

SCHAU wie SCHLAU

Bionik: wenn Natur die Technik beflügelt





SCHAU wie SCHLAU



Bionik: wenn Natur die Technik beflügelt

von Melanie Laibl
mit Bildern von Lukas Vogl

INHALTSVERZEICHNIS

6-7 WENN NATUR DIE TECHNIK BEFLÜGELT

Einleitung



10-11 BESCHWINGTE PILOTEN

Den Vögeln nachgesehelt

12-13 VIELFÄLTIGE FORMGEBER

Den Vögeln nachgebildet



16-17 ORGANISIERTE BAUMEISTERINNEN

Den Bienen und Wespen nachgeformt



18-19 ACHTBEINIGE SUPERHELDINNEN

Den Spinnen nachgewebt



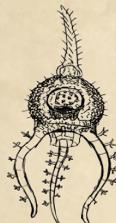
22-23 COOLE TEAMARBEITERINNEN

Den Termiten nachgelüftet



26-27 FEINFÜHLIGE TIEFTAUCHER

Den Kraken und Perlobooten nachgetastet



28-29 FILIGRANE WUNDERWERKER

Den Kieselalgen und Strahlentierchen nachgezeichnet

TIERE ALS BIONISCHE VORBILDER



14-15 LUFTIGE AKROBATEN

Den Fledermäusen und Flughörnchen nachgejagt



20-21 WAHRHAFT LEUCHTEN

Den Glühwürmchen nachgeblinkt



24-25 PFEILSCHNELLE SCHWIMMER

Den Haien nachgezischt

PFLANZEN ALS BIONISCHE VORBILDER



32-33 GEFINKELTE LEBENSKÜNSTLERINNEN

Den Blättern und Blüten nachgerüstet



34-35 FLEISSIGE VERBREITERINNEN

Den Samen und Früchten nachgereist



36-37 STANDHAFTE KRAFTPAKETE

Den Stämmen, Ästen und Halmen nachgestrebt



38-39 ZIELSTREBIGE VERSORGERINNEN

Den (Luft-)Wurzeln nachgespürt

KRISTALLE ALS BIONISCHE VORBILDER

42-43 BRILLANTE IDEENGEBER

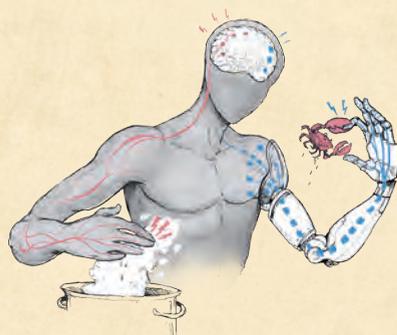
Den Kristallen nachgeordnet



MENSCHEN ALS BIONISCHE VORBILDER

46-47 MASSGESCHNEIDERTE DOPPELGÄNGER

Den Menschen nachgeeifert



48 REGISTER



WENN NATUR DIE TECHNIK BEFLÜGELT

The illustration depicts a floating island with a green, textured surface. On the left side, there is a large, gnarled tree with orange glowing spots. A deer stands on the right side of the island. In the center, a large, glowing orange brain is shown. Below the brain, there is a large, faceted green crystal. The background is a dark teal color with several yellow lightning bolts. The text is centered on the island.

Die Natur ist eine begabte Erfinderin mit viel Geduld. Seit Jahrmillionen „baut“ sie an Tieren, Pflanzen, Kristallen und Menschen, um sie bestmöglich an die gerade herrschenden Bedingungen anzupassen. Dieses Tüfteln und Feilen führt zu jeweils perfekten Ergebnissen. Von ihnen kann die Technik lernen.

Mit vereinten Kräften

Wenn die Natur etwas entwickelt, dann tut sie es nach denselben Spielregeln, die auch für die Technik gelten. Auf der Erde herrschen nun einmal bestimmte Gesetzmäßigkeiten wie physikalische Kräfte oder chemische Prozesse, die auf Lebewesen und Gegenstände einwirken. Darum lassen sich natürliche Lösungen, die beispielsweise zum Haften auf Oberflächen gefunden wurden (wie die Reibung oder Verhakung), grundsätzlich auf Erfindungen übertragen, die ebenfalls der Schwerkraft trotzen sollen. Genauso begehrt sind in der Bionik die Prinzipien „extrem stabil und gleichzeitig leicht“ oder „sehr schnell und trotzdem energiesparend“. Sie zeigen, wie man mit möglichst wenig (Material-)Aufwand möglichst gute Ergebnisse erzielt.



Wer sucht, der erfindet

In der Bionik geht es nicht darum, bloß abzukupfern, was die Natur geschaffen hat. Es geht um ein Weiterdenken und Weiterentwickeln ihrer bewährten Abläufe und Prinzipien. Oft arbeiten Teams aus den unterschiedlichsten Bereichen gemeinsam an einer bionischen Entwicklung: von der Tier- und Pflanzenkunde über Medizin, Chemie und Physik bis hin zu Materialforschung, Architektur und Maschinenbau. Je mehr Leute ihre Köpfe zusammenstecken, desto mehr Geistesblitze gibt es.



Geckopfoten sind Kletterhilfen. Haftscheiben mit feinsten Widerhäkchen halten sie selbst auf spiegelglatten Flächen, als wären sie mit Superkleber fixiert.

Bio-wie? Bio-wer? Bio-was?

Der Begriff „Bionik“ setzt sich aus zwei Wörtern zusammen. Aus Biologie (Lehre vom Leben) und Technik (handwerkliches Können).



Bio trifft Nik

Ein Blick. Es macht „klick“.
Sie schauen. Sie staunen.
Ein Wunder! Ein Wow!
So wird – tadaaa –
aus den beiden ein Paar.

Über den Tellerrand

Streng genommen holt sich die Bionik ihre Ideen aus der „belebten Natur“, also bei Tieren, Pflanzen und Menschen. Kristalle sind demnach keine klassischen Vorbilder für technische Entwicklungen, sie zählen zur unbelebten Natur. In den Augen der Expertin Vera Hammer stecken sie trotzdem voller spannender Möglichkeiten. Ihre regelmäßigen Strukturen lassen sich nämlich künstlich nach- und sogar ausbauen. Bionik im traditionellen Sinne ist das nicht – „Kristallonik“ aber durchaus.

