

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Definitionen und Gliederungen</b> .....	3
1.1	Definitionen .....	3
1.1.1	Grunddefinition Bionik .....	3
1.1.2	Erweiterte Definition .....	3
1.1.3	Eine Abgrenzung .....	3
1.2	Zum Bionik-Begriff .....	4
1.2.1	Begriffsbildung .....	4
1.2.2	Begriffskennzeichnung .....	4
1.2.3	Herkunft des Begriffs „Bionik (bionics)“ .....	5
1.2.4	Technische Biologie und Bionik als Antipoden .....	7
1.2.5	Technische Biologie und Bionik als integrative Disziplinen mit sich ergänzenden Aufgabenstellungen .....	7
1.2.6	Wurzeln und Vorgehensweisen der technisch-biologisch/bionischen Strategie .....	8
1.2.7	Bionik als Analogieforschung .....	9
1.2.8	Bionik als Kreativitätstraining .....	9
1.2.9	Bionik – was also ist das? .....	10
1.3	Teilgebiete der Bionik .....	10
	<i>Literatur</i> .....	15
<b>2</b>	<b>Personen und Organisationen</b> .....	19
2.1	Allgemeines .....	19
2.2	Das Bionik-Kompetenznetz BioKoN .....	19
2.3	Gesellschaften und sonstige Zusammenschlüsse .....	20
<b>3</b>	<b>Publikationen und Öffentlichkeitsarbeit</b> .....	25
3.1	Bücher .....	25
3.2	Zeitschriftenartikel .....	27
3.3	Ausstellungen .....	30
3.4	Messen und Zentren .....	30
3.5	Film und Fernsehen .....	31
3.6	Wettbewerbe und Preise .....	31
3.7	Werbung .....	31
<b>4</b>	<b>Fachstudium und Fachtagungen</b> .....	35
4.1	Bionik-Studiengänge .....	35
4.2	Tagungen und Kongresse .....	35

---

<b>5</b>	<b>Vorwissenschaftliches und Historisches</b> .....	39
5.1	Allgemeines .....	39
5.2	Beispielgruppen für die Anfangsentwicklung der Technischen Biologie und Bionik .....	39
5.2.1	Von den ersten Ansätzen bis zum 19. und beginnenden 20. Jahrhundert	39
5.2.2	Nationalsozialismus und Kommunismus .....	41
5.2.3	Übergang zur funktionellen Verknüpfung .....	43
5.3	Beispielgruppen für die Entwicklung der Technischen Biologie und Bionik nach dem Zweiten Weltkrieg .....	43
5.3.1	Zur Technischen Biologie .....	43
5.3.2	Zur Bionik .....	45
5.3.3	Istzustand und Ausblick .....	48
5.4	Historische Kette – Konzepte für Schiffsvortriebe u. a. nach dem Prinzip der Fisch-Schwanzflosse .....	48
5.4.1	Einführendes .....	48
5.4.2	v. Limbecks „Fischpropeller“ (1903) .....	49
5.4.3	Lies „Lotsenfisch“ (1905) .....	49
5.4.4	Frosts „Wasserfächer“ (1926) .....	50
5.4.5	Schramms „Wellenschwingungsantrieb“ (1927) .....	50
5.4.6	Budigs schrägangeströmter Schlagflügel .....	51
5.4.7	Moineaus „Vortriebsmechanismus“ (1943) .....	51
5.4.8	Hertels „TUB-TUB“ (1963) .....	52
5.4.9	Hertels „Schwingflächenpumpe“ (1973) .....	52
5.4.10	Hertels „Flossenpropeller“ (1977) .....	53
	<i>Literatur</i> .....	53
<b>6</b>	<b>Materialien und Strukturen</b> .....	57
6.1	Biologische Materialien, Strukturen und Oberflächen – das Typische an biologischen Materialien .....	57
6.1.1	Kann man die typischen Eigenschaften biologischer Materialien angeben? .....	57
6.1.2	Hierarchische Materialgestaltung in der Natur .....	58
6.1.3	Selbstorganisation im Materialbereich .....	59
6.2	Die Arthropodenkutikula – Anregungsquelle für technische Faserverbundwerkstoffe .....	60
6.2.1	Mikrostrukturierung von Arthropodenoberflächen: Eine vergleichende Bestandsaufnahme .....	60
6.2.2	Biologische Faserverbundwerkstoffe mit variablen mechanischen Parametern .....	61
6.3	Schalen, Schichtungen, Perlmutter – Mehrkomponentenwerkstoffe mit erstaunlichen mechanischen Eigenschaften .....	62
6.3.1	Strukturelle Basis für die Bruchzähigkeit von Strombus-Schalen .....	62
6.3.2	Perlmutter von Meeresschnecken .....	62

6.3.3	Bifunktionelles Calcitmaterial .....	63
6.4	Spinnseiden und Byssusfäden – Biomaterialien und zugleich technische Anregungen .....	64
6.4.1	Seidenraupenfäden und ihre Produktbedeutung .....	64
6.4.1.1	Schussichere Westen aus Seide .....	64
6.4.1.2	Seidenraupenfäden-Fibroin als Basis für Gewebezucht .....	64
6.4.2	Spinnenfäden und ihre Produktbedeutung .....	64
6.4.2.1	Kenndaten von Spinnenfäden .....	64
6.4.2.2	„Biostahl“ aus Ziegenmilch .....	66
6.4.2.3	Nephila-Fäden und „künstliche“ Spinneseide .....	66
6.4.2.4	Formierung „künstlicher“ Spinneseide .....	67
6.4.3	Miesmuscheln und Braunalgen in der Brandung .....	67
6.5	„Bio“-Kunststoffe – Vielzweckstoffe auf Naturbasis .....	69
6.5.1	Chitin und Chitosan .....	69
6.5.2	Bio-Kunststoffe und Bio-Plastik aus Pflanzen .....	70
6.5.3	Mikrobiell abbaubare Kunststoffe .....	72
6.6	Zellulose und Pflanzenfasern – auch Bestandteile biologisch- technischer Materialchimären .....	74
6.6.1	Zellulose: Chemierohstoff aus der Natur .....	74
6.6.1.1	Zellulose und Zellulosederivate .....	74
6.6.1.2	Zellulose und ihre selektive Funktionalisierung .....	75
6.6.2	Lignin und „Flüssiges Holz“ .....	76
6.6.3	Allgemeines zu regenerativen Materialien .....	76
6.6.4	Pflanzliche Strukturen als intelligente Teile von technischen Kompositmaterialien .....	78
6.6.5	Biomineralisation: Auf dem Weg zu organisch-anorganischen Verbundwerkstoffen .....	79
6.7	Hölzer und Gräser – Anwendungspotential im Mikro- und Makro- bereich .....	80
6.7.1	Technisch interessante Eigenschaften pflanzlicher Fasern und Faser- verbundmaterialien .....	80
6.7.1.1	Grundlegende Eigenschaften pflanzlicher Fasern und Verbund- materialien .....	81
6.7.1.2	Bruchverhalten und Energiedissipation bei Ästen unterschiedlich brüchiger Weidenarten .....	81
6.7.1.3	Bruchverhalten und technisch interessante Eigenschaften des Rhizoms des Pfahlrohrs, <i>Arundo donax</i> .....	82
6.7.1.4	Technischer Ausblick in Bezug auf „Naturfaser-Verbundmaterialien“ ..	82
6.7.2	Eine Kompositplatte nach dem Faserverlauf in Holz .....	82
6.7.3	Hochwachsende Gräser und langgestreckte Strukturen .....	83
6.8	„Intelligente“ und autoreparable Materialien – schwierig Um- zusetzendes aus der Biologie .....	84
6.8.1	Eine Übersicht über „smarte“ Materialien .....	84
6.8.2	„Intelligente“ Gele und anderes .....	85
6.8.3	Materialien, die regenerieren oder sich selbst reparieren .....	86
6.9	Klebungen in der Natur – Vorkommen und Technikpotenziale .....	86

