


Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

Engineering  **ONLINE LIBRARY**

<http://www.springer.de/engine-de/>

Werner Nachtigall

Bau-Bionik

Natur ← Analogien → Technik



Springer

Prof. em. Dr. rer. nat.
Werner Nachtigall
Arbeitsstelle Technische Biologie und Bionik
der Akademie der Wissenschaften und der Literatur Mainz
Universität des Saarlandes
Postfach 151150
Gebäude 9 3.OG
66041 Saarbrücken
email: W.Nachtigall@rz-sb.de

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-662-05992-0 ISBN 978-3-662-05991-3 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-05991-3

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2003

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 2003.

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 2003

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI, VDE), Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Satz: medio Technologies AG, Berlin

Layout/Illustrationsbearbeitung: medio Technologies AG, Berlin

SPIN 10976432 68/3111 - Gedruckt auf säurefreiem Papier

Vorwort

Gleich vorab sei's gesagt: **Das ist kein Buch, nach dem man ganz direkt bauen und konstruieren kann. Es ist ein Buch, das den Horizont erweitert.**

Bei der Bearbeitung der zweiten Auflage für das Buch *Bionik – Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler*, das im gleichen Verlag erschienen ist, hätte die Fülle des vorliegenden Materials im Bereich der Baubionik zu einem überlangen Abschnitt geführt. Verlag und Autor haben deshalb für das genannte Buch letztendlich eine Kurzversion vorgesehen. Aus der Langversion, ergänzt um einen Bildabschnitt und um Datenmaterial aus Vorlesungen über Bau- und Architekturbionik hat sich der vorliegende Band entwickelt. Ich denke er kann in dreierlei Hinsicht informativ sein.

Zum einen handelt es sich um ein **Teilgebiet der Bionik**. Mit dem VDI haben wir die folgende Definition erarbeitet »Bionik als Wissenschaftsdisziplin befasst sich systematisch mit der technischen Umsetzung und der Anwendung von Konstruktionen, Verfahren und Entwicklungsprinzipien biologischer Systeme«. Die Baubionik wäre demgemäss unter dem Abschnitt »Konstruktionsbionik«, ein wenig auch unter »Verfahrensbionik« einzuordnen.

Kaminbauten der Termiten haben beispielsweise Anregung gegeben – und tun dies weiter im verstärktem Maß – für thermische, solarbetriebene Lüftungssysteme in Europa und Afrika.

Bei der Übertragung von Anregungen aus der belebten Welt in die Welt der Technik muss man allerdings vorsichtig sein und darf nicht Unmögliches erwarten; eine direkte Kopie führt nie zum Ziel.

Greift der Architekt oder der Bauingenieur dagegen eine Grundidee der Natur auf – zum Beispiel die der umweltneutralen thermischen Lüftung über Solareffekte – so kann dies Anregung geben zu verstärktem technisch-biologischen Bearbeiten dieser Aspekte und ihr bionisches Umsetzen in die Ingenieurwissenschaften. Nicht mehr, allerdings auch nicht minder. Man muss sich nur klar sein, dass die Natur keine Blaupausen für die technischen Übertragung vorlegt und dass ihre Konstruktionen und Verfahrensweisen auch nicht immer leicht einzusehen, geschweige denn umzusetzen sind. Aber sie sind vorhanden.

Zum zweiten möchte ich mit diesem Buch eine Lanze brechen für die **Analogieforschung**. Die genannten Lüftungssysteme bei den Termiten und im Bereich der Technik sind analoge Systeme. Solche Systeme können sich immer prinzipiell auf zwei Weisen entwickeln. Entweder hat die Natur tatsächlich die entscheidende Anregung gegeben, dann haben sich technischen Konstruktionen unter Einbringung der ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen daraus weiterentwickelt. Oder es ist ohne Kenntnis der

Natur zu solchen Konstruktionen gekommen, und man stellt a posteriori eine funktionelle Übereinstimmung fest, konstatiert analoge Konstruktionen. Dann lässt sich auf dieser Vergleichsbasis weiter aufbauen, die Natur differenzierter betrachten. Gerade auch unter Einbringung des technischen know how's lassen sich natürliche Konstruktionen oft sehr viel besser verstehen als ohne derartige Randwissenschaften.