ZWICK MICH, ICH GLAUBE, ICH TRÄUME!
TRÄUME ICH? ZWICK MICH MAL!



Der Oberkiefer eines Ameisenlöwen und die Kombizange schauen sich zwar ziemlich ähnlich, doch bionisch ist da „nix“.

Bionik oder Bio-nix?

Manche technischen Lösungen sehen aus wie direkte Kopien der Natur – obwohl sie das nicht sind. Vor allem menschgemachte Werkzeuge ähneln oft rein zufällig jenen aus der Tierwelt. Die Wissenschaft spricht hier von einer „Analogie“ (Ähnlichkeit). Gerade bei frühen Erfindungen ist die Grenze zwischen Bionik und „Bio-nix“ nicht immer klar zu ziehen.

Die vielfältigen Lösungen der Natur haben die Menschen schon immer fasziniert – vor allem dort, wo ihnen die Tiere überlegen waren. Heute helfen das gesammelte Wissen vieler Generationen und hochentwickelte Geräte beim Verstehen und Messen. Früher mussten dafür die Sinne genügen. Man forschte mit einem auf-

merksamen Blick, hellhörigen Ohren und einer neugierigen Nase. Die Ergebnisse wurden in Aufzeichnungen und Skizzen festgehalten. Ein wahrer „Beobachtungsschatz“ ist von Leonardo da Vinci erhalten. Er zeigt, dass die Menschen bereits vor hunderten Jahren mit ihren Überlegungen oft gar nicht so falsch lagen.

TIERE ALS BIONISCHE VORBILDER

Ein Wiffzack wundert sich

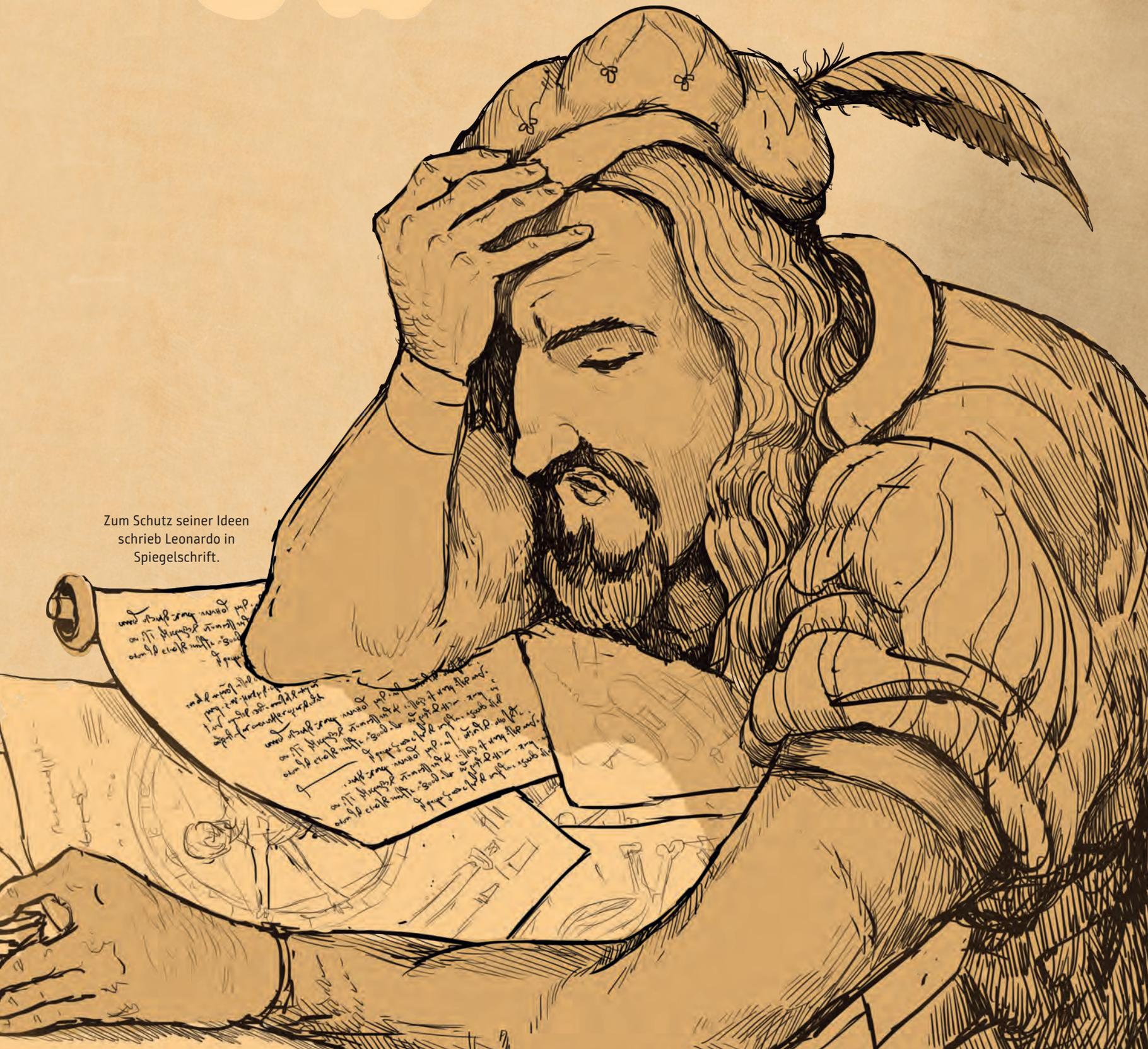
Eigentlich war Leonardo da Vinci ja gelernter Bildhauer und Maler. Mit der „Mona Lisa“ schuf er eines der berühmtesten Gemälde überhaupt. Gleichzeitig setzte er sein künstlerisches Talent ein, um Spannendes aus der Natur zu skizzieren. Besonders beschäftigte ihn die Fähigkeit, sich scheinbar mühelos durch die Luft zu bewegen. „Wie funktioniert das bloß, Fliegen?“, fragte sich Leonardo und füllte Seite um Seite mit Beobachtungen und Ideen. Irgendwann war er dem Flügelschlag der Vögel und dem Segeln von Pflanzensamen lange genug auf den Grund gegangen, um daraus Flugapparate ableiten zu können: Gleiter, Fallschirme und Hubschrauber. Das machte ihn zu einem der ersten Bioniker überhaupt – um 1500 herum, wohlgemerkt. Tatsächlich geflogen ist Leonardo mit seinen Erfindungen wohl nie. Doch man kann mittlerweile ausrechnen, dass ihn sein Gleiter durchaus in der Luft gehalten hätte. Und dass er mit seinem Fallschirm sicher hätte landen können. Nicht ohne Grund gilt der Mann aus dem italienischen Vinci heute als „Universalgenie“.



