

Werner Nachtigall • Göran Pohl

Bau-Bionik

Natur – Analogien -Technik

2., neu bearbeitete und erweiterte Auflage

Springer Vieweg

1	Technische Biologie und Bionik	1
1.1	Zum Begriff „Bionik“	1
1.2	Historisches und Funktionelle Analogie	2
1.3	Die Form-Funktions-Problematik	2
1.4	Bionik und Optimierung	3
1.5	Von der Zufallsbeobachtung zur Markteinführung	3
1.6	Natur und Technik – Antipoden?	4
1.7	Klassische Definitionen zur Bionik	4
1.8	Bionische Disziplinen	5
1.9	Bau-Bionik: Grundaspekte	5
1.10	Natur und Technik als Kontinuum	6
2	Bau, Architektur und Bionik	7
2.1	Technische Biologie und Bionik von Bau- und Tragkonstruktionen	7
2.2	Kuppeiförmige Knoten-Stab-Tragwerke	8
2.3	Sonderformen räumlicher Knoten-Stab-Tragwerke	9
2.4	Selbstspannende Konstruktionen („Tensegrity-Strukturen“)...	9
2.5	Orthogonale Gitter-Konstruktionen	10
2.6	Plattenkonstruktionen	11
2.7	Faltkonstruktionen	13
2.8	Waben der Honigbiene – noch ein wenig rätselhaft	15
2.9	Sind Tensegrity-Strukturen von fundamentaler cytomechanischer Bedeutung?	17
3	Bionik für Bauwerke	19
3.1	Architektur und Bionik in der Sichtweise der Architekten, Bauingenieure und Gestalter	20
3.2	Geschichtliche Hintergründe und Ursprung des Bauens	21
3.3	Definitionen und Methoden zu Bionik für Bauwerke	22
3.3.1	Definitionen des VDI	22
3.3.2	Methoden der Bionik	23
3.3.3	Biology Push und Technology Pull als Methoden der Bionik	23
3.3.4	Pool Research als Methode des bionischen Arbeitens von Architekten, Bauingenieuren und Industriedesignern	24

3.3.5	ELiSE	25
3.3.6	Technische Biologie, in der Definition des VDI	25
3.4	Bau-Bionik	25
3.5	Klassifizierung der Bau-Bionik	26
3.5.1	Natur-ähnlich: naturähnliche Bau-Skulpturen	27
3.5.2	Natur-analog: Bauweisen mit Analogien zur Natur ...	28
3.5.3	Natur-integrativ: Bionische Prinzipien als Bestandteile der Architektur	29
3.6	Potenziale der Bau-Bionik	30
3.6.1	Anforderungen an moderne Gebäude; moderne Architektur unter Nutzung bionischer Erkenntnisse ..	30
3.6.2	Potenziale natur-integrativer Bauweisen	33
3.6.3	Evolutives Design und evolutionärer Städtebau	38
3.7	Artverwandte Verfahren und Sichtweisen zur Bau-Bionik ...	39
3.7.1	Scionic® – Industriedesign und Bionik	39
3.7.2	Verfahren der Strukturoptimierung und Selbstorga- nisation	39
4	Natürliche Funktionen und Verfahren als Vorbilder für das Bauen	41
4.1	Eisbär und Hochgebirgspflanzen – transparente Isolationsmaterialien	41
4.1.1	Das Eisbärfell als solar betriebene Wärmepumpe und transparentes Isoliermaterial	41
4.1.2	Transparentes Isolationsmaterial in der Technik	45
4.2—	Termiten- und Ameisenbauten – Solare Klimatisierung	47
4.2.1	Klimaregelung im geschlossenen Termitenbau und bei Ameisen	47
4.2.2	Solarkamine bei Termitenbauten und Gebäuden	49
4.2.3	Das Termitenprinzip bei Gebäuden	51
4.3	Lehm- und Erdbauten – ursprüngliche Materialien	53
4.3.1	Ton- und Mörtelnester	53
4.3.2	Bauen mit Adobe	53
4.3.3	Erdmaterial und Wohnen in Erdbauten	60
4.4	Bauen mit Röhricht und Bambus – wiederentdeckte Traditionen	62
4.4.1	Ursprüngliche Schilf-Bauten	62
4.4.2	Bambus als modernes Baumaterial	62
4.5	Einbindung der Windkraft – Tierbauten und ursprüngliche Baukulturen als Analoga	63
4.5.1	Nutzung des Bernoulli-Prinzips in Tierbauten und Bauten	63
4.5.2	Klimaangemessene Bauweisen in ursprünglichen Kulturen und in der Moderne	70
4.5.3	Nutzung des Staudruck-Prinzips in Tierbauten und Bauten	74
4.5.4	Beispiel Lüftung und Klimatisierung: Einbindung bionischer Anregungen in den bauphysikalisch- architektonischen Planungsprozess	78