Zum dritten erscheint mir auch im Gesichtspunkt wichtig, der heute leider oft als irrelevant betrachtet, in verstaubte Ecken wissenschaftlicher Disziplinen abgeschoben wird. Ich meine, dass alles menschliche Tun und Forschen letztlich nicht anderes bedeutet, als an einem großem Kontinuum zu kratzen, wenn auch an unterschiedlichen Ecken und mit unterschiedlichen Verfahren. Die natürliche Evolution hat zur fantastischen Konstruktionen, Verfahrensweisen und Entwicklungsprinzipien geführt, lange bevor es die Menschen auf dieser Welt gab. Schließlich hat sie auch zum Menschen mit seinen hirnpfysiologischen Verarbeitungskapazitäten geführt, und daraus ist die Technik entstanden, in unseren Gehirnen. Letztendlich ist die Technik also nichts anderes als die Weiterführung der natürlichen Evolution mit anderen Mitteln und damit (für mich) erkenntnistheoretisch nichts prinzipiell anderes. Ich sehe, von pragmatischen Unterscheidungszwängen abgesehen, keinen triftigen Grund, Natur und Technik so sehr in Gegensatz zu setzen wie das bisher geschehen ist. Ganz im Gegenteil. **Technik und Biologie bilden Teile eines gesamten Kontinuums**, das es einerseits zu verstehen, andererseits weiterzuentwickeln gilt. Allein die Einsicht, das alles mit allem zusammenhängt, ist bereits wichtig.

Naturgesetz beherrschen beide Facetten vollständig. Es ist völlig gleichgültig, ob man die Bautenlüftung eines Präriehunds oder die Venturi-Düse der Technik betrachtet: Sie arbeiten beide mit ein und derselben Gesetzmäßigkeit, der Tatsache nämlich, dass aus physikalischen Gründen (Bernoulli-Gleichung) an Stellen höherer Geschwindigkeit ein geringer Wanddruck herrschen muss. Diese Gesetzmäßigkeit ist im Tierreich allerdings unvergleichlich vielfältiger und »raffinierter« eingesetzt worden als im Bereich der Technik. Es kann nicht schaden wenn man sich das klar macht. Auch wenn daraus keine Umsetzungsidee hervorgeht, »nur eine Einsicht«, mag das schon etwas bedeuten.

Die letztere Überlegung war auch der eigentliche Grund dafür, dieses Buch zu verfassen. Es wäre auch dann nicht umsonst geschrieben, wenn es lediglich zum Staunen anregt über die Konstruktionen der Natur und darüberhinaus den technischen Geist offen hält für eine Verzahnung zwischen Technik und Natur, die sehr viel besser sein könnte als das heute noch üblich ist. Und das ohne jede Naturtümelei, allein aus der Einsicht heraus, dass Natur und Technik nicht notwendigerweise und nicht immer und überall einander wesensfremd sein müssen.

Auch für dieses Buch habe ich Mitarbeitern herzlich zu danken. Frau I. Stein hat das Manuskript geschrieben, Teile auch Frau C. Schulien, Frau A. Gardesi die Abbildungen zusammengestellt und Herr Dr. A. Wisser das Vorlayout gemacht – eine Zusammenarbeit, die sich bereits für die 2. Auflage des Bionik-Lehrbuchs bestens bewährt hat. Weiter danke ich den zitierten Autoren für die Genehmigung, Abbildungen oder Zitate zu übernehmen und dem Verlag für die angenehme Zusammenarbeit.

