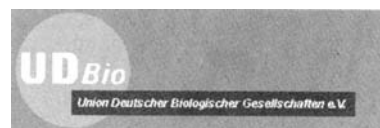


Erwin Beck (Hrsg.)

Faszination Lebenswissenschaften

 **WILEY-VCH**



This page intentionally left blank

Erwin Beck (Hrsg.)

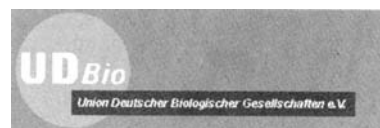
Faszination Lebenswissenschaften

This page intentionally left blank

Erwin Beck (Hrsg.)

Faszination Lebenswissenschaften

 **WILEY-VCH**



Prof. Dr. Erwin Beck
(Universität Bayreuth)
für die UDBio –
Union Deutscher Biologischer Gesellschaften e.V.
Berlin

Das vorliegende Werk wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Herausgeber und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Ein Titeldatensatz für diese Publikation ist bei Der Deutschen Bibliothek erhältlich.

© Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 2002

Gedruckt auf säurefreiem Papier.

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of this book may be reproduced in any form – by photoprinting, microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publishers. Registered names, trademarks, etc. used in this book, even when not specifically marked as such, are not to be considered unprotected by law.

Printed in the Federal Republic of Germany

Satz Kühn & Weyh, Satz und Medien, Freiburg
Druck und Bindung Druckhaus Darmstadt, GmbH
Umschlaggestaltung Grafik-Design Schulz,
Fußgönheim

ISBN 3-527-30583-1

Inhaltsverzeichnis

Zum Geleit XI

E. Beck

**Bilanz: Die Situation der Biowissenschaften in Schule,
Universität und Gesellschaft** XV

H. Mehlhorn

Teil 1 Pflanzenwissenschaften 1

1 **Der Lotus-Effekt: Selbstreinigende technische Oberflächen nach dem Vorbild der Natur** 3

W. Barthlott, Z. Cerman und C. Neinhuis

- 1.1 Das Vorbild: Biologische Oberflächen 3
- 1.2 Eigenschaften strukturierter Grenzflächen 6
 - 1.2.1 Benetzung von Oberflächen 6
 - 1.2.2 Adhäsion und Selbstreinigung ultrafein strukturierter Oberflächen 7
 - 1.2.3 Bedeutung des Lotus-Effektes 8
- 1.3 Technische selbstreinigende Oberflächen 9
- 1.4 Überflüssige Grundlagenforschung? 11
- 1.5 Literatur 12

2 **Klonierung pflanzlicher Embryonen Die somatische Embryogenese erschließt Nadelbäume für die Biotechnologie** 13

K. Zoglauer

- 2.1 Klonale Vermehrung ist bei Pflanzen ein natürlicher Vorgang 13
- 2.2 Die klonale Vermehrung wirtschaftlich wichtiger Nadelbaumarten
ist noch immer schwierig 14
- 2.3 Somatische Embryogenese – die asexuelle Entwicklung
von Embryonen *in vitro* 15
- 2.4 Somatische Embryogenese als Schlüssel zur Entwicklung
biotechnologischer Verfahren bei Nadelbäumen 16
 - 2.4.1 Wie entstehen somatische Embryonen? 17

2.4.2	Embryonale Zellen sind totipotent: aus isolierten Einzelzellen entstehen spontan neue Embryonen	20
2.4.3	Klonale Vermehrung und Reifung somatischer Embryonen	21
2.4.4	Embryogene Zellkulturen – das ideale Zielgewebe für einen Gentransfer	25
2.5	Perspektiven der Anwendung	26
2.6	Literatur	29
3	Aus der Werkstatt des Molekulargenetikers: Funktionelle Genomuntersuchungen in Pflanzen	31
	<i>B. Schulz</i>	
3.1	Kleines „Mauer“blümchen ganz groß!	31
3.2	Der Werkzeugkasten	33
3.3	Antisense und Co-Suppression	35
3.4	Insertionsmutagenese und Reverse Genetik	36
3.5	Ausblick	39
3.6	Weiterführende Literatur	40
4	Mit gesunden Pflanzen die Basis für die Zukunft schaffen	41
	<i>H.-W. Dehne, F. Klingauf, R. Petzold, H. Stübler, F. Thürwächter, V. Zinkernagel</i>	
4.1	Entwicklungen auf dem Agromarkt	46
4.2	Große Chancen mit innovativen Produkten erwartet man mit Hilfe neuer Technologien	48
4.3	Gesetzliche und politische Dimensionen des Pflanzenschutzes	50
Teil 2	Genetik, Entwicklungs- und Reproduktionsbiologie	53
5	Liegt unser Schicksal in den Genen? Das Human-Genom-Projekt und seine Bedeutung für Wissenschaft und Gesellschaft	55
	<i>R. Knippers</i>	
5.1	Rückblicke	55
5.2	Gentechnik und Medizin	57
5.2.1	Hintergründe	58
5.2.2	Fortschritt und Hektik	59
5.3	Die Gene des Menschen	60
5.3.1	Genom-Vergleiche	61
5.3.2	Unterschiede	63
5.3.3	Stichwort: DNA-Chips	65
5.3.4	Verhalten	65
5.4	Liegt also unser Schicksal in den Genen?	67
5.5	Nachwort	68
5.6	Anmerkungen und Anregungen zur weiteren Lektüre	68

6	Entwicklungs- und Reproduktionsbiologie	71
	<i>W. A. Müller</i>	
6.1	Vom befruchteten Ei zum komplexen Organismus: Wunder des Lebens	71
6.2	Monsterfliegen und Nobelpreise für Medizin	73
6.3	Von der Fliege zum Menschen	76
6.4	Außergenomische und rein mütterliche Informationsquellen	78
6.5	Der Organisator der Kopfbildung bei Wirbeltieren	79
6.6	Selbstorganisation und Musterbildung	81
6.7	Innere Oszillatoren als Organisatoren periodischer Strukturen	82
6.8	Differenzierung und Zellgedächtnis	82
6.9	Neuronale Vernetzung	83
6.10	Programmierter Zelltod, Stammzellen und Krebs	85
6.11	Gezielte Steuerung entwicklungsrelevanter Gene	86
6.12	Gentechnisch manipulierte Tiere als Modelle für menschliche Krankheiten	86
6.13	Stammzellen-Ersatzgewebe, therapeutisches Klonen?	88
6.14	Reproduktionsbiologie: Klonen von Säugetieren und Wahl des Geschlechts	90
6.15	Wann beginnt und endet menschliches Leben?	92
6.16	Könnten wir unsterblich sein?	93
6.17	Ausblick	93
6.18	Weiterführende Literatur	94
7	Modelle zur Entwicklungsgenetik des Auges: Mausmutanten mit angeborenen Augenerkrankungen	95
	<i>J. Graw</i>	
7.1	Einleitung	95
7.2	<i>Aphakia</i> : Stop der Linsenentwicklung auf der Stufe des Linsenstils	99
7.3	<i>Cat3</i> : Ursache von Missbildungen im vorderen Augenabschnitt	100
7.4	Mutationen in den γ -Kristallin-Genen stören die Differenzierung der Lin- senfaserzellen	103
7.5	Mutationen in den β -Kristallin-Genen führen zu progressiven Katarakten	105
7.6	Ausblick: Lernen von Fischen und Fliegen	107
7.7	Literatur	108
Teil 3	Verhaltensbiologie	111
8	Psychoneuroimmunologie – wie Verhalten die Gesundheit beeinflusst	113
	<i>D. von Holst</i>	
8.1	Literatur	122