---

6.9.1	Klebetypen und ihr Umsetzungspotenzial .....	86
6.9.1.1	Klebungen in der Natur .....	87
6.9.1.2	Spezielle Klebesysteme – spezielle Vorbilder .....	88
6.9.1.3	Besonderheiten einiger biologischer Klebstoffe .....	88
6.9.1.4	Anwendungsfelder in Industrie und Medien .....	89
6.9.1.5	Anwendungsfeld Verpackungsindustrie .....	89
6.9.1.6	Anwendungsfeld Bauindustrie .....	89
6.9.1.7	Anwendungsfeld Medizinbereich .....	89
6.9.2	Strategien und Techniken des Klebeeinsatzes .....	89
6.9.2.1	Prinzipielles .....	90
6.9.2.2	Beispiele .....	91
6.10	Kurzabschnitte zum Themenkreis „Materialien und Strukturen“ .....	93
6.10.1	Geigenkästen aus biologisch-technischem Verbundmaterial .....	93
6.10.2	Spinnenfäden als Feinstaubsammler .....	93
6.10.3	Poröse Werkstoffe mit einstellbarer Porengröße .....	93
	<i>Literatur</i> .....	94
<b>7</b>	<b>Formgestaltung und Design</b> .....	<b>99</b>
7.1	Bionik-Design – Sichtweisen und Vorbilder .....	99
7.1.1	„Funktionelles Design“ in Biologie und Technik .....	99
7.1.2	Akzeptanz im Designbereich .....	100
7.2	Problemkreise des Bionik-Designs .....	100
7.3	Das Pterygoid der Python-Schlange als Vorbild für ein Stuhlbein .....	102
7.4	Ideenwettbewerb Bionik-Design – „Bionic architecture – made of wood“ .....	102
7.5	Kurzabschnitte zum Themenkreis „Formgestaltung und Design“ .....	105
7.5.1	ICE-Design und der Beginn des neuzeitlichen Bootsdesigns .....	105
7.5.1.1	ICE-Design .....	105
7.5.1.2	Praktische Naturbeobachtung und frühes Schiffdesign .....	106
7.5.2	Zwei Studentenprojekte „Bionik-Aspekte im Design“ von Klassen an den Kunsthochschulen Berlin und Saarbrücken .....	106
	<i>Literatur</i> .....	107
<b>8</b>	<b>Konstruktionen und Geräte</b> .....	<b>111</b>
8.1	Biomechanische Mikrosysteme – vergleichende Analyse und Technikpotenzial .....	111
8.1.1	Funktionselemente und Elementarfunktionen biomechanischer Mikrosysteme .....	111
8.1.1.1	Bionischer Bezug .....	112
8.1.1.2	Anwendungspotenzial .....	113
8.1.2	Mikrobiomechatronik aus der Ilmenauer Sicht .....	114
8.1.3	Zwei Demonstrationsbeispiele: Ruderbein und Mikrogreifer .....	114
8.1.3.1	Ruderbein des Rückenschwimmers .....	114
8.1.3.2	Mikrogreifer mit zweistufigem Übersetzungsverhältnis .....	115
8.2	Präzisionstechnische Antriebssysteme – neuartige konstruktive Wege .....	116

8.3	Mikrotribologie – eine Disziplin mit Zukunft .....	118
8.4	Reibung und Haftung – sehr unterschiedliche Mechanismen .....	120
8.4.1	Von der Schlangenhaut zum Skibelag .....	120
8.4.2	Die Haftung der GeckofüÙe – Vorbild für Trockenklebebänder .....	120
8.4.2.1	Gecko-Setae und Überlegungen zu Haftungsumsetzung .....	120
8.4.2.2	Messungen der Kraft einer Einzelseta .....	121
8.4.2.3	Umsetzungspotenzial .....	122
8.5	Mikromaschinen – Nanomaschinen .....	122
8.5.1	Mikromaschinen .....	122
8.5.2	Nano(bio)technologie .....	123
8.5.3	Auf dem Weg in die molekulare Nanowelt .....	125
8.5.4	Nanomaschinen .....	125
8.6	StoÙdämpfung und Sprunggeräte – Wie mit Leistungsspitzen umgegangen werden kann .....	127
8.6.1	Schockabsorption und Motorradhelme .....	127
8.6.2	Kängurusprung und Sprung-Sportgerät .....	128
8.6.3	Kängurusprung und PowerSkip-Sportgerät .....	129
8.7	Abriebfestigkeit und Stabilität – Anregungen von Zähnen und Schalen	130
8.7.1	Radulazähne von Napfschnecken geben Konzeptanregungen für Schneidewerkzeuge .....	130
8.7.2	Formstabilität von Seeigelschalen .....	131
8.8	Strömungsmechanische Konstruktionen – Vorschläge nach Naturvorbildern .....	131
8.8.1	Gestaltung der Flügelenden .....	131
8.8.2	Schleifenflügel und Schleifenpropeller .....	133
8.8.3	Von der Wirbelspule zum Berwian .....	134
8.8.4	Die „Schwertfischnase“ und ein Flugzeugbug .....	135
8.8.5	Anwendungsvorschlag des Mikroturbulenz-Effekts .....	136
8.9	Spiegeloptik im Krebsauge – Vorbild für Röntgenteleskopie und -kollimatoren .....	137
8.9.1	Einführendes .....	137
8.9.2	Prinzipbau des Krebsauges .....	137
8.9.3	Brechungsindizes .....	138
8.9.4	Hell- und Dunkeladaptation .....	139
8.9.5	Orthogonale Spiegeloptik .....	140
8.9.6	Zusammenfassung der Spiegeloptik-Prinzipien im Krebsauge .....	141
8.9.7	Technologische Umsetzungen .....	141
8.10	Kurzanmerkungen zum Themenkreis	
	„Konstruktionen und Geräte .....	142
8.10.1	Würmer, Polypen und ein Ausstülpungs- schlauch für medizinische Katheder .....	142
8.10.1.1	Ausstülpungsmechanismen bei Würmern .....	142
8.10.1.2	Technischer Ausstülpungsschlauch .....	143
8.10.2	Surfbrettsegeln nach Fledermaus- und Fliegenvorbild .....	143
8.10.3	Die Schwimmflosse „Monopalme“ .....	144
	<i>Literatur</i> .....	144

