

Zeitschrift: Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG
Herausgeber: Eisenbibliothek
Band: 72 (2000)

Artikel: Technische Biologie und Bionik
Autor: Nachtigall, Werner
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-378346>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 01.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Technische Biologie und Bionik

Vorbemerkungen

Das Wort «BIONIK» geht auf den Begriff «bionics» zurück, den der amerikanische Luftwaffenmajor J. E. Steele Ende der 60er Jahre auf einem Kongress geprägt hat. Es ging damals um die Frage, ob man nicht «Erfindungen der Natur» für die Technik – speziell für die amerikanische Airforce – nutzen könnte.

Nach dem Krieg ist diese Sichtweise in Deutschland vor allem von dem Berliner Strömungsforscher und Flugzeugbauer Heinrich Hertel betrieben worden. Sein 1963 erschienenes Buch «Technik und Biologie» gilt heute als einer der Klassiker der Bionik. Ingo Rechenberg, ebenfalls Strömungsmechaniker und Berliner, hat dann die bionisch orientierte Evolutionsstrategie entwickelt und das Fachgebiet «Evolutionstechnik und Bionik» etabliert. Er lehrt an der Berliner Technischen Universität Bionik als Nebenfach-Ausbildung für Ingenieure. Ich selbst bin zwischen Biologie und Technik ansiedelt.

Bionisches Arbeiten, wie man es heute betreibt, hat freilich nicht nur diese Wurzeln, sondern schöpft aus einer ganzen Reihe historischer Ansätze. Aspekte dieser Art habe ich in den allgemeinen Abschnitten meines Lehrbuchs «Bionik» (1998) zusammengestellt.

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

Man setzt heute gerne den Begriff «Bionik» aus den Anfangs- und Endsilben von «Biologie und Technik» zusammen. Das klingt ein wenig suggestiv, kann aber so stehen bleiben, weil es klarstellt, dass die Enden dieser beiden heute noch so stark getrennten Disziplinen zusammenkommen sollten. Es gibt keinen Grund, Natur und Technik weiter so unterschiedlich zu betrachten wie bisher. Im Gegen teil: 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.

Der *Ingenieur* sollte nicht mehr wie bisher eine ganze Welt von Konstruktionen, Verfahrensweisen und Entwicklungsprinzipien schlicht nicht zur Kenntnis nehmen, sondern sich des Erfahrungsschatzes der Natur bedienen, wo immer das stimmig und sinnvoll ist. Davon wird im Folgenden vielfach zu sprechen sein.

Der *Biologe* seinerseits darf sich nicht mehr damit begnügen, Daten anzuhäufen und hinter den Buchrücken der Bibliotheken verschwinden zu lassen. Er muss sich bemühen, damit auf den konstruierenden Ingenieur zuzugehen und ihm Ergebnisse und Sichtweisen anzubieten, ihn also zu fordern. Dies darf ruhig bis an die Grenzen der Zumutbarkeit gehen: Nur so können wir aus festgefahrenen, scheinbar unabdingbar vorgegebenen Pfaden ausbrechen.

**Prof. Dr.
Werner Nachtigall**

Universität des
Saarlandes
Postfach 151150
D-66041 Saarbrücken

Definitionen

Bionik ist ja im Bereich der Naturwissenschaft angesiedelt, und der Begriff sollte deshalb naturwissenschaftlich klar definierbar sein. Ich möchte folgende Definitionen vorstellen:

VDI-Definition 1993

Bei einer Tagung des Vereins Deutscher Ingenieure über «Analyse und Bewertung zukünftiger Technologien», Düsseldorf 1993, die unter dem Motto «Technologie-Analyse Bionik» stand, wurde die folgende Definition des Begriffs «Bionik» ausgearbeitet:

«Bionik als wissenschaftliche Disziplin befasst sich mit der technischen Umsetzung und Anwendung von Konstruktions-, Verfahrens- und Entwicklungsprinzipien biologischer Systeme».

Die Grundgedanken dabei sind folgende: Bionik ist (unter anderem, wie gezeigt werden wird) eine eigenständige wissenschaftliche Disziplin, die deshalb auch institutioneller und ausbildungs-mässiger Randbedingungen bedarf. Ihre Grundaufgabe ist nicht so sehr die direkte Erforschung der belebten Welt (das leistet mehr die Technische Biologie), sondern, wie gesagt, die technische Umsetzung und Anwendung dieser Ergebnisse.

Auf welchen Gebieten kann man bionisch tätig sein? Es sind eine ganze Reihe von Aspekten, die in den drei Grunddisziplinen der Konstruktionsbionik, Verfahrensbionik und Entwicklungsbionik zusammengefasst werden können. Basis für den Erkenntnisgewinn und für jeden Übertragungsaspekt ist aber das So-Sein biologischer Systeme.

Zukunftsadaptive Definition

In den letzten Jahren hat sich die Einsicht gefestigt, dass die VDI-Definition 1993, die damals aus Gründen der Präzisierung und Abgrenzung sehr eng gewählt worden ist, zu erweitern ist. Insbesondere kommt der Grundaspekt der Bionik, nämlich auf den drei genannten Teilgebieten letztendlich die Technik so zu beeinflussen, dass sie Mensch und Umwelt stärker nützt, in der Definition selbst nicht zum Tragen.

Ich schlage deshalb folgende – gekürzte und verallgemeinerte – «zukunfts-adaptive Definition» vor:

«Lernen von den Konstruktions-, Verfahrens- und Entwicklungsprinzipien der Natur für eine positive Vernetzung von Mensch, Umwelt und Technik».

Diese erweiterte Definition umfasst dann auch Interaktionen zwischen Umwelteinflüssen und Lebewesen.

Bionik als Integrationsfaktor

Vom Menschen aus besehen lässt sich das, was uns umgibt, in zwei Bereiche gliedern: Der vom Menschen nicht oder nicht vollständig beeinflusste Bereich und der vom Menschen beeinflusste, umge-staltete Bereich. Nennen wir den ersten sensu strictu «Umwelt», den letzteren «Technik», so ergibt sich, wenn man nur die vom Menschen ausgehenden Einflüsse betrachtet, das in der Abbildung 1A dargestellte Prinzipgefüge mit positiven und negativen Beziehungspfeilen. Die Facetten fügen sich nicht zum Ganzen, weil sie vom Teilgebiet «Technik» explosiv auseinandergetrieben werden. Das ist die Realität.

Zukunftsvision – auch naturwissenschaftliche Betrachtung kann nicht ohne Visionen auskommen – könnte sein, dass sich die drei Facetten «Mensch», «Umwelt» und «Technik» integrativ zusammen-schliessen, so dass das Ge-samtsystem möglichst nur durch positive Beziehungspfeile zwischen allen Teil-gebieten beschreibbar ist (Abb. 1).