Teil 4	Zoologie und Parasitologie	123
9	Klein aber oho! Einzeller sind Überlebenskünstler in vielen Lebenslagen	
9.1	1. Taxonomie, Systematik und Ontogenese der Einzeller (Protozoa)	125
	<i>W. Foissner, Salzburg</i>	
9.1.1	Literatur	128
9.2	Die protozoologische Feinstrukturforschung	129
	<i>K. Hausmann</i>	
9.2.1	Literatur	133
9.3	Genetik, Molekularbiologie und Evolution von Protisten	133
	<i>J. Hackstein, M. Schlegel und H. J. Schmidt</i>	
9.3.1	Mit molekularen Merkmalen lassen sich Hypothesen zur Phylogenie der Protisten erarbeiten	134
9.3.2	Hydrogenosomen – gedrosselte Kraftwerke der Zelle	137
9.3.3	Ciliaten – Spezialisten in Sachen Molekulargenetik	140
9.3.4	Danksagung	143
9.3.5	Literatur	143
9.4	Protozoen: Modellsysteme für die Zellbiologie	145
	<i>H. Plattner und H. Macherer</i>	
9.4.1	Die amöboide Bewegung	145
9.4.2	Chemokinese und Phagozytose	146
9.4.3	Cilienbewegung	146
9.4.4	Mechanorezeption und Schwerkraftbeantwortung	146
9.4.5	Sekretion	147
9.4.6	Ausblick	147
9.4.7	Literatur	148
10	Entomologie: Die Welt der Insekten ist noch unermesslich	149
	<i>K. Dettner</i>	
10.1	Die Eingeschnittenen	149
10.2	Wo steht die Entomologie innerhalb der Biologie?	149
10.3	Warum wählen so viele Biologen Insekten als Untersuchungsobjekte und als Modellsysteme?	150
10.4	Entomologische Besonderheiten	151
10.5	Insekten als Bausteine in terrestrischen Ökosystemen	154
10.6	Insekten als Nützlinge	155
10.7	Insekten als Schädlinge	157
10.8	Entomologische Berufsfelder	160
10.9	Ausblick	162
10.10	Literatur	162

- 11 Weichtierkunde gestern – heute – morgen 165**
J. H. Jungbluth
- 11.1 Prolog 165
- 11.2 Weichtiere: Der zweitgrößte Stamm des Tierreiches, eine „Summe der Mannigfaltigkeit“ 166
- 11.3 Stachelweichtiere 168
- 11.3.1 Schildfüßer 170
- 11.3.2 Furchenfüßer 170
- 11.3.3 Käferschnecken 170
- 11.4 Schalenweichtiere 170
- 11.4.1 Urmützenschnecken 171
- 11.4.2 Schnecken, Bauchfüßer 171
- 11.4.3 Kopffüßer, Tintenschnecken 172
- 11.4.4 Kahnfüßer 172
- 11.5 Muscheln 172
- 11.6 Zur Geschichte der Malakozologie im deutschsprachigen Raum 173
- 11.6.1 Die Casseler Gruppe – frühes Zentrum der Weichtierforschung 175
- 11.6.2 Die erste deutsche, weichtierkundliche Zeitschrift und die Gründung der Deutschen Malakozologischen Gesellschaft 175
- 11.7 Aktivitäten und Ziele der Deutschen Malakozologischen Gesellschaft 177
- 11.8 Aktuelle Forschungs-Projekte 179
- 11.9 Die Deutsche Malakozologische Gesellschaft – Ausblick 182
- 11.10 Literatur 182
- 12 Parasitologie 185**
K. Lingelbach, B. Frank, T. Romig, A. Ruppel
- 12.1 Die Parasitologie im 21. Jahrhundert 185
- 12.2 Malaria 188
- 12.2.1 Der Lebenszyklus der Malariaerreger 188
- 12.2.2 Verbesserung der Chemotherapie 192
- 12.2.3 Immunität und Immunisierung 194
- 12.2.4 Mechanismen der Krankheitsentstehung und der Umgehung der menschlichen Immunantwort durch den Parasiten 195
- 12.3 Der Kleine Fuchsbandwurm (*Echinococcus multilocularis*) 198
- 12.4 Bilharziose 202
- 12.4.1 Das Krankheitsbild der Bilharziose 203
- 12.4.2 Immunologie der Bilharziose 204
- 12.4.3 Resistenz gegen Infektionen mit Schistosomen 205
- 12.5 Die Biologie des Pärchenegels 206
- 12.6 Kontrolle 207
- 12.7 Weiterführende Literatur 208

13	Kleines Parasitenbrevier: Parasiten als Überlebenskünstler oder Die Weltrekorde der Schmarotzer	209
	<i>H. Mehlhorn</i>	
13.1	Ja – wie leben Sie denn	209
13.2	Giardia, ein doppeltes Lottchen?	210
13.3	Trypanosomen, die Erfinder der Tarnkappe	212
13.4	Häuslebauer bei Einzellern	213
13.5	Lebenslange Treue beim Pärcheneigel	215
13.6	Längenwunder Bandwürmer	216
13.7	Zahn um Zahn – Hakenwürmer	218
13.8	Schildzecken: Gefräßige Hungerkünstler	219
13.9	Flöhe sind echte Springwunder	221
13.10	Laufwunder mit Ausdauer – Wanzen	223
13.11	Läuse im Pelz	224
13.12	Läuse in der Antarktis	226
13.13	Meister der Brutpflege – Tsetsefliegen	226
13.14	Augen haben und nicht sehen (müssen) – Mücken in der Attacke	229
Teil 5	Mikrobiologie	231
14	Mikrobielle Strukturen	233
	<i>H. Engelhardt</i>	
14.1	Prokaryonten sind anders	233
14.2	Zellgestalt und Taxonomie	234
14.3	Untersuchung intrazellulärer Strukturen	236
14.4	Die Zellwand der Bakterien und Archaeen	238
14.5	Besondere Strukturen pathogener Bakterien	241
14.6	Mikrobielle Proteine als Prototypen	243
15	Biofilme – die bevorzugte Lebensform der Mikroorganismen	247
	<i>H.-C. Flemming und J. Wingender</i>	
15.1	Was sind Biofilme?	247
15.2	Charakteristika von Biofilmen	249
15.3	Bedeutung von Biofilmen	250
15.4	Biofilme und Gesundheit	252
15.5	Die Entwicklung von Biofilmen	254
15.6	Was Biofilme im Innersten zusammenhält	259
15.7	Diffusion im Biofilm	261
15.8	Kommunikation im Biofilm	262
15.9	Ausblick	264
15.10	Weiterführende Literatur	265
Anhang 1	Das Studium der Biologie	267
Anhang 2	Die Union Deutscher Biologischer Gesellschaften (UDBio)	271
Anhang 3	Autorenverzeichnis	275
Register		279

Zum Geleit

Das Jahr 2001 wurde von der Bundesministerin für Bildung und Forschung zum Jahr der Lebenswissenschaften, zum Jahr der Biologie proklamiert. In vielen Aktionen machen Biologen in eigenen Veranstaltungen oder über die Medien auf die enorme Bedeutung der Biowissenschaften für unser Leben und für unsere Gesellschaft aufmerksam. Dass diese Aktivitäten äußerst nötig sind und keineswegs zu früh kommen, zeigt die Entwicklung der humanbiologischen Forschung durch die in diesen Wochen die Schlagzeilen beherrschenden Themen „Gentechnik an Stammzellen“ (der Keimbahn), „Das Klonen von Menschen“ und „biologische Waffen“. Keine Frage, damit ist die Biologie in eine Sphäre vorgestoßen, in der nicht nur die Biologen als Fachleute betroffen sind, sondern auch die Gesellschaftswissenschaftler und die Politiker; bei denen sich Bewunderung mit Grauen und Ängsten paart. Wer aber in unserer Bevölkerung kann sich ein zutreffendes Bild davon machen, was da vor sich gehen soll und welche Folgen die nun „quasi vor der Tür stehenden“ Experimente mit dem Menschen und seinem Genom haben können und werden. Wer von den Entscheidungsträgern besitzt die nötigen grundlegenden Kenntnisse, um tragfähige wissenschaftspolitische Entscheidungen zu treffen?, wer von den Multiplikatoren vor allem in den Schulen bringt das nötige Grundwissen mit, um die Problematik kompetent an die heranwachsende Generation vermitteln zu können? In der „Bilanz“ von H. Mehlhorn, dem Präsidenten der **Union Deutscher Biologischer Fachgesellschaften** wird dazu Stellung genommen.

