

Herausforderung Bionik

Wechselwirkungen zwischen Natur und Technik

Unser kulturelles Selbstverständnis wird entscheidend geprägt durch unser Verhältnis zu Natur und Technik. Natur und Technik standen sich bis vor kurzem abweisend gegenüber, zumindest gleichgültig. In der Entwicklung der Menschheit schien „Natur“ stets etwas, gegen das es sich zu behaupten galt, das ge-

fährlich war und gegen das man „kultivierend“ ankämpfen musste. Diese Sichtweise hat sich gewandelt. Es ist modisch geworden, vor der Unterdrückung und Ausbeutung der Natur zu warnen, ja Natur vor unserem immer unerbittlicher werdenden Zugriff radikal schützen zu wollen. Beiden Sichtweisen haftet etwas Fundamentalistisches an. Wir werden indes nur überleben, wenn wir das Verhältnis zwischen Mensch und Natur wirklich partnerschaftlich gestalten.



1. Natur und Technik

Unter „Natur“ sei hier die belebte Umwelt des Menschen verstanden, in die dieser als organisches Wesen eingebettet ist. Als „Technik“ bezeichne ich die Möglichkeiten der Nutzung von Strukturen und Kräften der Natur, die im Gehirn des Menschen entstanden sind. Der Mensch ist Produkt der natürlichen Evolution, doch ist ihm die Möglichkeit gegeben, durch kulturelle Tradierung Daten anders weiterzugeben als die natürliche Evolution

dies kann. Das Fortführen der biologischen Evolution mit den Methoden der kulturellen Evolution ist nun die Grundlage für ein Lernen, das Natur und Technik partnerschaftlich zu verbinden vermag. Aus solch einem Lernen ließe sich eine „Biostrategie“ entwickeln, die in eine Überlebensstrategie mündet. Deren Umsetzung ist freilich nicht nur eine Frage der Einsicht, sondern auch des politischen und wirtschaftlichen Handelns – ein Komplex, der von vielen Facetten bestimmt und mit gestaltet wird.

Hier sollen zwei unverzichtbare methodische Werkzeuge eines derartigen Lernens thematisiert werden: Technische Biologie und Bionik.

2. Technische Biologie und Bionik

Technische Biologie und Bionik gehören zusammen. Die **Technische Biologie** erforscht die Konstruktionen, Verfahrensweisen und Evolutionsprinzipien der Natur aus dem Blickwinkel der Technischen Physik und verwandter Disziplinen. Die **Bionik** versucht, diese Grundlagen-Ergebnisse in die Technik zurückzuprojizieren und Anregungen zu geben für neuartige, dem Menschen und der Umwelt dienlichere Lösungen.

Man neigt dazu, den Begriff „Bionik“ aus den Anfangs- und Endsilben von „Biologie“ und „Technik“ zusammensetzen. Das stellt zwar klar, dass die beiden bislang stark getrennten Disziplinen zusammenkommen sollten. Nur wenn wir durch eine sinnvolle Integration die Grenzen überwinden, wenn wir einsehen, dass die biologisch orientierten und die technischen Disziplinen voneinander lernen können, werden wir weiterkommen. Aber der Begriff „Bionik“ geht auf das Wort „bionics“ zurück, das der amerikanische Luftwaffenmajor John E. Steel Ende der 60er Jahre geprägt hat und das eher Dinge meint, die irgendwie mit Biologie zu tun haben. Später wurde dafür im angelsächsischen Raum der Begriff „biomimetics“ eingeführt, der auch heute noch als Synonym verwendet wird. Gemeint ist in jedem Fall das „Lernen von der Natur für die Technik“. Dieses Lernen stellt sich aber nicht so einfach dar. Die Natur liefert keine Blaupausen. Abstrahieren und technisch angemessen umsetzen kann man nur *Naturprinzipien*.

Daher habe ich ab den 70er Jahren bionisches Arbeit wie folgt definiert: „Lernen von der Natur für eigenständiges ingenieurmäßiges Gestalten“. Die Natur gibt also Anregungen, die der Ingenieur nicht kopiert, sondern in die konstruktive Gestaltung – *lego artis* seiner Wissenschaft – einbringt.

Auf einer Tagung des Vereins Deutscher Ingenieure über „Analyse und Bewertung zukünftiger Technologien“, Düsseldorf 1993, hat man sich auf folgendes Verständnis geeinigt: „Bionik als wissenschaftliche Disziplin befasst sich mit der technischen

Umsetzung und Anwendung von Konstruktions-, Verfahrens- und Entwicklungsprinzipien biologischer Systeme“. Demnach ist Bionik eine Anwendungsdisziplin, deren Gegenstände in den drei Grunddisziplinen der Konstruktionsbionik, Verfahrensbionik und Entwicklungsbionik zusammengefasst werden können. Basis für den Erkenntnisgewinn und für jeden Übertragungsaspekt ist immer das Sosein biologischer Systeme.

In den letzten Jahren hat sich die Einsicht gefestigt, dass die VDI-Definition von 1993 zu erweitern ist. Insbesondere kommt ein wichtiger Grundaspekt der Bionik nicht genügend zur Geltung, nämlich die Technik auch so zu beeinflussen, dass sie Mensch und Umwelt stärker nützt.

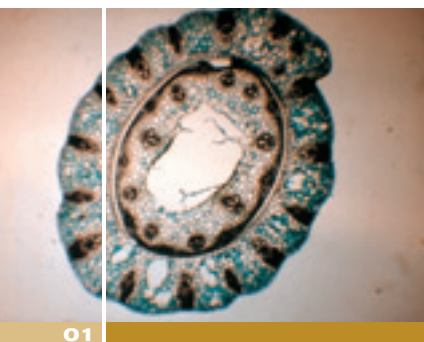
Ich habe deshalb die folgende, kurz gefasste Alternative vorgeschlagen: „Lernen von den Konstruktions-, Verfahrens- und Entwicklungsprinzipien der Natur für eine positive Vernetzung von Mensch, Umwelt und Technik“. Diese Formulierung umfasst auch Interaktionen zwischen Umwelteinflüssen und Lebewesen. Für bionisches Arbeiten lassen sich bereits zahlreiche Beispiele anführen, klassische und moderne.