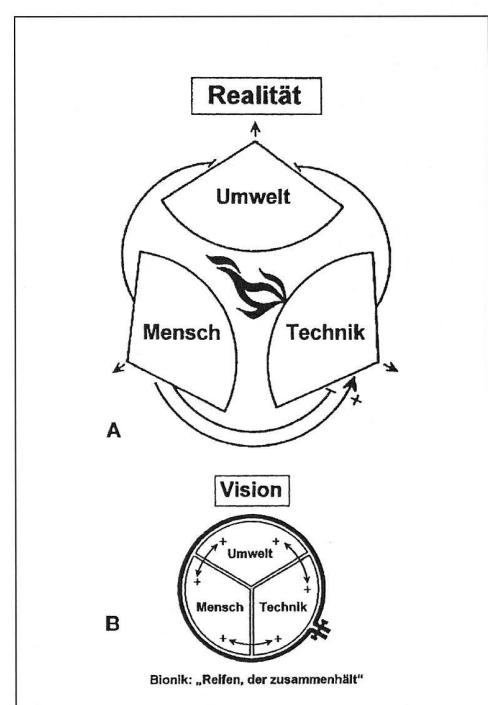


Abb. 1: Bionik als Integrationsfaktor. A Realität. B Vision. (Original)

Bionik im Sinne der dritten Definition könnte nun fungieren als «Reifen, der das alles zusammenhält». Es ist zu fragen, ob sich die in Abbildung 1B klein gezeichnete «Vision von heute» zu einer beherrschenden «Realität von morgen» entwickeln kann.

Die vier Facetten der Bionik

Aus dem bisher Gesagten ergibt sich bereits, dass Bionik zwar eine Disziplin (also ein abgrenzbares Fach) ist, aber nicht nur das. Ich sehe vier Ansätze:

- Bionik ist eine Disziplin
- Bionik ist ein Werkzeug
- Bionik ist ein Denkansatz
- Bionik bedeutet eine Lebenshaltung

Diese vier Facetten werde ich im Folgenden etwas näher beleuchten.

Bionik – eine Disziplin

In etwas erweiterter Formulierung der Überschrift könnte man sagen:

«Bionik ist eine Disziplin, die zu Produkten führt, und in der auszubilden ist.»

Dazu zwei Beispiele:

Riblet-Effekt

Der Paläontologe und Biologe E. Reif (Paläontologisches Institut der Universität Tübingen) hat sich die Schuppen fossiler und rezentner Haie näher angesehen. Die Schuppen-Oberseiten schliessen unter leichter Überlappung aneinander. Jede Schuppe trägt Riefen. Das Seltsame ist, dass sich Riefen-Reihen über viele Schuppen längs der Körper- oder Flossenkonturen hinziehen. Einen Ausschnitt zeigt Abbildung 2A. Diese Reihen verlaufen so, wie man sich Stromlinien (besser «Streichlinien») um den Körper herumlaufend vorstellen kann.

Der Paläontologe hat sich mit einem Strömungsmechaniker zusammengetan: D. Bechert, DLR, Abt. Turbulenzforschung, Berlin. Dieser konnte die vermutete Wirkung der Rillenstruktur experimentell und theoretisch enger fassen: wahrscheinlich verringern sie den Oberflächen-Widerstand im Wesentlichen durch Behinderung der Querturbulenzen. Sind damit

«Haischuppen-Überzüge» zur Widerstandsverminderung bei schwimmenden und fliegenden technischen Rümpfen brauchbar?

Zweifellos sind sie das nicht: Direkte Naturkopie ist Unsinn. Doch kann die Abstraktion der Naturerkenntnis äusserst wichtig sein. Auf Anregung des Störungsmechanikers hat die Firma 3M Riefen- oder Ribletfolien entwickelt und weiterentwickelt (Abb. 2B). Diese sind dem natürlichen Vorbild analog.

Beklebt man eine flache Platte mit einer solchen Folie, so zeigt sie in günstigsten Fällen mindestens 8% geringeren Reibungswiderstand (Abb. 2C). In einem ersten Grossversuch wurde ein Airbus A 320 mit solchen Folien beklebt (Abb. 2D). Seine Widerstandsreduktion beträgt immerhin 2–3%. (Sie kann nicht so gross sein wie beim Plattenversuch, da es beim Flugzeug noch andere Widerstandsanteile gibt, die die Folie nicht beeinflusst).

Rechnet man auf Treibstoffverbrauch um, so ergeben sich unerwartet günstige Werte. Ein Beispiel, der Langstrecken-Airbus A 340–300, dargestellt nach D. Bechert: Maximales Startgewicht: 254 t, davon Leergewicht: 126 t, Treibstoff: 80 t, 295 Passagiere: 48 t.

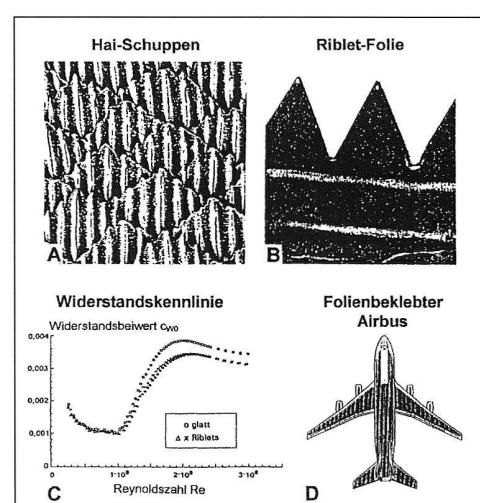


Abb. 2: Zum Riblet-Effekt. A Beispiel für Haischuppen mit Riefen. B Querschnitt durch eine Ribletfolie mit etwa 30 Riefen pro Millimeter. C Beispiel für eine Messung der Abhängigkeit des Oberflächen-Widerstandsbeiwerts von der Reynoldszahl mit einer glatten Platte (obere Kurve) und einer mit der Ribletfolie nach Teilabbildung C beklebten Platte (untere Kurve). D Beklebungsbeispiel für den ersten Ribletfolien-Versuch mit einem Airbus. (Basierend auf Reif und auf Bechert et al.)

Die Haifischhaut reduziert den Reibungswiderstand um 8% des gesamten Luftwiderstandes. Das bedeutet auch ca. 4% weniger Treibstoffverbrauch!

Auf einer Langstrecke sind 1/3 der Betriebskosten Treibstoffkosten; 4% weniger Treibstoff bedeuten: 1,3% weniger Betriebskosten, bzw. 3,2 t weniger Masse. Dafür sind 6,7% mehr Zuladung möglich, das entspricht 20 Passagieren. Der Gesamtgewinn beträgt: $6,7\% + 1,3\% = 8\%$.

Diese Größen sind sowohl kommerziell wie ökologisch ausserordentlich bedeutsam. Die Grossversuche wurden deshalb ausgeweitet; eine weltweite zukünftige Anwendung dieses Prinzips ist wahrscheinlich.

Termiten-Eisbär-Effekt

Man muss nicht immer das Rad neu erfinden. Mit anderen Worten: *Innovationen bauen immer auf Voraarbeiten auf* und führen manchmal nur ein Stück – ein kleines oder ein entscheidendes Stück – weiter. Dazu ein Beispiel aus der eigenen Forschungspraxis.

