



WISSENSCHAFTLICHE
DIENSTE
DES
DEUTSCHEN
BUNDESTAGES

AUSARBEITUNG

Thema: Bionik

Fachbereich VIII Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit,
Bildung und Forschung

Bearbeiterin: Dr. Hildegund Seydel

Abschluss der Arbeit: 22. Juli 2003; aktualisiert: 27. November 2003

Reg.-Nr.: WF VIII G - 135/2003

Ausarbeitungen von Angehörigen der Wissenschaftlichen Dienste geben **nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung** wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung des einzelnen Verfassers und der Fachbereichsleitung. Die Ausarbeitungen sind dazu bestimmt, das Mitglied des Deutschen Bundestages, das sie in Auftrag gegeben hat, bei der Wahrnehmung des Mandats zu unterstützen. Der Deutsche Bundestag behält sich die Rechte der Veröffentlichung und Verbreitung vor. Diese bedürfen der Zustimmung des Direktors beim Deutschen Bundestag.

Inhaltsverzeichnis		Seite
1.	Zusammenfassung	4
1.1.	Begriff	4
1.2.	Historie	4
1.3.	Anwendungen	4
1.4.	Forschungseinrichtungen	5
1.5.	Wirtschaftliche Bedeutung (Produktentwicklung)	5
1.6.	Nationale und internationale Veranstaltungen	6
1.7.	Internationale Tendenzen	6
2.	Einleitung	7
3.	Begriffserläuterung	7
4.	Historie	8
5.	Anwendungs- und Teilgebiete der Bionik	10
5.1.	Konstruktionsbionik und Strukturbionik	11
5.2.	Materialbionik und Werkstoffbionik	11
5.3.	Baubionik	12
5.4.	Verfahrensbionik (Prozessbionik)	12
5.5.	Klima- und Energiebionik	12
5.6.	Bewegungsbionik (Bionische Kinematik und Dynamik)	13
5.7.	Sensorbionik	13
5.8.	Informationsbionik und Neurobionik	13
5.9.	Anthropobionik	14
5.10.	Organisationsbionik	14
5.11.	Evolutionsbionik	14
6.	Forschungseinrichtungen	15
6.1.	Universitäten	15
6.2.	Verbände	16
6.3.	Bionik-Kompetenznetz	16

7.	Wirtschaftliche Bedeutung (Produktentwicklung)	18
7.1.	Allgemeine Einschätzung	18
7.2.	Lotus-Effekt	20
7.3.	Pinguin-Modell	20
7.4.	Vogelflug und adaptive Tragflächen	21
7.5.	Schalllokationssystem der Schleiereule	22
7.6.	Morse-ABC der Delphine	22
7.7.	Delphinhaut-Effekt	23
7.8.	Fischflossen und Flossenpumpen	23
7.9.	Sandfisch-Effekt	24
7.10.	Haifisch-Modell	24
7.11.	Roboter mit dem Fliegenauge	24
7.12.	Elefanten-Ohren	25
7.13.	Gecko-Fuß	25
7.14.	Farbprinzip Schmetterling	26
7.15.	Biomechanik des Spinnenbeins	26
7.16.	Wabenstruktur	26
7.17.	Prinzip des Baumwachstums	27
7.18.	Heliotropium-Prinzip	28
7.19.	Rosetten-Prinzip	28
7.20.	Photosynthese	28
8.	Nationale und internationale Veranstaltungen	29
8.1.	Tagungen und Kongresse	29
8.2.	Ausstellungen	30
9.	Internationale Tendenzen	30
10.	Literaturempfehlung	31

1. Zusammenfassung

1.1. Begriff

Der Begriff Bionik wurde 1960 auf einem Kongress in Dayton/Ohio geprägt und wird heute als Kombination aus Biologie und Technik verstanden. Das Forschungsgebiet der Bionik befasst sich mit der technischen Umsetzung und Anwendung von Konstruktions-, Verfahrens- und Entwicklungsprinzipien biologischer Systeme. Die Grundidee der Bionik ist, dass die Natur in Millionen Jahren evolutionärer Prozesse durch Mutation und Selektion optimierte biologische Strukturen geschaffen hat, die für technische Entwicklungen bedeutsam sein können. Voraussetzung für die Bionik ist das technische Verständnis biologischer Vorgänge.

Seiten 7-8

1.2. Historie

Eines der wissenschaftshistorisch bekanntesten Beispiele geht auf Leonardo da Vinci zurück, der bereits im 16. Jahrhundert den Flügelschlag der Vögel untersucht und danach Schlagflügel empfohlen und skizziert hat, um auch dem Menschen das Fliegen zu ermöglichen. 1894 ist dann Otto Lilienthal nach dreijährigen Flugerprobungen mit Gleitflugmodellen die technische Umsetzung nach dem Vorbild der Natur gelungen.

Seiten 8-10

1.3. Anwendungen

Es werden die großen Gebiete der Materialbionik, Konstruktionsbionik, Strukturbionik, Verfahrensbionik und der Informationsbionik unterschieden, die sich auf Materialien, Konstruktionen, Strukturen, Vorgehensweisen und Verfahren der Natur und auf deren Informations-, Entwicklungs- und Evolutionsprinzipien beziehen.

Konstruktions- und Strukturbionik untersuchen biologische Konstruktionen, Strukturelemente und Formbildungsprozesse hinsichtlich ihrer Eignung für spezielle Zwecke. In der Materialbionik führt das Studium biologischer Materialien zur Entwicklung neuartiger Werkstoffe und speziell in der Baubionik zu interessanten technischen Lösungen. In der Verfahrensbionik werden Steuerung und Ablauf komplexer biologischer Prozesse hinsichtlich ihrer Übertragungsmöglichkeit in die Technik untersucht. So dient zum Beispiel die Photosynthese als Anregung für eine zukünftige Wasserstofftechnologie. In der Klima- und Energiebionik können Modelle aus der Natur in die Technik der Belüftung, Kühlung und Heizung einfließen. In der Bewegungsbionik ergeben sich aus den Hauptbewegungsformen der Tiere vielfältige Anwendungsmöglichkeiten.

Seiten 10-15

1.4. Forschungseinrichtungen

Erst seit Beginn der 1990er Jahre gilt die Bionik allgemein als anerkannte Wissenschaft. Inzwischen vereint sie Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Wirtschaftsunternehmen. Die führenden deutschen Bionik-Universitäten sind die Technische Universität (TU) Berlin und die Universität des Saarlandes.

Das Bionik-Kompetenznetz (*BIOKON*), zu dem Wissenschaftler unterschiedlicher Forschungseinrichtungen in Deutschland gehören, ist ein vom BMBF gefördertes Gemeinschaftsprojekt zur effektiven Zusammenarbeit von Industrie und Bildungsbereich.

Seiten 15-18

1.5. Wirtschaftliche Bedeutung (Produktentwicklung)

International belegt die deutsche Bionik-Forschung eine Spitzenposition. Die zunehmende wirtschaftliche Relevanz zeigt sich anhand einer Reihe von Projekten, die durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung und das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit gefördert werden. Auch für kleine und mittelständische Unternehmen gewinnt die Bionik an Bedeutung. Innovative Konzepte aus der Bionik werden verstärkt in kommerziell nutzbare Produkte umgesetzt. Eine Vielzahl von Entwicklungen hat bereits Produktreife erlangt. Der so genannte Lotus-Effekt wird bei der Herstellung von Fassadenfarben, Dachziegeln, Lacken und Folien genutzt. An der TU Berlin laufen Versuche zur technischen Umsetzung der Stromlinienform des Pinguin-Modells mit seinem geringen Widerstandsbeiwert zur Einsparung von Treibstoff. An der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen arbeiten Biologen an einem Roboter, für den das Schalllokationssystem der Schleiereule Vorbild ist. Die EvoLogics GmbH, die im Jahr 2000 aus dem Fachgebiet für Bionik und Evolutionstechnik der TU Berlin gegründet wurde, bemüht sich um den technischen Nachbau des Biosonarsystems der Delphine. Das neue Verfahren für die telemetrische Übertragung von Steuersignalen, digitalen Daten und Bildern unter Wasser könnte die Kommunikations- und Datenübertragungstechniken revolutionieren. Forscher mehrerer Institute arbeiten an einem Projekt zur Verbesserung umweltneutraler Bewuchsschutzfarben, deren Grundlage die Oberflächeneigenschaften der Delphinhaut bilden. Untersuchungen zum Strömungsverhalten von Haifisch-Schuppen haben zur Entwicklung spezieller Folien geführt, mit denen nach Aufkleben auf Flugzeuge eine deutliche Treibstoff einsparung erreicht wird. Auch hexagonale Wölbstrukturen nach dem Wabenprinzip werden technisch bereits umgesetzt. Sie führen zu hoher Stabilität des verwendeten Materials bei geringem Eigengewicht. Anwendung findet das Prinzip neuerdings bei der Wäschetrommel einer Waschmaschine. Bei Winter-Autoreifen ermöglichen Hexagonallamellen eine optimale Anpassung an die jeweilige Oberfläche. Das Prinzip des Baumwachstums wird für die Fertigung stabiler Maschinenbauteile und für die

Entwicklung von Fahrwerks- und Karosseriebauteilen genutzt. Auch in die Nanotechnologie und die Biotechnologie sowie in die Informationsverarbeitung werden bionische Forschungsergebnisse einfließen.

Seiten 18-28

1.6. Nationale und internationale Veranstaltungen

Bereits 1960 fand in Dayton / Ohio ein Bionik-Kongress statt. Seit 1992 wird in zweijährigem Abstand ein europäischer Kongress zur Bionik veranstaltet. Seit Beginn der 1980er Jahre gibt es auch eine Reihe von Messen und Ausstellungen zu der Thematik. Auf der Hannover Messe 2003 nahmen Produktentwicklungen aus der Bionik einen breiten Raum ein. Im April 2004 wird parallel zur Hannover-Messe ein internationaler Bionik-Kongress stattfinden.

Seiten 29-30

1.7. Internationale Tendenzen

Deutschland nimmt international eine Führungsposition ein. Im Vergleich mit Deutschland hat sich die Bionik in anderen Ländern bisher nicht als eigenständige Wissenschaft etabliert. Sie läuft dort meist als Nebenfach in bestimmten Forschungsbereichen und findet unter der Bezeichnung „biomimetics“ oder „bionics“ vielfältig Anwendung. Besonders interessant und vielversprechend sind zum Beispiel die gegenwärtig in Kalifornien laufenden Forschungen zur Entwicklung eines Haftsystems durch Umsetzung des Gecko-Fuß-Prinzips in die Technik. Vereinzelt existieren bereits internationale Bionik-Projekte und Kooperationen.

Während es auf dem Gebiet der Evolutionären Algorithmen bereits internationale Vernetzungen von Forschungsgruppen und Firmen gibt, ist eine internationale Vernetzung der Bionik-Institutionen und Forschungseinrichtungen für das Jahr 2004 vorgesehen.

