

Umweltforschungsplan
des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Grundsatzfragen Technik, Biotechnologie, Stoffflüsse, Investitionsprogramm

Förderkennzeichen (UFOPLAN) 202 66 326

**Entlastungseffekte für die Umwelt durch Substitution
konventioneller chemisch-technischer Prozesse und
Produkte durch biotechnische Verfahren
- Kurzfassung zum Schlussbericht -**

Bayerisches Institut für Angewandte Umweltforschung und -technik – BIfA GmbH
Abt. Umwelttoxikologie, -hygiene und -biotechnologie

Dr. Klaus Hoppenheidt und Prof. Dr. Wolfgang Mücke

und

Abt. Verfahrens- und Systemtechnik

René Peche, Dr. Dieter Tronecker, Udo Roth, Eduard Würdinger, Sarah Hottenroth
und Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Rommel

IM AUFTRAG DES UMWELTBUNDESAMTES

August 2004

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB FuE-Vorhaben FKZ: 202 66 326	2. --	3. --
4. Titel des Berichts Entlastungseffekte für die Umwelt durch Substitution konventioneller chemisch-technischer Prozesse und Produkte durch biotechnische Verfahren - Kurzfassung		
5. Autoren Dr. K. Hoppenheidt, Prof. Dr. W. Mücke, R. Peche, Dr. D. Tronecker, U. Roth, E. Würdinger, S. Hotten- roth, Prof. Dr.-Ing. W. Rommel	8. Abschlussdatum 15.06.2004	
	7. Veröffentlichungsdatum --	
6. Durchführende Institution Bayerisches Institut für Angewandte Umweltfor- schung und -technik – BlfA GmbH Am Mittleren Moos 46 D-86167 Augsburg	9. UFOPLAN-Nr. 202 66 326	
	10. Seitenzahl 37	
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Postfach 33 00 22 D-14191 Berlin	12. Literaturangaben 57	
	13. Tabellen 7	
	14. Abbildungen 10	
15. Zusätzliche Angaben --		
16. Zusammenfassung Mit Hilfe eines standardisierten ökobilanziellen Vergleichs wurde überprüft, ob die Nutzung biotechnischer Produktionsverfahren und biotechnisch gewonnener Produkte im Vergleich zu chemisch-technischen Alternativen Entlastungseffekte für die Umwelt bedingen kann. Ausgewertete Verfahren waren die Herstellung von Vitamin B2 sowie ein Teilschritt der Lederherstellung. Ausgewertete funktionsanaloge Produkte waren: Loose-fill-Packmittel auf Stärke- bzw. Polystyrolbasis; Vollwaschmittel mit bzw. ohne Enzymeinsatz; chemische und biotechnische Leistungsförderer bei der Tierzucht. Ergänzend wurden relevante Arbeits- und Umweltschutzmaßnahmen vergleichend ausgewertet, die bei der Anwendung eines bio- bzw. chemisch-technischen Produktionsverfahrens zu beachten sind.		
17. Schlagwörter Umweltentlastung; biotechnische Produktion; Bioprodukte; chemisch-technische Produktion; chemische Produkte; ökobilanzieller Vergleich; Arbeitsschutz; Umweltschutz		
18. Preis --	19. --	20. --

Inhaltsverzeichnis

Berichts-Kennblatt.....	I
Inhaltsverzeichnis.....	III
1 Ausgangssituation.....	1
1.1 Beitrag der Biotechnologie zur nachhaltigen Entwicklung	2
1.2 Aufgabenstellung	4
2 Vorgehensweise	5
3 Auswertung der Umweltentlastungseffekte von bestehenden biotechnischen Verfahren	7
3.1 Verfahrensvergleich 1a – Biotechnische und chemisch- technische Vitamin B2-Produktion der DSM Nutritional Products	8
3.2 Verfahrensvergleich 1b – Biotechnische und chemisch- technische Vitamin B2-Produktion der BASF AG	10
3.3 Verfahrensvergleich 2 – Biotechnische und chemisch- technische Lederherstellung.....	12
4 Auswertung der Umweltentlastungseffekte durch Produktsubstitutionen.....	15
4.1 Produktvergleich 1 - Loose-fill-Packmittel aus EPS und Stärke.....	16
4.2 Produktvergleich 2 - Tierproduktion unter Einsatz von Probiotika und Seltenen Erden	19
4.3 Produktvergleich 3 – Enzymeinsatz in Vollwaschmitteln.....	21
5 Konzept zur vergleichenden Bewertung des Gefahrenpotentials der biotechnischen und chemisch-technischen Produktion	24
6 Fazit.....	27
7 Literatur	30

1 Ausgangssituation

Die internationale Staatengemeinschaft hat sich 1992 in Rio de Janeiro zum Leitbild der Nachhaltigen Entwicklung bekannt. Mit der Agenda 21 wurde ein globales Aktionsprogramm formuliert, das die Entwicklung von Strategien fordert, die eine wirtschaftlich leistungsfähige, sozial gerechte und ökologisch verträgliche Entwicklung zum Ziel haben. Die 2002 veröffentlichte Nachhaltigkeitsstrategie für Deutschland führt 21 Schlüsselindikatoren auf, deren Monitoring die Annäherung Deutschlands an die benannten Nachhaltigkeitsziele aufzeigen soll (Bundesregierung Deutschland, 2002).

6 von 21 Nachhaltigkeitsindikatoren betreffen Umweltbelange		
▪ <u>Ressourcenschonung:</u>		
Ressourcenproduktivität (Materialien):	1990 → 2020:	+ 100 %
Ressourcenproduktivität (Energie):	1994 → 2020:	+ 100 %
▪ <u>Erneuerbare Energien:</u>		
Anteil am Primärenergieverbrauch:	2000 → 2010:	+ 100 %
Anteil am Stromverbrauch:	2000 → 2010:	+ 100 %
▪ <u>Klimaschutz:</u>		
Reduktion der Treibhausgase:	1990 → 2010:	- 15 %
▪ <u>Luftqualität:</u>		
Emissionen von Luftschadstoffen:	1990 → 2010:	- 70 %
▪ <u>Flächeninanspruchnahme:</u>		
Begrenzung der Zunahme:	jetzt → 2020:	- 77 %
▪ <u>Artenvielfalt:</u>		
Stabilisierung der Artenvielfalt auf hohem Niveau		

Abbildung 1: Umweltbezogene Ziele der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie

Ansätze zur Entkopplung des Wirtschaftswachstums von der Nutzung der Umweltressourcen sind in Deutschland inzwischen erkennbar. Das Umweltbundesamt hat einen Kennwert eingeführt, der Entwicklungstrends des Umweltschutzes in Deutschland widerspiegelt - den Deutschen Umweltindex, kurz DUX. Dessen letzter Zwischenstand lag bei 2.013 von angestrebten 6.000 DUX-Punkten, so dass noch erhebliche Anstrengungen zum Erreichen der Zielvorgaben erforderlich sind. Obwohl der Stand der in Deutschland realisierten Umweltschutzmaßnahmen als fortgeschritten eingestuft werden kann (EEA, 2003; UNEP, 2002), ist der Handlungsbedarf auf nationaler wie internationaler Ebene unverändert groß, wenn das 1987 formulierte Leitbild einer Nachhaltigen Entwicklung Realität werden soll.

1.1 Beitrag der Biotechnologie zur nachhaltigen Entwicklung

Bis Mitte der 90er Jahre waren die Haupteinsatzbereiche der Biotechnologie der Nahrungsmittelsektor und der Umweltschutzbereich. Die 1992 formulierte Agenda 21 zur Rio-Konferenz wies im Abschnitt 16 ausdrücklich auf das Entwicklungspotential der Biotechnologie für eine nachhaltige Entwicklung hin:

„... Die Biotechnologie ist nicht in der Lage, von sich aus all die grundlegenden Umwelt- und Entwicklungsprobleme zu lösen, weshalb die Erwartungen durch eine realistischere Sicht eingeschränkt werden sollten. Dennoch verspricht die Biotechnologie, einen bedeutenden Beitrag zur Erzielung von Fortschritten beispielsweise in der Gesundheitsversorgung, in der Ernährungssicherung in Form von nachhaltigen Anbaupraktiken, einer verbesserten Versorgung mit Trinkwasser, leistungsfähigeren industriellen Erschließungsprozessen für die Umwandlung von Rohstoffen, der Förderung nachhaltiger Aufforstungs- und Wiederaufforstungsverfahren und der Entgiftung von Sonderabfällen zu leisten.“

Heute zeichnet sich eine Umsetzung der in der Agenda 21 benannten Entwicklungen ab. Einsatzbereiche der traditionellen Biotechnologie weiten sich aus: In Deutschland werden rd. 10.000 kommunalen Kläranlagen mit biologischen Reinigungsstufen betrieben 7,6 Mio. Mg Bioabfälle in biologischen Verwertungsanlagen genutzt (BMU, 2004a). Mehr als 1.900 Biogasanlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von 250 MW wurden neu in Betrieb genommen (Fachverband Biogas, 2004). Insgesamt ist der Beitrag der Biomassenutzung zur Stromproduktion von 222 GWh in 1990 auf nunmehr 5.140 GWh in 2003 angestiegen (BMU, 2004b).

Die Fortschritte der Molekularbiologie und vor allem der Gentechnik fördern die rasche Entwicklung der Biotechnologie in jenen Anwendungsbereichen, in denen sie bislang erst ein geringes Marktpotential besaß. Anwendungsfelder der modernen Biotechnologie sind (BIO, 2004):

- *Healthcare Biotechnology („Rote Biotechnologie“)*: Aktuell sollen Bioprodukte (Proteine, Antikörper, Enzyme) bereits einen Marktanteil von ~ 20 % haben und Neuentwicklungen sollen zu 50 % Bioprodukte sein.
- *Green Biotechnology („Grüne Biotechnologie“)*: Die vor 10 Jahren begonnene Nutzung gentechnisch veränderter Pflanzen (und Tieren) erreicht in den USA einen Anteil von 46 % beim Mais, 86 % beim Soja und 76 % bei Baumwolle (BIO, 2004). Aktuelle Entwicklungen haben die Nutzung von Pflanzen (und Tieren) für die kostengünstige Produktion von Pharmaprodukten und Industrierohstoffen zum Ziel (D’Aquino, 2003).

- *White Biotechnology* („Weiße Biotechnologie“): Nutzung der Biotechnologie als einen Baustein für eine nachhaltige zukunftsverträgliche Chemie („Green Chemistry“) (BACAS, 2004).

Im Rahmen dieser Studie sind vor allem die Entwicklungen im Bereich der *White Biotechnology* von Interesse. Die in Abbildung 2 dargestellte Prognose verdeutlicht, dass der Umsatz mit industriell hergestellten Bioprodukten im Vergleich zum weltweiten Gesamtumsatz der Chemischen Industrie derzeit noch relativ gering ist.

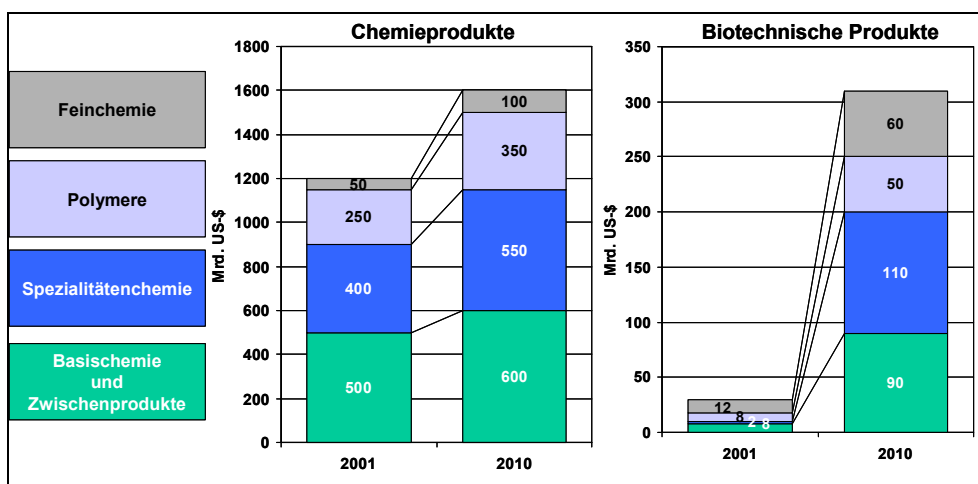


Abbildung 2: Weltweiter Umsatz chemischer und biotechnischer Produkte im Jahr 2001 und Prognosedaten für 2010 (Daten: Festel et al., 2004)

Allerdings wird für die nächsten Jahre ein starkes Wachstum biotechnischer Anwendungen erwartet, da die Nutzung von modernen biotechnischen Verfahren deutliche Reduktionen der Kosten und der Umweltbelastungen in Aussicht stellen (Bachmann et al., 2000; Festel et al., 2004). Gründe für diese Erwartungen sind Optimierungen der Produktionsstämme und der Produktionsprozesse, veränderte umweltpolitische Rahmendaten sowie die Entwicklung neuartiger Anwendungen der Biotechnologie (Aristidou et al., 2000; Chartrain et al., 2000; Cotassa et al., 2002; Desai, 2002; Wubbolts, 2002).

Obwohl Prozessoptimierungen primär aus ökonomischen Gründen erfolgen, können sich dadurch auch ökologische Vorteile ergeben. Die OECD (2001) hat in 21 Fallstudien aufzeigen können, dass durch die Anwendung moderner biotechnischer Verfahren eine Reduktion der produktionsbedingten Umweltbelastungen erzielt werden kann.

1.2 Aufgabenstellung

Das Umweltbundesamt hat Teilaspekte der oben skizzierten Entwicklungstendenzen in zahlreichen Studien untersuchen lassen (Mieschendahl, 2004), die insgesamt eine Diskrepanz zwischen den oben skizzierten Erwartungen zum Beitrag der Biotechnologie für eine nachhaltige Entwicklung und dem aktuellen Realisierungsstand ergeben haben. Die vom Umweltbundesamt für den UFOPLAN 2002 formulierte Projektausschreibung sah deshalb folgende Projektaufgaben vor:

1. *„Sammlung und Analyse von Daten aus biotechnischen Verfahren, die bereits in der Industrie eingesetzt werden oder sich zumindest im Technikumsmaßstab befinden. Dabei sollen Entlastungseffekte für die Umwelt im Vergleich zu chemisch-technischen Verfahren ermittelt und deutlich gemacht werden. Das Umweltentlastungspotenzial ist quantitativ unter Berücksichtigung spezifisch biotechnischer Fragestellungen zu erfassen. Als Datengrundlage können z.B. die OECD Studie „The Application of Biotechnology to Industrial Sustainability“ (OECD 2001) oder die UBA-Veröffentlichung „Substitution chemisch-technischer Prozesse durch biotechnische Verfahren am Beispiel ausgewählter Grund- und Feinchemikalien“ (UBA-Texte 16/01) herangezogen werden.“*
2. *„Neben Verfahrensumstellungen können aber auch Produktsubstitutionen Entlastungseffekte bewirken. Der Ersatz eines chemischen Produktes durch ein biotechnisches Produkt von funktionaler Gleichwertigkeit (Beispiel Biopolymere) kann sich ebenfalls positiv für die Umwelt auswirken. Produktsubstitutionen sind zu ermitteln und Entlastungseffekte an Beispielen quantitativ zu bestimmen.“*
3. *„Während chemische Produktionsverfahren oft bei hohen Temperaturen und Drücken und unter Einsatz organischer Lösungsmittel gefahren werden, gilt die Biotechnik als vergleichsweise sanfte Technologie, da hier unter milden Bedingungen gearbeitet wird: Raumtemperatur, Normaldruck, wässriges Milieu. Das sollte Auswirkungen auf die Konzeption einer Produktionsanlage haben. Sowohl in Hinblick auf die notwendige Mess- und Regeltechnik, die Materialbeschaffenheit, den Materialaufwand als auch generell auf die Frage der Anlagensicherheit sollte die Biotechnik Vorteile gegenüber chemischen Produktionsverfahren aufweisen. Diese Aspekte sollen an einer Beispielanlage ermittelt und unter Bezug auf mögliche positive Umwelteffekte dargestellt werden.“*

2 Vorgehensweise

Die praktische Bearbeitung des Vorhabens erforderte zunächst eine Recherche der zu Projektbeginn (November 2002) verfügbaren Informationen zu auswertbaren Verfahren und Produkten. Nach Abstimmung mit dem Umweltbundesamt wurden 2 Herstellungsverfahren ausgewählt, die einen ökobilanziellen Vergleich je einer biotechnischen und einer chemisch-technischen Herstellungsverfahren für das gleiche Produkt ermöglichten. Außerdem wurden 3 Prozesse ausgewählt, mit denen auf biotechnischem und auf chemisch-technischem Weg funktionsanaloge Produkte hergestellt werden. Die aus der Nutzung der Produktvarianten resultierenden Umweltbelastungen wurden ebenfalls mit Hilfe von ökobilanziellen Vergleichen ausgewertet.

Die aus der Nutzung biotechnischer bzw. chemisch-technischer Herstellungsverfahren resultierenden Umweltbelastungen wurden mithilfe der Bilanzierungssoftware UMBERTO® in einem ökobilanziellen Vergleich ausgewertet. Dazu wurden – wie in Abbildung 3 schematisch dargestellt – standardisierte ökobilanzielle Auswertungen durchgeführt, wobei jedoch nur die angegebenen Wirkungskategorien betrachtet werden konnten. Vollumfängliche Ökobilanzen würden noch weiter gehende Auswertungen erfordern.



Abbildung 3: Elemente einer Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 ff. (links) und im Projekt berücksichtigte Wirkungskategorien

Bereits die durchgeführten Auswertungen haben umfangreiche Datenbestände ergeben, für deren zusammenfassende Darstellung eine Normierung der Ergebnisse auf Einwohnerwerte durchgeführt wurde. Je höher die Einwohnerwerte sind, desto bedeutender ist die Wirkungskategorie bzw. der Einzelwert für die Umweltbelastung. Durch den Vergleich der verschiedenen Kategorien bzw. Werte miteinander, wird die unter-

schiedliche Bedeutung hinsichtlich der Umweltbelastung deutlich. Die Ergebnisse aus der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung beziehen sich auf die jeweilige funktionelle Einheit der Auswertungen. Die normierten Werte lassen keine Rückschlüsse zu, ob die Prozesse bzw. die Unterschiede für Deutschland von Bedeutung sind, da die Werte auf die jeweilige funktionelle Einheit bezogen sind und nicht auf eine Jahresproduktion. Erst die Normierung der Jahresproduktion der einzelnen Szenarien auf Einwohnerwerte würde diese Auswertung zulassen.

Tabelle 1 zeigt ein Beispiel für die normierte Darstellung der Ergebnisse. Die Bedeutung der absoluten Werte, der berechneten Einwohnerwerte und der Differenzen der Einwohnerwerte wurde durch Anwendung folgender Formatierungen von Schrift und Hintergrundfarbe hervorgehoben:

25	Höherer Wert: Schwarze Zahl mit Fettdruck im weißen Kasten
-12	Umweltentlastung durch biotech. Verfahren: Weiße Zahl mit Fettdruck im dunklen Kasten
10	Mehrbelastung durch biotech. Verfahren: Schwarze Zahl mit Fettdruck im hellen Kasten
0,02	Irrelevante Differenz der Umweltbelastungen: Zahl ohne Fettdruck im weißen Kasten

Tabelle 1: Beispiel der normierten Darstellung der Netto-Ergebnisse (Details: s. Hoppenheidt et al., 2004)

		Bio- technisch	Chemisch- technisch	Bio- technisch	Chemisch- technisch	Differenz (Bio. - Chem.)
	Einheit			Einwohner- werte	Einwohner- werte	Einwohner- werte
Wirkungskategorien, aggregiert						
KEA	GJ	391	590	2,24	3,38	-1,14
Treibhauspotential	kg CO ₂ -Äq.	25,0	33,5	2,12	2,84	-0,72
Versauerungspotential	kg SO ₂ -Äq.	115	229	2,84	5,63	-2,79
Eutrophierungspot. (terrestr.)	kg PO ₄ -Äq.	11,4	15,2	2,19	2,91	-0,73
Eutrophierungspot. (aquat.)	kg PO ₄ -Äq.	21,4	5,8	3,85	1,04	2,81
Humantoxische Einzelstoffe						
Benzo(a)pyren	g	0,0067	0,0034	0,04	0,02	0,02
Blei	g	0,28	0,16	0,04	0,02	0,02
Cadmium	g	0,095	0,034	0,71	0,26	0,45

3 Auswertung der Umweltentlastungseffekte von bestehenden biotechnischen Verfahren

Dieses Projektmodul sah eine vergleichende Auswertung je eines biotechnischen und eines chemisch-technischen Herstellungsverfahrens für dasselbe Produkt (P) vor. Die Verfahrensalternativen sollten bereits in der Industrie eingesetzt werden oder sich zumindest im Technikummaßstab befinden.