4.6	Selbstorganisationsprinzipien	83
4.6.1	Selbstorganisation in der Natur	83
4.6.2	Selbstorganisation im Siedlungswesen	83
4.7	Solarnutzung – Vielfalt der Möglichkeiten in Natur und Technik	87
4.7.1	Die Sonne als Energiespender	87
4.7.2	Vom biologischen Umgang mit der Sonnenstrahlung ...	87
4.7.3	Makroskopische solarbetriebene Energiesysteme	90
4.7.4	Schmetterlingsflügel als Solarfänger	93
4.7.5	Adaptive Solarnutzung	94
4.8	Photovoltaik – solarbedingte Spannungserzeugung in Natur und Technik	95
4.8.1	Prinzipielle Wirkungsweise photovoltaischer Zellen	95
4.8.2	Probleme der Photovoltaik auf Siliziumbasis	95
4.8.3	Photovoltaische und thermoelektrische Effekte bei Hornissen	96
4.8.4	Organisch-photovoltaische Solarzellen	97
4.8.5	Die Plastik-Solarzelle	100
5	Trag- und Hüllstrukturen in der Biologie als Ideengeber für Bauwerke	101
5.1	Leichtbauten	101
5.1.1	Diatomeen – geodätische Dome	102
5.1.2	Radiolarien – radiolarien-inspirierte Bauten	106
5.1.3	Radiolarien – radiolarien-analoge räumliche Strukturen	107
5.2	Stabwerke und Hexagonalkonstruktionen	109
5.2.1	Juncus-Mark – knickfeste Systeme	109
5.2.2	Plattenverspannungen – Experimentalbauten	110
5.2.3	Bienenwaben – Hexagonalsysteme	111
5.3	Steife Knoten und Röhren	112
5.3.1	Knoten geringsten Materialaufwands – technisch- analoge Knotenstrukturen	113
5.3.2	Tetraeder-Stabnetzwerke – weitgespannte Raumtragwerke	113
5.3.3	Pflanzenversteifungen – Röhren hoher Steifigkeit	114
5.4	Knochenartige Konstruktionen	115
5.4.1	„Verknöcherte Spannungstrajektorien“ – Decken- Stützkonstruktionen	117
5.4.2	Isostatische Rippen	119
5.4.3	Knochenverstrebenungen	120
5.5	Schalenbauten	120
5.5.1	Muschelschalen – „Isoflex“	121
5.5.2	Tridacna-ähnliche Schalen – Schalenbauten	121
5.5.3	Seeigelschalen – bautechnische Inspirationen	124
5.6	Pneumatik-Bauwerke	125
5.6.1	Biologische Pneus – technische Pneus	126
5.6.2	Der Pneu als Urelement der Entwicklung	126