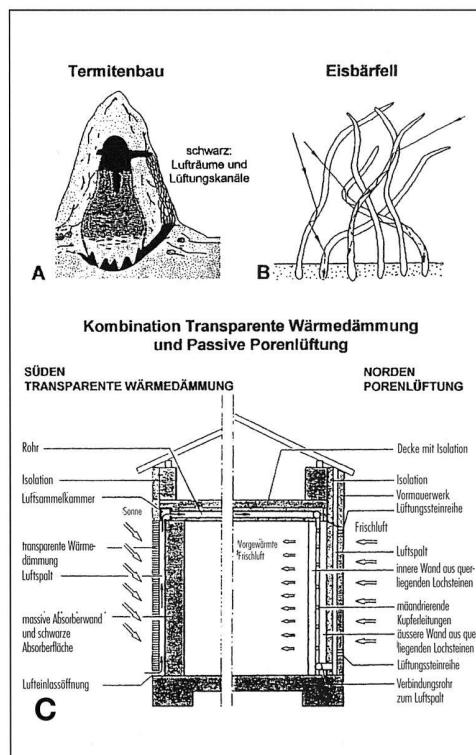


Abb. 3: Zum Termiten-Eisbär-Effekt. A Termitenbau mit induzierter Strömung. (Nach Lüscher). B Prinzip des Lichtweiterleitens im Eisbärhaar durch Totalreflektion. (Nach Tributsch et al.) C Kombination transparenter Wärmedämmung und passiver Porenlüftung. (Nach Nachtigall, Rummel)

Der Schweizer Biologe M. Lüscher hat den Bau der afrikanischen Termiten *Macrotermes bellicosus* untersucht. Demnach strömt Luft in einem geschlossenen Röhrensystem – angetrieben von der Sonnenwärme und von der Stoffwechselwärme – vom kühlen, feuchten «Keller» durch das Nest in den oberen Teil des Baues und unmittelbar unter der Außenwand wieder zurück. Das Baumaterial ist porös, so dass Sauerstoff eindiffundieren und Kohlendioxid ausdiffundieren kann: Eine in letzter Konsequenz sonnenangetriebene automatische Klimatisierung (Abb. 3A).

Die Wirkung des Eisbärfells als Lichtfalle haben der Berliner Physikochemiker H. Tributsch und seine Mitarbeiter untersucht. Durch Totalreflektion werden eingefangene Licht- und Wärmestrahlen innerhalb der weissen Haare nach unten geleitet (Abb. 3B) und dort von der dunklen Hautoberfläche absorbiert: Wärmegewinn. Wegen der vielen eingeschlossenen Luftpolster kann die Wärme aber nicht mehr entweichen. Dies ist das Prinzip eines Transparenten Isolationsmaterials («TIM»), das heute schon vielfach technisch genutzt wird, beispielsweise über die Bündelung enger Glasröhrenchen.

Mein Diplomand G. Rummel und ich haben die beiden Prinzipien kombiniert und nach eigenen Vorstellungen weiterentwickelt. Es geht um die Konzeption eines Niederenergiehauses, bei dem eine Kombination aus transparenter Wärmedämmung (nach dem Eisbärprinzip) und passiver Porenlüftung (nach dem Prinzip der porösen Termitenbauten) sowohl Wärmeversorgung wie Frischluftzufuhr übernimmt (Abb. 3C).

Das Grundkonzept dieses Entwurfs für ein Niederenergiehaus besteht im Folgenden. Das Haus hat an der südorientierten Seite eine dicke Absorberwand, die an der Außenfläche schwarz gefärbt ist. Davor wird die transparente Wärmedämmung angebracht, allerdings mit einem Zwischenraum, in dem Luft zirkulieren kann. Diese TIM besteht aus einer sandwichartigen Schicht von eng aneinander gepackten Glas- oder Plastikröhrenchen, die aussen und innen von einer Glasplatte begrenzt sind. Die Luft in diesem Spalt wird über die schwarz gefärbte Absorberwand erwärmt, steigt auf und wird von der Südseite des Hauses über Deckenrohre zur Nordseite geführt.

Dort wird sie durch dünne, in Schlangenlinie gelegte Kupferrohre geleitet. Die Porenlüftung besteht aus einer Reihe von perforierten Lüftungssteinen, hinterfüllt mit einer spongiösen Schicht. Die Frischluft diffundiert dann über die gesamte Innenwand der Nordseite ins Haus.

So können mehrere Fliegen mit einer Klappe geschlagen werden: Solarheizung, zeitverzögerte Wärmeabgabe (Nachheizung), zugfreie Lüftung, kühlere Frischluftzufuhr, vollautomatisches Abstimmen der Einzelkomponenten. Die jetzt laufende Dissertation wird zeigen, inwieweit die bisher theoretisch erfassten Effekte umsetzbar sind.

Bionik – ein Werkzeug

Etwas ausführlicher könnte man sagen:

«Bionik ist ein Werkzeug, das in der Praxis anwendbar ist.»

Auch dazu seien einige Aspekte etwas näher beleuchtet; besonders wichtig erscheint mir die Betonung der Notwendigkeit einer Analogieforschung.

Analogieforschung am Anfang

Am Beginn einer jeden technisch-biologischen oder bionischen Betrachtung muss zwangsläufig der analoge Vergleich stehen. Analogieforschung – eine auf G. Helmcke zurückgehende Wortschöpfung – bedeutet, biologische und technische Konstruktionen, Verfahrensweisen oder Entwicklungsprinzipien zunächst «zweckfrei» einander gegenüberzustellen und auf mögliche Gemeinsamkeiten, Widersprüche oder Anregungspotentiale abzuklopfen.

Grashalm und Fernsehturm sind jeweils zentral und achsenparallel belastete Hochbaukonstruktionen. Über diese Grundfeststellung hinausgehende Vergleiche scheinen sich zu verbieten; dafür sorgen nichtlineare Ähnlichkeitsgesetze (die zum Beispiel höhere Bauwerke «verplumpen» lassen), Materialeigenschaften und andere physikalische und baustatische Gesetzmäßigkeiten. Und trotzdem kommt man nicht weiter, wenn man nicht einen Vergleich zunächst versuchsweise zulässt. Es kann durchaus sein, dass dieser Vergleich entweder sachlich nichts bringt oder sich tatsächlich bei näherem Nach-

denken als «sinnleer» (da physikalisch unterschiedlichen Sphären zugehörend) erweist. Wenn man dies erkannt hat und dann über den Vergleich die Akte schliesst, ist das nicht weiter dramatisch: Neun von zehn Ansätzen in einer experimentell ausgerichteten, naturwissenschaftlichen Forschung gehen schief, das ist schon das Minimum. Vergleicht man aber nicht zunächst «unvorbelaet», so kommt man ganz sicher nicht oder doch nicht so schnell auf neuartige, unkonventionelle Ideen.