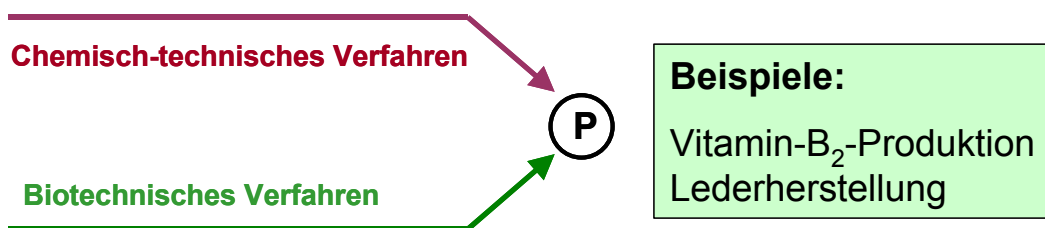


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Rahmenbedingungen für einen Vergleich

Da es eine unüberschaubare Vielfalt von Produktionsprozessen und Produktionsabläufen gibt, konnten im Rahmen dieses Vorhabens nur zwei Varianten betrachtet werden:

- Bei der Herstellung von Vitamin B₂ können die zahlreichen Syntheseschritte vom Rohstoff zum Produkt vollständig biotechnisch oder chemisch-technisch durchgeführt werden (s. 3.1 und 3.2).
- Bei der Lederherstellung kommen ebenfalls zahlreiche Verfahrensschritte zum Einsatz, doch wurde hier nur untersucht, welche Unterschiede der Umweltauswirkungen auftreten, wenn ein Verfahrensschritt biotechnisch oder chemisch-technisch durchgeführt wird (s. 3.3).

Die betrachteten Varianten repräsentieren somit zwei Extreme möglicher Herstellungsverfahren, so dass ein Vergleich der Ergebnisse der untersuchten Varianten zumindest eingeschränkte Rückschlüsse auf andere Herstellungsverfahren ermöglicht.

3.1 Verfahrensvergleich 1a – Biotechnische und chemisch-technische Vitamin B2-Produktion der DSM Nutritional Products

DSM Nutritional Products (vormals Roche Vitamine GmbH) ersetzte im Jahr 2000 den bisher genutzten mehrstufigen chemisch-technischen Prozess für die Vitamin B2-Herstellung durch einen biotechnischen Prozess. Die von DSM bereitgestellten und durch eigene Recherchen ergänzten Daten waren die Grundlage für den durchgeführten Verfahrensvergleich.

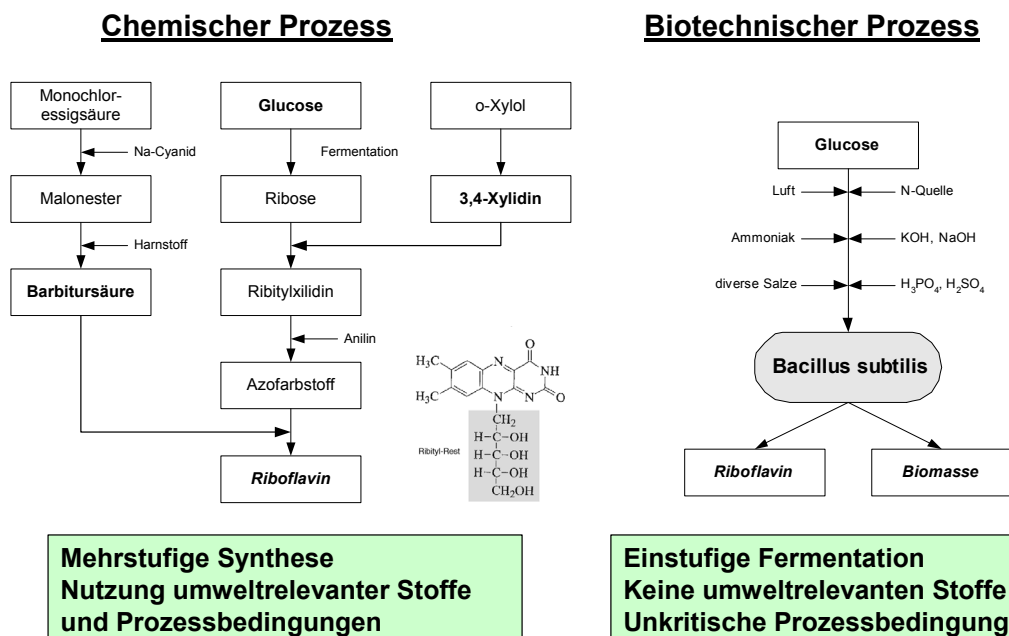


Abbildung 5: Schematischer Vergleich der chemisch-technischen und der biotechnischen Vitamin B2-Produktion

Als funktionelle Einheit wurde die Produktion von 1.000 kg Vitamin B2 mit einer Reinheit von 96 % sowie der nachfolgenden Weiterverarbeitung von 19 Gew.-% zu 167 kg Vitamin B2 mit einer Reinheit von 98 % angenommen.

Für die chemisch-technische Vitamin B2-Produktion wurde ein mehrstufiger Syntheseprozess genutzt, für den neben nachwachsenden Rohstoffen auch verschiedene umweltrelevante Chemikalien eingesetzt wurden. Der biotechnische Herstellungsprozess erfordert dagegen nur eine einstufige Fermentation, für die neben nachwachsenden Rohstoffen nur geringe Mengen chemischer Hilfsmittel mit geringer Umweltrelevanz

benötigt werden. Die in vergleichsweise großen Mengen anfallenden Abfallbiomassen können biologisch verwertet werden, sodass sie keinen negativen Einfluss auf die Gesamtbilanz des Prozesses haben.

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der vergleichenden Wirkungsabschätzung zusammengefasst. Beim biotechnischen Prozess wurden im Vergleich zum chemisch-technischen Prozess für die aggregierten Wirkungskategorien kumulierter Energieaufwand (KEA-Ressourcenbeanspruchung), Treibhaus-, Versauerungs-, terrestrisches Eutrophierungspotential und Ozonbildungspotential deutliche Umweltentlastungen ermittelt. Das aquatische Eutrophierungspotential war beim biotechnischen Prozess allerdings um 2,8 Einwohnerwerte höher als beim chemisch-technischen Prozess.

Tabelle 2: Zusammenfassung der Ergebnisse der Wirkungsabschätzung

		Biotechnischer Prozess	Chemisch-technischer Prozess	Biotechnischer Prozess	Chemisch-technischer Prozess	Differenz (Bio. - Chem.)
	Einheit			Einwohnerwerte	Einwohnerwerte	Einwohnerwerte
Wirkungskategorien, aggregiert						
KEA	GJ	391	590	2,24	3,38	-1,14
Treibhauspotential	Mg CO ₂ -Äq.	25,0	33,5	2,12	2,84	-0,72
Versauerungspotential	kg SO ₂ -Äq.	115	229	2,84	5,63	-2,79
Eutrophierungspotential (terrestr.)	kg PO ₄ -Äq.	11,4	15,2	2,19	2,91	-0,73
Eutrophierungspotential (aquat.)	kg PO ₄ -Äq.	21,4	5,8	3,85	1,04	2,81
Ozonbildungspotential (POCP)	kg Eth-Äq.	8,6	20,3	0,99	2,35	-1,36
Humantoxische Einzelstoffe						
Benzo(a)pyren (L)	g	0,0067	0,0034	0,04	0,02	0,02
Blei (L)	g	0,28	0,16	0,04	0,02	0,02
Cadmium (L)	g	0,095	0,034	0,71	0,26	0,45
Schwefeldioxid (L)	kg	53,2	145,56	5,51	15,1	-9,55
Staub (L)	kg	11,7	37,7	3,73	12,0	-8,25
Ökotoxische Einzelstoffe						
Ammoniak (L)	kg	8,42	1,15	1,11	0,15	0,96
Fluorwasserstoff (L)	kg	0,05	0,05	0,03	0,03	0,00
Schwefeldioxid (L)	kg	53,2	146	5,51	15,1	-9,55
Schwefelwasserstoff (L)	g	0,061	0,36	--	--	--
Stickoxide (L)	kg	65,3	114	3,36	5,85	-2,49
Ammonium (W)	kg	8,16	1,48	2,92	0,53	2,39
AOX (W)	g	0,0024	7,75	0,000045	0,15	-0,15
Chlorid (W)	kg	100	239	--	--	--
Kohlenwasserstoffe (W)	kg	0,001	2,04	0,01	39,3	-39,25

Bei den als humantoxisch eingestuft und ausgewerteten 5 Einzelstoffen ergab der Vergleich für die Parameter Benzo(a)pyren und Blei nur geringfügige Unterschiede bei einem geringen Belastungsniveau. Die relativ geringen Cadmiumemissionen waren beim biotechnischen Prozess um 0,45 Einwohnerwerte höher als beim chemisch-technischen Prozess. Bei den in relevanten Mengen emittierten Schwefeldioxid und Staub ergab der Vergleich für die Anwendung des biotechnischen Verfahrens eine ausgeprägte Umweltentlastung.

Bei den als ökotoxisch eingestuften und ausgewerteten 9 Einzelstoffen dokumentieren die Daten des biotechnischen Verfahrens bei 6 Parametern (Schwefeldioxid (L); Schwefelwasserstoff (L); Stickoxide (L); AOX (W); Chlorid (W); Kohlenwasserstoffe (W)) z.T. deutliche Umweltentlastungen im Vergleich zum chemisch-technischen Verfahren. Bei 2 Parametern (Ammoniak (L); Ammonium (W)) ergaben sich für den biotechnischen Prozess höhere Emissionswerte und bei einem Parameter (Fluorwasserstoff (L)) lagen die Emissionen bei beiden Verfahren auf einem niedrigen Niveau.

Abschließend weisen wir ausdrücklich darauf hin, dass die Einzelergebnisse nur einen Vergleich der hier ausgewerteten Verfahren erlauben. Aufgrund anderer Rahmenbedingungen bei der Bilanzierung sowie der Unterschiede in den zur Verfügung gestellten Prozessdaten ist insbesondere der Vergleich der Einzeldaten mit denen der BASF AG unzulässig.

3.2 Verfahrensvergleich 1b – Biotechnische und chemisch-technische Vitamin B2-Produktion der BASF AG

Seit 1990 stellt die BASF AG Vitamin B2 in einem biotechnischen Prozess her. Im Unterschied zum Verfahren der DSM Nutritional Products nutzt die BASF AG eine Mutante des Pilzes *Ashbya gossypii*, dessen Stoffwechsel hinsichtlich der Überproduktion von Vitamin B2 optimiert worden ist. Da hohe Ausbeuten von > 15 g/L bevorzugt beim Einsatz von Pflanzenölen als Substrat erhalten werden, kommen für die Vitamin B2-Produktion Pflanzenöle auf Sojabasis zum Einsatz (Özbas u. Kutsal, 1986; Monschau et al., 1999; Maeting et al., 2001). Auch bei der BASF hat das biotechnische Verfahren das chemisch-technische Verfahren verdrängt, das weitgehend analog zum oben beschriebenen Prozess der DSM Nutritional Products betrieben worden war, weshalb an dieser Stelle nicht noch einmal näher darauf eingegangen werden muss.

Die Ergebnisse der vergleichenden Auswertung der biotechnischen und der chemisch-technischen Vitamin B2-Produktion bei der BASF AG sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Als funktionelle Einheit wurde die Produktion von 1.000 kg Vitamin B2 gewählt.

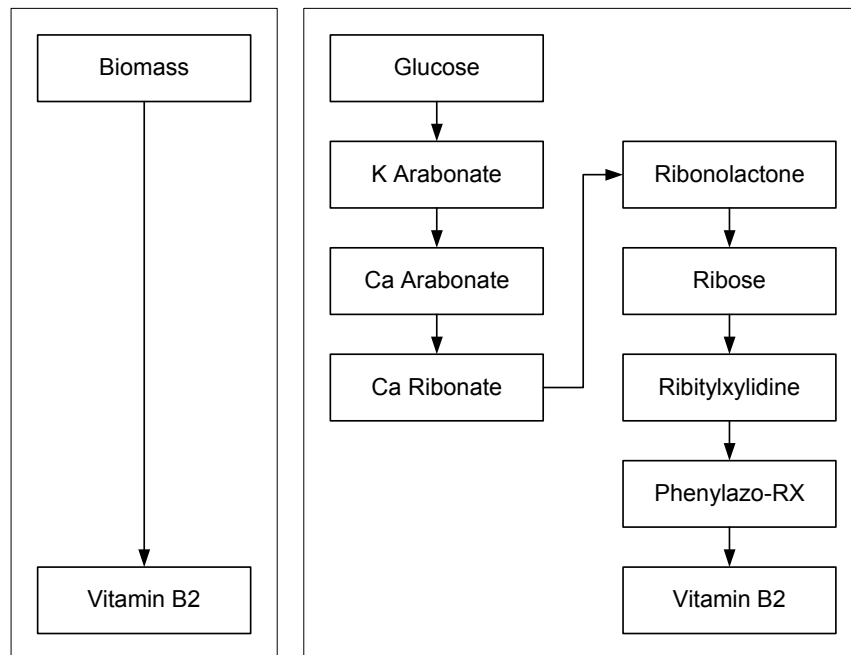


Abbildung 6: Schema der Systemgrenzen für die biotechnische (links) und chemisch-technische (rechts) Vitamin B2-Produktion bei der BASF AG in der konzerneigenen Ökoeffizienzanalyse

Tabelle 3: Zusammenfassung der Ergebnisse der Wirkungsabschätzung

		Biotechnischer Prozess	Chemisch- technischer Prozess	Biotechnischer Prozess	Chemisch- technischer Prozess	Differenz (Bio. - Chem.)
	Einheit			Einwohnerwerte	Einwohnerwerte	Einwohnerwerte
Wirkungskategorien, aggregiert						
KEA	GJ	917	973	5,25	5,58	-0,32
Treibhauspotential	Mg CO ₂ -Äq.	34,8	51,8	2,94	4,39	-1,44
Versauerungspotential	kg SO ₂ -Äq.	177	557	4,34	13,7	-9,34
Eutrophierungspotential (terrestr.)	kg PO ₄ -Äq.	12,9	24,5	2,48	4,70	-2,22
Eutrophierungspotential (aquat.)	kg PO ₄ -Äq.	26,8	10,1	4,82	1,81	3,01
Ozonbildungspotential (POCP)	kg Eth-Äq.	8,31	28,7	0,96	3,32	-2,36
Humantoxische Einzelstoffe						
Benzo(a)pyren (L)	kg	--	--	--	--	--
Blei (L)	kg	--	--	--	--	--
Cadmium (L)	kg	--	--	--	--	--
Schwefeldioxid (L)	kg	105	424	10,9	43,9	-32,99
Staub (L)	kg	--	--	--	--	--
Ökotoxische Einzelstoffe						
Ammoniak (L)	kg	2,87	0,80	0,38	0,11	0,27
Fluorwasserstoff (L)	kg	--	--	--	--	--
Schwefeldioxid (L)	kg	105	424	10,9	43,9	-32,99
Schwefelwasserstoff (L)	kg	--	--	--	--	--
Stickoxide (L)	kg	91,7	186	4,71	9,57	-4,86
Ammonium (W)	kg	0,072	14,6	0,03	5,20	-5,17
AOX (W)	kg	0,00021	0,39	0,004	7,38	-7,38
Chlorid (W)	kg	40,1	922	--	--	--
Kohlenwasserstoffe (W)	kg	0,063	0,39	1,22	7,55	-6,33

Die Tabelle zeigt, dass beim biotechnischen Prozess im Vergleich zum chemisch-technischen Prozess Umweltentlastungspotentiale für die aggregierten Wirkungskategorien kumulierter Energieaufwand (Ressourcenbeanspruchung), Treibhaus-, Versauerungs-, terrestrisches Eutrophierungs- und Ozonbildungspotential ermittelt wurden. Das aquatische Eutrophierungspotential war beim biotechnischen Prozess jedoch um 3 Einwohnerwerte höher als beim chemisch-technischen Prozess.

Bei den als humantoxisch eingestuft und ausgewerteten Einzelstoffen lagen nur für Schwefeldioxid (L) Daten vor. Der Verfahrensvergleich ergab hier eine ausgeprägte Umweltentlastung durch die Anwendung des biotechnischen Verfahrens.

Bei den als ökotoxisch eingestuft und ausgewerteten Einzelstoffen lagen für 7 Stoffe Daten vor. Bei 6 Stoffen (Schwefeldioxid (L), Stickoxide (L), Ammonium (W), AOX (W), Chlorid (W), Kohlenwasserstoffe (W)) dokumentieren die Daten eine ausgeprägte Umweltentlastung bei Anwendung des biotechnischen Verfahrens. Die Ammoniakemissionen lagen bei beiden Verfahren auf einem niedrigen Niveau und waren beim biotechnischen Verfahren 0,27 Einwohnerwerte höher als beim chemisch-technischen Verfahren.

Abschließend weisen wir ausdrücklich darauf hin, dass die Einzelergebnisse nur einen Vergleich der hier ausgewerteten Verfahren erlauben. Aufgrund anderer Rahmenbedingungen bei der Bilanzierung sowie der Unterschiede in den zur Verfügung gestellten Prozessdaten ist insbesondere der Vergleich der Einzeldaten mit denen der DSM Nutritional Products unzulässig.

3.3 Verfahrensvergleich 2 – Biotechnische und chemisch-technische Lederherstellung

Die Lederherstellung besteht aus einer Kette von Einzelschritten, die sich nach dem eingesetzten Verfahren, nach der Art der Rohware und dem herzustellenden Produkt voneinander unterscheiden können. Für den Verfahrensvergleich wurde der Teilschritt des Weichens und Äscherns betrachtet. Die Weiche hat die Aufgabe, die Rohhaut von anhaftenden Verunreinigungen zu befreien, Konservierungsmittel zu entfernen und den Quellungszustand wie am Körper des lebenden Tieres wieder herzustellen. Unter Äschern wird der Prozessschritt verstanden, bei dem die Häute enthaart werden und die Faserstruktur der Haut aufgeschlossen wird. Die Auswertungen umfassten den Ver-

gleich eines „haarzerstörenden chemischen Prozesses“ und eines „haarerhaltenden enzymatischen Prozesses“. Beim haarzerstörenden Prozess werden die Haare durch den Chemikalieneinsatz weitgehend hydrolytisch zersetzt und ins Abwasser eingetragen. Beim haarerhaltenden Prozess werden die Haare lediglich gelockert und dann mechanisch durch Abwalken oder eine maschinelle Enthaarung entfernt. Sie können dann abgetrennt und einer Verwertung zugeführt werden. Derzeit sollen weltweit etwa 15 Prozent der praktizierten Verfahren zum Weichen und Äschern bereits den Einsatz von Biokatalysatoren nutzen (IPTS, 2002).

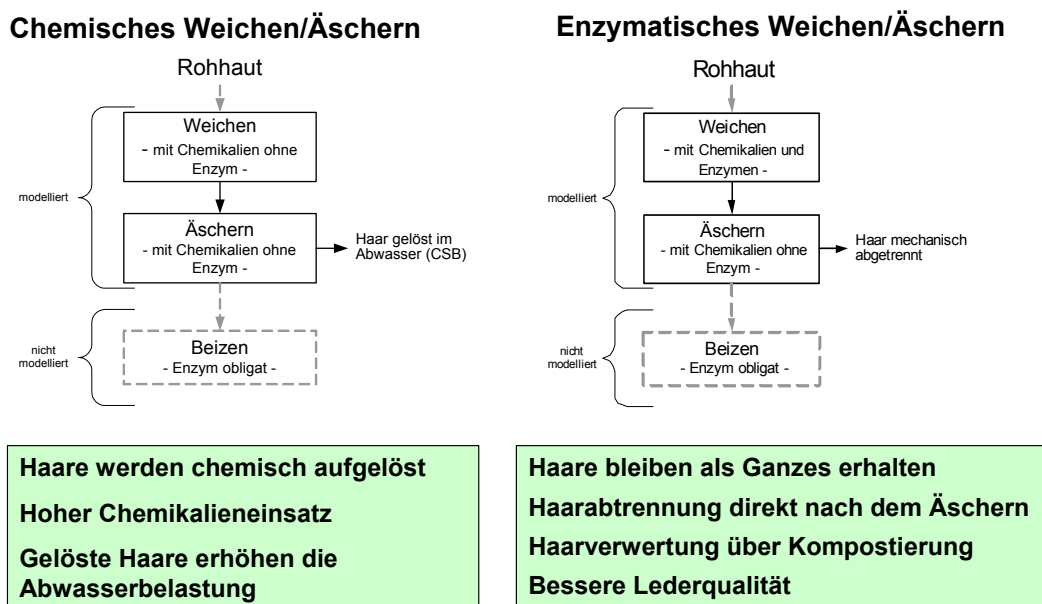


Abbildung 7: Schematischer Vergleich der chemisch-technischen und der biotechnischen Verfahrensalternative des Weichens/Äscherns bei der Lederherstellung

Als funktionelle Einheit wurde 1.000 kg Leder als Produkt des gesamten Gerbprozesses gewählt. Dies ist gleichbedeutend mit dem Einsatz von 4.167 kg gesalzener Rohhaut (Salzgewicht), da nach Feikes (1990) aus 1 Mg gesalzener Rohhaut 240 kg Leder hergestellt werden können, was einer Ausbeute von 24 % entspricht.

Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für den Vergleich enzymatischer und chemischer Prozessführung beim Weichen und Äschern sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Zum Vergleich wurden zudem die Einwohnerwerte für die hier betrachtete funktionelle Einheit berechnet. Hierbei ist zu beachten, dass alle Daten der Einwohnerwerte (EWW) mit Faktor 1.000 multipliziert wurden, um die Lesbarkeit der Zahlen zu erleichtern.