Über den ethischen Problemen, welche die biologische Forschung unserer Tage aufwirft, wird leicht übersehen, dass diese Probleme nur durch einen noch vor wenigen Jahren unvorstellbaren Fortschritt der Biowissenschaften entstehen konnten, einen von der Grundlagenforschung ausgehenden Erkenntniszuwachs ungeheuren Ausmaßes. Von der Jahrhundertwissenschaft Biologie sprach man noch vor wenigen Jahren, zu einer Zeit, als die Aufklärung des menschlichen Genoms noch in weiter Ferne schien. Zwar ist dieses Genom auch heute noch keineswegs völlig entschlüsselt, aber wenigstens doch zum größten Teil sequenziert. Ob das 21. Jahrhundert das Jahrhundert der Biologie oder der Informatik würde, hat man diskutiert; aber nicht zuletzt mit Hilfe der Informatik haben die Lebenswissenschaften den „Quantensprung“ geschafft, welcher einige der Humangenetiker zum Bibelspruch „Laßt Uns den Menschen machen, nach Unserem Bild und Gleichnis“ (verführte. Gerade wenn sich die „Krone der Schöpfung“ anschickt, sich selbst zu

klonen, möchte dieses Buch über die Lebenswissenschaften zu Beginn des 21. Jahrhunderts nachdrücklich darauf hinweisen, dass eben dieser Mensch nur eine von unzähligen Arten von Lebewesen auf unserer Erde ist und dass unser Erkenntniszuwachs über die anderen Lebewesen mindestens ebenso faszinierend ist, wie der über die Biologie des Menschen. Staunen ist angesagt angesichts dessen, was die verschiedenen Disziplinen oder Fächer der Biologie uns an „Highlights“ aus ihrem jeweiligen Bereich in diesem Buch vor Augen führen, und wir dürfen uns ohne Beklemmung der Bewunderung hingeben, schließlich führen uns die Entdeckungen ja zunächst „nur“ in einen Bereich, der nicht Menschenwerk ist. Der größte Teil des Erkenntniszuwachses des ausgehenden Zwanzigsten Jahrhunderts kam mit dem Einzug der Molekularbiologie, oder besser mit der Etablierung molekularbiologischer Techniken in den einzelnen Fächern der Biologie. Fragestellungen konnten in Angriff genommen werden, die vor Jahren noch ins Reich des Wunschkens gehörten, etwa die Bedeutung einzelner Gene oder Genprodukte für einen Organismus, der Nachweis und die teilweise Charakterisierung von Organismen, die sich jedem Kulturversuch widersetzen und das Verständnis der Morphogenese, der Gestaltwerdung im engsten Sinn. Hinzu kommen erheblich verbesserte oder neue Techniken in der Ultrastrukturforschung, z. B. die Mikro-Computertomographie und raffinierte Software und Bildgebungsverfahren, mit denen sich die Strukturforschung nicht nur im molekularen Bereich etabliert hat, sondern auch die elektronenoptischen Abbildungen farbig und anschaulich dargestellt werden können (s. z. B. den Beitrag „Kleines Parasitenbrevier“). Mit den Techniken der Molekularbiologie und der molekularen Genetik sind aber nicht nur neue Entdeckungsziele Realität geworden. Zur Aufklärung von Genfunktionen werden bereits transgene Organismen „hergestellt“ (s. die Beiträge „Aus der Werkstatt des Molekulargenetikers“, „Entwicklungs- und Reproduktionsbiologie“), werden Gene übertragen und mit abrufbaren Promotoren versehen, oder werden andere Gene „ausgeknockt“. Von da aus ist der Schritt zur Ausstattung von Organismen mit bestimmten Eigenschaften nicht mehr weit und in dem einen oder anderen Beitrag dieses Buchs wird dies auch im Detail dargestellt (s. z. B. „Liegt unser Schicksal in den Genen?“ und „Modelle zur Entwicklungsgenetik der Augen“). Derartige Genkonstrukte bergen ein hohes Potential zum Nutzen der Menschheit, aber das Erfahrungswissen über den Umgang z. B. mit Lebensmitteln oder Medikamenten aus transgenen Organismen ist noch gering. Entsprechend hoch ist dann auch die Skepsis, mit der die Öffentlichkeit solchen Errungenschaften begegnet. Trotz aller Skepsis: es handelt sich um Errungenschaften der Wissenschaft, und die Tatsache an sich, dass man heute gezielt transgene Organismen herstellen kann, ist ein ungeheurer Fortschritt der biologischen Wissenschaften. Im Kleinen wie im Großen haben sich die Dimensionen der biologischen Forschung erweitert. Wir beginnen, den Mechanismus von Enzymproteinen als molekulare Maschinen zu verstehen und wir dringen in Lebensgemeinschaften und Ökosysteme vor, in Systeme von ungeheurer Vielfalt und Komplexität.

Und noch eines wird bei der Lektüre dieses Buches deutlich: Die Biowissenschaften haben längst die Türen des Elfenbeinturms der Grundlagenforschung aufgestoßen und nehmen sich verstärkt den Problemen unserer Zeit an. Dadurch

konnten die angewandten Biowissenschaften ihren Marktwert in den vergangenen Jahrzehnten enorm steigern, und die Frage, ob ein Forschungsvorhaben praktische Relevanz haben könnte, wird künftig fast schon so wichtig sein wie die wissenschaftliche Fragestellung selbst. Der Begriff der „Begründung einer Forschung“ macht zunehmend dem englischen Begriff der „justification“ im Sinne von „Rechtfertigung“ des Projekts Platz. Da Pendelausschläge anfänglich extrem weit sind, muss man heute eher befürchten, dass die reine Grundlagenforschung auf der Strecke bleibt oder nur mehr den Wert eines „Aperçu“ zugemessen bekommt, wenn es sich um die Bewilligung von Forschungsgeldern handelt.

Das Buch, das Sie, liebe Leserin, lieber Leser, in Händen halten, ist auch eine „Denkschrift“, die Ihnen hauptsächlich Wissenswertes aus den Lebenswissenschaften am Beginn des 21. Jahrhunderts nahebringen will (aber auch die Situation der Biowissenschaften in unserem Lande beleuchtet und anhand eines Studienplans aufzeigt, wie ein modernes Biologiestudium aussieht). Man verwendet heute gerne den Begriff der „Meilensteine“, um bedeutende Entdeckungen und Fortschritte in der Wissenschaft zu charakterisieren. Von solchen Meilensteinen aus den verschiedensten Fächern der Biowissenschaften berichten die Autoren in diesem Buch. Sie haben sich alle bemüht, ihr „Fachchinesisch“ in eine Sprache zu übertragen, die auch der Nichtfachmann verstehen kann. Um dieses Ziel auch wirklich zu erreichen, wurden alle Beiträge einer kritischen Durchsicht seitens des Herausgebers unterzogen, wo nötig, überarbeitet und unvermeidliche Fachausdrücke erläutert. So sollte es Ihnen möglich sein, die Meilensteine, von denen hier die Rede ist, zu verstehen und sich dadurch selbst ein Bild vom Stand der Biowissenschaften im Jahr der Lebenswissenschaften zu machen, auch wenn Sie nicht „gelernter Biologe“ sind.