3. Ein klassisches Beispiel: Der Stahlbeton

Josef Monier war „horticulteur, paysagiste“, hatte also viel mit gärtnerischen Problemen zu tun. Aus dem Ärger darüber, wie teuer und bruchgefährdet steinerne oder tönerne Pflanztöpfe sind, und aus der Beobachtung, dass die aus einem Opuntienblatt herauswitternde, vernetzte Sklerenchym-Struktur der Blattmasse Festigkeit gibt, hatte er die Idee, Pflanztöpfe in Mehrkomponentenbauweise herzustellen. Ein Drahtkorb – entsprechend dem Sklerenchym-Netz von Pflanzen – gibt Zugfestigkeit und hält zugleich die druckfeste Zementmasse – entsprechend dem

ZUSAMMENFASSUNG

In neuerer Zeit hat man begonnen, die Denk- und Handlungsschranken zwischen Natur und Technik zu überwinden. Das Handwerkszeug dazu sind die Disziplinen „Technische Biologie“ (Natur besser verstehen mit den Beschreibungs- und Analysemethoden der Technischen Physik) und Bionik (Anregungen aus der Natur in die Ingenieurwissenschaften einbringen). Die Vorgehensweise bei solchen Vergleichen zwischen Natur und Technik wird an Beispielen erläutert. Ein klassisches ist Monier's Stahlbeton, ein modernes der Lotus-Effekt. Beide haben die Technik stark beeinflusst im Sinne einer Abstraktion von Naturprinzipien und ihre technikangemessene Umsetzung. Von grundlegender Bedeutung aber wird die „Grüne Photozelle“ und eine solare Wasserstofftechnologie nach dem Vorbild des grünen Blatts werden: Artifizielle Photosynthese. Die Bionik arbeitet nach bestimmten Vorgehensweisen, die in Form von zehn Grundprinzipien geschildert werden. Auf die Frage, was Bionik denn letztlich leisten könne, lassen sich Stichworte nennen, zu denen „Nachhaltigkeit“, „Effizienz“ und „Erprobtheit“ gehören. Die zukünftigen Querverbindungen zwischen natürlicher und technischer Umwelt müssen systemerhaltend sein. Dann kann sich aus bionischen Ansätzen eine Biostrategie entwickeln.



01

Analogie zwischen Pflanzenstängel-Aufbau und Stahlbeton. Querschnitt durch den Halm eines Grases. Braun-schwarz: Sklerenchymstränge, analog Bewehrung. Grün: Parenchymmatrix, analog Zement.

Parenchym der Pflanzen – in Form. Die Zementmasse wiederum stabilisiert die Lage des Drahtkorbs.

Die Grundidee dieser frühen Übertragung (Patente ab 1867) ist bereits typisch bionisch: Ohne sklavisch zu kopieren, wird ein Prinzip der Natur abstrahiert. Das Naturprinzip heißt: mechanisches Zusammenwirken eines zugfesten Sklerenchym-Netzzyinders mit einer druckfesten Parenchym-Matrix. Das technische Prinzip heißt: mechanisches Zusammenwirken zwischen einer sklerenchym-analogen Stahlarmierung mit einer parenchym-analogen Zementmasse. Aus dieser Analogie hat sich ein völlig neuer Industriezweig entwickelt, der Stahlbeton-Bau. Er hat unsere städtebauliche Umwelt dramatisch beeinflusst und damit unsere Kultur tiefgreifend verändert.

4. Ein modernes Beispiel: Der Lotus-Effekt

Im Buddhismus gilt die Indische Lotusblume, *Nelumbo nucifera*, als Symbol der Reinheit. Aus sumpfigen Gewässern entfalten sich ihre schlammbedeckten Blätter; bereits mildester Tau aber reinigt sie vollständig. Dieser Selbstreinigungseffekt ist nach den grundlegenden Forschungsergebnissen von Barthlott und Neinhuis (1997) auf eine spezielle Oberflächenstruktur der Blätter zurückzuführen. Wachskristalloide formen kleine Knötchen oder Noppen, etwa 15 µm groß und etwa 40 µm von einander entfernt. Es handelt sich also um bereits mit einer starken Lupe sichtbare Mikrostrukturen. Diese sind aber infolge ihres Aufbaus aus feinsten Wachsröhrchen zudem submikroskopisch strukturiert. Wegen des Wachsmaterials sind sie hydrophob, also wasserabweisend.

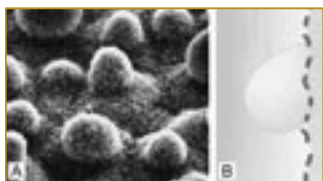
Die Bioniker haben nun entdeckt, dass hydrophobe, fein genoppte Oberflächen unter Betauung oder leichtem Regen selbstreinigend sind. Die Kombination dieser drei Parameter wurde Gegenstand des darauf aufbauenden Patents. Auf einer glatten Lackschicht, etwa einem schräg geneigten Auto-Kotflügel, ziehen sich Tau- oder Regentropfen kapillar breitflächig auseinander. Schmutzpartikelchen werden entweder überrollt oder abgehoben und wieder abgesetzt. Eine solche Oberfläche ist nicht selbstreinigend. Fein genoppte und hydrophobe Oberflächen dagegen erlauben dem Wassertropfen keine Benetzungs-

fähigkeit, so dass er abgekugelt bleibt und abrollt. Schmutzpartikelchen sitzen nur mit sehr kleinen Berührungsflächen auf den Noppen auf. Sobald die Adhäsionskräfte zum Wassertropfen größer sind als die zur Unterlage, werden sie von der Oberfläche des Tropfens eingefangen und mit abgerollt. Nach diesem Prinzip der Selbstreinigung hat eine Firma (Ispo, damals Dückerhoff-Gruppe) einen neuartigen Fassadenlack namens „Lotusan“ entwickelt.

