliegenrüsseltaster übertragen. Für die Konstruktion war es notwendig, die Kenngrößen Anzahl, Größe und Lage der Kanäle so festzulegen, dass ein gründliches Aufsaugen des Schmutzes erreicht werden konnte. Um die günstigste Lösung zu finden, wurden zunächst verschiedene Düsenmodelle mit veränderten Kenngrößen angefertigt und hinsichtlich ihrer Saugleistung getestet. Durch Bewertung der einzelnen Düsenmodelle konnte die Düse mit der besten Saugleistung ermittelt werden. Mit der neuen Düsenkonstruktion wurden gegenüber herkömmlichen Staubsaugerdüsen 20 Prozent mehr Schmutz und Staub aufgesaugt. Genial, was man vom Fliegenrüssel so alles abschauen kann!

VORBILD FRAUENMANTEL UND KOHLRABI

Der Gewöhnliche Frauenmantel (*Alchemilla vulgaris*) gehört zu den krautigen Pflanzen. Er hat Blätter, die an ihren Enden Wasserspalten besitzen. Aus ihnen wird nachts Wasser abgeschieden. So kann sich in den trichterförmigen Vertiefungen der fächerförmigen Blattspreiten das Wasser sammeln. In winzig kleinen Tröpfchen rinnt es in diese Vertiefung Blattes und sammelt sich dort zu einem großen Tropfen an, der einer prachtvoll schimmernden Perle gleicht.

In früheren Zeiten schrieb man diesem besonderen Wasser magische Kräfte zu. Kräuterweiber sammelten das vermeintlich magische Wasser und verabreichten es als Elixier der ewigen Jugend. Ob dieser Trank nun ewige Jugend vermittelt, sei dahingestellt. Nachweisbar hilft der Frauenmantel mit seinen rundlich gelappten Blättern jedoch als Heilkraut gegen Entzündungen und als Mittel zur Wundheilung.

Aufgrund der Oberflächeneigenschaften wirkt das Blatt wasserabweisend. Solche wasserabweisenden Eigenschaften findet man auch bei den Blättern des Kohlrabi (*Brassica oleracea*). Diese Gemüsepflanze hat langgestielte, dunkelgrüne Blätter, die länglich rund und etwas gezähnt sind. Sie sind mit einer bläulich-weißen Wachsschicht überzogen. Die Wachsschicht verleiht den Blättern ihre wasserabweisende Eigenschaft.



Wasserabweisende Eigenschaften von Blattoberflächen erkennt man daran, dass das Wasser Tropfen bildet. Hierbei wirkt die Oberflächenspannung, eine wichtige Eigenschaft von Flüssigkeiten. Durch die Wirkung der Oberflächenspannung ist Wasser bestrebt, seine Oberfläche möglichst gering zu halten. Daher nehmen Wassertropfen die genannte Kugelform an. Die Kugel hat von allen Körpern gleichen Volumens die kleinste Oberfläche. Kohäsionskräfte halten dabei die Wassermoleküle zusammen.

Oberflächenspannungen beeinflussen stark die Benetzungsvorgänge auf Blattoberflächen. Eine vollständige Benetzung von Wasser auf einer Blattoberfläche liegt dann vor, wenn die Kräfte zwischen Blattoberfläche und Wasser größer sind als im Wasser selbst.



Zwischen der Blattoberfläche und der Oberfläche des Wassertropfens gibt es einen Winkel. Dieser wird als Randwinkel α bezeichnet. Er lässt sich als Maß für die Benetzbarkeit einer Oberfläche mit Wasser verwenden.

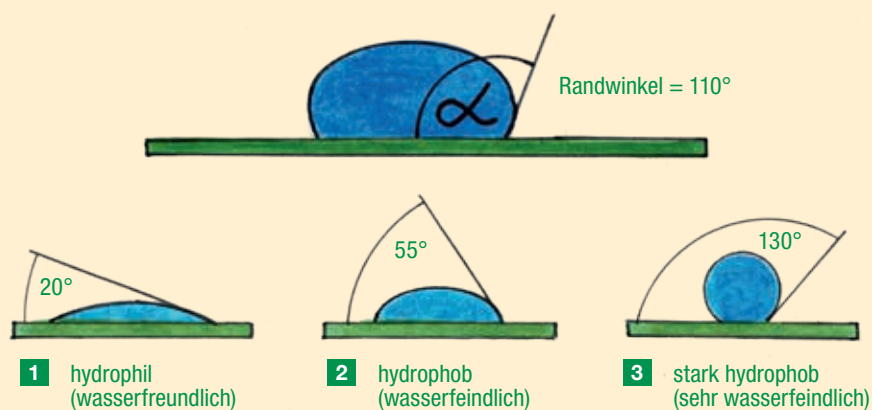
Merkel!



