



Werner Nachtigall
Alfred Wisser

Bionik in Beispielen

250 illustrierte Ansätze



Springer Spektrum

Bionik in Beispielen



Prof. emerit. Dr. rer. nat. Werner Nachtigall hat unter anderem Biologie und Technische Physik studiert. Das Zusammenbringen von Biowissenschaften mit den technischen Disziplinen war ihm immer ein wichtiges Anliegen. Er schuf das Begriffspaar „Technische Biologie und Bionik“ (TBB) und arbeitete mit seinen Arbeitsgruppen mehrere Jahrzehnte auf diesem Gebiet, gründete auch die „Gesellschaft für Technische Biologie und Bionik“, deren langjähriger Vorsitzender er war. Er ist Autor von etwa 300 Originalpublikationen und etwa vier Dutzend Büchern sowie Träger mehrerer Preise und gewähltes

Mitglied mehrerer Akademien und Gesellschaften. International gilt er mit seinem langjährigen und erfolgreichen Einsatz für die Verankerung der TBB in Wissenschaft und Gesellschaft als einer der bedeutendsten Promotoren der Bionik weltweit.



Dr. rer. nat. Alfred Wisser, früher Mitarbeiter bei Prof. Nachtigall, ist Fachzoologe mit dem Schwerpunkt „Funktionsmorphologie bei Insekten“. Ihm sind beispielsweise grundlegende Arbeiten über die Flügelgelenkmorphologie von Dipteren zu danken. Als Herausgeber der BIONA-reports für Technische Biologie und Bionik, Spezialist für Rasterelektronenmikroskopie und Datenverarbeitung sowie Projektmanager hat er zusammen mit Prof. Nachtigall bereits mehrere Berichtsbände und Buchprojekte realisiert, wie etwa das Werk Biologisches Design (Springer-Verlag). Auch für das vorliegende Buch

hat er u. a. das Bildlayout und das Projektmanagement übernommen.

Werner Nachtigall • Alfred Wisser

Bionik in Beispielen

250 illustrierte Ansätze

 Springer Spektrum

Prof. Dr. Werner Nachtigall
Außenstelle Uds der Arbeitsstelle
Technische Biologie und Bionik der Akademie
der Wissenschaften, Mainz, Universität des
Saarlandes, Bau A 2.4, Raum 0.43
66123 Saarbrücken

Dr. Alfred Wisser
Universität des Saarlandes
Fachrichtung 8.3 – Zoologie/Physiologie
Bau A 2.4, Raum 3.41
66123 Saarbrücken

ISBN 978-3-642-34766-5
DOI 10.1007/978-3-642-34767-2

ISBN 978-3-642-34767-2 (eBook)

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

Springer Spektrum

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk 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.

Planung und Lektorat: Dr. Vera Spillner, Stefanie Adam

Einbandabbildung: Rotierend absinkender Samen der Fichte, *Picea abies* L. (Stroboskopaufnahme von W. Nachtigall; Bildbearbeitung von A. Wisser)

Einbandentwurf: deblik, Berlin

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Spektrum ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.
www.springer-spektrum.de

*Für Martha
und Christa.*

„The manner in which BIONICS will mark its greatest contribution is through the revolutionary impact of a whole new set of concepts ...”

J.E. Steele (1960)

Vorbemerkungen – aller Guten Dinge sind drei

In dem 2002 in zweiter Auflage erschienenen Buch von W. Nachtigall *Bionik – Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler* wurde erstmals in breiter Zusammenfassung das Fachgebiet der Bionik vorgestellt, abgegrenzt und gegliedert. In der Zwischenzeit hat sich die Bionik sowohl nach der Art ihrer Vorgehensweise als auch nach der Vielzahl ihrer Ansätze weiterentwickelt.

Es war somit auf der einen Seite nötig, das wissenschaftliche Vorgehen – vom Erkennen über das Abstrahieren hin zum technischen Umsetzen – wissenschaftstheoretisch zusammenzufassen und zu untermauern. Dies geschah 2009 mit dem zweiten Buch der Bionik-Trilogie: *Bionik als Wissenschaft*, ebenfalls von W. Nachtigall.

