



ÖSTERREICHISCHE  
AKADEMIE DER  
WISSENSCHAFTEN

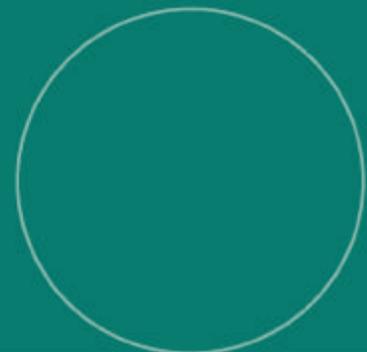
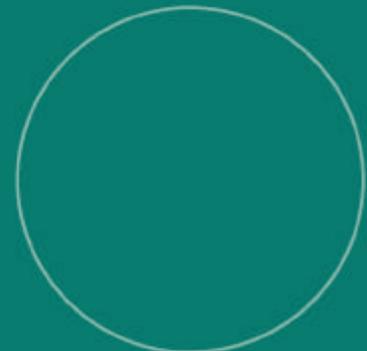
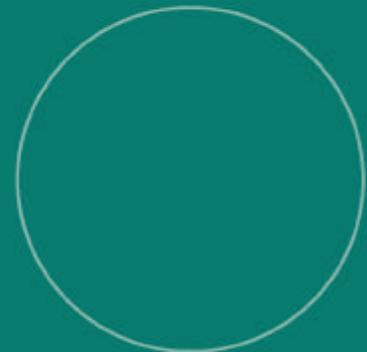
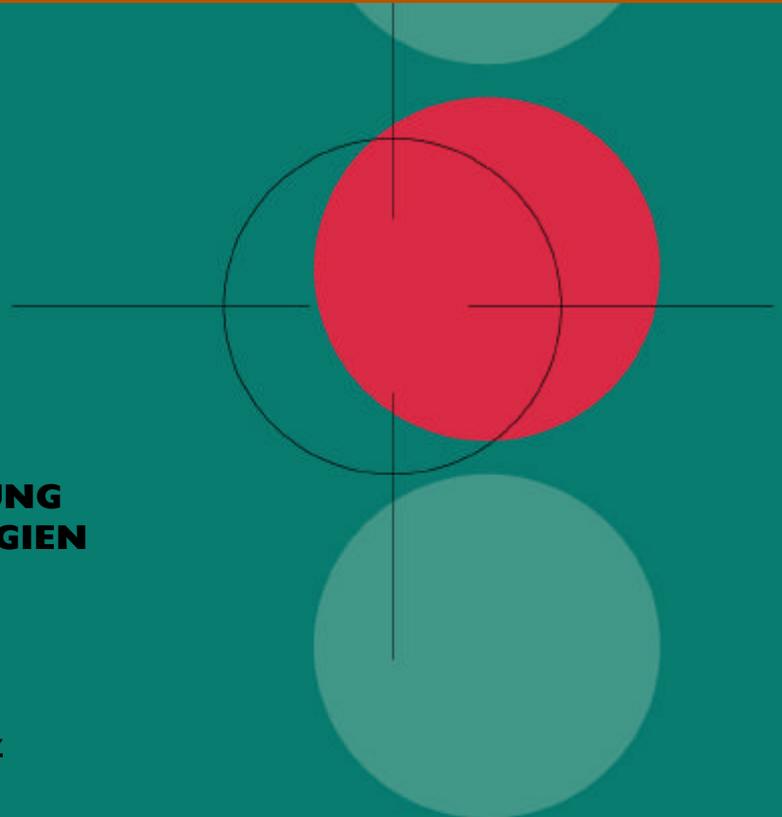


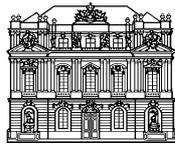
INSTITUT FÜR  
TECHNIKFOLGEN-  
ABSCHÄTZUNG

**ANFORDERUNGEN AN  
METHODEN ZUR BEWERTUNG  
INNOVATIVER TECHNOLOGIEN  
AM BEISPIEL BIOLOGISCH  
ABBAUBARER POLYMERE**

**SCHWERPUNKT KOMPLEXE  
VERNETZUNGEN UND  
GESELLSCHAFTLICHE AMBIVALENZ**

**ENDBERICHT**





**ANFORDERUNGEN AN  
METHODEN ZUR BEWERTUNG  
INNOVATIVER TECHNOLOGIEN  
AM BEISPIEL BIOLOGISCH  
ABBAUBARER POLYMERE**

**SCHWERPUNKT KOMPLEXE VERNETZUNGEN  
UND GESELLSCHAFTLICHE AMBIVALENZ**

**ENDBERICHT**

INSTITUT FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG  
DER ÖSTERREICHISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

Mahshid Sotoudeh  
Susanne Schidler

GEFÖRDERT AUS MITTELN DES DES BUNDESMINISTERIUMS FÜR LAND- UND  
FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT

WIEN, AUGUST 2001

# Inhalt

Kurzfassung .....	I
Summary .....	III
1 Einleitung .....	1
2 Hintergrund .....	3
3 Methodik .....	5
4 Literaturrecherche .....	7
4.1 Beweggründe und Ziele für die Entwicklung biologisch abbaubarer Polymere .....	7
4.2 Wichtige Zusammenhänge .....	8
5 Experteninterviews .....	11
6 Anforderungen an eine Bewertungsmethode .....	17
6.1 Probleme und Anforderungen .....	17
6.2 Lösungsansatz .....	18
6.3 Vorschlag für eine Vorgangsweise .....	20
7 Erkenntnisse .....	23
8 Literatur .....	27
Anhang I: .....	27
Technologiebeschreibung und Identifizierung von Hemmnissen und möglichen Folgen (Beispiel „biologisch abbaubare Polymere“) .....	31
Literaturrecherche .....	31
Statistik .....	32
Einige Begriffserklärungen .....	32
ZELFO .....	33
PLA (Polylactic Acid) .....	35
PHA (Poly Hydroxyalkonate) (Hocking et al., 1998) .....	38
Thesen über Hemmnisse und Auswirkungen .....	42
Experten-Interviews .....	49
I. Beweggründe .....	49
II. Bewertung der Thesen .....	50
III. Kommentare .....	53
Eine Hilfsmethode für die Bewertung .....	54
Kurze Beschreibung relevanter Teile der Methode .....	54
Anhang II: .....	57
Liste der untersuchten Literatur und Referenzen für biologisch abbaubare Polymere .....	57

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4.2-1: Ressourcen für biologisch abbaubare Polymere, Beispiele für Zwischenprodukte und Produkte .....	8
Abbildung 4.2-2: Vernetzung von Technologien im Lebenszyklus von Produkten .....	9

## Anhang

Abbildung A1-1: Motivationen für Entwicklung und Einsatz biologisch abbaubare Polymere .....	49
--	----

## Tabellenverzeichnis – Anhang

Tabelle A1-1: Statistik der ausgewählten und bearbeiteten Literatur .....	32
Tabelle A1-2: Thesen über Hemmnisse, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Verringerung des Abfallvolumens (n = 2) .....	42
Tabelle A1-3: Thesen über Auswirkungen, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Verringerung des Abfallvolumens (n = 2) .....	43
Tabelle A1-4: Thesen über Hemmnisse, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Suche nach neuen Märkten (n = 2) .....	43
Tabelle A1-5: Thesen über Auswirkungen, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Suche nach neuen Märkten (n = 2) .....	44
Tabelle A1-6: Thesen über Auswirkungen, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Suche nach neuen Märkten für landwirtschaftliche Produkte (n = 2) .....	44
Tabelle A1-7: Thesen über Hemmnisse, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Ressourcenschonung (n = 4) .....	44
Tabelle A1-8: Thesen über Auswirkungen, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Ressourcenschonung (n = 5) .....	45
Tabelle A1-9: Thesen über Hemmnisse, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Ressourcenschonung – Substitution fossiler Rohstoffe (n = 4) .....	45
Tabelle A1-10: Thesen über Auswirkungen, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Ressourcenschonung – Substitution fossiler Rohstoffe (n = 3) .....	45
Tabelle A1-11: Thesen über Hemmnisse, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Ressourcenschonung – Nebenprodukte aus Biomasseraffinerie zu Energieversorgung (n = 5) .....	46
Tabelle A1-12: Thesen über Auswirkungen, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Ressourcenschonung – Nebenprodukte aus Biomasseraffinerie zu Energieversorgung (n = 3) .....	46
Tabelle A1-13: Thesen über Hemmnisse, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Substitution schädlicher Stoffe für die Menschen und ihren natürlichen Lebensraum (n = 2) .....	46
Tabelle A1-14: Thesen über Auswirkungen, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Substitution schädlicher Stoffe für die Menschen und ihren natürlichen Lebensraum (n = 2) .....	47
Tabelle A1-15: Thesen über Hemmnisse, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Spezielle der Produkte, Innovationen nach Nachfrage (n = 2) .....	47
Tabelle A1-16: Thesen über Auswirkungen, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Spezielle der Produkte, Innovationen nach Nachfrage (n = 2) .....	47
Tabelle A1-17: Thesen über Hemmnisse, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Kreislaufschließung (n = 3) .....	48
Tabelle A1-18: Thesen über Auswirkungen, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Kreislaufschließung (n = 3) .....	48
Tabelle A1-19: Verschiedene Motivationskategorien aus der Literatur für die Entwicklung biologisch abbaubarer Polymere .....	50
Tabelle A1-20: Hemmnisse, die am häufigsten als „wichtig“ oder „sehr wichtig“ bewertet wurden .....	51
Tabelle A1-21: Auswirkungen, die am häufigsten als „wichtig“ oder „sehr wichtig“ bewertet wurden .....	52
Tabelle A1-22: Ein Beispiel für die Strukturierte Erhebung der Variablen .....	54

# Kurzfassung

In dieser Arbeit wurden anhand des Beispiels biologisch abbaubarer Polymere Kriterien für die Bewertung innovativer und komplexer Technologien mit gesellschaftlicher Ambivalenz entwickelt.

Biologisch abbaubare Polymere stellen ein gutes Beispiel zur Analyse der möglichen Probleme einer Bewertung dar. Sie repräsentieren innovative Technologien, die auch komplexe Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Abschnitten des Lebenszyklus und große Vielfalt an Produkten zeigen. Außerdem führen unterschiedliche Interessen und Erwartungen in einem breiten Akteurspektrum zu einer deutlichen gesellschaftlichen Ambivalenz. Die Literaturrecherche zeigte, dass sich die Beweggründe, neue Materialien zu entwickeln, seit Beginn des letzten Jahrzehnts weiter entwickelt haben. Die Entwicklung geht von der Verringerung des Abfallvolumens (Bockseman 1994; Buchner et al. 1990) bis zur Substitution fossiler Rohstoffe, der Erschließung neuer Märkte für die Landwirtschaft und der Vermeidung von Umweltbelastungen durch vollsynthetische Stoffe (Forschungsforum BMWF o.J.-b; Eggesdorfer et al. 1992).

Die Experten haben in neun exemplarischen Interviews Thesen über die Hemmnisse und Auswirkungen der Entwicklung, Anwendung und Entsorgung von biologisch abbaubaren Polymeren bewertet. Diese Thesen waren auf Basis der Ergebnisse der Literaturrecherche entwickelt. Beispiele für Hemmnisse, die sehr oft als „wichtig“ bewertet wurden, sind Flächenproblematik für den Anbau der Rohstoffe, geringes Wissen über Rohstoffeigenschaften, geringe Effizienz des Verfahrens, technisches Defizit im Bereich der Zusätze und Kaskadennutzung der Produkte, Mangel an geeigneten Produktkennzeichnungen und technischen Normen. Die Ergebnisse aus den exemplarischen Experteninterviews in Bezug auf Kriterien für eine Bewertungsmethode waren:

1. Die Bewertung der Beweggründe zur Entwicklung der Technologie ergab einen Diskussionsbedarf in den Bereichen Prioritätensetzung, Ziel- und Wertvorstellungen.
2. Die Bewertung der Thesen zeigte die Probleme mit verschiedenen Fachterminologien, Erfahrungen, Einstellungen und Hintergründen der Befragten und damit die wichtige Rolle der begrifflich exakten Formulierung und der Definition von Rahmenbedingungen.
3. Die Experten gaben viele qualitative Informationen in Form von Kommentaren. Die große Zahl dieser Kommentare zeigt, dass Experten in diesem Fall persönliche Gespräche sehr notwendig finden bzw. dem reinen Ausfüllen von Fragebögen vorziehen. Dabei können verschiedene Interessen deutlicher aufgezeigt werden. Sie legt auch den Schluss nahe, dass die Diskussion verschiedener Experten und auch Akteure miteinander über die gegebenen Kommentare hinaus ein umfassenderes Bild der Bewertung zeichnen kann (vgl. Gethmann et al. 1996: 19).

Die Anwendung klassischer Methoden der Technikfolgenabschätzung wie Brainstorming, Dokumentenanalyse und Expertenbefragung sind hier nicht ausreichend für die notwendigen intensiven Diskussionen zwischen den Akteuren. Dazu ist eine Ergänzung der angeführten Methoden aus den Bereichen klassischer und konstruktiver TA durch diskursive TA (z. B. Partizipation) notwendig. Der Bewertungsprozess muss Konfrontationen der beteiligten Akteure ermöglichen. Zusätzlich zu Fachinformationen sind Informationen in den Bereichen Anwendung und Entsorgung oder auch Auswirkungen im Alltag zu berücksichtigen (durch Teilnahme von Anwendern, Konsumenten, Laien in Diskussionen). Darüber hinaus muss der Bewertungsprozess die Entwicklung von Wertmaßstäben unter Beteiligung verschiedener betroffener Gruppen unterstützen.

**Fallbeispiel: biologisch abbaubare Polymere**

**Herausforderungen für eine Bewertung**

**exemplarische Experteninterviews**

**Bedarf an interdisziplinären Diskussionen**

**Ergänzung klassischer TA um partizipative Methoden**

Dabei müssen zwei wichtige Grundsätze beachtet werden:

- *interdisziplinäre Bewertung mit Beteiligung unterschiedlicher Akteure entlang des Produktlebenszyklus*: Die Mitarbeit von Experten verschiedenster Fachrichtungen und eventuell auch Laien kann die umfassende Darstellung von Problemfeldern unterstützen.
- *interaktiver Prozess*: Kreative Gruppenprozesse können die Informationsbasis erweitern und die Abschwächung von Konflikten oder auch die Konsensbildung unterstützen.

Folgende Strategien sind dabei zu befolgen:

- klare und nachvollziehbare Definition von Einflussfaktoren im Rahmen einer strukturierten Erhebungsmethode, um Missverständnisse bei Diskussionen und Befragungen von Akteuren aus unterschiedlichen Bereichen zu vermeiden,
- rekursive Vorgangsweise zur Erleichterung der Integration neuer Informationen in verschiedene Schritte des Prozesses (wie Informationserhebung, Charakterisierung der Daten und Bewertung).

Der Vorschlag für eine systematische Vorgangsweise beinhaltet folgende Schritte:

**strukturierte  
Vorgangsweise für  
Bewertungsverfahren**

1. Erarbeitung von grundlegendem Wissen wie Technologiebeschreibung, Problemfeld und kritische Auswirkungen bzw. wichtige Fragen (durch TA-Institutionen) mit dem Ziel, Informationsmaterial für die Teilnehmer des Bewertungsprozesses zusammenzustellen.
2. Errichtung von drei bis vier interdisziplinären Arbeitsgruppen nach Maßgabe des behandelten Problemfeldes mit dem Ziel, durch die Besetzung der Teams möglichst alle betroffenen Bereiche abzudecken.
3. Vorbereitung der Teilnehmer in den Arbeitsgruppen, Kleingruppenarbeit zur Entwicklung von (Teil)Szenarien für Teilbereiche und Wertmasstäben für eine Bewertung. Durch eine rekursive Vorgangsweise soll die Integration neuer Informationen möglich sein.
4. Plenumsarbeit zum Vergleich der Ergebnisse der Kleingruppen und Formulierung allfälligen Handlungsbedarfs und erster Lösungsansätze.
5. Entwicklung von Handlungsvorschlägen durch TA-Institutionen auf Basis der Ergebnisse der vorhergehenden Schritte. Der abschließende Schritt muss eine Reflexion der Ergebnisse durch Plenumsteilnehmer sein.

Dieses Schema zeigt den organisatorischen Ablauf des Bewertungsprozesses und die Ziele einzelner Schritte. Diese Schritte müssen nach der Festlegung des jeweiligen Untersuchungsgegenstandes inhaltlich durch geeignete Methoden erweitert werden. Um die Vorgangsweise abzusichern ist es notwendig, sie anhand von Fallbeispielen zu überprüfen und gegebenenfalls zu modifizieren.

## Summary

The aim of this study was to develop criteria for the evaluation of innovative and complex technologies with social ambivalence, using biodegradable polymers as a basis.

Biodegradable polymers represent a good example for the analysis of the potential evaluation problems. They represent innovative technologies with complex interactions between the different phases of their life cycle and a large variety of products.

Moreover, in a broad stakeholder spectrum, different interests and expectations lead to open social ambivalence. The literature survey has shown that the driving forces behind the production of these materials have evolved. Motives range from a decrease in waste volume (Bockseman 1994; Buchner et al. 1990) to the substitution of fossil raw materials, the development of new markets for agricultural products and the prevention of environmental impact induced by synthetic materials (Eggesdorfer et al. 1992).

Criteria for an evaluation method were investigated through test interviews. The experts evaluated theses about the barriers and consequences of production, use and disposal of biodegradable polymers in nine exemplary interviews. These theses were developed on the basis of the literature survey results. Examples of barriers frequently rated „important” are problems related to agricultural area limits, low procedure efficiency, technical deficits, especially in regard to additives and the cascade use of products, a lack of suitable product labels and technical standards. The results of the test expert interviews regarding criteria for an evaluation method are:

- The evaluation of the driving forces behind the development of the technology revealed the need for discussion with regard to the areas of priority-setting, target and value conceptions.
- The evaluation of the theses illustrated the difficulties interviewees face, such as different domain-specific terminologies, experience, attitudes and backgrounds thus underscoring the importance of the conceptually accurate formulation and the clear definition of basic conditions for questions.
- Interdisciplinary discussions are needed.
- The experts provided an ample number of qualitative comments. The large number of comments supplied shows that experts in this case find personal discussions very necessary or prefer them to simply completing questionnaires. In this way, different interests can be pointed out more clearly. Moreover, they suggest that the discussion of comments among different experts and also stakeholders can paint a more complete picture of the evaluation subject (compare Gethmann et al. 1996: 19).

The application of classical methods of technology assessment, like brainstorming, document analysis and expert questioning are not sufficient for the necessary intensive discussions between the stakeholders. To this aim, the mentioned methods from the areas of classical and constructive TA require supplementation by discursive TA (e.g. participation).

The evaluation process must enable confrontations between the participants involved. In addition to the domain-specific information, other information on the application and disposal of products and their effects on everyday life requires consideration (with the participation of users, consumers and laymen alike, in evaluation discussions). Beyond that, the evaluation process must support the development of value standards and the participation of different concerned groups therein.

**Case study:  
biodegradable polymers**

**Challenges for an  
evaluation process**

**Test interviews**

**Supplementation of  
classical TA methods by  
participative methods**

Two important principles should be considered:

- *Interdisciplinary evaluation with participation of different stakeholders throughout the product life cycle:* The cooperation of experts of most diverse fields and possibly also laymen can support a more complete representation of problem fields.
- *Interactive process:* Creative group processes can extend the information basis and support the mitigation of conflicts or consensus finding processes.

The following strategies need to be observed in this process:

- A clear and comprehensible definition of parameters is necessary in the context of a structured evaluation process, in order to avoid misunderstandings during discussions and the questioning of participants from different areas,
- A recursive process is necessary to allow the easier integration of new information into different steps of the process (such as information collection, characterisation of the data and evaluation).

The suggestion with regard to a systematic evaluation process contains the following steps:

- Development of fundamental knowledge, such as a technology description, the identification of the problem field and critical effects or important questions (by TA institutions). The target is to prepare documentation for the participants of the evaluation process,
- Establishment of three to four interdisciplinary working groups, if possible from all areas concerned with the treated problem field,
- Preparation of the participants in the working groups for the development of sub-scenarios and value standards for evaluation and drafting possible needs and measures. A recursive process shall be instigated, as it is helpful for the integration of new information.
- Plenary work for comparing the results of the small groups.
- Development of suggested measures on the base of the results gained from the preceding steps (by TA institutions). The last step should be a reflection of the results by plenary participants.

This suggestion illustrates the organizational operational sequence of the evaluation process and the rough targets of individual steps. These steps need further specification by suitable methods following the definition of the investigation subject under review. In order to refine this suggestion it will be necessary to check and modify it on the basis of more case studies.

**A participative and structural process of evaluation**

# I Einleitung

Die Bewertung innovativer Technologien, die

- eine große Vielfalt an Rohstoffen, Produktionsmethoden, Anwendungsmöglichkeiten und Entsorgungswegen,
- komplexe Zusammenhänge zwischen Rohstoffbereitstellung, Produktion, Anwendung und Entsorgung sowie
- ein breites Akteursspektrum mit unterschiedlichen Interessen, Erwartungen und Motivationen

aufweisen, wird besonders kritisch, wenn

- durch eine isolierte Betrachtung komplexe Zusammenhänge bei der Bewertung vernachlässigt werden oder
- aufgrund unterschiedlicher Terminologien und Kommunikationsprobleme mögliche Missverständnisse bei der Ermittlung der Erwartungen von Akteuren vorkommen bzw.
- qualitative (nicht quantifizierbare) Informationen nicht berücksichtigt werden.

In solchen Fällen können entscheidende Chancen für die Entwicklung der Technologie unentdeckt bleiben oder wichtige Risiken, die zu Fehlplanungen führen können, vernachlässigt werden.

Die Entwicklung von Kriterien für geeignete Bewertungsmethoden setzt eine genauere Untersuchung, möglicherweise auftretender Probleme im Rahmen eines Bewertungsverfahrens anhand praktischer Beispiele voraus. In dieser Forschungsarbeit wurden Anforderungen an geeignete Bewertungsmethoden am Beispiel biologisch abbaubarer Polymere untersucht.

Biologisch abbaubare Polymere stellen ein gutes Beispiel zur Analyse der Probleme dar. Sie repräsentieren innovative Technologien, die auch komplexe Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Abschnitten des Lebenszyklus sowie gesellschaftliche Ambivalenz zeigen. Darüber hinaus handelt es sich hier um Produkte und Verfahren, die oft als Umweltinnovationen betrachtet werden und großteils noch nicht auf den Märkten etabliert sind, was auch eine Mitgestaltung und Begleitung der Entwicklung erleichtern kann.

In einer Literaturrecherche wurden Hemmnisse für und Auswirkungen von Entwicklung und Anwendung biologisch abbaubarer Polymere ermittelt. Die Ergebnisse sollten dann in exemplarischen Experteninterviews bewertet werden, um anhand eines konkreteren Themas mögliche Probleme einer Bewertung aufzeigen zu können. Anhand dieser Informationen wurden einige Kriterien für geeignete Bewertungsverfahren identifizieren.

Da Hemmnisse und Auswirkungen in Experteninterviews einer groben Bewertung unterzogen sind, kann diese Studie auch als Vorbereitung einer Bewertung von biologisch abbaubaren Polymeren dienen.

Den Abschluss bildet ein Vorschlag für eine Vorgehensweise bei der Bewertung innovativer komplexer Technologien mit gesellschaftlicher Ambivalenz.

An dieser Stelle soll allen Kollegen und Experten gedankt werden, die durch ihre Gespräche und Informationen diese Arbeit ermöglicht haben.