Die Entwicklungsingenieure der Lackindustrie haben die Prinzipien der Natur mit Interesse aufgenommen, da sie in dieser Kombination im technischen Bereich noch nicht bekannt waren, dann aber technologisch eigenständig weiterentwickelt. Es hätte keinen Sinn gehabt, die Natur insofern zu kopieren, als man Wachs-Kristalloide eingebaut hätte: Jeder Daumendruck hätte sie funktionsunfähig gemacht. Vielmehr wurde nach längeren Versuchsreihen eine Mischung aus unterschiedlichen Sanden und Kieselgur verwendet, die beim Trocknen in Selbstbildungsprozessen eine analog wirkende Oberfläche ausgestaltet.

Wichtig ist also, dass ein Funktionsprinzip der Natur nicht 1:1 umgesetzt, sondern zunächst abstrahiert worden ist, um auf der Basis dieser Abstraktion eine technisch-adäquate Lösung zu entwickeln. Ausgehend von der Zufallsbeobachtung, dass manche Pflanzen nicht verschmutzen, hat die morphologische Oberflächenuntersuchung zur Abstraktion des Funktionsprinzips geführt, aus der sich nach einer relativ langwierigen Grundlagenforschung letztendlich über die Industrieforschung das Produkt „Lotusan“ ergeben hat.

Es fragt sich, wo bei diesem Beispiel die „Fernziele“ der Bionik stecken, Natur und Technik in besseren Einklang zu bringen. Sie liegen in der allgemeinen Potenz des Selbstreinigungseffekts. Nicht-Selbstreinigung bedeutet zwangsläufig Fremdreinigung, die stets mit umweltschädigenden Substanzen und Verfahren verbunden ist. Bei der bionischen Fassadenfarbe mag das noch nicht so auffallend sein; hier hat insbesondere die vertreibende Firma einen Umsatzvorteil. Wenn der Effekt aber die Notwendigkeit eines neuen Fassadenanstrichs hinauschiebt, schlägt das unmittelbar auf geringeren Materialverbrauch und reduzierte Umweltbelastung durch;



02

Zum Lotus-Effekt. A: Genopptes Lotus-Blatt. B: Auf glatter Oberfläche gleitet der Wassertropfen über die Schmutzpartikel. C–D: Auf genoppter Oberfläche rollt der Tropfen Schmutzpartikel mit ab.

bei den riesigen Flächen wäre das durchaus beachtlich.

Bisher ist es nicht gelungen, den Lotus-Effekt auch im Bereich der Autolacke zu nutzen. Angesichts des immensen Reinigungs- und Spülmittelaufwandes und des drastischen Wasserverbrauchs in Autowaschstraßen läge hier aber ein besonders wichtiger Einspareffekt. Niemand wird hier freilich blauäugig sein. Autos verschmutzen die Umwelt dramatisch, werden deshalb aber nicht abgeschafft. Autowaschstraßen wird es geben, so lange es Autos gibt. Hier kann es also nur um *relativen* Umweltschutz gehen.

Gleiches gilt für die „künstliche Haifischhaut“. Geriefte Folien, die so skulpturiert sind wie die Schuppenoberflächen rasch schwimmender Hochseehaie, reduzieren den Oberflächenwiderstand und damit auch den Treibstoffverbrauch von Großflugzeugen, wenn man ihre Rümpfe und Flügel damit beklebt. Das bedeutet zwar nur einige wenige Prozent an Reduktion, die sich weltweit aber auf die Einsparung gigantischer Kerosinmengen aufaddieren würden.

Bionische Entdeckungen wie die genannten können also helfen, umweltschädliche Prozesse zu verlangsamen; sie verhindern diese aber nicht. Andererseits könnten Natur Vorbilder aber auch zu prinzipiell systemerhaltenden Neuerungen führen. Dazu gehört mit Sicherheit eine solare Wasserstofftechnologie nach dem Vorbild der grünen Pflanze.

5. Die „grüne“ Zelle: artifizielle Photosynthese

Oft gehört: Die Zukunft gehört dem Wasserstoffauto, denn bei der Verbrennung von Wasserstoff entstehen keine Schadstoffe. Dass man mit Wasserstoff, der in Stahlflaschen gespeichert ist, Fahrzeuge problemlos antreiben kann, zeigen bereits zahlreiche Stadtbusse. Neue Speichermöglichkeiten für Wasserstoffgas und neue Umsetzsysteme (Brennstoffzellen) sind in Entwicklung. Mit Wasserstoff lässt sich nicht nur das Kraftfahrzeugwesen revolutionieren. Wasserstoff könnte man überall als Energielieferant einsetzen, aber auch als Basis für chemische Syntheseprodukte. Das Problem ist nur: Wo kommt der Wasserstoff her? Natürlich kann man ihn aus Erdöl gewinnen, beispielsweise durch das Kracken von Schwerölen. Das verlagert

aber nur das Problem der Umweltschädigung vom Auto auf die Erdölaufbereitung. Weiterführend ist nur eine solare Wasserstofftechnologie. Daran wird weltweit fieberhaft gearbeitet. Kann Bionik auch hierbei hilfreich sein? Die grüne Pflanze ist mit ihrer Photosynthese seit mehreren 100 Jahrmillionen „erfahren“ im internen Umgang mit Wasserstoff. Lässt sich erwarten, dass eine artifizielle Photosynthese nach dem Vorbild des grünen Blatts die Lösung des Energieproblems bringt?

