



# Verpacktes Leben – Verpackte Technik

Bionik der Verpackung

*Udo Küppers*

*Helmut Tributsch*

Aus technischen Gründen bleibt diese Seite leer

*Udo Küppers und Helmut Tributsch*  
**Verpacktes Leben – Verpackte Technik**  
**Bionik der Verpackung**

Aus technischen Gründen bleibt diese Seite leer

# Verpacktes Leben – Verpackte Technik

Bionik der Verpackung

*Udo Küppers*

*Helmut Tributsch*

**Die Autoren dieses Buches**

***Dr.-Ing. Udo Küppers***

Bionik-Systeme  
Hauptmann-Böse-Weg 9  
28213 Bremen

***Prof. Dr. Helmut Tributsch***

Hahn-Meitner-Institut  
Berlin GmbH  
Glienicke Straße 100  
14109 Berlin

Das vorliegende Werk wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autor 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

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden.

printed in the Federal Republic of Germany

gedruckt auf säurefreiem Papier

**Einbandgestaltung** Wolfgang Scheffler,  
Mainz

**Satz** Manuela Treindl, Regensburg

**Druck** Druckhaus Darmstadt GmbH,  
Darmstadt

**Bindung** Wilh. Osswald & Co. KG,  
Neustadt

**ISBN** 3-527-30443-6

## Geleitwort

Ohne Verpackung kein Leben. Verpackung gehört zur Kulturgeschichte der Menschheit. Durch zeit- und zweckgemäße Verpackungen haben schon unsere Vorfahren gelernt zu überleben, später unseren Globus zu entdecken und weltweiten Handel zu betreiben. Heute stehen uns Waren verschiedenster Art aus allen denkbaren Teilen der Kontinente und Regionen zu jeder Jahres- und Tageszeit zur Verfügung.

Es ist bekannt, daß in unserer arbeitsteiligen Welt die Ernährung der Menschheit, ihre Versorgung mit Arzneimitteln und sonstigen Gütern des täglichen Bedarfs nur durch die richtige und zweckmäßige Verpackung sichergestellt ist. So macht uns die Verpackung das Leben vielfach leichter und schöner, sie steigert die Lebensqualität. Und doch ist die Verpackung insbesondere in den letzten Jahren in die kritische Umweltdiskussion gekommen.

Leben ist Verpackung. Es ist naheliegend, den Blick auf das organische Wachstum zu richten, um so von der Natur zu lernen. Denn mit Komplexität zu leben und sie zu bewältigen, ist seit Jahrmillionen für unzählige Organismen und ihre Verpackungslebensläufe in der Natur die selbstverständlichste Grundlage ihres Überlebens. Das Naturprinzip der vernetzten rückgekoppelten Kreislaufwirtschaft garantiert eine Weiterentwicklung ohne einschneidende Folgen. Dieses hervorragende Organisationsmerkmal ist neben anderen der Garant für stabile, fehlertolerante und natürliche Verpackungsverarbeitung. Wenn wir also auf die Natur und ihre inspirierenden Verpackungsprodukte schauen, dann können wir lernen, intelligente technische Verpackungen in einer vernetzten Umwelt nachhaltig zu gestalten. Das ist die „Korrespondenz des Lernens“, die überlegene Verpackungsprinzipien der Natur mit Wissen und Erfahrung aus technischen Verpackungsentwicklungen paart und zu einer Bionik der Verpackung führt.

Mit Prof. Dr. Helmut Tributsch und Dr.-Ing. Udo Küppers haben sich zwei haarscharfe Beobachter und Analytiker gefunden, um gemeinsam Errungenschaften der Natur zu beobachten und im Hinblick auf Verpackungsleistungen zu hinterfragen. Beiden ist hierbei ihr großes Wissen in der physikalischen und theoretischen Chemie und der Fertigungs- und Verfahrenstechnik sowie den langjährigen Auseinandersetzungen mit der Bionik zu Gute gekommen. So ist aus dem soliden natur- und ingenieurwissenschaftlichen Wissen der Autoren hier erstmals ein Werk entstanden, das die vielschichtigen Anforderungen an eine Verpackung aus gewachsenen Modellen der Natur zu beschreiben versucht. Das ist gelungen. Die anspruchsvollen

Themen werden wissenschaftlich exakt, klar und für die Leser verständlich aufgearbeitet. Viele Fotografien, Graphiken und Tabellen ergänzen hilfreich den Text. Stets bleibt der Bezug zwischen Natur und Verpackung erhalten, so daß der interessierte Leser hier den möglichen Einstieg für seine eigenen Überlegungen finden kann.

Das vorliegende Werk gliedert sich im wesentlichen in drei Themenblöcke:

- **Netzwerk Verpackung**

Hier wird der Sinn der Verpackung in Technik und Natur beschrieben. Deutlich wird belegt, welche erforderlichen Verpackungsaufgaben anfallen und wie auf der einen Seite der Ingenieur und Designer und auf der anderen Seite die Natur die Lösungen erbringen. Dabei bezieht die Natur immer eigene Summen von Zielgrößen und Einflüsse gemeinsam in ihren Optimierungsstrategien mit ein. Alle verwendeten Materialien sind daher bestens hinsichtlich ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften und lebenslauforientierten Verarbeitung aufeinander abgestimmt. Wer würde das von technischen Verpackungen pauschal behaupten wollen, bei denen sich nicht selten erhebliche Entsorgungsprobleme ergeben können.

So liefert die Natur variantenreiche Materialoptimierungen hinsichtlich Fertigungseigenschaften, Strukturen, Formen und Vieles mehr von Verpackungen, und sie gibt Anregungen für die Entwicklung neuer technischer Verpackungen. Denken wir nur an die hocheffiziente Technik der filigranen Materialverbünde in der Natur, die gegenwärtig für unsere menschlichen materialtechnischen Entwicklungen noch unerreichbar erscheinen. Darüber hinaus wird im speziellen Fall der adhäsiven Fügetechnik aufgezeigt und belegt, wie neue Verbindungstechniken aufgebaut sein können.

- **Verpackungsbeispiele aus der Natur**

Hier werden Verpackungsleistungen natürlicher Produkte aufgezeigt, und es wird deutlich, daß es kaum einen Ort auf unserer Erde gibt, wo Verpackungen nicht mit Raffinesse und hoher Effizienz den Fortbestand wachsenden Lebens auf vielfältige und eindrucksvolle Weise sichern.

Prof. Dr. Helmut Tributsch zeigt, daß er nicht nur ein anerkannter Wissenschaftler ist, sondern es auch versteht, die Natur zu erleben, zu beobachten und das Gesehene für jene, die es nicht miterleben konnten, kenntnisreich und plastisch zu schildern. Auf mehr als 150 einmaligen – man ist geneigt zu sagen liebevollen – Fotos wird die Leistungsvielfalt der Natur im Hinblick auf Verpackungslösungen belegt.