## 2 Hintergrund

In den letzten Jahren sind biologisch abbaubare Polymere mehr denn je in das Licht des Forschungsinteresses gerückt. Zahlreiche Institute und Unternehmen auf der ganzen Welt beschäftigen sich mit der Forschung an natürlichen und synthetischen biologisch abbaubaren Polymeren.<sup>1</sup> Durch diese Materialien sollen entweder problematische synthetische Stoffe ersetzt, Abfallprobleme verringert, oder spezifische neue Anforderungen erfüllt werden (z. B. in Medizin und Informationstechnologie). Andererseits herrschen Skepsis über die Wirtschaftlichkeit dieser Produkte oder Bedenken wegen neuer Probleme, die durch biologisch abbaubare Polymere entstehen können. Zum Beispiel können die Nutzung aggressiver Chemikalien bei der Herstellung von synthetischen biologisch abbaubaren Polymeren oder der exzessive Ressourcenverbrauch bei der Bereitstellung natürlicher Polymere (= biogene Polymere) zu neuen Umweltproblemen führen.

Die Bewertung der Auswirkungen biologisch abbaubarer Polymere ist wichtig, um Umweltvorteile, sowie positive wirtschaftliche Effekte zu nutzen und negative Folgen zu vermeiden. Dabei können mögliche Erfolge dieser Innovationen abgeschätzt bzw. zukünftige Konflikte durch Fehlplanungen vermieden werden. Kontroverse Aussagen in der Literatur zeigen jedoch, dass die Bewertung einer komplexen Technologie, wie sie die Entwicklung und der Einsatz von biologisch abbaubaren Polymeren darstellt, eine besondere Vorgangsweise und ein umfassendes Bewertungsverfahren voraussetzen.

**hohe Erwartungen  
und Skepsis**

**Bewertung bereits im  
Entwicklungsstadium**

---

<sup>1</sup> Einige natürliche Polymere, wie Stärke und Zellulose, werden seit Jahren durch chemische oder physikalische Verfahren aus natürlichen Rohstoffen gewonnen und industriell genutzt. Synthetische, biologisch abbaubare Polymere können sowohl aus natürlichen als auch aus synthetischen Stoffen hergestellt werden.

### 3 Methodik

Für eine Technikfrüherkennung werden folgende Themen für einzelne Technologiebereiche bearbeitet:

- Beschreibung der Technologie,
- Interessen und Erwartungen im Zusammenhang mit der Technologie,
- hemmende und fördernde Einflussfaktoren für die jeweilige Technologie.

Um eine umfassende Grundlage für eine Bewertung zu erstellen, erfolgt darüber hinaus eine Untersuchung und Zusammenstellung der Wechselwirkungen zwischen einzelnen Elementen der Technologie (z. B. Prozessschritten, Phasen des Lebenszyklus).

Um Kriterien für geeignete Bewertungsmethoden finden zu können, war es notwendig anhand eines Fallbeispiels, in der vorliegenden Arbeit biologisch abbaubarer Polymere, mögliche Probleme bei der Durchführung der obengenannten Schritte aufzuzeigen.

Mittels einer Literaturrecherche wurden Informationen über die Entwicklung der letzten 10 Jahre im Bereich Forschung, Erzeugung und Anwendung von Biopolymeren<sup>2</sup>, beteiligter Akteure und Einflussfaktoren zusammengestellt.

**Literaturrecherche**

Die Literaturrecherche enthält Ergebnisse zu

- technischen Prozessen
- Entwicklung der Meinungsbildung
  - Umweltaspekten
  - wirtschaftlichen Aspekten
- Zusammenhängen zwischen verschiedenen Technologien innerhalb des gesamten Lebenszyklus von Produkten
- erster Identifizierung von Akteuren
- wichtigen Fragen für das Bewertungsverfahren.

Die zusammengestellten Literaturzitate und Informationen bilden die Basis für eine zukünftige Bewertung von biologisch abbaubaren Polymeren.

Um die Diskussionen mit Experten konkret zu unterstützen wurden drei Werkstoffe ausgewählt<sup>3</sup>, die für Österreich relevant sind. Die Aufbereitung der gesammelten Informationen in Form von Thesen über Hemmnisse und Auswirkungen der Technologie war der nächste Schritt. Die aus den Thesen entwickelten Fragebögen umfassen die Bereiche:

**Erstellung von Fragebögen**

- Rohstoffherstellung/bereitstellung,
- Produktion,
- Konsum/Anwendung,
- Entsorgungsphase.

Um Probleme bei einer klassischen Befragung zu einer komplexen Technologie aufzeigen zu können, wurden diese Fragebögen nun mit neun Experten aus ökologischen, ökonomischen, soziologischen und technischen Disziplinen bewertet. Parallel dazu erfolgte die teilnehmende Beobachtung von Diskussionen zwischen verschiedenen Akteuren in einschlägigen Veranstaltungen, um weitere Anforderungen an geeignete Bewertungsmethoden zu finden.

**teilstrukturierte Experten-Interviews**

---

<sup>2</sup> siehe Begriffserklärungen im Anhang I

<sup>3</sup> siehe auch Technologiebeschreibungen im Anhang I

**Anforderungen an  
Bewertungsmethode**

Die Ergebnisse der Interviews dienen in erster Linie zur Erstellung von Kriterien für die Entwicklung von Bewertungsmethoden. Zusätzlich beinhalten sie Hinweise für eine zukünftige Untersuchung und Bewertung von biologisch abbaubaren Polymeren.

## 4 Literaturrecherche

Eine umfassende Beschreibung der Literaturrecherche und die ausformulierten Thesen sind im Anhang I „Technologiebeschreibung und Identifizierung von Hemmnissen und Auswirkungen“ zu finden. Das vorliegende Kapitel zeigt einige wichtige Erkenntnisse aus der Erhebung. Dabei wird sowohl die Komplexität der Technologie zur Entwicklung und Anwendung biologisch abbaubarer Polymere erkennbar, als auch ihre gesellschaftliche Ambivalenz und ein breites Akteurspektrum.

### 4.1 Beweggründe und Ziele für die Entwicklung biologisch abbaubarer Polymere

Die Literaturrecherche zeigte, dass zu Anfang des Jahrzehnts noch hauptsächlich das Anwachsen der Müllberge und die damit einhergehenden Probleme wie begrenzte Deponiekapazität, Bodenbelastung durch Deponierung bzw. Luftbelastung durch Verbrennung der Ausgangspunkt für die Entwicklung von neuen Materialien waren (Bockseman 1994; Buchner et al. 1990). Im gemischten Feststoffaufkommen des städtischen Müllaufkommens betragen die Kunststoffe 6–10 % des Gewichtes, aber 20–30 % des Volumens. Herkömmliche Thermoplasten werden auf Deponien nicht nennenswert abgebaut.

Im Laufe der Zeit haben auch andere Beweggründe, wie die Begrenztheit der fossilen Rohstoffe und auch ihr Treibhauspotential an Bedeutung gewonnen (Forschungsforum BMWF o.J.-b; Eggesdorfer et al. 1992). In diesem Zusammenhang zu nennen sind auch die Überschusssituation in der Landwirtschaft, die Suche des Sektors nach neuen Absatzmärkten und der Grundsatz der Kreislaufschließung. Auch bei den Konsumenten hat das Bewusstsein über Umweltbelastungen und ihre Folgen für die Gesundheit Bedenken gegen vollsynthetische Stoffe entstehen lassen (Eggesdorfer et al. 1992). Die Substitution petrochemischer Stoffe durch Stärke oder andere biogene Stoffe bedeutet jedoch oft höhere Produktionskosten. Der Einsatz flüssiger Abfälle, beispielsweise aus kartoffelverarbeitenden Betrieben oder Molke aus der Käseherstellung, können die teure Herstellung bis zu einem Faktor 12 verbilligen (Kern 1993).

Neben dem genannten Misstrauen gegenüber Kunststoffen und Umweltschutzbemühungen auf der einen Seite, gibt es aber auch noch andere Prioritäten wie Preisgestaltung, den Wunsch nach technischem Fortschritt, Funktionalität, Mode und andere.

Für die Beweggründe konnten sechs Kategorien erkannt werden:

- Ressourcenschonung
- Kreislaufschließung
- Suche nach neuen Märkten
- Verringerung des Abfallvolumens
- Substitution schädlicher Stoffe für die Menschen und ihren natürlichen Lebensraum
- Innovative Produkte mit speziellen Eigenschaften.

Vor diesem Hintergrund werden Werkstoffe entwickelt, die biologisch abbaubar sind. Die Ausgangsstoffe für diese Materialien können entweder ausschließlich biogene Rohstoffe, oder Mischungen mit herkömmlichen Kunststoffen

**veränderte  
Zielvorstellungen:  
von Verringerung des  
Abfallvolumens ...**

**... zu Substitution fossiler  
Rohstoffe und  
Kreislaufschließung.**

**gesellschaftliche  
Ambivalenz**

**Entwicklung abbaubarer  
Werkstoffe aus ...**

**... unterschiedlichsten Ausgangsmaterialien**

sein, die dann nur teilweise abbaubar sind. Parallel dazu arbeitet man an vollständig synthetischen Polymeren, die die gleichen Abbaueigenschaften haben sollen wie Biopolymere. Als Beispiel können hier synthetische Polyester genannt werden, die durch Wasser zersetzt bzw. hydrolysiert werden können.<sup>4</sup>

## 4.2 Wichtige Zusammenhänge

Um das weite Themenfeld „Biologisch abbaubare Polymere“ einzugrenzen, und auch die Experteninterviews konkreter gestalten zu können, wurden nach Analyse der Rechercheergebnisse drei Werkstoffe ausgewählt, die für Österreich Relevanz haben.

**Auswahl für Österreich interessanter Werkstoffe**

**PLA:** aus einem erneuerbaren Ausgangsstoff (Milchsäure z. B. aus Fermentation von Grassaft) wird durch chemische Synthese und Einsatz von Zusatzchemikalien ein biologisch abbaubares Produkt hergestellt. Für PLA sind in Österreich Konzepte in Bearbeitung, die die Erzeugung von Milchsäure aus Gras betreffen (Grüne Bioraffinerie).

**PHAs:** werden direkt durch Bakterien hergestellt. Forschungsarbeiten zur Herstellung von PHAs, unter anderem auch aus biogenen Abfallstoffen, finden am Institut für Biotechnologie an der technischen Universität Graz statt.

**ZELFO:** ist ein Werkstoff, der aus Rohstoffen, wie Holz, Flachs oder Altpapier erzeugt werden kann. An der Optimierung der Eigenschaften des Werkstoffes ZELFO wird ebenfalls in Österreich gearbeitet.

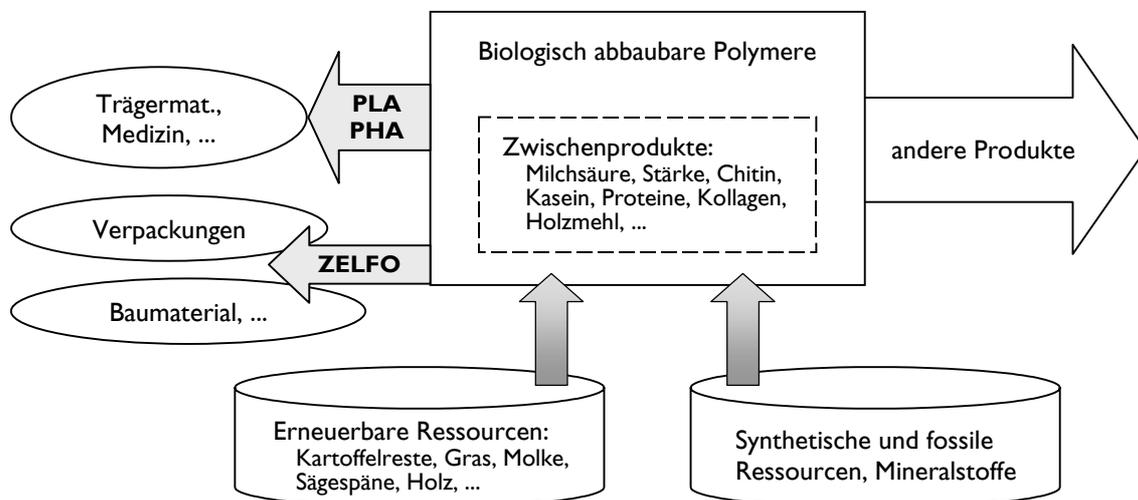


Abbildung 4.2-1: Ressourcen für biologisch abbaubare Polymere, Beispiele für Zwischenprodukte und Produkte

<sup>4</sup> Beispiele für biologisch abbaubare co-Polyesters sind in der ICS-Datenbank zu finden: <http://www.ics.trieste.it/webservices/databases/techDB/recView.idc?VID=57>

An Entwicklung und Einsatz biologisch abbaubarer Polymere sind u. a. Landwirtschaft, chemische- und Kunststoffindustrie, Entsorgungsunternehmen, Unternehmer, die nachwachsende Rohstoffe verarbeiten, Konsumenten und Anwender der Technologie beteiligt. Dabei haben verschiedene Anwender unterschiedliche Erwartungen an biologisch abbaubarer Polymere. Zum Beispiel sind im Bereich der Medizin die Verträglichkeit eines Stoffes im Körper und sein kontrollierter Abbau wichtig, während in der Verpackungsindustrie Wasserdurchlässigkeit, Schmelzverhalten, Kosten und Verwertungsmöglichkeit im Zentrum stehen. Für die Produktion von Gehäusen für elektrische Geräte wiederum sind UV-Beständigkeit, Oxidationsverhalten, elektrische Eigenschaften und Abfallverwertung relevant.

Die Informationen aus der Literatur, die Hemmnisse und Auswirkungen für die einzelnen Phasen des Produktlebenszyklus (von der Rohstoffproduktion bis zur Entsorgung) zeigen, wurden in Form von Thesen formuliert. Die von den Experten als wichtig erachteten sind in Anhang I dokumentiert.

Weiters werden Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Phasen beschrieben. Zum Beispiel beeinflusst die Produktion biologisch abbaubarer Polymere die Entwicklung der Abfallverwertungsverfahren. Wirtschaftliche und soziale Auswirkungen der einzelnen Abschnitte im Lebenszyklus sind für den Erfolg der biologisch abbaubaren Polymere entscheidend. Impulse für Rohstoff- und Energiepreise, die Akzeptanz oder Ablehnung der Gesellschaft für bestimmte Entsorgungsmethoden oder die Beschäftigungsveränderungen durch die einzelnen Technologien können die Entwicklung der biologisch abbaubaren Polymere beeinflussen. Auch die Abwanderung im ländlichen Raum, kann einen wichtigen Einfluss auf die Technologieentwicklung ausüben.

**Hemmnisse und  
Auswirkungen entlang  
des gesamten  
Lebenszyklus**

**komplexe  
Zusammenhänge**

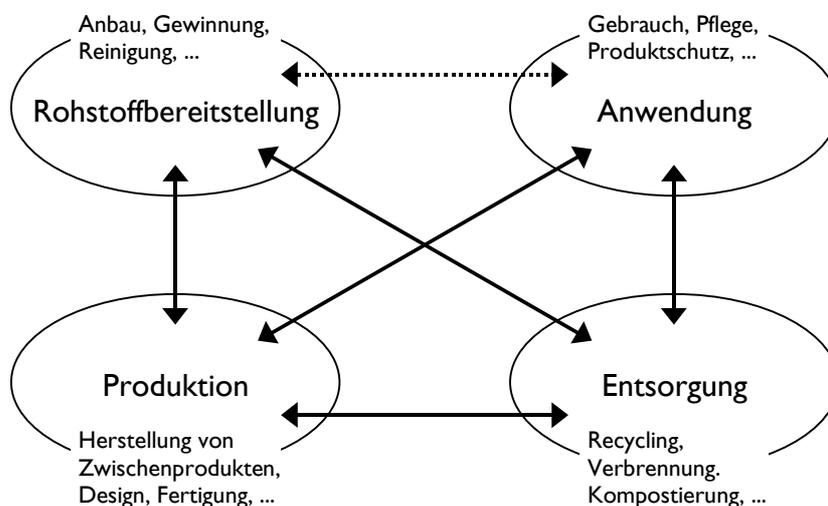


Abbildung 4.2-2: Vernetzung von Technologien im Lebenszyklus von Produkten; Durchgezogene Pfeile stellen direkte, punktierte Pfeile indirekte Beeinflussung dar

## 5 Experteninterviews

Die detaillierten Ergebnisse der Interviews sind im Anhang I „Technologiebeschreibung und Identifizierung von Hemmnissen und Auswirkungen“ dokumentiert.

Dieses Kapitel enthält diejenigen Ergebnisse, die zur Erstellung der Anforderungen an geeignete Bewertungsmethoden dienen.

Die aus den Ergebnissen der Recherche entwickelten Thesen wurden sechs verschiedenen Kategorien zugeteilt. Diese Kategorien stellen gleichzeitig auch die, ebenfalls aus der Literatur stammenden, Beweggründe zur Entwicklung und Anwendung biologisch abbaubarer Polymere dar, nämlich „Ressourcenschonung“, „Kreislaufschließung“, „Suche nach neuen Märkten“, „Verringerung des Abfallvolumens“, „Spezielle Eigenschaften innovativer Produkte“ und „Substitution schädlicher Stoffe“. Dabei waren mehrere Thesen in mehr als einer Kategorie zu berücksichtigen (Beispiel: Die These „Durch fehlende Normen ist eine Orientierung für den Konsumenten schwierig.“ war in fünf Kategorien vorhanden). Es gab jedoch auch Thesen, die nur für eine Kategorie relevant waren (Beispiel: Die These „Schmelzinstabilität der Polymere aus Kombination von biogenen und synthetischen Stoffen kann ein Problem sein“ ist nur der Kategorie „Verringerung des Abfallvolumens“ zugeordnet).

Aus den Rechercheergebnissen in Bezug auf Hemmnisse und Auswirkungen für die Durchsetzung biologisch abbaubarer Polymere wurden Fragebögen für die Interviews entwickelt. Eine Mischung zwischen offenen und geschlossenen Fragen wurde ausgewählt, um zusätzliche Informationen, die eventuell übersehen wurden, berücksichtigen zu können. Weiters wurde die Möglichkeit für Kommentare vorgesehen, um Hintergründe für Entscheidungen und zusätzliche Bemerkungen sowie Vorschläge für neue Formulierungen dokumentieren zu können. Einige Thesen wurden in unterschiedlichen Formulierungsformen präsentiert, um den Einfluss von verschiedenen Terminologien besser beobachten zu können.

Die gewählten Interviewpartner sollten Überblick über laufende Forschungsarbeiten in diesem Bereich besitzen, jedoch nicht direkt an den konkreten Entwicklungen beteiligt sein. Zu beachten war dabei, dass technische, ökologische, wirtschaftliche und sozialwissenschaftliche Disziplinen vertreten waren. Insgesamt wurden neun ein bis zweistündige Interviews durchgeführt.

Die Interviewpartner sollten zunächst aus sechs Kategorien für die Beweggründe drei, aus ihrer Sicht wichtigsten für die Entwicklung der Technologie, nennen.

### 1. Bewertung der Beweggründe

Zwei Motivationen, „Ressourcenschonung“ und „Kreislaufschließung“, wurden mit hohem Konsens als „sehr wichtig“ bezeichnet.

„Ressourcenschonung“ wählten fast alle Interviewpartnern, da dadurch sowohl ökologischer, als auch technischer, betriebswirtschaftlicher und volkswirtschaftlicher Nutzen erwartet werden. „Kreislaufschließung“ stellt ebenfalls aus der Sicht von mehreren Interviewpartnern eine starke Motivation mit ökologischem und wirtschaftlichem Nutzen dar. Von Interviewpartnern aus dem technischen Bereich, die Kreislaufschließung nicht direkt ausgewählt hatten, wurde trotzdem diese Motivation als Oberziel definiert. Dieses Ergebnis stimmt mit den Erfahrungen aus den Beobachtungen der einschlägigen Veranstaltungen und Diskussionen sowie den Rechercheergebnissen überein.

**Zuordnung der Thesen zu bestimmten Zielvorstellungen**

**Fragebogenentwicklung**

**Interviewpartner aus verschiedenen Fachbereichen**

**Ressourcenschonung und Kreislaufschließung wichtigste Ziele**

**Diskussionsbedarf  
für Ziel- und  
Wertvorstellungen**

Alle anderen Motivationen (Abfallverringerung, Innovationen als solche, Substitution schädlicher Stoffe oder Suche nach neuen Märkten für landwirtschaftliche Produkte bzw. biogene industrielle Abfälle) scheinen drei bzw. vier mal in neun Interviews auf. Die Argumente für diese Auswahl waren sehr unterschiedlich.

In Bezug auf Anforderungen für eine Bewertungsmethode zeigt sich ein Diskussionsbedarf für die Bereiche Prioritätensetzung, Ziel- und Wertvorstellungen für Technologieentwicklung und -anwendung. Diese Diskussionen und allfällige Konsensbildungen können auch eine wichtige Basis für die Definition relevanter Forschungsprogramme bilden.

## **II. Bewertung der Thesen**

Nach der Auswahl der drei wichtigsten Beweggründe wurden den Interviewpartnern nur mehr diejenigen Thesen vorgelegt, die den ausgewählten Kategorien zugeordnet waren. Dies bedeutet, dass nicht alle Experten die gleichen Thesen bewerteten. In der exemplarischen Expertenbefragung wurden folgende Faktoren als wichtig charakterisiert:

**Forschungsbedarf und  
technische Defizite**

Im Bereich der Rohstoffe erschienen neben einer notwendigen Effizienzsteigerung der Verfahren und dem geringen Wissen über Rohstoffeigenschaften auch eine mögliche Abhängigkeit von Grünen Bioraffinerien als hemmende Größen. Auch die Flächenproblematik in Bezug auf Rohstoffanbau wurde mehrmals genannt.

Technische Defizite fanden sich im Bereich der Additive und Kaskadennutzung. Die Abhängigkeit von Rohölpreisen, sowie die Beurteilung nach rein ökonomischen Gesichtspunkten waren ebenfalls wichtige Punkte. Auch die gegenwärtige Produktphilosophie wurde als wichtiges Hemmnis gesehen.

**Koordination  
gesetzlicher und  
technologischer  
Entwicklung**

Für die Anwendung der Werkstoffe sahen die Experten im Mangel an geeigneten Normen und Regeln sowie Marketingstrategien und Information der Anwender, Probleme für die Durchsetzung der Technologie. Vor allem wurde die Notwendigkeit zur Koordination zwischen Vorschriften mit technischen und organisatorischen bzw. logistischen Veränderungen betont, um Akzeptanz und Durchsetzung von Produkten zu erhöhen. In diesem Zusammenhang ist auch der „Grüne Punkt“ als misslungene Regelung zu nennen, da es hier durch eine Verpackungsverordnung innerhalb kurzer Zeit zur Sammlung gewaltiger Mengen von Kunststoffabfällen kam, deren ordnungsgemäße Verwertung kaum möglich war (BIFA 2001).

Hingegen kann ein derzeit in Kassel laufender Versuch, bei dem Produktion, Marketing und Entsorgungsschritte in einem Modellversuch koordiniert werden, als positives Beispiel genannt werden.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> „Ab April wird jetzt in einem 10-monatigen Städtetest die Praxistauglichkeit biologisch abbaubarer Werkstoffe (BAW) untersucht. Im Mittelpunkt steht dabei der Verbraucher: Sieht er in den neuen kompostierbaren High-Tech-Verpackungen mit einem möglichst hohen Anteil an nachwachsenden Rohstoffen einen Nutzen und sortiert er sie nach Gebrauch in die städtische Biotonne? Die knapp 100.000 Haushalte (200.000 Einwohner) in der Stadt Kassel können ab Ende April 2001 die ersten Produkte in BAW-Verpackungen kaufen. Die gebrauchten Verpackungen sollen in die Biotonne sortiert werden, die es in Kassel seit 1994 gibt. Im Rahmen des Projektes wird das Sortierverhalten der Verbraucher bis Anfang 2002 untersucht ...“  
<http://www.der-sechste-sinn-in-kassel.de/Presseinfo-3.html>

Bei den Auswirkungen wurden folgende Aussagen als wichtig eingestuft:

Flächenkompensation und ökologische Probleme durch den Einsatz von Gentechnologie, Intensivierung der Landwirtschaft und Gefahr durch mangelnde oder fehlende Substitution von Prozesschemikalien.