Tabelle 4: Zusammenfassung der Ergebnisse der Wirkungsabschätzung

		Enzymatisches Weichen u. Äschern	Chemisches Weichen u. Äschern	Enzymatisches Weichen u. Äschern	Chemisches Weichen u. Äschern	Differenz (Enz. - Chem.)
	Einheit			10 ⁻³ EWW	10 ⁻³ EWW	10 ⁻³ EWW
Wirkungskategorien, aggregiert						
KEA	GJ	8,89	10,49	50,9	60,1	-9,15
Treibhauspotential	kg CO ₂ -Äq.	703	874	59,6	74,1	-14,51
Versauerungspotential	kg SO ₂ -Äq.	2,32	3,00	57,0	73,8	-16,77
Eutrophierungspotential (terrestr.)	kg PO ₄ -Äq.	0,20	0,24	39,0	46,6	-7,62
Eutrophierungspotential (aquat.)	kg PO ₄ -Äq.	0,37	0,45	67,2	80,1	-12,89
Ozonbildungspotential (POCP)	kg Eth-Äq.	0,35	0,35	40,5	40,8	-0,31
Humantoxische Einzelstoffe						
Benzo(a)pyren (L)	mg	0,33	0,34	1,97	2,05	-0,09
Blei (L)	kg	0,0000089	0,0000084	1,16	1,09	0,07
Cadmium (L)	kg	0,0000039	0,0000048	29,5	35,9	-6,42
Schwefeldioxid (L)	kg	1,21	1,68	125	173	-48,36
Staub (L)	kg	0,55	0,70	176	222	-46,28
Ökotoxische Einzelstoffe						
Ammoniak (L)	kg	0,008	0,016	1,06	2,08	-1,02
Fluorwasserstoff (L)	kg	0,0010	0,0011	0,65	0,73	-0,08
Schwefeldioxid (L)	kg	1,21	1,68	125	173	-48,36
Schwefelwasserstoff (L)	kg	0,000083	0,000067	--	--	--
Stickoxide (L)	kg	1,54	1,83	79,2	93,9	-14,65
Ammonium (W)	kg	0,064	0,073	22,9	26,2	-3,29
AOX (W)	kg	0,0048	0,0060	90,7	114	-22,98
Chlorid (W)	kg	6,08	9,69	--	--	--
Kohlenwasserstoffe (W)	kg	0,008	0,016	1,06	2,08	-1,02

Das enzymatische Weichen/Äschern wies gegenüber dem chemischen Weichen/Äschern Umweltentlastungspotentiale für alle aggregierten Wirkungskategorien aufwies. Beim Ozonbildungspotential waren die Unterschiede der Verfahrensvarianten jedoch vernachlässigbar.

Bei den als humantoxisch eingestuft und ausgewerteten 5 Einzelstoffen waren die Emissionen bei den Parametern Cadmium (L), Schwefeldioxid (L) und Staub (L) beim enzymatischen Weichen/Äschern deutlich niedriger als beim chemischen Weichen/Äschern. Für die anderen beiden Parameter wurden keine relevanten Unterschiede ermittelt.

Bei den als ökotoxisch eingestuft und ausgewerteten 9 Einzelstoffen dokumentieren die Ergebnisse bei 7 Stoffen deutliche Minderemissionen bei der Anwendung des enzymatischen Weichens/Äscherns. Bei zwei Einzelstoffen waren die Unterschiede der Emissionen der beiden Verfahren sehr gering.

4 Auswertung der Umweltentlastungseffekte durch Produktsubstitutionen

Dieses Projektmodul sah vor, biotechnische und chemisch-technische Herstellungsverfahren für 2 analoge Produkte mit funktioneller Gleichwertigkeit (P1 und P2) einer vergleichenden Auswertung zu unterziehen. Die Produktvergleiche sollten die Vorketten für die Rohstoffbereitstellung, die Herstellungsprozesse für das chemisch-technische und das biotechnische Produkt sowie deren anschließende Nutzungsphase umfassen.

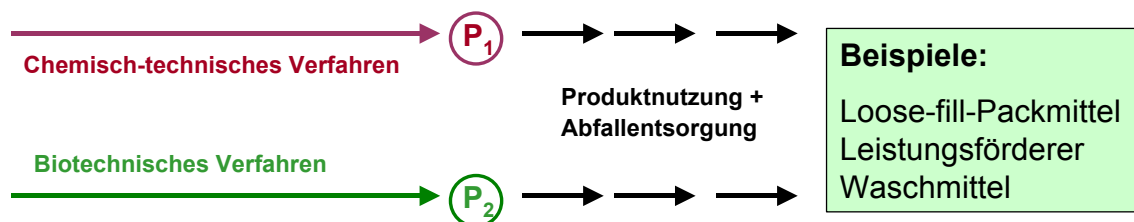


Abbildung 8: Schematische Darstellung der Rahmenbedingungen für den Produktvergleich

Im Rahmen dieser Studie konnten nur einzelne Produktvergleiche durchgeführt werden. Bei der Entwicklung der meisten derzeit am Markt vorhandenen Produkte hatten Belange des Umweltschutzes keine Priorität. Die im Rahmen dieser Studie erhalten Ergebnisse geben deshalb den derzeitigen Istzustand wieder. Es ist jedoch davon auszugehen, dass für die jeweiligen Herstellungsverfahren noch Umweltentlastungspotentiale erschlossen werden können. Deshalb wurde im Abschnitt 4.1 an einem sehr gut dokumentierten Beispiel überprüft, welche Umweltentlastungspotentiale durch eine optimierte Verfahrensgestaltung erschlossen werden könnten.

Bei den in den Abschnitten 4.2 und 4.3 vergleichend ausgewerteten Produkten wurde dagegen der aktuelle Istzustand der jeweiligen Herstellungsverfahren herangezogen. Bei der Interpretation der Ergebnisse sollte deshalb beachtet werden, dass durch die Optimierung der aktuellen Herstellungsverfahren weitere Umweltentlastungspotentiale realisiert werden könnten.

4.1 Produktvergleich 1 - Loose-fill-Packmittel aus EPS und Stärke

In einem von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Forschungsvorhaben ist untersucht worden, wie ein Ersatz von Kunststoffen aus fossilen Rohstoffen durch Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen unter Umweltgesichtspunkten zu bewerten ist. Das BfA hat federführend zusammen mit dem IFEU - Institut für Energie- und Umweltforschung sowie unter Mitwirkung der Flo-Pak GmbH die Ökobilanz erarbeitet (Würdinger et al., 2002).

Im abschließenden Auswertungsschritt wurden je vier ausgewählte EPS- und Stärke-Szenarien anhand der Bilanzierungsergebnisse miteinander verglichen. Die Szenarienauswahl wurde dabei den Kriterien Realitätsnähe und Abschätzung der Extremwerte und damit der denkbaren Bandbreiten gerecht (vgl. Tabelle 5).

Als funktionelle Einheit der Ökobilanz und damit als Grundlage für den Produktvergleich wurde ein (Füll-)Volumen von 100 m³ Loose-fill-Packmittel gewählt.

Dieses umfangreiche Vorhaben bot eine sehr gute Datengrundlage, um das umweltentlastende Potential der Substitution eines auf chemisch-technischem Wege hergestellten Produktes auf Basis fossiler Rohstoffe durch ein Produkt auf Basis nachwachsender Rohstoffe beurteilen zu können. Im Rahmen der aktuellen Studie wurden keine neuen Daten erhoben, sondern die Ergebnisse der Ökobilanz zu Loose-fill-Packmitteln wurden unter verschiedenen Gesichtspunkten ausgewertet. Dabei wurde insbesondere das Ziel verfolgt, die ergebnisbestimmenden Lebenswegabschnitte (Materialbereitstellung, Vertrieb/Nutzung oder Entsorgung) und die möglichen Unterschiede und Bandbreiten in den Ergebnissen in Abhängigkeit der gewählten Rahmenbedingungen zwischen EPS- und Stärke-Loose-fill-Packmittel zu verdeutlichen.

Obwohl die Szenarien sehr deutliche Unterschiede bezüglich der Umweltauswirkungen aufwiesen, ergaben sich weder für die Stärke- noch für die Polystyrol-Verwendung grundsätzliche Vorteile, wenn die vollständigen Ergebnisse der Ökobilanz in die Bewertung mit einbezogen werden (Würdinger et al., 2003).

Tabelle 5: Im abschließenden Auswertungsschritt verglichene Stärke- und EPS-Szenarien

<i>Stärke-Szenarien</i>				
Szenario	Stärke I (Stärke-Vergleichsszenario)	Stärke II	Stärke III	Stärke IV
Herstellung	Maisstärke	Weizenstärke (Anbau konventionell)	Weizenstärke (Anbau extensiv)	Kartoffelstärke II (Abwasser- verregnung)
Nutzung	Einmalige Nutzung	Einmalige Nutzung	Einmalige Nutzung	Einmalige Nutzung
Entsorgung	Beseitigungsmix (Restmüll)	Kompostierung	Vergärung	Optimierte MVA
<i>EPS-Szenarien</i>				
Szenario	EPS I (EPS-Vergleichsszenario)	EPS II	EPS III	EPS IV
Herstellung	Sekundär-Polystyrol (Produktionsabfälle)	Primär-Polystyrol	Sekundär-Polystyrol (EPS-Verpackungen)	Sekundär-Polystyrol (MC-/CD-Hüllen)
Nutzung	Einmalige Nutzung	Einmalige Nutzung	Einmalige Nutzung	Einmalige Nutzung
Entsorgung	Beseitigungsmix (Restmüll)	Hochofen (Erfassung über DSD)	Optimierte MVA (Separate Erfassung)	Werkstoffliches Recycling (Open-loop)

Entscheidend für das umweltbezogene Abschneiden waren vor allem die konkrete Ausgestaltung der Materialbereitstellung, das Entsorgungsverfahren der Loose-fill-Packmittel, die von dem Entsorgungsverfahren und den zu entsorgenden Loose-fill-Packmitteln abhängenden Zusatznutzen bzw. die sich davon ableitenden Gutschriften für die Produktsysteme. Großen Einfluss haben auch spezifische anwendungsbezogene Merkmale: So sind z.B. die Stärke-loose-fill-Packmittel bei gleichem Volumen dreimal so schwer wie die EPS-loose-fill-Packmittel.

Insgesamt schnitten die Stärke-Szenarien nur dann ähnlich gut ab wie optimierte EPS-Szenarien, wenn die Packmittel nach Gebrauch energetisch (Vergärung mit Biogasnutzung; Verbrennung mit hohem Wirkungsgrad) verwertet wurden. Ein extensiver Anbau, die Wahl einer Stärkepflanze mit sehr hoher flächenbezogener Stärkeausbeute (z.B. Kartoffeln) kombiniert mit einer optimierten Stärke-Produktion verbesserten die Ergebnisse weiter. Die Entsorgung über den bundesdeutschen Beseitigungsmix oder mittels Kompostierung führten dagegen dazu, dass die Stärke-Szenarien keine nennenswerten Vorteile gegenüber den EPS-Szenarien aufwiesen – und sogar mit höheren Treibhausgas-Emissionen verbunden waren. Die Bereitstellung derselben Stärke-Masse benötigte erheblich weniger fossile Energieträger als die Polystyrol-Bereitstellung. Die

dreifach höhere Schüttdichte der Stärke-loose-fill-Packmittel sowie der Zusatz eines aus fossilen Rohstoffen hergestellten Additivs relativierten diesen Vorteil jedoch deutlich. Die Stärke-Szenarien würden deshalb von einer Reduzierung der Schüttdichte wesentlich profitieren. Als grundsätzlicher Unterschied zu den EPS-Szenarien verblieb stets die deutlich größere Naturrauminanspruchnahme, deren Wertung je nach Einschätzung der Sachlage unterschiedlich ausfallen wird. Analog galt dies auch für den Pflanzenschutzmittel-Einsatz bei konventionellem Stärkepflanzen-Anbau.

Positiv wirkte sich bei den EPS-Szenarien aus, wenn für die Packmittel-Herstellung Polystyrol-Abfälle genutzt wurden, die andernfalls nicht verwertet würden. Nur in diesem Fall war es möglich, mittels einer rohstofflichen oder energetischen Verwertung der Packmittelabfälle in den Bereich zu kommen, den die besten Stärke-Szenarien einnehmen. Werden dagegen bereits bisher hochwertig verwertete Polystyrol-Abfälle eingesetzt, so war es nur noch über eine werkstoffliche Verwertung der Packmittelabfälle möglich, dass diese ähnlich gut abschnitten wie die besten Stärke-Szenarien. Wurde der Einsatz ansonsten nicht verwerteter Polystyrol-Abfälle mit einer werkstofflichen Verwertung der EPS-Packmittel kombiniert - zwar eine optimale Gestaltung des Lebensweges, jedoch aus heutiger Sicht ziemlich realitätsfern -, so wäre diese Variante besser als die Stärke-Szenarien.

Abschließend muss noch darauf hingewiesen werden, dass sich bei den Stärke-Szenarien erhebliche Verbesserungen der Ergebnisse erzielen ließen, wenn es gelänge, eine weitreichende Nutzung der Biomassen zu realisieren, aus denen die Stärke gewonnen wird. Bisher fallen beim Anbau der meisten Stärke-Pflanzen große Mengen an Biomasseresten an, die bislang nicht gezielt genutzt werden. Deshalb werden die Aufwendungen für die Biomasseherstellung insgesamt jeweils auf die erzeugte Stärkemenge bezogen. Könnten weitere Biomasseanteile einer Nutzung zugeführt werden, würden die auf die Stärke entfallenden Anteile der Aufwendungen entsprechend absinken. Die Nutzungseffizienz der erzeugten Biomassen bietet somit noch erhebliche, bislang nicht erschlossene Optimierungspotentiale.

4.2 Produktvergleich 2 - Tierproduktion unter Einsatz von Probiotika und Seltenen Erden

Die tierische Veredlungswirtschaft ist von großer wirtschaftlicher Bedeutung: Der Nutztierbestand lag nach den statistischen Angaben aus dem Jahr 2003 bei rd. 13,6 Mio. Rindern, 26,5 Mio. Schweinen, 2,6 Mio. Schafen und 122 Mio. Geflügeltieren. Die Erzeugung tierischer Produkte in Deutschland erreicht dabei einen Wert von 18,9 Mrd. Euro (Statistisches Bundesamt, 2004).

Für die Nutztierhaltung in Deutschland werden jährlich etwa 68 Mio. Mg Getreideeinheiten benötigt, von denen im Jahr 2001 19 Mio. Mg als Mischfutter im Gesamtwert von 4,25 Mrd. Euro zugekauft wurden (DVT, 2003). Etwa 40 bis 60 Prozent der Produktionskosten in der Tierhaltung entfallen auf die Tierernährung (Menke u. Huss, 1980). Vor diesem Hintergrund wird die wirtschaftliche Bedeutung von Leistungsförderern deutlich. Die Produktivität der Erzeugung tierischer Lebensmittel wird bei deren Einsatz gesteigert (Losand, 2000). Leistungsförderer sollen den Futterverbrauch verringern, die täglichen Gewichtszunahmen verbessern, die Tierverluste senken und die Kosten mindern, die zur Gesunderhaltung der Tiere notwendig sind. Ein weiterer Effekt ist die unter den heutigen gesellschaftlichen Bedingungen bedeutsame deutlich geringere Belastung der Umwelt (vor allem N und P) je Produkteinheit infolge der besseren Nährstoffausnutzung (Losand, 2000).

Basis der Auswertung der Umweltbelastungen war die frühe Mastphase von Schweinen (9. - 20. Lebenswoche, im Gewichtsbereich von 18 – 76 kg). Als funktionelle Einheit wurde die Lebendmassezunahme der Tiere (58 kg) sowie die weiteren Mastleistungsparameter Futterverbrauch bzw. Futterverwertung herangezogen.

Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für den Vergleich der Tierproduktion unter Einsatz eines Futtermittels ohne Zugabe von Leistungsförderern (Nullvariante), eines Futtermittels mit Zugabe eines biotechnisch (fermentativ) hergestellten Probiotikums sowie eines Futtermittels mit Zugabe eines chemisch-technisch hergestellten Seltenen Erden-Produktes sind in Tabelle 6 zusammengefasst. Zum Vergleich wurden zudem die Einwohnerwerte für die hier betrachtete funktionelle Einheit berechnet. Hierbei ist zu beachten, dass alle Daten der Einwohnerwerte (EWW) mit Faktor 100.000 multipliziert wurden, um die Lesbarkeit der Zahlen zu erleichtern.

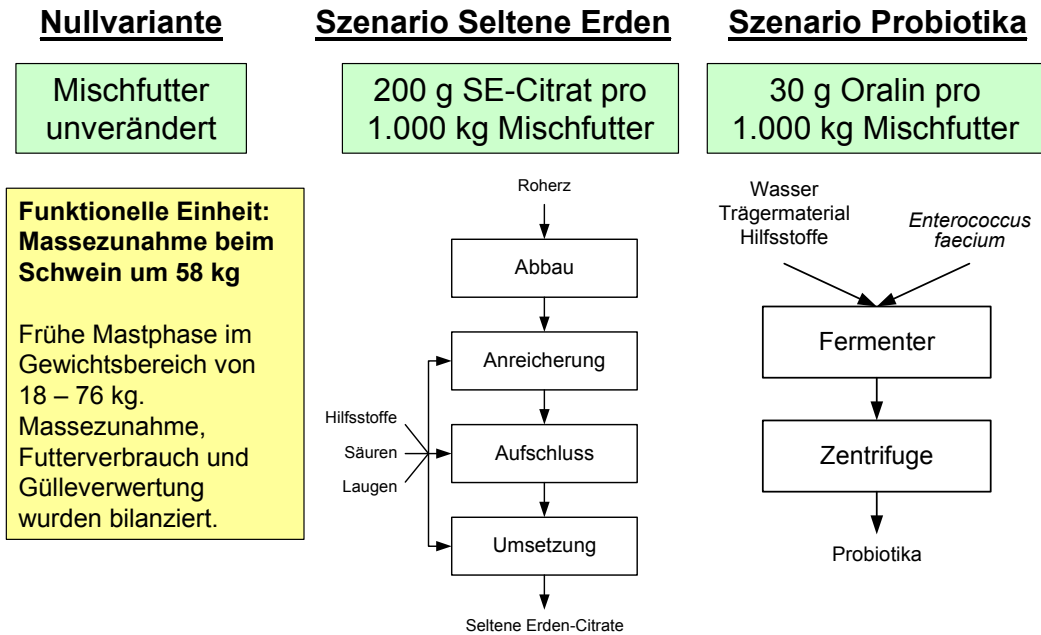


Abbildung 9: Schematischer Vergleich des chemisch-technisch und biotechnisch gewonnenen Leistungsförderers für die Tiermast

Tabelle 6: Zusammenfassung der Ergebnisse der Wirkungsabschätzung

		Ohne Zusatz	Probiotika	Seltene Erden	Ohne Zusatz	Probiotika	Seltene Erden	Differenz (Probiotika – ohne Zusatz)	Differenz (Seltene Erden – ohne Zusatz)
	Einheit				10 ⁻⁵ EWW	10 ⁻⁵ EWW	10 ⁻⁵ EWW	10 ⁻⁵ EWW	10 ⁻⁵ EWW
Wirkungskategorien, aggregiert									
KEA	GJ	0,16	0,16	0,16	94,2	89,3	91,8	-4,95	-2,37
Treibhauspotential	kg CO ₂ -Äq.	83,7	79,9	79,0	709	677	669	-31,9	-39,6
Versauerungspot.	kg SO ₂ -Äq.	0,80	0,77	0,75	1976	1897	1848	-78,2	-128
Eutroph.-pot. (terrestr.)	kg PO ₄ -Äq.	0,15	0,14	0,14	2801	2691	2615	-110	-187
Eutroph.-pot. (aquat.)	kg PO ₄ -Äq.	0,0021	0,0021	0,0020	38,2	36,9	35,6	-1,36	-2,69
Ozonbild.- pot. (POCP)	kg Eth-Äq.	0,016	0,015	0,015	182	175	172	-7,11	-9,76
Humantoxische Einzelstoffe									
Benzo(a)pyren (L)	mg	-0,0045	-0,0044	-0,0041	-2,71	-2,65	-2,44	0,06	0,27
Blei (L)	mg	0,28	0,27	0,28	3,67	3,49	3,58	-0,17	-0,09
Cadmium (L)	mg	0,120	0,115	0,114	90,0	86,0	85,2	-3,92	-4,72
Schwefeldioxid (L)	g	11	10	12	113	105	123	-7,74	9,52
Staub (L)	g	9,4	8,9	9,1	299	284	291	-14,5	-8,12
Ökotoxische Einzelstoffe									
Ammoniak (L)	kg	0,39	0,37	0,36	5086	4891	4738	-196	-348
Fluorwasserstoff (L)	g	0,054	0,052	0,052	3,58	3,42	3,44	-0,16	-0,14
Schwefeldioxid (L)	kg	0,011	0,010	0,012	113	105	123	-7,74	9,52
Schwefelw.- stoff (L)	g	0,108	0,103	0,103	--	--	--	--	--
Stickoxide (L)	kg	0,096	0,092	0,092	494	471	471	-23,4	-23,0
Ammonium (W)	g	0,27	0,26	0,25	9,56	9,27	8,99	-0,30	-0,58
AOX (W)	mg	0,22	0,22	0,21	0,42	0,41	0,39	-0,01	-0,03
Chlorid (W)	kg	-0,13	-0,12	-0,12	--	--	--	--	--
Kohlenw.-stoffe (W)	mg	0,76	0,73	0,77	1,45	1,40	1,49	-0,05	0,03

Die Ergebnisse der drei Szenarien liegen für alle betrachteten Wirkungskategorien und Einzelparameter sehr eng beieinander. Die Nutzung des Probiotikums Probiotika wies gegenüber der Nullvariante für alle betrachteten Wirkungskategorien und Einzelparameter Umweltentlastungspotentiale auf. Die Nutzung des Seltene-Erden-Produktes wies gegenüber der Nullvariante Umweltentlastungspotentiale für alle betrachteten Wirkungskategorien und Einzelparameter auf, ausgenommen Benzo(a)pyren (L), Schwefeldioxid (L) und Kohlenwasserstoffe (W).