**„Lerne von der Natur,
denn dort liegt deine Zukunft.“**

(Leonardo da Vinci)

Zum Schutz seiner Ideen
schrieb Leonardo in
Spiegelschrift.



BESCHWINGTE PILOTEN

DEN VÖGELN NACHGESEGELT | 10-11

Vögel haben's gut: Nach ein bisschen Flattern sehen sie die Welt von oben. Das weckte schon früh die menschliche Abenteuerlust. Man baute sich Flügel, klebte sich Federn an und setzte sich in tollkühne Flugapparate. So richtig aufwärts ging es jedoch erst, als zum Träumen das Verstehen kam.



KOLIBRI
SPANNWEITE:
9 - 21 cm



TAUBE
SPANNWEITE:
BIS 77 cm



RABE
SPANNWEITE:
BIS 1,50 m



MÖWE
SPANNWEITE: BIS 1,70 m



WANDERALBATROS
SPANNWEITE: BIS 3,70

Reisen im Segelflug

Ist die gewünschte Flughöhe erreicht, kommt der gemütliche Teil: Flügel ausbreiten, Federn am Flügelende aufstellen und sich von der Luft tragen lassen. So spart man Kräfte.

Landen im Gleitflug

Ziel in Sicht? Dann ist es Zeit, die Flügel zu drehen und die Federn weit auseinanderzuspreizen. Das bremst die Geschwindigkeit und sorgt für eine sanfte Landung.

Starten im Ruderflug

Was wie ein Auf und Ab der Flügel aussieht, ist eigentlich ein Schlagen und Drehen. Anstrengend! Darum „rudern“ Vögel nur, wenn sie schnell in die Luft wollen.

Einmaleins des Vogelflugs

Um sich erfolgreich in die Lüfte zu schwingen, braucht man Flügel – und die passende Flugtechnik. Beides haben die Pioniere des Menschenflugs richtig beobachtet. Dabei wurde eher dem Storch zugeschaut als dem Huhn. Denn seine langen, breiten Schwingen sind fürs Viel- und Langstreckenfliegen gemacht. Sie sind Aufstiegshilfe und Tragfläche zugleich. Jeder Flügelmuskel und jede Feder hilft mit, damit der Vogel schnell und sicher vorankommt. Manches aus diesem Zusammenspiel findet sich als Grundidee bei Flugzeugen wieder.

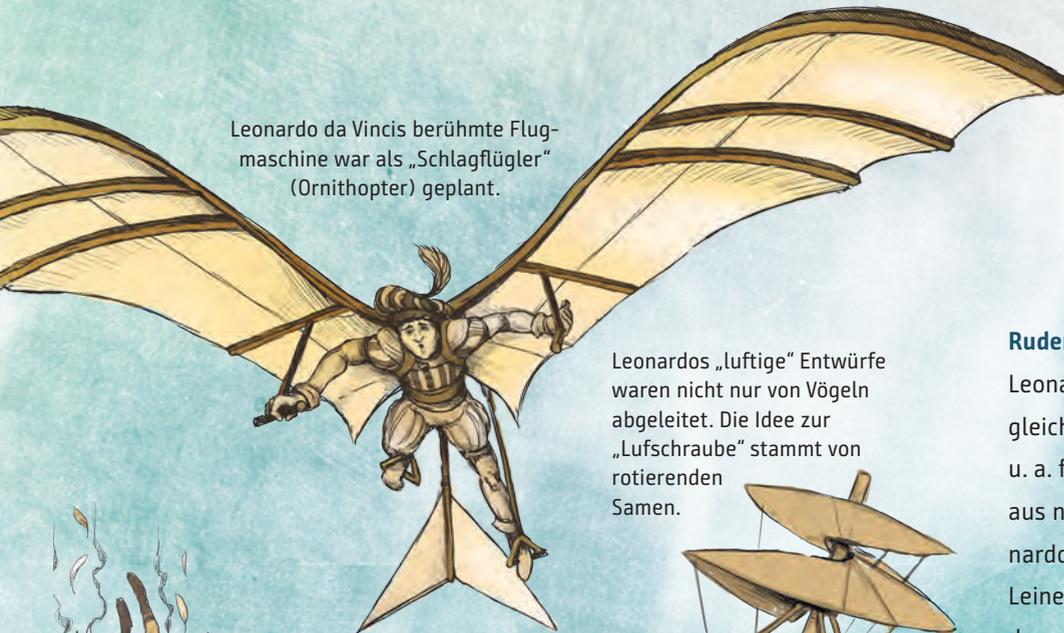
Mutige voraus!

Ohne die vielen verrückten „Vögel“ der Fluggeschichte gäbe es heute kein Flugzeug. Zwei von ihnen zeiten ganz besonders, wo die Reise hingehen sollte: **Leonardo da Vinci** und **Otto Lilienthal**. Sie waren begeisterte Naturbeobachter und gleichzeitig tolle Techniküftler.

2009 hob mit „Snowbird“ erstmals ein Flugzeug ab, das vogelähnlich mit den Flügeln schlägt. Es wird mit Menschenkraft betrieben.



Leonardo da Vincis berühmte Flugmaschine war als „Schlagflügler“ (Ornithopter) geplant.



Leonardos „luftige“ Entwürfe waren nicht nur von Vögeln abgeleitet. Die Idee zur „Lufschraube“ stammt von rotierenden Samen.



