



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](http://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 Bienenwabenzinnprinzip	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 <sub>2</sub> -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 DESIGN	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

<b>Inhalt</b>	<b>XIII</b>
Ein neues Designprinzip für superhydrophobe Oberflächen	94
Ökodesign: Kleidung aus Milch?	95
<b>KONSTRUKTIONEN UND GERÄTE</b>	<b>97</b>
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 Nagezahnschneidwerkzeuge	114
Molekulare Nanomotore	115
<b>BAU UND KLIMATISIERUNG</b>	<b>117</b>
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
<b>ROBOTIK UND LOKOMOTION</b>	<b>135</b>
„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 autosensitive 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

**Inhalt**

XVII

---

Internationaler Bionic-Award	285
Life Sciences und Bionik im VDI	286
VDI-Richtlinienserie zur Bionik	287
VDI-Richtlinien zur Bionik und internationale Normung	288
Beispiel: Richtlinie VDI 6225	289
Wissenschaftlich-didaktische Aufbereitung der Bionik	290
Bionikbaukästen	291
Bionik im Vorschulalter	292
Bionik als Schulfach?	293
Ausbildung und Studium in Deutschland	294
Ausbildung und Studium im In- und Ausland	295
Namens- und Institutionenregister	297
Tier- und Pflanzenregister	307
Sachverzeichnis	311



per nite inperit eingenen  
vita // in seipiterna secula

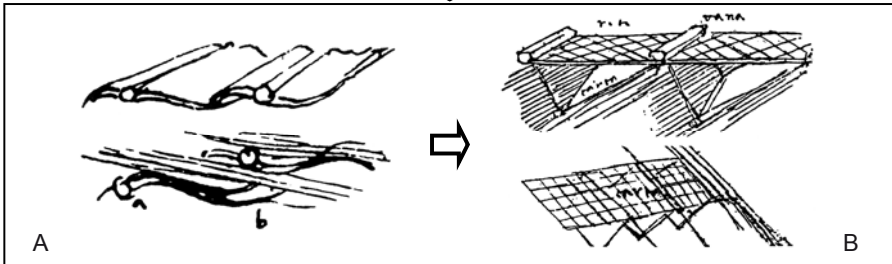
"Vorgeschichte"

resultat terra gaudijs  
sacra canit solemia sacra canit se

## „VORGESCHICHTE“

Einige wenige Literaturstellen vom frühen 16. Jahrhundert bis zum frühen 19. Jahrhundert gibt es, die Vorgehensweisen erkennen lassen, welche den heutigen Definitionen von „Technischer Biologie“ und „Bionik“ durchaus entsprechen. Leonardo da Vinci hat mit seinen Schlagflügeln bereits beiden Definitionen entsprochen. Der Bogen reicht von Borellis erstem Modellexperiment der Wissenschaftsgeschichte bis zu Cayleys „aeronautischen“ Experimenten in den 1820er Jahren und darüber hinaus.

## Im Ab- und Aufschlag unterschiedliche Schlagflügel



### Die morphologische und funktionelle Heterogenität des Vogelflügels wird in ein analoges Klappensystem umgesetzt.

#### BIOLOGIE:

Nach der Vorstellung von Leonardo da Vinci schließen sich die weitgehend überlappenden Federn eines Vogelflügels beim Abschlag spaltfrei (A, oben) und erzeugen so ein Polster verdichteter Luft, von dem sich der abwärts schlagende Flügel abstößt. Beim Aufschlag dagegen öffnet sich die Federnkaskade und lässt spaltförmige Schlitze zwischen den Einzelfedern (A, unten). So ergibt sich eine Durchströmung ohne große Widerstandserzeugung.

#### PRINZIP:

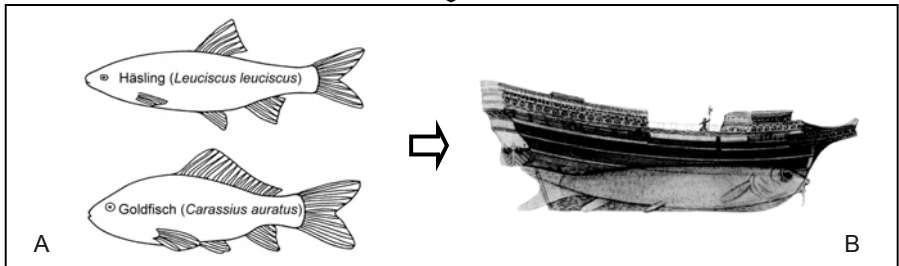
Die morphologische Prinzipfunktion des Schlagflügels nimmt nach Leonardos Meinung eine im Rhythmus der Ab- und Aufschläge sich ändernde Ausgestaltung an. Diese ergibt sich daraus, dass aufgrund der sich unsymmetrisch überlappenden Federn ein Druck von unten zum Spaltschluss führt, sodass die Federn als Festfläche wirken. Bei Druck von oben (Aufschlag) führt dieselbe Überlappungsgeometrie zur Spaltöffnung.

#### TECHNIK:

Leonardo hat als technische Realisation, analog der automatisch sich verändernden Flügelkaskade, ein System von Klappen gewählt. Diese sind so angeordnet, dass sie beim Abschlag bis zu ihren festen Anschlängen zgedrückt werden (B, oben) und sich somit zu einer einheitlichen Fläche verbinden, beim Aufschlag dagegen öffnen (B, unten). Hergestellt werden sie aus ölgetränkten Leinenstücken, die zwischen Weidenruten verspannt sind.

LITERATUR: Leonardo da Vinci (1505): Sul volo degli uccelli. Firenze. – Gibbs-Smith, C. H. (1967): Leonardo da Vincis aeronautics. Science Museum, London.

