

**ZEW**

*Dokumentation*

**Verpackungsmaterial und  
Schmierstoffe aus nachwachsenden  
Rohstoffen**

herausgegeben von Jens Hemmelskamp

Dokumentation Nr. 94 - 04

# ZEW

Zentrum für Europäische  
Wirtschaftsforschung

## **Verpackungsmaterial und Schmierstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen**

Tagungsband zur Veranstaltung des  
Zentrums für Europäische Wirtschaftsforschung  
und der

Industrie- und Handelskammer-Karlsruhe  
am 23. Februar 1994

im Rahmen der IHK-Veranstaltungsreihe "Betrieblicher Umweltschutz"

mit Beiträgen von

P. Deutschmann, J. Hemmelskamp, T. Kripp,  
T.Luck und H. Utz, G.A. Reinhardt, J. Zehnle

Für weitere Informationen wenden Sie sich bitte an:

ZEW

Kaiserring 14 - 16

D 68161 Mannheim

Fax: +49 621 1235 226

Jens Hemmelskamp

Tel: +49 621 1235 203

Email: [jhe@zew.zew-mannheim.de](mailto:jhe@zew.zew-mannheim.de)

Anne Grubb

Tel: +49 621 1235 241

Email: [agr@zew.zew-mannheim.de](mailto:agr@zew.zew-mannheim.de)

Für ihre Mitarbeit möchte ich mich bei Thomas Eckert, Alexander Kanellakis und Angelika Neufert bedanken.

# Vorwort

Anne Grubb

Mit der 5. Novelle des Abfallgesetzes hat die Bundesregierung im Frühjahr 1993 den Entwurf eines Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes verabschiedet. Die Wirtschaft soll dadurch verstärkt die Verantwortung für die hergestellten Produkte über den gesamten Lebensweg wahrnehmen.

Vor diesem Hintergrund veranstalteten das Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung und das Referat Energiewirtschaft und Umweltschutz der Industrie und Handelskammer Karlsruhe am 23. Februar 1994 im Rahmen der IHK-Veranstaltungsreihe "Betrieblicher Umweltschutz" ein Seminar zum Thema "Verpackungsmaterial und Schmierstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen".

Vertreter aus Forschung und Praxis referierten dabei über die Einsatzmöglichkeiten, die Umweltauswirkungen und die Wirtschaftlichkeit nachwachsender Rohstoffe im Verpackungs- und Schmierstoffmittelbereich. Im einzelnen beschäftigten sich die Referenten mit folgenden Themen:

- Nach einer kurzen Einführung in das Thema durch Dipl. Vw. Jörg Zehnle von der Industrie und Handelskammer Karlsruhe ging Dipl. Vw. Jens Hemmelskamp vom Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) in seinem einleitenden Referat allgemein auf die Einsatzmöglichkeiten und den bisherigen Verbrauch nachwachsender Rohstoffe ein.
- Dr. Thomas Luck und Helmar Utz vom Fraunhofer-Institut für Lebensmitteltechnologie und Verpackung (FhG-ILV) betrachteten, vor dem Hintergrund der Verpackungsverordnung, den Einsatz biologisch abbaubarer Polymere unter dem Aspekt der stofflichen Verwertbarkeit.
- Methoden zur Öko-Bilanzierung von Verpackungsmaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen, mit denen im Einzelfall die Umweltvor- und nachteile überprüft werden können, erläuterte Dr. Guido Reinhardt vom Heidelberger IFEU-Institut.
- Das aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellte Biopol ist biologisch abbaubar und kompostierbar. Die Wella AG setzt Biopol für die Herstellung von Shampoo-Flaschen ein. Dr. Thomas Kripp erläuterte in seinem Beitrag die Erfahrungen der Wella AG mit der Markteinführung der Biopol-Flasche bei Sanara-Shampoos.
- Dipl. Ing. Peter Deutschmann referierte schließlich über die Entwicklung und Produktion biologisch abbaubarer Schmierstoffe bei den Fuchs Mineralölwerken, die bereits 1985 ein erstes biologisch abbaubares Sägekettenöl in den Markt einführten.

Die vorliegende Dokumentation ist eine Sammlung der auf der Veranstaltung vorgetragenen Referate. Wir danken den Autoren für die freundliche Genehmigung des Abdrucks ihrer Beiträge und der IHK-Karlsruhe, und hier insbesondere Herrn Dipl. Vw. Jörg Zehnle, für die überaus gute Zusammenarbeit bei der Organisation und Durchführung der Veranstaltung.

# Inhaltsverzeichnis

<i>Vorwort</i> .....	III
<i>Inhaltsverzeichnis</i> .....	V
<b>1. Einführung in das Thema</b> .....	<b>1</b>
Jörg Zehnle	
<b>2. Naturstoffe und ihre industriellen Einsatzmöglichkeiten</b> .....	<b>2</b>
Jens Hemmelskamp	
2.1. Einleitung .....	2
2.2. Nachwachsende Rohstoffe als industrielle Rohstoffe.....	3
2.3. Die Perspektiven nachwachsender Rohstoffe.....	6
2.4. Schlußfolgerungen.....	9
2.5. Literatur .....	10
<b>3. Nachwachsende Rohstoffe als Verpackungsmaterial</b> .....	<b>11</b>
Thomas Luck und Helmar Utz	
3.1. Einleitung .....	11
3.2. Biologisch abbaubare Polymere .....	14
3.3. Eignung für Folienverpackungen.....	17
3.4. Abbauverhalten .....	22
3.5. Chancen und Risiken.....	24
<b>4. Ansätze zur Öko-Bilanz von Verpackungsmaterialien aus Nachwachsenden Rohstoffen</b> .....	<b>27</b>
Guido A. Reinhardt	
4.1. Einführung.....	27
4.2. Theoretische Überlegungen zu einer Ökobilanz "nachwachsende Rohstoffe" .....	29
4.3. Umweltrelevanz der einzelnen Lebenswegschritte.....	35
4.4. Fazit: .....	42
4.5. Literatur .....	42
<b>5. Industrielle Erfahrungen mit Verpackungen aus Nachwachsenden Rohstoffen</b> .....	<b>44</b>
Thomas Kripp	
5.1. Einleitung .....	44
5.2. Was ist Biopol? - Verpackung, wie die Natur sie macht!.....	45
5.3. Biopol 1990: Ein Pilotprojekt - Biopol heute: Was ist neu?.....	48
5.4. Nach weiterführenden Forschungsarbeit ist seit 1990 neu: .....	48
<i>Anhang</i> .....	50

<b>6. Nachwachsende Rohstoffe im Einsatz als Schmieröl .....</b>	<b>54</b>
Peter Deutschmann	
6.1. <i>Einleitung</i> .....	54
6.2. <i>Zeitliche Entwicklung der Nutzung natürlicher Öle und Fette für die Herstellung von Schmierstoffen</i> .....	54
6.3. <i>Eigenschaften von Rapsöl als Schmierstoff</i> .....	55
6.4. <i>Umweltaspekte des Einsatzes von Rapsöl als Schmierstoff</i> .....	57
6.5. <i>Einsatzmöglichkeiten und Wirtschaftlichkeit</i> .....	58
6.6. <i>Ausblick</i> .....	59
<b>Namensverzeichnis: .....</b>	<b>61</b>

# 1. Einführung in das Thema

Jörg Zehnle

Die aktuelle wirtschaftliche Lage in der Bundesrepublik Deutschland erfordert von den Unternehmen neue Produkte, neue Märkte und neue Verfahren. Aber auch die steigenden Umweltprobleme zwingen verstärkt zu unternehmerischen Handeln - entscheidend sind jetzt vor allem neue Ideen.

Viele Unternehmen haben, wie sich auch im Kammerbezirk Karlsruhe zeigt, bereits aktiv begonnen diese Herausforderungen in Angriff zu nehmen und Zukunftsstrategien entwickelt, die diese Probleme berücksichtigen. Auch die Wachstumspotentiale des Umweltschutzmarktes wurden von vielen Unternehmen erkannt: So arbeiten beispielsweise in der TechnologieRegion Karlsruhe Unternehmen eng mit der IHK-Karlsruhe im Pilotprojekt "Clean production" an der Einführung und Verbesserung betrieblicher Umweltmanagementsysteme zusammen.

Umweltschutz wird heute nicht mehr als Bedrohung, sondern vielmehr als unternehmerische Herausforderung verstanden.

In zunehmenden Maße müssen wir lernen in Stoffkreisläufen zu denken. Das Kreislaufwirtschaftsgesetz wird das Recycling noch mehr in den Vordergrund stellen. Etliche Rücknahme-Verordnungen wie etwa für Elektroschrott oder Altfahrzeuge liegen bereits als Referenten-Entwürfe vor und werden lebhaft diskutiert. Die schon geltende Verpackungs-Verordnung war für alle Beteiligten eine große Herausforderung, die man mit vereinten Kräften gemeistert hat. Trotz aller Kritik am Deutschen-Dualen-System (DSD) ist noch keine brauchbare Alternative zur dualen Abfallwirtschaft in Sicht.

Als sich das Referat "Umwelt und Energie" der Industrie- und Handelskammer-Karlsruhe und der Fachbereich "Umwelt- und Ressourcenökonomik, Logistik" des Zentrums für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) vor einem halben Jahr entschlossen haben enger zusammenzuarbeiten, stellte sich die Frage, welcher Problemkomplex für eine gemeinsame Veranstaltung geeignet wäre.

Wir glauben, daß nachwachsende Rohstoffe gerade im Bereich der Verpackungen aber auch bei der Nutzung als Schmierstoffe ein noch weitgehend unbekanntes Potential für neue Ideen darstellen könnte.

Meine Damen und Herren, Ihnen frühzeitig die vielfachen Möglichkeiten nachwachsender Rohstoffe vorzustellen, ist das Ziel der ersten gemeinsamen Veranstaltung der IHK-Karlsruhe und des ZEWs.



## 2. Naturstoffe und ihre industriellen Einsatzmöglichkeiten

Jens Hemmelskamp

### 2.1. Einleitung

Die gegenwärtige Rezession und die damit einhergehende Diskussion um die Zukunft des Wirtschaftsstandortes Deutschland beschränkt die Anpassungszwänge der Wirtschaft vorwiegend auf Kostensenkungsaspekte, welche auch die Forschungs- und Entwicklungsausgaben einbeziehen. Gleichwohl ist unbestritten, daß verstärkte Innovationsanstrengungen und die Fähigkeit diese in wirtschaftlichen Erfolg umzusetzen, eine Voraussetzung für die langfristige Sicherung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit bundesdeutscher Unternehmen ist.

Der Modernisierungsdruck auf die Unternehmen ist insbesondere größer geworden durch;

- die zunehmende internationale wirtschaftliche Verflechtung,
- den sich schnell verändernden und differenzierteren Kundenwünschen und
- nicht zuletzt aufgrund steigender Umweltprobleme.

Um diesen Herausforderungen erfolgreich zu begegnen sind Innovationen von entscheidender Bedeutung. Nachwachsende Rohstoffe stellen dabei wahrscheinlich einen erfolgsversprechenden und bislang nur wenig erschlossenen innovativen Bereich dar.

Bislang haben nachwachsende Rohstoffe in der Europäischen Union eine eher untergeordnete Rolle gespielt. In neuerer Zeit werden hingegen verstärkt die vielfachen Anwendungsmöglichkeiten nachwachsender Rohstoffe für die industrielle und energetische Verwendung diskutiert.

In einer vom Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung durchgeführten Delphi-Studie des Bundesministerium für Forschung und Technologie zur Entwicklung von Wissenschaft und Technik wurde 1993 u.a. deutlich, daß Verpackungen aus biologisch abbaubaren Plastik relativ schnelle Realisierungschancen haben dürften (BMFT 1993). Bevor die weiteren Referenten auf diese Thematik eingehen, wird im folgenden ein kurzer Überblick über die bisherige Nutzung und die potentiellen Nutzungsmöglichkeiten nachwachsender Rohstoffe gegeben.

## 2.2. Nachwachsende Rohstoffe als industrielle Rohstoffe

Nachwachsende Rohstoffe umfassen eine große Zahl land- und forstwirtschaftlicher Produkte die nicht für die Nahrungsmittelproduktion angebaut werden, wie z.B. Forstpflanzen, Gräser, Raps, Zuckerrüben und Miscanthus (Elefantengras). Tierische Produkte wie Leder und Wolle werden im allgemeinen nicht zu den nachwachsenden Rohstoffen gezählt. Im folgenden wird darum nur auf pflanzliche Rohstoffe eingegangen.

Die Zahl der verwendbaren nachwachsenden Rohstoffe sind global betrachtet zahlreich. Dazu gehören u.a.:

- Getreidesorten wie Roggen, Gerste, Hafer, Mais, Buchweizen oder Hirse,
- Ölhaltige Pflanzen wie Raps und Rübsen, Sonnenblumen, Rizinus, Sesam, Baumwolle, Hanf, Sojabohnen, Erdnüsse, Lein, Kokos- und Palmkerne,
- Schnellwüchsige Gehölze wie Pappeln oder Miscanthus,
- Hackfrüchte wie Zuckerrüben oder Kartoffeln,
- Flachs und Hanf

Von den in der Europäischen Union anzubauenden Kulturpflanzen sind für die industrielle Nutzung vor allem relevant:

- Mais, Kartoffeln und Weizen für die Stärkeherstellung,
- Zuckerrüben und Mais für die Zuckerproduktion,
- Flachs und Baumwolle für die Produktion pflanzlicher Fasern,
- Raps, Sonnenblumen, Lein, Soja und Oliven für die Herstellung pflanzlicher Öle

Bislang wird jedoch ein großer Teil des Gesamtbedarfs an nachwachsenden Rohstoffe in Deutschland - mit Ausnahme von Zucker und Faserlein - durch Importe gedeckt. Bei pflanzlichen Ölen und Fetten liegt der Importanteil bei über 70%. Dies ist insbesondere bei Palmkernöl, Kokosöl und zum Großteil bei Sojaöl der Fall. Die Ursachen liegen u.a. in Qualitätsansprüchen, die von heimischen Produkten nicht immer erfüllt werden können, bzw. in den hohen Produktionskosten der in der Europäischen Union produzierten nachwachsenden Rohstoffen.

Unter technischen Aspekten finden nachwachsende Rohstoffe in flüssiger und fester Form in zwei Einsatzgebieten Verwendungsmöglichkeiten.

Zum einen kommen Einsatzmöglichkeiten im industriellen Bereich als Faser-, Gerüststoffe oder Chemierohstoff in Betracht, so z.B. in der Chemischen Industrie, der Verpackungs- und Papierindustrie oder der Bauindustrie.

Zum anderen können nachwachsende Rohstoffe durch Konversionsschritte wie der Auspressung, Vergärung oder Verbrennung im energetische Bereich als Kraftstoff oder zur Wärme bzw. Stromgewinnung eingesetzt werden.

**Übersicht 1:  
Anforderungen industrieller Verarbeiter an nachwachsende Rohstoffe**

	Nahrungsmittel	industrielle u. energetische Rohstoffe
Zusammensetzung der Inhaltsstoffe	möglichst vielseitig	möglichst homogen, eine hohe Konzentration eines bestimmten Inhaltsstoffes
Verarbeitungseigenschaften	mittel bis hoch für Verarbeitungsprodukte; vernachlässigbar bei naturbelassenen Stoffen	hohe für primäre und sekundäre Prozeßstufen
Qualitätsansprüche	ernährungsphysiologischer Wert, Frische, ästhetische Ansprüche, Geschmackswert	chemische Reaktivität der Inhaltsstoffe, physikalische Eigenschaften, Energiegehalt

Quelle: Kleinhanß, W. (1987)

Die Anforderungen der industriellen bzw. energetischen Nutzung an die nachwachsenden Rohstoffe unterscheiden sich jedoch gegenüber den Ansprüchen des Ernährungssektors (vgl. Übersicht 1). Die unterschiedlichen Ansprüche von Ernährungssektor und Industrie- bzw. Energiesektor bedingen, daß eine alternative Verwendung der zu Ernährungszwecken angebauten Rohstoffe im Industrie- oder Energiesektor nur eingeschränkt möglich ist.

In industriellen Anwendungsgebieten können nachwachsende Rohstoffe u.a. für die Herstellung von Verpackungsmaterial in der Papier und Kartonagenindustrie, für Fermentierungsprozesse in der chemischen Industrie oder als Dämmstoff in der Baustoffindustrie eingesetzt werden. Die vielfachen Einsatzmöglichkeiten sind Übersicht 2 zu entnehmen.

Für die energetische Nutzung können Festbrennstoffe wie Stroh, Holz (Industrierestholz oder Holz aus Schnellwuchsplantagen), Rapssaat, Heu und Weizenkorn bzw. flüssige und gasförmige Energieträger wie Ethanol aus Zuckerrüben, entschleimtes und teilraffiniertes Rapsöl, oder Rapsölmethylester verwendet werden (vgl. Übersicht 3). Es können somit in der energetischen Nutzung sowohl ganze Pflanzen oder -teile als auch Restprodukte der land- und forstwirtschaftlichen Produktion genutzt werden.

**Übersicht 2:  
Industriepflanzen und ihre Einsatzmöglichkeiten**

Pflanzenart	Rohstoff	Industriezweig	Produkt
Zichorie; Zuckerrüben; Topinambur; Zuckerhirse;	Zucker	Chem. Industrie	Waschmittel; Klebstoffe; Farbstoffe Kunststoffe
Mais; Kartoffeln; Weizen	Stärke	Chem. Industrie	Folien; Kleb- und Kunststoffe; Waschmittel; Farben;
		Pharmaindustrie	Vitamin C; Antibiotika
		Papierindustrie	Papier/Pappe
		Baustoffindustrie	Gipskartonplatten; Faserplatten
		Textilbereich	Wäschesteife
Flachs; Fasernesseln; Lein	Fasern	Textilindustrie	Kleidung; Tischtücher Bettwäsche;
		Faserindustrie	Taue
		Möbelindustrie	Polstermaterial
		Autoindustrie	Bremsbeläge; Innenaustattung
		Baustoffindustrie	Dämmplatten
Raps; Lein; Sonnenblume; Leindotter; Ringelblume; Senf; Wolfsmilch;	Öle und Fette	Chem. Industrie	Waschmittel; Reinigungsmittel; Lacke; Kosmetika; Farben; Weichmacher; Schmiermittel; Kunststoffe

Quelle: In Anlehnung an: BUND (1992)

**Übersicht 3:  
Energiepflanzen und ihre Einsatzmöglichkeiten**

Pflanzenart	Rohstoff
Zuckerrüben; Popinambur; Zuckerhirse; Kartoffeln	Zucker und Stärke für Ethanol
Raps	Öle als Kraft- und Brennstoffe
Raps	Öle als Schmiermittel
Miscanthus; Getreide; Mais/ Faserhirse; Holz	Biomasse zur energetischen Nutzung

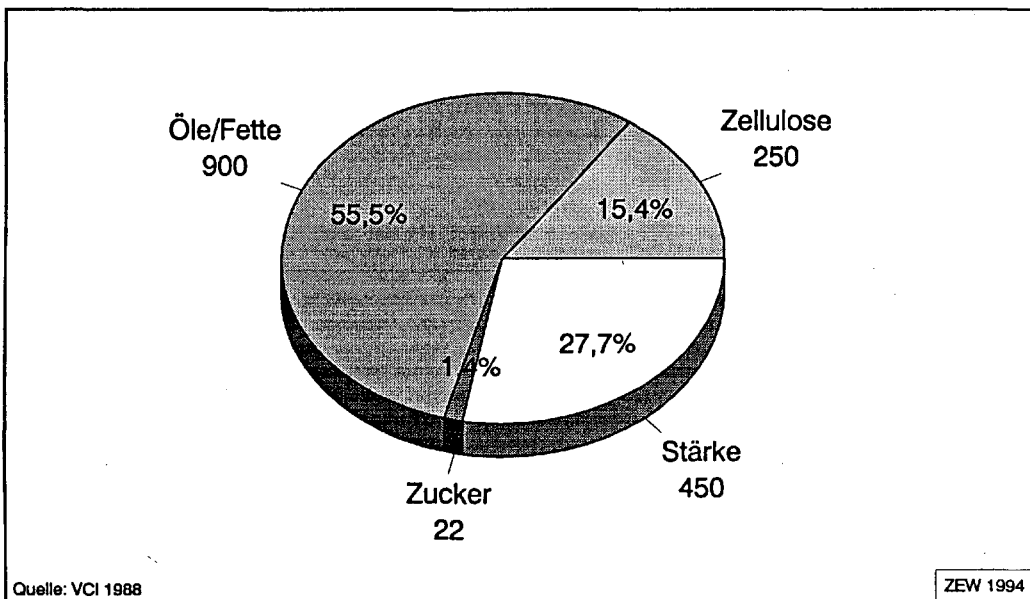
Festbrennstoffe können dabei als Pellets, Hackschnitzel oder Strohballen verbrannt werden. Flüssige Energieträger können in Form von entschleimten oder teilraffinierten Rapsöl für Direkteinspritzmotoren (Elsbettmotor) oder als Additiv für Mineralölraffinerien verwendet

werden. Rapsölmethylester kann als Kraftstoff für Dieselmotoren und Ethanol aus Zuckerrüben zur Beimischung für Ottomotoren genutzt werden.

### 2.3. Die Perspektiven nachwachsender Rohstoffe

Zur Zeit werden noch relativ geringe Mengen nachwachsender Rohstoffe für industrielle und energetische Zwecke eingesetzt. Einen Großteil des heutigen Verbrauchs entfällt auf die Chemische Industrie, welche ca. 10% oder 1,8 Mio t ihres Rohstoffbedarfs durch nachwachsende Rohstoffe deckt (vgl. Abbildung 1).

**Abbildung 1:**  
**Verbrauch nachwachsender Rohstoffe für chemische Erzeugnisse in Deutschland Verbrauch 1987 in 1000 t**



Ein aktuelles Beispiel für die Verwendung nachwachsender Rohstoffe hat die BASF entwickelt. Als Substitut für das bisher in Flockungsmitteln für Kläranlagen enthaltene Mineralöl kann heute ein biologisch leicht abbaubares Pflanzenöl eingesetzt werden (BASF 1993). Die Prognosen über die zukünftigen Verbrauchsmengen für industrielle und energetische Zwecke differieren jedoch relativ stark (vgl. Übersicht 4)

Derzeit werden in der Bundesrepublik für die industrielle Verwendung zwischen 165.000 ha (Deutscher Bundestag 1992) und 210.000 ha (BMFT 1992) landwirtschaftlicher Fläche mit nachwachsenden Rohstoffen bebaut. Im Zuge der Umstrukturierung der Landwirtschaft werden nach Schätzungen des BMFT (1992) in Zukunft in Deutschland ca. 4-5 Mio. Hektar, d.h. ca. 25% der gesamten landwirtschaftlichen Fläche und in der gesamten EG ca. 16-20 Mio Hektar nicht mehr für die Nahrungsmittelproduktion benötigt.