- **Organisationsmanagement der Verpackungsbionik**

Dr.-Ing. Udo Küppers ist es gelungen, dem interessierten Leser Wissen und Handwerkszeug anzubieten, das ihn befähigt, eigene bionische Verpackungsansätze zu verfolgen. Der ausführliche Text wird durch Tabellen, Graphiken und Checklisten, die einfach und praxisnah zu handhaben sind, sinnvoll ergänzt. Hier also eine Aufforderung mitzumachen.

Erstmals befaßt sich ein wissenschaftliches Werk ausführlich, tiefgreifend und erfolgreich mit Verpackungslösungen der Natur und leitet daraus mögliche Ansätze für reale technische Verpackungslösungen ab. Historisch kann hierdurch ein neues Zeitalter für Verpackungsentwicklungen eingeleitet worden sein. In diesem Sinne wünsche ich den Autoren und ihrem Buch viele Leserinnen und Leser, die sich für die Ästhetik und die Funktionalität biologischer Verpackungen begeistern können, und gespannt sind auf die sich ergebenden Möglichkeiten technischer bionischer Verpackungen.

Berlin im Frühjahr 2001

*Dieter Berndt*

Aus technischen Gründen bleibt diese Seite leer

*Gewidmet den kleinen und großen Kindern,  
damit sie von der Natur lernen  
und rücksichtsvoller mit ihr umgehen*

## **Vorwort**

Das vorliegende Buch erscheint in einer Zeit des wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Wandels. Die Disziplinen der Biowissenschaften – Life-Sciences – und die der Informations- und Kommunikationswissenschaften – IuK – ringen um die Vorherrschaft als Wegbereiter für zukünftige bio-technische Entwicklungen.

Erstere werden getrieben von der Entschlüsselung des genetischen Codes der menschlichen Desoxyribonukleinsäure, der DNS und den damit verbundenen, weitreichenden wirtschaftlichen Auswirkungen. Die Entwicklung der IuK wird angetrieben vom neuronalen „Geist“, der das Ziel verkörpert, menschenähnliche Maschinen mit Intelligenz und Bewußtsein zu entwickeln und für futuristische Zwecke einzusetzen. Beide versuchen das (noch) Unmögliche, nämlich das über Jahrmillionen evolutionierte Leben mit dem Menschen als höchstes entwickeltes Lebewesen, technisch-wirtschaftlich vorteilhaft zu manipulieren oder zu imitieren.

Unbestreitbar steht gegenwärtig die Gentechnik als Motor der Life-Sciences im Mittelpunkt des öffentlichen Interesses. Hierbei erstreckt sich eine intensive Diskussion über Techniken der genetischen und biotechnischen Veränderungen von Leben einerseits und der Ethik des Lebens andererseits quer durch alle gesellschaftlichen Schichten.

In dieser entscheidenden Entwicklungsphase für unsere Zukunft ist auch die Bionik (der Verpackung) als Teildisziplin der Life-Sciences eingebunden. Sie positioniert sich als bioanalogue forschende Wissenschaft zwischen natürlicher Biodiversität und innovativer Zukunftstechnik ohne ethische Konflikte und Manipulationen des natürlichen Lebens. Im Gegenteil.

Die Archive der Natur, mit ihren natürlichen Artenreichtümern als maßgebende Voraussetzung für fehlertolerante, nachhaltige Weiterentwicklung von Lebewesen und deren technischen Leistungen in höchster qualitativer Vollendung, sind die fundamentale Basis für bionische Analogieforschung und adäquate, technisch-wirtschaftliche Anwendung.

Evolutionär gewachsene Biodiversität ist Billionen wert, vor allem für unser aller Weiterleben, aber auch als wissenschaftliche Fundgrube für effiziente, nachhaltige Lösungen der Verpackungsbionik.

Es ist anzunehmen, daß die Menschheit, wenn ihr das Wohlergehen der Erde am Herzen liegt, in einigen hundert Jahren mit ihr viel mehr im Gleichgewicht leben wird. Ihre moderne Technologie wird dann in vieler Hinsicht der durch die Evoluti-

on entwickelten biologischen Technik der Natur sehr ähnlich sein und harmonisch mit ihr koexistieren. Es sind ja im wesentlichen dieselben Rahmenbedingungen, dieselben Energieflüsse und Umweltbedingungen, welche die natürliche und zivilisatorische Entwicklung langfristig festlegen und begrenzen. Dies gilt auch für das komplexe und sich schnell entwickelnde Gebiet der Verpackungstechnologie. Die Natur hatte sehr viel mehr Zeit als die ungeduldige Menschheit, optimierte Verpackungslösungen zu entwickeln und zu erproben. Der Inhalt dieses Buches zeigt Wege auf, wie von diesen wertvollen Erfahrungen profitiert werden kann.

Leider beginnt dieser unermeßliche Schatz durch die Hände der Menschen zu zerrinnen. Noch zu unversöhnlich stehen sich die – von uns Menschen in den Vordergrund gedrängte – Strategie eines linearen, gesteuerten Wirtschaftswachstums und die bewährte Methode der Natur einer geregelten, komplexen Nachhaltigkeit gegenüber. Es könnte vor allem viel Zeit gespart werden, welche die Entwicklung wirklich nachhaltiger Verpackungskonzepte kosten würde. Zeit und Erfahrung sind aber sehr wertvolle Güter. Gerade in unserer Gegenwart, die eine unvergleichliche Zerstörung der Natur mit sich bringt, sollte man erkennen, daß wir keine Zeit verlieren dürfen. Vielleicht kann uns die Natur selbst Rezepte liefern, die uns helfen könnten, letztlich auch sie besser zu schützen. Nutzen wir die Evolution, um unsere eigene technologische Entwicklung zu korrigieren und sie überlebensfähiger zu machen. Dazu brauchen wir Anregungen und Beispiele, die uns die Augen öffnen, damit wir lernen, synergetisch zu denken und zu handeln.

Dies ist wohl das erste Buch über die Verpackungsproblematik, das mit einem solchen Anliegen an die Leser herantritt. Möge es nicht nur informieren, sondern auch dazu anregen, der Natur mit technischem Respekt und forschender Neigung zu begegnen.