Auf der anderen Seite besteht die Gefahr, dass Bionik in der Öffentlichkeit, aber auch in den Bio- und technischen Wissenschaften, reduziert wird auf immer die gleichen, zwar hochbedeutsamen, aber auch sattsam breitgetretenen Beispiele, etwa den Lotuseffekt oder den Haischuppeneffekt. Dabei wird aber doch an vielen Stellen bionische Forschung und Umsetzung betrieben, oft nicht so spektakulär, aber doch bereits auf sehr breiter Basis. Somit erscheint es uns nun nötig, eine nach bionischen Teilgebieten gegliederte Beispielsammlung vorzulegen, welche die Vielzahl der bereits vorgelegten Ansätze widerspiegelt, die breite Basis der Bionik herausarbeitet und damit auf ihre Weise die Öffentlichkeit für die Bedeutung dieser fachübergreifenden Disziplin weiter sensibilisiert. Diese Aufgaben soll das vorliegende Buch übernehmen.

Damit komplettiert sich also die angesprochene Trilogie:

1. *Bionik – Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler*
2. *Bionik als Wissenschaft – Erkennen – Abstrahieren – Umsetzen*
3. *Bionik in Beispielen – 250 illustrierte Ansätze*

Nachdem W. N. sich viele Jahre seines Lebens mit Technischer Biologie und Bionik beschäftigt hat (und nun darüber hinaus, wie Wohlmeinende sagen, als Emeritus ja unbegrenzt viel Zeit für das Literaturstudium habe), soll die hiermit vollendete Trilogie auch eine abschließende Zusammenfassung aus seiner Sicht darstellen. Sie soll – wie viele seiner vorausgehenden Publikationen – helfen, das „richtige Lernen von der Natur für die Technik“ in Wissenschaft und Gesellschaft weiter zu verankern. Gemeint ist immer bionisches Arbeiten im strengen naturwissenschaftlichen Sinne. Die Darstellung soll damit auch Bionik als Wissenschaft gegen zweifelhafte methodische Ansätze und esoterische Trittbrettfahrer abgrenzen.

Unser Buch soll auch für die weitere Verwendung des Begriffs „Bionik“ werben. Zurzeit ist jedoch im deutschen Sprachraum die Tendenz zu verspüren, den hier gut eingeführten Begriff „Bionik“ durch die angelsächsische Bezeichnung „Biomimetik“ zu ersetzen. Dies geschieht ohne Notwendigkeit, sozusagen in voreilem Gehorsam,

was eine verschwommen angepeilte „internationale Harmonisierung“ anbelangt, da der Begriff der „Bionik“ im Angelsächsischen (auch) negativ besetzt sei. „Mimetik“ (*μιμησις*) aber heißt „Nachahmung“, und nachahmen wollen wir die Natur ja gerade nicht, sondern eben ihre Prinzipien herausarbeiten und diese in ingenieurmäßiges Vorgehen *lege artis* der Ingenieurwissenschaften integrieren. Es gibt keinen kürzeren und klareren (und dazu bestens eingeführten) Begriff, der diese Vorgehensweise ausdrückt, als eben „Bionik“.

So sind für diesen Abschlussband vielfältige Korrespondenzen, Sonderdrucke, Zeitschriftenartikel und Buchdarstellungen sowie Notizen, Aufzeichnungen und Berichtsbände von Tagungen und Kongressen und die eigenen Arbeiten durchforstet worden und für die neueren Aspekte natürlich in ausgedehnter Weise das Internet. Viele Bioniktreffen hat W. N. ja als Gründer und langjähriger Leiter der Gesellschaft für Technische Biologie und Bionik (GTBB) selbst durchgeführt und zunächst als Herausgeber, dann als Mitherausgeber (mit A. W. als Herausgeber) der Saarbrücker *BIONA-reports* publiziert. In der Zwischenzeit ist die Zahl der Bioniktagungen größer geworden. Die Literatur ist bereits umfangreich, sodass Typisches ausgewählt werden musste. Dies geschah nach den folgenden Kriterien:

1. Ansätze, die bereits in erhältliche oder marktfähige Produkte oder doch Patente umgesetzt sind;
2. Ansätze, die noch nicht umgesetzt sind, aber erfolversprechendes Neuland eröffnen;
3. Ansätze eher technisch-biologischer Art, die aber eine gewisse Potenz für spätere Umsetzung aufweisen.

