

Werner Nachtigall

Biologisches Design

Werner Nachtigall

Biologisches Design

Systematischer Katalog
für Bionisches Gestalten

Unter Mitarbeit von Alfred Wisser

Mit 1771 Abbildungen

 Springer

Universitätsprofessor em. Dr. rer. nat. Werner Nachtigall
Universität des Saarlandes
Fachrichtung 8.4 Allgemeine Biologie,
BioKoN (Bionik-Kompetenz-Netz, Standort Saarbrücken) und
Arbeitsstelle Technische Biologie und Bionik
der Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Mainz
Gebäude 6 / UG, Raum 42/43
66123 Saarbrücken

Einbandbild: Stachel des Seeigels *Echinometra lucenter*

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 3-540-22789-X Springer Berlin Heidelberg New York

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 ist ein Unternehmen von Springer Science + Business Media

springer.de

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005

Printed in Germany

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.

Einband-Gestaltung: Struve & Partner, Heidelberg

Satz: Digitale Druckvorlage des Autors

Herstellung: medionet AG, Berlin

Gedruckt auf säurefreiem Papier

68/3020 5 4 3 2 1 0

Vorbemerkungen

Designer und Konstrukteure holen sich die Anregung für ihr gestalterisches Tun aus allen nur denkbaren Ecken. Sie sind im künstlerisch gestaltenden Aspekt ihrer Arbeit völlig frei. Naturvergleich kann, muss aber nicht sein. Das ändert sich, sobald das Design eine funktionelle Komponente bekommt. Dann ist es sehr ratsam, auch die – durch und durch funktionelle – Natur mitzubetrachten. Biologische Konstruktionen können nun auf ihren Anregungscharakter abgeklopft werden.

Dass man auch im biologischen Bereich von einer Art *Design* sprechen kann – Fachbiologen sprechen hier eher von *Konstruktionsmorphologie* – ist an anderer Stelle dargestellt worden (Nachtigall 1994) und in Kurzform in Anhang I zu Teil III nochmals aufgegriffen. Der Vergleich ist in sich stimmig. Es handelt sich aber nicht nur um Formenähnlichkeiten; wesentlich erscheinen mir, wie erwähnt, funktionelle Grundcharakteristika, also ein „funktionelles Gestalten“. Hier hat die Natur überraschend viele und bei den Designern und Konstrukteuren großteils noch relativ unbekannte Mechanismen und Verfahrensweisen parat, die man sich anschauen kann. In meinem im Springer-Verlag erschienen Buch „Vorbild Natur – Bionik-Design für funktionelles Gestalten“ habe ich einige Grundlagen herausgestellt, wobei es mehr um die Vorgehensweise und das Abstecken von Möglichkeiten sowie um das Herausarbeiten von Grenzen ging.

Hier nun geht es um eine gegliederte Materialsammlung in Bild und Text, „Biologisches Design“ in Hunderten von Beispielen. *Direkte Umsetzungsaspekte* der Bionik allerdings, Hinweise für bionisches Gestalten nach Anregungen aus der Natur also, wird man im Text vergebens suchen (von Einzelbeispielen abgesehen), dafür aber eine Menge *bionischer Anregungen*. Ich habe mir das lange überlegt, letztlich aber gefunden, dass Sätze wie: „Daraus ließe sich die folgende technische Konstruktion ableiten“ oder: „Um dies technisch umzusetzen kann wie folgt vorgegangen werden“ fehl am Platz wären. Sie harmonieren nicht mit dem schöpferischen Eigengestalten des Designers.

„Biologisches Design“ also wird ausführlich und wohl gegliedert beschrieben, sozusagen für die Weiterführung vorbereitet. Ideen zur bionischen Umsetzung stehen allerdings nur zwischen den Zeilen. Sie soll-

ten sich vielmehr im Gehirn des Designers manifestieren: „Lehre ist viel – Anregung alles“ (Goethe).

Der 1. Teil des dreiteiligen Werks über „Biologisches Design“ enthält eine Materialsammlung von Zeichnungen und Texten, die wichtige konstruktionsmorphologische Elemente und Systeme in der belebten Welt, meist vergleichend, vorstellt. Ausgewählt sind die Konstruktionen nach der Überlegung, was den Designer und Konstrukteur besonders interessieren könnte. Und hier sind es im Wesentlichen Elemente, deren Morphologie klar beschreibbar und deren funktionelle Grundlage ebenso klar erkennbar ist – also, wenn man so sagen will, „einfache“ Elemente. Freilich darf man sich dabei nicht täuschen. Was auf den ersten Blick einfach erscheint, kann sich beim näheren Zusehen in zunehmende Komplexität auflösen. Aber das soll das Betrachten ja nicht von vornherein behindern. Deshalb werden hier auch nur die wesentlichen Grundlagen herausgearbeitet, die Biologie und Technik gleichermaßen berühren. Details, die entweder nur biologisch oder nur technisch interessant sind, werden im Allgemeinen weggelassen.