Bremen/Berlin, im August 2001

Udo Küppers  
Helmut Tributsch

## Inhaltsverzeichnis

**Geleitwort** V

**Vorwort** IX

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Netzwerk Verpackung</b>	<b>3</b>
2.1	Verpackungen in Natur und Technik	4
2.1.1	Struktur-Form-Systemik – Vernetzte Aktionsfelder für nachhaltige Verpackungen der Natur	4
2.1.2	Produkt und Menge – Leitbegriffe für ökonomische Verpackungen der Technik	6
2.2	Verpackung und Lebensraum	8
2.2.1	In lokaler Umgebung perfekt angepaßte Naturverpackungen	8
2.2.2	Weltweit wirtschaftlich zweckorientierte Technikverpackungen	9
2.2.3	Schlußfolgerung	10
2.3	Das Fertigungsprodukt Verpackung	11
2.3.1	Leistungsfähige Materialien höchster Wirkungsgrade bei biologischen Verpackungen	12
2.3.2	Materialverarbeitung technischer Verpackungen im Umfeld künstlicher Stoffverbünde	14
2.3.3	Fügen durch adhäsive Klebtechniken bei biologischen Verpackungen und ihr technischer Nutzen	16
2.3.3.1	Grundbausteine biologischer Klebstoffe	16
2.3.3.2	Seepocken ( <i>Balanus nubilis</i> )	17
2.3.3.3	Orchideen ( <i>Orchidaceae</i> )	18
2.3.3.4	Termiten ( <i>Nasutitermes</i> )	19
2.3.4	Fügen durch adhäsives Kleben bei technischen Verpackungen	21
2.3.4.1	Klebstoffe für technische Verpackungen	21
2.3.4.2	Verpackungstechnische Anwendungen für Klebstoffe unter besonderer Berücksichtigung der Wiederverwertung	24
2.3.4.3	Einflüsse auf das Klebstoff-Anforderungsprofil und Packstoffeignung	26
2.4	Verpackung und Packgut	26

- 2.4.1 Naturverpackung und Naturpackgut aus einem Guß 26
- 2.4.2 Verpackung und Packgut in der Technik – getrennte Entwicklung und gemeinsame Nutzung 28
- 2.5 Verpackung und Optimierung 30
  - 2.5.1 Was bedeutet Optimieren? 30
  - 2.5.2 Wie optimiert die Natur? 33
    - 2.5.2.1 Evolutionäre Algorithmen nutzen die Optimierungsstrategie der Natur 34
    - 2.5.3 Wie optimiert die Natur Verpackungen? 35
    - 2.5.4 Wie optimiert die Technik Verpackungen? 37
- 2.6 Verpackung und Transport 39
  - 2.6.1 Kleinräumiges Wirkungsfeld zur Erhaltung der Art 39
  - 2.6.2 Weltweite Transporte im wirtschaftlichen Wettbewerb 40
- 2.7 Verpackung und Umwelt 42
  - 2.7.1 Naturverpackungen in der Umwelt – ökonomisch und ökologisch zugleich 42
    - 2.7.2 Technische Verpackung – Umwelt – Verpackungsabfall 43
- 2.8 Mensch und Verpackung 52
  - 2.8.1 Suggestive Kaufreize durch manipulierte Verpackungen 56
  - 2.8.2 Einzelhaushalte und die Summe kleiner Verpackungen 58
  - 2.8.3 Zauberwort »Convenience« 59
- 2.9 Netzwerk Verpackung – wo ist der Anfang und wo ist das Ende? 61

### **3 Grenzfläche Verpackung: Schlüsselement für Lebensprozesse 63**

#### **4 Verpacktes Leben – Verpackungsbeispiele aus der Natur 65**

- 4.1 Verpackungsstrategien und Verpackungsmaterialien 65
  - 4.1.1 Strategien für Verpackungshüllen 65
  - 4.1.2 Die Materialien tierischer und pflanzlicher Verpackungshüllen 68
  - 4.1.3 Farbige Verpackungen ohne Farbstoffe 73
  - 4.1.4 Faltbare Strukturen 74
  - 4.1.5 Verpackungen als Form- und Farbanpassungen 76
  - 4.1.6 Multifunktionelle Verpackungen 78
  - 4.1.7 Verpackungen die für den Verbraucher leicht zu handhaben sind 80
  - 4.1.8 Minimierte Verpackungen 82
  - 4.1.9 Wehrhafte Verpackungen 82
  - 4.1.10 Öffnungs- und Schließtechniken 83
  - 4.1.11 Rezyklierte Materialien für Verpackungen 85
  - 4.1.12 Selbstregelnde Verpackungen 87
  - 4.1.13 Anhaftende Verpackungen 88
  - 4.1.14 Genießbare Verpackungen 91
- 4.2 Mechanisch und strukturell optimierte Verpackungen 93
  - 4.2.1 Platzoptimierte Verpackungen 93
  - 4.2.2 Faserverstärkte Hüllen und dichte Packungen 96
  - 4.2.3 Klarsichthüllen 97

- 4.2.4 Stoßgesicherte Verpackungen 97
- 4.2.5 Geformte Verpackungen 99
- 4.2.6 Druck-, stoß- und biegefestе Verpackungen 101
- 4.2.7 Dynamisch mitwachsende Kalkverpackungen 103
- 4.3 Wetter- und umweltoptimierte Verpackungen 104
  - 4.3.1 Rinden: wetterfeste Verpackungen 104
  - 4.3.2 Wachsschichten gegen Wetter, Feuchtigkeit und Licht 107
  - 4.3.3 Verpackungen gegen Flugsand 108
  - 4.3.4 Staubabweisende Hüllen 110
  - 4.3.5 Anti-Schimmel-Strategien bei Verpackungen 112
  - 4.3.6 Schaumstoffverpackungen 112
  - 4.3.7 Verpacktes Leben – Die Haut 113
  - 4.3.8 Vor UV-Licht schützende Verpackungen 115
- 4.4 Energieoptimierte Verpackungen 116
  - 4.4.1 Energieoptimierte Hüllen 116
  - 4.4.2 Lehmverpackungen 121
  - 4.4.3 Reflektierende Hüllen 122
  - 4.4.4 Durchscheinende, wärmeisolierende Hüllen 123
  - 4.4.5 Kühlende Verpackungen 124
  - 4.4.6 Feuersichere Hüllen 125
- 4.5 Synergetischer Verpackungsschutz fürs Leben 127
  - 4.5.1 Die Eierschale 127
  - 4.5.2 Das Straußenei, Nahrung und rezyklierte Verpackung 132
  - 4.5.3 Atmende Hüllen 133
  - 4.5.4 Zwiebeln als universelle Verpackungen 134
  - 4.5.5 Verpackungen mit Langzeitprogramm 135
- 4.6 Spezialisierte Verpackungen 137
  - 4.6.1 Geräuschlose Verpackungen 137
  - 4.6.2 Fliegende Verpackungen 138
  - 4.6.3 Gewebte Verpackungen 139
  - 4.6.4 Gesponnene Hüllen 141
  - 4.6.5 Organische „Kettenhemden“ 144
  - 4.6.6 Wattehüllen 145
  - 4.6.7 Chemische Spezialverpackungen 146
- 4.7 Der Mensch als Teil der Natur und die Verpackung 147
  - 4.7.1 Künstlich verpacktes Leben 147
  - 4.7.2 Der Übergang von natürlicher zu technischer Verpackung 149
- 5 Bionik der Verpackung 151**
  - 5.1 Bionik – Grenzgängerin zwischen Biologie und Technik 151
    - 5.1.1 Anleitung für bionisches Forschen und Entwickeln 154
  - 5.2 Verpackungsbionik – Produktentwicklung im komplexen Netzwerk 162
    - 5.2.1 Strategische Aktionsfelder der Verpackungsbionik 163
    - 5.2.2 Lebensweg Verpackung 165
    - 5.2.3 Die biokybernetische Verpackung 169