Zunächst war es unsere Absicht, nur neuere Arbeiten zu berücksichtigen, als Untertitel entsprechend „Neuere Beispiele“ zu wählen. Dann wären aber viele Ansätze, die man in einer solchen Beispielsammlung erwartet, unter den Tisch gefallen. Der außerordentlich bekannt gewordene Lotuseffekt zum Beispiel wäre vor zehn Jahren absolut ein Kandidat für diesen Untertitel gewesen. Heute zählt er bereits zur Klassik, ebenso wie die bisher bedeutendste Entwicklung auf diesem Gebiet, die Evolutionsstrategie. Sollte man beide deshalb weglassen? Aus diesen und ähnlichen Gründen haben wir uns letztlich dazu durchgerungen, dann auch schon die wichtigsten „vorklassischen“ und „klassischen“ Beispiele mit aufzunehmen. Die Sammlung ist damit gleichzeitig auch eine Art Führer durch die Entwicklungsgeschichte der Bionik geworden. Bei alledem überwiegen aber zumindest im Abschnitt „Moderne“ neue Beispiele, teils auch solche, die erst kurz vor der Veröffentlichung dieses Buches bekannt geworden oder uns vorab mitgeteilt worden sind.

Für die Gliederung haben wir die bewährte und weitgehend akzeptierte Einteilung aus dem erstgenannten Buch übernommen. Einen weitergehenden Aspekt an der Grenze zur Biotechnologie haben wir zusätzlich eingeführt, nämlich die technische Verwendung organischer Materialien einschließlich Energiepflanzen.

Schätzungsweise liegt die Zahl der bisherigen bionischen Ansätze weltweit bei einigen Tausend. Die hier gebrachten 250 Beispiele stellen also sicher weniger als 10 % aller Ansätze dar. Es wurde hierbei versucht, Ansätze aufzuzeigen, die einigermaßen

über das Gesamtgebiet informieren. Doch lassen sich persönliche Vorlieben und Schwerpunkte nicht ganz eindämmen. Außerdem gibt es eine Reihe von Teilgebieten, die sich längst zu eigenständigen Disziplinen „gemausert“ haben. Sie sind hier nur mit wenigen typischen Beispielen vertreten (siehe das Inhaltsverzeichnis).

Für die Darstellung haben wir ein einheitliches Kästchenschema verwendet, für jedes Beispiel eine einzelne Seite. Dieses Schema umfasst im Allgemeinen die Überschrift, zwei Abbildungen (eine biologische, eine technische), das Prinzip, Biologie, Abstraktion, Umsetzung und Literatur. Da für die größeren Kästchen nur maximal sieben Zeilen zur Verfügung stehen, war das Destillieren einer längeren Arbeit auf die wesentlichsten Zusammenhänge oft eine „Knochenarbeit“. Das hat aber für den Leser den Vorteil, dass er das wirklich Wesentliche eines Ansatzes kurzgefasst dargestellt findet.

Die Anordnung der Beispiele wurde, wenn möglich, so getroffen, dass sich eine fortlaufende buchartige Darstellung ergibt. Wo sich die Möglichkeit ergab, ähnliche Aspekte auf gegenüberliegenden Seiten zu bringen, haben wir diese genützt. Zum genaueren Nachlesen können die angegebenen Literaturstellen dienen. Sie stammen, wo möglich, aus leicht zugänglichen Zeitschriften. Abbildungen und gelegentliche Zitate stammen in der Regel aus der erstzitierten Arbeit; für die Druckfreigaben ist den Autoren und Institutionen zu danken.