## Der Unterwasserrumpf der Baker-Galeone



**Ein sehr frühes Beispiel zeigt, dass Naturabstraktion, nicht Naturkopie, zu einer technisch verwertbaren Lösung führt.**

### BIOLOGIE:

Die Rümpfe insbesondere schnell schwimmender Fische erscheinen durchwegs strömungsoptimiert, wobei man allerdings bis heute nicht genau weiß, welche Rumpfform für welche Schwimm- und Umströmungsbedingungen die bestmögliche ist. Es hätte also wenig Sinn, beispielsweise den Unterwasserrumpf eines Schiffes nach dem Formvorbild eines *bestimmten* Fisches zu gestalten. Freilich kann die „Fischform“ an sich durchaus Anregungen geben.

### HISTORIE:

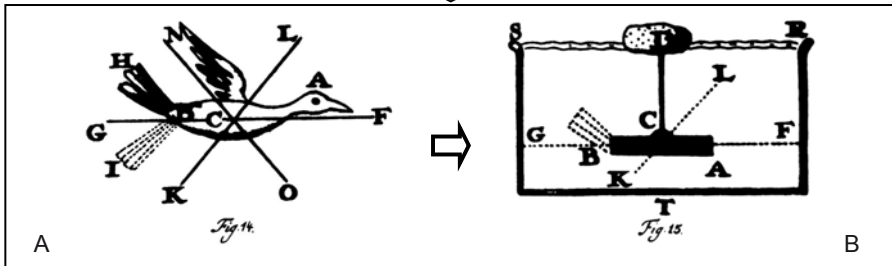
Nach Wünschen und Planungen von John Hawkins entwarf der Schiffsbaumeister Matthew Baker ab 1576 einen neuartigen Galeonentyp, der sich unter anderem durch die Reduzierung des Wasserwiderstands auszeichnen und – zusammen mit anderen Neuerungen – größere Schnelligkeit sowie bessere Wendigkeit und Kursstabilität erreichen sollte. Für die Optimierung der Unterwasserrümpfe studierte er die strömungsangepasste Form von Fischen (A).

### ERGEBNIS:

Abbildung B zeigt die Umzeichnung einer seiner Darstellungen: eine Galeone, in die ein Fisch mit Dorschkopf und Makrelenschwanz gezeichnet wurde, also eine allgemein abstrahierte Gestalt schnell schwimmender, großer Meerestische. „Erstmals flossen durch M. Baker in die Konstruktion von Schiffsrümpfen auch praktische Naturbeobachtungen ein“ (Soyener). Unter anderem wurde England zur beherrschenden Seemacht.

LITERATUR: Baker, M. (ca. 1590): Fragments of ancient Shipwrightry. Zit. nach Soyener (1993). – Soyener, J. K. (1993): Die Elisabethanische Galeone. Der Einfluss von Schiffsbau und Bewaffnung auf die Seegefechtstaktik in der zweiten Hälfte des 16. Jh. Das Logbuch 29(4), 160–165.

## Naturstudium und das erste Modellexperiment



**Bionische Vorgehensweise bedeutet Erforschen → Abstrahieren → Umsetzen. Borellis Modell war die früheste Abstraktion.**

### BIOLOGIE:

Vögel steuern in der Horizontalen wie Vertikalen durch Auslenken ihres Schwanzes. Wenn sie beispielsweise aus dem Horizontalflug steigen wollen, „geben sie Höhensteuer“: Sie kippen den Schwanz nach oben (A). Dadurch entsteht ein positives Kippmoment um die Querachse, das den Körperabschnitt hinter dem Schwerpunkt nach unten drückt und damit den Kopf anhebt. In der Folge weist die Flugbahn schräg nach oben – der Vogel steigt.

### ERSTES EXPERIMENT:

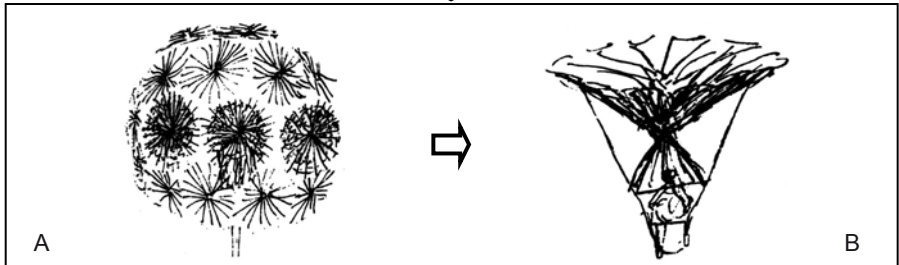
Von J. A. Borelli (1608–1679), Mathematiklehrer in Mailand, erschien 1685 das Buch *De motu animalium*, in dem die Fortbewegung von Tieren erklärt wird. Um die oben beschriebene Wirkung des Vogelschwanzes zu verstehen, hatte er sich eines Experiments bedient. In einer Wasserschale war von einem Schwimmkorken ein Stein abgehängt, an den ein schwanzartiges, schräg aufwärts gerichtetes Papierblatt angeklebt war (B). Der Kork wurde angehoben.

### MODELLMÄSSIGE ABSTRAKTION:

Dieses Experiment gilt als das erste bionische Modellexperiment. An einem analog einem natürlichem Vorbild gefertigten Modell kann man das Prinzip herausarbeiten, nach dem ein Naturvorgang – der selbst nicht so leicht zu untersuchen ist – abläuft. Somit wird der für bionisches Vorgehen unabdingbare Zwischenschritt der Abstraktion vollzogen. Im vorliegenden Beispiel: „Erzeugung eines kopfaufrichtenden Kippmoments in der Natur wie am Modell“.