5.2.4	Verpackungsbionische Qualitätsmatrix – Kernelement der Verpackungsbionik	175
5.2.5	Evolutionäre Verpackungsoptimierung	182
5.3	Biologische Vorbilder: Welche verpackungstechnischen Schlußfolgerungen?	187
5.3.1	Welche Strategien erkennt man?	187
5.3.2	Verpackungsmaterialien der Natur – wo werden sie bereits technisch genutzt?	189
<b>6</b>	<b>Organisationsmanagement der Verpackungsbionik</b>	<b>193</b>
6.1	Biologisches Organisationsmanagement der Verpackung	194
6.2	Technisches Organisationsmanagement der Verpackung	200
6.2.1	Komplexe Organisation – komplexes Management	200
6.2.2	Die Wenn-dann-Logik des Mißlingens im Organisationsmanagement	202
6.3	Bionisches Organisationsmanagement – BOM – Vision für eine ganzheitliche nachhaltige Verpackungswirtschaft	210
6.3.1	Systemische Denkrichtungen und Denkhemmnisse	217
6.4	Klare Zielvorgaben aus komplexen Zusammenhängen	219
<b>7</b>	<b>Globalisierung der Verpackungsströme – Verletzung bewährter nachhaltiger Naturprinzipien?</b>	<b>223</b>
7.1	Verpackungsmaterial, Verpackungsvolumen und Verpackungsmasse	223
7.2	Energieeinsatz und Verpackungsströme	224
7.3	Information, Transport und Verpackung	226
7.4	Lernprozeß und Zeithorizont	227
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>231</b>
	<b>Literaturnachweis</b>	<b>235</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>241</b>

*Jeder dumme Junge  
kann einen Käfer – samt seiner Chitin-Verpackung – zertreten.  
Aber alle Professoren der Welt  
können keinen herstellen.*

(frei nach Arthur Schopenhauer)

## 1

### Einleitung

Die technische Verpackungswirtschaft hat in den letzten Jahrzehnten unbestritten hervorragende Leistungen für den Schutz und den Transport von Gütern des täglichen Bedarfs erbracht. Trotzdem kann man nicht gerade sagen, daß der moderne Mensch auf die Ergebnisse der Verpackungstechnologie uneingeschränkt stolz sein kann. Er begegnet ihnen nämlich auf Hinterhöfen, wo sich allerlei möglicher Abfall türmt, auf den Rampen von Kaufhäusern, wo aussortierte Kartons gestapelt werden, oder an den Abfallhalden der Großstädte, über denen Scharen hungriger Vögel kreisen. Er wird mit ihnen aber auch in der Natur konfrontiert, wenn Müll an sonst idyllische Strände driftet oder weggeworfene Picknick-Reste das angenehme Grün des Waldes stören. Dort, in der puren Natur fällt besonders auf, daß die Probleme mit dem Lebensweg und der Entsorgung von Verpackungen etwas Unnatürliches im wahrsten Sinne des Wortes sind. Probleme dieser Art gibt es nämlich in der Natur nicht. Auch dort werden viele und technisch viel aufwendigere Verpackungen benutzt. Aber sie fallen nicht aus dem Rahmen, erzeugen keine Abfallberge, fügen sich in den natürlichen Kreislauf ein, fallen nicht unangenehm auf, bedrohen nicht die Gesundheit und verschwinden in der Regel wieder problemlos aus der Welt. Die Natur hat ihre Verpackungsprobleme vollständig gelöst, was man von unserer Verpackungstechnik offenbar nicht behaupten kann. Was liegt näher, als diese Erkenntnis ernst zu nehmen. Viele Menschen haben dies sicher bereits instinktiv getan, aber beim weiteren Nachdenken resigniert. Haben nicht schon viele technisch anspruchsvolle Lösungsansätze nur zu zweifelhaften Erfolgen geführt? Wie sollte man dann die wesentlich komplexeren Mechanismen der Natur verstehen und sie für unsere technische Welt nutzbringend adaptieren? Jemand mußte einen ersten systematischeren Versuch machen, und wir haben uns dazu entschlossen.

Im vorliegenden Buch verfolgten wir das Ziel, Sie als Leser sowohl mit den Gesetzmäßigkeiten und Produkten heutiger Verpackungstechnologie zu konfrontieren, als Ihnen auch bewährte Verpackungslösungen der Natur vorzustellen. Man wird dabei erkennen, daß technische Lösungsansätze sehr oft auf kleine hintereinandergeschaltete Denk- und Handlungsschritte aufbauen. Die biologische Vorgehensweise ist demgegenüber charakterisiert durch vielfach vernetzte Handlungen, die zu hochgradig problemangepaßten und ganzheitlichen Lösungen führen. Die Natur ist realen Bedingungen unserer Welt ausgesetzt, denen sie in ihren langen Entwicklungszeiträumen nicht entfliehen kann. Demgegenüber neigen wir Men-

schen dazu, vielfach aus Gründen der Einfachheit, Problemlösungen in überschaubarem Rahmen zu verwirklichen. Antriebsmotor für dieses Vorgehen ist im wesentlichen das Bestreben, kurzfristig ökonomische Gewinne zu erzielen. Dabei übersehen wir oft die tatsächlich vorhandenen Rückkopplungswege in unserem Umfeld, die zu den erwähnten belastenden Auswirkungen führen.

Wir haben Strategien und konkrete Handlungsschritte herausgearbeitet, wie man mit Hilfe biologischer Vorbilder und bionischer Vorgehensweisen gegenwärtige technische Probleme korrigieren und zukünftige vorbeugend vermeiden kann. Sowohl die Entwicklung konkreter Verpackungsprodukte als auch die Organisation der verpackungstechnischen Abläufe werden unter solchen Gesichtspunkten neu überdacht. Alle diese neuen Denkmodelle und praktischen Handlungen unterwerfen sich einem übergreifenden Ziel, nämlich Nachhaltigkeit und ökonomische Umweltverträglichkeit Schritt für Schritt zu verwirklichen. Schließlich wollen wir durch das Vorstellen herausragender biologischer Verpackungsvorbilder dazu anregen, daß sich Ingenieure in Ausbildung und Beruf intensiver für die ausgereiften Naturlösungen begeistern und systematisch lernen, durch vernetztes Denken kreativ zu sein. Dies wäre ein zukunftsweisender Beitrag in Richtung auf eine nachhaltig wirtschaftende Industriegesellschaft.

## 2

### Netzwerk Verpackung

Da in diesem einleitenden Teil die Rede vom Netzwerk Verpackung ist, möchten wir den Begriff Netzwerk, der auch in anderem, beispielsweise informationsgesellschaftlichem Zusammenhang (Internet) genutzt wird, etwas klarer herausstellen. Wir wollen den Begriff Netzwerk hierzu vergleichend auf biologische und technische Verpackungen anwenden.

Diese Art biologisch-technischer Gegenüberstellung wird Sie auch durch die anschließenden Unterkapitel von Teil 2 leiten und einen ersten Überblick über die vielfältigen Einflüsse geben, die sich hinter dem Begriff Netzwerk Verpackung verbergen.