Die Arbeit an dem Buch haben wir uns so aufgeteilt, dass W. N. die Erstauswahl getroffen, die Texte geschrieben und die Abbildungen ausgewählt hat, A. W. all die Aufgaben übernommen hat, die mit dem Bildlayout und der Seitenabstimmung, der Internetsuche nach neuesten Beispielen bis hin zum Projektmanagement zu tun haben. Unser vorhergehendes Gemeinschaftswerk war *Biologisches Design: Systematischer Katalog für bionisches Gestalten*, erschienen im Springer-Verlag.

In der Anfangsphase hat Herr Dr. habil. Claus Ascheron vom Springer-Verlag das Projekt begleitet, und in der Endphase wurde es von Frau Dr. Dipl.-Phys. Vera Spillner vom Springer/Spektrum-Verlag betreut. Die Autoren bedanken sich bei ihnen für die angenehme Zusammenarbeit.

Saarbrücken, im Herbst 2012



(Prof. Dr. Werner Nachtigall)



(Dr. Dipl.-Biol. Alfred Wisser)

INHALT

Seite

„VORGESCHICHTE“	1
Im Ab- und Aufschlag unterschiedliche Schlagflügel	3
Der Unterwasserrumpf der Baker-Galeone	4
Naturstudium und das erste Modellexperiment	5
Cayleys Wiesenbocksbart-Fallschirm	6
Die Loslösung vom „Formvorbild Natur“ fiel schwer	7
„FRÜHGESCHICHTE“	9
Stacheldraht ist eine bionische Erfindung	11
Stahlbeton ist eine bionische Erfindung	12
Wichtigkeit von Analogiebetrachtungen: Beton	13
Naive Umsetzungsvorschläge führen ins Leere	14
Technisch-physikalische Grundlagen als Basis	15
„Fischpropeller“ nach Art des Schwanzflossenschlags	16
„Wellenpropeller“ mit elastischer Flosse	17
Test für das Patentamt: Francés Salzstreuer	18
Zeppelinkonstruktionen der 1920er Jahre	19
Bionik in totalitären Systemen	20
Übergang zur funktionellen Verknüpfung	21
In der Architektur zählt mehr die Funktion	22
Knochenspongiosa-Bälkchen und isostatische Rippen	23
„KLASSIK“	25
Woher kommt der Begriff „Bionik“?	27
„TUB-TUB“ in Berlin: Solide Physik an die Basis!	28
Rechenbergs Evolutionsstrategie: Bionische Klassik	29
Optimierung einer Gelenkplatte bei Schräganströmung	30
Optimierung einer Flügelauflage (Endflügelchen)	31
Optimierung eines Viertelkreisrohrkrümmers	32
Wirkungsgradverbesserung bei Heißwasserdampfdüse	33
Optimale Fokussierung einer Augenlinse	34
Nachmodellierung der Birkenspanner-Farbänderung	35
Regenwurm und peristaltisch arbeitender Kriechpneu	36
Schlängenschuppen und Langlaufskibelag	37
Flossenpumpe nach der Forellenschwanzflosse	38
Delfinhautüberzug zur Widerstandsverminderung	39
Technische Biologie ist die Mutter der Bionik	40
Bücher können Sichtweisen verankern	41
Automatische Formoptimierung von Schlagflügeln	42
Schlagflügelkinematik bei Fliegen als Basis für MAVs	43
Bionik und der Umgang mit komplexen Systemen	44
Das Militär fördert bionische Umsetzung	45

