



NATUR INSPIRIERT

VON BIONIK ZUR BIOLOGISCHEN
TRANSFORMATION



Inhalt

Einleitung	3
Grundlagen	4
Beispiele aus Forschung und Praxis	6
Bauen und Architektur	7
Konstruktion und Design	11
Materialien und Strukturen	15
Energie und Effizienz	19
Robotik und Sensorik	23
Künstliche Intelligenz und KI-Systeme	27
Biomedizinische Technik	31
Organisation und Management	35
Resümee	37
Quellen	39

1. Einleitung

Bionik ist eine vergleichsweise junge Wissenschaft, die sich damit beschäftigt, aus dem großen **Reservoir an biologischen Strukturen, Prozessen und funktionalen Lösungen** Erkenntnisse abzuleiten und in technischen Anwendungen und Lösungsstrategien einzusetzen. Bekannte bionisch inspirierte Lösungen sind beispielsweise der von Kletten abgeleitete Klettverschluss sowie die von der Lotos-Pflanze abgeschauten Oberfläche, von der Wasser stets abperlt.

Neue und verbesserte Methoden sowie rasante technische Fortschritte in Elektronik, Rechenleistung, Produktionsprozessen u.a. ermöglichen der **Forschung**, sich immer intensiver in lebende Systeme der Natur zu vertiefen. Man denke beispielsweise an die heutigen Möglichkeiten in der Nanomikroskopie und Röntgenstrukturanalyse. Erst ein kleiner Teil der Lebewesen wurde bis dato auf sein bionisches Potenzial untersucht und so ist ein **riesiger Ideenpool** an bionischen Lösungen, die in technische, aber auch organisatorische Systeme

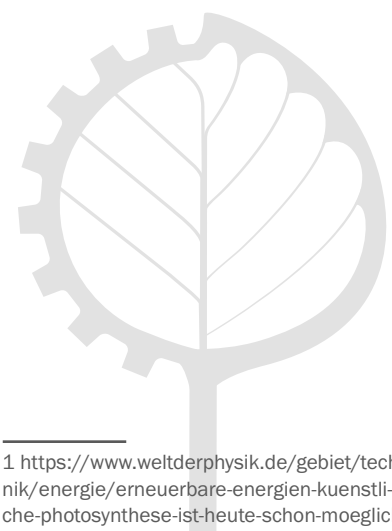
übertragen werden können, zu erwarten. Bionik führt somit zu einer erheblichen Ausweitung der ‚Toolbox‘ im Innovationssystem und zu neuen Chancen der interdisziplinären Vernetzung.

Das Interesse an bionischen Technologien ist ungebrochen und immer mehr Forschungsergebnisse fließen in **Produktentwicklungen** ein. Der gesamte Bereich der KI, der sich rasant weiterentwickelt, ist eng mit bionischen Prinzipien verbunden, wie schon die Begriffe „Künstliche Intelligenz“ oder „künstliche neuronale Netzwerke“ zeigen, die beide vom (menschlichen) Gehirn inspiriert sind.

Gegenwärtig wird vermehrt von „**biologischer Transformation**“ gesprochen, dem Trend zur Konvergenz von Natur und Technik mit dem Ziel, nachhaltiges Wirtschaften zu ermöglichen. Es handelt sich um ein multidisziplinäres Feld, das Wissen und Techniken aus den Lebenswissenschaften wie der Biologie in Ingenieurwissenschaften, Informatik und Betriebswirtschaft integriert. Ziel ist, durch die Anwendung natürlicher Prinzipien technologische Innovationen und organisatorische Effizienz zu fördern und gleichzeitig nachhaltige und adaptive Systeme zu schaffen. Es geht also nicht nur um die reine Nachahmung natürlicher Vorbilder, sondern um Anpassung und Integration in technische und organisatorische Kontexte, um Effizienz, Nachhaltigkeit und Innovationsfähigkeit zu steigern und in weiterer Konsequenz nachhaltige Wirtschaftssysteme wie die Kreislaufwirtschaft, Green Economy oder Bioökonomie zu etablieren.

Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz sind besonders wichtige Zukunftsbe-
reiche für die Integration bionischer Vorbilder. So ist das Ziel der **Kreislaufwirtschaft**, einen möglichst geschlossenen Prozess mit optimiertem Ressourceneinsatz und minimalem Abfall zwischen Produktion und Verbrauch zu schaffen, in natürlichen Kreisläufen bereits Wirklichkeit. Die **Energieaufbringung und effiziente Nutzung** sind weitere Beispiele, wo uns die Natur Modelle und Möglichkeiten für eine lebenswerte Zukunft liefert. Allen voran ist die künstliche Photosynthese ein vielbeforschter Bereich, bei dem immer wieder Meilensteine erreicht werden und eine erste großtechnische Umsetzung in den nächsten 10 bis 15 Jahren erwartet wird.¹ In **Innovationsprozessen** werden Prinzipien der natürlichen Selektion und Evolution in der Produktentwicklung und Strategiefindung angewandt, um Lösungen zu finden, die durch iterative Verbesserungen und Anpassungen entstehen.

Es lohnt sich also ein genauerer Blick auf den Stand in **bionischer Forschung, Entwicklung und Umsetzung**. In der vorliegenden Next Practice-Sammlung werden einige der derzeit vielversprechendsten bionischen Beispiele vorgestellt, die sich im Grenzraum zwischen Gegenwart und Zukunft befinden. Nach der Erklärung relevanter Grundlagen folgt eine Zusammenstellung zukunfts-trächtiger Entwicklungen in unterschiedlichsten Forschungs- und Anwendungsfeldern im globalen Maßstab mit einem streifenden Blick auf Oberösterreich.



1 <https://www.weltderphysik.de/gebiet/technik/energie/erneuerbare-energien-kuenstliche-photosynthese-ist-heute-schon-moeglich/>

2.

Grundlagen

Bionik ist ein **interdisziplinäres Wissenschaftsfeld**, das Prinzipien aus biologischen Systemen erforscht, um diese in technischen Anwendungen und Lösungsstrategien einzusetzen. Das Wort Bionik selbst ist eine Kombination aus der ersten Silbe des Wortes „Biologie“ und der zweiten Silbe des Wortes „Technik“.

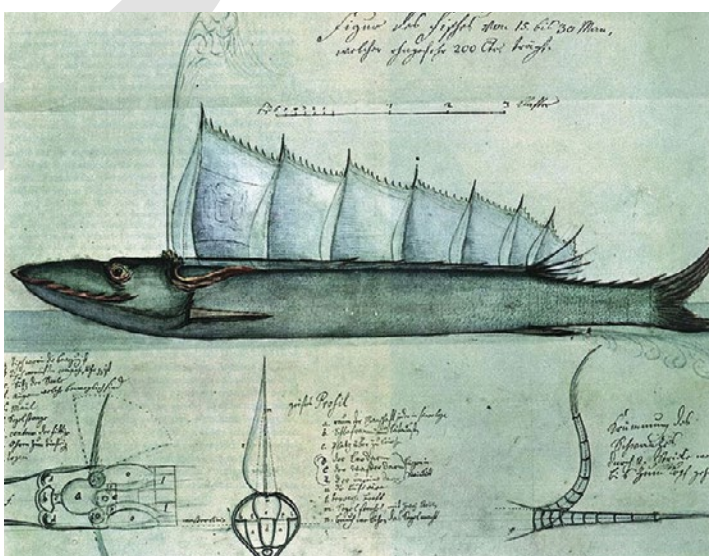
Der Begriff „**bionics**“ wurde Ende der 1950er Jahre vom amerikanischen Neurologen Jack E. Steele geprägt. Im englischsprachigen Raum beschränkt sich die Bedeutung von bionics auf eine Kombination von biology und electronics und zumeist auf die Konstruktion von künstlichen Körperteilen. Das, was im deutschsprachigen Raum unter dem Begriff Bionik verstanden wird, ist im Englischen häufig mit dem vom amerikanischen Biophysiker Otto Schmitt in den 1950er Jahren geprägten Begriff „**biomimetics**“ oder auch „**biomimicry**“ umschrieben. (ITA 2006)

Der erste deutsche Entwurf eines U-Bootes, der Steinhuder Hecht, kann als frühes Beispiel für die Anwendung biomimetischer Prinzipien in der Schiffsarchitektur betrachtet werden.² Dieses historische Schiff von 1762 ahmt Form und Funktion eines Hechts nach, um hydrodynamische Effizienz und Manövrierfähigkeit zu erreichen, und zeigte schon damals, wie natürliche Strukturen und Designs in technische Konstruktionen integriert werden können.

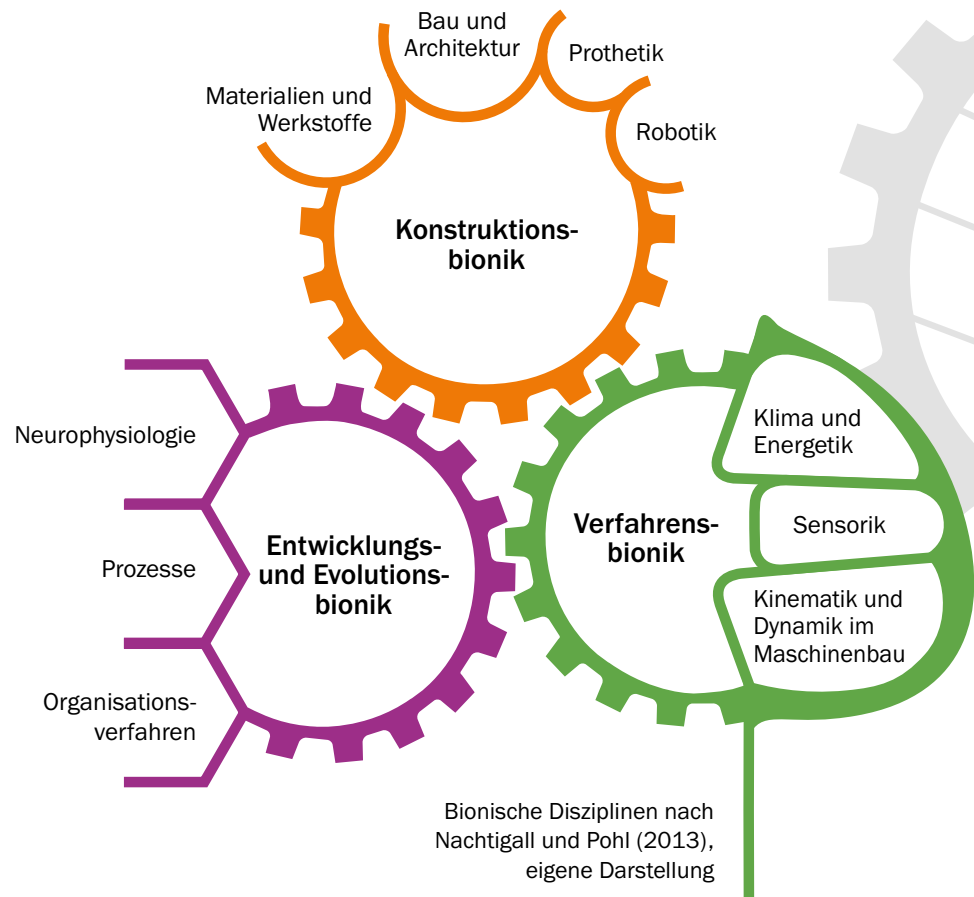
Der deutsche Zoologe und Pionier der Bionik Werner Nachtigall definiert Bionik als „das Lernen von Konstruktions-, Verfahrens- und Entwicklungsprinzipien der Natur für eine positive Vernetzung von Mensch, Umwelt und Technik“. In der Bionik geht es also nicht um die Nachahmung der Natur, sondern um die Abstraktion, Übertragung und Umsetzung von **Erkenntnissen aus der Biologie in technische Anwendungen**.

Nachtigall gliedert die Bionik in drei **übergeordnete Disziplinen** (Nachtigall 2002):

➤ **Konstruktionsbionik** – Konstruktionen der Natur, bionische Aspekte der Materialien:
Analyse der Konstruktionselemente und Funktionsmechanismen natürlicher Konstruktionen, Vergleich mit technischen Konstruktionen, Untersuchung von Anwendungsmöglichkeiten in der Technik.



Skizze
Steinhuder Hecht



➤ **Verfahrensbionik** – Vorgehensweisen oder Verfahren der Natur:

Analyse von Steuerung und Ablauf komplexer biologischer Prozesse, Untersuchung der Übertragungsmöglichkeiten in die Technik.

➤ **Informationsbionik** – Datenübertragungs-, Entwicklungs- und Evolutionsprinzipien:

Untersuchung von Abläufen in der Neurophysiologie und Aspekten der biologischen Evolution und Übertragung.

Innerhalb dieser Disziplinen finden **unterschiedliche Fachrichtungen** der Bionik in Forschung, Entwicklung und Anwendung Platz (Nachtigall u. Wissner 2013), wobei diese Einteilung aufgrund der relativen Jugend der bionischen Wissenschaft noch nicht vollständig sein muss:

Strukturbionik (Material- und Werkstoffbionik), Gerätebionik, Konstruktionsbionik, Baubionik, Klima- und Energiebionik, Bewegungsbionik, Anthropobionik, Sensorbionik, Neurobionik, Evolutionsbionik, Verfahrensbionik, Organisationsbionik.

Als Antwort auf die Vielfalt der Entwicklungen gibt es in Deutschland inzwischen **Richtlinien und Normen** für den Fachbereich Bionik. So regelt das Deutsche Institut für Normung³ mit DIN-ISO-Normen z.B. Terminologie sowie Konzepte und Methodik. Der Verein Deutscher Ingenieure⁴ strukturiert mit technischen Regeln die Abgrenzung von konventionellen und bionischen Verfahren/Produkten, die Vorgaben für bionische Oberflächen, Roboter, Informationsverarbeitung etc.

2 <https://www.ardmediathek.de/video/das/das-historisch-steinhuder-hecht-der-erste-u-boot-entwurf/ndr/Y3JpZDovL25kci5kZ-S9hMGU1NzVIMi1hNThiLTQxOTctOTUwYy05ODdlOTdkZGZiNGE>

2 <https://www.steinhuder-meer.de/poi/steinhuder-hecht>

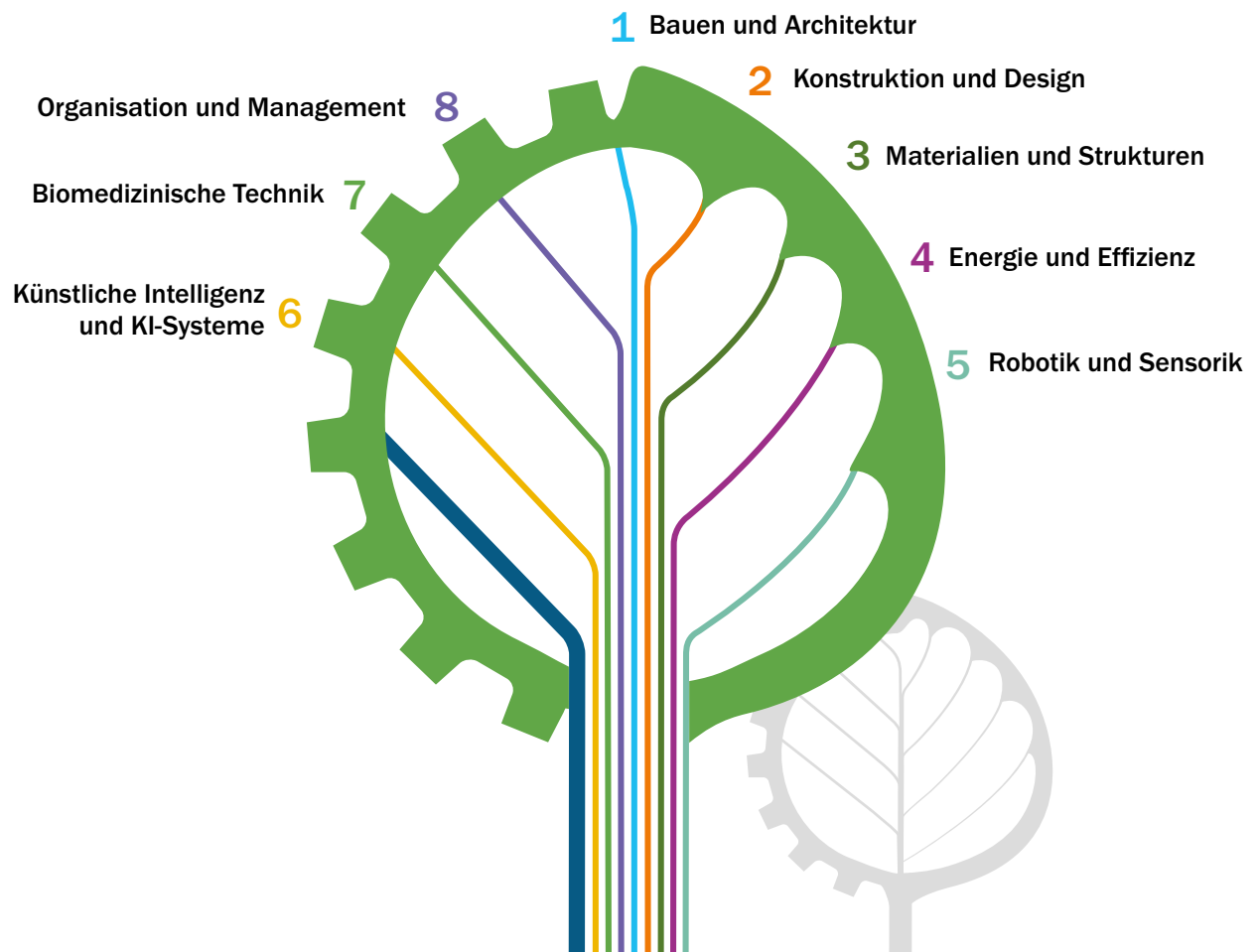
3 <https://www.din.de/de/meta/suche/62730!search?query=Bionik>

4 <https://www.vdi.de/tg-fachgesellschaften/vdi-gesellschaft-technologies-of-life-sciences/bionik>

3.