Wir haben in meiner Arbeitsgruppe neuerdings, insbesondere im Labor Kesel, «primitive» (d.h. weniger hoch evolvierte) Gräser und «fortschrittliche» (d.h. in der Evolution höherstehende) Gräser näher angesehen. Zur ersten Gruppe gehört der Taumelloch, *Lolium perenne* (Abb. 4A), zur letzteren das Pfeifengras, *Molinia coerulea* (Abb. 4B). In der Abbildung ist jeweils ein Teil eines mikroskopischen Schnittes, ein Abstraktum für den Rechner und das Ergebnis einer Finiten Elemente Modellierung unter seitlicher Windlast dargestellt. Die Materialanteile (nicht tragendes Parenchym und tragendes Sklerenchym) sind dabei jeweils gleich gewählt.

Trotzdem das «fortschrittliche» Gras sogar ein geringeres Flächenträgheitsmoment aufweist, ist seine Biegestabilität gegenüber einer seitlichen Flächenlast, wie sie Wind darstellt, deutlich höher. Dieses Gras verformt sich nicht so leicht wie das erstgenannte zu einer Biegeellipse und kommt damit auch nicht so rasch in den irreversiblen Knickfall.

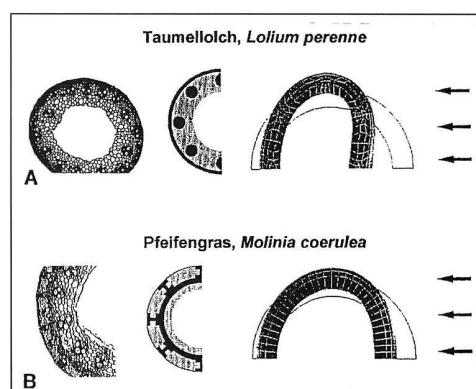


Abb. 4: Ausschnitte aus Querschnitten, abstrahierte Modellierung und Finite-Elemente-Modellierung der Gräser *Lolium perenne* (A) und *Molinia coerulea* (B). Vergl. den Text. (Nach Kesel, Labisch)

Die Anregung, Gräser nach diesen Gesichtspunkten zu betrachten und zu analysieren, kam aus der Betrachtung technischer Hochbauten wie beispielsweise Fernsehtürmen («Technische Biologie»). Die Untersuchungen sind noch im Fluss; dass sie in die Technik ausstrahlen werden, erscheint aber jetzt schon wahrscheinlich, da sich abzeichnet, dass gleiche Biegesteifigkeit mit einem vielleicht etwa 15 % geringeren Materialaufwand erreichbar ist, wenn man das Material nur «evolutiv cleverer» verteilt. Materialeinsparung bedeutet einerseits Geldmitteleinsparung, andererseits geringere Umweltbelastung, denn es gibt kein Material, das bei seiner Herstellung die Umwelt nicht negativ beeinflusst.

Vergleichende Gegenüberstellung

Die Abbildung 5A, B zeigt im Vergleich eine technische Kupplung, wie sie zwischen den Loren einer Feldbahn üblich ist oder zwischen ziehendem Kraftfahrzeug und Anhänger, und eine biologische Kupplung, die Vorder- und Hinterflügel einer fliegenden Wanze verkoppelt. Es ergeben sich, funktionell betrachtet, prinzipielle Übereinstimmungen in der Funktionsweise, beispielsweise das Prinzip des Kraftschlusses, das Prinzip der Zugsicherung über Sicherungsflügel und so fort. Natürlich baut die Natur ihre mikroskopische Kupplung anders als der Techniker seine makroskopische Kupplung. Wenn es darum geht, Fragen der temporär kraftschlüssigen Verkopplung zweier Einzelemente im Mikromassstab anzugeben, Fragen also, wie sie in der aufblühenden Mikrotechnologie zu Dutzenden sich stellen, ist es möglicherweise sinnvoller vom «Vorbild Natur» als von bekannten technischen Grossausführungen auszugehen.

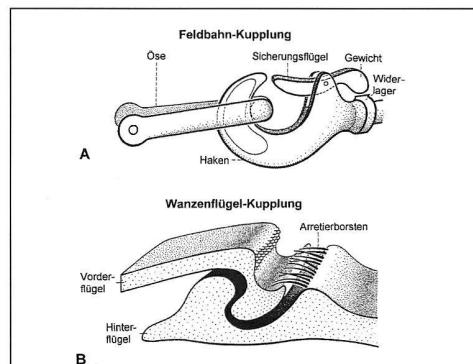


Abb. 5: Kupplungen. A Technische Kupplung bei einer Feldbahn. B Vorder-Hinterflügel-Kopplung bei einer Wanze. Vergl. den Text. (Nach Nachtigall)

Im vorliegenden Fall würde man im Sinne der Analogieforschung zunächst die (weiterzuentwickelnde oder im mikroskopischen Massstab anzupassende) technische Kupplung und die reale mikroskopische Kupplung der Natur gegenüberstellen (Abb. 6).

In einem weiteren Schritt geht es darum, Vergleiche anzustellen. Wenn ein technisches System weiterentwickelt werden soll, wird zunächst sein Istzustand formuliert, dann ein Anforderungskatalog für die zukünftige Entwicklung. Wenn man ein biologisches System beschreibt, formuliert man notwendigerweise den Istzustand des gegenwärtigen Evolutionsstandes. Man kann daraus einen detaillierten Beschreibungskatalog entwickeln.

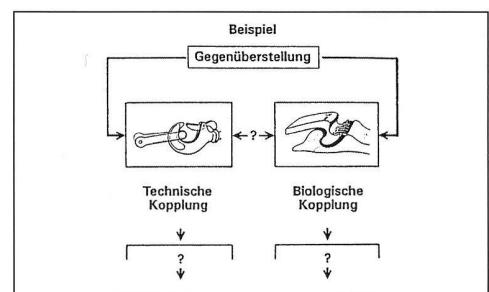


Abb. 6: Beginn der Analogieforschung: Analoges Gegenüberstellen, gezeigt am Beispiel technischer und biologischer Kupplungen. (Nach Nachtigall)

Vergleiche sind nun an zwei Stellen möglich, nämlich im Sinn eines Formvergleichs und eines Funktionsvergleichs (Abb. 7).

Beim *Formvergleich* werden technisches und biologisches System – wie gesagt zunächst im Sinne einer analogen Betrachtung – einander gegenübergestellt und auf Ähnlichkeiten und Differenzen hin durchgemustert.

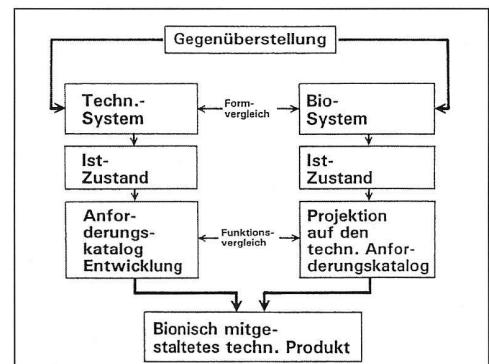


Abb. 7: Flussdiagramm der Analogieforschung; Formvergleich und Funktionsvergleich. (Nach Nachtigall)

Beim Funktionsvergleich werden die Kataloge verglichen, nämlich der technische Anforderungskatalog für eine Weiterentwicklung und der biologische Deskriptionskatalog des Istzustands.