Natürlich würde es den Umfang eines einzigen Buches vollständig sprengen, wollte man alle Fächer und Disziplinen der Biowissenschaften in gleicher Weise zu Wort kommen lassen. Mit anderen Worten, die Kapitel können keinen Anspruch auf Vollständigkeit *in puncto* Meilensteine erheben. Die Auswahl mag ein bisschen willkürlich erscheinen und Wesentliches mag sogar tatsächlich fehlen. Vielleicht liegt aber auch in der Beurteilung, was wesentlich ist, eine gewisse Subjektivität. Als solche mögen Sie es, liebe Leser, hinnehmen, wenn Ihnen Fehlstellen in diesem Buch auffallen, während anderes beschrieben wird, was Sie selbst nicht so wichtig finden würden. Betrachten Sie die einzelnen Kapitel bitte auch als exemplarisch: So wäre es z. B. nicht möglich gewesen, alle Anstrengungen um die Erfassung der einzelnen Organismengruppen (die sog. Inventur) allein in unserem Lande in dieses Buch aufzunehmen – stellvertretend mag dafür das Kapitel über die Weichtiere stehen.

Um dem Buch den Rang einer Denkschrift geben zu können, hat die **Union der deutschen biologischen Gesellschaften** (UDBio) die einzelnen biologischen Fachgesellschaften in Deutschland angeschrieben und um Beiträge gebeten. Mehr als die Hälfte der Gesellschaften haben Beiträge geliefert und dadurch die Wichtigkeit des Unternehmens bekräftigt. Allen Autoren sei an dieser Stelle für ihre Bereitschaft und ihre Mühe und ihre Kooperativität herzlich gedankt. Dank gebührt aber auch dem Wiley-VCH-Verlag für die Bereitschaft, dieses Buch herauszubringen, um den Stand der Biowissenschaften im Jahr der Lebenswissenschaften als „Hardcopy“ dauerhaft für jedermann zu dokumentieren. Verlag und Autoren wollen damit den

durchschnittlich leider recht bescheidenen Kenntnisstand von biologischen Sachverhalten in unserer Bevölkerung etwas befördern und den Bürgern und Bürgerinnen dazu verhelfen, ein eigenes Bild und eine eigene Meinung über diese Sachverhalte zu bekommen. Letzteres gilt in ganz besonderem Maße für die Unterrichtenden und für die Entscheidungsträger, weshalb sich diese Schrift nicht zuletzt auch an diese Kreise richtet. Ebenso will dieses Buch den potentiellen Biologen-Nachwuchs, die Schüler und die Studenten ansprechen und sie für die Biologie als eine lebendige Wissenschaft im wahrsten Sinne des Wortes begeistern. Verlag, Herausgeber und Autoren hoffen auf eine gute Aufnahme durch eine interessierte Leserschaft.

Bayreuth im September 2001

Prof. Dr. Erwin Beck

Bilanz: Die Situation der Biowissenschaften in der Schule, Universität und Gesellschaft

Heinz Mehlhorn

Das Ansehen der Biologie als Wissenschaft in unserer mittlerweile globalisierten Gesellschaft ist gut und sie gilt als zukunftsfruchtig – da besteht Übereinstimmung in allen Bevölkerungskreisen. Dies liegt vor allem daran, dass nahezu täglich von hervorragenden wissenschaftlichen Erfolgen berichtet werden kann, die auch massiven Einfluss auf unser Leben genommen haben: einige Beiträge in diesem Buch belegen dies eindrucksvoll. Im Vergleich mit den Nachbarwissenschaften erweitern die Biowissenschaften heute ihr Forschungsspektrum am intensivsten, und sie dringen methodisch tief in andere Fachrichtungen wie Medizin, Physik, Chemie, Pharmazie, Agrikultur, Psychologie, Philosophie, Gesellschafts- und Wirtschaftswissenschaften vor. Dies gilt auch für Deutschland. Die in der Bundesrepublik erzielten biowissenschaftlichen Ergebnisse brauchen sich im internationalen Vergleich nach wie vor nicht zu verstecken.

Wen wundert es daher, dass die Vorsilbe „Bio“ – positiv belegt ist, vielfach als Synonym von „gesund“ gilt und deshalb in diesem Sinne auch intensivst vermarktet wird, obwohl jedem klar ist, dass beileibe nicht überall, wo „Bio“ draufsteht, auch „Bio“ drin ist, oder gar eine gesundheitsfördernde Wirkung davon ausgeht – schließlich sind z. B. alle von Pflanzen produzierten Gifte (etwa der Tollkirsche, des Fliegenpilzes etc.) auch „reine Bio-Produkte“. Diese im Grundsatz breite Akzeptanz der Biowissenschaften in der Gesellschaft – allerdings wegen des schnellen Fortschritts ohne wirklich breite Kenntnisse – nutzen nun leider viele selbsternannte „Experten“, ideologische Gurus, Heilsbringer und Weltretter um ihr Schäfchen ins Trockene zu bringen. Ängste werden geschürt, von den Medien aufgegriffen und in Horrorszenerarien zum Ausdruck gebracht. Die Geschichte unserer Tage lehrt, dass Horrorszenerarien Wirklichkeit werden können, sie lehrt aber auch, dass dies die Uninformiertheit der Betroffenen voraussetzt. Das (stillschweigende) Eingeständnis der Uninformiertheit ruft zwangsläufig die Bedenkenträger auf den Plan und schließlich wurden und werden immer mehr Gesetze und Ausführungsbestimmungen wider den Rat der echten Fachleute erlassen, Vorschriften, welche die Forschung behindern und Deutschland als Wissenschaftsstandort benachteiligten. Im harten Ringen gelingt es gelegentlich, derartige Beschneidungen des wissenschaftlichen Arbeitens zu mildern oder sogar nachträglich zu lockern, wie es bei der Gengesetzgebung hinsichtlich des Genehmigungsverfahrens geschehen ist. Noch zäher, weil natürlich mit starken Emotionen verbunden, gestaltet sich die Aus-

einandersetzung zwischen Tierschutz und Tierversuchen. Erfreulicherweise gibt es für viele Experimente, die früher mit Tieren durchgeführt werden mussten, heute Ersatzsysteme, wie z. B. Zell- oder Organkulturen. Aber nach wie vor gibt es notwendige Experimente, die man nur am Menschen oder ersatzweise am Tier durchführen kann und hier wäre eine Verankerung des absoluten Tierschutzes im Grundgesetz zur Grundlage für jedwede einstweilige Verfügung auf Einstellung des Experiments und damit für die Verhinderung von notwendiger Forschung geworden. Derzeit ringen wir um die Stammzellforschung. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft, die höchste Institution der deutschen Forschung, die mit ihren Gremien das „geballte aktuelle Wissen“ repräsentiert, hat kürzlich ein in vieler Hinsicht ausgewogenes und international anerkanntes positives Votum für die Forschung an Stammzellen innerhalb bestimmter Grenzen abgegeben, aber die Politik will dies erst durch sog. Ethikräte prüfen lassen, Gremien, die in der Regel nach anderen Gesichtspunkten urteilen, als dies die Wissenschaftler tun. Leitlinien für die Forschung, der auch die Öffentlichkeit zustimmen kann, sind offensichtlich nötig, aber sie sollten mit und nicht gegen die Wissenschaftler gemacht werden.