Die detaillierten Ergebnisse dieser Bewertung sind im Anhang I zu finden. Im folgenden sind wichtige Beispiele für die Ermittlung von Kriterien für Bewertungsmethoden dargestellt:

Die entscheidende Rolle der genauen Definition der Rahmenbedingungen zeigte sich bei der Bewertung der These „Ohne Einsatz von Gentechnologie ist eine wirtschaftliche Nutzung der Rohstoffe nicht möglich“ sehr deutlich. Die Interviewpartner, die biogene Abfälle als zusätzliche Rohstoffquelle sehen, bezeichneten die Nutzung der Gentechnologie für die Wirtschaftlichkeit als irrelevant. Im Gegensatz dazu wurde die These ohne Berücksichtigung der Möglichkeit der Nutzung biogener Abfälle als „sehr wichtig“ betrachtet. Dieses Beispiel zeigt, dass eine klare und explizite Definition der Rahmenbedingungen bei einer interdisziplinären Bewertung der einzelnen Thesen unabdingbar ist.

Ein Beispiel für die Notwendigkeit exakter Definition von Begriffen ist die These über fehlende Normen:

„Durch fehlende Normen ist eine Orientierung für den Konsumenten schwierig (Verbrauchersicherheit, Produktschutz)“.

Diese These wurde von einigen Experten als unwichtig eingestuft mit dem Kommentar, dass Normen relativ wenig Einfluss auf Endverbraucher und Konsumverhalten haben. Im Gegensatz dazu bewerteten die Experten aus dem technischen Bereich die These als sehr wichtig, da sie Normen für Zwischenprodukte im Produktionsbereich im Sinn hatten.<sup>6</sup>

Das nächste Beispiel zeigt die wichtige Rolle von Terminologie und Wortauswahl bei der Bewertung:

**genaue Formulierung der Fragebögen wichtig**

**Berücksichtigung verschiedener Fachterminologien**

Beweggrund: Spezielle Eigenschaften der Produkte, Innovationen nach Nachfrage				
Thesen über Auswirkungen	Wichtigkeitsgrad			
	1	2	3	4
Durch Eingriffe in die Molekularstruktur werden Stoffe verändert, können aber als naturähnliche Substanzen auf die natürlichen Kreisläufe einwirken.*	X			
Durch die Entsorgung von modifizierten natürlichen Materialien können Ökosysteme stärker als bisher beeinflusst werden.	X		X	

\* Eine Antwort: „weiß nicht“

Dabei wurden zwei Thesen mit fast identischem Inhalt in verschiedenen Formulierungen abgefragt. Während die eine These fachspezifischer formuliert, und für einen der Interviewpartner nicht eindeutig ist, gibt die Formulierung der zweiten These diesem Interviewpartner die Möglichkeit zur Bewertung bzw. Beteiligung an der Diskussion.

<sup>6</sup> Die Normierung des Treibstoffes aus Rapsöl beeinflusst zum Beispiel die Entwicklung von geeigneten Motoren dafür.

<b>klare Formulierung der Fragen</b>	Diese Beispiele zeigen, dass die Bewertung der Thesen vor allem von der Formulierung der Fragen und Thesen beeinflusst wurde. Das heißt, abweichende Fachterminologien in fachspezifischer oder allgemeiner Terminologie können eine Antwort beeinflussen.
<b>Bewertungsmaßstab</b>	Außerdem war der Begriff „Wichtigkeit“ oft für Interviewpartner nicht ausreichend eindeutig. Der Bewertungsmaßstab muss daher klarer definiert sein.
<b>Subjektive Einstellung</b>	Ein wichtiger Faktor waren subjektive Einstellungen der Interviewpartner, wie Erfahrungen, Vorwissen und Interessen, die nicht nur Wertvorstellungen, sondern auch Expertisen beeinflussen. Die Rolle subjektiver Einstellungen der Interviewpartner war in Form von Meinungsdivergenzen von Experten gleicher Fachrichtung sichtbar.
<b>exakte Formulierung, Ergänzungen durch Experten</b>	Im Rahmen der Methodenentwicklung ist zu beachten, dass bei der Erstellung von Fragebögen niemals alle möglichen Definitionen berücksichtigt werden können. Da auch immer noch Interpretationsspielräume je nach Erfahrung und fachlichem Hintergrund der Experten möglich sind, können direkte Gespräche mit den Befragten oder der Befragten miteinander zu einer eindeutig zuordenbaren Beantwortung beitragen. Ein weiterer Mehrwert ist die Möglichkeit hier auch neue, noch unberücksichtigte Rahmenbedingungen und Definitionen einzubringen (vgl. Hennen 1999).

### III. Kommentare

<b>nicht quantifizierbare Informationen</b>	Im Laufe der Befragung wurden viele qualitative Informationen in Form von Kommentaren gegeben. Dabei konnten weitere Einflussfaktoren, wie soziale Rahmenbedingungen für die Landwirtschaft, soziale Staffelung der Förderungen, Konzepte für Logistik und Transport, ökonomische Anreize, Image usw. gefunden werden.
---	--

Kommentare spielen darüber hinaus eine entscheidende Rolle bei der Überprüfung von Ergebnissen. Im folgenden Beispiel wurde die Bewertung einer These mit sehr unterschiedlichen Kommentaren versehen.

Beweggrund: Ressourcenschonung				
Thesen über Hemmnisse	Wichtigkeitsgrad			
	1	2	3	4
Rohstoffe/Zusätze: Es ist nicht genügend Fläche für die Produktion der Rohstoffe vorhanden.	*		+	X-

Die Kommentare von vier Interviewpartnern:

- \*: Fläche ist eine *driving force* für optimalen Ressourceneinsatz.
- +: Gentechnologie und Züchtung kann das Problem lösen:  
Der Ertrag für Baumwolle war früher 50–60 kg pro Hektar, heute beträgt er 500–600 kg pro Hektar.
- X: Nicht vom Status quo aus sprechen!! Was ist genug?  
(Rahmenbedingungen für die Landwirtschaft werden sich ändern)
- ~: unwichtig, weil keine Primärproduktion erforderlich ist, da ungenutzte Abfälle als Ausgangsmaterial vorhanden sind.

Dieses Beispiel zeigt besonders deutlich, dass ohne die Dokumentation von Kommentaren eine Interpretation der Ergebnisse mit hoher Wahrscheinlichkeit missverständlich wäre. Auch zeigt die verhältnismäßig große Zahl der Kommentare, dass die Zuordnung von „Wichtigkeitsgraden“ alleine auch aus Expertensicht nicht ausreicht, sondern Kommunikation über die Fragestellungen notwendig ist.

Für die Vorgehensweise im Rahmen eines Bewertungsprozesses bedeutet das, dass in diesem Fall das persönliche Interview mit der Möglichkeit zur Dokumentation des Gespräches dem reinen Ausfüllen eines Fragebogens vorzuziehen ist.

Weiters liegt der Schluss nahe, dass in Expertenworkshops die Diskussion der Kommentare und Hintergründe der jeweils anderen Disziplin ein anderes, umfassenderes Bild der Bewertung ergeben kann (vgl. Ropohl 1997). Eine geeignete Bewertungsmethode sollte also als ein zentrales Element Gruppendiskussionen zwischen verschiedenen Akteuren beinhalten.

**Diskussion statt  
Fragebögen**

## 6 Anforderungen an eine Bewertungsmethode

Die Ergebnisse der Befragung zeigen, dass Informationen über innovative und komplexe Technologien

- sehr breit gestreut (kann ein Hinweis auf Komplexität sein) bzw. Meinungen oft polarisiert sind und von den Erfahrungen und Interessen der einzelnen Akteure abhängen,
- oft nicht quantifizierbar sind und stark von den unterschiedlichen Terminologien der einzelnen Disziplinen beeinflusst werden können.

### 6.1 Probleme und Anforderungen

Als Hauptprobleme sind die Schwierigkeiten bei der Berücksichtigung der äußerst komplexen Zusammenhänge<sup>7</sup> zwischen den einzelnen Aktivitätsfeldern der Technologie einerseits und der ambivalenten Einstellungen<sup>8</sup> zu Technologieentwicklung und Produkten andererseits zu nennen.

Die Ergebnisse von Literaturrecherche und Befragung zeigen deutliche Interessensdifferenzen zwischen Experten bzw. Akteuren aus Landwirtschaft, technischem Bereich, Wirtschaft und Sozialwissenschaften. Eine isolierte Betrachtung der einzelnen Technologiebereiche (z. B. Prozessschritte, Phasen des Lebenszyklus) kann daher nicht alle Widersprüche aufzeigen. Als Beispiel kann die Entwicklung von biologisch abbaubaren Polymeren, die im Meerwasser gelöst werden können, um damit das Abfallvolumen auf dem Land zu verringern, erwähnt werden. Hier wird mit einem ökonomischen Ziel ein ökologisches Problem riskiert, da die Lösung großer Mengen von Polymeren im Meer das sensible Ökosystem aus dem Gleichgewicht bringen kann. Ein anderes Beispiel für Widersprüche zwischen ökonomischen und ökologischen einerseits, den sozialen Aspekten andererseits, stellt das Recyclingsystem dar, da die Arbeitsbedingungen bei Sortierung und Behandlung von Abfällen meist sehr schlecht sind. Weitere von Interviewpartnern genannter Beispiele sind Rohstoffanbau und Produktionsmethoden, die durch Nutzung von Agrochemikalien, Gentechnologie und gefährlichen Prozesschemikalien zu irreversiblen Umweltschäden führen können. Die angesprochenen Probleme zeigen, dass zur Zeichnung eines umfassenden Bildes eine Auseinandersetzung über Prioritätensetzung und Wertvorstellungen notwendig ist.

Die Aussagen über Hemmnisse und Auswirkungen in Literatur und Interviews betreffen teilweise sehr spezifische Bereiche. Was aufgrund der Methode (Experteninterviews) weitgehend ausgeklammert ist, sind Auswirkungen, die Alltag und Leben der Konsumenten betreffen. Wie zum Beispiel Einflüsse auf Lebensqualität, soziales Umfeld, aber auch Bequemlichkeit oder Prestige. Die Bereiche Anwendung und Entsorgung haben starken Einfluss auf die Technologieentwicklung und hängen auch von Verbraucherwunsch und -verhalten ab.

**Komplexität und  
Ambivalenz**

**isolierte Betrachtung  
einzelner  
Technologiebereiche  
zeigt nicht alle  
Interessenskonflikte**

**Auseinandersetzung mit  
Wirkung von und auf  
Alltag und Leben der  
Verbraucher ist  
notwendig**

---

<sup>7</sup> siehe auch Kap. 4.2

<sup>8</sup> siehe auch Kap. 4.1

**Durchsetzungspotential  
und Akzeptanz abhängig  
von bedarfsgerechter  
Entwicklung**

Der derzeit vergleichsweise kleine Markt für Produkte aus biologisch abbaubaren Polymeren, deutet darauf hin, dass sich die Technologie noch im Entwicklungsstadium befindet, kann aber gleichzeitig auch ein Zeichen für geringe Akzeptanz seitens der Konsumenten sein. In beiden Fällen erscheint es sinnvoll, verschiedene Wertgesichtspunkte zu berücksichtigen und Verbraucher bzw. Anwender als Akteure in einen Bewertungsprozess einzubeziehen, um eine bedarfsgerechte Entwicklung zu unterstützen.

**qualitative  
Informationen und  
verschiedene  
Terminologien**

Einflussfaktoren werden oft auch in Form von qualitativen (nicht quantifizierbaren) Informationen charakterisiert. Unterschiedliche Fachterminologien, fachliche Hintergründe und Erfahrungen prägen Aussagen und Bewertungen und machen es schwierig ohne Rückfrage oder zusätzliche Kommentare Bewertungen vorzunehmen. Auch zeigen die Erfahrungen bei der Befragung, dass verschiedene Experten Gespräche dem Ausfüllen von Fragebögen vorziehen.<sup>9</sup>

## 6.2 Lösungsansatz

**Ergänzung klassischer  
durch diskursive TA**

Um die genannten Probleme und Anforderungen bei einer Bewertung zu berücksichtigen, müssen hier

- die klassischen Methoden der Technikfolgenabschätzung, wie Literaturrecherche, Dokumentenanalyse und Expertenbefragung, durch partizipative Methoden ergänzt werden. Dabei sollen breit gestreute gesellschaftliche Interessen berücksichtigt werden. Darüber hinaus sollen die Umsetzbarkeit von Handlungsvorschlägen besser abgeschätzt und eine einseitige Bewertung vermieden werden

und

- qualitative Parameter (wie z. B. Image oder intakte Landwirtschaft) umfassender definiert werden.

### **Grundelemente des Verfahrens**

Ein Bewertungsverfahren muss daher als zentrale Elemente zwei wichtige Prinzipien befolgen:

**interdisziplinäre und  
interaktive  
Zusammenarbeit**

1. interdisziplinäre Bewertung mit Beteiligung unterschiedlicher Akteure entlang des Produktlebenszyklus (Rohstoffbereitstellung, Produktion, Anwendung und Entsorgung)
2. interaktiver Prozess.

Durch das Zusammenspiel dieser beiden Prinzipien wird eine Steigerung der Akzeptanz von Entscheidungen durch Erweiterung der Wissensbasis und die Erhöhung des Wertberücksichtigungspotentials erwartet (vgl. Hennen 1999).

#### **ad I**

Durch die Mitarbeit von Experten unterschiedlicher Fachrichtungen können verschiedene Problemlagen behandelt werden. Die Darstellung verschiedener Aktivitätsfelder unter unterschiedlichen Gesichtspunkten kann das Verständnis für die Komplexität der Zusammenhänge unterstützen. Die Wissensbasis für Entscheidungen kann so vergrößert werden. In Abhängigkeit von den festgelegten Systemgrenzen der Bewertung kann es, zur Zeichnung eines vollständigen

<sup>9</sup> siehe auch Kap. 5

digeren Bildes sinnvoll bzw. hilfreich sein, Laien als „Experten für ihren täglichen Erfahrungsbereich“ (Müller 1996) zur Mitarbeit heranzuziehen. Mit ihrer Hilfe können Ambivalenzen umfassender charakterisiert und Einflussgrößen in den Bereichen Anwendung und Entsorgung näher bestimmt werden.

Die Auswahl der Teilnehmer soll je nach Problemfeld erfolgen und die Auswahlkriterien genau dokumentiert werden.

## ad 2

„... hat sich vielfach bestätigt, dass Menschen in kleinen Gruppen einander höchst wirksam wechselseitig inspirieren können.“ (Ropohl 1997)

Durch intensive Diskussionen in kleineren Gruppen können verschiedene Hintergründe für Beurteilungen und Bewertungen ausgeleuchtet und hinterfragt werden. Kreative Prozesse können in Gang gesetzt und damit neue Erkenntnisse oder Sichtweisen gewonnen werden. Dadurch ist eine Erweiterung des Wissens der Beteiligten und auch die Erstellung einer breiteren Informationsbasis für eine Bewertung möglich. Die Abschwächung von Konflikten oder, im günstigsten Falle, eine Konsensbildung wird hier unterstützt. Auch die Entdeckung und Bearbeitung möglicher Missverständnisse kann hier stattfinden (vgl. Hennen 1999; Gethmann et al. 1996).

Im Rahmen eines Bewertungsprozesses sind folgende Bedingungen zu erfüllen:

- a. klare und nachvollziehbare Definition von Einflussfaktoren im Rahmen einer strukturierten Erhebungsmethode
- b. rekursive Vorgangsweise.

## ad a

Um Missverständnisse bei Diskussionen und Befragungen von Akteuren aus unterschiedlichen Bereichen zu vermeiden, müssen Formulierung und Darstellungsform der Fragen und Informationen begrifflich exakt gewählt werden.<sup>10</sup> Dazu ist u. a. eine strukturierte Vorgangsweise bei der Definition von Einflussfaktoren Voraussetzung. Um eine überschaubare Anzahl dieser Größen zu erhalten, ist eine strukturierte und transparente Einteilung nach unterschiedlichem Aggregationsgrad in strukturierten Tabellen hilfreich. Durch Erstellung solcher Tabellen können

- Einflussgrößen für interdisziplinäre Diskussionen transparent definiert werden und
- verschiedene Detaillierungsebenen unterschieden werden.

## ad b

Eine rekursive Vorgangsweise bietet den Teilnehmern in interdisziplinären Teams Möglichkeiten zur Entwicklung einer gemeinsamen Sprache und eines gemeinsamen Verständnisses.

Dabei werden verschiedene Schritte des Prozesses (wie Informationserhebung, Charakterisierung der Daten und Bewertung) bei Bedarf wiederholt. „So werden insbesondere die Definitionen und Beschreibungen der Einflussgrößen durch die Erkenntnisse der folgenden Arbeitsschritte ergänzt und überarbeitet“ (Vester

**strukturierte  
Vorgangsweise zur  
Definition von  
Einflussfaktoren**

**rekursive Vorgangsweise  
zur Unterstützung  
interdisziplinärer Arbeit**

<sup>10</sup> Zum Beispiel kann das Wort „Norm“ sowohl für Produktkennzeichnung als auch für technische Normen von Anlagen stehen. Bei der Beschreibung der Einflussgröße „geeignete Normen“ muß eine genaue Definition angegeben, oder gegebenenfalls verschiedene Definitionen aufgenommen werden.

2000). Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass neue Informationen und Erfahrungen jederzeit integriert werden können. Es ist daher für interdisziplinäre Arbeiten gut geeignet. So kann eine Befragung bzw. Diskussion mit relativ groben bzw. abstrakten Informationen beginnen, die Teilnehmer können in Diskussionen ihre Erfahrungen austauschen und neue Einflussgrößen und Zusammenhänge erkennen bzw. die früheren Informationen anhand der neuen Erkenntnisse überprüfen, eventuell verändern und ihre Vorstellungen konkretisieren.

### 6.3 Vorschlag für eine Vorgangsweise

In diesem Kapitel wird eine Vorgangsweise für eine Bewertung vorgeschlagen, die mehreren Elementen und Instrumenten von partizipativer TA entlehnt ist. Sie stellt kein starres Schema dar, sondern kann und soll nach Maßgabe des Problemfeldes modifiziert werden. Die angewandten Methoden müssen für interdisziplinäre Arbeit und die Analyse von komplexen Zusammenhängen geeignet sein. Daher sind strukturierte Erhebungsmethoden und ein rekursives Vorgehen notwendig. Siehe Kapitel 6.1 und 6.2. Diese Vorgangsweise kann unter anderem der Bewertung von

- umfassenden Verfahren (z. B. Ganzpflanzennutzung oder grüne Bioraffinerie),
- Werkstoffen (z. B. Zellulosefasern oder PLA) und
- Produktgruppen (z. B. Verpackungen oder Faser) dienen.

Für eine interdisziplinäre Bewertung wird folgende strukturierte Vorgangsweise vorgeschlagen:

#### **1. Erarbeiten von grundlegenden Informationen**

##### **Information für Teilnehmer der Bewertung**

Durch eine TA-Institution werden folgende Informationen als Grundlage für eine Bewertung erarbeitet:

- Beschreibung des Problemfeldes
- Beschreibung der Technologie
- Kritische Fragen und wichtige Auswirkungen

Methoden: Literaturrecherche, Dokumentenanalyse, Befragung von Experten

*Fallbeispiel biologisch abbaubare Polymere: Dieser Schritt wurde im Rahmen des Projektes bereits bearbeitet siehe auch Kap. 4, 5 und Anhang I*

## 2. Einrichtung von Arbeitsgruppen

Einrichtung von drei bis vier interdisziplinären Arbeitsgruppen mit 5 bis max. 10 Teilnehmern. Teilnehmer können sein: Experten aus den Bereichen Technik, Ökologie, Ökonomie und Sozialwissenschaften, Policy-Experten, Interessensvertreter, verschiedene Unternehmer, Betroffene, Konsumenten (Laien)<sup>11</sup>; und weitere nach Maßgabe des Problemfeldes.

**Teilnehmer aus allen betroffenen Bereichen**

Arbeitsgruppen müssen gleiche Zusammensetzung aus Vertretern aller beteiligten Gruppen haben. Die genaue Zusammensetzung der Gruppen kann erst nach der Spezifikation der Fragestellung festgelegt werden.

Die Beteiligung aller betroffenen Akteure wird hier vorgeschlagen, um breit gestreute gesellschaftliche Interessen zu berücksichtigen, qualitative Informationen (z. B. Image, Lebensqualität oder intakte Landwirtschaft) umfassender definieren bzw. die Umsetzbarkeit von Handlungsvorschlägen besser abschätzen zu können und eine einseitige Bewertung zu vermeiden. Die Beteiligung von Konsumenten spielt eine entscheidende Rolle zur Vervollständigung des Bildes der Produktanwendung und Entsorgung und auch sozialer Auswirkungen.

Durch die parallele Arbeit von mehreren Gruppen mit gleicher Kombination kann die Pluralität der Wertvorstellungen deutlicher erkannt werden.

*Fallbeispiel biologisch abbaubare Polymere: Experten aus Technik (Verfahrenstechnik, Anlagentechnik, Kunststofftechnik), Ökonomie (Volkswirtschaft, Betriebswirtschaft), Ökologie, Sozialwissenschaften; Vertreter von Ministerien (Technologie, Innovation, Landwirtschaft, Umwelt, Wirtschaft), Interessensvertreter (Arbeitnehmer, Umwelt, Landwirtschaft), Unternehmer (Handel, Lebensmittelindustrie/biogene Abfälle, Landwirtschaft), Konsumenten (städtischer und ländlicher Bereich).*

## 3. Arbeit in Kleingruppen

In einem ersten Schritt muss eine klare, möglichst umfassende, aber kurze Information der Teilnehmer erfolgen. Grundlage dieser Information sind die Ergebnisse aus Schritt 1.

**Einflussfaktoren, Zusammenhänge und Wertvorstellungen**

Es soll ein Bild von Einflussfaktoren und Zusammenhängen zwischen verschiedenen Technologiebereichen erarbeitet werden. Auch die Diskussion kritischer Parameter, die die Entwicklung stark beeinflussen sowie der Wertmaßstäbe für die Bewertung muss hier stattfinden. Auf Basis dieser Ergebnisse können Teil-szenarien für die Entwicklung und Anwendung von Technologien erstellt und Handlungsvorschläge formuliert werden.

Die Arbeit in Kleingruppen ermöglicht intensive Diskussionen zwischen den Teilnehmern und bessere Klärung der Standpunkte. Diese Diskussionen können die Darstellung eines umfassenden Bildes der Zusammenhänge in den Bereichen der untersuchten Technologie fördern. Als Unterstützung kann hier die Erstellung von Einfluss/Wirkungs-Matrizen herangezogen werden.<sup>12</sup>

Weitere wichtige Punkte sind ein straffer Zeitplan und eine effiziente Moderation.