Seiten 30-31

2. Einleitung

Bionik bedeutet, von der Natur zu lernen und das Wissen auf die Technik zu übertragen. Grundlage der Bionik bildet die so genannte „Technische Biologie“. Diese erforscht und beschreibt die Natur unter Einbringung der technischen Wissenschaften, insbesondere der Technischen Physik.¹ Man kann eine Fülle von Anregungen aus der Natur auf ihre Übertragungsmöglichkeiten untersuchen, um sie nach den Gesichtspunkten der Ingenieurwissenschaften für die Technik nutzbar zu machen. Bionik ist als Ansatzpunkt und Hilfsmittel zu betrachten, die immer eine Weiterentwicklung und Anpassung der Idee und der Erkenntnis durch die Technik erfordern.²

Die Bionik hat sich inzwischen als anerkannte wissenschaftliche Disziplin etabliert und liefert in steigendem Maße neuartige und umweltfreundliche technische Anwendungen. Sie wird vielfach als „Technologie der Zukunft“ bezeichnet, da sie unterstützen und entscheidend zu optimalen technischen Lösungen beitragen kann.^{3 4} Sie „sollte für die biologische Forschung Herausforderung und Verpflichtung sein, dass die in Jahrtausenden langen Evolutionsprozessen entstandenen biologischen Strukturen Anregungen für moderne und umweltverträgliche Hochtechnologie-Produkte liefern können.“⁵ Allerdings „muss betont werden, dass auch die moderne ‚High-Tech-Bionik‘ kein Allheilmittel für ökologische Probleme darstellen kann und soll, aber zumindest an einigen Stellen diskussionswürdige Alternativen zu bieten vermag.“⁶ Ebenso muss „vor übertriebenen Hoffnungen und Erwartungen einerseits und zu optimistischen Versprechungen andererseits gewarnt werden, denen Technische Biologie und Bionik nicht gerecht werden können.“⁷

3. Begriffserläuterung

Der Begriff wurde 1960 von dem amerikanischen Luftwaffenmajor J. E. Steele auf einem Kongress in Dayton/Ohio geprägt.⁸ Das Thema dieser Veranstaltung lautete: „Bionics Symposium: Living Prototypes – the Key to new Technologies“. Auf dem Kongress definierten die Wissenschaftler Bionics als Methode, „Vorgänge und Techni-

1 <http://www.uni-saarland.de/fak8/bi13wn/wabionik.htm>.

2 Helga Kleisny, Warum Fliegen sich im Kino langweilen – Bionische Methoden als Chance für die Zukunft; 1. Auflage 2000, ISBN 3-8311-0155-8, S. 23.

3 Helga Kleisny, Warum Fliegen sich im Kino langweilen – Bionische Methoden als Chance für die Zukunft; 1. Auflage 2000, ISBN 3-8311-0155-8, S. 22.

4 W. Nachtigall, Einsatz und Produktpotentiale der Technischen Biologie und Bionik; Internet-Adresse: <http://www.uni-saarland.de/fak8/bi13wn/wabionik.htm>.

5 Botanik. Bionik und Biomimetics; <http://www.biologie.uni-freiburg.de/biomimetik/wissen.pdf>.

6 Botanik. Bionik und Biomimetics; <http://www.biologie.uni-freiburg.de/biomimetik/wissen.pdf>.

7 Botanik. Bionik und Biomimetics; <http://www.biologie.uni-freiburg.de/biomimetik/wissen.pdf>.

8 Artur P. Schmidt, Bionik, 16.10.1998 (im Internet unter dieser Angabe abrufbar).

ken so zu realisieren, wie sie in lebenden Systemen existieren.“⁹ Später ergab sich dann vereinfacht und eingedeutscht die Bezeichnung „Bionik“, abgeleitet von den Wörtern Biologie und Technik. Im englischen Sprachgebrauch findet sich neben dem Begriff „bionics“ meist auch die Bezeichnung „biomimetics“. Es handelt sich bei der Bionik um eine Wissenschaftsdisziplin, in der Biologen und Techniker interdisziplinär zusammenarbeiten, indem sie Konstruktionen, Verfahrensweisen und Entwicklungsprinzipien biologischer Systeme technisch nutzen. Entscheidend ist dabei das Verstehen der Methoden und Verfahren der Natur und die Umsetzung der gefundenen Theorien in die Technik des Menschen. Eine effiziente Umsetzung der Problemlösungen wird nur durch Modifizieren und Technisieren im Sinne von technischer Realisierbarkeit und keinesfalls durch bloßes Kopieren der Natur ermöglicht.¹⁰ Im wissenschaftlichen Sinne lässt sich die Bionik wie folgt definieren: „Bionik ist die Entschlüsselung von Ergebnissen der biologischen Evolution und ihre innovative Umsetzung in die Technik.“¹¹

4. Historie

Das Lernen aus der Natur für die Technik geht bis ins 16. Jahrhundert zurück. Eines der ersten und wissenschaftshistorisch bekanntesten Beispiele aus dieser Zeit stammt von Leonardo da Vinci, der den Flügelschlag der Vögel untersucht und darauf aufbauend aus Weidenruten und imprägnierten Leinen gefertigte Schlagflächen (Schlagflügel) als Flugkörper empfohlen hat, die sich beim Abschlag analog schließen, beim Aufschlag aber mit Klappen zur Luftdurchströmung öffnen.¹² „Bereits Otto Lilienthal stellte fest, dass es möglich ist, die Natur als Vorbild für technische Lösungen zu nutzen“¹³, indem er die Bedeutung von leicht gewölbten Flügelflächen für den Auftrieb erkannte und nach dreijährigen Flugerprobungen mit Gleitflugmodellen 1894 seinen Normal-Segelapparat herausbrachte. Der Flugpionier Karl Jatho gab dem 1903 von ihm als „Nurflügler“ entwickelten Doppeldecker die Umrissform des Zanoniasamens¹⁴, der zur besseren Ausbreitung einen Flügel ohne Rumpf besitzt.¹⁵ Die Vorteile von diesen (schwanzlosen) „Nurflüglern“ (engl.: Flying Wings) gegenüber Flugzeugen mit Leit-

9 Helga Kleisny. Warum Fliegen sich im Kino langweilen – Bionische Methoden als Chance für die Zukunft. 1. Auflage 2000, ISBN 3-8311-0155-8, S. 15.

10 <http://www.bionik.tu-berlin.de/kompetenznetz/bionik/bionik.htm>.

11 TU Berlin, FG Bionik und Evolutionstechnik; Auskünfte vom 14.07.2003 zu Fragen der Bionik.

12 Giacomelli, R. (1936): Gli scritti di Leonardo da Vinci su il volo. Bardi, Roma; Werner Nachtigall „Einsatz und Produktpotentiale der Technischen Biologie und Bionik“, in: <http://www.uni-saarland.de/fak8/bi13wn/wabionik.htm>. S. 4.

13 <http://www.heise.de/tp/deutsch/inhalt/co/2502/1.html>, S. 2.

14 Zanoniasamens: tropisches Kürbisgewächs, das sich wie eine Liane an Bäumen hochrankt. Die Frucht ist fußballgroß und enthält viele Samen, die etwa 15 Zentimeter "Flügelspannweite" besitzen. Diese wiegen je nur 0,2 Gramm. Durch die gebogene Form der Flügel und die günstige Gewichtsverteilung kann der Samen schon bei Windstille von einem 30 Meter hohen Baum bis zu 240 Meter weit fliegen.

15 <http://www.heise.de/tp/deutsch/inhalt/co/2502/1.html>, S. 3.

werken bestehen vor allem in einem geringeren Widerstandsbeiwert¹⁶, der größere Flugstrecken im Gleitflug ermöglicht. Bei den Nurflüglern ist das Leitwerk in den Flügel integriert. Ein weiterer Vorteil von Nurflüglern besteht darin, dass sich bei ihnen leichter als bei bisherigen Modellen Tanks des zukünftigen Energieträgers Wasserstoff integrieren lassen.¹⁷

1951 wurde von dem Franzosen Charles Fauvel der Nurflügler AV-36 für den Streckensegelflug konstruiert, der ein außerordentlich gutes und stabiles Flugverhalten aufwies. 1960 kam der Nachfolger AV-361 auf den Markt.¹⁸

Die Idee des Nurflüglers haben die Gebrüder Reimar und Walter Horten weiterentwickelt. 1960 wurde von Horten in Argentinien das äußerst leistungsfähige Frachtflugzeug I.Ae.38 konstruiert, „das jedoch wegen überzogener Forderungen des argentinischen Militärs nicht zum Serieneinsatz kam.“¹⁹ Das Nurflügel-Design des amerikanischen Flugzeugpioniers Burnelli von 1951 wurde in leicht veränderter Form sowohl von Boeing als auch von Airbus übernommen, und der Amerikaner Northrop lieferte mit seiner N-1M aus dem Jahre 1939 die Grundlage für den Bau des B2-Bombers (Stealth-Bomber), der 1989 seinen Jungfernflug hatte.²⁰

Heinrich Hertel, der 1982 verstorbene Ordinarius für Luftfahrzeugbau an der TU Berlin, hat bereits in den 1960er Jahren in Anlehnung an den Körperbau von Delphinen und Pinguinen für den Flugzeugbau einen spindelförmigen Laminarrumpf vorgeschlagen zur Verringerung des Gesamtwiderstandes. Hertels Erkenntnisse wurden in neueren Untersuchungen von Rudolf Bannasch (TU Berlin) bestätigt.²¹

In den 1970er Jahren erkannten deutsche und amerikanische Wissenschaftler, dass die Schuppenstruktur von Haien eine deutliche Widerstandsverringerung bewirkt.²² Der Zoologe Wolf-Ernst Reif vom Paläontologischen Institut der Universität Tübingen entdeckte auf den winzigen Schuppen schneller Haifischarten in Strömungsrichtung verlaufende Längsrippen, die den Strömungswiderstand mindern.²³ Eine amerikanische Firma (3 M) hat danach analoge, eng geriefte Klebefolien entwickelt, die bei einem mit solchen Folien beklebten Airbus A 320 eine deutliche Verringerung des Gesamtwiderstandes bewirkten. Die Folien finden heute bei Schiffen und Flugzeugen Anwendung (siehe Pkt. 7.10).

Das Prinzip des Vogelflugs wurde bereits 1938 von dem Aerodynamiker Wolfgang Liebe zur Nutzung im Flugzeugbau vorgeschlagen. Bei Vögeln werden Rückströmungen bei zu geringen Fluggeschwindigkeiten verhindert, indem die hoch elastischen

16 Widerstandsbeiwert: körperspezifische Größe, die angibt, wie strömungsgünstig ein Hindernis ausgeschaltet ist.

17 <http://www.heise.de/tp/deutsch/inhalt/co/2531/1.htm>, S. 10.

18 <http://www.segelflug.de/vereine/blaubeuren/angebote/av36.htm>.

19 <http://www.heise.de/tp/deutsch/inhalt/co/2531/1.htm>.

20 <http://www.heise.de/tp/deutsch/inhalt/co/2531/1.htm>.

21 <http://www.heise.de/tp/deutsch/inhalt/co/2502/1.html>, S. 4.

22 <http://www.heise.de/tp/deutsch/inhalt/co/2502/1.html>, S. 5.

23 <http://www.uni-saarland.de/fak8/bi13wn/wabionik.htm>.