**Übersicht 4:****Verwendung nachwachsender Rohstoffe heute und prognostiziert für 2005 in 1000t**

Produktlinie	Deutschland heute <sup>1</sup>	Deutschland 2005 <sup>2</sup>	davon inländische Produktion.
Stärke	506	900-1.700	900-1.700
Pflanzl. Öle	350 -438 (meist Importe)	725-910	275-610
davon:			
techn. Verwendung		80-240	80-240
Oleochemie	100	615-620	165-320
Leinöl		30-50	30-50
Zucker	28	60-100	60-100
Fasern	25	85-120	40-60
Heil/Gewürzpflanzen	193		
Festbrennstoffe			5.000-39.000
Rapsöl f. energ. Verw.			0-3200

<sup>1)</sup> BMFT (1992):

<sup>2)</sup> Wintzer, D. et al. (1993)

Der Umfang der für die Nicht-Nahrungsmittelproduktion verfügbaren Fläche wird dabei letztlich von verschiedenen Entwicklungen, wie z.B. den zukünftigen Ertragssteigerungen in der Landwirtschaft, den Fruchtfolgerestriktionen, der gewünschten Intensität in der Nahrungsmittelproduktion und den Flächenbedarf des Naturschutzes für die Schaffung von Biotopen beeinflusst.

Flächeszenarien über den zukünftigen Anbau nachwachsender Rohstoffe in der Bundesrepublik schwanken zwischen 400.000 - 960.000 ha für die Industriepflanzenproduktion (vgl. Übersicht 5) und 0-3 Mio ha für die energetische Nutzung.

Deutlich wird bei diesen Schätzungen jedoch, daß die zu erwartenden Verbrauchsmengen und die dafür erforderlichen Flächen wahrscheinlich nicht ausreichen werden, um die freiwerdenden landwirtschaftlichen Flächen, die nicht mehr für die Nahrungsmittelproduktion benötigt werden, vollständig zu nutzen. Nachwachsende Rohstoffe können somit für die Landwirtschaft zwar eine

Produktionsanbaualternative zur Nahrungsmittelproduktion, jedoch keine Lösung der vielfältigen Probleme der Landwirtschaft darstellen.

### Übersicht 5: Potentialschätzungen des chemisch-technischen Bereiches

	Heute a)	Potential 2005 b)
Stärke	112.000 ha	180-340.000 ha
Zucker	5.000 ha	7-12.000 ha
Rapsöl	42.000 ha	150-350.000 ha
Leinöl	2.000 ha	40-70.000 ha
Fasern	1.100 ha	20-30.000 ha
Medizinische Zwecke	1.500 ha	10-15.000 ha
Gesamt	163.600ha	410-960.000 ha

a) Für die Alten Bundesländer: Deutscher Bundestag (1992);

b) Für die Alten und Neuen Bundesländer: BMFT (1992);

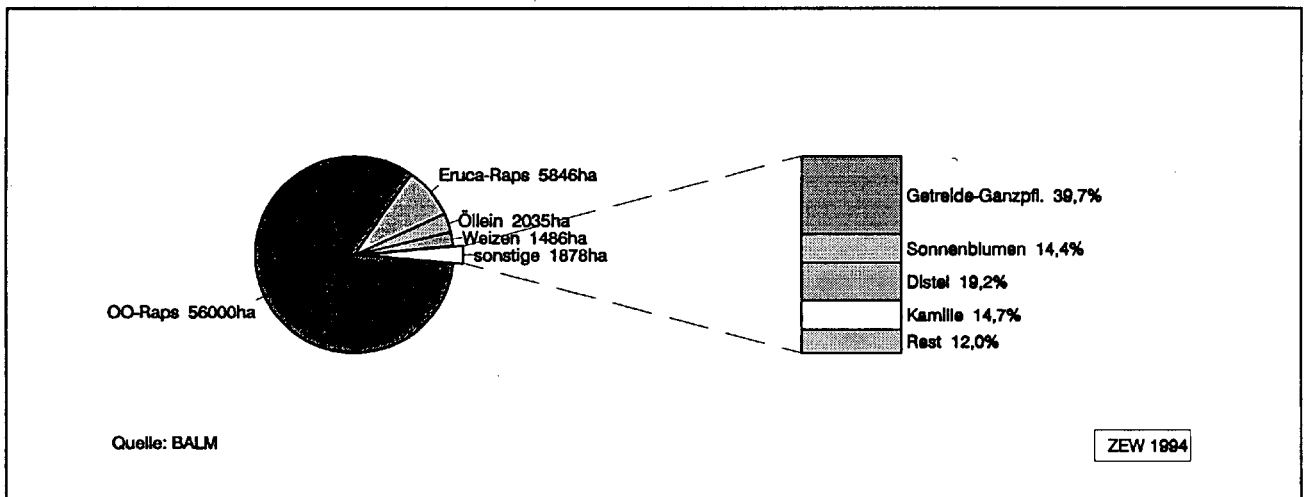
Die verstärkte Erschließung nachwachsender Rohstoffe und ihr verstärkter Einsatz im industriellen und energetischen Bereich ist letztlich von einer Reihe von Faktoren abhängig.

Zum einen ist bislang die Wettbewerbsfähigkeit nachwachsender Rohstoffe meist nur durch hohe staatliche Subventionen gewährleistet. Die zukünftige Entwicklung der Wettbewerbsfähigkeit ist u.a. von der Entwicklung der Energiepreise, Züchtungsverbesserungen des Saatgutes, Innovationen in den Ernte- und Produktionstechniken oder von den Erfordernissen der Umweltschutzgesetzgebung abhängig.

Zum anderen ist die ökologische Wirkung der einzelnen Rohstoffe noch umstritten. Einerseits werden die positiven Wirkungen im Hinblick auf die CO<sub>2</sub>-Problematik angeführt, gleichzeitig aber auch auf die Emission von Lachgas (N<sub>2</sub>O) verwiesen, die diese Effekte wieder aufheben. Endgültigen Aufschluß werden erst Ökobilanzen für die einzelnen Produktlinien liefern können. Auch der theoretisch möglichen Verbesserung der Umweltbedingungen durch eine vielfältigere Fruchtfolge wird entgegengehalten, daß aus Wettbewerbsgründen der Anbau von Massenrohstoffen zu erwarten ist.

Die Zahlen der Bundesanstalt für landwirtschaftliche Marktordnung über den Anbau nachwachsender Rohstoffe auf stillgelegten landwirtschaftlichen Flächen bestätigen dies insofern, daß 1993 auf diesen Flächen überwiegend Eruca- und OO-Raps angebaut wurde, während die Flächenanteile der anderen Erzeugnisse nur gering waren (vgl. Abbildung 2).

**Abbildung 2:**  
**Nachwachsende Rohstoffe auf stillgelegten landwirtschaftlichen Flächen**



## 2.4. Schlußfolgerungen

Der kurze Überblick hat gezeigt, daß nachwachsende Rohstoffe vielfache Anwendungsmöglichkeiten bieten. Aufgrund ihrer relativ hohen Kosten kommen sie aber zunächst nur für Einsatzbereiche mit hoher Wertschöpfung und gleichzeitig absehbar kleinem Marktvolumen in Frage. Darüber hinaus kommt vor allem eine energetische Nutzung land- und forstwirtschaftlicher Reststoffe in Frage.

Eine Lösung für viele Umweltprobleme, die Situation in der Landwirtschaft und das Ressourcenproblem sind nachwachsende Rohstoffe aller Voraussicht nach nicht. Unter ökonomischen und ökologischen Zielsetzungen ist vor allem ein sparsamerer Einsatz nicht-erneuerbarer Ressourcen erforderlich.

Für offensive und kreative Unternehmen jedoch können nachwachsende Rohstoffe hoher Wertschöpfung - wenn auch nur in spezifischen Anwendungsfeldern - Innovations- und Marktchancen bieten, die frühzeitig genutzt werden sollten.

Die Förderung nachwachsender Rohstoffe sollte darum weniger vor dem Hintergrund möglicher Produktionsalternativen für die Landwirtschaft gesehen werden, sondern stärker die Einsatzmöglichkeiten in der Industrie betonen. Zwei Einsatzgebiete, in denen sich heute schon interessante Verwendungsmöglichkeiten aufzeigen, ist zum einen die Nutzung in der Verpackungsindustrie und zum anderen der Einsatz als Schmier- und Hydrauliköl.



## 2.5. Literatur

**BASF (1993):** Von der Wiege bis zur Bahre: BASF-Produkte mit "eingebautem" Umweltschutz. BASF-Presseinformation vom 20.12.1993.

**BML (1990):** Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten: Bericht des Bundes und der Länder über Nachwachsende Rohstoffe. 2.Auflage. Münster-Hiltrup.

**BMFT (1993):** Bundesministerium für Forschung und Technologie: Deutscher Delphi-Bericht zur Entwicklung von Wissenschaft und Technik. Bonn.

**BMFT (1992):** Bundesministerium für Forschung und Technologie: Bilanz der Forschungsförderung, Bonn.

**BUND (1992):** Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.(Hrsg.): Nachwachsende Rohstoffe. Bonn.

**Deutscher Bundestag (1992):** Chancen und Risiken nachwachsender Rohstoffe. Antwort der Bundesregierung auf die Große Anfrage. Drucksache 12/3493;

**Kleinhanß, W. (1987):** Produktion und Nutzungsmöglichkeiten nachwachsender Rohstoffe. Münster-Hiltrup.

**Wintzer, D. et al. (1993):** Technikfolgenabschätzung zum Thema nachwachsende Rohstoffe. Sonderheft der Schriftenreihe des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Münster.

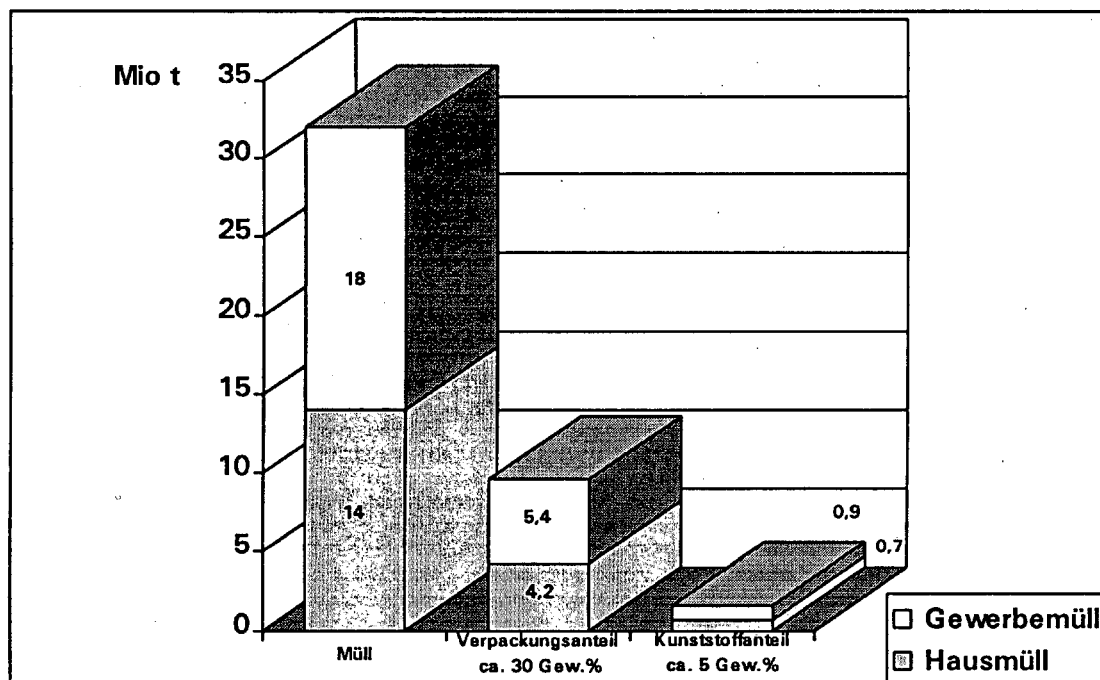
### 3. Nachwachsende Rohstoffe als Verpackungsmaterial

Thomas Luck und Helmar Utz

#### 3.1. Einleitung

Angesichts der wachsenden Probleme hinsichtlich der Müllentsorgung sind Verpackungen und besonders Kunststoffverpackungen in Verruf geraten (Müllaufkommen s. Bild 1). Bisherige Entsorgungspfade wie Deponie und Müllverbrennung werden in naher Zukunft nicht mehr mit den erforderlichen Kapazitäten zur Verfügung stehen. Im Abfallgesetz wurden daher die Prioritäten für das Rückstandsmanagement in der Reihenfolge Vermeidung, Verwerten und Entsorgung festgelegt. Bei der Verwertung sind in der neuesten Novelle zur Verpackungsverordnung sowohl stoffliche als auch energetische Wege in Betracht gezogen.

**Bild 1:**  
**Haus- und Gewerbemüllaufkommen in der BRD im Jahre 1985**

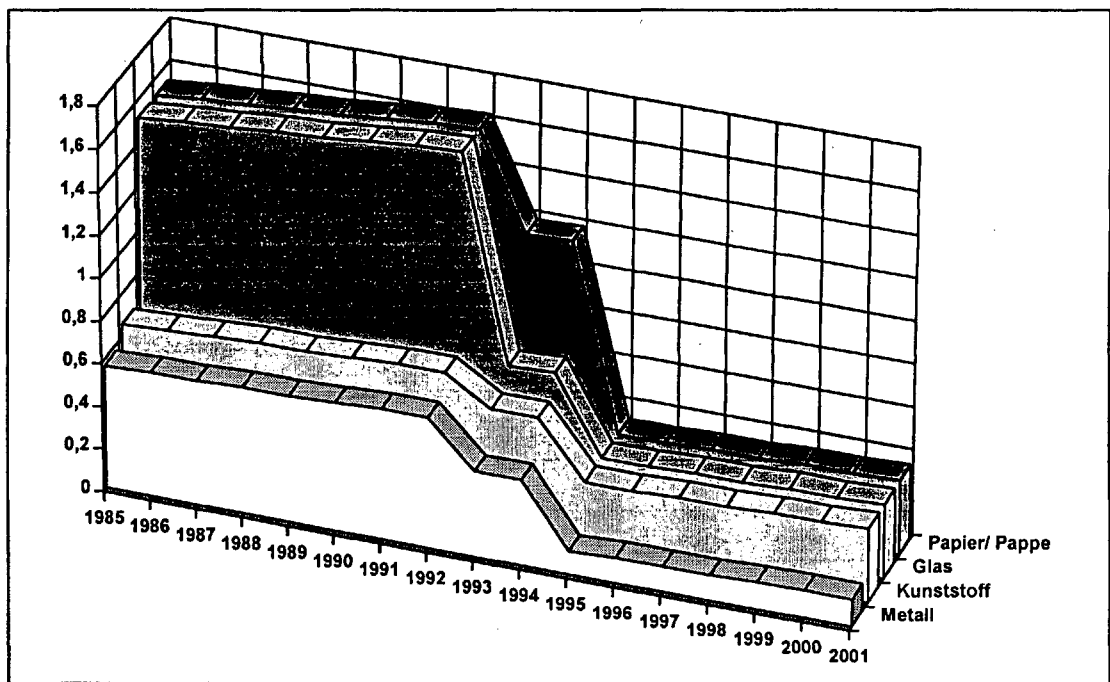


Mit der am 12. Juni 1991 im Bundeskabinett endgültig verabschiedeten "Verordnung über die Vermeidung von Verpackungsabfällen" wird die Erfassung und Sortierung von Verpackungsabfällen bis zu einer Quote von 80% vorgeschrieben. Die sortierten Mengen müssen dabei höchstmöglich stofflich wiederverwertet und somit industrielle Stoffkreisläufe geschlossen werden (Auswirkungen auf das Müllaufkommen s. Bild 2).

Unter dem Aspekt der stofflichen Verwertbarkeit wird auch der Einsatz biologisch abbaubarer Polymere im Verpackungsbereich als ein möglicher Weg für eine umweltfreundliche Entsorgung diskutiert.

Allerdings muß festgehalten werden, daß in der derzeit gültigen Fassung der Verpackungsverordnung kein Entsorgungspfad für Polymere aus nachwachsenden Rohstoffen (Ausnahme: Papier u.ä.) enthalten ist. Dies wird für die Markteinführung neuer Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen als ein entscheidendes Hemmnis angesehen.

**Bild 2:**  
**Auswirkung der Verpackungsverordnung auf das Aufkommen von Abfällen aus Verpackungen im Hausmüll (einschließlich der fünf neuen Bundesländer)**



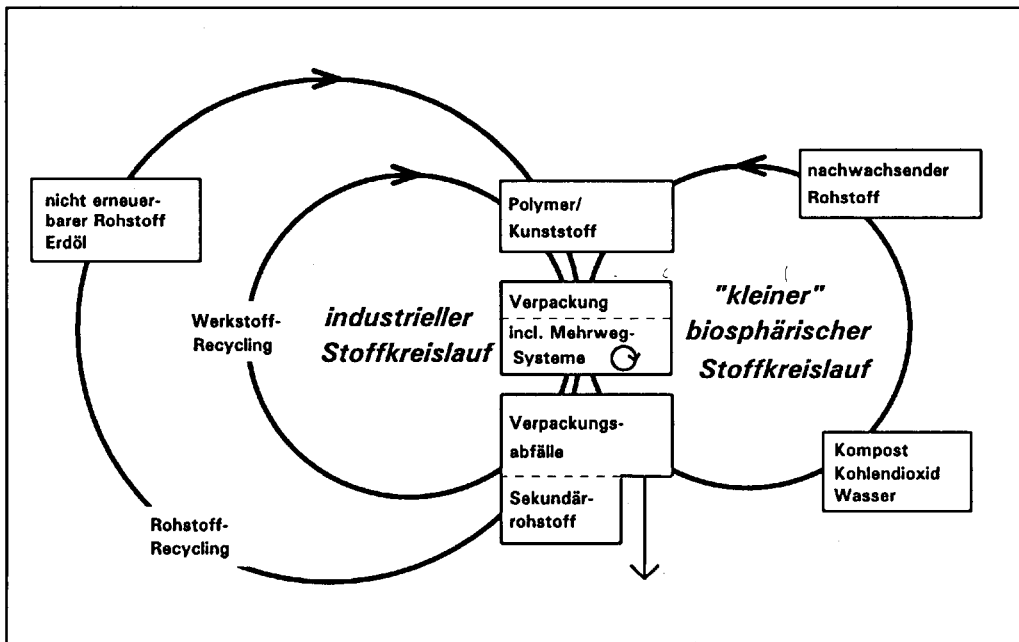
Die Umweltprobleme insgesamt betreffend, wird heute - auch unabhängig von der Müllproblematik - in allen Bereichen versucht, durch das "Schließen von Stoffkreisläufen" die Umweltverträglichkeit zu verbessern.

Neben **industriellen Stoffkreisläufen**, in welchen durch Werkstoff- oder auch Rohstoff-Recycling das eingesetzte Material möglichst häufig verwertet werden soll, können auch "**kleine**" **biosphärische Stoffkreisläufe** geschlossen werden.

Ziel beim Schließen dieser "kleinen" biosphärischen Stoffkreisläufe ist es, der Natur entnommene Materialien - die in kürzeren Zeiträumen entstanden sind - nach "Gebrauch" auf umweltschonende Weise wieder zurückzuführen.

Durch den Einsatz nachwachsender Rohstoffe bei der Gewinnung von bioabbaubaren Polymeren könnten somit Naturstoffkreisläufe geschlossen werden, indem Verpackungen aus bioabbaubaren Polymeren zusammen mit anderen nativ-organischen Abfällen gesammelt und gemeinsam kompostiert würden (s. Bild 3). Wertvolle nicht erneuerbare Ressourcen würden geschont.

**Bild 3:**  
Vereinfachte Darstellung der industriellen und biosphärischen Stoffkreisläufe für Kunststoffverpackungen



Zu bedenken ist jedoch, daß bei der Gewinnung der nachwachsenden Rohstoffe und der Herstellung der Produkte Energie eingesetzt werden muß. Deshalb ist es nicht in jedem Falle sicher, daß aus gesamtökologischen Gründen ein Produkt aus nachwachsenden Rohstoffen einem funktionell adäquaten Produkt fossilen Ursprungs vorzuziehen ist. Ebenso sollte gerade im Hinblick auf eine Ökobilanzierung neben der Kompostierung auch eine thermische Nutzung der bioabbaubaren Materialien in die Überlegungen einbezogen werden.

Allgemeine Entwicklungen auf dem Verpackungssektor sind bereits durch die Berücksichtigung ökologischer Kriterien gekennzeichnet. So wurde der Transportaufwand reduziert, indem schwere Materialien durch leichtere Materialien ersetzt werden. Generell wurde der Materialeinsatz - auch aus ökonomischen Gründen - weiter reduziert, ebenso das Volumen von Verpackungsgebinden.

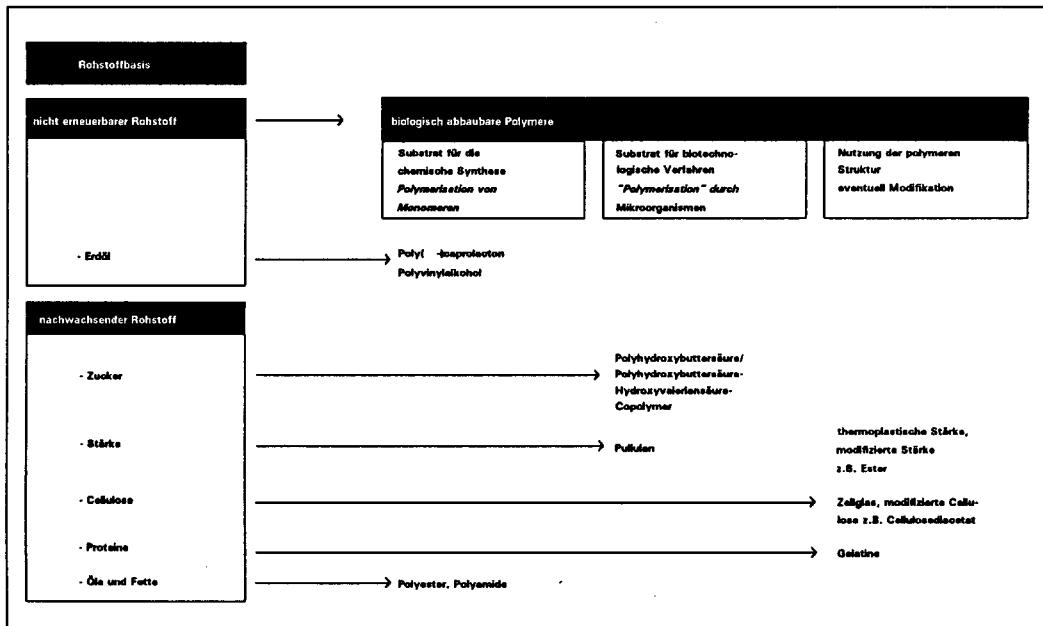
### 3.2. Biologisch abbaubare Polymere

Traditionelle Produkte auf der Basis nachwachsender Rohstoffe sind cellulosebasierte Produkte (Papier, Karton, Holz etc.). Sie haben einen großen Marktanteil, werden im weiteren also nicht behandelt. Neue Entwicklungen nutzen sowohl fossile als auch erneuerbare Rohstoffe.

Durch entsprechende Aufarbeitung der Rohstoffe werden Monomere für die weitere chemische Synthese (Polymerisation) oder Substrate für biotechnologische Verfahren (Polymerisation durch Mikroorganismen) gewonnen. Biotechnologische Verfahren bieten auch die Möglichkeit Monomere - z.B. Milchsäure - zu erzeugen. Allerdings ist derzeit dieser Weg wirtschaftlich nur dann interessant, wenn z.B. die zu gewinnende Verbindung nur über sehr aufwendige Synthesen zugänglich ist, oder "Abfallstoffe" als Substrat verwendet werden können.