Rudern mit Leonardo

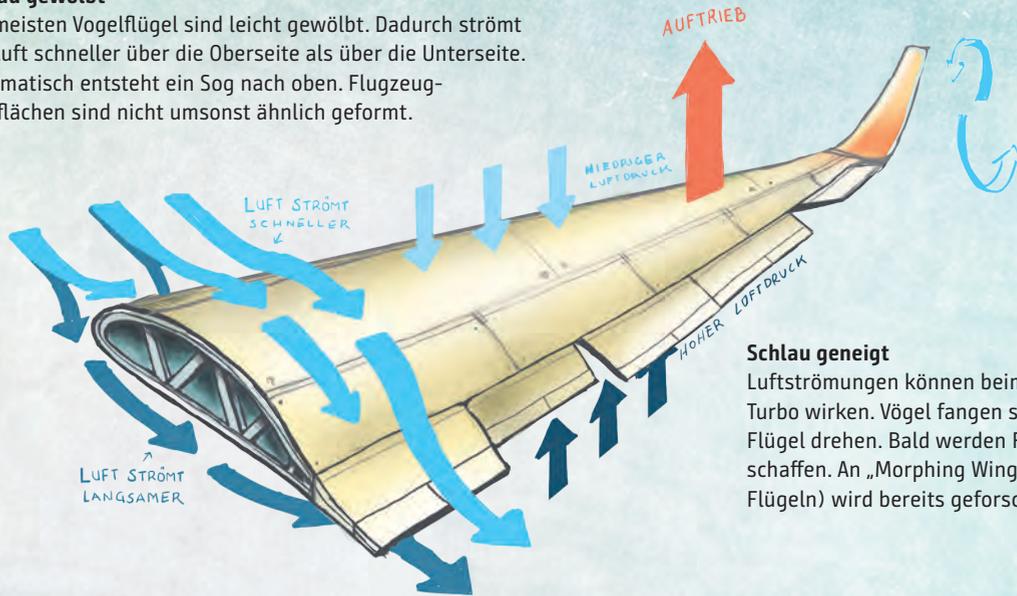
Leonardo da Vinci (1452–1519) kennt man als Malgenie. Er war aber gleichzeitig ein fleißiger Erfinder. Sein Kopf steckte voller Ideen, u. a. für Flugmaschinen. Eine davon, der „Schlagflügler“, bestand aus nachgebauten Flügeln zum Umschnallen. Damit wollte Leonardo den Ruderflug der Vögel nachahmen. Sogar an Klappen aus Leinen hatte er gedacht – für die Feineinstellung, die sonst die Federn übernehmen. Geflogen ist Leonardo seine Erfindung wohl nie. Für sein Schlagflügler-Modell hätte Muskelkraft nicht ausgereicht. Erst kürzlich, also ungefähr 500 Jahre nach Leonardo, konnte das Prinzip des Ruderflugs technisch umgesetzt werden: in einem modernen Schwingflügler namens „Snowbird“ (Schneevogel).

Ein Bruchpilot aus der griechischen Mythologie: Daedalus und sein Sohn Ikarus flohen mit Flügeln aus Wachs und Federn aus ihrer Gefangenschaft. Bis Ikarus der Sonne zu nah kam ...



Schlau gewölbt

Die meisten Vogelflügel sind leicht gewölbt. Dadurch strömt die Luft schneller über die Oberseite als über die Unterseite. Automatisch entsteht ein Sog nach oben. Flugzeug-Tragflächen sind nicht umsonst ähnlich geformt.

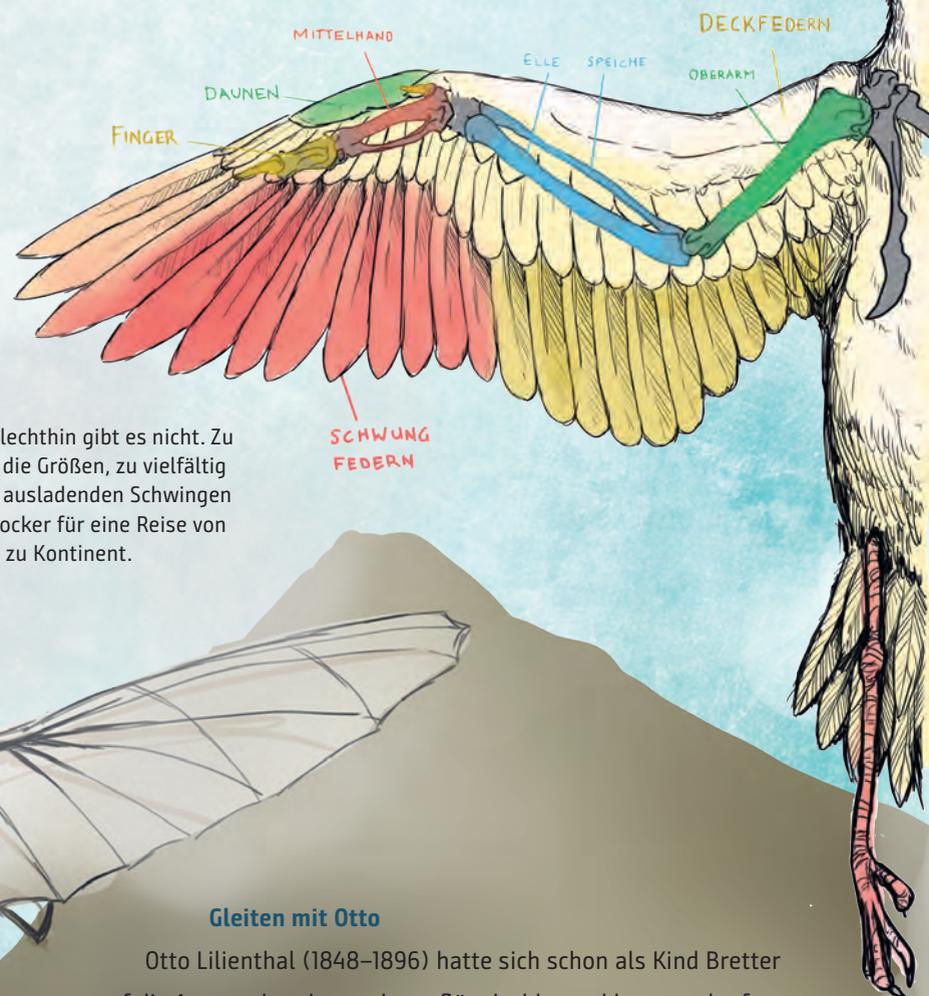


Schlau gebogen

Beim Segeln stellen Vögel ihre Flügelenden auf. Das teilt den Widerstand der Luft in kleine Wirbel und der Flug wird ruhiger. Flugzeuge haben dafür „Winglets“ (englisch für: Flügelchen) oder „Spiroids“ (Kringel).