Das Netzwerk einer biologischen Verpackung ist ein sich evolutionär entwickelndes Wirkungsgefüge, in dem verschiedene Vorgänge (Material bearbeiten und nutzen, Energien umlenken, Informationen austauschen) zweckorientiert und effizient miteinander verbunden sind. Austausch-, Kooperations-, Koordinations- oder auch Konfliktprozesse, finden – für die Stärkung der individuellen Weiterentwicklung verpackten Lebens – in einer weitgehend kleinräumigen, aber dennoch offenen Umgebung statt. Die evolutionäre Entwicklung findet dynamisch statt, das heißt: Netzwerkvorgänge werden einmal mehr, einmal weniger strukturiert miteinander verknüpft, je nach individuellem Anpassungsgrad der Organismen. Das Netzwerk einer biologischen Verpackung besteht daher zu einem Großteil aus miteinander verbundenen Vorgängen, die sich nach Art eines Kreislaufes, besser: nach Art mehrerer verknüpfter Kreisläufe verhalten, was aber nicht bedeutet, daß alles mit allem verbunden ist. Daher führen Störungen im biologischen Netzwerk in der Regel selten zu totalen oder partiellen Zusammenbrüchen, eher zu gedämpften Störungsfortpflanzungen, bis zu deren gänzlicher Beseitigung. Biologische Verpackungsnetzwerke sind aus diesem und anderen Gründen nicht nur nachhaltigentwicklungsfähig, aus sich heraus ökologisch, wirtschaftlich vorbildlich, sondern auch fehlertolerant.

Das Netzwerk einer technischen Verpackung ist ein sich strategisch an den Bedürfnissen des Wirtschaftsmarktes entwickelndes Wirkungsgefüge, in dem wenige mit der Natur vergleichbare Material-, Energie- und Informationsprozesse ablaufen. Das Handlungsumfeld streut von kleinräumiger Versorgung bis zu kontinentübergreifendem Handel. Abläufe in diesem globalisierenden Netzwerk folgen sehr oft, aber nicht immer, kausalen, nacheinander ablaufenden Vorgaben und linearen Handlungsverknüpfungen. Die Ziele sind in erster Linie produktorientiert und die

Produkte wertschöpfungsmaximierend angelegt. Verpackungsoptimierung statt Verpackungssystemoptimierung ist die Rangfolge, mit der Konsequenz nachhaltiger Folgelasten statt nachhaltiger Weiterentwicklung. Insofern ist der Begriff Netzwerk für technische Verpackung weniger mit evolutionär-systemischen, dafür mehr mit linear-strategischen Abläufen besetzt.

**Kurz:** Im komplexen Netzwerk biologischer Verpackungen ist der Wirkungszusammenhang der Abläufe auf dem Lebensweg einer Verpackung Grundlage für nachhaltige Verbesserungen und mehr als die Summe partieller Handlungsoptimierungen.

Im komplexen Netzwerk technischer Verpackungen sind die Produkte Basis einer ökonomischen, größtenteil linear ablaufenden optimierten Wertschöpfung. Es zeigt sich zunehmend, daß der Gesamtgewinn, also die Summe dieser erwirtschafteten Werte plus die Aufwendungen für Folgelasten (Umweltbelastung, Entsorgungprobleme), die zwangsläufig aus kausalen Handlungsverläufen im Netzwerk entstehenden, weniger ist als die Optimierung des vernetzten verpackungstechnischen Gesamtgefüges.

Hinter dieser kurzen Gegenüberstellung steht nichts weniger als die Forderung eines Paradigmawechsels für die Wirtschaft im allgemeinen und der Verpackungswirtschaft, als eine *Querschnittswirtschaft*, die viele Industriebereiche bedient, im besonderen. Wie dieser weniger abrupt, aber stetig vollzogen werden kann, dazu sollen die folgenden Texte und Bilder anregen.

Es sollte aber nicht vergessen werden, daß immer folgender verpackungstechnischer Grundsatz gilt:

- **Die Natur verpackt für ihre Organismen,  
die Technik verpackt für ihre Produkte.**

Dennoch hoffen wir, Ihnen als Leser des Buches zeigen zu können, daß biologische Verpackungen in ihrer unermeßlichen Vielfalt und Effizienz ein ökologisches *und* ökonomisches Potential besitzen, der wirtschaftlichen Verpackungstechnik eine konstruktive Hilfe für nachhaltige Produktentwicklung zu geben, eben durch eine *BIONIK der Verpackung*.

## 2.1

### Verpackungen in Natur und Technik

#### 2.1.1

#### **Struktur–Form–Systemik – Vernetze Aktionsfelder für nachhaltige Verpackungen der Natur**

Die über eine Milliarde Jahre andauernde Verpackungserfahrung der Natur hat dazu geführt, daß sie mit den meisten Materialien experimentierte, die der Mensch auch für Verpackungen einsetzt. Eine Ausnahme bilden Werkstoffe, die zur Herstellung

hohe Temperaturen erfordern. Als Ausgleich dafür hat die Natur mit einer Hand voll Grundstoffen variantenreiche Strukturen und Formen von Verpackungen hervorgebracht, deren verpackungsintelligente Eigenschaften wir mit unserer Technik nicht annähernd beherrschen. Lernen von der Natur wird aller Voraussicht nach auch für den Bereich technischer Verpackungen eine wertvolle Hilfe für menschliches Handeln, bei dem Fragen aufgeworfen werden wie:

- **Wie hat die Natur dieses Problem gelöst?**
- **Warum hat die Natur es gerade so gelöst?**

Diese evolutionär entwickelten Naturlösungen folgen alle dem generellen Ziel der *Nachhaltigkeit*. Ein Produkt ist in diesem Sinn nachhaltig, wenn es im Netzwerk lebenslaufabhängiger Einflüsse die gegebenen qualitativen bzw. quantitativen Anforderungen erfüllt und darüber hinaus eine Weiterentwicklung ohne hinterlassene Folgeprobleme gewährleistet. Aus biologischer Sicht spricht man von einem Fitneß-Profil, das sich optimal dem natürlichen Lebensraum anpaßt. Das technische Pendant wird Anforderungsprofil genannt.

Es war übrigens ein Deutscher, der sächsische Oberberghauptmann Hans Carlo von Carlowitz, der vor beinahe 300 Jahren das nachhaltige Wirtschaften als sinnvolle und zukunftsweisende Tätigkeit gezielt förderte (Grober 1999). Durch seinen Weitblick erkannte er, daß der politisch motivierte Raubbau der Wälder zur Aufrüstung von Schiffsflotten, ohne überlegtes Handeln bei der Wiederaufforstung, sehr schnell zu einem völligen Verbrauch des Rohstoffes Holz und damit zu einem Erliegen des Nachschubs für den Schiffsbau führen würde. Sein 1713 veröffentlichtes Buch „*Sylvicultura Oeconomica – Naturgemäße Anweisung zur Wilden Baum-Zucht*“, gilt vielen als die Geburtsstunde für nachhaltiges Wirtschaften in unserem Lebensraum.