5.6.3	Der Pneu als technische Urform	127
5.6.4	Tensairity-Verknüpfung der Systeme Tensegrity und Pneu	128
5.6.5	Wasserspinne – Unterwasserglocken	133
5.7	„Baumstützen“-und Zelttragwerke	134
5.7.1	Baumprinzipien – Baumstützen	134
5.7.2	Spinnennetze – Zeltdächer	135
5.7.3	Vielfalt von Zeltdächern	137
5.8	Bewegliche Strukturen	137
5.8.1	Nicht autonome Bewegungen	137
5.8.2	Autonome Bewegungen	137
5.8.3	Responsive Bewegungen	138
6	Produkte und Architektur – Beispiele der Bau-Bionik	139
6.1	Bionik auf der Grundlage von Algen – ein biologisches Beispiel	140
6.2	Pool Research als bionische Methode in der Anwendung ...	142
6.3	Pool Research – Abstraktion durch Klassifikation biologischer Vorbilder	143
6.3.1	Klassifikation von Diatomeenarten	143
6.4	Pool Research – Analyse und Auswertung	144
6.5	Pool Research – Vereinfachung geometrischer Prinzipien ...	145
6.6	Pool Research: Übertragung in CAD-Modelle	146
6.6.1	Strukturierung einer Freiformfläche analog der <i>Centrales</i>	146
6.6.2	Strukturierung einer Freiformfläche analog zur Diatomeengattung <i>Craspedodiscus</i>	146
6.6.3	Segmentierte rotationssymmetrische, doppelte gekrümmte Freiformfläche	147
6.6.4	Strukturierung einer Freiformfläche analog der <i>Pennales (Araphidineae)</i>	147
6.6.5	Bewertung	150
6.7	Vom Pool Research zu anwendungsbezogener Forschung ...	151
6.8	Generatives Entwerfen	152
6.9	Physische Modelle	156
6.10	Bionische Potenziale: Rippen und Spanten	159
6.11	Bionische Potenziale: Rechteckrippen	160
6.12	Bionische Potenziale: Abstandstruktur	161
6.13	Bionische Potenziale: Versetzte Träger	162
6.14	Bionische Potenziale: Einschnitte und Biegung	163
6.15	Bionische Potenziale: Biegung	164
6.16	Bionische Potenziale: Hierarchische Strukturen	165
6.17	Bionische Potenziale: Faltwerk	166
6.18	Übertragung und technische Umsetzung am Beispiel des BOWOOSS-Forschungspavillons	167
6.18.1	Das Forschungsprojekt BOWOOSS als Beispiel für Forschung und Entwicklung	167
6.18.2	Vorgehensweise des Bionik-Forschungsprojektes BOWOOSS	168

6.19	BOWOOSS-Forschungspavillon – Methoden und Resultat der Bau-Bionik	173
6.20	Bau-Bionik in Beispielen: bionische und analoge Entwicklungen	179
6.21	Strukturoptimierung	180
6.22	Selbstorganisation	182
6.23	Evolutives Design	184
6.24	Morphogenetisches Design	186
6.25	Geometrische Optimierungen: Querschnittsoptimierung ...	188
6.26	Hierarchische Strukturen	190
6.27	Evolutionärer Städtebau	192
6.28	Oberflächeneffekte	194
6.29	Grundlagen ressourceneffizienter Fassadentechnologien ...	196
6.30	Tageslichtnutzung	198
6.31	Verschattung	200
6.32	Verschattung und solare Energiegewinnung	202
6.33	Verschattung und Lichtlenkung 1	204
6.34	Verschattung und Lichtlenkung 2	206
6.35	Farbe ohne Pigmente 1	208
6.36	Farbe ohne Pigmente 2	210
6.37	Komplexes Klimasystem 1 – Neubau	212
6.38	Komplexes Klimasystem 2 – Bauen im Bestand	214
6.39	Räumliche Platten	216
6.40	Wirbelsäule	218
6.41	Räumliche Strukturen aus gebogenen Einzelementen 1 ...	220
6.42	Räumliche Strukturen aus gebogenen Einzelementen 2 ...	222
6.43	Abstandsgewebe	224
6.44	Pneu	226
6.45	Massive, lastoptimierte und wärmegeämmte Leichtbaustrukturen	228
6.46	Echolot	230
6.47	Faserverbundsensorik	232
6.48	Reaktive Oberflächenstrukturen	234
6.49	Ventilationssysteme für atmende Hüllen	236
6.50	Thermoregulative Hüllstrukturen	238
6.51	Veränderbare Flächenelemente 1	240
6.52	Veränderbare Flächenelemente 2	242
6.53	Multiachsig veränderbare Flächenelemente	244
6.54	Reaktive Kontraktionssysteme	246
6.55	Autoresponsive Bewegungen, Fin-Ray-Effekt®	248
6.56	Verschiebliche Schalen	250
6.57	Selbstheilung	252
6.58	Bambootanik	254
6.59	Schwimmkörper	256
6.60	Anhang (Quellen, Abbildungsverzeichnis, Urheber und Projektmitarbeiter zu Kap. 6)	258
6.60.1	Bionik auf der Grundlage von Algen – ein biologisches Beispiel (Abschn. 6.1)	258