Deckfedern sich selbsttätig aufrichten und somit die Funktion einer Rückstrombremse übernehmen. Eine selbständige Auslösung von Rückstrombremsen bei Verkehrsflugzeugen könnte die Flugsicherheit deutlich erhöhen.²⁴

5. Anwendungs- und Teilgebiete der Bionik

Der Wissenschaftszweig der Bionik untersucht die in Jahrtausenden entwickelten und optimierten „Erfindungen“ der Natur im Hinblick auf ihre technische Verwertbarkeit und als Anregung für eigenständiges technisches Gestalten. Die Bionik überschreitet die Grenzen unterschiedlicher Forschungsgebiete und leitet neue Anwendungsgebiete her. Die wichtigsten Anwendungsgebiete, in denen die Bionik bisher genutzt wird, sind folgende:²⁵

- Bewegungssteuerung
- Material
- Struktur
- Verfahren
- Design
- Navigation
- Optimierung und Anpassung
- Kommunikation
- Denken, rationales Handeln (Neuronale Netze).

Es werden die großen Gebiete der **Konstruktionsbionik**, **Strukturbiologie**, **Verfahrensbionik** und der **Informationsbionik** unterschieden, die sich auf Konstruktionen, Strukturen, Vorgehensweisen oder Verfahren der Natur und auf deren Informationsübertragungs-, Entwicklungs- und Evolutionsprinzipien beziehen.²⁶

Professor Werner Nachtigall (Universität des Saarlandes) teilt die Bionik in folgende 12 Teilgebiete:

- Historische Bionik
- Strukturbiologie
- Konstruktionsbionik
- Gerätebionik

24 <http://www.heise.de/tp/deutsch/inhalt/co/2502/1.html>, S. 6.

25 Helga Kleisny. Warum Fliegen sich im Kino langweilen – Bionische Methoden als Chance für die Zukunft. 1. Auflage 2000, ISBN 3-8311-0155-8, S. 20.

26 <http://www.uni-saarland.de/fak8/bi13wn/wabionik.htm>.

- Baubionik
- Verfahrensbionik
- Bewegungsbionik
- Klimabionik
- Anthropobionik
- Sensorbionik
- Neurobionik
- Evolutionsbionik.

Im Folgenden werden einige große Gebiete der Bionik näher erläutert.

5.1. Konstruktionsbionik und Strukturbionik

Die Konstruktionsbionik und die Strukturbionik beschreiben, vergleichen und untersuchen Konstruktionen und biologische Strukturelemente hinsichtlich ihrer Eignung für spezielle Zwecke. Formbildungsprozesse im biologischen Bereich bieten unkonventionelle technische Vorbilder. Besonders für den Bereich der Pumpen- und Fördertechnik, der Hydraulik und Pneumatik finden sich vielfältige Anregungen aus der Natur. In der Konstruktionsbionik wird man versuchen Biologie und Technik für die Entwicklung von Prothesen sowie von Seh- und Hörhilfen zu verbinden. In dieses Gebiet fällt auch die Weiterentwicklung von Robotern, deren Stellglieder zwar genau, aber bisher nur ruckartig positionieren. Die Natur arbeitet hier ganz anders.

„Das biologische Prinzip der statistischen Verhakung, wie es bei Kletten oder bei manchen Würmern ausgebildet ist, wurde bereits vor Jahrzehnten für die Konstruktion verschiebbarer Innenfächer bei Fototaschen benutzt.“²⁷ Aus dem ursprünglichen, von G. de Mestrel 1951 patentierten Velcro-Prinzip ist inzwischen eine Vielzahl unterschiedlicher Klettänder entwickelt worden, mit denen auch Schnürsenkel von Sportschuhen ersetzt werden können.²⁸

5.2. Materialbionik und Werkstoffbionik

Das Gebiet der Materialbionik nutzt verstärkt die Erkenntnisse aus biologischen Materialien. Diese sind sehr unterschiedlich zusammengesetzt, auf die jeweiligen mechanischen Anforderungen abgestimmt und abbaubar. Das Studium biologischer Materialien führt zu neuartigen Werkstoffen mit den erwähnten Eigenschaften. Die Mehrkompo-

27 <http://www.uni-saarland.de/fak8/bi13wn/bionik/konstruktionsbionik.htm>, S. 1-2.

28 <http://www.uni-saarland.de/fak8/bi13wn/bionik/konstruktionsbionik.htm>, S. 1.

nentenbauweise biologischer Materialien und Stoffe kann Anregungen und Umsetzungsmöglichkeiten bieten.²⁹

5.3. Baubionik

In der Baubionik strebt man „natürliches Bauen“ an. Man besinnt sich „auf traditionelle Baumaterialien, die auch in der Biologie verwendet werden, wie Tonmaterialien mit ihren baubiologisch interessanten Eigentümlichkeiten.“³⁰ Anregungen für temporäre technische Leichtbauten geben zum Beispiel Seilkonstruktionen (Spinnennetze), Membran- und Schalenkonstruktionen (biologische Schalen und Panzer), schützende Hüllen, die Gasaustausch erlauben (Eischalen, Etagenbauten, Integration abgehängter Einheiten, wandelbare Konstruktionen), Konstruktionen mit wieder verwendbaren Materialien, ideale Flächendeckungen (Blattüberlagerungen) und Flächennutzungen (Wabenprinzip).³¹

5.4. Verfahrensbionik (Prozessbionik)

Verfahren, mit denen die Natur die Vorgänge und Umsätze (ökologisch) steuert, können auf ihre technische Verwertbarkeit überprüft werden. So ist die Photosynthese ein Vorbild im Hinblick auf eine zukünftige Wasserstofftechnologie. Schließlich sind die natürlichen Methoden des (fast) vollständigen Recyclings und damit des Vermeidens von Deponiematerial ein ganz wesentlicher Punkt, der auf eine Übertragbarkeit in die Technik zu untersuchen ist. In diesen Bereich fällt auch von der Natur zu lernen, wie man Sonnenenergie nutzt.³²

5.5. Klima- und Energiebionik

In der Klima- und Energiebionik können Anregungen für passive Lüftung, Kühlung und Heizung aus der Natur übernommen werden. Mit der Übernahme solcher natürlicher Prinzipien, wie sie beispielsweise die Termiten verwirklichen, können bis zu 80 % der elektrischen Energie zur sommerlichen Kühlung und 40 bis 60 % der Energie zur Winterheizung gespart werden.³³ Die alte iranische Architektur hat sich ihre Bauweise in trockenen Regionen zum Beispiel vom Präriehund *Cynomys* abgeschaut. Dieser erzeugt durch unterschiedliche Gestaltung der Ein- und Ausgänge seines Baus trotz unterschiedlicher Richtungen des darüber strömenden Windes eine eindeutig gerichtete Luftströmung und ventiliert dadurch seinen Bau. Mit Hilfe von Kuppelbauten und Windtürmen wird bei den betreffenden iranischen Bauten eine passive Ventilation erreicht.

29 <http://www.uni-saarland.de/fak8/bi13wn/wabionik.htm>, S. 9-10.

30 <http://www.uni-saarland.de/fak8/bi13wn/wabionik.htm>, S. 12.

31 <http://www.uni-saarland.de/fak8/bi13wn/wabionik.htm>, S. 12-13.

32 <http://www.uni-saarland.de/fak8/bi13wn/bionik/verfahrensbionik.htm>, S. 1.

33 <http://www.uni-saarland.de/fak8/bi13wn/wabionik.htm>, S. 12.

Die Luft wird vom Windturm zum Wohngebäude durch unterirdische Gänge geleitet und dadurch eine Temperierung und Klimatisierung durch die Erdkühle und –feuchtigkeit ermöglicht.³⁴

5.6. Bewegungsbionik (Bionische Kinematik und Dynamik)

Laufen, Schwimmen und Fliegen sind die Hauptbewegungsformen der Tiere. Für die Umsetzung der Lokomotionsformen aus dem Tierreich in die Technik ergeben sich vielfältige Anwendungsmöglichkeiten (Strömungsanpassung bewegter Körper, Antriebsmechanismus von Bewegungsorganen, funktionsmorphologische Gestaltung von Flügeln).^{35 36}

5.7. Sensorbionik

In der Sensorbionik werden Sensoren der Natur, die für chemische und physikalische Reize ausgelegt sind, verstärkt nach Übertragungsmöglichkeiten für die Technik abgetastet. Hierher gehört auch das „Fledermaus-Prinzip“ der Entfernungsmessung über Sonarimpulse.³⁷ Seitdem es geeignete integrierte Schaltkreise zur Datenberechnung gibt, wird dieses Prinzip verstärkt zur Entfernungslokalisierung genutzt, beispielsweise zur Abstandsmessung zwischen Auto-Stoßstange und Parkmauer oder als Ersatz für den gewöhnlichen Zollstock (Entfernungspeilgerät).³⁸

5.8. Informationsbionik und Neurobionik

Datenanalyse und Informationsverarbeitung - insbesondere die Verschaltung von Parallelrechnern und die Entwicklung „Neuronaler Schaltkreise“³⁹ - haben entscheidende Anregungen aus dem Bereich der Neurobiologie und der Biokybernetik erhalten.⁴⁰ In der Informations- und Neurobionik gilt es, die Schlüsselprinzipien zu entdecken, mit denen das Hirn arbeitet und sie anschließend in künstlichen Systemen zur Ausführung zu bringen. Ein Insektenhirn und erst recht ein Säugetierhirn arbeitet immer noch effektiver als ein Computer, wenn es um die Lösung von Aufgaben geht, die Interaktionen mit der Umwelt, Mustererkennung, Navigation und motorische Koordination erfordern.⁴¹ „Im Auge des Molukkenkrebse wurde zum Beispiel bereits in den 1960er Jahren ein Schaltungsmechanismus entdeckt, der die Helligkeitskontraste von Licht-

34 <http://www.uni-saarland.de/fak8/bi13wn/bionik/klimabionik.htm>, S. 2.

35 <http://www.uni-saarland.de/fak8/bi13wn/wabionik.htm>, S. 13-14.

36 <http://www.uni-saarland.de/fak8/bi13wn/bionik/bewegungsbionik.htm>, S. 1.

37 Abkürzung für **S**ound **n**avigation and **r**anging = Navigations- und Entfernungsmessgerät zur akustischen Peilung und Ortung von Unterwasserobjekten (Eisberge, U-Boote).

38 <http://www.uni-saarland.de/fak8/bi13wn/bionik/sensorbionik.htm>, S. 1.

39 abgeleitet von der Informationsverarbeitung in Nervensystemen biologischer Organismen.

40 <http://www.uni-saarland.de/fak8/bi13wn/bionik/neurobionik.htm>, S. 1.

41 unimagazin der Universität Zürich, Nr. 3/97; <http://www.univom.unizh.ch/unimagazin/archiv/3-97/intelligenz.htm>.