Verpackungsmaterialien müssen, wenn sie in die vorgesehene Struktur und Form gebracht worden sind, streng definierte physikalische und chemische Eigenschaften besitzen. Nicht selten müssen mehrere Qualitätskriterien gemeinsam erfüllt sein. Die Natur hat im Verlauf ihrer Evolution für eine Vielzahl heterogener Materialien und Materialverbünde, angepaßt an die jeweilige Umwelt, zielstrebig ausgefeilte Fertigungstechniken (u. a. Trennen, Fügen, Stoffeigenschaften ändern) sowie Transport- und Lagertechniken ganzheitlich, das heißt systemisch optimiert. Viele Verpackungsprobleme in Kombination mit Strukturaufgaben löst die Natur mit den umweltverträglichen Werkstoffen Lignin, Chitin und Keratin. Nicht selten sind Verpackungsmaterialien verbundwerkstoffartig aufgebaut. Beispielsweise spinnen Insektenlarven Wohnröhren, oft unter Einflechtung von Holzstäbchen oder Steinen. Dabei schaffen sie es, wie bei modernen atmungsaktiven Geweben, trotz Feuchtigkeitsisolierung die Atmung durch die Wandung aufrechtzuerhalten. Die Natur schafft es auch ohne Probleme, kunststoff- oder glaswolleähnliche Eigenschaften mit umweltverträglichen und rezyklierbaren Materialkombinationen zu realisieren. In Kapitel 4 werden hierzu eine Vielzahl biologischer Verpackungsbeispiele und deren technisch relevante Leistungen erörtert.

Die Natur präsentiert ihre Verpackungsqualitäten nicht nur durch die produktorientierten Merkmale *Struktur* und *Form*, sondern ergänzt sie durch ein drittes ver-

fahrendes Merkmal, die *Systemik* (in Kapitel 5.2 wird auf diese drei Merkmale ausführlich eingegangen). Dieses verfahrenstechnische bzw. organisatorische Merkmal garantiert die nachhaltige Weiterentwicklung der erfolgreichen Struktur- und Formlösungen biologischer Verpackungsprodukte. Das systemische (Verpackungs-)management der Natur verknüpft die „Arbeitsgänge“ von Produktlebensläufen auf derart elegante Weise, daß Ressourcenverarbeitung, Produktionswirkungsgrad und Produktleben, angepaßt an den jeweiligen Lebensraum, höchste Wirksamkeit besitzen. Das bedeutet unter anderem, daß Materialien zu 100 % wiederverwertet werden und die zur Verfügung stehende Energie sehr rationell genutzt wird. Durch entsprechend ganzheitlich-vernetzte und rückgekoppelte Verfahrensabläufe in der Natur sind biologische Verpackungen Teile eines ausgeklügelten Netzes aus optimal aufeinander abgestimmten Material-, Energie- und Informationsflüssen. Ein grundlegendes Merkmal dieser Verfahrensprozesse ist der Regelkreis, präziser: der biokybernetische Regelkreis. Weiter unten wird auf dieses besondere Merkmal noch ausführlich eingegangen.

Das Spektrum in der Natur realisierter Verpackungslösungen ist sehr groß und ist bisher im Hinblick auf Vorbilder für technische Anwendungen weder systematisch noch systemisch durchforstet worden. Hinter den evolutionären Naturverpackungen und natürlichen Verpackungsprozessen verbergen sich ausgeklügelte Konstruktionen, Verfahren und Prinzipien, die wegen der angedeuteten großen Zahl – auch im Rahmen dieses Buches – nur an ausgewählten Beispielen erläutert werden können, jedoch der Leserin und dem Leser anregende Einblicke in den unermesslichen Variantenreichtum effizienter Verpackungen der Natur vermitteln.

### 2.1.2

#### **Produkt und Menge – Leitbegriffe für ökonomische Verpackungen der Technik**

Seit es Güter des täglichen Bedarfs für uns Menschen gibt, die nicht unmittelbar an Ort und Stelle der Herstellung auch genutzt, das heißt verbraucht werden, seitdem stellt sich auch die Frage nach Schutz und Transport dieser Waren. Geschichtlich läßt sich die Nutzung von Naturmaterialien, insbesondere Papyrus, Baumrindenprodukte, Blätter und Tierfelle sowohl für energetische, informative und mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit auch verpackungstechnische Zwecke, bis zu den ägyptischen Pharao-Dynastien des 3. Jahrtausend vor christlicher Zeitrechnung verfolgen (Shannon 1987). Auch heute nutzen noch verschiedene Naturvölker in Amerika und Afrika die technischen Leistungsmerkmale von Naturverpackungen für die Lösung ihrer Verpackungsprobleme. Die Straußeneischale dient den südwestafrikanischen Buschmännern zum Beispiel immer noch als hervorragender Langzeitspeicher für Wasser. Auch hierauf kommen wir später detailliert zurück. Diese Art nachhaltiger und energieeffizienter Verpackungsnutzung geschieht bei diesem Naturvolk durch empirisch-intuitive Kenntnis der Naturstoffeigenschaften, die uns technisierten Menschen abhanden gekommen ist. Noch bis zum Ende der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden – wohl aus der Not geboren und aus Mangel an technischen Alternativen – in Lebens-Wohn-Bereichen natürlich kühlende Kellerräume konsequent auch für die Langzeit-Lagerung von Lebensmitteln in

geeigneten Naturstoffverpackungen genutzt. Die hölzerne, luftdurchlässige, mit einer schrägen Rutsche ausgestattete Kartoffelkiste ist hierfür ein markantes Beispiel.

Heute haben sich Verpackungserfahrungen und wissenschaftliche Kenntnisse über Verpackungen in eine regelrechte Verpackungstechnologie gewandelt. Diese trägt dazu bei, daß über den ganzen Erdball und darüber hinaus – denken wir an die Raumfahrt-Verpackungen unterschiedlichster Materialien und Formen für Schutz und Transport der ebenso unterschiedlichen Verpackungsinhalte sorgen und sie sicher von einem Ort zum anderen befördern. Daraus leiten sich drei grundlegende Forderungen technischer Verpackungen ab (Berndt et al. 1989):

1. **Qualitätssicherung**

Die Verpackung schützt den verpackten Inhalt vor allen Beanspruchungen zwischen Hersteller und Verbraucher

2. **Warentransport**

Die Verpackung gewährleistet den rationellen Durchlauf bei Lagerung, Packgutumschlag und Transport

3. **Information und Marketing**

Die Verpackung informiert den Verbraucher über den Verpackungsinhalt unter Einhaltung gesetzlicher Vorschriften

Viele tausend unterschiedliche Verpackungen schützen viele tausend verschiedene Waren, die aus flüssigen, festen und gasförmigen Stoffen oder Stoffgemischen bestehen. Darunter befinden sich Verpackungen und Packgüter vielgestaltiger Formen und Größen, variabler Gewichte sowie verschiedenartiger Empfindlichkeiten. Und täglich werden es mehr! Als Folge dieser Verpackungsvielfalt existieren Varianten von Verpackungsstoffen, die in dieser Zusammensetzung in der Natur nicht vorkommen. Denken wir nur an die Vielzahl technisch-chemisch erzeugter und in den seltensten Fällen naturverträglicher Verpackungsstoffe wie Polyvinylchlorid (PVC), Polyethylen (PE) oder Polystyrol (PS), um nur einige wenige zu nennen. Ebenso resultieren aus dieser unvorstellbaren Menge Verpackungen, die mit ihren spezifischen technischen Anforderungsprofilen auf den jeweiligen Inhalt kalibriert sind, zahlreiche Stoffverbände, deren Weiterverwertung bzw. Entsorgung nach der eigentlichen wirtschaftlichen Wertschöpfung zum Teil außerordentlich kostenaufwendig und höchst umweltproblematisch ist.