LITERATUR: Borelli, J. M. (1685): *De motu animalium (Opus postumum)*. Angeli Barnabi. 2. Aufl. Ludg. Batav. Neudruck Leipzig 1927.

## Cayleys Wiesenbocksbart-Fallschirm



↓

**Nicht Blaupausen, sondern Prinzipien bedeuten „Bionik betreiben“. Cayleys Fallschirm war eine urbionische Erfindung.**

↓

**BIOLOGIE:**

Die Diasporen des Wiesenbocksbarts (*Tragopogon orientalis*; A) gehören zu den „Fallschirmfliegern“, ebenso wie die entsprechenden Verbreitungseinrichtungen beim Löwenzahn (*Taraxacum officinale*) oder – mit vernetzten Pappusstrahlen – beim Baldrian (*Valeriana officinalis*). Zwei typische, funktionelle Eigentümlichkeiten sorgen für Stabilität: der tief liegende Schwerpunkt und die leicht nach oben gebogene, „dihydrate“ Form des Pappus-fallschirms.

↓

**PRINZIP:**

Das Nüsschen liegt infolge eines lang ausgezogenen Pappusträgers weit vom Pappusschirm entfernt; damit liegt der Schwerpunkt tief. So ist auch das Rückstellmoment groß, wenn die treibende Diaspore durch einen Windstoß aus ihrer stabilen Lage verkippt wird. Die Schrägform des Schirmchens gibt größeren Widerstand an der abwärts gekippten Seite und damit ein zusätzliches Rückstellmoment. Die beiden Prinzipien addieren sich also.

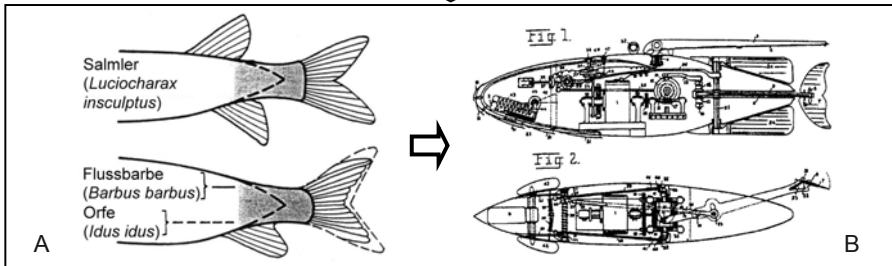
↓

**TECHNIK:**

Sir George Cayley (1773–1857), Begründer der wissenschaftlichen Aeronautik (Flugphysik), hat vielfach Naturformen studiert, um Techniken anzustoßen, so beispielsweise auch Delfin- und Spechtrümpfe als Vorbilder für lenkbare Ballons. Nach den beiden Wiesenbocksbart-Prinzipien hat er 1829 eine auto-stabile Fallschirmform entworfen (B), die sich beim Absinken nicht mehr überschlagen konnte und so die Sicherheit beim Absprung erhöhen sollte.

**LITERATUR:** Cayley, G. (ab 1809): On aerial navigation, parts I, II & III. Nicholsons Archiv 24, 25 & 26. – Gibbs-Smith, C. H. (1962): Sir George Cayleys aeronautics. Science Museum, London.

## Die Loslösung vom „Formvorbild Natur“ fiel schwer



**Anfangs erhielt die Naturform (durch Vernachlässigung des Funktionsbegriffs) eine unangemessen große Bedeutung.**

### BIOLOGIE ALS UNREFLEKTIERTES VORBILD:

Schnell schwimmende größere Fische haben einen charakteristischen Körperbau, seien es nun Makrelen, Lachse, Thunfische, Haie oder andere schnelle Schwimmer. Auch die Schwanzflossen sind sich mit ihrer halbmondförmigen Ausgestaltung recht ähnlich (A). Die beeindruckenden Schwimmleistungen dieser Fischformen waren bekannt. Es lag also nahe, frühen Schwimrobotern eine übergenaue Fischform und Flossenausgestaltung zu geben (B).

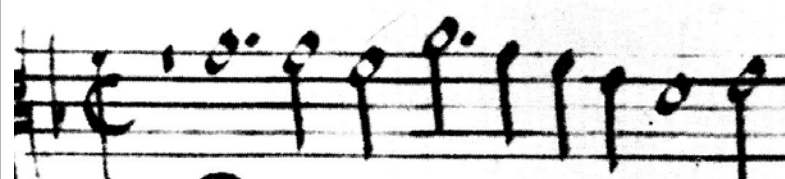
### MORPHOLOGISCHE, NICHT FUNKTIONSNOTWENDIGE ÄHNLICHKEIT:

Einem Gerät, das unter Wasser eine Leine schleppen sollte, hat C. Lie im Jahr 1905 die Gestalt eines Fisches gegeben und es, einigermaßen logisch, denn auch als „Lotsenfisch“ bezeichnet. Die vortriebserzeugende Schwanzflosse hatte einen Umriss, wie man ihn etwa vom Kabeljau her kennt. Das Gerät hatte auch an gleichen Stellen wie ein Fisch Rücken-, Bauch- und Brustflossen, die entsprechend für Seiten- und Tiefensteuerung verwendet wurden.

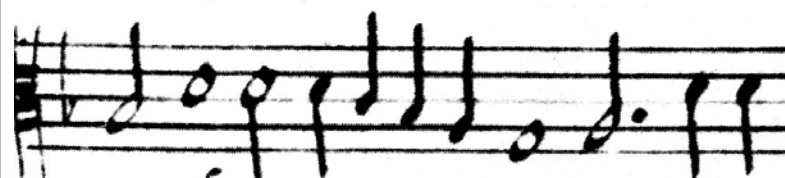
### ZWECKENTSPRECHUNG:

Das Schleppgerät muss nicht notwendigerweise die Form eines Fisches haben; je nach den Reynolds-Zahlen, bei denen es sich bewegt, wären andere Formen angemessener. Es muss auch keinen Schwanzflossenantrieb besitzen. Manövrierfähiger wäre ein Antrieb über einen Schwenkpropeller. Einzig die Lage von Seiten- und Tiefensteuer hinter beziehungsweise vor dem Schwerpunkt wäre sinnvollerweise so wie beim Fisch verwirklicht zu wählen.