Schatten-Grenzen verstärkt. Dieses Prinzip findet sich ebenso in Wirbeltieraugen, auch im Menschaugen. Optische Geräte, mit denen etwa die Windabdrift von Flugzeugen gegenüber dem Untergrund gemessen oder die automatische Scharfstellung von Diaprojekten gewährleistet werden sollen, sind aus diesem biologischen Prinzip abgeleitet worden.⁴²

5.9. Anthropobionik

Zum Schwerpunkt der Anthropobionik gehören die Problemkreise

- Mensch-Maschine-Interaktion
- Anwendungsmöglichkeiten der Robotik
- bedienungsfreundliche, ergonomische und damit den sensorischen Gewohnheiten des Menschen angepasste Gestaltung des Cockpits moderner Verkehrsflugzeuge
- Suche nach Idealkonfigurationen von Fahrrädern, die mit höherer Muskeleffizienz gefahren werden können [vergleichende Studien der Beinbewegungen von Invertebraten (Krebse, Insekten) könnten hier hilfreich sein]
- ruckfrei-pneumatische Robotik-Stellglieder.⁴³

5.10. Organisationsbionik

Im Bereich der belebten Welt laufen Organisationsfragen sowohl im Einzelorganismus als auch in Organismensystemen und schließlich in ökologischen Systemen äußerst störungsarm ab. Aus der Art und Weise, wie die Natur Informationen organisatorisch benutzt, könnte in analoger Übertragung manches für die Technik und Verwaltung verwertbar sein. „Dieser Punkt ist sehr zukunftssträftig, wird aber zur Zeit erst zögernd aufgegriffen.“⁴⁴

5.11. Evolutionsbionik

Das Prinzip der Evolution besteht darin, dass sich das Beste durchsetzt. So geht man mit Hilfe der Evolutionsstrategie der Frage nach, mit welchen Mitteln und Gesetzen die Natur gelernt hat sich weiterzuentwickeln. Das bedeutet fachmännisch ausgedrückt, nach Algorithmen (Formeln) zu suchen, die die Optimierung der Natur mathematisch beschreibbar und praktisch anwendbar machen. „Evolutionsstrategien ahmen evolutionäre Mechanismen unter Berücksichtigung ihrer funktionellen Zweckmäßigkeit nach. Sie zählen damit zu den Hilfsmitteln bionischer Methoden.“⁴⁵

42 <http://www.uni-saarland.de/fak8/bi13wn/wabionik.htm>, S. 1.

43 <http://www.uni-saarland.de/fak8/bi13wn/bionik/anthropobionik.htm>, S. 1.

44 <http://www.uni-saarland.de/fak8/bi13wn/wabionik.htm>, S. 16.

45 Helga Kleisny, Warum Fliegen sich im Kino langweilen – Bionische Methoden als Chance für die Zukunft; 1. Auflage 2000, ISBN 3-8311-0155-8, S. 21.

Biologische Evolutionsstrategien könnten Ansatzpunkte für die Optimierung komplexer technischer Systeme und Verfahren (vor allem solcher, die rechnerisch noch nicht simulierbar sind) bieten. „Evolutionsstrategien bei der Konstruktion technischer Produkte wurden erstmals in den 1960er Jahren von Ingo Rechenberg und Hans-Paul Schwefel an der FU Berlin erfolgreich angewendet. Die Idee hierbei war, komplexe, theoretisch (noch) nicht beschreibbare technische Konstrukte durch zufällige Änderungen (analog biologischer Mutation) und/oder Neukombinationen von Bauelementen (analog der Rekombination in der Biologie) zu verändern und die neu entstandenen Konstrukte auf ihre Effizienz zu testen. Entstandene Konstrukte mit verbesserter Effizienz bildeten die Basis weiterer ‚evolutionärer‘ Veränderungen. (...) Eines der eindrucksvollsten Ergebnisse ist die von Hans-Paul Schwefel bereits 1968 vorgestellte Optimierung einer Zweiphasen-Überschalldüse, wie sie zur Stromerzeugung in Satelliten vorgesehen war. (...) Durch Anwendung der Evolutionsstrategie konnte über 44 Zwischenstufen eine unkonventionell geformte, aber optimierte Endform gefunden werden. Erst Jahre später gelang es, die Form dieser optimierten Düse auch theoretisch zu verstehen.“⁴⁶

6. Forschungseinrichtungen

Erst seit den letzten Jahren gilt die Bionik als anerkannte Wissenschaft. Während zum Beispiel noch Ende der 1980er Jahre auf der Technischen Universität Wien die Vorlesung Bionik nicht allzu angesehen war⁴⁷, ist heute kaum eine Technik-Veranstaltung ohne eine Bionik-Ausstellung oder -Vortragsreihe denkbar. Inzwischen vereint die Wissenschaftsdisziplin der Bionik Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Wirtschaftsunternehmen der gesamten Bundesrepublik Deutschland.

6.1. Universitäten⁴⁸

Eine Reihe deutscher Hochschulen hat die Bionik bereits in ihre Ausbildungsprogramme integriert und Lehrstühle sowie komplette Masterstudiengänge eingerichtet. Weltweit als erster wurde 1973 an der TU Berlin der Lehrstuhl „Bionik und Evolutionstheorie“ eingerichtet. Die führenden deutschen Bionik-Universitäten sind die **TU-Berlin** mit Professor Ingo Rechenberg und die **Universität des Saarlandes** mit dem im Jahr 2002 emeritierten Professor Werner Nachtigall⁴⁹, der für seine Forschungsarbeiten in Technologischer Biologie und Bionik im September 2002 mit dem Rheinland-Preis für

46 Botanik. Bionik und Biomimetics; <http://www.biologie.uni-freiburg.de/biomimetik/wissen.pdf>.

47 Helga Kleisny, Warum Fliegen sich im Kino langweilen – Bionische Methoden als Chance für die Zukunft; 1. Auflage 2000, ISBN 3-8311-0155-8, S. 16.

48 <http://www.uni-saarland.de/fak8/bi13wn/bionik-d.html>.

49 Werner Nachtigall, Bionik – Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler, 2. Auflage, ISBN 3-540-43660-X.

Umweltschutz ausgezeichnet wurde.⁵⁰ Die Universität des Saarlandes bietet bereits seit Jahren den Biologie-Diplom-Studiengang „Technische Biologie und Bionik“ an.⁵¹ Seit April 2003 existiert an der Technischen Universität **Darmstadt** das Biotechnik-Zentrum Darmstadt (BitZ), in dem die Bionik eine der drei Forschungsdisziplinen darstellt. Hier werden u. a. Themengebiete der Baubionik bearbeitet. An der Hochschule **Bremen** wird ein Internationaler Studiengang Bionik angeboten (Abschluss: Bachelor of Science). An der Technischen Universität **Ilmenau** kann man Bionik in Verbindung mit Mechanik und Elektronik an der Fakultät Maschinenbau im neu eingerichteten Fachgebiet Biomechatronik studieren.⁵² An der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) **Aachen** ist das Kompetenzzentrum Bionik gegründet worden, um die Kompetenz im Fach Bionik zu bündeln. An der Fachhochschule **Heidelberg** ist für das Wintersemester 2003/2004 geplant, Bionik als Vertiefungsfach für das Maschinenbau-Studium anzubieten.

Ein alleiniges Studium der Bionik ist aufgrund der Fülle des angebotenen vielschichtigen Wissens im Allgemeinen zu oberflächlich, so dass sich für eine erfolgreiche Berufspraxis vor allem Aufbaustudiengänge in Bionik für ausgebildete Bauingenieure, Architekten, Biologen oder Designer anbieten.⁵³ „Heute befassen sich die universitären Bionik-Institute jeweils mit einem Spezialgebiet. An der TU Berlin heißt das Fachgebiet: Bionik und Evolutionsforschung.“⁵⁴

6.2. Verbände

In Deutschland befassen sich zwei Verbände mit Bionik:

- Gesellschaft für Technische Biologie und Bionik in Saarbrücken
- Bionik-Verband München.

6.3. Bionik-Kompetenznetz

Das Bionik-Kompetenznetz (*BIOKON*)⁵⁵ ist ein vom BMBF gefördertes Gemeinschaftsprojekt mit dem Ziel, die Bionik-Aktivitäten in Deutschland zu bündeln und eine effektive Zusammenarbeit von Industrie und Bildungsbereich zu gewährleisten.⁵⁶ Die Leitung des *BIOKON* wurde der TU Berlin übertragen. Projektleiter der TU Berlin ist

50 Helga Kleisny, Warum Fliegen sich im Kino langweilen – Bionische Methoden als Chance für die Zukunft; 1. Auflage 2000, ISBN 3-8311-0155-8, S. 17.

51 <http://www.uni-saarland.de/verwalt/presse/campus/2001/4/19-Bionik.htm>.

52 <http://lautaro.fb.10.tu-berlin.de/kompetenznetz/bildung/studium.html>.

53 Helga Kleisny, Warum Fliegen sich im Kino langweilen – Bionische Methoden als Chance für die Zukunft; 1. Auflage 2000, ISBN 3-8311-0155-8, S. 17.

54 Helga Kleisny, Warum Fliegen sich im Kino langweilen – Bionische Methoden als Chance für die Zukunft; 1. Auflage 2000, ISBN 3-8311-0155-8, S. 21.

55 http://www.bionik.tu-berlin.de/kompetenznetz/biokon/bilder/AntragBioKoN_AllgemeinerTeil.pdf.

56 <http://www.berlinews.de/archiv/2031.shtml>.

Prof. Dr.-Ing. Ingo Rechenberg vom Fachgebiet Bionik und Evolutionstechnik; die Gesamtkoordination übernimmt sein Kollege Dr. Rudolf Bannasch, der international u. a. im Bereich der Strömungsbionik bekannt geworden ist. Zu den Bionikern des Kompetenznetzes gehören auch Wissenschaftler folgender Forschungseinrichtungen:

- Kompetenznetz des Landes Baden-Württemberg
- EvoLogics GmbH an der TU Berlin (Dr. Rudolf Bannasch)
- Architekturbüro Oligmüller in Bochum (Dieter Oligmüller)
- Hochschule Bremen (Prof. Weiss)
- Botanisches Institut und Botanischer Garten der Universität Bonn (Prof. Barthlott)
- Technische Universität Darmstadt AG Bionik (Dr. Torsten Rossmann)
- Universität Freiburg (Prof. Dr. Spatz, Prof. Dr. Speck)
- Technische Universität Ilmenau (Dr. Cornelius Schilling)
- Forschungszentrum Karlsruhe (Prof. Claus Mattheck)
- Universität Münster (Prof. Dr. Bernd Hill)
- Nieklitzer Ökologie- und Ökotechnologie-Stiftung (Prof. Heydemann)
- Universität des Saarlandes (Prof. Werner Nachtigall)
- Max-Planck-Institut für Entwicklungsbiologie Tübingen (Dr. Stanislav Gorb).⁵⁷

Kooperationspartner sind u. a. die Dr. Mirtsch GmbH Strukturierungstechnik (Teltow), die Mantik Bioinformatik GmbH (Berlin), das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (Bremerhaven), das Forschungszentrum Jülich und die Tierärztliche Hochschule Hannover.

Mit dem Kompetenznetz sollen die Potenziale der Bionik für die Wirtschaft und Technik erschlossen und ausgeschöpft werden. Die enge Verflechtung von Universitäten, Forschungszentren und Industrie ermöglicht einen schnellen Informationsaustausch und kompetente Beratung auf allen Gebieten der Bionik. Das Wissen der Experten soll der Industrie Wege für bionische Problemlösungen zeigen, die Position Deutschlands auf dem Gebiet der systematischen Bionik stärken und zu einer umweltkonformen Technikentwicklung beitragen.⁵⁸ Ziel ist es auch, internationale Ansprechpartner zu etablieren.

