

Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie

S. Wagner, N. Graf, H. Böchzelt, H. Schnitzer

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

30/2005

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie

Mag. Susanne Wagner, DI Niv Graf,
Dr. Herbert Böchzelt, Prof. Hans Schnitzer

Joanneum Research
Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme - JOINTS

Graz, Dezember 2004

korrigierte Fassung: Jänner 2007

Inhaltsverzeichnis

1	Studie „Erneuerbare Rohstoffe in der chemischen Industrie“	9
1.1	Zielsetzung	9
1.2	Status	9
2	Begriffsbestimmung	10
2.1	Erneuerbare Rohstoffe	10
2.2	Biomasse	10
3	Einleitung zur Thematik	11
3.1	Stand der Technik	12
4	Forschungsentwicklungen in der chemischen Industrie	16
4.1	Die chemische Industrie	16
4.2	Chemiesektor Österreichs - Grössenstruktur	16
4.3	Forschung in der chemischen Industrie	17
4.3.1	Chemische Synthese	18
4.3.2	Biotechnologische Prozesse	18
4.3.3	Materialtechnologie	19
4.4	Nachhaltige Konzepte in der Chemie – „Green Chemistry“	21
4.4.1	Nachhaltige Chemie oder Green Chemistry	22
4.4.2	Die Prinzipien bzw. Leitsätze der Green Chemistry	23
4.4.3	Die Reform der EU - Chemikalienpolitik: die REACH-Verordnung	24
5	Arten von Biomasse und Technologien zur Verwertung von Biomasse	27
5.1	Arten von Chemikalien aus Biomasse	27
5.2	Erneuerbare Rohstoffe allgemein	27

5.3	Gewinnung von Wertstoffen unter Strukturerehalt	29
5.4	Pflanzenbiotechnologie	30
5.5	Fermentation	32
5.6	Katalyse	32
5.7	Reststoffnutzung	33
5.8	Vorbereitungs- und Aufbereitungsprozesse	34
5.8.1	Trocknen und Entwässern	34
6	Die „Biobased Economy“ – eine mögliche Zukunftsperspektive?	36
6.1	Aktuelle Begriffsabgrenzung	37
6.1.1	„Biobased Products“	37
6.1.2	Die „Biobased Economy“	38
6.1.3	Die Bioraffinerie	39
7	„Biobased Products“ in den USA und in der EU	44
7.1	Der Einsatz von „Biobased Products“ in den USA	44
7.1.1	Marktanteile und Marktführer von Biomasseprodukten in den USA	44
7.1.2	„Marken“ von Biomasseprodukten und Trends am Biomasseproduktmarkt in den USA ..	46
7.1.3	Anwendungsmöglichkeiten für industrielle Biomasseprodukte aus Sicht der USA	46
7.2	Produktgruppen aus Biomasse	50
7.2.1	Fermentation von Kohlenhydraten	50
7.2.2	Thermochemische Umwandlung von Kohlenhydraten	63
7.2.3	Fette und Öle als Biomasseprodukte	68
7.2.4	Proteinhaltige Biomasseprodukte	74
7.2.5	Biomasseprodukte aus Verflüssigung, Vergasung und Pyrolyse	74

7.3	Die stoffliche Nutzung von Biomasseprodukten in der EU.....	75
7.3.1	Hauptmarktsektoren von Erneuerbaren Rohstoffen in der EU und deren Struktur	75
7.3.2	Polymere.....	75
7.3.3	Verbundstoffe	75
7.3.4	Schmiermittel	75
7.3.5	Tenside.....	75
7.3.6	Spezialchemikalien.....	75
8	Chancen und Hemmnisse bei der Nutzung Erneuerbarer Rohstoffe	75
8.1	Ergebnisse aus der Umfrage „Erneuerbare Rohstoffe in der chemischen Industrie“.....	75
8.1.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	75
8.2	Chancen und Hemmnisse bei der industriellen Nutzung Erneuerbarer Rohstoffe aus Sicht der Chemischen Industrie	75
8.2.1	Die wichtigsten allgemeinen Bestimmungsgründe für einen Einsatz von Rohstoffen	75
8.2.2	Die derzeit aussichtsreichsten Stoffgruppen aus der Sicht der Industrie	75
8.2.3	Logistik und Erneuerbare Rohstoffe	75
8.2.4	Technologieentwicklung	75
8.2.5	Qualitätskriterien und Normen	75
8.2.6	Biotechnologie	75
8.2.7	Informationsaustausch.....	75
8.2.8	Kongresse 2004 - Hintergründe.....	75
9	Erneuerbare Rohstoffe in ausgewählten Ländern – Markt, Netzwerke und Forschungsinitiativen	75
9.1	Deutschland	75
9.1.1	Wichtige Industrievertreter auf dem Gebiet der Erneuerbaren Rohstoffe.....	75
9.1.2	Hauptmarktsektoren	75

9.1.3	Marktvorschau bis 2010.....	75
9.1.4	Gesetzgebung am Gebiet der Erneuerbaren Rohstoffe	75
9.1.5	Forschung, Marktinitiativen und Netzwerke am Gebiet der Erneuerbaren Rohstoffe.....	75
9.2	Frankreich	75
9.2.1	Wichtige Industrievertreter am Gebiet der Erneuerbaren Rohstoffe.....	75
9.2.2	Hauptmarktsektoren	75
9.2.3	Gesetzgebung am Gebiet der Erneuerbaren Rohstoffe	75
9.2.4	Institutionen und Netzwerke am Gebiet der Erneuerbaren Rohstoffe	75
9.2.5	Firmenvertreter im Bereich der Erneuerbaren Rohstoffe.....	75
9.3	Grossbritannien.....	75
9.3.1	Wichtige Industrievertreter am Gebiet der Erneuerbaren Rohstoffe.....	75
9.3.2	Hauptmarktsektoren	75
9.3.3	Gesetzgebung am Gebiet der Erneuerbaren Rohstoffe	75
9.3.4	Forschungsprogramme und Institutionen am Gebiet der Erneuerbaren Rohstoffe	75
9.3.5	Firmenvertreter im Bereich der Erneuerbaren Rohstoffe.....	75
9.4	Finnland	75
9.5	Europäische Netzwerke	75
9.5.1	White Biotechnology	75
9.5.2	Sustech – Cluster	75
9.5.3	ERRMA.....	75
9.5.4	INFORM – IENICA	75
9.5.5	FEDIOL.....	75
9.6	Europäische Forschungsprogramme im Bereich der Erneuerbaren Rohstoffe.....	75

10	Diskussion und Ausblick.....	75
11	Anhang	75
11.1	Chemisches Glossar	75
11.2	Literatur.....	75

1 STUDIE „ERNEUERBARE ROHSTOFFE IN DER CHEMISCHEN INDUSTRIE“

1.1 ZIELSETZUNG

Die Studie bietet Hinweise und Empfehlungen für das Ministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) für eine zukünftige Ausrichtung der Forschung und Entwicklung und deren Förderung auf dem Gebiet der stofflichen, nichtenergetischen Nutzung Erneuerbarer Rohstoffe vor allem aus der Sicht der (chemischen) Industrie und ist national wie international abgestimmt. In Ergänzung zu bisher in Österreich gelaufenen Arbeiten auf dem Gebiet der Erneuerbaren Rohstoffe wurde die industrielle Anwendungsseite als Ausgangspunkt gewählt.

Es wurden neue Produkte/Produktgruppen aus Biomasse für die chemische Industrie nach dem derzeitigen Wissensstand erhoben und daraus die zukünftigen Anforderungen an die Forschungsausrichtung und der Forschungsbedarf abgeleitet.

Die Studie soll, in Abstimmung mit dem Ministerium, eine Basis für die künftigen Förder- bzw. Forschungsförderungsschwerpunkte des Ministeriums in diesem Bereich bieten.

Weiters kann die Studie eine Unterstützung für die Planung der F&E-Ausrichtung der Industrie, die Erneuerbare Rohstoffe bereits einsetzt, sein, bzw. Denkansätze für jene Industriezweige aufzeigen, die Erneuerbare Rohstoffe noch nicht einsetzen.

1.2 STATUS

Der vorliegende Endbericht ist eine Zusammenfassung der Ergebnisse der beiden Zwischenberichte und bietet im Diskussionsteil eine Abschätzung und Darstellung des zukünftigen Forschungs- und Entwicklungsbedarfes am gegenständlichen Gebiet in Form von Empfehlungen.

2 BEGRIFFSBESTIMMUNG

2.1 ERNEUERBARE ROHSTOFFE

Unter Erneuerbaren Rohstoffen (im Folgenden ER) versteht man Stoffe, die im Gegensatz zu fossilen Rohstoffen Teil von geologisch kurzfristigen Regenerationszyklen von Ökosystemen sind. Sie umfassen organische Stoffe pflanzlichen Ursprungs (im allgemeinen Sprachgebrauch Biomasse bzw. nachwachsende Rohstoffe), aber auch tierische Produkte, die ganz oder in Teilen als Rohstoffe für die Industrie genutzt werden. Sie werden nicht für Ernährungs- und Fütterungszwecke verwendet.

2.2 BIOMASSE

In Österreich gibt es eine klare Definition des Begriffes „Biomasse“.

In der ÖNORM M 7101 heißt es: „Unter dem Begriff Biomasse versteht man alle organischen Stoffe biogener, nicht fossiler Art. Dieser Begriff umfasst somit in der Natur lebende und wachsende Materie und daraus resultierende Abfallstoffe, sowohl von der lebenden als auch schon abgestorbener organischer Masse“.

3 EINLEITUNG ZUR THEMATIK

Eine nachhaltige Wirtschaftsentwicklung von Unternehmen erfordert eine gesellschafts- und umweltverträgliche Bereitstellung von Produkten und Dienstleistungen.

Hierzu ist eine Umstellung der Quellen für Rohstoffe von sich erschöpfenden, fossilen Ressourcen auf nachwachsende und regenerierbare (erneuerbare) ein wesentlicher Teil der Strategie und Lösung:

Biomasse als Rohstoff der Zukunft - Die „Biobased Economy“ als neue Lebens- und Wirtschaftsform?

Die wichtigsten Vorteile der stofflichen Verwendung von Biomasseprodukten sind die Verringerung der Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen, die Schonung von nicht erneuerbaren Ressourcen, die biologische Abbaubarkeit, die Reinhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen Boden, Wasser und Luft¹, die CO₂-Neutralität sowie die Reduktion von Umweltbelastungen und Müllbergen. Sie tragen weiters zur Arbeitsplatzsicherung und Erhaltung der Kulturlandschaft bei, sofern sie in ein kleinräumiges bzw. regionales Kreislaufsystem eingebunden sind. Die gemeinsame Agrarpolitik der EU unterstützt die Produktion von ER auf Bracheflächen.

Die Forschungsstrategie Österreichs im Bereich der Energie- und Umwelttechnologien in Österreich ist seit Jahren durch eine langfristige und vorausschauende Strategie gekennzeichnet.

Auf dem Gebiet der industriellen Nutzung von ER hingegen fehlen derzeit noch die nötigen Strategien. Vor allem stehen die „neuen“ Rohstoffe, das sind Rohstoffe die vorwiegend stofflich genutzt werden, erst am Anfang ihrer Entwicklung, die „klassischen“ Rohstoffe Holz und Stärke sowie Energie aus Biomasse spielen bereits jetzt eine beachtliche volkswirtschaftliche Rolle. Die energetisch genutzten Rohstoffe aus Biomasse und die Treibstoffnutzung werden nicht Gegenstand dieses Projektes sein.

Verglichen mit der Energieerzeugung ist das Interesse an der stofflichen Nutzung erst sehr spät wieder geweckt worden, obwohl ein großer Teil der chemischen Industrie in Österreich sich historisch aus der Nutzung von ER entwickelt hat (Kolophonium und Harzproduktion, Chemiefasern, Zitronensäure,...). Die Vielfalt der möglichen finalen Produkte und die eher geringe Bedeutung der chemischen Industrie in Österreich haben die Entwicklung etwas eingebremst. Den Chancen und Risiken der stofflichen Nutzung von ER soll mit diesem Vorhaben genauer auf den Grund gegangen werden.

¹ eine ökologische Landwirtschaft vorausgesetzt

3.1 STAND DER TECHNIK

Derzeit nutzt die Industrie vorwiegend fossile, mineralische und metallische Ressourcen zur Abdeckung ihres Rohstoff- und Energiebedarfs. Diese werden vor allem in Energieträger (Treibstoffe, Heizöle, Koks,...) oder in der (petro-)chemischen Industrie, in Richtung unzähliger Produkte (Feinchemikalien, Polymere, Farben,...) umgesetzt und nach einem relativ kurzen Lebenszyklus (Polymere) von etwa 0,1 bis 10 Jahren teilweise zur Rückgewinnung von Energie verbrannt und damit entsorgt. Das entstehende Kohlendioxid kann dadurch kurzfristig nicht im Bioprozess der Photosynthese untergebracht werden und reichert sich daher in der Atmosphäre an.

Die über Photosynthese gebildete Biomasse könnte in einem ungestörten Zyklus in geologischen Zeiträumen theoretisch wieder in fossile Rohstoffe übergehen um den natürlichen Zyklus zu schließen. Das heißt aber, dass die heute genutzten fossilen Rohstoffe – Erdöl, Erdgas, Kohle – sich erst in langen, geologischen Zeiträumen regenerieren können und damit für die Nutzung durch den Menschen unwiederbringlich „verloren“ sind. Das Problem liegt also in der zeitlichen und örtlichen Unausgewogenheit der fossilen Nutzungskonzepte. Die Lösung des Problems könnte in der unmittelbaren Nutzung bioorganischer Rohstoffe für die chemische Industrie liegen. In diesem Falle liegen die Verbrauchsgeschwindigkeiten und die Bildungsgeschwindigkeiten der Biomasse in der gleichen Größenordnung (siehe Abbildung 1).

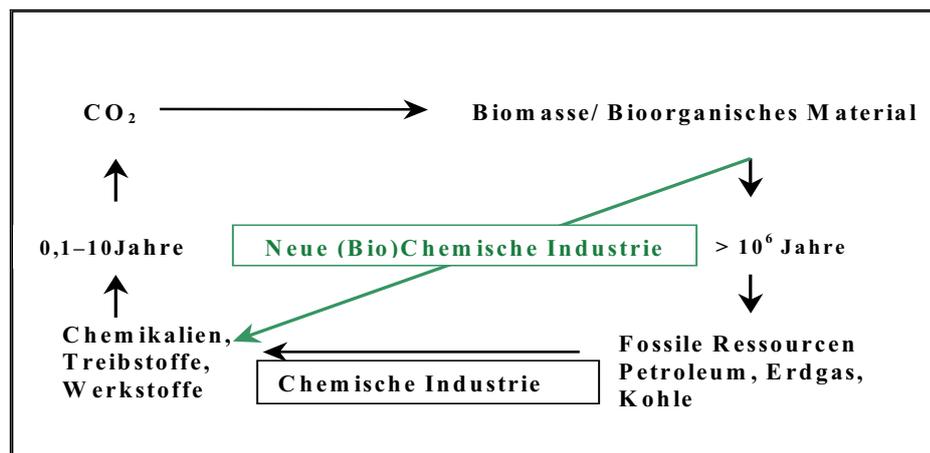


Abbildung 1: Globaler Kohlenstoffzyklus (Lit¹)

Die jährlich durch Photosynthese gebildete Biomasse würde mengenmäßig zur Abdeckung der industriell benötigten Ressourcen bei weitem ausreichen. Abbildung 2 zeigt dies. Zur Zeit werden weltweit lediglich 6×10^9 t Biomasse jährlich genutzt, der ungenutzte jährliche Zuwachs wird auf 170×10^9 t geschätzt. Der jährliche Verbrauch von ER entspricht somit in etwa dem Verbrauch von fossilen Rohstoffen – Erdöl, Erdgas, Kohle – mit dem Unterschied, dass letztere nicht (so schnell) regenerierbar sind. Schließlich noch ein weiterer Zahlenvergleich: Die jährliche Produktion von Biomasse liegt in der gleichen Größenordnung wie die gesamte Menge der bekannten Vorräte des heute noch dominierenden Rohstoffs Erdöl.

Biomasse und fossile Rohstoffe		
Biomasse		
Jährlich nachwachsend durch Photosynthese:	170 Mrd t	
Jährliche Nutzung: (Holz, Getreide, sonstiges: je 2 Mrd t)	6 Mrd t = 3,5 %	
Fossile Rohstoffe		
Jährlicher Verbrauch (insgesamt)	7,3 Mrd t Öl-Äquiv.	
	<u>Jährlicher Verbrauch</u>	<u>bekannte Vorräte</u>
Erdöl	3,2 Mrd t	135 Mrd t
Erdgas	1900 Mrd m ³	140.000 Mrd m ³
Kohle	3,4 Mrd t	850 Mrd t
(1 t Öl = 1,1 t Gas = 1,5 t Kohle = 2-2,5 t trockene Biomasse)		
Quelle: M. Eggersdorfer (BASF), 1993		

Abbildung 2: Daten Biomasse und fossile Rohstoffe (Lit²)

Aus Abbildung 3 geht hervor, dass seit 1990 keine wesentlichen neuen Ölvorräte gefunden wurden und dass die tatsächliche Ölförderung unter den Neufunden liegt und sich der technisch möglichen Förderung nähert wodurch in den nächsten Jahren mit Versorgungsengpässen und damit verbunden mit Preiserhöhungen zu rechnen ist. So ist davon auszugehen, dass die Erdölförderung noch in diesem Jahrzehnt, spätestens aber 2015 - 2020 ihr Maximum überschritten haben und dann langsam abfallen wird. Erdöl wird also in etwa 40 – 50 Jahren verbraucht sein, oder früher, sofern die derzeitige jährliche Nutzung von 3,2 Mrd. t noch weiter zunimmt. Deshalb ist ein Übergang auf biobasierte Rohstoffe unerlässlich (Lit³).

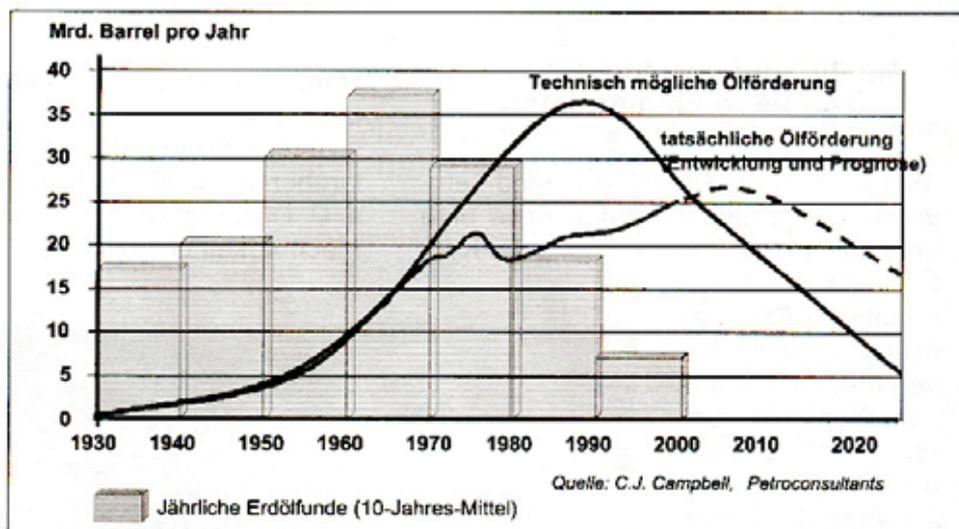


Abbildung 3: Jährliche Erdölfunde, technisch mögliche und tatsächliche Ölförderung seit 1930 (Lit³)



Abbildung 4: Entwicklung der Rohölpreise als errechnete Mittelpreise für eine Sortenmischung von Nordseeöl und arabischem Öl (2002 - 2004) 20.10.2004 (Lit⁴) (1 Barrel Öl entspricht umgerechnet ca. 159 l, 1 US\$ entspricht 0,79 €, Stand vom 20.10.2004)

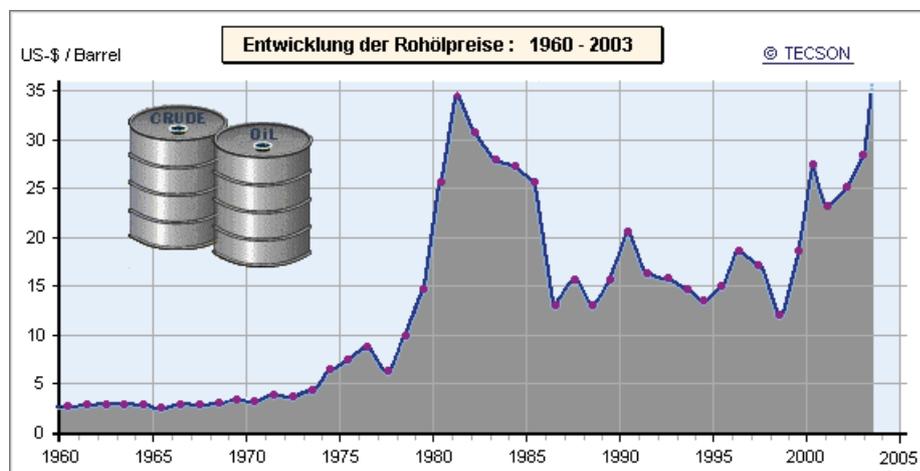


Abbildung 5: Entwicklung der Rohölpreise seit 1960, Angabe als der für jedes einzelne Jahr gemittelte Durchschnittspreis für Rohöl auf dem Weltmarkt (Lit⁴)

Die Begrenztheit der Rohstoffe aus Erdöl, deren Verteuerung (siehe Abbildungen 4 und 5) und der Einfluss des übermäßigen Verbrauches auf das Weltklima machen langfristig alternative Verfahren notwendig. Der Anteil an ER als Ausgangsmaterialien bei der Produktion von Chemikalien in Deutschland und Amerika liegt heute lediglich bei etwa 10%. Dieser Wert ist schon seit zehn Jahren konstant, d.h. es wurden in dieser Zeit keine nennenswerten Marktanteile an ER im Vergleich zu den fossilen Rohstoffen hinzugewonnen.

Die Veredelung fossiler Rohstoffe wurde seit Beginn der industriellen Revolution in wissenschaftlichen Arbeiten abgehandelt. Aus diesem Grund ist der Wissensstand im Bereich der Erdölchemie gegenüber der Naturstoffchemie signifikant höher. Folglich hat sich die Erdölchemie einen Wissensvorsprung von mehreren Jahrzehnten angeeignet, der aufgeholt werden muss.

Den größten Anteil des Einsatzes von ER in der chemischen Industrie machen derzeit noch die Fette und Öle aus, die in leicht veränderter Form als Detergenzien vor allem im Bereich der Kosmetik- und Waschmittelindustrie eingesetzt werden.

Die Weltbevölkerung wird bis zum Jahr 2050 von gegenwärtig 6 Milliarden - davon 1,2 Milliarden in den industrialisierten Ländern - auf 8 bis 11 Milliarden ansteigen, das National Research Council der USA nimmt als wahrscheinlichsten Wert eine Bevölkerungszahl von 9 Milliarden an (Lit⁵).

Neben dem Bedarf an Nahrungsmitteln wird daher auch der Bedarf an sonstigen Gütern gewaltig ansteigen. Der Bedarf an Gütern wird sich mehr als verdoppeln und bei einer zunehmenden Angleichung des Lebensstandards bald um den Faktor vier und mehr anwachsen. Ressourcen müssen sehr viel effizienter als heute genutzt werden, d.h. mit der gleichen oder sogar einer geringeren Quantität an Ressourcen muss ein Vielfaches an Gütern produziert werden. Es müssen also die Maßnahmen verstärkt werden, den Ressourcenverbrauch pro Nutzungseinheit beträchtlich zu senken. Dabei wird eine Senkung um den Faktor vier nicht genügen, da die vorhandenen fossilen Ressourcen immer schwerer zugänglich sein werden (Lit⁶, Lit⁷).

4 FORSCHUNGSENTWICKLUNGEN IN DER CHEMISCHEN INDUSTRIE

4.1 DIE CHEMISCHE INDUSTRIE

Die chemische Industrie ist die vielfältigste aller Industrien der Welt. Ihre Produkte finden sich in allen Lebensbereichen. Die chemische Industrie beeinflusst auch andere Industriezweige wie die pharmazeutische Industrie, die Automobil-, Textil-, Möbel-, Farbenindustrie etc.

Die chemische Industrie ist ein sehr heterogener Industriezweig, der eine breite Palette an Produkten für verschiedenste Lebensbereiche herstellt. Dazu gehören Vorprodukte für die Produktion in anderen Industriezweigen ebenso wie Erzeugnisse, die in den Bereichen Gesundheit, Umwelt und Ernährung zum Einsatz kommen. Chemische Erzeugnisse tragen somit auf breiter Ebene zu einer Steigerung des Wohlstandes bei. Durch den Strukturwandel verschieben sich allerdings im Zeitablauf die Gewichte einzelner Sparten am Umsatz.

Die Produkte der chemischen Industrie zeichnen sich durch eine große chemische Vielfalt aus. Die Agenda 21 geht von etwa 100.000 chemischen Substanzen aus, die weltweit von der chemischen Industrie in den Handel gebracht werden, wobei auf etwa 1.500 Stoffe 95% der gesamten Weltproduktion entfallen (Agenda 21, Kapitel 19.11. Lit⁸). Mehr als 9.000 Firmen und Konzerne entwickeln, verarbeiten und vermarkten die Produkte und Prozesse.

Gemessen an den Ausgaben an F&E liegt die chemische Industrie unter den acht forschungsintensivsten Industrien. Bemerkenswert ist dabei der hohe Eigenfinanzierungsanteil an den Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen, der bei etwa 97,2% liegt.

4.2 CHEMIESEKTOR ÖSTERREICHS - GRÖSSENSTRUKTUR

Neben dem Elektro- und Elektronikbereich und dem Maschinen- und Stahlbaubereich zählt der Chemiebereich zu den größten Branchen des produzierenden Sektors in Österreich. Die Produktion in der Chemieindustrie konzentriert sich im Gegensatz zur Elektro- und Elektronikindustrie neben einigen wenigen Großkonzernen vorwiegend auf mehrere Kleinbetriebe. Wie in der Elektroindustrie ist allerdings auch im Chemiebereich ein wesentlicher Teil der größten Unternehmen in Österreich in ausländischem Mehrheitsbesitz – wenn auch mit zum Teil starken österreichischen Kernaktionärsanteilen.

4.3 FORSCHUNG IN DER CHEMISCHEN INDUSTRIE

Die chemische Industrie zählt zu den globalisiertesten Branchen. Deshalb kann sie auch nur global betrachtet werden. Und so müssen auch Entwicklungen auf dem Gebiet der Forschung in der chemischen Industrie in Betracht gezogen werden, die außerhalb Europas vor allem in den USA stattfinden, wobei sich aber die Trends auf sämtliche Regionen der westlichen Welt umlegen lassen.

Der Weltchemieumsatz betrug im Jahr 2003 über 1.600 Milliarden Euro. Deutschland ist nach den USA und Japan und vor Frankreich, China und Italien der drittgrößte Chemieproduzent der Welt (Lit⁹).

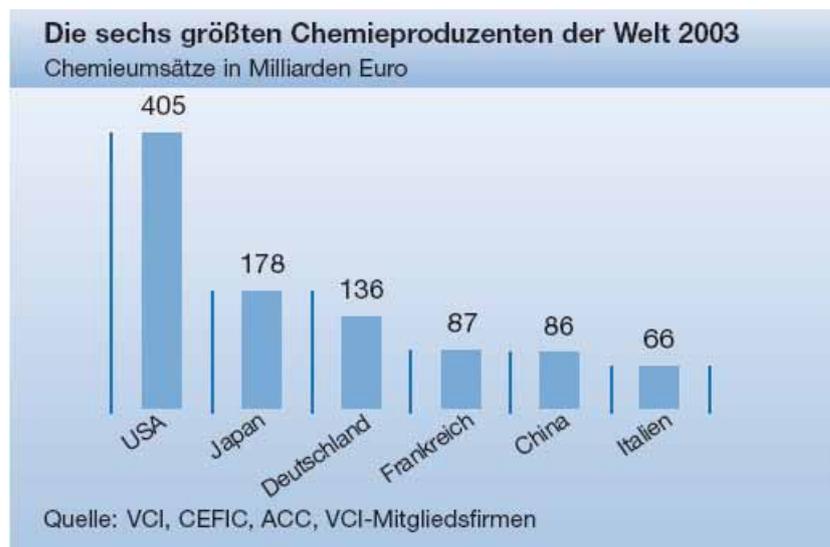


Abbildung 6: Die wichtigsten Produzenten chemischer Produkte (2003) (Lit⁹)

Die Herausforderung für die Chemie besteht darin, die vielfältigen und unterschiedlichen Produkteigenschaften der Massenprodukte für die chemische Industrie durch den Einsatz möglichst weniger Grundstoffe zu realisieren um ökonomische Prozesse zu gewährleisten. Alle chemischen Produkte müssen, wenn sie in die Umwelt gebracht werden, schnell mineralisiert werden. Schließlich müssen die Produkte der chemischen Industrie auch umweltverträglich weiterverarbeitet werden können. Von besonderer Bedeutung ist hier die Verwendung von ER in Form von Stärkederivaten in Waschmitteln sowie von Ölen und Fetten als Schmierstoffe.

Ein chemischer Prozess besteht aus der Vorbehandlung der Substrate, der Reaktion, der Trennung und schließlich der Reinigung des Produkts. Die Bedeutung der Trenntechnologien für die chemischen Produktionsprozesse muss deshalb als sehr hoch eingeschätzt werden. Die Trennprozesse erfordern in der chemischen Produktion 43% der verbrauchten Energie und 40 - 70% sowohl der Investitions- als auch der Betriebskosten (Lit¹⁰). Ihre Optimierung ist also von größter Bedeutung. Der chemische Prozess sollte so entwickelt werden, dass entweder überhaupt keine Trennprozesse notwendig oder aber die Trennprozesse einfach sind und möglichst geringen Energieaufwand erfordern.

Die Forschung ist ein wichtiger Motor in der chemischen Industrie und in den mit ihr verwandten Industriebereichen. Vor allem folgende drei Bereiche der chemischen Forschung werden zukünftig eine entscheidende Rolle auch für die Verwendung von ER spielen (Lit¹¹):

- Chemische Synthese
- Biotechnologische Prozesse
- Materialtechnologie

4.3.1 CHEMISCHE SYNTHESE

Die wichtigsten Methoden, die derzeit verwendet werden, sind die organische und anorganische Synthese sowie die Katalyse.

Synthese ist allgemein eine möglichst effiziente Umwandlung von Rohstoffen mineralischen Ursprungs, von Erdöl, Kohle, Biomasse und natürlichen Gasen in besser verwertbare Moleküle und Produkte.

Katalyse ist der Prozess, durch den chemische Reaktionen durch Zugabe eines Stoffes (Katalysator), der während der Reaktion nicht verändert wird, entweder beschleunigt oder (in einigen wenigen Fällen) verlangsamt werden können. 60% der chemischen Produkte und 90% der chemischen Prozesse beruhen heutzutage auf chemischen Synthesen, die mit Katalysatoren durchgeführt werden. (siehe auch Kapitel 5.6)

Um das Potential chemischer Synthesen zukünftig besser ausschöpfen zu können, fordern die amerikanische chemische Industrie und amerikanische Wissenschaftler auf folgende Punkte verstärktes Augenmerk zu richten (Lit¹¹):

1. Entwicklung neuer Synthesetechniken auch durch Einbau von „neuem“ Wissen aus Biologie, Physik und computerunterstützten Methoden (u. a. „Lernen aus der Natur“)
2. Ausbau von interdisziplinären F&E-Kooperationen zwischen Industriepartnern und Wissenschaftlern zur Entwicklung von neuen Produkten und Prozessen
3. Förderung der Grundlagenforschung in der Synthese, im Prozessverfahren und in der Strukturkontrolle von komplexen Molekülen
4. Unterstützung von Grundlagenstudien zur Entwicklung von alternativen Reaktionsmedien (Gasphase, Wasser, superkritische Fluide,..)