Schlau geneigt

Luftströmungen können beim Fliegen wie ein Turbo wirken. Vögel fangen sie ein, indem sie ihre Flügel drehen. Bald werden Flugzeuge das auch schaffen. An „Morphing Wings“ (verformbaren Flügeln) wird bereits geforscht.



1889 lässt sich Reuben Jasper Spalding seine „Vogelweste“ patentieren. Auch sie diente vor allem zum Gleiten. Für den Aufstieg in die Luft sollte ein Ballon dienen.



„Den“ Vogelflügel schlechthin gibt es nicht. Zu unterschiedlich sind die Größen, zu vielfältig auch die Formen. Die ausladenden Schwingen des Storchs taugen locker für eine Reise von Kontinent zu Kontinent.



Gleiten mit Otto

Otto Lilienthal (1848–1896) hatte sich schon als Kind Bretter auf die Arme gebunden und war flügelschlagend herumgelaufen.

Später studierte er die Störche im Gleitflug. Er wollte ihre Technik verstehen und diesen Flugmodus 1:1 imitieren. Schließlich baute er aus Weidenruten und Stoff ein Gleitflugzeug für Menschen und testete es, wieder und wieder. Die tausendfache Übung machte aus Otto einen Meister. Er startete von immer höheren Bergen und flog immer weiter. Als ihn eine Bö für immer vom Himmel holte, war Otto längst ein Star. 2016 wurde seine Erfindung ihm zu Ehren nachgebaut und erfolgreich geflogen: der „Normalsegelapparat“.

Ein verehrter Vogel aus dem Alten Ägypten: Der mächtige Himmels-gott Horus war halb Falke, halb Mensch. Sein Name bedeutet so viel wie „der oben Befindliche“.



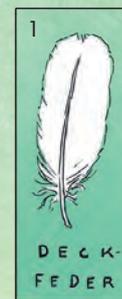
VIelfÄLTIGE FORMGEBER

DEN VÖGELN NACHGEBILDET | 12-13

Was hat der Storch mit dem Spatz gemeinsam? Und was der Spatz mit der Stockente? Auf den ersten Blick ist es nicht viel. Nur wer genau hinsieht, findet eine Reihe von ähnlichen Merkmalen. Sogar bei „Nichtfliegern“, die lieber laufen oder schwimmen, wie der Strauß oder der Pinguin.

Meisterwerk Feder

Bis heute ist es dem Menschen nicht gelungen, die Vogelfeder in all ihrer Perfektion nachzubilden. Am besten klappt es noch bei den Daunen. Es gibt sie bereits in einer Version aus Kunstfasern. Sie stecken in Bettdecken und Winterjacken und funktionieren wie ihr natürliches Vorbild: Zwischen dem fluffig-weichen Flaum bilden sich Luftpolster. Diese schließen die Körperwärme ein, bevor sie in die Umgebungsluft entweicht. Bei den steiferen Federvarianten sind besonders Eulenfedern einen Nachbau wert. Weil ihre Enden gezahnt sind statt glatt, verwirbelt sich der Luftwiderstand und damit das Fluggeräusch. Flüsterleise statt „flappflapp“ ist praktisch beim Jagen in der Nacht – und für alles, was technisch durch die Luft zischt. Die Zähnchen-Idee wurde bereits bei Ventilatoren sowie Turbinen umgesetzt.



DECKFEDER

als Schutz vor Nässe, Wind und Wetter



SCHWUNGFEDER

zum Tempomachen und Steuern



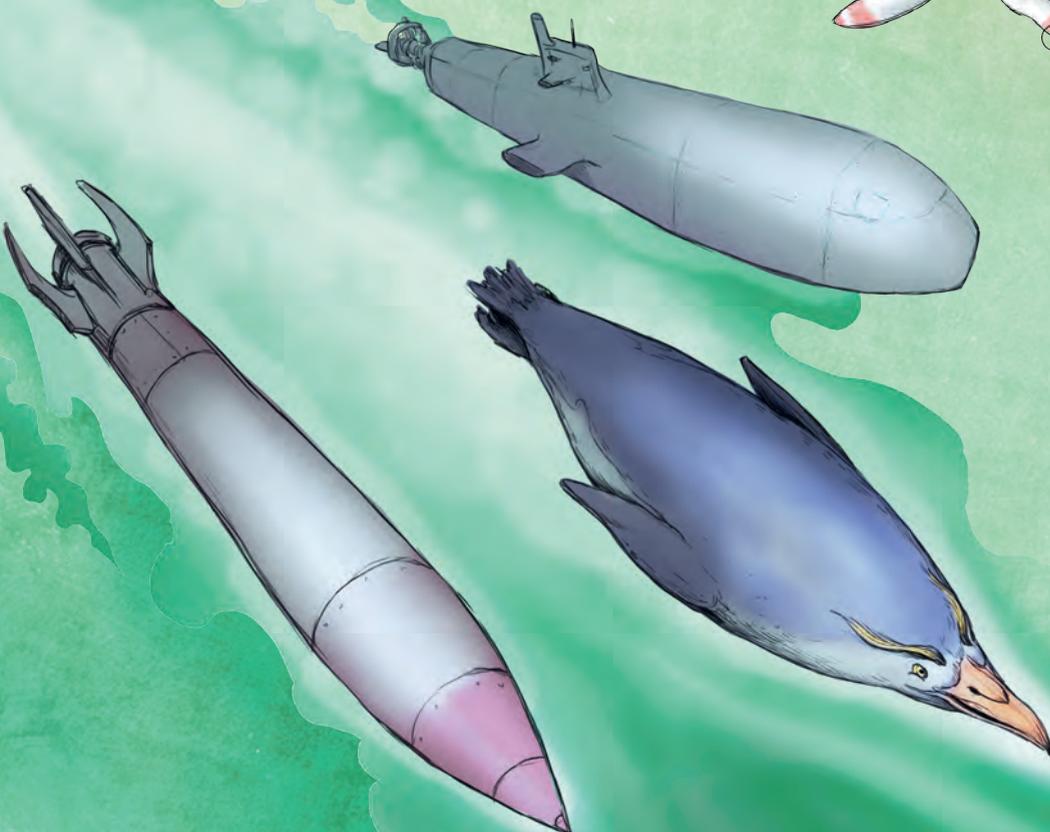
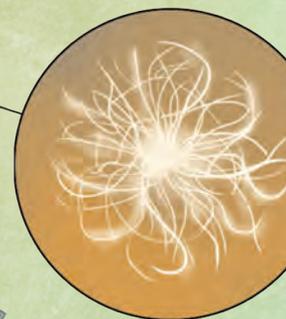
DAUNE

