

Werner Nachtigall
Alfred Wisser

Bionik in Beispielen

250 illustrierte Ansätze

 Springer Spektrum

Bionik in Beispielen



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

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



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

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

Werner Nachtigall • Alfred Wisser

Bionik in Beispielen

250 illustrierte Ansätze

 Springer Spektrum

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

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

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

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

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

Springer Spektrum

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

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

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Planung und Lektorat: Dr. Vera Spillner, Stefanie Adam

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

Einbandentwurf: deblik, Berlin

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

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

*Für Martha
und Christa.*

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

J.E. Steele (1960)

Vorbemerkungen – aller Guten Dinge sind drei

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

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

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

Damit komplettiert sich also die angesprochene Trilogie:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Die Arbeit an dem Buch haben wir uns so aufgeteilt, dass W. N. die Erstausswahl 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 ₂ -Produktion durch Bakterien-Algen-Symbiose | 62 |
| Wassergewinnung durch Nebelkondensation | 63 |
| Verpackung in Natur und Wirtschaft | 64 |
| Selbstreinigung des Lotusblatts und Lotusan | 65 |
| „MODERNE“ | 67 |
| MATERIALIEN UND STRUKTUREN | 69 |
| Selbstreparierende Verbundwerkstoffe | 71 |
| Nanomaterialien, Baustoffe und Bionik | 72 |
| Anorganisch-organische Nanokomposite in der Lacktechnik | 73 |
| Künstliche Spinnen- und Raupenseide | 74 |
| Byssusfäden: Abriebfest und zugleich dehnbar | 75 |
| Bionik als Ideenquelle für technische Dämmmaterialien | 76 |
| Dämmung mit Naturfasern | 77 |
| Naturfasern in Verbundmaterialien | 78 |
| „Andersartige“ Verwendung biologischer Bestandteile | 79 |
| Biobasierte Materialien | 80 |
| Biobasierte Kunststoffe – kein Widerspruch in sich | 81 |
| Ressourceneffizienzsteigerung durch Biokunststoffe | 82 |
| Biologisch abbaubare Biokunststoffe | 83 |
| Biokunststoffe verlassen allmählich den Exotenstatus | 84 |
| Biokunststoffe – aus der Natur, für Nachhaltigkeit | 85 |
| FORMGESTALTUNG UND DESIGNEN | 87 |
| Gibt es ein „Biodesign“ oder ein „biologisches Design“? | 89 |
| Formales und funktionelles Design – Inspiration | 90 |
| Biomorphe und bionische Architektur | 91 |
| Diatomeen und das Design von Schalen und Matten | 92 |
| Zoomorphismus und Symbolismus | 93 |

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

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

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

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

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

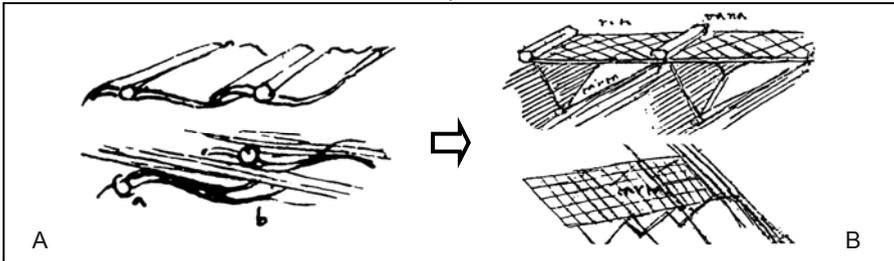
"Vorgeschichte"

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:

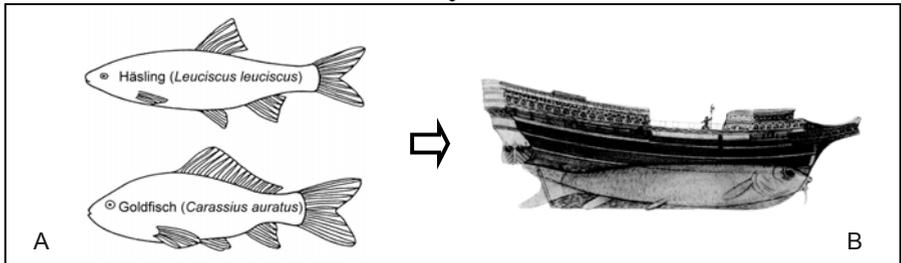
Die morphologische Prinzipfunktion des Schlagflügels nimmt nach Leonardos Meinung eine im Rhythmus der Ab- und Aufschläge sich ändernde Ausgestaltung an. Diese ergibt sich daraus, dass aufgrund der sich unsymmetrisch überlappenden Federn ein Druck von unten zum Spaltschluss führt, sodass die Federn als 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 Anschlägen 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:

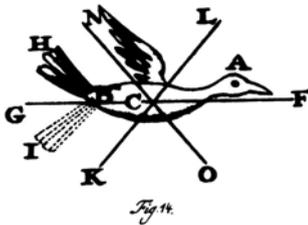
Nach Wünschen und Planungen von John Hawkins entwarf der Schiffsbaumeister Matthew Baker ab 1576 einen neuartigen Galeonentyp, der sich unter anderem durch die Reduzierung des Wasserwiderstands auszeichnen und – zusammen mit anderen Neuerungen – größere Schnelligkeit sowie bessere Wendigkeit und Kursstabilität 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.

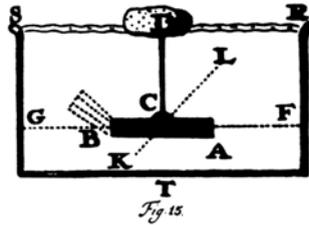
LITERATUR: Baker, M. (ca. 1590): Fragments of ancient Shipwrightry. Zit. nach Soyener (1993). – Soyener, J. K. (1993): Die Elisabethanische Galeone. Der Einfluss von Schiffsbau und Bewaffnung auf die Seegefechtstaktik in der zweiten Hälfte des 16. Jh. Das Logbuch 29(4), 160–165.

Naturstudium und das erste Modellexperiment



A

Fig. 14



B

Fig. 15

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:

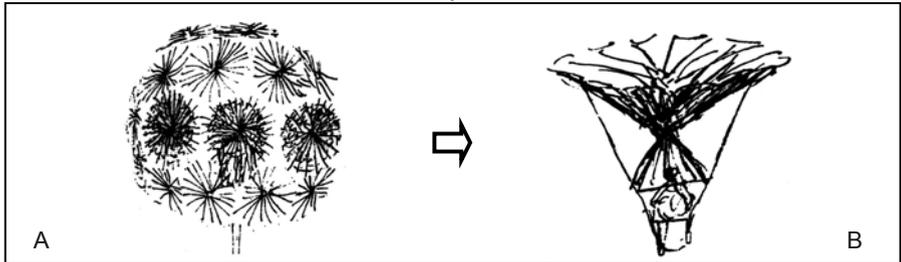
Von J. A. Borelli (1608–1679), Mathematiklehrer in Mailand, erschien 1685 das Buch *De motu animalium*, in dem die Fortbewegung von Tieren erklärt wird. Um die oben beschriebene Wirkung des Vogelschwanzes zu verstehen, hatte er sich eines Experiments bedient. In einer Wasserschale war von einem Schwimmkorken 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 orientale*; 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, „dihydrale“ 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.

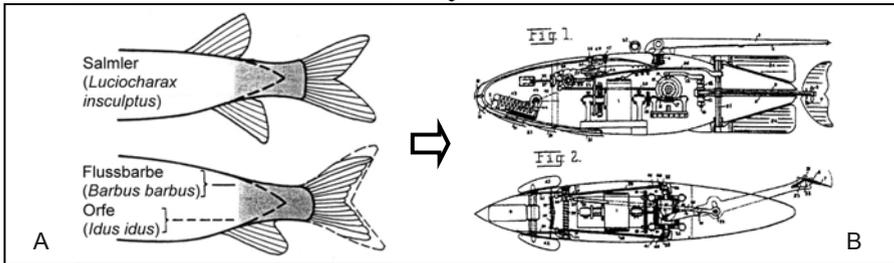
↓

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 Schwimmrobotern 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.