4.3.2 BIOTECHNOLOGISCHE PROZESSE

Der Mensch verwendet biologische Prozesse seit er Käse, Brot und Bier herstellt. Die Forschung mit Biokatalysatoren begann vor ca. 100 Jahren mit ersten Studien über Enzyme und Katalysatoren auf Proteinbasis aus lebenden Organismen.

Bioprozesse werden immer mehr zur Produktion von Chemikalien genutzt und es gibt noch eine Menge von Biokatalysatoren, die genauer erforscht werden müssen.

Folgende Punkte sollten nach Forderungen der chemischen Industrie und Wissenschaftler der USA (Lit¹¹) von den verschiedenen Akteuren im Bereich der biotechnologischen Forschung in den kommenden Jahren erfüllt werden:

Industrie:

- Definition des F&E-Bedarfes auf den Gebieten der Entwicklung neuer und effektiverer Biokatalysatoren, Prozesstechnologien und niedrigpreisigen Rohstoffen für Bioprozesse (z.B. ER)

Wissenschaft:

- Erweiterung des Grundwissens zu industriellen Bioprocessen (z.B. Erforschung metabolischer Entwicklungspfade, Entdeckung neuer Enzyme und deren Optimierung, effiziente Reaktions- und Trennungstechnologien) und Umlegung/Umsetzung dieser Resultate

Regierung:

- Förderung, Unterstützung und Teilnahme an einer zukunftsfähigen Biotechnologieforschung, Abwendung des Risikos der Technologieentwicklung von den Anwendern durch finanzielle Unterstützung

4.3.3 MATERIALTECHNOLOGIE

Die Entwicklung neuer synthetischer Materialien war im 20. Jahrhundert ausschlaggebend für das Wachstum der chemischen Industrie und die Veränderung unserer Gesellschaft. Der Ersatz traditioneller Materialien wie Metalle, Holz, Glas und natürlicher Fasern durch synthetische Polymere und Verbundwerkstoffe führte zu Produkten mit weniger Gewicht, besserer Energieeffizienz, besserer Ausführung und Lebensdauer, verbessertem Design und Verarbeitungsflexibilität.

In den ersten beiden Punkten (chemische Synthese, Biotechnologie) spielen ER bereits jetzt eine wichtige Rolle als Ausgangsmaterialien für Synthese- und Katalyseprozesse, ebenso als Grundsubstrate für biotechnologische Prozesse. In der Materialtechnologie müssen die ER ihre wichtige Rolle erst langsam wieder zurückerobern.

Auch der wichtigste Vertreter der chemischen Industrie weltweit hat die ER für sich entdeckt. So schreibt die chemische Industrie der USA in ihren „Visions 2020 – Entwicklungen der chemischen Industrie in den nächsten 20 Jahren“, dass in Zukunft mehr Rohstoffe aus erneuerbaren Quellen als Rohstoffe für organische Chemikalien eingesetzt werden sollen. Die fünf wichtigsten Konzerne der chemischen Industrie in den USA haben im Jahr 2000 für F&E am Gebiet der ER 3,6 Milliarden \$ ausgegeben (Lit¹²).

Als die wichtigsten zu verfolgenden Ziele der nächsten Jahre sieht die amerikanische chemische Industrie folgendes vor (Lit¹¹):

- Reduzierung der Materialverluste durch Abfall- oder Nebenprodukte um 90%
- Reduzierung von Emissionen (inklusive CO₂) und Reduzierung der Abwassermengen um 30%
- Steigerung der industriellen Anwendung von C1-Verbindungen (Synthesegaskomponenten, Methanol, Formaldehyd, Ameisensäure, Blausäure, Halogenderivate des Methans) um 20% und **von ER um 13%**
- Verringerung der Dauer der Markteinführung von neuen chemischen Produkten allgemein durch die Anwendung neuer F&E-Methoden um 30%, Erhöhung der Marktgängigkeit und Bedarfsweckung für Biomasseprodukte und Biomasseenergie
- Steigerung der Entwicklung neuer Produkte und Anwendungen um jährlich 15%
- Reduzierung der Produktionskosten um 25%
- Kosten für Biomasseprodukte und Energie aus Biomasse um das Zwei- bis Zehnfache senken
- Demonstration entscheidender integrierter Produktionssysteme (Bioraffinerien) für die Erzeugung von Brennstoffen, Wärme, Kraft, Chemikalien und Materialien
- Monitoring und Einschätzung der Umwelteinflüsse von Biomasseprodukt- und Biomasseenergie-Produktionssystemen
- Förderung von Innovationen zu Biomasse, Biomasseprodukten und Biomasseenergie
- Erhöhung des Förderanteils der Regierung an der Entwicklung von Biomasseprodukten und Biomasseenergie

Diese Ziele können unter anderem durch den Gebrauch billiger ER wie Pflanzen, Getreide, Holz, industrielle Abfälle, Nebenprodukte und neuer alternativer Materialien wie C1-Komponenten (z.B. Kohlenmonoxid, Methan und wenn möglich Kohlendioxid) erreicht werden.

Die Ausrichtung der chemischen Unternehmen auf dem Weltmarkt bringt auch erhebliche Veränderungen in der Unternehmenslandschaft der chemischen Industrie selbst mit sich. Erstens konzentrieren sich die Chemiefirmen zunehmend auf das, was sie als ihre Kerngeschäftsfelder definieren – dies können Life Sciences, aber auch die Herstellung von chemischen Grundstoffen im Verbundsystem oder die Herstellung von Spezialchemikalien sein. Zweitens reicht innerhalb der definierten Geschäftsfelder das interne Unternehmenswachstum vielfach nicht mehr aus, um auf den schnell wachsenden Weltmärkten gegen große Wettbewerber bestehen zu können. Die Folge ist eine erhebliche Zahl an Fusionen und Unternehmensübernahmen, die das Bild der Firmenlandschaft ständig verändern.

4.4 NACHHALTIGE KONZEPTE IN DER CHEMIE – „GREEN CHEMISTRY“

Die chemischen Industrien Europas, Japans und der USA haben sich in ihren Zukunftsprogrammen explizit zum Beitrag der Chemie zu einer nachhaltigen Entwicklung bekannt. Insgesamt ist festzustellen, dass die Betriebe der chemischen Industrien versuchen zu verstehen, was nachhaltige Entwicklung für sie bedeutet:

- Die Prinzipien des produktions- und produktintegrierten Umweltschutzes werden zunehmend von vielen Unternehmen akzeptiert und umgesetzt (Lit¹³, Lit¹⁴).
- Grundkonzepte zum umweltorientierten Design chemischer Produkte und Prozesse wurden entwickelt (Lit¹⁵).
- „Green chemistry“ wurde als Orientierung für die Grundlagenforschung in der Chemie vorgeschlagen.

Auszüge aus dem Positionspapier der Gesellschaft deutscher Chemiker zum Weltgipfel für nachhaltige Entwicklung 2002 in Johannesburg (Lit¹⁶) zeigen, dass

- *Nachhaltige chemische Prozesse und Produkte zielgerichtet zu entwickeln sind. Eine absolute Quantifizierbarkeit von Nachhaltigkeit kann aufgrund der Komplexität der ökonomischen, ökologischen und sozialen Dimensionen dieses Begriffes nicht geleistet werden. Dennoch sind zur vergleichenden Bewertung von chemischen Prozessen und Produkten bezüglich ihres Beitrags zu einer nachhaltigen Entwicklung wissenschaftlich fundierte Methoden und Kriterien notwendig.*

Dazu ist ein System mit Bausteinen der wichtigsten Prozessketten für eine Bewertung von Synthesen bzw. Prozessen zu entwickeln, das Ressourcenbedarf und Umweltbelastung mit Hilfe von Kennzahlen auch quantitativ abzudecken erlaubt und auf einem konsistenten Basisdatensatz beruht. Die Bewertungsansätze der Ökobilanzierung, der Ökoeffizienz-Analyse sowie soziopolitische Bewertungsdimensionen sind weiterzuentwickeln. Bei der Substitution von Prozessen und Produkten sind geeignete vergleichende Bewertungen durchzuführen. Diese müssen frühzeitig im Verlauf der Entwicklung, möglichst bereits im Labor, eine tragfähige Entscheidung zwischen den Prozess- und Produktalternativen ermöglichen.

- *Die ressourcenschonende Produktion von Basischemikalien ist aufgrund der großen produzierten Mengen und der darauf aufbauenden Produktlinien für eine nachhaltige Entwicklung von besonderer Bedeutung. Zahlreiche Prozesse zur Produktion dieser Basischemikalien erzeugen eine große Menge von teilweise nicht mehr verwertbaren Nebenprodukten. Dies macht die Entwicklung neuer Prozesse für diese Basischemikalien oder gegebenenfalls ihre Substitution durch neue Basischemikalien, die ressourcenschonend und umweltverträglich produziert werden können, erforderlich. Dazu sind insbesondere auch **neue Prozesse auf der Basis von erneuerbaren Rohstoffen** von Bedeutung. Die meisten Produkte, die aus erneuerbaren Rohstoffen erhalten werden können, sind zwar gegenwärtig im Vergleich zu den Produkten der Petrochemie noch nicht konkurrenzfähig, was sich aber bei zunehmender Verknappung und damit Verteuerung des Erdöls ändern wird. Die Gesellschaft Deutscher Chemiker appelliert an die Regierungen, die Förderung der notwendigen, grundlegenden Untersuchungen zu intensivieren bzw. Randbedingungen zu schaffen, um entsprechende privatwirtschaftliche*

Forschungsaktivitäten verstärkt zu stimulieren, damit nachhaltigere Substitutionsprozesse und -produkte rechtzeitig zur Verfügung stehen.

- Die Gesellschaft Deutscher Chemiker setzt sich nachdrücklich dafür ein, dass toxische Chemikalien, von denen wissenschaftlich nachgewiesen eine nicht vertretbare Gefahr für Umwelt und Gesundheit ausgeht, durch weniger schädliche Substanzen zu ersetzen oder durch geänderte Verfahren entbehrlich zu machen sind und die Rückgewinnung und Verwertung chemischer Grundstoffe gemäß der Nachhaltigkeitskriterien zu optimieren ist. Die Herausforderung für die Chemie besteht darin, die vielfältigen chemischen Produkte und Wirkstoffe so zu gestalten, dass sie durch möglichst nachhaltige Prozesse erzeugt werden, ihre Aufgabe bzw. die gewünschte Wirkung bei minimalem Gefährdungspotential erfüllen, die Umwelt nicht beeinträchtigen und biologisch abbaubar sind. Die Produkte der chemischen Industrie müssen auch umweltverträglich weiterverarbeitet werden können. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Reduktion der Emission von flüchtigen organischen Chemikalien (VOCs), die zur Bildung des Ozons in der Troposphäre beitragen.*
- Wo immer dies möglich ist, müssen nicht - nachhaltige Prozesse und Produkte substituiert werden. Die Regierungen werden aufgefordert, alle Regelungen, die die Substitution nicht - nachhaltiger durch nachhaltigere Prozesse und Produkte behindern, möglichst rasch aufzuheben. Anreize zur Förderung der Substitution sind einzuführen und in den kommenden 10 Jahren nach Johannesburg umzusetzen.*
- Zur Lösung dieser Probleme muss die Grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung zum Beitrag der Chemie zu einer nachhaltigen Entwicklung stark intensiviert und gefördert werden. Dieser Aspekt gilt für alle einer nachhaltigen Entwicklung dienlichen Wissenschaften. Angesichts der enormen Anforderungen an Grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung sowie Entwicklung werden die Regierungen daher aufgefordert, die öffentlichen Mittel zur Förderung von Projekten zur Umsetzung der Grundsätze von Rio und der Agenda 21 in erheblichem Umfang zu erhöhen.*
- Die Konzepte zum Beitrag der Chemie zu einer nachhaltigen Entwicklung sind auch in die Lehre an Schulen und Hochschulen einzubringen.*

4.4.1 NACHHALTIGE CHEMIE ODER GREEN CHEMISTRY

Die im 1987 erschienenen Brundlandt - Report zum ersten Mal erhobene Forderung nach einer nachhaltigen Wirtschaftsweise wurde in der UNCED (United Nations Conference on Environment and Development) Konferenz in Rio de Janeiro 1992 zum Leitbild der nachhaltigen Entwicklung verdichtet. Dieses Leitbild wird in der chemischen Industrie zur Richtschnur bei Produktentwicklungen, Fertigungsprozessen und dem firmeninternen Umweltschutz. Allerdings macht die Durchführung in vielen Bereichen der Chemie intensive Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen notwendig. Diese werden heute unter dem Stichwort der Nachhaltigen Chemie, auch "Green chemistry" genannt, gebündelt.

Unter Nachhaltiger Chemie versteht man alle Bemühungen den Ressourcen- und Energieverbrauch zu reduzieren, nicht -

erneuerbare Ressourcen durch erneuerbare zu ersetzen, Umweltschadstoffe bereits in der Syntheseplanung zu vermeiden, problematische Arbeitsstoffe durch weniger problematische zu ersetzen, alle negativen Auswirkungen chemischer Stoffe oder Prozesse auf die Gesundheit des Menschen und auf die Umwelt zu minimieren.

Ziel dieser Bemühungen ist es, die Lebensqualität zu verbessern und die Wettbewerbsfähigkeit der chemischen Industrie zu sichern. Der auf diese Weise geplante produktionsintegrierte Umweltschutz entlastet die Firmen von aufwendigen Nachsorgemaßnahmen.

Zu den herausragenden Bemühungen auf dem Gebiet der Nachhaltigen Chemie gehören beispielsweise: die Prozesse ohne bzw. in weniger problematischen Lösungsmitteln durchzuführen, neue Oxidationsverfahren zu finden und die Entwicklung effizienter heterogener, homogener oder biologischer Katalysatoren. Dazu kommen neue elektrochemische Prozesse und die photochemische Umsetzung. Zur Bewertung des Erfolges der neuen chemischen Prozesse und Synthesen werden vergleichende Ökobilanzen (Ökoeffizienzanalysen) herangezogen.

Zur Entwicklung solcher Prozesse sind Wissenschaftler gefragt, die profunde Kenntnisse auf dem Gebiet der Stoffumwandlung besitzen. Darüber hinaus sollten sie auch Verständnis für neue Anforderungen mitbringen. Diese könnten sein:

- Anwendung energetisch günstiger, umweltschonender alternativer Reaktionsbedingungen durch Verwendung von katalytischen und enzymatischen Reaktionen
- Anwendung von alternativen Techniken zu thermischen Reaktionen: photochemische und elektrochemische Reaktionen, Mikrowellentechnik, Solartechnik
- Anwendung von modernen chemo-, regio- und stereoselektiven Reaktionen
- Verwendung von ressourcenschonenden Ausgangs- und Zwischenprodukten, sowie von erneuerbaren Rohstoffen
- Anwendung von umweltverträglichen Lösungsmitteln
- Recycling von Hilfsstoffen sowie eingesetzter Lösungsmittel

4.4.2 DIE PRINZIPIEN BZW. LEITSÄTZE DER GREEN CHEMISTRY

Zu den Prinzipien der „Green Chemistry“ zählen folgende Punkte (Lit¹⁷):

1. Die Vermeidung von Abfällen ist der Behandlung erzeugter Abfälle vorzuziehen.
2. Synthetische Methoden sind so zu planen, dass die Einbeziehung aller am Prozess beteiligten Materialien in das Endprodukt maximiert wird.

3. Wenn immer möglich, sollten synthetische Methoden so geplant werden, dass nur Stoffe eingesetzt oder erzeugt werden, die keine oder nur geringe Toxizität gegenüber der Umwelt und der menschlichen Gesundheit zeigen.
4. Das Design chemischer Produkte sollte so gestaltet werden, dass ihre Eigenschaften die Funktionalität mit verminderter Giftigkeit verbinden.
5. Der Gebrauch von Zusatzstoffen (z.B. Lösungsmittel, Trennmittel, etc.) sollte wo immer möglich vermieden werden.
6. Der Energiebedarf sollte ermittelt und wegen seiner ökologischen und ökonomischen Folgen minimiert werden. Synthetische Prozesse sollten vorzugsweise bei Raumtemperatur und Atmosphärendruck durchgeführt werden.
7. Wo immer technisch oder ökonomisch durchführbar, sollten eingesetzte Rohmaterialien aus erneuerbaren Quellen stammen.
8. Unnötige Derivatisierungen (z.B. Einführung von Schutzgruppen, Endgruppen) in der Synthese sollten vermieden werden.
9. Katalytische Reagenzien (so selektiv wie möglich) sind stöchiometrischen Reagenzien überlegen.
10. Das Design chemischer Produkte sollte so gestaltet sein, dass am Ende ihres Gebrauches nicht eine persistente Wirkung zu befürchten ist. Sie sollten sich am Ende ihres Gebrauchs zu ungefährlichen Abbauprodukten zersetzen.
11. Analytische Techniken sollten weiterentwickelt werden um ein "Echtzeit-Prozessmonitoring" zu ermöglichen und Schadstoffe bei ihrer Entstehung zu erfassen.
12. Ein Stoff und die Form eines Stoffes der in einem chemischen Prozess eingesetzt wird, sollte so gewählt werden, dass die Gefahr eines chemischen Unfalles minimiert wird.

4.4.3 DIE REFORM DER EU - CHEMIKALIENPOLITIK: DIE REACH-VERORDNUNG

Das Chemikalienrecht in Europa zeichnet sich schon jetzt durch einen hohen Grad an Harmonisierung aus. Trotzdem bestehen noch zahlreiche unterschiedliche Regelungen in den einzelnen Mitgliedsstaaten.

Mit dem Weißbuch „Strategie für eine zukünftige Chemikalienpolitik“ legte die Europäische Kommission auf Initiative der deutschen Ratspräsidentschaft im Februar 2001 ihr Konzept für eine grundlegende Reform der Chemikalienpolitik in Europa vor, deren Kern die Verankerung der Produktverantwortung bildet. Vor allem aber sollte die bis heute ungelöste Altstoffproblematik als letztes großes ordnungspolitisches Umweltthema der 1980er Jahre endlich aufgearbeitet werden.

Ausgangspunkt dieser Reforminitiative war und ist das Informationsdefizit zu den ca. 100.000 Altstoffen in der EU. Es

handelt sich hier um Stoffe, die vor 1981 angemeldet wurden und die in der EINECS-Liste (European Inventory of Existing Chemical Substances)² angeführt werden. Sie stellen etwa 97% aller derzeit vermarkteten Stoffe dar und mussten bis 1993 weder geprüft noch bewertet werden. Mit der 1993 in Kraft getretenen Altstoffverordnung hatte die EU zwar den Versuch unternommen dieses Defizit zu beheben, die Regelung erwies sich aber als ausgesprochen langwierig und ineffizient. In rund 10 Jahren konnten nur ca. 30 Stoffe abschließend bewertet werden. Würde in diesem Tempo weitergearbeitet werden, so wäre die Altstoffbewertung frühestens im Jahr 3000 abgeschlossen.

Die Folge ist das heute in Europa vorherrschende lückenhafte und unsystematische Risikomanagement bezüglich der möglichen Auswirkungen von chemischen Stoffen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt. Für neu zugelassene Stoffe (ca. 3.700 seit 1981) und Altstoffe existieren zudem verschiedene, unterschiedlich anspruchsvolle Regelungen. Diese werden in der ELINCS-Liste (European List of Notified Chemical Substances)³ angeführt.

Dies führte dazu, dass viele Unternehmen weiterhin mit Altstoffen arbeiteten anstatt neue Stoffe zu entwickeln.

Die derzeitige Ausgestaltung der EU-Chemikalienpolitik bietet also zu wenig Anreize für die Entwicklung von Alternativen zum Ersatz umwelt- und gesundheitsschädlicher Stoffe durch neu entwickelte ökologisch innovative Stoffe. Nach Stellungnahmen des Europäischen Parlaments und des Rates zum Weißbuch und nach intensiven Diskussionen mit den betroffenen Verbänden veröffentlichte die EU - Kommission im Mai 2003 einen ersten Vorentwurf für eine Verordnung zur Registrierung, Bewertung und Zulassung von Chemikalien.

Am 29. Oktober 2003 schließlich verabschiedete die EU-Kommission ihren Entwurf für eine Chemikalienverordnung und leitete diesen an das Europäische Parlament und den Rat zur Beratung weiter. Das gesamte Beratungsverfahren wird voraussichtlich 2005 abgeschlossen sein.

Die neue Chemikalienverordnung soll die Hauptziele des Weißbuchs Chemie umsetzen:

- Risikominimierung und Vorsorge vor schädlichen Wirkungen von Chemikalien
- Substitution schädlicher Chemikalien durch ungefährliche Ersatzstoffe
- Überwindung der Wissenslücken bei den Altstoffen und Schaffung von Transparenz für Verbraucherinnen und Verbraucher
- Konzept „no data, no market“ als Grundsatz für das Inverkehrbringen von Chemikalien
- Gleiche Anforderungen für Alt- und Neustoffe

² Europäisches Verzeichnis der auf dem Markt vorhandenen chemischen Stoffe, von denen angenommen wird, dass sie zwischen dem 1. Januar 1971 und dem 18. September 1981 im Handel befindlich waren. Dies ist eine geschlossene Liste von 100.106 Altstoffen, die der Verordnung 793/93 unterliegen.

³ Europäische Liste der angemeldeten chemischen Stoffe. ELINCS enthält zurzeit ungefähr 3.700 Stoffe und wird ständig erweitert, wenn den zuständigen Behörden das Inverkehrbringen eines neuen Stoffes gemeldet wurde.

Bei einer effektiven und praktikablen Umsetzung wird dieses Konzept einen essentiellen Beitrag zum vorsorgenden Umwelt-, Gesundheits- und Verbraucherschutz liefern. Gleichzeitig eröffnet das Konzept der chemischen Industrie in ganz Europa die Chance, sich mit ökologischen Innovationen Standortvorteile auf den internationalen Märkten zu sichern.

Das REACH-Konzept: Registrierung, Evaluierung und Autorisierung von chemischen Stoffen:

- Registrierung aller Stoffe in Mengen über 1 Jahrestonne Produktionsvolumen (je Hersteller/ Importeur). Für diese ca. 30.000 Stoffe liefern die Unternehmen bestimmte grundlegende Informationen über Stoffeigenschaften, Anwendungsbereiche und mögliche Risiken für Gesundheit und Umwelt. Für die Altstoffe gelten je nach Produktionsmenge Übergangsfristen von 3 Jahren (Stoffe ab 1000 t und CMR⁴ - Stoffe ab 1 t), 6 Jahren (Stoffe zwischen 100 - 1000 t) bzw. 11 Jahren (Stoffe zwischen 1 - 100 t).
- Bewertung (Evaluierung) aller Stoffe in Mengen über 100 Jahrestonnen Produktionsvolumen durch staatliche Behörden. Stoffe unterhalb dieser Mengenschwelle können bei Anlass zur Besorgnis in die Bewertung aufgenommen werden.
- Zulassung (Autorisierung) von Hochrisikostoffen bzw. von bestimmten Stoffverwendungen, deren Sicherheit vom Hersteller zuvor nachgewiesen wurde. Dies bedeutet gegenüber dem bisherigen Regelungssystem eine Umkehr der Beweislast. Es handelt sich bei den anvisierten Stoffen vor allem um so genannte CMR-Stoffe, PBT⁵-Stoffe, sowie vPvB⁶-Stoffe. Angestrebt wird auch eine Einbeziehung von sensibilisierenden (Allergene), endokrinen (hormonell wirksamen) und chronisch toxischen Stoffen (Auslöser insbesondere von Nerven-, Leber und Nierenschäden).
- Nachgeschaltete Anwender der Chemikalien (downstream user) sind verpflichtet, nicht vom Hersteller vorgesehene Verwendungen der Stoffe zu melden und gegebenenfalls zusätzliche Prüfungen vorzunehmen. (Lit¹⁸)

⁴ CMR = cancerogen, mutagen, reproduktionstoxisch

⁵ PBT = persistent, bioakkumulativ und toxisch

⁶ vPvB = sehr persistent und sehr bioakkumulativ

5 ARTEN VON BIOMASSE UND TECHNOLOGIEN ZUR VERWERTUNG VON BIOMASSE

5.1 ARTEN VON CHEMIKALIEN AUS BIOMASSE

Generell kann man den Markt für Chemikalien aus Biomasse in zwei große Gruppen einteilen: Zum einen gibt es jene Verbindungen, die unter **Erhalt ihrer Struktur aus der Biomasse** isoliert werden (siehe Kapitel 5.3). Hierbei handelt es sich meist um spezielle Chemikalien und komplexe Strukturen, deren Aufbau über die Synthesechemie prinzipiell möglich, aber weitaus umständlicher ist. Diese Stoffe stellen im Allgemeinen jedoch nur einen kleinen Anteil der Weltproduktion dar. Der größte Teil der Chemikalien wird als so genannte Bulk- oder Basischemikalien verwendet, welche **unter Umwandlung von Biomasse** gewonnen werden.

Im internationalen Sprachgebrauch umfasst der Begriff Massenchemikalien Chemikalien, die bereits ein beträchtliches Weltmarktvolumen von mehreren hunderttausend Tonnen pro Jahr besitzen (Ethylen, Propylen, Acetaldehyd, Acrylsäure, Essigsäure, Butadien, etc.) bzw. Chemikalien, die hohe Zuwachsraten erwarten lassen (z.B. Milchsäure).

Die am weitesten verbreiteten Technologien zur Umwandlung von Biomassepolymeren (Lignin, Cellulose, etc.) zur Gewinnung von Basischemikalien sind:

- biotechnologische Prozesse (z.B. Fermentation, Biokatalyse, siehe Kapitel 7.2) und
- thermochemische Prozesse (z.B. Pyrolyse, hydrothermische Verflüssigung und Vergasung von Biomasse, siehe Kapitel 7.2).

Mit Hilfe dieser Prozesse lassen sich aus Biomasse viele bekannte „Grundbausteine“ der gängigen Synthesechemie aber auch neue Produktgruppen und Plattformchemikalien, die zu vielen weiteren chemischen Produkten derivatisiert werden können, herstellen. Wirtschaftliche Faktoren sind jedoch letztendlich ausschlaggebend, ob diese Chemierohstoffe aus Biomasse oder aus fossilen Rohstoffen (Erdöl, Erdgas, Kohle) hergestellt werden.

5.2 ERNEUERBARE ROHSTOFFE ALLGEMEIN

Die ressourcenschonende Produktion von Basischemikalien ist aufgrund der großen produzierten Mengen und der darauf aufbauenden Produktlinien für eine nachhaltige Entwicklung von besonderer Bedeutung. Dies macht die Entwicklung neuer Prozesse für bekannte Basischemikalien oder völlig neuer Basischemikalien erforderlich. Die Basischemikalien prägen die chemischen Produkte, die daraus über eine oder mehrere Stufen produziert werden, und deren Weiterverarbeitung in Industriebereichen, die häufig nicht zur chemischen Industrie gehören, entscheidend. Diese chemischen Produkte müssen so gestaltet werden, dass sie auch nachhaltig weiterverarbeitet werden können. Die Zeit zur Einführung der neuen Prozesse

und Produkte muss durch die Schaffung der betrieblichen Voraussetzungen, Technologieentwicklungen und durch umweltpolitische Maßnahmen verringert werden.

Die ER sind im Gegensatz zu Erdöl meist polymere, hochfunktionalisierte Stoffe oder Stoffgemische und enthalten je nach Art oft beträchtliche Mengen an molekular gebundenem Sauerstoff. Petrochemische Basismaterialien sind nicht oxygeniert, aber viele der finalen Produkte beinhalten Sauerstoff. Es gibt relativ wenige Möglichkeiten um Sauerstoff in Kohlenwasserstoffe einzubauen und meistens benötigt man dazu toxische Reagentien wie Chrom und Blei in stöchiometrischen Mengen in Verbindung mit großen Problemen bei der Beseitigung der entstehenden Abfälle. Daher ist es nahe liegend, für Basischemikalien, die auf petrochemischem Weg durch nicht nachhaltige Oxidationen gewonnen werden, Alternativen aus ER zu entwickeln.

Auf der Suche nach den für chemische Reaktionen so wichtigen Katalysatoren beschreitet die Chemie neue Wege, in dem sie in zunehmenden Maße biologische Katalysatoren, die Enzyme, nutzt (z.B. Umwandlung konventioneller chemischer Verfahren durch den Einsatz von Oxygenasen, Enzymen aus Bakterien, etc.).(Lit¹⁹)

Beim Einsatz von ER als Basischemikalien für die organische Synthese kann die Syntheseverleistung der Natur genutzt werden, sodass komplexe Moleküle, die petrochemisch nur in viel stufigen Reaktionssequenzen zugänglich sind, in einer oder sehr wenigen Reaktionsschritten aus dem natürlichen Pool erhalten werden können. Dies sind einerseits Produkte für verbrauchernahe Einsatzzwecke mit wenigen Veredlungsschritten, wie z.B. Schmierstoffe, technische Öle und Kleber, andererseits spezifische Bereiche des Zwischenproduktsektors sowie Spezial- und Feinchemikalien. Hier finden sich als größere Einsatzbereiche Tenside, Waschrohstoffe, Polyurethanrohstoffe und Lacke. Zusätzlich bietet sich ein vielfältiges, allerdings schwierig abschätzbares Feld kleiner bis mittlerer Anwendungsgebiete an, wo sich im Einzelfall ER aufgrund anwendungstechnischer Vorteile oder ökologischer Gesichtspunkte durchsetzen können. Stellvertretend sollen hier genannt werden: Komplexbildner zur Wasserbehandlung, Emulgatoren, Biopolymere oder Wirkstoffcarrier.

Grundsätzlich kann die Syntheseverleistung der Natur genutzt werden, um Produkte herzustellen, die auf petrochemischem Wege nur sehr aufwendig herzustellen sind oder um neue Produkte mit speziellen Eigenschaften zu entwickeln. Für die Herstellung hochwertiger Produkte könnten daher erneuerbare Roh- und Reststoffe in diesem Bereich, nach Abklärung der aufgeworfenen Fragen, ein Feld neuer, interessanter Alternativen öffnen.

Die meisten Produkte, die mit diesen Synthesen aus ER erhalten werden, sind gegenwärtig im Vergleich zu den Produkten der Petrochemie technisch und/oder wirtschaftlich noch nicht konkurrenzfähig, was sich aber mit der zunehmenden Verknappung und damit Verteuerung des Erdöls sowie einer gezielten Forschung schnell ändern kann.

Es wird davon ausgegangen, dass sich der Anteil an ER in der Produktion von Chemikalien deutlich erhöhen wird (Lit³). Langfristig sehen Experten die biobasierten Rohstoffe als einzig tragfähige Lösung, wobei es vorwiegend ihre katalytische Weiterverarbeitung sein wird, die künftig Erdöl und Kohle als Basisprodukte ersetzbar machen. Das National Research Council der USA sieht in seiner „Vision“ für 2090 eine Substitution fossiler Rohstoffe durch biogene Rohstoffe von 90% vor. In den nächsten 15 Jahren wird eine Steigerung von 10% auf 25% erwartet (siehe Abbildung 7). Shell beispielsweise will bis

2050 den Weltbedarf an Chemikalien und Energie zu 30% aus Biomasse decken, ein Markt von nahezu 150 Milliarden US\$ (Lit²⁰). Du Pont, einer der größten Kunststoffhersteller, will bis 2010 25% seiner Produkte aus ER fertigen (Lit³).