Die Nutzung des Probiotikums wies gegenüber der Nutzung des Seltene-Erden-Produktes relevante Umweltentlastungspotentiale auf für den kumulierten Energieaufwand sowie die Einzelparameter Schwefeldioxid (L) und Staub (L). Für die Wirkungskategorien Treibhauseffekt, Versauerung, terrestrische und aquatische Eutrophierung und Ozonbildung sowie für Ammoniak (L) war die Nutzung des Seltene-Erden-Produktes unter Umweltgesichtspunkten günstiger zu bewerten als die Nutzung des Probiotikums.

Bei der Beurteilung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die Absolutwerte von der Wahl der funktionellen Einheit abhängen: Hier wurden nur die Umwelteinflüsse ausgewertet, die aus der Zunahme der Tiermasse um 58 kg resultieren. Insgesamt erreicht der Bestand allein in Deutschland 26,5 Mio. Schweine, sodass der Einsatz von Leistungsförderern insgesamt ein hohes Umweltentlastungspotential haben kann.

4.3 Produktvergleich 3 – Enzymeinsatz in Vollwaschmitteln

Enzyme sind heute fester Bestandteil der marktführenden Waschmittel, da ihr Einsatz z.T. Einsparungen anderer Waschmittelbestandteile ermöglicht. Ziel der Bilanzierung dieses Produktvergleiches war deshalb, ob durch die Herstellung und Anwendung je eines enzymfreien und eines enzymhaltigen Waschmittels Unterschiede hinsichtlich der Umweltbelastungen auftreten.

Dafür wurden aus öffentlich zugänglichen Datensammlungen zwei Szenarien definiert, in denen je ein Waschvorgang mit einem enzymfreien (Szenario TRADITIONELLES WASCHMITTEL) und einem enzymhaltigen (Szenario MODERNES WASCHMITTEL) Produkt modelliert wurden. Es wurden Referenzwaschmittel nach DIN 60456 herangezogen, die sich zwar in ihrer Zusammensetzung und ihren Eigenschaften unterscheiden, jedoch in beiden Szenarien mindestens die mit dem enzymfreien Waschmittel erzielbare

Waschleistung erreichen, sodass ein Produktvergleich möglich war. Aufgrund der unterschiedlichen Inhaltsstoffe und der speziellen Wirkungen der Enzyme waren eine unterschiedliche Dosierung der Waschmittel beim Waschprozess und ein anderes Temperaturprogramm notwendig. Darüber hinaus ergaben sich aus den abweichenden Inhaltsstoffen auch unterschiedliche Belastungen des Abwassers. Diese Unterschiede in der Anwendung der Waschmittel begründeten die Notwendigkeit, innerhalb der Systemgrenzen den Herstellungsprozess der zu vergleichenden Waschmittel, den Waschprozess sowie die Waschwasserreinigung zu bilanzieren.

Als funktionelle Einheit wurde ein Waschgang von 5 kg Weißwäsche aus Baumwolle betrachtet.

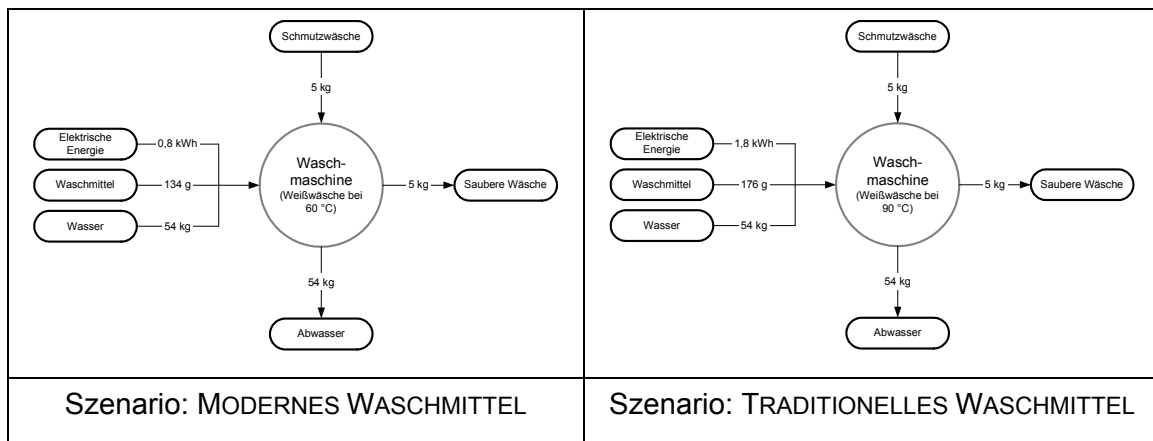


Abbildung 10: Stoffströme für den Waschprozess der Szenarien MODERNES WASCHMITTEL und TRADITIONELLES WASCHMITTEL

Die ausgewerteten Wirkungskategorien und Sachbilanzparameter verdeutlichten, dass es unterschiedliche Einflussgrößen auf die Ergebnisse gibt. Einerseits wurden die Ergebnisse durch den Waschprozess beeinflusst, bei dem aufgrund des Einsatzes von Enzymen im Waschmittel bei gleicher Waschleistung mit einer niedrigeren Temperatur gewaschen werden konnte und somit deutlich weniger elektrische Energie benötigt wurde. Andererseits zeigte sich aber, dass bei einigen Parametern auch die Teilsysteme Waschmittelherstellung und Waschwasserreinigung wesentliche Beiträge zu den Ergebnissen lieferten. Für diese Parameter konnte nicht eindeutig festgestellt werden, ob ausschließlich der Einsatz der Enzyme zu niedrigeren Umweltwirkungen der modernen Waschmittel gegenüber den Traditionellen führte. Zu den Umweltentlastungen trägt u.a. aber auch die Substitution der Waschmittelposphate bei.

Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für den Vergleich enzymfreier und enzymhaltiger Waschmittel durch die Szenarien MODERNES WASCHMITTEL und TRADITIONELLES WASCHMITTEL sind Tabelle 7 zusammengefasst. Zum Vergleich wurden zudem die Einwohnerwerte (EWW) für die hier betrachtete funktionelle Einheit (ein Waschgang für 5 kg Weißwäsche) berechnet und bei der nachfolgenden Diskussion berücksichtigt. Hierbei ist zu beachten, dass alle Daten der Einwohnerwerte (EWW) mit Faktor 100.000 multipliziert wurden, um die Lesbarkeit der Zahlen zu erleichtern.

Die Tabelle zeigt, dass das Szenario MODERNES WASCHMITTEL gegenüber dem Szenario TRADITIONELLES WASCHMITTEL zum Teil deutliche Umweltentlastungspotentiale für alle betrachteten Wirkungskategorien und nahezu alle Einzelparameter aufwies. Für die Einzelparameter Benzo(a)pyren (L) und Kohlenwasserstoffe (W) waren die Unterschiede der Daten sehr gering.

Tabelle 7: Zusammenfassung der Ergebnisse der Wirkungsabschätzung

	Einheit	Modernes Waschmittel	Traditionelles Waschmittel	Modernes Waschmittel 10 ⁻⁵ EWW	Traditionelles Waschmittel 10 ⁻⁵ EWW	Differenz (Mod. - Trad.) 10 ⁻⁵ EWW
Wirkungskategorien, aggregiert						
KEA	MJ	13,36	25,53	7,65	14,63	-6,98
Treibhauspotential	kg CO ₂ -Äq	0,74	1,57	6,28	13,28	-7,00
Versauerungspotential	g SO ₂ -Äq	2,48	5,27	6,08	12,94	-6,86
Eutrophierungspotential (terrestr.)	g PO ₄ -Äq	0,18	0,34	3,39	6,50	-3,11
Eutrophierungspotential (aquat.)	g PO ₄ -Äq	0,17	5,46	3,01	98,1	-95,1
Ozonbildungspotential (POCP)	g Eth-Äq	0,34	0,47	3,90	5,45	-1,55
Humantoxische Einzelstoffe						
Benzo(a)pyren (L)	mg	0,000058	0,000104	0,03	0,06	-0,03
Blei (L)	mg	0,029	0,066	0,38	0,86	-0,48
Cadmium (L)	mg	0,0082	0,018	6,11	13,2	-7,06
Schwefeldioxid (L)	g	1,5	3,4	15,5	35,0	-19,5
Staub (L)	g	0,78	0,80	24,7	25,3	-0,62
Ökotoxische Einzelstoffe						
Ammoniak (L)	g	0,023	0,046	0,30	0,61	-0,31
Fluorwasserstoff (L)	g	0,0031	0,0061	0,21	0,40	-0,20
Schwefeldioxid (L)	g	1,5	3,4	15,5	35,0	-19,5
Schwefelwasserstoff (L)	g	0,00013	0,00016	--	--	--
Stickoxide (L)	g	1,3	2,5	6,67	12,8	-6,10
Ammonium (W)	g	0,012	0,020	0,43	0,71	-0,29
AOX (W)	g	0,0021	0,0027	3,95	5,05	-1,10
Chlorid (W)	g	4,4	47,5	--	--	--
Kohlenwasserstoffe (W)	g	0,00134	0,00137	2,58	2,64	-0,06

5 Konzept zur vergleichenden Bewertung des Gefahrenpotentials der biotechnischen und chemisch-technischen Produktion

Chemisch-technische Produktionsprozesse sind häufig durch hohe Temperaturen, großen Druck, den Einsatz organischer Lösungsmittel sowie das Vorhandensein von Schadstoffen gekennzeichnet. Dagegen gilt die Biotechnik meist als vergleichsweise sanfte Technologie, da in der Regel unter milden Bedingungen wie Raumtemperatur, Normaldruck und wässrigem Milieu gearbeitet wird. Andererseits kann mit einer biotechnischen Produktion als spezifisches Risiko die mögliche Freisetzung ökologisch (gentechnisch veränderter) oder gesundheitlich relevanter Organismen einhergehen. Vor diesem Hintergrund hat das Umweltbundesamt in seiner Projektausschreibung die Vermutung formuliert, dass biotechnische gegenüber chemisch-technischen Produktionsanlagen Vorteile aufweisen. Als mögliche Vergleichsfelder wurden dabei die Mess- und Regeltechnik, die Materialbeschaffenheit, der Materialaufwand als auch insbesondere generell die Anlagensicherheit angeführt.

Diese Annahmen wurden im Forschungsvorhaben exemplarisch anhand zweier Vitamin B2-Produktionsverfahren untersucht, die unter 3.1 und 3.2 bereits ökobilanziell miteinander verglichen wurden. Dafür wurde ein Bewertungskonzept entwickelt, um die jeweiligen Gefahrenpotentiale - differenziert nach Prozessbedingungen, Gefahrstoffen und biologischen Arbeitsstoffen - systematisch miteinander zu vergleichen. Die dafür erforderlichen Bewertungsgrundlagen wurden soweit als möglich aus gesetzlichen und untergesetzlichen Regelwerken abgeleitet. Weitergehende Risikobetrachtungen, die auch Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß möglicher Störfälle berücksichtigen, waren nicht möglich, da dies den Bezug auf konkrete Anlagen erfordert hätte. Dazu waren weder entsprechende Informationen noch ausreichende Ressourcen verfügbar. Entsprechend fehlten auch anlagenbezogene Angaben zur Mess- und Regeltechnik sowie zu Materialbeschaffenheit und -aufwand, so dass der Schwerpunkt vor allem auf die Bereiche Anlagensicherheit und Arbeitsschutz gelegt wurde.

Nach einer Begriffserklärung und Diskussion der rechtlichen Grundlagen mit Ableitung der Beurteilungskriterien wurden die Verfahren ausgehend von deren Beschreibung miteinander verglichen. Dabei ergaben sich die folgenden Ergebnisse:

Prozessbezogenes Gefahrenpotential: Die biotechnische Produktion basiert im Wesentlichen auf einem Hauptprozess, der fermentativen Herstellung von Vitamin B2 aus Glucose. Dieser Prozess läuft unter relativ ungefährlichen Bedingungen im wässrigen Milieu unter Normaldruck und nahezu Umgebungstemperatur ab. In den bei der chemisch-technischen Produktion erforderlichen mehreren Teilprozessen ist der Druck meist erheblich höher, die Temperaturen sind sowohl nach oben als auch nach unten extremer. Auch wenn die Datenlage bezüglich dieser Fragestellung nicht zufriedenstellend war, ergaben sich insgesamt Vorteile für das biotechnische Verfahren.

Gefahrstoffbezogenes Gefahrenpotential: Dieses trug am meisten zur Differenzierung der Verfahren bei, wobei das biotechnische Verfahren deutliche Vorteile aufwies. So ist sowohl die Anzahl der eingesetzten Chemikalien als auch das mit diesen verbundene Gefahrenpotential um Größenordnungen geringer. Dies gilt sowohl hinsichtlich akuter und chronischer Gesundheitsgefahren als auch bezüglich Umweltgefahren, Brand- und Explosionsgefahren und Gefahren durch das Freisetzungsverhalten. Wird die aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellte ungefährliche Glucose, die den biotechnischen Prozess mengenmäßig absolut dominiert, nicht berücksichtigt, so ist auch die Menge der eingesetzten Chemikalien wesentlich geringer.

Gefahrenpotential biologischer Arbeitsstoffe: Anders als beim chemisch-technischen Verfahren werden bei der biotechnischen Produktion biologische Arbeitsstoffe (*Bacillus subtilis*, gentechnisch verändert, bzw. zwei andere Mikroorganismenarten) eingesetzt. Das damit verbundene Gefahrenpotential ist jedoch höchstens als „gering“ und vermutlich eher als „vernachlässigbar“ einzustufen, so dass dies die Nachteile des chemisch-technischen Verfahrens in den vorhergehenden Kategorien nicht ausgleicht.

Unter dem Gesichtspunkt der Reduzierung des Gefahrenpotentials insgesamt ist die Entscheidung für die biotechnische Vitamin B2-Produktion sehr positiv zu werten. Angesichts der beim chemisch-technischen Verfahren höheren Anzahl an Prozessschritten und des damit verbundenen größeren Gefahrenpotentials ist ferner anzunehmen, dass dabei der Aufwand für die Prozessüberwachung deutlich höher sein dürfte. Zudem wird bei dieser Variante eine umfangreiche Lösemittelregenerierung benötigt, die

beim biotechnischen Prozess entfällt. Beachtet werden sollte jedoch, dass diese Ergebnisse anders als die methodischen Ansätze nicht allgemein auf ähnliche Verfahrensvergleiche übertragen werden können, sondern jeweils für den spezifischen Fall zu bestimmen sind.

6 Fazit

Die durchgeführte Studie sollte mithilfe vergleichender ökobilanzieller Auswertungen aufzeigen, ob – und wenn ja – in welchem Ausmaß Umweltentlastungen erzielt werden können, wenn ein chemisch-technisches Verfahren oder Produkt durch eine biotechnische Alternative substituiert wird.

Hierbei ist zu beachten, dass die Spannbreite der Anwendungen chemisch-technischer und biotechnischer Verfahren und Produkte außerordentlich groß ist, sodass die durchgeführten Auswertungen nur exemplarischen Charakter haben können. Es wurde aber versucht, Beispiele für den Vergleich auszuwählen, die unterschiedlichste Anwendungsfelder abdecken (Herstellung von Vitaminen, Leder und Futterzusatzstoffen sowie Verpackungsmaterial und gereinigter Wäsche).

Da zudem Verfahrens- und Produktvergleiche durchgeführt werden sollten, mussten Anwendungen recherchiert werden, für die es chemisch-technische und biotechnische Lösungsansätze gab. Somit blieben bei den Auswertungen jene „Domänen“ unberücksichtigt, in denen ausschließlich eine der Herstellungsvarianten vorhanden ist. Beispielsweise ist die Anwendung biotechnischer Herstellungsverfahren im Nahrungsmittelsektor unumstritten; chemisch-technische Herstellungsverfahren stehen hier - aus unterschiedlichen Gründen - nicht zur Verfügung. Biotechnische Varianten fehlen dagegen in den Chemiesparten der Petrochemie und der Herstellung anorganischer Grundchemikalien.

Bei den durchgeführten vergleichenden Auswertungen ist weiter zu beachten, dass der jeweilige Istzustand von real existierenden Verfahren und Produkten betrachtet worden ist. Die derzeit betriebenen Verfahren wurden bisher jedoch nicht hinsichtlich der Minimierung der Umweltbelastungen optimiert, sodass der aktuelle Entwicklungsstand bislang nicht ausgeschöpfte Umweltentlastungspotentiale nicht berücksichtigt. Insofern sind weitergehende Aussagen hinsichtlich etwaiger grundsätzlicher Vorteile einer Herstellungsvariante auf der bestehenden Datenbasis nicht möglich. Technische Fortschritte können in relativ kurzer Zeit Nachteile einer Verfahrensvariante eliminieren.

Durch die stürmische Entwicklung der Molekularbiologie und der Gentechnik konnte die Effizienz biotechnischer Produktionsprozesse in den letzten Jahren deutlich verbessert werden. Wichtige Optimierungsmaßnahmen sind (Aristidou u. Pentilla, 2000;

Chartrain et al., 2000; Chotani et al., 2000; Powell et al., 2001; Cortassa et al., 2002; Chiang, 2004):

- Optimierung der Stoffwechselwege (z.B. durch „metabolic engineering“ oder „pathway engineering“)
- Optimierung der katalytischen Aktivitäten (z.B. durch „directed evolution, gene shuffling, molecular breeding, protein engineering“)
- Optimierung des Bioreaktorbetriebs (z.B. durch „high density cultivation“)
- Optimierung der Produktgewinnung

Weitere Optimierungsarbeiten haben zum Ziel, die Produktbildung unmittelbar in Pflanzen durchzuführen („molecular farming“), sodass der ressourcenintensive Fermentationsschritt ausgelassen werden kann (Fischer et al., 1999a-e; Fischer u. Schillberg, 2004). Außerdem gibt es Bemühungen, „künstliche Produktionsstämme“ zu schaffen, deren metabolisches Inventar auf die unmittelbare Produktionsaufgabe beschränkt ist (Chotani et al., 2000).

Die verfügbaren Optimierungswerkzeuge („toolbox“) haben dazu beigetragen, dass die zukünftige Entwicklung der biotechnischen Produktion heute deutlich positiver eingeschätzt wird (Danner u. Braun, 1999; Wilke, 1999; Chotani et al., 2000; Bachmann et al. 2002; Festel et al., 2004; Young, 2003, 2004) als noch vor einem Jahrzehnt (Hinmann, 1991).

Biotechnische Produktionsverfahren werden derzeit zudem durch umweltpolitische Zielvorgaben gefördert. So laufen in Deutschland, Europa und den USA zahlreiche Forschungsprojekte, die eine kostengünstige Massenproduktion von Bioethanol zum Ziel haben, da dieser aus Klimaschutzgründen Teile des fossilen Treibstoffs ersetzen soll (US-DOE, 2001, 2003; Gong et al., 2003; Schmitz, 2003; Vorlop u. Wilke, 2003; EU, 2004). Die SÜDZUCKER AG (2004) hat den Bau einer großtechnischen Bioethanolproduktionsanlage in Deutschland aufgenommen. Die kanadische Firma Iogen betreibt seit Frühjahr 2004 eine Pilotanlage, in der aus Cellulose-haltigen Biomassen Bioethanol hergestellt wird. Erste Fahrzeuge von VW und DaimlerChrysler wurden bereits in Deutschland mit diesem Ethanol betrieben (Iogen, 2004).

Die in dieser Studie angewandten ökobilanziellen Betrachtungen gestatten eine rasche Beurteilung, ob die Ausgangsstoffe (Vorketten), der Herstellungsprozess bzw. die Ent-

sorgung das Gesamtergebnis der Umwelteinwirkungen maßgeblich beeinflussen. Wenn die Ergebnisse für betriebsinterne Auswertungen genutzt werden, wäre eine noch detailliertere Darstellung hilfreich, wie sie z.B. Renner u. Klöpffer (2003) für das Beispiel der Indigoherstellung gewählt haben. Aus Vertraulichkeitsgründen mussten für diese öffentlich zugänglichen Auswertungen jedoch summarische Darstellungen gewählt werden, aus denen keine vertraulichen Betriebsdaten entnommen werden können.

Die Ergebnisse der Auswertungen haben bei den betrachteten Beispielen für die Mehrzahl der Parameter beim untersuchten biotechnischen Verfahren oder Produkt reduzierte Umweltbelastungen ergeben. Auch die OECD (2001) konnte in 21 Fallstudien aufzeigen, dass durch die Anwendung moderner biotechnischer Verfahren eine Reduktion der Umweltbelastungen und der Betriebskosten erzielt werden kann. Die derzeit realisierten biotechnischen Verfahren und Produkte sind jedoch unter Umweltgesichtspunkten nicht immer vorteilhaft: Analysen der BASF AG haben ergeben, dass die aktuellen chemisch-technischen Varianten der Herstellung von Astaxanthin und von Indigo die bessere Ökoeffizienz aufweisen (Baker u. Saling, 2003; BASF, 2004a, b). Auswertungen von Gerngross (1999) ergaben für die biotechnische Biopolymerproduktion höhere Umweltauswirkungen als die Polymerproduktion auf Erdölbasis. Ökobilanzielle Auswertungen können dazu beitragen, Schwachstellen von bestehenden Produktionsprozessen zu erkennen und sind eine Ausgangsbasis für zielgerichtete Optimierungsstrategien.