Das *BIOKON* bietet folgende Dienste an:

- Beratung zu allen Fragen der Bionik
- Fachliches Begleiten einer kompetenten Industrieberatung
- Weiterentwicklung der umweltbezogenen Kompetenz der Bionik
- Systematisierung der Bionik

⁵⁷ <http://www.bionik.tu-berlin.de/kompetenznetz/biokon/mitglieder.htm>.

⁵⁸ über <http://www.bionik-tu-berlin.de>.

- Begründung einer biologisch-technischen Analogiebank
- Suche geeigneter Experten und Projektpartner
- Öffentlichkeitsarbeit, universitäre Ausbildung, Weiterbildung
- Beratung im Bereich der Aus- und Weiterbildung (Aufbau von Studiengängen, Bionik an Schulen)
- Fachliche Organisation von Bionik-Veranstaltungen
- Planung und Durchführung von Workshops für die Industrie
- Einwerbung von Drittmitteln für innovative F&E-Vorhaben
- Aufbau eines europäischen Bionik-Verbundes (Bionik-EuNet)
- Gemeinsame Gestaltung eines Bionik-Forums im Internet.⁵⁹

7. Wirtschaftliche Bedeutung (Produktentwicklung)

7.1. Allgemeine Einschätzung

Die wirtschaftliche Bedeutung der Bionik zu quantifizieren ist nicht leicht, zumal es sich um eine relativ junge Wissenschaft handelt und viele Bionik-Aktivitäten nicht als solche ausgewiesen sind.⁶⁰ Es ist in letzter Zeit eine steigende Tendenz bionischer Arbeiten festzustellen. Die Industrie scheint sich grundsätzlich noch abwartend zu verhalten, wenngleich das Interesse an biologischen Entwicklungen wächst. Aktive eigene Abteilungen mit bionischen Arbeiten sind nur in der Großindustrie vereinzelt eingerichtet.⁶¹ Forschungsergebnisse aus der Bionik sind bereits seit Jahren in die Produktentwicklung eingeflossen. Auf der Hannover Messe 2003 wurde von führenden Wissenschaftlern festgestellt, dass die deutsche Forschung auf dem Gebiet der Bionik international einen Entwicklungsvorsprung besitzt.⁶² „Bionik made in Germany hält die Spitzenposition einer Entwicklung, die international immer mehr Schule macht“, so formuliert es Professor Rudolf Bannasch, Geschäftsführer der Berliner EvoLogics GmbH.⁶³

Die zunehmende wirtschaftliche Relevanz lässt sich anhand diverser vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) sowie vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) geförderter Projekte verdeutlichen.⁶⁴ Die Bionik gewinnt auch für kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) zunehmend an Bedeutung. Mit dem vom BMWA geförderten KMU-Netzwerk „Terra Bionica e. V.“ sollen diese Unternehmen unterstützt werden.⁶⁵

59 <http://www.bionik.tu-berlin.de/kompetenznetz/biokon/biokon.htm>.

60 TU Berlin, FG Bionik und Evolutionstechnik; Auskunft vom 14.07.2003 zu Fragen der Bionik.

61 http://www.bionik.tu-berlin.de/kompetenznetz/biokon/bilder/AntragBioKoN_AllgemeinerTeil.pdf, S. 11.

62 Die Welt, Welt am Sonntag, 4. Juli 2003; <http://www.welt.de/data/2003/04/07/67070.html>.

63 Forschungszentrum Jülich, Presseschau 07/2003, Die Welt, 07.04.2003, S. 13.

64 TU Berlin, FG Bionik und Evolutionstechnik; Auskunft vom 14.07.2003 zu Fragen der Bionik.

65 <http://www.TerraBionica.de>.

Das Fördervolumen für das vom BMBF geförderte Projekt *BIOKON* (siehe Punkt 6.3) beträgt 2,8 Millionen Euro für die ersten drei Jahre.⁶⁶ Im Antrag zur BMBF-Förderung dieses Netzwerks (Februar 2001) heißt es unter anderem: „Einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Wirtschaft, im Besonderen zur Entwicklung umweltschonender Technologien, könnte die verstärkte Berücksichtigung erfolgreicher biologischer Funktionsprinzipien leisten.“⁶⁷

Eine Vielzahl von Entwicklungen der Bionik hat bereits Produktreife erlangt. „Vermarktet wird zum Beispiel der Schwimm-Anzug ‚Speedo‘, dessen Struktur der Hai-fisch-Haut nachempfunden ist. Er hat sich bei Wettkämpfen bewährt. Fenstergläser, Sanitär-Keramik sowie Farben und Lacke, die den Selbstreinigungseffekt der Lotus-Pflanze nutzen,“ finden zahlreich Abnehmer. Gleiches gilt für Winterreifen, deren Oberflächenstruktur nach dem Muster von Bienenwaben und Eisbär-Tatzen gestaltet wurde.⁶⁸

Auf der Hannover Messe 2003 wurden unter anderem Fluggeräte mit kreisförmigen Tragflächen vorgestellt sowie „Flüster-Propeller“ und Schallmessgeräte, die mit Kameratechnik arbeiten.⁶⁹

Von den neuen sich abzeichnenden Bionik-Entwicklungen sind aus Sicht der TU Berlin und des Bionik-Kompetenznetzes u. a. die Forschungsergebnisse des Haftsystems „Gecko-Fuß“ (siehe Punkt 7.13)⁷⁰ besonders interessant.⁷¹ Bedeutsame Beiträge wird die Bionik zukünftig auf dem Gebiet der Nanotechnologie leisten. Auch die Querverbindungen zur Biotechnologie werden sich stärker ausprägen. „Häufig unterschätzt werden die naturorientierten Informationsverarbeitungs- und Optimierungssysteme (Bioanaloge Informationsverarbeitung), z. B. die künstlichen Neuronalen Netze oder die Evolutionären Algorithmen (z. B. die Evolutionsstrategien).“⁷² In der TU Berlin wird ein evolutionsstrategisches Optimierungsprojekt mit einem Automobilzulieferer bearbeitet. Ein weiteres, vom BMBF gefördertes Entwicklungsprojekt in Zusammenarbeit mit einem Automobilhersteller und der Universität Dortmund ist gerade abgeschlossen worden. Hierbei galt es, Reglersysteme der Evolutionsstrategie zu optimieren.⁷³ „Die große Bedeutung der Bioanalogen Informationsverarbeitung zeigt sich auch anhand eines neuen Forschungsschwerpunktes des BMBF (BMBF-Programm IT-2006 Bioanaloge Informationsverarbeitung IT-Forschung 2006).“⁷⁴

66 TU Berlin, FG Bionik und Evolutionstechnik; Auskunft vom 14.07.2003 zu Fragen der Bionik.

67 http://www.bionik-tu-berlin.de/kompetenznetz/biokon/bilder/AntragBioKoN_Allgemeiner_Teil.pdf, S. 6.

68 Die Welt, Welt am Sonntag, 4. Juli 2003; <http://www.welt.de/data/2003/04/07/67070.html>.

69 Die Welt, Welt am Sonntag, 4. Juli 2003; <http://www.welt.de/data/2003/04/07/67070.html>.

70 <http://www.bionik-tu-berlin.de/kompetenznetz/news/forschungsnews.htm>.

71 TU Berlin, FG Bionik und Evolutionstechnik; Auskunft vom 14.07.2003 zu Fragen der Bionik.

72 TU Berlin, FG Bionik und Evolutionstechnik; Auskunft vom 14.07.2003 zu Fragen der Bionik.

73 TU Berlin, FG Bionik und Evolutionstechnik; Auskunft vom 14.07.2003 zu Fragen der Bionik.

74 TU Berlin, FG Bionik und Evolutionstechnik; Auskunft vom 14.07.2003 zu Fragen der Bionik.

7.2. Lotus-Effekt

Professor W. Barthlott und seine Arbeitsgruppe am Botanischen Institut der Universität Bonn erforschten den so genannten „Lotus Effekt“, indem sie Pflanzen (Kapuzinerkresse und Lotusblüten) untersuchten, deren Oberfläche durch winzige Noppen selbstreinigend wirkt. Von den Blättern der indischen Lotus-Blume perlen Regentropfen ab und spülen dabei Schmutz und Krankheitskeime mit sich fort. Bei diesem Effekt handelt es sich um einen von der Evolution in Jahrmillionen hervorgebrachten Selbstreinigungsmechanismus. Die Oberflächen der Blätter sind nicht glatt, sondern durch mikroskopisch kleine Strukturen aufgeraut. Diesen Effekt hat Barthlott auf technische Oberflächen übertragen. Barthlott wurde 1999 für seine Forschungsarbeit und die technische Übertragung des Lotus-Effekts mit dem Deutschen Umweltpreis ausgezeichnet. Inzwischen wird der Effekt bei der Herstellung von Fassadenfarben, Dachziegeln, speziellen Lacken und Folien angewandt.⁷⁵ Die Lackierungen sind schmutzabweisend und besonders kratzfest.⁷⁶ Für die technische Umsetzung dieser Entdeckung wurden bereits Patente erteilt.⁷⁷ ⁷⁸ Die Fassadenfarbe, für die einzelne Firmen Lizenzen besitzen, gilt als bedeutendste Anwendung.⁷⁹ Die wirtschaftliche Bedeutung der Bionik „lässt sich auch aus einem von der DBU geförderten Projekt unter dem Namen ‚Bautenschutz mit Lotus-Effekt‘ ableiten. Der zu verhindernde Befall durch Mikroorganismen wird allein in der Bundesrepublik Deutschland auf 2 bis 4 Mrd. Euro geschätzt“ und ist damit von erheblicher wirtschaftlicher Relevanz.⁸⁰

7.3. Pinguin-Modell

Pinguine legen in natürlicher Umgebung während ihrer Nahrungssuche täglich eine Entfernung von bis zu 130 km zurück bei Höchstgeschwindigkeiten von bis zu 7 m/s. Das Pinguin-Design könnte durch Übertragung in die Technik aufgrund des geringen Widerstandsbeiwertes für viele Anwendungen geeignet sein. Forscher der TU Berlin um Rudolf Bannasch untersuchten die Form der Tiere auf ihren Luftwiderstand und ermittelten einen Widerstandsbeiwert (cw-Wert) von 0,07⁸¹, bei einer praxisnahen turbulenten Umströmung sogar von nur 0,025⁸². Bei modernen Autos liegt dieser Wert bei etwa 0,3. Durch Übertragung dieses biologischen Modells auf Autos, Flugzeuge, Luftschiffe und Unterwasserfahrzeuge könnten die Treibstoffkosten drastisch gesenkt werden.⁸³ ⁸⁴

75 <http://www.3sat.de/nano/cstuecke/20727>.

76 <http://www.baustoffchemie.de/db/lotus-effekt-patente>.

77 <http://www.bionik.ravensburger.de/2/210.htm>.

78 <http://www.baustoffchemie.de/db/lotus-effekt-patente>.

79 TU Berlin, FG Bionik und Evolutionstechnik; Auskunft vom 14.07.2003 zu Fragen der Bionik. <http://www.ispo-online.de/>.

80 TU Berlin, FG Bionik und Evolutionstechnik; Auskunft vom 14.07.2003 zu Fragen der Bionik.

81 DIALOG ONLINE; Zeitschrift für internationale Weiterbildung und Zusammenarbeit; http://www.dialog.inwent.org/de/rub_20020220094714/artikel_20021115133429.html.