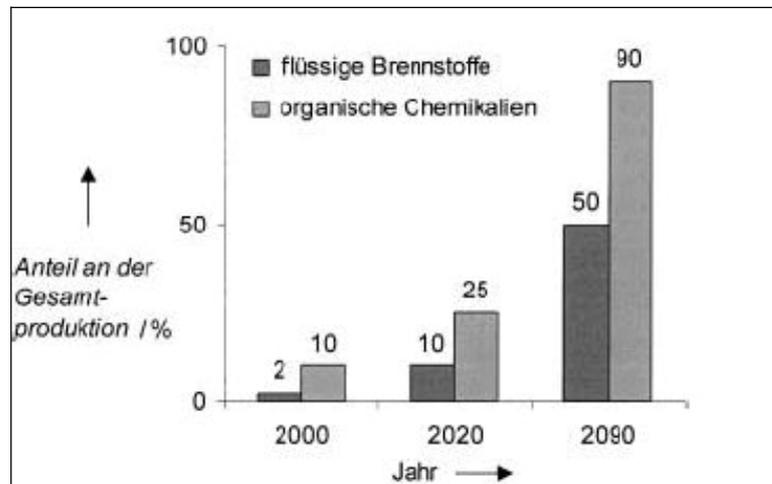


Abbildung 7: Zielvorstellung des National Research Council der USA für die Produktion von organischen Chemikalien und von flüssigen Brennstoffen aus ER bis zum Jahr 2090. Anteil an der jeweiligen Gesamtproduktion in Prozent (Lit³).

Weitere „Visionen“, verschiedene Industriesparten und Forschungsfelder von Biomasseprodukten (z.B. Biokatalyse, Trenntechnologien, etc.) betreffend, wurden von der amerikanischen Regierung gemeinsam mit Experten ausgearbeitet.

5.3 GEWINNUNG VON WERTSTOFFEN UNTER STRUKTURERHALT

Zur Gewinnung von Chemikalien aus Biomasse unter Erhaltung der Struktur und Nutzung der Syntheseleistung der Natur kommen vor allem mechanische und extraktive Verfahren in Frage. Bei den mechanischen Verfahren stehen Presstechnologien (Sieb-, Stempel-, Extrusionspressen) im Vordergrund, wobei man je nach Empfindlichkeit der zu gewinnenden Stoffe auf die Temperaturentwicklung bzw. die Umgebungsatmosphäre achten muss. Extraktionsverfahren sind bei der direkten Gewinnung von Naturstoffen häufig eingesetzt, teilweise auch nach einer mechanischen Vorbehandlung (Pressen, Zerkleinern, etc.) des Extraktionsgutes.

Die wichtigsten Verfahrensparameter beim Einsatz von Extraktionsverfahren sind: Extraktionsmedium (Lösungsmittel), Temperatur, Druck, Anzahl der Extraktionszyklen und Beschaffenheit des Extraktionsgutes.

Ein einfacher, theoretischer Prozess ist in Abbildung 8 dargestellt. Die Vorteile der Extraktion liegen in einer ausgesprochen schonenden Gewinnung des Zielstoffes durch die Anwendung niedriger Temperaturen und gegebenenfalls auch Schutzgasatmosphären. Häufig müssen noch entsprechende Reinigungsoperationen nachgeschaltet werden.

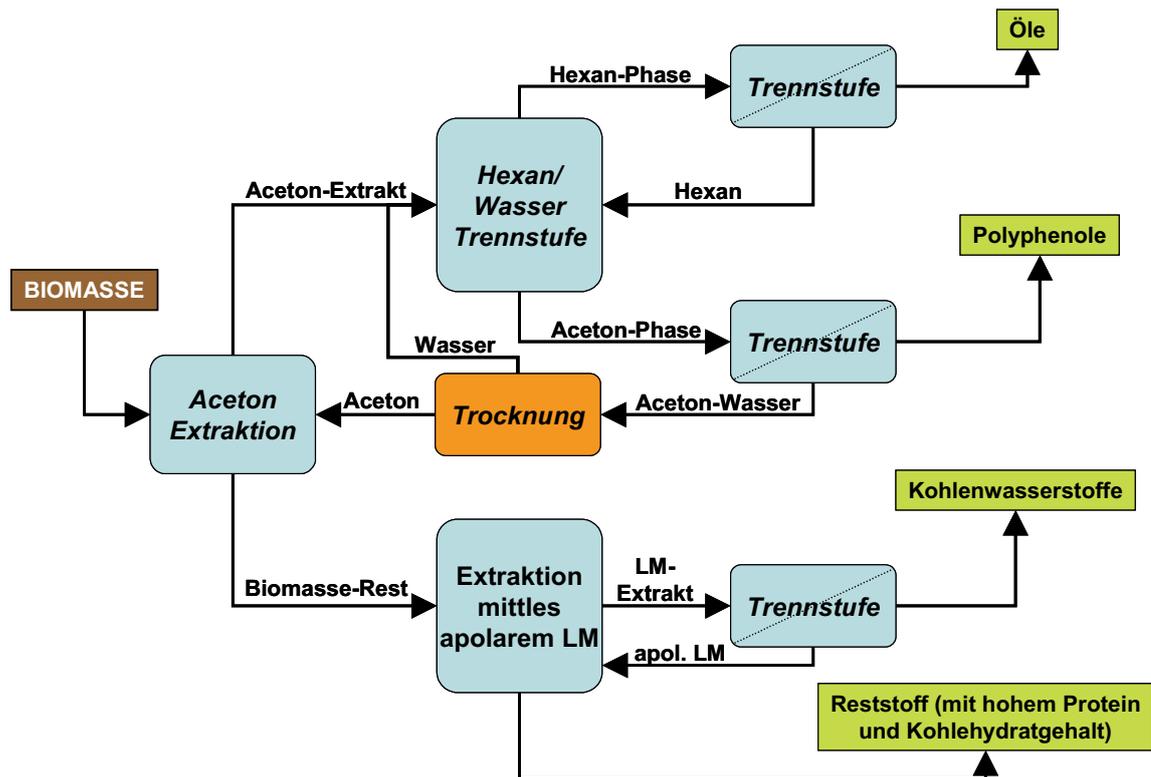


Abbildung 8: Prozessschema eines möglichen, mehrstufigen Extraktionsverfahrens für einen Biomasserohstoff (Li²¹)

Eine Sonderform der Extraktion stellt die so genannte Wasserdampfdestillation dar, bei der das Extraktionsgut mit Dampf behandelt wird. Flüchtige Wertstoffe werden durch den Wasserdampf mitgerissen und bei der Kondensation wieder abgeschieden. Diese Methode eignet sich z.B. besonders gut zur Gewinnung von Aroma- und Duftstoffen (Feinchemikalien).

5.4 PFLANZENBIOTECHNOLOGIE

Neben die chemische Synthese und Fermentationsverfahren ist in der Chemieindustrie in den letzten Jahren ein weiterer Syntheseweg getreten: die (Pflanzen)-Biotechnologie.

Bedingt durch die komplexe und wechselnde Zusammensetzung der Naturstoffe und der Empfindlichkeit vieler ihrer Wertstoffe liegt der Schlüssel zu ihrer ökonomischen Verwertung bei schonenden, selektiven und effizienten Trenn- und Aufbereitungstechnologien. Diese müssen teilweise erst entwickelt und auf das Pflanzenmaterial adaptiert werden.

In den letzten Jahren hat das Wissen über die biochemischen Zusammenhänge des pflanzlichen Stoffwechsels enorm zugenommen.

Die Züchtung hat stets vorrangig eine Verbesserung der Ertragsleistung der Nutzpflanzen verfolgt. Dabei ist die Ölpflanzenzüchtung aber auch bestrebt, dem Bedarf der Industrie nach „maßgeschneiderten“ Ölen und Fetten zu entsprechen. Zukünftige Wachstumspotentiale in diesem Bereich sind vor allem dort zu erwarten, wo bereits durch die

natürliche Struktureigenschaft oder die Reinheit des pflanzlichen Rohstoffes eine nutzbare Syntheseverleistung für den chemischen Verarbeitungsprozess gegeben ist.

Das Potential der pflanzlichen Syntheseleistung liegt in den wert gebenden, teilweise chemisch komplexen Molekülstrukturen der Pflanzeninhaltsstoffe (Aminosäuren, Vitamine, Carotinoide, etc.). Die spezifische Syntheseleistung der Natur macht die ER besonders interessant. Dennoch müssen solche Produkte einige Kriterien erfüllen. Zunächst müssen sie Eigenschaften aufweisen, die auf petrochemischer Basis nicht so leicht zu erreichen sind.

Eine wichtige Voraussetzung für die Verwendung von Naturstoffen sind hohe Erträge der Nutzpflanzen und die Anpassung der Inhaltsstoffe an industrielle Bedürfnisse, also beispielsweise eine möglichst einheitliche Zusammensetzung natürlicher Öle mit einem sehr hohen Anteil einer bestimmten Fettsäure. Das bedeutet auch die weitgehende Vermeidung unerwünschter Koppelprodukte.

Weiterhin sind eine konstante Qualität, eine ausreichende und gesicherte Verfügbarkeit und - von besonderer Wichtigkeit für eine industrielle Verwertung - ein wettbewerbsfähiger Preis gefordert.

Insbesondere in drei Gebieten werden die Fortschritte der Pflanzenbiotechnologie in Forschung und Entwicklung für wichtige Impulse sorgen:

- in der Pflanzenzüchtung
- beim Pflanzenschutz
- bei der Bereitstellung von geeigneten Rohstoffpflanzen

Auch für die Anwendung von ER im Bereich der Chemie eröffnet die Pflanzenbiotechnologie neue Perspektiven. Denn der Gehalt einzelner erwünschter Rohstoffe lässt sich gezielt steigern, die Rohstoffe in ihrer Art und Zusammensetzungen an die Bedürfnisse der Chemie anpassen. So kann in der Kartoffel der Gehalt an Amylose und Amylopectin jeweils optimiert werden. Die Pflanze kann aber auch unmittelbar als "Produktionsanlage" für hochwertige Inhaltsstoffe, wie Vitamine fungieren. Die Beispiele zeigen auf, welches enorme Potential in der Pflanzenbiotechnologie steckt.

Die Pflanzenzüchtung hat es sich zur Aufgabe gemacht, die Fettsäurezusammensetzung von Pflanzenölen den jeweiligen Anforderungen der chemischen Industrie anzupassen. Gelungene Beispiele sind die Ölsäuretypen bei Sonnenblumen (High – oleic – Sonnenblumen) und Saflor, erucasäurefreier Raps (00-Raps) sowie Lein – Genotypen mit stark reduziertem Linolensäuregehalt. Weiterhin sollen mit Hilfe der Pflanzenzüchtung bestimmte Ölpflanzen an das mitteleuropäische Klima angepasst werden. Derzeit befinden sich vor allem in Deutschland aber auch in Österreich verschiedene „neue“ Ölpflanzen wie hochölsäurereiche Sonnenblumen, Krambe, Leindotter, Koriander und verschiedene Euphorbia-Arten im Versuchsanbau. Die Gentechnologie ermöglicht u. a. durch Übertragung von Genen die Ölqualität an die technischen Anforderungen anzupassen. Die ersten Anbauerfolge wurden mit einer transgenen Rapssorte mit hohem Laurinsäureanteilen im Rapsöl in den USA realisiert.

Zukünftig könnte es also möglich sein, bei der Tensidherstellung für Wasch- und Reinigungsmittel auf Laurinsäure aus dem heimischen Rapsanbau zurückzugreifen. Damit würde die Oleochemie der Industrieländer unabhängig von Palmkernölimporten werden.

5.5 FERMENTATION

Vorteile von Fermentationsprozessen:

- Es kann grundsätzlich jeder Rohstoff, der Kohlenhydrate enthält, als Substrat eingesetzt werden. Damit beschränkt sich das Rohstoffangebot nicht nur auf Biomasse. Auch organische Abfälle oder Nebenprodukte aus der landwirtschaftlichen Verarbeitung (Stroh, Holzabfälle, Biomüll) können herangezogen werden.
- Fermentationsverfahren arbeiten bei niedrigen Drücken und niedrigen Temperaturen. Die dadurch entstehenden Anlagekosten sind vielfach geringer als bei chemischen Produktionsanlagen.
- Die bei der Fermentation anfallenden Nebenprodukte sind meist nicht toxisch.
- Die Rohstoffe werden meist im Inland produziert, während Erdöl bzw. Chemierohstoffe zum Großteil importiert werden müssen. Das ermöglicht eine Verbesserung der Außenhandelsbilanz.
- Die Schaffung von zusätzlichen Arbeitskräften wird selbst von der Europäischen Kommission als großes Potential angesehen, wobei gerade diese Technologien zur Weiterentwicklung des ländlichen Raumes eine besondere Bedeutung haben.

Als wesentlicher Nachteil fermentativer Verfahren gilt derzeit noch die Anlagengröße. Die Kosten für das Sammeln/Ernten, den Transport und die Lagerung limitieren derzeit die Anlagengröße für Biomasse verarbeitende Betriebe, während den petrochemischen Anlagen diesbezüglich kaum Grenzen gesetzt sind.

Viele Verfahren zu Herstellung von Massenchemikalien stehen derzeit dennoch an der Schwelle zur Wirtschaftlichkeit, jede Erhöhung der Rohstoffpreise der Petrochemie eröffnet neue Chancen für diese auf Biomasse basierenden Verfahren (Lit²²).

5.6 KATALYSE

In herkömmlichen Verfahren werden Vitamine und Aminosäuren durch komplexe chemische Syntheseschritte hergestellt. Dazu werden viel Energie und Rohstoffe benötigt. Neue biokatalytische Methoden ermöglichen es, diese Stoffe effizienter und ressourcenschonender mithilfe von lebenden Zellen oder isolierten Enzymen zu erzeugen. Sie können viel stufige Prozesse aus der klassischen Chemie ersetzen.

Aufgrund ihrer besonderen Effizienz bei der Produktion hochwertiger Erzeugnisse ist die Biokatalyse ein wirtschaftlich sehr

interessantes Geschäftsfeld. Biokatalytisch gewonnene Produkte werden in der Human- und Tierernährung sowie bei der Herstellung von Agrar- und Pharmaprodukten eingesetzt.

Bei der Biokatalyse lassen sich fermentative von enzymatischen Prozessen unterscheiden:

- Bei der Fermentation werden die Stoffwechselfunktionen lebender Mikroorganismen genutzt.
- Bei der zweiten Variante, den enzymatischen Prozessen, wird ein Enzym zugesetzt, um nur einen bestimmten Reaktionsschritt zu katalysieren. Die verwendeten Enzyme werden in der Regel aus Mikroorganismen isoliert.

5.7 RESTSTOFFNUTZUNG

Nur ein geringer Teil der geernteten und verarbeiteten biogenen Rohstoffe wird als Produkt auf den Markt gebracht. Die Werte für die in den Prozessen anfallenden biogenen Reststoffe schwanken je nach Produkt zwischen 10% bis 90%.

Diese Mengen gehen auf dem Weg zum Konsumenten während der verschiedenen Bearbeitungsschritte „verloren“. Für biogene Reststoffe heißt das meist, dass diese einer Kompostierung oder thermischen Verwertung zugeführt oder anderweitig genutzt werden. Diese biogenen Reststoffe beinhalten jedoch häufig wertvolle und potentiell gewinnbringende Bestandteile (sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe, hochstrukturierte Biomoleküle,...), die eine Basis für eine zusätzliche industrielle und gewerbliche Nutzung bilden können.

Aus den bei der Produktion des „Primärproduktes“ anfallenden biogenen Reststoffen können durch eine stoffliche Nutzung der Sekundärrohstoffe weitere Produkte („Sekundärprodukte“) erzeugt werden (Abbildung 9); eine anschließende thermische Nutzung oder Kompostierung erfolgt erst im aller letzten Schritt.

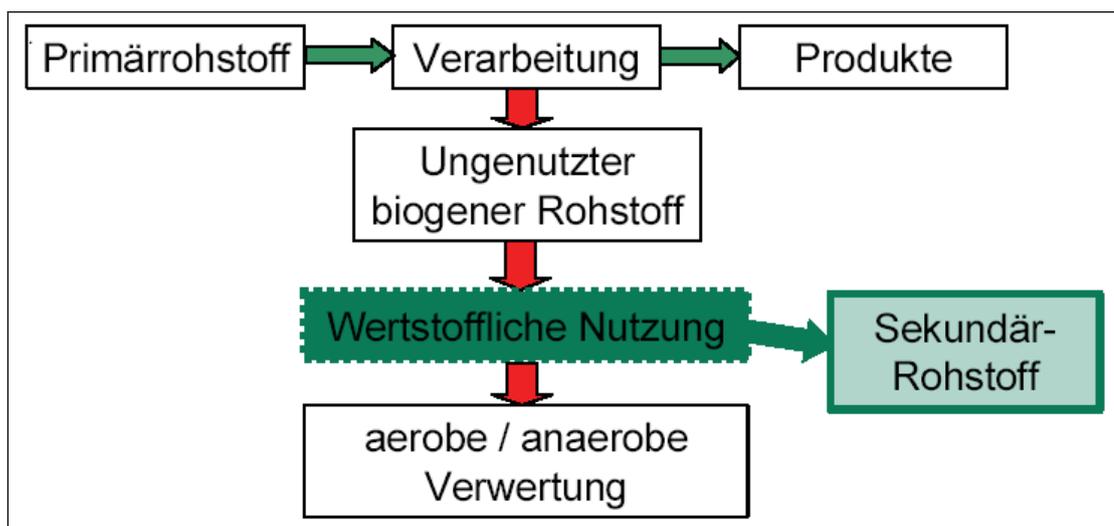


Abbildung 9: Die wertstoffliche Nutzung biogener Reststoffe (Lit²³)

Unter Verwendung von nachhaltigen Verarbeitungstechnologien könnten daher, durch eine teilweise inhaltsstoffliche Nutzung der biogenen Reststoffe vor ihrer aeroben oder anaeroben Verwertung, folgende Vorteile lukriert werden:

- weniger Abfälle/Emissionen und dadurch Schonung des Ökosystems
- weniger Natur- und Ressourcenverbrauch (z.B. Wasser, Energie) bzw. effizientere Ressourcennutzung (Faktor 4, Faktor 10, etc.)
- geringere Kosten für die produzierenden Unternehmen durch Einsparungen bei den Ressourcen und Einsparungen bei den Abfallentsorgungskosten
- eine zusätzliche Wertschöpfung durch die Weiterverarbeitung (Wertschöpfungssteigerung durch eine wertstoffliche Nutzung der Sekundärrohstoffe) im Unternehmen oder extern, und dadurch Schaffung zusätzlicher Arbeitsplätze
- Verfahrens-Know-how als zukünftige Markt- und Exportchance

Viele Firmen nutzen die Chancen, die die Reststoffnutzung bietet, bereits wie z.B. die Lenzing AG (Rückgewinnung von Essigsäure, Furfural und Xylit) in großem Ausmaß, doch ist das vorhandene Potential sicher noch nicht ausgeschöpft. Auch die Bioraffinerie (siehe auch 6.1.3) ist je nach Ausgangsrohstoff ein Beispiel für eine effiziente Reststoffnutzung. Weitere Beispiele möglicher Reststoffnutzungen siehe auch Lit²³, Lit²⁴, Lit²⁵.

5.8 VORBEREITUNGS- UND AUFBEREITUNGSPROZESSE

Die Zusammensetzung von jeglicher Biomasse kann in Abhängigkeit ihrer Herkunft (aquatisch – terrestrisch, Frischmasse – Abfall) stark schwanken. Die größten Unterschiede finden sich in den Wasser- und Aschegehalten. Hiermit ergeben sich auch zwingend verschiedene Möglichkeiten in der Weiterverarbeitung, sowohl auf stofflicher als auch auf energetischer Basis. Im folgenden sind die wichtigsten Verfahrensgruppen nochmals aufgezählt, sowie einige der gängigsten Operationen in diesen Gruppen angeführt. Manche Operationen finden sich in unterschiedlichen Gruppen wieder, was an deren vielfachen Einsatzmöglichkeiten liegt.

5.8.1 TROCKNEN UND ENTWÄSSERN

Da Biomasse im frischen Zustand zumeist einen relativ hohen Wassergehalt aufweist (Trockenmassen von 10-75% sind üblich) stellt eine Verringerung des Wassergehaltes oft einen wichtigen ersten Schritt vor der Weiterverarbeitung dar. Hohe Wassergehalte wirken sich meist negativ auf die Wirtschaftlichkeit von Verarbeitungsprozessen von Biomasse aus.

Gängige Methoden und Geräte zur Trocknung: Solar-Trocknung, Freiluft-Trocknung, Sprühtrockner, Trommeltrockner, Öfen (Konvektions-, fremdbelüftet, etc.), u. a.

Methoden und Geräte zur Entwässerung: Unterschiedliche Filtrationsmethoden, Zentrifugen, Hydrocyclone, Extruder und „Expression“ Pressen, Extraktoren, Eindickungs-, Sedimentations-, und Flotationstechniken teilweise unter Einsatz oberflächenaktiver Stoffe.

Ein weiterer wichtiger Parameter bei der Verarbeitung von Biomasse ist die Größe der eingesetzten Menge. Bei vielen Prozessen zur Gewinnung von Wertstoffen aus Biomasse spielt eine optimale Stückgröße wegen physikalisch - chemischer Phänomene (Wärmetransport, Diffusion an Grenzflächen, etc.) eine wichtige Rolle. Folgende bekannte Standardoperationen kommen bei der Zerkleinerung zum Einsatz: Mahlen (Prall- und Schlagmethoden), Schneiden, Hacken, Häckseln.

Steam Explosion: Behandlung vor allem von Holz und ligno-cellulotischem Material mittels Dampf bei erhöhtem Druck und Temperatur gefolgt von rascher Entspannung führt zur vollständigen Zerfaserung.

Für den Transport von Biomasse muss diese oftmals im Vorfeld verdichtet werden. Verwendung finden hier unterschiedliche Pressen, Extruder, etc.

Schließlich müssen Wertstoffe aus der Biomasse, vor allem, wenn die Erhaltung ihrer Struktur gewünscht ist, aus der restlichen Matrix abgetrennt werden. Bei vielen Verfahren ist darüber hinaus eine Aufreinigung der gewonnenen Stoffe notwendig.

Es existieren folgende Basisoperationen:

- Sieben, Sichten, Sedimentieren
- Filtration
- Zentrifugation
- Extraktion
- Destillation
- Kristallisation
- Chromatographie

6 DIE „BIOBASED ECONOMY“ – EINE MÖGLICHE ZUKUNFTSPERSPEKTIVE?

„Anything that can be made from a hydrocarbon could be made from a carbohydrate.“

„Chemurgy movement“ in den 1930er Jahren, geleitet von bekannten Persönlichkeiten, wie William Hale und Henry Ford, die die Verwendung von Agrarprodukten als Quelle für Chemikalien propagierten.

Die vollständige Einführung einer „Biobased Economy“ als neue oder begleitende Wirtschaftsform wird noch Jahre bzw. Jahrzehnte dauern. Natürlich werden in gewissen Sparten der chemischen Industrie Biomasseprodukte schon immer eingesetzt. Eine neue Wirtschaftsform beinhaltet neue Lösungen zu suchen, um den derzeitigen Prozess des rasanten Verbrauchs an fossilen, nicht erneuerbaren Ressourcen (Erdöl, Erdgas, Kohle, Mineralien) zu entschleunigen. Wesentlich wird dabei sein, inwieweit es gelingt, die derzeitige auf fossilen Rohstoffen basierte Produktion von Waren schrittweise auf eine auf biologischen Rohstoffen basierte industrielle Produktion von Waren umzustellen. International einig ist man sich darin, dass von dieser Umstellung die Weiterentwicklung der menschlichen Zivilisation und die Weltökonomie abhängig sein könnte.

Ein nachhaltiges wirtschaftliches Wachstum erfordert sichere Rohstoffressourcen für die industrielle Produktion. Die Umstellung ganzer Volkswirtschaften auf biogene Rohstoffe als Wertschöpfungsquelle erfordert ganz neue Ansätze in F&E. Zum einen kommen den biologischen und chemischen Wissenschaften eine führende Rolle bei der Formierung der Zukunftsindustrien des 21. Jahrhunderts zu. Zum anderen müssen neue Wege des Zusammenwirkens der biologischen, physikalischen, chemischen und technischen Wissenschaften erarbeitet und gefunden werden. Dies muss im Verbund mit neuen Verkehrstechnologien, Medien- und Informationstechnologien, Wirtschafts- und Sozialwissenschaften umgesetzt werden.

Als vier Hauptproduktionsreihen für die „Biobased Economy“ bieten sich an:

- Produktion von Bulkchemikalien, die Erdöl in größerem Maßstab ersetzen könnten
- Produktion von Fein- bzw. Spezialchemikalien für Marktnischen
- Produktion von Materialien aus Biomasse wie Cellulosefasern oder Lignocellulosematerial zur Konstruktion
- Produktion von Spezialchemikalien aus Biomasse, die bereits biochemisch durch die Pflanze hergestellt wurden

6.1 AKTUELLE BEGRIFFSABGRENZUNG

Die Dimension des potentiellen Einflusses dieser grundlegenden Veränderung der Rohstoffbasis der Industrie auf die Wirtschaft ist enorm. Die fossilen Kohlenstoffträger Erdöl und Erdgas sollen durch einen erneuerbaren, die regenerative Biomasse (hauptsächlich die pflanzliche Biomasse, aber in Einzelfällen auch tierische), abgelöst werden.

Die Produkte aus Biomasse werden „Biobased Products – Biomasseprodukte“ bzw. „Bioenergy – Biomasseenergie“ genannt. Als grundlegende Basistechnologie wird mit der Einführung von „Biorefineries - Bioraffinerien“ gerechnet, welche als neue Produktionsstätten die konventionellen erdölbasierten Raffinerien verdrängen sollen. Sogar das Wort „Bioeconomy – Bio(masse)wirtschaft“ wird verwendet (Lit³).

Während forschungs- und entwicklungsseitig auf dem jungen Arbeitsgebiet der „Biorefinery System Research“, vor allem in Europa (auch in Österreich) bereits beträchtliche Entwicklungen und Erfolge zu verzeichnen sind, haben großindustrielle Entwicklungen erst im Jahre 2000 durch Aktivitäten des amerikanischen Präsidenten und Kongress vor allem in den USA einen wesentlichen Schub erfahren (Lit³).

Die Entwicklung von Bioraffinerien wird dabei „der Schlüssel für den Zugang zu einer integrierten Produktion von Nahrungsmitteln, Futtermitteln, Chemikalien, Werkstoffen, Gebrauchsgütern und Brennstoffen auf Basis biologischer Rohstoffe der Zukunft sein“ (Lit²⁶).

6.1.1 „BIOBASED PRODUCTS“

Der Ausdruck „Biobased Products“ wird vom National Research Council der USA (Lit³) folgendermaßen definiert:

“The term “Biobased Products” means a commercial or industrial product (other than food or feed) that utilizes biological products or renewable domestic agricultural (plant, animal, and marine) or forestry materials”.

Biomasseprodukte, die derzeit industriell eingesetzt werden, decken in ihrem Anwendungsgebiet eine große Spanne von der Anwendung als Lösungsmittel und in Farben bis hin zu Pharmazeutika, Seifen, Kosmetika und Bauhilfsstoffen ab.

Ressource	Verwendung
Getreide	Lösungsmittel, Pharmazeutika, Klebstoffe, Harze, Bindemittel, Polymere, Reinigungsmittel, Ethanolherzeugung
Pflanzliche Öle	Tenside in Seifen und Detergentien, Pharmazeutika (nicht aktive Bestandteile), Tinte, Farben, Harze, Kosmetika, Fettsäuren, Schmiermittel, Biodiesel
Holz	Papier, Baumaterial, Cellulose für Fasern und Polymere, Harze, Bindemittel, Klebstoffe, Überzüge, Farben, Tinte, Fettsäuren

Tabelle 1: Herkömmliche Produkte aus Biomasse

Die Verwendung von Biomasse zur Erzeugung von Industrie- und Konsumgütern ist grundsätzlich nicht neu (siehe Tabelle 1). Trotzdem gibt es viele neue Biomasseprodukte, die ihre Wurzeln nicht in der traditionellen Anwendung der Biomasse

haben. Diese neuartigen Produkte können mit Produkten aus Petroleum und mineralischen Ressourcen konkurrieren und sie in manchen Fällen auch ersetzen. Materialien aus Biomasse werden häufig auch mit petrochemischem oder mineralischem Material kombiniert um ein Produkt zu bilden. Ein wichtiger Faktor für die Einführung dieser Produkte in den Markt wird nach Meinung amerikanischer Experten die allgemeine Akzeptanz in der Bevölkerung sein.

Ein „Biobased Product“ weist einen Biomassegehalt von mindestens 90% (neben Wasser und anderen anorganischen Bestandteilen) oder mehr auf (gemessen am Volumen bzw. am Gewicht). Beispiele für diese Biomasseprodukte sind: Papier- und papierähnliche Produkte, Holzverbundstoffe, Reinigungs- und Lösungsmittel, Farben, Lacke, Schmierstoffe, Tinte, Kleber und andere Überzüge, alternative Treibstoffe, Textilien, Vliesstoffe, Holzmöbel und Nebenprodukte, Insektizide und Düngemittel, Nahrungsmittel, Getränke und Nahrungsmittelergänzungstoffe, eine Vielfalt an Produkten aus tierischem Material wie Leder und Quellen für Bioorganismen wie Hormone oder Enzyme.

Dann existieren noch Produkte mit einem relativ hohen Biomasseanteil aber weniger als 90% Biomassegehalt. Zu diesen Produkten gehören z.B.: Schmiermittel mit Erdölkomponenten, Holzplatten mit synthetischen Klebern und Bindemittel, „gemischte“ Textilien (Baumwolle/Polyester), Bestandteile von Autos mit Biokomponenten, etc.

6.1.2 DIE „BIOBASED ECONOMY“

Die wichtigsten Bestandteile, die eine zukünftige „Biobased Economy“ bestimmen werden, sind (Lit³):

- Rohstoffe aus regenerativen Quellen (Biomasse)
- Hochproduktive landwirtschaftliche Systeme zur Produktion von Nahrungsmitteln und Chemikalien
- Integrierter, multidisziplinärer Forschungs- und Entwicklungszugang (Landwirtschaft, Prozesstechnologie, Gesundheits- und Informationstechnologie und viele andere Technologien)
- 50% der Treibstoffe und mehr als 90% der organischen Chemikalien stammen aus Biomasse
- Positive Auswirkungen auf die Umwelt, Energiesicherheit und regionale Wertschöpfung

Die positiven Auswirkungen daraus sind:

- Nachhaltige Produktion von Rohstoffen, Nahrungsmitteln und Energie
- Revitalisierung der Landwirtschaft und besser abgestimmter Verbrauch der vorhandenen Ressourcen
- Geringere Abhängigkeit vom ausländischen bzw. zurückgehenden Vorrat der erdölbasierenden Rohstoffe
- Politische und ökonomische Unabhängigkeit und Sicherheit
- Funktionell anspruchsvolle Produkte mit hoher Wertschöpfung

Der Zeitpunkt der Einführung einer „Biobased Economy“ ist derzeit noch nicht abschätzbar. Die Einführung wird sich Schritt für Schritt entwickeln. Die Vermutungen von Experten zielen auf 2010, 2020 oder 2090 ab (Lit³, Lit²⁶). Derzeit wird vor allem im National Research Council der USA mit Vertretern aus Industrie und Wissenschaft darüber diskutiert, wie die Entwicklung zu dieser visionären Wirtschaftsform aussieht. Dass die „Biobased Economy“ derzeit noch nicht existiert, darüber sind sich die Experten einig. Vor allem solange Probleme wie die Sicherheit der Prozesse z.B. die der Gentechnik nicht gewährleistet sind oder die Entscheidungen vorwiegend nur von den großen chemischen Konzernen getroffen werden. Die Art der Entwicklung der „Biobased Economy“ wird also stark davon abhängen, ob sie von profitgeleiteten Konzernstrukturen, oder von einer selbstständigen, regierungs-/universitätsgestützten Forschung getragen wird oder ob eine gemeinsame Entwicklung von beiden möglich ist.