LITERATUR: Lie, C. (1905): Vorrichtung zum Lotsen von Schiffen. Kaiserliches Patentamt Nr. 21315.



*Spiritus me-* us

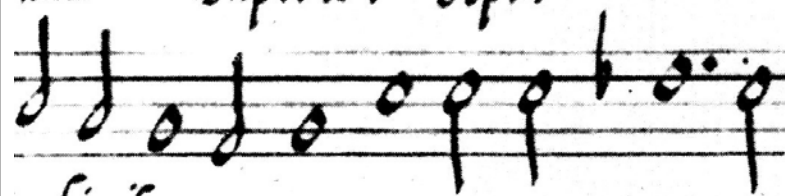


*sur dies me-* i brem

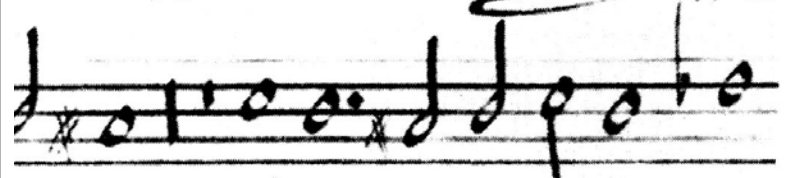


*"Frühgeschichte"*

*' superest sepul-*



*crucibus*



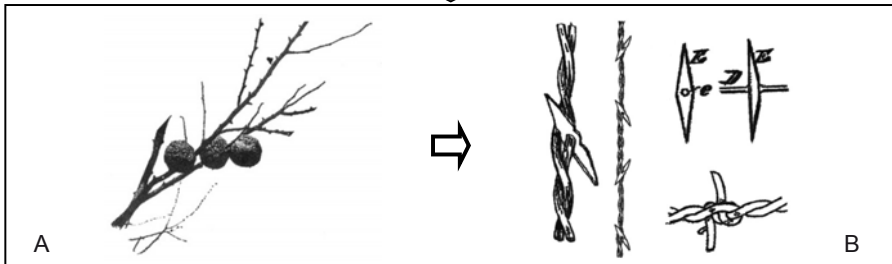
*crucatur oculus men*



## „FRÜHGESCHICHTE“

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts gibt es zunehmend mehr Ansätze für ein „Lernen von der Natur“, die in technische Umsetzungen münden oder diese zumindest anregen. Wenig bekannt ist, dass Stacheldraht und Eisenbeton bionische Erfindungen sind. Im Ausdruck „Moniereisen“ der Maurerzunft lebt der Erfinder des Eisenbetons, J. Monier, fort. Neben naiv anmutenden Umsetzungsversuchen noch im 20. Jahrhundert gibt es immer häufiger auch solche, bei denen solide Physik an der Basis steht, zum Beispiel Schwingflossenantriebe. Die Reihe der Ansätze zieht sich bis zu den Zeppeleinen der 1920er Jahre hin und in die Kriegszeit hinein.

## Stacheldraht ist eine bionische Erfindung



**Manchmal steckt ein bionischer Hintergrund in einer Erfindung, an die sich längst niemand mehr erinnert: Stacheldraht.**

### BIOLOGIE:

Den Farmern Nordamerikas war seit Beginn der Viehhaltung bekannt, dass Weidetiere durch nichts dazu zu bewegen sind, dornige Hecken der Osage-Orange (*Maclura pomifera*), zu durchdringen. Deshalb wurden diese Hecken (A) als Weidelandtrenner und Pferchumzäunungen angepflanzt. Die zunehmende Größe der abzugrenzenden Weidegebiete verlangte aber nach technischen Lösungen, zumal die *Maclura*-Hecken nur sehr langsam wachen.

### PRINZIP:

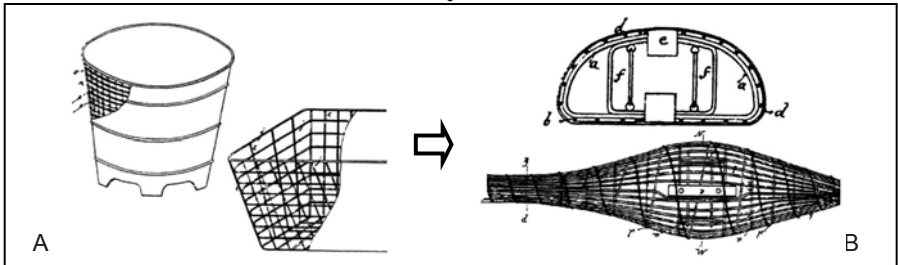
Mit dem ersten Patent auf einen „stacheligen Draht“ (Kelly, 1868) wurden die scharfen Schneiden an den Dornen nahe der Basis eines Osage-Astes nachgeahmt, und zwar durch doppelt zugespitzte, dornartige Metallplättchen zwischen zwei verwundenen Drahtsträngen (B). Das Naturvorbild ist in der Patentschrift belegt: „My invention relates to *imparting to fences of wires a character approximating that of the thorn hedge*“.

### WEITERENTWICKLUNG:

Da der Kelly-Draht wegen der komplizierten Handarbeit teuer war, wurde er von maschinell zu fertigenden Produkten ersetzt. Heute wird er nur noch im militärischen Bereich verwendet, wo Geld keine Rolle spielt. Praktikabler war der Glidden-Draht, der 1874 zum Patent angemeldet wurde. Die von Hand einzuwendenden, scharfen Metallplättchen wurden durch maschinell eingedrehte Doppeldornen ersetzt (B). Heute gibt es etwa 200 Stacheldrahtpatente.