Inhaltsverzeichnis

1	Bau und Klimatisierung	1
1.1	Bauformen der Natur – Analoge technische Konzepte	2
1.1.1	Technische Biologie und Bionik von Bau- und Tragekonstruktionen	2
1.1.2	Sind Tensegrity-Strukturen von fundamentaler cytomechanischer Bedeutung?	13
1.2	Umwelt und Bauten – Sichtweisen von Biologen und Architekten	15
1.2.1	Wiedereinbindung des Baukörpers in natürliches Umfeld und in natürliche Kreisläufe – Brückenschlag zwischen Bionik und Architektur	15
1.2.2	Begründung für ein regionales Bauen	19
1.2.3	Architektur und Zeitgeist	24
1.2.4	Von der Natur hat das Bauen nichts gelernt (?)	26
1.2.5	Organische Bauformen	28
1.2.6	Die »Baukultur« und das »Schöne im Bauen«	29
1.2.7	Und der post-post-moderne Biomorphismus?	32
1.3	Das Eisbärfell – eine Art transparentes Isolationsmaterial	35
1.3.1	Das Eisbärfell als solar betriebene Wärmepumpe und transparentes Isoliermaterial	35
1.3.2	Transparentes Isolationsmaterial in der Technik	40
1.3.3	Transparente Wärmedämmung bei Pflanzen und bedarfsgerechte Dämmung	42
1.4	Der Termitenbau – ein verblüffendes Funktionssystem mit Anregungscharakter	43
1.4.1	Klimaregelung im geschlossenen Termitenbau und bei Ameisen	43
1.4.2	Solarkamine bei Termitenbauten und Gebäuden	46
1.4.3	Eine bionische Übertragung: TIM plus Porenlüftung	50
1.5	Lehm und Erde – ursprüngliche Materialien mit interessanten bauphysikalischen Eigenschaften	52
1.5.1	Ton- und Mörtelnester	52
1.5.2	Bauen mit Adobe	54
1.5.3	Erdmaterial und Wohnen in Erdbauten	61
1.6	Bauen mit Bambus und Röhricht – Traditionen wiederentdeckt	64
1.7	Einbindung der Windkraft – Tierbauten und ursprüngliche Baukulturen als Analoga	67
1.7.1	Nutzung des Bernoulli-Prinzips in Tierbauten und Bauten	67

- 1.7.2 Klimaangemessene Bauweisen in ursprünglichen Kulturen und in der Moderne 75
- 1.7.3 Nutzung des Staudruck-Prinzips in Tierbauten und Bauten 81
- 1.7.4 Umdenken in der bauphysikalisch-architektonischen Gestaltung 85
- 1.8 Einbeziehung von Naturprinzipien – auffallend anders oder gänzlich unspektakulär 92
 - 1.8.1 Wettbewerbsvorschlag für die Neue Oper in Oslo 92
 - 1.8.2 Architektonische Gestaltung und die Formenwelt der Natur 94
 - 1.8.3 Bionische Aspekte behindern nicht eine klare architektonische Formensprache 97
- 1.9 »Zufällige« Gebäudeanordnungen und Wegenetze – Selbstorganisation im Siedlungswesen 100
- 1.10 Solarnutzung – Vielfalt der Technologien 103
 - 1.10.1 Die Sonne als Energiespender 103
 - 1.10.2 Vom biologischen Umgang mit der Sonnenstrahlung 105
 - 1.10.3 Makroskopische solarbetriebene Energiesysteme 107
 - 1.10.4 Schmetterlingsflügel als Solarfänger 110
- 1.11 Photovoltaik – solarbedingte Spannungserzeugung 113
 - 1.11.1 Prinzipielle Wirkungsweise photovoltaischer Zellen 113
 - 1.11.2 Probleme der Photovoltaik auf Siliziumbasis 114
 - 1.11.3 Photovoltaische und thermoelektrische Effekte bei Hornissen 115
 - 1.11.4 Organisch-photovoltaische Solarzellen 116
 - 1.11.5 Die Plastik-Solarzelle 119
- 2 **Bauwerke und Tragwerke 123**
 - 2.1 Leichtbau und biologische Formen 123
 - 2.1.1 Leichtbau – biomorph; Massivbau – nicht biomorph 123
 - 2.1.2 Diatomeen 125
 - 2.1.3 Knochen 126
 - 2.1.4 Pflanzenversteifungen 127
 - 2.1.5 Korallenstöcke 128
 - 2.2 Historie und Formähnlichkeiten 128
 - 2.2.1 Kristallpalast – Riesenseerose 128
 - 2.2.2 Diatomee – Bahnhofsdach 130
 - 2.2.3 Diatomee – Stadion 130
 - 2.2.4 Diatomee – Renaissancekirchen 130
 - 2.3 Analogien bei Diatomeen und Radiolarien 131
 - 2.3.1 Fetttröpfchen-Hypothese 132
 - 2.3.2 Betonausguss – Schalen 134
 - 2.3.3 Leichtbau – Glockentürme 134
 - 2.3.4 Stahlbetonschalen 135
 - 2.3.5 Geodätische Dome 135
 - 2.3.6 Radiolarien 136
 - 2.3.7 Tetraeder – Stabnetzwerke 138