6.1.3 DIE BIORAFFINERIE

Gegenwärtig erzeugen Erdölraffinerien sehr effizient eine Vielzahl von Produkten für nahezu alle Lebensbereiche. Der fossile Rohstoff ist derzeit billig und in beliebigen Mengen vorhanden, steht jedoch in Zukunft nur begrenzt zur Verfügung. Die Entwicklung von vergleichbaren Bioraffinerien wird notwendig sein, um viele biologische Produkte konkurrenzfähig zu ihren auf fossilen Rohstoffen basierenden Äquivalentprodukten zu machen. Jede Bioraffinerie raffiniert und konvertiert ihre jeweiligen biologischen Rohstoffe in eine Vielzahl von Wertprodukten. Die Produktpalette einer Bioraffinerie umfasst nicht nur solche Produkte, die in einer Erdölraffinerie hergestellt werden, sondern im besonderen auch solche, die Erdölraffinerien nicht produzieren können.

Die Gegenüberstellung von Erdöl und Biomasse hat dazu geführt, dass für die künftigen Verarbeitungsanlagen für Biomasse der bereits angeführte Begriff Bioraffinerie geprägt worden ist. Von der Produktseite her gesehen bedeutet eine Umstellung der Rohstoffbasis von Erdöl auf Biomasse auch, dass die Versorgung der Wirtschaft mit bewährten Produkten weiter gesichert werden muss. Raffinerieprodukte kommen damit weiter aus Raffinerien, auch wenn deren Rohstoffbasis verändert wurde. Die Organisationsform der Produktion ändert sich nicht grundsätzlich.

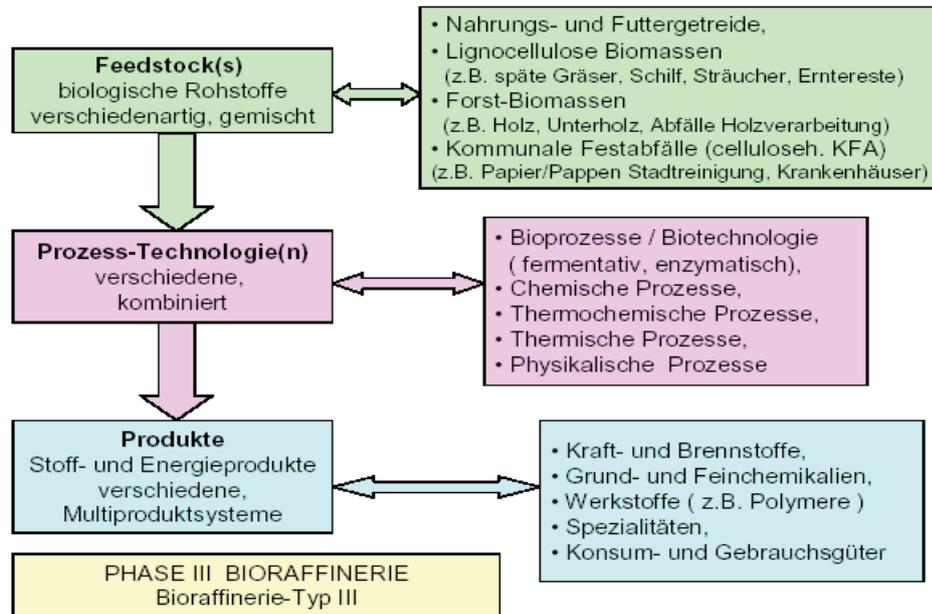


Abbildung 10: Grundprinzipien einer Bioraffinerie (Lit²⁶)

Biomasse ist wie Erdöl komplex zusammengesetzt. Ihre primäre Auftrennung in einzelne Hauptgruppen von Stoffen ist zweckmäßig. Deren nachfolgende Verarbeitung führt zu einer breiten Palette von Produkten. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass Erdöl extraktiv aus der Natur gewonnen wird, während Biomasse bereits ein Produkt ist, und zwar zumeist das eines landwirtschaftlichen Verarbeitungsschrittes. Biomasse kann also im Verlaufe ihrer Herstellung bereits so gesteuert werden, dass sie dem Zweck der nachfolgenden Verarbeitung angepasst ist und bestimmte gewünschte Hauptprodukte bereits vorgebildet worden sind. Man hat für diese den Begriff "Precursors - Präkursoren" (Vorgänger) übernommen (siehe Abbildung 11).

Pflanzliche Biomasse weist immer die Grundbestandteile Kohlenhydrate, Lignin, Proteine und Fette auf. Daneben besitzen sie diverse Inhaltsstoffe wie Vitamine, Farbstoffe, Geschmacks- und Geruchsstoffe der unterschiedlichsten chemischen Struktur.

Für einen technisch realisierbaren Trennungsgang, der die separate Nutzung oder Weiterverarbeitung aller dieser Grundprodukte ermöglichen würde, sind heute erst Ansätze vorhanden. Es ist aber eine allgemein anerkannte Zielvorstellung, die Biomasse unter Beibehaltung ihres Kohlenstoffskeletts aufzutrennen und Wertstoffe zu gewinnen, die nur in geringen Mengen in der Biomasse vorkommen, aber einen hohen Wertzuwachs versprechen wie z.B. Vitamine oder Steroide.

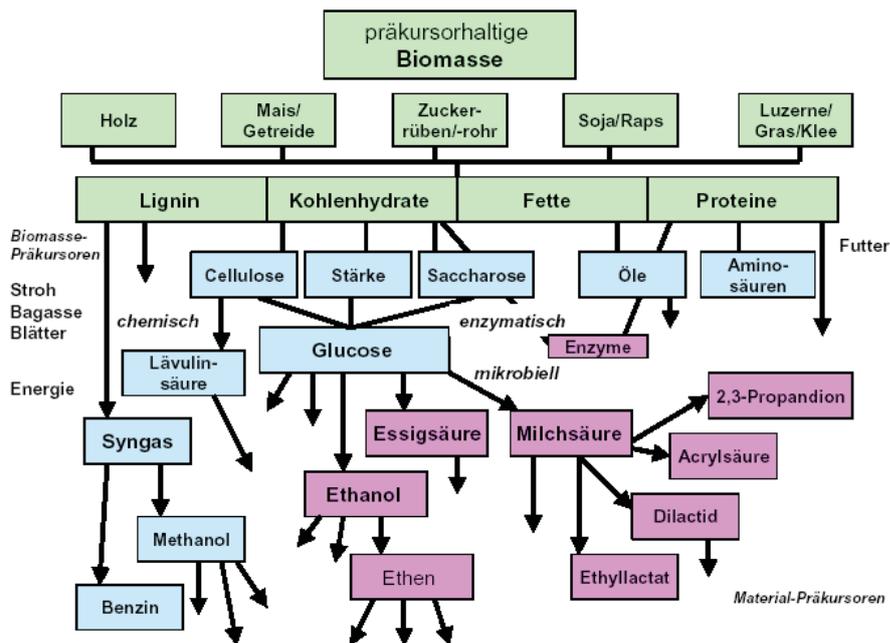


Abbildung 11: Bioraffinerie - Grobschema für präkursorhaltige Biomasse unter Bevorzugung der Kohlenhydratlinie (Lit²⁶)

So wird z.B. präkursorhaltige Biomasse im ersten Schritt einer Bioraffinerie einer physikalischen Stofftrennung unterworfen. Die Hauptprodukte und Nebenprodukte werden in Folge mikrobiologischen oder chemischen Stoffumwandlungsreaktionen ausgesetzt. Die Folgeprodukte der Haupt- und Nebenprodukte können dann weiterkonvertiert oder in einer konventionellen Raffinerie Eingang finden.

Auf eine möglichst vollständige Verwertung aller eingesetzten bzw. entstandenen Stoffe wird geachtet. Infolge des biogenen Charakters des eingesetzten Rohstoffes ist die stärkere Einbeziehung enzymatischer und mikrobieller Prozesse zur Stoffwandlung sowohl in den Aufschluss- als auch Verarbeitungsprozessen gefragt.

Der Begriff Bioraffinerie gewinnt also eine doppelte Bedeutung, einmal wegen der biologischen Herkunft des zu verarbeitenden Rohstoffs, zum anderen wegen des zunehmend biologischen Charakters der ausgewählten Verarbeitungsmethoden.

Gegenwärtig werden in Forschung, Entwicklung und Praxis drei Systeme stark forciert:

- 1) Die LCF-Bioraffinerie (Lignocellulose Feedstock Biorefinery, Rohstoffe: „naturtrockene“ Biomasse, cellulosehaltige Biomassen und Abfälle)
- 2) Die Getreidebioraffinerie (Cereale-Biorefinery, Corn-Refinery, Rohstoffe: Getreide-Ganzpflanzen z.B. Triticen, Stärkepflanzen z.B. Mais)
- 3) Die grüne Bioraffinerie (Green Biorefinery, Rohstoffe: „naturfeuchte“ Biomassen, grünes Gras, Luzerne, Klee, unreifes Getreide)

Unter den großtechnischen potentiellen Bioraffinerien wird sich vermutlich die so genannte Lignocellulose-Bioraffinerie (LCF-Biorefinery) am erfolgreichsten durchsetzen. Zum einen ist hier eine gute Rohstofflage absehbar (Stroh, Schilf, Gras, Holz, Papierabfälle etc.), zum anderen haben die Konversionsprodukte eine gute Position im herkömmlichen fossilbasierten wie auch zukünftigen biobasierten Produktmarkt.

Anders als bei der Einführung biotechnologisch hergestellter neuer Arzneimittel geht es hier nicht darum, neue Wirkungen mit neuen Stoffen hervorzubringen, als vielmehr bewährte Stoffe mit bekannten Eigenschaften auf neue Weise zu erzeugen sowie die so genannten „Sleeping Chemicals“ zum Leben zu erwecken. Letzteres betrifft vor allem die große Palette der wissenschaftlich domestizierten Natur- und biochemischen Stoffe, die jedoch über das Laborstadium nie hinausgekommen sind.

Innovationen werden hier weniger auf dem Gebiet der Produktfindung und -anwendung als vielmehr auf dem Gebiet der Produktherstellung und Produktionsmethodik zu finden und einzusetzen sein. In Folge von Bioraffinerieentwicklungen wird sich jedoch ein Produktfindungsprozess zwangsläufig verstärkt anschließen.

Während auf dem Gebiet der Biomassepharmazeutika eine „Bottom - up“ - Entwicklung sichtbar geworden ist, deutet sich für die Entwicklung der restlichen Biomasseprodukte und einer darauf aufbauenden Biomassewirtschaft eher ein „Topdown“ Vorgang ab. Das liegt einfach an dem komplexen Charakter dieser Produktion und der dafür notwendigen Verzahnung von großen Komplexen wie Landschaft, Landwirtschaft, Industrie, Umwelt und Verbraucher. In den USA wird das bemerkbar durch Erlasse des Präsidenten, durch Gesetze zur Förderung des Forschungsgebiets und Einrichtung von Regierungsgremien zur Realisierung praktischer Schritte. (Lit¹², Lit¹⁰)

Es muss festgestellt werden, dass seit der ersten Erdölkrise in den frühen 1970er Jahren bereits mehrere Anläufe zur Nutzbarmachung regenerierbarer Rohstoffe und zur Ablösung von Erdöl als Rohstoffbasis unternommen worden sind. Sie sind aber bis jetzt alle wieder erlahmt. Ob der jetzige Anlauf erfolgreich sein wird, entscheidet sich wesentlich über das greifbare Innovationspotential für die neue Produktionsmethodik und über das Management zur Einführung der so gewonnenen Produkte in den Markt.

Es erscheint sicher, dass isolierte Schritte einzelner Länder, auch solcher mit großem Potential, keinen überragenden Einfluss auf die Biosphäre bzw. das Klima bringen werden. Das wird nur geschehen, wenn wirklich global gehandelt wird. Hier werden schon in vielen Ländern vorbereitende Maßnahmen auch auf Regierungsseite unternommen (siehe auch Kapitel 9).

Dennoch kommt - gemessen am Stand in den USA - die auf Industrie und Umwelt ausgerichtete Biotechnologie, die sogenannte „White Biotechnology“ (siehe auch Kapitel 9.5.1), in Europa zur Zeit noch kaum vor. Gerade ist hier die biopharmazeutisch geprägte Phase der Biotechnologieentwicklung in die Gänge gekommen. Von einer Bio(masse)wirtschaft als Zielstellung spricht noch niemand. Entsprechend fehlen zur Zeit die Standpunkte der Landwirtschaft, der Auto- und Erdölindustrie sowie der Landschafts- und Klimaschutzgremien.

Sicher müssen für deren Ausarbeitung noch Erhebungen zu Energie- und Stoffbilanzen, zur Realität der Einflussnahme auf das Klima, sowie Vergleiche zur Wirtschaftlichkeit der neuen Verfahren gegenüber den etablierten durchgeführt werden. (Lit²⁶)

6.1.3.1 DAS ÖSTERREICHISCHE KONZEPT DER GRÜNEN BIORAFFINERIE

Aufgrund regionaler Unterschiede existieren viele verschiedene Konzepte für eine grüne Bioraffinerie. Das österreichische Konzept der grünen Bioraffinerie legt seine Schwerpunkte auf die Erhaltung von Kulturlandschaften (als Basis für den Tourismus) und auf relativ kleine Strukturen in der Landwirtschaft. Mögliche Zwischenprodukte sind organische Säuren (vorwiegend Milchsäure), Aminosäuren und Fasern. Jedes dieser Zwischenprodukte bietet die Implementierung mehrerer möglicher Produktketten, die in verschiedene Marktsektoren münden: Vom Einsatz in der Landwirtschaft bis hin zu Produkten für die chemische Industrie. Viele der Produktketten sind untereinander kompatibel, d.h. nur wenige konkurrieren miteinander (z.B. die Proteinextraktion mit der Milchsäureproduktion). Die Marktwerte (Preise) der Produkte differieren stark, sie reichen von hochpreisigen Proteinen und Polylactaten zu niedrigpreisigen Fasern. Die Energieproduktion (über Biogas) aus Reststoffen soll das Ganze noch abrunden.

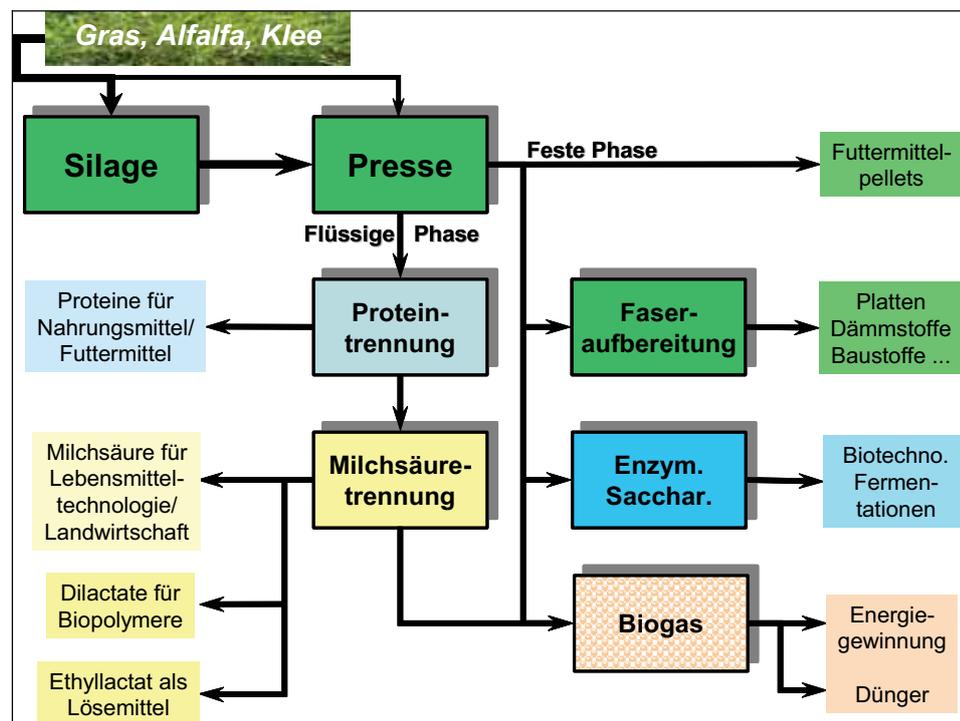


Abbildung 12: Das österreichische Konzept zur grünen Bioraffinerie (Lit²⁷)

7 „BIOBASED PRODUCTS“ IN DEN USA UND IN DER EU

7.1 DER EINSATZ VON „BIOBASED PRODUCTS“ IN DEN USA

Im Folgenden wird ein Überblick über das Feld der „Biobased Products“, wie es sich in den USA aktuell darstellt, im Sinne eines „Lernens von den Großen“ dargelegt. Sämtliche Mengen- und Preisangaben in den Tabellen (im Kapitel 7.1 und 7.2) stammen aus der Studie „Industrial Bioproducts: Today and Tomorrow“ (Lit²⁸), die im Auftrag des U.S. Regierungsbüros für Energie, im Juli 2003 von Energetics Inc. (Columbia Maryland) erstellt wurde. Als Umrechnungsfaktor wurde 1 US\$ = 0,83€ gewählt (Stand: Mai 2004). 1 Pound (lbs) entspricht 0,454 kg.

Das anschließende Kapitel Produktgruppen stellt mögliche Biomasseprodukte, eingeteilt nach Ausgangsstoff bzw. Technologie dar. Die amerikanischen Daten stammen ebenfalls aus der genannten Studie, die Produktgruppen allgemein gelten aber auch für die EU und andere Industriestaaten.

7.1.1 MARKTANTEILE UND MARKTFÜHRER VON BIOMASSEPRODUKTEN IN DEN USA

Die Biomasseprodukte werden in den USA eingeteilt in:

- Biomasseprodukte aus Zucker und Stärke
- Biomasseprodukte basierend auf Ölen und Fetten
- „Holz- und Gummichemikalien“
- Cellulosederivate, Fasern und Plastik
- Industrielle Enzyme

Folgende Marktanteile werden in den USA von Biomasseprodukten belegt:

Produkt	Gesamtproduktion [Mio t/Jahr]	Prozentanteil, der davon derzeit aus ER hergestellt wird [%]
Klebstoffe	5,0	40,0
Fettsäuren	2,5	40,0
Tenside	3,5	35,0
Essigsäure	2,3	17,5
Plastifizierer	0,8	15,0
Aktivkohle	1,5	12,0
Detergentien	12,6	11,0
Pigmente	15,5	6,0
Farbstoffe	4,5	6,0
Wandfarben	7,8	3,5
Tinte	3,5	3,5
Plastik	30,0	1,8

Tabelle 2: Marktanteile von Biomasseprodukten (USA)(Lit²⁸)

In den nachfolgenden Tabellen 3 und 4 sind die derzeitigen Produktionsdaten herkömmlicher Biomasseprodukte, deren geschätzte Wertschöpfung und die Hauptproduzenten in den USA dargestellt:

Produkte/Zwischenprodukte	Gesamtproduktion [Mio kg/Jahr]	Geschätzter Wert [Mio €/Jahr]
„Holz- und Gummichemikalien“ z.B. Harze, Tallöl, Terpentin	1.484	740
Cellulosefasern	163	630
Cellulosederivate z.B. regenerierte Cellulose, Celluloseether, Ethylcellulose	972	1.160
Chemikalien aus Stärke und Getreide	2.951	1.830
Glycerin	182	270
Ethanol	185	95
Öle und Harze z.B. Soja-, Pfefferminz-, Grüneminzöl u. a.	551	460
Aktivkohle	115	180

Tabelle 3: Produktionsdaten und Wertschöpfung von herkömmlichen Biomasseprodukten (USA) (Lit²⁸)

Biomasseproduktkategorie	Produzenten
Produkte aus Stärke und Zucker	ADM (Ethanol, Zitronensäure, Sorbitol)
	Arkenol (Ethanol)
	Cargill (Zitronensäure, Sorbitol)
	Cargill Dow (Ethyllactat, PLA)
	Cargill Corn Milling (Zucker)
	Minnesota Corn Processors (Ethanol)
	Midwest Grain Products (Ethanol)
	DuPont (1,3 - Propandiol)
	Grain Processing Company (Ethanol)
	Tate & Lyle Citric Acid (Zitronensäure)
Cellulose	Tate & Lyle – A.E. Staley (Stärke, Ethanol)
	Williams Bio-Energy (Ethanol)
Chemikalien aus Holz	Dow Chemical (Cellulosederivate)
	Celanese (Cellulosederivate)
	Westvaco (Aktivkohle, „Holzchemikalien“)
	Hercules (Aktivkohle, „Holzchemikalien“)
	Norit America (Aktivkohle)
Fette und Öle	Arizona Chemical („Holzchemikalien“)
	Georgia Pacific („Holzchemikalien“)
	Akzo Nobel Resins (Harzklebstoff)
	Cambrex (Rizinusölderivate)
	Vertec Biosolvents Inc. (Sojaprodukte)
	AG Environmental Products LLC (Lösungsmittel aus Soja, Schmiermittel)
	West Central Soy (Lösungsmittel aus Soja, Reiniger, Schmiermittel)
	Lonza (Glycerin, Fettsäuren)

Tabelle 4: Die Hauptproduzenten von Biomasseprodukten in den USA (Lit²⁸)

7.1.2 „MARKEN“ VON BIOMASSEPRODUKTEN UND TRENDS AM BIOMASSEPRODUKTMARKT IN DEN USA

Technologische Fortschritte forcieren die Reduktion der Produktionskosten von industriellen Produkten und Treibstoffen aus Biomasse. Dadurch werden sie im Vergleich zu den erdölbasierten Kohlenwasserstoffen konkurrenzfähiger. Entwicklungen in der Pyrolyse, Ultrazentrifugen- und Membrantechnologie und der Einsatz von Enzymen und Mikroorganismen als biologische Fabriken ermöglichen die Extraktion von wertvollen Komponenten aus den Pflanzen zu geringeren Kosten. Die chemische Industrie und die Nahrungsmittelindustrie entwickeln Technologien um eine kosteneffizientere Produktion von industriellen Produkten aus Biomasse zu ermöglichen.

Ein Beispiel ist ein Milchsäurepolymer (PLA), das in den USA aus Mais oder Zuckerrüben hergestellt wird. Es werden derzeit ca. 140.000 t pro Jahr dieses Polymers in einer Anlage in Nebraska (Cargill Dow Chemical) produziert. Dow will die neuen Polymere in einem breiten Anwendungsbereich einsetzen z.B. für Folien, Fasern, Behälter und als Beschichtungsmaterial für Papier und Pappe.

Weitere amerikanische Firmen entwickeln neue Prozesse, die zur Herstellung von Chemikalien und Polymeren zu relativ geringen Kosten dienen sollen, die bisher nur in teuren petrochemischen Prozessen hergestellt werden konnten (z.B. SORONA von Du Pont → 1,3 - Propandiol, eine Polymervorstufe, biotechnologische Alternative durch Produktion aus Glucose). Eine Folge werden u.a. strategische Partnerschaften zwischen der chemischen Industrie, Nahrungsmittelindustrie, Textilindustrie und den Rohstofflieferanten sein. Dow Chemical hat z.B. mit Universal Textile, einem Teppichhersteller, die neue BIOBALANCE™ - Polymerlinie mit Produkten basierend auf Sojaöl, die als Polyurethanersatz in einigen Anwendungen dienen können, ins Leben gerufen.

Ein weiterer Trend ist die vermehrte Gründung von Firmen, die Biomasseprodukte für Nischenmärkte entwickeln. Ein Beispiel ist Vertec BioSolvents, eine Firma die umweltfreundliche Lösungsmittel aus Getreide und Sojabohnen in kleinem Maßstab herstellt. Obwohl auch diese Firmen einen wichtigen Einfluss auf den Markt durch die Produktion von Feinchemikalien haben, schätzen Regierungsvertreter und Experten aus der chemischen Industrie der USA als treibende Kraft für die Einführung einer „Biobased Economy“ die Herstellung von Biomasseprodukten im Bulkmaßstab ein.

7.1.3 ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN FÜR INDUSTRIELLE BIOMASSEPRODUKTE AUS SICHT DER USA

Neben den etablierten Märkten für Biomasseprodukte wie Polymere, Klebstoffe, Lösungsmittel, Herbizide und Pharmazeutika, entwickeln sich auch viele neue Sparten für Biomasseprodukte.

Organische Chemikalien bilden das größte und direkteste Einsatzgebiet von Biomasseprodukten. Viele dieser Bulkchemikalien dienen als Monomere für Plastik (Polymere), die mit einer jährlichen Produktion von 45,4 Millionen t ein großes Potential für den Einsatz von Biomasseprodukten bieten. Nahezu alle Polymere werden derzeit noch aus Erdöl synthetisiert, mit Ausnahme der Cellulosepolymere, Linoleum, bestimmter Polyester und natürlichem Gummi. Die

Fortschritte in der Biotechnologie, in der chemischen Verfahrenstechnik und in den Trennverfahren eröffnen neue Wege zur Herstellung biobasierter Polymere wie z.B. die bereits erwähnten Polylactid (derzeit schon in Produktion) und Polytrimethylenterephthalat (PTT, Herstellung über biobasiertes 1,3 - Propandiol). Weitere organische Chemikalienmärkte für Biomasseprodukte stellen die organischen Säuren, Alkohole und Lösungsmittel dar. Ethanol hat sich als Treibstoff aber auch für andere industrielle Anwendungen bereits etabliert.

Schmiermittel basieren derzeit vorwiegend auf Erdöl, ursprünglich wurden sie durch relativ einfache Modifikationen aus Pflanzenöl hergestellt. Langsam erobern die aus Biomasse hergestellten Schmiermittel ihren Weg in den Markt wieder zurück. Die potentiellen Möglichkeiten eines „neuen“ Einsatzes für Biomasseprodukte (also jene Produkte, die noch keinen Markt besitzen) sind in Tabelle 5 auf der folgenden Seite nach Technologieart zusammengefasst, da neue Prozesstechnologien auch einen wesentlichen Faktor für die Wettbewerbsfähigkeit dieser Produkte darstellen.

Technologieart	Chemische Produkte	Anwendungen	Aktuelle Marktgröße Anwendungen (alle Rohstoffbasen) [Mio kg/Jahr]	Potentielle Marktgröße Biomasseprodukt bis zum Jahr 2020 [Mio kg/Jahr]
Zuckerfermentation	Milchsäure (= 2-Hydroxypropionsäure) (seit kurzem biomassebasierend)	Lebensmittelzusatzstoff, Elektrolysebädezzusatz, Textil- und Lederzusatz	< 2 (für industrielle Anwendung)	BIP - ähnlicher Anstieg wird erwartet
	Polylactid (seit kurzem biomassebasierend)	Thermo- und Filmverpackungen, Fasern und Faserfüllanwendungen	Verpackungen: 9.665 Fasern: 1.257	3.630
	Ethyllactat (seit kurzem biomassebasierend)	Lösungsmittel (gemeinsam mit Fettsäuremethylester auf Sojaölbasis), chemische Zwischenstufe	3.632 – 4.540	> 455
	1,3 - Propandiol	Kleidung, Polstermöbel, Spezialharze, u. a.	gering	230
	Bernsteinsäure (= Butandisäure)	Tenside und Detergentien, Chelatkomplexbildner, Nahrungsmittel, Pharmazeutika, Antibiotika, Aminosäuren, und Vitaminproduktion	USA: gering Welt: 15	BIP - ähnlicher Anstieg
	Bernsteinsäurederivate (Tetrahydrofuran, 1,4-Butandiol, γ - Butyrolacton, N - Methylpyrrolidon, 2 - Pyrrolidon, Salze der Bernsteinsäure)	Lösungsmittel, Klebstoffe, Druckertinte, magnetische Klebebänder, Harzüberzüge, Plastifizierer/Emulgierer, Enteiser, Herbizidinhaltsstoff, chemische und pharmazeutische Zwischenprodukte	633	> 40
	Bionolle 4,4 - Polyester	Thermoplastische Polymeranwendungen	11.350 – 27.240	> 1.820
	3 - Hydroxypropionsäure und Derivate (Acrylsäure, Acrylonitril, Acrylamid, 1,3 - Propandiol) N - Butanol	Acrylate, Acrylfasern, Polymere und Harze	2.423	Technologie wird gerade entwickelt
	Itaconsäure (= niedermolekulare Carbonsäure)	Lösungsmittel, Plastifizierer, Polymere, Harze	840	könnte beträchtlich sein
	Itaconsäure (= niedermolekulare Carbonsäure)	Derzeit: Farben und Lacke, im Eloxalverfahren von Al, reaktives Comonomer, Verdickungsmittel für Fette, Pharmazeutika, Herbizid Mögliche weitere Anwendung: Methylmethacrylatanwendungen, Klebstoffe	821 (Itaconsäure und Derivate)	wenn Technologie ausgereift, möglicherweise beträchtlich
Fermentation und thermochemische Verfahren von Zuckern	Propylenglykol	Lösungsmittel, für Wärmetauscherfluide, Feuchtigkeitsspender, Plastifizierer, als Polyurethankettenverlängerer, Kälteschutzmittel	499	> 230
	Isosorbid (seit kurzem biomassebasierend)	Derzeit: aktiver Inhaltsstoff in harntreibender und entzündungshemmender Medizin Potentiell: Polymeradditiv	gering	wenn Technologie ausgereift 45 - 140
Thermochemische Verfahren von Zucker	Lävulinsäure (= 4 - Oxopentansäure) und ihre Derivate (Methyltetrahydrofuran, δ - Aminolävulinsäure, Diphenolsäure, Tetrahydrofuran, 1,4 - Butandiol)	Oxide für Treibstoffe, biologisch abbaubare Herbizide, Bisphenol A - Alternative, Comonomer, Lösungsmittel, Textildruck	Oxide: 13.983 Andere: 1.292	Oxide: nicht abgeschätzt Andere: 140 – 230
	Fette und Öle	Schmiermittel und hydraulische Flüssigkeiten Lösungsmittel	9.080 3.632 – 4.540	beträchtlich beträchtlich
Proteine	Polymere	Polyurethane	2.418	beträchtlich
		unbekannt	unbekannt	unbekannt
Biomassevergasung	Fischer – Tropsch - und andere Vergasungsprodukte	Treibstoffe (Transport, Heizung) Lösungsmittel, Aerosole, Oxide, chemische Zwischenprodukte	sehr große Märkte	wird vielversprechendere Wirtschaftsdaten brauchen
Pyrolyse von Biomasse	Phenol - Formaldehydharze	Sperrholz, OSB - Platten ⁷ und andere Holzanwendungen	1.771	beträchtlich
„Pflanzen als Fabriken“	Polyhydroxyalkanoate (PHAs)	Thermoplastisches Polymer	13.620	wenn die Technologie ausgereift, könnte es > 1.820 sein

Tabelle 5: Zusammenfassung der Möglichkeiten des Einsatzes von Biomasseprodukten nach Konversionstechnologien, nach derzeitiger Marktgröße der Anwendungen aller Rohstoffbasen in den USA und nach dem möglichen potentiellen Marktbereich in den USA bis zum Jahr 2020 (Lit²⁸)

⁷ OSB-Platten („Platte aus ausgerichteten Spänen“) sind Mehrschichtplatten, die aus langen, schlanken Spänen (strands) mit vorbestimmter Form und Dicke hergestellt werden.