---

<b>9</b>	<b>Bau und Klimatisierung</b> .....	149
9.1	Umwelt und Bauten – Sichtweisen eines Biologen und eines Architekten	149
9.1.1	Begründung für ein regionales Bauen .....	149
9.1.1.1	Studium von Extremsituationen .....	150
9.1.1.2	Ökologische Betrachtung von Bauformen .....	150
9.1.1.3	Zufällige Entwicklungen im Sinn der Evolution .....	151
9.1.1.4	Anonymes Bauen als örtliche Anpassung .....	151
9.1.1.5	Biologie und Kultur .....	151
9.1.2	Architektur und Zeitgeist .....	152
9.2	Das Eisbärfell – eine Art transparentes Isoliermaterial .....	154
9.2.1	Das Eisbärfell als solar betriebene Wärmepumpe und transparentes Isoliermaterial .....	154
9.2.1.1	Das Prinzip der Wärmepumpe .....	154
9.2.1.2	Das Eisbärhaar: Morphologie und Strahlungseffekte .....	154
9.2.1.3	Das Eisbärhaar als Lichtfalle und solar betriebene Wärmepumpe ....	154
9.2.1.4	Das Eisbärfell als transparentes Isoliermaterial .....	156
9.2.1.5	Technologiepotenzial des natürlichen Systems .....	157
9.2.2	Transparentes Isoliermaterial in der Technik .....	157
9.3	Der Termitenbau – ein verblüffendes Funktionssystem mit Anregungscharakter .....	158
9.3.1	Klimaregelung im Termitenbau .....	158
9.3.2	Solkamine bei Termitenbauten und Gebäuden .....	158
9.3.2.1	Energiebilanz von Gebäuden .....	158
9.3.2.2	Lüftungskanäle an Termitenbauten und ihre technologische Übertragung .....	159
9.3.3	Eine bionische Übertragung: die Porenlüftung .....	160
9.4	Lehm und Adobe – ursprüngliche Materialien mit interessanten bauphysikalischen Eigenschaften .....	161
9.4.1	Ton- und Mörtelnester .....	161
9.4.2	Bauen mit Adobe .....	162
9.5	Einbindung der Windkraft – Tierbauten und ursprüngliche Baukulturen als Vorbilder .....	163
9.5.1	Nutzung des Bernoulli-Prinzips .....	163
9.5.2	Nutzung des Staudruck-Prinzips .....	165
9.6	Architektonische Gestaltung und die Funktionalität der Natur .....	165
9.6.1	Einbindung bionischer Vorgehensweisen in den Planungsprozess ....	165
9.6.1.1	Präriehundbau/Lüftungssystem .....	166
9.6.1.2	Eisbärfell/Wärmedämmung .....	167
9.6.1.3	Fotosynthese/Fotovoltaik .....	167
9.6.2	Bionische Aspekte behindern nicht eine klare architektonische Formensprache .....	167
9.6.2.1	Doppelwohnhaus Pullach 1986–89 .....	167
9.6.2.2	Jugendbildungsstätte Windberg 1987–91 .....	167
9.7	Kurzanmerkungen zum Themenkreis „Bauen und Klimatisierung“ ...	168
9.7.1	Eine Schülerarbeit: Überdachung eines Pausenhofs .....	168
9.7.2	Moleküle als Wärmespeicher .....	169

9.7.3	Erkenntnisse über schwingende Bienenwaben können Hochhäuser vielleicht weniger erdbebenanfällig machen .....	170
	<i>Literatur</i> .....	170
<b>10</b>	<b>Robotik und Lokomotion</b> .....	175
10.1	Roboterarme – Androiden .....	175
10.1.1	Integration von Serienelastizitäten bringt Vorteile .....	175
10.1.1.1	Bionische Anregungen für den Einbezug elastischer Elemente in die Robotik .....	175
10.1.1.2	Roboterarm und Primatenarm .....	175
10.1.1.3	Ein biologisches Konzept der Armbewegung .....	176
10.1.1.4	Auf dem Weg zu einer bionischen Übertragung .....	176
10.1.1.5	Aktuatoren mit Serienelastizitäten bei Laufrobotern .....	178
10.1.2	Roboterkonzepte aus Japan .....	178
10.2	Muskeln und Aktuatoren – „Künstliche Muskeln“ in der Technik ....	179
10.2.1	Entwicklung „Fluidischer Muskeln“ .....	179
10.2.2	Eine „Künstliche Hand“ mit Fluidmuskeln .....	181
10.3	Laufen mit zwei bis acht Beinen – Laufmaschinen .....	181
10.3.1	Designhilfen aus der Natur für Laufmaschinen .....	181
10.3.1.1	Vorteile des Beins gegenüber dem Rad .....	182
10.3.1.2	Anregungen aus der Natur .....	182
10.3.1.3	Konstruktive Umsetzungen .....	183
10.3.1.4	Entwicklungspotenzial .....	184
10.3.1.5	Autonomes Laufen .....	185
10.3.2	Ein Insekten-analoger Laufroboter nach dem Prinzip des Stabheuschreckengangs .....	186
10.3.2.1	Allgemeines .....	186
10.3.2.2	Das Bein der Stabheuschrecke und der Laufmaschine .....	186
10.3.2.3	Die Beinbewegung der Stabheuschrecke und der Laufmaschine .....	186
10.3.2.4	Auslegung der Laufmaschinenbeine .....	188
10.3.2.5	Laufregelung .....	189
10.3.3	Timberjack, ein 6-beiniger Waldroboter .....	190
10.3.4	Entwicklungen am MIT „Leg laboratory“ .....	190
10.4	Klettern, Kriechen, Springen – nachahmenswerte Ortsbewegungsformen .....	190
10.4.1	IV. Konferenz über Kletter- und Laufroboter .....	190
10.4.2	Kletterroboter .....	191
10.4.3	Schlangenartige Kriechroboter .....	191
10.4.4	Springroboter .....	191
10.5	Schwimmroboter – „Künstliche Fische“ .....	192
10.5.1	Schlagflossenboote – Übertragung des Schwanzflossenprinzips .....	192
10.5.1.1	Allgemeines und Historisches .....	192
10.5.1.2	Auf dem Weg zu einem Tretboot mit Flossenantrieb .....	192
10.5.2	„Künstliche Fische“: Thunfisch- und Hecht-Roboter .....	194
10.5.3	Neunaugen-Schwimmroboter .....	196
10.5.4	Weitere biomimetische Unterwasserroboter .....	197