-
- 2.3.8 Raumstrukturen, Röhren **138**
 - 2.3.9 Turmbauten **141**
 - 2.4 Hexagonalkonstruktionen **141**
 - 2.4.1 Juncus-Mark **141**
 - 2.4.2 Plattenverspannungen **142**
 - 2.4.3 Bienenwaben – Trelementhäuser **142**
 - 2.5 Räumliche Knoten-Stab-Tragwerke **144**
 - 2.5.1 Knoten geringsten Materialaufwands **144**
 - 2.5.2 Kieselschwamm – Tragwerk **144**
 - 2.6 Knochenartige Konstruktionen **144**
 - 2.6.1 Knochen **144**
 - 2.6.2 »Verknöcherte Spannungstrajektorien« **144**
 - 2.6.3 Isostatische Rippen **147**
 - 2.6.4 Alter Biologiehōrsaal Freiburg **147**
 - 2.6.5 Knochenverstrebnngen – Bahnhof Stadelhofen **148**
 - 2.7 Schalenbauten **148**
 - 2.7.1 Muschelschale als Vorbild **148**
 - 2.7.2 »Isoflex« **148**
 - 2.7.3 *Tridacna*-ähnliche Schalen **149**
 - 2.7.4 Vergleich von Schalenbauten **151**
 - 2.7.5 Schalenkuppel Petersdom **153**
 - 2.8 Pneumatik-Bauwerke **154**
 - 2.8.1 Biologische »Pneus« **154**
 - 2.8.2 Der Pneu als Urelement der Entwicklung **156**
 - 2.8.3 Der Pneu als technische Urform **156**
 - 2.9 Baumstützen-Tragwerke **156**
 - 2.10 Zeltragwerke **159**
 - 2.10.1 Zeltdächer **159**
 - 2.10.2 Spinnennetze **160**
 - 2.11 Unterwasser-Glocken **161**
 - 2.11.1 Wasserspinne **161**
 - 2.11.2 Unterwasserbehausungen **161**
 - 2.12 Ein neues Konzept: Hochhäuser nach dem Vorbild des Baumstamms **162**
 - 2.12.1 Vorüberlegungen und Ursachenforschung **162**
 - 2.12.2 Welche Anforderungen stellen sich an ein besseres Hochhaus? **162**
 - 2.12.3 Vorbilder aus der Natur **164**
 - 3 **Statements zur Architekturbionik und Bauökologie 169**
 - 3.1 Zehn Thesen des Autors zur Architekturbionik **169**
 - 3.1.1 These 1: Technische Biologie und Bionik sind gegenläufige Betrachtungsweisen. **169**

- 3.1.2 These 2: Formen der Natur und der »primitiven Zivilisationen« entsprechen sich im Versuchs-Irrtums-Prozess der Evolution. 170
- 3.1.3 These 3: Direkte Naturkopie ist nicht Sinn der Sache und funktioniert nicht. 170
- 3.1.4 These 4: Rückbesinnung auf natürliche Formen und Funktionen bedeutet sowohl »Low tech« als auch »High tech«. 171
- 3.1.5 These 5: Der Weg aus dem momentanen »Technologie-Tal« kann nur mit der Industrie, nicht gegen sie verlaufen. 171
- 3.1.6 These 6: Der Weg aus dem momentanen »Technologie Tal« bedarf kreativer Ideen, Umsetzungsarbeit und zähen Durchsetzungsvermögens. 172
- 3.1.7 These 7: Über den bauphysikalischen Aspekt hinaus (»Baubionik«) kann die Natur Gestaltungsanregungen geben (»Architekturbionik«) und damit die Ästhetik der menschengeschaffenen Umwelt beeinflussen. 172
- 3.1.8 These 8: Die Einbeziehung von Umweltgegebenheiten und Aspekten der Bionik behindert nicht die Entwicklung einer klaren, modernen Formensprache der Architektur. 173
- 3.1.9 These 9: Es ist unweise, eine »real existierende« Welt von Strukturen und Funktionen für technisches Gestalten nicht zu mindest zur Kenntnis zu nehmen und zu vergleichen. 173
- 3.1.10 These 10: Technische Entwicklung ist Fortsetzung der natürlichen Evolution mit anderen Mitteln. 174
- 3.2 Fünf Postulate von Bernd Lötsch zur Bauökologie 174
 - 3.2.1 Postulat 1: Ökologie als Anpassungslehre verstehen. 175
 - 3.2.2 Postulat 2: Ökologie als Haushaltslehre verstehen. 175
 - 3.2.3 Postulat 3: Bauökologie als Humanethologie verstehen. 175
 - 3.2.4 Postulat 4: Bauökologie als Baukultur verstehen. 177
 - 3.2.5 Postulat 5: Eine neue Hinwendung zum Handwerklichen finden. 177
- 4 Bildtafeln über biologische Bauten, Baustrukturen und Bauprinzipien 179
- 5 Einige Daten zu biologischen Bauten 253
- 6 Literatur 263
- 7 Namensregister 271
- 8 Tier- und Pflanzenregister 273
- 9 Sachregister 277