82 <http://www.heise.de/tp/deutsch/inhalt/co/2502/1.html>, S. 4.

83 <http://www.heise.de/tp/deutsch/inhalt/co/2502/1.html>.

Die von Dr. Jörg Bracher bei seinem Luftschiff Skyboat gewählte Form zeichnet sich im Vergleich zu alternativen Luftschiff-Projekten durch einen äußerst geringen Widerstandsbeiwert aus.⁸⁵

7.4. Vogelflug und adaptive Tragflächen

Die Anwendung bionischer Prinzipien im Flugzeugbau bietet ein großes Entwicklungspotenzial. Die Natur hat „mit dem Flügel des Vogels ein adaptives ‚Bauteil‘ entwickelt, mit dem der Vogel durch Veränderung der Profilform seine Flugbedingungen optimieren kann.“⁸⁶ Durch Übertragung des Deckfeder-Modells der Vögel (siehe Pkt. 4) auf Flugzeugflügel könnte es möglich sein, ein Flugzeug ohne größeren konstruktiven Aufwand auf eine Vielzahl von Flugkonfigurationen einzustellen. Durch Variation von Drücken in pneumatischen Strukturen könnten unterschiedliche Flügelwölbungen für die Start- und Landephase sowie für den Reiseflug erzeugt werden.⁸⁷

Ein gemeinsames Projekt des Instituts für Verfahrenstechnik der TU Berlin und des Weierstraß-Instituts für Angewandte Analysis und Stochastik im Forschungsverbund Berlin e. V. untersuchte im Rahmen des DFG-Forschungsschwerpunktes „Echtzeit-Optimierung großer Systeme“ die adaptive Gestaltregulierung eines Flugzeugtragflügels.⁸⁸ Im Rahmen eines von der EU geförderten Projekts wurde im Fachgebiet Thermodynamik des Instituts für Verfahrenstechnik der TU Berlin der Prototyp eines adaptiven Flügels hergestellt.⁸⁹ Auch Forscher des Instituts für Strukturmechanik am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt in Braunschweig arbeiten zusammen mit Ingenieuren der Firma Daimler-Benz Aerospace mithilfe der neuen Technologie („Adaptronik“) an flexiblen Tragflächen.⁹⁰ „Sie sollen in künftigen Verkehrsflugzeugen zum Einsatz kommen und durch variable Profile den Luftwiderstand senken und somit auch den Kerosinverbrauch reduzieren“,⁹¹ Der adaptive Flügel „passt sich von allein Änderungen der Luftströmung an, wie sie etwa durch den Treibstoffverbrauch sowie durch unterschiedliche Flughöhen und Windverhältnisse verursacht werden.“⁹²

84 DIALOG ONLINE; Zeitschrift für internationale Weiterbildung und Zusammenarbeit; http://www.dialog.inwent.org/de/rub_20020220094714/artikel_20021115133429.html.

85 <http://www.heise.de/tp/deutsch/inhalt/co/2502/1.html>, S. 4.

86 <http://www.thermodynamik.tu-berlin.de/DFG/echtzeit/profil.html>.

87 <http://www.heise.de/tp/deutsch/inhalt/co/2502/1.html>, S. 7.

88 <http://www.thermodynamik.tu-berlin.de/DFG/echtzeit/profil.html>, S. 10.

89 <http://www.thermodynamik.tu-berlin.de/DFG/echtzeit/profil.html>, S. 10.

90 http://www.bics.be.schule.de/son/verkehr/presse/1998_1/v1481_14.htm.; Verkehrswerkstatt, Pressearchiv 1998/I.

91 <http://www.wissenschaft.de/wissen/hintergrund/173281>.

92 http://www.bics.be.schule.de/son/verkehr/presse/1998_1/v1481_14.htm.; Verkehrswerkstatt, Pressearchiv 1998/I.

7.5. Schalllokationssystem der Schleiereule

Am Zentrum für Bionik der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen versuchen sich Biologen u. a. an einem Roboter, für den das Schalllokationssystem der Schleiereule Vorbild ist. Da die Schleiereule die beste Lokalisationsgenauigkeit aller Organismen aufweist, könnte sich die Erforschung dieses Prinzips und die Übertragung in die Technik für Hörgeräte, Handys und Roboter eignen.⁹³

7.6. Morse-ABC der Delphine

Die aus Wissenschaftlern der TU Berlin hervorgegangene EvoLogics GmbH arbeitet seit dem Jahr 2000 auf den Gebieten der Ultraschalltechnik und Unterwasser(UW)-Kommunikation. Die neuartigen Verfahren können für UW-Datennetzwerke, für die Steuerung mobiler UW-Gerätschaften, für Vermessungszwecke in der Ozeanographie, Orientierung, Positionierung, zerstörungsfreie Materialprüfung und Biomedizintechnik (Krebs-Frühdagnostik) verwendet werden.

Über Radiowellen ist eine Unterhaltung unter Wasser nicht möglich. Eine Alternative sind Ultraschallsignale, bei denen jedoch Signalverzerrungen und Signalrauschen auftreten. Die Delphine umgehen bei ihrem Schrei dieses Problem, indem sie die ganzzahligen Vielfachen des Grundtons ein- oder ausblenden. Die Delphine verständigen sich unter Wasser mit Klick- und Pfeiflauten im Ultraschallbereich, bei denen sie ständig die Frequenz wechseln.⁹⁴ Damit verhindern sie, dass sich Signal und Echo gegenseitig stören.

„Der Delphin morst mit seinen Oberschwingungen.“⁹⁵ Die EvoLogics GmbH arbeitet im Rahmen eines deutsch-ukrainischen Gemeinschaftsprojekts zur Biokommunikation der Delphine unter den Wissenschaftlern Bannasch und Kebkal am technischen Nachbau dieses so genannten Biosonarsystems⁹⁶. Die Entdeckungen könnten die Kommunikations- und Datenübertragungstechniken revolutionieren. „Mit dem zum Patent angemeldeten Verfahren lassen sich erstmals auch unter Wasser zuverlässige digitale Daten übertragen.“ Die bisherigen Pilotstudien in der Nord- und Ostsee „belegten nicht nur die technische Umsetzbarkeit des bionischen Verfahrens, sondern eröffnen völlig neue Möglichkeiten zur gleichzeitigen Raumorientierung, Ortung und Positionierung.“⁹⁷ Die EvoLogics GmbH hat „ein Unterwasser-Modem gebaut, das große Datenmengen in hoher Qualität übertragen kann. Das ‚Delphin-Modem‘ überträgt bei einer Reichweite von zwei Kilometern fehlerfrei 2.560 Byte pro Sekunde (knapp ein Drittel so viel wie

93 Hermann Wagner, RWTH Aachen, Vortrag: Tiere als autonome Agenten; <http://www.bio2.rwth-aachen.de/presmeet/Seeon2000.htm>.

94 Die Welt, Welt am Sonntag, 4. Juli 2003; <http://www.welt.de/data/2003/04/07/67070.html>, S. 3.

95 <http://www.berlinews.de/archiv-2002/1250.shtml>.

96 Abkürzung für **S**ound **n**avigation and **r**anging = Navigations- und Entfernungsmessgerät zur akustischen Peilung und Ortung von Unterwasserobjekten (Eisberge, U-Boote).

97 <http://www.berlinews.de/archiv/2031.shtml>.

eine ISDN-Leitung) an Text, Farbbildern oder Steuersignalen für Maschinen oder unbemannte U-Boote.“^{98 99} Nach Informationen von Prof. Bannasch bieten sich dank dieser Informations- und Kommunikationstechnik zum Beispiel in der Offshore-Ölförderung oder in der Meeresforschung ganz neue Möglichkeiten.^{100 101}

Eine britische Firma entwickelte nach den Vorstellungen der Forscher der EvoLogics GmbH einen Unterwasserlautsprecher.¹⁰²

7.7. Delphinhaut-Effekt

Biologen und Physiker des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung Bremerhaven, der TU Berlin und der Tierärztlichen Hochschule Hannover arbeiten an einem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projekt zur Verbesserung von umweltneutralen Bewuchsschutzfarben (Antifouling) auf der Basis von physikalischen Reinigungsvorgängen, in die die Erkenntnisse aus den Oberflächeneigenschaften der Delphinhaut einfließen werden.¹⁰³

„Während der Sprungphase von Delphinen entwickeln sich Luftblasen und Scherströmungen, die zur Selbstreinigung der Haut und zum Schutz vor Biofouling führen.“¹⁰⁴

Die Hautoberfläche der Delphine besitzt Eigenschaften, die für die Selbstreinigung durch Luftblasen und Scherströmung besonders gut geeignet sind. Die Haut ist glatt, „viskoelastisch und stressdämpfend sowie mit hydrolytischen Enzymen ausgestattet und größtenteils hydrophil“ („wasserliebend“).¹⁰⁵ Auf der Haut bildet sich ein gelartiger Film, an dem das Wasser widerstandslos entlangströmen kann. Die Forscher erwarten, dass die Umsetzung dieser selbstreinigenden Oberfläche in die Praxis den Schiffsbau revolutionieren wird.

7.8. Fischflossen und Flossenpumpen

Viele Fische erzeugen durch horizontal schwingende Schwanzflossen eine Vortriebskraft. In technischer Umsetzung dieses Beispiels aus der Natur haben K. Affeld und H. Hertel 1968 eine Flossenpumpe zum Patent angemeldet. Mit dieser können auch schwer transportierbare halbflüssige Gemische relativ störungsfrei durch Leitungen gedrückt werden.¹⁰⁶

98 Die Welt, Welt am Sonntag, 4. Juli 2003; <http://www.welt.de/data/2003/04/07/67070.html>, S. 3.

99 Ute Kehse, Natürlich nachgebaut; Berliner Zeitung, Nr. 139, 18.06.2003.

100 Die Welt, Welt am Sonntag, 4. Juli 2003; <http://www.welt.de/data/2003/04/07/67070.html>.

101 http://www.forschungsmarkt.tu-berlin.de/Schauenster/pages/uassteller/bionik/fenster_05.htm.

102 Ute Kehse, Natürlich nachgebaut (Berliner Zeitung Nr. 139, Wissenschaft, 18.06.2003).

103 <http://www.berlinews.de/archiv-2002/1250.shtml>.

104 <http://www.berlinews.de/archiv-2002/1250.shtml>.

105 <http://www.berlinews.de/archiv-2002/1250.shtml>, S. 2.

106 <http://www.uni-saarland.de/fak8/bi13wn/wabionik.htm>, S. 1.