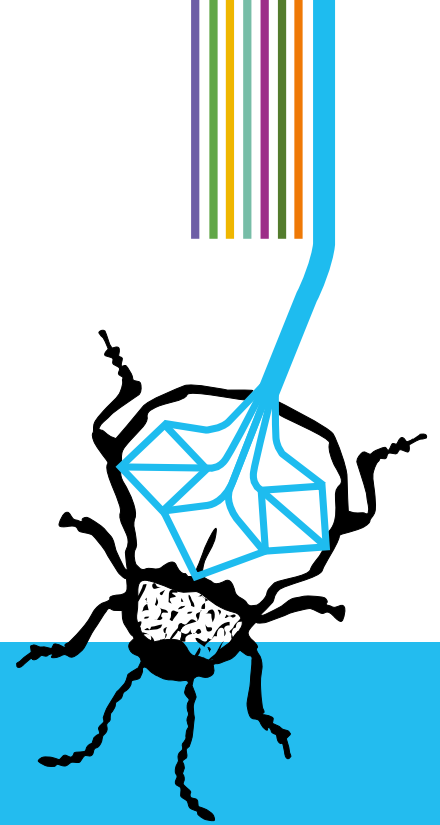
Beispiele aus Forschung und Praxis

Bionik ist eine Zukunftswissenschaft, die aufgrund zunehmend verbesserter und vieler neuer Methoden und technologischer Möglichkeiten immer mehr Forschungsfelder und Ideen für möglichst nachhaltige und oft überraschende innovative Anwendungen erwarten lässt. Einen Einblick in das vielfältige Potenzial bionischer Aktivitäten gibt die folgende Next Practice-Sammlung. Sie ist – angelehnt an die o.a. Einteilung – **in acht Sektoren** gegliedert, denen die vorgestellten Innovationen bestmöglich zugeordnet sind.



3.1

Bauen und Architektur



Bionische Architektur ist nicht immer auf den ersten Blick erkennbar. Hingegen ist nicht jedes Gebäude, das biologisch inspiriert anmutet, tatsächlich ein bionischer Bau. Denn, so wie in allen Bereichen, gilt auch in der Architekturbionik, dass die reine Formnachahmung (biomorphes Bauen) keine Bionik ist. Es kommt immer auf die **Funktion** an.

Bionische Erfindungen im Bauwesen sind nicht neu: zum Beispiel ist die Verbundstruktur des Stahlbetons eine bionische Erfindung – sie hatte die Blätter eines Kakteengewächses als Vorbild. Das schwammartige Balkenwerk in Hals und Kopf eines Oberschenkelknochens, welches entlang der Spannungstrajektorien ausgerichtet ist, diente als Vorbild für die Anordnung von Unterzügen einer Decke, die dadurch gegenüber herkömmlichen Bauweisen leichter ist. Der Lebenszyklus von Materialien spielt in der Natur eine große Rolle, im Bauwesen steckt dieser bionische Aspekt noch in den Kinderschuhen.

Leuchtturm-Projekte für das Bauen nach bionischem Vorbild gibt es weltweit und aus unterschiedlichen Zeitepochen. Der Eiffelturm in Paris, Ende des 19. Jahrhunderts erbaut, ist wohl eines der bekanntesten bionischen Bauwerke. Nach dem Vorbild menschlicher Knochen wurde die materialsparende Eisenkonstruktion mit ihren zahlreichen Verstrebungen aufgebaut. The Gherkin (dt.: Gewürzgurke) in London hat nicht nur einen bioinspirierten Namen aufgrund seines Aussehens, vielmehr ist die ausgeklügelte Architektur vom Gieskannenschwamm abgekupfert. Mit seiner Gitterstruktur in Röhrenform ist der Meeresschwamm nicht nur äußerst stabil, sondern besitzt auch die Fähigkeit Wasser zu filtern. Diese Filtertechnik verhilft dem Gherkin zu einer sehr energiesparenden Lüftung und Klimatisierung. Andere Beispiele sind das Olympiastadion in München, dessen Dachkonstruktion einem Spinnennetz ähnelt, die Helix-Brücke in Singapur, deren Aufbau sich an der Doppelhelix-Struktur der DNA orientiert, oder das Eastgate Center in Simbabwe, ein Bürogebäude, dessen Lüftungssystem auf den Erkenntnissen aus Termitenbauten beruht.

Aktuelle Forschungen suchen neue architekturbionische Lösungen mit Hilfe von **Künstlicher Intelligenz (KI)**. Auch der 3D-Druck verhilft zu Strukturen und Konstruktionen, die in der Vergangenheit noch nicht möglich waren.

Fassadenfarbe nach Käfervorbild

Vorbild für die äußerst wasserabweisende Fassadenfarbe *StoColor Dryonic* ist der in der Wüste Namib beheimatete Nebeltrinker-Käfer. Auf seinem mikrostrukturierten Panzer rinnt das Kondenswasser in Form von kleinen Tropfen durch Rillen ab. Die entwickelte Farbe führt Regen und Tauwasser schneller ab und sorgt so ohne Biozide für trockene und saubere Fassaden.

Der Käfer dient auch anderen Forschungen als Vorbild. So sollen mit ultrakurzen Laserimpulsen die Panzerstrukturen z.B. auf Glasoberflächen übertragen werden, um ein Beschlagen zu verhindern.



Foto: Wikimedia Commons / Schnobby, CC BY-SA 3.0

Nebeltrinker-
Käfer

Sto SE & Co. KGaA (DE)

<https://www.sto.com/biomimetics/en/biomimetics/stocolor-dryonic/index.html>

Forschungszentrum Mikrotechnik, FH Vorarlberg (AT)

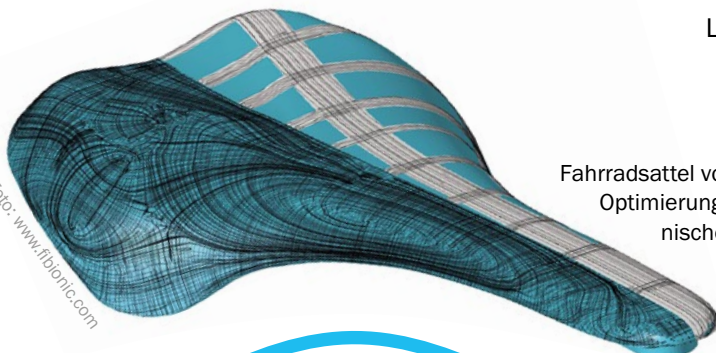
<https://www.derstandard.at/story/2000139478562/trinkwasser-so-ausgekluegelt-wie-ein-wuestenkaefer-sammeln>



Karbonfaser-Leichtbau wie Libellenflügel

Bei Turnschuhen, Fahrradkomponenten, Auto- oder Flugzeugbau sind die wichtigsten Parameter Stabilität und Leichtigkeit. Tiroler Forschende haben ein innovatives und patentiertes Verfahren entwickelt, das Karbonfasern optimiert platzieren kann, ohne Abfall zu erzeugen. Inspiriert von den Flügeln der Libelle, werden die Verstrebungen gezielt nur dort gesetzt, wo sie notwendig sind. Die gekrümmte Form verleiht der Struktur Stabilität in mehrere Richtungen, wodurch sie hochsteif und hochfest wird. Durch die gezielte Verstärkung nur der wichtigen Achsen mit Karbon wird nicht nur Material gespart, sondern auch die Umwelt geschont.

Diese Technologie hat ihre Wurzeln in den Forschungsarbeiten von fibionic-Geschäftsführer Thomas Rettenwander, der in seiner Dissertation an der Johannes Kepler Universität Linz Faser-Kunststoff-Verbunde untersucht hat.



Fahrradsattel von fibionic:
Optimierung nach bio-
nischem Vorbild

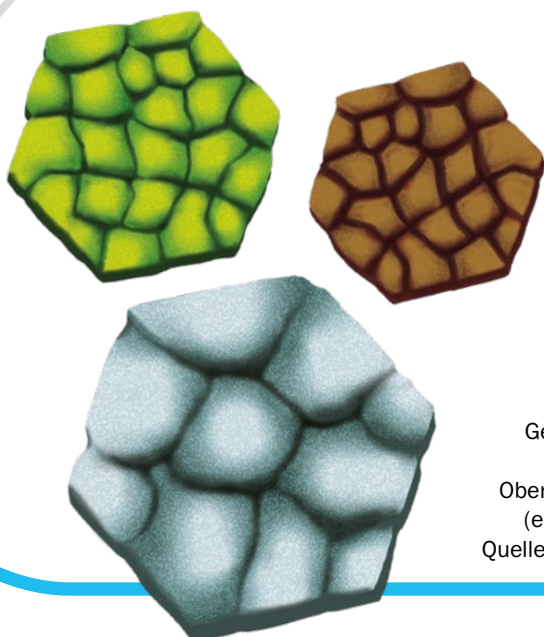
Foto: www.fibionic.com

fibionic GmbH (AT)

<https://www.fibionic.com/>



Gebäudeplatten wie die Haut eines Elefanten



Gebäudeplatten mit
unterschiedlichen
Oberflächenstrukturen
(eigene Darstellung;
Quelle: bioSEA Pte. Ltd.)

bioSEA Pte. Ltd. (SG)
<https://biomimicry.biosea.sg/>



Stabile Wölbstrukturen eines Schildkröten- panzers im Leichtbau

Das Prinzip der selbstversteifenden Wirkung von Wölbstrukturen ist bereits seit den 1970er Jahren bekannt und findet durch technologische Entwicklungen in der Fertigungstechnik z.B. im Leichtbau immer mehr Verbreitung. Die hexagonalen, unter Druck selbstorganisiert entstehenden Strukturen, wie sie auf Schildkrötenpanzern zu finden sind, bieten hohe Stabilität bei geringem Materialeinsatz. Technisch lassen sich durch ein energieeffizientes Umformverfahren, der Wölbstrukturierung, biegeelastische Bleche mit minimaler Energie und hoher Oberflächengüte herstellen. Diese Strukturen sind aufgrund der Kaltverfestigung stabil und bieten zahlreiche Vorteile wie Materialeinsparungen von über 30 %, erhöhte Formsteifigkeit, geringes Gewicht, verbesserte thermische und akustische Eigenschaften sowie Widerstandsfähigkeit. Zum Einsatz kommen Wölbstrukturen bei Dach- und Fassadenelementen, aber etwa auch bei Waschmaschinentrommeln oder im Fahrzeugbau.



Wölbstruktur auf
Schildkrötenpanzer

Dr. Mirtsch Wölbstrukturierung GmbH (DE)
https://www.graepel.de/fileadmin/user_upload/produkt-pdfs/Allgemein/Bionische_Woelbstrukturen.pdf
https://www.youtube.com/watch?v=_7lqldeHhs



Bionische Trennwand – Schleimpilz- und Knochenstrukturen



Foto: Wikimedia Commons / Roberto Galindo, CC BY-SA 4.0

Lamina spongiosa
eines tierischen
Röhrenknochens
mit typischer
netzwerkartiger
Struktur

Die Trennwand zwischen Besatzung und Passagieren in einem Flugzeug ist eine wichtige Komponente im Flugzeugbau, die sowohl belastbar als auch leicht sein muss. Selbst bei Fliehkräften von 16 g (1 g = Erdbeschleunigung $\approx 9,81 \text{ m/s}^2$) darf die Durchbiegung nur maximal 20 cm betragen. Im Vergleich dazu werden wir in den leistungsstärksten Achterbahnen nur maximal 4 g ausgesetzt. Inspiriert von Wachstumsmodellen von Schleimpilzen und Säugetierknochen ist das überarbeitete Modell 45 % leichter und genauso stabil wie herkömmliche Trennwände. Eine alternative Herstellungsmethode kombiniert 3D-Druck und klassische Gusstechnik, um das besondere Design mit den Materialanforderungen in der Luftfahrt zu erhalten.

Airbus SE (NL)

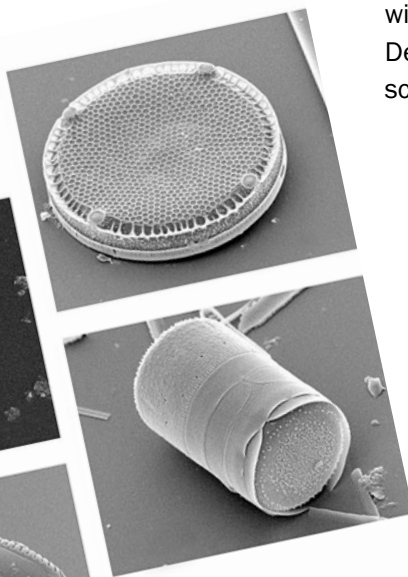
<https://www.konstruktionspraxis.vogel.de/generatives-design-spart-bis-zu-500000-tonnen-co2-pro-jahr-ein-a-899322/>

<https://www.autodesk.com/de/design-make/articles/bionisches-design>



Bauwerke mit Kieselalgendesign

Diatomeen (Kieselalgen) besitzen einzigartige, artspezifische Silikatschalen, die sie effektiv vor Fressfeinden schützen. Diese Exoskelette zeichnen sich durch extreme Leichtigkeit und Stabilität aus, bedingt durch ihre hochkomplexen geometrischen Strukturen. Durch Untersuchungen der Nanostruktur und Morphogenese der Diatomeenschalen können fortschrittliche Verbundmaterialien und Fertigungsverfahren wie Feinguss oder Additive Manufacturing optimiert werden. Der Bau eines Pavillons in Bremerhaven wird erste praktische Erfahrungen mit diesen innovativen Ansätzen liefern.



Silikatschalen
verschiedener Diatomeen

Foto: Wikimedia Commons / Images courtesy of Mary Ann Tiffany, San Diego State University, CC BY 2.5

Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (DE)

<https://www.awi.de/forschung/besondere-gruppen/bionischer-leichtbau.html>

https://www.awi.de/fileadmin/user_upload/AWI/Forschung/Besondere_Gruppen/Bionik_Leichtbau/Dateien/NZ_Meeresorganismen_als_Vorbild.pdf



Jalousien inspiriert durch fleischfressende Pflanze

Ideengeberin für gelenklose Jalousien war die schnelle Fangbewegung der Wasserfalle, einer fleischfressenden Pflanze. Durch Analyse von Hochgeschwindigkeitsaufnahmen wurde das Prinzip abstrahiert und als sogenanntes „curved-line-folding“-Prinzip umgesetzt. Die Fassadenverschattung besteht aus glasfaserverstärktem Kunststoff und wird durch Luftkissen gesteuert. Die *Flectofold* genannten Jalousien funktionieren ohne Gelenke und Scharniere und sind deshalb besonders für gekrümmte, komplexe Außenfassaden geeignet. Außerdem sind sie geräusch- und wartungsarm.