LITERATUR: Kelly, M. (1868): Improvement in fences. US Patent No. 74379. – Glidden, J. F. (1874): Improvement in wire fences. US Patent No. 157124.

## Stahlbeton ist eine bionische Erfindung



**Von einer bionischen Erfindung kann man immer dann sprechen, wenn Naturvorbilder die entscheidende Anregung gaben.**

### PROBLEM UND BIOLOGISCHES VORBILD:

Der Pariser „horticulteur et paysachiste“ Joseph Monier hatte sich darüber geärgert, wie teuer und bruchgefährdet steinerne oder tönernerne Pflanzentöpfe sind. Andererseits hatte er beobachtet, dass die aus einem Opuntienblatt herausgewitterte, vernetzte Sklerenchymstruktur der Blattmasse Festigkeit gibt. Daraus entstand die ab 1867 patentierte Idee, Pflanzentöpfe in Mehrkomponentenbauweise herzustellen, und zwar auf preiswerte Weise.

### PRINZIP:

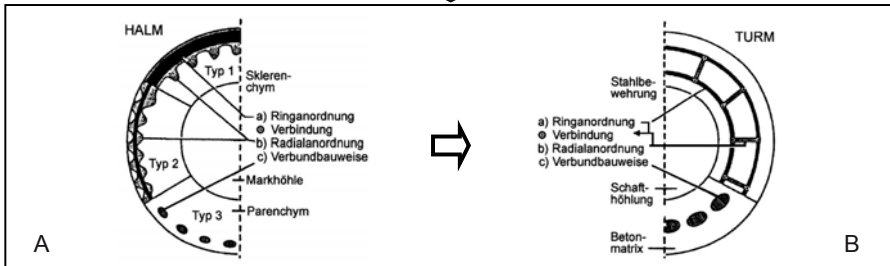
In der Pflanzenwelt ist die *Parenchym*masse aus eng nebeneinander stehenden, turgor stabilisierten Zellen relativ druckfest, aber zugempfindlich. Andererseits ist die vernetzte Struktur des *Sklerenchyms*, mit seinen vielfach verzweigten, lang gestreckte Bündel bildenden Zellen, zwar gegen seitliche Drücke nicht sehr stabil, dafür aber ausgesprochen zugfest. Die Kombination der Materialien vereint so in idealer Weise Druckfestigkeit mit Zugfestigkeit.

### TECHNIK:

Die druckfeste Parenchymmasse hält das zugfeste Sklerenchymnetz auf Abstand. Dem letzteren ist im technischen Bereich ein Drahtskelett analog, für einen Pflanzkübel ein Drahtkorb (A), für eine Eisenbahnschwelle eine entsprechend geformte Drahtwicklung (B), dem ersteren die Matrix des eingegossenen, erhärtenden Zements. Somit kombinieren auch Schwelle oder Kübel aus Zement mit Drahtmatrixeinlage Druck- mit Zugfestigkeit: Stahlbeton.

LITERATUR: Monier, J. (1867): Nouveau système de caisses et bassins mobiles et portatifs au fer et ciment applicable à l horticulture. Prevet Français Nr. 77165. – Monier, J. (1880): Verbindung von Metallgerippen mit Cement. Kaiserliches Patentamt Nr. 14673, Kl. 80.

## Wichtigkeit von Analogiebetrachtungen: Beton



**Die Wichtigkeit der Analogieforschung wurde erstmals von W. Rasdorsky am Beispiel des Eisenbetons herausgestellt.**

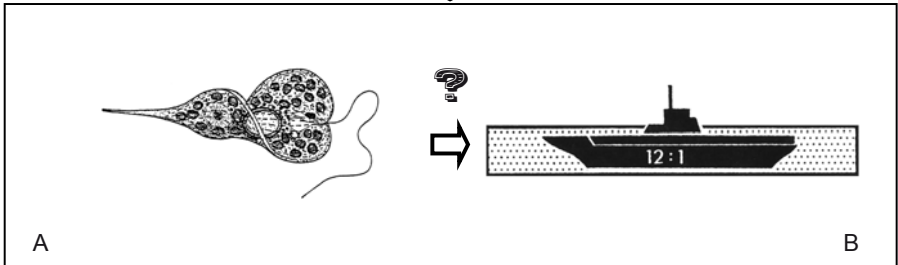
**TECHNISCHE BESCHREIBUNG UND BIOLOGISCHES VERSTÄNDNIS:**  
 W. Rasdorsky, der die Doppel-T-Träger-Vorstellung von S. Schwendener kritisch betrachtete, gelangte „durch die in den Jahren 1906 bis 1907 gehörten Vorträge über den Eisenbetonbau“ zur Vorstellung, dass die Pflanze als Verbundbau aufzufassen sei, „in dem die Sklerenchymstränge der Eisenarmierung, das Parenchymgewebe der Betonmatrix (gemeint war wohl: der Zementmatrix) entsprechen“: der richtige Weg zum funktionellen Verständnis.

**PRINZIP DER ANALOGIEFORSCHUNG:**  
 Mit dem oben genannten Zitat aus dem Jahr 1911 war bereits sehr früh die heute so wichtige heuristische Rolle der *Analogieforschung* aufgezeigt worden: „Zwischen den technischen Verbundbauten und den Pflanzenorganen besteht demnach im ganzen Konstruktionsprinzip eine *weitgehende Analogie*.“ Giesenhagen vermerkt 1912, dass Blätter „mit ihren Festigungsgeweben einen Gitterrost bilden wie Eiseneinlagen in einer Eisenbetondecke“ (A, B).