<sup>11</sup> „Bedenken, Laien könnten sich wohl kaum in kurzer Zeit, wenn überhaupt, in komplexen wissenschaftlichen, ökonomischen, ökologischen oder politischen Problemstellungen sachkundig und urteilsfähig machen, kann zunächst entgegengehalten werden, dass die von Bürgern zu treffenden Entscheidungen in ihr Alltagsleben hineinreichen und sie daher auch relevantes Sachwissen aus ihrem täglichen Erfahrungsbereich mitbringen.“ (Müller 1996)

<sup>12</sup> siehe auch Anhang I

*Fallbeispiel biologisch abbaubare Polymere: Vorstellbare Fragestellungen sind unter anderem: Einfluss der Nachfrage seitens der Konsumenten auf die soziale Situation im ländlichen Lebensraum; Auswirkung verstärkter Rohstoffnachfrage auf angewandte Anbaumethoden; Zusammenhänge zwischen forciertem Marketing für Produkte, Akzeptanz und Technologieentwicklung; Auswirkungen von Verbesserungen der Arbeitsplatzsituation im Bereich Entsorgung entlang des Produktlebenszyklus; u.v.m.*

#### **4. Arbeit im Plenum**

##### **Formulierung von Handlungsbedarf**

Die in den Kleingruppen entwickelten Teilszenarien und Wertmassstäbe müssen in einem Plenum (Zusammenführung der Kleingruppen) verglichen werden. Die vorgestellten Ergebnisse werden hier nochmals hinterfragt und diskutiert. Das Ziel ist die Formulierung allfälligen Handlungsbedarfs für die Entwicklung und Anwendung der untersuchten Technologien.

Auch hier sind ein straffer Zeitplan und effiziente Moderation von größter Wichtigkeit. Die Dokumentation der Ergebnisse erfolgt durch die TA-Institution.

*Fallbeispiel biologisch abbaubare Polymere: Da die Ergebnisse der Kleingruppenarbeit nicht vorhersehbar sind, können hier keine relevanten Beispiele genannt werden.*

#### **5. Erarbeitung von Handlungsvorschlägen**

##### **Reflexion der Handlungsvorschläge im Plenum**

Der Bericht über Handlungsvorschläge für die Entwicklung und Anwendung von Technologien erfolgt auf Basis der Ergebnisse der Bewertung und anhand des formulierten Handlungsbedarfs und allfälliger Lösungsansätze. Dieser Teil der Arbeit wird durch TA-Institutionen durchgeführt. Abschließend müssen die entwickelten Handlungsvorschläge den Teilnehmern im Plenum zur Reflexion vorgelegt werden.

*Fallbeispiel biologisch abbaubare Polymere: Da die Ergebnisse der Kleingruppenarbeit nicht vorhersehbar sind, können hier keine relevanten Beispiele genannt werden.*

Die hier vorgeschlagenen Arbeitsweisen sind partizipativen Methoden (vgl. Peissl 2001; Beckmann et al. 1999) entlehnt und berücksichtigen auch wichtige Prinzipien der qualitativen Sozialforschung (Hintermayer 1994).

Diese Vorgangsweise stellt den organisatorischen Verlauf des Bewertungsprozesses dar und beschreibt die groben Ziele einzelner Schritte. Diese Schritte und die Zusammensetzung der Gruppen können und müssen nach Maßgabe des jeweiligen Untersuchungsgegenstandes modifiziert werden.

Der Bewertungsprozess kann zwischen acht und zwölf Monaten dauern. Dieser Zeitrahmen und die Aufgaben der einzelnen Teilnehmer müssen zu Beginn klar festgelegt werden.

## 7 Erkenntnisse

Die Ergebnisse der Fallstudie über biologisch abbaubare Polymere geben Hinweise auf wichtige Kriterien für die Entwicklung von Bewertungsmethoden für komplexe, noch nicht etablierte Technologien. Der Stellenwert einer frühzeitigen Bewertung dieser Technologien ergibt sich aus der Möglichkeit zur Begleitung der Entwicklung und, eventuell, auch einer Steuerung in Richtung ökonomisch-ökologisch-sozialer Ausgewogenheit und damit auch in Richtung Nachhaltigkeit.

### **Fallbeispiel „Biologisch abbaubare Polymere“**

Die Literaturrecherche zeigte, dass zu Anfang des Jahrzehnts noch hauptsächlich das Anwachsen der Müllberge und die damit einhergehenden Probleme der Ausgangspunkt für die Entwicklung neuer Materialien waren (Bockseman 1994; Buchner et al. 1990). Im Laufe der Zeit haben andere Motivationen, wie die Begrenztheit der fossilen Rohstoffe und auch ihr Treibhauspotential an Bedeutung gewonnen (Forschungsforum BMWF o.J.-b; Eggesdorfer et al. 1992). In diesem Zusammenhang sind auch die Überschusssituation in der Landwirtschaft und die Suche des Sektors nach neuen Absatzmärkten zu nennen. Aber auch bei den Konsumenten hat das Bewusstsein für Umweltbelastungen und ihre Folgen für die Gesundheit Bedenken gegen vollsynthetische Stoffe entstehen lassen (Eggesdorfer et al. 1992).

Im Laufe der Analyse der Rechercheergebnisse wurden einige Werkstoffe ausgewählt, die für Österreich Relevanz haben. Es wurden ZELFO, Poly Lactacid (PLA) und Polyhydroxyalkonate (PHAs) beschrieben.<sup>13</sup>

An Entwicklung und Einsatz biologisch abbaubarer Polymere sind u. a. Landwirtschaft, chemische- und Kunststoffindustrie, Entsorgungsunternehmer, Unternehmer, die nachwachsende Rohstoffe verarbeiten, Konsumenten und Anwender der Technologie beteiligt. Dabei haben verschiedene Anwender unterschiedliche Erwartungen an biologisch abbaubarer Polymere. Zum Beispiel sind im Bereich der Medizin die Verträglichkeit eines Stoffes im Körper und sein kontrollierter Abbau wichtig, während in der Verpackungsindustrie Wasserdurchlässigkeit, Schmelzverhalten, Kosten und Verwertungsmöglichkeit im Zentrum stehen. Für die Produktion von Gehäusen für elektrische Geräte wiederum sind UV-Beständigkeit, Oxidationsverhalten, elektrische Eigenschaften und Abfallverwertung relevant.

In einer exemplarischen Expertenbefragung wurden folgende Faktoren als wichtig charakterisiert:

Im Bereich der Rohstoffe erschienen neben einer notwendigen Effizienzsteigerung der Verfahren und dem geringen Wissen über Rohstoffeigenschaften auch eine mögliche Abhängigkeit von Grünen Bioraffinerien als hemmende Größen. Auch die Flächenproblematik in Bezug auf Rohstoffanbau wurde mehrmals genannt.

Technische Defizite fanden sich im Bereich der Additive und Kaskadennutzung. Die Abhängigkeit von Rohölpreisen, sowie die Beurteilung nach rein ökonomischen Gesichtspunkten waren ebenfalls wichtige Punkte. Auch die gegenwärtige Produktphilosophie wurde als wichtiges Hemmnis gesehen.

**veränderte Beweggründe  
und Ziele zur  
Technologieentwicklung**

**große Zahl  
unterschiedlichster  
Akteure**

**Forschungsbedarf und  
technische Defizite**

---

<sup>13</sup> genauere Technologiebeschreibungen siehe Anhang I

**Koordination  
gesetzlicher und  
technologischer  
Entwicklung**

Für die Anwendung der Werkstoffe sahen die Experten im Mangel an geeigneten Normen und Regeln, sowie Marketingstrategien und Information der Anwender, Probleme für die Durchsetzung der Technologie. Vor allem wurde die Notwendigkeit zur Koordination zwischen Vorschriften mit technischen und organisatorischen bzw. logistischen Veränderungen betont, um Akzeptanz und Durchsetzung von Produkten zu erhöhen. In diesem Zusammenhang ist auch der „Grüne Punkt“ als misslungene Regelung zu nennen, da es hier durch eine Verpackungsverordnung innerhalb kurzer Zeit zur Sammlung gewaltiger Mengen von Kunststoffabfällen kam, deren ordnungsgemäße Verwertung kaum möglich war (BIFA 2001).

Hingegen kann ein derzeit in Kassel laufender Versuch, bei dem Produktion, Marketing und Entsorgungsschritte in einem Modellversuch koordiniert werden, als positives Beispiel genannt werden.<sup>14</sup>

Bei den Auswirkungen wurden folgende Aussagen als wichtig eingestuft:

Flächenkompensation und ökologische Probleme durch den Einsatz von Gentechnologie, Intensivierung der Landwirtschaft und Gefahr durch mangelnde oder fehlende Substitution von Prozesschemikalien.

Im Rahmen der Befragung gaben die Experten viele qualitative Informationen in Form von Kommentaren. Dabei konnten einige zusätzliche Erkenntnisse über soziale Rahmenbedingungen für die Landwirtschaft, soziale Staffelung der Förderungen, Konzepte für Logistik und Transport, ökonomische Anreize, Image usw. gewonnen werden. Kommentare spielen darüber hinaus eine entscheidende Rolle bei der Überprüfung von Ergebnissen und Ausräumung von Fehlinterpretationen.

**Kommentare spielen  
wichtige Rolle**

### **Anforderungen an eine Bewertungsmethode**

Die Ergebnisse von Literaturrecherche und exemplarischer Befragung zeigen, dass die Bewertung der Auswirkungen komplexer Technologie mit einigen Herausforderungen verbunden ist:

- große Vielfalt an Rohstoffen, Produktionsmethoden, Anwendungsmöglichkeiten und Entsorgungswegen
- komplexe Zusammenhänge zwischen Rohstoffbereitstellung, Produktion, Anwendung und Entsorgung
- ein breites Akteursspektrum mit unterschiedlichen Interessen, Erwartungen und Motivationen
- mögliche Missverständnisse bei der Ermittlung der Erwartungen von Akteuren aufgrund unterschiedlicher Terminologien
- viele qualitative (nicht quantifizierbare) Informationen.

Die Anwendung klassischer Methoden der Technikfolgenabschätzung, wie Brainstorming, Dokumentenanalyse und Expertenbefragung stoßen hier an ihre Grenzen, besonders wenn es darum geht, notwendige Informationen in den Be-

<sup>14</sup> „Ab April wird jetzt in einem 10-monatigen Städtetest die Praxistauglichkeit biologisch abbaubarer Werkstoffe (BAW) untersucht. Im Mittelpunkt steht dabei der Verbraucher: Sieht er in den neuen kompostierbaren High-Tech-Verpackungen mit einem möglichst hohen Anteil an nachwachsenden Rohstoffen einen Nutzen und sortiert er sie nach Gebrauch in die städtische Biotonne? Die knapp 100.000 Haushalte (200.000 Einwohner) in der Stadt Kassel können ab Ende April 2001 die ersten Produkte in BAW-Verpackungen kaufen. Die gebrauchten Verpackungen sollen in die Biotonne sortiert werden, die es in Kassel seit 1994 gibt. Im Rahmen des Projektes wird das Sortierverhalten der Verbraucher bis Anfang 2002 untersucht ...“

<http://www.der-sechste-sinn-in-kassel.de/Presseinfo-3.html>

reichen Anwendung und Entsorgung oder auch Auswirkungen im Alltag zu erhalten. Auch die Entwicklung von Wertmaßstäben, die im Rahmen eines Bewertungsverfahrens angelegt werden, sollte einem breiten Konsens unter Beteiligung verschiedener Betroffener entspringen. Eine ökologisch, ökonomisch und sozial ausgewogene Strategie zur Entwicklung und Anwendung von komplexen Technologien setzt umfassende Diskussionen zwischen allen beteiligten Akteuren über ihre verschiedenen Vorstellungen von Chancen und Risiken sowie Anforderungen an die Technologien und Produkte voraus.

Dazu müssen die angeführten Methoden aus den Bereichen klassische und konstruktive TA durch diskursive TA (z. B. Partizipation) ergänzt werden. Durch intensive Diskussionsprozesse zwischen verschiedenen Experten und auch Experten und Laien, kann ein vollständigeres Bild von Entwicklung und Anwendung der Technologie gezeichnet, und die Konsensbildung über geeignete Wertmaßstäbe unterstützt werden. Weiters können breitgestreute gesellschaftliche Interessen und qualitative Informationen Eingang in den Bewertungsprozess finden und eine einseitige Bewertung verhindern, sowie die Abschätzung der Umsetzbarkeit von Handlungsvorschlägen unterstützen.

Dabei müssen zwei wichtige Grundsätze beachtet werden:

1. interdisziplinäre Bewertung mit Beteiligung von unterschiedlichen Akteuren entlang des Produktlebenszyklus
2. interaktive Zusammenarbeit der Beteiligten.

#### **ad 1**

Die Mitarbeit von Experten verschiedenster Fachrichtungen und eventuell auch Laien kann die umfassende Darstellung von Problemfeldern unterstützen.

#### **ad 2**

Kreative Gruppenprozesse können die Informationsbasis erweitern und die Abschwächung von Konflikten oder auch die Konsensbildung unterstützen.

Dabei sind folgende Strategien zu befolgen:

- a. klare und nachvollziehbare Definition von Einflussfaktoren im Rahmen einer strukturierten Erhebungsmethode
- b. rekursive Vorgangsweise.

#### **ad a**

Um Missverständnisse bei Diskussionen und Befragungen von Akteuren aus unterschiedlichen Bereichen zu vermeiden, müssen Formulierung und Darstellungsform der Fragen und Informationen begrifflich exakt gewählt werden. Dazu ist u. a. eine strukturierte Vorgangsweise bei der Definition von Einflussfaktoren notwendig.

**begrifflich exakte  
Informationen**

#### **ad b**

Bei einer rekursiven Vorgangsweise werden verschiedene Schritte des Prozesses (wie Informationserhebung, Charakterisierung der Daten und Bewertung) bei Bedarf wiederholt. Dadurch können neue Informationen und Erfahrungen jederzeit integriert werden. Eine rekursive Vorgangsweise bietet den Teilnehmern in interdisziplinären Teams Möglichkeiten zur Entwicklung einer gemeinsamen Sprache und eines gemeinsamen Verständnisses des Gegenstandes.

**rekursive Vorgangsweise  
unterstützt  
interdisziplinäre  
Diskussionen**

**Ergänzung klassischer TA  
durch Partizipation**

### **Vorschlag für eine Vorgangsweise**

In Kapitel 6.4 wurde eine Vorgangsweise für eine Bewertung vorgeschlagen, die Elementen und Instrumenten partizipativer TA entlehnt ist. Diese Vorgangsweise kann unter anderem der Bewertung von

- umfassenden Verfahren (z. B. Ganzpflanzennutzung oder grüne Bioraffinerie),
- Werkstoffen (z. B. Zellulosefasern oder PLA) und
- Produktgruppen (z. B. Verpackungen oder Faser) dienen.

Die vorgeschlagene Vorgangsweise in Kapitel 6.4 beinhaltet folgende Schritte:

**strukturierte  
Vorgangsweise für  
interdisziplinäre  
Bewertung**

1. Erarbeitung von grundlegendem Wissen über Technologiebeschreibung, Problemfeld und kritische Auswirkungen bzw. wichtige Fragen (durch TA-Institutionen) mit dem Ziel Informationsmaterial für die Teilnehmer des Bewertungsprozesses zusammenzustellen.
2. Errichtung von drei bis vier interdisziplinären Arbeitsgruppen nach Maßgabe des behandelten Problemfeldes mit dem Ziel, durch die Besetzung der Teams möglichst alle betroffenen Bereich abzudecken.
3. Kleingruppenarbeit zur Entwicklung von (Teil)Szenarien und Wertmassstäben für eine Bewertung.
4. Plenumsarbeit zum Vergleich der Ergebnisse der Kleingruppen und Formulierung allfälligen Handlungsbedarfs und erster Lösungsansätze.
5. Entwicklung von Handlungsvorschlägen durch TA-Institutionen auf Basis der Ergebnisse der vorhergehenden Schritte. Der abschließende Schritt muss eine Reflexion durch Plenumsteilnehmer sein.

**verbleibender  
Forschungsbedarf**

Dieses Schema zeigt den organisatorischen Ablauf des Bewertungsprozesses und die Ziele einzelner Schritte. Diese Schritte müssen nach der Festlegung des jeweiligen Untersuchungsgegenstandes inhaltlich durch geeignete Methoden erweitert werden. Um die Vorgangsweise abzusichern ist es notwendig, sie anhand von Fallbeispielen zu modifizieren. Das Beispiel „Biologisch abbaubare Polymere“ bietet sich hier an, da im Rahmen des vorliegenden Projektes bereits grundlegende Informationen zur Technologie erarbeitet wurde. Aber auch andere Themen, zum Beispiel aus dem Bereich der nachwachsenden Rohstoffe sind hier vorstellbar.

## 8 Literatur

- ANASTAS, P. T., WARNER, J. (1998): Green Chemistry, Theory and Practice, New York: Oxford University Press.
- ANDERSEN, M., KIEL, P. (2000): Integrated utilisation of green biorefinery, Industrial Crops & Products II(2–3), 129–137.
- BECKMANN, J., KECK, G. (1999): Beteiligungsverfahren in Theorie und Anwendung: Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg.
- BIFA (2001): Entwicklung des grünen Punkts, Waste Magazin, 25.
- BOCKSEMAN, R. (1994): Designing Packaging for the Environment Flexo Magazine, <http://www.corporateconsultants.net/envpack.html>.
- BUCHNER, M., HÄNGGI, U. J., DRACH, H. (1990): Biologisch abbaubare Kunststoffe, Biotechnologie.
- BYROM, D. (1991): Nevel Materials from Biological Sources, USA: Stockton Press.
- EGGESDORFER, M., et al. (1992): Nachwachsende Rohstoffe, Perspektiven für die Chemie, Weinheim: VHC VerlagsgesmbH.
- FIALHO, A., et al. (1999): Structures and Properties of Gellan Polymers Produced by *Shinomonas paucimobilis* ATCC31461 from Lactose Compared with Those Produced from Glucose and from cheese Whey Applied and Environmental Microbiology, June(2.485–2.491).
- Forschungsforum BMWF, Ecodesign-“Environmentally Conscious Product Development“ o.J.-a  
<http://www.bmwf.gv.at/6extern/Forschungsforum/d/eoentw.htm>.
- Forschungsforum BMWF, Nachwachsende Rohstoffe und sanfte Chemie o. J.-b  
<http://www.bmwf.gv.at/6extern/forschungsforum/d/rohpers.htm>.
- GETHMANN, C., GRUNWALD, A. (1996): Technikfolgenabschätzung: Konzeptionen im Überblick, Bad Neuenahr-Ahrweiler: Europäische Akademie zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technische Entwicklungen Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH.
- HARTMANN, M. H. (1998): High Molecular weight polylactic Acid polymers, in: D. L. Kaplan (ed.): Biopolymers from Renewable Resources, Berlin: Springer Verlag.
- HENNEN, L. (1999): Partizipation und Technikfolgenabschätzung, in: S. Bröchler, G. Simonis, K. Sundermann (eds): Handbuch Technikfolgenabschätzung, Berlin: Rainer Bohn Verlag.
- HEULER, S. (1997): Was sind nachwachsende Rohstoffe? Biozentrum Uni Würzburg, <http://wbtd15.biozentrum.univwuerzburg.de/Projekte/Biotech/Umwelt/Rohstoff.../WassinIIHT>.
- HINTERMAYER, S. (1994): Qualitative und Quantitative Sozialforschung, in: A. Q. Sozialforschung (ed.): Verführung zum Qualitativen Forschen, Eine Methodenwahl, Wien: WUV-Universitätsverlag.
- HOCKING, P. J., MARCHESSAULT, R. H. (1998): Polyhydroxyalkonates, in: Kaplan, D. L. (Hg.): Biopolymers from Renewable Resources, Berlin: Springer Verlag.

- KERN, M. (1993): Nachwachsende und bioabbaubare Materialien im Verpackungsbereich, München: Verlag Roman Kovar.
- LANG, R. W. (1999): Kunststoff aus Holz, Austria Innovativ (2/1999).
- MÜLLER, A., TULICKAS, E., WIENHÖFER, E. (1996): Vorläufige Bewertung des Verfahrens „Bürgerforum“, in: W. E. (ed.): Bürgerforen als Verfahren der Technikbewertung, Stuttgart: Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg.
- PEISSEL, W. (2001): Technikfolgen-Abschätzung, Lehrveranstaltung im FH-Lehrgang „industrielle Elektronik“ in FH Joanneum, Kapfenberg.
- ROPOHL, G. (1997): Methoden der Technikbewertung, in: v. Westphalen (ed.): Technikfolgenabschätzung als politische Aufgabe, München: R. Oldenbourg Verlag.
- VESTER, F. (2000): Die Kunst vernetzt zu denken, Stuttgart: DVA.

# Anhang

## Inhalt

Anhang I: Technologiebeschreibung und Identifizierung von Hemmnissen und möglichen Folgen (Beispiel „biologisch abbaubare Polymere“)	31
Literaturrecherche	31
Statistik	32
Einige Begriffserklärungen	32
ZELFO	33
PLA (Polylactic Acid)	35
PHA (Poly Hydroxyalkonate) (Hocking et al, 1998)	38
Thesen über Hemmnisse und Auswirkungen	42
Experten-Interviews	49
I. Beweggründe	49
II. Bewertung der Thesen	50
III. Kommentare	53
Eine Hilfsmethode für die Bewertung	54
Kurze Beschreibung relevanter Teile der Methode	54
Anhang II: Liste der untersuchten Literatur und Referenzen für biologisch abbaubare Polymere	57

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung A1-1: Motivationen für Entwicklung und Einsatz biologisch abbaubare Polymere .....	49
Tabelle A1-1: Statistik der ausgewählten und bearbeiteten Literatur .....	32
Tabelle A1-2: Thesen über Hemmnisse, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Verringerung des Abfallvolumens (n = 2) .....	42
Tabelle A1-3: Thesen über Auswirkungen, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Verringerung des Abfallvolumens (n = 2) .....	43
Tabelle A1-4: Thesen über Hemmnisse, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Suche nach neuen Märkten (n = 2) .....	43
Tabelle A1-5: Thesen über Auswirkungen, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Suche nach neuen Märkten (n = 2) .....	44
Tabelle A1-6: Thesen über Auswirkungen, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Suche nach neuen Märkten für landwirtschaftliche Produkte (n = 2) .....	44
Tabelle A1-7: Thesen über Hemmnisse, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Ressourcenschonung (n = 4) .....	44
Tabelle A1-8: Thesen über Auswirkungen, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Ressourcenschonung (n = 5) .....	45
Tabelle A1-9: Thesen über Hemmnisse, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Ressourcenschonung – Substitution fossiler Rohstoffe (n = 4) .....	45
Tabelle A1-10: Thesen über Auswirkungen, die mindestens einmal als „sehr wichtig bewertet wurden; Beweggrund: Ressourcenschonung – Substitution fossiler Rohstoffe (n = 3) .....	45
Tabelle A1-11: Thesen über Hemmnisse, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Ressourcenschonung – Nebenprodukte aus Biomasseraffinerie zu Energieversorgung (n = 5) .....	46
Tabelle A1-12: Thesen über Auswirkungen, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Ressourcenschonung – Nebenprodukte aus Biomasseraffinerie zu Energieversorgung (n = 3) .....	46
Tabelle A1-13: Thesen über Hemmnisse, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Substitution schädlicher Stoffe für die Menschen und ihren natürlichen Lebensraum (n = 2) .....	46
Tabelle A1-14: Thesen über Auswirkungen, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Substitution schädlicher Stoffe für die Menschen und ihren natürlichen Lebensraum (n = 2) .....	47
Tabelle A1-15: Thesen über Hemmnisse, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Spezielle der Produkte, Innovationen nach Nachfrage (n = 2) .....	47
Tabelle A1-16: Thesen über Auswirkungen, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Spezielle der Produkte, Innovationen nach Nachfrage (n = 2) .....	47
Tabelle A1-17: Thesen über Hemmnisse, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden; Beweggrund: Kreislaufschließung (n = 3) .....	48
Tabelle A1-18: Thesen über Auswirkungen, die mindestens einmal als „sehr wichtig bewertet wurden; Beweggrund: Kreislaufschließung (n = 3) .....	48
Tabelle A1-19: Verschiedene Motivationskategorien aus der Literatur für die Entwicklung biologisch abbaubarer Polymere .....	50
Tabelle A1-20: Hemmnisse, die am häufigsten als „wichtig“ oder „sehr wichtig“ bewertet wurden .....	51
Tabelle A1-21: Auswirkungen, die am häufigsten als „wichtig“ oder „sehr wichtig“ bewertet wurden .....	52
Tabelle A1-22: Ein Beispiel für die Strukturierte Erhebung der Variablen .....	54

# Anhang I

## Technologiebeschreibung und Identifizierung von Hemmnissen und möglichen Folgen (Beispiel „biologisch abbaubare Polymere“)

### Literaturrecherche

Es wurden drei verschiedene Wege zur Beschaffung von Unterlagen gewählt

- Recherche in den Online Datenbanken verschiedener Bibliotheken
- Recherche in den lokalen Datenbanken der Bibliotheken.