---

10.6	Verminderung des Strömungswiderstands – Rumpfe und Oberflächen	197
10.6.1	Dicke Rumpfe mit Anregungspotenzial für technische Rumpfformen	197
10.6.1.1	Prinzipielle Körpergestalt	197
10.6.1.2	Widerstandbeiwertsbestimmung im Auslaufverfahren	198
10.6.1.3	Messbeispiele und Beiwertsdefinitionen	198
10.6.1.4	Ergebnisse und Vergleich mit technischen Strömungskörpern	199
10.6.2	Kleinfahrzeuge: Bionik im Automobilbau	201
10.6.2.1	3- und 4-rädrige Kleinwagenkonzepte	201
10.6.2.2	Kofferrische – Formvorbilder für wendige Unterseeboote und widerstandsarme Kraftfahrzeuge	203
10.6.3	Geriefte Haischuppen und Ribletfolien für den Airbus	204
10.6.3.1	Haut und Schwimmstil der Haie	204
10.6.3.2	Riefenlinien und Umströmungsbild	204
10.6.3.3	Riefenstrukturen und Schwimmstile	205
10.6.3.4	Messungen zur Funktion der Riefen	205
10.6.3.5	Ölkanalmessungen	206
10.6.3.6	Interpretation der Widerstandsverminderung	208
10.6.3.7	Technische Übertragung	208
10.6.4	Weitere widerstandsvermindernde Oberflächengestaltungen	210
10.6.4.1	Gerippte Rennboot-Rumpfe, Schwimmanzüge und Rohrwandungen	210
10.6.4.2	Die Delfinhaut und ein Schiffsanstrich	211
10.6.5	Fischschleim und Polyox	212
10.6.6	Luftblasenschleier bei Pinguinen und Unterwassergeschossen	213
10.6.7	„Sandfische“ und die Verminderung von Festkörperreibung	214
10.7	Mittel zur Auftriebserrhöhung – Verringerung der Gefahr des Überziehens	215
10.7.1	Bewegliche Flügelklappen nach dem Gefiederprinzip	215
10.7.2	Strömungsbeeinflussung durch Felloberflächen	215
10.7.3	Daumenfittich und Vorflügel	216
10.8	Insektenflug – Entomopteren	217
10.8.1	Luftkraftherzeugung durch Schlagflügel bei Fliegen, zweiflügelige Entomopteren	217
10.8.1.1	Allgemeines	217
10.8.1.2	Flügelbewegung	217
10.8.1.3	Der Flügel als stationärer Luftkraftherzeuger	219
10.8.2	Instationäre Effekte und der Weg zu Kleinstfluggeräten	221
10.8.2.1	Definitionen	221
10.8.2.2	Morphologische und kinematische Voraussetzungen für instationäre Effekte	221
10.8.3	Ein Miniatur-Schwingflügler nach dem Vorbild der fächernden Honigbiene	224
10.9	Vogelflug – Ornithopteren	224
10.9.1	Untersuchungen des Vogelflugs als Basis für die Konzeption vogelähnlicher Kleinfluggeräte	224
10.9.1.1	Historie	224
10.9.1.2	Übertragungsmöglichkeiten	225
10.9.1.3	Die detaillierteste kinematische Messung	225
10.9.1.4	Frischtote und lebende Vögel	228



10.9.1.5	Impulsdiagramme	228
10.9.1.6	Clap and fling bei Vögeln	230
10.9.1.7	Flügelgitter- und Rückschnelleffekte	230
10.9.1.8	Das Wedeln des Eissturmvogels	230
10.9.2	Technische Aspekte von Kleinfluggeräten nach Art von Vögeln	231
10.9.2.1	Struktur	232
10.9.2.2	Aerodynamik	232
10.9.2.3	Flugleistung	233
10.9.2.4	Miniaturisierungstendenzen auf dem Weg zu Kleinstfluggeräten	234
10.10	Kurzanmerkungen zum Themenkreis „Robotik und Lokomotion“	235
10.10.1	Frühe Studien des Naturvorbilds „Vogel“	235
10.10.2	Dezentrale Steuerung von Roboterarmen nach dem Krakenprinzip	236
10.10.3	Polymer-Hydrogel-Aktuator	236
10.10.4	Vogelflügel und adaptive technische Flügel	236
10.10.5	Elektrische Felder und Auftriebserhöhung	237
	<i>Literatur</i>	237
<b>11</b>	<b>Sensoren und neuronale Steuerung</b>	<b>243</b>
11.1	Allgemeines zu Sensoren – Gedanken eines Biologen über Fühler und Fühlen	243
11.2	Optische Sensoren und Wärmesensoren – neuartige Prinzipien	244
11.2.1	Natürliche Spiegeloptik führt zum Röntgenkollimator	244
11.2.2	Entspiegelung und Sichtverbesserung durch Feinstnoppung nach dem Prinzip von Nachtfalteraugen	245
11.2.3	Das schwingende Fliegenauge und diefedernde Netzhaut der Springspinne: technische Bildschärfenerhöhung	246
11.2.4	Ein fotomechanischer Detektor für Wärmestrahlung beim „Feuerkäfer“ und seine Umsetzung	246
11.3	Akustische Sensoren – Lösungen bei Insekten	248
11.3.1	Schallschnelle-Einstandspeiler bei Stechmücken und Sonarpeilgeräte	248
11.3.2	Das Schallortungsprinzip von Raupenfliegen, Vorbild für Miniaturhörgeräte	249
11.4	Geruchssensoren und Elektrosensoren – Basistechnologien von der Natur	249
11.4.1	Zeitverzögerungseffekte beim Riechen	249
11.4.2	Schwach elektrische Fische als Sensormodelle	250
11.5	Bewegungssteuerung – Roboterorientierung	251
11.5.1	Bewegungssteuerung und Bewegungslernen in der Biologie: unkonventionelle Vorbilder für technische Anwendungen	251
11.5.1.1	Bewegungssteuerung beim Heuschreckenflug	251
11.5.1.2	Lernen beim Heuschreckenflug	252
11.5.1.3	Ein Modell für das motorische Lernen	253
11.5.1.4	Optimierung als Rückkopplungsreduktion	254
11.5.1.5	Allgemeines Lernschema und Reafferenzprinzip	254
11.5.1.6	Biologische und bionische Bedeutung der Lernschemata	256
11.5.2	Vom Fliegenauge zur Roboter-Orientierung	257