**BEDEUTUNG DER ANALOGIEFORSCHUNG:**  
 Die frühe Analogisierung führte nicht nur zum richtigen Verständnis des morphologischen Aufbaus, sondern befruchtete auch Sichtweisen der folgenden Forschergeneration. Bachmann verglich 1922 die Zugfaseranordnung beim Bambus mit „einer Bewehrung der bei Biegung am stärksten beanspruchten Außenschicht (ähnlich wie beim Eisenbeton). Bower (1923): „Ordinary herbeaceous plants are constructed on the same principle.“

**LITERATUR:** Rasdorsky, W. (1911): Bull. de la Société des Naturalistes de Moscou, Sect. Biol. 4, 351–405. – Rasdorsky, W. (1928): Ber. d. Dtsch. Bot. Ges. 46, 48–104. – Giesenhagen, K. (1912): Handwörterbuch d. Naturwiss. 2, 1–35. – Bachmann, F. (1922): Jb. Wiss. Bot. 61, 372.

## Naive Umsetzungsvorschläge führen ins Leere



**Auf Umsetzungsvorschläge, welche die physikalisch-technischen Grundlagen nicht einbeziehen, muss man verzichten.**

BIOTECHNISCHER VERGLEICH FÜHRT SCHON ZU IDEEN, ABER ...:

R. H. Francé, einer der frühen Verfechter eines „Lernens von der Natur für die Technik“, hat beispielsweise in seinem 1919 erschienenen Werk „Die technischen Leistungen der Pflanzen“ bereits versucht, Fachgrenzen zu überwinden. So hat er auch vorgeschlagen, ein „rotierendes U-Boot“ nach dem Vorbild der „Wasserschraubenform“ einer einzelligen Grünalge zu bauen. Vertreter der Gattung *Phacus* und andere bewegen sich tatsächlich schraubig.

... BIOLOGIE UND TECHNIK SIND NICHT IMMER VERGLEICHBAR:

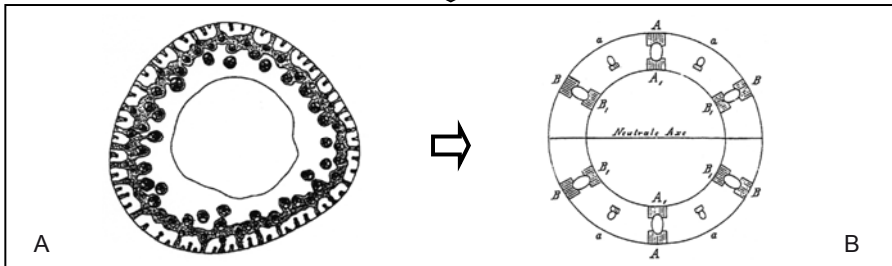
Ein Vergleich ist in diesem Fall sinnlos, da die physikalischen Voraussetzungen für die Bewegung einer 1/10 mm langen Grünalge (A) und eines 30 m langen Unterseebootes völlig (B) unterschiedlich sind. Nicht nur die Längen unterscheiden sich um den Faktor  $3 \cdot 10^5$ , auch die Geschwindigkeiten unterscheiden sich in ähnlicher Weise. Damit sind auch die Re-Zahlen, welche die Umströmungscharakteristik kennzeichnen, etwa im Verhältnis  $1:10^6$  unterschiedlich.

TECHNIK:

Ein U-Boot könnte sich mitsamt seiner Mannschaft nicht schraubig-rotierend durchs Wasser drehen. Den Bewegungsmechanismus der kleinen Grünalge kann man auch nicht auf die Großausführung übertragen. So sind beispielsweise die Anteile von Druck- und Reibungswiderstand völlig unterschiedlich. Ein U-Boot könnte so nicht schwimmen. Umgekehrt gilt das Gleiche: Kleinalgen mit U-Boot-Form und -Antrieb würden im Wasser nicht vorankommen.

LITERATUR: Francé, R. H. (1919): Die technischen Leistungen der Pflanzen. Veit & Co., Leipzig.

## Technisch-physikalische Grundlagen als Basis



### Neue oder wiederentdeckte technisch-physikalische Erkenntnisse wurden schon früh als Erklärungsprinzipien benutzt.

#### BIOLOGIE:

Querschnitte durch Pflanzenstängel oder -halme, etwa beim Schneidried (*Cladium mariscus*; A), sind in der Regel durch ringförmig verschmolzene sklerenchymatische Tragestrukturen gekennzeichnet. Diese formieren oft zentrifugale und zentripetale Ausbeulungen. Solche Strukturen weisen nicht selten Querschnittsformen auf, die technischen Doppel-T-Trägern ähneln. Sie wurden deshalb auch als „biologische Doppel-T-Träger“ beschrieben.

#### PRINZIP:

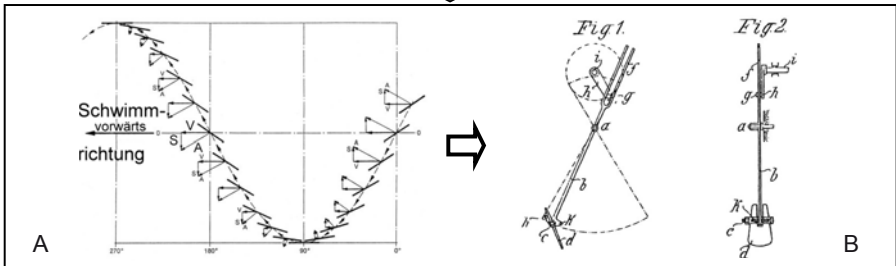
Von technischen Doppel-T-Trägern weiß man seit ihrer Einführung in den Beton- und Schienenbau des 19. Jahrhunderts, dass sie mit ihrem typischen Querschnitt ein besonders hohes Flächenträgheitsmoment aufweisen und dadurch relativ biege- und verwindungssteif sind, erst recht, wenn sie zu radiären Komplexen zusammengeschlossen sind (B): Technische Biologie kann im Analogschluss das So-Sein biologischer Strukturen verständlich machen.