*Beispiele:*

TU-Bibliothek – CD-ROM Suche

- Agriculture, Biology and Environmental Sciences
- Life Sciences
- Ei-Compendex 90, 91, 98, 99, 99–2000
- Verfahrenstechnische Berichte
- Dissertationen

Fachbibliothek Chemie an TU-Wien

- Stichwortsuche bei entlehnbaren Büchern
- Stichwortsuche bei Fachzeitschriften

- Internetrecherche über Metadatenbanken.

Die Suche erfolgte auf allen drei Wegen über folgende Stichworte:

biopolymer/s/e,	oil crops,
natürliche Polymere,	pflanzliche Öle,
natural polymers,	spezielle Stoffe wie Lignin,
bioabbaubare Polymere,	Naturfarben,
biodegradable polymers,	natural paints,
Abbaubarkeit,	ecodesign,
biodegradable/ility,	sanfte Chemie,
renewable resources,	green chemistry,
nachwachsende/erneuerbare Rohstoffe,	polylactide/s,
green biorefinery,	lactic acid,
Naturfaser,	Milchsäure,
natural fibres,	Chitin,
natural additives,	Chitosan,
polysaccharide/s.	

Stärke oder Cellulose haben teilweise über 1.000 Treffer.

Eine Aufstellung der Referenzen befindet sich im Anhang II.

Eine Liste von Firmen, die biologisch abbaubare Polymere herstellen, ist in der Datenbank von ICS (International Centre for Science and High Technology)<sup>15</sup> zu finden.

---

<sup>15</sup> ICS ist ein internationales Technologiezentrum und ein Teil von „UNIDO’s Industrial Technology Promotion Network. URL für High Technology & New Materials: <http://www.ics.trieste.it/webservices/databases/techDB/sectDB.idc>

## Statistik

Tabelle A1-1: Statistik der ausgewählten und bearbeiteten Literatur

Medium	ausgewählt nach Titel oder abstract	bearbeitet
Bücher	52	19
Papers	77	48
Internet	40	40
Tagungsberichte	22	18
Diplomarbeit/Dissertation	6	2

## Einige Begriffserklärungen

### Nachwachsende Rohstoffe

Zur Bereitstellung nachwachsender Rohstoffe können sowohl speziell für den Nicht-Nahrungsbereich angebaute Pflanzen, als auch Reste und Abfallprodukte aus pflanzlicher und tierischer Produktion, sowie organische Industrieabfälle (z. B. Trester, Melasse) dienen. Im pflanzlichen Bereich unterscheidet man Energie- und Industriepflanzen (Heuler 1997).

### Biologischer Abbau

Unter dem Begriff „biologischer Abbau“ versteht man das Zusammenbrechen der physikalischen und chemischen Struktur im Polymer als Folge des Einwirkens von Enzymen lebender Organismen wie Bakterien und Pilzen. Das Polymer wird entweder in Fragmente gespalten (Zerbröseln) oder zu CO<sub>2</sub> metabolisiert (echter Abbau) (Buchner et al. 1990).

Bei einzelnen Stoffen muss diesem Vorgang eine Hydrolyse vorausgehen, um den enzymatischen Abbau zu ermöglichen.

### Sanfte Chemie

Prinzipien der sanften Chemie:

Verhüten statt beseitigen (Vorsorge statt Sanierung), weitgehende Vermeidung von Substanzen, die giftig für Mensch oder Umwelt sind, Maximierung der Einarbeitung aller Materialien des Prozesses in das Endprodukt, weitgehende Vermeidung von Hilfssubstanzen, Minimierung des Energieeinsatzes, Arbeit möglichst bei Umgebungstemperatur und -druck, wenn technisch und wirtschaftlich machbar, Verwendung erneuerbarer Rohstoffe, Vermeidung von unnötiger Derivatisierung,<sup>16</sup> Bevorzugung von Katalysatoren gegenüber stöchiometrischen Reagenzien,<sup>17</sup> *Produkte sollen nach Gebrauch nicht in der Umwelt verbleiben, sondern in Abbauprodukte zerfallen*, Verwendung der Substanzen im Prozess dergestalt, dass keine Unfälle möglich sind (Anastas et al. 1998).

<sup>16</sup> Ein Eingriff in der Molekularstruktur

<sup>17</sup> Katalysatoren können leichter als chemisch gebundene Reagenzien rückgewonnen werden.

## Ökodesign

Das Ziel sollte sein: eine Produktion die – unter Rücksichtnahme auf traditionelle ökonomische Prinzipien – den höchstmöglichen Nutzen über eine möglichst lange Zeitspanne mit dem geringst möglichen Einsatz von Rohstoffen und Energie herstellt. Neben einer Lebenszyklusbetrachtung ist auch die Betrachtung von Produktphilosophie, soziokulturellen und ökonomischen Umständen wichtig (Forschungsforum BMWF).

## (Bio)Polymer

Die Definition des Wortes Polymer ist noch einfach: man versteht darunter ein langkettiges Molekül aus sich stetig wiederholenden einfachen Molekülen. Der Begriff Biopolymer wird in der Literatur in verschiedenen Bedeutungen verwendet: für biologische Abbaubarkeit unabhängig von den Ausgangsstoffen des Polymers, für seine Herstellung aus biogenen Rohstoffen, für eine naturidentische Molekülstruktur unabhängig vom Ausgangsmaterial und für Polymere die in der Natur vorkommen. In dieser Arbeit werden mit dem Wort Biopolymer ausschließlich Polymere bezeichnet, die aus biogenen Rohstoffen (Lignin, Zellstoff, Milchsäure, Stärke u. ä.) hergestellt wurden.

## ZELFO

„Zelfo ist ein aus den Rohstoffen Holz, Hanf, Flachs, Stroh oder kurzen Altpapierfasern hergestellter Faserwerkstoff. Das Material ist spritzwasser- und für kurze Zeit auch feuchtigkeitsbeständig. Bei der Möglichkeit von Dauerfeuchtigkeit kann das Material nicht eingesetzt werden. Zelfo hat günstige akustische Eigenschaften und ist deshalb zur Herstellung von Platten, Isolierungen, Möbeln, Telefongehäusen, Autoinnenverschalungen, Lautsprecherboxen und ähnlichem zu verwenden. Das Material ist bindemittelfrei und kann in variabler Dichte hergestellt werden. Die Frage des Recyclings ist noch zu klären.“ (Lang 1999)

Für die erste Entwicklungsphase von ZELFO wurde 1992 die traditionelle Methode für Papiermache<sup>18</sup> verwendet. 1992 wurde die Zellform Gesellschaft mbH gegründet, mit dem Auftrag eine ökologische Kofferkollektion zu fertigen. 1993 wurde ein sogenannter Bürobotler mit dem österreichischen ECO-Design-Preis ausgezeichnet. Außerdem konnte ZELFO einen Spezialpreis und die Goldmedaille bei den 42<sup>nd</sup>. World Exhibition of Invention, Research and Industrial Innovation erhalten.

Eine wirtschaftlich und technisch überlegene Verarbeitungsmethode konnte 1994 konzipiert und 1998 patentiert werden. Dabei werden durch die Veränderung der Anordnung der Zellulosefasern ihre Vernetzungseigenschaften erhöht, ohne eine Veränderung ihrer chemischen Struktur zu bewirken.

„Durch anhaltendes Mahlen und Zerkleinern der Zellulosefaser oder zellulosehaltigen Faser im Refiner entsteht ein formbarer Microfaserbrei verschiedenster Faserlängen, der die Eigenschaft besitzt, ohne Zugabe von Klebstoffen oder chemischen Hilfsmitteln und ohne Anwendung von Druck, nur durch Trocknung und der damit verbundenen Schrumpfung, zu einem ökologischen, nachverformbaren Faserwerkstoff hoher Dichte (bis zu einem spezifischen Gewicht von 1,5) und Festigkeit auszuhärten. Der Werkstoff

---

<sup>18</sup> Eine durch Aufweichen von Altpapier und unter Zugabe von Leim sowie Gips oder Ton erhaltene plastische Masse zur Herstellung geformter Gegenstände.

lässt sich vor Beendigung der Trocknung oder aber, nach Trocknung und erneuter Befeuchtung, auch nachverformen. So können trockene Platten, bzw. Formrohlinge mehrere Stunden bis Tage (abhängig von der Dicke und der erwünschten Größe der Verformung) in einer Klimakammer mit wasserdampfgesättigter Luft – eventuell auch durch direktes Wasserbad – wiederbefeuchtet werden. Der Werkstoff nimmt dabei Wasser auf und wird plastisch, biegsam und verformbar. Er lässt sich mit geeigneten Vorrichtungen formen, biegen, prägen, walzen, stanzen, etc.“<sup>19</sup>

Seit 1998 hat die Internorm Holding GmbH als strategischer Partner eine Beteiligung an Zellform. Derzeit wird an der Verbesserung der physikalischen Eigenschaften des Werkstoffes gearbeitet.

Das Durchsetzungspotential des Werkstoffes wird durch eine besondere Marketingstrategie unterstützt. Es handelt sich nicht um eine Massenfertigung sondern um ein individuelles Gestalten für bestimmte Kundenwünsche und Spezialanwendungen.

### **Rohstoffe und Rohstoffbereitstellung**

Für die Herstellung können alle Rohstoffe eingesetzt werden, die Zellulose in ausreichender Konzentration enthalten.<sup>20</sup> Dazu zählen eine große Anzahl von Pflanzen wie Schilf, Stroh, Flachs, Hanf, Miscanthus, Zuckerrohr, Sisal, Jute usw. Auch industrielle Abfälle wie Altpapier, Alttextilien, Brauereitrest, Altgeld, Spinnereistaub von der Hanf- und Flachsverarbeitung usw. können verarbeitet werden. Bei den pflanzlichen Rohstoffen können sowohl Ganzpflanzen als auch spezielle Fraktionen nach der Aufarbeitung (Spinnereistaub, Schäben, Kurzfasern...) verwendet werden.

### **Chemie/Herstellung**

Die Rohstoffe werden durch einen patentierten, rein mechanischen Mahlprozess so aufbereitet, daß sich beim Trocknen des Faserbreies intramolekulare Bindungen zwischen den einzelnen Zellulosefasern ausbilden können. Dadurch und wegen der zusätzlichen mechanischen Verhakung der Zellulosefasern ergeben sich die guten mechanischen Eigenschaften dieses Werkstoffes. Die Zerkleinerung der Rohstoffe erfolgt im wäßrigen Medium, wobei bei einer Stoffdichte von ca. 10 % die Fasern zwischen den Mahlplatten einer Rotor- und Statorscheibe sowohl gekürzt als auch gequetscht werden. Der gesamte Prozess ist verwandt mit der bekannten Papiertechnologie, in vielen Details bestehen jedoch große Unterschiede.

Zur Durchfärbung der Zelfo-Grundmasse werden ausschließlich natürliche Erdpigmente eingesetzt. Durch diese Beschränkung soll sichergestellt werden, dass die Produkte nach dem Gebrauch problemlos kompostiert werden können. Im Schnitt beträgt die Konzentration der Farbpigmente 1–3 Gewichtsprozent.

Als Additive kommen Silikate zur Brandhemmung, Grafit zur Erhöhung von Leit- und mechanischer Gleitfähigkeit und Pflanzenfasern zur Veränderung des spezifischen Gewichtes zum Einsatz.

---

<sup>19</sup> Patent: PROCESS FOR PRODUCING WORKPIECES AND MOLDED PIECES OUT OF CELLULOSE AND/OR CELLULOSE-CONTAINING FIBER MATERIAL  
Veröffentlichungsnummer: WO9811973 Veröffentlichungsdatum: 1998-03-26.

<sup>20</sup> Rohstoffe, die einen hohen Anteil an Zellulose haben.

## **Eigenschaften**

Da es sich beim Werkstoff Zelfo um einen bindemittelfreien Naturfaserwerkstoff handelt, nimmt er – bedingt durch die sehr polare Struktur der Zellulose – in Abhängigkeit von der Dichte mehr oder minder stark Wasser auf (die Gleichgewichtsfeuchte liegt bei ca. 10 %). Dadurch werden seine mechanischen Festigkeiten schlechter, sie erreichen aber bei einer Rücktrocknung wieder die ursprünglichen Werte. Für viele Anwendungszwecke ist diese Eigenschaft jedoch nicht erwünscht, sondern es wird eine bestimmte Wasserfestigkeit verlangt. Eine völlige Wasserresistenz wird jedoch nicht angestrebt, da dies beim jetzigen Stand des Wissens mit ökologisch verträglichen Zusatzstoffen nicht möglich ist, außerdem könnten diese Produkte nach dem Gebrauch nicht mehr problemlos entsorgt (kompostiert) werden. Ein unbehandelter Zelfo-Werkstoff aus Hanf (Dichte ca.  $0,45 \text{ g/cm}^3$ ) nimmt während einer zwölfstündigen Wasserlagerung ungefähr 250 % seiner Masse Wasser auf, der Zusatz von einigen Prozent einer Paraffindispersion reduziert die Wasseraufnahme auf 5 %. Aber auch spezielle Silikate, Harze und Wachse und auch Mineralien zeigen eine mehr oder minder gute Wirkung und können je nach Anforderung verwendet werden. Die Dichte kann stufenlos in einem Intervall von  $0,3 \text{ g/cm}^3$  und  $1,5 \text{ g/cm}^3$  eingestellt werden, die mechanischen Eigenschaften korrespondieren dabei sehr eng mit der Dichte.

Einige der wichtigsten Eigenschaften sind:

- Klebstoff- und Bindemittelfreiheit
- biologisch restlos abbaubar
- rein mechanisches Aufbereitungsverfahren
- wie Holz be- und verarbeitbar.

## **Mögliche Anwendungen**

- Musikinstrumente wie Gitarren, Percussion aber auch Lautsprecherboxen.
- Möbel (Sessel), Accessoires (Schalen und Schmuck)
- Bauelemente.

## **Entsorgung/Recycling**

Die Entsorgung erfolgt am besten über thermische Verwertung aber auch Deponierung ist möglich (ungiftig und grundwasserneutral). Recycling möglich aber hinsichtlich der Transportemissionen besteht Forschungsbedarf. ZELFO kann in feuchtem Zustand auch kompostiert werden.

## **PLA (Polylactic Acid)**

Die ersten PLA-Produkte wurden gegen 1962 für absorbierbares chirurgisches Nähmaterial in USA erzeugt.

Dieser Kunststoff wurde später auch aus anderen Beweggründen erzeugt, nämlich um biogene Abfälle wirtschaftlich zu verwerten. Bei der Käseerzeugung entstehende, große Mengen von Molke ließen die Milchindustrie nach Wegen suchen, dieses Abfallprodukt zu verwerten (Fialho et al. 1999). Auch die Pflanzensäfte von Alfalfa oder Gras wurden bisher auf Felder ausgebracht und verursachten dadurch Nitratprobleme im Grundwasser. Sie könnten durch Milchsäure Bakterien in ein stabiles, universelles Fermentationsmedium umgewan-

delt werden und auch zur Produktion von Aminosäuren, organischen Säuren, Enzymen usw. verwendet werden (Andersen et al. 2000).<sup>21</sup>

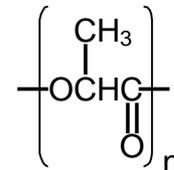
Es gibt zwei Ansätze für abbaubare Kunststoffe aus PLA:

- die Verbindung herkömmlicher Materialien mit PLA-Anteilen (blends)
- die Herstellung ausschließlich aus PLA.

Grundformel für PLA:

n: .... Polymerisationsgrad bzw.

Anzahl der Gruppe in einem Makromolekül



### **Rohstoffe und Rohstoffbereitstellung**

Milchsäure ist der Ausgangsstoff für PLA. Sie wurde erstmals 1780 in Schweden aus saurer Milch gewonnen. 1881 konnte die Produktion von Milchsäure kommerziell stattfinden. Die Anwendungsbereiche sind hauptsächlich im Lebensmittelbereich als Puffer, Konservierungsmittel und Säuregeschmack (Hartmann 1998).

Grundsätzlich ist jede Zuckerart als Rohstoff für Milchsäure möglich. Welche Kohlenwasserstoffe verwendet werden können, hängt von den Bakterienstämmen ab, die zum Einsatz kommen.

Generell können alle Zucker, die aus landwirtschaftlichen Nebenprodukten oder auch aus Abfällen der Lebensmittelindustrie stammen, verwendet werden:

- Glucose, Maltose, Dextrose aus Getreide oder Kartoffelstärke
- Saccharose aus Zuckerrohr oder -rübe
- Laktose aus Molke.

Es handelt sich also hierbei um jährlich nachwachsende Ressourcen. Der größte Teil der Weltproduktion wird fermentativ erzeugt. Bei den beteiligten Mikroorganismen handelt es sich um die Familie der Lactobazilli. Die Organismen benötigen Proteine und andere komplexe Nährstoffe wie B-Vitamine, Aminosäuren und Nukleotide, die durch Hefeextrakt, Baumwollsamemehl oder Sojamehl zugeführt werden können. Die benötigten Nährstoffe sind artspezifisch. Die Bakterienketten vermehren sich einige Zeit um die verfügbaren Nährstoffe, und beginnen dann erst zeitverzögert mit der Produktion (Hartmann 1998).

Probleme bei der Fermentation bestehen durch die Toxizität der Fermentations-säure in zu hohen Konzentrationen, welche das Wachstum von Bakterien verhindern kann. Blieb bei früheren Methoden der Säureneutralisation pro t Milchsäure eine t Gips zurück, kann heute durch neue Methoden und die Fortschritte in der Membrantechnik, Ultrafiltration und Elektrodialyse auf unterschiedliche Verfahren zurückgegriffen werden, bei denen auch das Neutralisierungskation recycelt werden kann. Dadurch ist eine kontinuierliche Produktion möglich geworden. Diese Fortschritte werden in den nächsten Jahren die Produktionskosten für hochreine Milchsäure dramatisch senken. Der chemische Syntheseweg wird dadurch im Vergleich zur Fermentation ökonomisch untragbar werden (Hartmann 1998).

<sup>21</sup> Grundlegende Studien gibt es seit den 70er Jahren

## **Chemie/Herstellung**

Durch die Selbstkondensation von Milchsäure können amorphe Polymere mit 2.000–10.000 (g/mol) Molekulargewicht entstehen. Doch für thermoplastische Verarbeitung und geeignete physikalische und mechanische Eigenschaften sind Molekulargewichte über 100.000 (g/mol) notwendig (Hartmann 1998).

Um Polymere mit hohem Molekulargewicht herzustellen, wird Milchsäure durch verschiedene konventionelle Synthesewege, wie Kondensation, kationische oder anionische Methoden, polymerisiert.

Die Verarbeitung von PLA erfolgt auf herkömmlichen Anlagen (Kunststoffverarbeitung, Schmelzen).

## **Eigenschaften**

Hochmolekulare PLA ist glänzend, farblos, fest und thermoplastisch, die Eigenschaften ähneln denen von Polystyren. Das amorphe PLA hat schlechtere mechanische Eigenschaften und ist in den meisten organischen Lösungsmitteln wie Ketonen, THF usw. löslich, während das kristalline Material nur in chlorierten Lösungsmitteln löslich ist (oder Benzen bei erhöhten Temperaturen) (Hartmann 1998).

Die mechanischen Eigenschaften hängen vom Grad der Orientierung im kristallinen Material, vom Molekulargewicht und von der stereochemischen Anordnung der Kette ab. Auch Copolymerisation (Copolymere: Lactone d. Salicylsäure) oder Prozessbedingungen können Einfluß auf die mechanischen aber auch thermischen Eigenschaften haben (Hartmann 1998).

In vielen Anwendungsbereichen sind Haltbarkeit, Reißfestigkeit, Elastizität oder Stabilität wichtige Materialeigenschaften (Byrom 1991). Die Verbesserung der mechanischen Eigenschaften könnte auch durch hochverstreckte Polymerfasern erfolgen, wobei in vielen Fällen das Problem mangelnder Haftung auftritt (Kern 1993).

## **Mögliche Anwendung**

Ziel ist die Herstellung von biologisch abbaubaren Materialien mit vergleichbaren Eigenschaften wie klassische petrochemische Produkte (Kern 1993).

Einsatzgebiete:

- *biomedizinische Technik*: Mikroinkapselungen (für Pestizide und Düngemittel), Knochenfüllungen, Werkstoffe für temporäre chirurgische Prothesen und Schienungen bei Knochenbrüchen, resorbierbare chirurgische Operationsfäden
- *Kunststoffindustrie*: Bioabbaubare Behälter und Verpackungsfolien, Konsumgüter, kristalline PLA wird für Kontakte mit Lebensmitteln verwendet, da sie als sicher im Sinne von hygienisch gilt (Hartmann 1998)
- *Agrochemie*: Einkapselung von Pestiziden im Agrarbereich zur zeitlich determinierten Freisetzung von Chemikalien mit den Effekten Bodenschonung und Grundwasserschutz.

(Kern 1993; Hartmann 1998).

### Entsorgung/Recycling

PLA-Werkstoffe sind wasserempfindlich. Nach der Hydrolyse der Ketten können Mikroorganismen die Milchsäureverbindungen zu CO<sub>2</sub> und Wasser abbauen (Byrom 1991).

Der hydrolytische Abbau hängt vom Grad der Kristallisierung ab. Hochkristalline PLA braucht Monate oder Jahre zum Abbau, amorphe Wochen. Weitere Einflußfaktoren auf die Abbaurate sind: Molekulargewicht, Qualität der Oberfläche, Additive und Zusammensetzung der Polymere (Kern 1993).

Der Abbau kann z. B. durch Zugabe von pharmazeutischen Wirkstoffen Cinarizin und Clonidin beschleunigt werden, die die Hydrolyse beschleunigen (Hartmann 1998).

Grundsätzlich erfolgt der Abbau nicht von der Oberfläche her, sondern das Wasser dringt ein und greift alle Esterbindungen gleichzeitig an. Enzyme haben wenig Einfluß. Da eine Möglichkeit zur Entsorgung der Produkte im Meer gesucht wird, gibt es auch Abbauprobieren mit Meerwasser. Umfangreiche Untersuchungen über Formkörper und Folien stehen noch aus. Die LA-Polymere können prinzipiell als feuchtigkeitsempfindlich eingestuft werden. Als Lösung gegen zu schnellen Abbau bietet sich eine Steigerung des Kristallinitätsgradienten vom Kern zur Oberfläche an, wobei die äußeren, kristallinen Schichten als Barriere wirken (Kern 1993).