Bei dieser problemreichen Materialanhäufung entsteht der Eindruck, daß in der Technik das Produkt die Organisation des Verpackungszyklus bestimmt.

Technische Verpackungsabläufe, von der Rohstoffgewinnung über Herstellung, Handel, Nutzung bis zur Wiederverwertung und Entsorgung, laufen noch zum großen Teil in linearer, kausaler Folge ab. Das ist ähnlich einem Steuerungsprozeß, bei dem ein Signal eine Aktion auslöst, die wiederum eine Aktion auslöst und so weiter. In der Wirtschaft, auch in der Verpackungswirtschaft, laufen viele aufeinander abgestimmte Verarbeitungswege noch nach diesem geradlinigen Handlungsprinzip ab. Oberstes Ziel, präziser: oberstes Wirtschaftsziel verpackungstechnischer Prozesse ist die geldwerte Steigerung des Produktes. Dem hat sich alles andere unterzuordnen! Die stetige Steigerung der Verpackungen als Ware und Geld fragt danach:

- **Welche Verpackungen werden benötigt?**
- **Wieviele Verpackungen müssen hergestellt werden?**

Diese folgen dem Maximierungs-Prinzip der *ökonomischen Wertschöpfung*, unterstützt durch die sogenannte Kapital- und Arbeitsproduktivität.

Erst in allerjüngster Zeit, aufgrund zunehmender Folgeprobleme durch industriebedingte Umweltschäden, ist eine vorsichtige Hinwendung zu einer Wertschöpfung erkennbar, die neben dem ökonomischen auch den ökologischen Aspekt wirtschaftlicher Prozesse berücksichtigt. Diese Folgeprobleme zeigen sich unter anderem in Form von kostenaufwendigen Zusatzinvestitionen der Wirtschaft, die mehr zur Beseitigung und weniger zur Vorbeugung der Umweltschäden eingesetzt werden, als auch durch Aufwendungen aufgrund verschärfter gesetzlicher Rahmenbedingungen für stoff- und energieverarbeitende Vorgänge. Wie weit und wie konsequent dieses umweltökonomische Handeln zu der notwendigen nachhaltigen Verbesserung für Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt führt, bleibt abzuwarten.

Mit dieser ersten Gegenüberstellung von Verpackungen in Natur und Technik wird schon das Spannungsfeld deutlich, in dem sich die in den Kapiteln 5 und 6 vorgestellte Bionik der Verpackung und des Verpackungsmanagements zu bewähren hat.

Aber gehen wir nun im Netzwerk Verpackung weiter und betrachten bzw. diskutieren – wieder in Form einer biologisch-technischen Gegenüberstellung – verschiedene Merkmale bzw. Einflüsse etwas genauer, ohne den weiter unten folgenden biologisch-technischen Ausführungen bionischer Betrachtungsweisen wesentlich vorzugreifen.

## 2.2

### Verpackung und Lebensraum

#### 2.2.1

##### In lokaler Umgebung perfekt angepaßte Naturverpackungen

Es existiert auf unserer Erde kaum ein Lebensraum, abgesehen von wenigen Ausnahmen wie extreme Gebirgshöhen, große Tiefen der Meere (die wir noch wenig kennen) und Räume hoher Temperaturen (Vulkane), in dem nicht Verpackungen der Natur das eine oder andere Lebewesen schützen und auf diese Weise zur Erhaltung der Art beitragen. Verpackungen in diesen Lebensräumen, die auch Biotope genannt werden, entwickelten ihre Schutzfunktion für die Lebewesen naturgemäß durch evolutionäre Anpassung an die lokalen, ständigen Änderungen unterworfenen Umgebungen. Die folgende Aufzählung beinhaltet Beispiele von natürlichen Verpackungen mit charakteristischen Verpackungsmerkmalen, die einzelnen Lebensräumen zugeordnet sind. Die Beispiele weisen einerseits auf den außerordentlich hohen und effizienten Anpassungsgrad hin, mit dem sich Lebewesen durch ihre Art der Verpackung Überlebensschutz geben. Andererseits geben sie einen ersten Überblick darüber, mit welcher Reichhaltigkeit die Natur Verpackungen ausbildet und strukturiert, und alles trotz der nur wenigen materiellen Grundbausteine, die

Tab. 2.2.1 Beispiele von biologischen Verpackungen in ihren Lebensräumen

Biome und Regionen	Biologische Verpackungen	Besonderes Verpackungsmerkmal
Arktis	Polarbär	durchscheinender lichtstreuender Pelz
Borealer Nadelwald und Taiga	Polarfuchs	minimierte Körperforsätze, kleinste Oberfläche
Borealer nördlicher Mischwald	Biber	wärmeresistentes Fell, Überwinterung im Familienverbund
Immergrüner tropischer Regenwald	Riesenschlange	Schuppenkleid, nimmt Umgebungstemperatur an
Savanne	Strauß	lockeres Federkleid mit aufstellbaren Federn
Wüste	Kamel	Fettpolster als Höcker auf dem Rücken, um Wärmeableitung zu ermöglichen
Tundra	Tundragans	hochstrukturiertes Federkleid, die meisten Federn an Kopf und Nacken
Gebirgsvegetation	Lobelia	sammeln Wasser zur Speicherung von Sonnenwärme, reflektieren UV-Strahlung
Inseln	Iguana	Oberfläche wird bei Hitze heller
Antarktis	Kaiserpinguin	hochstrukturiertes Federkleid, Kälteresistenz

zur Verfügung stehen. Sie werden in den Kapiteln 3 und 4 noch Gelegenheit haben, ausführlich über Details natürlicher Verpackungsraffinessen zu lesen.