#### ERKLÄRUNG DURCH EIN ANDERES FACHGEBIET:

S. Schwendener (Botaniker und Biomechaniker, Ende des 19. Jahrhunderts) wurde „durch die Betrachtung eiserner Brücken und Bahnhofshallen mit ihren zahlreichen Doppel-T-Trägern“ dazu angeregt, biegesteife Pflanzenhalme als Systeme solcher Träger aufzufassen. Im Jahr 1888 schrieb er in einer Abhandlung: „Die Pflanze konstruiert zweifellos nach denselben Regeln wie die Ingenieure, nur dass ihre Technik eine sehr viel feinere und vollendetere ist.“

LITERATUR: Schwendener, S. (1874): Das mechanische Prinzip im anatomischen Bau der Monocotylen ... Engelmann, Leipzig. – Schwendener, S. (1888): Über Richtungen und Ziele der mikroskopisch botanischen Forschung. Naturwiss. Wochenschrift, Berlin.

## „Fischpropeller“ nach Art des Schwanzflossenschlags



**In älteren Patentschriften ist der Hinweis auf das „Vorbild Natur“ noch regelmäßig angegeben, in neueren nicht mehr.**

### BIOLOGIE:

Die Effizienz des Schwanzflossenantriebs bei Fischen wurde seit alters als vorbildhaft angesehen. In der Patentschrift von Zdenko Ritter von Limbeck steht: „Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Flossenpropeller für Schiffe, welcher an Stelle eines Schraubenpropellers am Hinterschiff angebracht ist und *nach Art der Schwanzflosse der Fische* durch Ausschläge nach Steuerbord und Backbord eine vorwärts treibende Bewegung ausübt.“

### PRINZIP:

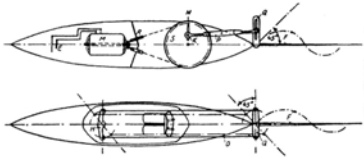
Die Schuberzeugung bei einer hin und her schwingenden Flosse geschieht, indem sie mit einem positiven Anstellwinkel gegenüber dem beaufschlagten Wasser eingestellt wird (A). Dadurch entsteht neben einer Widerstandskomponente in Schlagrichtung eine Auftriebskomponente A senkrecht dazu, die sich ihrerseits in eine Schubkomponente V nach vorn und eine Seitentriebskomponente S senkrecht dazu zerlegt.

### TECHNIK:

Der Antrieb besteht aus einem Exzenter-Gabel-System (B), das eine Schubstange b hin und her schwingen lässt. Am Ende ist eine Flosse eingelenkt, die exzentrisch gebaut ist, sodass die breitere Fläche d stets durch den Wasserdruck verstell wird. Sie schlägt gegen den Anschlag h und den gegenüberstehenden Anschlag und stellt sich dadurch von selbst so ein, dass sie stets Schub erzeugt; an den Umkehrpunkten wechselt die angeströmte Seite.

LITERATUR: Ritter von Limbeck, Z. (1903): Fischpropeller für Schiffe. Kaiserliches Patentamt Nr. 153810, Kl. 65f.

## „Wellenpropeller“ mit elastischer Flosse



A



B

**Es gibt wenige Beispiele im Bereich früher bionischer Umsetzung für den Schritt von Idee/Modell zur Großausführung.**

### BIOLOGIE UND TECHNIK:

Nach dem Studium der Vortriebsmechanismen von Fischen wagte der Ingenieur H. Schramm, der seinem Buch *Die Schwingung als Vortriebsfaktor in Natur und Technik* den apodiktischen Untertitel „Gedanken eines Ingenieurs über das Problem der schwingenden Propulsion in Technik und Biologie“ gegeben hatte, die Umsetzung von Modellen in Großausführungen. Es wurden Boote mit schwingenden Heckflossen gebaut und getestet.

### PRINZIP:

Heckflossen (A) wurden in Horizontalschwingungen versetzt. Dabei wurde erkannt, „... dass die Elastizität der Flosse nicht durchgehend die gleiche sein durfte, sondern dass an der Angriffsstelle der Flossendruckkraft, also an dem gelenkig mit dem Bootsheck verbundenen Vorderteil der Flosse, diese möglichst kräftig und wenig elastisch und nach dem hinteren Ende zu immer weicher und biegsamer ausgebildet sein musste.“ – Analogie zum Fisch.

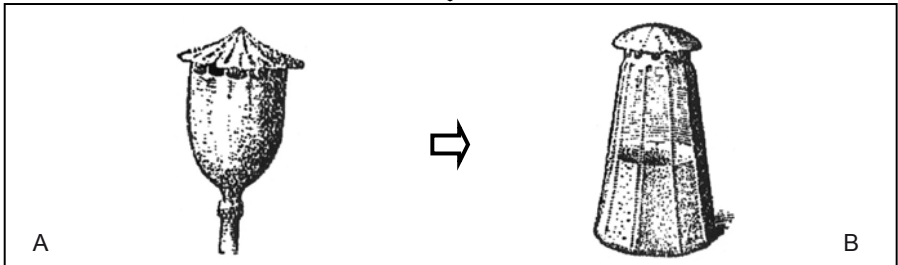
### TECHNIK:

Fünf derartige Flossen wurden getestet. Die besten zeigten Wirkungsgrade, die höher waren als die von Schiffspropellern. Bei bestimmten Randbedingungen erreichte ein Schraubenpropeller einen Wirkungsgrad von 0,52, der Schwingungspropeller dagegen 0,78. Der Ansatz wurde auf ein Zweier-Paddelboot erweitert (B). Mit der besten Flosse, die fischflossenartig in eine haarscharfe Schneide auslief, wurde ein besonders hoher Standschub erreicht.