7.9. Sandfisch-Effekt

„Der Sandfisch der Sahara (eine Glattechse) schwimmt unter dem lockeren Dünensand und hat so besonders gegen die Reibung zu kämpfen. Im Sommer 2000 wurden in der Wüste Erg Chebbi am Rande der Sahara erste Messungen des Reibungskoeffizienten von Sandfischen durchgeführt.“¹⁰⁷ Es wurde festgestellt, dass die glatte Oberfläche der Sandfischschuppen polierten Stahl, Glas und Teflon hinsichtlich der Sandreibung deutlich übertrifft. Aufgabe der Bionik ist es, die Wirkung der Sandfischbeschuppung zu verstehen und nach ihrem Vorbild neue Oberflächen minimaler Festkörperreibung zu entwickeln.¹⁰⁸

7.10. Haifisch-Modell

„Untersuchungen zum Strömungsverhalten von Haifisch-Schuppen haben zur Entwicklung spezieller Folien mit Rippenstrukturen (Riblets) geführt. Mit Riblets lassen sich Luft-Widerstandsverminderungen bis zu 8 % erreichen. Beklebt man Flugzeuge mit solchen Folien, können je nach Flugzeugtypgröße ca. 60 bis 200 Tonnen Flugbenzin jährlich gespart werden. Erste Verkehrsflugzeuge mit Riblet-Folie haben ihren regulären Betrieb bereits aufgenommen. Man rechnet damit, dass in Zukunft die meisten Flugzeuge mit diesen Energie und Kosten sparenden Folien beklebt werden.“¹⁰⁹ Eingesetzt wird die Folie gegenwärtig für den Airbus A 380, und sie findet auch bei Schiffen Anwendung.¹¹⁰

7.11. Roboter mit dem Fliegenauge

Fliegen bewegen sich zielorientiert und weichen allen Hindernissen und Verfolgern äußerst geschickt aus. Sie benutzen dabei passive Sensoren. Mit ihrem Facettenauge gelingt es der Fliege, sowohl schnell ablaufende Prozesse als auch den gesamten Raum zu erfassen und dabei etwa 200 Bilder in der Sekunde getrennt wahrzunehmen, ohne den Kopf zu bewegen. Der Mensch kann bei Tageslicht maximal 60 Bilder aufnehmen. „Erkenntnisse über die passiven Sensoren und über das Facettenauge wurden 1996 am C.N.R.S. Laboratoire de Neurobiologie in Marseille unter Leitung von Prof. Dr. Nicola Franceschini genutzt, um das technische Prinzip der optoelektronischen Steuerung des Roboters abzuleiten. Der Sehapparat des Roboters besteht aus 100 Sehzellen, die dem Facettenauge der Fliege nachgebildet sind. Sie sind kreisförmig angeordnet, so dass von der gesamten Umgebung ein Bild gemacht werden kann. Unterhalb der Photorezeptoren

107 Schaufenster der Wissenschaft, Forschung für den Menschen (1): Bionik, 12.-17.September 2001, Berlin (Potsdamer Platz Arkaden). <http://www.berlinnews.de/forschungsmarkt/archiv/74.shtm>, S. 10.

108 Schaufenster der Wissenschaft, Forschung für den Menschen (1): Bionik, 12.-17.September 2001, Berlin (Potsdamer Platz Arkaden). <http://www.berlinnews.de/forschungsmarkt/archiv/74.shtm>, S. 11.

109 BionikKompetenzNetz - *BIOKON* – Antrag zur BMBF-Förderung, Berlin, Februar 2001; <http://www.bionik.tu-berlin.de/kompetenznetz/biokon>.

110 TU Berlin, FG Bionik und Evolutionstechnik; Auskunft vom 18.07.2003.

liegen elementare Bewegungsdetektoren, die Impulse verarbeiten und an die Steuereinheiten für den Roboter weitergeben. Roboter dieser Art könnten in verschiedenen Bereichen zum Einsatz kommen, wie z. B. bei der Verkehrskontrolle, flexiblen Automaten in Industriewerken oder aber auch bei Weltraumexperimenten.¹¹¹

7.12. Elefanten-Ohren

Nach dem Kühlungsprinzip, das Elefanten anwenden, die an heißen Tagen durch Fächeln mit den Ohren die notwendige Kühlung erzeugen, arbeitet ein kompaktes Deckengerät zur konvektiven Kühlung der Raumluft. „Ein zwischen zwei Wärmetauschern oszillierender Fächer erzeugt pulsierende Luftstrahlen. Die hierdurch entstehenden Luftwirbel klingen rasch ab, wodurch eine gleichmäßige, niedrige Raumluftgeschwindigkeit und eine gleichmäßige Kühlung im ganzen Raum erreicht wird.“¹¹² Das Gerät ist einsetzbar in Büros, Konferenzräumen, Hotelzimmern, Empfangsräumen, Studios, Verkaufsräumen, Ausstellungsräumen, Laboren und Produktionsräumen.

7.13. Gecko-Fuß

Forscher in Kalifornien haben sich bei ihren Arbeiten von der Haftfähigkeit der Geckofüße inspirieren lassen.¹¹³ Die bis zu 25 cm großen tropischen Eidechsen besitzen an ihren Zehen Millionen feiner (als Setae bezeichneter) Härchen, mit denen sie selbst an der Unterseite einer Glasscheibe haften bleiben. Die Anziehungskraft der Haftzehen beruht auf intermolekularen (van der Waalsschen) Kräften. Diese Erkenntnis wurde erst im Jahr 2003 von einem Forscherteam um Kellar Autumn vom Lewis and Clark College in Portland nachgewiesen. Neuere Untersuchungen zeigen, dass entscheidend bei dem Prinzip die Größe und Beschaffenheit der Fasern, nicht aber die eigentliche Faserstruktur ist. Die Haare haben einen Durchmesser von etwa 10 Mikrometern und spalten sich an ihrem Ende in eine Vielzahl noch kleinerer Härchen auf, die wiederum nur ein Zehntel Mikrometer dick und sehr elastisch sind. Die hohe Elastizität ermöglicht es, dass sie sich an raue Unebenheiten sehr gut anschmiegen können.¹¹⁴ Einem Bericht des britischen Wissenschaftsmagazins New Scientist zufolge hat ein Ingenieur der Carnegie Mellon University in Pittsburgh aus einem Polymer Härchen gegossen, mit denen sich bereits mehrere Kilogramm schwere Gegenstände an die Decke kleben lassen. Die For-

111 „Bionik-Trends in Industrie und Gesellschaft und Anwendungen bei der Continental AG“, S. 14 (im Internet abrufbar über Angabe des Titels), S. 15.

112 Bionik auf der Hannover Messe 2003;
<http://www.bionik.tu-berlin.de/kompetenznetz/news/Hannovermesse2003.htm>.

113 <http://www.bionik.tu-berlin.de/kompetenznetz/news/forschungsnews.htm>.
<http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518.248833,00.htm>
<http://www.heise.de/tp/deutsch/html>.

114 New Scientist, 17. Mai 2003; <http://www.wissenschaft.de/sixcms/detail.php?id=213779>.

scher glauben, dass die Füße einer neuen Roboter-Generation einmal mit derartigen Haaren ausgestattet werden könnten.¹¹⁵

Mit dem in die Technik übertragenen Prinzip der Geckos beabsichtigen die Forscher Gewebe mit synthetischen Geckohaaren herzustellen, das zum Beispiel auch zur Herstellung besonders griffiger Schuhe für Sportler oder für Autoreifen mit besonders starker Haftung geeignet sein könnte. Das Projekt wird vom US Verteidigungsministerium gesponsert. An der University of California at Berkely werden inzwischen mittels Nanotechnik spatelartige Fasern aus zwei unterschiedlichen Materialien hergestellt. Damit ist der Weg für eine künstliche Imitation des Gecko-Fußes geebnet.¹¹⁶

7.14. Farbprinzip Schmetterling

Kanadischen Wissenschaftlern gelang es, unter Verwendung winziger Siliziumoxid-Kügelchen eine „photonische“ Tinte zu entwickeln, die auf Knopfdruck ihre Farbe ändert. Die Farben sind für elektronisches Papier oder empfindliche Sensoren vorgesehen. Die Forscher der University of Toronto wählten als Vorbild für die Entwicklung ihrer photonischen Tinte das Prinzip des Schmetterlings. Über komplizierte marginale Veränderungen der Brechung eines einfallenden Lichtstrahls können alle Farben des sichtbaren Lichtspektrums ohne jeden Farbstoff erzeugt werden.¹¹⁷

7.15. Biomechanik des Spinnenbeins

Für die Entwicklung neuer Bewegungsprinzipien bei Robotern, besonders für Systeme mit mikrotechnologisch gefertigten Mechanik-Komponenten, bieten sich Studien zur Funktionsanatomie von Gliedertieren an. Das genaue Erkennen und Verstehen der Mechanismen könnte die Mikrorobotik zukünftig beeinflussen. 1988 wurde bereits von der TU Dresden ein Greifer nach dem Vorbild der Mundwerkzeuge der Walzenspinne mit hydraulischem Antrieb vorgestellt.¹¹⁸

7.16. Wabenstruktur

Die Technische Fachhochschule Berlin, Fachbereich Verfahrens- und Umwelttechnik, hat für eines ihrer Projekte die Wabenstruktur aus der Natur in die Technik umgesetzt. Wölbstrukturen in Form eines Hexagons bieten eine ideale Struktur, um die höchste Stabilität bei geringem Eigengewicht zu erreichen. „Diese Strukturen werden in Zukunft durch den Einbau in Waschmaschinen das automatische Waschen von Wäsche revolutionieren. Die hexagonalen Wölbstrukturen verleihen dem Material eine hohe Stabili-

115 New Scientist, 17. Mai 2003; <http://www.wissenschaft.de/sixcms/detail.php?id=213779>.

116 <http://www.heise.de/tp/deutsch/html>.

117 <http://www.wissenschaft.de/sixcms/detail.php?id=204042>

118 <http://www.maschinenbau.tu-ilmeneau.de/bionik-netz>.

tät.¹¹⁹ Anwendung findet diese Technik bereits bei der Wäschetrommel einer neuen Waschmaschine für besonders feine Wäsche mit höchster Schleuderzahl, ferner bei einer blendfreien und filigranen Leuchte sowie bei extrem dünnen Stahlrohren für die Untersuchung von Elementarteilchen.¹²⁰ Die Hexagonallamellen ermöglichen eine maximale Traktion durch Formschluss auf flexiblen Oberflächen. Das physikalische Prinzip besteht darin, dass die unabhängigen Feinschnittelemente Punktelastizität ermöglichen und somit die optimale Anpassung an die jeweilige Oberfläche gewährleisten. Das Prinzip wird auch bei der Entwicklung von Autoreifen für spezielle Anforderungen genutzt.¹²¹

7.17. Prinzip des Baumwachstums

Materialforscher vom Forschungszentrum Karlsruhe um den Physiker Professor Claus Mattheck profitieren bei ihren Entwicklungen vom Prinzip, das beim Baumwachstum beobachtet wurde. Gesunde Bäume wachsen dort besonders stark, wo die Belastung, zum Beispiel durch Wind, am größten ist. Dadurch wird eine gleichförmige Spannungsverteilung erreicht. Basierend auf diesen Erkenntnissen entwickelten die Wissenschaftler ein Computerprogramm (Computer Aided Optimisation – CAO) zur Optimierung der Statik von Maschinenbauteilen. Das Bauteil wird an den Stellen verstärkt, wo besonders hohe Kerbspannungen auftreten. Bei dem CAO-Verfahren wird das Dickenwachstum von Bäumen simuliert, indem an hoch belastete Außenbereiche technischer Bauteile so lange Material angelagert wird, bis eine mechanisch optimierte Form mit konstanter Oberflächenspannung entstanden ist.¹²² Verschiedene Automobilhersteller wenden das Verfahren bei der Konstruktion von Fahrwerks- und Karosserieteilen an.¹²³ Mit einem computerunterstützten Verfahren gelingt es auch, orthopädische Schrauben zu verbessern, mit denen Implantate an der Wirbelsäule befestigt werden.¹²⁴ ¹²⁵ Mithilfe der Erkenntnis des Baumwachstums haben die Karlsruher Forscher ein weiteres Programm entwickelt, mit dem sich der Gesundheitszustand von Bäumen erfassen lässt. Sie erkannten, dass ein Baum an der Stelle, an der er innen hohl ist, außen stärker wächst und eine Beule bekommt. Auf diese Weise lässt sich feststellen, wann ein Baum etwa zur Gefahr für den Straßenverkehr wird.¹²⁶

119 <http://www.berlinews.de/forschungsmarkt/archiv/74.shtm>.