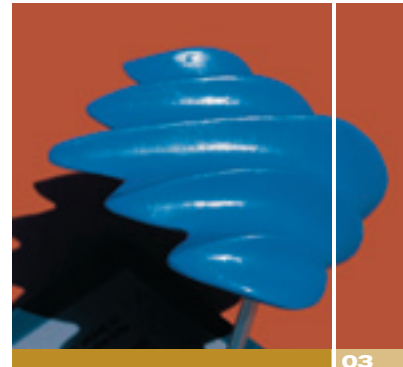
Ja und nein. Am Beispiel der „künstlichen Photosynthese“ kann man zeigen, dass Bionik kein endgültiger Lösungsansatz sein muss und oft auch nicht sein kann. Bionik führt bis zu einem bestimmten Punkt, dann muss die technische Weiterentwicklung in eigenständiger Weise einsetzen.

An der sehr einfach aussehenden Summengleichung der Photosynthese kann man die Ausgangsverbindungen und Endprodukte ablesen, aber nicht die Verfahrenswege:



Das Kohlendioxid stammt aus der Luft, der Wasserstoff aus dem Wasser, das die Pflanzen im allgemeinen über ihre Wurzeln aufgenommen haben. Er wird intern transportiert und zur Bildung einer Zuckersubstanz an eine aus dem Kohlendioxid synthetisierte Kohlenstoffkette angehängt. Beim internen Transport wird er zerlegt in Protonen und Elektronen, die getrennte Wege gehen. Auf's Äußerste vereinfacht stellt sich das System wie folgt dar:

Die energiereichen Sonnenstrahlen führen zu einer Zerlegung von Wasser; Sauerstoff wird als „Abfall“ frei, Basis für jedes tierische und menschliche Leben. Die Elektronen werden paarweise über eine Redoxpotential-Kaskade geleitet, wobei sie stufenweise Energie abgeben, die in einem „Bioakku“ (ADP-ATP-System) zwischengespeichert wird. Der auf anderen Wegen abtransportierte Wasserstoff wird an die Kohlenstoffkette angelagert; das Schließen der Bindung ist ein endergonischer Vorgang, er bedarf der Energiezufuhr. Die nötige Energie wird durch die Entladung der vorher aufgeladenen „Bioakkus“ gewonnen. Es resultiert letztlich ein Kohlenwasserstoff, ein Einfachzucker, nämlich Glukose.



03

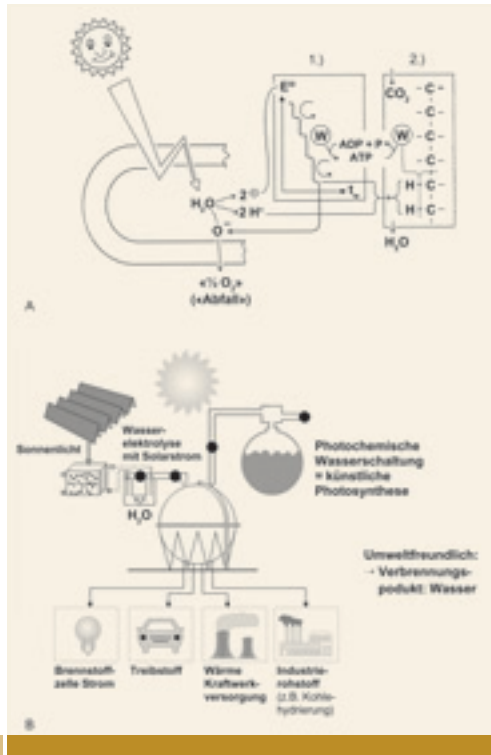
Handgroßes Modell einer Haishuppe



04

Blätter überlagern sich meist so, dass sie sich beim „Abernten“ des Sonnenlichts wenig stören.

Der in der Abbildung (05) als „A“ gekennzeichnete Vorgang stellt die Basis für eine biologische Photovoltaik dar; an einer derartigen „grünen Fozelle“, die als Folie verfügbar ist und an Hauswänden, Dächern angebracht werden kann, wird derzeit gearbeitet. Auch in Fensterscheiben ließe sich diese integrieren. Ziel der weltweiten Entwicklung ist eine langzeitstabile, billige Photovoltaik-Fläche, die eines Tages die kompliziert und energieaufwendig zu produzierenden Silizium-Solarpaneele ablösen kann. Der Vorgang „B“ (05) führt zu einer solaren Wasserstofftechnologie. Solar gewonnener Wasserstoff könnte man wohl auch über Wasserelektrolyse erzeugen, doch ist deren Wirkungsgrad sehr schlecht, und das Verfahren ist technologisch nicht elegant. Dagegen wäre die photochemische Wasserspaltung als „künstliche Photosynthese“ der geeignete Weg der Zukunft. Solar erzeugter Wasserstoff könnte technologisch immens vielseitig eingesetzt werden.

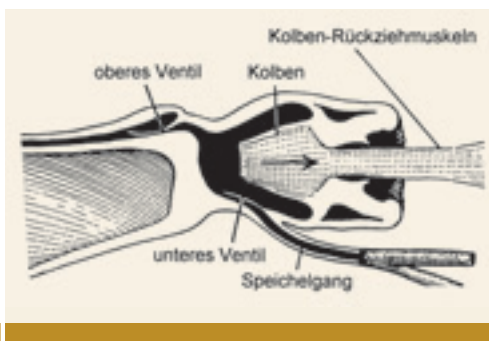


05

A oben: Prinzipschema der Photosynthese

B unten: Wasserstofftechnologie als künftige Energiebasis

Wie erkennbar, endet die bionische Anregung aber mit dem Transport von Elektronen einerseits und dem von Protonen andererseits. Fast nirgendwo transportiert die Pflanze gasförmigen Wasserstoff. Die Umsetzung in dieses letztlich interessierende Produkt bleibt also eine eigenständige Entwicklungsaufgabe des chemischen Ingenieurwesens. An diesem Beispiel, mit dem sich für die Bionik ein geradezu ungeheueres Zukunftspotential eröffnet, kann man lernen, die Grenzen bionischen Vorgehens zu erkennen.