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, PBG u. FIT (DE)
Universität Stuttgart, ITKE, ITFT u. IBB (DE)
Deutsche Institute für Textil und Faserforschung DITF (DE)
<http://www.fit.uni-freiburg.de/news/akw-innovationspreis-2017>
https://www.itke.uni-stuttgart.de/de/forschung/realisierte_projekte/flectofold-demonstrator/



3.2 Konstruktion und Design

Die Anpassung von Tieren und Pflanzen in geologischen Zeiträumen führte zu einer Optimierung ihrer Formen und konstruktiven Merkmale, die für unsere moderne Technik in vielen Fachbereichen neue Impulse liefert. Die Evolution hat Lebewesen hervorgebracht, die sich optimal an ihre jeweiligen Lebensräume angepasst haben, sei es durch aerodynamische Formen, effiziente Energieverwendung oder robuste Strukturen. Besonders bei sehr komplexen Vorgängen wie dem Strömungsverhalten von Luft oder Wasser an Bauteilen wie Flugzeugflügeln oder Schiffsrümpfen zeigen sich die Stärken des bionischen Ansatzes, um eine **Optimierung der Formen und Oberflächen** zu erreichen. Moderne Supercomputer tragen dazu bei, dass aus der Natur abgeschauten Funktionsprinzipien wie die gesichelte Flügelform der Schleiereulen in technisch verwendbare Konstruktionen wie verbesserten Ventilatoren umgesetzt werden.

Um die praktische Anwendung bionischer Prinzipien weiter zu verdeutlichen, betrachten wir einige spezifische Beispiele im Detail. Sie illustrieren exemplarisch, wie ingenieurtechnische Herausforderungen durch die Nachahmung natürlicher Konstruktionen und Designs gelöst werden können.



Ventilatoren nach bionischen Prinzipien

Verschiedene bionische Prinzipien inspirieren die Optimierung moderner Ventilatoren: Der *FE2owllet* Axial-Ventilator orientiert sich z.B. an der Flügelform der Schleiereule - mit gesicherten, profilierten Flügeln und gezackter Hinterkante, die für effizientere Strömung und reduzierte Geräuschentwicklung sorgt. Der *ZAbluefin* Ventilator nutzt Merkmale der Buckelwalflosse, wie Erhebungen an der Vorderkante und eine V-förmige Kontur, um die Anströmung zu verbessern und Strömungsabrisse zu vermeiden. Der Radialventilator *ZAvblue* ist vom Wachstum der Bäume inspiriert und bietet einen hohen Volumenstrom bei optimalem Wirkungsgrad. Die Aufhängung des *ZA Pilot* Ventilators verwendet eine wabenartige Struktur, wie sie Bienenwaben besitzen, um Stabilität und Leichtigkeit zu erreichen.



ZIEHL-ABEGG Ventilator
mit dem Flügel einer Eule

Ziehl-Abegg GesmbH (DE)
<https://www.ziehl-abegg.com/unternehmen/ziehl-abegg/forschung-entwicklung/bionische-konzepte>



Pumpen wie pulsierende Herzen

Beim Pumpen durch Rohrleitungen, wie Wasserleitungen oder Erdöl-Pipelines, entstehen Energieverluste, die größtenteils auf die Reibung zwischen Rohr und Fluid zurückzuführen sind, besonders bei turbulenten Strömungen. Forscher:innen am Institute of Science and Technology (ISTA) in Klosterneuburg haben nachgewiesen, dass pulsierendes Pumpen, inspiriert von der Pulsform des menschlichen Herzens, diese Turbulenzen beruhigen kann. Ein entscheidender Faktor bei der Turbulenzreduktion ist die Pause zwischen zwei Pulsschlägen. Während dieser Ruhephase nehmen die Turbulenzen ab, was die Reibung in der anschließenden Beschleunigungsphase deutlich reduziert. Dadurch kann die Effizienz beim Pumpen von Flüssigkeiten durch Rohrleitungen gesteigert und Energie gespart werden.



Pumpen mit
Ruhephasen
(eigene Darstellung,
Quelle: Thomas
Zauner / ISTA)

Institute of Science and Technology (AT)
<https://ista.ac.at/de/news/pumpen-wie-das-herz/>
<https://www.nature.com/articles/s41586-023-06399-5>



Strömungswiderstand durch Riblets vermindern



Riblets sind mikro- und nanostrukturierte Oberflächenstrukturen, die eine Verminderung der Reibung in der turbulenten Grenzschicht von Strömungen bewirken. Die Riblets haben, ähnlich wie die Haut eines Haies, feine Rillen, die den Reibungswiderstand um bis zu 8 % verringern.

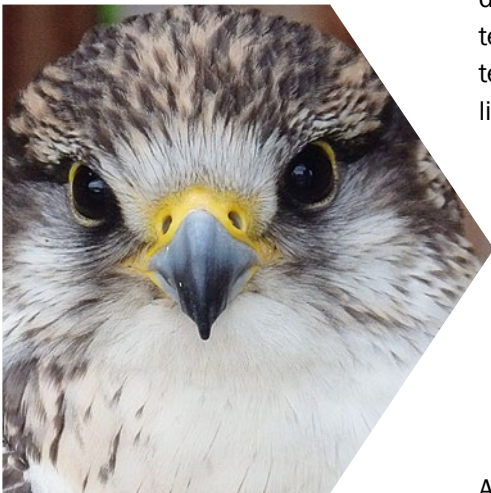
Der sogenannte „Shark Skin“-Effekt findet in vielen Gebieten Anwendung, beispielsweise bei Flugzeugflügeln, in industriellen Anlagen (Schwungradscheiben, Pumpen, Turbinen, Rohrleitungen, Windkraftanlagen) oder im Sport (Surfen, Segeln, Radfahren, Bob-, Motorsport).

bionic surface technologies GmbH (AT)
<https://www.bionicsurface.com/de/riblets-solutions/>



Fahrzeuge, die mit Augen sehen

Foto: © B. Haas



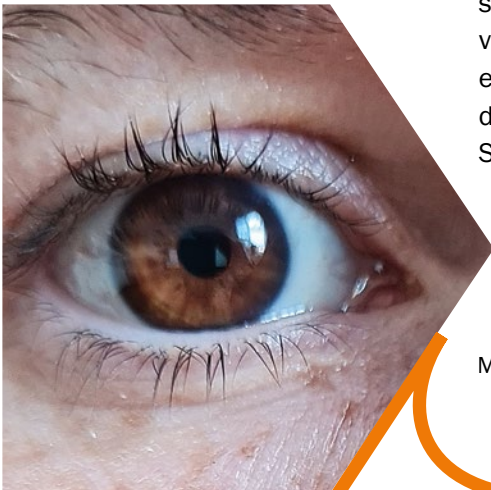
Greifvogel-Augen

Bei autonomen Fahrzeugen ist eine detaillierte Wahrnehmung der Umgebung immens wichtig, um Unfälle zu vermeiden. Dabei kommt eine Vielzahl von Sensoren und Kameras zum Einsatz, damit Autos rechtzeitig stehenbleiben bzw. ausweichen können. Ein neuartiges Kamerasystem beruht auf dem fovealen Sehen von Greifvögeln. Die zentrale Sehgrube (Fovea) der Vogelaugen bricht das einfallende Licht stark und besitzt eine hohe Dichte von Zapfen, wodurch die Vögel entfernte Objekte klar vergrößert wahrnehmen können. Das Design der künstlichen Fovea wurde durch optische Simulation optimiert, um entfernte Ziele ohne Verzerrung zu vergrößern. Die vogelaugeninspirierte Kamera bietet dadurch eine verbesserte Bewegungserkennung im Vergleich zu herkömmlichen Kameras.

Center for Nanoparticle Research, Institute for Basic Science (KR)
https://www.ibs.re.kr/cop/bbs/BBSMSTR_000000000738/selectBoardArticle.do?nttlid=24819
<https://www.presettext.com/news/20240603004>



Foto: Land OÖ / R. Peyri



Menschliches Auge

Auch das menschliche Auge ist Vorbild für Kameras. Kamerabilder von sich schnell bewegenden Objekten sind oftmals verwackelt. Forschende an der University of Maryland ahmen durch ein rotierendes Prisma, das die von der Linse eingefangenen Lichtstrahlen umlenkt, minimale Augenbewegungen nach, die die Fokussierung auf ein Objekt über längere Zeit ermöglichen. Eine spezielle Software kompensiert die Prismabewegung und stabilisiert die Bilder.

University of Maryland, College of computer, mathematical and natural sciences (US)
<https://cmns.umd.edu/news-events/news/UMD-computer-scientists-develop-new-and-improved-camera-inspired-human-eye>
<https://www.presettext.com/news/na-20240703004.html>



Drohnen nach Naturvorbildern

Konstruktionen von leistungsfähigen Drohnen, für unterschiedliche Einsatzgebiete und in verschiedenen Größen, haben viele fliegende oder gleitende Tiere und Pflanzen zum Vorbild. Unter anderem lassen Forscher:innen Drohnen wie Habichte fliegen, Federkleid inklusive. Habichte bewegen ihre Flügel und ihren Schwanz in Kombination, um schnelle Richtungswechsel und effizientes Gleiten zu ermöglichen. Inspiriert davon passt die Drohne im Flug die Form ihrer Flügel und ihres Schwanzes an, um Richtungswechsel zu beschleunigen, bei langsamen Flügen nicht abzustürzen und den Luftwiderstand bei hoher Geschwindigkeit zu verringern.

École Polytechnique Fédérale de Lausanne (CH)
<https://www.science.org/doi/10.1126/scirobotics.abc2897>
<https://www.derstandard.at/story/2000121249078/schweizer-forscher-bauen-eine-gefiederte-drohne>



Ein Bionik-Beispiel aus der Pflanzenwelt ist der Ahornsamen, der durch eine schraubenförmige Flugbewegung sanft zu Boden schwebt. Forschende der Universität Singapur haben diese natürliche Flugtechnik aufgegriffen und energieeffiziente Drohnen entwickelt, deren Flügel eine größere Auftriebsfläche bieten. Die Drohnen können ihre Flügelspannweite reduzieren, um durch enge Passagen zu gelangen. Das Modell *FROW-A* z.B. verkleinert seine Spannweite um 39 % mithilfe von Servomotoren, während das Modell *FROW-P* seine Flügel um 69 % mittels eines federbelasteten Mechanismus zusammenklappen kann. Diese Anpassungen ermöglichen ein schnelles Absinken, das Umgehen von Hindernissen oder das Entkommen aus schwierigen Situationen durch erneutes Ausfahren der Flügel.

Singapore University of Technology and Design (SG)
<https://newatlas.com/drones/frow-monocopter-drone-adjustable-wingspan/>
<https://www.pressetext.com/news/20240610016>



Samen des Bergahorns

Muskel als Vorbild für Orthesen

An der Medizinischen Universität Innsbruck wird an einem stufenlosen Getriebe für eine neue Generation von Orthesen geforscht, die zur Stabilisierung, Entlastung, Ruhigstellung, Führung oder Korrektur von Gliedmaßen oder des Rumpfs verwendet werden. Eine Orthese muss große Haltekräfte erzeugen und sich im unbelasteten Zustand schnell bewegen können, was mit starren Getrieben nicht möglich ist. Hier müsste der Motor überdimensioniert werden, was das Gewicht und den Platzbedarf erhöht.

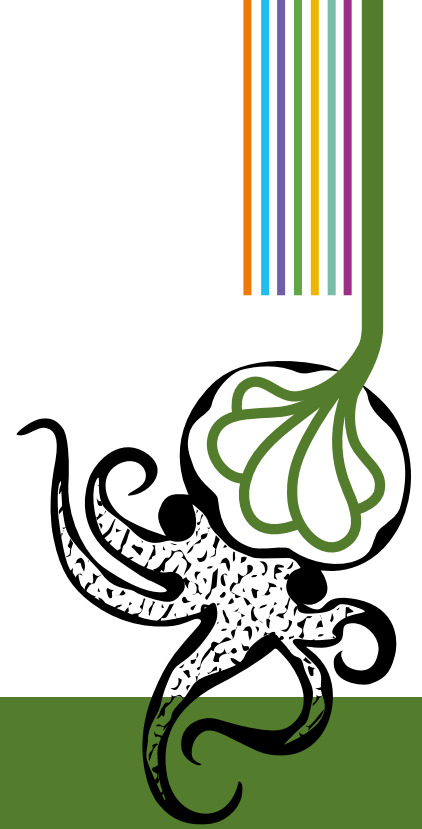
Muskeln als „biologische Motoren“ bieten genau diese benötigten Eigenschaften: hohe Haltekräfte im Ruhezustand und hohe Geschwindigkeiten bei kleinen Kräften. Das Prinzip der Muskelbewegungen soll in Form eines Mini-Getriebes nun umgesetzt werden.

Medizinische Universität Innsbruck, Abteilung für experimentelle Orthopädie (AT)
<https://www.i-med.ac.at/mypoint/news/670183.html>



3.3

Materialien und Strukturen



Erst ein relativ kleiner Teil der weltweit lebenden Arten, nämlich rund 1,8 Millionen Arten (Tiere, Pflanzen, Pilze) sind bis dato beschrieben (BfN, 2024). Geschätzt bevölkern z.B. etwa 5 bis 10 Millionen Tierarten (Grancy, Wanninger, 2015) sowie 350.000 bis über 1 Million Pflanzenarten (WFO Plant List, 2021) unseren Planeten. Sie haben sich in Jahrmlionen an die verschiedensten Lebensräume und Lebensumstände optimal angepasst. Erst **modernste technische Möglichkeiten** wie Röntgenstrukturanalysen und Elektronenmikroskopie ermöglichen ein tiefes Verständnis der biogenen Materialien und Strukturen, die für vielfältige technische Anwendungsmöglichkeiten vorbildhaft sein können bzw. teilweise schon sind.

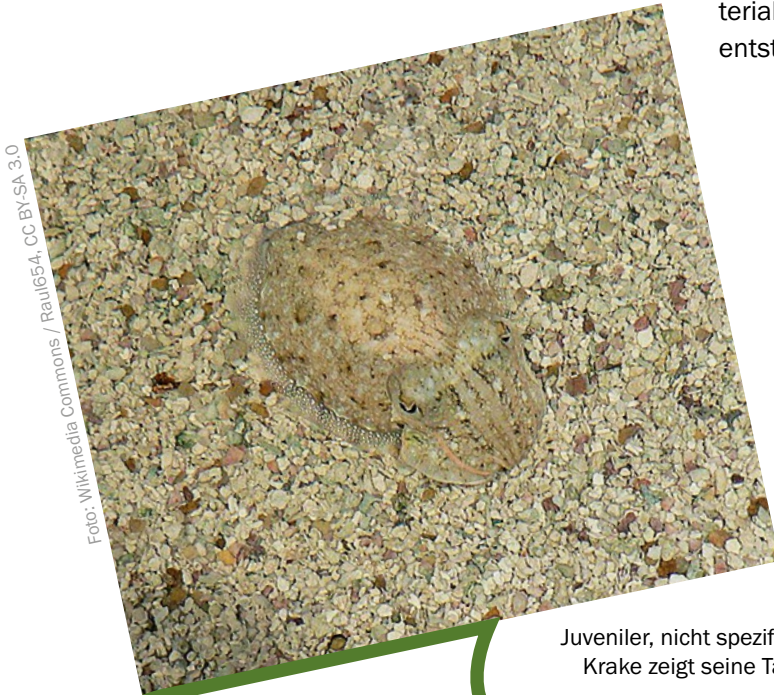
Ein klassisches Beispiel für bionische Materialien und Strukturen ist die Lotosblume. Die Blätter dieser Wasserpflanze besitzen eine einzigartige Oberflächenstruktur, die Wasser und Schmutz abweist, ein Phänomen, das als Lotus-Effekt bekannt ist. Diese natürliche Eigenschaft wird inzwischen in selbstreinigenden Oberflächen und wasserabweisenden Materialien in der Technik nachgeahmt. Das kann beispielsweise dazu dienen, die sehr schädlichen fluorhaltigen Ewigkeitschemikalien durch wesentlich umweltfreundlichere Chemikalien zu ersetzen.