7 Literatur

- Aristidou, A.; Penttilä, M. (2000): Metabolic engineering applications to renewable resource utilization. *Current Opinion in Biotechnology*, 2000, 11, p. 187-198
- BACAS - Royal Belgian Academy Council of Applied Sciences (2004): Industrial Biotechnology and Sustainable Chemistry
- Bachmann, R.; Bastianelli, E.; Riese, J.; Schlenzka, W. (2000): Using plants as plants. *The McKinsey Quarterly*, 2, p. 92-99
- Baker, R.; Saling, P. (2003): Comparing natural with chemical additive production. *Feed Mix*, 11, p. 12-14
- BASF AG (2004a): Label Eco-Efficiency Analysis Astaxanthin
- BASF AG (2004b): Die Ökoeffizienz-Analyse – Ein Werkzeug für die Zukunft. Powerpoint-Präsentation; Quelle: www.oekoeffizienzanalyse.de
- BIO – Biotechnology Industry Organization (2004): Internetpräsentation unter www.bio.org
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2004a): Fakten zur nachhaltigen Abfallwirtschaft. Stand: 01. März 2004. Internetpräsentation
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2004b): Entwicklung der Erneuerbaren Energien im Jahr 2003 in Deutschland. Erste vorläufige Abschätzung (Stand Februar 2004)
- Bundesregierung Deutschland (2002): Perspektiven für Deutschland - Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Download von <http://www.nachhaltigkeitsrat.de>
- Chartrain, M.; Salmon, P. M.; Robinson, D. K.; Buckland, B. C. (2000): Metabolic engineering and directed evolution for the production of pharmaceuticals. *Current Opinion in Biotechnology*, 11, p. 209-214
- Chiang, S.-J. (2004): Strain improvement for fermentation and biocatalysis processes by genetic engineering technology. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.*, 31, p. 99-108
- Chotani, G.; Dodge, T.; Hsu, A.; Kumar, M.; LaDuca, R.; Trimbur, D.; Weyler, W.; Sanford, K. (2000): The commercial production of chemicals using pathway engineering. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1543, p. 434-455
- Cortassa, S.; Aon, M. A.; Iglesias, A. A.; Lloyd, D. (2002): An Introduction to Metabolic & Cellular Engineering. World Scientific Publishing Co., Inc.
- D'Aquino, R. (2003): Green Factories for Pharmaceuticals. *CEP*, 1, p. 34S-36S
- Danner, H. u. Braun, R. (1999): Biotechnology for the production of commodity chemicals from biomass. *Chem. Soc. Rev.*, 28, p. 395-405
- Desai, P. (2002): Bio-Products and Agriculture. Präsentation, Edmonton, 6. August. Download <http://www.avacltd.com/pastevents/PeteDesaisMemberMeetingEdmonton020806.pdf>
- DIN - Deutsches Institut für Normung e. V. (2003): Waschmaschinen für den Hausgebrauch - Verfahren zur Messung der Gebrauchseigenschaften (IEC 60456:1998, modifiziert) Deutsche Fassung EN 60456:1999 + A11:2001 + A12:2001 + A13:2003 EN 60456
- DVT (2003): Mischfutter als Teil der Futtermittelwirtschaft. Deutscher Verband Tiernahrung e. V., Bonn; 15.11.2003, Informationsangebot im Internet unter: www.dvtiernahrung.de
- EEA - European Environment Agency (2003): Europe's environment: the third assessment. Environmental assessment report No. 10. Download von <http://www.eea.eu.int>
- EU – European Commission (2004) : Biomass for Fuel, Fibre, Fertiliser and Feed. CD-ROM
- Fachverband Biogas e. V. (2004): Anlagenstatistik. Internetpräsentation unter <http://www.biogas.org>
- Feikes, L. (1990): Ökologische Probleme der Lederindustrie. In: Herfeld (Hrsg): Bibliothek des Leders, Band 8

- Festel, G.; Knöll, J.; Götz, H.; Zinke, H. (2004): Der Einfluss der Biotechnologie auf Produktionsverfahren in der Chemieindustrie. *Chemie Ingenieur Technik*, 76, 3, S. 307-312
- Fischer, R.; Drossard, J.; Commandeur, U.; Schillberg, S.; Emans, N. (1999a): Towards molecular farming in the future: moving from diagnostic protein and antibody production in microbes to plants. *Biotechnol. Appl. Biochem.*, 30, p. 101-108
- Fischer, R.; Drossard, J.; Commandeur, U.; Schillberg, S.; Emans, N. (1999b): Towards molecular farming in the future: moving from diagnostic protein and antibody production in microbes to plants. *Biotechnol. Appl. Biochem.*, 30, p. 101-108
- Fischer, R.; Drossard, J.; Emans, N.; Commandeur, U.; Hellwig, S. (1999c): Towards molecular farming in the future: *Pichia pastoris*-based production of single-chain antibody fragments. *Biotechnol. Appl. Biochem.*, 30, p. 117-120
- Fischer, R.; Emans, N.; Schuster, F.; Hellwig, S.; Drossard, J. (1999d): Towards molecular farming in the future: using plant-cell-suspension cultures as bioreactors. *Biotechnol. Appl. Biochem.*, 30, p. 109-112
- Fischer, R.; Vaquero-Martin, C.; Sack, M.; Drossard, J.; Emans, N.; Commandeur, U. (1999e): Towards molecular farming in the future: transient protein expression in plants. *Biotechnol. Appl. Biochem.*, 30, p. 113-116
- Fischer, R.; Schillberg, S. (eds.) (2004): *Molecular Farming - Plant-made Pharmaceuticals and Technical Proteins*. Wiley-VCH, Weinheim
- Gerngross, T. U. (1999): Can biotechnology move us toward a sustainable society? *Nature Biotechnology*, 17, 6
- Gong, C. S.; Cao, N. J.; Du, J.; Tsao, G. T. (2003): Ethanol Production from Renewable Resources. *Advances in biochemical engineering, biotechnology*, 65, p. 207 – 241
- Hinman, R.L. (1991): The Chemical Industry. In: U.S. Congress – Office of Technology Assessment: *Biotechnology in a Global Economy*. Chapter 7, p. 118-125; Report Number OTA-BA-494, Washington
- Hoppenheidt, K.; Mücke, W.; Peche, R.; Tronecker, D.; Roth, U.; Würdinger, E.; Hottenroth, S.; Rommel, W. (2004): Entlastungseffekte für die Umwelt durch Substitution konventioneller chemisch-technischer Prozesse und Produkte durch biotechnische Verfahren. Schlussbericht zum UFOPLAN-Vorhaben 202 66 326, Juli, 2004
- Iogen (2004): First cellulose ethanol demonstration in European vehicles. Pressemitteilung von 01.06.2004, veröffentlicht unter <http://www.iogen.ca>
- IPTS - Institute for Prospective Technological Studies (2002): The Assessment of Future Environmental and Economic Impacts of Process-Integrated Biocatalysts. Institute for Prospective Technological Studies (IPTS), Seville, July 2002 (Report EUR 20407 EN)
- Losand, B. (2000): Schweineernährung ohne Leistungsförderer? Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Heft 21, Februar 2000
- Maeting, I.; Schmidt, G.; Sahm, H.; Revueltac, J.; Stierhofd, Y-D.; Stahmann, K.-D. (1999): Isocitrate lyase of *Ashbya gossypii* - transcriptional regulation and peroxisomal localization. *FEBS Letters*, 444, p. 15-21
- Menke, K.-H.; Huss, W. (1980): Tierernährung und Futtermittelkunde. UTB Uni-Taschenbücher 63, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- Mieschendahl, M. (2004): Die weiße Biotechnik aus Sicht des Umweltbundesamtes. Vortrag, 2. Reizensburger Umweltbiotechnologie-Tag, 23.06.2004
- Monschau, N.; Sahm, H.; Stahmann, K.-P. (1999): Threonine Aldolase Overexpression plus Threonine Supplementation Enhanced Riboflavin Production in *Ashbya gossypii*. *Applied and Environmental Microbiology*, 64, 11, 4283-4290
- OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development (1998): *Biotechnology for Clean Industrial Products and Processes - Towards Industrial Sustainability*
- OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development (2001): *The Application of Biotechnology to Industrial Sustainability*

- Özbas, T. u. Kutsal, T. (1986): Comparative study of riboflavin production from two microorganisms: *Eremothecium ashbyi* and *Ashbya gossypii*. *Enzyme Microb. Technol.*, 8, p. 593-596
- Powell, K. A.; Ramer, S. W.; del Cardayré, S. B.; Stemmer, W. P. C.; Tobin, M. B.; Longchamp, P. F.; Huisman, G. W. (2001): Gerichtete Evolution und Biokatalyse. *Angewandte Chemie*, 113, S. 4068-4080
- Renner, I. u. Klöpffer, W. (2003): Untersuchung der Anpassung von Ökobilanzen an spezifische Erfordernisse biotechnischer Prozesse und Produkte. Abschlussbericht zum UFOPLAN-Vorhaben 201 66 306
- Schmitz, N. (Hrsg.) (2003): Bioethanol in Deutschland. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Bd. 21, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster
- Statistisches Bundesamt (2004): Landwirtschaft in Zahlen 2003. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, Januar 2004
- Südzucker AG (2004): Grundsteinlegung Südzucker-Bioethanolanlage am 6. Februar 2004. Pressemitteilung
- UNEP - United Nations Environment Programme (2002): Global Environment Outlook 3 - Past, present and future perspectives. Earthscan Publications Ltd., London
- US-DOE - U.S. Department of Energy (2001): The Technology Roadmap for Plant/Crop-based Renewable Resources 2020 – Research Priorities for Fulfilling a Vision to Enhance U.S. Economic Security through Renewable Plant/Crop-based Resource use. <http://www.oit.doe.gov/agriculture/>
- US-DOE - U.S. Department of Energy (2003): Industrial Bioproducts: Today and Tomorrow. Report prepared by Energetics Incorporated, Columbia, Maryland for the DOE, Washington
- Vorlop, K.-D. u. Wilke, T. (2003): Industrielle Biokonversion nachwachsender Rohstoffe als Alternative zu klassischen chemischen Verfahren. In: Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.): Nachwachsende Rohstoffe für die Chemie – 8. Symposium 2003. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Heft 22, S. 55-79
- Würdinger, E.; Roth, U.; Wegener, A.; Peche, R.; Rommel, W.; Kreibe, S.; Nikolakis, A.; Rüdenauer, I.; Pürschel, C.; Ballarin, P.; Knebel, T.; Borken, J.; Detzel, A.; Fehrenbach, H.; Giegrich, J.; Möhler, S.; Patyk, A.; Reinhardt, G. A.; Vogt, R.; Mühlberger, D.; Wante, J. (2002): Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen: Vergleichende Ökobilanz für Loose-fill-Packmittel aus Stärke bzw. Polystyrol. Endbericht zum Vorhaben Az. 04763 im Auftrag der Deutschen Bundesstiftung Umwelt. Textfassung unter: <http://www.bifa.de>
- Würdinger, E.; Roth, U.; Reinhardt, G.A.; Detzel, A. (2003): Ökobilanz für Loose-fill-Packmittel aus Stärke bzw. Polystyrol: spezifische Ergebnisse und allgemeine Hinweise für eine nachhaltige Nutzung nachwachsender Rohstoffe im Kunststoffbereich. In: Nachwachsende Rohstoffe für die Chemie, 8. Symposium 2003, Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Band 22, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow, März 2003
- Wilke, D. (1999): Chemicals from biotechnology: molecular plant genetics will challenge the chemical and the fermentation industry. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 52, 2, p. 135-145
- Wubbolts, M. (2002): Integration of Chemical and Biotechnological Disciplines for Improvement of Industrial Processes. Conference “The Role of Biotechnology in Industrial Sustainable Development”, 16-17 May 2002, Antwerpen, Belgien
- Young, A. L. (2003): Biotechnology for Food, Energy, and Industrial Products – New Opportunities for Bio-based Products. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 10, 5, p. 273-276
- Young, A. L. (2004): The Future Biotechnology in Support of Bio-based Industries – The US Perspective. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 11, 2, p. 71-72

Environmental Research Plan of the
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
(Federal Ministry for Environment, Nature Conservation and Reactor Safety)

Engineering General Affairs, Biotechnology, Material Balances, Investment Program

Project number (UFOPLAN) 202 66 326

**Reducing Environmental Load of
Chemical Engineering Processes and
Chemical Products by Biotechnological Substitutes
- Summary of the Final Report -**

Bayerisches Institut für Angewandte Umweltforschung und -technik – BIfA GmbH
(Bavarian Institute for Applied Environmental Research and Technology – BIfA GmbH)

Abt. Umwelttoxikologie, -hygiene und -biotechnologie
(Department Environmental Toxicology, Hygiene and Biotechnology)

Dr. Klaus Hoppenheidt and Prof. Dr. Wolfgang Mücke

and

Abt. Verfahrens- und Systemtechnik
(Department Environmental Technology)

René Peche, Dr. Dieter Tronecker, Udo Roth, Eduard Würdinger, Sarah Hottenroth
and Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Rommel

BY ORDER OF
UMWELTBUNDESAMT (FEDERAL ENVIRONMENTAL AGENCY)

August 2004

Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB R+D-Project GI: 202 66 326	2. --	3. --
4. Report Title Reducing Environmental Load of Chemical Engineering Processes and Chemical Products by Biotechnological Substitutes – Summary of the Final Report		
5. Authors Dr. K. Hoppenheidt, Prof. Dr. W. Mücke, R. Peche, Dr. D. Tronecker, U. Roth, E. Würdinger, S. Hotten- roth, Prof. Dr.-Ing. W. Rommel	8. Report Date 15.06.2004	
	9. Publication Date --	
6. Performing Organisation Bayerisches Institut für Angewandte Umweltfor- schung und -technik – BlfA GmbH Am Mittleren Moos 46 D-86167 Augsburg	10. UFOPLAN-Ref. No. 202 66 326	
	11. No. of Pages 36	
7. Funding Agency Umweltbundesamt (Federal Environmental Agency) Postfach 33 00 22 D-14191 Berlin	12. No. of Reference 57	
	13. No. of Tables 7	
	14. No. of Figures 10	
15. Supplementary Notes --		
16. Abstract With the help of a standardized ecobalance procedure the environmental loads of biopro- cesses and bioproducts have been determined and were used for a comparison with data of chemical production processes and products. Evaluated processes have been: production of vitamin B2 and a step of the leather production process: Evaluated products have been: starch and polystyrene based loose-fill packaging materials; washing powder with and without enzymes; biological and chemical feed additives. In addition it has been studied which occupational safety and environmental protection meas- ures are required for bioprocesses or chemical production processes.		
17. Keywords Environmental impact reduction; bioprocess; bioproducts; chemical process; chemical prod- ucts; life cycle assessment; occupational safety; environmental protection		
18. Price --	19. --	20. --

Contents

Report Cover Sheet	I
Contents	III
1 Initial situation.....	1
1.1 Contribution of biotechnology to sustainability	2
1.2 Scope of the study	3
2 Approach	5
3 Assessment of reduced environmental impacts of existing biotechnical processes	7
3.1 Process comparison 1a – Biotechnical and chemical- technical vitamin B2-production by DSM	8
3.2 Process comparison 1b – Biotechnical and chemical- technical vitamin B2-production by BASF AG	10
3.3 Process comparison 2 – Biotechnical and chemical- technical leather production.....	12
4 Assessment of reduced environmental impacts of biotechnical product substitutes	15
4.1 Product comparison 1 - Loose-fill-packaging out of expanded polystyrene and starch.....	15
4.2 Product comparison 2 - Animal production with probiotics and rare earth metals	18
4.3 Product comparison 3 - Enzymes in regular laundry detergents	21
5 Concept for the comparative evaluation of hazard potentials of biotechnical and chemical- technical production.....	24
6 Conclusion	26
7 References.....	29

1 Initial situation

The international community of states confessed 1992 in Rio de Janeiro to the overall concept of sustainability. A global programme of actions was set up with the Agenda 21, which demands the development of strategies aiming at an economically efficient, socially fair and ecologically compatible development. The German strategy for sustainability published in 2002 lists 21 key indicators. The monitoring of these indicators shall point out the German approximation to the aims of sustainability (Bundesregierung Deutschland, 2002).

6 of 21 indicators for sustainability refer to environmental aspects		
▪ <u>Protection of natural resources:</u>		
resource efficiency (materials):	1990 → 2020:	+ 100 %
resource efficiency (energy):	1994 → 2020:	+ 100 %
▪ <u>Renewable energies:</u>		
part of total primary energy consumption:	2000 → 2010:	+ 100 %
part of consumption of electricity:	2000 → 2010:	+ 100 %
▪ <u>Climate protection:</u>		
reduction of greenhouse gases:	1990 → 2010:	- 15 %
▪ <u>Air quality:</u>		
emissions of air pollutants:	1990 → 2010:	- 70 %
▪ <u>Land use:</u>		
limitation of increase:	now → 2020:	- 77 %
▪ <u>Biodiversity:</u>		
stabilisation of biodiversity on a high level		

Figure 1: Ecological aims of the German strategy for sustainability

An initiation of decoupling of the economic growth from the use of natural resources is noticeable in Germany in the meantime. The Federal Environmental Agency introduced a specific value – the German Environmental Index DUX (Deutscher Umweltindex) - representing the developing trends of environmental protection in Germany. The last intermediate result of the DUX was 2,013 of 6,000 DUX points which should be achieved. Therefore, substantial efforts are needed to achieve the objectives. Although the status of realised environmental measures can be classified as advanced in Germany (EEA, 2003; UNEP, 2002), the call for action on national and international level is still high if the global concept of sustainability shall become reality.

1.1 Contribution of biotechnology to sustainability

Until mid of the nineties the main area of application of biotechnology was the food and the environmental protection sector. The Agenda 21 points at the potential development of biotechnology.

“... By itself, biotechnology cannot resolve all the fundamental problems of environment and development, so expectations need to be tempered by realism. Nevertheless, it promises to make a significant contribution in enabling the development of, for example, better health care, enhanced food security through sustainable agricultural practices, improved supplies of potable water, more efficient industrial development processes for transforming raw materials, support for sustainable methods of afforestation and reforestation, and detoxification of hazardous wastes.”

Today an implementation of the development outlined in the Agenda 21 emerge. The areas of implementation of the traditional biotechnology enlarge: Not only 10,000 sewage treatment plants have a biological cleaning step in Germany but 7.6 mill. t of biological waste are used in biological recycling plants in the meantime (BMU, 2004a). Within one decade more than 1,900 biogas plants with an installed electrical power of 250 MW were commissioned (Fachverband Biogas, 2004). All in all, the contribution of the use of biomass for the power generation raised from 222 GWh in 1990 up to 5,140 GWh in 2003 (BMU, 2004b).

The progress of molecular biology and particularly of genetic engineering contributes to a rapid development of biotechnology. The European Association for Bioindustries lists the following application areas for biotechnology:

- *Healthcare Biotechnology („Red Biotechnology“)*: Increase of biological products such as proteins, antibodies, enzymes from 20 % market share at present up to 50 %.
- *Green Biotechnology*: The use of genetically modified plants (and animals) in agriculture started 10 years ago. In the USA 46 % of corn, 86 % of soy and 76 % of cotton are cultivated with genetically modified seeds (BIO, 2004). Soon plants (and animals) can be used for the cost-efficient production of pharmaceuticals (Dáquino, 2003).
- *White Biotechnology*: Using biotechnology as a component for sustainable chemistry („Green Chemistry“) (BACAS, 2004).

In the frame of this study the development in the area of the *White Biotechnology* is particularly interesting.

Figure 2 points out the small turnover with biotechnological products in comparison to the global overall turnover of the chemical industry at present.

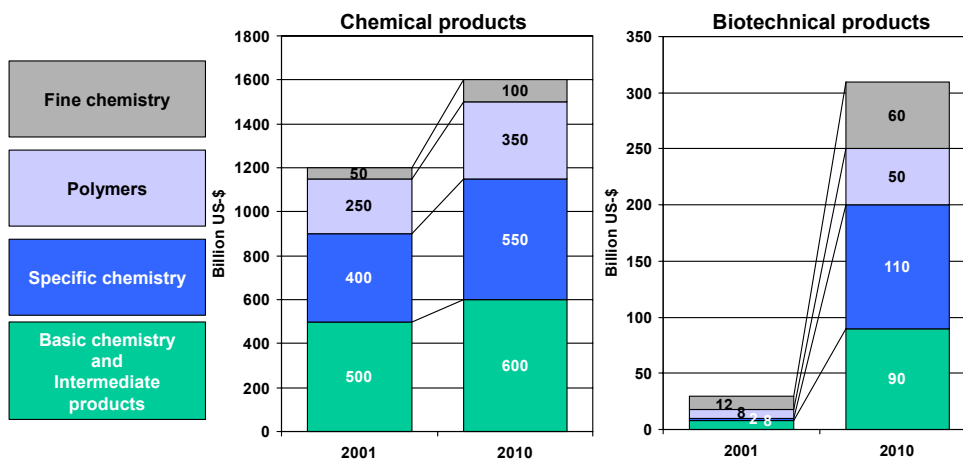


Figure 2: Global turnover of chemical and biotechnological products in 2001 and forecasts for 2010 (Source: Festel et al., 2004)

A strong growth of biotechnological applications is expected for the next years because the use of modern biotechnological processes announces a clear reduction of costs and environmental pollution. Both, Bachmann et al. (2000) and Festel et al. (2004) assume that the turnover of biotechnological products will increase tenfold until 2010 and raise up to 20 % of the global turnover of chemicals. Reasons for these assumptions are optimisations of production strains and production processes, modified political environmental frames as well as the development of new applications of biotechnology (Aristidou et al., 2000; Chartrain et al., 2000; Cotassa et al., 2002; Desai, 2002; Wubolts, 2002).

Although process optimisations are primarily effected due to economical reasons, they can lead to environmental advantages as well. The OECD (2001) could show a reduction of environmental impacts resulting from the application of modern biotechnological processes in 21 case studies.