An zwei Stellen wird dieses Darstellungsschema allerdings verlassen, um wenigstens hier einmal weitergehende Aspekte aufzuzeigen. Zum einen die *Komplexheit im Detail*, die sich immer dann ergibt, wenn man näher in die Systeme eindringt (obgleich sie, wie gesagt, im großen Ganzen „recht einfach“ aussehen). Zum anderen die *Vielfalt der Lösungsmöglichkeiten*, welche die Natur bei ein und derselben Fragestellung anbietet. Diese beiden etwas näher bearbeiteten Darstellungen beziehen sich auf Saugapparate und auf die Zähne von Seeigeln. Vor allem am Beispiel der Saugapparate kann die Vielfalt der funktionellen Lösungsmöglichkeiten dargestellt werden, die sich – abhängig von den unterschiedlichen äußeren Anforderungen – in verschiedenartigster Weise herausgebildet haben.

Im 2. Teil sind Fotos zusammengefasst, ergänzt durch sorgfältig angepasste Kurztexte. Auch dieser Teil ist nach funktionellen Gesichtspunkten geordnet. Es geht also nicht um eine Bildersammlung über das Tier- und Pflanzenreich, sondern um Illustrationen, die bestimmte technisch-funktionelle Details aus diesen Reichen der belebten Welt dokumentieren. Gegliedert ist die Bildersammlung in fünf große Abschnitte: Materialien und Bauten – Strukturen und Mechanismen – Haltung und Bewegung – Nahrungsaufnahme und Fortpflanzung – Wehr und Waffen. Diese fünf Großabschnitte sind nicht weiter untergliedert, doch erfolgt die Anordnung schwerpunktmäßig, so dass ähnliche Aspekte nahe beieinander stehen. Die 663 Fotos sind auf 234 Tafeln zusammengestellt.

Da die Farbe im funktionellen Bereich nur selten eine essentielle Aussage hat, bringt die Umsetzung der ursprünglichen Farbdias in Schwarz-Weiß-Reproduktionen kaum einen Informationsverlust. Farb-reproduktionen wären aus finanziellen Gründen illusorisch gewesen.

In einigen Fällen sind ähnliche Bereiche in mehreren Abschnitten besprochen und durch – meist unterschiedliche – Fotos dokumentiert. So kommt beispielsweise das interessante Röhrensystem im Fliegenrüssel in Abschnitt I über Materialien und Bauten auf Tafel 63 unter „Röhrenwerke“ ebenso vor wie im Abschnitt IV über Nahrungsaufnahme und Fortpflanzung auf Tafel 210 unter „Nahrungsaufupfen“. Auf bildliche Ähnlichkeiten und Vergleichsmöglichkeiten ist im Allgemeinen in den weiter hinten stehenden Legenden hingewiesen. Der erste Abschnitt „Materialien und Bauten“ wurde bereits 2003 im Springer-Verlag in dem Buch „Bau-Bionik, Natur–Analogien–Technik“ publiziert.

Die Fähigkeit der Natur zur integrativen Form- und Funktionsgestaltung ist unübertroffen. Somit ist anzunehmen, dass gerade auch diese Bildsammlung dem Designer, der auf der Suche nach Analogien ist („Wie hat denn die Natur das oder jenes Problem gelöst?“), interessante Anregungen geben kann. Sicher wird es bei den Vergleichen gelegentlich zu Aha-Erlebnissen kommen, sicher auch zum Staunen über das Problemlösungspotenzial der belebten Welt, und unvermeidlich erscheinen mir Denkanstöße für die konstruktive Praxis („Bionik“).

Form follows function? Bei den Konstruktionen der Natur sind Formen und Funktionen stets zu einem komplexen Ganzen integriert. Fast regelmäßig sind einander widersprechende Funktionen in effizienter Weise unter einen Hut gebracht. Die Natur verzichtet dabei auf die Maximierung von Einzelfunktionen, die anderen derartigen Funktionen eher schaden würde. Sie optimiert stattdessen stets das Ganze. Dies hat sie der heutigen Technik voraus. Das lehrt eine organismische Betrachtung der belebten Welt, die auch im Zeitalter einer molekular geprägten Biologie nicht untergehen sollte, und das zeigen auch die Fotos von Teil 2.