ein Teil der wärmenden „Vogelunterwäsche“

Gezackte Enden entwickeln weniger Geräusche.



künstliche Daune

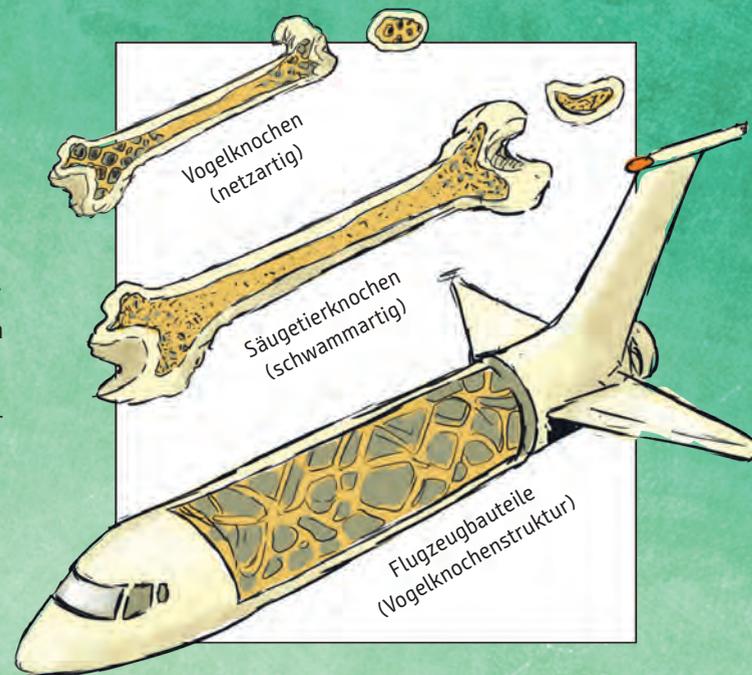


Modellfigur

Pinguine haben im Laufe ihrer Entwicklung das Fliegen verlernt. Aus ihren Flügeln wurden Flossen. Auch der Rest ihres Körpers hat sich an den Lebensraum Wasser angepasst. Seine „flutschige“ Spindelform hält dem Nass wenig Widerstand entgegen. Das spart Kraft beim Schwimmen und Tauchen. Dieses Design ist wie gemacht für technische Entwicklungen, bei denen Tempo zählt. Der Pinguin darf somit für U-Boote und Raketen Modell stehen. Sie werden durch seine Spindelform nicht nur schneller, sondern auch sparsamer im Energieverbrauch.

Luftikus-Knochen

Leichtgewichte fliegen besser. Darum hat die Natur bei den Vögeln Gewicht eingespart, wo immer sie konnte. Vogelknochen z. B. sind innen fast hohl. Nur ein feines Netz aus Knochenmaterial stützt die Außenwände. Dieses Prinzip ist besonders für die Planung von Fluzeugen interessant. Dort bedeutet jedes unnötige Kilo unnötig verbrauchten Treibstoff. Aktuell wird untersucht, ob man die Kabine von Passagierflugzeugen wie ein Vogelskelett zusammensetzen könnte. Die entsprechenden Bauteile haben zwei feste Außenschichten, im Inneren sitzt eine netzartige Struktur. Durch die zahlreichen Hohlräume verringert sich das Gewicht der Teile, während die Querverstreibungen für die nötige Stabilität sorgen.



Das Ei (des Kolumbus)

Eier sind eine geniale Verpackung für den Vogelnachwuchs. Durch winzige Löcher in der Schale kriegt das werdende Küken frische Luft. Gleichzeitig kann die verbrauchte Luft entweichen. Dieser Gas-Austausch funktioniert auch, wenn man die leeren Schalen weiterverwendet. Etwa zum Lagern von Trinkwasser in der Wüste, wie es in Afrika Tradition hat. Vergleichsweise brandneu ist eine Folie nach Eierschalen-Art. Sie wird mit einem Laser feinst durchlöchert. Dadurch kann das Eingewickelte atmen und reift weniger schnell als in einer luftdichten Hülle.



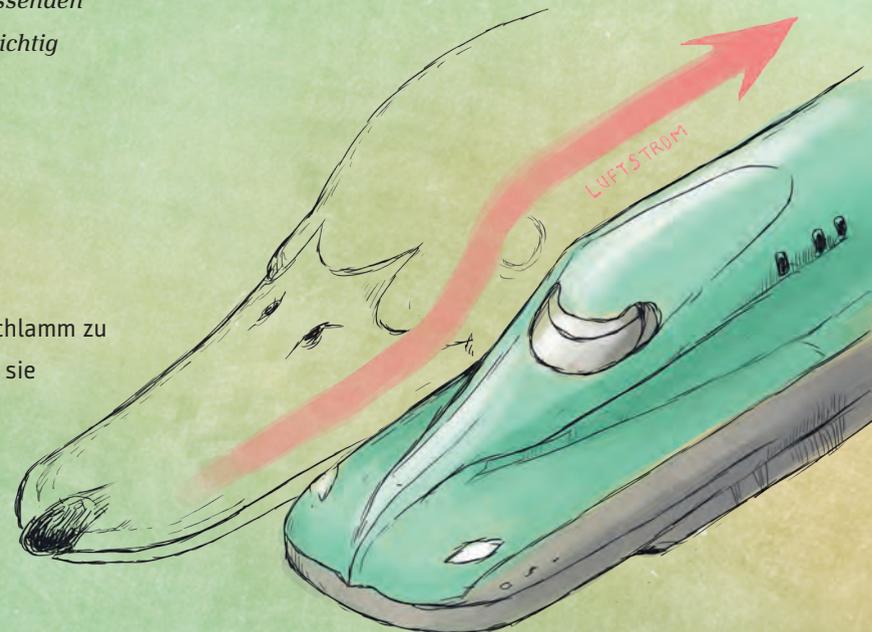
Keine lahme Ente:
Mit bis zu 443 km/h
zählt der Shinkansen
zu den schnellsten
Zügen der Welt.