Material	Kosten [€/kg]
Glucose	Verkauf: 0,47 – 0,87 Produktion: 0,10 – 0,20
Xylose/Arabinose	Produktion: 0,06 – 0,10
Sucrose	Verkauf: 0,32
Lactose	Verkauf: 0,40 – 1,19
Fructose	Verkauf: 0,71
Sorbitol	Verkauf: 1,26
Lävulinsäure	Produktion: 0,14 – 0,21

Tabelle 6: Kosten einiger ausgewählter ER (Lit²⁹, Lit³⁰)

Die Einteilung der Biomasseprodukte erfolgt nach ihrer Bearbeitungstechnologie. Grob können diese in biochemische und thermochemische Technologien eingeteilt werden. Biochemische Technologien verwenden Enzyme und Mikroorganismen zur Umwandlung des Rohstoffes in das gewünschte Produkt (z.B. durch Fermentation) oder das Produkt wird direkt in der Pflanze gebildet und muss aus der Pflanze gewonnen werden (z.B. Extrakte, Fasern, PHAs). Fermentationsprozesse werden vorwiegend für die Produktion von organischen Säuren (Milchsäure, Zitronensäure) und Ethanol (Aceton, Butanol) angewandt. Bekannte Beispiele für die Rohstoffe der zweiten Gruppe, gebildet in so genannten „Pflanzenfabriken“, sind Papier und Baumwollfasern. Thermochemische Verfahren verwenden Katalysatoren (Säure, Metalle oder Kombinationen aus diesen) und/oder hohen Druck und hohe Temperaturen um die Biomasse in Biomasseprodukte umzuwandeln. Öle und Biomasseprodukte aus Holz werden häufig thermochemisch behandelt bzw. weiterverarbeitet (z.B. Vergasung und Pyrolyse).

In einigen Fällen werden die Biomasseprodukte mehreren Technologieschritten unterzogen, die entweder biochemisch oder thermochemisch sind (z.B. Zucker). (siehe auch Tabelle 7)

Technologieplattform	Grundlegender Konversionsschritt	Überschneidung mit anderen Technologien
Fermentation von Zucker	biochemisch	weitere thermochemische Verarbeitung ist möglich
Thermochemische Verarbeitung von Zucker	thermochemisch	
Fette und Öle	thermochemisch	
Proteine	thermochemisch	
Vergasung	thermochemisch	
Pyrolyse	thermochemisch	
Lignin	noch nicht entwickelt	bis heute wurde nur die Pyrolyse von Lignin untersucht
Verbundstoffe	thermochemisch	Verbundstoffe, in denen Pflanzenfasern eingesetzt werden, zählen auch zur Gruppe der „Pflanzenfabriken“
„Pflanzenfabriken“ ⁸	biochemisch	die Weiterverarbeitung kann thermochemisch sein

Tabelle 7: Zusammenfassung der Konversionstechnologien von Rohstoffen aus Biomasse (Lit²⁸)

⁸ Die Moleküle sind bereits in gewünschter Form vorhanden und müssen nur mehr durch relativ einfache Prozesse wie Extraktion und geringer Weiterverarbeitung gewonnen werden.

7.2 PRODUKTGRUPPEN AUS BIOMASSE

In diesem Abschnitt werden die potentiell neuen Produktgruppen und deren Abkömmlinge nun nach Technologien eingeteilt, im einzelnen genauer, auch nach ihrer Einsatzmöglichkeit zum Ersatz von Produkten aus Erdöl, beschrieben. Die Daten zu den Marktgrößen und Preisen stammen aus den USA. Trotzdem gelten die Produktmöglichkeiten auch für die EU.

7.2.1 FERMENTATION VON KOHLENHYDRATEN

Obwohl es viele Möglichkeiten gibt, Kohlenhydrate in Biomasseprodukte umzuwandeln, werden die meisten und bekanntesten Produkte (Zitronensäure, Ethanol, Milchsäure) durch Fermentation hergestellt. Mit den Entwicklungen auf dem Gebiet der Biotechnologie bieten sich viele neue Umwandlungs- und Produktmöglichkeiten.

Vorwiegend zwei Arten von Monosacchariden sind in Biomasse präsent: Hexosen mit sechs und Pentosen mit fünf Kohlenstoffatomen. Glucosederivate wie Milchsäure, Bernsteinsäure, Butanol, 3 - Hydroxypropionsäure, 1,3 - Propandiol und Polyhydroxyalkanoate (PHAs) sind die vielversprechendsten Ausgangsstoffe für weitere Biomasseprodukte.

7.2.1.1 ETHANOL

Ethanol wird vorwiegend als Treibstoff verwendet, kann aber auch in viele Derivate umgewandelt werden. Als Grundstoffe für die Ethanolherstellung zum Treibstoffeinsatz können verschiedene Stoffe und Nebenprodukte angewandt werden (z.B. Glucose aus Getreidestärke, Nebenprodukte aus der Klebstoffherstellung aus Weizen, Lactose aus Käsemolke als Lebensmittelabfall und Nebenprodukte aus der Papierindustrie). Derivate, die aus Ethanol hergestellt werden können sind u. a. Acetaldehyd, Essigsäure, Butadien, Ethylen und verschiedene Ester. Mit der Überführung von Ethanol in Ethylen würde ein Anschlussprodukt an eine Erdölraffinerie vorliegen. Vom petrochemisch erzeugten Ethylen aus, erfolgen heute eine ganze Reihe von großtechnischen chemischen Synthesen für wichtige Gebrauchsgüter (Polyethylen, PVC, Ethylendichlorid, Ethylenoxid, Styren, Vinylacetat, Acetaldehyd, etc.).

7.2.1.2 MILCHSÄURE UND IHRE DERIVATE

Milchsäure wird vor allem in der Lebensmittelindustrie zur Produktion von Emulgatoren oder nichtflüchtigen, geruchsfreien Säuerungsmitteln eingesetzt und heute großtechnisch durch Fermentation von Glucose (mehrere verschiedene *Lactobacillus*-Stämme) produziert. Die Fermentation erzeugt meist das gewünschte Stereoisomer, im Gegensatz zum

chemischen Prozess. Bei diesem entsteht aus 2 - Hydroxypropionitril das Racemat⁹. Die Fermentation produziert ein Fermentationsprodukt mit einer Konzentration von 10% Milchsäure, welches durch Zugabe von Calciumcarbonat während der vier- bis sechs tägigen Extraktion neutralisiert wird.

Die Verwendung der durch Fermentation hergestellten Milchsäure beinhaltet aber auch eine anschließende Trennung, Reinigung und Entsäuerung des Salzes mit folgender Entfernung des Calciumsulfatnebenproduktes. Ein Elektrodialysemembranprozess, noch im Entwicklungsstadium, könnte zukünftig zu einem ökonomischeren Verfahren führen. Die Milchsäure kann durch Wasserentfernung mit Hilfe einer Destillation (Dimerisierung der Milchsäure) als Lactid gewonnen werden.

Sowohl Glucose als auch ihre (mikrobiell erzeugten) Folgeprodukte wie z.B. Milchsäure oder Lävulinsäure sind Ausgangsstoffe außerordentlich vieler Stoffe, die sich in Prozessen ähnlich denen in der Petrochemie erzeugten Grundstoffe verarbeiten lassen, wobei die mikrobiellen Prozesse in ihrer Energiebilanz wesentlich vorteilhafter als die derzeit üblichen thermischen sind. Alle Säuren, die in Fermentationsprozessen aus Glucose gewonnen werden, sind wasserlöslich, von angenehmem säuerlichen Geschmack, ungiftig und werden häufig in Lebensmitteln verwendet.

Die Derivate der Milchsäure stellen einerseits Ausgangsstoffe für „neue“ chemische Produkte dar. Andererseits können sie auch biobasierte Ausgangsstoffe zur Substitution von Chemikalien sein, die bisher aus Erdöl produziert wurden. Verbesserungen in der Fermentations- und Trennungstechnologie haben es ermöglicht, die Produktionskosten von Milchsäure auf 1,83 – 0,91 € pro kg herabzusetzen. Weitere technologische Entwicklungen und Fortschritte könnten sie noch auf ca. 0,46 € pro kg reduzieren, vergleichbar mit der Entwicklung der Produktionskosten für Bioethanol (derzeit 0,18 – 0,27 € pro kg). Der Unterschied zum Preis der Ethanolproduktion liegt derzeit noch in der Komplexität der Abtrennungstechnologie.

Die Fermentation und Trennung bzw. Aufarbeitung von Milchsäure ist ein wichtiger Punkt der Forschung und Entwicklung. Vor allem wird daran gearbeitet, beide Zuckerarten (also C5 und C6 - Zucker) für die Fermentation verwendbar zu machen. Dies würde weit billigere Rohstoffe als Getreide wie Reste von Lignocellulose oder Reste von Energiepflanzen als Rohstoffe für Milchsäure verfügbar machen.

Milchsäure selbst ist in Emulgatoren enthalten und wird versuchsweise auch in Designerlipiden (unverdaubare künstliche Fette) verwendet.

Die steigenden Absatzmöglichkeiten an Milchsäure haben in den letzten Jahren das Interesse vieler Firmen an diesem Rohstoff geweckt. Mögliche Wachstumsmärkte liegen im Polymerbereich und im Chemikaliensektor.

In der folgenden Tabelle sind die Anwendungen, die derzeitige Marktgröße aller Rohstoffbasen und die Marktpreise und das für 2020 prognostizierte Potential für die Derivate der Milchsäure in den USA angeführt. Wenn die Derivate einen neuen

⁹ In der Chemie bezeichnet man ein äquimolares Gemisch von zwei Enantiomeren als Racemat. Stereoisomere haben grundsätzlich die gleiche Struktur (Konstitution) - und damit natürlich auch die gleiche Summenformel - unterscheiden sich aber durch die räumliche Anordnung der Atome. Enantiomere haben dieselbe Summenformel und ein identes chemisches Verhalten, unterscheiden sich aber in ihrem Drehsinn, der so genannten Chiralität. Sie verhalten sich wie Bild und Spiegelbild. Die isomeren Moleküle können durch Drehung nicht zur Deckung gebracht werden.

Marktanteil abdecken, werden die Marktdaten für das konkurrenzierende Erdölprodukt dargestellt. Dies gilt auch für alle nachfolgenden Tabellen.

Chemikalie	Anwendungen	Aktuelle Marktgröße Anwendungen (alle Rohstoffbasen) [Mio kg/Jahr]	Aktueller Marktpreis Anwendungsspektrum (alle Rohstoffbasen) [€/kg]	Potentielle Marktgröße Biomasseprodukt bis 2020 [Mio kg/Jahr]
Milchsäure	Lebensmittelzusatzstoff, Elektrolysebäderzusatz, Textil- und Lederzusatz	< 2 (für industrielle Anwendung)	1,28 – 1,55	BIP-ähnlicher Anstieg wird erwartet
Polylactid	thermisch behandeltes Beschichtungs- und Verpackungsmaterial, Faser- und Faserfüllanwendungen	Verpackung: 9.665 Faser: 1.257	0,55 – 2,74	3.630
Ethyllactat	Lösungsmittel (gemischt mit Methylsojat) oder als chemisches Zwischenprodukt	3.632 - 4.540	0,55 – 3,29	> 450
Acrylsäure	Acrylate (z.B. Coatings, Kleber) 52% des globalen Konsums, Comonomer, saugfähiges Polymer (32% des globalen Konsums), Detergenspolymer	908	0,88	erfordert noch technologische Fortschritte
Propylenglykol	Ungesättigte Polyesterharze (Oberflächencoatings, glasfaserverstärkte Harze, Antifrostmittel, Lösungsmittel, Verdünnungsmittel, Herstellung von Plastifizierern, hydraulische Bremsflüssigkeiten, nichtionische Tenside)	499	0,71 - 0,88	wird mit den konventionellen erdölbasierenden Propylenglykolen und den durch thermochemische Umwandlung hergestellten biobasierenden Polyglykolen in Konkurrenz stehen
Brenztraubensäure	Ethylpyruvat (Reinigungs- und Lösungsmittel für Elektronikteile, Fungizid), Natriumpyruvat (Fermentationsmedium)	gering	hoch	nicht abgeschätzt
1-Amino-2-propanol	unbekannt	unbekannt	unbekannt	unbekannt
Lactonitril	unbekannt	unbekannt	unbekannt	unbekannt
Lactidamid	unbekannt	unbekannt	unbekannt	unbekannt
Lactid	unbekannt	unbekannt	unbekannt	unbekannt
2,5-Dimethyl-1,4-dioxan	unbekannt	unbekannt	unbekannt	unbekannt

Tabelle 8: Milchsäure, Milchsäurederivate und ihre Anwendungen in den USA (Lit²⁸)

7.2.1.2.1 POLYLACTID (PLA)

PLA ist ein kristallines, thermoplastisches Polymer, das aus Milchsäure hergestellt wird. Die Säure wird durch einen speziellen Kondensationsprozess zu Lactid umgewandelt. Dieses wird dann gereinigt und durch Ringöffnung mithilfe eines lösungsmittelfreien Schmelzprozesses polymerisiert. Bereits 1992 betrug die weltweite Produktion von PLA 20.000 t jährlich mit einer Hauptanwendung in kosmetischer und pharmazeutischer Verpackung, für medizinische Nähte, Implantate, etc. Im April 2002 wurde die erste Anlage zur Produktion von PLA im großtechnischen Maßstab in Blair (Nebraska) von Cargill Dow Polymers LLC in Betrieb genommen. Die Anlage hat eine Kapazität von ca. 140.000 Tonnen jährlich und die Nachfrage nach dem so genannten Nature WorksTM – PLA ist bereits so groß, dass in den nächsten Jahren mit der Herstellung einer weiteren Anlage begonnen wird. Auch in der EU soll eine Anlage mit der gleichen Kapazität gebaut werden. Cargill Dow rechnet mit einem Markt von 3,6 Millionen t bis 2020.

PLA ist im Vergleich zu herkömmlichen Polymeren aus Erdöl die Herstellungskosten betreffend konkurrenzfähig und bietet bessere (biologische Abbaubarkeit) oder zumindest gleiche Eigenschaften wie die Erdölpolymere. Zur Produktion wird um 30 - 50% weniger fossiler Rohstoff benötigt als für die Erdölprodukte. Am Ende seines Lebenszyklus kann PLA geschmolzen,

wieder verwendet oder kompostiert werden. Auch Shimadzu und Kobe Steel in Japan planen die Produktion im industriellen Maßstab.

Vor allem auf dem Gebiet der Plastikverpackungen zeigt PLA gute Anwendungsmöglichkeiten nicht nur aufgrund seiner hervorragenden Eigenschaften wie hohe Festigkeit, Klarheit, Glanz, Schmutzresistenz, biologische Abbaubarkeit etc. Es besitzt auch ähnliche Eigenschaften wie natürliche Fasern (z.B. Wolle) und synthetische Textilien (z.B. Polyester). Dies ermöglicht auch einen Einsatz von PLA in vielen Textilanwendungen. Cargill Dow hat sich mit Biocorp Inc. zusammengeslossen um kompostierbare Tassen für kalte Getränke und ähnliche Produkte zu produzieren. Weiters arbeiten sie an einer Fermentation von C5 - Zuckern zu Milchsäure, wodurch weitere, billigere Roh- bzw. Reststoffe zur Produktion herangezogen werden könnten.

Zusätzlich wird am Einsatz neuer Mikroorganismen, genannt Extremophile, gearbeitet, die auch unter sauren Bedingungen (pH-Wert < 2) funktionieren und eine höhere Konzentration an Milchsäure produzieren. Gleichzeitig wird an der Entwicklung von temperaturtoleranteren Organismen gearbeitet. Dies könnte auch zu einer Reduktion der Produktionskosten führen.

Die Pharmaindustrie benutzt Milchsäure und PLA in unterschiedlichen Formen (kristallin und amorph) für (Weichteil)implantate, galenische Anwendungen, und in der Chirurgie. PLA ist resorbierbar, biokompatibel und immunologisch inaktiv.

7.2.1.2.2 ETHYLLACTAT

Ethyllactat gilt als umweltfreundliches Lösungsmittel, das seit einiger Zeit bereits auf dem Markt ist. Es weist teilweise bessere Eigenschaften als so manches Lösungsmittel auf Erdölbasis auf. Aufgrund der hohen Produktionskosten (2,74 - 3,66 € pro kg, im Vergleich zu herkömmlichen Lösungsmitteln mit 1,65 - 3,11 € pro kg) wurde bis vor kurzem Ethyllactat noch nicht in großen Mengen angewandt. Erst seitdem die Trennungstechnologien durch Elektrodialyse, Membranen und durch die direkte Umwandlung von Milchsäuresalzen in Ethyllactat verbessert werden konnten, reduzierten sich die Produktionskosten auf 1,55 € pro kg. Ethyllactat entsteht durch die Veresterung von Milchsäure mit Ethanol. Es wird Milchsäure mit Ethanol erhitzt (140°C), wobei Ethyllactat und Nebenprodukte entstehen. Danach wird über eine Destillation (175°C) reines Ethyllactat gewonnen.

Industrieexperten nehmen an, dass 80% der herkömmlichen Lösungsmittel auf Erdölbasis (Methylenchlorid, Methylethylketon, N-Methyl-2-pyrrolidon) durch Ethyllactat ersetzt werden könnten. Ethyllactat wird von Vertec Biosolvents Inc. in Lösungsmittelmischungen basierend auf Sojaöl eingesetzt.

Ethyllactat besitzt folgende positive Eigenschaften:

- biologisch abbaubar
- geringe Flüchtigkeit
- hoher Siedepunkt

Weitere als Biomasseprodukte interessante Derivate der Milchsäure, die bisher aus Erdöl hergestellt wurden, sind: Acrylsäure, Brenztraubensäure und Propylenglykol. Neue Produktmöglichkeiten aus Milchsäure sind: 1-Amino-2-propanol, Lactonitril, Lacticamid, Lactid und 2,5-Dimethyl-1,4-dioxan. (siehe auch Abbildung 13)

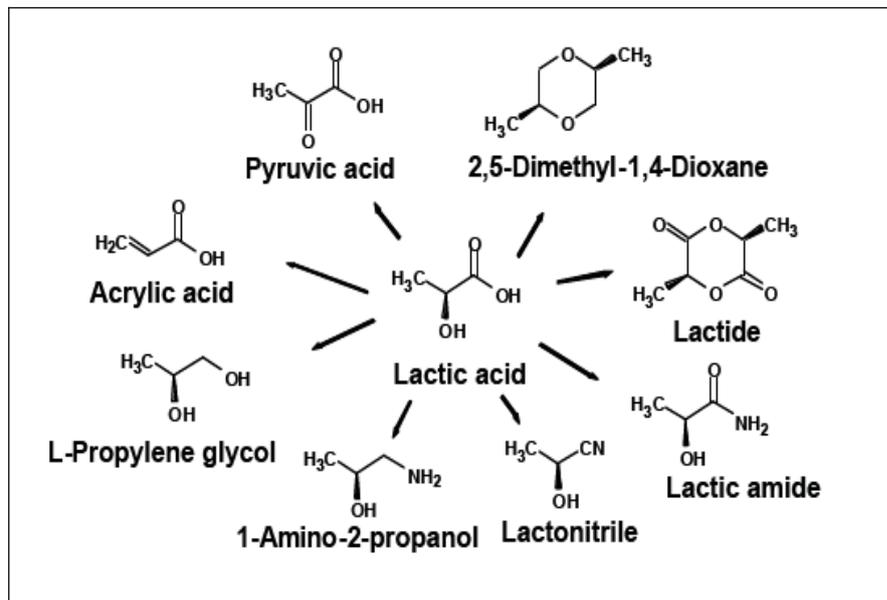


Abbildung 13: Mögliche Derivate der Milchsäure (Lit²⁸)

7.2.1.2.3 ACRYLSÄURE

Die konventionelle Produktion von Acrylsäure verläuft durch eine katalytische Gasphasenoxidation von Propylen mit Acrolein als Zwischenstufe. Die Umwandlung von Milchsäure zu Acrylsäure erfolgt entweder über die enzymatische oder die thermochemische Dehydratisierung¹⁰ (Entfernung von Wasser) der Milchsäure. Wissenschaftler arbeiten hier an einer Möglichkeit die Reaktion biobasiert durchzuführen, konnten aber noch keinen ökonomischen Prozess entwickeln. Ca. 0,88 € pro kg müssten erreicht werden, um ein konkurrenzfähiges Produkt darzustellen.

¹⁰ Erklärung siehe Anhang - Chemisches Glossar

7.2.1.2.4 PROPYLENGLYKOL

Propylenglykol wird großtechnisch durch Hydratation¹⁰ von Propylenoxid produziert, wobei auch kleine Mengen von Di- und Tripropylenglykolen entstehen. Propylenglykol kann aber auch sowohl aus Milchsäure (katalytische Hydrierung) als auch aus Zucker thermochemisch hergestellt werden. Die Produktion aus Zucker ist besser entwickelt und eine konkurrenzfähigere Methode im Vergleich zur Herstellung aus Erdölrohstoffen. Propylenglykol kann zur Polymersynthese, als Kälteschutzmittel und für Enteiser verwendet werden.

7.2.1.2.5 BRENZTRAUBENSÄURE

Die Derivate der Brenztraubensäure (= 2 - Oxopropionsäure) werden in verschiedensten Anwendungsgebieten eingesetzt, vom Emulgator bis hin zu Pharmazeutika. Die Säure wird petrochemisch durch Hydrolyse¹⁰ von Acetylcyanid oder bei der Reaktion von Weinsäure mit Kaliumhydrogensulfat hergestellt. Durch die Fortschritte in der biochemischen Forschung kann sie zukünftig auch aus Biomasse produziert werden.

7.2.1.3 BERNSTEINSÄURE UND IHRE DERIVATE

Bernsteinsäure (= Butandisäure) wird industriell durch Oxidation aus Butan und Hydrierung von Maleinsäureanhydrid gewonnen und für Nahrungsmittel durch Fermentation aus Glucose mit anschließender Trennung erzeugt. Beide Wege sind sehr teuer und somit ist der Einsatz von Bernsteinsäure nur auf einige wenige Anwendungen beschränkt. Der Weltmarkt liegt nur bei ca. 15.000 t pro Jahr. Die meisten Fermentationsorganismen überleben nicht unter sauren Bedingungen, deshalb wird bei einer Fermentation normalerweise neutralisiert. Dabei entstehen die Salze der Bernsteinsäure (Succinate). Die anschließende Trennung und Gewinnung beinhalten auch die Filtration und die Ansäuerung der Salze um die Säure freizusetzen. Um die Kosten zu senken, wurden besser angepasste Mikroorganismen und verbesserte Trennungstechnologien getestet. Die Trennungsmethode konnte verbessert werden, indem ein System entwickelt wurde, das in zwei Stufen entsalzt und Elektrodialyse einsetzt. Damit wird die Säure konzentriert, und gereinigt. Die entstandene Base wird zurück gewonnen und wieder zur Neutralisation verwendet. Durch diese Verbesserungen im Produktionsprozess (Membrantechnologien) konnten die Kosten von anfänglichen 2,74 – 3,66 € auf 0,91 € pro kg abgesenkt werden. Das könnte zur Eröffnung weiterer Marktbereiche für die Säure und ihre Derivate führen. Experten rechnen mit einer Kommerzialisierung in den nächsten drei Jahren.

Chemikalie	Anwendungen	Aktuelle Marktgröße Anwendungen (alle Rohstoffbasen) [Mio kg/Jahr]	Aktueller Marktpreis Anwendungsspektrum (alle Rohstoffbasen) [€/kg]	Potentielle Marktgröße Biomasseprodukt bis 2020 [Mio kg/Jahr]
Bernsteinsäure	Tenside/Detergentien, Chelatbildner, Nahrungsmittel, Pharmazeutika, Antibiotika, Aminosäuren, Herstellung von Vitaminen	gering (Weltproduktion: ca. 15)	4,94 – 7,31	Ein BIP - ähnlicher Anstieg wird erwartet
Tetrahydrofuran	Lösungsmittel und Hauptinhaltsstoff vieler Klebstoffe, Druckertinte, magnetische Filme, Spandex-Faser-Produktion (Elasthanfaser)	116	2,83	> 20
1,4 - Butandiol	Herstellung von Tetrahydrofuran, Polybutylenterephthalat, γ - Butyrolacton, Lösungsmittel, Harz für Coatings, chemisches und pharmazeutisches Zwischenprodukt	309	1,19 – 1,65	> 10
γ - Butyrolacton	Lösungsmittel, Herstellung von 2 - Pyrrolidon, N - Vinyl - 2 - pyrrolidon, Polyvinylpyrrolidon, Pharmazeutika, Farben, Textilienappretur, Druck Epoxyklebstoffe	48	nicht abgeschätzt	nicht abgeschätzt
N - Methylpyrrolidon	Lösungsmittel für die chemische Synthese, selektives Lösungsmittel (für Aromaten/Acetylen/Extraktion von Butadien), Lösungsmittel (Entfernung von Farben, für Polyimidcoatings)	36	2,45 – 3,38	könnte durch Ethyllactat ersetzt werden
2 - Pyrrolidon	Plastifizierer/Emulgator, selektives Lösungsmittel (für Acetylen/Acrylonitril-Produktion), Prozesslösungsmittel für Pharmazeutika	> 30	unbekannt	nicht abgeschätzt
Salze der Bernsteinsäure (Succinate)	Enteiser von Straßen und Landebahnen der Flughäfen, Inhaltsstoff von Herbiziden	Straße: 91 Landebahn: 5 Herbizid: gering	St: 0,04 L: 0,84 - 1,61 H: unbekannt	könnte 100% der Landebahnteiseiser ersetzen H: gering > 1.820
Bionelle (4,4 - Polyester) Adipinsäure	Anwendung für thermoplastische Polymere Comonomer für Alkydharze, Puffer für Nahrungsmittel, Polymere (Polyamide, Polyester, etc.)	11.350 - 27.240 890	0,55 - 2,74 1,14 – 1,42	Verbesserungen in der Technologie sind noch notwendig unbekannt
Bernsteinsäureamid 1,4 - Diaminobutan	Unbekannt Polyamid 46 (Anwendungen in der Automobil-, Elektronikindustrie und im Haushalt)	unbekannt gering	unbekannt unbekannt	nicht abgeschätzt
Ethylendiamindisuccinat	Ersatz von EDTA als Komplexbildner (Tetraethylammoniumsäure)	79	0,73 – 2,56	nicht abgeschätzt
DL - Maleinsäure	Anwendung im Eloxalverfahren von Al, Konservierungsmittel (Kosmetika, Pharmazeutika), Reagens für verschiedene Prozesse (Chromüberzug, Nickelcoating ohne Elektroden, Textilienappretur)	9	1,48 – 1,54	nicht abgeschätzt
Maleinsäureanhydrid	~ 50% in ungesättigten Polyesterharzen (Glaswolleverbundstoffe), Herstellung von 1,4-Butandiol, Tetrahydrofuran, γ -Butyrolacton, Plastifizierer, Oberflächencoatings, Schmiermittel, Fumarsäure, Maleinsäure	248	0,59 - 0,82	gering
Fumarsäure	Polymere (Alkyd- und ungesättigte Polyesterharze, Styren-Fumarat-Copolymer)	16	1,50 – 1,55	nicht abgeschätzt
Zweibasische Ester	Entfettung	23	unbekannt	nicht abgeschätzt

Tabelle 9: Die Bernsteinsäure, ihre Derivate und deren Anwendungen in den USA (Lit²⁸)

Bernsteinsäurederivate	Fossile „Vorgänger“	Preis der fossilen „Vorgänger“ [€/kg]	Produktionskosten für Bernsteinsäure [€/kg]
Tetrahydrofuran	Maleinsäureanhydrid	0,73 - 0,84	
1,4 - Butandiol	1,4 - Butandiol	1,19 – 1,65	
	Butan → Maleinsäureanhydrid → Butandiol	0,73 - 0,84	
	Acetylen + Formaldehyd	0,38	
	Synthesegas + Allylkohol	unbekannt	
γ - Butyrolacton	Maleinsäureanhydrid	0,73 - 0,84	
	1,4 - Butandiol	1,19 – 1,65	
N - Methylpyrrolidon	γ - Butyrolacton + Methylamin	unbekannt	0,46 - 0,91
2 - Pyrrolidon	γ - Butyrolacton + Ammoniak	unbekannt	
Succinate ¹¹	NaCl	0,04	
	Calcium/Magnesiumacetat ¹²	0,84	
	Propylenoxid → Propylenglycol	1,17	

Tabelle 10: Vergleich der Preise von Bernsteinsäure, Bernsteinsäurederivaten und ihren petrochemischen „Konkurrenten“

(Lit²⁸)

7.2.1.3.1 BUTANDIOL

1,4 – Butandiol und dessen Derivate (Tetrahydrofuran, γ – Butyrolacton, N - Methylpyrrolidon) weisen gute Chancen auf, zukünftig aus biobasierten Rohstoffen hergestellt werden zu können, da Nachfrage und Marktwachstum sehr groß und die Rohstoffkosten für die fossile Produktion dieser Chemikalien in den letzten Jahren extrem angestiegen sind.

Butandiol wird vorwiegend durch den Reppeprozess, bei dem Acetylen mit Formaldehyd reagiert, produziert. Es kann auch aus Propylenoxid oder Maleinsäureanhydrid hergestellt werden. Ein Zweistufenprozess zur Umwandlung von biobasierter Bernsteinsäure in Butandiol und ein Prozess zur Produktion einer Mischung aus 2-Pyrrolidon und N - Methylpyrrolidon werden gerade entwickelt.

Aufgrund ihrer hygroskopischen Eigenschaften werden Butandiole als Feuchthaltemittel, Glycerin-Ersatz, als Lösungsmittel, als Ausgangsmaterialien bei der Synthese von Epoxid - Harzen, Polyestern, Polyamiden und Polyurethanen (vor allem 1,4 - Butandiol) verwendet. Letzteres dient auch zur Herstellung von Tetrahydrofuran und N - Methylpyrrolidon als Lösungsmittel.

7.2.1.3.2 TETRAHYDROFURAN

Tetrahydrofuran ist ein wichtiges Lösungsmittel für Harze, Plastik und Kleber und wird auch zur Herstellung von Polytetramethylenglykol verwendet. Dieses dient als Rohstoff für Urethanelastomere und Polyurethanfasern. Die Nachfrage nach Tetrahydrofuran ist groß und wird jährlich bis 2005 um 5,2% steigen. Derzeit wird es durch Cyclodehydrierung von Butandiol produziert. Wissenschaftliche Studien haben gezeigt, dass eine Mischung aus Tetrahydrofuran, γ – Butyrolacton und Butandiol in einem Schritt aus Bernsteinsäure hergestellt werden kann. Weiters kann es durch Decarbonylierung¹⁰ aus Furfural über Furan als Zwischenstufe mit anschließender katalytischer Hydrierung¹⁰ hergestellt werden.