Der 3. Teil enthält rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen sowie den sehr ausführlichen Index für alle drei Teile.

Das Rasterelektronenmikroskop (REM) ist seit einigen Jahrzehnten aus der biologischen Forschung und Dokumentation nicht mehr wegzudenken. Die damit erreichbare faszinierende Schärfentiefe und Detailgenauigkeit ist ein besonderes Merkmal dieser Aufnahmen. Für den vorliegenden Zweck sind eher geringe Vergrößerungen besonders interessant, Vergrößerungen, die man auch mit konventioneller Lichtmik-

roskopie erreichen könnte, aber nicht in der – manchmal tatsächlich überwältigenden – Darstellungsform, die das REM bietet.

Der aus Kostengründen nötigen Publikation im Schwarz-Weiß-Verfahren kommen REM-Aufnahmen entgegen: Sie sind prinzipiell „nur“ schwarz-weiß zu dokumentieren und beinhalten damit die ursprüngliche Information, die das REM liefert. Heutzutage werden sie nicht nur für populäre Illustrationen, sondern auch zu didaktischen Zwecken im Wissenschaftsbereich gern nachträglich elektronisch koloriert, was die Bilder hübscher und einprägsamer machen kann, aber praktisch keine neue Information hinzufügt.

Der dritte Teil enthält im Bildbereich *drei* Abschnitte. Im *ersten* sind eine Reihe biologischer und technischer Konstruktionen gegebener Funktion auf Doppelseiten einander gegenübergestellt. Diese Doppelbeispiele sind jeweils in Gruppen gegliedert, die im Text kurz charakterisiert werden. Die Fotos entstammen meinem (vergriffenen) Buch „Konstruktionen – Biologie und Technik“, VDI Verlag 1986; die Kurztex-te wurden in Erweiterung der Darstellung in Nachtigall/Blüchel, „Das große Buch der Bionik – Neue Technologien nach dem Vorbild der Natur“, DVA Verlag 2000, verfasst. Der *zweite* Abschnitt enthält nach funktionellen Gesichtspunkten geordnete Übersichtsaufnahmen aus dem Bereich der kleinsten biologischen Konstruktionen. Diese sind ebenfalls nach Gruppen gegliedert. Die Gruppenverzeichnisse sind im Inhaltsverzeichnis angegeben, im Text jedoch nicht näher charakterisiert. Eine Doppelseite umfasst jeweils zwei Beispiele, die sich inhaltlich nahe stehen. Sehr viele dieser Aufnahmen hat Herr Dr. Wisser im Rahmen seiner wissenschaftlichen Tätigkeit als Funktionsmorphologe gefertigt (s. auch den REM-Atlas von Kallenborn, Wisser, Nachtigall 1990). Andere Bildautoren sind jeweils in der Bildlegende aufgeführt. Um die Faszination dieser in der Regel topscharfen und detailreichen Abbildungen nicht zu schmälern, wurde darauf verzichtet, möglichst viele Abbildungen in Tafelform zusammenzustellen. Der *dritte* Abschnitt enthält biologische Übersichtsaufnahmen, in die REM-Detailstrukturen eingeblendet sind.

Die Technik folgt heute ja einem inhärenten Zug – man könnte fast sagen Zwang – zur Miniaturisierung: Mikrotechnologie, Nanotechnologie. Dabei ist zu bedenken, dass man technische Konstruktionen aus dem normalen Makrobereich nicht einfach geometrisch verkleinern kann. Hierbei ändern sich mechanische Kenngrößen nicht selten drastisch, oft auch nichtlinear. So nimmt beispielsweise die Bedeutung von Reibungskräften im Verhältnis zu Druckkräften bei Verkleinerungen dramatisch zu. Die Natur baut nun aber in eben diesem Bereich. Die

Speichelpumpe einer Wanze (Fotos Seite III/137) ist eine „richtige“ Kolbenpumpe, aber nur 2/100 mm groß.

Das Studium solcher Mechanismen zeigt in überzeugender Weise die „integrative Art“, mit der die Natur arbeitet. Einzelstrukturen stehen nie für sich und werden nie sozusagen linear hintereinandergereiht, wie häufig noch in der Technik, sondern bilden eine strukturfunktionelle Einheit. Dies setzt auch besondere Fertigungsverfahren voraus.