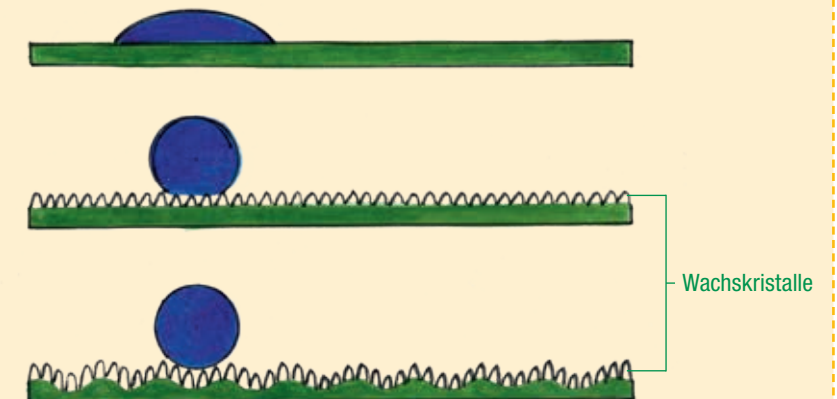
Blattoberflächen mit Wassertropfen deren Randwinkel $\alpha < 90$ Grad betragen, sind **hydrophil** (wasserfreundlich). Diejenigen mit einem Randwinkel $\alpha > 90$ Grad sind **hydrophob** (wasserabweisend). Letztere besitzen den Selbstreinigungseffekt.

Blattoberflächen mit Selbstreinigungseffekt besitzen oft eine Wachsschicht. Die Größe ihrer daraus bestehenden wasserabstoßenden Wackskristalle beträgt etwa 0,5 bis 5 Mikrometer (μm) und führt zu großen Randwinkeln. Da der Wassertropfen nur auf der Spitze der Wackskristalle aufliegt, grenzt der größte Teil der Tropfenoberfläche an die Luft. Sie ist die hydrophobste, also die wasserabweisendste Substanz für Wasser überhaupt. Wassertropfen kugeln sich deswegen ab und nehmen, von der Schwerkraft angezogen, auf ihrem

Verhalten von Wasser auf Blattoberflächen



Wassertropfen auf glatten und genoppten Oberflächen (nach Neinhuis und Bartlott 1998)



Weg vom Blatt Schmutzteilchen mit. Dieser Selbstreinigungseffekt wird auch Lotoseffekt (oder Lotus-Effekt) genannt. Er wurde auf den Blättern der Lotospflanzen zuerst entdeckt, daher der Name. Die Lotospflanze gilt in den asiatischen Religionen als heilig. In der ägyptischen und indischen Mythologie ist das Symbol der Reinheit und Wiedergeburt. Das Reinheitssymbol ergibt sich daraus, dass die Blätter stets makellos sauber sind, obwohl die Pflanze aus schlammigem Untergrund emporwächst.

Eine verringerte Oberflächenspannung von Flüssigkeiten führt zur Verbesserung der Benetzbarkeit von Oberflächen. Das ist beispielsweise in der Schmierstechnik notwendig. Hierbei werden Schmiermittel auf sich gegeneinander bewegende Metallteile aufgetragen. Das verringert Reibung und somit Verschleiß. Daher sollten wir die beweglichen Teile des Fahrrades, wie Kette und Lager, regelmäßig schmieren. Um die Benetzbarkeit beim Waschen zu verbessern, benötigt man oberflächenaktive Stoffe, wie Tenside (Waschmittel, Seife), die die Oberflächenspannung des Wassers herabsetzen. Beim Händewaschen benutzen wir dafür Seife.

Ob Blätter wasserabweisend (hydrophob) oder wasseraufnehmend (hydrophil) sind, kann durch ein einfaches Experiment herausgefunden werden.

Freihand-Experiment: Wasserabweisend oder wasseraufnehmend? Das Verhalten von Blättern untersuchen

Forschfrage:

Woran ist der Selbstreinigungseffekt bei Blattoberflächen zu erkennen?

Wir brauchen:

- Schüssel mit Wasserfüllung
- Pipette

1. Sammle Blätter von Apfel, Birne, Kirsche, Ahorn, Kapuzinerkresse, Kohlrabipflanze und Frauenmantel!
2. Tauche jedes Blatt vollständig in Wasser und beobachte, wie sich das Wasser auf der Blattoberfläche beim Herausziehen verhält!



3. Finde weitere Blätter mit Selbstreinigungseffekt!
4. Benetze jedes Blatt nacheinander mit einem Wassertropfen aus der Pipette. Beachte dabei, dass die mit der Pipette aufgenommene Wassermenge immer gleich ist!
5. Vergleiche die Wassertropfenformen auf den gesammelten Blättern mit der Tropfenform in der Tabelle und treffe eine Entscheidung für die Zuordnung. Ordne dann die Merkmale den gesammelten Blättern zu!

Tropfenform	Merkmale
	Stark wasseraufnehmend. Tropfen verläuft großflächig auf der Blattoberfläche.
	Schwach wasseraufnehmend. Tropfen ist halbkugelförmig.
	Schwach wasserabweisend. Tropfen nimmt fast die Form einer Kugel an. Es fehlt ca. ein Viertel von der Kugelform.
	Stark wasserabweisend. Tropfen hat Kugelform.

Der Selbstreinigungseffekt wird inzwischen u. a. bei Autos, Textilien und Glasscheiben angewendet. Sie müssen so weniger gewaschen werden, was die Umwelt schont. Die beim Selbstreinigungseffekt zugrundeliegende Oberflächenspannung des Wassers nutzen auch einige Wasserinsekten.

