

---

# Inhalt

<b>1 Technische Biologie und Bionik</b>	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
<b>2 Bau, Architektur und Bionik</b>	7
2.1 Technische Biologie und Bionik von Bau- und Tragkonstruktionen	7
2.2 Kuppelförmige 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
<b>3 Bionik für Bauwerke</b>	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
<b>4</b>	<b>Natürliche Funktionen und Verfahren als Vorbilder für das Bauen .....</b>	<b>41</b>
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
<b>5</b>	<b>Trag- und Hüllstrukturen in der Biologie als Ideengeber für Bauwerke .....</b>	<b>101</b>
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	Wasserspinnne – Unterwasserglocken .....	133
5.7	„Baumstützen“- und Zeltragwerke .....	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
<b>6</b>	<b>Produkte und Architektur – Beispiele der Bau-Bionik .....</b>	<b>139</b>
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 Bei- spiel 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 Einzelelementen 1 ...	220
6.42	Räumliche Strukturen aus gebogenen Einzelelementen 2 ...	222
6.43	Abstandsgewebe .....	224
6.44	Pneu .....	226
6.45	Massive, lastoptimierte und wärme gedämmte 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	Verschiebbliche 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: faltwerk (Abschn. 6.17) .....	260
6.60.18	Übertragung und technische Umsetzung am Beispiel des BOWOOS-Forschungspavillons (Abschn. 6.18) .....	260
6.60.19	BOWOOS-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 Fassadentechnologien (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 Einzelelementen 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	Multiachsisal 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	Verschiebbliche 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
<b>7</b>	<b>Einige Daten zu biologischen Bauten</b> .....	<b>270</b>
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	Größe 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	Größe 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 Pillendreher .....	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
<b>Weiterführende Literatur</b> .....		277
<b>Sachverzeichnis</b> .....		283



Bau-Bionik

Natur - Analogien - Technik

Nachtigall, W.; Pohl, G.

2013, XXXIX, 289 S. 403 Abb., 102 Abb. in Farbe.,

Hardcover

ISBN: 978-3-540-88994-6