Vorteilhaft kann die Nutzung der polymeren Struktur der Ausgangsmaterialien -wie bei Stärke oder Cellulose - sein, da Syntheseleistungen der Natur genutzt werden. Hierdurch bedingte Eigenschaftsschwankungen können allerdings Probleme bereiten. Beispiele hierfür sind in Bild 4 aufgeführt.

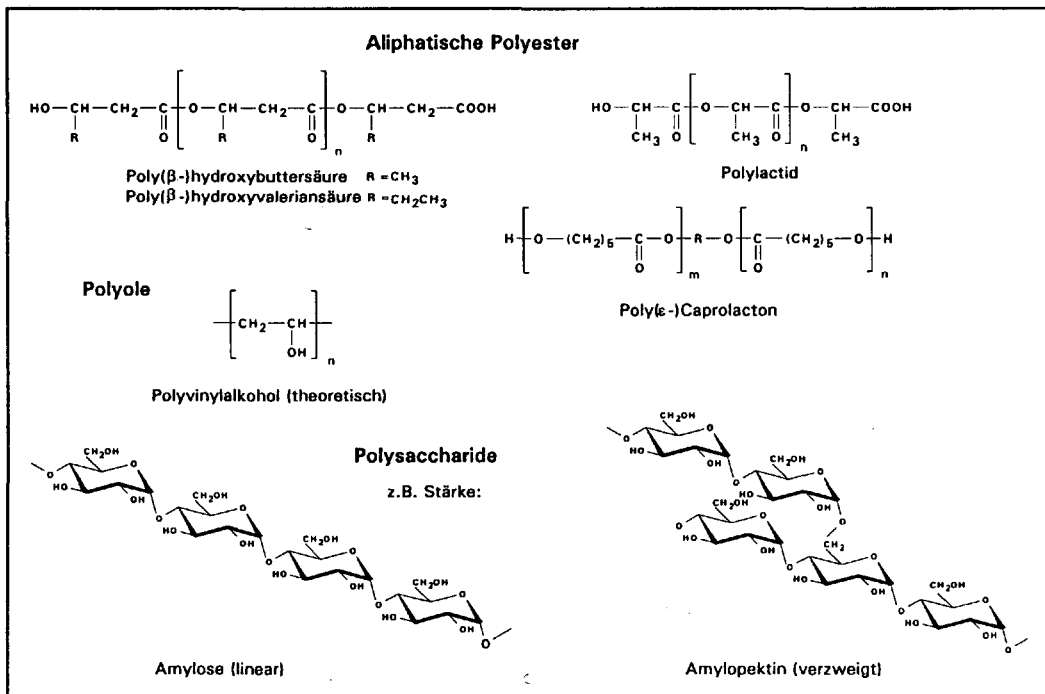
**Bild 4:**  
**Rohstoffbasis verschiedener biologisch abbaubarer Polymere**



Wichtige Stoffgruppen biologisch abbaubarer Polymere und einige chemische Strukturformeln einzelner Vertreter sind in Bild 5 beispielhaft dargestellt.

Bild 5:

## Chemische Zusammensetzung einiger biologisch abbaubarer Polymere



Bei vielen biologisch abbaubaren Polymeren handelt es sich um **aliphatische Polyester**. Polyhydroxybuttersäure (PHB) oder Copolymere mit Hydroxyvaleriansäure (PHB/HV) werden derzeit biotechnologisch hergestellt. Zucker (z.B. Glucose) wird hierbei von Bakterien in PHB umgewandelt und in der Zelle als Speicherstoff eingelagert.

Polyactide und Copolymere werden durch Ringöffnungs-Polymerisation aus Lactiden und z.B. Glycoliden hergestellt.

Poly( $\epsilon$ -)caprolacton wird ebenfalls über eine Ringöffnungs-Polymerisation allerdings aus  $\epsilon$ -Caprolacton hergestellt. Als Initiator dient hierbei ein Diol, welches in die Polymerkette eingebaut wird.

Einige **Polyole** können ebenfalls durch Mikroorganismen abgebaut werden. Polyvinylalkohol ist der bekannteste Vertreter. Die in Bild 5 dargestellte Strukturformel gilt allerdings nur für reinen Polyvinylalkohol. PVAL wird über eine Radikalpolymerisation von Vinylacetat zu Polyvinylacetat und anschließende Methanolyse gewonnen. Es entstehen hierbei teilverseifte Produkte mit üblicherweise bis zu 25 Mol% an Vinylacetat-Gruppen.

Häufig werden auch **Polysaccharide** als biologisch abbaubare Polymere eingesetzt. Stärke z.B. besteht aus Amylose und Amylopektin. Amylose ist aufgrund seiner  $\alpha$ -glykosidischen 1.4-Bindungen der D-Glucoseinheiten linear aufgebaut. Amylopektin weist im Gegensatz hierzu zusätzlich 1.6-Bindungen auf. Die Molekülketten sind daher verzweigt.

Cellulose ist im Grunde wie Amylose aufgebaut, allerdings treten bei ihr nur  $\beta$ -glykosidische 1.4-Bindungen auf.

## Materialübersicht

Die zur Zeit am weitesten entwickelten biologisch abbaubaren Materialien sind aliphatische Polyester und extrudierbare Stärkemassen. Darunter befinden sich auch Mischungen mit nicht abbaubaren Komponenten, die über Zusätze chemisch abgebaut werden sollen. Dies gilt insbesondere für stärkegefülltes Polyethylen. Hierbei ist allerdings umstritten, ob ein vollständiger biologischer Abbau der durch chemischen Abbau entstandenen Spaltprodukte erfolgt. Untersuchungen über die beim Abbau entstehenden Zwischenprodukte werden durchgeführt; ebenso wird die Kompostierbarkeit in Praxisversuchen getestet.

Als weitere sehr gut bekannte biologisch abbaubare Materialien müssen natürlich auch die regenerierte Cellulose - also Zellglas - und Cellulosediacetat bei Verwendung entsprechender abbaubarer Zusatzstoffe aufgeführt werden.

Nennenswerte Einsatzbereiche für sogenannte bioabbaubare Polymere (Polyethylen-Stärkemischungen) sind derzeit nur Tragetaschen, Kompostsäcke und Müllsäcke (besonders in den USA und in Italien).

Ein unter dem Handelsnamen Biopol<sup>®</sup> (ICI) bekannter, vollständig biologisch abbaubarer natürlicher Polyester wurde bereits zur Verpackung von Shampoo und biologisch abbaubarem Öl eingesetzt. Ersatzstoffe auf Stärkebasis für geschäumtes Polystyrol werden bereits angeboten.

Als wasserlösliches biologisch abbaubares Polymer wird im größeren Umfang im Verpackungsbereich Polyvinylalkohol eingesetzt. Wasserlösliche Polymere finden Anwendungen in Bereichen, in denen die Wasserlöslichkeit der Verpackung einen besonderen Vorteil darstellt. Bei Chemikalien und Pestiziden kann durch Einsatz dieser Verpackungen die Kontaminationsgefahr herabgesetzt werden, da die Primärverpackung vor der Anwendung nicht entfernt wird. Füllgüter, wie z.B. Waschmittel, lassen sich einfacher dosieren. Es wird allerdings eine zusätzliche Verpackung zum Schutz gegen Feuchtigkeit benötigt.

Nur sehr wenige biologisch abbaubare Polymere werden im industriellen oder halbindustriellen Maßstab hergestellt. Dies sind stärkegefülltes Polyethylen, Polymer-Mischungen mit Stärkeanteilen über 60 Gew.%, Polyhydroxybutyrat/ Valeriat-Copolymere, Poly( $\epsilon$ -)Caprolacton, Polyvinylalkohol und auf Cellulose basierende Materialien.

Die Preise für biologisch abbaubare Polymere liegen bis auf wenige Ausnahmen erheblich über denjenigen für konventionelle Massenkunststoffe.

Insgesamt ist die Anzahl der am Markt erhältlichen biologisch abbaubaren Polymere mit unterschiedlichen Materialeigenschaften äußerst begrenzt. Forschungs- und Entwicklungsarbeiten werden daher weltweit in Industrieunternehmen und wissenschaftlichen Instituten durchgeführt.

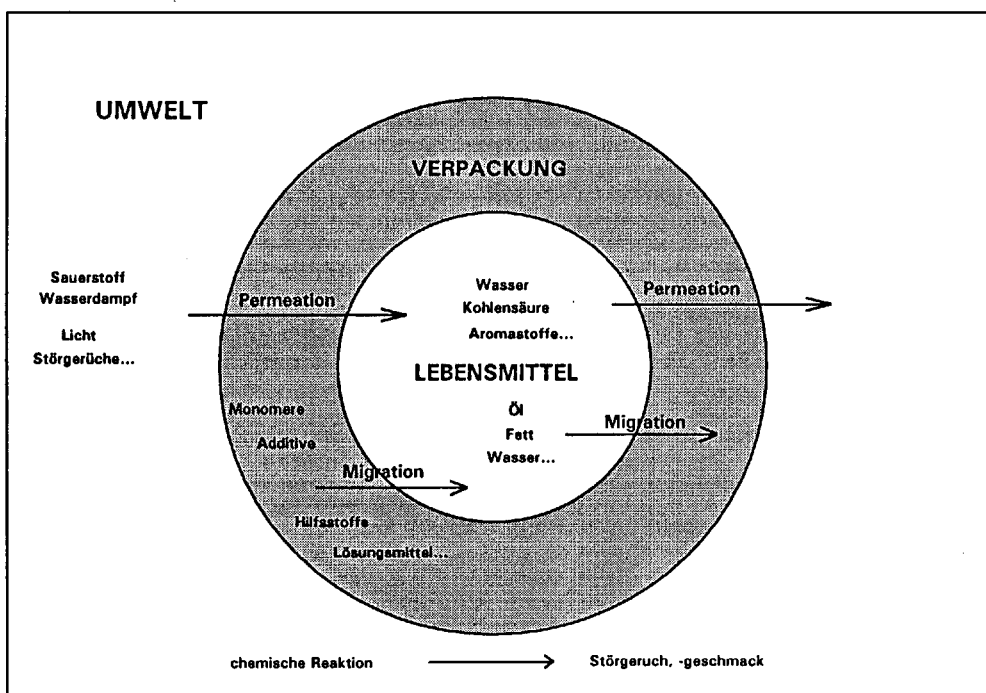
### 3.3. Eignung für Folienverpackungen

#### Anforderungen

Soll ein biologisch abbaubares Polymer im Bereich Verpackung eingesetzt werden, so muß es ebenso wie konventionelle Kunststoffe bestimmte Anforderungen erfüllen:

- Verarbeitbarkeit des Polymeren (möglichst auf existierenden Produktionsanlagen)
- Maschinengängigkeit der Packstoffe und daraus hergestellter Packmittel
- Schutz des Packgutes (mechanische Festigkeit, chemische Inertheit, Temperaturverhalten, Undurchlässigkeit, hygienische Anforderungen, Verschleißbarkeit, Siegelbarkeit etc)
- rationelle Lagerung, Warendistribution sowie
- Verbraucherinformation (z.B. Bedruckbarkeit, Erkennung als abbaubares Material).

**Bild 6:**  
**Wechselwirkung zwischen Verpackung und Füllgut**





Eine besonders für den Lebensmittelbereich wichtige Eigenschaft einer Verpackung ist ihre **Inertheit** gegenüber dem Füllgut. In Bild 6 sind diesbezüglich die möglichen Wechselwirkungen zwischen Verpackung und Füllgut dargestellt.

Die EG-Richtlinie 89/109/EWG legt hierzu allgemeine Grundsätze fest für Materialien und Gegenstände, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen. Einzelrichtlinien füllen diese Rahmenrichtlinie aus, so z.B. die Richtlinie für Kunststoffe 90/128/EWG vom 23. Februar 1990. Sie beinhaltet eine Positivliste für Monomere und sonstige Ausgangsstoffe sowie eine Begrenzung des Gesamtmigrationswertes, der ein "Maß für die **Inertheit** des Materials" darstellt. Der Grenzwert liegt bei 10 mg/dm<sup>2</sup> bzw. 60 mg/kg Simulanzlösemittel (für Behälter von 500 ml bis 10 l).

In Hinblick auf die neue Verpackungsverordnung sind auch folgende allgemeinen Kriterien für Verpackungen zukünftig von besonderem Interesse:

- Erkennbarkeit des Materials für Sortiermaßnahmen im Abfallbereich,
- Eignung des Materials für das Zurückführen in die Grundstoffindustrie oder eventuell biologische Abbaubarkeit,
- günstige ökologische Bewertung im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung in einer Lebenswegbilanz.

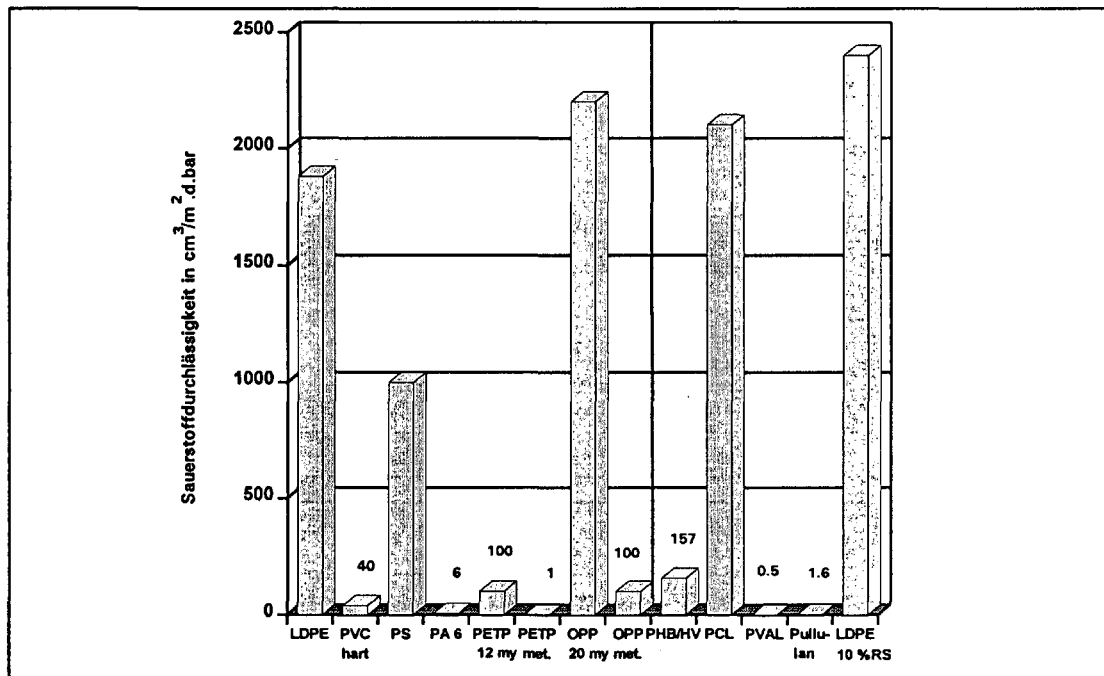
## **Eigenschaften**

Die gängigsten Produktionsverfahren basieren auf der Extrusion thermoplastisch verarbeitbarer Kunststoffe. Daneben werden Folien auch durch Gießverfahren (aus Polymerlösungen) hergestellt. Aus Kostengründen wird die Extrusion allerdings bevorzugt.

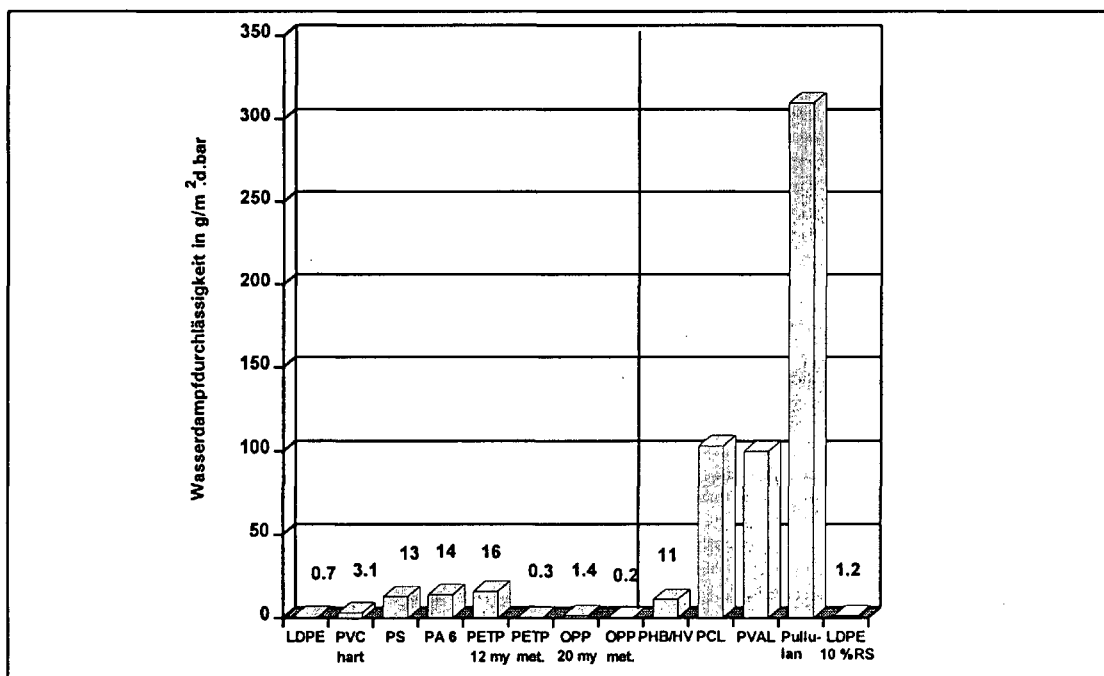
Nur wenige der verfügbaren biologisch abbaubaren Polymere sind derzeit problemlos wie konventionelle Kunststoffe nach den gängigen Verfahren extrudierbar. Insbesondere ist die geforderte thermische Stabilität häufig noch nicht ausreichend. Zur Maschinengängigkeit von abbaubaren Packstoffen ist derzeit nur wenig bekannt. Die erforderlichen Umstellungen und Umrüstungen können im Einzelfall Probleme bereiten; letztere sollten aber insgesamt lösbar sein.

Bezüglich der Schutzeigenschaften sind abbaubare Polymere den Standardmaterialien meist unterlegen. Bild 7,8 und Tabelle 1 geben einen Überblick über Sauerstoff- und Wasserdampfdurchlässigkeiten sowie Zugfestigkeit und Reißdehnung ausgewählter bioabbaubarer Polymere im Vergleich zu konventionellen Kunststoffen, wie sie im Rahmen der Untersuchung am ILV ermittelt wurden.

**Bild 7:**  
**Sauerstoffdurchlässigkeit ausgewählter Folien bei 23°C/75 % r.F.**  
 (falls nicht anders angegeben, berechnet für 100 µm dicke Folien)



**Bild 8:**  
**Wasserdampfdurchlässigkeit ausgewählter Folien bei 23°C/0-85%r.F.**  
 (falls nicht anders angegeben, berechnet für 100 µm dicke Folien)



Fast alle biologisch abbaubaren Polymere besitzen eine relativ hohe Wasserdampfdurchlässigkeit, quellen beim Kontakt mit Wasser an oder sind sogar wasserlöslich. Zusätzlich nimmt auch die Sauerstoffdurchlässigkeit bei hohen relativen Luftfeuchten zu. Besonders kritisch ist dies bei Polysacchariden wie Stärke. Gute Barriereigenschaften sind notwendige Voraussetzung für einen breiten Einsatz. Andererseits wird der biologische Abbau in der Regel beschleunigt, wenn die Polymere mit Wasser gut benetzbar sind oder Wasser aufnehmen können.

**Tabelle 1:**  
**Zugfestigkeit und Reißfestigkeit von ausgewählten Folien**

Folie	Zugfestigkeit	Reißdehnung
	[N/mm <sup>2</sup> ] längs/quer	[%] längs/quer
bioabbaubare Polymere		
PBH/HV	80/98	108/105
PCL	80/22	431/383
PVAL	40/55	217/201
Pullulan	38/34	19/15
LDPE + 10% Stärke	17/10	149/324
thermoplastische Stärke (Fertec)	10-25	10-400
konventionelle Kunststoffe		
LDPE	32/26	139/569
PVC hart*	40-55	5-10
PA 6*	108/98	450/420
PETP*	200/200	110/110
OPP*	210/170	75/120

\* Literaturwerte

Mechanische Eigenschaften sind zum Teil durchaus mit denen von konventionellen Kunststoffen vergleichbar. Allerdings findet man, wie bei den Barriereigenschaften, häufig sehr starke Abhängigkeiten vom Wassergehalt des Polymeren, was im trockenen Zustand z.B. bei Stärkefolien zur Versprödung führt.

Jeder heute im Verpackungsbereich verwendete Kunststoff hat nur einen begrenzten Einsatzbereich. Daher werden häufig sogenannte Verbunde eingesetzt, um durch die Kombination der unterschiedlichen Eigenschaften ein besser einsetzbares Produkt zu erhalten. Derzeit stehen allerdings noch zu wenige einsetzbare biologisch abbaubare Polymere zur Verfügung, deren Eigenschaften sich ergänzen könnten. Einen Ansatz zur Verbesserung der Barriereigenschaften von abbaubaren Polymeren bieten moderne Oberflächentechnologien, wie die Bedampfung mit Aluminium oder  $\text{SiO}_x$  im Vakuum.

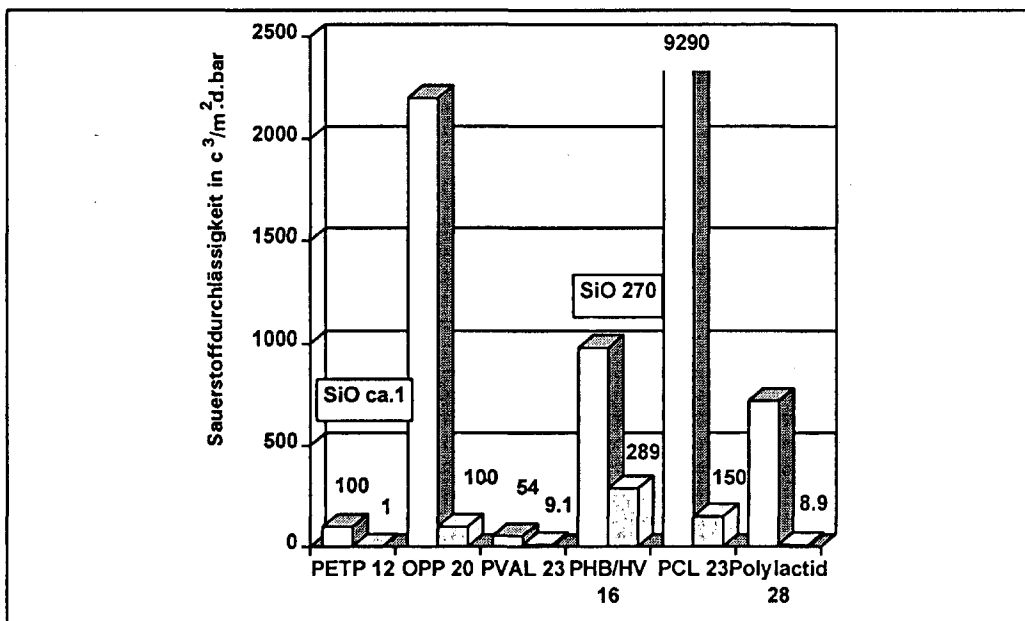
Aus Umweltgründen wie einer vermutlich besseren Recyclierfähigkeit, wegen geforderter Transparenz oder Mikrowellentauglichkeit verwendet man bei konventionellen Folien teilweise heute schon oxidische Aufdampfmaterialien wie Siliziummonoxid.