1.2 Scope of the study

Different studies have analysed parts of the above mentioned developments by order of the German Federal Environmental Agency (Mieschendahl, 2004). These analyses have shown an overall discrepancy between the above mentioned expectations of the

contribution of biotechnology to sustainability and the present realisation. The project description from the Federal Environmental Agency for the UFOPLAN 2002 included the following tasks:

1. *"Collection and analysis of data from biotechnical processes already applied in industry or at least being in pilot plant scale. Reduction effects for the environment shall be identified and revealed in comparison to chemical-technical processes. The environmental reduction potential has to be gathered quantitatively in consideration of specific biotechnical questions. The OECD study "The Application of Biotechnology to Industrial Sustainability" (OECD 2001) or the publication of the Federal Environmental Agency "Substitution of chemical-technical processes by biotechnical processes by instance taken from selected basic and fine chemicals" (UBA-Texte 16/01) can be used as data base."*
2. *"Besides changeovers the substitution of products can affect environmental reduction effects. The substitution of a chemical product by a biotechnical product with functional equivalence (example biopolymers) can also be positive for the environment. Substitution of products have to be identified and reduction effects have to be determined for examples."*
3. *"Whereas chemical production processes often work with high temperatures and pressures and with organic solvents the biotechnology is considered to be a comparatively mild technology due to mild conditions: room temperature, normal pressure, aqueous ambience. This should have impacts on the conception of a production plant. The biotechnology should have advantages compared to chemical production processes in terms of the necessary measurement and control technique, the material properties, the material input as well as generally on the question of the plant safety. These aspects shall be determined at an exemplary plant and should be presented by reference to possible positive environmental effects."*

2 Approach

The study started in November 2002 with a inquiry about the available information of analysable processes and products. After clearance with the Federal Environmental Agency two production processes were chosen allowing a comparative ecological assessment following the method of Life Cycle Assessment of one biotechnical and one chemical-technical production alternative for the same product. In addition, three processes were chosen producing in a biotechnical and a chemical-technical manner functional equivalent products. The environmental impacts resulting from the use of the product alternatives were also evaluated by means of an ecological assessment.

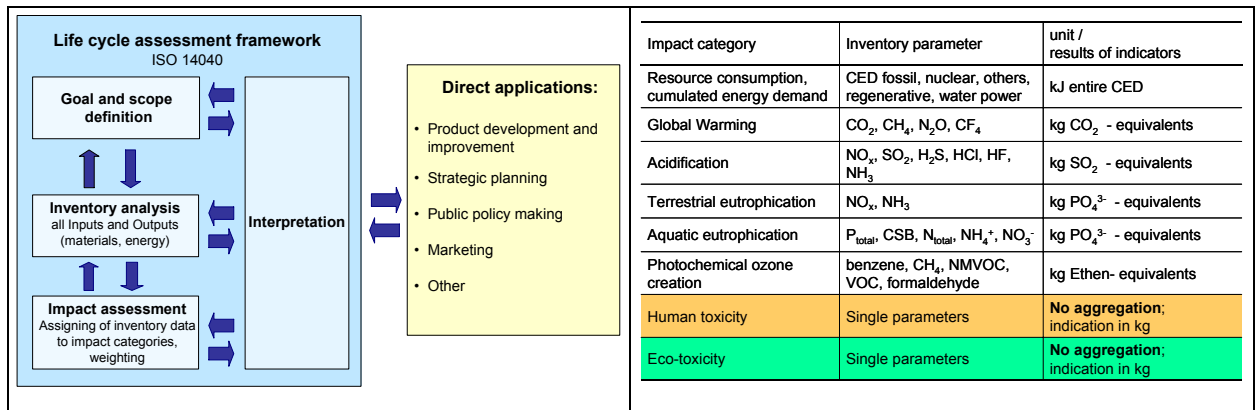


Figure 3: Elements of a Life Cycle Assessment corresponding to DIN EN ISO 14040 ff. (left) and the impact categories considered in the study (right)

The environmental impacts from the use of biotechnical respectively chemical-technical production processes were evaluated in an ecological comparison by means of the software UMBERTO®. Therefore, standardised ecological interpretations were effected as shown in Figure 3 whereas only the indicated impact categories could be considered. Full Life Cycle Assessments would require advanced interpretations.

The interpretations carried out have added up to a large data base. For a comprising illustration a standardisation of the results with emission values for a German inhabitant (inhabitant values) was performed. The higher the inhabitant values are the more important is the impact category respectively the single parameters for the environmental impact. By the comparison of different categories respectively different values the different importance in respect of the environmental impact becomes apparent. The results from the inventory analysis and from the impact assessment refer to the respec-

tive functional unit of the scenarios. The standardised results do not allow conclusions whether the processes respectively the differences are important for Germany because the results refer to the functional unit and not to an annual production. Only the standardisation of the annual production of the single scenarios would allow this interpretation.

Table 1 shows an example for the standardised illustration of the results. The importance of the absolute values, the calculated inhabitant values and the differences of the inhabitant values was pointed out by application of the following layout:

25	Higher value: black number in bold face in white box
-12	Reduction of environmental impact due to biotechnical processes: white number in dark box
10	Increase of environmental impact due to biotechnical processes: black number in light box
0,02	Negligible difference of environmental impacts: number without bold face in white box

Table 1: Example for the standardised illustration of the net-results (details: see Hoppenheidt et al., 2004)

		Bio-technical	Chemical-technical	Bio-technical	Chemical-technical	Difference (Bio. - Chem.)
	Unit			Inhabitant values	Inhabitant values	Inhabitant values
Impact categories, aggregated						
CED	GJ	391	590	2,24	3,38	-1,14
Global Warming Potential	kg CO ₂ -eq.	25,0	33,5	2,12	2,84	-0,72
Acidification Potential	kg SO ₂ -eq.	115	229	2,84	5,63	-2,79
Terrest. Eutroph. Potential	kg PO ₄ -eq.	11,4	15,2	2,19	2,91	-0,73
Aquatic Eutroph. Potential	kg PO ₄ -eq.	21,4	5,8	3,85	1,04	2,81
Human toxic single substances						
Benzo(a)pyrene	g	0,0067	0,0034	0,04	0,02	0,02
Lead	g	0,28	0,16	0,04	0,02	0,02
Cadmium	g	0,095	0,034	0,71	0,26	0,45

3 Assessment of reduced environmental impacts of existing biotechnical processes

Aim of this project task was an comparative ecological assessment of a biotechnical and a chemical-technical production process for the same product (P). The process alternatives should be realised in full scale or technical scale in industry.

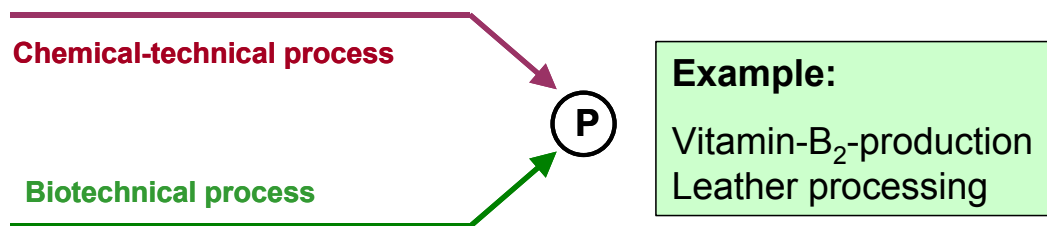


Figure 4: General set-up of process comparisons

Although innumerable production process variants are known, in this study only a few examples could be considered:

- Vitamin B₂ can be produced on a biotechnical or a chemical-technical route (see 3.1 and 3.2).
- The conversion of raw skins hides to leather is a multiple step production process. Our comparison was focused on the soaking and liming steps, which can be carried out with or without the aid of enzymes (s. 3.3).

The examples represent two extremes of different production process variants, which can help to draw conclusions from our examples to other processes.

3.1 Process comparison 1a – Biotechnical and chemical-technical vitamin B2-production by DSM

The company DSM Nutritional Products (formerly Roche Vitamine GmbH) substituted the formerly used multi-level chemical-technical process of the vitamin B2 production by a biotechnical process in 2000. Bases for the process comparison were the data provided by DSM which were amended by own research.

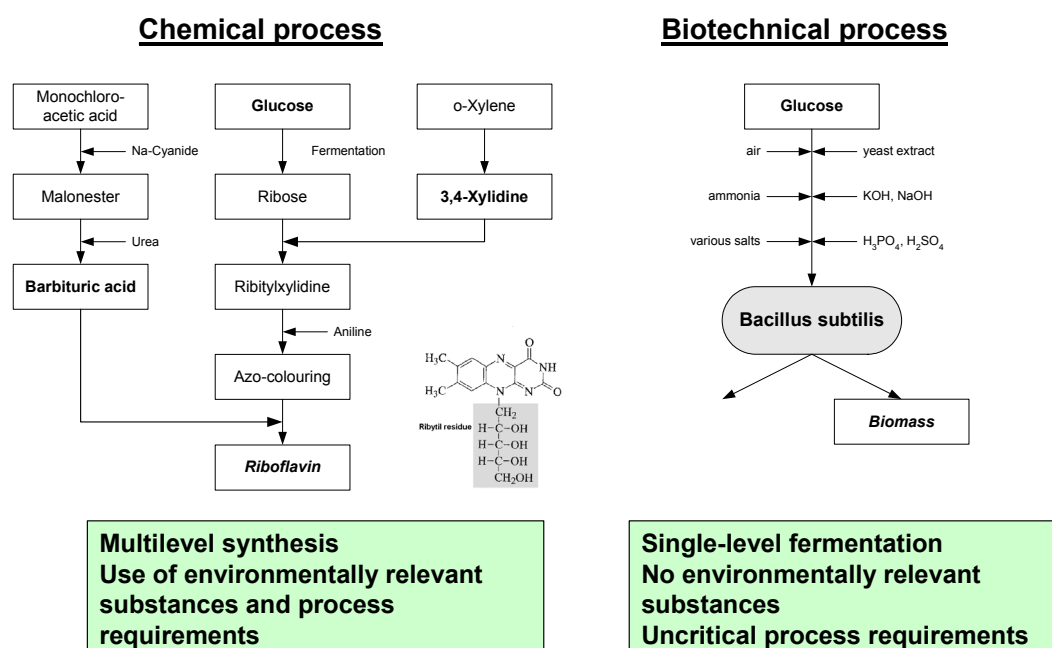


Figure 5: Schematic comparison of the chemical-technical and biotechnical vitamin B2 production

The production of 1,000 kg vitamin B2 with a purity of 96 % as well as the following processing of 19 mass-% to 167 kg vitamin B2 with a purity of 98 % was chosen as functional unit.

A multilevel synthesis process was used for the chemical-technical production of vitamin B2. In this process different chemicals with environmental relevance are required besides renewable raw materials. The biotechnical production process is only a single-level fermentation process. In this process only small amounts of chemical auxiliary material with low environmental relevance are needed besides the renewable raw materials. The waste biomass arising in relatively large amounts can be biologically recy-

cluded. Therefore, the biomass has no negative influence on the overall result of the processes.

Table 2: Summary of the results of the impact assessment

		Biotechnical process	Chem.–techn. process	Biotechnical process	Chem.–techn. process	Difference (Bio. - Chem.)
	Unit			Inhabitant values	Inhabitant values	Inhabitant values
Impact categories aggregated						
CED	GJ	391	590	2,24	3,38	-1,14
Global Warming Potential	Mg CO ₂ -eq.	25,0	33,5	2,12	2,84	-0,72
Acidification Potential	kg SO ₂ -eq.	115	229	2,84	5,63	-2,79
Terrestrial Eutrophication Pot.	kg PO ₄ -eq.	11,4	15,2	2,19	2,91	-0,73
Aquatic Eutrophication Potential	kg PO ₄ -eq.	21,4	5,8	3,85	1,04	2,81
Photochem. Ozone Creation Pot.	kg Eth-eq.	8,6	20,3	0,99	2,35	-1,36
Human toxic single substances						
Benzo(a)pyrene (a)	g	0,0067	0,0034	0,04	0,02	0,02
Lead (a)	g	0,28	0,16	0,04	0,02	0,02
Cadmium (a)	g	0,095	0,034	0,71	0,26	0,45
Sulphur dioxide (a)	kg	53,2	145,56	5,51	15,1	-9,55
Dust (a)	kg	11,7	37,7	3,73	12,0	-8,25
Eco-toxic single substances						
Ammonia (a)	kg	8,42	1,15	1,11	0,15	0,96
Hydrogen fluoride (a)	kg	0,05	0,05	0,03	0,03	0,00
Sulphur dioxide (a)	kg	53,2	146	5,51	15,1	-9,55
Hydrogen sulphide (a)	g	0,061	0,36	--	--	--
Nitrogen oxides (a)	kg	65,3	114	3,36	5,85	-2,49
Ammonium (w)	kg	8,16	1,48	2,92	0,53	2,39
AOX (w)	g	0,0024	7,75	0,000045	0,15	-0,15
Chloride (w)	kg	100	239	--	--	--
Hydrocarbons (w)	kg	0,001	2,04	0,01	39,3	-39,25

In Table 2 the results of the comparative impact assessment are summarised. Clear environmental reduction was determined for the aggregated impact categories cumulated energy demand (resource consumption), global warming-, acidification-, terrestrial eutrophication- and photochemical ozone creation potential for the biotechnical process in comparison to the chemical-technical process. The aquatic eutrophication potential was higher for the biotechnical than for the chemical-technical process.

For the 5 single substances classified as human toxic the emissions for the parameters benzo(a)pyrene and lead show only small differences at a low impact level. The relatively small cadmium emissions were higher for the biotechnical process than for the chemical-technical process. For sulphur dioxide and dust both emitted in relevant amounts a clear environmental reduction is achieved by the application of the biotechnical process.

For the 9 single substances classified as eco-toxic the results for 6 substances show partially clear environmental reduction for the application of the biotechnical process in comparison to the chemical-technical process. The differences of emissions were very small for 2 single substances. For ammonia (a) and ammonium (w) the biotechnical process resulted in higher emission values and for hydrogen fluoride the emission values of the two processes were at a low level.

Finally, it is indicated that the single results allow only a comparison of the considered processes. The comparison between the result of the DSM processes with the results of the BASF processes are inadmissible due to the different general framework during the modelling and the differences of the provided process data.

3.2 Process comparison 1b – Biotechnical and chemical-technical vitamin B2-production by BASF AG

Since 1990 the BASF AG produces vitamin B2 in a biotechnical process. The BASF AG uses a mutant of the fungus *Ashbya gossypii* whose metabolism was optimised in regard to an overproduction of vitamin B2. Vegetable oil on soy basis is used for the production of vitamin B2 due to a high yield (> 15 g/L) (Özbas a. Kutsal, 1986; Monschau et al., 1999; Maeting et al., 2001). At BASF the chemical-technical process was also substituted by the biotechnical process. The chemical-technical process was largely similarly operated than the above described process at the site of DSM Nutritional Products.

The results of the comparative evaluation of the vitamin B2 production by BASF AG are summarised in Table 3. The production of 1,000 kg vitamin B2 was chosen as functional unit. In addition, the emission values for German inhabitants (inhabitant values) were calculated for the considered functional unit for a better comparison.

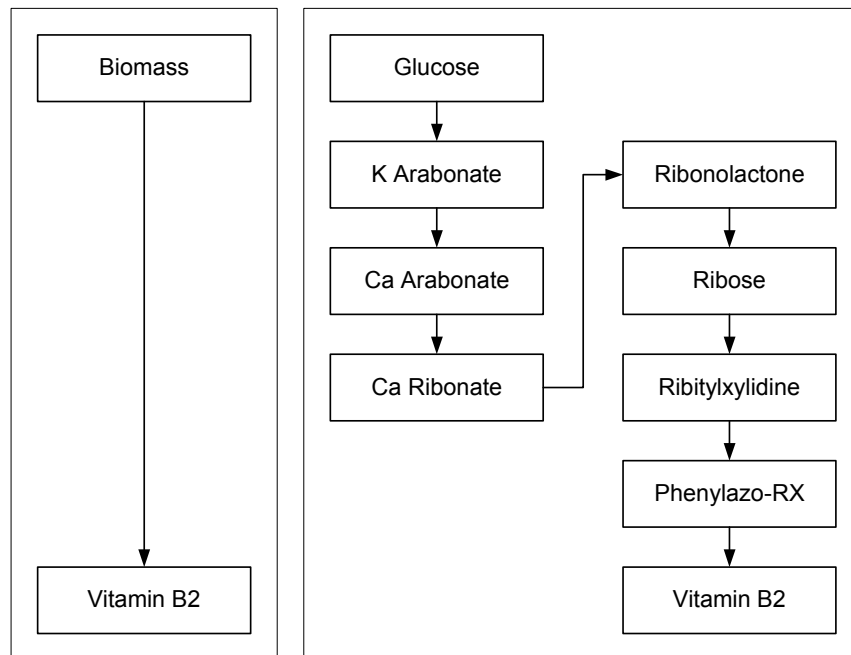


Figure 6: Scheme of the system boundaries for the biotechnical (left) and the chemical-technical (right) vitamin B2 production by BASF AG in the internal eco-efficiency analyses

Table 3: Summary of the results of the impact assessment

		Biotechnical process	Chem.-techn. process	Biotechnical process	Chem.-techn. process	Difference (Bio. - Chem.)
	Unit			Inhabitant values	Inhabitant values	Inhabitant values
Impact categories aggregated						
CED	GJ	917	973	5,25	5,58	-0,32
Global Warming Potential	Mg CO ₂ -eq.	34,8	51,8	2,94	4,39	-1,44
Acidification Potential	kg SO ₂ -eq.	177	557	4,34	13,7	-9,34
Terrestrial Eutrophication Potential	kg PO ₄ -eq.	12,9	24,5	2,48	4,70	-2,22
Aquatic Eutrophication Potential	kg PO ₄ -eq.	26,8	10,1	4,82	1,81	3,01
Photochemical Ozone Creation Potential	kg Eth-eq.	8,31	28,7	0,96	3,32	-2,36
Human toxic single substances						
Benzo(a)pyrene (a)	kg	--	--	--	--	--
Lead (a)	kg	--	--	--	--	--
Cadmium (a)	kg	--	--	--	--	--
Sulphur dioxide (a)	kg	105	424	10,9	43,9	-32,99
Dust (a)	kg	--	--	--	--	--
Eco-toxic single substances						
Ammonia (a)	kg	2,87	0,80	0,38	0,11	0,27
Hydrogen fluoride (a)	kg	--	--	--	--	--
Sulphur dioxide (a)	kg	105	424	10,9	43,9	-32,99
Hydrogen sulphide (a)	kg	--	--	--	--	--
Nitrogen oxides (a)	kg	91,7	186	4,71	9,57	-4,86
Ammonium (w)	kg	0,072	14,6	0,03	5,20	-5,17
AOX (w)	kg	0,00021	0,39	0,004	7,38	-7,38
Chloride (w)	kg	40,1	922	--	--	--
Hydrocarbons (w)	kg	0,063	0,39	1,22	7,55	-6,33

The table shows clear environmental reduction potentials for the aggregated impact categories cumulated energy demand (resource consumption), global warming-, acidification-, terrestrial eutrophication- and photochemical ozone creation potential for the biotechnical process in comparison to the chemical-technical process. The aquatic eutrophication potential was higher for the biotechnical than for the chemical-technical process.

For the single substances classified as human toxic only data for sulphur dioxide (a) were available. The process comparison showed a distinct environmental reduction for the application of the biotechnical process.

For the single substances classified as eco-toxic data for 7 substances were available. The results for 6 substances showed a clear environmental reduction for the application of the biotechnical process in comparison to the chemical-technical process. The ammonia emissions were on a low level for both processes.

Finally, it is indicated that the single results allow only a comparison of the considered processes. The comparison between the result of the BASF processes with the results of the DSM Nutritional Products processes are inadmissible due to the different general framework during the modelling and the differences of the provided process data.

3.3 Process comparison 2 – Biotechnical and chemical-technical leather production

Leather is produced in a chain of single steps which can be different according to the applied process, the respective raw materials and the product. For the process comparison the partial stage of soaking and liming/unhairing was considered. Soaking shall clean the raw skin from contaminations, eliminate preservatives and re-establish the swelling situation corresponding to the situation at the body of a living animal. During the liming and unhairing the skins are depilated and the fibre structure of the skin is restructured. The evaluation includes the comparison of a “hair destroying chemical process” and a “hair maintaining enzymatic process”. During the hair destroying process the hair is largely hydrolytically dissolved by chemicals. The dissolved hair is discharged in the waste water. During the hair maintaining process the hair is only loosened and then removed mechanically or automatically. This hair can then be recycled.

At present, about 15 % of the applied processes of soaking and liming use biocatalysts (IPTS, 2002).