Auch der Klettverschluss ist eine von der Pflanzenwelt inspirierte Erfindung. Die Hakenstruktur der Klette diente als Vorlage für diesen vielseitigen Verschlussmechanismus, der heute in zahlreichen Produkten Einsatz findet. Durch neue Technologien wie dem 3D-Druck wird auch dieses klassische Bionik-Beispiel durch immer weitere Anwendungen bereichert.

Diese und viele weitere Nutzungen zeigen das immense Potenzial der Bionik, indem sie uns lehren, wie wir die in der Natur gefundenen Strukturen und Materialien in innovative technische Anwendungen umsetzen können. Alle im Folgenden vorgestellten Strukturen sind darüber hinaus auf aus chemischer Sicht „milde“ Weise (wässrige Lösungen, biologisch abbaubare Reaktanden etc.) entstanden, sodass das Untersuchen biologischer Strukturen auch die Chance auf weitere neuartige umweltschonende Produktionsverfahren verspricht.

Synthetik-Haut ahmt Krakentarnung nach

Kraken gelten als Meister der Tarnung. Diese Kopffüßer besitzen nicht nur die Fähigkeit, ihre Farbe ihrer Umgebung anzupassen, sie sind auch in der Lage, ihre Körperoberfläche der unmittelbaren Umwelt anzugleichen. Nun konnte ein Material entwickelt werden, das dieser Tarnfähigkeit sehr nahekommt. Die synthetische Haut besteht aus einem Fasernetz, das in Silikon eingebettet ist. Analog zur Unterhautmuskulatur der Kraken lässt sich das pneumatisch steuerbare Material so verändern, dass eine beliebig variierbare 3D-Textur entsteht.



Juveniler, nicht spezifizierter Krake zeigt seine Tarnung

Cornell University (US)

<https://derstandard.at/2000065926346/Synthetische-Haut-imitiert-Tarnfaehigkeit-von-Tintenfischen>

<https://www.elektronikpraxis.de/technische-innovationen-inspiriert-von-kraken-a-b5b27d9eac6c8b3d15edd-de6eaea2ed2/>



Textilien wie ein Entenfederkleid

Genauso wie das Federkleid einer Ente funktioniert die Technologie *ecorepel®*. Sie imitiert den natürlichen, wasserabweisenden Schutz und sorgt dafür, dass Textilien trocken und sauber bleiben. Das Prinzip beruht auf langen Paraffinketten, die sich in einem sehr dünnen Film spiralförmig um die einzelnen Fasern legen, wodurch Wassertropfen und sogar wässriger Schmutz mit wesentlich höherer Oberflächenspannung einfach abperlen. Die Atmungsaktivität wird dabei nicht beeinträchtigt.

Schöller Textil AG (DE)

<https://www.schoeller-textiles.com/de/technologien/ecorepel>



Spinnenseide aus dem Labor

Spinnenseide ist, bezogen auf ihre Masse, viermal so belastbar wie Stahl und kann um das Dreifache ihrer Länge gedehnt werden ohne zu reißen. Sie besitzt ein hohes und dem von Wolle vergleichbares Wasseraufnahmevermögen, ist aber dennoch leicht und wasserfest. Spinnfäden sind biologisch abbaubar, widerstehen aber mikrobiologischen Angriffen. Durch die Entschlüsselung der in der Spinne ablaufenden Prozesse der Proteinvernetzung kann nun Spinnenseide technisch nachgeahmt werden. Die auf diese Weise hergestellte biomimetische Seide besitzt eine mechanische Belastbarkeit wie natürliche Spinnenseide. Aufgrund der speziellen Eigenschaften wird an vielfältige Anwendungsmöglichkeiten wie etwa in der Textilindustrie oder der Medizintechnik gedacht.

Universität Bayreuth, Lehrstuhl für Biomaterialien (DE)
<https://www.uni-bayreuth.de/pressemitteilung/Zellspezifische-Spinnenseide>



Muschelklebstoff besonders umweltfreundlich

Der chemische Aufbau dieses neuartigen Klebstoffes ist Muscheln nachempfunden, die sich auf festem Untergrund anheften können und besteht aus dem Biopolymer Polylactosesäure (PLA). Dieser „Bio-Kleber“ ist in der Qualität mit herkömmlichen, erdölbasierten vergleichbar, aber wesentlich umweltfreundlicher.



Korbchenmuscheln

Purdue Universität (US)
<https://phys.org/news/2017-01-shellfish-chemistry-combined-polymer-biodegradable.html>



Nano-Beschichtung schützt Schiffe vor Bewuchs

Biofouling ist ein nicht zu unterschätzendes Problem in der Schifffahrt. Am Rumpf bildet sich durch Ablagerungen und Anwuchs von Meeresorganismen eine immer dicker werdende raue Kruste, die den Widerstand des Schiffes erhöht, so dass der Treibstoffverbrauch ansteigt. Viele der klassischen Antifoulingmittel wie z.B. zinn- oder kupferhaltige Verbindungen sind aber auch schädlich für die Umwelt. Eine von Kanenpflanzen abgeschabte Nanobeschichtung verhindert auf eine schadstoffarme Art das Anwachsen von Organismen am Schiff. Außer für Schiffsrümpfe ist die Beschichtung, die transparent und damit unsichtbar ist, für alle Objekte geeignet, die dauerhaft feucht sind. Dazu gehören auch Sensoren, die die Wassergüte messen, Unterwasserkameras und technische Geräte in Aquakulturen.

Universität Sydney (AU)

<https://www.presetext.com/news/20180112002>

<https://www.stfx.ca/research/research-institutes-centres-networks/biofouling>



Windeln mit optimiertem Flüssigkeitstransport

Linzer Forschende haben sich von den Samentaschen weiblicher Flöhe inspirieren lassen und eine Struktur entwickelt, die Flüssigkeiten passiv und nur in eine Richtung transportiert, sogar gegen die Schwerkraft. Diese Struktur besteht aus einer kugelförmigen Kammer mit einem wurmartigen Fortsatz und nutzt Kapillar- und Benetzungsphänomene, um den Flüssigkeitsfluss zu steuern. Die Wissenschaftler:innen bauten das System vergrößert nach und stellten fest, dass es Flüssigkeiten effektiv transportiert. Erste Anwendungsideen umfassen Babywindeln, Tampons und Wundauflagen, wo dieses Prinzip den Flüssigkeitstransport optimieren könnte.



Johannes Kepler Universität Linz (AT)

RWTH Aachen University (DE)

<https://www.derstandard.at/story/2000074327087/>

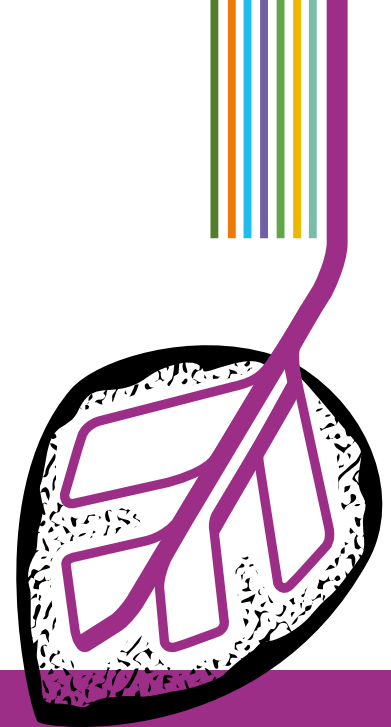
[samentaschen-von-floehen-koennten-helfen-windeln-zu-verbessern](https://link.springer.com/article/10.1007/s42235-017-0003-7)

<https://link.springer.com/article/10.1007/s42235-017-0003-7>



3.4

Energie und Effizienz



Die Energiebionik ist ein faszinierendes Forschungsfeld, das sich mit der **Energieumwandlung** und dem hocheffizienten **Energiehaushalt in Organismen** auseinandersetzt. Ziel ist es, diese natürlichen Mechanismen auf technische Systeme und Geräte zu übertragen, um innovative und effizientere Methoden zur Energiegewinnung und -umwandlung zu entwickeln. Österreich nimmt hierbei eine Vorreiterrolle ein, so hat z.B. die FH Kärnten in Villach schon 2009 die erste international anerkannte akademische Ausbildung in Form eines Masterstudiengangs ausgerollt.⁶

Die Natur bietet eine Fülle von Inspirationsquellen für **innovative Energielösungen**. Pflanzen beispielsweise fungieren als kleine Kraftwerke, die durch Photosynthese ihre eigene Energie produzieren und dabei Sauerstoff freisetzen. Doch nicht nur von Pflanzen wurde im historischen Kontext abgekupfert. Ein Anreiz, der zur genauen Beobachtung von tierischen Bauten führte, ist beispielsweise das Streben nach höherem Wohnkomfort. Lüftung, Kühlung und Heizung sollten passiv funktionieren und somit Energie und Arbeit einsparen. Anfang der 1970er Jahre untersuchte z.B. der Amerikaner S. Vogel die Belüftung in Präriehundbauten in Nordamerika. Er entdeckte, dass Präriehunde an einem ihrer Baueingänge einen hohen, steilwandigen Kegel und am anderen Eingang eine flache Kuppel bauen. Dieser Höhenunterschied erzeugt bei Wind eine Druckdifferenz, die eine kontinuierliche Luftströmung durch den Bau bewirkt. Diese natürliche Belüftung, die ohne eigenen Energieaufwand funktioniert, basiert auf dem Bernoulli-Effekt⁷ und macht den Bau bewohnbar. Ähnliche Prinzipien werden schon seit geraumer Zeit in der traditionellen vorasiatischen Architektur eingesetzt.

Die Energiebionik setzt sich jedoch nicht nur mit Belüftung und Temperaturkontrolle auseinander. An der Johannes Kepler Universität in Linz werden beispielsweise die detaillierten Reaktionsvorgänge der Photosynthese intensiv erforscht, die neue revolutionäre Wege der Energiegewinnung eröffnen könnten. Diese vielseitigen Ansätze zeigen das enorme Potenzial der Energiebionik, natürliche Prozesse zu nutzen, um nachhaltige und effiziente Energielösungen für die Zukunft zu entwickeln.

⁶ Fachhochschulstudium Bionik – Biomimetics in Energy Systems (MSc)

⁷ Der Bernoulli-Effekt beschreibt, dass in einer strömenden Flüssigkeit oder einem Gas der Druck sinkt, wenn die Geschwindigkeit der Strömung steigt.

Energiespeicher mit Bienenwabenstruktur



Bienenwaben-
zellen von *Apis mellifera carnica*, der
Kärntner Biene

Forscher:innen der TU Ilmenau haben einen neuartigen Super-Energiespeicher für Mikrochips entwickelt, der eine effizientere Raumnutzung ermöglicht. Der Speicher weist eine mit modernen Mikro-Batterien vergleichbare Energiedichte auf, aber eine höhere Leistungsdichte pro Fläche. Entscheidend dafür ist ein Nano-Gerüst aus Aluminiumoxid, das die Struktur von Bienenwaben nachahmt. Die Technologie eignet sich besonders für Anwendungen mit hohen Anforderungen an Leistungsdichte und Laufzeit, wie „Smart Cities“, das „Internet der Dinge“ und RFID-Technologie (also für Verfahren zur automatischen, kontaktlosen Identifizierung mit Radiowellen wie z.B. für Ausweise oder die Überwachung von Industrieanlagen).

Technische Universität Ilmenau (DE)

<https://www.mdr.de/wissen/naturwissenschaften-technik/vorbild-bienenwabe-ilmenauer-wissenschaftler-bauen-super-energiespeicher-fuer-chips-100.html>

<https://www.nature.com/articles/s41467-019-14170-6>



Energie aus Wind und Regen

Die Energiegewinnung beschränkt sich nicht nur auf Photovoltaik, auch andere kreative Formen der Energieerzeugung wurden in den letzten Jahren mit Vorbildern aus der Natur entwickelt. Forschende der TU Ilmenau entwickelten beispielsweise ein „Multi-Energie-System“ zur kreativen Stromerzeugung aus Wind und Regen. Es besteht aus zwei Komponenten:

➤ **Triboelektrischer Nanogenerator (TENG):** Erzeugt Strom aus Windenergie durch Schichten aus Nylonfasern, Teflon und Kupferelektroden. Maximale Leistung: 252 V bei 57,6 μ A

➤ **Tröpfchenbasierter Energiegenerator (DEG):** Gewinnt Energie aus Regentropfen mittels Teflon und leitfähiger Elektrode. Maximale Leistung: 113 V bei 67 μ A

Beide Generatoren wurden blattförmig gestaltet und in eine Kunststoffpflanze integriert. In Tests erzeugte das System genug Strom, um zehn LEDs zum Flackern zu bringen. Für künftig geplante größere Systeme wäre auch die Umweltfreundlichkeit der verwendeten Materialien zu bedenken. So ist zum Beispiel Teflon wegen der darin eingesetzten fluorhaltigen „Ewigkeitschemikalien“ umstritten.



Die künstlichen
Blätter (hellorange)
erzeugten Strom

Technische Universität Ilmenau (DE)

<https://futurezone.at/science/windenergie-generator-regen-tropfen-strom-erneuerbare-energien-kraftwerk/402747754>

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.3c03620>



Hightech-Textilien wie ein Eisbärfell

Jedes einzelne Eisbärhaar ist eine durchsichtige Hohlaser, die Sonnenstrahlung wie durch eine Lichtleitung direkt zur dunklen Eisbärhaut bringt. So kann der Körper ein Maximum an Wärmeenergie aufnehmen und das Fell wirkt durch den hohen Luftanteil zugleich wärmeisolierend und wasserabweisend. Der spezielle Aufbau mit weitgehend hohlem Kern und harter Ummantelung macht die Haare biegsam und fest zugleich. Umgesetzt wird dieses Prinzip zum Beispiel bei modernen Funktionstextilien oder textilen Sonnenlicht-Kollektoren. Ein neuer Ansatz soll Fasern aus Aerogelen, die zwar gut wärmeisolierend jedoch aufgrund ihrer Porosität bisweilen nicht für Textilien geeignet schienen, für Kleidung nutzbar machen. Wird die Struktur des Eisbärhaares mit einem Aerogel aus einem Polymer umhüllt von einem thermoplastischen Polyurethan nachgebaut, erhält man eine praxistaugliche Faser, die Dehnungen und Waschvorgängen über einen längeren Zeitraum standhält.

Zhejiang University (CN)

<https://www.wissenschaft.de/technik-digitales/thermofasern-nach-vorbild-des-eisbaerenfells-entwickelt/>

<https://www.derstandard.at/story/3000000201240/von-eisbaerfell-inspirierter-pulli-waermt-besser-als-eine-dicke-daunenjacke>

<https://www.science.org/doi/10.1126/science.adj8013>



Windräder leiser dank Eulen

Vögel inspirieren nicht nur zur Energieeffizienz, sondern auch zur Lärmreduzierung bei Windrädern. Hier dient der lautlose Flug von Schleiereulen als Vorbild. Ihre Schwingen mit Federkamm und Fransen verbessern Aerodynamik und reduzieren somit Schall. Siemens Gamesa (DE) hat Rotorblätter mit Verzahnungen entwickelt, die die Lautstärke um 2 bis 3 Dezibel senken. Forschende der Jiaotong-Universität Xi'an simulierten eine mögliche Verbesserung auf 5,47 Dezibel. Zur Einordnung: Zehn Dezibel verdoppeln die wahrgenommene Lautstärke. Leisere Windräder können unter Vollast laufen und somit mehr Energie produzieren, was zu einer Effizienzsteigerung führt.