06

Speichelpumpe der Rindenwanze

Generell gilt: Jedes biologische System, jedes Tier, jede Pflanze, enthält mannigfache Konstruktionselemente, die man in der Technik nicht unbedingt so kombinieren muss, wie das jeweilige biologische System es tut. Sie stehen vielmehr für jede beliebige Art der Kombination zur Verfügung. Damit kann der Ingenieur und

Techniker Neuartiges schaffen, das so in der Natur nicht vorkommt. Er muss nur schöpferisch vorgehen, sich neue Wirkungsbereiche erschließen. Dabei ist das Anregungspotential der Bionik, basierend auf einer Reihe prinzipieller Vorgehensweisen, unerschöpflich.

6. Grundprinzipien bionischer Vorgehensweise

Wenn man die Natur näher betrachtet, finden sich eine Reihe von Grundprinzipien, die typisch sind für ihr systemisches Funktionieren.

Prinzip 1: Integrierte statt additiver Konstruktion

Während die Technik Konstruktionen aus Einzelementen zusammensetzt und diese jeweils für sich optimiert, arbeitet die Natur mit „integrierten Konstruktionen“, die als solche optimiert werden; das „Konstruktionsziel“ ist die Gesamtheit.

Beispiel (06): Speichelpumpe einer Rindenwanze. Die nur 1/10 mm messende Speichelpumpe einer Rindenwanze besitzt alle Elemente einer Kolbenpumpe – Kolben, Dichtung, Zylinder, Einlaufventil, Auslaufventil, Antrieb – sieht aber eher aus wie eine (technisch noch nicht mögliche) „Miniatur-Kunststoffspritzguss-Konstruktion“.

Prinzip 2: Optimierung des Ganzen statt Maximierung eines Einzelements

Technische Entwicklung hat heutzutage noch viel zu sehr die Maximierung von Einzelementen im Auge, die manchmal gar nicht wünschenswert ist, weil es um ganz andere, übergeordnete Zusammenhänge geht. Die Natur optimiert stets Systeme unter Verzicht auf (gegebenenfalls systemstörende) Maximierung von Einzelementen. *Beispiel:* Hämatokrit. So bezeichnet man das Volumen der geformten Blutbestandteile beim Säugerblut. Die Zahl der Roten Blutkörperchen sollte einerseits möglichst groß sein (große O₂-Bindungsfläche), andererseits aber möglichst klein (große Strömungsgeschwindigkeit): Gegenläufige Anforderungen. Die Natur maximiert stattdessen den Volumenstrom, der die Sauerstoff-Transportrate bestimmt.

Prinzip 3: Multifunktionalität statt Monofunktionalität

Während die Technik noch sehr häufig Einzelemente auf die Erfüllung von Einzelaufgaben hin entwickelt, gibt es dies bei

näherem Hinschauen in der Natur praktisch nie. Fast ausnahmslos werden Systeme entwickelt, bei denen ganz unterschiedliche, oft physikalisch durchaus entgegengesetzt gerichtete Anforderungen unter einen einzigen, „optimalen“ Hut gebracht werden. *Beispiel*: Eischale der Schmeißfliege. Der Baustoff ist Chitin. Es handelt sich aber nicht um eine einzige, dicke Chitinschicht, sondern um mikroskopisch feine Differenzierungen. Damit ergibt sich für die Eischale die optimale Lösung dreier gegenläufiger Aspekte: Sie ist leicht und trotzdem genügend stabil, „trittfest“ und trotzdem genügend elastisch, durchlässig für Wasserdampf, aber nicht für tropfendes Wasser (das schädliche Keime enthalten könnte).

Prinzip 4: Feinabstimmung gegenüber der Umwelt

Lebewesen sind auf ihre belebte und unbelebte Umwelt abgestimmt. Dies ist in der morphologischen und physiologischen Ausgestaltung manchmal bis in feinste Details der Fall. *Beispiel (07)*: Greiffüße bei Adlern. Der Steinadler, der behaarte Beute schlägt, besitzt auf der Unterseite rau behornte Ständer. Fischadler, die glitschige Fische fangen, tragen an der gleichen Stelle dornige Schuppen, mit denen sie ihre Beute besser festhalten können.

Prinzip 5: Energieeinsparung statt Energieverschleuderung

Organismen besitzen einen begrenzten Energievorrat, so dass sie, auf die gesamte Lebensdauer bezogen, auch nur eine begrenzte Leistung abgeben können. Brauchen sie für einen Lebensvorgang (z.B. die Produktion von Fortpflanzungsprodukten) eine größere Energie, so müssen sie irgendwo anders Energie einsparen. *Beispiele* für dieses Prinzip sind Legion.

Prinzip 6: Direkte und indirekte Nutzung der Sonnenenergie

Dies erscheint mir als die bedeutendste Facette bionischen Arbeitens. Als *Beispiel* habe ich die Photosynthese grüner Pflanzen angesprochen. Vielerlei indirekte Effekte kommen dazu, etwa die Windnutzung (Winde sind solarbedingt) zur Gebäudelüftung und thermischen Kontrolle, wie das der Präriehund mit seinem Bau vorführt.

Prinzip 7: Zeitliche Limitierung statt unnötiger Haltbarkeit

Viele unserer Einrichtungen, insbesondere die Häuser, sind viel zu langlebig, unter Nutzung von unnötig viel Material und

unnötig viel Energie auf Zeiten ausgelegt, die Generationen überdauern. Wer weiß schon, welche Dämmmaterialien und welche ökologischen Gesichtspunkte in 20 oder 50 Jahren verfügbar und maßstabgebend sind? Und welche Bauvorschriften? *Beispiel*: Stinkmorchel. Der sehr leichte, lockere, aber für wenige Tage genügend standfeste Schaft existiert nur so lange, bis Fliegen die Sporenmasse abgetragen haben. Dann ist er funktionslos. Er zerfällt in Stunden bis Tagen, wird von Schnecken und anderen Kleintieren zerlegt, von Bakterien abgebaut und molekular total recycelt.