### PHA (Poly Hydroxyalkonate) (Hocking et al., 1998)

Einige Bakterien wie *Alcaligenes* spp., *Pseudomonas* spp. und *Escherichia coli* können Poly-hydroxyalkonate (PHAs) und deren Verbindungen als Speicherstoffe in der Zelle herstellen. Diese biologisch hergestellten Polymere sind thermoplastische Polyester und können als Verpackungsmaterial, im medizinischen Bereich und als Trägermaterial für Pestizide und Düngemittel verwendet werden und damit Kunststoffe wie PET, ersetzen. Ihr großer Vorteil ist die biologische Abbaubarkeit. Ihr Nachteil liegt bis jetzt bei den hohen Produktionskosten. Derzeit wird in verschiedenen Forschungsarbeiten versucht, die Produktionskosten durch Verwendung von billigeren Kohlenstoffquellen zu senken. In Österreich wird an der Verwendung von landwirtschaftlichen Abfällen gearbeitet. In einigen Ländern, wie Japan wird die Fermentation von Chemikalien im Abwasser zur Herstellung von PHAs erforscht.

Grundformel für PHAs:

R: ... Eine n-Alkylgruppe mit unterschiedlicher Länge



PHA's wurden 1902 erstmals in der mikrobiologischen Literatur erwähnt. In den 20er Jahren wurden verschiedene Schmelzpunkte und ihre Abhängigkeit vom Polymerisationsgrad entdeckt. Später in den 50er Jahren wurden Biosynthese und enzymatischer Abbauprozess innerhalb von Bakterienzellen beschrieben. Die erste kommerzielle Produktion fand in den 60er Jahren statt. 1968 wurde eine Technologie zur Gewinnung von Einzellern entwickelt, mit dem ursprünglichen Ziel, die Herstellung von sicheren, hochnährhaften Futtermitteln zu ermöglichen. Durch die Energiekrise und die Suche nach Alternativen für fossile Rohstoffe wurde in den 70er Jahren an der Nutzung nachwachsender Rohstoffe gearbeitet. Nach der Stabilisierung des Ölpreises blieben die

Produktionskosten jedoch höher als die für Polypropylen. Die Gruppe der verschiedenen PHA's wurde unter dem Namen Biopol bekannt. 1990 wurde das erste kommerzielle Produkt aus Biopol in Deutschland hergestellt, eine biologisch abbaubare Flasche für ein biologisch abbaubares Shampoo.

PHA's sind Prototypen für biologisch abbaubare Thermoplasten und Elastomere. Die Möglichkeit der Kompostierung kann ihren Gebrauch auch unter der Berücksichtigung des Zieles einer nachhaltigen Entwicklung vertretbar machen.

Da derzeit kein Markt für Massenprodukte vorhanden ist, werden PHA's nur in Spezialbereichen mit hohen Herstellungskosten eingesetzt. Dabei könnten jedoch durch Massenproduktion die Kosten reduziert werden. Die Aufwendungen begründen sich auf drei Hauptfaktoren

- das Material, hauptsächlich die Kohlenstoffquelle
- der Fermentationsprozess selbst, mit der Isolation der Polymere und der Reinigung
- die kapitalabhängigen Kosten für spezielle Anlagen und Verfahren.

Alternative, billigere Substrate beinhalten Methanol, Melasse and Hemizellulose-Hydrolysate. Auch der Ersatz der Glucose im Substrat kann die Kosten senken (86 %).

Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz von Mischungen mit anderen, abbaubaren oder nicht-abbaubaren Materialien (blends).

### **Rohstoffe und Rohstoffbereitstellung**

PHA's und unter Ihnen besonders PHB kommen in der Natur als Zellspeicherstoffe meist in Form von Einschlusskörpern vor. Es wurden aber auch kurzkettige Polymere sowohl aus Membranen von Bakterienzellen, als auch aus denen vieler pflanzlicher und tierischer Gewebe isoliert.

Die Bildung erfolgt unter nährstofflimitierten Bedingungen mit ausreichender Kohlenstoffversorgung (z. B.: Glucose).

### **Chemie/Herstellung**

Um PHA's aus den Zellen zu gewinnen, muss die Struktur der Zellwände aufgebrochen werden und das Polymer vom Zellrest getrennt werden. Wichtig dabei ist es, einen Polymerabbau zu vermeiden.

Es werden drei Wege beschrieben:

- die physikalische Methode, eine Lösungsmittelextraktion, benötigt große Mengen von Lösungsmitteln wie etwa Chloroform oder Methylenchlorid, um das Polymer zu extrahieren und auszufällen.
- bei der chemischen Methode werden Bakterienzellen mit einer Natriumhypochlorit-Lösung behandelt, um die Zellwände abzubauen und aufzulösen. Die Polyester (PHAs) bleiben dabei nahezu intakt. Die hohe Basizität des Systems kann eine Teilung der Polymer-Kette verursachen, was Auswirkungen auf Oberflächeneigenschaften und Molekulargewicht der Polymere hat. Auch ist es schwierig, das Natriumhypochlorit aus der Lösung völlig zu entfernen, wodurch die Umwelt belastet werden kann.
- bei der biochemischen Methode werden die Zellwände mit Ultraschall behandelt, um die Einschlusskörper in einem Puffermedium zu lösen. Diese Partikel sind noch in der Lage zu enzymatischer Synthese und auch zum Abbau von PHAs. Sie werden entweder einer Reinigung durch Lösungsmittelextraktion oder einer Trocknung unterzogen.

### **Gentechnologie**

Es hat Versuche gegeben, die Produktionsmechanismen auf E.Coli zu übertragen, der Ertrag der Zellen war aber zu gering, um wirtschaftlich zu sein. Ein weiteres Ziel kann es sein, stärkehaltige Pflanzen so zu gestalten, dass sie statt Stärke PHB als Speicherstoff bilden. Das Problem dabei ist die Fortpflanzung, denn zu Samenbildung ist wieder Stärke nötig.

### **Synthetische PHAs und Mischungen**

Die synthetische Herstellung aus Lactonen ist gegenüber der bakteriellen Fermentation nicht wirtschaftlich. Eine Möglichkeit ist der Einsatz als Co-Polymer für bakteriell fermentierte PHB. Vorteile sind die gute Mischbarkeit und die Möglichkeit zur Verbesserung der Materialeigenschaften.

### **Eigenschaften**

PHB ist ein thermoplastisches Material. Seine Eigenschaften sind mit denen von Polypropylen vergleichbar, es ist jedoch steifer und spröder als der synthetische Kunststoff. PHB hat zwar eine geringere Lösemittelbeständigkeit, aber eine bessere UV-Beständigkeit als PPP. Verpackungsfolien haben exzellente Gasbarriere-Eigenschaften und sind um einen Faktor fünf weniger CO<sub>2</sub>-durchlässig als PET.

Da das Polymer von Bakterien hergestellt wird, kann es auch von Bakterien wieder abgebaut werden. Weitere Eigenschaften sind optische Aktivität, hohe Kristallinität und Piezoelektrizität.

### **Mögliche Anwendung**

Die einfachste Anwendung sind biologisch abbaubare Flaschen, Plastikfolien und Taschen (z. B. Haarshampoo-Flaschen, Motoröl-Flaschen). Diese Materialien sind besonders für Bereiche von Vorteil, in denen es schwierig ist, die Abfälle für einen Recycling-Prozess zu trennen (z. B. Servietten, Windeln). Wegen der Gas-Barriere-Eigenschaften des Materials ist es gut geeignet für Lebensmittelverpackungen und zur Substitution von PET für Getränkeflaschen. Auch Polyethylen für die Beschichtung von Papier wie sie zum Beispiel in Milchverpackungen eingesetzt wird, kann ersetzt werden. Im Gegensatz zu PHB sind Polyethylen-Beschichtungen nicht abbaubar und verhindern auch den Abbau oder das Recycling des beschichteten Papiers.

Weitere Einsatzgebiete:

- als Tonermaterial für Drucker, wodurch der Recycling-Prozess des bedruckten Papiers erleichtert wird;
- landwirtschaftliche Anwendungen zur kontrollierten Abgabe von Agrochemikalien in den Boden;
- abbaubares Trägermaterial für die kontrollierte Medikamentenabgabe im veterinär- und humanmedizinischen Bereich;
- PHB ist ungiftig und kompatibel zu lebenden Geweben, das Abbauprodukt ist ein normales Stoffwechselprodukt (Säugetiermetabolismus). Die Abstoßungsreaktionen sind sehr gering, daher ist auch der chirurgische Bereich ein typisches Einsatzgebiet. Nach Behandlung mit biokompatiblen Tensiden weisen Fasern aus PHB ähnliche Eigenschaften wie Baumwolle auf, Reste von Tupfern oder ähnlichem können aufgrund ihrer Abbaubarkeit und Biokompatibilität jedoch in der Wunde verbleiben;

- ein weiteres medizinische Anwendungsgebiet ist durch die Piezoelektrizität gegeben. Knochen können durch elektrische Stimulation zur Heilung angeregt werden. Durch Druck wird in PHB eine elektrische Spannung aufgebaut. Das heißt Platten aus PHB, eingesetzt zur Fixierung gebrochener Knochen, können den Heilungsprozess stimulieren. Außerdem können sie wegen des biologischen Abbaus im Körper verbleiben und ersparen dem Patienten eine weitere Operation;
- wegen der optischen Aktivität kann das Material auch in der Chromatographie eingesetzt werden.

## **Abbau**

Der Hauptgrund für das gegenwärtige Interesse an PHB ist seine biologische Abbaubarkeit. Es wird vollständig zu CO<sub>2</sub> und Wasser abgebaut. Der biologische Abbau wird in verschiedene Kategorien geteilt:

- der intrazelluläre Abbau ist ein zyklischer Prozess und wird unter Beteiligung eines PHB-Depolymerase-Enzyms durchgeführt;
- der extrazelluläre Abbau erfolgt durch Abgabe dieses Enzyms in die Umwelt. Dieser Vorgang ermöglicht Organismen wie Bakterien und Pilzen, die selbst kein PHB synthetisieren können, das Polymer aus der Umgebung aufzunehmen;
- der thermische Abbau setzt im gleichen Temperaturbereich ein, in dem auch der Schmelzpunkt liegt. Für einen Produktionsprozess werden daher oft Additive eingesetzt, um den Schmelzpunkt zu verändern;
- da PHB abbauende Organismen im menschlichen Körper nicht vorhanden sind, muss für medizinische Anwendungen von PHB ein anderer Weg des Abbaus gewählt werden, die Hydrolyse. Diese kann durch Enzyme aus dem körpereigenen Immunsystem katalysiert werden;
- für die Anwender von Produkten aus PHB ist die Abbaurate unter verschiedenen Umweltbedingungen wichtig. Der Abbau erfolgt durch Mikroorganismen an der Oberfläche. Das heißt Größe, Dicke und Beschaffenheit der Oberfläche sind wichtige Einflussfaktoren. Der Abbau kann unter den verschiedensten Bedingungen stattfinden, was Feuchtigkeit, Temperatur Druck und Sauerstoffverfügbarkeit betrifft.

Die Tatsache, dass der Abbau unter so unterschiedlichen Bedingungen möglich ist, wirft die Frage nach der Haltbarkeit des Materials auf. Studien zeigen jedoch, dass der Abbau in feuchter Luft vernachlässigbar ist.

Weit problematischer ist der Mangel an standardisierten Methoden für die Untersuchung des Abbauverhaltens. Dadurch ist es schwierig, die verschiedenen Forschungsergebnisse zu vergleichen.

## Thesen über Hemmnisse und Auswirkungen

(n = Anzahl der Antworten)

Tabelle A1-2: Thesen über Hemmnisse, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden;  
Beweggrund: Verringerung des Abfallvolumens (n = 2)

Beweggrund: Verringerung des Abfallvolumens				
Thesen über Hemmnisse	Wichtigkeitsgrad			
	1	2	3	4
<b>Rohstoffe/Zusatzstoffe:</b>				
Es ist nicht genügend Fläche für die Produktion der Rohstoffe vorhanden.	X			X
Für Polymere auf Kohlenwasserstoff-Basis ist Fläche kein limitierender Faktor.	X			X
Die Verwendung von Abfallstoffen widerspricht der Vermeidung von Abfall (Klärschlamm).	XX			
<b>Produktion:</b>				
Es besteht Forschungsbedarf im Bereich Technologien für die kaskadische Nutzung der Rohstoffe	X			X
Die Materialeigenschaften können ein limitierender Faktor sein.	X			X
Es fehlen Daten über Additive.	X	X		
Die Beurteilung erfolgt nach rein ökonomischen Gesichtspunkten.	XX			
Mangelnde Wettbewerbsfähigkeit kann ein limitierender Faktor sein	X			X
Mangelnde Wirtschaftlichkeit kann ein limitierender Faktor sein	X			X
<b>Anwendung:</b>				
Durch fehlende Normen ist eine Orientierung für den Konsumenten schwierig (Verbrauchersicherheit, Produktschutz).	X			X
Abbaubare Polymere haben eine begrenzte Haltbarkeit.	X			X
<b>Entsorgung:</b>				
Polymere auf Kohlenwasserstoffbasis können recycelt werden.	X			X
Polymere auf Kohlenwasserstoffbasis haben einen Heizwert wie Heizöl.	X			X
Recycling ist nur bei exakter Trennung möglich.	X		X	
Biologisch abbaubare Kunststoffe widersprechen dem Recycling- und Vermeidungsgedanken.	X		X	
Biologisch abbaubare Kunststoffe fördern die Wegwerfgesellschaft.	X			X
Biologisch abbaubare Kunststoffe können bestehende, funktionierende Recyclingsysteme stören.	X			X
Es besteht Forschungsbedarf im Bereich Additive und darüber welche Stoffe beim Abbau genau entstehen (Salzwasserlösliche Materialien können im Meer entsorgt werden).	X		X	
Auch bei Polymeren auf Kohlenwasserstoffbasis ist Abbaubarkeit grundsätzlich möglich.	X		X	
Es bleiben nicht abbaubare Stoffe zurück.	X	X		

Tabelle A1-3: Thesen über Auswirkungen, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden;  
Beweggrund: Verringerung des Abfallvolumens (n = 2)

Beweggrund: Verringerung des Abfallvolumens				
Thesen über Auswirkungen	Wichtigkeitsgrad			
	1	2	3	4
Eine Intensivierung der Landwirtschaft wird Boden- und Wasserbelastungen erhöhen.	X	X		
Gentechnisch veränderte Pflanzen können veränderte ökologische Funktionen aufweisen, und so das Ökosystem stören.	X	X		

Tabelle A1-4: Thesen über Hemmnisse, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden;  
Beweggrund: Suche nach neuen Märkten (n = 2)

Beweggrund: Suche nach neuen Märkten				
Thesen über Hemmnisse	Wichtigkeitsgrad			
	1	2	3	4
<b>Rohstoffe/Zusatzstoffe:</b>				
Eine Effizienzsteigerung der Verfahren ist notwendig: Derzeit können viele wertvolle Inhaltsstoffe der Pflanzen nicht effizient gewonnen werden.	X		X	
Ohne Einsatz von Gentechnologie ist eine wirtschaftliche Nutzung der Rohstoffe nicht möglich.	X			X
Die Eigenschaften der Rohstoffe sind noch nicht genügend erforscht	X		X	
<b>Produktion:</b>				
Es besteht Forschungsbedarf im Bereich Technologien für eine kaskadische Nutzung der Rohstoffe.	XX			
Wegen der geringen Produktionsmengen sind die Kosten hoch.	X			X
Es fehlen Daten über Additive.	X	X		
Die Beurteilung erfolgt nach rein ökonomischen Gesichtspunkten.	X	X		
<b>Anwendung:</b>				
Durch fehlende Normen ist eine Orientierung für den Konsumenten schwierig (Verbrauchersicherheit, Produktschutz).	X		X	
Abbaubare Polymere haben eine begrenzte Haltbarkeit.	X		X	
Es besteht ein Informationsmangel der Anwender.	X	X		
<b>Entsorgung:</b>				
Polymere auf Kohlenwasserstoffbasis haben einen Heizwert wie Heizöl.	X			X
Die Umweltvorteile von Biopolymeren sind gering gegen die Wärmeleistung von synthetischen Polymeren.	X			X
Recycling ist nur bei exakter Trennung möglich.	X			X
Biologisch abbaubare Kunststoffe widersprechen dem Recycling- und Vermeidungsgedanken.	X			X
Biologisch abbaubare Kunststoffe fördern die Wegwerfgesellschaft.	X			X
Biologisch abbaubare Kunststoffe können bestehende, funktionierende Recyclingsysteme stören.	X	X		
Es besteht Forschungsbedarf im Bereich Additive und darüber welche Stoffe beim Abbau genau entstehen (Salzwasserlösliche Materialien können im Meer entsorgt werden).	XX			
Das Recycling muss noch überlegt werden.	X		X	

Tabelle A1-5: Thesen über Auswirkungen, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden;  
Beweggrund: Suche nach neuen Märkten (n = 2)

Beweggrund: Suche nach neuen Märkten				
Thesen über Auswirkungen	Wichtigkeitsgrad			
	1	2	3	4
Eine Intensivierung der Landwirtschaft wird Boden- und Wasserbelastungen erhöhen.	X			X
Gentechnisch veränderte Pflanzen können veränderte ökologische Funktionen aufweisen, und so das Ökosystem stören.	X	X		

Tabelle A1-6: Thesen über Auswirkungen, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden;  
Beweggrund: Suche nach neuen Märkten für landwirtschaftliche Produkte (n = 2)

Beweggrund: Suche nach neuen Märkten für landwirtschaftliche Produkte				
Thesen über Auswirkungen	Wichtigkeitsgrad			
	1	2	3	4
Die Landschaftspflege ist gesichert.	X	X		

Tabelle A1-7: Thesen über Hemmnisse, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden;  
Beweggrund: Ressourcenschonung (n = 4)

Beweggrund: Ressourcenschonung				
Thesen über Hemmnisse	Wichtigkeitsgrad			
	1	2	3	4
<b>Rohstoffe/Zusätze:</b>				
Es ist nicht genügend Fläche für die Produktion der Rohstoffe vorhanden.	X		XX	XX
Es ist eine Effizienzsteigerung der Verfahren notwendig; Derzeit können viele wertvolle Inhaltsstoffe der Pflanzen nicht effizient gewonnen werden.	XX	X	XX	
Die politischen Rahmenbedingungen sind nicht zielführend.	XX	XX		X
Handelsmechanismen sind nicht ausgereift.	XX	XX		X
Ohne Einsatz von Gentechnologie ist eine wirtschaftliche Nutzung der Rohstoffe nicht möglich.	X	X	X	XX
Für Polymere auf Kohlenwasserstoffbasis ist Fläche kein limitierender Faktor.	XX		X	XX
<b>Produktion:</b>				
Es besteht Forschungsbedarf im Bereich Technologien für die kaskadische Nutzung von Rohstoffen.	XXXX			X
Die gegenwärtige Produktphilosophie wirkt der Ressourcenschonung entgegen.	X	XXX		X
Mangelnde Wirtschaftlichkeit kann ein limitierender Faktor sein.	XXX		X	X
Mangelnde Wettbewerbsfähigkeit kann ein limitierender Faktor sein.	XX		X	XX
Prognosen sind schwierig, weil die Preise immer auch von den Rohölpreisen und den Preisen für landwirtschaftliche Produkte abhängen.	X	X	X	XX
Der Energiebedarf muss optimiert werden.	XX		X	XX
<b>Anwendung:</b>				
Das gegenwärtige soziokulturelle Verhalten wirkt der Ressourcenschonung entgegen.	X	X	XX	X
Ineffiziente Marketingstrategien verzögern die Durchsetzung.	XX	XX		X
Durch gesetzliche Regelungen kommt es zu Wettbewerbsnachteilen (Grüner Punkt).	XX	XX		X

Tabelle A1-8: Thesen über Auswirkungen, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden;  
Beweggrund: Ressourcenschonung (n = 5)

Beweggrund: Ressourcenschonung				
Thesen über Auswirkungen	Wichtigkeitsgrad			
	1	2	3	4
Flächenkompensation durch Gentechnologie kann zu Problemen führen.	XXX	X		

Tabelle A1-9: Thesen über Hemmnisse, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden;  
Beweggrund: Ressourcenschonung – Substitution fossiler Rohstoffe (n = 4)

Beweggrund: Ressourcenschonung – Substitution fossiler Rohstoffe				
Thesen über Hemmnisse	Wichtigkeitsgrad			
	1	2	3	4
<b>Rohstoffe/Zusätze:</b>				
Die Eigenschaften der Rohstoffe sind noch nicht genügend erforscht	X	X	XX	
Die Herstellungskosten sind derzeit hoch.	X	X	X	X
<b>Produktion:</b>				
Die Produktionskosten sind derzeit hoch.	X	X	X	X
<b>Anwendung:</b>				
Durch fehlende Normen ist eine Orientierung für den Konsumenten schwierig.	X	XX	X	
Wegen der Abbaubarkeit ist eine genaue Kontrolle der Anwendungsumgebung notwendig.	XX		XX	
Es besteht ein Informationsmangel der Anwender.	XXX	X		

Tabelle A1-10: Thesen über Auswirkungen, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden;  
Beweggrund: Ressourcenschonung – Substitution fossiler Rohstoffe (n = 3)

Beweggrund: Ressourcenschonung – Substitution fossiler Rohstoffe				
Thesen über Auswirkungen	Wichtigkeitsgrad			
	1	2	3	4
Es besteht Gefahr der verstärkten Entwicklung von Monokulturen.	XX			X
Flächenkompensation kann zu einer Intensivierung der Landwirtschaft führen.	XX			X
Eine Intensivierung der Landwirtschaft wird die Boden- und Wasserbelastungen erhöhen.	XX			X
Kann ein Weg für die chemische Industrie sein, nur Rohstoffe bzw. Zusätze zu ersetzen, die Prozesse nicht zu verändern und weiter die üblichen Prozesschemikalien anzuwenden.	X X		X	
Die Gefahr von Prozessemissionen kann bestehen bleiben (keine Substitution von Prozesschemikalien).	XX		X	
Für den Erfolg der Strategie sind komplexe Entsorgungssysteme notwendig (z. B. Trennung von Produkten mit verschiedener Abbaurate).	X	X	X	

*Tabelle A1-11: Thesen über Hemmnisse, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden;  
Beweggrund: Ressourcenschonung – Nebenprodukte aus Biomasseraffinerie zu  
Energieversorgung (n = 5)*

Beweggrund: Ressourcenschonung – Nebenprodukte aus Biomasseraffinerie zu Energieversorgung				
Thesen über Hemmnisse	Wichtigkeitsgrad			
	1	2	3	4
Rohstoffe/Zusätze: Es besteht Abhängigkeit von Biomasseraffinerien, die selbst erst im Aufbau sind.	XX	XX	X	
Anwendung: Der Markt ist derzeit klein	XX		XX	X

*Tabelle A1-12: Thesen über Auswirkungen, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden;  
Beweggrund: Ressourcenschonung – Nebenprodukte aus Biomasseraffinerie zu  
Energieversorgung (n = 3)*

Beweggrund: Ressourcenschonung – Nebenprodukte aus Biomasseraffinerie zu Energieversorgung				
Thesen über Auswirkungen	Wichtigkeitsgrad			
	1	2	3	4
Die Rohstoffverfügbarkeit ist sehr eng mit der Energiegewinnung aus Biomasse verknüpft.	XX		X	

*Tabelle A1-13: Thesen über Hemmnisse, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden;  
Beweggrund: Substitution schädlicher Stoffe für die Menschen und ihren natürlichen  
Lebensraum (n = 2)*

Beweggrund: Substitution schädlicher Stoffe für die Menschen und ihren natürlichen Lebensraum				
Thesen über Hemmnisse	Wichtigkeitsgrad			
	1	2	3	4
Rohstoffe/Zusätze: Eine Effizienzsteigerung der Verfahren ist notwendig: Derzeit können viele wertvolle Inhaltsstoffe der Pflanzen nicht effizient gewonnen werden. Für eine industrielle Produktion muss eine Rohstoffvielfalt aufgebaut werden (Unter der Berücksichtigung von Standortbedingungen).	X		X	
Produktion: Es fehlen Daten über Additive. Interdisziplinäre Arbeit ist notwendig. Eine Substitution ist nur zielführend, wenn sie sich auf das gesamte Verfahren bezieht (komplexe Problemstellung).	X X X	X	X	X X
Anwendung: Durch mangelnde Normen ist eine Orientierung für den Konsumenten schwierig. Eine Umorientierung von gesellschaftlichen Werten ist notwendig (kurzlebige Modeströmungen). Durch gesetzliche Regelungen kommt es zu Wettbewerbsnachteilen (grüner Punkt).	X X X		X	X X

*Table A1-14: Thesen über Auswirkungen, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden;  
Beweggrund: Substitution schädlicher Stoffe für die Menschen und ihren natürlichen Lebensraum (n = 2)*

Beweggrund: Substitution schädlicher Stoffe für die Menschen und ihren natürlichen Lebensraum				
Thesen über Auswirkungen	Wichtigkeitsgrad			
	1	2	3	4
Durch Eingriffe in die Molekularstruktur werden Stoffe verändert, können aber als naturähnliche Substanzen auf die natürlichen Kreisläufe einwirken.*	X			

\* Ein Interviewpartner hat diesen Punkt mit „weiß nicht“ beantwortet.