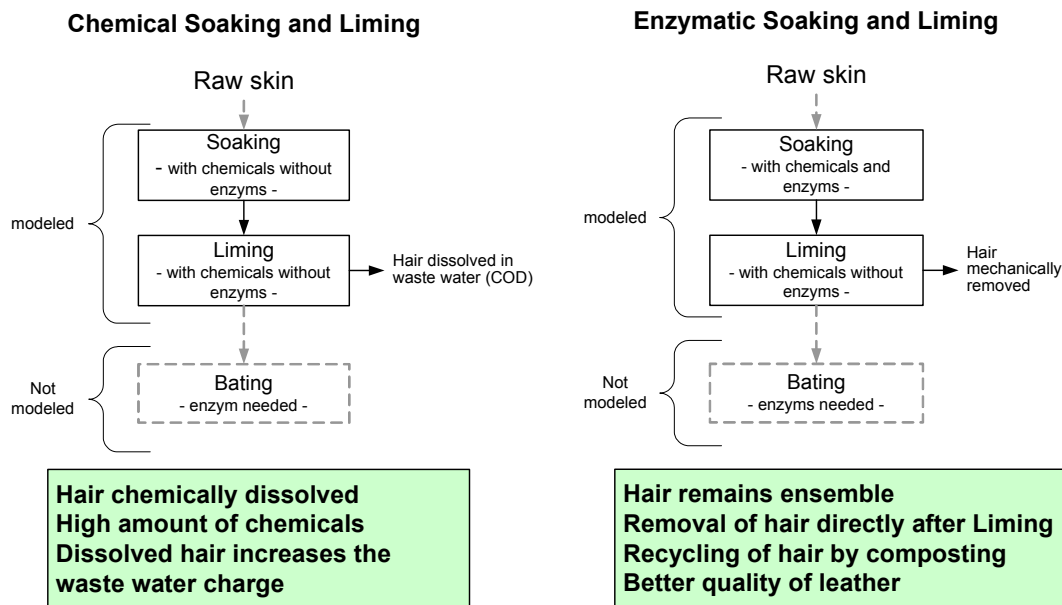


Figure 7: Schematic comparison of the chemical-technical and the biotechnical process alternative of the Soaking/Liming during the leather production

1,000 kg leather were chosen as functional unit as product out of the whole tanning process. This is equivalent with the use of 4,167 kg salted raw skin because 240 kg leather can be produced out of 1 Mg salted raw skin corresponding to a yield of 24 % (Feikes, 1990).

The results of the impact assessment for the comparison of the enzymatic and chemical soaking and liming is summarised in Table 4. In addition, the emission values for German inhabitants (inhabitant values) were calculated for the considered functional unit. It has to be noticed that all data of the inhabitant values were multiplied by a factor of 1,000 to facilitate the readability of the figures.

The table shows that the enzymatic soaking/liming has environmental reduction potentials for all aggregated impact categories in comparison to the chemical soaking/liming. For the photochemical ozone creation potential the differences between the process alternatives were negligible.

Table 4: Summary of the results of the impact assessment

		Biotechnical process	Chem.-techn. process	Biotechnical process	Chem.-techn. process	Difference (Bio. - Chem.)
	Unit			Inhabitant values	Inhabitant values	Inhabitant values
Impact categories aggregated						
CED	GJ	917	973	5,25	5,58	-0,32
Global Warming Potential	Mg CO ₂ -eq.	34,8	51,8	2,94	4,39	-1,44
Acidification Potential	kg SO ₂ -eq.	177	557	4,34	13,7	-9,34
Terrestrial Eutrophication Potential	kg PO ₄ -eq.	12,9	24,5	2,48	4,70	-2,22
Aquatic Eutrophication Potential	kg PO ₄ -eq.	26,8	10,1	4,82	1,81	3,01
Photochemical Ozone Creation Potential	kg Eth- eq.	8,31	28,7	0,96	3,32	-2,36
Human toxic single substances						
Benzo(a)pyrene (a)	kg	--	--	--	--	--
Lead (a)	kg	--	--	--	--	--
Cadmium (a)	kg	--	--	--	--	--
Sulphur dioxide (a)	kg	105	424	10,9	43,9	-32,99
Dust (a)	kg	--	--	--	--	--
Eco-toxic single substances						
Ammonia (a)	kg	2,87	0,80	0,38	0,11	0,27
Hydrogen fluoride (a)	kg	--	--	--	--	--
Sulphur dioxide (a)	kg	105	424	10,9	43,9	-32,99
Hydrogen sulphide (a)	kg	--	--	--	--	--
Nitrogen oxides (a)	kg	91,7	186	4,71	9,57	-4,86
Ammonium (w)	kg	0,072	14,6	0,03	5,20	-5,17
AOX (w)	kg	0,00021	0,39	0,004	7,38	-7,38
Chloride (w)	kg	40,1	922	--	--	--
Hydrocarbons (w)	kg	0,063	0,39	1,22	7,55	-6,33

For the 5 single substances classified as human toxic the emissions for the substances cadmium (a), sulphur dioxide (a) and dust (a) were clearly lower for the enzymatic soaking/liming than for the chemical soaking/liming. No relevant differences could be determined for the other two substances.

For the 9 single substances classified as eco-toxic the results for 7 substances show clearly lower emissions for the application of the enzymatic soaking/liming. The differences of emissions were very small for 2 single substances.

4 Assessment of reduced environmental impacts of biotechnical product substitutes

Aim of this project task was an comparative ecological assessment of two products (P1 and P2) with analogous function but different origin: One product should be produced with a biotechnical process and the product alternative should be produced with a chemical-technical process. The assessment should cover the production process and the utilisation phase and the waste disposal.

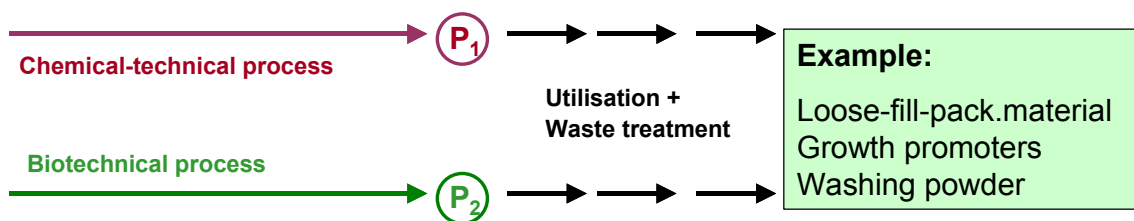


Figure 8: General set-up of product comparisons

This study was limited to a small number of product comparisons. Further, it has to be kept in mind that the processes applied at present were not yet optimised in regard to a minimisation of environmental impacts.

Therefore we used a well-documented example of a product comparison (see 4.1) to study the impact of optimised life cycles of products on the total environmental impact.

In addition we compared the environmental impact of really applied product alternatives (see 4.2 and 4.3).

4.1 Product comparison 1 - Loose-fill-packaging out of expanded polystyrene and starch

In a research project supported by the Deutsche Bundesstiftung Umwelt it was analysed how the substitution of plastics out of fossil raw materials by plastics out of renewable raw materials has to be judged under environmental aspects. BIfA was in charge of the Life Cycle Assessment (LCA) which was performed together with the

IFEU (Institute for Energy and Environmental Research) and the Flo-Pak GmbH (Würdinger et al., 2002).

In the last interpretation step the results of four chosen expanded polystyrene and starch scenarios were compared. The chosen scenarios include the scenarios with the nearest link to reality and the possible range of extreme values (see Table 5). A volume of 100 m³ of loose-fill packaging was chosen as functional unit and therefore as basis for the product comparison.

This large LCA offers a very good data base for an evaluation of the environmental reduction potential for the substitution of a product produced in a chemical-technical manner on the basis of fossil raw materials by a product on the basis of renewable raw materials.

In the frame of this study no new data were collected but the results of the life cycle assessment for the loose-fill packaging were evaluated under different aspects. The aim was to point out the life cycle steps determining the results and the possible differences and ranges of the results in dependence of the chosen general conditions between the expanded polystyrene and starch loose-fill-packaging.

Although the scenarios show clear differences in regard to environmental impacts no principal advantages neither for the starch nor for the expanded polystyrene application arised from the total results of the LCA (Würdinger et al. 2003).

The following aspects were decisive for the results: the concrete manner of material provision, the disposal process of the loose-fill packaging, the additional benefits depending on the disposal processes and the loose-fill packaging which have to be disposed as well as the specific characteristics such as the weight: For the same volume of packaging starch loose-fill packaging weigh three times as much as loose-fill packaging out of expanded polystyrene.

The starch scenarios gave only similar results than the optimised EPS-scenarios if the packaging was effected with energy recovery (fermentation with use of biogas, incineration with high efficiency). The results were improved by an extensive cultivation, the choice of starch plants with a very high area related starch yield (e.g. potato) combined with an optimised starch production.

Table 5: Expanded polystyrene (EPS) and starch scenarios compared in the last interpretation step

<i>Starch scenarios</i>				
Scenario	Starch I (starch-comparison scenario)	Starch II	Starch III	Starch IV
Production	Corn starch	Wheat starch (conventional cultivation)	Wheat starch (extensive cultivation)	Potato starch II (waste water spoilt by raining)
Use	Singular use	Singular use	Singular use	Singular use
Disposal	Disposal mix (residual waste)	Composting	Fermentation	Optimised incineration
<i>EPS-scenarios</i>				
Scenario	EPS I (EPS-comparison scenario)	EPS II	EPS III	EPS IV
Production	Secondary-polystyrene (production waste)	Primary polystyrene	Secondary-polystyrene (EPS-packaging)	Secondary-polystyrene (MC-/CD-covers)
Use	Singular use	Singular use	Singular use	Singular use
Disposal	Disposal mix (residual waste)	Furnace (collection over DSD)	Optimised incineration (separate collection)	Material Recycling (open-loop)

No important advantages but higher greenhouse gas emissions arised for the starch scenarios compared to the EPS-scenarios by the disposal over the German disposal mix or by composting. The supply of the same amount of starch requires clearly less fossil energy sources than the supply of polystyrene. This advantage is clearly reduced due to the triple higher bulk density of the starch loose-fill packaging as well as an additive produced with fossil raw materials. The starch scenarios would benefit considerably from a reduction of the bulk density. A principal difference to the EPS scenarios remains always the clearly higher land use whose weighting differs. This was analogue for the use of pesticides for the conventional starch cultivation.

A positive effect for the EPS scenarios is the use of polystyrene waste for the production of the packaging. Only in this case, it was possible to reach the best starch scenario by means of raw material recycling or energy recovery of the packaging wastes. If polystyrene wastes which were high-quality recycled are already used, only the material recycling of the packaging wastes lead to a similar result than the best starch scenario.

Finally, it has to be pointed out that considerable improvements of the results for the starch scenarios can be achieved if the biomass arising besides the starch could be used. So far, large amounts of biomass residues accumulate during the cultivation of most of the starch plants. These biomass residues are not yet used. Therefore, the expenditure for the biomass production are related to the produced amount of starch. If further parts of the biomass could be used, the expenditure calculated for the starch would decline. The efficiency of the use of the biomass offers considerable further optimisation potentials.

4.2 Product comparison 2 - Animal production with probiotics and rare earth metals

Livestock farming has a large economical importance: In the year 2003, the livestock added up to 13.6 mill. cattle, 26.5 mill. pigs, 2.6 mill. sheep and 122 mill. fowls corresponding to statistical data. The production of animal products achieved a value of 18.9 billion Euro in Germany (Statistisches Bundesamt, 2004).

Each year 68 mill. Mg crops are needed for the animal husbandry in Germany. In 2001, 19 mill. Mg of these crops have been mixed fodder with an overall value of 4.25 mill. Euro (DVT, 2003). About 40 to 60 percent of the production costs in the animal husbandry result from the animal feeding (Menke and Huss, 1980). This emphasises the economical importance of growth promoters. The use of growth promoters increases the efficiency of the production of animals (Losand, 2000). Growth promoters shall decline the amount of feed, improve daily gains, reduce the loss of animals and they shall decrease the costs. A further effect is the lower environmental impact by pollutants such as nitrogen or phosphor compounds due to a better utilisation of nutrients (Losand, 2000).

Basis for the evaluation of the environmental impacts was the early mast phase of pigs (9. – 20. week, weight range between 18 – 76 kg). The weight gain of animals (58 kg) as well as further parameters such as feed consumption respectively feed utilisation were chosen as functional unit.

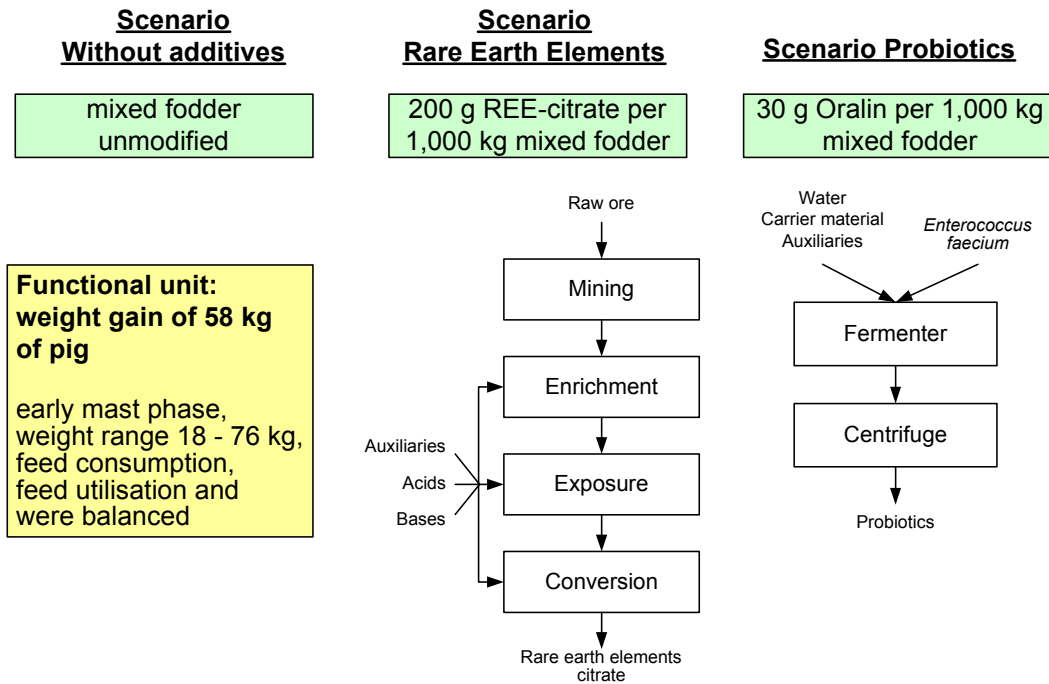


Figure 9: Schematic comparison of chemical-technical and biotechnical production of growth promoters for the animal mast

Table 6: Summary of the results of the impact assessment

		Without additive	Probiotics	Rare earth elements	Without additive	Probiotics	Rare earth elements	Difference (Probi- otics – without additive)	Difference (Rare earth e. – without additive)
	Unit				10 ⁻⁵ inhab. values	10 ⁻⁵ inhab. values	10 ⁻⁵ inhab. values	10 ⁻⁵ inhabitant values	10 ⁻⁵ inhabitant values
Impact categories aggregated									
CED	GJ	0,16	0,16	0,16	94,2	89,3	91,8	-4,95	-2,37
Global Warming Pot.	kg CO ₂ -eq.	83,7	79,9	79,0	709	677	669	-31,9	-39,6
Acidification Potential	kg SO ₂ -eq.	0,80	0,77	0,75	1976	1897	1848	-78,2	-128
Eutroph.-pot. (terrestr.)	kg PO ₄ -eq.	0,15	0,14	0,14	2801	2691	2615	-110	-187
Eutroph.-pot. (aquat.)	kg PO ₄ -eq.	0,0021	0,0021	0,0020	38,2	36,9	35,6	-1,36	-2,69
Photo. Ozon creat. Pot.	kg Eth-eq.	0,016	0,015	0,015	182	175	172	-7,11	-9,76
Human toxic single substances									
Benzo(a)pyrene (a)	mg	-0,0045	-0,0044	-0,0041	-2,71	-2,65	-2,44	0,06	0,27
Lead (a)	mg	0,28	0,27	0,28	3,67	3,49	3,58	-0,17	-0,09
Cadmium (a)	mg	0,120	0,115	0,114	90,0	86,0	85,2	-3,92	-4,72
Sulphur dioxide (a)	g	11	10	12	113	105	123	-7,74	9,52
Dust (a)	g	9,4	8,9	9,1	299	284	291	-14,5	-8,12
Eco-toxic single substances									
Ammonia (a)	kg	0,39	0,37	0,36	5086	4891	4738	-196	-348
Hydrogen fluoride (a)	g	0,054	0,052	0,052	3,58	3,42	3,44	-0,16	-0,14
Sulphur dioxide (a)	kg	0,011	0,010	0,012	113	105	123	-7,74	9,52
Hydrogen sulphide (a)	g	0,108	0,103	0,103	--	--	--	--	--
Nitrogen oxides (a)	kg	0,096	0,092	0,092	494	471	471	-23,4	-23,0
Ammonium (w)	g	0,27	0,26	0,25	9,56	9,27	8,99	-0,30	-0,58
AOX (w)	mg	0,22	0,22	0,21	0,42	0,41	0,39	-0,01	-0,03
Chloride (w)	kg	-0,13	-0,12	-0,12	--	--	--	--	--
Hydrocarbons (w)	mg	0,76	0,73	0,77	1,45	1,40	1,49	-0,05	0,03

In Table 6 the results of the impact assessment for the comparison of the animal production with animal feed without additive (zero variant), animal feed with probiotics produced biotechnically (fermentative) as well as an animal feed with rare earth elements product chemical-technically are summarised. In addition, the emission values for German inhabitants (inhabitant values) were calculated for the considered functional unit for a better comparison. It has to be noticed that all data of the inhabitant values were multiplied by a factor of 100,000 to facilitate the readability of the figures.

The results for the three scenarios for all considered impact categories and single parameters are close together. The application of probiotics shows environmental reduction potentials for all considered impact categories and single parameters in comparison to the zero variant. The application of rare earth elements showed environmental reduction potentials for all considered impact categories and single parameters except benzo(a)pyrene (a), sulphur dioxide (a) and Hydrocarbons (w) in comparison to the zero variant. For these parameters the rare earth elements product leads to a higher environmental impact than the zero variant.

The application of probiotics shows relevant environmental reduction potentials for the cumulated energy demand as well as for the single parameters sulphur dioxide (a) and dust (a) in comparison to the rare earth elements product. The application of rare earth elements shows a relevant environmental reduction for the impact categories global warming, acidification, terrestrial and aquatic eutrophication and photochemical ozone creation as well as for ammonia (a) in comparison to probiotic product.

When evaluating the results it has to be noticed that the absolute values depend on the choice of the functional unit: Only the gain of 58 kg animal mass and the respective environmental influence was evaluated. The total livestock in Germany attains 26.5 mill. pigs. Thus, the use of growth promoters can altogether have a high environmental reduction potential.

4.3 Product comparison 3 - Enzymes in regular laundry detergents

Enzymes are an inherent part of laundry detergents. Using enzymes enables partly savings of other parts of laundry detergents. The aim of this product comparison was the evaluation of differences in environmental impacts due to the production and use of an enzyme-free and an enzyme-containing laundry detergent.

Therefore, two scenarios were defined with data from published data collections: one washing process with an enzyme-free (scenario traditional laundry detergent) laundry detergent and one washing process with an enzyme-containing (scenario modern laundry detergent) product. Reference laundry detergents corresponding to DIN 60456 were considered. They differ in their composition and their characteristics but they achieve at least the washing efficiency of an enzyme-free laundry detergent. Therefore, a product comparison is possible. Due to the different components and the specific impact of the enzymes a different dosage of the laundry detergents and a different temperature programme for the washing process were necessary. In addition, the different components resulted in different loads of the waste water. These differences in the application of the laundry detergents justify the need to include the production process of the laundry detergents, the washing process as well as the waste water treatment into the assessment.

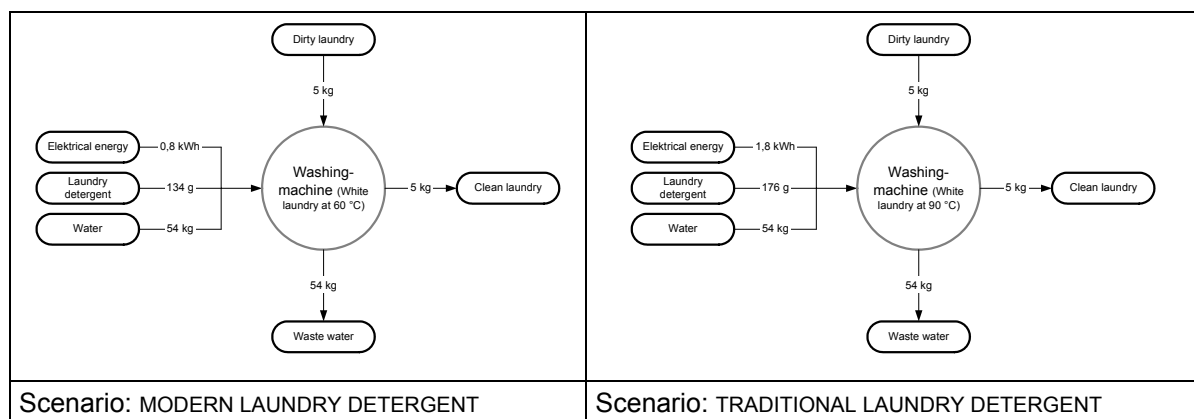


Figure 10: Material flows for the washing process of the scenarios modern washing detergent and traditional washing detergent

One washing process was considered as functional unit. The amount of dirty laundry was 5 kg white laundry out of cotton.

The evaluated impact categories and the inventory parameters point out different influences on the results. On the one hand, the results are influenced by the washing process because the use of enzymes in laundry detergents enables a lower temperature programme with the same washing efficiency. Therefore, clearly less electrical energy is needed. On the other hand, the production of the laundry detergents and the waste water treatment influenced the results considerably. It was not possible to determine clearly for these sub-systems if only the use of enzymes causes less environmental impacts for the modern laundry detergent than for the traditional laundry detergent. The environmental reduction could also be attributed to the use of phosphates in traditional laundry detergents. Phosphates are no longer included in modern laundry detergents since the eighties due to the eutrophication impact of the phosphates.