¹¹ Succinate werden hier mit fossilen Enteiseprodukten verglichen.

¹² Dies sind die Konkurrenzprodukte für Succinate und nicht ihre „Vorgänger“.

7.2.1.3.3 γ - BUTYROLACTON

γ - Butyrolacton wird aus 1,4 - Butandiol oder Maleinsäureanhydrid (fossil basiert) hergestellt, kann aber auch katalytisch aus Bernsteinsäure produziert werden. Je nachdem, welcher Katalysator verwendet wird, erhält man dabei nur γ - Butyrolacton alleine oder eine Mischung aus γ - Butyrolacton, Butandiol und Tetrahydrofuran in einem Schritt.

7.2.1.3.4 N - METHYLPYRROLIDON UND 2 - PYRROLIDON

Die aktuelle, industrielle Produktion erfolgt über γ - Butyrolacton und Methylamin zu N - Methylpyrrolidon bzw. über γ - Butyrolacton und Ammoniak zu 2 - Pyrrolidon. Sie können aber beide auch aus Bernsteinsäure hergestellt werden. Dieser biobasierte Weg wird noch entwickelt und dabei wird Bernsteinsäure oder ihre Derivate katalytisch in eine Mischung aus N - Methylpyrrolidon, 2 - Pyrrolidon und in einigen Fällen γ - Butyrolacton umgewandelt. N - Methylpyrrolidon ist ein wichtiges, wenig toxisches, ökologisches Lösungsmittel, das als Ersatz für chlorierte Kohlenwasserstoffe fungieren könnte. 2 - Pyrrolidon kann als Basis für verschiedene Polymere verwendet werden u. a. für Polyvinylpyrrolidon.

7.2.1.3.5 DAS POLYESTERPOLYMER BIONELLE

Die japanische Firma Showa Denko hat das biologisch abbaubare 4,4 - Polyesterpolymer Bionelle entwickelt, das aus einer Kombination von Bernsteinsäure, Adipinsäure, Butandiol und Ethylenglykol aufgebaut ist. Es deckt ähnliche Märkte wie PLA ab. Derzeit behindern noch die hohen Herstellungskosten einen verstärkten Verkauf des Polymers. Günstige Herstellungstechnologien von Butandiol und Bernsteinsäure könnten die Kosten wesentlich senken.

7.2.1.3.6 SUCCINATSALZE

Calcium-, Magnesium-, Diammonium- und Ammonium - Succinatsalze zeigen ein hohes zukünftiges Marktpotential. Sie werden durch Neutralisation der Bernsteinsäure hergestellt. Die zwei Hauptanwendungsgebiete sind der Einsatz als Herbizidadditive und als Enteisener für Straßen, Flugzeuge und Landebahnen. Da der Einsatz von Natriumchlorid als Streusalz und von Enteisern (Enteisener sind im allgemeinen Lösungsmittelgemische aus einwertigen Alkoholen und/oder Glykolen, gegebenenfalls mit Zusatz von Netz- und Korrosionsschutzmitteln) aufgrund ihrer negativen Bioverträglichkeit in der Öffentlichkeit immer mehr diskutiert werden, könnten die Succinate einen idealen Ersatz für die fossilen Enteisener darstellen, da sie auch den Asphalt und Metall weniger stark chemisch angreifen.

Die zweite Gruppe von Bernsteinsäurederivaten beinhaltet Chemikalien, die aus Bernsteinsäure produziert werden könnten und die aber noch nicht ausreichend erforscht sind. Die vielversprechendste davon ist die Adipinsäure, die derzeit aber noch zu relativ geringen Kosten aus Erdöl produziert wird. Hier wird noch weitere Forschung nötig sein um die biobasierte

Erzeugung der Adipinsäure gegenüber der synthetischen Route (oxidative Spaltung von Cyclohexan) konkurrenzfähig zu machen.

7.2.1.4 3 - HYDROXYPROPIONSÄURE

Auf dem Gebiet der Fermentation von Glucose zu 3 - Hydroxypropionsäure wird zur Zeit von der Cargill Inc. intensiv geforscht. Viele Bulkchemikalien könnten aus 3-Hydroxypropionsäure derivatisiert werden.

Chemikalie	Anwendungen	Aktuelle Marktgröße Anwendungen (alle Rohstoffbasen) [Mio kg/Jahr]	Aktueller Marktpreis Anwendungsspektrum (alle Rohstoffbasen) [€/kg]	Potentielle Marktgröße Biomasseprodukt bis 2020 [Mio kg/Jahr]
Acrylsäure	Acrylate (z.B. Coatings, Kleber) (52% des globalen Konsums), Comonomer, sehr saugfähiges Polymer (32% des globalen Konsums), Detergentien	908	0,88	Technologie wird gerade entwickelt
Acrylonitril	Acrylfasern (Teppiche, Kleidung), Acrylonitril – Butadien - Styren und Styren - Acrylonitril (Rohre und Armaturen, Automobile, Möbel, Verpackungen), Adiponitril, Acrylamid	1.421	0,57 - 0,68	Technologie wird gerade entwickelt
Acrylamid	Polyacrylamid, Comonomer, (Styren - Butadienlatex, Acrylharz, u.a.)	94	3,22 – 3,40	Technologie wird gerade entwickelt
1,3 - Propandiol	Polyethylenterephthalat, Polybutylenterephthalat und Nylonanwendungen	gering	0,55 - 0,91	Technologie wird gerade entwickelt
Malonsäure	für Plastikschaum, Eloxyverfahren für Ag, Hilfsstoff beim Gerben	< 0,5	hoch	Technologie wird gerade entwickelt

Tabelle 11: Derivate der 3-Hydroxypropionsäure und ihre Anwendungen in den USA (Lit²⁸)

Die Synthese von Acrylsäure und die Produktion der Salze und Ester der Acrylsäure aus fermentierter 3 - Hydroxypropionsäure wird bereits im Labormaßstab durchgeführt. Andere Überlegungen gehen in Richtung der Derivatisierung zu Acrylamid, 1,3 - Propandiol, Malonsäureester und Acrylonitril. Es existiert, wie bei Polylactid, keine ökonomisch sinnvolle Produktion von 3 - Hydroxypropionsäure aus Erdöl.

Die Umwandlung von 3 - Hydroxypropionsäure zu Acrylsäure benötigt weniger Energie als die Oxidation von Propylen zu Acrylsäure, könnte also nach Optimierung eine konkurrenzfähige Lösung darstellen.

7.2.1.4.1 1,3 - PROPANDIOL

1,3 - Propandiol (PDO) wird gemeinsam mit Terephthalsäure zur Herstellung von Polytrimethylenterephthalat (PTT) eingesetzt. Dies ist ein Polymer mit hervorragenden Zugeigenschaften. PDO wird in den verschiedensten Bereichen eingesetzt. Es wird aktuell von Shell Chemical (CORTERRA Polymers) und DuPont (SORONA® 3GT) produziert. In Studien wurde nachgewiesen, dass SORONA Nylon und Polyethylenterephthalat (PET) in Faseranwendungen bzw. Polybutylenterephthalat (PBT) und PET in Harzanwendungen in einigen Eigenschaften (Resistenz gegen Flecken, leichtere Farbapplikation) übertrifft.

Bisher wurden PTT aus PDO erzeugt, das aus fossilen Quellen stammt. Auch die Technologie, die Shell Chemical zur Herstellung von PDO anwendet, basiert auf petrochemischen Rohstoffen. Genencor International und DuPont haben hingegen eine Methode entwickelt in *E. coli* auf metabolischem Weg PDO direkt aus Glucose zu geringen Kosten herzustellen. Auch Glycerin bietet sich als Ausgangsrohstoff durch Biokonversion mittels *Clostridium butyricum* zur Produktion von PDO an. Glycerin fällt vorwiegend als Nebenprodukt bei der Biodieselherstellung an. Für PDO wird aufgrund der Herstellung von PTT ein Marktpotential für 2020 von 227.000 t eingeschätzt. Dafür muss ein Marktpreis von 0,37 – 0,55 € pro kg erreicht werden.

7.2.1.5 BUTANOL UND DERIVATE

Butanol ist ein wichtiger Ausgangsstoff für viele weitere Verbindungen und wird als Lösungsmittel, in Plastifizierern, Aminoharzen und Butylaminen eingesetzt. Es kann auch als biobasierter Treibstoff verwendet werden.

Chemikalie	Anwendungen	Aktuelle Marktgröße Anwendungen (alle Rohstoffbasen) [Mio kg/Jahr]	Aktueller Marktpreis Anwendungsspektrum (alle Rohstoffbasen) [€/kg]	Potentielle Marktgröße Biomasseprodukt bis 2020 [Mio kg/Jahr]
n - Butanol	direkt: Lösungsmittel, Plastifizierer Derivate: Polymere und Harze (Butylacrylat, Methacrylat), Lösungsmittel (Glykolether, Butylacetat), Aminoharze, Butylamine	840	1,01	könnte beträchtlich sein

Tabelle 12: Butanol und Derivate und deren Anwendungen in den USA (Lit²⁸)

Im frühen 20. Jahrhundert wurde Butanol durch Fermentation von Glucose durch *Clostridium acetobutylicum* hergestellt, wobei eine Mischung aus Aceton, Butanol und Ethanol entstand. Die Ausbeute an Butanol war dabei sehr gering (15 Gew%) und der Prozess war komplex und schwierig zu kontrollieren, weshalb ein Prozess auf petrochemischem Weg entwickelt wurde. Heute wird Butanol durch Hydrogenierung von n - Butyraldehyd hergestellt. An einer biobasierten Methode wird intensiv gearbeitet. Die Ausbeute soll durch die Verwendung von besser angepassten Bakterienstämmen, Membranen und Reaktoren erhöht werden.

7.2.1.6 POLYHYDROXYALKANOATE

Polyhydroxyalkanoate (PHA) sind eine Familie von natürlichen Polymeren, die in verschiedenen Bakterienstämmen durch Fermentation von Glucose aus verschiedensten stärkehaltigen Getreidesorten erzeugt werden können.

Der Produktionsprozess besteht aus folgenden Schritten:

- Anbau und Ernte von Mais
- Gewinnung der Glucose aus dem Mais

- Sterilisation des Mediums und anschließender Fermentationsprozess von Glucose in PHA als intrazelluläre Einschlüsse
- Gewinnung der Biomasse, die das Polymer enthält und Reinigung durch Zentrifugieren
- Zerstörung der Zellen und Freisetzung des Polymers
- Reinigung des Polymers durch Zentrifugieren
- Trocknung des Polymers und Weiterverarbeitung des Polymers in ein finales Endprodukt

PHAs scheinen die besten Chancen zu besitzen die konventionellen Polymere in industriellem Maßstab zu ersetzen. Diese Polymere können auf breiter Basis, vor allem im biomedizinischen Feld eingesetzt werden. Sobald die Produktionskosten wettbewerbsfähig sind, kann ein großer Bereich des Plastikmarktes durch die PHAs abgedeckt werden. In den 1970er Jahren haben sich ICI (National Starch), Zeneca und Monsanto (heute nur mehr Monsanto) mit der Entwicklung eines kostengünstigen Prozesses beschäftigt. Ursprünglich handelte es sich nur um Polyhydroxybutyrate (PHB), die aber für viele Anwendungen zu spröde waren. Deshalb wurden Copolymere wie Poly(3-Hydroxybutyrat-co-3-hydroxyvalerat) (PHBV) aus 75% Hydroxybutyrat und 25% Hydroxyvalerat entwickelt. Diese bakterielle Fermentation von PHAs, vor allem von PHBV, wurde in den 1990er Jahren von Zeneca und Monsanto (heute nur mehr Monsanto) unter dem Markennamen Biopol™ kommerziell vermarktet und Polymere wie Polyvinylchlorid (PVC), Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP) ersetzt. Es wurde für Plastikflaschen und Papier verwendet, konnte sich aber aufgrund hoher Energieaufwendungen zum Aufbruch der Zellwände und hohen Gewinnungskosten nie gegen die fossilen Plastikmaterialien (Polystyren) behaupten.

Inzwischen wurde aber von Metabolix ein Prozess mit geringeren Kosten entwickelt. Metabolix behauptet, dass Produktionskosten für eine großtechnische Herstellung der PHAs unter 1,83 € pro kg möglich sind. Dies würde für die PHAs einen großen Markt eröffnen. Das erste PHA - Produkt, das durch Fermentation hergestellt wurde, wurde 2002 von Metabolix bereits in den Markt eingeführt. Eine weitere Möglichkeit, die Kosten für die Produktion der PHAs zu senken, liegt in der genetischen Modifikation von Pflanzen. Dabei werden die Polymerprodukte direkt in der Pflanze produziert (Monsanto und andere Firmen). Dabei wird z.B. die PHB - Produktion in *Arabidopsis* als „Wirtspflanze“ durchgeführt. Zusätzlich wird daran gearbeitet, PHBV mithilfe anderer Organismen zu produzieren, die Mehrfachzucker aus weniger reinen Biomassequellen produzieren können.

7.2.1.7 FERMENTATION VON C5-ZUCKERN (XYLOSE) IN BIOMASSEPRODUKTE

Pentosezucker wie z.B. Xylose werden erst seit wenigen Jahren wissenschaftlich erforscht. Vor allem wird an Mikroorganismen gearbeitet, die beide Zuckerarten, also C5 - und C6 - Zucker, als Rohstoff verwenden können. Es ist wesentlich einfacher und günstiger biobasierte Pentosezucker zu hydrolysieren als Hexosezucker. Auf diesem Gebiet wird derzeit sehr intensiv geforscht. Die Forschungsergebnisse könnten auch einen wesentlichen Einfluss auf die Chemie der Milchsäure und der Bernsteinsäure ausüben.

7.2.1.7.1 ITACONSÄURE

Itaconsäure ist Bernsteinsäure mit einer substituierten Methylengruppe an der Kohlenstoffkette.

Die Verwendung von Itaconsäure in der chemischen Industrie wurde durch die hohen Produktionskosten aus Erdöl wesentlich limitiert. Die Säure kann aber aus Xylose günstig fermentiert werden. Hier kann sie mit Methylmethacrylat und anderen Acrylaten konkurrieren und u. a. in Klebern angewandt werden. Kombinierte Märkte von Acrylaten und Methylmethacrylat haben eine Größenordnung von ca. 820.000 t und das jährliche Wachstum wird mit 2 - 3% abgeschätzt. Methylmethacrylat spielt eine wichtige Rolle im Automobil- und Hausbausektor.

Mögliche Derivate sind Methyl-derivate der Bernsteinsäure: 2-Methyl-1,4-butandiol, 3 - Methyltetrahydrofuran. Somit enthalten die finalen Endprodukte methylierte Polyester.

7.2.1.7.2 FURANE

Furane wie Furfural, Furfurylalkohol und 2-Hydroxymethyltetrahydrofuran können durch Fermentation aus Xylose (fünf Kohlenstoffatome) erzeugt werden. Hydroxymethylfurfural (HMF) wird durch Hydrolyse¹⁰ aus Zuckern mit sechs Kohlenstoffatomen (z.B.: Fructose, Melasse) und Furfurylalkohol durch Hydrierung¹⁰ von Furfural hergestellt. Es gibt nahezu keine Produktion von Furanen in den USA, da die Furane hauptsächlich aus China importiert werden, wo sie aus Getreidehülsen hergestellt werden. Der letzte amerikanische Furfuralproduzent hat vor einigen Jahren seine Produktion eingestellt. Da die Technologien der Vorbehandlung und der eingesetzten pentose-umwandelnden Mikroorganismen immer weiter optimiert werden, könnten sie in Zukunft ein konkurrenzfähiges Produkt gegenüber den importierten Furanen darstellen. Trotzdem bleibt der herkömmliche Prozess über Hemicellulose aus Getreidehüllen der ökonomisch wichtigere Prozess, vor allem auch weil Furfural in seine Derivate Furfurylalkohol, Furan und Adiponitril (Adipinsäuredinitril) weiter transformiert werden kann. Adiponitril wurde von 1946 bis 1961 bereits aus Furfural hergestellt und als Nylon angewandt.

Weiters können Furane auch bei vielen Prozessen als Nebenprodukte entstehen. So gasen bei der thermischen Holzmodifikation aus dem Holz Substanzen aus, welche zur Zeit (in Österreich) durch Verbrennung nur thermisch genutzt werden. Die qualitative und quantitative Zusammensetzung des Kondensats der thermischen Holzbehandlung ist je nach Holzart weitgehend unbekannt. Diese je nach Baumart unterschiedlichen Kondensate, wurden am JOANNEUM RESEARCH – Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme chemisch analysiert. Als Hauptbestandteile wurden Essigsäure, Furfural und einige Furfurylderivate identifiziert, als Nebenbestandteile finden sich, abhängig von der behandelten Holzart, unterschiedliche Terpene (vor allem Mono-, aber auch Sesqui- und Diterpene), kurzkettige Aldehyde und Ketone (teilweise mit zusätzlichen Hydroxylgruppen) und bei höheren Prozesstemperaturen auch unterschiedliche phenolische Verbindungen in den Kondensaten (Lit²⁵).

Chemikalie	Anwendungen	Aktuelle Marktgröße Anwendungen (alle Rohstoffbasen) [Mio kg/Jahr]	Aktueller Marktpreis Anwendungsspektrum (alle Rohstoffbasen) [€/kg]	Potentielle Marktgröße Biomasseprodukt bis 2020 [Mio kg/Jahr]
Itaconsäure	Derzeit: Eloxalverfahren von Al, reaktives Comonomer, carboxylierte Styren-Butadien- Copolymere	~ 3,4	hoch	könnte beträchtlich sein, sobald die Technologie ausgereift
	Potentiell: Methylmethacrylat Acrykleber	681 136	0,88 – 1,02 3,66 – 7,31	
Furfural	Comonomer, selektives Lösungsmittel (Extraktion von Butadien und Aromaten) Lösungsmittel (Fettsäure- und Harztrennung) verschiedene Derivate	30,9	1,44	nicht abgeschätzt
Furfurylalkohol	Casein- und Proteinklebstoffe, nicht-reaktive Epoxyharze, Verdünnungsmittel, Harze	8,6	0,69 - 0,80	nicht abgeschätzt
2 – Hydroxymethyl - tetrahydrofuran	unbekannt	unbekannt	unbekannt	unbekannt

Tabelle 13: Xyloederivate und ihre Anwendungen in den USA (Lit²⁸)

7.2.2 THERMOCHEMISCHE UMWANDLUNG VON KOHLENHYDRATEN

Zusätzlich zur Fermentation können Kohlenhydrate aus Biomasse auch durch thermochemische Reaktionen in wertvolle Produkte umgewandelt werden. Einige Technologien wie z.B. die Produktion von Sorbitol aus Glucose werden schon seit vielen Jahren angewandt. In den letzten Jahren wurde vor allem an der Entwicklung von Produkten aus Biomassezuckern mit höherer Wertschöpfung gearbeitet. Dies war vor allem durch den Einsatz von optimierten Katalysatoren möglich. Die wichtigsten Produkte, die thermochemisch hergestellt werden können, sind Sorbitol, Lävulinsäure und deren Derivate.

7.2.2.1 SORBITOL UND DERIVATE

Sorbitol wird durch Hydrierung¹⁰ von D-Glucose produziert. Über 280.000 t werden in den USA jedes Jahr hergestellt und vor allem im Kosmetikbereich und in Nahrungsmitteln verwendet. Der Markt für Sorbitol ist voll entwickelt und sein weiteres Wachstum wird als gering eingeschätzt. Durch die Entwicklung neuer Katalysatoren und Technologien für die Umwandlung von Sorbitol in Glykole könnten neue Möglichkeiten für Biomasseprodukte eröffnet werden.

7.2.2.1.1 POLYOLE (GLYKOLE UND GLYCERIN)

Die Hydrierung¹⁰ von Zuckeralkoholen (Sorbitol, Xylitol, Lactitol, etc.) unter extremeren Bedingungen führt zu Polyolen mit niedrigerem Molekulargewicht. Durch diese katalytische Hydrogenolyse¹⁰ können Zuckeralkohole mit fünf bzw. sechs Kohlenstoffatomen (Sorbitol und Xylitol) eingesetzt werden und es entsteht ein Produkt, das vorwiegend aus Propylenglykol, Ethylenglykol und Glycerin besteht. Die Produktabtrennung und Reinigung ist aber sehr kostspielig. Deshalb wird an der Selektivität des Prozesses (Prozessbedingungen und Katalysatorzusammensetzung) gearbeitet. Das Pacific Northwest

National Laboratory (PNNL) entwickelt hier gerade einen möglichst wirtschaftlichen Prozess zur Herstellung von Polypropylenglykol auf biobasiertem Wege.

Glykole werden in den verschiedensten Bereichen als industrielle Güter und als Konsumgüter eingesetzt. Zu den Glykolderivaten zählen viele Polyesterharze und Copolymere, Polyether und Alkydharze.

Glykole bilden den größten Markt der Sorbitolderivate (Produktion von 3,2 Millionen t in den USA im Jahr 1999). Zur Zeit werden Propylenglykol und Ethylenglykol vorwiegend noch aus fossilen Quellen hergestellt.

Die herkömmliche Produktion von Propylenglykol erfolgt durch Hydratation¹⁰ von Propylenoxid, Ethylenglykol wird durch direkte Oxidation gewonnen. Glycerin ist das wichtigste Nebenprodukt einer Vielzahl von Prozessen der Oleochemie (z.B. Biodiesel), die auf tierischen oder pflanzlichen Lipiden beruhen. Die Reaktionen zur Produktion von Glycerin (Hydrolyse, Verseifung, Dehydrierung, Hydrierung) sind abhängig vom jeweiligen Ausgangsrohstoff.

7.2.2.1.2 ISOSORBID

Ein Sorbitolderivat, das erst seit kurzer Zeit und in kleinen Mengen produziert wird, ist Isosorbid. Derzeit wird es mit wässrigen Mineralsäuren als Katalysatoren durch Dehydratisierung¹⁰ (Abspaltung von zwei Wassermolekülen) von Sorbitol hergestellt. Die Ausbeute an Produkt und die Selektivität des Katalysators sind gering. Ebenso erfordert die Verwendung wässriger Säuren einen hohen Energieeinsatz und teure Trennprozesse um das Produkt zu gewinnen. Hier wird von PNNL an einem Prozess gearbeitet, der feste Säuren als Katalysatoren einsetzt. Diese haben eine höhere Selektivität und ermöglichen höhere Ausbeuten, wodurch der ganze Prozess wirtschaftlich ökonomischer wird. Es ist wesentlich einfacher das Produkt Isosorbid von einem festen Katalysator zu trennen als von der wasserlöslichen Mineralsäure. Bis jetzt hat sich der Einsatz von Isosorbid auf einige wenige Spezialanwendungen reduziert, könnte aber durch die neuen Entwicklungen verstärkter angewandt werden z.B. als Polymeradditiv. DuPont hält z.B. die meisten Patente zum Einsatz von Isosorbid mit Polyethylenterephthalat („PEIT“) und schätzt den Markt für Isosorbid bis 2020 mit einer Größe von ca. 45.400 t pro Jahr ein und hält eine weitere Steigerung für möglich, wenn 4% des PET durch Isosorbid ersetzt werden. Durch den Zusatz von Isosorbid lässt sich die Härte von PET in Lebensmittelbehältern verbessern.

7.2.2.1.3 D - 1,4 - SORBITAN

1,4 - Sorbitan wird durch Dehydratisierung¹⁰ (Verlust eines Wassermoleküls) aus Sorbitol produziert. Das Potential von Sorbitan muss erst wissenschaftlich untersucht werden.

Chemikalie	Anwendungen	Aktuelle Marktgröße Anwendungen (alle Rohstoffbasen) [Mio kg/Jahr]	Aktueller Marktpreis Anwendungsspektrum (alle Rohstoffbasen) [€/kg]	Potentielle Marktgröße Biomasseprodukt bis 2020 [Mio kg/Jahr]
Ethylenglykol	Lösungsmittel, Oberflächencoatings, Druckertinte, Pharmazeutika, Kosmetika, Wärmetauscher,	2.701	Polyester: 0,37 – 0,40 Frostschutzmittel: 0,29 - 0,35 Technischer Maßstab: 0,46-0,50	gering
Propylenglykol		499	1,24 – 1,30	> 230
Glycerin	Feuchtigkeitsspender, Plastifizierer, Frostschutzmittel	194	1,65 – 2,01	gering
Isosorbid	aktiver Inhaltsstoff in harntreibenden und Medikamenten gegen Angina	gering	unbekannt	wenn die Technologie ausgereift: 50 -140

Tabelle 14: Die thermochemischen Derivate von Sorbitol und ihre Anwendungen in den USA (Lit²⁸)

7.2.2.2 LÄVULINSÄURE UND DERIVATE

Lävulinsäure (4 - Oxopentansäure) ist bereits als wichtige Ausgangschemikalie anerkannt. Die derzeitige Produktion basiert auf fossilen Quellen und wird aufgrund der hohen Kosten in Bezug auf die Herstellung (7,31 – 10,97 € pro kg) nur für die Produktion einer limitierten Anzahl von Spezialprodukten mit einer hohen Wertschöpfung eingesetzt z.B. als chirales Reagenz oder als biologisch aktives Material, Korrosionsinhibitor und für andere Anwendungen. Der weltweite Markt beläuft sich auf nur 454 t pro Jahr.

Prinzipiell wird Lävulinsäure als Nebenprodukt bei der sauren Hydrolyse¹⁰ von Hydroxymethylfurfural aus Holz, Cellulose und Stärke hergestellt.

Derzeit wird in den USA an einem Prozess gearbeitet in dem Lignocellulosematerial, das in den verschiedensten Produktionsprozessen als Reststoff anfällt (Papierindustrie-, Anbau- und Forstreststoffe), unter Einsatz von hohen Temperaturen durch saure Hydrolyse¹⁰ in Lävulinsäure umgewandelt wird. Ca. 0,23 kg Lävulinsäure können aus 0,45 kg Cellulose erzeugt werden. Nebenprodukte sind Ameisensäure, Furfural und ein fester Reststoff, der als Brennstoff verwendet werden kann. Die Kosten des Prozesses könnten unter 0,91 € pro kg liegen, möglicherweise bei 0,18 € pro kg. Lävulinsäure kann für existierende und neue Anwendungen (Katalysator in der Produktion von Spezialzusatzstoffen, Pharmazeutika, Polymeren und synthetischen Faserprodukten) und zur Herstellung von Derivaten wie Methyltetrahydrofuran, δ - Aminolävulinsäure, Diphenolsäure, Lävulinsäureester (Verwendung als potentielle Lösungsmittel) und γ - Valerolacton eingesetzt werden. γ - Valerolacton wird durch Hydrierung¹⁰ von Lävulinsäure hergestellt und wird als wichtiges Polyestermonomer als Hydroxyvaleriansäure eingesetzt. Auch das Derivat 1,4 - Pentandiol wird in der Polyesterproduktion eingesetzt.

7.2.2.2.1 METHYLTETRAHYDROFURAN

Methyltetrahydrofuran wird durch Hydrierung¹⁰ von Furfural hergestellt und wird seit kurzer Zeit zur Produktion des Antimalariamittels Primaquin eingesetzt. Es kann auch, mit Benzin versetzt, als Treibstoffersatz eingesetzt werden. Die hohen Produktionskosten haben aber einen großflächigen Einsatz bisher verhindert. Ein einstufiger Prozess, von PNNL entwickelt, konnte die Kosten wesentlich herabsetzen und somit bildet Methyltetrahydrofuran eine mögliche Alternative zu

Methyltertiärbuthylether (MTBE), das ebenso als Treibstoffersatz eingesetzt wird, dessen Einsatz aber für erhebliche Umweltprobleme sorgt. Da aber derzeit Ethanol MTBE weitestgehend ersetzt, muss Methyltetrahydrofuran auch mit Ethanol konkurrieren. Methyltetrahydrofuran kann auch als Lösungsmittel eingesetzt werden.

7.2.2.2.2 δ - AMINOLÄVULINSÄURE

δ - Aminolävulinsäure gehört zu einer neuen Gruppe von Herbiziden und Pestiziden mit einem geschätzten Markt von ca. 90.000 – 180.000 t pro Jahr. Es wird auch in Versuchen zur photodynamischen Therapie von Krebs eingesetzt. Neue Verbesserungen im Prozess konnten den hohen Anfall von Abfall und die eingesetzte Menge an Lösungsmittel im ersten Schritt wesentlich reduzieren. δ - Aminolävulinsäure könnte zukünftig eine wichtige Plattformchemikalie, also Ausgangsstoff für viele weitere chemische Produkte, darstellen.

7.2.2.2.3 DIPHENOLSÄURE

Diphenolsäure bildet eine Alternative zu Bisphenol A, das in Polymeren wie Polycarbonaten und als Comonomer in Phenolharzen eingesetzt wird. Ca. 2 Millionen t von Phenolharzen wurden im Jahr 2000 produziert. Diese bilden eine große Marktchance für einen Einsatz der Diphenolsäure, aber nur wenn sie im Preisvergleich zu Bisphenol A (unter 1,83 € pro kg) konkurrenzfähig ist. Derzeit beträgt ihr Preis 2,19 € pro kg.

Andere potentielle Derivate der Lävulinsäure sind Tetrahydrofuran, 1,4-Butandiol, γ - Butyrolacton und N - Methylpyrrolidon, die bereits im Kapitel 7.2.1.3 abgehandelt wurden.

Chemikalie	Anwendungen	Aktuelle Marktgröße Anwendungen (alle Rohstoffbasen) [Mio kg/Jahr]	Aktueller Marktpreis Anwendungsspektrum (alle Rohstoffbasen) [€/kg]	Potentielle Marktgröße Biomasseprodukt bis 2020 [Mio kg/Jahr]
Methyltetrahydrofuran	Treibstoffzusatz	13.983 (Oxide)	0,24 – 0,33	könnte den Oxidmarkt weitgehend einnehmen
δ - Aminolävulinsäure	Biologisch abbaubares Pestizid	unbekannt	unbekannt	90 – 180
Diphenolsäure	Monomer (Bisphenol A – Alternative)	867	1,72	20
Tetrahydrofuran	Comonomer, Lösungsmittel	116	2,83	> 20
1,4 - Butandiol	Monomere	309	1,19 – 1,65	> 10

Tabelle 15: Lävulinsäure, ihre Derivate und deren Anwendungen in den USA (Lit²⁸)

7.2.2.3 D - GLUCONSÄURE

D - Gluconsäure wird als Sequestrierungsmittel¹³ in alkalischen Molkerei- und Brauereireinigungsmitteln verwendet und ihre Derivate werden als Nahrungsmittel- und Futtermittelergänzungstoffe und gegen Anämie eingesetzt. Sie wird aus Glucose durch anaerobe Fermentation mit *Aspergillus niger* hergestellt, wobei zunächst Natriumgluconat entsteht, das anschließend angesäuert wird um die Säure freizusetzen. Die Preise für Gluconsäure liegen zwischen 0,82 und 1,02 € pro kg, aber die direkte Oxidation könnte die Produktionskosten noch weiter senken.

Die Oxidation von Glucose kann zur Herstellung von Hydroxysäuren mit sechs Kohlenstoffatomen (Monohydroxysäuren, Gluconsäure, Dihydroxysäuren und D - Glucarsäure) dienen. Die Strukturen dieser Chemikalien lassen auf potentielle Möglichkeiten zur Herstellung von Polyestern und Polyamiden (vor allem Polyhydroxypolyamide z.B. hydroxyliertes Nylon) schließen. Die Oxidation wird mit Salpetersäure als Katalysator durchgeführt. An der Selektivität der Reaktion zur Produktion der gewünschten Produkte muss noch verstärkt gearbeitet werden.