Was sich aus den Vergleichen und darauf aufbauenden Querbeziehungen ergeben kann, ist nie ein bionisches Produkt – das gibt es gar nicht. Es handelt sich stets um technische Produkte, die aber – und das ist das Wesentliche – mehr oder minder bionisch mitgestaltet sein können.

Vorgehensweise der Zusammenarbeit

Wie kann eine Zusammenarbeit zwischen den biologischen und technischen Disziplinen nun im Prinzip vor sich gehen? In Abbildung 8 ist das Grundkonzept skizziert.

Biologische Analyse bedeutet letztendlich immer Grundlagenforschung. Diese kann allerdings problembezogen und damit von einer technischen Frage, einem auftretenden technischen Problem x_1 , ausgelöst worden sein und damit bereits anwendungsorientiert bzw. problembezogen ausgelegt sein. Sie kann aber «zunächst zweckfrei» ablaufen und dann einen Informationspool $x_2 \div x_n$ füllen, aus dem sich der Techniker für seine Problemlösungen bedienen kann, wenn es nötig ist. Wichtig sind dabei drei Aspekte:

Zum einen handelt es sich hier um *Grundlagenforschung par excellence* und damit um einen *Zivilisations- bzw. Kulturauftrag*. Es steht einer Zivilisation

gut an, Sinfonieorchester oder Opernbühnen zu unterhalten. Dies kostet Geld und bringt keinen unmittelbaren, leicht messbaren Effekt. Mit der Grundlagenforschung verhält es sich genauso. Damit ist die «zunächst zweckfreie Grundlagenforschung» Politikern und Wirtschaftlern weniger gut nahe zu bringen als eine «problembezogene Grundlagenforschung.»

Zum Zweiten hat die «zunächst zweckfreie Grundlagenforschung» sehr starke Ähnlichkeit mit der biologischen Evolution. Diese reagiert ja auch nicht erst mit der Vorstellung neuer, «besser angepasster» biologischer Konstruktionen, wenn sich ändernde Umweltbedingungen dies erzwingen. Die Evolution spielt vielmehr jeweils eine sehr grosse Anzahl von Möglichkeiten durch und verankert sie genetisch. Wenn sich die Umweltbedingungen dann einmal ändern, ist im allgemeinen immer eine genetische Information parat, die dann Entfaltungsvorteile vorfindet, und sich selektiv durchsetzt und somit zu «besser angepassten» biologischen Konstruktionen führt.

Zum Dritten ergeben sich beide Aspekte als *praktische Notwendigkeiten*. Wenn die Industrie eine Frage hat, die von bionischer Seite angegangen werden kann, wendet sie sich an eine geeignete Institution und vereinbart eine zeitlich terminierte Zweckforschung, gibt also einen Forschungsauftrag. Das ist eine praktische Notwendigkeit, wenn es darum geht, Informationen des «Erkenntnisreservoirs Natur» zu nutzen. Dieses muss aber gefüllt sein, sonst bekommt man nicht einmal Anregungen für zweckbehaftetes Weitervorgehen.

Unabdingbar ist also naturwissenschaftlich-biologische Grundlagenforschung. Sie ist darüber hinaus eine zivilisatorische und kulturelle Forderung, die des anwendungsorientierten Deckmantelchens nicht bedarf. Eine Nation, die sich als Kulturnation bezeichnet, muss einen Teil des Volkseinkommens «zweckfrei» ausgeben, beispielsweise für Filmförderung, Buchpreise oder eben auch bionische Grundlagenforschung. Die Letztere kann eine sehr wesentliche Kittfunktion zwischen Technik und Biologie erhalten, wird sie denn in geeigneter Weise betrieben.

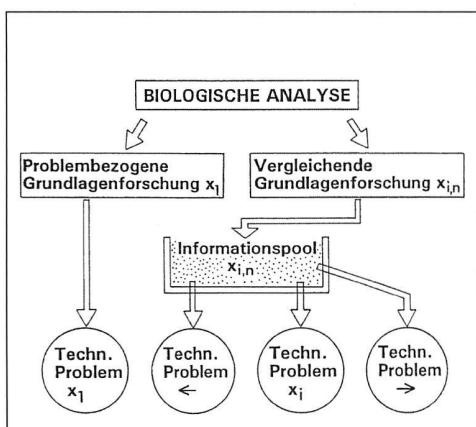


Abb. 8: Spezielle und allgemeinere Datensammlung; problembezogene Grundlagenforschung und zunächst zweckfreie Grundlagenforschung. (Nach Nachtigall)

Stufen der Zusammenarbeit

Wenn also Bionik eine Art Kitt zwischen Technik und Biologie darstellen soll oder ein Band werden kann, das diese Disziplinen umschlingt, wie sieht die Zusammenarbeit dann in der Praxis aus? In Abbildung 9 ist die Problematik graphisch verdeutlicht.

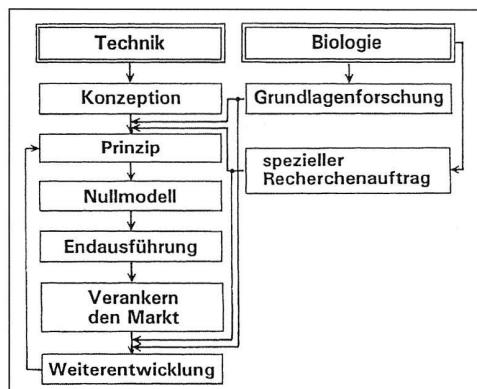


Abb. 9: Stufen der Zusammenarbeit; Einspeisen biologischen know-hows in die technologische Entwicklungskette. (Nach Nachtigall)

Am Beginn der Entwicklung eines technischen Produkts steht die Konzeption, dann die Ausarbeitung des Form- und Funktionsprinzips, des Weiteren die Herstellung eines Nullmodells. Dieses entwickelt sich in vielerlei Änderungen zu einer Endausführung, die nun auf dem Markt verankert werden soll. Dies gelingt meist nicht auf Anhieb, so dass weitere Modifikationen gemacht werden müssen; die Endausführung wird wieder an der Prinzipkonstruktion gespiegelt, leicht verändert und wieder dem Markt angeboten. Es läuft also ein Iterationsprozess eines einmal angestossenen Vorgangs ab.

Die Biologie kann im Sinne der Grundlagenforschung und eines speziellen Recherchenauftrags, wie unter Punkt 4.2.3 geschildert, an der Entwicklung und Weiterentwicklung eines technischen Produkts Anteil nehmen. Die Informationen fliessen einerseits in die Schnittstelle zwischen Konzeption und Prinzipmodell, andererseits – in der Weiterentwicklung – in die Iterationsschleife der Marktverankerung. Somit kann Bionik nicht nur bei der Prinzipentwicklung, sondern – was mindestens ebenso wesentlich erscheint – bei der Detailänderung und Anpassung mithelfen. Insbesondere die Marktakzeptanz wird in Zukunft sehr stark davon abhängen, ob ein Gerät oder eine Verfahrensweise Mensch und Umwelt

sehr viel stärker einbezieht, als das bisher der Fall ist. Das wird von Waschmitteln bis zu Autos, von Klebstoffen bis zu biochemischen Verfahrensweisen so sein.