---

11.5.2.1	Einführendes	257
11.5.2.2	Robotersteuerung nach dem Prinzip des Fliegenauges	257
11.5.2.3	Der Bewegungstypus des Roboters	259
11.5.2.4	Informationsfluss und Schaltungsplatinen	259
11.5.2.5	Zusammenfassung und allgemeine Erkenntnisse	260
11.5.3	Visuelle Stabilisierung und Führung kleiner Flugroboter nach dem Fliegenaugenprinzip	260
11.5.4	Ein „Ameisenroboter“, der sich an polarisiertem Licht orientiert	261
11.6	Kleine Neuronenverbände – neuronale Netze mit Anregungscharakter	262
11.6.1	Prinzipien neuronaler Netze	262
11.6.2	Kleine Neuronenverbände und ihre Leistungsfähigkeit	263
11.6.2.1	Das optosensorische Verrechnungssystem der Hausfliege – kleiner als ein Stecknadelkopf	264
11.6.2.2	Ingenieurmäßige Anwendung von Forschungsergebnissen an „kleinsten Gehirnen“	266
11.6.3	Neuronale Netze für Mustererkennung und Bewegungssteuerung	268
11.6.3.1	Allgemeines	268
11.6.3.2	Vom biologischen zum technischen „Neuronennetz“	268
11.6.3.3	Beispiel: Assoziative Speicherung von Buchstabenmustern	269
11.6.3.4	Simulation eines organismischen Bewegungsvorgangs mit Hilfe künstlicher neuronaler Netze	270
11.6.3.5	Ausblick	272
11.7	Koppelung von Biomolekülen oder Mikroorganismen mit Messelektroden – Mikrobiosensoren	272
11.7.1	Molekulare Messtechnik in der Biosensorik	273
11.7.2	Mikrobielle Messtechnik in der Biosensorik	274
11.7.2.1	Prinzipieller Sensoraufbau	274
11.7.2.2	Anwendungsbeispiel	274
11.8	Kopplung biologischer Systeme mit technischen Geräten – Biomonitoring	274
11.8.1	Ein Sensorsystem zur Messung extrem geringer Stoffkonzentrationen	274
11.8.1.1	Einführendes	274
11.8.1.2	Insektenantennen und das Elektroantennogramm (EAG)	276
11.8.1.3	Einbau der biologischen Antenne in ein technisches Gerät und Eichung	276
11.8.1.4	Messbeispiel	276
11.8.2	Online-Biomonitoring	277
11.9	Kommunikationstechniken – Anregungen aus der Natur	279
11.9.1	„Delfinsprache“ und Unterwasserkommunikation	279
11.9.2	Fotonische Kristalle bei der „Meermaus“ und Glasfaseroptiken	279
11.10	Kurzanmerkungen zum Themenkreis „Sensoren und neurale Steuerung“	280
11.10.1	„Künstliche Nasen“	280
11.10.2	Bionische Drucksensoren	280
11.10.3	Retinaartige Lichtsensoren	280
11.10.4	Steuerung über Gehirnpotenziale	281
	<i>Literatur</i>	281

<b>12</b>	<b>Anthropo- und biomedizinische Technik</b> .....	285
12.1	Menschen an Maschinen – Maschinen im Menschen .....	285
12.1.1	Zusammenwirken von Mensch und Maschinen .....	285
12.1.2	Beispiel: Unfallforschung .....	287
12.2	Radfahrer und Rad – ein biomechanisch abgestimmtes Funktionspaar	288
12.2.1	Optimale Muskelarbeit beim Pedaltreten .....	288
12.2.2	Charakteristiken von Radfahrer und Rad .....	289
12.2.3	Alternative Pedalbewegungen .....	289
12.3	Implantate und Knochen – sie sollten eine biomechanische Einheit bilden .....	290
12.3.1	Knochenspongiosa und „Metallspongiosa“-Implantate .....	290
12.3.2	Hüftgelenksendoprothesen nach dem Trajektorienprinzip .....	291
12.3.3	Eine elastische Knieprothese .....	292
12.4	Retinaimplantate – Mikrochips im Auge .....	292
12.4.1	Retinaersatz .....	292
12.4.2	Retinastimulation .....	293
12.5	Schwingungsdynamik der Gehörknöchelchen – biomechanische Anpassung eines Mittelohrimplantats .....	294
12.6	Interaktion Kohlenstoff-„Technologie“ – Silizium-Technologie .....	295
12.6.1	Biologisch-technische Hybridschaltungen (Zell-Elektronik-Hybride) ..	295
12.6.2	Interaktionen „einfacher“ biologisch-technischer Hybridschaltungen ..	297
12.6.3	Mikroelektroden schließen Langzeitkontakte zu Neuronen in situ ....	297
12.6.3.1	Prinzipielle Anforderungen .....	298
12.6.3.2	Siebelektroden zur Kontaktierung regenerierender Nerven .....	299
12.6.3.3	Manschettensförmige Elektroden für periphere Nerven .....	300
12.7	Gewebeanwachsen auf technischen Materialien – biokompatible Werkstoffe .....	300
12.7.1	Anwachsen von Schleimhautzellen auf Zahnimplantatmaterial .....	300
12.7.2	Biokompatible Titanwerkstoffe .....	301
12.8	Naturstoffe als Schutz- und Pflegemittel .....	303
12.9	Interaktion des Organismus mit Wellen-Nutzung von Licht zur Einkoppelung von Mikrowellen .....	303
12.9.1	Steigerung von Enzymaktivitäten .....	303
12.9.2	Entwicklung einer lichtbetriebenen Mikrowelleneinkopplung .....	304
12.9.3	Anwendungsprinzip .....	304
12.10	Kurzanmerkungen zum Themenkreis „Anthropo- und biomedizinische Technik“ .....	306
12.10.1	Kontrollierte Wirkstofffreisetzung .....	306
12.10.2	Ein osteokonduktives Ersatzmaterial aus Algen .....	306
12.10.3	Fliegenmaden als Wundheiler .....	306
	<i>Literatur</i> .....	307
<b>13</b>	<b>Verfahren und Abläufe</b> .....	311
13.1	Solarnutzung – Vielfalt der Technologien .....	311