Table 7. Summary of the results of the impact assessment

		Modern laundry detergent	Traditional laundry detergent	Modern laundry detergent	Traditional laundry detergent	Difference (Mod. - Trad.)
	Unit			10 ⁻⁵ inhabitant value	10 ⁻⁵ inhabitant value	10 ⁻⁵ inhabitant value
Impact categories aggregated						
CED	MJ	13,36	25,53	7,65	14,63	-6,98
Global Warming Potential	kg CO ₂ -eq.	0,74	1,57	6,28	13,28	-7,00
Acidification Potential	g SO ₂ -eq.	2,48	5,27	6,08	12,94	-6,86
Terr. Eutrophication Pot.	g PO ₄ -eq.	0,18	0,34	3,39	6,50	-3,11
Aqu. Eutrophication Pot.	g PO ₄ -eq.	0,17	5,46	3,01	98,1	-95,1
Photo. Ozone Creation Pot.	g Eth-eq.	0,34	0,47	3,90	5,45	-1,55
Human toxic single substances						
Benzo(a)pyrene (a)	mg	0,000058	0,000104	0,03	0,06	-0,03
Lead (a)	mg	0,029	0,066	0,38	0,86	-0,48
Cadmium (a)	mg	0,0082	0,018	6,11	13,2	-7,06
Sulphur dioxide (a)	g	1,5	3,4	15,5	35,0	-19,5
Dust (a)	g	0,78	0,80	24,7	25,3	-0,62
Eco-toxic single substances						
Ammonia (a)	g	0,023	0,046	0,30	0,61	-0,31
Hydrogen fluoride (a)	g	0,0031	0,0061	0,21	0,40	-0,20
Sulphur dioxide (a)	g	1,5	3,4	15,5	35,0	-19,5
Hydrogen sulphide (a)	g	0,00013	0,00016	--	--	--
Nitrogen oxides (a)	g	1,3	2,5	6,67	12,8	-6,10
Ammonium (w)	g	0,012	0,020	0,43	0,71	-0,29
AOX (w)	g	0,0021	0,0027	3,95	5,05	-1,10
Chloride (w)	g	4,4	47,5	--	--	--
Hydrocarbons (w)	g	0,00134	0,00137	2,58	2,64	-0,06

The results of the impact assessment for the comparison of the enzyme-free and enzyme-containing laundry detergents by the scenarios modern laundry detergent and traditional laundry detergent are summarised in Table 7. In addition, the emission values for German inhabitants (inhabitant values) were calculated for the considered functional unit (one washing process for 5 kg of white laundry) for a better comparison. It has to be noticed that all data of the inhabitant values were multiplied by a factor of 100,000 to facilitate the readability of the figures. The table points out that the scenario modern washing detergent shows partially clear environmental reduction potentials for all considered impact categories and almost all single parameters in comparison to the scenario traditional washing detergent. For the single parameters benzo(a)pyrene (a) and hydrocarbons (w) the differences of the results are very small.

5 Concept for the comparative evaluation of hazard potentials of biotechnical and chemical-technical production

Chemical-technical production processes are often characterised by high temperatures, high pressure, the use of organic solvents as well as the existence of pollutants. Biotechnology operates under relatively soft conditions such as room temperature, normal pressure and aquatic ambience. Otherwise the biotechnical production can have a specific risk due to the possible release of organisms being ecologically (genetically modified) and hygienically relevant. Therefore, the German Federal Environmental Agency has set up an assumption in the project description that biotechnical production plants have advantages in comparison to chemical-technical production plants. As possible comparative areas the industrial process measurement and control, the material properties, the material input as well as generally the question of plant safety were listed.

These assumptions were analysed exemplarily in the research project with two production processes for vitamin B2 which were ecologically compared in chapter 3.1. Therefore, an evaluation concept was developed to compare the respective hazard potentials systematically differentiated according to process requirements, hazardous and biological substances. The necessary evaluation basis was derived from legal and other regulations as far as possible. Further risk assessments including occurrence probability and extent of loss were not performed due to the necessity of concrete plant information. Neither corresponding information nor enough resources were available for this assessment. Analogous, information for the production plants for measurement and control technique as well as material properties and material input were missing so that the focus was set upon plant safety and safety of health at work.

For the comparison of the hazard potential the terms were explained, the legal basis was discussed with a derivation of evaluation criteria as well as process descriptions were given. The overall result is positive for the biotechnical process as the following results for the three considered hazard areas show:

Hazard potential related to processes: The biotechnical production bases on one main process, the fermentative production of vitamin B2 out of glucose. This process operates in an aquatic ambience under normal pressure and almost room temperature and therefore under relatively safe conditions. For the chemical-technical production several processes are necessary often using clearly higher pressure and a wider range of temperature both higher and lower. Although the data basis was not satisfying for this question overall advantages resulted for the biotechnical process.

Hazard potential of hazardous substances: This hazard potential was determining the differentiation of the processes. Here, the biotechnical process shows clear advantages. Both, the number of used chemicals and the related hazard potential is lower for the biotechnical process. This applies to acute and chronic health hazards as well as to environmental risks, fire and explosion hazard and hazards due to release. If the glucose produced out of renewable raw materials and dominating the amount of used chemicals in the biotechnological process is not considered due to its safety at work the amount of used chemicals is also clearly lower.

Hazard potential of biological substances: Biological substances are used in the biotechnical production in contrast to the chemical-technical process. The related hazard potential is classified at the most as “low” and probably rather as “negligible” so that the disadvantages of the chemical-technical process out of the preceding categories cannot be equalised.

Considering the reduction of the overall hazard potential the decision for the biotechnical vitamin B2 production is positive. In view of the multi-level process and the related hazard potential it is assumed that the effort for the process control is clearly higher in the chemical-technical process. In addition, a large solvent regeneration is necessary in the chemical-technical process which is avoided in the biotechnical process. It has to be noticed that these results cannot be generally transferred onto similar process comparisons but the methodical approach can be transferred.

6 Conclusion

The study should point out whether – and if yes – in which extent environmental reduction potentials can be achieved if chemical-technical processes or products are substituted by biotechnological alternatives. These potentials should be evaluated by means of a comparative ecological assessment following the method of the life cycle assessment.

It has to be noticed that the interpretations carried out have only exemplary character due to the wide range of applications of chemical-technical and biotechnical processes and products. The examples chosen for the comparison cover different application areas such as production of vitamins, leather and feed additives as well as packaging material and laundry detergents.

In addition, applications with both chemical-technical and biotechnical solutions had to be researched due to the need to perform process and product comparisons. Therefore, areas with exclusively one production alternative were not considered. For instance, the application of biotechnical production processes are undisputable in the food sector because chemical-technical production processes are not available due to different reasons. Biotechnical alternatives are missing in the petroleum chemistry and in the production of inorganic basic chemicals.

Further, it has to be kept in mind that the respective present situation of really applied processes and products were considered. The processes applied at present were not yet optimised in regard to a minimisation of environmental impacts. Therefore, the present development status does not include environmental reduction potentials. Insofar, further statements about basic advantages of production process on the existing data base is not possible. Technical progresses can eliminate disadvantages of one process alternative in relatively short time.

Due to the rapid development of the molecular biology and the genetic engineering the efficiency of biotechnical production processes could be improved considerably in the last years. Important optimisation measures are (Aristidou and Pentilla, 2000; Chartrain et al., 2000; Chotani et al., 2000; Powell et al., 2001; Cortassa et al., 2002; Chiang, 2004):

- Optimisation of metabolism (e.g. by metabolic engineering or pathway engineering)
- Optimisation of catalytic activities (e.g. by directed evolution, gene shuffling, molecular breeding, protein engineering)
- Optimisation of the operation of the bioreactor (e.g. by high density cultivation)
- Optimisation of the product recovery

Further optimisation aims at molecular farming meaning the product formation directly in the plants avoiding the resource intensive fermentation step (Fischer et al., 1999a-e; Fischer and Schillberg, 2004). In addition, “artificial product strains” being restricted on a metabolic inventory for the direct production task shall be established (Chotani et al., 2000).

The available toolbox has contributed to a more favourable estimation of the future development of biotechnological production (Danner and Braun, 1999; Wilke, 1999; Chotani et al., 2000; Bachmann et al. 2002; Festel et al., 2004; Young, 2003, 2004) than a decade ago (Hinmann, 1991).

Biotechnical production processes are supported by political environmental objectives. In Germany, Europe and USA there are various research projects aiming at a competitive mass production of bioethanol because this shall substitute parts of fossil fuel due to climate protection reasons (US-DOE, 2001, 2003; Gong et al., 2003; Schmitz, 2003; Vorlop and Wilke, 2003; EU, 2004). A plant for large-scale bioethanol production has been started in Germany by the SÜDZUCKER AG (2004). The Canadian company Iogen operates a pilot plant since spring 2004 which produces bioethanol out of cellulose. First vehicles developed from VW and DaimlerChrysler have used this fuel meanwhile in Germany (Iogen, 2004).

The comparative ecological assessment following the method of the Life Cycle Assessment applied in this study allows a rapid evaluation if the overall result is significantly influenced by materials, production process respectively disposal. If the results are used for company internal interpretations a more detailed report would be helpful as it was done for example for the indigo production by Renner and Klöpffer (2003).

Due to confidentiality reasons these public interpretations have to be a summarised presentation in order to avoid spread of confidential operation information.

The results of the considered examples show a reduction of environmental impacts for a majority of parameters for the biotechnical processes and products. Also the OECD (2001) showed in 21 case studies the possibility of reduction of environmental impacts and operation costs by application of modern biotechnical processes. Biotechnical processes and products applied at present are not always favourable in view of environmental aspects: Analysis by BASF AG show that the present chemical-technical alternatives for the production of astaxanthin and indigo have a better eco-efficiency (Baker and Saling, 2003; BASF, 2004a, b). Evaluations by Gerngross (1999) result in higher environmental impacts for the biotechnical production of biopolymers than for the polymer production from petroleum. Ecological assessments can contribute to recognise weak points in existing production processes and they are a basis for precise optimisation strategies.

7 References

- Aristidou, A.; Penttilä, M. (2000): Metabolic engineering applications to renewable resource utilization. *Current Opinion in Biotechnology*, 2000, 11, p. 187-198
- BACAS - Royal Belgian Academy Council of Applied Sciences (2004): Industrial Biotechnology and Sustainable Chemistry
- Bachmann, R.; Bastianelli, E.; Riese, J.; Schlenzka, W. (2000): Using plants as plants. *The McKinsey Quarterly*, 2, p. 92-99
- Baker, R.; Saling, P. (2003): Comparing natural with chemical additive production. *Feed Mix*, 11, p. 12-14
- BASF AG (2004a): Label Eco-Efficiency Analysis Astaxanthin
- BASF AG (2004b): Die Ökoeffizienz-Analyse – Ein Werkzeug für die Zukunft. Powerpoint-Präsentation; Quelle: www.oekoeffizienzanalyse.de
- BIO – Biotechnology Industry Organization (2004): Internetpräsentation unter www.bio.org
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2004a): Fakten zur nachhaltigen Abfallwirtschaft. Stand: 01. März 2004. Internetpräsentation
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2004b): Entwicklung der Erneuerbaren Energien im Jahr 2003 in Deutschland. Erste vorläufige Abschätzung (Stand Februar 2004)
- Bundesregierung Deutschland (2002): Perspektiven für Deutschland - Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Download von <http://www.nachhaltigkeitsrat.de>
- Chartrain, M.; Salmon, P. M.; Robinson, D. K.; Buckland, B. C. (2000): Metabolic engineering and directed evolution for the production of pharmaceuticals. *Current Opinion in Biotechnology*, 11, p. 209-214
- Chiang, S.-J. (2004): Strain improvement for fermentation and biocatalysis processes by genetic engineering technology. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.*, 31, p. 99-108
- Chotani, G.; Dodge, T.; Hsu, A.; Kumar, M.; LaDuca, R.; Trimbur, D.; Weyler, W.; Sanford, K. (2000): The commercial production of chemicals using pathway engineering. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1543, p. 434-455
- Cortassa, S.; Aon, M. A.; Iglesias, A. A.; Lloyd, D. (2002): An Introduction to Metabolic & Cellular Engineering. World Scientific Publishing Co., Inc.
- D'Aquino, R. (2003): Green Factories for Pharmaceuticals. *CEP*, 1, p. 34S-36S
- Danner, H. and Braun, R. (1999): Biotechnology for the production of commodity chemicals from biomass. *Chem. Soc. Rev.*, 28, p. 395-405
- Desai, P. (2002): Bio-Products and Agriculture. Präsentation, Edmonton, 6. August. Download <http://www.avacltd.com/pastevents/PeteDesaisMemberMeetingEdmonton020806.pdf>
- DIN - Deutsches Institut für Normung e. V. (2003): Waschmaschinen für den Hausgebrauch - Verfahren zur Messung der Gebrauchseigenschaften (IEC 60456:1998, modifiziert) Deutsche Fassung EN 60456:1999 + A11:2001 + A12:2001 + A13:2003 EN 60456
- DVT (2003): Mischfutter als Teil der Futtermittelwirtschaft. Deutscher Verband Tiernahrung e. V., Bonn; 15.11.2003, Informationsangebot im Internet unter: www.dvtiernahrung.de
- EEA - European Environment Agency (2003): Europe's environment: the third assessment. Environmental assessment report No. 10. Download von <http://www.eea.eu.int>
- EU – European Commission (2004) : Biomass for Fuel, Fibre, Fertiliser and Feed. CD-ROM
- Fachverband Biogas e. V. (2004): Anlagenstatistik. Internetpräsentation unter <http://www.biogas.org>
- Feikes, L. (1990): Ökologische Probleme der Lederindustrie. In: Herfeld (Hrsg): Bibliothek des Leders, Band 8

- Festel, G.; Knöll, J.; Götz, H.; Zinke, H. (2004): Der Einfluss der Biotechnologie auf Produktionsverfahren in der Chemieindustrie. *Chemie Ingenieur Technik*, 76, 3, S. 307-312
- Fischer, R.; Drossard, J.; Commandeur, U.; Schillberg, S.; Emans, N. (1999a): Towards molecular farming in the future: moving from diagnostic protein and antibody production in microbes to plants. *Biotechnol. Appl. Biochem.*, 30, p. 101-108
- Fischer, R.; Drossard, J.; Commandeur, U.; Schillberg, S.; Emans, N. (1999b): Towards molecular farming in the future: moving from diagnostic protein and antibody production in microbes to plants. *Biotechnol. Appl. Biochem.*, 30, p. 101-108
- Fischer, R.; Drossard, J.; Emans, N.; Commandeur, U.; Hellwig, S. (1999c): Towards molecular farming in the future: *Pichia pastoris*-based production of single-chain antibody fragments. *Biotechnol. Appl. Biochem.*, 30, p. 117-120
- Fischer, R.; Emans, N.; Schuster, F.; Hellwig, S.; Drossard, J. (1999d): Towards molecular farming in the future: using plant-cell-suspension cultures as bioreactors. *Biotechnol. Appl. Biochem.*, 30, p. 109-112
- Fischer, R.; Vaquero-Martin, C.; Sack, M.; Drossard, J.; Emans, N.; Commandeur, U. (1999e): Towards molecular farming in the future: transient protein expression in plants. *Biotechnol. Appl. Biochem.*, 30, p. 113-116
- Fischer, R.; Schillberg, S. (eds.) (2004): *Molecular Farming - Plant-made Pharmaceuticals and Technical Proteins*. Wiley-VCH, Weinheim
- Gerngross, T. U. (1999): Can biotechnology move us toward a sustainable society? *Nature Biotechnology*, 17, 6
- Gong, C. S.; Cao, N. J.; Du, J.; Tsao, G. T. (2003): Ethanol Production from Renewable Resources. *Advances in biochemical engineering, biotechnology*, 65, p. 207 – 241
- Hinman, R.L. (1991): The Chemical Industry. In: U.S. Congress – Office of Technology Assessment: *Biotechnology in a Global Economy*. Chapter 7, p. 118-125; Report Number OTA-BA-494, Washington
- Hoppenheidt, K.; Mücke, W.; Peche, R.; Tronecker, D.; Roth, U.; Würdinger, E.; Hottenroth, S.; Rommel, W. (2004): Entlastungseffekte für die Umwelt durch Substitution konventioneller chemisch-technischer Prozesse und Produkte durch biotechnische Verfahren. Schlussbericht zum UFOPLAN-Vorhaben 202 66 326, Juli, 2004
- Iogen (2004): First cellulose ethanol demonstration in European vehicles. Pressemitteilung von 01.06.2004, veröffentlicht unter <http://www.iogen.ca>
- IPTS - Institute for Prospective Technological Studies (2002): The Assessment of Future Environmental and Economic Impacts of Process-Integrated Biocatalysts. Institute for Prospective Technological Studies (IPTS), Seville, July 2002 (Report EUR 20407 EN)
- Losand, B. (2000): Schweineernährung ohne Leistungsförderer? Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Heft 21, Februar 2000
- Maeting, I.; Schmidt, G.; Sahm, H.; Revueltac, J.; Stierhof, Y.-D.; Stahmann, K.-D. (1999): Isocitrate lyase of *Ashbya gossypii* - transcriptional regulation and peroxisomal localization. *FEBS Letters*, 444, p. 15-21
- Menke, K.-H.; Huss, W. (1980): Tierernährung und Futtermittelkunde. UTB Uni-Taschenbücher 63, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- Mieschendahl, M. (2004): Die weiße Biotechnik aus Sicht des Umweltbundesamtes. Vortrag, 2. Reizensburger Umweltbiotechnologie-Tag, 23.06.2004
- Monschau, N.; Sahm, H.; Stahmann, K.-P. (1999): Threonine Aldolase Overexpression plus Threonine Supplementation Enhanced Riboflavin Production in *Ashbya gossypii*. *Applied and Environmental Microbiology*, 64, 11, 4283-4290
- OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development (1998): *Biotechnology for Clean Industrial Products and Processes - Towards Industrial Sustainability*
- OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development (2001): *The Application of Biotechnology to Industrial Sustainability*

- Özbas, T. and Kutsal, T. (1986): Comparative study of riboflavin production from two microorganisms: *Eremothecium ashbyi* and *Ashbya gossypii*. *Enzyme Microb. Technol.*, 8, p. 593-596
- Powell, K. A.; Ramer, S. W.; del Cardayré, S. B.; Stemmer, W. P. C.; Tobin, M. B.; Longchamp, P. F.; Huisman, G. W. (2001): Gerichtete Evolution und Biokatalyse. *Angewandte Chemie*, 113, S. 4068-4080
- Renner, I. and Klöpffer, W. (2003): Untersuchung der Anpassung von Ökobilanzen an spezifische Erfordernisse biotechnischer Prozesse und Produkte. Abschlussbericht zum UFOPLAN-Vorhaben 201 66 306
- Schmitz, N. (Hrsg.) (2003): Bioethanol in Deutschland. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Bd. 21, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster
- Statistisches Bundesamt (2004): Landwirtschaft in Zahlen 2003. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, Januar 2004
- Südzucker AG (2004): Grundsteinlegung Südzucker-Bioethanolanlage am 6. Februar 2004. Pressemitteilung
- UNEP - United Nations Environment Programme (2002): Global Environment Outlook 3 - Past, present and future perspectives. Earthscan Publications Ltd., London
- US-DOE - U.S. Department of Energy (2001): The Technology Roadmap for Plant/Crop-based Renewable Resources 2020 – Research Priorities for Fulfilling a Vision to Enhance U.S. Economic Security through Renewable Plant/Crop-based Resource use. <http://www.oit.doe.gov/agriculture/>
- US-DOE - U.S. Department of Energy (2003): Industrial Bioproducts: Today and Tomorrow. Report prepared by Energetics Incorporated, Columbia, Maryland for the DOE, Washington
- Vorlop, K.-D. and Wilke, T. (2003): Industrielle Biokonversion nachwachsender Rohstoffe als Alternative zu klassischen chemischen Verfahren. In: Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.): Nachwachsende Rohstoffe für die Chemie – 8. Symposium 2003. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Heft 22, S. 55-79
- Würdinger, E.; Roth, U.; Wegener, A.; Peche, R.; Rommel, W.; Kreibe, S.; Nikolakis, A.; Rüdenauer, I.; Pürschel, C.; Ballarin, P.; Knebel, T.; Borken, J.; Detzel, A.; Fehrenbach, H.; Giegrich, J.; Möhler, S.; Patyk, A.; Reinhardt, G. A.; Vogt, R.; Mühlberger, D.; Wante, J. (2002): Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen: Vergleichende Ökobilanz für Loose-fill-Packmittel aus Stärke bzw. Polystyrol. Endbericht zum Vorhaben Az. 04763 im Auftrag der Deutschen Bundesstiftung Umwelt. Textfassung unter: <http://www.bifa.de>
- Würdinger, E.; Roth, U.; Reinhardt, G.A.; Detzel, A. (2003): Ökobilanz für Loose-fill-Packmittel aus Stärke bzw. Polystyrol: spezifische Ergebnisse und allgemeine Hinweise für eine nachhaltige Nutzung nachwachsender Rohstoffe im Kunststoffbereich. In: Nachwachsende Rohstoffe für die Chemie, 8. Symposium 2003, Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Band 22, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow, März 2003
- Wilke, D. (1999): Chemicals from biotechnology: molecular plant genetics will challenge the chemical and the fermentation industry. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 52, 2, p. 135-145
- Wubbolts, M. (2002): Integration of Chemical and Biotechnological Disciplines for Improvement of Industrial Processes. Conference “The Role of Biotechnology in Industrial Sustainable Development”, 16-17 May 2002, Antwerpen, Belgien
- Young, A. L. (2003): Biotechnology for Food, Energy, and Industrial Products – New Opportunities for Bio-based Products. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 10, 5, p. 273-276
- Young, A. L. (2004): The Future Biotechnology in Support of Bio-based Industries – The US Perspective. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 11, 2, p. 71-72