Als zuständige Vereinigung muss die **Union Deutscher biologischer Fachgesellschaften (UDBio)** deshalb fordern,

- dass die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) bei der Festlegung von Leitlinien auf Ihrem Primat bestehen muss, das in ihr vereinigte Fachwissen als absolute Leitschnur anzuerkennen,
- dass die Forschungsinhalte, die von den über 20 000 in biowissenschaftlichen Fachgesellschaften organisierten deutschen Wissenschaftlern erarbeitet werden, von diesen selbst auch in die Gesellschaft hineingetragen werden können, und das Feld nicht den fachfremden Interessensgruppen überlassen wird.

Hierzu bedarf es der Vertretung durch einen

- schlagkräftigen **Dachverband** – in der Medizin existieren deren gleich mehrere – der in der Öffentlichkeit das Verständnis als Voraussetzung für die ideelle und materielle Unterstützung einer zukunftssträchtigen biowissenschaftlichen Forschung erweckt.

Zwar gelten die Biowissenschaften heute zurecht als besonders zukunftssträchtiges Hightec-fähiges Innovationspotenzial, aber kann die biowissenschaftliche Forschung ihren gegenwärtigen Standard halten, ihn gar ausbauen?

Dazu bedarf es nicht nur der oben eingeforderten Rahmenbedingungen und der Bereitstellung von Mitteln, sondern vor allem auch der adäquaten Ausbildung von kenntnisreichen Lehrern und Nachwuchswissenschaftlern. Ausbildung beginnt in der Schule, und in faktisch allen Bundesländern steht es trotz des anerkannterwerten Engagements vieler Lehrerinnen und Lehrer leider schlecht um das Schulfach Biologie und um die anderen naturwissenschaftlichen Fächer. Gibt es in der Mittelstufe noch parallele, wenn auch geringe Stundenzahlen für Physik, Chemie und Biologie, so hat die Oberstufenreform dazu geführt, dass selbst interessierte Schüler diese 3 Fächer nur mehr alternativ belegen können, weil der Unterricht oft zur glei-

chen Zeit stattfindet. Dies, die meist völlig unzureichende oder zumindest veraltete Geräteausstattung an den Schulen, ein extremer Mangel an Geldmitteln sowie die fachlichen Einschnitte und Kürzungen in der Lehrerbildung bewirken, dass die Studienanfänger in den Naturwissenschaften *de facto* nur mangelhaft auf das Studium vorbereitet sind und die universitäre Lehre fast wieder bei Null anfangen muss.

Hier erhebt die ständische Vertretung der Naturwissenschaften an den Universitäten, der **Mathematisch Naturwissenschaftliche Fakultätentag** die dringende Forderung nach einer schnellen und durchgreifenden Behebung der aufgezeigten Mängel. Für den Großteil unserer Bevölkerung bringt der Schulunterricht die einzige in sich abgestimmte Befassung mit einem Fach. Nach der Schule ist es dann dem einzelnen überlassen, welche Quellen der Weiterbildung er benützt und ob er überhaupt eine solche betreibt. Keine Frage: Biologie betrifft unser aller Leben an allen Ecken und Enden, aber die Schule entlässt ihre Klientel in einem heute nicht mehr zureichenden Maß an biologischem Grundlagenwissen in ihr Leben, in die Selbstständigkeit. Dürfen wir uns wundern, wenn die Biowissenschaften auf breiter Front von Scheinwissenschaften, von Esoterik, ja von bewusster Desinformation in die Ecke gedrängt werden?

Die Schulmisere der Bio- und aller anderen Naturwissenschaften setzt sich bedauerlicherweise an den Universitäten fort, die immerhin die einzigen Ausbildungsstätten für den wissenschaftlichen Nachwuchs und immer noch bedeutende Träger der Forschung sind.

So herrschen im *Numerus-Clausus*-Fach Biologie seit Jahren schwierigste Verhältnisse. Da ist zum einen die auch heute noch an vielen Universitäten bestehende Überbürdung durch zu große Studentenzahlen. So hat man vor Jahren die Verdoppelung der Studienanfängerzahlen zum Normalfall erklärt, dabei aber Personal und Budgetmittel ständig gekürzt bzw. die Minderungen durch die Inflation nicht ausgeglichen. Dies hat dazu geführt, dass heute die apparative Ausstattung vieler Arbeitsgruppen, die z. B. für die Einwerbung von sog. Drittmitteln und für eine zeitgemäße Lehre Voraussetzung ist, vielfach veraltet oder schlicht nicht ausreichend ist. Eine Reinvestitionsrate von lediglich 1–2% des Gerätebestands führt die deutschen Studenten schon aus apparativen Gründen schnell ins Niemandsland. Auch hier fordert der Mathematisch Naturwissenschaftliche Fakultätentag dringend schnelle Abhilfe, denn es kann nicht angehen, dass man bereits die Grundausrüstung an der Hochschule über Projektmittel einbringen muss.

Neben den strukturellen Mängeln ist auch die Studienreform, deren Notwendigkeit niemand, schon gar nicht die Hochschulen bezweifeln, stark problembeladen. Tatsache ist, dass das Wissen in atemberaubender Geschwindigkeit zunimmt und dass daher ständig neue Lehrinhalte dazu kommen müssen. Dieses neue Wissen haben die Lehrenden kontinuierlich in ihre Veranstaltungen eingebaut. Wissenszuwachs heißt aber nicht automatisch, dass das bisherige Wissen als minder wichtig verworfen werden kann, dass es nur der ständigen „Durchforstung“ der Studieninhalte bedarf, um die Studienzeiten kurz zu halten oder sogar zu verkürzen. Mehr Wissen in kürzerer Zeit in die Köpfe der Studierenden bringen, mit Sandkasten- oder sagen wir lieber Glasperlenspielen mit Lehrveranstaltungsstunden wird dies

wohl kaum gelingen. Eher gezwungenermaßen als freiwillig entschließt man sich deshalb auch im Biologiestudium zu einer stärkeren Spezialisierung, die natürlich die spätere Berufswahl einschränkt. Ein Biologe, der sich im Studium auf die organismische Biologie mit Artenkenntnis und Ökologie fokussiert hat, wird sich schwer tun, einen Job in der Molekularbiologie zu erhalten und *vice versa*. Trotzdem, und auch im Hinblick auf die in der Wissenschaft unabdingbare und längst selbstverständliche Globalisierung führen die meisten Hochschulen im Bundesgebiet derzeit neben den Diplom- und Lehramtsstudiengängen auch Bachelor- und Masterstudiengänge in Biologie ein. Wir sollten sie als Chance verstehen und das neue System nutzen, um der durch Stundenzahldiktate eingeschränkten Freude am Studieren, am eigenen Erarbeiten einer interessanten und spannenden und nicht zuletzt schönen Materie wieder eine Tür zu öffnen.

Daß dies alles langfristig auch in Deutschland nicht zum Nulltarif zu haben ist, liegt auf der Hand. Auch wenn es in den meisten Bundesländern politisch kein Thema ist, fordert der MNFT hier ebenfalls Einsicht und schnelle Abhilfe. Studiengebühren – selbstverständlich abgedeckt durch leistungsbezogene persönliche Fördermittel bei Bedürftigkeit, dürfen auf Dauer kein Tabu sein. Zum Nulltarif studieren lassen hieße letztlich den Anschluss verlieren an die für unsere Gesellschaft und den Wissenschaftsstandort Deutschland so wichtige Spitzenforschung.

Nur guter Schul- und Universitätsunterricht in den Naturwissenschaften, dazu eine solide Finanzierung der Forschung sowie eine standhafte und rückhaltlose Vertretung der Forschungsergebnisse in der Öffentlichkeit durch die Forscher selbst werden den Biowissenschaften den wichtigen Raum in der zukünftigen Gesellschaft sichern, den sie zum Nutzen von uns allen benötigen.