Um erste Aussagen über die Verbesserungsmöglichkeiten der Barriereigenschaften biologisch abbaubarer Polymere zu erhalten, wurden Aluminiumbedampfungen und teilweise auch Bedampfungen mit Siliziummonoxid durchgeführt.

Die Bilder 9 und 10 zeigen, daß durchaus Verbesserungen möglich sind. Bei Folien aus PHB/HV-Copolymer konnte gezeigt werden, daß mit  $\text{SiO}_x$  erzielbare Barrieren mit denen durch Aluminiumbedampfung vergleichbar sind. Es muß allerdings berücksichtigt werden, daß die eingesetzten Folien nicht für Bedampfungszwecke optimiert wurden und in Zukunft daher sicherlich wesentlich bessere Werte erreichbar sein werden.

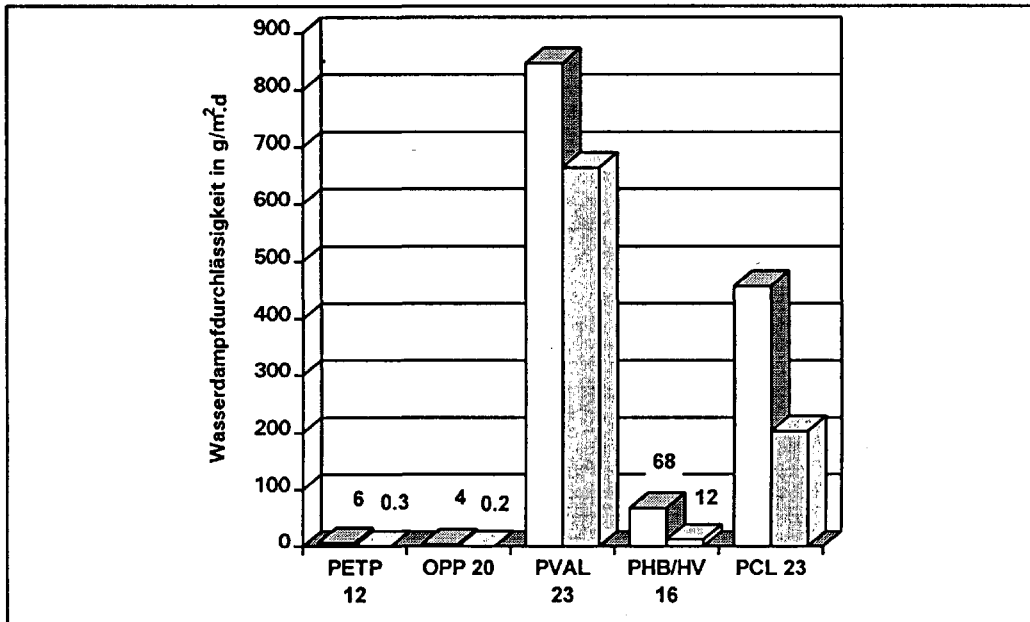
**Bild 9:**

**Sauerstoffdurchlässigkeit von abbaubaren Folien vor (erster Wert) und nach (zweiter Wert) einer Aluminiumbedampfung (23°C/75 % r.F.)**



**Bild 10:**

**Wasserdampfdurchlässigkeit von abbaubaren Folien vor (erster Wert) und nach (zweiter Wert) nach einer Aluminiumbedampfung (23°C/0-85%r.F.)**



Was die **Inertheit** der Verpackung gegenüber dem Füllgut betrifft, muß darauf hingewiesen werden, daß die Verwendung biologisch abbaubarer Polymere im direkten Kontakt mit Lebensmitteln auch innerhalb von EG-Richtlinien - zwar in Bearbeitung -bisher aber noch nicht geregelt ist. Ausnahmen als biologisch abbaubares Material bilden hier Zellglas und Papier, die als biologisch abbaubar gelten. Dies zeigt aber gleichzeitig, daß biologisch abbaubare Materialien trotz aller Bedenken auch im direkten Kontakt mit Lebensmitteln eingesetzt werden können.

### 3.4. Abbauverhalten

Die vorgestellten Materialien werden allgemein als biologisch abbaubar bezeichnet. Dies muß aber differenzierter betrachtet werden.

Einerseits gibt es nämlich noch keine allgemein anerkannten Definitionen was "biologisch abbaubar" bei Polymeren eigentlich bedeutet. Andererseits wird der biologische Abbau - insbesondere der zeitliche Verlauf - von verschiedensten Parametern beeinflusst und kann daher sehr unterschiedlich ausfallen.

Geht man vom Polymeren selbst aus, so spielen neben der chemischen Zusammensetzung, das Molekulargewicht, die Kristallinität, eventuelle Zusätze oder auch die spezifische Oberfläche eine wichtige den Abbau beeinflussende Rolle.

Parameter des umgebenden Milieus wie Temperatur, Feuchte, pH-Wert, Nährstoffe und insbesondere die vorhandene Mikroorganismenpopulation sind ausschlaggebend für einen positiven Abbau.

Zum Nachweis der biologischen Abbaubarkeit sind standardisierte Testmethoden für unterschiedliche Systeme nötig, die es ermöglichen, reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten. Es sollten die Kinetik des Abbaus und mögliche Einflußgrößen genau verfolgbar sein, sowie eine Gesamtkohlenstoffbilanz aufgestellt werden können, um eindeutige Aussagen über die Abbaubarkeit treffen zu können. Dies erfordert natürlich einen hohen analytischen Aufwand und kann nur in genau definierten Systemen durchgeführt werden. Dies scheint nur mittels Simulationen realisierbar.

Neben einem generellen Nachweis der biologischen Abbaubarkeit in unterschiedlichen Systemen, muß natürlich auch sichergestellt werden, daß in der Praxis - z.B. bei einer Kompostierung - das Material ebenfalls abgebaut wird und den jeweiligen Prozess oder z.B. die Qualität des Kompostes nicht stört. Hierzu sind Feldversuche notwendig.

Ältere genormte Testmethoden dienen zur Ermittlung der Beständigkeit von Kunststoffen gegenüber Mikroorganismen und sind daher für Abbaubarkeitsuntersuchungen wenig geeignet. Man setzt daher Methoden wie z.B. den MITI-, Sturm- oder Sapromat-Test, die zur Untersuchung von Chemikalien entwickelt wurden, in leicht modifizierter Form auch für biologisch abbaubare Polymere ein.

Die ASTM (American Society for Testing and Materials) hat hierzu bereits im letzten Jahr die ersten Normen herausgegeben. Neben besonders starken Aktivitäten in den USA (ASTM) wird auch in Europa (IBRG/ International Biodeterioration Research Group), in Deutschland (DIN) und vielen anderen Einrichtungen - z.B. auch am ILV - an dieser Thematik gearbeitet.

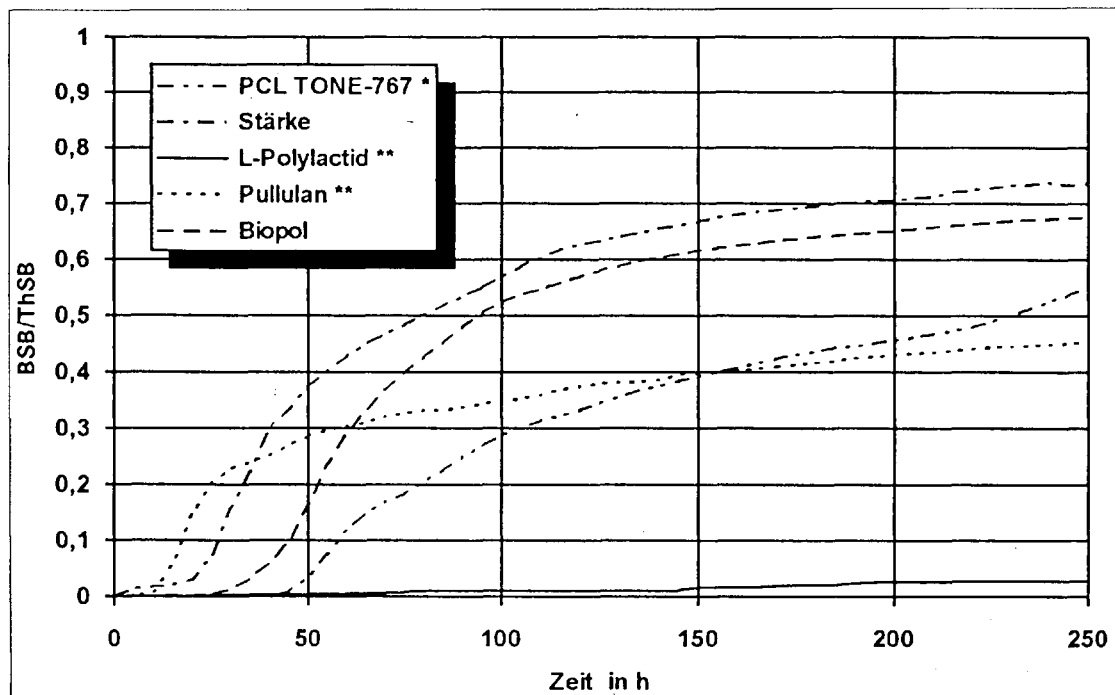
Bild 11 gibt beispielhaft die Ergebnisse einiger Abbauuntersuchungen wieder, die am ILV mittels Sapromat-Test durchgeführt wurden.

Das Polymer wird - üblicherweise in Pulverform - in eine Nährsalzlösung mit Mikroorganismen gegeben. Gemessen wird der Sauerstoffverbrauch, wobei das Polymer die einzige zur Verfügung stehende Kohlenstoffquelle darstellt. Die Angabe BSB/ThSB entspricht dem Verhältnis biologischer Sauerstoffbedarf zu theoretischem Sauerstoffbedarf. Der Wert 1 bedeutet vollständiger Umsatz bzw Oxidation der Kohlenstoffquelle, wird aber normalerweise nicht erreicht, da nicht nur Kohlendioxid und Wasser sondern auch Biomasse gebildet werden.

Von den untersuchten Materialien werden Stärke und Biopol (PHB) am besten abgebaut. Auch Pullulan (Polysaccharid) und Poly( $\epsilon$ -)caprolacton (PCL) werden gut abgebaut, PCL allerdings erst nach einer längeren Anlaufphase.

Bild 11:

**Bewertung der biologischen Abbaubarkeit von Polymeren durch Bestimmung des biologischen Sauerstoffbedarfs (BSB) mittels Sapromat-Test (hier: Mikroorganismensuspension aus Kompost)**



L-Polylactid wird im Untersuchungszeitraum nur geringfügig umgesetzt, da der Abbau bekanntermaßen über einen langsamen Hydrolyseprozeß stattfindet

Die so ermittelten Ergebnisse zeigen zwar, daß ein biologischer Abbau stattfindet. Die Kompostierfähigkeit einer Verpackung ist hierdurch allerdings noch nicht gewährleistet. Umfangreiche Untersuchungen hierzu werden von Herstellern und Anwendern von biologisch abbaubaren Polymeren durchgeführt.

### 3.5. Chancen und Risiken

Derzeit ist ein Einsatz großer Mengen bioabbaubarer Polymere im Verpackungsbereich nicht möglich. Aus technologischer und ökonomischer Sicht fällt derzeit ein Vergleich zwischen abbaubaren Polymeren und konventionellen Standardmaterialien eindeutig zu Gunsten der letzteren aus. Die Verarbeitbarkeit der bioabbaubaren Polymere sowie ihre Gebrauchs- und Schutzeigenschaften müssen noch erheblich verbessert werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn sie für den Einsatz im Lebensmittelbereich vorgesehen werden. Allerdings können z.B. mit Hilfe moderner Oberflächentechnologien dünne Schichten aufgetragen werden, die die Barriereigenschaften der Materialien verbessern.

Werden bioabbaubare Polymere auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen erzeugt, so kann eine **Schonung nicht erneuerbarer Ressourcen** erreicht werden. Die zur Erzeugung dieser Rohstoffe benötigten landwirtschaftlichen Nutzflächen könnten in entwickelten Ländern problemlos bereitgestellt werden. Hier liefert der Einsatz nachwachsender Rohstoffe einen Beitrag zum **Abbau landwirtschaftlicher Überproduktion**.

Der Einsatz bioabbaubarer Polymere bietet die Möglichkeit, **verbrauchte Materialien zu kompostieren**.

Das Substitutionspotential beträgt unter der Voraussetzung noch durchzuführender technischer Verbesserungen nach ersten optimistischen Schätzungen ca. 250.000 t, bei einem möglichen Einsatz im Lebensmittelbereich sogar 500.000 t pro Jahr. Es muß darauf hingewiesen werden, daß es sich hierbei allerdings **nicht** um Marktprognosen handelt.

Mit der Verordnung über die Vermeidung von Verpackungsabfällen strebt die Bundesrepublik generell eine Verringerung des Abfallaufkommens im Verpackungsbereich an. Bioabbaubare Polymere könnten die **Erfüllung der geforderten Quoten erleichtern**. Vor diesem Hintergrund erscheint der Einsatz größerer Mengen bioabbaubarer Verpackungsmaterialien nur sinnvoll, wenn Handel und Endverbraucher eine getrennte Sammlung von nativ-organischen Abfällen zusammen mit den bioabbaubaren Polymeren durchführen und entsprechende Verwertungsanlagen für die so getrennten Abfallsorten vorhanden sind.

Bezüglich des Einsatzes biologisch abbaubarer Polymere im Verpackungsbereich sind allerdings zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch viele Fragen ungeklärt, was natürlich auch **Risiken** in sich birgt.

- Für die Festlegung einer allgemein gültigen Definition der Abbaubarkeit fehlen standardisierte Testmethoden d.h. das Prädikat biologisch abbaubar ist derzeit nicht eindeutig  
(Risiko: Mißbrauch)
- Unklar ist, welche Zwischen- und Endprodukte beim Abbau entstehen und ob diese toxisch sind bzw. sich negativ auf die Umwelt auswirken. (Risiko: erhöhte Umweltbelastung)
- Wie verhalten sich bioabbaubare Verpackungen bei der Kompostierung? (Risiko: Kompostierungsprozesse werden gestört, Kompostqualität gemindert)
- Welche Auswirkungen haben biologisch abbaubarer Polymere, wenn sie in industrielle Stoffkreisläufe gelangen?  
(Risiko: Recyclingfähigkeit konventioneller Kunststoffe könnte gestört werden)



- Die Einsatzfähigkeit der jetzt schon entwickelten Polymer im Verpackungsbereich ist noch nicht ausreichend untersucht  
(Risiko: Ausfälle)
- Zur ganzheitlichen Untersuchung der Umweltverträglichkeit abbaubarer Polymere fehlen standardisierte Verfahren zur Erstellung von Ökoprofilen und somit eine Bewertungsgrundlage.  
(Risiko: Umweltverträglichkeit könnte schlechter als bei konventionellen Kunststoffen sein)

Biologisch abbaubare Verpackungen aus nachwachsenden Rohstoffen können keine globale Lösung für Verpackungsmüllprobleme sein. Ob sie eine Entlastung unserer Umwelt ermöglichen, kann beim gegenwärtigen Wissensstand nicht endgültig beurteilt werden.

Der Einsatz nachwachsender Rohstoffe zur Erzeugung biologisch abbaubarer Verpackungen sollte als mögliche Strategie zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit durch "Schließen von "kleinen" biosphärischen Stoffkreisläufen" genauer untersucht werden.

## 4. Ansätze zur Öko-Bilanz von Verpackungsmaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen

Guido A. Reinhardt<sup>1</sup>

### 4.1. Einführung

Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen<sup>2</sup> gelten allgemein als besonders umweltfreundlich, sind sie doch - zumindest auf den ersten Blick - CO<sub>2</sub>-neutral, sparen fossile Rohstoffe ein, sind biologisch vollständig abbaubar und vieles andere mehr. In Einzelbereichen mag eine solche Charakterisierung auch durchaus zutreffen, so z. B. bei der *direkten* Verbrennung von Rapsöl in Motoren, bei der exakt nur das CO<sub>2</sub> freigesetzt wird, das zuvor beim Anbau von Raps der Atmosphäre entzogen wurde.

Betrachtet man aber den gesamten Lebensweg dieser Produkte von der Produktion der Rohstoffe, über die Verarbeitung bis hin zur Entsorgung, so sind die genannten Vorteile nicht unbedingt systemimmanent: So werden beispielsweise für die Produktion der Dünge- und Pflanzenschutzmittel wie auch für den eigentlichen landwirtschaftlichen Anbau der nachwachsenden Rohstoffe zum Teil erhebliche Mengen an fossilen Energien eingesetzt - verbunden mit entsprechenden Emissionen verschiedener Art wie die von CO<sub>2</sub>. Diese Energien könnten unter Umständen sogar höher sein, als die durch die nachwachsenden Rohstoffe gewonnenen Energien. Durch Einbeziehen des gesamten Lebensweges ist auch die CO<sub>2</sub>-Bilanz nicht mehr von vorne herein neutral. Inwieweit die gesamte CO<sub>2</sub>-Bilanz dann noch positiv, d. h. für nachwachsende Rohstoffe, oder aber negativ ausfällt, hängt u. a. ebenfalls vom Aufwand an fossilen Energieträgern ab.

Auch das Argument der vollständigen biologischen Abbaubarkeit von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen bedarf einer näheren kritischen Betrachtung, wobei hier nicht die ebenso sehr wichtige Frage nach der Definition bzw. der Bestimmungsmethoden der biologischen Abbaubarkeit im Vordergrund der Diskussion stehen soll. Für die hier angestellten Überlegungen reicht der pragmatische Ansatz aus, nach dem biologisch abbaubar heißt, daß Produkte aus

---

<sup>1</sup> Für die vielen konstruktiven Diskussionen, Anregungen, Anmerkungen sowie Kritiken im Rahmen dieser Ausarbeitung möchte ich den Herren Dr. Uwe Eden, Florian Knappe, Udo Lambrecht und Uli Mampel (alle IFEU-Institut) von ganzem Herzen danken.

<sup>2</sup> Unter Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen wird im folgenden die Gesamtheit aller Produkte unterschiedlicher Funktionalität aus nachwachsenden Rohstoffen verstanden. Zu diesen zählen u. a. Produkte des täglichen Gebrauchs wie kompostierbares Geschirr, Verpackungen oder auch Energieträger wie Rapsöl oder Ethanol.

nachwachsenden Rohstoffen ohne Schadstoffentstehung wieder in den Naturkreislauf zurückgeführt werden können.

Das eigentliche Problem ist hier vielmehr, daß das Merkmal "biologisch abbaubar" zunächst keiner bestimmten Umweltwirkung zugeordnet ist. Es sagt somit erst einmal nichts über bestimmte ökologische Vor- oder Nachteile aus. Diese müssen dem Kriterium der biologischen Abbaubarkeit vielmehr erst noch zugeordnet werden. Beispielsweise könnte mit diesem Kriterium beschrieben werden, daß biologisch abbaubare Produkte die auf Deponien oder per thermischer Verwertung zu entsorgende Müllmenge reduzieren, weil sie aus dem Abfallkreislauf herausgenommen und einer speziellen Verwertung - hier Kompostierung - zugeführt werden können, wodurch dann kein Deponieraum mehr benötigt wird. Auf den ersten Blick hin wäre hier also als positiver Umwelteffekt die Nichtbelegung einer Deponie zu nennen.

Analog wie bei den zuvor genannten Kriterien einer vermeintlich positiven Energiebilanz bzw. neutralen CO<sub>2</sub>-Bilanz muß aber auch hier der Umwelteffekt der Nichtbelegung einer Deponie kritisch betrachtet werden. Implizit könnte das nämlich bedeuten, daß Fläche ein kostbares Gut ist, da sie nur eingeschränkt zur Verfügung steht. Es könnte beispielsweise auch bedeuten, daß bei einer Nichtbelegung von Deponieraum auch keine deponiespezifischen Umweltauswirkungen, wie sie z. B. mit Sickerwässern verbunden sind, entstehen. Die Frage ist also, welche Umweltauswirkungen man mit dem Kriterium "Nichtbelegung einer Deponie" anspricht und in der Folge, ob diese Gesichtspunkte bei einer umfassenden Betrachtung als ökologisch vorteilhaft oder nachteilig zu bewerten sind. Wie eine solche Betrachtung aussehen könnte, sei im folgenden am Beispiel des Kriteriums des knappen Deponieraumes erläutert:

Betrachtet man hierzu außer dem Produkt aus nachwachsenden Rohstoffen auch das entsprechende Konkurrenzprodukt aus beispielsweise Erdöl, so könnte - unter dem genannten Gesichtspunkt - folgendermaßen argumentiert werden: Würde man auf die Produktion von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen zugunsten der Produkte aus fossilen Rohstoffen verzichten, so würden in beträchtlichem Ausmaß zuvor landwirtschaftlich genutzte Flächen frei. Von diesen Flächen könnte dann ein geringer Anteil als zusätzlich notwendig gewordener Deponieraum genutzt werden, während der überwiegende Teil z. B. in Naturschutzflächen überführt werden könnte. Unter der Maßgabe eines umweltgerechten Umgangs wie sachgerechte Sickerwasser-aufbereitung wären somit viele positive Umwelteffekte mit den Produkten fossilen Ursprungs verbunden: wesentlich geringere Flächeninanspruchnahme, keine Umweltauswirkungen, wie sie von der modernen Landwirtschaft ausgehen, und einige andere mehr.

Daß hiermit natürlich auch Nachteile verbunden sind, vor allem in nichtökologischen Bereichen wie Arbeitsplatzsicherheit und Einkommen der Landwirte etc. sei hier unbenommen. Diese Beispiele sollen lediglich zeigen, daß eine Auflistung von ökologischen Vor- oder Nachteilen von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen nicht sofort augenfällig ist, sondern sehr sorgfältig

vorgenommen werden muß unter Einbeziehung des gesamten Systems und nicht nur bestimmter Ausschnitte. Hierzu können Ökobilanzen als Hilfsmittel dienen, bei denen - zumindest vom theoretischen Ansatz her - die gesamte Bandbreite der Umweltverträglichkeit betrachtet wird.