---

13.1.1	Die Sonne als Energiespender .....	311
13.1.2	Vom biologischen Umgang mit der Sonnenstrahlung .....	311
13.1.3	Makroskopische solarbetriebene Energiesysteme .....	314
13.1.3.1	Wärme, Kälte .....	314
13.1.3.2	Lichtsammlung, Tageslichtsysteme .....	315
13.1.3.3	„Intelligente“ Oberflächenstrukturen .....	316
13.1.4	Schmetterlingsflügel als Solarfänger und Vorbilder für die Computerchip-Kühlung .....	317
13.2	Indirekte Solarnutzung – künstliche Fotosynthese und Wasserstofftechnologie .....	318
13.2.1	Molekulare solare Energiesysteme: Mechanismen und Umsetzungs- potenzial .....	318
13.2.1.1	Visionen .....	318
13.2.1.2	Heutige Sichtweise .....	319
13.2.1.3	Prinzipabläufe an der Fotosynthesemembran .....	320
13.2.1.4	Elementarschritte und ihre technische Übertragung .....	321
13.2.1.5	Lichtbetriebene biologische Protonenpumpe .....	322
13.2.1.6	Erforschungsgeschichte und prospektive Potenz technischer Farbstoff-Solarzellen .....	322
13.2.1.7	Der solare Brennstoffzyklus als Denkanstoß .....	324
13.2.2	Artifizielle Fotosynthese aus molekularer Sonnenenergiekonversion ..	324
13.2.2.1	Solarthermische Verfahren .....	324
13.2.2.2	Fotovoltaische Verfahren .....	325
13.2.2.3	Fotoelektrochemische Verfahren .....	325
13.2.2.4	Fotochemische Verfahren .....	325
13.2.2.5	Mechanismen fotochemischer Verfahren zur Reduktion von H <sub>2</sub> O und CO <sub>2</sub> .....	325
13.2.2.6	Kohlendioxidreduktion .....	325
13.2.2.7	Sensibilisatoren .....	325
13.2.2.8	Quencher .....	326
13.2.2.9	Katalysatoren .....	326
13.2.3	Wasserstoff als Energiespender der Zukunft .....	326
13.2.4	Wasserstoffproduktion durch artifizielle Bakterien-Algen-Symbiose ..	327
13.2.4.1	Grundlagen .....	327
13.2.4.2	N <sub>2</sub> -Bindung und H <sub>2</sub> -Produktion im Zellenverbund .....	327
13.2.4.3	Grünalgen-Purpurbakterien-Verbund .....	328
13.2.4.4	Feldforschung in der Sahara .....	328
13.2.5	Fotosynthetische Proteinkomplexe bei Cyanobakterien .....	329
13.2.6	Algenkonverter – Fluidreinigung, Nahrungsmittel- und Wertstoff- produktion in einem System .....	329
13.2.6.1	Algen als Wasser- und Luftreiniger .....	329
13.2.6.3	Algen als Wertstoffproduzenten .....	330
13.3	Fotovoltaik – solarbedingte Spannungserzeugung .....	330
13.3.1	Prinzipielle Wirkungsweise photovoltaischer Zellen .....	330
13.3.2	Probleme der Fotovoltaik auf Siliziumbasis .....	331
13.3.3	Fotovoltaische und thermoelektrische Effekte bei Hornissen .....	332
13.3.4	Organisch-fotovoltaische Solarzellen .....	333
13.3.4.1	Grätzels Farbstoff-sensitive Solarzelle .....	333

13.3.4.2	Wirkungsgraderhöhung und Selbstorganisation bei organisch-fotovoltaischen Solarzellen .....	335
13.3.5	Bereits weitgediehen: die Plastik-Solarzelle .....	336
13.4	Solarverdunstung – ein bislang vernachlässigtes Naturverfahren .....	337
13.5	Wassergewinnung durch Nebelkondensation .....	338
13.6	Verträgliche Frostschutzmittel .....	339
13.7	Selbstreinigende pflanzliche Oberflächen – schmutzabweisende Beschichtungen .....	340
13.7.1	Epidermale Oberflächenstrukturen .....	340
13.7.2	Experimente über Selbstreinigungseffekte .....	341
13.7.3	Ökologische Bedeutung und Störung der Selbstreinigungseffekte .....	342
13.7.4	Physikalische Grundlagen der Selbstreinigung .....	343
13.7.5	Technische Umsetzung des „Lotus-Effekts“ .....	344
13.8	Verpackungen in der Natur – Ideenreservoir für die Technik .....	345
13.8.1	Natürliches Verpacken und natürliche Verpackungen .....	346
13.8.1.1	„Verpackungs“- Materialien in der Natur .....	346
13.8.1.2	Öffnung von Verpackungen .....	346
13.8.1.3	Schichten, Hüllen und Verbundverpackungen .....	346
13.8.1.4	Farben und Farbmuster .....	347
13.8.1.5	Verpackungen für Extremanforderungen .....	347
13.8.1.6	Unterschiedliche funktionelle Anforderungen .....	347
13.8.1.7	Druckfeste Verpackungen .....	348
13.8.1.8	Raum- und materialsparende Verpackungen .....	348
13.8.1.9	Mitwachsende Verpackungen .....	348
13.8.1.10	Die Kokosnuss: Eine Multifunktions-Verpackung .....	349
13.8.1.11	Rezyklierung der Verpackungen .....	349
13.8.2	Bionisch orientierte Verpackungen .....	350
13.9	Diagene Mineralisation nach dem Vorbild der biogenen Mineralisation .....	350
13.10	Kurzanmerkungen zum Themenkreis „Verfahren und Abläufe“ .....	352
13.10.1	Lichtausnutzung durch Oberflächenschichtung bei Pflanzenblättern und Fotozellen .....	352
13.10.2	Solardachstein und Solarschiefer .....	353
13.10.3	Papierherstellung .....	353
	<i>Literatur</i> .....	354
<b>14</b>	<b>Evolution und Optimierung</b> .....	357
14.1	Optimierung in der Natur – kann man sie erkennen, beschreiben und nachahmen? .....	357
14.1.1	Der Optimierungsbegriff in Wirtschaft und Technik .....	357
14.1.2	Der Optimierungsbegriff in der Biologie .....	358
14.1.2.1	<i>Beispiel 1:</i> Ein Optimalwert ergibt sich aus einer Theorie; die tatsächlich gemessene Kenngröße erfüllt die Theorie: der Baumstamm als Körper gleicher Festigkeit .....	359
14.1.2.2	<i>Beispiel 2:</i> Ein Optimalwert ergibt sich aus einem Experiment; die tatsächlich gemessene Kenngröße stimmt mit der experimentell bestmöglichen überein: Partikelstrom von Säugerblut und Hämatokrit ...	359