Schleiereule
im Flug

Jiaotong-Universität Xi'an (CN)

<https://www.weltderphysik.de/gebiet/technik/nachrichten/2022/leise-windraeder-nach-dem-vorbild-von-eulen/>



Power Plants mit künstlicher Photosynthese

Ein in der Fachzeitschrift *nature* veröffentlichter Artikel zeigt das Potenzial der Grundlagenforschung zur Photosynthese. Die Autoren entwickelten ein neuartiges Katalyse-System aus Kobalt-Eisen-Verbindungen, das die Photosynthese effizient nachahmt. Diese Entwicklung adressiert die Herausforderung der Stromspeicherung, da Brennstoffe in Gas- oder Flüssigform einfacher zu lagern sind als elektrischer Strom. Das System eröffnet neue Möglichkeiten, die Photosynthese künstlich nachzubauen und als nachhaltige Energiequelle zu nutzen. Dies könnte Durchbrüche in der Entwicklung von Solar-Brennstoffzellen und anderen bioinspirierten Energietechnologien ermöglichen.

Freie Universität Berlin (DE)
Università degli Studi dell'Aquila (IT)
<https://www.nature.com/articles/s41586-023-06008-5>
<https://www.weltderphysik.de/gebiet/technik/energie/erneuerbare-energien-kuenstliche-photosynthese-ist-heute-schon-moeglich/>



Blätter machen Solarenergie effizienter

Solar- bzw. Photovoltaikzellen werden hauptsächlich zur Strom- oder Warmwasserproduktion genutzt, doch ihr Potenzial ist noch nicht vollends ausgeschöpft. Forschende am Imperial College London haben durch die Analyse von Laubblättern die Funktionsweise von Solarzellen verbessert und gleichzeitig Trinkwasser aufbereitet. Das Verfahren ahmt den Wassertransport in Pflanzen nach: Das bewegte Wasser kühlt die Zellen und wird dabei aufbereitet, was die Stromproduktion um 10 % steigert. Bei Implementierung in alle bis 2050 weltweit geplanten PV-Anlagen könnten jährlich 40 Mrd. m³ Trinkwasser aufbereitet werden. Durch dieses „Nebenprodukt“ Trinkwasser würde sich die Effizienz einer herkömmlichen PV-Zelle um das Fünf- bis Sechsfache erhöhen.

Imperial College London (UK)
<https://www.forstpraxis.de/blaetter-machen-solarenergie-effizienter-natur-als-vorbild-im-klimawandel-22600>
<https://www.nature.com/articles/s41467-023-38984-7>



Turbinenschaufeln mit Kondor- Winglets

Das „Project Condor“ zeigt neuartige Spitzen für Windturbinenschaufeln, die sich an den Flügelspitzen des Andenkondors orientieren. Durch Anordnung einiger Federn mit Überlänge schafft es der Kondor, Turbulenzen zu verringern und damit große Strecken ohne Flügelschlag zurückzulegen. Die an den Windturbinen nachgerüsteten „Kondor-Winglets“ verringern die Verwirbelungen an der Spitze und sorgen somit für Leistungsanstiege von ca. 10 %. Bei einer weltweiten Implementierung und Nachrüstung entspräche das rechnerisch 50 % des jährlichen deutschen Strombedarfs; für Österreich würde das - berechnet nach Daten der Eurostat (2024) - den vierfachen Bedarf decken.⁸

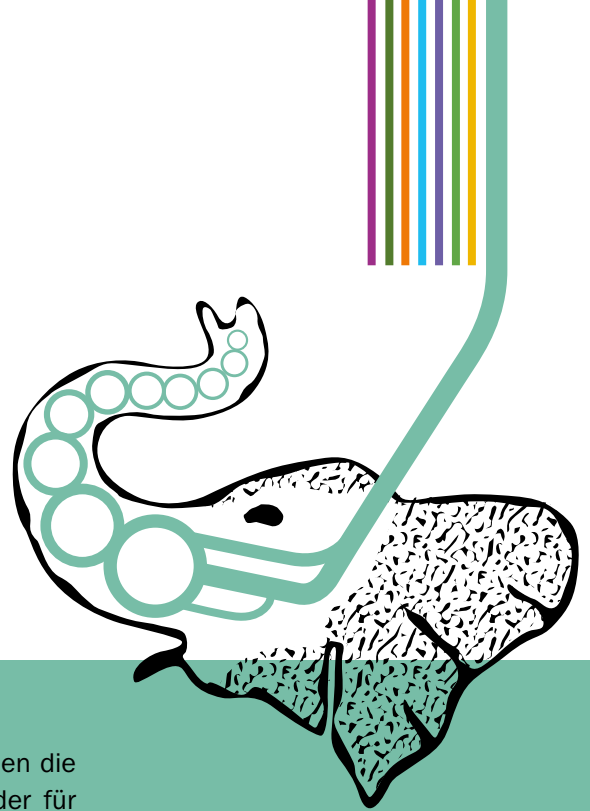
Biome Renewables Inc. (CA)
<https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/energie/vorbild-kondor-windraeder-werden-effektiver/>



⁸ Berechnungen anhand: Eurostat. (2024). Energy balances in Excel format (2024 edition). Retrieved July 11, 2024
<https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/database/additional-data#Energy%20balances>

3.5

Robotik und Sensorik



Im Forschungsfeld der bionisch inspirierten Robotik und Sensorik dienen die **natürlichen Bewegungsabläufe von Tieren und Menschen** als Vorbilder für technische Anwendungen. Diese werden unter dem Gesichtspunkt der Übertragbarkeit in die Technik analysiert und nachgeahmt. Um Robotik und Sensorik im Kontext der Bionik zu verstehen, muss der Begriff des Roboters und dessen Entstehungsgeschichte betrachtet werden.

Das Bedürfnis, Arbeiten durch einen nicht-tierischen oder nicht-menschlichen Helfer durchzuführen, geht weit zurück. Ein literarisches Beispiel ist der „Zauberlehrling“ von Johann Wolfgang von Goethe (1797). Der Zauberlehrling möchte sich die Arbeit des Wasserholens ersparen und verzaubert daher den Besen, damit dieser ihm die Arbeit abnimmt. Solche Helfer wurden in dieser Zeit noch nicht entwickelt und waren in der Literatur eher im Reich der Zauberei angesiedelt.

Im 18. Jahrhundert waren die ersten wirklichen Vorläufer der Roboter mechanische Geräte, die als „Automaten“ bezeichnet wurden. Aus bionischer Sicht war der Mensch in dieser Zeit das primäre Vorbild für die ersten Androiden, die jedoch eher der Unterhaltung dienten.

Von „Robotern“ war erstmals 1921 die Rede, als der Begriff im Science-Fiction-Theaterstück „Rossum’s Universal Robots“ von Karel Čapek auftauchte, wobei das slawische Wort „robota“ „Arbeit“ bedeutet. Auch in diesem Bühnenstück werden Roboter zur Erleichterung des menschlichen Alltags herangezogen.

Mitte des 20. Jahrhunderts folgten die ersten (Industrie-)Roboter, die auch eine gewisse Mobilität aufwiesen. Im experimentellen Roboter „Shakey“ vom Stanford Research Institute wurden 1968 Technologien integriert, die man heute als bionisch beschreiben würde. Eine Kamera diente als Sichtsystem und taktile Sensoren ermöglichten es, Hindernissen auszuweichen und einfache Objektmanipulationen durchzuführen.

Bemerkenswert ist, dass sich die Robotik heute **nicht nur auf terrestrische Anwendungen** beschränkt. Beispiele wie ein eidechsenartiger Roboter zur Mars-Erkundung aus China oder ein schlangenartiger Roboter zur Suche nach Leben auf dem Saturnmond Enceladus zeigen, dass bionische Roboter auch in der Weltraumforschung eine wichtige Rolle spielen. Diese vielfältigen Anwendungen verdeutlichen, wie die Bionik kontinuierlich die Grenzen von Robotik und Sensorik erweitert und innovative Lösungen für komplexe technische Herausforderungen sowohl auf der Erde als auch im Weltraum bietet.

Kunstmuskel zum Kompostieren



gripper lettuce - kompostierbarer Roboter-greifer

Ein Forschungsteam der Johannes Kepler Universität Linz hat in internationaler Zusammenarbeit biologisch abbaubare künstliche Muskeln (Aktuatoren) aus Gelatine, Pflanzenöl und Biokunststoff für Roboter entwickelt. Aufgrund ihrer Zusammensetzung und der verwendeten Materialien sind sie kompostierbar und erweitern somit die Möglichkeiten der Nachhaltigkeit im Bereich der Robotik, ohne dabei Leistungseinbußen gegenüber nicht abbaubaren Materialien zu haben. HASEL (Hydraulically Amplified Self-healing Electrostatic actuator), so der Name des Muskels, kann sich mittels elektrostatischer Kräfte, die Öl in einem Beutel verschieben, anspannen und wieder erschlaffen. Die Komponenten von HASEL sind besonders für Einweganwendungen geeignet, wo biologische Abbaubarkeit entscheidend ist, denn funktioniert ein Bauteil nicht mehr, so kann es in der Biotonne entsorgt werden.

Johannes Kepler Universität Linz, Abteilung Physik weicher Materie und LIT Soft Materials Lab (AT)

<https://www.jku.at/news-events/news/detail/news/jku-forscherinnen-bauten-kompostierbare-roboter-muskeln/>



Roboterarm nach Elefantenrüssel-Vorbild

Dass Nasen nicht nur als Inspiration für künstliche Riechorgane dienen können, zeigt dieses Beispiel. Der Elefantenrüssel ist ein beliebtes Vorbild in der Bionik, da er eine einzigartige Kombination aus enormer Kraft, feiner Motorik und hoher Sensibilität besitzt. Diese Eigenschaften können in vielseitigen, hocheffizienten technischen Vorgängen Anwendung finden.



Yannik Goergen hat den bionischen Roboterrüssel im Rahmen seiner Promotion entwickelt.

Forschende der Universität des Saarlandes haben einen bionischen Arm entwickelt, der aus feinen Nickel-Titan-Drähten besteht, die als künstliche Muskeln und Nerven fungieren. Im Gegensatz zu herkömmlichen Industrierobotern kommt er ohne starres Metallgerüst aus, was ihn leichter, flexibler und sicherer für die Zusammenarbeit mit Menschen macht. Die Formgedächtnislegierung ermöglicht präzise Bewegungen durch elektrische Impulse, während Widerstandsänderungen in den Drähten eine genaue Positionsbestimmung erlauben.

Universität des Saarlandes (DE)

<https://www.uni-saarland.de/aktuell/hannover-messe-bionische-roboterarme-elefantenruesel-26426.html>



Soft-Robotik

Ein Team der Johns Hopkins University hat einen gallertartigen Roboter, genannt "Gelbot", entwickelt, der sich allein durch Temperaturänderungen fortbewegt. Der Antrieb basiert auf dem Quellen und Schrumpfen von Gel, ohne Kabel oder externe Stromversorgung. Die Gelbots bestehen aus zwei unterschiedlichen Gelen, die auf Temperaturänderungen unterschiedlich reagieren, was ihre wellenartige Fortbewegung ermöglicht. Hergestellt mittels 3D-Drucker könnten diese Roboter in der Medizin, z.B. für gezielte Medikamentenabgabe, oder in maritimen Einsatzgebieten Anwendung finden. Die Aktivierung dieser Gelbots soll durch Veränderungen biochemischer Stoffe oder menschlicher Biomarker initiiert werden.

Johns Hopkins University Baltimore (US)

<https://www.techblog.festo.at/kuenstlicher-wurm-mit-temperaturantrieb>



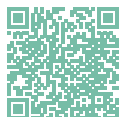
Bionik-Finger mit Tastsinn

Eine alternative Möglichkeit zu Röntgen und Ultraschall, um das Innenleben von Körpern und Geräten zu erfassen, wurde von Forscher:innen einer chinesischen Universität entwickelt. Es handelt sich dabei um einen bionischen Finger, der das Innere von Objekten und Körpern ertastet und anschließend in 3D abbilden kann. Inspiriert vom menschlichen Tastsinn, nutzt das Gerät „Stoß- und Stupps-Scans“, bei denen Kohlenstofffasern komprimiert werden. Aus dem Grad der Kompression kann Rückschluss auf Eigenschaften des Objekts gezogen werden. Zusätzlich zu seinem Vorbild kann der künstliche Finger auch innere Merkmale und Strukturen komplexer Objekte, wie z.B. ein simuliertes Blutgefäß unter einer Muskelschicht, lokalisieren.

Wuyi Universität in Jiangmen, Provinz Guangdong (CN)

<https://www.mdr.de/wissen/bionische-finger-dreid-tasten-gewebe-100.html>

[https://www.cell.com/cell-reports-physical-science/fulltext/S2666-3864\(23\)00012-7](https://www.cell.com/cell-reports-physical-science/fulltext/S2666-3864(23)00012-7)



Roboter mit Milbenkrallen

Biolog:innen der Uni Graz fanden heraus, dass Milben, eine Unterklasse der Spinnentiere, je nach Lebensraum unterschiedliche Krallenformen entwickeln. Milben in felsigen Gegenden haben robustere, stärker gekrümmte Krallen, während solche in Mangroven dünnere, weniger gekrümmte Krallen besitzen. Diese Erkenntnisse sind auch für technische Entwicklungen in der Bionik von Bedeutung. Roboter mit krallenartigen Strukturen könnten beispielsweise Wände erklimmen oder in Erdbebengebieten in Hohlräume vordringen.

Universität Graz, Institut für Biologie (AT)

<https://www.uni-graz.at/en/news/krallen-zeigen/>

<https://peerj.com/articles/8488/>



Foto: T. Pfingstl

Milbe mit markanten Krallen

Schneckenroboter – Gleiten als Fortbewegungsmethode

Schnecken als Kletterroboter der nächsten Generation? Forschende der University of Bristol haben einen „Schneckenroboter“ entwickelt, der von der gleitenden Fortbewegung von Schnecken an senkrechten Wänden inspiriert wurde. Ein Saugnapf ermöglicht es dem Roboter, mittels adhäsivem Gleitverhalten schwere Lasten (bis zum zehnfachen des Eigengewichts) stabil und schnell auf senkrechten Wänden zu transportieren. Er ist somit gut zur Inspektion schwer zugänglicher Oberflächen geeignet. Da Wasser als Ersatzgleitschleim eingesetzt wird, bleibt nur ein Wasserfilm zurück, der schnell verdunstet und keine Rückstände hinterlässt. Ein zentraler Vorteil gegenüber Robotern mit Beinen ist, dass zum Betrieb des Saugmechanismus des Schneckenroboters sehr viel weniger Energie benötigt wird.

University of Bristol (UK)

<https://www.pressetext.com/news/20240517026>

<https://www.nature.com/articles/s41467-024-48293-2>



Kunstnasen unterschiedlicher Art

Im Bereich künstlicher Geruchssensoren hat sich in den letzten Jahren einiges getan, denn die Natur dient auch hier als große Inspirationsquelle:

- **Smellect:** Ein Sensor des Karlsruher Instituts für Technologie KIT (DE) erkennt schnell gefährliche Gerüche.

<https://www.kit.edu/kit/23706.php>



- **SmellTracker zur Covid-19-Erkennung:** Am Weizmann Institute of Science (IL) wird erforscht, ob Sensoren eine Coronavirus-Infektion anhand von Geruch diagnostizieren können.

<https://www.weizmann.ac.il/WeizmannCompass/sections/briefs/a-sniff-test-for-coronavirus>



- **Smellicopter:** Drohne der University of Washington (US) mit einer Mottenantenne zur präzisen Geruchserkennung, z.B. zur Detektion von Gasaustritten und zum Auffinden von Sprengstoffen.

<https://www.washington.edu/news/2020/12/07/smellicopter-avoids-obstacles-uses-live-moth-antenna-to-smell/>



- **Atemanalyse für Früherkennung:** Fraunhofer IPMS entwickelt Spektrometer zur Früherkennung von Krankheiten durch die Analyse von Atemluft.

<https://www.ipms.fraunhofer.de/de/Components-and-Systems/Components-and-Systems-Sensors/Spectroscopy-Systems-and-Components/Ionenmobilitaetsspektrometer-IMS.html>



- **Nano Nose:** Das Massachusetts Institute of Technology (MIT) forscht gemeinsam mit anderen Institutionen an einem Sensor, der den Geruchssinn von Hunden zur Erkennung von Krankheiten, wie z.B. Prostatakrebs, nachahmt.