Bionische Kenntnisse und Erkenntnisse werden in sehr absehbarer Zeit für die Marktverankerung fast ebenso wichtig werden wie die technologischen Grundkonzepte, gerade wegen dieser vom Käufer ausgehenden Akzeptanz-Problematik. Die Industrie hat sich darauf bereits eingestellt. Eigentümlicherweise erfährt das machtvolle Mittel der Bionik aber von Politik und Wirtschaft erst zögerlich die nötige Unterstützung.

Bionik – ein Denkansatz

Etwas erweitert könnte man sagen: *Bionik ist ein Denkansatz, der den philosophischen Unterbau für ein «natürliches Konstruieren» liefert. «Natürliches Konstruieren» – dieses Schlagwort geistert immer stärker durch den Blätterwald, die Grünen verlangen Lehrstühle für «Ökologisches Konstruieren» – aber was impliziert das?*

Wenn man näher darüber nachdenkt, finden sich eine Reihe von Grundprinzipien natürlicher Systeme, die man wohl auch als *Grundelemente eines naturnahen Konstruierens* bezeichnen kann. (In einem auf Design im Sinne einer funktionellen Formgestaltung ausgerichteten Ansatz habe ich diese 1997 als *«Zehn Gebote bionischen Designs»* bezeichnet.)

Ich sehe zehn Grundprinzipien, die typisch für natürliche Systeme sind. Sie können hier nicht gebracht werden; sie sind, wie gesagt, in meiner Zusammenstellung von 1997 ausführlich abgehandelt.

Das Fazit dieser zehn Grundprinzipien natürlicher Systeme, die man auch als zehn Grundgesetzmäßigkeiten für ökologisches Konstruieren bezeichnen kann, ist folgendes: Diese Grundinhalte sind in einer Bionikausbildung insbesondere den jungen Ingenieuren zu vermitteln. Bei Agatha Christie ist es bekanntlich «unmöglich, nicht von ihr gefesselt zu werden». Für eine Bioniklehre, die auf diesen Prinzipien aufbaut, ist es *unmöglich, dass sie nicht Spuren in der geistigen Grundeinstellung und im konstruktiven*

Vorgehen des zukünftigen Ingenieurs, Naturwissenschaftlers, Technikers, Wirtschaftlers, Politikers hinterlässt.

Unbeschadet der Erfolge der Bionik als Disziplin: Dieser Vermittlungsaspekt ist einer der wichtigsten Bausteine, wenn es darum geht, die Bionik im Kräftefeld zwischen Natur, Technik und Mensch zu verankern. Wie aber ist dies zu erreichen?

Auf einen kurzen Nenner gebracht kann man Folgendes fragen:

1. Was braucht der Mensch wirklich, um «menschenangemessen» leben zu können, und wie kann man es ihm (uns) verschaffen?
2. Welche Grundkonzepte der Natur können helfen, Punkt 1 zu verwirklichen?
3. Welche Grundkonzepte nach 2. sind praktikablerweise kombinier- und umsetzbar, um 1. zu verwirklichen?

Institutionen und Forschungsstellen, die Allgemeine Bionik betreiben, werden zukünftig genau *diese drei Grundfragen zum übergeordneten Inhalt haben müssen*.

Bionik – eine Lebenshaltung

Erweitert gesagt:

Bionik ist eine Lebenshaltung, die sich ethischen Leitlinien unterwirft.

Das Naturstudium verleiht Einsichten

Vertieftes Wissen über die belebte Welt kann eine Lebenshaltung – des Praktikers, Wirtschaftlers, konstruierenden Ingenieurs, von uns allen – induzieren, die sich ethischen Randbedingungen unterwirft. Kurzgefasst eben: «Naturstudium verleiht Einsichten».

Welcher Art sind diese Einsichten?

Die zu erwartenden Einsichten bestimmen mit Sicherheit zumindest und zunächst die «konstruktive Lebenshaltung» eines gestaltenden Ingenieurs.

Derartige Einsichten kommen aber nicht von selbst. *Ausbildung* muss lehren, das «konstruktive und systemerhaltende Potential» der belebten Welt zur Kenntnis zu nehmen und aufzuschlüsseln.

Einsichten setzen sich auch nicht von selbst konstruktiv um. Dazu bedarf es

einer *Grundorientierung der Wirtschaft*. Diese Grundorientierung der Wirtschaft muss politischen Randbedingungen und/ oder Zielsetzungen folgen.

Politische Zielsetzungen sind aber nur akzeptabel, wenn sie im Einklang mit verbindlich eingebundenen *ethischen Leitlinien* im Sinne einer *neuen Moral* stehen.

Fazit: Es geht gar nicht so sehr um Konstruktion, Naturwissenschaft und Wirtschaft, wenn wir weiterkommen wollen. Vielmehr muss Ethik an der Basis eines Systemwandels stehen. Sie darf eben nicht nur *a posteriori* als ethisches Männelchen umgehängt werden.

Pragmatisch gefordert sind also diejenigen Institutionen und Menschen, die über solche Grundfragen nachdenken. Sie müssen stärker zur Kenntnis genommen und es muss ihnen auch stärkerer gesellschaftspolitischer Einfluss verschafft werden. Wo dieser Einfluss abgeklungen ist, wie beispielsweise bei Elternhaus, Schule und Kirche, sollte alles getan werden, dass dieser zurückgewonnen wird – nicht im Sinne eines altägyptischen «Zurück zur Autorität», sondern im Sinne einer geduldigen Überzeugungsarbeit, die den Bildungsweg des jungen Menschen begleitet und ethische Grundaspekte an den Anfang stellt.

Zusammenfassung und Ausblick

Bionik sollte richtig eingeschätzt werden

Die Grundaussagen, um es nochmals zusammenzufassen, sind:

- Bionik ist keine Heilslehre und keine Naturkopie.
- Bionik ist ein Werkzeug, dass benutzt werden kann, aber nicht benutzt werden muss.
- Bionik ist kein allgemeiner Problemlöser, aber fallweise ein machtvoller Hilfsmittel.

Bionik favorisiert Höchsttechnologien – aber solche, die Mensch und Umwelt wirklich dienen. Das schliesst low tech dort, wo anwendbar und sinnvoll, natürlich nicht aus. Gemeint ist nicht ein

schwärmerisches Zurück-zur-Natur im Sinne von Rousseau. Vielmehr geht es um ein geduldiges Bemühen, die drei Facetten «Mensch», «Technik» und «Umwelt» zu einem möglichst nur positiv vernetzten Beziehungsgefüge zusammenzufassen (vergl. Abb. 1B).

Hierfür sind tausend Dinge einzubeziehen. Bionik betreiben bedeutet also auch geduldiges Erforschen, Vernetzen, Einflussnehmen und Weiterentwickeln.

Was kann letztlich erwartet werden?