Der Klettverschluss „Velcro“ – ein Welterfolg	46
Das Gecko-Prinzip ± analoge Umsetzung	47
Spiegeloptik im Krebsauge und Röntgenteleskop	48
Neurale Netze in Biologie und Informatik	49
Termitenbau und Gebäudeklimatisierung	50
Das Eisbärfell und die transluzide Wärmedämmung	51
6-beinige, insektenanaloge Laufmaschine	52
Das multifunktionelle Bienenwabenprinzip	53
Kerben ohne Kerbspannungen	54
Farbstoffsensitivierte Solarzellen	55
Eulenflügelstrukturen machen Flugzeuge leiser	56
Biologische und technische Mikromechanik	57
Spinnenfäden und „künstliche Spinnenseide“	58
Kompositmaterial günstiger Bruchzähigkeit	59
Haischuppen und Riefenfolien	60
Fischschleim und „Polyox“	61
H ₂ -Produktion durch Bakterien-Algen-Symbiose	62
Wassergewinnung durch Nebelkondensation	63
Verpackung in Natur und Wirtschaft	64
Selbstreinigung des Lotusblatts und Lotusan	65
„MODERNE“	67
MATERIALIEN UND STRUKTUREN	69
Selbstreparierende Verbundwerkstoffe	71
Nanomaterialien, Baustoffe und Bionik	72
Anorganisch-organische Nanokomposite in der Lacktechnik	73
Künstliche Spinnen- und Raupenseide	74
Byssusfäden: Abriebfest und zugleich dehnbar	75
Bionik als Ideenquelle für technische Dämmmaterialien	76
Dämmung mit Naturfasern	77
Naturfasern in Verbundmaterialien	78
„Andersartige“ Verwendung biologischer Bestandteile	79
Biobasierte Materialien	80
Biobasierte Kunststoffe – kein Widerspruch in sich	81
Ressourceneffizienzsteigerung durch Biokunststoffe	82
Biologisch abbaubare Biokunststoffe	83
Biokunststoffe verlassen allmählich den Exotenstatus	84
Biokunststoffe – aus der Natur, für Nachhaltigkeit	85
FORMGESTALTUNG UND DESIGNEN	87
Gibt es ein „Biodesign“ oder ein „biologisches Design“?	89
Formales und funktionelles Design – Inspiration	90
Biomorphe und bionische Architektur	91
Diatomeen und das Design von Schalen und Matten	92
Zoomorphismus und Symbolismus	93

Inhalt	XIII
Ein neues Designprinzip für superhydrophobe Oberflächen	94
Ökodesign: Kleidung aus Milch?	95
KONSTRUKTIONEN UND GERÄTE	97
Turbinenoptimierung nach dem Riesenhaiprinzip	99
Windkonzentrator „Berwian“	100
Bionische Schaufelprofile für einen Axialventilator	101
Windradblätter mit „Schmetterlingsschuppen“	102
Effizientere Rotorblätter mit „Buckelwalkanten“	103
Schwinglüfter nach dem Vorbild des Bienenfächelns	104
Schwinglüfter nach dem Vorbild häutiger Tierflügel	105
Partiell harmonisch-linearer Hubflügelgenerator	106
Darmperistaltik als Vorbild für Mikroförderpumpen	107
Der Fin Ray Effect® und seine technische Nutzung	108
Bionische Greifer für die Mikrorobotik	109
Feuchtegesteuerte Mechanik nach Art der Tamariske	110
Indirekte Verdunstungskühlung nach dem Hautvorbild	111
Faltmarkise und Verspannmechanismen	112
Ein technischer Pflanzenhalm	113
Selbstschärfende Nagezahn Schneidwerkzeuge	114
Molekulare Nanomotore	115
BAU UND KLIMATISIERUNG	117
Was bringt Bionik dem Architekten?	119
Stoffmassen als thermische Speicher	120
Ein Hochhauskonzept nach dem Baumstammvorbild	121
Naturorientierte biegsame Flächentragwerke	122
Biologische Pneus und Anwendung des Pneuprinzips	123
Druckstabilisierung: Vom Pneu zur Tensairity	124
Analyse und Anwendung des Tensairity-Prinzips	125
Tensairity: Luftdruck als Stabilisator auch im Großbau	126
Bionische Selbstreparatur bei pneumatischen Systemen	127
Textilbasierte transparente Wärmedämmung	128
Flexible „Eisbärhülle“ auf Textilbasis	129
Schmetterlingsschuppen und Lichtreaktionsfassade	130
Gelenkfreie bionische Fassadenverschattung	131
Natürliche Bauprinzipien: Sicht eines Bauingenieurs	132
Zur Zukunft der Bionik in der Architektur	133
ROBOTIK UND LOKOMOTION	135
„BigDog“ – ein biologisch inspirierter Laufroboter	137
Bionischer Elefantenrüsselgreifarm	138
Roboter als Altenpfleger	139
Das erste, fahrtüchtige Bionikauto	140
Nachgestaltung der Fortbewegung bei Rochen	141