*Table A1-15: Thesen über Hemmnisse, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden;  
Beweggrund: Spezielle der Produkte, Innovationen nach Nachfrage (n = 2)*

Beweggrund: Spezielle Eigenschaften der Produkte, Innovationen nach Nachfrage				
Thesen über Hemmnisse	Wichtigkeitsgrad			
	1	2	3	4
Rohstoffe/Zusätze: Eine Effizienzsteigerung der Verfahren ist notwendig: Derzeit können viele wertvolle Inhaltsstoffe der Pflanzen nicht effizient gewonnen werden.*	X			
Anwendung: Durch fehlende Normen ist eine Orientierung für den Konsumenten schwierig.	XX			

\* Ein Interviewpartner hat diesen Punkt mit „weiß nicht“ beantwortet.

*Table A1-16: Thesen über Auswirkungen, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden;  
Beweggrund: Spezielle der Produkte, Innovationen nach Nachfrage (n = 2)*

Beweggrund: Spezielle Eigenschaften der Produkte, Innovationen nach Nachfrage				
Thesen über Auswirkungen	Wichtigkeitsgrad			
	1	2	3	4
Der Einsatz von Gentechnologie kann zu Problemen führen.	XX			
Durch Eingriffe in die Molekularstruktur werden Stoffe verändert, können aber als naturähnliche Substanzen auf die natürlichen Kreisläufe einwirken.*	X			
Durch die Entsorgung von modifizierten natürlichen Materialien können Ökosysteme stärker als bisher beeinflusst werden.	X		X	

\* Eine Antwort: „weiß nicht“.

Tabelle A1-17: Thesen über Hemmnisse, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden;  
Beweggrund: Kreislaufschließung (n = 3)

Beweggrund: Kreislaufschließung				
Thesen über Hemmnisse	Wichtigkeitsgrad			
	1	2	3	4
Rohstoffe/Zusätze: Agrochemikalienfreier Anbau für großindustrielle Nachfrage ist derzeit noch nicht möglich.	X			XX
Produktion: Umweltverträgliche Technologien sind noch nicht verfügbar.	X	X		X
Die Rohstoffauswahl muss noch optimiert werden.	X		X	X
Es besteht Forschungsbedarf im Bereich Technologien für die kaskadische Nutzung von Rohstoffen.	XX	X		
Prognosen sind schwierig, da der Preis immer auch vom Rohölpreis und den Preisen für landwirtschaftliche Produkte abhängt.	XX			X
Die Materialeigenschaften können ein limitierender Faktor sein.	X			XX
Die Produktionskosten sind hoch.	X		X	X
Die Beurteilung erfolgt nach rein ökonomischen Gesichtspunkten.	X			XX
Der Energiebedarf muss optimiert werden.	X		X	X
Es fehlen Daten über Additive.	X	X		X
Anwendung: Wegen der erwünschten Abbaubarkeit ist eine genaue Kontrolle der Anwendungsumgebung notwendig.	X	X		X
Durch gesetzliche Regelungen kommt es zu Wettbewerbsnachteilen (grüner Punkt).	X		X	X
Eine Umorientierung der gesellschaftlichen Werte ist notwendig (z. B. kurzlebige Modeströmungen)	X		X	X
Entsorgung: Durch die Entsorgung von modifizierten natürlichen Materialien können Ökosysteme stärker als bisher beeinflusst werden.	XX	X		
Flächendeckende Kompostierungssysteme sind noch nicht vorhanden.	X		X	X

Tabelle A1-18: Thesen über Auswirkungen, die mindestens einmal als „sehr wichtig“ bewertet wurden;  
Beweggrund: Kreislaufschließung (n = 3)

Beweggrund: Kreislaufschließung				
Thesen über Auswirkungen	Wichtigkeitsgrad			
	1	2	3	4
Durch Eingriffe in die Molekularstruktur werden Stoffe verändert, können aber als naturähnliche Substanzen auf die natürlichen Kreisläufe einwirken.	XX	X		

## Experten-Interviews

Für die Überprüfung der Rechercheergebnissen in Bezug auf identifizierte Hemmnisse und Auswirkungen bei der Entwicklung und Anwendung biologisch abbaubarer Polymere wurden Experteninterviews durchgeführt. Es wurden Interviewpartner gewählt, die einen Überblick über laufende Forschungsarbeiten in diesem Bereich besitzen, jedoch nicht direkt an den konkreten Entwicklungen beteiligt sind. Dabei wurde beachtet, dass technische, ökologische, wirtschaftliche und soziologische Disziplinen vertreten waren. Insgesamt wurden neun ein- bis zweistündigen Interviews durchgeführt. Die aus der Literatur gewonnenen Erkenntnisse wurden als Thesen formuliert und sechs Kategorien, nämlich „Verringerung des Abfallvolumens“, „Suche nach neuen Märkten“, „Ressourcenschonung“, „Substitution schädlicher Stoffe“, „Spezielle Eigenschaften innovativer Produkte“ und „Kreislaufschließung“, zugeordnet. Mehrere Thesen waren für mehr als eine Kategorie relevant (Beispiel: Die These „Durch fehlende Normen ist eine Orientierung für den Konsumenten schwierig.“ war in 5 Kategorien vorhanden). Es gab jedoch auch Thesen, die sich nur in einer Kategorie finden (Beispiel: Die These „Schmelzinstabilität der Polymere aus Kombination von biogenen und synthetischen Stoffen kann ein Problem sein.“ ist nur für die Kategorie „Verringerung des Abfallvolumens“ relevant).

Die Interviews waren dreistufig aufgebaut.

### I. Beweggründe

Das Ergebnis der Bewertung der Beweggründe durch die Interviewpartner ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Dabei konnten ein bis drei wichtige Beweggründe pro Person ausgewählt werden.

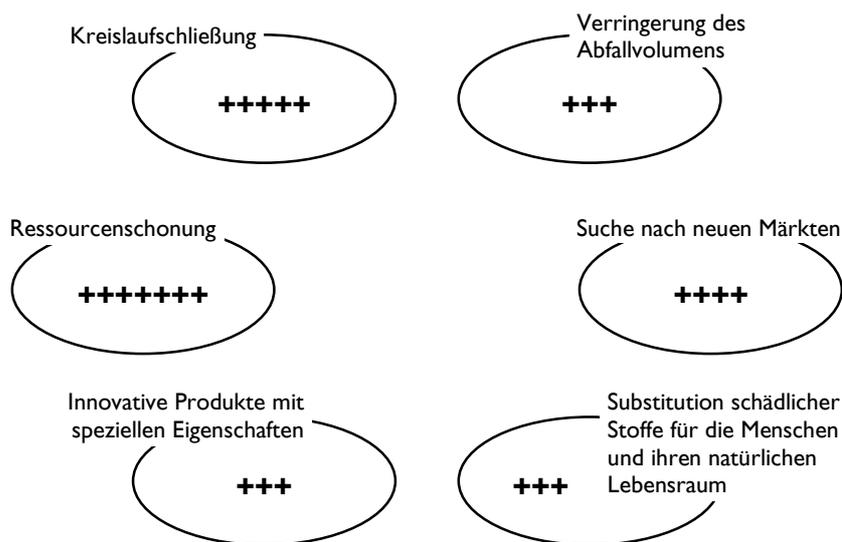


Abbildung A1-1: Motivationen für Entwicklung und Einsatz biologisch abbaubare Polymere

Es wurden auch andere Kategorien für Motivationen vorgeschlagen, wie z. B. eine reine Unterscheidung zwischen Technologievorteil oder Produktvorteil.

Am häufigsten wurde von den Experten Ressourcenschonung als Motivation ausgewählt.

Einige Kategorien, wie z. B. Ressourcenschonung wurden für die Bewertung in Unterkategorien aufgeteilt.

*Tabelle A1-19: Verschiedene Motivationskategorien aus der Literatur für die Entwicklung biologisch abbaubarer Polymere*

Motivationen		
Verringerung des Abfallvolumens		
a	a1	Kombination von biogenen und synthetischen Stoffen
	a2	Anwendung biogener Abfallprodukte (z. B. aus Lebensmittelindustrie)
Suche nach neuen Märkten		
b	b1	Einsatz biogener Abfälle für neue Produkte (z. B. aus Lebensmittelindustrie)
	b2	Suche nach neuen Märkten für Biotechnologie
	b3	Suche nach neuen Märkten für landwirtschaftliche Produkte
Ressourcenschonung		
c	c1	Nutzung der Sonnenenergie um CO <sub>2</sub> Neutralität des Materials (Substitution fossiler Rohstoffe)
	c2	Nutzung der Nebenprodukte aus Biomasse-Energiegewinnung
d	Substitution schädlicher Stoffe	
e	Spezielle Eigenschaften dieser Produkte (in der Medizin- oder Informationstechnologie), Innovationen nach Nachfrage	
f	Kreislaufschließung	

## II. Bewertung der Thesen

Je nach ausgewählten Beweggründen im ersten Schritt wurden relevante Thesen über Hemmnisse und Konsequenzen von den Experten bewertet.

Die Thesen wurden fallweise von verschiedenen Experten nicht in strukturierter Form beantwortet, sondern kommentiert.

Die folgenden beiden Tabellen zeigen jene Thesen, die in Summe am häufigsten als „sehr wichtig“ oder „wichtig“ bewertet wurden. Vor dem Hintergrund verschiedener Beweggründe können dieselben Thesen unterschiedlich beurteilt werden. So können beispielsweise bei dem Ziel, innovative Produkte mit spezifischen Eigenschaften herzustellen, Additive und ihre Auswirkungen auf die Umwelt eine kleinere Rolle spielen, als bei der Schließung von Kreisläufen. Um diese Unterschiede zu berücksichtigen, sind in den Tabellen 0–20 und 0–21 nicht nur die wichtigsten Thesen (Zeilen) genannt, sondern auch die Zielsetzungen (Spalten) vor deren Hintergrund sie als wichtig betrachtet wurden.

Tabelle A1-20: Hemmnisse, die am häufigsten als „wichtig“ oder „sehr wichtig“ bewertet wurden

Thesen über Hemmnisse	Motivationen für die Entwicklung					
	Verringerung des Abfallvolumens	Suche nach neuen Märkten	Ressourcenschonung	Substitution schädlicher Stoffe	Spezifische Produkte	Kreislaufschließung
<p><b>Rohstoffe/Zusätze</b></p> <p>Eine Effizienzsteigerung der Verfahren ist notwendig: Derzeit können viele wertvolle Inhaltsstoffe der Pflanzen nicht effizient gewonnen werden.</p> <p>Es besteht Abhängigkeit von Biomasseraffinerien, die selbst erst im Aufbau sind.</p> <p>Es ist nicht genügend Fläche für die Produktion der Rohstoffe vorhanden.</p> <p>Die Eigenschaften der Rohstoffe sind noch nicht genügend erforscht.</p>		●	●	●	●	
<p><b>Produktion</b></p> <p>Es besteht Forschungsbedarf im Bereich Technologien für kaskadische Nutzung der Rohstoffe</p> <p>Es fehlen Daten über Additive</p> <p>Die Beurteilung erfolgt nach rein ökonomischen Gesichtspunkten.</p> <p>Prognosen sind schwierig, weil die Preise immer auch von den Rohölpreisen und den Preisen für landwirtschaftliche Produkte abhängen.</p> <p>Die gegenwärtige Produktphilosophie wirkt der Ressourcenschonung entgegen.</p>	●	●	●			●
<p><b>Anwendung</b></p> <p>Durch fehlende Normen ist eine Orientierung für den Konsumenten schwierig (Verbrauchersicherheit, Produktschutz).</p> <p>Es besteht ein Informationsmangel der Anwender</p> <p>Durch gesetzliche Regelungen kommt es zu Wettbewerbsnachteilen (Grüner Punkt).</p> <p>Ineffiziente Marketingstrategien verhindern die Durchsetzung</p> <p>Wegen der Abbaubarkeit ist eine genaue Kontrolle der Anwendungsumgebung notwendig.</p>	●	●	●	●	●	●
<p><b>Entsorgung</b></p> <p>Es besteht Forschungsbedarf im Bereich der Additive und darüber, welche Stoffe beim Abbau genau entstehen (Salzwasserlösliche Materialien können im Meer entsorgt werden)</p>	●	●				

Die Tabelle zeigt teilweise sehr unterschiedliche Bewertungen der einzelnen Thesen.

Beispielsweise wurden unter der Prämisse Ressourcenschonung die Thesen über „kaskadische Nutzung“ und „Effizienzsteigerung der Verfahren“ genannt. Die „Eigenschaften der Rohstoffe“ sind wiederum für Ressourcenschonung und Er-

schließung neuer Märkte als „wichtig“ bewertet. „Wettbewerbsnachteile durch gesetzliche Regelungen“ stellen nach der Meinung der Interviewpartner für „Ressourcenschonung“, „Substitution schädlicher Stoffe“ und „Kreislaufschließung“ ein Problem dar, während sie für „Verringerung des Abfallvolumens“, „Suche nach neuen Märkten“ und „Erzeugung von Produkten mit speziellen Eigenschaften“ nicht als großes Hemmnis gesehen werden.

Diese Tabelle kann auch als Darstellung von Schwerpunkten (Zeilen) in verschiedenen Forschungsbereichen (Spalten) interpretiert werden. Als Beispiel werden für den Forschungsbereich „Verringerung des Abfallvolumens“ die Schwerpunkte „Technologien für Kaskadennutzung“, „Forschung an geeigneten Additiven“, „Entwicklung geeigneter Normen“ und „Forschung an Abbaumechanismen von Produkten“ als wichtig identifiziert. Für die Motivation bzw. den Forschungsbereich „Ressourcenschonung“ werden „Effizienzsteigerung bei der Rohstoffbereitstellung“, „Technologien für Kaskadennutzung“, „wirtschaftliche Prognosen für Rohstoffpreise“, „Entwicklung geeigneter Normen und Regelungen“ und „Auswahl geeigneter Anwendungsumgebung“ als wichtig angegeben

Tabelle A1-21: Auswirkungen, die am häufigsten als „wichtig“ oder „sehr wichtig“ bewertet wurden

Thesen über Hemmnisse	Motivationen für die Entwicklung					
	Verringerung des Abfallvolumens	Suche nach neuen Märkten	Ressourcenschonung	Substitution schädlicher Stoffe	Spezifische Produkte	Kreislaufschließung
Gentechnisch veränderte Pflanzen können veränderte ökologische Funktionen aufweisen, und so das Ökosystem stören.	●	●	●		●	
Durch Eingriffe in die Molekularstruktur werden Stoffe verändert, können aber als naturähnliche Substanzen auf die natürlichen Kreisläufe einwirken.				●	●	●
Flächenkompensation durch Gentechnologie kann zu Problemen führen			●			
Intensivierung der Landwirtschaft wird Boden- und Wasserbelastungen erhöhen	●	●	●			
Kann ein Weg für die chemische Industrie sein, nur Rohstoffe bzw. Zusätze zu ersetzen, ohne Prozesse zu verändern und weiter die üblichen Prozesschemikalien anzuwenden.			●			
Die Gefahr von Prozessemissionen kann bestehen bleiben (keine Substitution von Prozesschemikalien).			●			

Auch hier zeigen sich, wie in der letzten Tabelle, bei den verschiedenen Beweggründen unterschiedliche Bewertungen der Thesen. Die mögliche Folge „Intensivierung der Landwirtschaft wird Boden- und Wasserbelastungen erhöhen“ wurde von Interviewpartnern für die Beweggründe „Verringerung des Abfallvolumens“, „Suche nach neuen Märkten“ und „Ressourcenschonung“ als „wichtig“ bewertet.

### **III. Kommentare**

Parallel zu der Bewertung wurden Kommentare zu einzelnen Thesen dokumentiert.

#### **Rohstoffproduktion und -bereitstellung**

- Die Definition des Begriffs „biologische Abbaubarkeit“ ist sehr wichtig.
- Für biologisch abbaubare Polymere können auch andere Quellen als Pflanzen und Tiere genutzt werden.
- Solange das Welternährungsproblem nicht gelöst ist, ist ein Konzept der Nutzung landwirtschaftlicher Produkte verfrüht. Besser ist die Verwendung biogener Industrieabfälle.
- Die sozialen Rahmenbedingungen im Bereich Landwirtschaft, wie versteckte Arbeitslosigkeit, Abwanderung usw. müssen berücksichtigt werden.
- Eine soziale Staffelung der Förderungen kann helfen, eine Entwicklung zu immer weniger Betrieben bei gleichbleibender Fläche zu verhindern.
- Der österreichische Tourismus lebt von der Kleinräumigkeit der Landschaft, intensive Nutzung wirkt dieser Kleinräumigkeit entgegen.
- Eine Intensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung beschleunigt die Erosion und gefährdet die Wasserspeicherkapazität des Bodens.
- Es besteht die Gefahr, dass kein Umdenken im Bereich des Ackerbaues stattfindet, sondern nur ein Versuch neue Möglichkeiten für alte Wege zu finden.
- Die völlige Substitution fossiler durch nachwachsende Rohstoffe stellt einen Raubzug dar.
- Die bestehende Logistik ist nur mit billigem Erdöl möglich. Es sind völlig neue Konzepte nicht nur für die Technologien, sondern auch für Logistik und Transport notwendig.
- Es ist oft 10 Jahre intensiver Forschung für die Entwicklung von neuen genmanipulierten Pflanzen notwendig.
- Logistik spielt eine entscheidende Rolle für die Qualität der nachwachsenden Rohstoffe.

#### **Produktion**

- Isolierte Betrachtung kann zum Widerspruch zwischen sanfter Chemie und Schutz der Naturräume führen.
- Durch Eingriffe in die Molekularstruktur werden Stoffe verändert, können aber als naturähnliche Substanzen auf die natürlichen Kreisläufe einwirken.

#### **Anwendung**

- Firmen brauchen ökonomische Anreize, oder die Möglichkeit zur Imageverbesserung zur Einführung einer neuen Technologie. Hier können sich zusätzliche Geschäftsfelder für flexible Betriebe bieten.

#### **Entsorgung**

- Die Arbeitsplatzqualität in neuen Segmenten muss beachtet werden. Im Bereich Nachsortierung für Recycling oder Verwertung ist sie zum Beispiel traditionell schlecht.
- Es kann zu einer verstärkten Expertenabhängigkeit der Konsumenten kommen. Kontrollmechanismen für Information sind notwendig.

## Eine Hilfsmethode für die Bewertung

Eine Hilfsmethode, die das Bewertungsverfahren unterstützen kann, wird in Vester (2000) vorgestellt. Diese Methode kann besonders folgende Punkte unterstützen:

- Durchführung einer Bewertung anhand qualitativer Informationen,
- strukturierte Erhebung der Variablen (veränderliche Größen),
- Datenreduktion auf die wesentlichen systemrelevanten Schlüsselkomponenten,
- Identifizierung von kritischen Variablen.

Die Methode eignet sich für die Vorbereitung von Informationsvorlagen für die Technologiebeschreibung und für die Unterstützung der interdisziplinären Arbeit in Kleingruppen.

### Kurze Beschreibung relevanter Teile der Methode

In den folgenden Abschnitten werden relevante Teile aus der Modellierungsmethode „Sensitivitätsmodell“ in Vester (2000) gezeigt, die eine interdisziplinäre Bewertung von Chancen und Risiken von komplexen Technologien unterstützen können.

Tabelle A1-22: Ein Beispiel für die Strukturierte Erhebung der Variablen

Variablenliste*	Parameter (Variablenbeschreibung)
Verfahrenseffizienz bei der Rohstoffbereitstellung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energieverbrauch</li> <li>• Wasserverbrauch</li> <li>• Chemikalienverbrauch</li> </ul>
Verarbeitungseffizienz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energieverbrauch</li> <li>• Verfügbarkeit von Additiven</li> </ul>
Forschungsbedarf	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effizienz, Alternativen im Bereich Energieverbrauch</li> <li>• Alternativen zu verwendeten Additiven</li> <li>• Möglichkeiten zur Kaskadennutzung</li> <li>• Technologien zur Effizienzsteigerung</li> </ul>
Umweltbelastung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Belastungsrisiko</li> <li>• Boden- und Wasserbelastung</li> <li>• Rückstände, Abfälle</li> <li>• Belastung natürlicher Kreisläufe</li> </ul>
Anwendungsmöglichkeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Feuchtigkeitsdurchlässigkeit</li> <li>• Abbaubarkeit</li> <li>• Haltbarkeit</li> </ul>
Recyclingmöglichkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abfalltrennung</li> <li>• Additive</li> </ul>
Verwertungsmöglichkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Additive</li> <li>• Thermische Verwertung</li> <li>• Heizwert</li> <li>• Kompostierung</li> <li>• Trennung</li> </ul>
Andere ...	

\* Ein Variablenname ist ein Kurzbegriff für eine Systemkomponente, die nicht direkt quantifizierbar ist. Deshalb gehört zu jeder Variablen eine Beschreibung der Indikatoren, mit denen sie näher bestimmt wird. Variablen haben eine Richtung und können zunehmen oder abnehmen. Indikatoren sind dagegen genauer quantifizierbar (Vester 2000).

## Datenreduktion

Um ein überschaubare und ausgewogene Liste von Variablen auszuwählen, müssen sie genauer charakterisiert werden.

In Vester (2000) werden folgende 4 Gruppen für insgesamt 18 Kategorien berücksichtigt:

- *Lebensbereiche*  
Beteiligte, Tätigkeiten, Raum, Befinden, Umweltbeziehung, innere Abläufe, innere Ordnung
- *Physikalische Grundkriterien*  
Materie, Energie, Information
- *Dynamische Grundkriterien*  
Flussgröße, Strukturgröße, zeitliche Dynamik, räumliche Dynamik
- *Systembeziehung einer Variablen*  
Öffnet das System durch Input, öffnet das System durch Output, von innen steuerbar, von außen steuerbar.

Durch Auswahl von relevanter Variablen aus jeder dieser Kategorien wird eine überschaubare aber ausgewogene Liste erstellt.

## Identifizierung kritischer Variablen

Nachdem Inhalt und Art der Variablen diskutiert wurden, müssen Zusammenhänge im System analysiert werden. Der erste Schritt ist oft die Erstellung einer Einflussmatrix. Nach Vester (2000) werden Variable in Spalten und Zeilen einer Matrix eingetragen, um den Einfluss der einzelnen auf alle anderen bewerten zu können.<sup>22</sup>

Die Fragestellung in dieser Methode lautet immer: wenn Element A verändert wird, wie stark verändert sich dann – ganz gleich in welcher Richtung – durch direkte Einwirkung von A das Element B?