#### 4.2. Theoretische Überlegungen zu einer Ökobilanz "nachwachsende Rohstoffe"

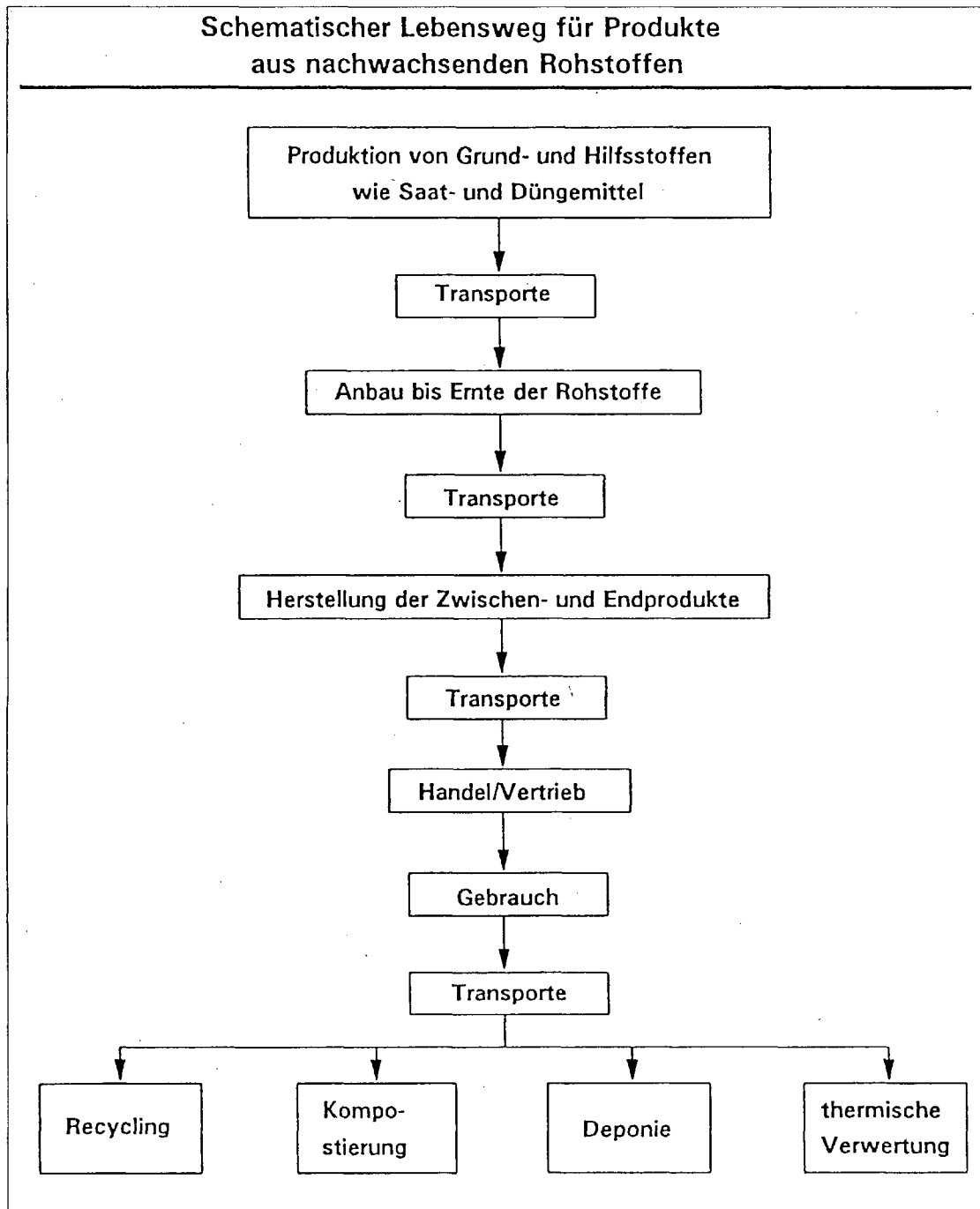
Das eigentliche Ziel einer Ökobilanz von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen ist die Bilanzierung von ökologischen Vor- und Nachteilen und damit also Umweltauswirkungen, die mit diesen Produkten verbunden sind. Hierzu bedarf es einer bestimmten Bilanzierungsvorschrift, die einer allgemein anerkannten Vorgehensweise entspricht. Insofern ist eine speziell auf nachwachsende Rohstoffe ausgelegte Methodik zur ökologischen Bilanzierung von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen vom Grundsatz her eine spezielle Anwendung der allgemeinen Ökobilanztheorie. Aus diesem Grund werden im folgenden die wichtigsten Merkmale der allgemeinen Ökobilanztheorie im Hinblick auf die Anwendung auf nachwachsende Rohstoffe grob skizziert:

Man unterscheidet die eigentliche *Ökobilanz* von der sogenannten *vergleichenden Ökobilanz*. Eine **Ökobilanz** hat zum Ziel, die Umweltverträglichkeit einer Untersuchungseinheit zu analysieren, indem über den gesamten, festgeschriebenen Lebensweg die Energie-, Emissions- und Stoffströme ermittelt, entsprechend ihrer Wirkung aufsummiert und/oder gewichtet und letztlich einer abschließenden Bewertung zugeführt werden. Bei einer **vergleichenden Ökobilanz** werden zwei oder mehrere äquivalente Untersuchungseinheiten (Prozesse, Systeme, Dienstleistungen etc.) in ihrer Umweltverträglichkeit einander gegenübergestellt.

Von Befürwortern der Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen werden diese (zumindest in bestimmten Einsatzbereichen) als ökologisch vorteilhaft angesehen - ökologisch vorteilhaft gegenüber herkömmlich produzierten Produkten (in der Regel aus fossilen Rohstoffen). Um in diesem Sinn die Umweltverträglichkeit von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen zu bestimmen, muß demnach grundsätzlich eine *vergleichende Ökobilanz* "Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen versus herkömmlich produzierte Produkte" angefertigt werden.

Wesentliches Element einer Ökobilanz ist - und das gilt für die Ökobilanz ebenso wie für die vergleichende Ökobilanz -, daß der gesamte Lebensweg der betrachteten Produkte analysiert wird. Hierunter versteht man alle einzelnen "Lebensphasen" eines Produktes angefangen bei der Produktion der Rohstoffe, über die eigentliche Herstellung des gewünschten Produktes, dessen Distribution und Gebrauch bis hin zur Entsorgung.

**Abb. 1:**  
**Schematischer Lebensweg für Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen**



Dies ist insofern wichtig, als die ökologische Bewertung eines Produktes, die nur auf einer Teilbetrachtung basiert, zu möglicherweise stark verzerrten Aussagen führen könnte. So könnten die mit biologisch abbaubaren Produkten verbundenen Umweltauswirkungen anders bewertet werden, wenn nicht nur deren Kompostierfähigkeit, sondern auch deren Produktion (Landwirtschaft) mit in die Betrachtung einbezogen werden. Abbildung 1 zeigt einen solchen Lebensweg in vereinfachter Form für Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen.

Hierbei ist anzumerken, daß lediglich der *direkte* Lebensweg eines nachwachsenden Rohstoffes von der Produktion bis zur Entsorgung skizziert ist. Bei einer Bilanzierung sind aber auch alle z. B. bei den Produktionsverfahren anfallenden Kuppelprodukte (im Sinn von Wertstoffen) sowie alle Reststoffe zu berücksichtigen. Beispielsweise fällt bei der Produktion von Rapsöl als Kuppelprodukt Rapsextraktionsschrot an, das in der Tiermast eingesetzt werden kann. Kuppelprodukte können über sogenannte Äquivalenzprozesse bilanziert werden<sup>3</sup>, während bei den Reststoffen die mit deren Entsorgung verbundenen Umweltauswirkungen in die Bilanz mit eingerechnet werden (für eine ausführliche Diskussion s. REINHARDT 1993). Der dann gesamte zu betrachtende Lebensweg gestaltet sich bedeutend vielschichtiger als der hier skizzierte.

Bisher sind nur wenige vergleichende Ökobilanzen von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen angefertigt worden bzw. öffentlich zugänglich. Zu diesen zählt beispielsweise die BIOPAC-Studie, bei der ein stärkehaltiges Verpackungsmaterial herkömmlichen Produktlösungen gegenübergestellt wurde (BIOPAC 1991).

Zu den bisher umfangreichsten Ökobilanzen eines nachwachsenden Rohstoffes zählt auch die "Ökobilanz Rapsöl" des Umweltbundesamtes (UBA 1993a), die einen erstmaligen Versuch darstellt, eine wirklich umfassende Ökobilanz eines nachwachsenden Rohstoffs aufzustellen - in diesem Fall: Rapsöl als Dieselmotortreibstoffsubstitut. In der nachfolgenden Diskussion um diese Ökobilanz wurde deutlich, wie wichtig eine klar ausformulierte (und damit nachvollziehbare) und streng angewandte Methodik für die spätere Akzeptanz der Ergebnisse ist.

Hierbei ist anzumerken, daß die Entwicklung einer allgemeinen Methodik zum Erstellen von Ökobilanzen derzeit national wie international noch nicht abgeschlossen ist und aus diesem Grund noch keine verbindliche Vorgehensweise zum Erstellen von Ökobilanzen existiert. Dennoch zeichnet sich inzwischen eine Vorgehensweise ab, die in ihrer Grundstruktur bereits heute bestimmte Bilanzierungsmerkmale eindeutig festlegt (UBA 1993b).

Diese mit "Standardmethodik 'Ökobilanz'" bezeichnete Methodik zum Erstellen von Ökobilanzen wurde in ihrer ursprünglichen Form von einer niederländischen Arbeitsgruppe aufgestellt (CML/TNO/B&G 1991). Sie basiert auf der in Tabelle 1 dargestellten Vorgehensweise: Der Aufstellung des Bilanzierungszieles folgend werden die Sach- und anschließend die Wirkungsbilanz erarbeitet. Abschließend folgt die Bilanzbewertung. Eine entsprechende Vorgehensweise wird derzeit auch vom Umweltbundesamt präferiert (UBA 1992). Weiterführende Arbeiten zeigen allerdings, daß es sich hierbei um keine streng hintereinander anzuwendende

---

<sup>3</sup> Bei dem genannten Beispiel wäre als Äquivalenzprozeß die Produktion eines äquivalenten Futtermittels - etwa Sojaextraktionsschrot - anzusetzen.

Vorgehensweise handeln darf, denn die einzelnen Bilanzierungsschritte werden jeweils durch die anderen Schritte vor- bzw. mitbestimmt (IFEU 1993a).

Der Zieldefinition kommt hierbei eine besondere Schlüsselstellung zu, denn in ihr werden alle für die Bilanzierung wesentlichen und notwendigen Merkmale festgelegt. Hierzu gehört beispielsweise, welche Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen und welche Äquivalenzprodukte betrachtet werden sollen, wie sich im einzelnen der gesamte Lebensweg dieser Produkte gestaltet (von der Produktion bis zur Entsorgung), welche umweltrelevanten Kenngrößen unter welchen Aspekten und Randbedingungen betrachtet werden sollen und vieles andere mehr.

**Tabelle 1:**  
**Standardmethodik zum Erstellen einer Ökobilanz**

<b>Standardmethodik "Ökobilanz"</b>	
1.	Bilanzierungsziel (Zieldefinition)
2.	Sachbilanz
3.	Wirkungsbilanz
4.	Bilanzbewertung

Quelle: CML/TNO/B&G 1991 IFEU 1993

Gerade die Auswahl und Beschreibung der umweltrelevanten Kenngrößen ist ein zentraler Punkt bei dem Erstellen von Ökobilanzen. Da letztlich Umweltwirkungen beschrieben werden sollen, müssen diese zuerst einmal definiert und anschließend die hierfür notwendigen Kenngrößen bestimmt werden. Soll beispielsweise der Verbrauch erschöpflicher Energie bilanziert werden - letztlich wegen der begrenzten Verfügbarkeit dieser Energieformen - , so müssen diese Energien von den regenerativen getrennt analysiert werden. Tabelle 2 listet ohne Anspruch auf Vollständigkeit mögliche, bei einer Ökobilanz zu betrachtende Umweltauswirkungen auf.

Es ist ersichtlich, daß gerade der Bereich der Landwirtschaft in viele Einzelbereiche der Rubrik "Feinkriterien" hineinfließt wie Eutrophierung, Verbrauch mineralischer Ressourcen (z. B. Phosphatdüngemittel) oder auch Flächenverbrauch. Derartige Kriterien werden bei der hier angesprochenen vergleichenden Bilanzierung "Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen versus herkömmlich produzierte Produkte" Berücksichtigung finden.

Ergänzend sei hier noch bemerkt, daß bei Ökobilanzen ausschließlich *ökologisch* relevante Parameter wie Schadstoff- und Lärmemissionen, Biodiversität, Abfallaufkommen etc. bilanziert werden, und dementsprechend sich der Katalog (Tab. 2) nur auf ökologische Kenngrößen bezieht. Bei anderen Bilanzierungsarten wie bei der Produktlinienanalyse oder der

Technikfolgenabschätzung werden darüber hinaus auch *nichtökologische* Parameter wie Sozialverträglichkeit, Sicherheit, Verfügbarkeit etc. in die Bilanzierung mit eingeschlossen.

**Tabelle 2:**  
**Katalog ökologischer Kriterien für eine Ökobilanz**

<b>Katalog ökologischer Kriterien</b>	
<b>Kriterienbereich: Schädigung durch Emissionen/Immissionen</b>	
<b>Grobkriterien</b>	<b>Feinkriterien</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Humantoxische Effekte</li> <li>- Ökotoxische Effekte</li> <li>- Wirkung auf die Atmosphäre</li> <li>- andere Effekte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chronisch-toxische Wirkungen</li> <li>- Krebsrisiko</li> <li>- Eutrophierung</li> <li>- Versauerung</li> <li>- Direkte Schädigung von Organismen</li> <li>- Verstärkter Treibhauseffekt</li> <li>- Stratosphärischer Ozonabbau</li> <li>- Lärmbelastung</li> <li>- Abwärmeabgabe</li> <li>- Geruchsbelastung</li> </ul>
<b>Kriterienbereich: Direkte Ressourcenbeanspruchung</b>	
<b>Grobkriterien</b>	<b>Feinkriterien</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rohstoff- und Energieverbrauch</li> <li>- Bodenverbrauch</li> <li>- Schädigung biologischer Ressourcen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verbrauch mineralischer Ressourcen</li> <li>- Verbrauch fossiler Energieträger</li> <li>- Wasserverbrauch</li> <li>- Flächenverbrauch</li> <li>- Erosionsförderung</li> <li>- Verringerung der Biodiversität</li> <li>- Landschaftsbeeinträchtigung</li> </ul>
<b>Kriterienbereich: Unfallrisiko</b>	
<b>Grobkriterien</b>	<b>Feinkriterien</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Transportunfälle</li> <li>- Störfallrisiko</li> </ul>
Quelle: IFEU 1993a	IFEU 1993



Sind die ökologisch relevanten Parameter einmal bestimmt, so stellt sich die Frage nach deren Bewertung. Welches Produkt ist beispielsweise dem anderen vorzuziehen, wenn das eine produktionsbedingt Grundwasser z. B. mit Nitraten verunreinigt, bei dem anderen aber wegen der Verbrennung in einer Müllverbrennungsanlage Dioxine freigesetzt werden? Hierzu wurden bisher mehrere Bewertungsmethoden vorgeschlagen:

Die wichtigsten hiervon sind das Ökopunktmodell (BUWAL 1990), das VNCI-Modell (VNCI 1991) sowie das EPS-Modell (EPS 1992).

**Tabelle 3:**

**Vergleich der auf CO<sub>2</sub> normierten (CO<sub>2</sub> = 1) Umweltindices dreier verschiedener Bewertungsmodelle disaggregiert nach einzelnen Schadsubstanzen (näheres s. Text).**

Absolutwerte für CO<sub>2</sub>: 0,0248 Ökopunkte/g, VNCI: 0,011 gewichtetes ppt/g und EPS: 0,04 Einheiten/kg.

<b>Vergleich der Umweltindices verschiedener Bewertungsmodelle</b>			
<b>Substanz</b>	<b>Ökopunktmodell</b>	<b>VNCI-Modell</b>	<b>EPS-Modell</b>
CO <sub>2</sub>	1	1	1
SO <sub>2</sub>	197	218	151
NO <sub>x</sub>	254	348	6 130
VOC	393	280	258
Hg (g)	68 600 000	4 250 000	250
Hg (aq)	68 600 000	28 000 000	250
Pb (g)	349 500	5 138	0,25
Pb (aq)	349 500	33 660	0,25
Zn (aq)	56 000	86 850	0,00025

Quelle: Baumann, H., Rydberg, T. 1992 IFEU 1993

Bei ökologischen Bilanzierungen wurde bisher vor allem das Ökopunktmodell favorisiert, bezüglich nachwachsender Rohstoffe beispielsweise von RENNER 1992 zur Bilanzierung von Maisstärke. In Tabelle 3 sind die jeweiligen Bewertungsergebnisse nach diesen drei Verfahren einander gegenübergestellt für einige ausgewählte umweltrelevante Kenngrößen. Hierbei wurde der Umweltindex von CO<sub>2</sub> gleich 1 gesetzt und alle weiteren Bewertungsparameter auf CO<sub>2</sub> normiert. Dementsprechend sollten die Verhältnisse der einzelnen Zahlen zueinander - gleiche Bewertungsergebnisse vorausgesetzt - in etwa gleich sein. In der Realität zeigen die teilweise um

mehrere Größenordnungen unterschiedlichen Verhältnisse, daß eine Bewertung seitens der Wissenschaft nicht eindeutig vorgenommen werden kann<sup>4</sup>.

### **Zusammenfassung:**

Zusammengefaßt kann festgehalten werden, daß bei der ökologischen Bilanzierung von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen grundsätzlich

- eine **vergleichende Ökobilanz** "Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen versus herkömmlich produzierte Produkte" angefertigt werden sollte, um einen direkten Vergleich zu gewährleisten,
- prinzipiell der **gesamte Lebensweg** der betrachteten Produkte in die Analyse mit einbezogen werden sollte,
- bei der Betrachtung des Lebenswegs auch die bei den Herstellungsprozessen anfallenden **Kuppelprodukte** (im Sinne von Wertstoffen) und **Reststoffe** berücksichtigt werden sollten und
- daß es zur Bilanzierung der notwendigen Kenngrößen und Randbedingungen einer exakt ausformulierten **Zieldefinition** bedarf.

### **4.3. Umweltrelevanz der einzelnen Lebenswegschritte**

Die ökologischen Vor- und Nachteile von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen gegenüber "herkömmlichen" Produkten unterscheiden sich in den einzelnen Lebenswegschritten zum Teil beträchtlich. Desweiteren sind sie nicht für alle denkbaren Produkte im Systemvergleich "aus nachwachsenden Rohstoffen versus herkömmlich produziert" gleich. Sie unterscheiden sich qualitativ wie quantitativ insbesondere davon, je nachdem welches Produkt unter welchen Rahmen- und Randbedingungen betrachtet wird. Aus diesen Gründen werden im folgenden einige ökologische Vor- und Nachteile von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen getrennt nach folgenden Lebenswegphasen dargestellt:

- Herstellung
- Handel/Vertrieb und Gebrauch
- Entsorgung

---

<sup>4</sup> Eine ausführlichere Diskussion findet sich in: **Giegrich, J.:** Bilanzbewertung: Stand und Perspektiven. Arbeitsbericht im Rahmen des IFEU-Projektes "Evaluation sogenannter objektiver Bewertungsmethoden im Hinblick auf die Erschließung konsensfähiger Bewertungsmethoden im Rahmen von Ökobilanzen" im Auftrag des Umweltbundesamtes, Heidelberg (1993)

Auf die einzelnen Lebenswegphasen der Transporte (s. Abb. 1) wird hier nicht gesondert eingegangen. Es zeigt sich zwar, daß Transporte bei manchen Ökobilanzen das Ergebnis maßgeblich beeinflussen - teilweise sogar bestimmen -, die Transporte aber in besonderem Maß von dem betrachteten Untersuchungsobjekt und den entsprechenden Randbedingungen abhängen (IFEU 1993b). Bei der Vielzahl an möglichen nachwachsenden Rohstoffen und deren Einsatzzwecken sind generelle Aussagen bezüglich nachwachsender Rohstoffe nicht zu treffen - auch nicht im Systemvergleich gegenüber herkömmlichen Produkten.

Die Beschreibung der einzelnen Lebenswegphasen kann sich bei einer allgemeinen Betrachtung, wie sie hier angestellt wird, lediglich auf qualitative Elemente beziehen. Sie soll dazu dienen, bestimmte Problemfelder aufzuzeigen und zu umreißen, nicht aber dazu, definitive Aussagen bezüglich eines bestimmten Produktes oder einer Produktgruppe zu treffen. Hierzu wäre eine jeweils separate Analyse unter genauer Angabe der Zieldefinition notwendig.

## Herstellung

Die Herstellung von Produkten unterteilt sich in der Regel in mehrere Einzelschritte: Produktion oder Gewinnung von Rohstoffen, Fertigung von Zwischenprodukten und Endfertigung. Bei einem Systemvergleich "Produkte aus nachwachsenden versus aus fossilen Rohstoffen" hängen die Umweltauswirkungen der beiden letztgenannten Lebenswegphasen in starkem Ausmaß von vielen Faktoren wie z. B. den jeweils betrachteten Produkten, den zugrundeliegenden Verarbeitungsprozessen und der angewandten Technik ab. Direkt verglichen werden kann die *Produktion* der Rohstoffe, die bei den nachwachsenden Rohstoffen den Gesamtkomplex der Landwirtschaft einschließlich aller vorgelagerten Prozesse wie Düngemittelproduktion umfaßt, während bei den fossilen Rohstoffen die Exploration und Förderung zu bilanzieren ist.

Bei dem Systemvergleich der Produktion der verschiedenen Rohstoffe werden dementsprechend den nachwachsenden Rohstoffen die durch die Landwirtschaft verursachten Umweltauswirkungen angerechnet, während bei den fossilen Rohstoffen die durch Exploration und Förderung entstehenden Umweltauswirkungen erfaßt werden. In Tabelle 4 sind einige ausgewählte ökologische Kriterien aufgelistet samt dem Versuch einer jeweiligen qualitativen Beschreibung. Es handelt sich hierbei ausdrücklich um eine Auswahl der in Tabelle 2 aufgeführten Kriterien, d. h. ohne Anspruch auf eine vollständige Erfassung.

Neben den verschiedenen Umweltwirkungen ist auch der Parameter "Energieverbrauch" angegeben, der als Indikator z. B. für Ressourcenknappheit steht. Der Einsatz von Energie in Form von (in der Regel) fossilen Energieträgern ist sowohl für die Bereitstellung von fossilen Energieträgern als auch für die Produktion von nachwachsenden Rohstoffen notwendig. Hier ist es fossile Energie in Form von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln, deren Produktion zum Teil beträchtliche Energieaufwände erfordert, Dieselkraftstoff für Traktoren und einiges mehr. Für viele

Tabelle 4:

**Qualitative Beschreibung einiger ausgewählter ökologischer Kriterien, die mit der Produktion von nachwachsenden bzw. fossilen Rohstoffen verbunden sind.**

<b>Umweltauswirkungen bei der Produktion von Rohstoffen</b>		
ausgewählte ökologische Kriterien	Produktion nachwachsender Rohstoffe	"Produktion" fossiler Rohstoffe
Eutrophierung von Oberflächengewässern	ja	nein
Belastung von Grundwasser mit Bioziden, Nitrat etc.	ja	nein
Erosion, Verlust an Humus	ja	nein
Flächenverbrauch	ja	gering
Verringerung der Biodiversität	ja	gering
Bedarf an erschöpflicher Energie	ja	ja

IFEU 1993

nachwachsende Rohstoffe gilt die Behauptung, daß deren Produktion mehr fossile Energie benötigt als die Förderung der fossilen Energieträger (bezogen auf die gleiche Funktionseinheit der späteren Produkte).