<https://news.mit.edu/2021/disease-detection-device-dogs-0217>



- **Odeuropa:** Das europäische Forschungsprojekt beschäftigt sich mit der Rekonstruktion historischer Gerüche mittels KI-Analyse von Texten (Beschreibung von Zeitgenossen) und Bildern.

<https://odeuropa.eu>

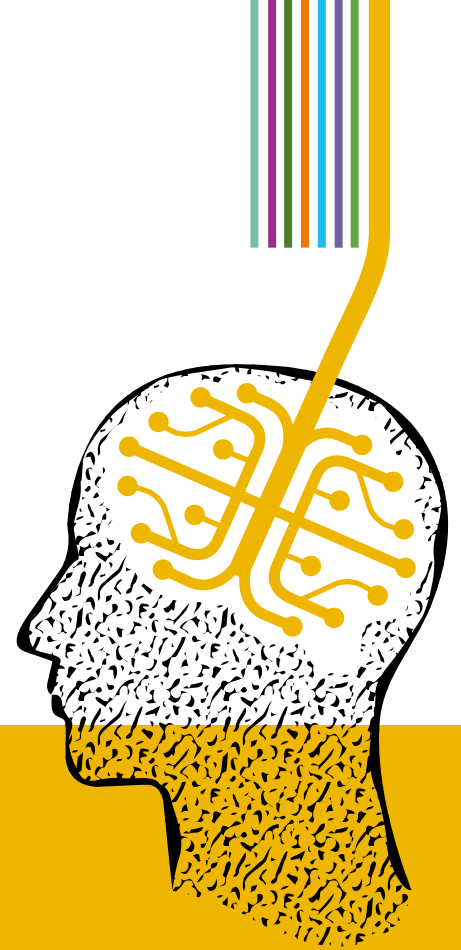


<https://www.derstandard.at/story/2000125991215/natur-als-inspirationsquelle-fuer-kuenstliche-nasen>



3.6

Künstliche Intelligenz und KI-Systeme



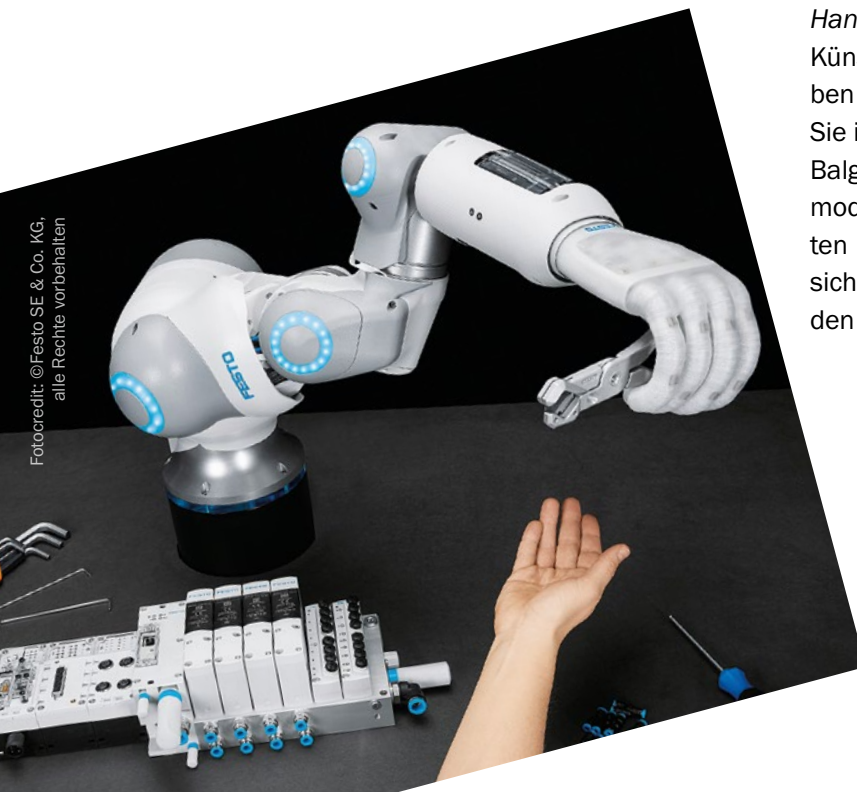
Eine der zeitlich jüngsten Zweige der Bionik sind die KI-Systeme, wobei die „Künstliche Intelligenz“ per se von der Natur inspiriert ist, was dieses Kapitel von anderen abhebt. Neben den allgemeinen **Prinzipien von Gehirnen und neuronalen Netzwerken**, die in technischen Systemen analog verwendet werden, können auch spezifische Eigenschaften, z.B. das Sehvermögen von Insekten, als Grundlage für bionische Entwicklungen dienen.

Schon in den 1970er und 1980er Jahren gab es erste Versuche, das menschliche Gehirn in künstlichen neuronalen Netzwerken nachzubilden. Allerdings führten beschränkte Rechenleistungen und auch (programmier-)technische Hindernisse dazu, dass diese Technologien zu dieser Zeit noch nicht in einem größeren Umfang praktisch verwendet wurden. Erst in den letzten Jahren wurden Netzwerke, bestehend aus vielen künstlichen Neuronen, die miteinander verbunden sind und Informationen ähnlich wie das menschliche Gehirn verarbeiten können, entwickelt.

Ein in der Praxis schon seit Jahren verwendetes Beispiel ist die Mustererkennung von menschlichen Gesichtern, die für die Entwicklung von Gesichtserkennungssoftware verwendet wird. Diese Technologie basiert auf der Nachbildung der biologischen Mechanismen, die Menschen zur Erkennung und Unterscheidung von Gesichtern nutzen. Algorithmen, die auf diesen Prinzipien basieren, können hochpräzise Erkennungsergebnisse liefern und finden Anwendungen in Sicherheits- und Überwachungssystemen sowie in personalisierten Benutzeroberflächen.

Ebenso tragen bioinspirierte Forschungen zur Entwicklung von Computerchips bei, die direkt das menschliche Gehirn imitieren, im Sinne sogenannter „neural network chips“. Diese Chips sind darauf ausgelegt, neuronale Netzwerke effizient zu implementieren, was zu einer erheblichen Verbesserung der Rechenleistung und Energieeffizienz führen kann. Durch die Integration dieser Technologien in verschiedene Anwendungen wie autonome Fahrzeuge, Gesundheitswesen und Robotik wird eine neue Ära der intelligenten Systeme eingeleitet. Insgesamt steht die „KI-Bionik“ noch am Beginn der praktischen Umsetzung, hat aber das Potenzial, durch die **Integration natürlicher Intelligenz in künstliche Systeme** revolutionäre Fortschritte zu erzielen.

Kunst-Hand lernt mit Künstlicher Intelligenz



Fotocredit: © Festo SE & Co. KG,
alle Rechte vorbehalten

Damit die *BionicSoftHand* sicher und direkt mit dem Menschen interagieren kann, wird sie pneumatisch betrieben.

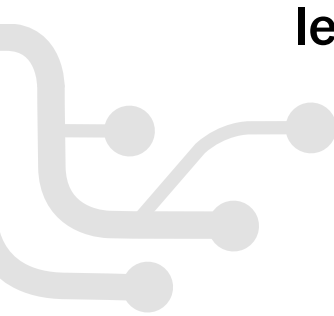
Festo, eine der im Bereich fortgeschrittener Robotertechnologie tätigen Firmen, präsentierte die *BionicSoftHand*, eine pneumatische Roboterhand, und den *BionicSoftArm*, einen flexiblen Leichtbauroboter, als innovative Lösungen für die Mensch-Roboter-Kollaboration. Die *BionicSoftHand*, inspiriert von der menschlichen Hand, lernt mithilfe Künstlicher Intelligenz (Reinforcement Learning) Aufgaben wie das Drehen eines Würfels durch Trial-and-Error. Sie ist leicht, anpassungsfähig und kraftvoll dank flexiblen Balgstrukturen und einem speziellen 3D-Textilmantel. Der modulare *BionicSoftArm* erweitert die Einsatzmöglichkeiten durch Flexibilität und Nachgiebigkeit, ermöglicht eine sichere Zusammenarbeit mit Menschen und vereinfacht den Einsatz in variierenden Produktionsszenarien.

Festo Gesellschaft m.b.H., Wien (AT)

https://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20190304_OTS0018/bionic-trifft-auf-kuenstliche-intelligenz



Autonome Systeme lernen von Ameisen



Das kollektive Verhalten sozialer Insekten wie Ameisen kann als Grundlage dienen, um innovative Ansätze für autonome Systeme zu entwickeln. Forscher:innen der Arizona State University analysierten Entscheidungsprozesse und Koordination innerhalb von Insektenkolonien, um Erkenntnisse für die Verbesserung von Drohnenschwärmen und anderen vernetzten Systemen zu gewinnen. Diese Forschung könnte unter anderem die Effizienz und Resilienz von autonomen Systemen in unvorhersehbaren Umgebungen verbessern, indem sie Methoden der Natur nachahmt. Ein besonderer Fokus liegt auf der Anwendung dieser Erkenntnisse in der Such- und Rettungsrobotik.

Arizona State University (US)

<https://fullcircle.asu.edu/research/combining-biomimicry-with-artificial-intelligence-technology/>



Neurochip von ChatGPT4 entworfen

Ein Team an der Johns Hopkins University benutzte ChatGPT4, um einen neuronalen Netzwerk-Chip zu entwerfen, der wie das menschliche Gehirn funktioniert. Durch schrittweise Anweisungen in natürlicher Sprache an ChatGPT4 entwickelten sie ein vollständiges Chip-Design, beginnend mit einem einzelnen biologischen Neuron und erweiternd zu einem vollständigen Netzwerk. Dieser von KI entworfene Chip mit benutzerfreundlicher Schnittstelle ist ein bahnbrechendes Beispiel dafür, wie Künstliche Intelligenz KI-Hardware erschaffen kann. Nach Validierung durch Software-Simulationen wird das Design nun mit einem kostengünstigen 130-Nanometer-CMOS-Prozess⁹ gefertigt. Diese Innovation zeigt das Potenzial von KI, die Entwicklung von KI-Hardware erheblich voranzutreiben.

Johns Hopkins University (US)

<https://techxplore.com/news/2024-03-collaborate-chatgpt4-brain-chips.html>

<https://arxiv.org/pdf/2402.10920>

⁹ CMOS ist ein komplementärer Metalloxid-Halbleiter.



KI nach dem Vorbild des Gehirns

Das menschliche Gehirn kann als Vorbild eingesetzt werden, um die Grenzen der heutigen Computerchips und die Ineffizienz Künstlicher Intelligenz zu überwinden, indem sowohl Software als auch Hardware nach dem biologischen Modell gestaltet werden. Projekte wie das *Human Brain Project* der EU haben gezeigt, dass die Nachbildung neuronaler Netzwerke, wie der visuelle Kortex einer Maus, zu präziseren und weniger fehleranfälligen KI-Systemen führen kann. Durch die Entwicklung von sogenannten neuromorphen Chips, die ähnlich wie biologische Synapsen arbeiten, hoffen Forscher:innen auf energieeffizientere und leistungsfähigere KI-Modelle, die in Bereichen wie autonomes Fahren und medizinischer Überwachung eingesetzt werden können.



Das menschliche Gehirn als Vorbild für KI

Verschiedene europäische Forschungseinrichtungen und -gruppen u.a. Forschungszentrum Jülich (DE)

<https://www.spektrum.de/news/neuromorphe-computer-rechnen-wie-das-gehirn/2196684>

<https://www.humanbrainproject.eu/en/>



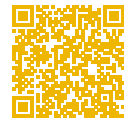
Hinderniserkennung durch bio-inspirierte KI-Kamera

Die Kombination einer bio-inspirierten Kamera mit Künstlicher Intelligenz ermöglicht, Fußgänger:innen und Hindernisse 100-mal schneller zu erkennen als aktuelle Auto-kameras. Diese neue Technologie könnte die Sicherheit von Fahrassistenzsystemen und autonomen Fahrzeugen erheblich verbessern. Das hybride System nutzt sowohl eine Standardkamera als auch eine Ereigniskamera, wodurch es schnelle Bewegungen ohne Verzögerung erfassen kann. Tests zeigten, dass dieses System Objekte mit weniger Daten und geringerer Rechenleistung erkennen kann, was besonders bei hohen Geschwindigkeiten für zusätzliche Sicherheit sorgt.

Universität Zürich (CH)

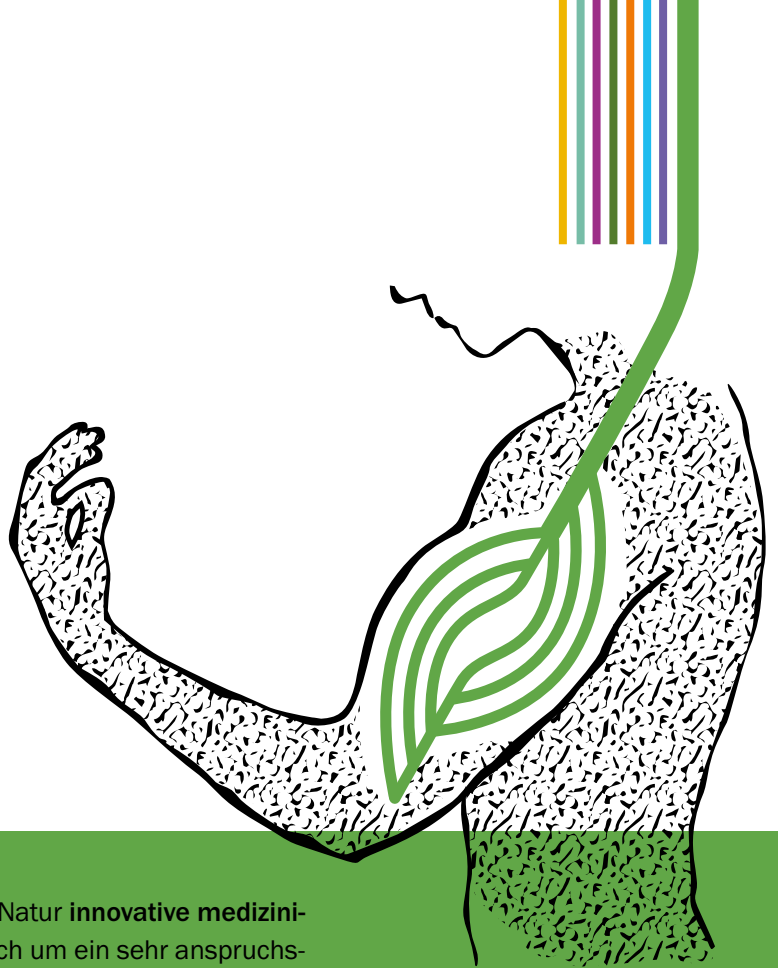
<https://techxplore.com/news/2024-05-bio-cameras-ai-drivers-pedestrians.html>

<https://www.nature.com/articles/s41586-024-07409-w>



3.7

Biomedizinische Technik



Dieses Kapitel beleuchtet, wie die Erfindungsgabe der Natur **innovative medizinische Lösungen** inspiriert und vorantreibt. Es handelt sich um ein sehr anspruchsvolles und dynamisches Forschungsfeld, in dem man versucht, komplexe Probleme anhand von Ideengebern aus der Natur ingenieurwissenschaftlich zu lösen.

Auch wenn man mittelalterliche Handprothesen, die die Klauen von Raubtieren nachbilden, nach heutigem Standard nur bedingt als biomedizinische Technologie bezeichnen kann, so ermöglichte diese Erfindung einen Vorteil im Kampf. Die Weltkriege und die Vielzahl an Verwundeten sorgten im 20. Jahrhundert für einen Entwicklungsschub in der Prothesentechnik. Durch Seilzüge, Bolzen und Sprungfedern wurde versucht, die ursprünglichen Funktionen der Körperteile nachzubauen. Der deutsche Chirurg Ferdinand Sauerbruch entwickelte eine Armprothese, die sich mittels eines in den Oberarmmuskel eingesetzten Elfenbeinstiftes durch Anspannen des Muskels steuern ließ. Auch wenn das Entzündungsrisiko zu groß war und sich diese Prothese nicht durchsetzen konnte, so war die Idee einer willentlich steuerbaren Prothese wegweisend für die Zukunft.