Muss man A stark verändern, um bei B eine etwa gleich starke Veränderung zu erzielen, trägt man 2 ein (mittlere, etwa proportionale Beziehung)

Ändert sich auf eine starke Veränderung von A hin Element B nur schwach, so bedeutet das 1 (schwache Beziehung)

Bei gar keiner, sehr schwacher oder mit großer Zeitverzögerung zustande komrender Wirkung wird 0 vergeben (keine Beziehung)“.

↓ Wirkung von auf* →	A	B	Aktivsumme
A	X		
B		X	
Passivsumme			

\*Die Wirkung der einzelnen Variablen auf sich selbst wird hier nicht bewertet.

Dabei ist es vorteilhaft, diese Bewertung in getrennten Arbeitsgruppen durchzuführen.

Wenn alle Kästchen ausgefüllt sind, wird für die Bestimmung der Aktivsumme der einzelnen Variablen, die Summe der Zahlen einer waagrechten Reihe be-

<sup>22</sup> siehe auch Cross-Impact-Methode bei (Ropohl 1997)

rechnet. Dabei ergibt die jeweilige Aktivsumme für eine Variable die Aussage darüber, wie stark sie auf den Rest des Systems wirkt. Die Summe der Zahlen einer senkrechten Spalte ergibt hingegen die sogenannte Passivsumme, die zeigt, wie empfindlich die Variable auf Veränderungen des Systems reagiert.

Diese Vorgangsweise bildet eine Basis für die Entwicklung von Szenarien, Erkennung von kritischen Parametern und Entwicklung von relevanten Handlungsvorschlägen in einem interdisziplinären Rahmen.

# Anhang II

## Liste der untersuchten Literatur und Referenzen für biologisch abbaubare Polymere

- ABBOT, T. (1998): Sunflower-oil-derived lubricants may be churning inside automobile crankcases of the future;  
<http://www.ars.usda.gov/is/qtr/q398/ip398.htm>.
- ALBERTSON, A. C. (1998a): Degradability, Renewability, and Recycling-Key Functions for Future Materials, 5. International Scientific Workshop on biodegradable Plastics and Polymers, Stockholm, Weinheim: Wiley-VCH Verlag, Deutschland.
- ALBERTSON, A. C. (1998b): Dynamics in Prediction of Lifetime of Environmental Adaptable Polymers, 5. International Scientific Workshop on Biodegradable Plastics and Polymers, Stockholm.
- ALFONS, H. (1992): Stoffe 1, Textilrohstoffe, Garne, Effekte; in Reihe: Stoffe, Frankfurt/Main: Deutscher Fachverlag.
- American Soybean Association, H. (1999): Technische Anwendungen von Soja-Produkten, Mitteilungen der Fachbereichsgruppe Nachwachsende Rohstoffe, BA für Landtechnik, Wieselburg, <http://www.asa-hamburg.de>.
- ANASTAS, P. T., WARNER, J. (1998): Green Chemistry, Theory and Practice, New York: Oxford University Press.
- ANDERSE, M., KIEL, P. (2000): Integrated utilisation of green biorefinery, Industrial Crops & Products II(2-3), 129-137.
- AZEREDO, J., OLIVEIRA, R., LAZAROVE, V. (1997): New Method for Extraction of Exopolymers from Activated Sludge, 2nd International Conference on Microorganisms in Activated Sludge and Biofilm Processes, USA.
- BABEL, W. (1996): Gelatin ein vielseitiges Biopolymer, Chemie in unserer Zeit 30 Jg.(2).
- BBC-News, H. (1999): Scientists unveil plastic plants;  
[http://news6.thdo.bbc.co.uk/hi/english/health/newsid\\_459000/459126.stm](http://news6.thdo.bbc.co.uk/hi/english/health/newsid_459000/459126.stm).
- BBC-News, H. (2000): Hi-tech dressing may „eradicate scars“;  
<http://news6.thdo.bbc.co.uk/hi/english/health/newsid%5F590000/590983.stm>.
- BIFA (2001): Entwicklung des grünen Punkts, Waste Magazin, 25.
- biopolymer, n., Industrial uses of Chitin and Chitosan;  
<http://naturalbiopolymer.com/induses.html>.
- biopolymer, n.: What is Chitosan?;  
<http://naturalbiopolymer.com/induses.html>.
- BISHOP, P. (1998): Bacteria discovered in North Carolina offer new possibilities for biofuels and environmentally sound farming;  
<http://www.ars.usda.gov/is/qtr/q398/ip398.htm>.
- BLEIER, J. (1999): Rapsasphalt, Mitteilungen der Fachbereichsgruppe Nachwachsende Rohstoffe, BA für Landtechnik, Wieselburg.

- BOCKSEMAN, R. (1994): Designing Packaging for the Environment; <http://www.corporateconsultans.net/envpack.html>.
- BÖHM, N. (1998): Pflanzenöle in der Kunststoffverarbeitung, Mitteilungen der Fachbereichsgruppe Nachwachsende Rohstoffe, BA für Landtechnik, Wieselburg.
- BORBE, M., ESCHER, K., HORNBÖGEN, E. (1995): Nachwachsende Rohstoffe contra Kunststoffe – Lösungen oder Sackgasse, VDI-Z, 40–44.
- BÖRJESSON, P. (1999): Environmental effects of energy crop cultivation in Sweden – I: Identification and quantification, Biomass and Bioenergy 16(2), 155–170.
- BOTHAST, R. (1994): A specially designed microorganism can turn three sugars from corn into fuel, yielding more ethanol from a bushel of corn; <http://www.ars.usda.gov/is/qtr/ip494.htm>.
- BRANDER, J. A., Taylor, M.Scott (1996): Open Access Renewable Resources: Trade and Trade Policy in a Two Country Model, Massachusetts: National Bureau of Economic Research.
- BRANDRUP, J. (1998): Ecology and Economy of Plastic Recycling, 5. International Scientific Workshop on Biodegradable Plastics and Polymers, Stockholm.
- BRAUNEGG, G. (1998): Production of PHAs from Agricultural Waste Material, 5. International Scientific Workshop on Biodegradable Plastics and Polymers, Stockholm.
- BREWEN, G. (2000): Bioabbaubare Polymerfolie, CIT plus Mai.
- BRINE, C. (1991): Advances in Chitin und Chitosan, International Conference on Chitin und Chitosan, Princeton.
- BUCHNER, M., Hänggi, U. J., Drach, H. (1990): Biologisch abbaubare Kunststoffe, Biotechnologie.
- BUNGAY, H. (1992): Product opportunities for biomass refining, Enzyme Microbiology Technology 14.
- BURCHARD, W. (1995): Functional Polysaccharides, Japanesse-German Seminar, Breisach am Rhein.
- BYROM, D. (1991): Nevel Materials from Biological Sources, USA: Stockton Press.
- Cargill-Dow Polymers, L. (2000a): Environmental Benefits and Disposal Options; <http://www.dow.com>.
- Cargill-Dow Polymers, L. (2000b): Life Cicle Inventory of PLA Polymers; <http://www.dow.com>.
- Cargill-Dow Polymers, L. (2000c): Plastics from Natural Plant sugars to be worldwide reality; < <http://www.dow.com>.
- CARMEN, C. A.-R. -. M. u. E.-N. e. (1994): Wärme- und Schalldämmstoffe aus Naturfasern, Deutschland: CARMEN.
- CHUA, H., YU, P. H. F. (1999): Production of biodegradeable plastics from chemical wastewater – a novel method to reduce excess activated sludge generated from industrial wastewater treatment, Water Science and Technology 39, 273–280.
- COLEMAN, R. (1990): Biodegradeable Plastics from potato waste double savings to environment, Agricultural Eneineering 71(6), 20–22.

- COMIS, D. (1998): Chicken Feathers: Eco-Friendly „Plastics“ of the 21st century?; <http://www.ars.usda.gov/is/pr/1998/980209.htm>.
- CONSTANCE, J. (1991): Smart materials take on new shapes, *Mechanical engineering* 113(7), 51–53.
- COOMBS, J. (1998): Chemicals and Polymers from Biomass, *World Renewable Energy Congress V*, Italien.
- CORNISH, K. (1994): Latex glove and infant pacifiers made from rubber of native U.S. plants may be closer reality; <http://www.ars.usda.gov/is/qtr/ip494.htm>.
- Dainippon ink and chemical incorporated (1997): Transparent and Flexible Biodegrade Plastics (CPLA); <http://dicwww=1.dic.co.jp/grenn/index-e.html>.
- DANIELL, H., CHITTABABU, G. (1997): Biopolymer production in Microorganisms and plants, *Chemistry and Industry* 21 July 1997.
- Deutscher-Bundestag (2000): Nachwachsende Rohstoff besser vermarkten; <http://www.bundestag.de/aktuell/bp/00/bp0004/0004039c.htm>.
- DONNER, I. (1997): Chemikalien aus nachwachsenden Rohstoffen, *Mitteilungen der Fachbereichsgruppe Nachwachsende Rohstoffe*, BA für Landtechnik, Wieselburg.
- DOVE, A. (2000): Experts disagree over color of biomass, *Nature Biotechnology* Vol 18.
- ECO, T. (1998): Die Farbe – unsere größte Herausforderung; <http://www.eco.se/de/miljfd.htm>.
- EGGESDORFER, M., al., e. (1992): Nachwachsende Rohstoffe, Perspektiven für die Chemie, Weinheim: VHC VerlagsgesmbH.
- ENGEL, G., al., e. (1999): Diatom silicon biomineralization as an inspirational source of new approaches to silicea production, *Journal of Biotechnology* 70, 39–51.
- ERHAN, S. (1998): New markets for Soybeans, canola and meadowfoam could spring up more quickly in the future; <http://www.ars.usda.gov/is/qtr/q398/ip398.htm>.
- FIALHO, A., al., e. (1999): Structures and Properties of Gellan Polymers Produced by *Shinomonas paucimobilis* ATCC31461 from Lactose Compared with Those Produced from Glucose and from cheese Whey Applied and *Environmental Microbiology*, June (2.485–2.491).
- FISCHER, H.: Bestandsaufnahme Chemie im Haus, Neue Entwicklung bei Farben und Anstrichen; <http://www.natur.farben.de/andiamo/hermann-f.htm>.
- Forschungsforum BMWF: Das Konzept der sanften Chemie; <http://www.bmwf.gv.at/6extern/forschungsforum/d/rohstrat.htm>.
- Forschungsforum BMWF: Ecodesign-“Environmentally Conscious Product Development“; <http://www.bmwf.gv.at/6extern/Forschungsforum/d/eoentw.htm>.
- Forschungsforum BMWF: Nachwachsende Rohstoffe und sanfte Chemie; <http://www.bmwf.gv.at/6extern/forschungsforum/d/rohpers.htm>.
- Forschungsforum BMWF: Rahmenbedingungen für den Erfolg nachwachsender Rohstoffe; <http://www.bmwf.gv.at/6extern/forschungsforum/d/rohpers.htm>.

- Forschungsforum BMWF: Auf dem Weg zu stofflicher Nachhaltigkeit;  
<http://www.bmwf.gv.at/6extern/forschungsforum/rohproj.htm>.
- FRITZ, J. (1999): Biologisch abbaubare Kunststoffe, Mitteilungen der Fachbereichsgruppe Nachwachsende Rohstoffe, BA für Landtechnik, Wieselburg.
- GEBELEIN, C. (1994): Biotechnology and bioactive Polymers, Symposium on biotechnology and Bioactive Polymers, New York.
- GERMAN, B. (1999): The Development of Functional Food, lessons from the gut, Trends of Biotechnology Dezember 99, 492–499.
- GIOIA, L. d. (1998): Plasticization of Corn Gluten Meral and Characterization of th Blends, 5. International Scientific Workshop on Biodegradable Plastics and Polymers, Stockholm.
- GLASS, J. E. (1990): Agricultural and Synthetic Polymers, National Meeting of American Chemical Society, Dallas.
- GLATMAN, L., DRABKIN, V., al., e. (2000): Using lactic acid bacteria for developing novel fish food products, Journal of the Science of food and Agriculture 80, 375–380.
- Global (1998): NAWARO – Wegweiser in die Zukunft;  
[http://www.global2000.at/gnews/98\\_2st1.htm](http://www.global2000.at/gnews/98_2st1.htm).
- GRIFFIN, G., 1994, Chemistry and Technology of Biodegradable Polymers, Großbritannien: Blacky Academic&Professional
- HARDIN, B. (2000): Stuck on Starch: a New Wood Adhesive;  
<http://www.ars.usda.gov/is/AR/archive/apr00/wood0400.htm>.
- HARTL, A. (1998): Naturtextilien aus Lsterreich, Leinen und Pflanzenfarben, Mitteilungen der Fachbereichsgruppe Nachwachsende Rohstoffe, BA für Landtechnik, Wieselburg.
- HARTMANN, M. H. (1998): High Molecular weight polylactic Acid polymers, in: Kaplan, D. L. (Hg.): Biopolymers from Renewable Resources, Berlin: Springer Verlag.
- HERBINGER, B. (1997): Naturstoffe und Verpackungstechnologie, Mitteilungen der Fachbereichsgruppe Nachwachsende Rohstoffe, BA für Landtechnik, Wieselburg.
- HEULER, S. (1997a): Die Sonnenblume als Ölpflanze;  
<http://wbtd15.biozentrum.uniwuertzburg.de/Projekte/Biotech/Umwelt/Rohstoff7.../Soblu IHT>.
- HEULER, S. (1997b): Öl – imd Fettliefernde Pflanzen;  
<http://wbtd15.biozentrum.uniwuertzburg.de/Projekte/Biotech/Umwelt/Rohstoff/...Oelpfla2HT>.
- HEULER, S. (1997c): Raps – eine Pflanze, die nicht nur einen Farbtupfer während der Blütezeit liefert, Biozentrum Univ. Würzburg  
<http://wbtd15.biozentrum.uniwuertzburg.de/Projekte/Biotech/Umwelt/Rohstoff7...RAPS IHT>.
- HEULER, S. (1997d): Was sind nachwachsende Rohstoffe?;  
<http://wbtd15.biozentrum.uniwuertzburg.de/Projekte/Biotech/Umwelt/Rohstoff.../WassinIHT>.
- HIRANO, S., NAKHIRA, T., al., e. (1999): Preparation and application of functional fibres from crab shell chitin, Journal of Biotechnology 70, 373–377.

- HOCKING, P. J., MARCHESSAULT R. H. (1998): Polyhydroxyalkonates, in: Kaplan, D. L. (Hg.): Biopolymers from Renewable Resources, Berlin: Springer Verlag.
- HOUGHTON, J., QUARMBY, J. (1999): Biopolymers in wastewater Treatment, *Current Opinion in Biotechnology* 10(3), 259–262.
- HUBER, C. (1993): Entwicklung und Anwendung chromatographischer Analysemethoden für Biopolymere, Universität Innsbruck, Innsbruck.
- INFOSOURCE, A. (1995): Biopolymers: Plastic From Plants  
<http://www.agwest.sk.ca/insource.html/Biopolymers.htm>.
- KAPLAN, D. L. (1998): Biopolymers from Renewable Resources, Berlin: Springer Verlag.
- KENAWYL, E. (1998): Biodegradable Composite Films baste on Waste Gelatine, 5. International Scientific Workshop on Biodegradable Plastics and Polymers, Stockholm.
- KERN, M. (1993): Nachwachsende und bioabbaubare Materialien im Verpackungsbereich, München: Verlag Roman Kovar.
- KÖLTRINGER, J. (1988): Anwendungsmöglichkeiten und Eigenschaften von Biopolymeren, Diplomarbeit, WU Wien, Wien.
- KURIER, U. (1998): Eßbare Bezüge für die Sitzgarnitur: Der Stoffkreislauf wird geschlossen, *Kurier* (19.11.1998).
- LALOV, I.-G. (2000): Treatment of Waste Water from Distilleries with Chitosan, *Water Research* (34(5), April), 1.503–1.506.
- LANG, R. W. (1999): Kunststoff aus Holz, *Austria Innovativ* (2/1999).
- LAWRANCE, E. (1999): Biotechnology: Plastic plants;  
<http://helix.nature.com/nsu/990930/990930-5.html>.
- LECHNER, M. (1998): Industrie Grundstoffe aus heimischen Ölpflanzen und die Perspektiven ihrer Nutzbarmachung, Mitteilungen der Fachbereichsgruppe Nachwachsende Rohstoffe, BA für Landtechnik, Wieselburg.
- LENAU, T. (1998): CPLA-Polyactide aliphatic Copolymer;  
<http://www.designsite.dk/htmsider/m953.htm>.
- LYONS-JOHNSON, D., 1998, Biodegradeable Plant-Based Hydraulic Fluid;  
<http://www.ars.usda.gov/is/AR/archive/nov98/oil1198.htm>.
- MACKWITZ, H. (1998a): Baukultur und Wohnkultur, nachwachsende Rohstoffe voll im Trend;  
[http://www.bbt.at/vortrage/nachwachsende\\_rohstoffe.htm](http://www.bbt.at/vortrage/nachwachsende_rohstoffe.htm).
- MACKWITZ, H. (1998b): Bergwerke der Zukunft, Mitteilungen der Fachbereichsgruppe Nachwachsende Rohstoffe, BA für Landtechnik, Wieselburg.
- MEYER, U. (1997): Farbstoffe aus der Natur, Geschichte und Wiederentdeckung, Göttingen: Verlag Die Werkstatt GmbH.
- MUNDDIGLER, M. (1998): Werkstoffe aus proteinreichen Nebenprodukten der Lebensmittelindustrie, Mitteilungen der Fachbereichsgruppe Nachwachsende Rohstoffe, BA für Landtechnik, Wieselburg.
- OBERNBERGER, I. (1997): Stoffliche und thermische Verwertung von Glycerin aus der Biodieselproduktion, Mitteilungen der Fachbereichsgruppe Nachwachsende Rohstoffe, BA für Landtechnik, Wieselburg.
- OECD (1989): Renewable Natural Resources: OECD

- PAGER, K.: Tagung über Pflanzenöldruckfarben, Mitteilungen der Fachbereichsgruppe Nachwachsende Rohstoffe, BA für Landtechnik, Wieselburg.
- PAVLATH, A., ROBERTSON, G. (1999): Biodegradable Polymers vs. Recycling: What are the possibilities: Critical Reviews in Analytical Chemistry.
- PEPPAS, N. A. (1993): Advances in Biopolymer Science, Heidelberg: Springer Verlag Berlin.
- PFEIL, A., al., e. (1994): Biologische abbaubare Kunststoffe, Renningen-Malmsheim BRD: Expert Verlag.
- PIERINGER, M. (1999): NAWARO – Daten und Fakten;  
[http://www.global2000.at/tnawaro/nawaro\\_daten\\_fakten.htm](http://www.global2000.at/tnawaro/nawaro_daten_fakten.htm).
- Plattform-Gentechnik (2000): Erneuerbare Rohstoff;  
<http://www.gentech.at/Infotext/anwendungen/erneuerbareRohstoffe.htm>.
- REICHL, B. (1997): Verpackungen aus nachwachsenden Rohstoffen, Mitteilungen der Fachbereichsgruppe Nachwachsende Rohstoffe, BA für Landtechnik, Wieselburg.
- REYMANN, W., KOCH, M., ALBRECHT, P. (1990): Herstellung von Behältern aus einem orientierten Biopolymer, Technische Mitteilungen Krupp 2, 113–118.
- SALMORAL, E., GONZALES, M., MARISCAL, M. P. (2000): Biodegradable plastic made from bean products, Industrial Crops&Products II(2–3), 217–225.
- SCHLIPHAKE, D. (1986): Nachwachsende Rohstoffe: Verlag Kordt, Deutschland.
- SCOTT, G. (1998): Antioxidant Control of Polymer Biodegradation, 5. International Scientific Workshop on Biodegradable Plastics and Polymers, Stockholm.
- SEDEV, R. (1997): Surface for the measurement in foam films mixtures of protein and polymeric surfactants, Colloids and Surfaces, Physiochemical and Engineering Aspects 149 n 1. April 15.
- SESSA, D. (1996): An enzyme from soybean hulls is now replacing formaldehyde in industrial product as adhesive, abrasive and protecting coating;  
<http://www.ars.usda.gov/is/Qt/q295/ip295.htm>.
- SOO, H. K. (1998b): R&D Status of Biodegradable Polymers in Korea, 5. International Scientific Workshop on Biodegradable Plastics and Polymers, Stockholm.
- STEVENS, T. (1991): Degradeable Plastics, Materila Engineering 108(7), 27–29.
- SUSZKIW, J. (1999): Soapstock Waste yield New Products;  
<http://www.ars.usda.gov.is/pr/1999/990322.htm>.
- SUVOVORA, A. (1998): Viscosity, Sorption of Water and Biodegradation of Starch/Copolyamide Blends, 5. International Scientific Workshop on Biodegradable Plastics and Polymers, Stockholm.
- TAB-Brief (1999): Nachwachsende Rohstoffe haben Entwicklungspotential, TAB-Brief 16.

- VOLLMAR, I. (1997): Protein als Rohstoff: Züchtung von Sojabohne mit hohem Proteingehalt, Mitteilungen der Fachbereichsgruppe Nachwachsende Rohstoffe, BA für Landtechnik, Wieselburg.
- WAYMAN, M., PAREKH, S. (1990): *Biotechnology of Biomass Conversion, Fuel and Chemicals from renewable resources*, London: Open University Press.
- WILKE, D. (1998): Chemicals from biotechnology: molecular plant genetics will challenge the chemical and the fermentation industry, *Applied Microbiology & Biotechnology* 52, 135–145.
- WILLET, J. L. (1994): Adding constarch to biodegradable plastic cuts by 40 percent the cost of making items from this plastic; Quarterly Report, Oct-Dec 1994; <http://www.ars.usda.gov/is/qtr/ip494.htm>.
- WING, R. E. (1998): A new type of instantly soluble cornstarch could replace petroleum-based Aes in industrial process; <http://www.ars.usda.gov/is/qtr/q398/ip398.htm>.
- WINKLER-RIEDER, W. (1997): Potentiale, Hemmnisse und Bedarfslage für den Einsatz der nachwachsenden Rohstoffe Hanf und Flachs in Österreich, Einsatzpotentiale, Märkte, Ökologische Auswirkungen, Mitteilungen der Fachbereichsgruppe Nachwachsende Rohstoffe, BA für Landtechnik, Wieselburg.
- WÖRGETTER, M. (1997): Zehn Argumente für nachwachsende Rohstoffe, Mitteilungen der Fachbereichsgruppe Nachwachsende Rohstoffe, BA für Landtechnik, Wieselburg.
- YANG, S. (1998): Degradable Plastics for Agricultural Applications in Taiwan, 5. International Scientific Workshop on Biodegradable Plastics and Polymers, Stockholm.
- YU, P. H., CHUA, A., LO, W. H. (1999): Transformation of industrial food wastes into polyhydroxyalkanoates, *Water Science and Technology* 40, 365–370.
- ZANG, Y. (1998): Fluorcarbon modified Chitin and Chitosan, 5. International Scientific Workshop on Biodegradable Plastics and Polymers, Stockholm.
- Zellform (2000): Zellform; <http://www.zellform.com>.
- Zellform, G. f. Ö. F. (1997): Entwicklung des ökologischen Faserwerkstoffes „ZELFO 2“; in Reihe: Berichte aus der Energie und Umweltforschung, hg. v. Verkehr, B. f. W. u., Wien: Bundesministerium für Wissenschaft und Verkehr.