Prinzip 8: Totale Rezyklierung statt Abfallanhäufung

Das Prinzip der totalen Rezyklierung ist nach der systematischen Solarnutzung eines der

wichtigsten Naturprinzipien überhaupt. Die Natur produziert keinen Abfall. Strategien totaler Abfall-

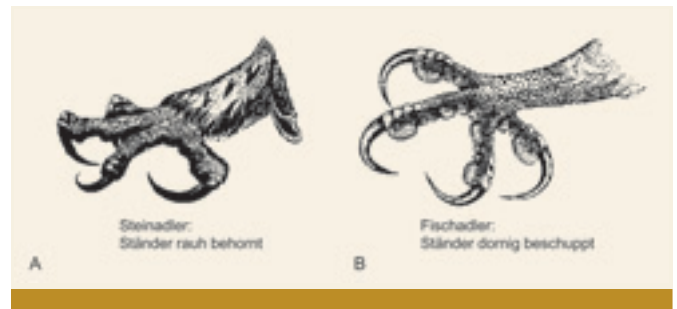
vermeidung sind auch für das Überleben des Menschen von größter Bedeutung.

Beispiel: In tropischen Ökosystemen, insbesondere im Regenwald, wird Substanz bereits innerhalb weniger Jahre vollständig umgesetzt.

Prinzip 9: Vernetzung statt Linearität

Das komplexe Geschehen der Natur ist in tausendfacher Weise vernetzt und vermascht, wie insbesondere F. Vester zu Recht immer wieder betont hat. Man wird es durch lineares Denken ebenso wenig verstehen wie bereits mäßig komplexe Systeme der technischen Zivilisation.

Beispiel (08): Ökologie des Waldrands. Gabelschwanzraupen fressen Zitterpappelblätter (negative Beziehung), Kohlmeisen fressen Gabelschwanzraupen (negative Beziehung). Damit nützen Kohlmeisen indirekt den Zitterpappelblättern (positive Beziehung). Geht man allerdings nur wenig weiter und bezieht einige weitere Produzenten und primäre und sekundäre Konsumenten mit ein, ist das Beziehungsschema mit noch so detaillierter Beschreibung nicht mehr zu erfassen. Man muss spezielle Sichtweisen, ähnlich der „fuzzy



Greiffüße bei Adlern.
A: Steinadler, B: Fischadler



Zur Ökologie des Waldrands

A: Einfaches Schema mit drei Teilnehmern. B: Nicht mehr durchschaubares Schema mit mehreren Konsumentengruppen

logic“, anwenden, um – ohne präzises Detailverständnis von Punkt zu Punkt – das ganze System wenigstens abschätzen zu können. Trotz ihrer Komplexität bleiben solche Systeme über bestimmte Zeiträume annähernd konstant, das

ökologische Beziehungsgefüge des Waldrands beispielsweise für immerhin einige Monate. Sie stehen in Analogie für ökonomisch-technische Beziehungsgefüge, so dass Naturerkenntnis und zivilisationsgestütztes Vorgehen im wechselseitigen Vergleich voneinander lernen können.

Prinzip 10: Entwicklung im Versuchs-Irrtums-Prozess

Bionik anwenden bedeutet nicht nur, die Konstruktionen und Verfahrensweisen der Natur in die Technik zurückzuprojizieren. Auch die Methoden, mit denen die Natur diese ihre Konstruktionen und Verfahrensweisen entwickelt hat – die Methoden der Evolution also – lassen sich mit großem Erfolg für eine technologische Nutzung aufbereiten. Nach I. Rechenberg spricht man hier von einer Evolutionsstrategie. *Beispiel:* Was der bestschmeckende Kaffee ist, den man sich aus verschiedenen Sorten zusammenmischen kann, lässt sich nicht ausrechnen. Man kann aber zufällig gemischte Proben neu zusammenstellen und von Versuchspersonen beurteilen lassen. Gut beurteilte Proben werden weiter verändert, schlecht beurteilte verworfen. Durch zufälliges Mischen und Aussondern nicht schmeckender Mischungen – analog zu Mutation, Rekombination und Selektion der natürlichen Evolution – kann man letztlich zu Idealmischungen kommen, die anderweitig nicht erreichbar sind. Gleiches gilt für die Frage, welche Aluminium-Oxidationsfarbe einem Kunden besser gefällt, und ähnliche, begrifflich nicht oder nicht so leicht quantifizierbare Probleme.

Es gibt in der Zwischenzeit bereits eine Vielzahl von evolutionsstrategischen Verfahren, die in der Wirtschaft schon sehr weite Verbreitung gefunden haben. Die Übernahme solcher Verfahren in den Problemkreis „Verpackungen“ führte zu besseren technischen Verpackungslösungen (U. Küppers), während die Anwendung auf den Problemkreis „Management“ neue Lösungen für ein zukunftssicheres Management aufgezeigt hat (P. Ablay).

7. Was kann Bionik leisten? Erwartung und Realisierbarkeit

An die Bionik werden gelegentlich überzogene Erwartungen geknüpft, so, als wären unsere großen Probleme gelöst, wenn man nur all das nachmachen würde, was die Natur vormacht. (Es gibt auch grüne Fundamentalisten mit naiver Erwartungshaltung). Versprechen dieser Art werden Bioniker aber niemals machen, wie intensiv sie sich auch mit Naturverträglichkeit und Nachhaltigkeit, der „Genialität“ der Natur, ihrer Effizienz, Zuverlässigkeit und Erprobtheit befassen. Zu solchen und ähnlichen Stichworten hat A. v. Gleich kürzlich eine Umfrage im Bionik-Bereich gemacht. Ich meine dazu folgendes:

Nachhaltigkeit • Bionische Lösungen können natur- und umweltschädigende Technologien zurückdrängen und manche womöglich eines Tages ersetzen. Am Beispiel der solaren Wasserstofftechnologie wurde dies aufgezeigt. Hier könnte die Technologie des grünen Blatts helfen, die Verbrennung fossiler Energieträger zurückzudrängen. Auch unabhängig von Umweltgesichtspunkten wird dies geschehen, sobald die Gesamteffizienz eines bionischen Verfahrens zur Energiebereitstellung besser ist als die eines klassischen Verfahrens.