Früher und zum Gutteil bis heute war Folgendes Realität: Biologie und Technik sind nicht aufeinander bezogen, stellen sozusagen getrennte Hemisphären einer Kugel dar (Abb. 10 A). Es waren keine oder kaum Querverbindungen erkennbar. Die technische Vorgehensweise ging von einem Problem aus, das es zu bearbeiten und einer technischen Lösung zuzuführen galt – technische Problemlösung *lege artis* der Ingenieurwissenschaften. Mögliches zukünftiges Vorgehen fordert eine neue Realität, neue Querbeziehungen, die diese beiden scheinbar getrennten Welten besser und besser aneinander koppelt (Abb. 10 B).

Die Welt der Technik kann helfen, die Welt der Natur besser zu verstehen, zu erforschen und zu beschreiben (Aspekte der «Technischen Biologie»). Der Biologe zerlegt die Natur ja in Teilsysteme, die es zu verstehen gilt. Technisches Know-how kann ihm hier in vielerlei Hinsicht ganz ausgezeichnete Hilfen geben. Wenn er sie nicht annimmt, begeht er eine Todsünde der naturwissenschaftlichen Forschung, nämlich bewussten Wissensverzicht.

Die konstruktive Welt der Technik wird sich durch die Biologie nicht ändern. Nach wie vor werden Probleme *lege artis* der ingenieurwissenschaftlichen Problemlösungsstrategien bearbeitet und einer Lösung zugeführt werden. Ergebnisse biologischer Forschung können aber über die Facette der Bionik dort eingebracht werden, wo es um technische Problembearbeitung geht.

Das Endprodukt wird stets ein technisches bleiben. Es gibt keine bionischen Produkte. Das Endprodukt kann aber bionisch mitbeeinflusst, mitgestaltet sein.

Dies kann sich auf kleine Facetten beschränken, so dass rasch vergessen wird, dass die Natur eigentlich Pate gestanden hat. Auf der anderen Seite kann das Einbringen eines bionischen Know-how aber auch die Gesellschaft verändern und Ansätze für eine Überlebensstrategie der Menschheit geben. Als die drei allerwichtigsten Forderungen stehen die Nutzung der Sonnenenergie («Künstliche Photosynthese und Wasserstofftechnologie»), das «Prinzip der totalen Rezyklierung» und die «Verfahren des komplexen, umweltorientierten Managements» im Vordergrund.

Sichtweisen des VDI

Auf seiner bereits angeführten Tagung hat der Verein Deutscher Ingenieure, VDI, mehrere zusammenfassende Konzepte entwickelt, die einem allgemeinen Schema über Massnahmen zur Identifikation und Bewertung von Ansätzen zukünftiger Technologien entsprechen. Die Darstellung von Abbildung 11 deckt sich in etwa mit den hier vorgestellten Konzepten. Auch der VDI sieht Bionik als *Bindeglied zwischen der Biologie (mit ihrer technikorientierten Facette der Technischen Biologie) und der Technik*.

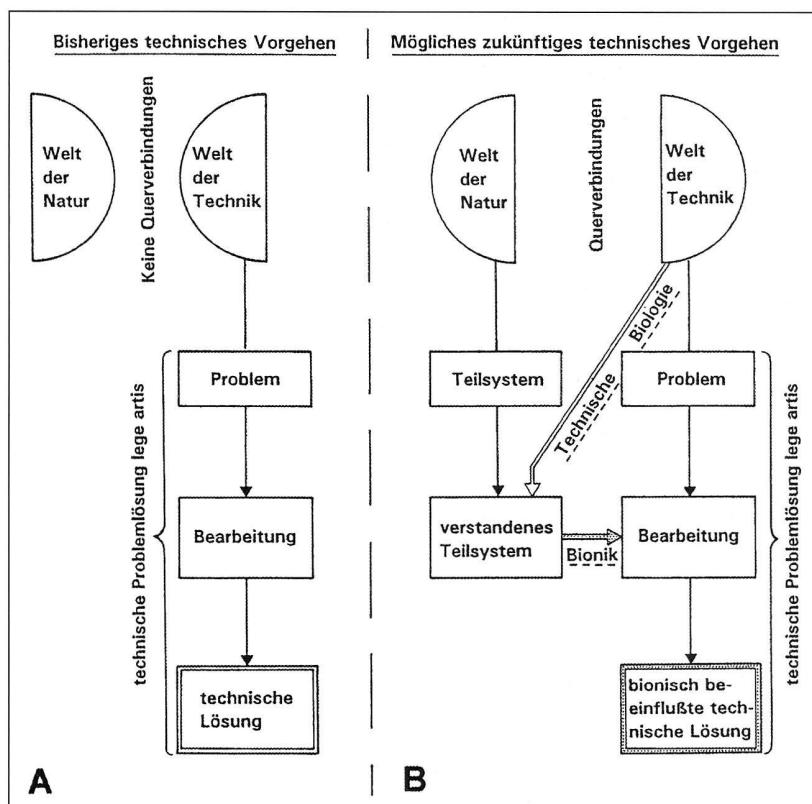


Abb. 10: Interaktion biologisches Verstehen – technisches Gestalten. Bisheriges technisches Vorgehen (A) und mögliches zukünftiges technisches Vorgehen (B). (Nach Nüchigall)

Er erkennt, dass sowohl Biologie als auch Bionik und Technik von den klassischen Wissenschaften, insbesondere der Physik, der Chemie und den Ingenieurwissenschaften leben oder doch zumindestens angeregt werden. Die technische Vorgehensweise gliedert der VDI auf in Analyse, Bewertung, Umsetzung und Anwendung. An der Schnittstelle zwischen Bewertung und Umsetzung sieht er die besten Möglichkeiten für ein Einbringen von «Vorschlägen aus der Natur» über das Medium der Bionik.

Die Bionik selbst gliedert er in die auch hier verwendeten Unterbegriffe der *Konstruktionsbionik*, *Verfahrensbionik* und *Informationsbionik* lich habe eher Evolutionsbionik gesagt, doch ist der Begriff «Informationsbionik» möglicherweise günstiger, da integrativer!.

Eine neue Moral als Basis allen Handelns

Selbstredend beschränkt sich auch der VDI als naturwissenschaftlich-ingenieurmäßig orientierte Organisation auf Gesichtspunkte, die naturwissenschaftlich fassbar sind. Ethik gehört nicht eigentlich in diese naturwissenschaftliche Sichtweise. Ohne Ethik geht es aber auch nicht. Das heisst: Bionik ist nicht nur eine naturwissenschaftlich orientierte und fächerintegrierende Disziplin und Sichtweise, sondern auch ein Anliegen, *das den Menschen in seinem gesamten So-Sein tangiert*, sie führt zur Besinnung auf *ethische Prinzipien* und impliziert ganz sicher eine *Lebenshaltung*.