D. h. für die eng umgrenzte Lebensphase der *Produktion* der Rohstoffe gilt im Großen und Ganzen durchgängig, daß die Produktion von nachwachsenden Rohstoffen sowohl qualitativ wie auch quantitativ mit wesentlich mehr Umweltauswirkungen verbunden ist als die Bereitstellung von fossilen Rohstoffen - zumindest unter den derzeitigen Anbauverhältnissen, die den qualitativen Einschätzungen in der Tabelle 4 zugrundeliegen. Bei anderen Produktionsmethoden wie etwa einem Anbau nach biologisch dynamischen Richtlinien könnten sich durchaus auch andere Schlußfolgerungen ergeben. Bezieht man über die Produktion der Rohstoffe hinaus auch die Produktion der Zwischenprodukte und die Endfertigung einschließlich aller hierfür notwendigen Transportvorgänge mit ein, so hängt das Ergebnis vom jeweiligen Einzelfall ab. Eine generelle Aussage für alle nachwachsenden Rohstoffe und alle Verwendungszwecke kann hier nicht mehr getroffen werden.

### **Handel/Vertrieb und Gebrauch**

Wird ein herkömmliches Produkt durch ein solches aus nachwachsenden Rohstoffen ersetzt, so steht an erster Stelle, daß die Funktionalität der beiden Produkte in etwa gleichwertig ist - damit

aber auch entsprechende Merkmale wie Größe oder auch Form (nicht aber unbedingt Masse, siehe z. B. OELS 1992). Von daher kann man in einer ersten Näherung davon ausgehen, daß sich der Handel, Vertrieb und zum gewissen Maß auch der Gebrauch von Produkten nicht wesentlich darin unterscheidet, ob es sich um Produkte aus nachwachsenden oder aus fossilen Rohstoffen handelt. Das gilt dann natürlich auch für die damit verbundenen Umweltauswirkungen.

Unterscheiden sich die beiden betrachteten Produkte insofern, als damit eine Veränderung in den Bereichen Handel/Vertrieb oder Gebrauch die Folge wäre, so wären die jeweiligen Unterschiede zu bilanzieren. Dies könnte der Fall sein, wenn beispielsweise ein Produkt aus nachwachsenden Rohstoffen andere Lagerungsbedingungen erfordert als ein Produkt aus fossilen Rohstoffen. Bei unterschiedlichen Nutzungsdauern oder Haltbarkeiten hingegen muß über den gesamten Lebensweg bilanziert werden, der Bereich des Handels/Vertriebs bzw. Gebrauchs ist dann nicht betroffen.

Somit kann die vergleichende Bilanzierung für die Lebenswegschritte Handel/Vertrieb sowie Gebrauch dann unterbleiben, wenn sich die jeweils betrachteten Produkte nicht oder nur unwesentlich hinsichtlich der aufgeführten Lebenswegschritte voneinander unterscheiden. Sie ist dann durchzuführen, wenn signifikante Unterschiede auftreten. Eine generelle Aussage über die Umweltverträglichkeit der hier diskutierten Lebenswegabschnitte ist somit nicht zu treffen, sie muß im Einzelfall festgestellt werden sowohl bezüglich der zu betrachtenden Umweltwirkungen als auch der Wirkungsintensitäten.

## **Entsorgung**

Produkte lassen sich im wesentlichen über fünf Hauptentsorgungspfade entsorgen: Kompostierung, Vergärung, Deponierung, thermische Verwertung sowie Recycling, wobei hier auch Downcyclingprozesse etc. mit einbezogen sind. Der Vergleich der Umweltauswirkungen durch die Entsorgung von Produkten aus unterschiedlichen Rohstoffen wird augenscheinlich dadurch erschwert, daß diese Produkte teilweise unterschiedliche Entsorgungswege durchlaufen (s. Tabelle 5).

So macht es z. B. wenig Sinn, nichtabbaubare Stoffe wie Kunststoffprodukte über den Weg der Kompostierung zu entsorgen. Andererseits zeichnet es ja in Fällen ein Produkt dadurch aus, daß es über einen bestimmten Entsorgungspfad entsorgt werden kann. D. h., bei einem Vergleich der Umweltauswirkungen durch die Entsorgung der Produkte aus unterschiedlichen Rohstoffen muß nicht systembedingt derselbe Entsorgungspfad der Bilanzierung zugrundegelegt werden. Es ließe sich beispielsweise durchaus die thermische Verwertung von Kunststoffgeschirr mit der Kompostierung von biologisch abbaubarem Geschirr vergleichen, wenn dies die jeweiligen Entsorgungspfade wären.

Tabelle 5:

**Entsorgungsmöglichkeiten von Produkten aus nachwachsenden bzw. fossilen Rohstoffen.**

Entsorgungsmöglichkeiten von Produkten		
Entsorgungsart	Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen	Produkte aus fossilen Rohstoffen
Recycling	teilweise	teilweise
Kompostierung	ja	entfällt
Vergärung	ja	entfällt
Deponierung	ja	ja
thermische Verwertung	ja	ja

IFEU 1993

Für die ökologische Bilanzierung ist außer der Festlegung des jeweiligen Entsorgungspfades die Zielrichtung dieser Bilanzierung von entscheidender Bedeutung, sprich: Welche umweltrelevanten Kenngrößen sollen denn überhaupt bilanziert werden? Tabelle 6 zeigt beispielhaft für den Parameter "Klimawirksamkeit", wie die Klimarelevanz für den Lebenswegschritt "Entsorgung" der Produkte unterschiedlicher Herkunft je nach Entsorgungsart einzuschätzen ist.

Auf den ersten Blick erstaunlich scheint zumindest die Beurteilung der Klimarelevanz bei dem Entsorgungspfad "Deponie" zu sein, geht man doch davon aus, daß biologisch abbaubare Produkte nur das CO<sub>2</sub> wieder in die Atmosphäre entlassen, das vorher beim Wachsen der Pflanzen der Atmosphäre entzogen wurde, während bei fossilen Rohstoffen zusätzliches CO<sub>2</sub> freigesetzt wird.

Die hier vorgenommene Einschätzung läßt sich damit begründen, daß bei dem Abbau von Bioabfall sogenanntes Deponiegas entsteht - eine Mischung aus verschiedenen, unter anderem auch klimawirksamen Gasen wie CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub>. Umgerechnet auf eine Vergleichsgröße (CO<sub>2</sub>-Äquivalenzwert) ergibt sich so eine eindeutige Klimawirksamkeit, während bei Kunststoffabfällen aufgrund der anaeroben Verhältnisse im Deponiekörper bzw. der biologischen Nichtabbaubarkeit bei ökologischen Bilanzen keine Deponiegasentstehung zugerechnet wird<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Diese Art und Weise der Zurechnung ist derzeit zwar wissenschaftlich nicht eindeutig ableitbar, inzwischen aber weithin akzeptiert und wird so standardmäßig angewandt. Ausführlich dokumentiert ist sie beispielsweise in IFEU 1993b

Tabelle 6:

**Qualitative Beschreibung der Klimarelevanz bei verschiedenen Entsorgungsmöglichkeiten von Produkten aus nachwachsenden bzw. fossilen Rohstoffen.**

<b>Umweltauswirkungen bei der Entsorgung von Produkten - Fallbeispiel Klimawirksamkeit -</b>		
<b>Entsorgungsart</b>	<b>Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen</b>	<b>Produkte aus fossilen Rohstoffen</b>
Recycling	teilweise	ja
Kompostierung	nein	entfällt
Vergärung	nein	entfällt
Deponierung	ja	nein
thermische Verwertung	nein	ja

IFEU 1993

Es lassen sich aber auch eine Reihe weiterer Umweltauswirkungen bzw. Indikatoren für Umweltwirkungen bilanzieren. In Tabelle 7 sind einige ausgewählte Kenngrößen für drei verschiedene Kombinationen "Art des Rohstoffes" und "Entsorgungsart" aufgelistet:

Für die biologisch abbaubaren Produkte die Kompostierung und für die Produkte fossilen Ursprungs die Deponierung bzw. thermische Entsorgung. Bei einer Bewertung dieser drei Varianten sind folgende zwei Aspekte zu berücksichtigen: Erstens handelt es sich hier um eine subjektive Auswahl der Kenngrößen und zweitens sind diese teilweise nicht direkt bei der Gegenüberstellung der drei Varianten miteinander vergleichbar: So unterscheiden sich die Reststoffe sowohl qualitativ (Sickerwasser, Feststoffe, Emissionen etc.) - und damit auch hinsichtlich ihrer Wirkungen - als auch quantitativ voneinander.

Unter Berücksichtigung dieser Aspekte kann dennoch in einer Art grober Bewertung festgestellt werden, daß zumindest bei der Betrachtung der angeführten Kenngrößen der Entsorgungspfad der Kompostierung mit geringerer Umweltbelastung verbunden ist als die beiden anderen Varianten.

Die angeführten Beispiele zeigen, daß die ökologische Bilanzierung der möglichen Entsorgungspfade der Produkte vor allem auch auf quantitativer Ebene letztlich in Abhängigkeit von den zu bilanzierenden Produkten durchgeführt werden muß. Im Rahmen der bereits oben angeführten Zieldefinition sind hierbei die zu bilanzierenden Entsorgungsmöglichkeiten als auch die Zielrichtung der Bilanzierung festzulegen.

**Tabelle 7:**

**Fallbeispiele für die qualitative Beschreibung einiger ausgewählter ökologischer Kriterien, die mit der Entsorgung von Produkten aus nachwachsenden bzw. fossilen Rohstoffen verbunden sind.**

<b>Umweltauswirkungen bei der Entsorgung von Produkten</b>			
<b>- Fallbeispiele -</b>			
ausgewählte ökologische Kriterien	bioabbaubare Produkte	Produkte aus fossilen Rohstoffen	
	Kompostierung	thermische Verwertung	Deponierung
Flächenbedarf	gering	gering	ja
Klimawirksamkeit	nein	ja	nein
Produktion eines 'Wertstoffes' ja		ja	nein
Anfallen von Reststoffen	gering	ja	ja

IFEU 1993

## Zusammenfassung

Die Umweltauswirkungen, die mit Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen verbunden sind, lassen sich nicht einfach mit "vollständig biologisch abbaubar" oder mit "CO<sub>2</sub>-neutral" beschreiben. Hierbei werden nämlich nur Ausschnitte des gesamten Lebensweges wie z. B. die Entsorgung betrachtet. Vielmehr ist der gesamte Lebensweg des betrachteten Produktes von der Produktion der Rohstoffe bis zur Entsorgung zu bilanzieren. Hierbei müssen, was öfters "vergessen" wird, auch die Kuppelprodukte und Reststoffe, die innerhalb des Lebensweges auftreten, mit berücksichtigt werden. Dies ist bisher nur für wenige nachwachsende Rohstoffe und für wenige ökologische Kenngrößen vorgenommen worden, so z. B. für die Parameter "Energie" und "CO<sub>2</sub>" bei der Bilanzierung von Rapsöl bzw. Rapsmethylester, die als Substitute herkömmlicher Kraftstoffe eingesetzt werden können (REINHARDT 1993).

Desweiteren sind im Rahmen einer exakt auszuförmulierenden Zieldefinition, dem ersten Bilanzierungsschritt einer Ökobilanz, die eigentlichen Ziele der Bilanzierung darzulegen. Beispielsweise stellt sich ja die Frage, warum man überhaupt das Kriterium "vollständig biologisch abbaubar" anführt. Ist es nämlich die Nichtbelegung von Deponieraum - und damit ein Hinweis auf die begrenzte Verfügbarkeit von Flächen -, so erweisen sich unter Einbeziehen des



gesamten Lebensweges die Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen als letztlich weniger umweltverträglich als solche aus fossilen Rohstoffen.

Die Umweltverträglichkeit bestimmt sich nicht direkt aus der Lebensweganalyse der Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen, sondern im *Vergleich* zu der Lebensweganalyse eines beispielsweise aus fossilen Rohstoffen hergestellten Produktes gleicher Funktionalität, dem sogenannten Äquivalenzprodukt. Anders können die realen Umweltvor- und -nachteile des betrachteten Produktes nicht bestimmt werden. Insofern sind in der Zieldefinition aber nicht nur die zu bilanzierenden Umweltauswirkungen oder Indikatoren, die einen Hinweis auf Umweltwirkungen geben, darzulegen, sondern auch eine genaue Beschreibung der betrachteten Produkte und Äquivalenzprodukte sowie der entsprechenden Lebenswege (hier also auch, welche Entsorgungsstrategien einander gegenübergestellt werden).

Ohne auf ein spezielles Produkt einzugehen, ist es nur schwer möglich, selbst qualitative Aussagen zu treffen. Grob vereinfachend kann man lediglich feststellen, daß die *Produktion* von nachwachsenden Rohstoffen mehr und intensivere Umweltwirkungen verursacht als die Produktion von fossilen Rohstoffen - zumindest bei den derzeitigen Verhältnissen des landwirtschaftlichen Anbaus -, während es bei der *Entsorgung* eher umgekehrt ist. Letztlich aber müssen die einzelnen Umweltwirkungen über den gesamten Lebensweg hinweg in Form einer "sinnvollen Wirkungsaggregation" (IFEU 1993a) zusammengeführt werden.

#### **4.4. Fazit:**

Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen sind nicht von vorne herein umweltfreundlich. Welche Umweltvor- und -nachteile mit ihnen tatsächlich verbunden sind, muß im Einzelfall überprüft werden. Dazu kann die Methodik der vergleichenden Ökobilanzierung einen entscheidenden Beitrag leisten.

#### **4.5. Literatur**

**Baumann, H., Rydberg, T. (1992):** Life-Cycle Assessment: A Comparison of three Methods for Impact Analysis and Valuation. Chalmers Industriteknik

**BIOPAC (1991):** Jasch, Ch., Hegenbart, B., Hrauda, G., Regatschnig, H.: BIOPAC. Plan Ökobilanz. Schriftenreihe 1/91 des Instituts für ökologische Wirtschaftsförderung, Wien

**BUWAL (1990):** Ahbe, S., Braunschweig, A., Müller-Wenk, R.: Methodik für Ökobilanzen. Schriftenreihe Umwelt Nr. 133 des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landwirtschaft, Bern

**CML/TNO/B&G (1991):** Centre of Environmental Science (CML), Dutch Organisation for Applied Scientific Research (TNO), Fuels and Raw Materials Bureau (B&G): Manual for the Environmental Life Cycle Assessment of Products. Second interim version, Leiden, Apeldorn, Rotterdam

**EPS (1992):** Sten, B., Ryding, S.-O.: The EPS Enviro-Accounting Method. Report No. B1022 of the IVL - Swedish Environmental Research Institute, Göteborg

**IFEU (1993a):** Giegrich, J., Mampel, U.: Ökologische Bilanzen in der Abfallwirtschaft. Vorstudie des ifeu-Instituts im Auftrag des Umweltbundesamtes, Heidelberg

**IFEU (1993b):** IFEU (Hrsg.): Ökobilanzen für Verpackungen. Teilbericht "Energie, Transport, Entsorgung". Vorläufiger Endbericht, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Heidelberg

**Oels (1992):** Oels, H.: Umweltbeurteilung von biologisch abbaubaren Packmitteln aus nachwachsenden Rohstoffen. in: Brinkmann-Herz (Hrsg.): Deutsches Industrie-Verpackungsforum. Fachbroschüre Verpackungstechnik 11/92, Verlag Technik + Kommunikation, Berlin

**Reinhardt (1993):** Reinhardt, G.A.: Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanzierung nachwachsender Rohstoffe. Theoretische Grundlagen und Fallstudie Raps. 2. Aufl., Vieweg Verlag, Braunschweig/Wiesbaden

**Renner (1992):** Renner, I.: Nachwachsende Rohstoffe: Bewertung durch Ökobilanz. in: Westermann, K. (Hrsg.): Verpackung aus nachwachsenden Rohstoffen, Verlag der ökologischen Briefe, Frankfurt/M.

**UBA (1992):** Umweltbundesamt (Hrsg.): Ökobilanzen für Produkte. Bedeutung - Sachstand - Perspektiven. TEXTE 38/92, Berlin

**UBA (1993a):** Umweltbundesamt (Hrsg.): Ökologische Bilanz von Rapsöl und Rapsölmethylester als Ersatz von Dieselkraftstoff (Ökobilanz Rapsöl). TEXTE 4/93, Berlin

**UBA (1993b):** Reiche, J.: Ökobilanzen als Orientierungshilfe. Methodischer Aufbau - Beispiele - Belastbarkeit. Stellungnahme zur nichtöffentlichen Anhörung der Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" zum Thema "Einordnung des Instruments Ökobilanzen anhand praktischer Beispiele" am 14.05.1993, unveröffentlichte Arbeitsunterlage 12/239 a, Bonn

**VNCI (1991):** Association of the Dutch Chemical Industry (VNCI) (ed.): Integrated Substance Chain Management. Working material for environmental measurement. Unveröffentlichter Statusbericht, Den Haag

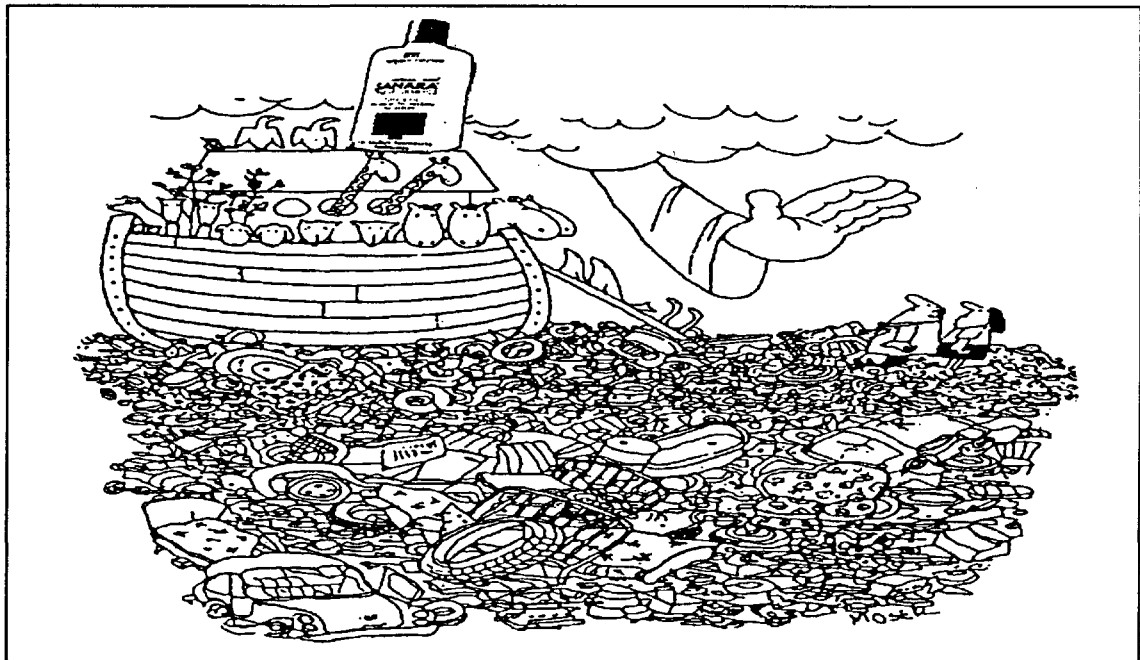
## 5. Industrielle Erfahrungen mit Verpackungen aus Nachwachsenden Rohstoffen

Thomas Kripp<sup>1</sup>

### 5.1. Einleitung

Das "Sanara Shampoo Extra-Mild-Pflege" und das "Linie N Ringelblumen Shampoo" in der Biopol-Flasche gibt es im Handel beziehungsweise exklusiv beim Friseur. Das Sanara-Shampoo in der Biopol-Flasche wird permanent neben den dreizehn Pflegeprodukten in herkömmlicher Kunststoff-Verpackung angeboten. Auch bei Linie N ist diese Flasche eine Dauer-Verpackung.

Abbildung 1:  
Noah, die Arche und Sanara Shampoo



Quelle: Moser, C., aus der schweizer satirischen Zeitschrift "Nebelspalter"

Biopol ist ein Verpackungsmaterial, das ganz ähnliche Eigenschaften aufweist, wie konventionelle Kunststoffe, aber:

<sup>1</sup> Der vorliegende Text entspricht nicht dem mündlichen Referat von Dr. Kripp, sondern er basiert auf einer Presseerklärung der Wella AG, welche mit Graphiken ergänzt wurde.

- aus nachwachsenden Rohstoffen produziert wird - während für die Kunststoff-Herstellung Erdöl gebraucht wird
- und - im Gegensatz zu allen herkömmlichen Kunststoffen - biologisch abbaubar ist!

Verpackungen aus Biopol sind somit ein Beitrag von Wella gegen wachsende Müllberge.

Um möglichst vielen Frauen und Männern die "Verpackung nach dem Prinzip Natur" anbieten zu können, wurde bei beiden Marken ein Shampoo in Biopol-Flaschen abgefüllt, das für jedes Haar geeignet ist. Das Gesamt-Konzept der Wella-Serie Sanara bietet hochwertige Pflege und nimmt gleichzeitig Rücksicht auf Gesundheit und Umwelt: So enthalten die Sanara Rezepturen Rohstoffe auf pflanzlicher Basis und sind frei von Konservierungs- und Farbstoffen.

## **5.2. Was ist Biopol? - Verpackung, wie die Natur sie macht!**

Die Biopol-Flasche bei beiden Wella-Shampoos ist eine Verpackung, ähnlich den natürlichen "Verpackungen" - z.B. von Früchten, Nüssen oder Eiern: Sie entsteht aus nachwachsenden, pflanzlichen Rohstoffen, schützt den Inhalt optimal und so lange wie nötig vor äußeren Einflüssen und kehrt dann in den Kreislauf der Natur zurück!

Der Biopol-Kreislauf beginnt mit der Photosynthese - in Pflanzen (z.B. Zuckerrüben) wird Zucker und Stärke gebildet. Zucker und Stärke werden in einem Fermenter bestimmten Mikroorganismen zugeführt, die daraus das Bio-Polymer produzieren - ähnlich wie der menschliche Körper Fett.

Nach der Fermentation wird Biopol abgetrennt, das daraus entstehende Pulver kann genau wie herkömmlicher Kunststoff gefärbt, zu Granulat verarbeitet, dann mit den üblichen Techniken zu Flaschen weiterverarbeitet werden. Die Eigenschaften von Biopol werden in Abbildung 2 dargestellt.

Sind diese Flaschen leer, können sie in den Kreislauf der Natur zurückkehren, denn sie werden biologisch abgebaut, sind kompostierbar! Getestet hat das schon 1990 die Universität Stuttgart in großangelegten wissenschaftlichen Versuchen (vgl. hierzu Abbildung 3).