„Genialität“ der Natur • Davon liest man häufig in popularisierenden Artikeln; Bioniker hüten sich aber vor solchen grenzüberschreitenden Begriffen. Sie weisen zwar darauf, dass die oft ausgereift erscheinenden Produkte einer langen Evolution zum Staunen führen, und leugnen nicht die von ihnen ausgehende Faszination. Was die Übertragung angeht, verweisen sie aber höchstens auf die heuristische Potenz solcher erstaunlichen Produkte. Diese in die ingenieurmäßigen Entwicklungsketten einzubeziehen kann rascher zu Neuerungen führen, in bestimmten Fällen auch überhaupt erst.

Effizienz • Die Effizienz biologischer und damit der bionischen Annäherung zugänglicher Verfahren ist ebenso wie die Effizienz technischer Verfahren durch thermodynamische Kenngrößen bestimmt. Trotzdem kann man beim Studium biologischer Verfahren oft eine ausgeprägtere energetische Effizienz feststellen, als sie die Technik aufweist. Das bezieht sich aber in der Regel auf eine systemische Betrachtung. In den Einzelementen ist die Natur wie die Technik thermodynamisch beschränkt. In der Art, wie sie die Einzelemente zu einem funktionsfähigen Ganzen kombiniert, ist die Natur dagegen noch unerreicht (09)(10).

Die belebte Natur stellt eben jede Teillösung unter das Erprobungskriterium „Energieeffizienter?“ und verzichtet auf die Maximierung der Effizienz von Einzelementen zugunsten eines optimalen Zusammenspiels aller zu einem funktionierenden, störungsunanfälligen (wenngleich komplexen) System. Es ist nicht gesagt, dass die Technik dies nicht auch könnte. Doch hatte sie für eine solche Strategie in der – nun auslaufenden – Zeit billiger Energieressourcen keinen Entwicklungsanreiz. In dieser Hinsicht könnten bionische Ansätze vielleicht den größten Einfluss auf die zukünftige technische Entwicklung haben: als Strategievorbild.

Zuverlässigkeit, Erprobtheit • Man kann sagen, dass die Konstruktionen, Verfahrensweisen und Entwicklungsprinzipien der belebten Welt in jahrmillionenlanger Evolution erprobt sind und dass sie zuverlässig arbeiten. Was die technische Übertragung anbelangt, sind diese Begriffe allerdings nur sinnvoll im Rahmen einer ganz bestimmten Fragestellung. Um ein Beispiel hierfür zu geben: Die Art, wie sich bestimmte Stechmücken „vollautomatisch“ im Flug begatten, erfolgt mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit für das automatische Funktionieren des Ablaufs. Diese ist hoch (beim zufälligen Treffen eines Männchens mit einem in den Männchenschwarm einfliegenden Weibchens sicher über 95 Prozent). Man kann also von einem zuverlässigen Verfahren sprechen. Dieses existiert im Prinzip seit mindestens 250 Millionen Jahren; man kann also auch von einem erprobten Verfahren sprechen. Für ein anderes Beispiel können aber unter verschiedenen Randbedingungen völlig andersartige Werte schon als „zuverlässig“ und „erprobt“ gelten: Ein

einzelnes Haftelement am Vorderbein eines Wasserkäfers arbeitet vielleicht mit einer Haftchance von einem Prozent, also durchaus „unzuverlässig“; trotzdem arbeitet die gesamte Haftkonstruktion, die eine ähnlich lange Evolutionszeit hinter sich hat, durchaus zuverlässig und erprobt (11).

Gleiches gilt für die Technik. Zuverlässigkeit kann „wiederholtes, gleichartiges, ungefähres Funktionieren“ bedeuten (Rutschsicherheit eines Sohlenprofils), aber auch nur einmaliges, dann 100-prozentiges (Air bag).

Bei all den genannten Kriterien hat die Natur also eine Fülle von Umsetzungsvorschlägen anzubieten, die in der Vergangenheit wenig beachtet wurden, für zukünftige Entwicklungen aber sehr wichtig werden können.

8. Vergangenheit und Zukunft

Bis vor ein, zwei Jahrzehnten standen sich „Natur“ und „Technik“ einander ausschließlich gegenüber, die biologischen und technischen Disziplinen jeweils auf die eigene Vorgehensweise bezogen. Über die technische Biologie und Bionik sind diese Disziplinen nun verbunden. In Zukunft werden sie sich breiter einander zuwenden und so viel wie möglich voneinander lernen müssen. Der Lernprozess läuft in beide Richtungen. Biowissenschaftler können ihre Konstruktionen besser beschreiben und verstehen. Dies wiederum führt zu mehr und besser verstandenen Naturvorbildern, die ihrerseits im



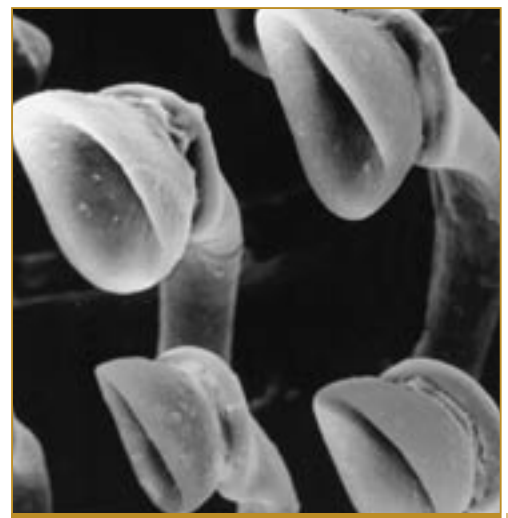
09

Zur hydrodynamischen Energieeffizienz. Der frisch geschlüpfte Gelbrandkäfer besitzt einen Rumpf mit einem Widerstandsbeiwert von 0,35 und Schwimmbeine (rechts hinten) mit hydrodynamischem Wirkungsgraden von rund 0,7. Beide Werte sind (für den gegebenen Bereich von Reynoldszahlen) kaum steigerbar.