---

14.1.2.3	<i>Beispiel 3</i> : Ein Optimalwert ergibt sich aus dem Vergleich mehrerer experimentell zu ermittelnder Werte von Kenngrößen, die wiederum von Randbedingungen abhängig sind: Gleitanpassung beim Vogelflug und Gleitzahl .....	360
14.1.3	Konsequenzen für die Verwendung des Optimierungsbegriffs bei bionischen Übertragungen .....	361
14.2	Evolution und Optimierung – Umsetzung der Art, wie biologische Konstruktionen entstehen .....	361
14.3	Evolutionprinzipien: Stufen der Imitation biologischer Evolutionsprozesse .....	362
14.3.1	Evolution und Evolutionsnachahmung .....	362
14.3.2	Elementare Spielregeln für die Evolutionsstrategie .....	363
14.3.3	Universelle Nomenklatur für Evolutionsstrategien .....	368
14.4	Evolutionstrategisches Bergsteigen – eine naturbasierte Vorgehensweise .....	368
14.4.1	Zwischen Erfolg und Fortschritt .....	368
14.4.2	Das zentrale Fortschrittgesetz .....	369
14.4.3	Evolution zweiter Art .....	369
14.4.4	Gipfelklettern im Hyperraum .....	370
14.4.5	Optimierung mit Technologietransfer .....	370
14.4.6	Logik der Optimierung .....	371
14.5	Evolute Systemoptimierung – Naturstrategien zum Nutzen von Technik und Wirtschaft .....	372
14.5.1	Ökonomische Lösungsstrategie für technisch-wirtschaftliche Innovationen .....	372
14.5.2	Kosten/Gewinn-Zeitfunktion .....	373
14.6	Optimierung mit Evolutionsstrategien – weitere Beispiele .....	373
14.7	Adaptives Wachstum – nach dem Vorbild der Bäume konstruieren ...	374
14.7.1	Methodische Grundlagen .....	375
14.7.2	Anwendung der CAD-Methode auf biologische Objekte .....	377
14.7.3	<i>Beispiel</i> : Optimierung der Baumgestalt nach Läsionen .....	377
14.7.4	<i>Beispiel</i> : Baumgabelung als Zugzwiesel und Wurzelquerschnitt bei Biegebelastung .....	378
14.7.5	<i>Beispiel</i> : Optimaler Faserverlauf im Holz .....	378
14.7.6	Gestaltoptimierung von Maschinenelementen nach Art des biologischen Wachstums .....	380
14.7.7	<i>Beispiel</i> : Gewindeoptimierung einer orthopädischen Schraube .....	381
14.7.8	<i>Beispiel</i> : Gestaltoptimierung einer Balkenschulter .....	381
14.7.9	<i>Beispiel</i> : Dreidimensionale Formoptimierung einer Welle mit Rechteckfenster .....	382
14.7.10	Eine Weiterentwicklung: das CAIO-Verfahren .....	382
14.8	CAO-optimierte Autobauteile – weniger Material- und Energieverbrauch bei gleicher Stabilität .....	383
14.8.1	<i>Beispiel</i> : Neue Leichtmetallfelgen und Motorenhalter .....	383
14.8.2	<i>Beispiel</i> : Locherzeugung und optimale Sickenanordnung: Schaltgestänge .....	384

14.8.3	Weitere Anwendungsmöglichkeiten	385
14.9	Krümmertoptimierung – ein Beispiel aus der Rohrströmungsmechanik	386
14.10	Kurzanmerkungen zum Thema „Evolution und Optimierung“	387
14.10.1	Zum Verständnis der Konturierung von Tiger- und Bärenkrallen	387
14.10.2	Knochen und Lasthaken	387
	<i>Literatur</i>	388
<b>15</b>	<b>System und Organisation</b>	<b>391</b>
15.1	Selbstorganisation – Ein Naturprinzip und seine sozioökonomische Anwendung	391
15.1.1	Über das Prinzip Selbstorganisation	391
15.1.2	Selbstorganisation in der Sozioökonomie	392
15.1.2.1	Vergleichskenngrößen	393
15.1.2.3	Selbstorganisation in sozioökonomischen Systemen	393
15.1.2.4	Anwendungen	394
15.2	Molekulare Selbstorganisation – Oberflächen und Materialien	395
15.2.1	Sich selbst organisierende biomolekulare Materialien	395
15.2.2	Selbstorganisation bei der Herstellung organischer Solarzellen	396
15.2.3	Selbstorganisation und Nanomaschinen	396
15.3	Organismische Selbstorganisation – Ameisen und Verwaltungen	397
15.3.1	Ameisenartiges Zusammenarbeiten autonomer Roboter	397
15.3.2	Nistplatzfinden und Verteidigungsverhalten bei Honigbienen	398
15.3.3	Organisation von Erkundungspfaden bei Ameisen	400
15.4	Suchstrategien beim Absuchen von Arealen	400
15.5	Biologische Verpackungsstrategien – Entwicklung umweltökonomischer Verpackungen	401
15.5.1	Sichtweisen des Deutschen Verpackungsinstituts	401
15.5.2	Umweltökonomische Verpackungsorganisation	402
15.5.2.1	Alte und neue Zielkriterien der Verpackungstechnik	402
15.5.2.2	Technische Verpackungen und Ökologie	403
15.5.2.3	Verpackungsbionik als systemischer Lösungsansatz	403
15.5.2.4	Drei Verpackungstricks der Natur als Anforderungskriterien	404
15.5.2.5	Vernetzte Rückkopplungen bei Verpackungsnetzwerken	404
15.5.2.6	Wachstumskurven und Ausblick	404
15.6	Funktionshilfe bei komplexen Wirtschaftssystemen – Analogien können Impulse geben	407
15.6.1	Vernetzte Querbeziehungen in Beziehungsgefügen des Waldes	408
15.6.2	Zufall und Regelung im Funktionsablauf von Tiersozietäten	408
15.7	Innovationsmanagement – „Nachhilfe in Biologie“ für Manager	409
15.7.1	Postindustrielles Innovationsmanagement	409
15.7.2	Produktive Kreativität zur Förderung von Innovationen	410
15.8	Bereichsüberschreitungen 1. Art – Anregungen aus der Biologie können in andere Funktionsbereiche hineinwirken	410
15.8.1	<i>Beispiel 1:</i> Umströmung des Pinguins	410