Moderne Werkstoffe und die Fortschritte der Miniaturisierung haben in den letzten Jahren zu einer rasanten Entwicklung der medizinischen Technik geführt und ermöglichen zukunftsweisende Behandlungsverfahren wie die sehr schonende „Schlüsselloch-Chirurgie“. Doch der Einfallsreichtum der Natur verspricht noch weitaus mehr Raum zur Innovation und ist bei Weitem noch nicht ausgeschöpft – die Vielfalt der biologischen Vorbilder ist beeindruckend.

Biomedizinische Techniken und Entwicklungen sind **nicht nur auf die Humanmedizin beschränkt**, wie das Beispiel von Wiener Mediziner:innen zeigt, die weltweit zum ersten Mal eine bionische Beinprothese an einen Bartgeier angepasst haben. Von effektiveren Diagnose- und Überwachungsgeräten über die Verbesserung der Biokompatibilität von Implantaten bis hin zu maßgeschneiderten Prothesen für Mensch und Tier – die Bionik hat in der Vergangenheit und kann auch in der Zukunft die Medizin grundlegend verändern.

Echse atmet unter Sand

Der Skink, eine Echsenart, verbringt viel Zeit eingegraben im Sand. Linzer Forscher:innen haben herausgefunden, dass das Tier mit einem einfachen aerodynamischen Filtersystem das Einatmen von Sandkörnern verhindert. Der Sandskink hat keinen eigenen Sandfilter, jedoch einen röhrenförmigen, rund elf Millimeter langen Nasengang, dessen Querschnitt sich verändert. Relativ nahe der Nase erweitert sich die „Röhre“ einmal und wird dann wieder schmaler. Beim Einatmen durch den größeren Querschnitt kommt es zu einem Geschwindigkeitseinbruch der Atemluft, sodass sich der Sand absetzen kann, der anschließend durch hustenartiges Ausatmen entfernt wird. Das Prinzip kommt ohne Membran zum Herausfiltern von Partikeln aus und wurde von den Wissenschaftler:innen als Filter-Vorrichtung mit hoher Lebensdauer und verringerten Wartungskosten zum Patent angemeldet. Dieses Filterprinzip könnte in diversen medizintechnischen Anwendungen Einsatz finden.



Apotheekerskink

Johannes Kepler Universität Linz, Institut für Medizin- und Biomechatronik (AT)

<https://www.jku.at/kepler-tribune/artikel/guter-riecher/>

<https://journals.biologists.com/jeb/article/219/22/3597/16729/Adaptation-to-life-in-aeolian-sand-how-the>



Kunst-Muskeln für humanoide Roboter

Ein Ziel der sich schnell entwickelnden Robotik ist die Gestaltung sogenannter „weicher Roboter“, die besser mit der Umwelt interagieren können und zum Beispiel mit Feingefühl etwas greifen können. Forschende der ETH Zürich haben – abgeschaut von der Natur – künstliche Muskeln auf Basis ferroelektrischer Materialien entwickelt, die leichter, robuster und sicherer sind als ihre Vorgängermodelle. Mit künstlichen Muskeln können körperähnliche Prothesen gestaltet werden. Roboter mit künstlichen Muskeln sollen leichter und sicherer werden, um in direkter menschlicher Umgebung (z.B. in der Krankenhaustechnik) eingesetzt zu werden.

ETH Zürich (CH)

<https://ethz.ch/de/news-und-veranstaltungen/eth-news/news/2024/01/kuenstliche-muskeln-leichter-robuster-sicherer.html>



Gewebeklebstoffe aus Alginaten

Inspiziert vom chemischen Aufbau des klebrigen Schleimes der Braunen Wegschnecke entwickelten Forscher:innen ein Hydrogel aus Alginaten, das Operationswunden ohne Interaktion verschließen kann. Das doppelt geschichtete Hydrogel, das aus einer Alginat-Polyacrylamid-Matrix besteht, kann Organe etwa nach Operationen kleben und erspart eine spätere zusätzliche Operation zur Entfernung der Fäden.

Universität Harvard (US)

<https://wyss.harvard.edu/sticky-when-wet-strong-adhesives-for-wound-healing/>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9503979/>



Medizinprodukte inspiriert durch Ameisen

Ameisen sind ein faszinierendes Vorbild für die Entwicklung neuer medizinischer Technologien und Medikamente. Ameisen können ihre schaufelförmigen Oberkiefer (Mandibeln) mit hoher Präzision und Kraft einsetzen. Dieses Prinzip wurde aufgegriffen um neue Modelle für Nadelhalter in der Mikrochirurgie zu entwickeln. Die verbesserte Beweglichkeit und Kontrolle der Instrumente könnten Operationen erleichtern.

Auch ist eine afrikanische Ameisenart dazu in der Lage, mittels ihrer Metapleuraldrüsen einen Cocktail aus Antibiotika zu mischen, mit dem Verletzte gepflegt werden. Da Antibiotikaresistenzen immer häufiger auftreten, ist das Interesse an neuen, wirksamen Antibiotika hoch.



Rote
Waldameise

Leibniz-Institut zur Analyse des Biodiversitätswandels (DE)

<https://science.orf.at/stories/3223529/>

<https://science.orf.at/stories/3222897/>



Tumorbekämpfung durch Schuppentier

Wissenschaftler:innen am Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme in Stuttgart haben einen Softroboter-Prototyp entwickelt, der durch die Schuppenhaut von Schuppentieren inspiriert wurde. Dieser Roboter ist flexibel und kann durch äußere Magnetfelder im Körperinneren gesteuert werden und dabei seine Form ändern (flache Platte, dünner Zylinder).

Durch Entmagnetisierung des Materials und durch Erhitzung auf 70 °C kann der Roboter gezielt Wirkstoffe freisetzen. Testungen dieser Funktionen wurden bereits an Gewebeproben durchgeführt und stimmen die Forschenden zuversichtlich, dass solche Softroboter zukünftig bei medizinischen Eingriffen eingesetzt werden können, um z.B. Blutungen zu stoppen oder Tumore zu bekämpfen.



Foto: Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme

Frei beweglicher magnetischer Roboter nach dem Vorbild eines Schuppentieres

Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme (DE)

<https://is.mpg.de/de/news/pangolin-the-inspiration-for-medical-robot>

<https://www.nature.com/articles/s41467-023-38689-x>



Insulin-Injektion durch Magenwand

Eine neuartige Methode zur Medikamentenverabreichung könnte zukünftig Spritzen überflüssig machen. Forschende des MIT und des Brigham and Women's Hospital haben eine Kapsel entwickelt, die Medikamente wie Insulin direkt in die Magen- oder Darmwand schießt. Inspiriert von der Tintenfischabwehr nutzt die Technik entweder komprimiertes CO₂ oder eine gespannte Feder als Antrieb.

Die Kapsel ist so konstruiert, dass sie die Medikamentenmoleküle in die submuköse Gewebsschicht abgibt, ohne das Gewebe zu verletzen. Dort wirken die Präparate langsam und schonend.

Die Methode könnte vor allem für chronisch Kranke wie Diabetes-Patientinnen und -Patienten eine wesentliche Verbesserung ihrer Lebensqualität bedeuten.

Massachusetts Institute of Technology (US)

Brigham and Women's Hospital (US)

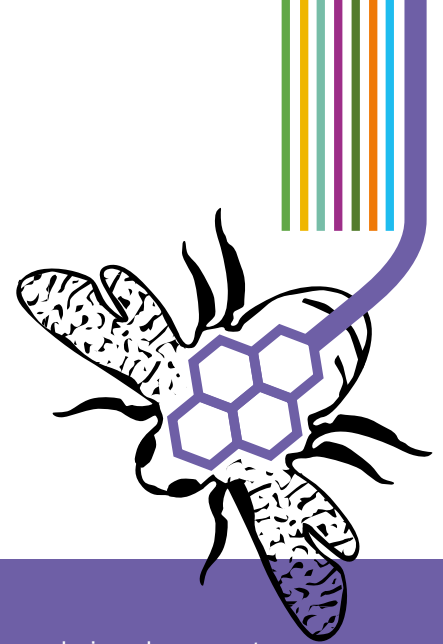
<https://www.pressetext.com/news/20241121020>

<https://www.nature.com/articles/s41586-024-08202-5>



3.8

Organisation und Management



Bionische Lösungen können in Organisation und Management eingebunden werden, wobei auch von systemischem Bionik-Management gesprochen wird. Die Erkenntnisse aus der Erforschung der Art, wie Ökosysteme oder staatenbildende Lebewesen im systemischen Zusammenwirken komplexe Organisationsprobleme meistern, kann für Firmen und Organisationen viele Erkenntnisse liefern und Arbeitsabläufe verbessern.

Ein schon klassisches Beispiel ist die **Schwarmintelligenz**, die sich von der Art und Weise ableitet, wie Ameisenkolonien oder Bienenschwärme komplexe Aufgaben ohne zentrale Steuerung bewältigen. Diese Prinzipien können auf die Organisation von Unternehmen übertragen werden, um flexible und anpassungsfähige Strukturen zu schaffen, die in der Lage sind, effizient auf Veränderungen zu reagieren. Unternehmen nutzen diese Konzepte, um Projektteams zu bilden, die autonom arbeiten und dabei dennoch in ein größeres Ganzes eingebunden sind, wodurch die Innovationsfähigkeit und Reaktionsgeschwindigkeit erhöht werden. Wie in den unten angeführten Beispielen zu sehen ist, wird die Schwarmintelligenz mit Hilfe modernster Technologien noch immer als bionische Anwendung „neu erfunden“.

Ein weiteres Beispiel ist die **Wirkungsnetzorganisation**, inspiriert von den Nahrungsnetzen in Ökosystemen, die durch komplexe Interaktionen zwischen verschiedenen Arten stabil und widerstandsfähig bleiben. In der Unternehmenswelt bedeutet dies die Schaffung von Netzwerken, in denen Abteilungen und Teams interdisziplinär zusammenarbeiten und voneinander lernen. Dies fördert den Wissensaustausch und die gemeinsame Problemlösung, was zu einer robusteren und dynamischeren Unternehmensstruktur führt.

Insgesamt fasst das Abschauen und Nutzen von Managementmethoden aus der Natur bei Strategieentwicklung, Personalpolitik, Innovation und Organisation, also die sog. **Organisations- oder Wirtschaftsbiomik**, in der Wirtschaft, in Unternehmen und anderen Organisationen zunehmend Fuß.

Prozessoptimierung durch evolutionäre Prinzipien

Neuro-Bionik, die Lehren aus der Natur und der Neurobiologie auf technische und organisatorische Prozesse überträgt, findet zunehmend Anwendung in der Optimierung wirtschaftlicher Abläufe. Diese Ansätze nutzen natürliche, ressourcenschonende und energieeffiziente Strategien für Produktion und Projektmanagement. Dabei können Schwarmintelligenz und Rückkopplungssysteme Kommunikationsprozesse verbessern, während didaktische Methoden aus der Neurobiologie helfen, Informationen langfristig im Gedächtnis zu verankern. Die Neuro-Bionik bietet somit innovative Lösungen für nachhaltige und effektive Geschäftsstrategien.



Management-Modelle für Institutionen und Personen

Organisationsmethoden aus der Natur dienen unterschiedlichen Modellen und Tools im Organisations- und Wirtschaftsmanagement als Vorbild. Bereits seit den 1970er Jahren werden derartige Methoden entwickelt. Zu den bekanntesten zählen z.B. das Viable System Model von Stafford Beer oder das Sensitivitätsmodell von Frederic Vester, auf dem z.B. die Methode der Syntegration basiert.

Der österreichische Wirtschaftswissenschaftler Fredmund Malik gilt als Pionier im Bereich des strategischen Managements komplexer Systeme. Er nennt Systemik, Kybernetik und Bionik als wissenschaftliche Grundlagen für die von ihm entwickelten *Malik ManagementSysteme®*. Diese basieren auf der Feststellung, dass „heutige Organisationen hochkomplexe Hybride aus Mensch und Technik, Ergebnisse menschlichen Denkens und Handelns sind. Biologische Wissenschaften liefern aus diesem Grund für das Management von Unternehmen und allen anderen Organisationen substanziellere Hinweise als die Wirtschaftswissenschaften.“

Malik Management Zentrum St. Gallen AG, Fredmund Malik (CH)
<https://www.malik-management.com/de/malik-ansatz/management-cybernetics-systemics-bionics/>



Ein weiteres Beispiel für ein Modell der Organisations- oder Wirtschafts-bionik ist die Methode der *bioSystemik®* der deutschen Biologin Gudrun Happich, der neben der Systemtheorie ebenfalls die Biologie und ihre natürlichen Organisationsformen als Vorbild dienen. Sie nennt die Natur „Meisterin der Nachhaltigkeit, Selbstorganisation, Vernetzung und Kooperation“ und definiert u.a. Krisen-Strategien der Natur zum Abschauen.

Galileo Institut für Human Excellence, Gudrun Happich (DE)
<http://www.galileo-institut.de/biosystemik/>
<http://www.zeit.de/karriere/beruf/2010-04/wirtschaftsbionik>



Ameisen-Algorithmen für effiziente Fabriken

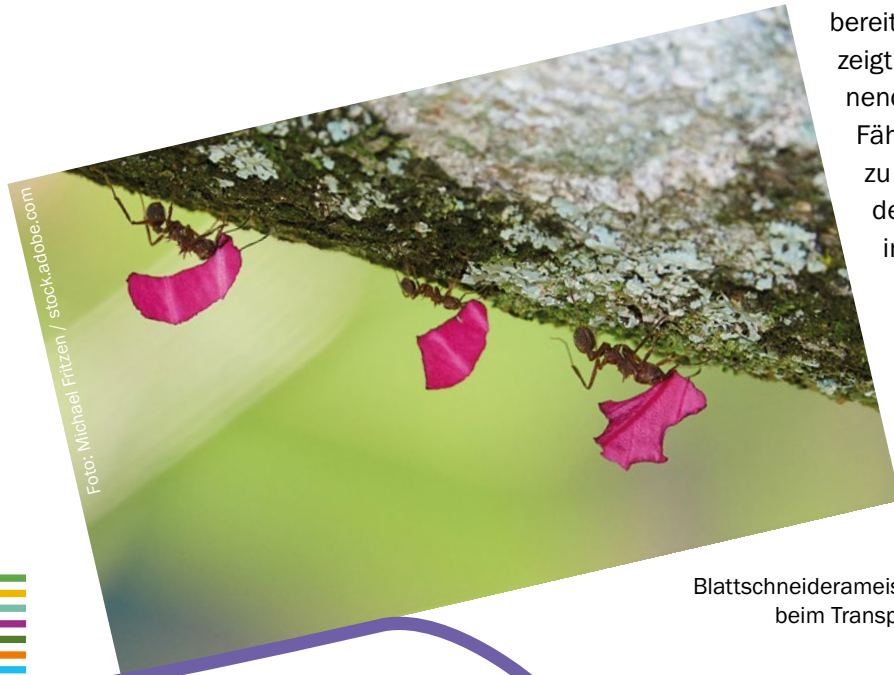
Forschende der Lakeside Labs GmbH und der Universität Klagenfurt entwickeln u.a. in Zusammenarbeit mit Infineon Technologies Austria AG innovative Algorithmen zur Optimierung komplexer Produktionsprozesse. Inspiriert vom Verhalten von Ameisen zielen diese Algorithmen darauf ab, Produktionsanlagen energie- und ressourceneffizienter zu gestalten. Durch die Integration von Schwarmintelligenz und KI-Ansätzen sollen die neuen Algorithmen die Herausforderungen der hochkomplexen Halbleiterproduktion meistern und so zur Schaffung anpassungsfähiger, robuster und skalierbarer Fabriken beitragen.