Eine Anmerkung zu Tabelle 2.2.1 sei noch erlaubt. Die Form der Kästchendarstellung soll nicht dazu verleiten anzunehmen, daß Naturverpackungen nur dort einsetzbar sind, wo sie sich im Netzwerk lokaler Umgebungseinflüsse optimal einfügen. Naturverpackungen sind – wie auch alle anderen Ergebnisse der Evolution – in einer „offenen“ Umwelt entstanden, in der Einflüsse verschiedenster Art auf die Verpackung wirken. „Offen“ steht hier im Gegensatz zu „hermetisch abgeschlossen“. Beispielsweise zeigt uns die Beschreibung der Kokosnuß in Kapitel 2.5.3 und ausführlicher in Kapitel 4, wie sich diese biologische Frucht samt Verpackung für das Existieren in verschiedenen Biotopen entwickelt hat.

### 2.2.2

#### **Weltweit wirtschaftlich zweckorientierte Technikverpackungen**

Technische Verpackungen sind, im Gegensatz zu biologischen Verpackungen, aus dem zielorientierten Zwang eines vorgegebenen, zu verpackenden Produktes – Packgut bzw. Packungsinhalt – heraus, optimiert. Während die biologische Verpackung Teil eines geschickten Entwicklungsprozesses ist, der sich nahtlos in die netzwerk-

bestimmende Optimierung von Verpackung, Inhalt und lokaler Umgebung einpaßt und bei dem mehrere Einflussgrößen gleichzeitig optimiert werden, nutzen die Ingenieure der Verpackungstechnik einen eingeschränkteren Lösungsansatz. Sie suchen gezielt – oft kausalen Entwicklungsschritten folgend – nach Verpackungslösungen für technische Verpackungen, die durch die Inhalte der Verpackungen vorgegeben sind. Spezifische Anforderungsprofile an die Verpackung unterstützen diese Entwicklung. Hierzu in Kapitel 2.4 mehr. Die Verpackungstechnik greift hierbei auf eine Vielzahl von Verpackungsformen und insbesondere natürliche und künstliche Verpackungsmaterialien zurück, die in der Regel den drei oben genannten Grundforderungen (Qualitätssicherung, Warentransport, Information und Marketing) technischer Verpackungen entsprechen. Einen hautnahen Eindruck von der großen Vielfalt an technischen Verpackungen bekommt jeder von uns beim täglichen Einkauf im Supermarkt.

In unserer Wirtschaft wird fast alles verpackt. Das hat weitreichende Konsequenzen. Der Motor dafür ist die Globalisierung der Verpackung. In den sogenannten Industrieländern, die das verpackungstechnische Know-how besitzen, wird die Basis dafür gelegt, daß Verpackungen Warentransporte rund um den Erdball und bis in die entlegensten Teile der Erde ermöglichen. Die Konsequenzen zeigen sich aber nicht nur in einem weltweiten Umschlag der Packungsinhalte zum Nutzen der Verbraucher und der Industrie, sondern ebenso durch weltweit transportierte, teilweise aufaddierte Entsorgungsprobleme der Verpackungen nach ihrer Nutzungszeit.

### 2.2.3

#### **Schlußfolgerung**

Welche Schlußfolgerung können wir nun ziehen?

Biologische Verpackungen sind in kleinräumiger Umgebung *systemoptimiert*. Sie sind, unter Berücksichtigung vernetzter Einflüsse, durch Verpackungsinhalt und Umwelt, angepaßt an den jeweiligen Lebensprozeß. Verpackung und Verpackungslbensweg führen im Lebensraum zu einer nachhaltigen Weiterentwicklung. Eine Verpackungsentsorgung im technischen Sinn kennt die Natur nicht.

Demgegenüber werden technische Verpackungen für bestimmte flüssige, feste oder gasförmige Verpackungsinhalte mit zugehörigen Einflußmerkmalen entwickelt. Sie sind *produktoptimiert*, selten *prozeßoptimiert* und so gut wie gar nicht ganzheitlich optimiert! Das führt im Extremfall dazu, daß Aluminium- bzw. Weißblechdosen oder Kunststoffflaschen, die zum Teil mehrere hundert Jahre und länger haltbar sind (UNEP 1991), auf den höchsten Gipfeln des Himalaja-Gebirges oder in den Fangreusen von Fischerbooten auf den Meeren oder als chemische Reste von Verpackungsverschlüssen in den Mägen von Organismen zu finden sind, die uns Menschen als Nahrung dienen. Bekannte und unbekannte Lebensräume werden dadurch nachhaltig belastet und auch zerstört.

Fassen wir unsere Schlußfolgerung in einem Satz zusammen: Während verpackungstechnische Handlungen der Natur lebensraumverträglich und dadurch nicht umweltbelastend sind, resultiert aus vielen verpackungstechnischen Handlungen der Technik das Gegenteil.

## 2.3

**Das Fertigungsprodukt Verpackung**

Die Herstellung von Verpackungen – ob in der Natur oder in der Technik – ist ein komplexer stofflicher Verarbeitungsprozeß, an dem viele einzelne Verarbeitungstechniken beteiligt sind. Die Optimierung des fertigungstechnischen Produktes Verpackung erfolgt nach Vorgabe eines bestimmten Ziels oder mehrerer Ziele. Unter Einsatz von Energie und ausgewählten Fertigungstechniken wird die Verpackung schließlich in eine zweckmäßige Form gebracht. Neben der Form ist die Struktur des Materials oder der Materialverbünde ein weiteres Qualitätskriterium zur Erfüllung der Ziele.

Schließlich sind noch die einzelnen Fertigungstechniken selbst zu nennen, derer sich die Natur und die Technik für Verpackungsprodukte bedient. Die ingenieurtechnische Einteilung unterscheidet 6 Haupttechniken, die zusammen mit je einem biologischen und technischen Beispiel in Tabelle 2.3.1 wiedergegeben sind.

Nach der voranstehenden Einteilung werden alle Haupttechniken fertigungstechnischer Prozesse für das Produkt Verpackung in Natur und Technik genutzt. Auf die

**Tab. 2.3.1** Fertigungstechniken bei biologischen und technischen Verpackungs-Fertigungsprodukten

<b>Fertigungstechnik – Haupttechnik –</b>	<b>Biologisches Fertigungsprodukt</b>	<b>Technisches Fertigungsprodukt</b>
Urformen	fixierter Kohlenstoff bzw. assimiliertes Kalzium (bei kalkschalenbildenden Organismen)	Halbzeuge für Transportverpackungen, Paletten
Umformen	alle Wachstumsprozesse Metamorphosen der Verpackungen, z. B. von Raupe zu Schmetterling	Tiefziehprozesse zur Herstellung von Dosen, Kunststoffflaschen
Trennen	vormarkierte Trennfugen bei Fruchtverpackungen	Reißen von Verschlusssystemen
Fügen	Hybridfügen bzw. adhäsives Fügen bei Organismen in verschiedenen Biotopen (Insekten, Krebse, Bäume)	Falten und Kleben von Kartonverpackungen
Beschichten	hydrophobierte Oberflächen durch Wachsschicht bei Pflanzenverpackungen	Oberflächenlackieren von Verkaufsverpackungen
Stoffeigenschaften ändern	Alterungsanzeige durch Farbumschlag bei Fruchtverpackungen	„intelligente“ Verkaufsverpackung mit integrierten Alterungssensoren