Teil 1

Pflanzenwissenschaften



Ackerschmalwand
(*Arabidopsis thaliana*) des
Ökotyps Columbia zum
Zeitpunkt der Blüte.
Die ausgewachsene
Pflanze erreicht eine
Höhe von ca. 30 cm.

This page intentionally left blank

1

Der Lotus-Effekt: Selbstreinigende technische Oberflächen nach dem Vorbild der Natur

W. Barthlott, Z. Cerman und C. Neinhuis

Für Biologen ist es beinahe selbstverständlich: Oberflächen von Blättern, Blütenstaub oder Insekten zeigen unter dem Mikroskop eine erstaunliche Vielfalt an Feinstrukturen. Dies ist kein Zufall – an den optimierten Grenzflächen spielen sich beinahe alle Reaktionen zwischen den Lebewesen und ihrer Umwelt ab. Einige dieser Oberflächen haben extrem abstoßende Eigenschaften: Wasser, ja sogar hochviskose Flüssigkeiten perlen ab, Schmutz wird restlos durch den Regen abgespült. Nach dem Vorbild der Natur wurde z. B. die Feinstruktur der Heiligen Lotusblume – seit Jahrtausenden ein Symbol der Reinheit – technisch umgesetzt. Biologische Strukturen nachahmende ultraabstoßende Werkstoffe mit erstaunlichen selbstreinigenden Eigenschaften sind das technische Ergebnis unserer botanischen Grundlagenforschung.

1.1

Das Vorbild: Biologische Oberflächen

Eine wahre Wunderwelt eröffnet sich dem Mikroskopiker beim Betrachten biologischer Oberflächen – seien es Blätter oder Libellenflügel. Durch winzige Härchen, Wärschen, Papillen und Falten sind sie in lichtmikroskopischer Dimension skulpturiert. Bei stärkerer Vergrößerung mit dem Elektronenmikroskop erkennt man eine noch darüber gelagerte Ultrastruktur. Diese besteht häufig aus Wachskristallen, die beinahe im Bereich von Millionstel Millimetern liegen (Abb. 1-2).

Die Möglichkeit der Abbildung und genauen Analyse dieser Feinstrukturen ist eng mit der Entwicklung der Raster-Elektronenmikroskopie verknüpft. Seit 1971, also mit der Einführung der ersten handelsüblichen Raster-Elektronenmikroskope (REM) in die Forschung, haben wir uns als Botaniker mit der Feinstruktur der Oberflächen von Blättern, aber auch einer Vielzahl weiterer biologischer Objekte, beschäftigt. Etwa 300 000 REM-Aufnahmen liegen heute in unseren Archiven. Allein rund 20 000 Pflanzenarten wurden untersucht (Übersichten bei Barthlott 1990, Barthlott & Ehler 1977, Barthlott et al. 1998).

Pflanzliche primäre Oberflächen sind mit Ausnahme der Wurzeln wie folgt aufgebaut. Die Außenwand der äußersten Zellschicht (Epidermis) schließt mit einer äußerst stabilen dünnen Schicht eines chemischen Polymers, der Cuticula, ab. In dieses Polymergrundgerüst sind Gemische unterschiedlichster Lipide eingelagert,



Abb. 1-1 Die Heilige Lotusblume (*Nelumbo nucifera*) mit ihren großen schildförmigen Blättern. Seit Jahrtausenden ein Symbol der Reinheit

die allgemein vereinfacht als „Wachse“ bezeichnet werden (Barthlott 1990). Diese Wachse imprägnieren die Cuticula und sind zumindest mitverantwortlich für die Einschränkung der unkontrollierten Wasserdampfabgabe an die Luft, die sog. cuticuläre Transpiration (Riederer & Schreiber 1995). Auf der Außenfläche der Cuticula finden sich häufig feinste Wachsstrukturen, die deren optische Eigenschaften verändern und somit schon mit bloßem Auge an Weintrauben oder Kohlblättern als weißlicher abwischbarer Belag erkennbar sind. Sie treten in einer überraschend komplizierten Formenmannigfaltigkeit und chemischen Vielfalt auf (Übersicht bei Barthlott et al. 1998). Seit Mitte der siebziger Jahre weiß man, dass es sich um Kristalle aus von der Zelle produziertem Material handelt. Unverstanden blieb die Ausscheidung der Wachse durch die Zellwand und die Cuticula: hindurch, es gab eine endlose Suche nach feinsten Transportkanälen, Transfer-Proteinen oder anderen Transportmöglichkeiten. Die Lösung des Rätsels gelang erst kürzlich (Neinhuis

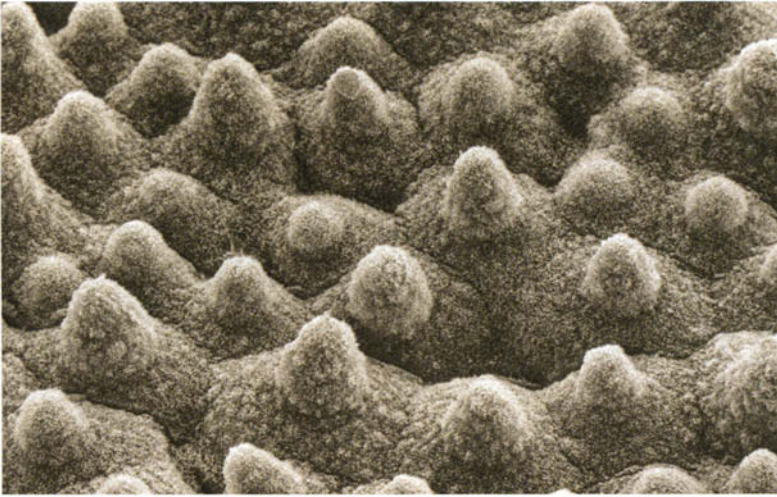


Abb. 1-2 Die Blattoberfläche der Lotusblume (*Nelumbo nucifera*) mit stark aufgerauhter papillöser Epidermis, die von winzigen Wachskristallen überzogen ist. (Raster-Elektronenmikroskopische Aufnahme)

et al. 2001): die Wachsbausteine diffundieren zusammen mit Wasser (in einem sog. Co-Transport) durch die Cuticula und kristallisieren nach Verdunstung des Wassers auf der Oberfläche aus. Dieser einfache Mechanismus einer Selbstorganisation erklärt schlagartig viele Phänomene. So zum Beispiel die Tatsache, dass man die Wachse von der ja selbst nicht lebenden Cuticula abwischen kann, worauf sich die Wachsschicht zumindest teilweise schon innerhalb eines Tages wieder regeneriert (erhöhter Wassertransport nach Entfernen der Transportbarriere).

Die Cuticula ist die Grenzfläche, über die beinahe jede Wechselwirkung zwischen der lebenden Pflanze (Festkörper) und seiner gasförmigen oder flüssigen Umwelt abläuft. Mit die interessantesten Dinge in der belebten und unbelebten Natur spielen sich an solchen ultrafein strukturierten Grenzflächen ab. Wichtigste Systemeigenschaften sind neben der Funktion als Transportbarriere für Wasser die mechanische Stabilität und vermutlich die Wärmeregulation bei Sonneneinstrahlung. Eine zentrale Funktion wurde dabei immer übersehen: der mit einer extremen Unbenetzbarkeit verbundene Kontaminationsschutz. Mit dieser Unbenetzbarkeit wollen wir uns im Folgenden näher beschäftigen. Ökologisch spielt dabei weniger die Verschmutzung die Hauptrolle, sondern die Abwehr gegen Krankheitskeime.