## Abbildung 2: Eigenschaften von Biopol



### *Physikalische und technische Eigenschaften von PHB\** (= "BIOPOL")

Molmasse:	10 000 bis $3,0 \cdot 10^6$
Schmelztemperatur ( $T_m$ ):	173 - 180 °C
Glasübergangstemperatur ( $T_G$ ):	10 °C
Zersetzungstemperatur:	$\geq 205$ °C
Schmelzwärme:	100 J/g
spezifische Dichte:	1,25 g/cm <sup>3</sup>
Kristallinität:	55 bis 65 %
Sauerstoffdurchlässigkeit:	45 cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /at/Tag für 25 µm Film
Zugfestigkeit $T_B$ :	1 500 - 2 500 N/cm <sup>2</sup>
Elastizitäts-Modul:	4,6 GPa
Kerbschlagzähigkeit:	0,3 J/m (nach Izod, Kerbradius 1 mm)
Bruchdehnung:	5 %
Modulus M:	800 - 1 000 N/cm <sup>2</sup>
Piezoelektrischer Koeffizient:	1,67 pC/N
Spezifisches Drehungsvermögen:	Monomer [α] <sub>D</sub> + 24,3 Polymer in Chloroform [α] <sub>D</sub> - 2,0

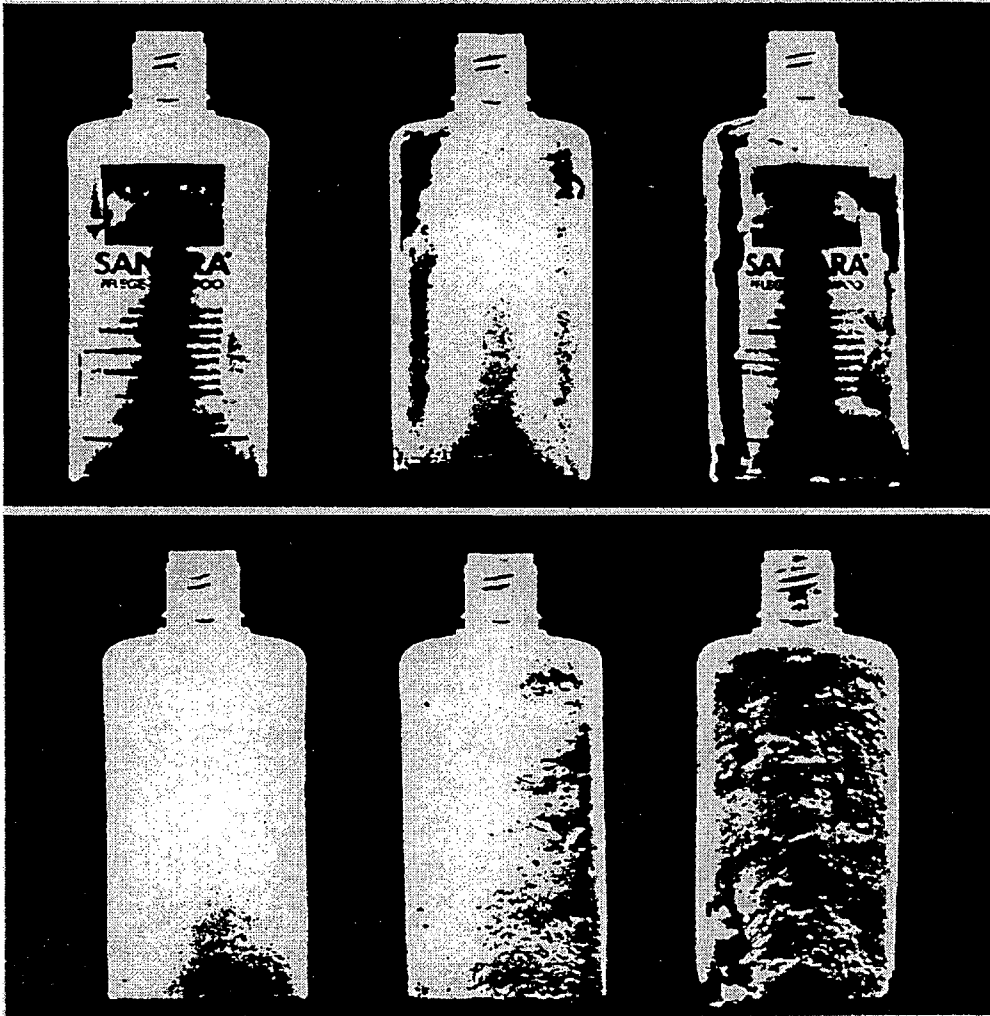
weitgehend resistent gegen Hypochlorit

**löslich in:** Chloroform, Dichlormethan, Dichlorethan, Trichlorethan, Tetrachlorethan, Dimethylformamid, Methylenchlorid, Trifluorethanol, Ethylencarbonat, Propylencarbonat, Essigsäureanhydrid, 1N NaOH, Triloiln, Essigsäure, Alkohole mit mehr als 3 C-Atomen, Dichlor-essigsäure, (Dioxane), (Octanol), (Toluol), (Pyridine)

**unlöslich in:** Wasser, Methanol, Ethanol, 1-Propanol, 2-Propanol, Cyclohexanol, Carbontetrachloride, verdünnte Mineralsäuren, alkalische Hypochlorit-Lösung, Diethylether, Hexan, Petrolether, Benzol, Aceton, Cyclohexanon, Ethylacetat, Ethylmethylketon, Tetrahydrofuran, Ameisensäureethylester, Essigsäurebutylester, Valeriansäure, Tributylcitrat, Benzin.

\*) Aus: Nachr. Chem. Techn. Lab. 39 (1991) Nr. 10 S. 1112

**Abbildung 3:**  
**In aerobem Wasser gelagerte Biopolflaschen nach 15, 19 und 26 Wochen**



Quelle: Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft

Die Kompostierung biologischer Abfälle gewinnt zunehmend an Bedeutung, viele Kommunen bauten oder bauen dafür eigene Anlagen und stellen den Haushalten Kompostier-Tonnen zur Verfügung. Hier liegt auch die Zukunft der Biopol-Flasche: Seit einiger Zeit laufen wissenschaftliche Versuche, die das Ziel haben, die Verwertbarkeit von Biopol in diesen Anlagen nachzuweisen. Es ist geplant, bundesweit eine Entsorgung und Verwertung über die Komposttonne zu ermöglichen.

Beide Wella-Shampoos in der Biopol-Flasche haben zusätzlich den Grünen Punkt, das Verpackungsmaterial ist deklariert. Die Biopol-Flasche kann also auch im Dualen System gesammelt, sortiert und wiederverwertet werden. Für Biopol gibt es eine Verwertungsgarantie, um eine Entsorgung auch in einem anderen System neben der Kompostierung zu gewährleisten - denn nicht jeder hat die Möglichkeit, selbst zu kompostieren.

### **5.3. Biopol 1990: Ein Pilotprojekt - Biopol heute: Was ist neu?**

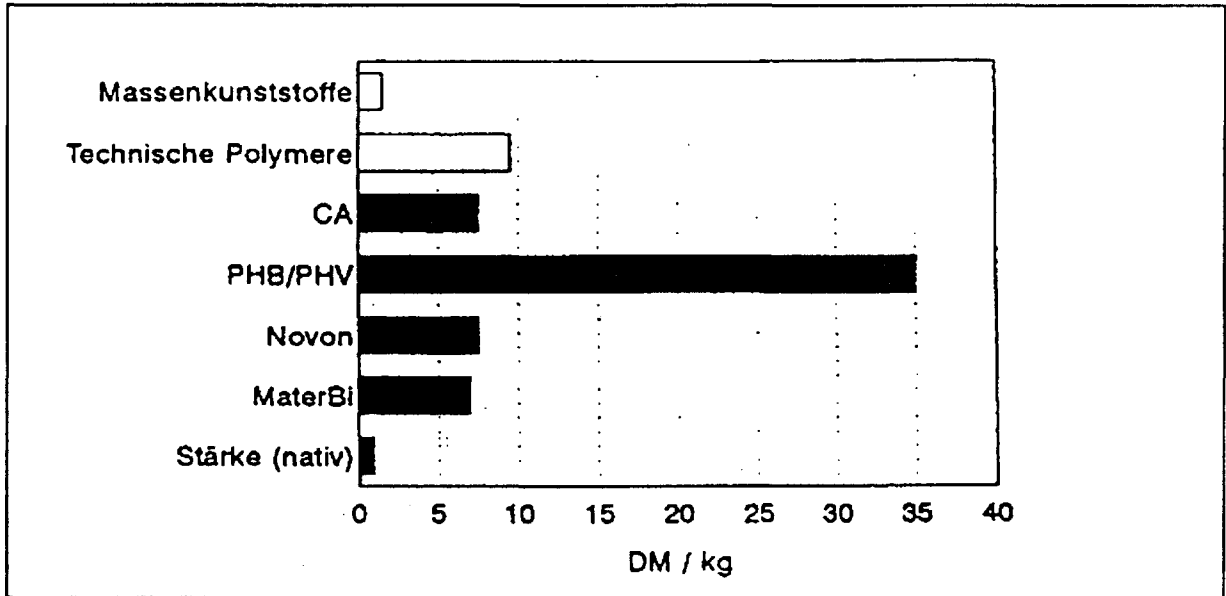
1990 brachte Wella in Zusammenarbeit mit dem Biopol-Hersteller ICI in einem Pilotprojekt die Biopol-Flasche bei Sanara und Linie N auf den Markt. Damals war die biologisch abbaubare Flasche eine absolute Weltneuheit. Ziel des Pilotprojektes 1990 war zum einen, mit einem völlig neuen Werkstoff einen möglichen Weg aus der Verpackungsflut in der Praxis aufzuzeigen. Zum anderen, das Interesse anderer Hersteller der verschiedenen Branchen zu wecken, damit das Material in Zukunft in größerem Umfang produziert werden würde und damit jederzeit problemlos verfügbar und kostengünstiger wäre.

Dieses Ziel wurde erreicht: Die Akzeptanz für das Projekt bei Verbrauchern, Handel und Friseuren war enorm. Das Interesse anderer Firmen führte zu weiteren Markteinführungen und zu Fertigstellung einer größeren Biopol-Produktionsanlage, mit der eine ausreichende Menge des Bio-Polymers hergestellt werden kann. Heute kann Biopol deswegen bei den beiden Wella-Shampoos als Dauer-Verpackung angeboten werden.

### **5.4. Nach weiterführenden Forschungsarbeit ist seit 1990 neu:**

- Das Biopol-Material wurde in seinen Eigenschaften verbessert, es ist jetzt flexibler, somit leichter zu verarbeiten und bruchfester...
- Durch die neuen Produktionsanlagen und die größere Erfahrung in der Verarbeitung konnte die Qualität weiter optimiert werden, sie unterliegt jetzt weniger Schwankungen...
- Die Sanara und Linie N Biopol-Flaschen sehen besser aus, weil die Grundfarbe des Materials heller ist und somit auch die eingefärbten Teile schönere Farben haben...
- Der Produktschutz wurde verbessert: Versuche zeigen, daß Inhaltverluste bei langer Lagerung minimiert wurden und die natürliche Parfümierung länger erhalten bleibt...
- Die Kosten konnten in geringem Umfang gesenkt werden. Vor der ersten Einführung dieser abbaubaren Flasche investierte Wella in Millionenhöhe in die Entwicklung. Als dann die Flaschen vor zweieinhalb Jahren auf den Markt kamen, wurden die Mehrkosten, die bei jeder einzelnen leeren Biopol-Flasche anfielen auch von Wella getragen und nicht an die Verbraucher weitergegeben. Heute werden die Mehrkosten für die innovative Verpackung dreigeteilt: Nach wie vor investiert Wella in dieses Projekt, Handel und Friseur betreiben sich an den Mehrkosten (niedrigere Spanne), für die Verbraucher sind die Shampoos in Biopol-Flaschen etwas teurer. Die unverbindliche Preisempfehlung für "Sanara Shampoo Extra-Mild-Pflege" in der 200 ml Biopol-Flasche liegt zum Beispiel bei 6,99 DM gegenüber 5,99 DM für die Sanara Shampoos in 200 ml PET-Flaschen (vgl. hierzu Abbildung 4)

**Abbildung 4:**  
**Kosten von Polymeren aus petrochemischen und nachwachsenden Rohstoffen**



Quelle: Buck, G.H. 1993: Chancen und Probleme bei der Markteinführung von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen. Tagungsband des 2. Symposiums von C.A.R.M.E.N., 28.-30.7.1993.

Unverändert ist natürlich nach wie vor die biologische Abbaubarkeit. Weitere wissenschaftliche Untersuchungen von einer unabhängigen Ingenieur-Gemeinschaft und der Gesamthochschule Kassel zur Kompostierung werden in Zusammenarbeit mit den Umweltministerien durchgeführt. Das Projekt wird vom Wirtschafts- und Umweltministerium Niedersachsen unterstützt.



## Anhang

Abdruck des folgenden Beitrags aus Pack-Aktuell mit freundlicher Genehmigung des Insider-Fachverlages, Gotthardstrasse 20, 6304 Zug

Herausgeber  
Guido Durisch

Verlag  
und  
Redaktion  
Gotthardstrasse 20  
Postfach 4418  
6304 Zug  
Telefon  
042 22 50 22  
Fax  
042 22 50 23



FACHMAGAZIN FÜR VERPACKUNGSTECHNIK UND -DESIGN

### «Biopol» drei Jahre nach dem Start

«Pack Aktuell» erkundigte sich nach dem Stand der Dinge und den Zukunftsperspektiven für den biologisch abbaubaren Kunststoff

Von Ragnvald Johansen

**A**uf der Kunststoffmesse 1986 in Düsseldorf stellte ICI den auf nachwachsenden Rohstoffen basierenden und biologisch abbaubaren Thermoplast namens «Biopol» vor (siehe Kasten). Vier Jahre später, genau im April 1990, konnte die erste Anwendung dieses neuen Thermoplasts bekanntgegeben werden: Die Haarkosmetikfirma Wella lancierte damals das Pflegeshampoo «Sanara» in einer «Biopol»-Flasche (Bild 1). Der Entscheid des Konzerns war einzig ökologisch begründet gewesen: Die 200-ml-Flasche baut sich innert 8 bis 24 Monaten in der Deponie vollständig ab – so die damalige Argumentation. Die Firma hoffte damals mit ihrem Vorgehen, auch andere Verwen-

*Dies ist die erste Flasche, die aus dem abbaubaren Thermoplast «Biopol» hergestellt worden ist. (Archivbild PA)*

zum Umstieg auf «Biopol» zu animieren, damit das Material dank grösserer Produktionsmengen preisgünstiger werde.

Jetzt, drei Jahre danach, wollte «Pack Aktuell» mehr über den Stand der Entwicklung bei «Biopol» in Erfahrung bringen. Vor allem in-

teressierte es uns, ob auf Rohmaterialebene Fortschritte erzielt worden sind, ob das «Sanara»-Beispiel Schule gemacht hat, ob die Rohstoffpreise gesunken sind, ob «Biopol» nur kompostierbar oder auch rezyklierbar ist, und ob Verpackungen aus «Biopol» in Deutschland den «Grünen Punkt» erhalten. Die nachfolgenden Ausführungen sind das Ergebnis unserer Nachforschungen.

#### Ein zweites Wella-Shampoo in «Biopol»-Flasche

Zum ersten sei festgehalten, dass Wella das «Sanara»-Shampoo nach wie vor in der «Biopol»-Flasche anbietet. Im vergangenen Herbst hat diese Firma zudem ein zweites Produkt in einer Flasche aus diesem Rohstoff lanciert. Es handelt sich um eine Serviceflasche für Coiffeursalons für ein Ringelblumenshampoo, also um ein im Umfang beschränktes Projekt.

In der Konzernzentrale werden vor allem zwei Gründe angeführt, weshalb



man für Grosserien noch keine «Biopol»-Flaschen verwendet. Der erste sind die hohen Materialkosten, der zweite die noch ungeklärte Situation in Zusammenhang mit der deutschen Verpackungsverordnung und dem «Grünen Punkt». Ein Sprecher der Firma erklärte dazu: «An sich wäre es angebracht, «Biopol» innerhalb des im Entstehen begriffenen Sammel-, Sortier- und Verwertungskonzeptes als separate Fraktion der Kompostierung zuzuführen. Dazu sind aber vorläufig die Voraussetzungen noch nicht gegeben. Gewissmassen als «modus vivendi» liegen aber sowohl eine Rücknahmegarantie der Verwertungsgesellschaft gebrauchter Kunststoffverpackungen VKG als auch der «Grüne Punkt» der Dualen System Deutschland GmbH vor. Dies aber wohl nur, weil



So sehen entsorgte Flaschen in der Deponie nach neun Wochen aus. Der Abbau ist schon weit fortgeschritten.

in der gegenwärtigen Situation eine Diskriminierung von «Biopol» als ungerechtfertigt empfunden worden wäre. Obschon heute die anfallenden Mengen gebrauchter «Biopol»-Flaschen noch relativ gering sind, sind wir der Meinung, dass ange-

sichts der auch beim Recycling konventioneller Kunststoffe noch anstehenden Probleme, zukunftsorientierte Projekte wie «Biopol» weiter verfolgt werden müssen.»

Dazu muss allerdings vermerkt werden, dass die Rücknahmegarantie des

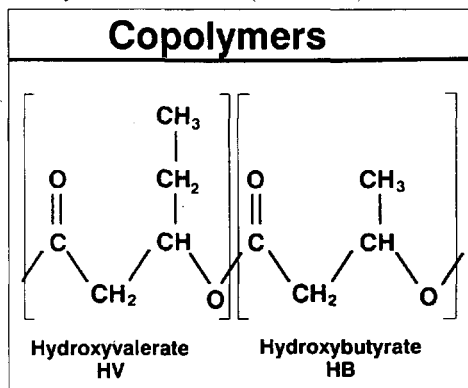
VKG sich ausschliesslich auf die «Sanara»-Flasche bezieht und nicht auf «Biopol»-Verpackungen allgemein, und diese am 1. Juli 1993 abläuft.

**«Sanara» ist nicht mehr allein**

Das «Sanara»-Shampoo von Wellá blieb nur knapp zwei Jahre das einzige in «Biopol»-Flaschen angebotene Produkt. Laut Angaben von Zeneca Ltd., London (vormals ICI Bio Products), zuständig für «Biopol», führte im Februar 1992 das japanische Unternehmen Ishizawa Kenkyujo «Biopol»-Flaschen für das Shampoo und den Conditioner «Earthic Alaga» ein (Bild 2). Drei weitere japanische Shampoohersteller haben inzwischen «Biopol»-Flaschen eingeführt, und im September des letzten Jahres erschien auch ein Einwegrasierer in einer «Biopol»-Verpak-

**«Biopol» – was ist das?**

«Biopol» ist der Markenname der ICI für eine Reihe biologisch vollständig abbaubarer Thermoplast-Polyester, die aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden. Sie bestehen aus Hydroxybutyrat (HB)-Einheiten mit 0 bis 30% Hydroxyvalerat (HV)-Einheiten, die zufallsbedingt über die Polymerkette verteilt sind (siehe Skizze).



Diese Polymere besitzen viele Eigenschaften traditioneller Kunststoffe und lassen sich auf konventionellen Ausrichtungen mit heutiger Technologie zu Formteilen, Behältern, Beschichtungen, Laminaten, Folien und Fasern verarbeiten. Wie konventionelle Kunststoffe sind Produkte aus «Biopol» im Gebrauch stabil, haltbar und feuchtigkeitsbeständig.

Das Material unterscheidet sich insofern von traditionellen Kunststoffen, als dieses Produkt von einem natürlichen Rohstoff abgeleitet ist. Das Homopolymer PHB kommt weit verbreitet in der Natur vor. Es wird dort von Mikroorganismen als Kohlenstoff- und Energie-«Speicher» hergestellt. Für die Umwelt ist «Biopol» ein «Nährstoff», was dem gesamten Polymersortiment seine echte biologische Abbaubarkeit verleiht.

Der Herstellungsprozess für «Biopol» beginnt mit Sonnenlicht. Durch Photosynthese wird in Zuckerrüben und Getreide Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) aus der Atmosphäre zu Kohlenhydraten umgewandelt. Diese Kohlenhydrate sind der Rohstoff für die Herstellung von «Biopol». Es entsteht durch die Fermentation von Kohlenhydraten durch den Mikroorganismus *Alcalignes euyrophus*. Obwohl derzeit Glukose als Rohstoff eingesetzt wird, kommen auch andere Rohstoffe in Frage, so z. B. eine Reihe von Kohlenhydraten verschiedener Kulturen. Darüberhinaus können auch landwirtschaftliche Nebenprodukte wie Molasse oder Raffinat aus der Verarbeitung von Zuckerrüben und Laktose von Molke verwendet werden.

Der derzeitige Fermentationsprozess besteht aus zwei Stufen. In der ersten wird «*Alcalignes cutrophus*» in ein ausgewogenes Glukose-Salz-Medium inokuliert, wo der Mikroorganismus wächst und sich vermehrt.

Obwohl «Biopol» im Gebrauch Stabilität aufweist, baut es sich bei der Entsorgung in unterschiedlichen mikrobiell aktiven Umgebungen wie Böden, Gewässern und Abwassertsystemen biologisch ab. Es eignet sich besonders für die Kompostierung mit der organischen Fraktion von Haushaltsabfällen. Des weiteren lässt es sich wiederverwenden und recyklieren.

kung auf dem japanischen Markt.

Weitere positive Meldungen stammen aus den USA und aus Grossbritannien: Im März 1992 führte das amerikanische Unternehmen Brocato International für das Shampoo «Evaesce» eine «Biopol»-Flasche ein, und in England stellte die Firma HPL Containers Ltd., Liverpool, welche die exklusiven Nutzungsrechte dieses Materials für den englischen Markt erworben hat, anlässlich der «Pakex 92» einen Standardbehälter für Kosmetika vor. Bei den auf Bild 3 gezeigten Verpackungen handelt es sich um Prototypen für ein Standardsortiment. Auf diesem Bild ist auch das kleinste bislang aus «Biopol» produzierte Behältnis zu sehen.

Gemäss David Hemmings, Verkaufsdirektor von HPL, ist das Interesse britischer Unternehmen an «Bio-



Seit Februar 1992 ist in Japan diese Flasche für Haarshampoo auf dem Markt.

pol» sehr gross, fügt aber gleich hinzu: «Der Preis gefällt ihnen allerdings weniger.» Er rechnet aber trotzdem damit, dass noch im Laufe der kommenden Wochen aus Grossbritannien die ersten kommerziellen Verwertungen gemeldet werden können.

Die Entwicklung geht aber auch in unseren Breitengraden weiter: In Deutschland steht die Lancierung eines biologisch abbaubaren Motorenöls durch Castrol bevor. Bild 4 zeigt die dafür hergestellte «Biopol»-Flasche. Hersteller dieser Flasche ist die Firma Grimm & Triepel Kunststoffwerk GmbH in Witzenhausen/Unterrieden.

**Erste «Biopol»-TUBE**

Die Firma Grimm & Triepel wird mit dem Pharmaunternehmen Siemens & Co. GmbH & Co. KG in Mainz ein zweites interessantes Projekt realisieren: Im kommenden April - spätestens im Mai - wird die erste Tube aus «Biopol» hergestellt sein. Eingesetzt wird die 50-ml-Tube für die «Wachter's»

eines Papier/«Biopol»-Verbundes, der im Etikettenbereich Anwendung finden soll. Im Herbst soll dieser in Finnland (Walki) einsatzbereit sein.