Rumpfschwingungen als Luftschiffantrieb	142
Studien zu einem bionischen Megaliner der Zukunft	143
Daumenfittich und Vorflügel	144
Aufgefangerte Flügelenden als Strömungsbeeinflusser	145
Ornithopteren – vogelähnliche Schlagflugzeuge	146
Messungen an schlagfliegenden „Kunstvögeln“	147
2-m-Großmodell – Abstraktion des Vogelschlagfluges	148
Menschenflug mit Schlagflügeln erstmals geglückt	149
Grundlagenuntersuchungen für Mikroflugobjekte	150
Kenngößen schlagfliegender Micro Air Vehicles (MAVs)	151
Instationäre Aerodynamik am Bienenflügel	152
Getriebe für ein MAV mit Schweißfliegenkinematik	153
SENSOREN UND NEURONALE STEUERUNG	155
Biosensoren arbeiten analog der biologischen Membran	157
Biegebasierte Haarsensoren zur Strömungsüberwachung	158
Monitoring durch künstliche Seitenlinie	159
Bioinspirierte Sonarverbesserungen	160
Fisch-Elektrosinnesorgane und technisches Monitoring	161
Spaltsinnesorgane – empfindlichste Spannungssensoren	162
Ein Infrarotdetektor nach Art der Feuerkäfer	163
Künstliches Facettenauge zur Bilderfassung	164
Insektenaugen und Luftfahrzeugkontrolle	165
Insektenaugen und Lichtausbeutesteigerung	166
Systematische Ansätze für autosenstive Materialien	167
Autodynamische Laufstabilität und Kontrollaufwand	168
Dezentralisierte Kontrolle eines Schlangenroboters	169
ANTHROPO- UND BIOMEDIZINISCHE TECHNIK	171
Mensch-Maschine-Interaktion	173
Aktive, unbewusste Rückenstärkung für sitzende Arbeit	174
Antidecubitus-Matratze nach dem Vorbild der Haut	175
Aus Spinnenseite gebildete „künstliche Haut“	176
Kontakte zwischen biologischem Gewebe und Technik	177
Funktionsübertragung von Cochlea und Retina	178
Subretinaler Chip lässt Blinde Buchstaben erkennen	179
Intelligente Sensorimplantate	180
Sensor-Aktor-geregelte Prothesenkniegelenke	181
Biomimetische Keramiken und neue Implantate	182
Knochen-Material-Interaktion bei der Endoprothetik	183
VERFAHREN UND ABLÄUFE	185
Weiterentwicklung der Wölbstrukturierung	187
Adaptive Querstromfiltration wie bei Schwämmen	188
Nebelfänger bei Tieren/Pflanzen und ihre Umsetzung	189