7.2.2.4 THERMOCHEMISCHE XYLOSEDERIVATE

Die thermochemischen Reaktionen von C5 - Zuckern führen zu denselben Ergebnissen wie die von C6-Zuckern. Durch Hydrierung¹⁰ von Xylose entsteht Xylitol, das Gegenstück zu Sorbitol. Auch aus Xylitol können durch den Einsatz eines geeigneten (Metall-) Katalysators die wichtigen Bulkchemikalien Ethylenglykol, Propylenglykol und Glycerin hergestellt werden. Es werden hier bessere Ausbeuten von Glykolen erzielt, als bei der Umwandlung von Glucose. Xylitol kann auch durch Dehydratisierung zu Xylitan umgesetzt werden, das auch ein großes Potential zukünftig als Biomasseprodukt eingesetzt zu werden, zeigt. Andere Derivate sind die D - Xylonsäure und die D - Xylansäure, die durch Oxidation aus Xylose hergestellt werden können. Auch deren Marktpotential muss erst, wie jenes von Xylitan, bestimmt werden.

7.2.2.5 HYDRIERUNG WEITERER POLYOLE

Aus Lactose kann durch Hydrierung¹⁰ in Anwesenheit eines Metallkatalysators Lactitol und aus Maltose Maltitol erzeugt werden. Diese Alkohole finden Verwendung am Markt für Lebensmittelzusatzstoffe.

7.2.2.6 ESSIGSÄURE

¹³ Als Sequestrierungsmittel (Maskierungsmittel) bezeichnet man Substanzen, die jeweils die unerwünschte Reaktion von störenden Fremdsubstanzen bei einer analytischen Bestimmung verhindern, indem sie sie in lösliche Komplexe, andere Oxidationsstufen oder in reaktionsunfähige Formen überführen z.B. in Chelate.

Essigsäure zählt zu den wichtigsten Bulkchemikalien in der chemischen Industrie und wird derzeit vorwiegend petrochemisch hergestellt. Die Essigsäurefermentation, auch bekannt als Essigerzeugung, ist eine partielle Oxidation von Ethanol mit *Acetobacter*-Essigsäurebakterien, die schon seit dem Altertum eingesetzt wird. Erst kürzlich wurde die homofermentative Umwandlung (d.h. hauptsächlich ein Produkt wird bei der Fermentation erhalten) von Glucose in Essigsäure mithilfe von „acetogenen“ *Clostridium*-Bakterien entwickelt. In manchen Fällen können 3 mol Acetat aus jedem Mol des C6 - Zuckerrohstoffes produziert werden und somit können Acetatkonzentrationen bis zu 1,5% akkumuliert werden. Diese Fermentationstechnik erhöht die theoretische Ausbeute von Essigsäure aus Glucose um 50% und kommt aus einer Rohstoffquelle, die auf Biomasse basiert.

7.2.2.7 3 - DIHYDROSHIKIMISÄURE

Die Dihydroshikimisäure ist eine hydroaromatische Zwischenstufe im Stoffwechsellvorgang aromatischer Aminosäuren. Es entsteht in mutierten *E. coli* und konnte in signifikanten Ausbeuten gewonnen werden. Aus C6 – Zuckern kann es mit einer theoretischen Ausbeute von 43%, aus C5 – Zuckern mit 71% produziert werden, wobei es sich um zwei unterschiedliche Stoffwechsellvorgänge handelt. Bei der Weiterverarbeitung kann Protocatechusäure, Vanillin, Catechin, Gallussäure oder Adipinsäure erzeugt werden.

7.2.3 FETTE UND ÖLE ALS BIOMASSEPRODUKTE

Öle und Fette aus pflanzlichem oder tierischem Material wurden immer schon in der chemischen Industrie als wichtige Rohstoffe verwendet, da sie Möglichkeiten für Produkte bieten, die die Petrochemie nicht erfüllen kann.

Thermochemische Prozesse zur Umwandlung von Biomasseprodukten werden immer effizienter und dies erhöht auch die Möglichkeiten des Einsatzes von pflanzlichen Ölen als Ausgangsmaterial. Märkte für die pflanzlichen Öle sind: Kleber, hydraulische Flüssigkeiten, Lösungsmittel, Polymere, Harze, Plastifizierer, Tinten, Kosmetika, Pharmazeutika und zahlreiche andere Anwendungen. Viele dieser Märkte sind bereits hoch entwickelt. Im Folgenden werden nur die potentiell „neuen“ Märkte für pflanzliche Öle abgehandelt.

Zur Ölverarbeitung verfügt die Fettchemie über unzählige Reaktionsmöglichkeiten und technische Verfahren. Die Basisverfahren zur Ölkonversion sind zunächst:

- die Umesterung der Triglyceride mit einwertigen Alkoholen wie Methanol zu Fettsäuremethylester
- die Spaltung der Triglyceride in Fettsäuren und Glycerin mit Wasser oder mit Alkalilauge („Verseifung“)

Mehr als 90% der oleochemischen Reaktionen finden an der Carboxygruppe der Fettsäure statt, während weniger als 10% an der Alkylkette angreifen. An diesen Reaktionen wird in letzter Zeit verstärkt gearbeitet.

Diese Verfahrensprodukte werden anschließend als Ausgangssubstanzen für weitere oleochemische Reaktionen eingesetzt, um Folgeprodukte wie Fettalkohole und Fettamine zu gewinnen. Diese stellen wiederum die Basischemikalien für andere Operationen dar.

Für die chemische Industrie sind zwei Gruppen von Fettrohstoffen von Interesse:

- Fette und Öle mit extrem hohen Anteilen einer bestimmten Fettsäure, wie High-Oleic-Sonnenblumenöl mit 90% Ölsäure
- Fette und Öle mit „ungewöhnlichen“ Fettsäuren (z.B.: Ricinolsäure aus Rizinusöl), die als Grundstoffe für spezifische Synthesen geeignet sind

7.2.3.1 FETTSÄUREMETHYLESTER

Bei der Umesterung werden durch Zufügen von Alkohol wie z.B. Methanol die Triglyceridketten aufgespalten in Glycerin und Fettsäuremethylester.

Fettsäuremethylester können neben Biodiesel auch als Schmiermittel- und Hydraulikflüssigkeiten und als Lösungsmittel verwendet werden.

Die Größe des amerikanischen Schmiermittelmarktes liegt bei 9 Millionen t pro Jahr. Schmiermittel wurden ursprünglich aus pflanzlichen Ölen und tierischen Fetten hergestellt, später aber aus fossilen Quellen. Diese wurden auf die jeweilige Anwendung des Schmiermittels zurechtgeschneidert.

Das Basisöl kann aus einem mineralischen, einem synthetischen oder einem pflanzlichen Öl gebildet werden. Es gibt dem Produkt die nötige Schmierfähigkeit. Pflanzliche Öle sind günstigere Alternativen als die fossilen Schmiermittel. Sie haben einen höheren Viskositätsindex, geringere Verdampfungsverluste und höhere Schmierfähigkeit. Sie sind auch besser biologisch abbaubar. Die Nachteile der geringeren thermischen, oxidativen und hydrolytischen Stabilität können durch Einsatz von Additiven oder durch Modifikation der Öle verbessert werden. Ihre Eigenschaften sind hauptsächlich abhängig von ihrem Fettsäureprofil. Durch neue Technologien konnte die oxidative Stabilität durch Reduktion der Anzahl der Doppelbindungen in pflanzlichen Ölen erhöht werden. Auch genetische Modifikation der Ölpflanzen kann zu Verbesserungen führen. So hat z.B. DuPont Soja mit einem hohen Ölsäureanteil (<70%) entwickelt.

Zwischen 3,6 und 4,5 Millionen t Lösungsmittel werden in den USA jährlich eingesetzt. Sie könnten somit ebenso ein wesentliches Ziel für den Einsatz von pflanzlichen Ölen darstellen.

Ein exzellentes Biomasselösungsmittel basiert auf Sojaöl und wird durch Veresterung dieses Öles mit Methanol hergestellt. Viele biobasierte Lösungsmittel mit Sojaöl als Basis wurden in den letzten Jahren in den Markt eingeführt. 2001 wurden nur 450 t Sojaöl in Lösungsmitteln eingesetzt, aber das Potential für den Einsatz in anderen Produkten ist noch wesentlich höher.

Vertec Biosolvents verwendet Ethyllactat, Fettsäuremethylester auf Sojaölbasis und Limonen in seinen Produkten VertecBio Gold und VertecBio Citrus. Diese Lösungsmittel bieten eine umweltfreundliche Alternative zu herkömmlichen fossilen Lösungsmitteln (z.B. Methylenchlorid, Methylethylketon, N-Methyl-pyrrolidon). Fettsäuremethylester auf Sojaölbasis sind im Vergleich zu fossilen Lösungsmitteln nicht nur umweltfreundlicher sondern auch in Bezug auf die Herstellungskosten konkurrenzfähig.

7.2.3.2 POLYMERE UND HARZE BASIEREND AUF PFLANZLICHEN ÖLEN

Die Unterschiede in Funktionalität und Struktur der pflanzlichen Öle machen sie zu hervorragenden Rohstoffen für Polymere und Harze. Die Fettsäureketten können einfach modifiziert werden. Und mit dem großen Marktpotential für Polymere von 45,4 Millionen t in den USA, bietet sich ein riesiges Einsatzgebiet für die pflanzlichen Öle. Die Reaktionen zur Modifikation der Öle sind Umesterung, Epoxidierung, Hydroformylierung und Metathese. Umesterung und Epoxidierung werden bereits zur Modifikation von Sojaöl verwendet, Hydroformylierung und Metathese werden industriell nur für fossile Rohstoffe angewandt. Es müssen erst geeignete Katalysatoren entwickelt werden.

Modifizierte Fettsäuren können auch als Bindemittel in Schmelzklebstoffen eingesetzt werden. Kleber sind nichtmetallische Substanzen, meist Polymere, die Materialien durch Adhäsion und Kohäsion zusammenkleben. Sie werden in vielen Bereichen in der Industrie eingesetzt wie in der Elektronik, der Automobilindustrie, der Konstruktion und am medizinischen Sektor. Über 2.700 t von Klebern werden jährlich in den USA angewandt. Thermoplastische Polymere können in wässrigen oder lösungsmittelhaltigen Klebern verwendet werden. Flüssige Kleber sind chemisch - reaktive Substanzen wie Epoxide, Cyanoacrylate, Silicone und einige Phenole. Heißschmelzende Kleber bestehen aus thermoplastischen Polymeren, die als heiße Flüssigkeiten aufgetragen werden und anschließend physikalische Brücken bilden. Die meisten Kleber basieren derzeit noch auf Erdöl. Als Polymere könnten die Pflanzenöle eine wesentlich kostengünstigere Alternative darstellen. Die Öle können chemisch mit polaren Gruppen so modifiziert werden, dass sie nahezu an jeder Oberfläche Brücken bilden können. Ein Beispiel ist die Herstellung von Polyamiden aus Dimerfettsäuren. Diese Polyamide werden als Bindemittel in Klebstoffen eingesetzt.

Die Produkte werden im Folgenden nach der Modifikationsreaktion zu ihrer Herstellung eingeteilt. Fettsäuren können durch Epoxidierung und Hydroformylierung modifiziert und polymerisiert werden.

7.2.3.3 EPOXIDIERUNG

Epoxidiertes Sojaöl wird in Harzen schon längere Zeit eingesetzt. 2001 wurden in den USA 52.200 t Sojaöl in Polyurethanschäumen, Bindemitteln, Coatings und Klebern verwendet. Es ist auch möglich epoxidiertes Sojaöl zu hydroxylieren, wobei ein sekundärer Alkohol oder Polyol entsteht. Dieser Prozess wurde erst kürzlich in den Markt zur Anwendung in Polyurethanschäumen und anderen Anwendungen eingeführt.

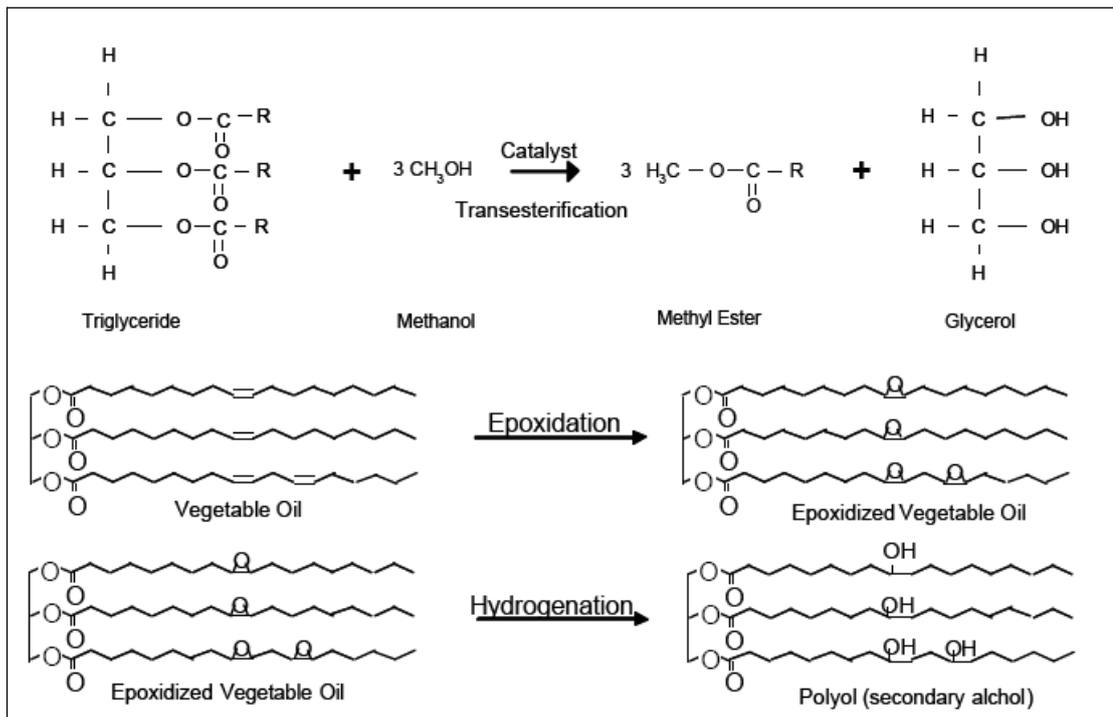


Abbildung 14: Umesterung (Biodiesel), Epoxidierung und Hydrierung von Pflanzenölen (Lit²⁸)

7.2.3.4 HYDRIERUNG

Von großer Bedeutung ist auch das Verfahren der Fetthärtung durch Hydrierung¹⁰ (Anlagerung von Wasserstoff). Ungesättigte Pflanzenöle werden dabei zu festen Produkten wie Seifen, Kochfetten (Margarine), Kerzenwachs verarbeitet. Die Hydrierung führt zu haltbaren Produkten und verzögert das Ranzigwerden. Bei der biotechnologischen Veränderung von pflanzlichen Fetten und Ölen werden Mikroorganismen und Enzyme als Katalysatoren eingesetzt. Einige Mikroorganismen sind in der Lage, Öle und Fette zur Tensidbildung zu nutzen.

7.2.3.5 HYDROFORMYLIERUNG

Die Hydroformylierung dient zur Einführung von Wasserstoff und einer Formylgruppe an ein Alken. Diese Reaktion wird bei Petrochemikalien mithilfe von Rhodium- oder Kobaltkatalysatoren durchgeführt. Rhodium ist sehr teuer und ein effizienter Prozess erfordert die Rückgewinnung des Katalysators. Kobalt ist wesentlich billiger, muss aber ebenso vom Produkt abgetrennt werden. Wenn petrochemische Materialien wie Ethylen oder Propylen als Ausgangsstoffe verwendet werden, können sie leicht vom Katalysator abdestilliert werden, da sie flüchtig sind. Pflanzliche Öle sind nicht flüchtig und deshalb muss erst ein neuer Prozess für die Abtrennung des Katalysators entwickelt werden.

Das Produkt der Hydroformylierung von Pflanzenölen ist ein Polyaldehyd. Dieses kann zum primären Alkohol hydrogeniert, zur Polycarbonsäure oder zum Polyamin umgewandelt werden. Hydroformylierung und Epoxidierung können auch angewandt werden um Polyole zur Polyurethan- oder Polyesterproduktion herzustellen, wobei die primären Alkohole, die bei der Hydroformylierung entstehen, reaktiver sind als die sekundären Alkohole, die bei der Epoxidierung produziert werden. Diese gesteigerte Reaktivität kann genutzt werden um neue Polymere mit neuen Eigenschaften zu erzeugen. Beispiele hierfür sind die Polycarbonsäuren und die Polyamine.

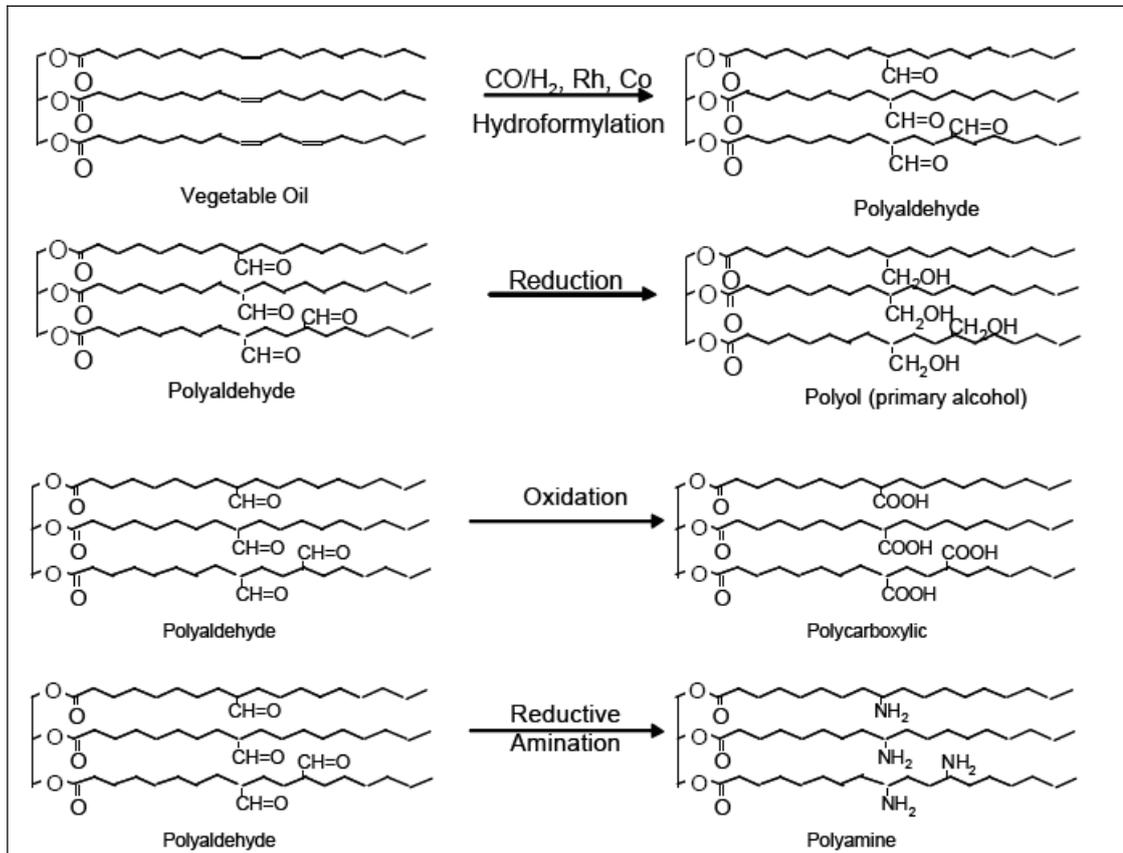


Abbildung 15: Hydroformylierung von Pflanzenölen und Folgreaktionen (Lit²⁸)

7.2.3.6 METATHESE

Die Metathese ist eine Reaktion, bei der die C-C-Doppelbindung eines Alkens aufgebrochen wird, und aus den Bruchstücken neue Moleküle gebildet werden. Es wird industriell verwendet um nichtpolare, ungesättigte Kohlenwasserstoffe (bzw. Fettsäureester) mit heterogenen Katalysatoren umzuwandeln. Für Materialien mit polaren Gruppen, wie die pflanzlichen Öle, ist der Katalysator zu kurzlebig, wodurch der Prozess unökonomisch wird. Diesem Problem kann durch die Verwendung von homogenen Katalysatoren und durch die Reinigung der Rohstoffe abgeholfen werden. Die Metathesechemie könnte neue Möglichkeiten für biobasierte Produkte aus Pflanzenölen darstellen. Es wird dadurch möglich lange Fettsäuren zu kürzeren Molekülen mit einer terminalen Doppelbindung zu „cracken“. Diese Doppelbindung ist sehr

reaktiv für eine radikale Polymerisation. So können z.B. Ölsäuremethylester durch Metathese mit n - Hexenen verkürzt werden.

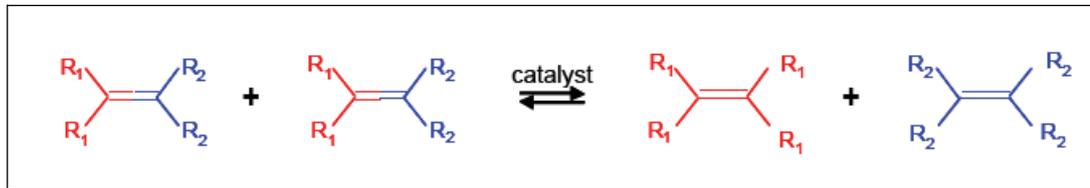


Abbildung 16: Metathesereaktion

7.2.3.7 FETTSÄUREALKHOLE UND ALKYLGLUCOSIDE

Im weiten Spektrum technischer Produkte auf der Basis natürlicher Öle und Fette nehmen die Tenside eine herausragende Rolle ein. Sie sind die aktiven Komponenten in Seifen und Waschmitteln, werden aber auch in Kosmetika, in der Textilindustrie, in Auto- und Maschinenölen, in Lacken und Anstrichfarben, bei der Gewinnung von Erzen und bei der Förderung von Erdöl verwendet.

Sie sorgen auch für die Stabilisation von Emulsionen und viele anderen Anwendungen. Pflanzenöle waren lange Zeit Rohstoffe für die Tenside, wurden aber durch Erdölprodukte wie die linearen Alkylbenzolsulfonate abgelöst. Nur 12% der 3,3 Millionen t in den USA im Jahre 1988 produzierten Tenside waren erneuerbar. Insbesondere Palmkern- und Kokosöl liefern die Grundstoffe (meist Laurinsäure) für die Herstellung von Tensiden, sowohl in Form bewährter Fettalkoholsulfate (FAS) als auch Produkte wie die Alkylpolyglycoside (APG). Diese können vollständig aus ER hergestellt werden. Neben Fettalkoholen aus Palmkern- und Kokosöl ist Glucose, die enzymatisch aus Maisstärke gewonnen wird, der zweite Ausgangsstoff.

Viele weitere Öle wurden auf ihre Fähigkeiten als Tenside eingesetzt zu werden getestet. Die Ölpflanze Cuphea z.B. ist reich an mittellangen Fettsäureketten wie Caprylsäure, Capronsäure, Laurinsäure und Myristinsäure.

7.2.3.8 NISCHENMÄRKTE FÜR ÖLPFLANZEN

Substanzen aus Pflanzen wurden lange Zeit als Nischenprodukte vor allem in der Kosmetikindustrie verwendet. Beispiele sind Öle wie Mandelöl, Aprikosenöl, Avocadoöl, Borretschöl, Kokosnussöl, Baumwollsaamenöl, Nachtkerzenöl, Leinöl, Traubenkernöl, Haselnussöl, Jojobaöl, u. v. a. Durch die Nachfrage nach natürlichen Kosmetika stieg auch wieder das Interesse an den pflanzlichen Ölen (Antioxidantien, Feuchtigkeitsspender,...) und sie decken derzeit bereits einen relativ großen Nischenbereich ab.

7.2.4 PROTEINHÄLTIGE BIOMASSEPRODUKTE

Proteine sind die komplexesten Polymere in der Natur. Ihre Eigenschaften sind abhängig von ihrer Struktur und durch die Biotechnologie könnten sich viele Einsatzgebiete für Proteine eröffnen. Bis jetzt wurden aber erst wenige Biomasseprodukte auf Proteinbasis entwickelt. Proteine könnten z.B. als Kleberadditive für Holz (Sojaproteinhydrolysat mit Phenol – Resorcinol - Formaldehyd) eingesetzt werden.

7.2.4.1 GLUTAMINSÄURE UND LYSIN

Glutaminsäure und Lysin sind wichtige Produkte in der chemischen Industrie, wobei Glutamat als Natriumsalz und Lysin als Tierfutterzusatzstoff eingesetzt werden können. Beide Stoffe werden industriell durch Fermentation produziert. Glutamat wird als L-Glutaminsäure zu ca. 310.000 t pro Jahr produziert, 85% davon in Asien.

Der derzeitige verwendete Fermentationsprozess verwendet Melasse oder andere billige Glucosequellen und hat die Hydrolyse¹⁰ als Gewinnungsprozess im Jahre 1965 ersetzt.

Die weltweite Lysinproduktion beträgt nur ca. ein Drittel von jener von Glutamat. Deshalb betragen die Kosten der Produktion von Lysin auch nahezu das Doppelte von jener zur Erzeugung von Glutamat.

Beide Verbindungen sind aber interessant aufgrund ihrer Multifunktionalität und aufgrund ihrer C5 – „Rückgrates“. Polymere, die auf fünf Kohlenstoffatomen basieren, sind weniger bekannt und können auf anderem Wege auch nur schwer hergestellt werden.

7.2.5 BIOMASSEPRODUKTE AUS VERFLÜSSIGUNG, VERGASUNG UND PYROLYSE

7.2.5.1 VERFLÜSSIGUNG VON BIOMASSE

Direkte Umwandlungsprozesse von Lignocellulosematerial in flüssige Kohlenwasserstoffe sind seit längerer Zeit bekannt und wurden vor allem zur Zeit des großen Ölschocks von 1975 - 1985 weiterentwickelt. Die Prozesse finden in wässrigen und nicht-wässrigen Medien bei hohem Druck und erhöhter Temperatur (100 - 400 bar, 100 - 400°C) statt, als Inputstoffe dienen Lignocellulose sowie fallweise auch verschiedene biogene Abfallstoffe (Prozessabfälle der Lösungsmittelindustrie, biogener Hausmüll). Weitere Parameter sind der Einsatz katalytischer Mengen an Natriumcarbonat bzw. einer Kohlenmonoxid - Atmosphäre und die Verweildauer im Reaktor (durchschnittlich 20 - 60 Minuten). Beispielhaft soll der HTU - Prozess, ein Biomasse - Verflüssigungsprozess eines niederländischen Forschungskonsortiums, dargestellt werden.

- HTU Prozess

In diesem Prozess, der bereits von 1981 - 1988 in seinen Grundzügen von Shell Niederlande entwickelt wurde, wird feuchte Biomasse bei einem Druck von ca. 120 - 200 bar und einer Temperatur von 300 - 350°C für 5 - 20 Minuten in Wasser behandelt. Dabei wird die Biomasse größtenteils depolymerisiert und decarboxyliert und der Sauerstoffgehalt wird verringert. Als Produkt verbleibt ein mit Wasser unmischbares „Biorohöl“ mit relativ niedrigem Sauerstoffgehalt (ca. 10–18 Vol%) und einem Heizwert von ca. 30 - 35 MJ/kg. Die Zusammensetzung des Bioöls begünstigt dessen Einsatz als Diesel oder Kerosin, wobei weitere Aufreinigungsschritte vorgeschaltet werden müssten.

Die Vorteile des Prozesses sind der Einsatz von Biomasse ohne Vortrocknung (dadurch auch direkter Einsatz von biogenen Abfällen aus der Industrie/Haushalten möglich), die Gewinnung eines Biorohöls mit relativ hohem Heizwert zum Einsatz als Treibstoff. Die Nachteile liegen in den hohen Investitionskosten für den Prozess, umfangreicher Reinigungsoperationen für die Prozessemissionen (Abwasser, Abgas) und einer notwendigen nachgeschalteten Veredelung des „Biorohöls“. Der Prozess befindet sich derzeit noch in einem Up-scaling Stadium, eine erste kommerzielle Anlage soll 2005 entstehen.

7.2.5.2 VERGASUNG

Die Vergasung von Biomasse ist eine bereits seit Jahrzehnten bekannte und praktizierte Technologie. Es kann eine Unterscheidung in drei Prozesse getroffen werden: Pyrolyse, unvollständige Verbrennung und Reforming. Die unten angeführten Reaktionsschemata geben einen Überblick über die theoretischen, optimalen Umsetzungen (von Cellulose) bei den jeweiligen Prozessen:

- Hochtemperatur - Pyrolyse: $C_6H_{10}O_5 \rightarrow 5CO + 5H_2 + C$
- Unvollständige Verbrennung: $C_6H_{10}O_5 + O_2 \rightarrow 5CO + 5H_2 + CO_2$
- Dampf - Reforming: $C_6H_{10}O_5 + H_2O \rightarrow 6CO + 6H_2$

Auf die Möglichkeiten zur energetischen Nutzung der Biomasse-Vergasung soll in diesem Rahmen nicht näher eingegangen werden. Neben einer möglichen energetischen Nutzung eines „Holzgases“ besteht jedoch auch, vor allem im Falle eines Reformingprozesses, die Möglichkeit zur Erzeugung von Chemikalien und Treibstoffen (Methanol, Dimethylether). Diese Route wird im Allgemeinen über die Erzeugung eines Synthesegas ähnlichem Produktgases beschriftet. Das Synthesegas wird gegebenenfalls nach Reinigungs- und Reformingprozessen über eine Fischer - Tropsch Synthese in die gewünschten Produkte (kurz und mittelkettige Alkane und Alkene) umgewandelt. Dies geschieht je nach eingesetztem Katalysator mit einer hohen Selektivität, wobei anschließende Trenn- und Aufbereitungsschritte der Produkte nicht ganz entfallen können. Die Vorteile liegen darin, dass man mit dieser Prozessführung bekannte Basisbausteine der gängigen Erdöl basierten Industrie herstellen und somit bestehendes Synthese Know-how weiternutzen kann. Weiters ist der Prozess der Erzeugung von Treibstoffen und Chemikalien mittels der Fischer - Tropsch Synthese gut erforscht und in der Verwertung von Synthesegas aus Erdgas und Kohle bereits seit längerer Zeit in großtechnischem Einsatz.

Derzeit sind effiziente Vergaser-Technologien für die Vergasung von Biomasse noch nicht in großem Umfang vorhanden und die betriebenen Reaktoren weisen teilweise noch eine ungenügende Stabilität (zu geringe Jahresbetriebsstundenleistung) aus.