---

15.8.1.1	Schwimmleistungen	411
15.8.1.2	Pinguin-Modelle und abstrahierte Rotationskörper	411
15.8.1.3	Strömungsvisualisierung	411
15.8.1.4	Widerstandsmessungen	412
15.8.1.5	Übertragungspotenzial	413
15.8.2	<i>Beispiel 2: Stachel des Seeigels <i>Diadema setosum</i></i>	413
15.8.2.1	Aufbau	413
15.8.2.2	Abstrahierte Ideen	413
15.8.3	<i>Beispiel 3: Das Bienenwabenprinzip</i>	414
15.8.3.1	Bienenwaben	414
15.8.3.2	Klassische Umsetzungen des Bienenwabenprinzips	414
15.8.3.3	Ziegel, wie Honigwaben strukturiert	415
15.8.3.4	Bienenwaben-Autoreifen	416
15.9	Bereichsüberschreitungen 2. Art – Verklammern von Einzelfächern	418
15.9.1	Kratzen am Kontinuum	418
15.9.2	Bionik in der Schule	418
15.10	Kurzanmerkungen zum Themenkreis „Systemik und Organisation“	419
15.10.1	Sich selbst organisierende Biomaterialien	419
15.10.2	Evolutionäres Gestalten – eine Alternative zum Recycling?	420
	<i>Literatur</i>	420
<b>16</b>	<b>Konzeptuelles und Zusammenfassendes</b>	<b>425</b>
16.1	Bionik als technische und wirtschaftliche Herausforderung – was nicht gegen Naturgesetze verstößt, ist prinzipiell machbar	425
16.2	Bionik als Betrachtungsaspekt – die fächerübergreifende kybernetische Sichtweise	425
16.2.1	Die kybernetische Betrachtungsweise	426
16.2.2	Vermaschung, Vernetzung komplexer Systeme	427
16.2.3	Ökosysteme als kybernetische Systeme	428
16.3	Bionik als Kreativitätstraining – die Vielfalt biologischer Lösungsmöglichkeiten regt die kreative Fantasie an	429
16.4	Bionik als Ansporn für vernetztes Denken – auf dem Weg zu einer zukunftsorientierten Bildung	430
16.4.1	Bewusstseinswandel zum vernetzten Denken und Reaktion der Bildungsgremien	431
16.4.2	Neue Ansätze des Lernens als Überlebensunterweisung	431
16.4.3	Probleme beim Verständnis komplexer Zusammenhänge	431
16.4.4	Spielen hilft verstehen; Unschärfe erlaubt Muster erkennen	432
16.4.5	Lernen vom Fertigungsbetrieb Natur	432
16.4.6	Fachübergreifend Ganzheit erkennen	433
16.5	Bionik und weiterführende Netzwerkplanung – vom vernetzten Denken zum Sensitivitätsmodell	433
16.6	Bionik und Ansatzmöglichkeiten – Grundregeln für bionische und biokybernetische Ansätze	435



16.6.1	Zehn Grundprinzipien natürlicher Systeme mit Vorbildfunktion für die Technik .....	435
16.6.2	Acht Grundregeln der Biokybernetik mit Vorbildfunktion für komplexe technische Systeme .....	436
16.7	Fünf Aspekte – Einkoppeln bionischer Aspekte in den Konstruktionsprozess .....	437
16.8	Nochmals Bionik und Organisation – systemisches Organisationsmanagement .....	439
16.9	Bionik als Teil einer Überlebensstrategie – vom Ökosystem zum Wirtschaftssystem .....	441
16.9.1	Biostrategie – die Summe bionischer Ansätze .....	441
16.9.2	Das Symbioseprinzip .....	442
16.9.3	Recycling und Verbundtechnologie .....	443
16.9.4	Wachstum, Funktion, Organisation .....	444
16.9.4.1	„Stetiges Wachstum“ .....	444
16.9.4.2	Exponentielles Wachstum .....	445
16.9.4.3	„Sigmoides Wachstum“ .....	445
16.9.4.4	Systemstabilität .....	446
16.9.4.5	Ausblick .....	447
16.10	Kurzanmerkungen zum Themenkreis: „Konzeptuelles und Zusammenfassendes“ .....	447
16.10.1	Neue Formen in Unterricht und Bildung .....	447
16.10.1.1	Schule und Unterricht .....	447
16.10.1.2	Bildungsschwerpunkt „Fähigkeiten entwickeln“ .....	448
16.10.2	Glühwürmchen und der Sinn allen Forschens .....	448
	<i>Literatur</i> .....	449
<b>17</b>	<b>Patente und Rechtsaspekte</b> .....	453
17.1	Zwei historische Patente – eines davon hat die Welt verändert .....	453
17.1.1	Der Stahlbeton Joseph Moniers (Patente ab 1867) .....	453
17.1.2	Der „Salzstreuer“ Raoul H. Francés (Patent 1920) .....	454
17.2	Sind Vorbilder aus der Natur patentschädigend? – Patentrechtliche Verwertung von Bionik-Erfindungen .....	455
17.2.1	Vorbemerkungen .....	455
17.2.2	Patentrechtliche Wertung der Neuheit von Bionik-Erfindungen .....	455
17.2.2.1	Mögliche Neuheit bei der Aufgabenstellung .....	456
17.2.2.3	Mögliche Neuheit des Zwecks .....	456
17.2.3	Patentrechtliche Wertung des technischen Fortschritts von Bionik-Erfindungen .....	456
17.2.4	Patentrechtliche Wertung der Erfindungshöhe von Bionik-Erfindungen .....	456
17.2.5	Aufgabe-Lösung-Zweck: neuere Sichtweise .....	457
17.3	Patentrechtliche Formulierungsprobleme – Beispiel Ausstülpungsschlauch .....	457
17.4	Patente in Biologie und Medizin I – Die Wirkungen des Patents .....	458

17.5	Patente in Biologie und Medizin II – Lizenzierung biotechnologischer Erfindungen .....	459
17.6	Geistiges Eigentum – Sinn und Unsinn von Patenten auf Lebewesen oder Teilen davon .....	460
<b>18</b>	<b>Statt eines Ausklangs: Fragen und Antworten zur Bionik .....</b>	<b>465</b>
	Personenverzeichnis .....	
	Tier- und Pflanzenverzeichnis .....	
	Sachverzeichnis .....	