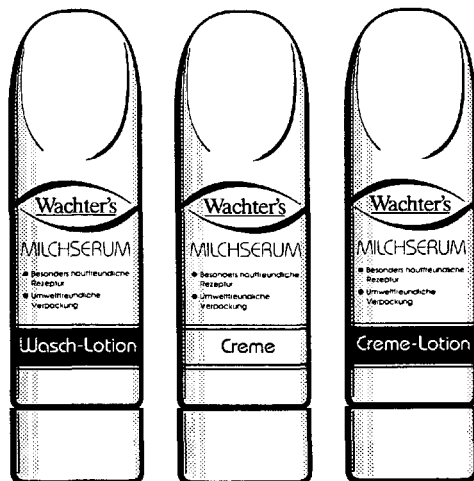
**Günstiger - aber immer noch teuer**

Wäre der Materialpreis fürs «Biopol» nicht so hoch, wäre seine Akzeptanz mit Bestimmtheit höher. Dabei darf vermerkt werden, dass er seit 1990 schon beträchtlich gesenkt werden konnte. Lag der Preis für eine «Biopol»-Flasche 1990 rund achtmal so hoch wie derjenige einer vergleichbaren Flasche aus einem anderen Kunststoff, so liegt er jetzt «nur» noch beim Fünffachen. Beim «Sanara»-Shampoo von Wella werden die Mehrkosten von allen mitgetragen, d.h. von Wella selbst, vom Handel, von den Salons und vom Konsumenten. Der Verkaufspreis für «Sanara»-Shampoo in der 200-ml-«Biopol»-Flasche liegt etwa 1 DM höher als für die Shampoos in 200-ml-PET-Flaschen.

Milchserum-Spezialitäten. Der Redaktion liegt erst eine Zeichnung dieser Tube vor. In der Endphase befindet sich auch die Entwicklung



In den kommenden Wochen wird Castrol in Deutschland ein biologisch abbaubares Motorenöl in dieser abbaubaren «Biopol»-Flasche lancieren.



Schon bald wird diese Tube aus «Biopol» Realität sein.

**Bessere Eigenschaften**

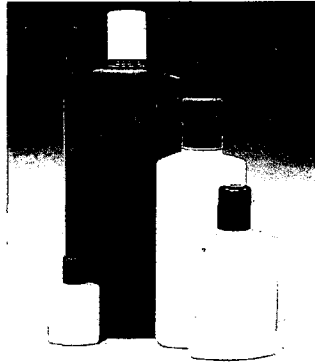
Laut Angaben von Wella sind seit der Einführung der ersten «Biopol»-Flaschen die Materialqualitäten wesentlich verbessert worden. Das Material sei heute leichter zu verarbeiten und die daraus produzierten Flaschen seien jetzt bruchsicherer und in ihrer Grundfarbe heller. Auch seien die Barrierewerte besser als zu Beginn, was sich positiv auf die Erhaltung der natürlichen Parfümierung auswirke.

**Jahreskapazität wird erhöht**

ICI hat erst im vergangenen Sommer in England eine neue Anlage zur Herstellung von «Biopol» in Betrieb genommen, und schon ist die

*In England wird ein Standardsortiment aus «Biopol» geplant. Das Bild zeigt die ersten Prototypen.*

Verdoppelung ihrer Jahreskapazität von 300 Tonnen geplant. Bis Mitte der 90er Jahre will die Zeneca Bio



Products Ltd. die Jahreskapazität auf 5000 Tonnen steigern.

Es stehen «Biopol»-Poly-

mere mit unterschiedlichen Eigenschaften zur Verfügung. Der Rohstoffhersteller hat die Reihe der potentiellen Anwendungen untersucht und sich dafür entschieden, die Entwicklung in jenen Spezialbereichen voranzutreiben, in denen die Eigenschaften von «Biopol» besonders gut zum Tragen kommen. Dazu gehören neben Verpackungen auch die Bereiche Medizin, Hygiene, Haushalt und Gartenbau.



## **6. Nachwachsende Rohstoffe im Einsatz als Schmieröl**

Peter Deutschmann<sup>1</sup>

### **6.1. Einleitung**

Umweltbewußtsein, Schonung der Ressourcen sowie das Ziel der Landwirtschaft, verfügbare Kapazitäten für die Gewinnung technischer Rohstoffe - nachwachsender Rohstoffe - einzusetzen, hat zu einer neuen Generation von Schmierstoffen und Funktionsflüssigkeiten geführt. Insbesondere war es aber das gestiegene Umweltschutzbewußtsein, das die Entwicklung besonders schonender biologisch schnell abbaubarer Schmierstoffe und Fette forciert hat.

Schmierstoffe sind aus der Sicht des Umweltschutzes keine besonders gefährliche Stoffgruppe, sie sind aber durch die zahllosen Anwendungsgebiete "allgegenwärtig". Mineralöl, die mengenmäßig wichtigste Substanz, ist wegen der schlechten biologischen Abbaubarkeit in der Umwelt unerwünscht, ähnliches gilt für einige chemische Additive. Dabei ist die besondere Aufmerksamkeit dem Schutz des Bodens und der Gewässer gewidmet.

### **6.2. Zeitliche Entwicklung der Nutzung natürlicher Öle und Fette für die Herstellung von Schmierstoffen**

Es war durchaus nicht immer so, daß Mineralölprodukte in der langen Geschichte der Schmierungstechnik oder in der Tribologie, wie man die moderne wissenschaftliche Disziplin für Reibung, Verschleiß und Schmierung nennt, als Grundkomponenten für Schmierstoffe eingesetzt wurden. Bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden im wesentlichen natürliche Öle und Fette aus Ölpflanzen und auch tierischen Ursprungs verwendet. Erst mit der professionellen Förderung und Raffination von Mineralöl wurde dieses als Grundöl für Schmierstoffe eingeführt. Mineralölraffinate zeichneten sich gegenüber den natürlichen Fettölen durch bessere thermisch-oxidative Beständigkeit aus. Mit der Entwicklung des modernen Maschinenbaus konnte man diesen "inerten" Mineralölen, die von Hause aus ohne Zusätze gar nicht so gut schmieren, mit chemischen Zusätzen (Additiven) die gewünschten Eigenschaften verleihen. Die Entwicklung der Additivtechnologie hat seit Beginn der 50er Jahre eine bedeutende Beschleunigung erfahren und hat heute einen hohen Stand erreicht. Es schien, daß das Mineralöl nur noch "Lösungsmittel" für die chemischen Additive war und daß man die Nachteile des Mineralöls gegenüber den natürlichen Fettölen mehr als ausgleichen konnte.

---

<sup>1</sup> Der vorliegende Text entspricht nicht dem mündlichen Referat von Herrn Deutschmann, sondern basiert auf einer offiziellen Dokumentation der Fuchs Mineralölwerke.

Dennoch haben es die Schmierstoffentwickler nie verlernt, mit den natürlichen Fettstoffen und deren Derivaten umzugehen. Denn einige wurden immer noch als raffinierte Öle und chemisch veränderte Stoffe insbesondere wegen der guten Schmiereigenschaften als Additive verwendet. Vor allem im Arbeitsgebiet der Metallbearbeitungsöle wurde nie auf natürliche Rohstoffe verzichtet. Da gerade in den FUCHS-Laboratorien Schmierstoffe für die Metallzerspanung, das Drahtziehen oder die Blechumformung einen besonderen Schwerpunkt bildeten, war der Umgang mit "Rüböl" (Rapsöl), oxidiertem Rüböl, Rübölester und anderen natürlichen Additiven geläufig.

Schon Ende der 70er Jahre hat FUCHS begonnen, besonders umwelt- und arbeitsplatzschonende Schmierstoffe auf dem Gebiet der Metallbearbeitungsöle zu entwickeln. In großen, vom Bundesministerium für Forschung und Technologie geförderten Projekten wurden diese Arbeiten in den 80er Jahren erfolgreich fortgeführt.

Anfang der 70er Jahre, in der Zeit der Öl- und Energiekrise, hat man sich weltweit mit "alternativen", "nachwachsenden" Rohstoffen beschäftigt.

Hier stand die Ressourcenschonung im Vordergrund. In der Folge der günstigen Ölpreise wurden mancherorts diese Arbeiten wieder zur Seite gelegt. Die natürlichen Fettöle wurden dann anfangs der 80er Jahre als Grundöle in die Schmierstoffentwicklung verstärkt aufgenommen, und dies fügte sich bei uns gut in die laufenden Entwicklungsschwerpunkte für die besonders umwelt- und arbeitsplatzfreundlichen Produkte ein. Wichtig ist auch hier unsere starke, traditionelle Verbundenheit zur Landwirtschaft, die uns geholfen hat, die heimischen Ölpflanzen - insbesondere Raps - als Rohstoffträger in unsere Entwicklung einzubinden. Bis heute entstanden über 30 Schmieröle und Fette, die ganz bevorzugt auf Rapsöl als Grundölkomponente basieren und die schon erfolgreich im Markt erprobt und eingeführt wurden - Produkte, die biologisch schnell abbaubar sind und die den Anforderungen anspruchsvoller ökotoxikologischer Untersuchungen entsprechen.

### **6.3. Eigenschaften von Rapsöl als Schmierstoff**

Warum hat das Rapsöl nun den bevorzugten Eingang in unsere Produktentwicklung gefunden? Dies war nicht nur die besondere Verfügbarkeit als Produkt aus heimischen Pflanzen. Insbesondere die technischen Eigenschaften des heutigen Öls aus 0- oder 00-Raps geben den Vorzug gegenüber anderen, mengenmäßig bedeutenden Pflanzenölen wie Palmöl oder Sojaöl. Für die technischen Eigenschaften ist im wesentlichen das Fettsäuremuster der Öle ausschlaggebend. Fettöle sind Triglyceride aus Glycerin und einer Vielzahl von Fettsäuren. Sind zuviel sogenannte gesättigte Fettsäuren vorhanden (z.B. Palmitinsäure), sind die Kältefließigenschaften der Öle schlecht; sind zuviel mehrfach ungesättigte Fettsäuren vorhanden (Linol- und Linolensäure), dann haben die Öle ein ungünstiges Oxidationsverhalten und neigen bei Erhitzung zur Verharzung. Mit seinem hohen Gehalt an einfach ungesättigter Fettsäure (Ölsäure) stellt das Rapsöl einen guten Kompromiß

zwischen Oxidationsstabilität und Kälteverhalten dar. Das war nicht immer so, denn das Rapsöl aus dem Erucaraps der 70er Jahre war als Schmierölkomponente wegen des ungünstigen Kälteverhaltens, durch die Erucasäure verursacht, nicht verwendbar. Es war ein großer Erfolg der Pflanzenzüchter durch Wegzüchten der Erucasäure, 0- und danach 00-Raps zu einer hohen Lebensmittel- und Futtermittelqualität zu verhelfen. Die Schmierstoffindustrie hat von dieser "Verwandlung" profitiert.

Dieses "neue Rapsöl" kann natürlich nicht unbehandelt als Schmieröl eingesetzt werden. Ausgangsbasis für die Schmierstoffherstellung ist ein hoch ausraffiniertes Öl, das nach dem Pressen in der Ölmühle noch entwässert, entschleimt und neutralisiert werden muß. Aber auch ohne geeignete Additive ist diese hochwertige Öl noch nicht als Schmierstoff oder Hydrauliköl brauchbar.

Insbesondere die Oxidationsbeständigkeit in der Wärme und die Kälteeigenschaften müssen durch geeignete Additive verbessert werden. Daß diese Additive auch den hohen ökologischen Anforderungen entsprechen müssen, versteht sich von selbst. Das bedeutete, daß in der Produktentwicklung neue Rohstoffe gefunden werden mußten, die sowohl den technischen Anforderungen im Hinblick auf die neuen Grundöle entsprechen als sich auch durch besondere Umweltverträglichkeit auszeichnen.

Neben den nachteiligen Eigenschaften, die natürliche Fettöle gegenüber Mineralölen haben und die mit Additiven "korrigiert" werden müssen, sind aber auch die Vorteile zu nennen. Auf die besonders guten Schmiereigenschaften der natürlichen Fettöle wurde schon hingewiesen. Aber noch andere Vorteile sind erwähnenswert. Mineralöle werden bei Temperaturerhöhung zu dünnflüssig (schlechtes Viskositäts-Temperaturverhalten, VT-Verhalten). Dies gleicht man meistens mit chemischen Additiven, sogenannten Viskositätsindexverbesserern aus.

Bei den natürlichen Fettölen kann man auf diese Zusätze verzichten, denn das VT-Verhalten von Rapsöl ist von Hause aus so gut wie das für diese Eigenschaft hochadditivierte Mineralöl. Ein weiterer Vorteil gegenüber Mineralölraffinaten gewinnt an immer größerer Bedeutung: Der Verdampfungsverlust ist bei Mineralölen nach einem genormten Prüfverfahren fünfmal höher als bei Rapsöl. Dies hat neben der technischen Bedeutung eine besondere Umweltrelevanz. Schmieröle auf Pflanzenölbasis führen durch diese Eigenschaft zu einer geringeren Luftverunreinigung.

Nicht so leicht meßbar und erkennbar sind hygienische und dermatologische Vorteile der neuen Schmierölgeneration. Es ist aber leicht nachzuvollziehen, daß Schmierstoffe und Hydrauliköle, die zu mehr als 95,0 % aus einer Basisflüssigkeit mit Lebensmittelqualität bestehen und deren Zusätze unter ökologischen Aspekten ausgesucht wurden, hier Vorteile bieten.

## 6.4. Umweltaspekte des Einsatzes von Rapsöl als Schmierstoff

Die Entwicklung besonders umweltverträglicher Produkte muß berücksichtigen, daß die Rohstoffe, die für die Entwicklung ausgesucht werden, schon bei ihrer Produktion den ökologischen Anforderungen entsprechen und daß die gebrauchten Fertigprodukte umweltgerecht entsorgt oder verwertet werden können. Man spricht von einer ausgewogenen Gesamtökobilanz. Für die landwirtschaftliche Produktion von Rapsöl bedeutet dies, daß die Düngung (insbesondere der Stickstoffbedarf) und die Pflanzenschutzmaßnahmen nicht zur großen Wasserbelastung und zu anderen Schäden führen dürfen. Für einen regional ausgewogenen Rapsölanbau in einer optimierten Fruchtfolge ist dies heute nachgewiesen. So bleibt Rapsöl ein ökologisch akzeptabler Rohstoff für eine hochwertige technische Verwertung im Schmierstoffbereich. Für die Entsorgung oder besser gesagt Verwertung gebrauchter Schmieröle auf pflanzlicher Basis gibt es vernünftige technische Lösungen. Leider bestehen noch gewisse gesetzliche Hürden, herrührend aus einer über Jahre auf Mineralöl ausgerichteten Altöl- und Abfallgesetzgebung und der hiermit verbundenen infrastrukturellen Sammelsituation. Wir sind sicher, daß das starke Umweltschutzbewußtsein diese "Hindernisse" für eine noch schnellere Verbreitung der neuen Produkte beseitigen wird.

Die besondere Umweltverträglichkeit der neuen Schmierölgeneration wird mit objektiven Meßverfahren nachgewiesen. Richtungsweisend waren Arbeiten, die sich in den Richtlinien für das erste Umweltzeichen für Schmierstoffe (Blauer Engel) niedergeschlagen haben. 1988 wurde diese quasibehördliche Auszeichnung erstmals für biologisch schnell abbaubare Sägekettenöle vergeben. Auf der Basis dieses ersten Umweltzeichens sind Untersuchungen für die Vergabe weiterer Umweltzeichen für Schmierstoffgruppen und verwandte Produkte in Arbeit. Hier werden Anforderungen festgelegt, wie sie in deutschen und anderen Umweltgesetzen noch nicht zu finden sind. Neben dem Schutz der aquatischen Bereiche (Gewässer) werden auch der Schutz von Böden und Pflanzen in Testen definiert. So werden neben ökotoxikologischen Tests mit Wasserorganismen auch Wachstumstests an höheren Pflanzen gefordert. Nicht außer acht bleiben auch Kriterien der Gefahrstoffverordnung mit dem Blick auf gefährliche Chemikalien und einer Orientierung zum Arbeitsschutz. Das erste Umweltzeichen für Schmierstoffe berücksichtigt heute schon im wesentlichen die Forderungen, wie sie in einer EG-Richtlinie (Juni 1991) für eine zukünftige europäische Gesetzgebung zur Kennzeichnung des Begriffs "umweltgefährlich" angedacht sind. Mit Rapsöl als Basisflüssigkeit und umweltgerechten Additiven lassen sich diese modernen Forderungen des ersten Umweltzeichens erfüllen. Die Forderung nach schneller biologischer Abbaubarkeit in einem genormten simulierten Bodentest erfüllt Rapsöl glänzend (weit über 90 % in 21 Tagen).

FUCHS hat schon sehr früh mit einem Entwicklungsschwerpunkt für biologisch schnell abbaubare Schmierstoffe Zeichen gesetzt. 1985 wurde das erste Sägekettenöl in den Markt eingeführt. Es folgten Korrosionsschutzöle, andere Schmierstoffe für die Verlustschmierung in der Forst- und Landwirtschaft, das erste biologisch schnell abbaubare Schmierfett, Schienen- und



Weichenschmierstoffe, Öle für die Betonentschalung, Hydrauliköle, Turbinen- und Kompressorenöle, Metallbearbeitungsöle für die Zerspanung mit extrem niedrigen Verdampfungs- und Vernebelungseigenschaften und guter biologischer Abbaubarkeit. Weitere erfolgversprechende Entwicklungen für bedeutende Schmieranwendungen sind in Arbeit.

## **6.5. Einsatzmöglichkeiten und Wirtschaftlichkeit**

Jeder weiß, daß hochwertige Pflanzenöle wie Rapsöl teurer sind als traditionelle Mineralölprodukte. Wichtig ist aber auch, daß die neuen, besonders umweltfreundlichen Zusätze teurer sind als die seit vielen Jahren in großen Mengen hergestellten Mineralöladditive. Umweltschutz verlangt hier seinen Tribut. Dennoch sollte es dem Schmierstoffanwender nicht zu schwer fallen, für die neuen, besonders umweltschonenden Schmierstoffe etwas mehr auszugeben. Er erspart sich im Falle eines Ölunfalls Ärger und Kosten, denn schon ein Liter verschüttetes Mineralöl kann einen Kubikmeter Erdreich so verschmutzen, daß er für 1.500 DM gereinigt oder entsorgt werden muß. Bei umweltschonenderen Produkten fallen dagegen gar keine oder nur geringe Kosten an. Zukünftig werden auch die Kosten für die Öllagerung ins Gewicht fallen. Die neuen Schmierstoffe werden nach dem Wasserhaushaltsgesetz als nicht wassergefährdend (Wassergefährdungsklasse 0) oder nur schwach wassergefährdend (Wassergefährdungsklasse 1) eingestuft. Dies erfordert gegenüber Mineralölprodukten (stark oder sehr stark wassergefährdend, Wassergefährdungsklassen 2 oder 3) deutlich geringeren Aufwand bei den Einrichtungen zum Lagern und Abfüllen. Daß viele Schmierstoffanwender dies erkannt haben, beweist unser Erfolg im Markt. Nicht zu vergessen ist aber der freiwillige, kostenmäßig noch nicht berechenbare Beitrag zum Umweltschutz: Die Schadensminderung durch die vielen kleinen unbemerkten Ölleckagen.

Rapsöl sehen wir als günstigen Kompromiß unter den Pflanzenölen für zahlreiche Anwendungen in unserem Schmierstoffbereich, und wir sind überzeugt, daß die bislang erschlossenen Anwendungsgebiete noch deutlich erweitert werden können. Aber es zeigen sich auch die Grenzen der Anwendung, die insbesondere in der thermisch-oxidativen Stabilität begründet sind. Seitens der Pflanzenzüchter ist eine graduelle Verbesserung durch das Wegzüchten der mehrfach ungesättigten Fettsäuren im Fettsäuremuster denkbar, was in der Regel zu Erhöhung des Ölsäuregehaltes führt. Bei einer Neuzüchtung der Sonnenblume ist dies schon zu einem guten Stück gelungen. Hier hat man den Ölsäuregehalt auf mehr als 80,0 % gezüchtet, das Öl aus dieser neuen Sonnenblume ist aber sehr teuer und nicht ausreichend verfügbar.

Eine deutliche Verbesserung erhält man, wenn man die in natürlichen Fettölen gebundenen Fettsäuren aus den Triglyceriden abspaltet und mit Alkoholen zu sogenannten Estern chemisch verändert. Die Herstellung solcher synthetischen Ester bietet eine große Vielfalt von Rohstoffen, die als Grundöle in Schmierstoffen eingesetzt werden können und die bei geeigneter chemischer

Struktur auch bei sehr hoher Temperatur stabil sind. Für besonders anspruchsvolle Anwendungsgebiete werden synthetische Ester schon seit mehreren Jahrzehnten verwendet.

Unter dem neuen Aspekt der schnellen biologischen Abbaubarkeit konstruiert man Ester, die aus einem kleinen petrochemischen Kern bestehen, an den man die oleochemisch gewonnenen langkettigen Fettsäuren aus den natürlichen Ölen anbindet. Die sogenannten Ester haben noch eine relativ hohe Ähnlichkeit zu natürlichen Ölen, besitzen bis zu mehr als 80,0 % natürlichen Fettölanteil und sind teilweise genauso gut abbaubar wie die natürlichen Ausgangsöle. Die "Hochzeit" zwischen Petrochemie und Oleochemie erschließt durch die sogenannten Fettsäureester allein oder in Verbindung mit den natürlichen Ölen als Grundöle in Schmierstoffen und Funktionsflüssigkeiten weitere anspruchsvolle Anwendungsgebiete. Dabei darf aber nie vergessen werden, daß die chemische Manipulation am natürlichen Öl mit erheblichen Kosten verbunden ist. So sind Estergrundöle immer teurer als die natürlichen Öle. Es stellt sich dabei stets die Frage, ob die technisch besseren Eigenschaften für den jeweiligen Anwendungszweck wirklich voll genutzt werden können.

## 6.6. Ausblick

Schnell biologisch abbaubare Schmierstoffe auf Basis von Pflanzenölen und deren Derivaten haben gute Zukunftsaussichten, da in den nächsten Jahren mit einem anhaltenden, hohen Umweltbewußtsein zu rechnen ist und so die Akzeptanz besonders umweltverträglicher Produkte bestehen bleiben oder sogar wachsen wird. Die Diskussion um die Nutzung landwirtschaftlicher Flächen für technische Rohstoffe im Lichte des EG-Lebensmittelüberschusses wird den Trend zu umweltverträglichen Produkten unterstützen. Ohne das Erschließen neuer Anwendungsgebiete im Schmierstoffbereich könnten in zehn Jahren 10 bis 15 % der Gesamtschmierstoffmenge in Deutschland auf der Basis von Pflanzenölen hergestellt werden. Für die Landwirtschaft ist dabei interessant, daß diese 10 bis 15 % schon 150.000 ha Anbaufläche für Raps bedeuten können. Bei neuen Anwendungsgebieten, z.B. der Motorenschmierung, könnten es noch deutlich mehr sein.

FUCHS hat sich auf diesem Arbeitsgebiet eine führende Position geschaffen, die weiter ausgebaut wird. Die Ergebnisse werden in den nächsten Jahren einen wichtigen Beitrag zum Unternehmensergebnis liefern.