Wir brauchen letztlich keine neue Ethik im Sinne einer neuen Lehre sittlicher Prinzipien – es reicht die «alte, europäische Ethik». Aber wir brauchen eine neue Moral. Moral ist ja «keine These, keine Lehre, sondern die Gesamtmenge der sittlichen Normen, deren kategorischer Geltungsanspruch von den Menschen einer Gesellschaft eingesehen und als für ihr Alltagsleben bestimmend angenommen ist» (Müller 1997). Das Naturstudium und die bionische Rückübertragung der Erkenntnisse in eine sich weiterentwickelnde – und gerade durch diese Rückübertragung sich positiv verändernde – Technik kann entscheidend helfen, die moralischen Grundlagen für ein «zukunftsadaptives Verhalten» (vergl. Abschnitt 2.3) zu legen. Die Grundkonzepte dieser neuen Moral sind von Müller (1997)

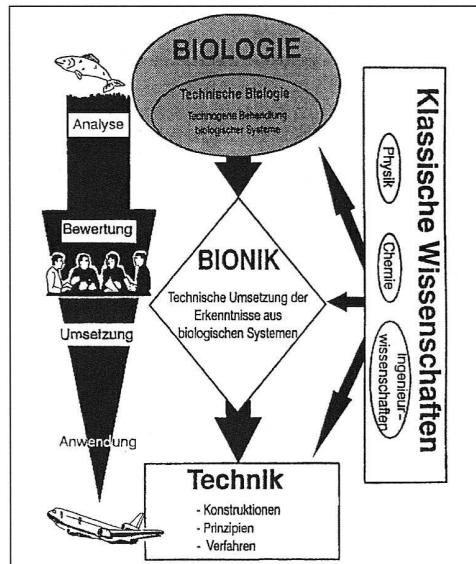


Abb. 11: Sichtweise des VDI zur Verkoppelung von Biologie und Technik durch Bionik.
(Nach Neumann (ed.))

herausgearbeitet worden. Der Leser wird auf diese Abhandlung, in die sich das Bionik-Konzept nahtlos eingliedern lässt, verwiesen.

Bionik fordert meist gezielterisch auch die Einbeziehung des Nicht-Naturwissenschaftlichen, des Emotionellen, des Ethischen – dies aber nicht im Sinne der schwärmerischen Sichtweise eines «anything goes». Genau dieses ist nicht gemeint; die naturwissenschaftlichen Eigengesetzmäßigkeiten werden nicht angetastet, nur präzisiert und fachübergreifend verflochten. Die Einbeziehung nicht-naturwissenschaftlicher Aspekte im Sinne einer «Lebensganzheit» wird darüber hinaus aber eingefordert.

Auch und gerade Nachdenken über Bionik in all ihren Facetten führt zu der Schlussfolgerung, *dass der ethische Imperativ «Unterwerfen wir uns einer neuen Moral» an der Basis stehen muss*. Ethisches Grundverständnis führt aber auch schmerhaft rasch in die Überlebenspraxis hinein. Gelingt es nicht, die ungehinderte Vermehrung der Menschheit mit Methoden zu verhindern, die ebenso ethisch akzeptabel wie pragmatisch einsetzbar sind, werden alle noch so gut gemeinten Überlegungen zum Scheitern verurteilt sein. Nur wenn es gelingt, in den zukünftigen Jahrzehnten die Menschheit auf eine noch umweltverträgliche Obergrenze festzulegen und wenn sich politische Verfahren herausbilden, die dieses Ziel auch durch-

setzbar erscheinen lassen, nur dann wird auch das Werkzeug «Bionik» ein Baustein für eine «Biostrategie als Überlebensstrategie» sein können.

Somit könnte sich die Gewichtung von Abbildung 1, in der die «Vision» ganz klein gedruckt war, umkehren. Die heutige Realität wird Geschichte geworden sein, und es ist zu hoffen, dass Vision von heute Realität von morgen sein wird.

Literatur

Angegeben ist neben einigen wichtigen klassischen und neueren zusammenfassenden Werken nur diejenige Literatur, auf die sich Text und Bildlegenden direkt beziehen.

Anonymous (1993): Bionics symposium. Living prototypes, the key to new technology. Wadt technical report 60-600, 5,00 – März 1961 – 23-899. United States Airforce Wright – Paterson Airforce Base, Ohio

Bechert, D.W., Reif, W.E. (1985): On the drag reduction of shark skin. AIAA-85-0546 report. AIAA conference, March 12-14, Boulder/Colorado

v. Gleich, A. (ed.) (1998): Bionik. Birkhäuser, Basel

Hertel, H. (1963): Biologie und Technik. Struktur, Form, Bewegung. Krausskopff Mainz

Helmcke, G. (1972): Ein Beispiel für die praktische Anwendung der Analogieforschung. Mitt. Inst. leichte Flächentragwerke Univ. Stuttgart (IL), 4, 6-15

Kesel, A., Labisch, S. (1996): Schlanke Hochbaukonstruktion Gras – Adaptive Materialanordnung im Hohlrohrquerschnitt. In: Nachtigall, W., Wisser, A. (eds.): BIONA-report 10, Technische Biologie und Bionik 3, 3. Bionik-Kongress, Mannheim 1996, 133-149, Akad. Wiss. u. Lit. Mainz, Fischer, Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm

Lüscher, M. (1955): Der Sauerstoffverbrauch bei Termiten und die Ventilation des Nestes bei *Macrotermes nataliensis* (Haviland). Acta Tropica 12, 289-307

Müller, M. (1997): Brauchen wir eine neue Moral? Beiträge zur philosophischen Anthropologie. Denk-Ansätze, Heft 8, Kath. Akad., Trier, Abt. Saarbrücken, Mainzer Str. 30, 66111 Saarbrücken. Nachtigall, W. (1974): Phantasie der Schöpfung. Faszinierende Entdeckung der Biologie und Biotechnik. Hoffmann und Campe, Hamburg. Holländische Ausgabe (Fantasé van de schepping) Meulenhoff, Baarn 1976. Taschenbuchausgabe Heyne, München 1983. Französische, aktualisierte Ausgabe (unter Mitarbeit von A. Bourgrain-Dubourg und B. Kresling) La nature réinventée. Plon, Paris 1987

Nachtigall, W. (1971): «Technische» Konstruktions-elemente in der Biologie. Umschau 1971/Heft 26, 966-970

Nachtigall, W. (1986): Konstruktionen. Biologie und Technik. VDI Verlag, Düsseldorf

Nachtigall, W. (1997): Vorbild Natur. Bionik – Design für funktionelles Gestalten. Springer, Berlin etc.

Nachtigall, W. (1998): Bionik. Grundlagen und Beispiele für Ingenieur und Naturwissenschaftler. Springer, Berlin etc.

Nachtigall, W., Rummel, G. (1996): Ventilation of termite nests, insulation principle of a polar bear's skin, ventilation through pores in buildings above ground. Proceedings 4th European Conference on Solar Energy in Architecture and Urban Planning, paper P 1.9, page 1-3.

Neumann, D. (ed.) (1993): Technologie-Analyse Bionik. Analyse und Bewertung zukünftiger Technologien. VDI Technologiezentrum Physikalische Technologien, VDI Verlag, Düsseldorf

Rechenberg, I. (1973): Evolutionsstrategie – Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution. Frommann-Holzboog, Problematik 15. Folgeband: Evolutionsstrategie 94. Werkstatt-Bionik und Evolutionstechnik. Band 1. Frommann-Holzboog, Stuttgart (1994)