120 <http://www.berlinews.de/forschungsmarkt/archiv/74.shtm>.

121 Bionik – Trends in Industrie und Gesellschaft und Anwendungen bei der Continental AG (im Internet abrufbar unter dem Titel).

122 <http://www.biologie.uni-freiburg.de/biomimetik/wissen.htm>.

123 <http://www.m-i-c.de/mic/archiv/873315.php>.

124 Ute Kehse, Natürlich nachgebaut; Berliner Zeitung Nr. 139, 18.07.2003.

125 <http://www.biologie.uni-freiburg.de/biomimetik/wissen.htm>, S. 15.

126 Ute Kehse, Natürlich nachgebaut; Berliner Zeitung Nr. 139, 18.07.2003.

7.18. Heliotropium-Prinzip

In der Architektur werden bionische Prinzipien der Giftpflanze Heliotropium europaeum (Europäische Sonnenwende) genutzt. Das Niedrig-Energie-Haus „Heliotrop“¹²⁷ zum Beispiel ist in seiner Architektur an diese Pflanze angelehnt, die ihre Blätter im Tagesverlauf nach dem Sonnenstand orientiert. Nach diesem Vorbild kann sich das drehbare, zylinderförmige Solarhaus bei zu starker Sonneneinstrahlung aus der Sonne bewegen.¹²⁸

7.19. Rosetten-Prinzip

„Die italienischen Architekten P. Portoghesi und M. Gigliotti haben im Wohngebiet Santa Marinella in Rom eine 13-stöckige Hauskonstruktion in Analogie zu Rosettenpflanzen vorgestellt, die Wohneinheiten raumsparend so ineinander schachtelt, dass sich die einzelnen Einheiten im Sommer (bei sehr starker Sonne) gegenseitig etwas beschatten, im Winter aber möglichst wenig die Sonne wegnehmen und dass sie gleichzeitig unter idealer Nutzung einer gegebenen Gesamtgrundfläche die Landschaft vor Flächen überziehenden Einzelhäusern bewahren.“¹²⁹

7.20. Photosynthese

Australische Forscher am Labor für Telekommunikation und industrielle Physik versuchen die Photosynthese technisch nachzuahmen. Ziel ist die Verwertung von Kohlendioxid. Den Wissenschaftlern schwebt vor, mit Hilfe von Sonnenlicht Kohlendioxid und Wasser zusammenzufügen. Durch Verwendung von Katalysatoren aus winzigen beschichteten Gold-Nanopartikeln hoffen sie - eventuell unter Hinzufügung von bestimmten Enzymen - eines Tages den Prozess der künstlichen Photosynthese nachvollziehen zu können. Allerdings rechnet man bis zur Realisierung des Vorhabens mit einem Zeitraum von 20 bis 30 Jahren.¹³⁰

127 <http://www.dpunkt.de/bionik/bionik.bilder5.html>.

128 Bionik – Trends in Industrie und Gesellschaft und Anwendungen bei der Continental AG (im Internet abrufbar unter dem Titel), S. 21.

129 <http://www.uni-saarland.de/fak8/bi13wn/bionik/baubionik.htm>.

130 <http://www.welt.de/daten/2002/03/20/0320ws.321348.htx?>

8. Nationale und internationale Veranstaltungen

8.1. Tagungen und Kongresse

„Bionik-Spezialisten aus aller Welt können angesichts der noch relativ jungen Wissenschaftsdisziplin inzwischen auf eine verhältnismäßig lange Tradition zurückblicken.“¹³¹

Bereits 1960 fand in Dayton (Ohio) ein Bionik-Kongress statt. Vom 01. bis 03.10.1990 wurde in Dortmund die 1. Europäische Bioinformatik-Konferenz durchgeführt mit dem Titel „Parallel problem solving from nature.“ Der erste europäische Kongress über Bionik im engeren Sinne wurde vom 11. bis 13.06.1992 in Wiesbaden von der Gesellschaft für Technische Biologie und Bionik e. V. (GTBB) in Saarbrücken veranstaltet. Seitdem findet alle zwei Jahre ein entsprechender Kongress statt.¹³² Im Juli 2002 veranstaltete die GTBB in Zusammenarbeit mit dem Bionik-Kompetenznetz (*BIOKON*) des BMBF und der Außenstelle Technische Biologie und Bionik (TBB) der Akademie der Wissenschaften und der Literatur (Mainz) an der Universität des Saarlandes den 6. Internationalen Bionik-Kongress. Auf dem Kongress waren 120 Bionik-Experten aus Industrie, Wirtschaft und Wissenschaft sowie Vertreter aller am Bionik-Kompetenznetz beteiligten Partner vertreten. Mehr als die Hälfte der Referenten des Kongresses kamen aus der Industrie.

Auf dem Kongress berichteten Vertreter folgender Institutionen und Unternehmen über neueste Forschungen auf bionischem Gebiet:

- Weimarer Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau
- Airbus GmbH
- Adam Opel AG
- Continental AG
- Festo AG
- Dr. Mirtsch GmbH
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
- IndustrieKultur Saar.

Vom 16. bis 17.05.2002 fand in Bistra/Slowenien eine Bionik-Fachtagung statt mit dem Titel „Zukunftstechnik Bionik – 3. Workshop in Slowenien“.

131 <http://www.uni-saarland.de/verwalt/presse/campus/2002/3/22-bionik-kongress.htm>.

132 „Bionik-Trends in Industrie und Gesellschaft und Anwendungen bei der Continental AG“, S. 14 (im Internet abrufbar über Angabe des Titels).

8.2. Ausstellungen

Seit Anfang der 1980er Jahre gibt es eine Reihe von Messen und Ausstellungen zum Thema Bionik. Seit 1984 wird zum Beispiel vom SiemensForum München mit großem Erfolg in vielen Orten der Welt die Wanderausstellung „Bionik – Lernen von der Natur“ mit den unterschiedlichen Anwendungsgebieten der Bionik gezeigt.¹³³ Ebenfalls in den 1980er Jahren wurde von Y. Coineau und B. Kresling in Paris eine durch das französische Wissenschaftsministerium unterstützte Bionik-Ausstellung ins Leben gerufen.¹³⁴ In der Schweiz werden auf der HiTechNatur vergleichende Konstruktionen der Technik mit Lösungen der Natur gezeigt. Auch im Landesmuseum für Technik und Arbeit in Mannheim läuft eine Bionik-Ausstellung. Auf der Hannover Messe 2003 war die Bionik mit einem umfangreichen Angebot an Produktentwicklungen vertreten.

9. Internationale Tendenzen

Sowohl in Europa als auch weltweit nimmt Deutschland auf dem Gebiet der Bionik eine Führungsposition ein. Entscheidend dafür ist nach Meinung von Wissenschaftlern der TU Berlin, dass nur in Deutschland die Bionik als Wissenschaftsrichtung etabliert ist. Ursprünglich nur in Berlin und Saarbrücken werden in den letzten Jahren im gesamten Bundesgebiet Bionik-Zentren aufgebaut.¹³⁵

In anderen Ländern läuft die Bionik (biomimetics, bionics) in bestimmten Lehr- und Forschungseinrichtungen als Nebenfach. Anwendung findet die Bionik auch im Ausland - allerdings nicht immer als solche ausgewiesen - auf verschiedensten Gebieten (vgl. Punkt 7.6, 7.11, 7.13, 7.14, 7.19, 7.20). Auf internationalen Kongressen und Tagungen werden Erfahrungen ausgetauscht und Projekte vorgestellt. Vereinzelt laufen bereits internationale Bionik-Projekte, Aktivitäten und Kooperationen. Zur Zeit werden auch die Kooperationen zwischen deutschen und ausländischen Universitäten, z. B. einigen im osteuropäischen Raum, ausgebaut.¹³⁶ Eine internationale Vernetzung der Bionik-Institutionen und Forschungseinrichtungen ist derzeit noch nicht ausgebildet. Diese ist Aufgabe des Bionik-Kompetenznetzes. Im Rahmen der EU ist ein European Network of Excellence in Bionik geplant. Als Zeitpunkt für den Start ist der internationale Bionik-Kongress 2004 in Hannover vorgesehen, der parallel zu der Hannover Messe Industrie vom 22. bis 23.04.2004 stattfinden und durch einen umfangreichen Bionik-Stand in Halle 18 begleitet werden wird. Schirmherrin des Bionik-Kongresses ist die Bundesministerin für Bildung und Forschung Edelgard Bulmahn.¹³⁷

133 Helga Kleisny, Warum Fliegen sich im Kino langweilen – Bionische Methoden als Chance für die Zukunft; 1. Auflage 2000, ISBN 3-8311-0155-8, S. 17.

134 „Bionik-Trends in Industrie und Gesellschaft und Anwendungen bei der Continental AG“, S. 12 (im Internet abrufbar über Angabe des Titels).

135 TU Berlin, FG Bionik und Evolutionstechnik; Auskunft vom 14.07.2003 zu Fragen der Bionik.

136 TU Berlin, FG Bionik und Evolutionstechnik; Auskunft vom 14.07.2003 zu Fragen der Bionik.

137 TU Berlin, FG Bionik und Evolutionstechnik; Auskunft vom 14.07.2003 zu Fragen der Bionik.

Auf einigen Teilgebieten der Bionik ist die internationale Vernetzung bereits zum gegenwärtigen Zeitpunkt relativ weit fortgeschritten, beispielsweise auf dem Gebiet der Evolutionären Algorithmen durch das EvoNet. Das EvoNet¹³⁸ ist ein Zusammenschluss von Forschungsgruppen und Firmen, die auf diesem Gebiet arbeiten bzw. entsprechende Algorithmen einsetzen. Ein Ziel des Netzwerks ist die gemeinsame Durchführung von Forschungsprojekten, z. B. auf EU-Ebene. Weitere Aufgaben sind Koordinierung von Studium und Ausbildung und Zusammenarbeit mit anderen Netzwerken.¹³⁹

10. Literaturempfehlung

Kleisny, Helga, Warum Fliegen sich im Kino langweilen - Bionische Methoden als Chance für die Zukunft; 1. Auflage 2000, ISBN 3-8311-0155-8.

Nachtigall, Werner, Bionik - Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler; 2. Auflage 2002, ISBN 3-540-43660-X.

Stand der Internet-Abfrage: 20.07.2003

138 <http://evonet.dcs.napier.ac.uk>.

139 TU Berlin, FG Bionik und Evolutionstechnik; Auskunft vom 14.07.2003 zu Fragen der Bionik.