Kleine Spielerei

Die Redensart „Ei des Kolumbus“ meint eine verblüffend einfache Lösung für ein scheinbar unlösbares Problem. Sie kommt vermutlich von einem Fest, bei dem der Seefahrer Christoph Kolumbus die anderen Gäste herausgefordert hat. Sie sollten ein Ei ohne weitere Hilfsmittel auf seine Spitze stellen. Den passenden Einfall hatte allein Kolumbus: Er dellte das Ei leicht ein, indem er es vorsichtig auf den Tisch schlug.

Schnabelschnell?

Der länglich-flache Schnabel der Stockente ist dafür gemacht, in aller Ruhe im Schlamm zu wühlen. Ein Entwicklungsteam fand diese gemütliche Form spannend und setzte sie ausgerechnet bei einem Hochgeschwindigkeitszug um. Der berühmte japanische „Shinkansen“ hatte nämlich ein Problem: Je mehr er auf die Tube drückte, desto unruhiger und lauter wurde die Fahrt. Durch die Entenschnabel-Lokomotive macht die Luft jetzt weniger Wirbel, wenn sie von vorne nach hinten über die Waggons strömt – und folglich weniger Lärm.

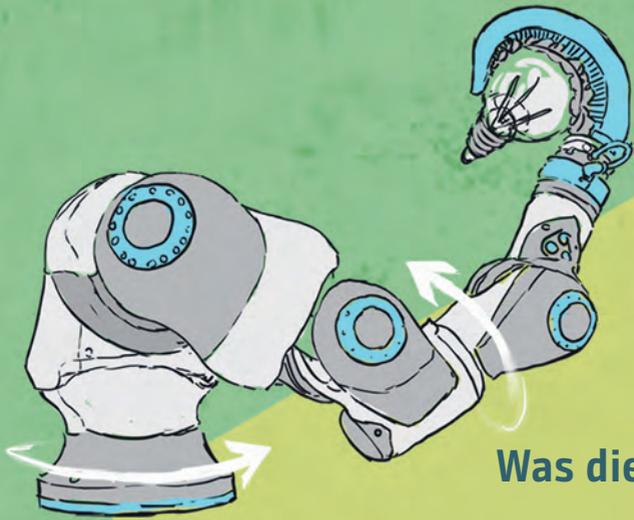


REGISTER

| | | | | | | | |
|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------|------------------------|----------------------------|---|
| Absorber-Tücher | 17 | Francé, Raoul Heinrich | 35 | Megaselachus megalodon | 25 | Snowbird | 10 |
| Absorption | 42 | Fullerene | 43 | messen, Messgeräte | 8, 14, 30, 34 | Sonnensegel | 21, 33 |
| Ahlborn, Friedrich | 34 | Fundament | 36 | Mineral | 40, 42, 43 | Sophia | 44, 45 |
| Anatomie | 11 | Gecko | 7 | Miura-Faltung | 21 | Spachtelhärchen | 19 |
| Android | 46 | Gehäuse | 28 | Miura, Koryo | 21 | Spindelform, spindelförmig | 12, 25 |
| Anti-Fouling | 25 | Gehirn | 46, 47 | Mohnkapsel | 35 | Spiroid | 11 |
| Antihaf-Beschichtung | 33 | Gestein | 42 | Mohs, Skala von | 43 | Sprachassistent | 46 |
| Architektur, Architekt | 6, 16, 19, 22, 28, 36 | Gleiter, gleiten | 8, 10, 11, 15, 24, 34, 35 | Morphing Wings | 11 | Squirrel Wingsuit | 15 |
| Atom | 42 | Gleitflug | 10, 11, 34, 35 | Muskel | 10, 18, 26, 46, 47 | stabil, Stabilität | 7, 13, 16, 28, 32, 34, 35, 37, 43 |
| Aufsitzerpflanze | 38 | Graphit | 43 | Nanotube | 43 | Statik | 16, 19 |
| Avatar | 46 | Haeckel, Ernst | 28, 29 | Naturhist. Museum Wien | 40 | Strelitzie | 33 |
| Bambus | 37 | haften | 7, 35 | Nautilus | 27 | Streuer | 35 |
| Bat Bot | 14 | Härte | 27, 28, 35, 43 | Nerv | 19, 46 | Stromlinienförmigkeit | 25 |
| biegesteif | 37 | Haut | 14, 15, 24, 25, 26, 34, 42, 44, 47 | Netz | 13, 19, 38 | Superorganismus | 17, 23 |
| Binet, René | 28 | Helligkeit | 20 | Normalsegelapparat | 11, 34 | Synthese, synthetisch | 43 |
| Bio-nix | 7, 13 | Hightech | 25, 47 | Nurflügler | 34, 35 | Tragfläche | 10, 11, 34 |
| Biolumineszenz | 20 | Hochgeschwindigkeitszug | 13 | OHM-Krabbler | 18 | Transmission | 42 |
| Blütenöl | 17 | Hohlraum | 13, 38, 43 | Oktopus | 26, 27 | Transpirationssoog | 37 |
| Bot | 46 | Holz | 16, 17, 37, 38, 39, 47 | Olympiastadion, München | 19 | Tree Church | 36 |
| Brechung | 42 | Horus | 11 | Orchidee | 38 | U-Boot | 12, 27 |
| Brettwurzel | 39 | Hubschrauber | 8, 10 | Ornithopter | 10 | Universalgenie | 8 |
| Calcit | 42 | humanoid | 44, 46 | Papier | 16, 17, 21, 32 | van Herpen, Iris | 25 |
| Carbon | 27 | Hundertwasserhaus | 36 | Paradiesvogelblume | 33 | Verbundmaterialien | 16 |
| Chatbot | 46 | Hydraulik | 18 | Paxton, Joseph und Annie | 32 | Verdickung | 37 |
| Chemie | 6, 20, 41 | Hyperion | 18 | Pearce, Mick | 22 | Verhakung | 7, 18 |
| Computer | 37, 46 | Ikarus | 10 | Perlmutter | 27 | Verpackungen | 13, 16, 32, 34 |
| Crystal Palace | 32 | Isolierschicht | 18 | Pflanzenjäger | 30 | Verstrebung | 13, 28 |
| Cyborg | 46 | Jugendstil | 29 | Pflanzenkunde | 7 | Victoria amazonica | 32 |