LITERATUR: Schramm, H. (1927): *Die Schwingung als Vortriebsfaktor in Natur und Technik. Gedanken eines Ingenieurs über das Problem der schwingenden Propulsion in Technik und Biologie.* De Gruyter, Leipzig.



## Test für das Patentamt: Francés Salzstreuer



**Wird das Patentamt eine „Erfindung, welche die Natur schon gemacht hat“, als patentfähig erachten? Der Test war positiv.**

### PROBLEMSTELLUNG:

Raoul H. Francé, der Entdecker der Kleinlebewelt im Boden („Edaphon“), versuchte, Mikroorganismen nach gleichmäßiger Impfung einer Bodenfläche – „ganz gleichmäßig, jeden Quadratmillimeter mit einem Dutzend der kleinsten Lebenskeime bestreuen“ – zu vermehren. Alle in den 1920er Jahren üblichen Streueinrichtungen wie konventionelle Salzstreuer, Puderstreuer für Kinder, Zerstäuber oder Siebe, streuten aber durchaus ungleichmäßig aus.

### PRINZIP:

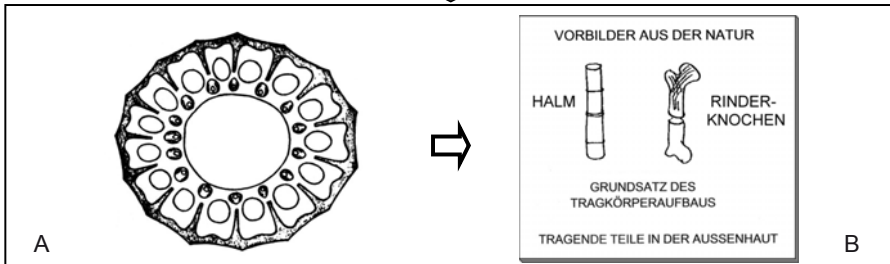
„Ich fand die Problemlösung in den Kapseln des Mohns (A). Jedermann kennt sie, jedermann weiß, dass die unter dem Deckel in Kreisen angeordneten Löcher dazu dienen, die kleinen Mohnkörner auszustreuen, aber noch nie hat jemand daran gedacht, dass hier eine Erfindung der Pflanze gegeben sei, welche die unsrigen übertrifft. Eine Mohnkapsel, gefüllt mit den Körnern der Erde, streute sehr viel gleichmäßiger aus, als es mir bis dahin gelungen war.“

### PATENT:

„Mit einem kühnen Entschluss wollte ich Gewissheit haben. Ich zeichnete einen Streuer für Salz, für Puder oder sonstige medizinische Zwecke nach dem Modell der Mohnkapseln (B) und meldete das als Erfindung zum Musterrecht an. Man hat mir den Schutz nicht bestritten; eine Erfindung war gemacht. Nach kurzem erhielt ich das vom Patentamt bestätigt ...“ Francé hielt sich, sympathisch bescheiden, nur für einen „elenden Kopisten der Natur“.

LITERATUR: Francé, R. H. (1919): Die technischen Leistungen der Pflanzen. Veit & Co., Leipzig. – Francé, R. H. (ca. 1929): Deutsches Patentamt Nr. 723730.

## Zeppelinkonstruktionen der 1920er Jahre



### Der Leichtbau biologischer Halme mit weit außen liegendem Tragwerk lieferte Anregungen für Zeppelin-Tragestrukturen.

#### BIOLOGIE:

Grashalme und Schachtelhalme (A) tragen ihr sklerenchymatisches Versteifungssystem in Form miteinander verbundener Ringstrukturen weit peripher. Insbesondere um die Leitbündel legen sich Stützelemente so, dass sie versteifende Röhren formen, die mit den Nachbarröhren wiederum sklerenchymatisch verbunden sind und eine Art Ringform ergeben. Bisweilen kommen auch effektive, radial ausgerichtete Doppel-T-Träger vor.

#### PRINZIP:

Durch die beschriebene Anordnung resultiert ein großes Flächenträgheitsmoment dieser Trägerstrukturen, ein wesentlicher Grund für ihre beträchtliche Biegungs- und Verwindungssteifigkeit. Es gibt zahlreiche Typen, von den Schachtelhalmen bis zu den Blütenpflanzen, die aber alle nach dem gleichen Prinzip funktionieren. Durch die Nach-außen-Verlagerung wird das Stützsystem aber nicht so sehr ausgedünnt, dass es gefährlich beulungsinstabil würde.

#### TECHNIK:

Für die Konzeption des Aluminiumtrageskeletts von Zeppelinen hat man sowohl Halme als auch Knochen „nach dem Vorbild der Natur“ studiert (B). Was den „Grundsatz des Tragkörperaufbaus“ anbelangt, war man daran interessiert, „tragende Teile der Außenhaut“ zu lokalisieren. Eine direkte Umsetzung der Studien ist nicht nachweisbar. Der qualitative Nachweis jedoch, dass man bei Graf Zeppelin schon Bionik betrieben hat, ist gesichert.

LITERATUR: Zeichnung aus einer technischen Publikation über Messungen und Rechnungen an Zeppelinmodellen (Bauweisen, Strömungsverhalten, Antriebe etc.) in einem Museum. Nicht näher eruiert. Skizze B ist eine direkte Nachzeichnung des Ausstellungsblatts.