Verzeichnis der Bildtafeln

- 1: Pneus **180**
- 2: Gekammerte Pneus **181**
- 3: Pneus im Pneu **182**
- 4: Pneus mit strukturiertem Inhalt **183**
- 5: Hydraulische Spannungsentwicklung **184**
- 6: Turgor und Hygroskopie **185**
- 7: Skelettbauten **186**
- 8: Tensegrity-Bauten **187**
- 9: Armierungen **188**
- 10: Hexagonalstrukturen **189**
- 11: Spantenbauweise **190**
- 12: Sandwichkonstruktionen **191**
- 13: Raumkonkurrenz **192**
- 14: Doppelseitige Ausrichtung **193**
- 15: Sonnenausrichtung **194**
- 16: Fächerkonstruktionen **195**
- 17: Lichtsammlung **196**
- 18: Wassersammlung **197**
- 19: Strömungsnutzung **198**
- 20: Leichtbauten **199**
- 21: Membrankonstruktionen **200**
- 22: Flächentragwerke **201**
- 23: Holzmaterial I **202**
- 24: Holzmaterial II **203**
- 25: Rinde **204**
- 26: Faltwerke **205**
- 27: Systeme konstanter Spannung **206**
- 28: Wiederaufrichten **207**
- 29: Spannungstrajektorielle Ausrichtung **208**
- 30: Spannungsarme Kerben **209**
- 31: Faserversteifungen **210**
- 32: Texturen **211**
- 33: Gräser **212**
- 34: Bambus **213**
- 35: Knorpel- und Knochenmaterial **214**
- 36: Autoreparabilität **215**
- 37: Wärmedämmung I **216**
- 38: Wärmedämmung II **217**
- 39: Hügelbauten **218**
- 40: Zelt- und Glockenbauten **219**
- 41: Schalenbauten I **220**
- 42: Schalenbauten II **221**
- 43: Etagenbauten **222**
- 44: Wabenbauten **223**
- 45: Termitenbauten **224**
- 46: Lehmbauten **225**
- 47: Steinbauten **226**
- 48: Nestbauten **227**
- 49: Erdbauten I **228**
- 50: Erdbauten II **229**
- 51: Schaumbauten **230**
- 52: Hartschaumversteifung **231**
- 53: Hochbauten I **232**
- 54: Hochbauten II **233**
- 55: Papierbauten **234**
- 56: Temporäre Bauten **235**
- 57: Komposit-Leichtträger **236**
- 58: Querschnittsausformung **237**
- 59: Flächenaussteifung **238**
- 60: Fibonacci- Spiralen **239**
- 61: Diatomeenstrukturen **240**
- 62: Radiolarienstrukturen **241**
- 63: Röhrenwerke **242**
- 64: Zugtaue **243**
- 65: Entfaltungen I **244**
- 66: Entfaltungen II **245**
- 67: Bedeckungen **246**
- 68: Oberflächeneffekte **247**
- 69: Netzwerke I **248**
- 70: Netzwerke II **249**
- 71: Gespinstwerke **250**
- 72: Adernnetze **251**