10

Zur baustatischen Energieeffizienz. Fischwirbel sind so leicht gebaut, dass sie die auftretenden Drücke und Biegemomente gerade abfangen können ohne zu brechen. Damit wird der Energieaufwand für die Knochenkonstruktion minimiert.



11

Wasserkäfer tragen an die 100 gestielte Mikrohaare an den Vorderbeinen, die statistisch haften.

DER AUTOR



PROF. DR. RER. NAT. WERNER NACHTIGALL

Jahrgang 1934, hat in München unter anderem Biologie und Technische Physik studiert. Nach Assistenten-jahren am Zoologischen Institut und am Strahlenbiologischen Institut der Universität München und als Research Associate an der University of California, Berkeley, wurde er zum Direktor des Zoologischen Instituts der Universität des Saarlands, Saarbrücken, berufen. Seine Hauptarbeitsrichtungen waren Bewegungsphysiologie, Biomechanik, Technische Biologie und Bionik. Er ist Begründer eines Biologie-Diplom-Studiengangs „Technische Biologie und Bionik“, einer Gesellschaft gleichen Namens, sowie Mitbegründer des Bionik-Kompetenznetzes BioKoN. Biologie und Physik zusammenzubringen ist ihm ein wichtiges Anliegen.

Kontakt

Universität des Saarlandes, Zoologie, Technische Biologie und Bionik, 66123 Saarbrücken
 Tel. 0681/302-3287
 Fax 0681/302-6651
 E-Mail: gtbb@mx.uni-saarland.de

Übertragungsprozess der Bionik stärker in die Technikentwicklung hineinwirken, aber auch für wirtschaftliche und gesellschaftliche Gestaltungen genutzt werden können.

Sobald der Wissenstransfer zwischen Technik und Natur ganz selbstverständlich geworden sein wird, wird man auch von einer Biostrategie sprechen können, die Natur

und Technik zu einem unentwirrbaren Neuen verzahnt, einem großen Ganzen, das natürliche und technische Umwelt gleichwertig umfasst. Die Querverbindungen werden so sein müssen, dass der Einfluss des Menschen systemerhaltend und nicht mehr systemzerstörend ist. Ich sehe keine Alternative zu diesem Weg. •

Werner Nachtigall

Abbildungsnachweis

Farbabbildungen vom Verfasser. Die Strichzeichnungen stammen aus früheren Arbeiten des Verfassers und gehen auf die folgenden Autoren zurück:

- Abbildung 5 → Dürr (1989),
- Abbildung 6 → Weber (1930).
- Abbildung 8 → Dylla, Krätzner (1977).

Literatur

Angegeben sind neben einigen Sammelwerken nur Literaturstellen, auf die sich Text oder Abbildungen direkt beziehen.

- Ablay, P. (2006): Wechselschritte auf dem Tanzboden der Evolution. In: Blüchel, K./Malik, F. (Hrsg.): *Faszination Bionik*. München, S. 256–273
- Barthlott, W./Neinhuis, C. (1997): Purity of the sacred lotus or escape from contamination in biological surfaces. *Planta*, 202, S. 1–8
- Dürr, H. (1989): Artificielle Photo-Synthese. Ein Beitrag zum Problem der Sonnenenergie-Konversion. *Magazin Forschung der Uni. d. Saarlands* 1, S. 61–67
- Dylla, K./Krätzner, G. (1977): *Das biologische Gleichgewicht*. Heidelberg
- Küppers, U./Aruffo-Alonso, Cr. (1995): Verpackungsbionik: Umweltökonomische Optimierung technischer Verpackungen. In: Nachtigall, W. (Hrsg.): *BIONA-report 9, Technische Biologie und Bionik 2, 2. BIONIK-Kongress Saarbrücken 1994*, Stuttgart u.a., S. 171–175
- Monier, J. (1880): Verfahren zur Herstellung von Gegenständen verschiedener Art aus einer Verbindung von Metallgerippen mit Cement. Kaiserliches Patentamt, Patentschrift Nr. 14673, Klasse 80
- Nachtigall, W. (1974): *Phantasie der Schöpfung. Faszinierende Entdeckung der Biologie und Biotechnik*. Hamburg
- Nachtigall, W. (1983): *Biostrategie. Eine Überlebenschance für unsere Zivilisation*. Hamburg
- Nachtigall, W. (2002): *Bionik. Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler*. 2., völlig überarb. u. stark erw. Aufl., Berlin u.a.
- Nachtigall, W. (2008): *Bionik. Lernen von der Natur*. C.H.Beck Wissen, München
- Nachtigall, W./Bilo, D. (1965): Die Strömungsmechanik des *Dytiscus-Rumpfes*. *Z. Vergl. Physiol.* 50, S. 371–401
- Nachtigall, W./Blüchel, K. (2001): *Das große Buch der Bionik. Neue Technologien nach dem Vorbild der Natur*. 2. Aufl., München
- Rechenberg, I. (1973): *Evolutionsstrategie – Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution*. Fromann-Holzboog, *Problemata* 15. Folgeband: *Evolutionsstrategie 94. Werkstatt Bionik und Evolutionstechnik, Band I*. Fromann-Holzboog, Stuttgart (1994)
- Vester, F. (1999): *Die Kunst vernetzt zu denken: Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit der Komplexität*. Stuttgart
- v. Gleich, A. et al. (2007): *Bionik. Aktuelle Trends und zukünftige Potentiale*. Universität Bremen, Fachbereich 4, Fachgebiet 10
- Weber, H. (1930): *Biologie der Hemipteren. Eine Naturgeschichte der Schnabelkerfe*. Berlin