Bei der genannten Speichelpumpe, die im Text (Seite I/170) näher beschrieben ist, weiß man nicht, wo der Zylinder aufhört und die Dichtung beginnt oder die Dichtung aufhört und der Kolben beginnt; alles ist aus einem „einheitlichen Guss“ eines elastischen Materials. Dies erlaubt es der Pumpe auch, nur mit einem einzigen Antriebssystem auszukommen: Ein Muskel zieht den Kolben aus dem Zylinder und erzeugt damit einen Unterdruck. Der zum Ausspritzen des Speichelsafts nötige Überdruck wird beim „Zurückschnurren“ des Kolbens erzeugt, und die dafür nötige Energie ist in der insgesamt elastischen Pumpe gespeichert, die beim Muskelzug wie eine Feder gedehnt wird. Ein durchaus unkonventionelles Prinzip also, das in diesen kleinsten Maßstäben aber bestens funktioniert, vielleicht die einzige Möglichkeit darstellt, mit der Kolbenpumpen in diesen Miniaturbereichen „technisch“ verwirklicht werden können: bionische Anregung par excellence.

Freilich können auch dann, wenn man „nur“ die Formgestaltung auf sich wirken lässt, interessante Querbeziehungen zum technischen Bereich zu erkennen sein. Damit sind die Bilder in der Lage, vielerlei rein formgestalterische Anregungen zu geben.

Die Designberufe leben ja von der formalen bildlichen Darstellung. Man braucht nicht unendlich viele Worte, wenn man Bilder, nach technischen Aspekten gegliedert und aufgeschlüsselt, ablaufen lässt.

Man sollte auch nicht vergessen, dass die natürlichen Welten, welche die Evolution in vielfältiger Weise geformt hat und die sich dem betrachtenden Menschen nun in unterschiedlichen Größendimensionen darbieten, genauso real sind wie unsere technischen Welten. Sie sind freilich länger vorhanden, hatten mehr Zeit, Strukturen und Funktionen in Einklang zu bringen und sie in gegenseitiger Abstimmung entwickeln zu lassen. Die Struktur-Funktions-Zusammenhänge sind häufig bis an die Grenzen der physikalischen Möglichkeiten vorgetrieben und nutzen diese Möglichkeiten in überraschend vielfältiger Abstimmung.

Die drei Teile dieses Werks lassen auch diese Aspekte durchschimmern. Sie gehören zusammen. Sie können und sollen dem an Design und Formgestaltung, an Konstruktion und funktioneller Abstimmung Interessierten ein wenig die Augen öffnen, zum Selbstbeobachten und Vergleichen anregen, dazu verführen, die Grenzen zwischen unbelebten

und belebten Konstruktionen aufzuweichen und schließlich auf die Tricks hinweisen, welche die Natur bei den konstruktiven Umsetzungen einsetzt, „Tricks“, die dem suchenden Gestalter vielerlei Anregungen geben können. Damit die Übersicht nicht ins Unendliche ausläuft, beschränkt sie sich auf mechanische Elemente und Konstruktionen, die bei der Form-Funktions-Abstimmung besonders leicht erkennbar und eingängig erklärbar sind. Somit sind hier beispielsweise Aspekte weggelassen, die sich auf nicht-mechanische Sinnesorgane beziehen (z.B. Augen, Elektrorezeptoren etc.) sowie auf neurale Verrechnung.

Die Inhaltsverzeichnisse zu jedem der drei Einzelteile sind kurzgehalten und entsprechen den alphabetisch angeordneten Gliederungen. Sie dienen nur dem raschen Vergleich. Ein sehr ausführlicher und mehrfach untergliederter Index, der für alle drei Teile gilt, steht am Ende des dritten Teils.

Das Durchlesen oder auch nur Durchblättern dieses Buches könnte, so denke ich mir, auch die Augen öffnen für die Raffinesse (und manchmal auch Schönheit) der Schöpfung – wie immer man zum Schöpfungsbegriff steht.

An diesem Buch haben wir mehrere Jahre gearbeitet. Frau Irmtraud Stein hat den Text geschrieben, Herr Dr. Alfred Wisser hat sich um das elektronische Layout gekümmert und war in allen wissenschaftlichen und editorischen Fragen ein kompetenter Ansprechpartner. Mein Botaniker-Kollege, Prof. W. Barthlott, hat eine Reihe von REM-Fotos zur Verfügung gestellt. Herzlichen Dank ihnen und Herrn Dipl.-Ing. Thomas Lehnert vom Springer-Verlag.

Im Spätherbst 2004



(Prof. em. Dr. rer. nat. Werner Nachtigall)