Eine Berechnung und Modellierung der komplexen Systemeigenschaften dieser ultrafein strukturierten Grenzflächen ist zur Zeit kaum möglich. In Jahrmillionen der Evolution, in Versuch und Irrtum von Mutation und Selektion, haben Pflanzen und andere Lebewesen ohne Computereinsatz optimierte Systeme geschaffen. Das Vorbild Natur stellt dem Verfahrenstechniker kostenlos Jahrmillionen von „Entwicklungsarbeit intelligenter Oberflächen“ zur Verfügung.

1.2

Eigenschaften strukturierter Grenzflächen

1.2.1

Benetzung von Oberflächen

Chemie und Struktur der Blattoberflächen bestimmen, wie stark sich die Pflanzen durch Wasser benetzen lassen. Das extreme Abperlen von Wasser bei manchen Blättern ist ein sehr auffälliges und in allen Kulturen lange bekanntes Phänomen. Der Lotus, *Nelumbo nucifera*, (Abb. 1-1) wird schon in alten Sanskrit-Texten für seine Reinheit gerühmt, weil er sich makellos sauber aus Schlamm und Schmutz entfaltet. Und von dem Frauenhaarfarn *Adiantum capillus-veneris* schreibt schon Theophrast (371 – 285 v. Chr.), dass seine Blätter nicht nass werden und deswegen a-dianton genannt werden. Über die Benetzbarkeit von Oberflächen mit Wasser gibt es bereits physikalische Theorien (z. B. Bico et al. 1999, de Gennes 1985). Danach kann der Grad der Benetzung mit Hilfe des sog. Kontaktwinkels erfasst werden, dem Winkel zwischen der Festkörperoberfläche und dem ruhenden Wassertropfen an der Grenze Wasser/Festkörper/Luft. Dabei bedeutet ein Winkel von 0° vollständige Benetzung der Oberfläche. Auf einer solchen Oberfläche zerläuft das Wasser zu einem dünnen, monomolekularen Film. Ein Kontaktwinkel von 180° bedeutet dagegen vollkommene Unbenetzbarkeit. Dabei bildet der Wassertropfen eine Kugel und berührt die Oberfläche nur in einem einzigen Punkt. Diese beiden Extremwerte werden aber in der Natur nicht erreicht.

Das Phänomen der Benetzung hat natürlich auch mit den Oberflächenspannungen der beteiligten Phasen zu tun. In unserem Falle handelt es sich um die Grenzflächenspannungen Wasser/Luft, Festkörper/Wasser und Festkörper/Luft; der Zusammenhang zwischen diesen Oberflächenspannungen und dem Kontaktwinkel wird durch die Young'sche Gleichung beschrieben (Abb. 1-3).

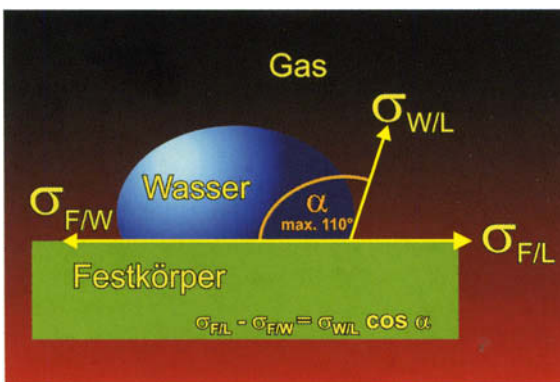


Abb. 1-3 Schematische Darstellung eines Wassertropfens auf einer Oberfläche und der an der Grenzlinie des Tropfens wirkenden Grenzflächenspannungen (σ). Die angelegte Tangente

an die Tropfenoberfläche schließt den Kontaktwinkel α ein, der sich auch aus dem Verhältnis der Grenzflächenspannungen nach der Young'schen-Gleichung ergibt.

Das bedeutet in der Praxis: Je kleiner die Grenzflächenspannung zwischen Festkörper/Luft, desto unbenetzbarer ist eine Oberfläche. Beispiele für niedrige Grenzflächenspannungen sind Teflon® oder viele Komponenten der Pflanzenwaxse.

Das Verhalten von Wasser auf rauen Oberflächen muss differenziert betrachtet werden. Ist das Material hydrophil (wasserliebend), so verbessert Rauigkeit die Benetzung, das Wasser wird kapillar zwischen die Strukturen hineingesogen. Im Falle einer hydrophoben (wasserabstoßenden) Oberfläche bewirkt Rauigkeit eine Erhöhung des Kontaktwinkels und damit eine verringerte Benetzbarkeit. Eine derartige Wasserabstoßung wird beim Lotusblatt beobachtet. Die Wassertropfen kugeln sich ab und rollen scheinbar ohne Reibung, wie ein Tropfen von einer heißen Herdplatte, über das Blatt hinweg. Solche superhydrophoben Oberflächen haben Luft zwischen ihren Fein- und Feinststrukturen eingeschlossen, so dass Tropfen nur auf den äußersten Spitzen dieser Strukturen aufliegen. Durch die extrem verminderte Kontaktfläche zwischen Wasser und Oberfläche werden die Haftungskräfte (Adhäsion) auf ein Minimum reduziert. Auf diese Weise kann der Kontaktwinkel auf superhydrophoben Blattoberflächen Werte von über 160° erreichen.

1.2.2

Adhäsion und Selbstreinigung ultrafein strukturierter Oberflächen

Lange Zeit unentdeckt blieb eine weitere Eigenschaft von superhydrophoben Oberflächen. Die antiadhäsiven Eigenschaften der Oberflächen beschränken sich nicht nur auf Wasser, sondern gelten auch für Schmutzpartikel. Pflanzenoberflächen sind von Natur aus der Verschmutzung ausgesetzt. Meistens handelt es sich um anorganischen Schmutz (verschiedene Stäube, Ruß), aber auch biologisches Material kann die Oberflächen belasten (Pilz- und Bakteriensporen, Honigtau von Blattläusen).

Der Schmutz liegt im Falle der superhydrophoben Blätter wie ein Fakir auf seinem Nagelbett nur auf den Spitzen der Strukturen auf. Wie beim Wassertropfen ist

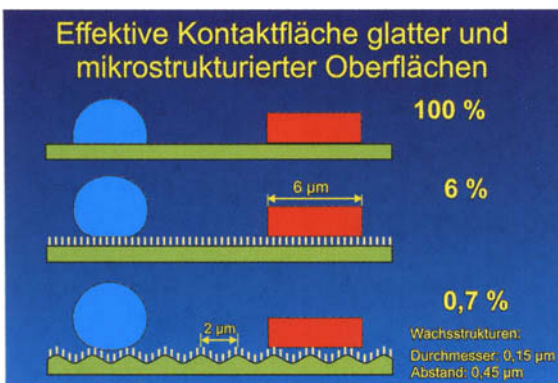


Abb. 1-4 Schematische Darstellung der Kontaktfläche in Abhängigkeit von der Struktur der Oberfläche: die Doppelstruktur (unten) minimiert die Adhäsion.

somit auch bei den Schmutzpartikeln die Kontaktfläche zum Blatt minimiert und damit auch die Haftung an der Oberfläche (Abb. 1-4). Rollt ein Wassertropfen über ein solches Schmutzkörnchen, wird dieses benetzt und bleibt am Wassertropfen haften, da die Haftkräfte zwischen Wasser und Partikel größer sind als zwischen Oberfläche und Partikel. Die fest an den Tropfen gebundenen Partikel werden bei seinem Abrollen vom Blatt entfernt. Dieses Phänomen wird als „Lotus-Effekt“ bezeichnet. In der Natur reicht bestimmten Pflanzen ein kurzer Regenschauer, um ihre Blätter rein zu waschen (Neinhuis & Barthlott 1997, Nachtigall 1998).