| da Vinci, Leonardo | 8, 9, 10 | Kalk | 27 | Philodendron | 38 | von Humboldt, Alexander | 30 |
| Daedalus | 10 | Kalmar | 26 | Physik | 7, 11, 21, 23, 26, 40 | von Österreich, Maria L. | 40 |
| Daune | 12 | Kannenpflanze | 33 | Pilzfaden | 38 | Wabe | 16, 28 |
| de Mestral, George | 35 | Keller, Friedrich Gottlob | 17 | Plankton | 28, 29 | Wabenstruktur | 16 |
| Deckfeder | 12 | Kieselsäure | 28 | Porte Monumentale | 28 | Wachsschicht | 33 |
| Design | 12, 25, 37 | Klette | 35 | Prothese | 46, 47 | Wärme | 12, 16, 20, 22, 23, 43, 47 |
| Diamant | 43 | Kletterpflanze | 38 | Radiolarie | 28 | Wasser | 12, 13, 17, 18, 24, 25, 27, 28, 32, 33, 34, 37, 38, 43 |
| Doppelbrechung | 42 | Klettverschluss | 35 | Reflexion | 42 | Wellpappe | 32 |
| Druck | 12, 13, 16, 18, 19, 26, 27, 28, 33, 35, 37, 43 | knicken | 32 | Regelmäßigkeit | 29, 43 | Wels, Franz Xaver | 34 |
| Eastgate Building | 22 | Knochen | 13, 28, 37, 46 | Regenwald | 38 | Weltausstellung | 28, 32 |
| Echo | 14 | Kopffüßer | 26, 27 | Reibung | 7, 33 | Werkzeug | 7, 44 |
| Edelstein | 42 | Kraft | 7, 10, 11, 12, 14, 18, 19, 20, 21, 25, 28, 36, 44, 46 | Riblet | 24 | Widerhäkchen | 35 |
| Ei | 13 | Kraftlinienarchitektur | 36 | Rille, rillig | 20, 24, 32, 33 | Winglet | 11 |
| Einzell | 28, 29 | Künstliche Intelligenz | 44, 45, 46 | Rippe | 28, 32 | Wingsuit | 15 |
| Elektrode | 46 | LED | 20 | Roboter | 15, 18, 26, 39, 44, 46 | Wirbel | 11, 12, 13, 19, 24, 29 |
| Energie | 7, 12, 20, 22, 32, 37 | leuchten | 20 | Ruderflug | 10 | Wood Wide Web | 38 |
| Energiesparlampe | 20 | Leuchtkraft | 20 | Rutil | 42 | Würgfeige | 38 |
| Energieverbrauch | 12, 20 | Liane | 38 | Sagrada Familia | 36 | Wurzelfuß | 39 |
| Epiphyt | 38 | Licht | 20, 42 | Sandwich, Sandwich-Platte | 16, 32 | Zanonia | 34 |
| Etrich-Taube | 35 | Lichtbrechung | 42 | Sauerstoff | 20 | Zeolithe | 43 |
| Etrich, Ignaz („Igo“) | 34, 25 | Lilienthal, Otto | 10, 11, 34 | Schachtelhalm | 37 | | |
| Faden | 18, 19, 37, 38 | Lotus-Effekt | 33 | Schall | 14 | | |
| Falten, Faltung | 20, 29, 32 | Lotus-Pflanze | 33 | Schlagflügler | 10 | | |
| Flectofin | 33 | Luftschraube | 10 | Schönbrunner Palmenhaus | 32 | | |
| Flugapparat | 8, 10 | Luftwiderstand | 12 | Schuppen | 24 | | |
| Flügel | 8, 10, 11, 12, 15, 21, 34, 35 | Luziferase | 20 | Schwefelkraft | 7 | | |
| Flughund | 14, 34 | Luziferin | 20 | Schwingflügler | 10 | | |
| Flugsaurier | 14 | Macrozania macrocarpa | 34 | Schwungfeder | 12 | | |
| Flugtechnik | 10, 11 | Medizin, medizinisch | 7, 28, 33, 35, 37, 39, 44 | Segelflug | 10 | | |
| Flugzeug | 10, 11, 13, 15, 16, 24 | | | Selbstorganisation | 16 | | |
| Forschungsreise | 30, 40 | | | selbstreinigend | 33 | | |
| Fossil, lebendes | 24 | | | Sensor | 44, 46, 47 | | |
| | | | | Shinkansen | 13 | | |



Bei aller gebotenen Sorgfalt kann ein
Wissensschatz niemals komplett sein.
Und genauso wenig frei von Inhalten,
über die man diskutieren kann und soll.
Für gefundene Fehler oder zweifelhafte
Darstellungen gibt es eine Adresse:
buchverlag@tyrolia.at
Wir freuen uns über jeden klärenden
Hinweis.



Was die Natur schon lange kann ...

Was hat der Hai mit dem Flugzeug zu tun? Und die Biene mit der Waschmaschine? Was die Mohnkapsel mit dem Salzstreuer und der Graphit mit einem Tennisschläger?

Für viele technische Fragestellungen lassen sich in der Natur schlaue Lösungen finden. Vorausgesetzt, man schaut genau.

Bionik: ein vielseitiges Thema – umfassend, informativ und bildgewaltig präsentiert.

Wer dieses Buch liest, wird die Welt plötzlich mit neuen Augen sehen

Tiere – Pflanzen – Kristalle – Menschen



ISBN 978-3-7022-3991-6



www.tyrolia-verlag.at