Lakeside Labs GmbH (AT)
Universität Klagenfurt, Institut für Artificial Intelligence and Cybersecurity (AT)
<https://www.aau.at/blog/anpassungsfahig-robust-und-skalierbar-wie-ein-ameisenhaufen-neue-algorithmen-fuer-sparsamere-fabriken/>
<https://projekte.ffg.at/projekt/4448121>



Schwarmintelligenz revolutioniert Logistik

Schwarmintelligenz bietet einen revolutionären Ansatz zur Optimierung logistischer Prozesse, indem sie Prinzipien aus der Natur auf intelligente Roboterfahrzeuge überträgt. Diese autonom agierenden Einheiten kommunizieren kontinuierlich und koordinieren sich, um die Effizienz im Lager zu maximieren. Das Konzept wird bereits von Branchenführern wie Amazon genutzt und zeigt, wie Intralogistik durch selbstorganisierte, lernende Systeme verbessert werden kann. Mit der Fähigkeit, flexibel und ohne festgelegte Routen zu operieren, ermöglicht Schwarmintelligenz eine deutliche Steigerung der Effizienz und Flexibilität in Lager- und Produktionsprozessen.



Blattschneiderameisen
beim Transport

cargo-partner GmbH, Hörsching (AT)
<https://www.cargo-partner.com/de/trendletter/issue-28/schwarmintelligenz-intralogistik>



4. Resümee

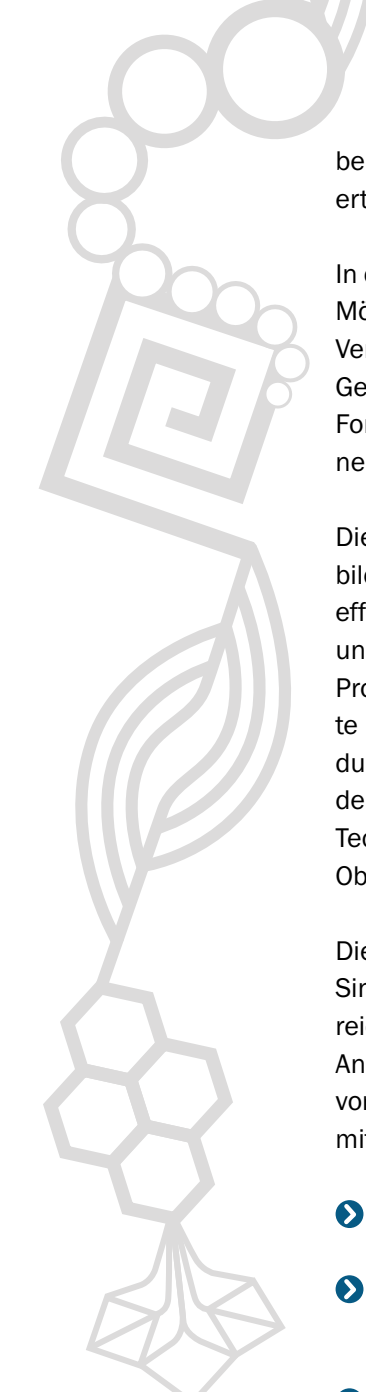
Die Wissenschaft der Bionik übernimmt auf dem Weg in die biologische Transformation eine tragende Rolle. Nicht alleine das nahezu unerschöpfliche Potenzial, das in der Kombination von Natur und Technik liegt, ist ihr inhärent, denn darüber hinaus kann Bionik noch viel mehr:

- Bionik birgt Innovation.
- Bionik forciert Vernetzung.
- Bionik eröffnet große Chancen für zukunftstaugliche Fortschritte und nachhaltige Entwicklungen.
- Bionik vermittelt Respekt vor der Natur und ist die ideale Brücke zu Technik und naturwissenschaftlich-technischen Berufen.

Auch für Oberösterreich tun sich bedeutende Potenziale für eine gedeihliche Zukunft auf.

Durch die Integration biologischer Prinzipien in industrielle Prozesse können zum Beispiel Ressourcen effizienter genutzt und Umweltbelastungen reduziert werden. Sie können die Kreislaufwirtschaft fördern, indem sie Abfallmengen und Schadstoffbelastungen minimieren und Materialien wiederverwertbar machen. Dies trägt zur Ressourcenschonung bei und unterstützt nachhaltige Wirtschaftspraktiken.

In der **Landwirtschaft** ermöglicht der Einsatz biologischer Methoden eine umweltschonende Produktion und stärkt die regionale Lebensmittelversorgung. Hierbei wird der Einsatz von Chemikalien verringert, was die Bodenqualität verbessert und zur Biodiversität beiträgt. Biologische Schädlings-



bekämpfung, präzise Landwirtschaft durch Sensoren und Drohnen sowie die Zucht robuster und ertragreicher Pflanzen sind nur einige Beispiele.

In der **Medizintechnik und Biotechnologie** eröffnen sich durch die biologische Transformation neue Möglichkeiten für Gesundheitsvorsorge und Behandlung. Biologisch inspirierte Materialien und Verfahren können zu verbesserten medizinischen Geräten und Therapien führen. Dies fördert die Gesundheit der Bevölkerung und positioniert Oberösterreich als Standort für biotechnologische Forschung. Jedoch erfordern die Entwicklung und Implementierung dieser Technologien Investitionen und benötigen eine langfristige Perspektive.

Die **Industrie** kann von neuen Materialien und Technologien profitieren, die von natürlichen Vorbildern inspiriert sind. Bionische Konstruktionsprinzipien führen zu leichteren, stärkeren, energieeffizienteren und schadstoffärmeren Produkten. Diese Innovationen schaffen Wettbewerbsvorteile und tragen zur Zukunftsfähigkeit der Wirtschaft bei. Die Umstellung auf neue Technologien und Produktionsprozesse erfordert nicht nur finanziellen Handlungsspielraum, sondern auch qualifizierte Fachkräfte. Die biologische Transformation fördert die Schaffung neuer Arbeitsplätze und Bildungsangebote. Durch die Zusammenarbeit zwischen Forschungseinrichtungen, Unternehmen und der öffentlichen Hand entstehen **neue Berufsfelder** im Bereich der Bioökonomie und nachhaltigen Technologien. Dies sichert den wirtschaftlichen Wohlstand der Region und stärkt die Attraktivität Oberösterreichs als Innovationsstandort.

Die **biologische Transformation**, also Annäherung und Verschmelzung von Natur und Technik im Sinne nachhaltigen Wirtschaftens, ist bereits da. Schon in den 2010er Jahren lag in Oberösterreichs Wissenschaft und Wirtschaft ein Schwerpunkt auf dem Bereich Bionik.¹⁰ Eine systematische Analyse und die weitsichtige strategische Forcierung von Bionik-Aktivitäten – aufbauend auf den vorhandenen Erfahrungen – könnten für einen aktiven und innovativen Umgang Oberösterreichs mit der biologischen Transformation hilfreich sein und folgende Aspekte beinhalten:

- Screening und Konkretisierung der Bionik-Potenziale und Stärkefelder in Oberösterreich und Entwicklung strategischer Maßnahmen unter Einbindung von Expert:innen
- Vernetzung vorhandener Stärkefelder in der Wirtschaft wie Mechatronik, Medizintechnik, Informationstechnologien, Energie- und Umwelttechnologien und nicht zuletzt Leichtbau mit der Forschung
- Hochschulübergreifendes Studium, Informationsveranstaltungen in Bionik-affinen Fachrichtungen sowie Forcierung von Bionik an höheren Schulen
- Citizen-Science-Projekt auf der Plattform „Österreich forscht“¹¹ mit Ideen für bionische Umsetzungen aus Beobachtungen in der Natur zur Sensibilisierung und Aktivierung von Bürger:innen
- Stärkung der Zusammenarbeit zwischen Betrieben, Wirtschafts- und Sozialwissenschaft und Biologie in Hinblick auf die Organisationsbionik

Zusammenfassend kann festgehalten werden: Die biologische Transformation bietet Oberösterreich Chancen zur nachhaltigen Entwicklung, bringt aber auch Herausforderungen. Die Kombination von technologischem Fortschritt und biologischem Wissen kann zu ökologisch und ökonomisch vorteilhaften Lösungen führen. Es ist entscheidend, diese Transformation sorgfältig zu gestalten, um die natürlichen Ressourcen zu schonen, die Lebensqualität zu verbessern und eine nachhaltige Zukunft zu sichern.

¹⁰ Business Upper Austria (Kunststoff- und Mechatronik-Cluster), Johannes Kepler Universität Linz (z.B. Institut für Biomedizin und Biomechatronik, Institut für Experimentalphysik, Energieinstitut an der JKU, Institut für chemische Technologie anorganischer Stoffe, Institut für Polymerwissenschaften), Kunstuniversität Linz (Abteilung Industrial Design scionic® am Institut Raum und Design), Wood K Plus - Kompetenzzentrum Holz GmbH, PROFACTOR GmbH, FerRobotics Compliant Robot Technology GmbH, Magna Powertrain Engineering Center Steyr GmbH & Co KG.

¹¹ <https://www.citizen-science.at/>

5.

Quellen

(Links zuletzt geprüft am 15.12.2024)

Bundesamt für Naturschutz, 2024: Artenzahlen der Tiere, Pflanzen und Pilze in Deutschland und weltweit.
<https://www.bfn.de/daten-und-fakten/artenzahlen-der-tiere-pflanzen-und-pilze-deutschland-und-weltweit>

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit), 2010: BIONIK. Innovation & Qualifikation. Eine Initiative des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie. Wien.
http://www.iap.tuwien.ac.at/~gebeshuber/Bionik_231209_gesamt.pdf

Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim deutschen Bundestag (TAB), 2006: Potenziale und Anwendungsperspektiven der Bionik. Vorstudie. Arbeitsbericht Nr. 108. Berlin.
https://www.tab-beim-bundestag.de/projekte_potenziale-und-anwendungs-perspektiven-der-bionik.php

Detering Michael, 2010: Wirtschaftsbiologie. Manager sind wie Ameisen. In: ZEIT ONLINE, 6. Mai 2010.
<https://www.zeit.de/karriere/beruf/2010-04/wirtschaftsbionik/komplett-ansicht>

Deutsches Institut für Normung, 2024: Normen und Standards zu Bionik.
<https://www.din.de/de>
https://www.din.de/de/meta/suche/62730!search?_csrf=9089ba89-f508-4b03-ab29-01127c9f47a5&query=Bionik

Dilger, Werner, 2004: Künstliche Intelligenz in der Schule. Vorlesung an der Technischen Universität Chemnitz, Wintersemester 2004/2005.
https://www.tu-chemnitz.de/informatik/KI/scripts/ws0405/KI_Schule/KI-Schule-04-lehr-1.pdf

Eurostat, 2024: Energy balances in Excel format (2024 edition). Retrieved July 11, 2024, from <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/database/additional-data#Energy%20balances>

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., 2018: Biologische Transformation und Bioökonomie. München.
<https://www.fraunhofer.de/de/forschung/aktuelles-aus-der-forschung/biologische-transformation.html>

Grancy, Alice, 2015: Wie viele verschiedene Tierarten gibt es auf der Welt? Andreas Wanninger, Departments für Integrative Zoologie der Universität Wien. In: Die Presse.com, 18.09.2015.
<https://diepresse.com/home/science/forschungsfrage/4824652/Wie-viele-verschiedene-Tierarten-gibt-es-auf-der-Welt>

Ibrahimi, Atena, 2023: Was ist Biomedizintechnik? TU Graz Blog, 27. April 2023.
<https://www.tugraz.at/tu-graz/services/news-stories/blog/detail/article/was-ist-biomedizintechnik-blog>

igus GmbH, 2024: Soft Robotics - „Weiche Roboter“.
<https://www.igus.at/automation/soft-robotics>

Institut für Technikfolgen-Abschätzung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ITA), 2006: Bionik-Potenzial in Österreich. Endbericht. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie. Wien.
<http://www.austriaca.at/ita/ita-projektberichte/d2-2e18.pdf>

JKU Institute of Physical Chemistry, 2024: Plas-Ion-PhotoKat.
<https://www.jku.at/en/institute-of-physical-chemistry-and-linz-institute-for-organic-solar-cells/research/projects/plas-ion-photokat/>

JKU Institute of Technology, 2023: Power Plants – Fortschritte in der Erforschung der Photosynthese. 04. September 2023.
<https://www.jku.at/linz-institute-of-technology/news-events/news/detail/news/default-6d0bd51e94/>

Küppers, E. W. Udo, 2010: Systemisches Bionik-Management. In: wissenschaftsmanagement 1, jan/feb 2010.
https://www.wissenschaftsmanagement.de/dateien/dateien/management/downloaddateien/wim_2010_01_e_w_udo_kueppers_systematisches_bionik_management.pdf

Malayil, Jijo, 2024: Chinese researchers unveil lizard-like robot for Mars exploration. In: Interesting Engineering, 19. Februar 2024.
<https://interestingengineering.com/innovation/chinese-researchers-unveil-lizard-like-robot-for-mars-exploration>

Maass, Wolfgang, 2016: Energy-efficient neural network chips approach human recognition capabilities. In: PNAS 113 (41), 4. Oktober 2016.
<https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1614109113>

Mechatronik-Cluster, Business Upper Austria - OÖ Wirtschaftsagentur GmbH, 2016: ILBitZ – Innovative Lösungsansätze mit Bionik im transnationalen Zusammenspiel von Wirtschaft und Wissenschaft. Bionik als Innovationsstrategie. 28.09.2016.

Nachtigall, Werner und Blüchel, Kurt G., 2000: Das große Buch der Bionik. Neue Technologien nach dem Vorbild der Natur. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart, München.

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

Nachtigall, Werner und Pohl, Göran, 2013: Bau-Bionik. Natur Analogien Technik. 2. Auflage. Springer Vieweg, Berlin Heidelberg.

Nachtigall, Werner und Wissner, Alfred, 2013: Bionik in Beispielen. 250 illustrierte Ansätze. Springer Spektrum, Berlin.

Oö. Zukunftsakademie (Hrsg.), 2018: Bionik. Innovation aus der Natur. Next Practice.

Schönherr, Gabriele, 2023: Künstliche Photosynthese ist heute schon möglich. In: weltderphysik.de, 28.09.2023.
<https://www.weltderphysik.de/gebiet/technik/energie/erneuerbare-energien-kuenstliche-photosynthese-ist-heute-schon-moeglich/>

Sonnenblick, Richard, 2024: Eine kurze Geschichte der KI: Von neuronalen Netzen zu ChatGPT. In: Planview Blog, 31. März 2024.
<https://blog.planview.com/de/a-brief-history-of-ai-from-neural-networks-to-chatgpt/>

Speck, Thomas, 2023: Bionik. In: Lexikon der Biologie. Spektrum.de.
<https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/bionik/8744>

Steinhuder Meer Tourismus GmbH, 2024: Steinhuder Hecht.
<https://www.steinhuder-meer.de/poi/steinhuder-hecht>

VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V., 2024: VDI-Fachbereich Bionik.
<https://www.vdi.de/tg-fachgesellschaften/vdi-gesellschaft-technologies-of-life-sciences/bionik>

Warnke, Gabi, 2023: Bionik: Auf dem Weg zu intelligenten Prothesen. In: Spektrum.de, 03.01.2011.
<https://www.spektrum.de/alias/bionik/auf-dem-weg-zu-intelligenten-prothesen/1058095>

WFO Plant List, 2021
<https://wfoplantlist.org/>

Yirka, Bob, 2024: A snake-like robot designed to look for life on Saturn's moon. In: Tech Xplore, 20. März 2024.
<https://techxplore.com/news/2024-03-snake-robot-life-saturn-moon.html>



Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Amt der Oö. Landesregierung, Direktion Präsidium,
Abteilung Trends und Innovation, Oö. Zukunftsakademie, Altstadt 30a,
4021 Linz | +43 732 7720 14402 | zak.post@ooe.gv.at | ooe-zukunftsakademie.at
Redaktion: DI Dr. Klaus Bernhard, Mag.^a Simone Hüttmeir (Projektleitung),
Mag.^a Dr.ⁱⁿ Reingard Peyrl, MSc, Theresa Rankl, BSc (Praktikantin) | 2. Auflage: Jänner
2025 | Layout: KNUT.GRAFIK | Titelfoto: Elefant und Bionischer Handling Assistent
©Festo SE & Co. KG, alle Rechte vorbehalten | Druck: hs Druck GmbH
Text KI-unterstützt erstellt | Informationen zum Datenschutz finden Sie unter:
<https://www.land-oberoesterreich.gv.at/datenschutz>

Zukunft