Biologische Kleber als Basis für Neuentwicklungen	190
Hohlfasern für selbstreparable Verbundwerkstoffe	191
Analysen zur Gecko-inspirierten Haftung	192
Haftband nach den Vordertarsen von Wasserkäfern	193
Knochenanaloge Metallschäume als Aufprallschutz	194
Gewebe aus Naturfasern als Erdbebenschutz	195
Auf dem Weg zum künstlichen Blatt	196
Bionische Lichtantenne für künstliche Photosynthese	197
Nanonoppen auf Falteraugen und Dünnschichtsolarzellen	198
Membranen für autoadaptiven Gasdurchtritt	199
Antifouling ohne Chemie – ein bionischer Ansatz	200
Lipide von Archaea: Antifouling und Selbstreinigung	201
Neue bionische Antifouling-Forschung I	202
Neue bionische Antifouling-Forschung II	203
Wasser perlt ab: Neue Verfahren der Selbstreinigung	204
Weiterentwicklung: Selbstreinigung auf Metallen	205
Selbstreinigende Kunststoffoberflächen	206
Selbstreinigung von faserbasierten Werkstoffen	207
Lufthaltende, superhydrophobe Grenzflächen	208
Der „Sandfisch“ ⇨ korrosionsunempfindliche Flächen	209
Was ist aus dem „Haihauteffekt“ geworden?	210
Superhydrophober Luftüberzug an Unterwasserfläche	211
Energie- und Industriepflanzen in Deutschland	212
Energiepflanzen und Nachhaltigkeit	213
Biokraftstoffe der 2. Generation als Energieträger	214
Ein <i>E. coli</i> -Stamm für die Biotreibstoffsynthese	215
Grünalgen als Wasserstoff- und Spannungsquellen	216
Algenzucht zur Biomassegewinnung in Wüsten	217
Kraftstoffe aus Algen	218
Erstflug mit Algensprit	219
EVOLUTION UND OPTIMIERUNG	221
Die biologische Evolution als Vorbild	223
Rumpfspindel geringsten Widerstands	224
Rumpfspindeloptimum als Funktion der Re-Zahl	225
Energiesparende Strömung durch den Mäander-Effekt®	226
Werkzeugoptimierung nach der Ameisenbärenkrallen	227
Optimierungsstrategien bei Sachs Engineering	228
Hexagonale Wölbstrukturierung als Selbstorganisation	229
SYSTEMIK UND ORGANISATION	231
Widerspruchorientierte Inventionsstrategie und Bionik	233
Systemdenken mit integrierten Bionikansätzen	234
Systemisch handeln in der Wirkungsnetzorganisation	235
Strategien bionisch orientierter Verpackungstechnik	236

Verpackungsbionik gegen die Verpackungsflut	237
Bioplastik als Verpackungsmaterial im Vormarsch	238
Wachs als Baumaterial; „Bienenstaat“	239
Vermeidungsstrategie statt Behandlungsstrategie	240
Systemisches Management auch für Bionik	241
Tierschwärme und Kollisionsvermeidung	242
„Schwarmintelligenz“ und Managementbionik	243
Bionik im Management: Was geht	244
Bionik im Management: Was nicht geht	245
Sind Ameisenstrategien ins Management übertragbar?	246
Evolutionsmanagement: Evolution im Management	247
VSM für lebensfähige Organisationsstrukturen	248
EKS für lebensfähige Organisationsstrukturen	249
Die „Kunst des vernetzten Denkens“ im Management	250
Sensitivitätsmodell und Syntegration	251
KONZEPTUELES UND DOKUMENTATION	253
Die LU-Methode: Spezifiziertes Vorgehen	255
Lu-Methode: Biologie am Anfang – Allgemeines	256
Lu-Methode: Biologie am Anfang – Beispiel	257
Lu-Methode: Technik am Anfang – Allgemeines	258
Lu-Methode: Technik am Anfang – Beispiel	259
Vorsicht vor Trivialbionik	260
Bionik: Kritik	261
Kombination bionischer Effekte	262
Wertschöpfungsketten in Biologie und Wirtschaft	263
Bionik und Philosophie, Erkenntnistheorie	264
Wird das „bionische Versprechen“ eingehalten?	265
Bionik: Potenziale und Anwendungsperspektiven	266
Bionik: Aktuelle Trends und zukünftige Potenziale	267
Alles Bionik – oder was?	268
Bekanntheitsgrad und Ausbildungseinschätzung	269
Bücher zur Bionik I	270
Bücher zur Bionik II	271
Serien von Kongressberichten: IL-Berichte	272
Serien von Kongressberichten: BIONA-reports	273
Bionika in Zeitschriften	274
Fernsehserien über Bionik	275
Ausstellungen zur Bionik	276
Bionik auf der Hannover-Messe	277
SCHWERPUNKTE UND AUSBILDUNG	279
Gesellschaften, Netzwerke, Vereinigungen	281
Bionic Learning Network (BLN)	282
BIONA –Fördermaßnahme des BMBF	283
Preise für Bionikaktivitäten	284