6.60.2	Pool Research als bionische Methode in der Anwendung (Abschn. 6.2)	258
6.60.3	Pool Research – Abstraktion durch Klassifikation biologischer Vorbilder (Abschn. 6.3)	258
6.60.4	Pool Research – Analyse und Auswertung (Abschn. 6.4)	258
6.60.5	Pool Research – Vereinfachung geometrischer Prinzipien (Abschn. 6.5)	258
6.60.6	Pool Research: Übertragung in CAD-Modelle (Abschn. 6.6)	258
6.60.7	Vom Pool Research zu anwendungsbezogener Forschung (Abschn. 6.7)	258
6.60.8	Generatives Entwerfen (Abschn. 6.8)	258
6.60.9	Physische Modelle (Abschn. 6.9)	259
6.60.10	Bionische Potenziale: Rippen und Spanten (Abschn. 6.10)	259
6.60.11	Bionische Potenziale: Rechteckrippen (Abschn. 6.11)	259
6.60.12	Bionische Potenziale: Abstandstruktur (Abschn. 6.12)	259
6.60.13	Bionische Potenziale: Versetzte Träger (Abschn. 6.13)	259
6.60.14	Bionische Potenziale: Einschnitte und Biegung (Abschn. 6.14)	259
6.60.15	Bionische Potenziale: Biegung (Abschn. 6.15)	259
6.60.16	Bionische Potenziale: Hierarchische Strukturen (Abschn. 6.16)	259
6.60.17	Bionische Potenziale: Falwerk (Abschn. 6.17)	260
6.60.18	Übertragung und technische Umsetzung am Beispiel des BOWOOSS-Forschungspavillons (Abschn. 6.18)	260
6.60.19	BOWOOSS-Forschungspavillon – Methoden und Resultat der Bau-Bionik (Abschn. 6.19)	260
6.60.20	Bau-Bionik in Beispielen: bionische und analoge Entwicklungen (Abschn. 6.20)	260
6.60.21	Strukturoptimierung (Abschn. 6.21)	260
6.60.22	Selbstorganisation (Abschn. 6.22)	261
6.60.23	Evolutives Design (Abschn. 6.23)	261
6.60.24	Morphogenetisches Design (Abschn. 6.24)	261
6.60.25	Geometrische Optimierungen: Querschnittsoptimierung (Abschn. 6.25)	261
6.60.26	Hierarchische Strukturen (Abschn. 6.26)	261
6.60.27	Evolutionärer Städtebau (Abschn. 6.27)	261
6.60.28	Oberflächeneffekte (Abschn. 6.28)	262
6.60.29	Grundlagen Ressourceneffizienter Fasadentechnologien (Abschn. 6.29)	262
6.60.30	Tageslichtnutzung (Abschn. 6.30)	262
6.60.31	Verschattung (Abschn. 6.31)	262