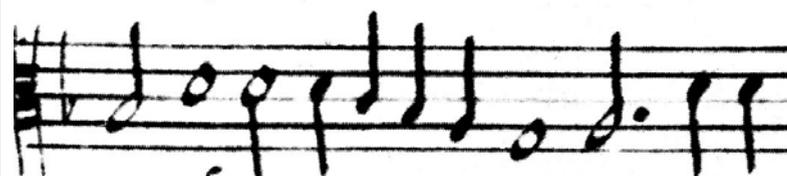
ZWECKENTSPRECHUNG:

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

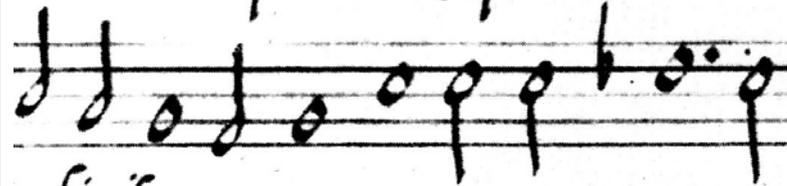


sur dies me- i bremi

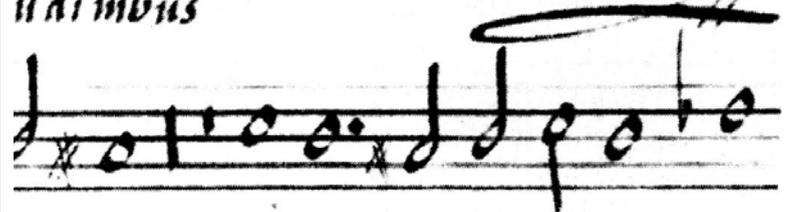


"Frühgeschichte"

superest sepul-



crucibus

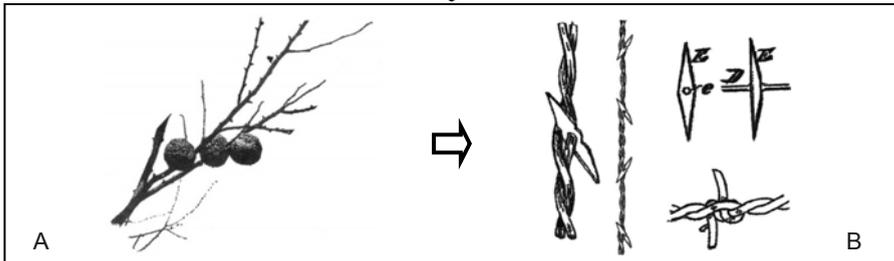


crucatur oculus men

„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:

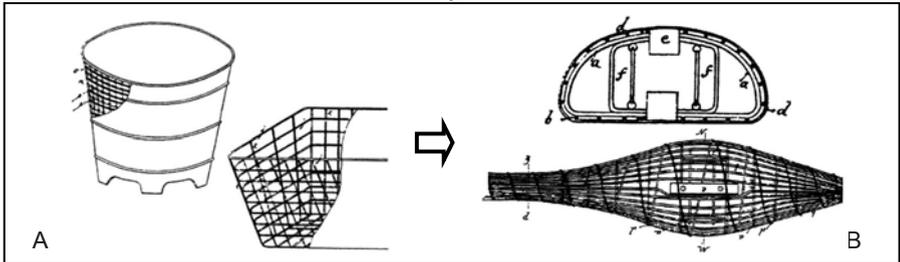
Mit dem ersten Patent auf einen „stacheligen Draht“ (Kelly, 1868) wurden die scharfen Schneiden an den Dornen nahe der Basis eines Osage-Astes nachgeahmt, und zwar durch doppelt zugespitzte, dornartige Metallplättchen zwischen zwei verwundenen Drahtsträngen (B). Das Naturvorbild ist in der Patentschrift 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:

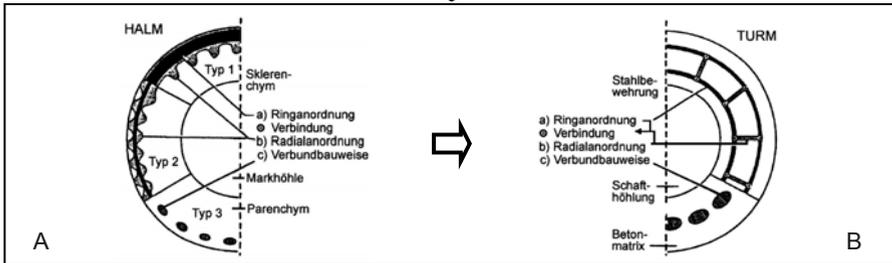
In der Pflanzenwelt ist die *Parenchym*masse aus eng nebeneinander stehenden, turgorstabilisierten Zellen relativ druckfest, aber zugempfindlich. Andererseits ist die vernetzte Struktur des *Sklerenchyms*, mit seinen vielfach verzweigten, lang gestreckte Bündel bildenden Zellen, zwar gegen seitliche 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.

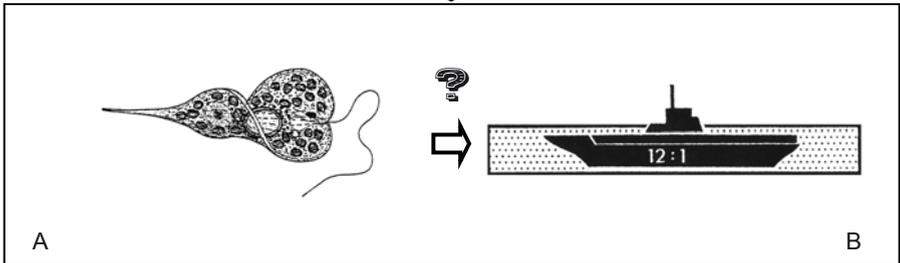
TECHNISCHE BESCHREIBUNG UND BIOLOGISCHES VERSTÄNDNIS:
 W. Rasdorsky, der die Doppel-T-Träger-Vorstellung von S. Schwendener kritisch betrachtete, gelangte „durch die in den Jahren 1906 bis 1907 gehörten Vorträge über den Eisenbetonbau“ zur Vorstellung, dass die Pflanze als Verbundbau aufzufassen sei, „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:

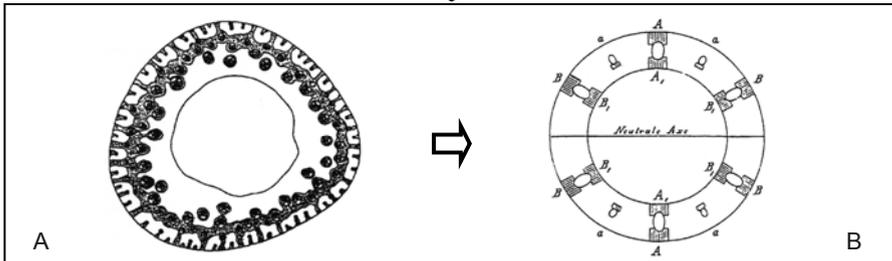
Ein Vergleich ist in diesem Fall sinnlos, da die physikalischen Voraussetzungen für die Bewegung einer 1/10 mm langen Grünalge (A) und eines 30 m langen Unterseebootes völlig (B) unterschiedlich sind. Nicht nur die Längen unterscheiden sich um den Faktor $3 \cdot 10^5$, auch die Geschwindigkeiten unterscheiden 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:

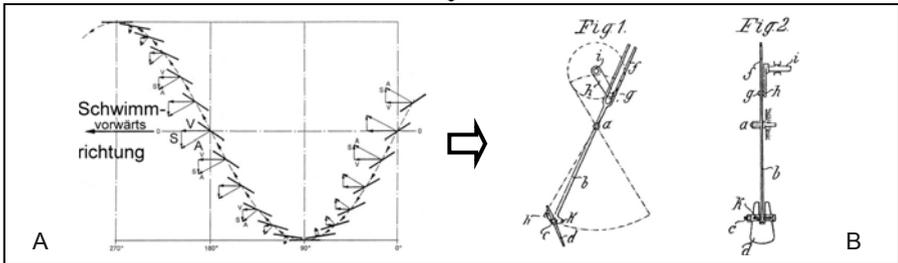
Von technischen Doppel-T-Trägern weiß man seit ihrer Einführung in den Beton- und Schienenbau des 19. Jahrhunderts, dass sie mit ihrem typischen Querschnitt ein besonders hohes Flächenträgheitsmoment aufweisen und dadurch relativ biege- und verwindungssteif sind, erst recht, wenn sie zu radiären Komplexen 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:

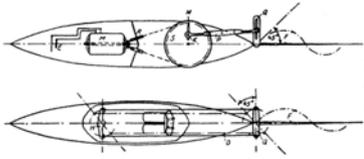
Die Schuberzeugung bei einer hin und her schwingenden Flosse geschieht, indem sie mit einem positiven Anstellwinkel gegenüber dem beaufschlagten Wasser eingestellt wird (A). Dadurch entsteht neben einer Widerstandskomponente in Schlagrichtung eine Auftriebskomponente A senkrecht dazu, die sich ihrerseits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

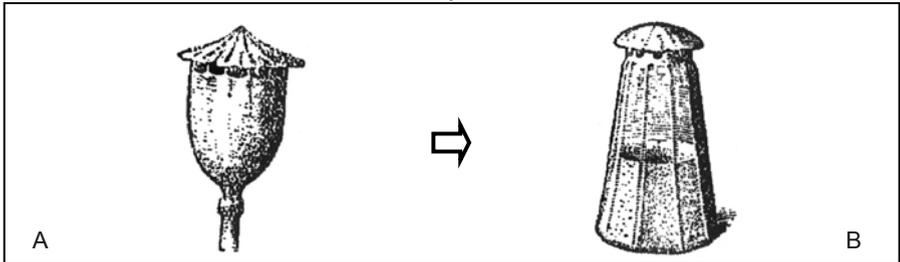
Heckflossen (A) wurden in Horizontalschwingungen versetzt. Dabei wurde erkannt, „... dass die Elastizität der Flosse nicht durchgehend die gleiche sein durfte, sondern dass an der Angriffsstelle der Flossendruckkraft, also an dem gelenkig mit dem Bootsheck verbundenen Vorderteil der Flosse, diese möglichst 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 1920 er Jahren üblichen Streueinrichtungen wie konventionelle Salzstreuer, Puderstreuer für Kinder, Zerstäuber oder Siebe, streuten aber durchaus ungleichmäßig aus.

PRINZIP:

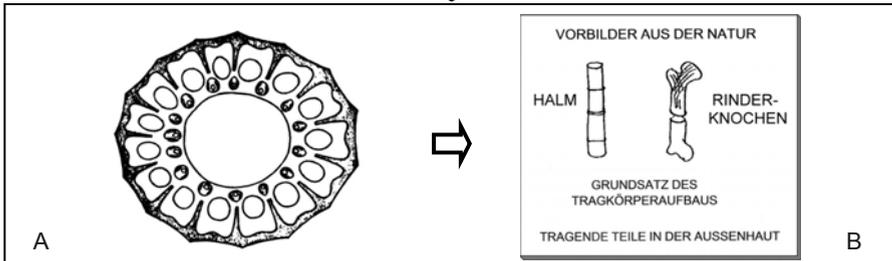
„Ich fand die Problemlösung in den Kapseln des Mohns (A). Jedermann kennt sie, jedermann weiß, dass die unter dem Deckel in Kreisen angeordneten Löcher dazu dienen, die kleinen Mohnkörner auszustreuen, aber noch nie hat jemand daran gedacht, dass hier eine Erfindung der Pflanze gegeben sei, welche die 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.