1.2.3

Bedeutung des Lotus-Effektes

Es stellt sich die Frage, welchen Nutzen die Pflanzen aus einer reinen (Blatt)Oberfläche ziehen. Handelt es sich um einen Nebeneffekt oder ist die Selbstreinigung von der Pflanze „gewollt“? Neben den anorganischen Schmutzpartikeln, die verschiedene negative Auswirkungen auf das Pflanzengewebe haben (z. B. Verringerung der Belichtung durch Ruß an Autostraßen, stärkere Erhitzung unter Sonneneinstrahlung, Säurewirkung, Verkleben von Spaltöffnungen) spielen die organischen in Form von pathogenen Bakterien und Pilzsporen oder von dichtem epiphyllischen Algenaufwuchs für die Pflanze eine viel bedeutendere Rolle. Es gibt mehrere Möglichkeiten, wie sich Pflanzen gegen den Befall mit Pathogenen schützen können. Zum einen können sie strukturelle oder chemische Barrieren entwickeln, die verhindern, dass ein Pathogen in das Gewebe eindringt. Zum anderen bietet der Lotus-Effekt eine sehr elegante Möglichkeit, den Befall mit Mikroorganismen zu verhindern (Abb. 1-5); denn die Organismen können sich auf solchen Oberflächen gar nicht erst festsetzen. Es fehlt ihnen das notwendige Wasser zu Keimung und Wachstum, da diese Oberflächen stets trocken sind. Und wenn es einmal regnet, werden die Pathogene einfach von den Oberflächen abgewaschen.



Abb. 1-5 Laufspur eines Wassertropfens auf einem mit Lehmstaub verschmutzten Lotusblatt. Der Tropfen nimmt alle in seiner Bahn liegenden Partikel auf und hinterlässt eine gereinigte Fläche.

1.3

Technische selbstreinigende Oberflächen

Unsere Arbeiten zeigten, dass in ganz bestimmten Dimensionen fein- und feinststrukturierte Oberflächen extrem abstoßende Eigenschaften aufweisen. Die Biologen wussten schon immer, dass die Oberflächen von Blättern, Insekten (Wagner et al. 1996) und anderen Schmutz und Regen ausgesetzten Lebewesen selten ganz glatt sind. Jeder Werkstoffwissenschaftler dagegen optimierte seine technischen Oberflächen für Autos, von Plastikfolien oder Glasdächern auf maximale Glätte.

Vor rund 25 Jahren hatten wir den Lotus-Effekt erstmals kurz beschrieben (Barthlott & Ehler, 1977) und in mehreren Folgepublikationen weitere Daten dazu veröffentlicht. An eine technische Umsetzung wurde zwar gedacht, die Gedanken zur technischen Anwendung aber nicht weiter verfolgt: wir gingen davon aus, dass dieses Phänomen den Technikern bekannt sein müsse. Dass dies nicht der Fall war zeigt die bis 1995 durchgehaltene Devise der Industrie: Je glatter desto sauberer. Der Versuch, das Phänomen Lotus-Effekt in einer eigenen Publikation umfassend darzustellen, wurde viermal von den Gutachtern renommierter Zeitschriften abgelehnt: Immer mit der gleichen Begründung: es widerspräche dem Lehrbuchwissen und der umfangreichen Grenzflächen-Literatur. Aber auch Lehrbücher können irren! Erst vor wenigen Jahren gelang es, die Arbeit zu publizieren (Barthlott & Neinhuis, 1997). Mit der Publikation und der etwa gleichzeitig erfolgten Erteilung eines Europäischen Patentes änderte sich die Situation schlagartig und ein Paradigmenwechsel in der Oberflächentechnologie setzte ein. Dutzende abhängiger Patente zum Lotus-Effekt sind inzwischen angemeldet oder erteilt, eine wahre Lotus-Manie hat Hersteller schmutzabweisender Oberflächen erfasst. Leider werden dabei die Begriffe „selbstreinigend“, „Lotus-Effekt“ oder „nach dem Vorbild der Natur“ inzwischen irreführend für viele Produkte verwendet, die nichts mit dem hier behandelten physikalischen Effekt zu tun haben. Das Zauberwort „easy-to-clean“ wurde für glatte Oberflächen geschaffen, die leicht zu reinigen sind. Die ultraphoben Oberflächen mit Lotus-Effekt dagegen sind „self-cleaning“, also selbstreinigend. Dies ist ein grundsätzlicher Unterschied.

Seit 1995 wird mit inzwischen über einem Dutzend Kooperationspartnern aus den unterschiedlichsten Bereichen der Industrie an der technischen Umsetzung der selbstreinigenden Oberflächen gearbeitet. Da der Lotus-Effekt überall dort Anwendung finden kann, wo verschmutzende Oberflächen mit bewegtem Wasser in Kontakt kommen, zielt man vor allem auf Außenflächen von Gebäuden (Dächer und Fassaden) und von Fahrzeugen (Lacke). Inzwischen wird aber auch intensiv im Bereich von Polymerfolien, Textilien und sogar Papieren an der Umsetzung des Lotus-Effektes gearbeitet.

Fassadenfarben mit Lotus-Effekt sind sehr erfolgreich auf dem Markt und vom Hotel Kempinski in Moskau bis zu Hochhäusern in den Vereinigten Arabischen Emiraten wurden bis heute bereits über 80 000 Gebäude mit solchen Oberflächen beschichtet. Die ersten Dachziegel mit Lotus-Effekt sind kurz vor der Markteinführung. Lacke und weitere Produkte werden wahrscheinlich noch in diesem Jahr folgen.



Abb. 1-6 Selbst äußerst zähe wässrige Flüssigkeiten wie Honig laufen von der ultraphoben Oberfläche eines Löffels rückstandsfrei ab.

Mechanisch extrem beanspruchte Oberflächen (z. B. Fußböden) sind dagegen kein Einsatzbereich. Ebenso wenig dauernd untergetauchte Oberflächen: denn der Lotus-Effekt beruht auf einer Dreiphasen-Wechselwirkung zwischen Festkörper, Flüssigkeit und Gas und kann deshalb für Schiffsanstriche, Herzkatheder und Kanalrohr-Auskleidungen nicht eingesetzt werden. Und selbstverständlich auch nicht dort, wo nicht problemlos mit Wasser abgespült werden kann (Innenräume, Tapeten, Möbel). Jedoch sind im Innenbereich die unterschiedlichsten Spezialanwendungen realisierbar: zum Beispiel Duschkabinen oder geruchshemmende Toiletten mit minimiertem Wasserverbrauch.

Dabei ist die technische Verwendung derartiger Oberflächen nicht auf die Wechselwirkung mit reinem Wasser beschränkt. Wie die Abbildung 1-6 zeigt, rollen auch hochviskose wässrige Flüssigkeiten wie Honig rückstandsfrei von ihnen ab. Darüber hinaus kann man sogar „ultraphobe“ Oberflächen schaffen, die weder von Wasser noch von bestimmten Ölen benetzt werden (Abb. 1-7). Die biologischen Oberflächen wurden im Laufe der Evolution der Lebewesen auf die Wasserabstoßung hin optimiert. Mit zunehmender Strukturierung wurden dabei die antiadhäsiven Eigenschaften und die mechanische Stabilität der Oberflächen verbessert. Solche biologischen Oberflächen werden dann als superhydrophob und im Falle von z. B. Lotus als superphob bezeichnet. Technische Oberflächen können zusätzlich zur Wasserabstoßung auch ölabweisende, sog. oleophobe Eigenschaften besitzen. Entsprechend bezeichnen wir diese Oberflächen je nach ihrem Strukturgrad als oleohydrophob, superoleohydrophob und ultraphob. Als Materialien für derartige