6.60.32	Verschattung und solare Energiegewinnung (Abschn. 6.32)	263
6.60.33	Verschattung und Lichtlenkung 1 (Abschn. 6.33)	263
6.60.34	Verschattung und Lichtlenkung 2 (Abschn. 6.34)	263
6.60.35	Farbe ohne Pigmente 1 (Abschn. 6.35)	263
6.60.36	Farbe ohne Pigmente 2 (Abschn. 6.36)	263
6.60.37	Komplexes Klimasystem 1 – Neubau (Abschn. 6.37)	263
6.60.38	Komplexes Klimasystem 2 – Bauen im Bestand (Abschn. 6.38)	264
6.60.39	Räumliche Platten (Abschn. 6.39)	264
6.60.40	Wirbelsäule (Abschn. 6.40)	264
6.60.41	Räumliche Strukturen aus gebogenen Einzelementen 1 (Abschn. 6.41)	264
6.60.42	Räumliche Strukturen aus gebogenen Einzel- Elementen 2 (Abschn. 6.42)	264
6.60.43	Abstandsgewebe (Abschn. 6.43)	265
6.60.44	Pneu (Abschn. 6.44)	265
6.60.45	Massive, lastoptimierte und wärmege­dämmte Leichtbaustrukturen (Abschn. 6.45)	265
6.60.46	Echolot (Abschn. 6.46)	265
6.60.47	Faserverbundsensorik (Abschn. 6.47)	265
6.60.48	Reaktive Oberflächenstrukturen (Abschn. 6.48) ...	265
6.60.49	Ventilationssysteme für atmende Hüllen (Abschn. 6.49)	266
6.60.50	Thermoregulative Hüllstrukturen (Abschn. 6.50) ...	266
6.60.51	Veränderbare Flächenelemente 1 (Abschn. 6.51) ..	266
6.60.52	Veränderbare Flächenelemente 2 (Abschn. 6.52) ...	267
6.60.53	Multiachsal veränderbare Flächenelemente (Abschn. 6.53)	267
6.60.54	Reaktive Kontraktionssysteme (Abschn. 6.54)	267
6.60.55	Autoresponsive Bewegungen, Fin-Ray-Effekt (Abschn. 6.55)	267
6.60.56	Verschiebliche Schalen (Abschn. 6.56)	267
6.60.57	Selbstheilung (Abschn. 6.57)	267
6.60.58	Bambootanik (Abschn. 6.58)	268
6.60.59	Schwimmkörper (Abschn. 6.59)	268
7	Einige Daten zu biologischen Bauten	270
7.1	Biologische Baumaterialien (Gliederung)	270
7.2	Biberbauten	270
7.3	Biberdämme	270
7.4	Dachsbauten	271
7.5	Röhrensystem von Steppenmurmeltieren	271
7.6	Großhügel von Grabhühnern	271
7.7	Vorratskammer des Maulwurfs	271

7.8	Vorratskammer des Hamsters	271
7.9	Kugelbau des Töpfervogels	271
7.10	Mörtelbau der Mörtelwespe	271
7.11	Webervogelnester	271
7.12	Größte Höhe von Ameisennestern	271
7.13	Vorratshaltung von Getreideameisen	272
7.14	Bauten der Kompassstermiten	272
7.15	Langgezogene Termitenbauten	272
7.16	Erdnester niederorganisierter Termiten	272
7.17	Größte Termitenbauten	272
7.18	Nest des Wintergoldhähnchens	272
7.19	Baumfroschnester	272
7.20	Schaumnest des Java-Flugfrosches	272
7.21	Eilfloß der Veilchenschnecke	273
7.22	Waben der Honigbiene	273
7.23	Präzisionsbau bei der Honigbiene	273
7.24	Temperaturschere im Bienenstaat	273
7.25	Spinnennetze	273
7.26	Dicke von Spinnenfäden	273
7.27	Feenlämpchen der Röhrenspinne	273
7.28	Seidenraupenkokon	273
7.29	Nestbauten des Steigrohrseglers	274
7.30	Brutkugel des Heiligen Pillendrehers	274
7.31	Korallenriffe	274
7.32	Sandkorallenriffe	274
7.33	Netzreusen	274
7.34	Vorratsverstecke	274
7.35	Straßenbauten	274
7.36	Balzplätze	274
7.37	Feuchtigkeitskontrolle	274
7.38	Gasaustausch	275
7.39	Temperaturkontrolle bei Wirbeltieren	275
7.40	Temperaturkontrolle bei Insekten	275
7.41	Größe der Völker bei staatenbildende Insekten	275
7.42	Blattflächen von Pflanzen	275
7.43	Maximalhöhen von Bäumen	275
7.44	Maximaler Stammdurchmesser von Bäumen	276
7.45	Schlankheit von Pflanzen	276
7.46	Spezifische Masse von Holz	276
7.47	Elastizitätsmoduli biologischer Baustoffe	276
7.48	Elastischer Wirkungsgrad biologischer Dehnungselemente	276
7.49	Zugfestigkeit biologischer Baustoffe	276
7.50	Wurzeltiefe von Pflanzen	276
	Weiterführende Literatur	277
	Sachverzeichnis	283