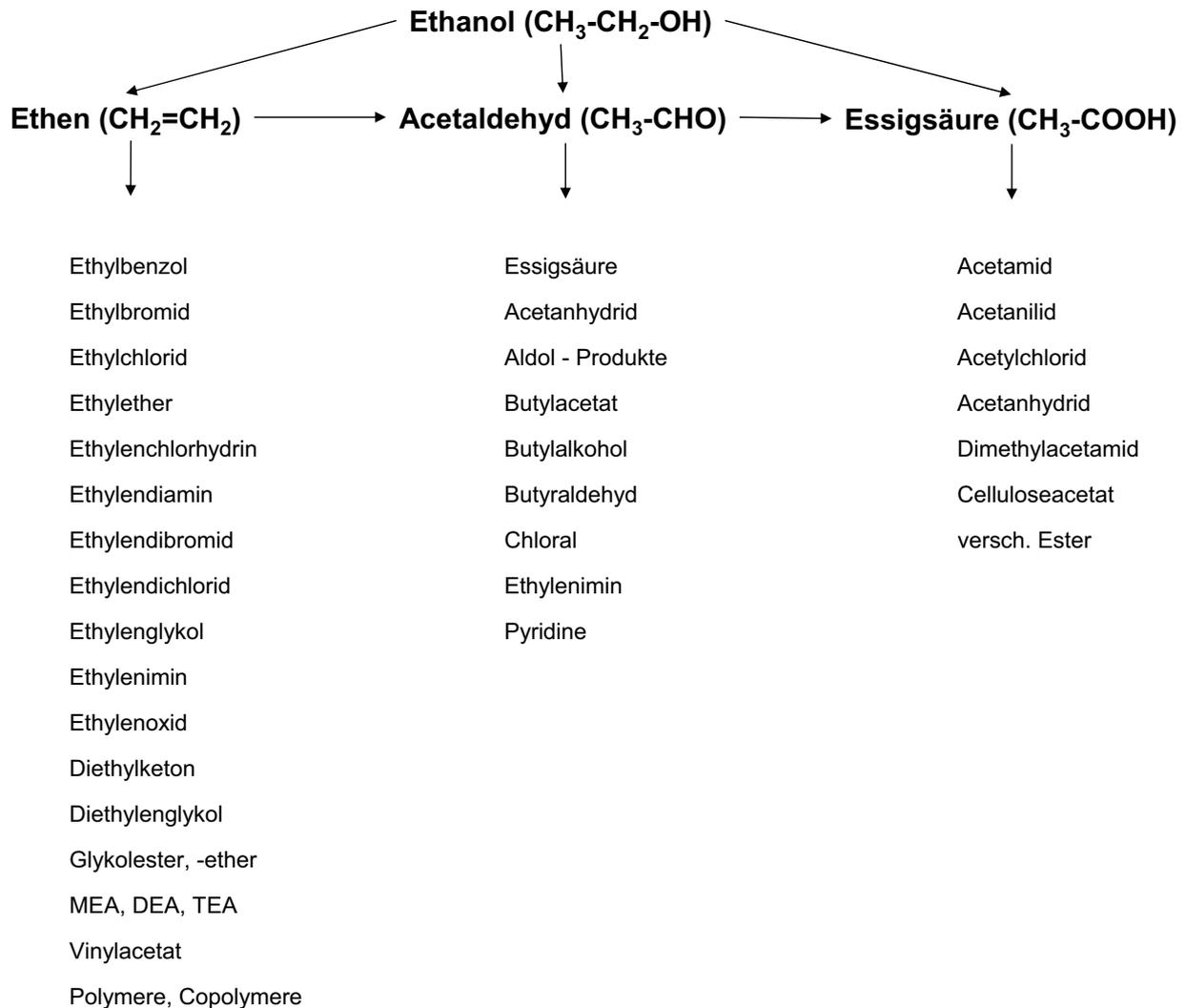


Abbildung 17: Mögliche Produkte aus der Vergasung von Biomasse (Lit²¹)

7.2.5.3 PYROLYSE

Die Pyrolyse von Biomasse kann als direkte thermische Zerlegung der meist polymeren, organischen Verbindungen der Biomasse unter Ausschluss von Sauerstoff aufgefasst werden. Hierbei entstehen nach Kondensation eine Reihe flüssiger („Pyrolyseöle“), fester („Pyrolysekoks“), und gasförmiger Verbindungen, die teilweise direkt und teilweise nach entsprechenden Trenn- und Reinigungsoperationen weiterverwendet werden können. Die Fraktionen finden als Kraftstoffe, Lösungsmittel oder Fein- und Basischemikalien Einsatz.

In den letzten Jahren wurde die Forschung auf dem Gebiet der Pyrolyse wieder intensiviert, wobei vor allem Techniken mit kurzer Reaktor-Verweilzeit der Biomasse (Flash-, Rapid-, Ultrapyrolyse) im Vordergrund stehen. Hierbei sind Umsatzraten (Anteil Pyrolyseöl) von bis zu 85 Gew.% der Ausgangssubstanz erreichbar. Weiter kann über Steuerung der wichtigsten Prozessparameter (Biomasse-Zusammensetzung, Druck, Temperatur, Reaktionszeit, Katalysator) die Verteilung der Ausbeute an flüssiger/fester/gasförmiger Komponenten gezielt beeinflusst werden.

Die festen Bestandteile (Kohle) bestehen aus anorganischen Komponenten (vorwiegend Metalle – Silikate, Oxide) und kohlenstoffhaltigen Reststoffen aus der thermischen Zersetzung der Biomasse.

Die flüssige Phase ist eine komplexe Mischung von Wasser und einer Vielzahl organischer Verbindungen, wie z.B. Säuren, Alkohole, Aldehyde, Ketone, Ester, phenolische und heterocyclische Verbindungen. Hervorzuheben ist, dass die gewonnenen organischen Verbindungen kurzkettig sind, im Gegenteil zu den polymeren Verbindungen der Biomasse-Ausgangssubstanzen (z.B. Cellulose, Hemicellulose, Lignin). Je nach Prozessführung kann die Zusammensetzung stärker schwanken (Lit³¹), Tabelle 16 gibt einen Überblick. Nicht berücksichtigt sind hier die nicht flüchtigen organischen Bestandteile (bis ca. 15%) und jener Anteil in der flüssigen Phase, der als pyrolytisches Lignin bezeichnet wird (ca. 25%).

Stoff	Slow pyrolysis	Fast pyrolysis			
	Tr=800K	BTG	Dynamotive	Ensyn	Pyrovac
	[%FP]	[%FP]	[%FP]	[%FP]	[%FP]
Wasser	38,10	30,40	21,10	20,30	15,70
CH I gesamt	16,93	15,60	16,49	13,76	9,59
CH II gesamt	2,15	0,89	1,24	1,49	1,39
Furane gesamt	1,66	1,08	1,46	1,24	1,05
Phenole gesamt	0,56	0,38	0,66	0,81	1,44
Guaiacole gesamt	2,21	3,86	6,06	2,95	2,63
Syringole gesamt	2,41	0,34	0,26	2,19	0,44

Tabelle 16: Zusammensetzung der flüssigen Phase je nach angewandtem Prozess (Lit²¹)

Legende: [%FP] ... Anteil in Prozent der gesamten Flüssigphase (Massenprozent)
 BTG, Dynamotiv, Ensyn, Pyrovac ... Firmennamen
 CH I ... Gruppe mit Hauptbestandteilen, z.B. Hydroxyacetaldehyd, Essigsäure, Hydroxypropanon, Levoglucosan
 CH II... Gruppe mit Nebenbestandteilen Propionsäure, 1-Hydroxy-2-butanon, Ameisensäure und weitere kurzkettige Säuren, Ketone und Aldehyde

In der Gasphase finden sich vorwiegend Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Methan, Ethan, Wasserstoff, Ethen, Spuren längerer organischer Verbindungen und Wasserdampf.

Um aus diesen komplexen Stoffgemischen reine Verbindungen zu erhalten, müssen weitere Trenn- und Reinigungsoperationen nachgeschaltet werden. Trotz dieses Mehraufwandes diente die Pyrolyse von Harthölzern der Gewinnung unterschiedlicher Massen- und Feinchemikalien, wie beispielsweise Methanol, Essigsäure, etc. Die

großtechnische Gewinnung und Aufbereitung von Erdöl verdrängte die Pyrolyse jedoch weitestgehend auf Grund ihrer zu geringen Wirtschaftlichkeit.

Die Nachteile einer Pyrolysebehandlung von Biomasse sind die geringe Selektivität bei der Bildung der Polymer-Bruchstücke und die große Vielfalt an entstehenden organischen Verbindungen, woraus sich die zwingende Notwendigkeit einer komplexen Aufarbeitung der Pyrolyseöle gegebenenfalls gekoppelt mit einer Veredelung bzw. Umwandlung einiger der Produkte ergibt. Sofern die Auftrennung in einzelne Chemikalien von Interesse ist, können bestehende Prozesse derzeit wirtschaftlich nicht mit den Produkten aus Rohöl konkurrieren.

7.3 DIE STOFFLICHE NUTZUNG VON BIOMASSEPRODUKTEN IN DER EU

Im Folgenden wird der derzeitige Markt an Biomasseprodukten in der EU dargestellt, wobei die möglichen Produktgruppen und ihre Märkte, angeführt im Kapitel 7.2., auch für die EU gelten. Derzeit gibt es für die EU noch keine Studie, die die potentiellen Märkte nach einzelnen Produktgruppen darstellt.

Die folgenden Angaben stammen aus der Studie „Current situation and future prospects of EU industry using renewable raw materials“, die von der Arbeitsgruppe „Renewable Raw Materials“ der European Renewable Resources & Materials Association (ERRMA) 2002 durchgeführt wurde (Lit³²).

In der EU werden die Biomasseprodukte und ihre Anwendungen in folgende Gruppen eingeteilt:

- Chemikalien (z.B. chemische Zwischenprodukte und Polymere)
- Spezialchemikalien (z.B. Kleber, Lösungsmittel, Tenside, pharmazeutische und kosmetische Produkte)
- Fasern (z.B. Textilfasern, Verbundstoffe, Bulkfasern)
- Öle (z.B. Schmiermittel)

7.3.1 HAUPTMARKTSEKTOREN VON ERNEUERBAREN ROHSTOFFEN IN DER EU UND DEREN STRUKTUR

Die Hauptmarktsektoren in denen derzeit ER angewandt werden, sind Fette und Öle in Form von Fettsäuren, Estern, Alkoholen und Polymeren (z.B. Mischungen aus Stärke und fossilbasierenden Copolymeren). Es besteht weiters großes Interesse pharmazeutische und kosmetische Produkte aus ER herzustellen. Die Biofaserindustrie basierend auf Holz, Flachs oder Hanf stellt für die Automobilindustrie Fasern zum Ersatz von Glaswolle zur Verfügung.

Große Firmen agieren eher im Markt von Bulkchemikalien, wie z.B. der Herstellung von Tensiden für Detergentien. Klein- und Mittelbetriebe nutzen ihre Kontakte und Fähigkeiten um sehr innovative Spezialmärkte zu entwickeln wie z.B. für Farben oder Kosmetika.

Marktsektor	Totale Marktgröße (1998) [Mio t]	Marktgröße an ER (1998) [Mio t]	Potentielle totale Marktgröße bis zum Jahr 2010 [Mio t]	Geschätzter Marktanteil der ER bis zum Jahr 2010 [%]
Polymere	33	0,025	0,5	1,5
Schmiermittel	4,24	0,1	0,2	4,7
Lösungsmittel	4	0,06	0,235	5,9
Tenside	2,26	1,18	1,45	64,2

Tabelle 17: Geschätztes Potential der wichtigsten Biomasseprodukte in der EU (Lit³²)

Im Folgenden werden die einzelnen Marktsektoren gesondert diskutiert.

7.3.2 POLYMERE

Der aktuelle Markt für Polymere aus ER in der EU wird auf 25.000 t/Jahr geschätzt. Verglichen mit den 33 Millionen t der erdölbasierten Polymere ist dieser Anteil noch sehr gering. Trotzdem wird den Polymeren durch verbesserte Herstellungstechnologien ein größerer Zukunftsmarkt vorausgesagt. Er wird auf viele Millionen t geschätzt. Der derzeit größte Marktanteil der Polymere aus ER wird mit ca. 70% von Mischungen aus physikalisch geänderter Stärke und erdölbasierten Ölen eingenommen. Der durchschnittliche Stärkeanteil in den Produkten liegt zwischen 60 und 70%.

Hersteller der Biopolymere arbeiten daran, ihre Produktionskapazitäten zu steigern. Novamont verdreifachte seine Kapazität in den letzten Jahren mit der Produktion von 20.000 t in eigener Produktion und 15.000 t in Kooperation mit National Starch (ECO-FOAM®). Metabolix und Procter & Gamble verwenden nach wie vor Fermentation zur Herstellung von Polyhydroxyalkanoaten. Die nicht - erneuerbaren aber vollständig biologisch abbaubaren Polymere betreffend, plant BASF die Konstruktion einer Anlage für 45.000 t in Deutschland (Ecoflex®) und Eastman (Eastar Bio) besitzt eine Anlage in Großbritannien für ca. 15.000 t dieser Polyester. Laut IBAW (Interessensgemeinschaft Biologisch Abbaubare Werkstoffe) könnten diese innovativen Produkte in Zukunft 5 - 10% des Plastikmarktes abdecken.

Derzeit belegen die Biopolymere also nur Nischenmärkte, es wird ihnen aber ein großes Marktwachstum vorausgesagt. Momentan verwenden die Hersteller vorwiegend nicht - erneuerbare, biologisch abbaubare Materialien, die aber zukünftig von ER ersetzt werden könnten. Hier werden die großen Firmen wie die BASF, Cargill - Dow und ICI (National Starch) in Zukunft die wesentlichen Trends setzen. Trotzdem investieren auch viele kleinere Firmen wie Novamont (Biopolymer aus Stärke und Polycaprolacton – Mater-Bi™) in neue Anlagen (8 Millionen t Produktion pro Jahr siehe Lit³³). Novamont beispielsweise ist der größte Anbieter biologisch abbaubarer Polymere aus natürlichen Quellen. Durch die Kombination von

Biopolymeren und petrochemischen Produkten können umweltfreundlichere Materialien für spezifische Anwendungen entwickelt werden. Auch für die Produktion von Polylactiden wird ein steigender Markt vorausgesagt.

Polymere aus Cellulose zählen zu den bereits etablierten Märkten in der EU, welche noch in Celluloseacetatpolymere und Viskosepolymere unterschieden werden können. Sie werden vorwiegend für Zigarettenfilter, Brillen und Zahnbürsten verwendet und ihr europäischer Markt liegt bei ca. 150.000 – 200.000 t pro Jahr. Viskosepolymere (140.000 t pro Jahr) werden vor allem für Fasern, Hochglanzfilmen und Verpackungsmaterial verwendet (Lit³³).

7.3.3 VERBUNDSTOFFE

Polymere werden auch zur Herstellung von Verbundstoffen mit einer Polymermatrix verwendet. Diese sind sehr vielfältig und werden in vielen Bereichen angewandt. So werden in Westeuropa jährlich 1 Million t dieser Stoffe eingesetzt. Synthetische Fasern (vor allem Glaswolle) werden zur Verstärkung dieser Materialien verwendet. Die Matrix ist meist ein thermoplastisches Polymer aus Erdöl.

In den letzten Jahren ist das Interesse an einem Einsatz von natürlichen Fasern in Verbundstoffen stark angestiegen. Die wichtigsten in Europa angebauten Rohstoffe neben Cellulose aus Stroh und Holz sind Flachs und Hanf. Neue Verbundstoffe auf Basis von Cellulose werden derzeit von der Industrie entwickelt. Obwohl diese Produkte meist teurer sind, können sie einige Vorteile wie geringeres Gewicht, verbesserte Sicherheit und effektivere Absorptionseigenschaften aufweisen. Die natürlichen Fasern werden vorwiegend zum Ersatz der synthetischen Matrix wie Polypropylen und ungesättigten Polyesterharzen und nicht für vollständig natürliche Verbundstoffe verwendet. Trotzdem sind die meisten am Markt befindlichen Verbundstoffe noch petrochemischen Ursprungs. Durch die guten mechanischen Eigenschaften lässt sich aber eine Steigerung des Einsatzes von ER voraussagen, sobald die Ausführungen und Technologien verbessert werden können. Ein Markt der sich hier bereits entwickelt hat, ist die Anwendung von Flachs, Hanf und Celluloserohstoffen als Glaswolleersatz in der Automobilindustrie. Die Verbundstoffe sind leichter und sie werden bereits von der deutschen Automobilindustrie (VW/Audi, BMW und Daimler Chrysler) für Innentürplatten, Regale, Armaturen-bretter und ähnliches verwendet. Auch hier wird in Zukunft die Kombination von natürlichen und erdölstämmigen Rohstoffen die Hauptrolle spielen.

7.3.4 SCHMIERMITTEL

Obwohl die Hälfte der Produkte des Schmiermittelmarktes der EU im Automobilsektor eingesetzt werden, stammt nur eine geringe Menge der Getriebe- und Motoröle aus Biomassequellen. Aufgrund einiger Vorteile der natürlichen Schmiermittel wie bessere biologische Abbaubarkeit, natürliche Rohstoffquellen und der geringen Toxizität wird ihnen aber durch Kooperationen des Automobilsektors und internationalen Ölfirmen ein steigender Markt vorausgesagt. Hier wird vor allem

dem deutschen Markt ein großes Potential zugeschrieben. Der zukünftige Marktanteil der Bioschmiermittel wird auf ungefähr 30% geschätzt.

Marktsektor für Schmiermittel	Totale Marktgröße in der EU [10 ³ t]	Aktuelle Marktgröße der Bioschmiermittel in der EU [10 ³ t/Jahr]	Potentielle Marktgröße der Bioschmiermittel bis zum Jahr 2010 [10 ³ t/Jahr]	Potentieller Marktanteil der Bioschmiermittel bis zum Jahr 2010 [%]
Hydraulische Flüssigkeiten	750	51	250	33,3
Schmieröle	138	1	69	50,0
Sägeschmiermittel	40	29	38	95,0
Schimmelfreisetzende Stoffe	82	10,5	41	50,0
Motor- und Getriebeöle	2408	4,5	482	20,0
Metallbearbeitende Flüssigkeiten	338	4,5	170	50,3
Andere Anwendungen	486	0,5	240	49,4
Total	4242	101	1290	30,4

Tabelle 18: Marktanteile von Schmiermitteln in der EU (1999) (Lit³²)

Produzenten von erdölbasierten Schmiermitteln sind die großen Erdölraffinerien wie Exxon Mobil, BP Castrol, TotalFinaElf, etc., wobei diese Firmen vorwiegend Treibstoffe aus Erdöl produzieren und nur zu 1% Schmiermittel. Der eigentliche Schmiermittelmarkt ist stärker unterteilt. Es existieren 70 bis 80 kleinere Produzenten, die nur Schmiermittel produzieren und dabei 80% des Marktes belegen. Die „Keyplayers“ für Biomasseschmiermittel sind einige wenige große Firmen und viele Klein- und Mittelbetriebe wie Addinol, Binol, Blaser, Carl Bechem, Fuchs Petrolub, Kajo Chemie, Klüber Lubrication, Novance, Panolin, Zeller und Gmelin.

Vom technischen Standpunkt aus betrachtet, könnten mehr als 90% der Schmiermittel zukünftig vollständig biologisch abbaubar sein. Die Preise von Biomasseschmiermitteln sind 1,5 – 5 mal höher als jene für konventionelle.

Trotzdem könnte durch direkte finanzielle Unterstützung und Markteinführungsanreize, wie sie in Deutschland seit 2002 schon eingesetzt werden, eine temporäre Brücke für die Biomasseschmierstoffe und ihren verstärkten Einsatz geboten werden. In der EU existieren derzeit viele Gesetze und Restriktionen für einen Einsatz von herkömmlichen Schmiermitteln, ihre Toxizität, Emissionen, Recycling und Abfall betreffend. Aber, mit Ausnahme des österreichischen Gesetzes zum Einsatz von biologisch abbaubarem Sägeöl, schreibt kein Gesetz den Einsatz von Biomasseschmiermitteln vor.

7.3.5 TENSIDE

Mit einer Gesamtproduktion von 2,3 Millionen t jährlich (im Jahr 1998, mit Ausnahme von Seife) in der EU übersteigt der Einsatz von ER in Tensiden die übrigen Anwendungen mit 1,2 Millionen t bei weitem (siehe Tabelle 17). Anionische und nichtionische Tenside bilden die größte Gruppe an Tensiden, wobei diese aus petrochemischen und/oder erneuerbaren Quellen hergestellt werden. Kationische (z.B. für Haushaltsprodukte) und amphotere Tenside (z.B. für Kosmetika) belegen bis jetzt einen relativ kleinen Markt verglichen zu den anderen.

Aufgrund der Tatsache, dass Tenside beide Rohstoffarten enthalten können, gibt es bereits viele Kooperationen zwischen der oleochemischen Industrie wie Cognis, Croda und Uniqema und den petrochemischen Produzenten wie Shell. Fast alle Öle, die zur Produktion von Tensiden in der EU eingesetzt werden, sind importierte tropische Öle, da diese im Vergleich zu Ölen aus Europa (Sonnenblume, Raps) aufgrund ihrer chemischen Struktur besser verwertbar sind. Stärkebasierte Tenside

wie z.B. die Alkylpolyglucoside (APG's) repräsentieren eine wichtige Ausnahme. Sie machen aber nur 3% der derzeitigen Gesamtproduktion der Tenside aus. Aktuelle Verordnungen fördern die Vorteile der biobasierten Tenside nicht. Solche Gesetze könnten aber, einen Anstieg des Marktanteils für die Biomasseprodukte über 40% bedeuten.

7.3.6 SPEZIALCHEMIKALIEN

Diese Produkte sind generell höherpreisig oder Produkte mit hoher Wertschöpfung und werden in geringeren Mengen als die übrigen Produkte gehandelt.

Zu ihnen gehören:

- Ätherische Öle
- Essentielle Fettsäuren (z.B. γ - Linolensäure)
- Pharmazeutika (für Mensch und Tier)
- Kräuterprodukte
- Tinte und Farben
- Parfüms
- Schönheitsprodukte
- Pflanzenschutzprodukte

7.3.6.1 WISSENSCHAFTLICHE UND TECHNISCHE ASPEKTE

Vor allem am Gebiet der Extraktions-, Isolations- und Gewinnungstechnologien wird im Bereich der Spezialchemikalien sehr viel gearbeitet. Neue Optionen für Produkte entstehen durch neue Technologien (z.B. superkritische Extraktion mit CO₂). Auch neue Entwicklungen am Gebiet der chemischen Analyse (Gaschromatographie, Hochleistungsflüssigkeitschromatographie) und andere Trennungsmethoden können helfen die Mischung an chemischen Inhaltsstoffen in den Pflanzen zu charakterisieren und zu standardisieren. Biologische Assays werden verwendet um die biologischen Aktivitäten einzelner Inhaltsstoffe oder ganzer Extrakte zu testen.

Auch anhand organoleptischer und Geruchstests werden viele dieser Spezialchemikalien - vor allem ätherische Öle und Parfüms - getestet.

7.3.6.2 MÄRKTE

Frankreich ist der größte europäische Produzent von Spezialchemikalien gefolgt von Spanien. Die Nachfrage am Weltmarkt für ätherische Öle wird auf 45.000 t, von aromatischen Pflanzen auf 50.000 t jährlich (1995) geschätzt (Lit³⁴).

Weiters sind Nachfrage und Preis sehr variabel und reagieren schnell auf das vorhandene Angebot am Markt, Größe der potentiellen Ernte und ihre Qualität.

Europa spielt eine wichtige Rolle im internationalen Handel von medizinischen und aromatischen Pflanzen, die im Durchschnitt zu 120.000 t jährlich von 120 Ländern importiert werden. Deutschland, Bulgarien und Polen gehören zu den wichtigsten Exporteuren dieser Pflanzen. Mit 1.200 bis 1.300 Arten, die in Europa heimisch sind, wird gehandelt und obwohl einige Arten kultiviert werden (10 – 15% des Gesamtvolumens), spielt die Sammlung wildwachsender Pflanzen (20.000 – 30.000 t jährlich) z.B. in Albanien, Türkei, Bulgarien, Griechenland und Spanien nach wie vor die wichtigere Rolle der Abdeckung des Rohstoffbedarfs dieser Pflanzen.

8 CHANCEN UND HEMMNISSE BEI DER NUTZUNG ERNEUERBARER ROHSTOFFE

Ausgehend von bisher in Österreich durchgeführten Studien zur Thematik der ER und bereits bestehenden Kontakten des JOANNEUM RESEARCH – Institutes für Nachhaltige Techniken und Systeme (JOINTS) auf dem Gebiet der ER (wissenschaftlich und industriell) und aufbauend auf der von JOINTS im Herbst 2002 im Rahmen des Projektes „Innuplant“ durchgeführten Umfrage im deutschsprachigen Raum „Erneuerbare Rohstoffe in der chemischen Industrie“ (siehe 8.1) fanden über einen längeren Zeitraum Firmen- und Expertengespräche zur Thematik statt¹⁴. Diese wurden persönlich, telefonisch oder per email durchgeführt. Gleichzeitig wurden Literaturrecherchen durchgeführt und einschlägige nationale und internationale Kongresse besucht um weitere Kontakte zu Firmen und Experten aufzubauen sowie den neuesten Stand der Forschung zu dokumentieren. Die ursprünglich beabsichtigte Abgrenzung der chemischen Industrie Österreichs und des damit verbundenen Einsatzes von ER erscheint nicht mehr zweckmäßig, da die chemische Industrie eine stark globalisierte Industriebranche ist und dementsprechend über Ländergrenzen hinweg betrachtet werden muss.

8.1 ERGEBNISSE AUS DER UMFRAGE „ERNEUERBARE ROHSTOFFE IN DER CHEMISCHEN INDUSTRIE“

Die wichtigsten Ergebnisse der Umfrage sollen hier zusammengefasst werden um einen Überblick über die Hemmnisse aber auch die Chancen, die die Vertreter der chemischen Industrie in den ER sehen, zu bekommen. Die Firmen- und Expertengespräche wurden darauf aufbauend durchgeführt.

8.1.1 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Als Zielgruppe wurde ein breites Spektrum der chemischen Industrie Österreichs und ausgewählte multinationale Konzerne mit Sitz in Deutschland und der Schweiz, aber Tochterunternehmen in Österreich, zu Aspekten des Einsatzes von ER befragt. Aus Daten der Firmendatenbank der Wirtschaftskammer, einer JOINTS-Firmendatenbank und der ÖNAG-Datenbank wurde ein zu befragendes Gesamtsample zusammengestellt. Die Eingrenzung erfolgte nach NACE Codes. NACE (Classification of Economic Activities in the European Community) ist das internationale europäische Codierungssystem zur industriellen Klassifizierung. Aus den 470 versandten Fragebögen ergab sich ein Rücklauf von 40 Fragebögen. In der Analyse wurden Fragebögen von 38 Unternehmen berücksichtigt. Die restlichen retournierten Fragebögen konnten aufgrund von Unleserlichkeit oder Undurchsichtigkeit der Beantwortung nicht aufgenommen werden.

¹⁴ Firmennamen und Kontaktpersonen bzw. Experten siehe Anhang

Als ausschlaggebende Gründe für eine Umstellung auf die Nutzung von ER gaben die Firmen folgende Punkte an:

- schon immer benutzt
- keine Alternativen auf Erdölbasis, schon immer Naturstoff bzw. biotechnologisch wie Enzyme
- Natürlichkeit
- keine Umstellung sondern Neuentwicklung
- technische Vorteile
- nachhaltiges Wirtschaften, Umwelt, Kyotoziele

Vorteile, die die Firmen mit dem Einsatz von ER in ihrer Produktion verbinden:

- unbegrenzte Verfügbarkeit
- nachhaltig, zukunftsorientiert
- mögliche qualitative Veränderbarkeit
- Qualitätsverbesserung des Produktes
- Effizienzsteigerung in der Produktion
- Verarbeitungserleichterung im Produktionsprozess
- umweltgerechtere Produktion allgemein/Umweltschutz
- Erweiterung des Kundensegments
- Werbewirksamkeit
- Preisvorteile/Ersparnis, bessere Preis-Leistungsrelation
- Stärkung der regionalen Wirtschaft

Angegebene Gründe für Probleme mit ER im Produktionsbereich im Vergleich zu Erdölprodukten:

- mangelnde Qualitätskonstanz
- andere Qualitätsprobleme
- mangelnde Verarbeitungseigenschaften

- mangelnde Konstanz der Menge/Liefersicherheit
- mangelnde absolute Verfügbarkeit/Angebot
- einige Produkteigenschaften nicht erzielbar
- mangelnde Akzeptanz durch Kunden/Abnehmer
- absoluter Preis
- Preisschwankungen
- unzureichende Forschungsergebnisse

Warum werden in bestimmten Bereichen keine ER eingesetzt bzw. warum setzen die Firmen überhaupt keine ein:

- Rohstoff nur auf Erdölbasis verfügbar
- Angebot kaum vorhanden
- Rohstoffqualität nicht gegeben (z.B.: Reinheit, Festigkeit, Schlagzähigkeit)
- Rohstoff nicht erschwinglich
- Verlässlichkeit der Menge nicht gegeben
- Erntemengen stark schwankend
- andere Verfügbarkeitsgründe
- Umstellung des Produktionsprozesses zu teuer oder technologisch nicht ausgereift
- Umstellung erfordert neue Anlage/Maschine
- fehlende Steueranreize und Fördersysteme
- externe gesetzliche Restriktionen
- ungünstige, externe staatliche/überstaatliche Rahmenbedingungen (z.B.: Internalisierung externer Effekte)
- hohes Innovationsrisiko
- fehlende Bevorzugung von ER
- Umwelteffekte werden im Preis nicht berücksichtigt

- Fehlende F&E mit ER
- Starke, nationale, europäische und internationale Petrochemie–Lobby
- Marketing schwierig – vielen Kunden ist Umweltvorteil egal

Aus den Auswertungen der Fragebogenergebnisse können einige interessante Aspekte für zukünftige Strategien und Entwicklungen auf dem Gebiet der ER entnommen werden. Es muss allerdings betont werden, dass aufgrund der geringen Anzahl von Fragebögen, die Basis für diese Auswertung sind, keine Verallgemeinerungen gemacht werden können. Im Zusammenhang mit dieser Fragestellung können daher keine Rückschlüsse auf Branchen gemacht werden, die verstärkt ER einsetzen. Diese und auch die folgenden Auswertungen haben daher nur deskriptiven Charakter und können wegen der nicht vorhandenen Repräsentativität nicht für inferenzstatistische Schlussfolgerungen herangezogen werden.

Von den Unternehmen, die ER einsetzen, stammen die meisten aus den Bereichen „Reinigungsmittel und Detergentien“, „Chemische Grundstoffe“, „Pharmazeutische Erzeugnisse“ und „Sonstige chemische Erzeugnisse“.

Die ER werden hauptsächlich aus Österreich oder Europa bezogen, wobei die Firmen diese Rohstoffe schon sehr lange einsetzen. Bezüglich der Veränderung der Herstellungskosten durch den Einsatz von ER wurden nur wenige Angaben gemacht, wobei bei einigen Unternehmen die Kosten gleich blieben und sich bei einigen erhöhten. Als die mit Abstand am häufigsten auftretenden Probleme beim Einsatz von ER wurden Preisschwankungen und mangelnde Qualitätskonstanz angegeben. Als Vorteile wurden die umweltgerechte Produktion, die Werbewirksamkeit und die Qualitätsverbesserung des Produktes sowie die Erweiterung des Kundensegments angeführt.

Neben der Erschließung von Marktnischen wird es in den nächsten Jahrzehnten darum gehen, biogene Rohstoffe an etablierte Märkte heranzuführen und umweltverträglichere und kostengünstigere Lösungen aufzuzeigen.

Hauptsächlich kommen pflanzliche ER zum Einsatz, die wichtigste Rohstoffgruppe sind nach wie vor die Fette und Öle:

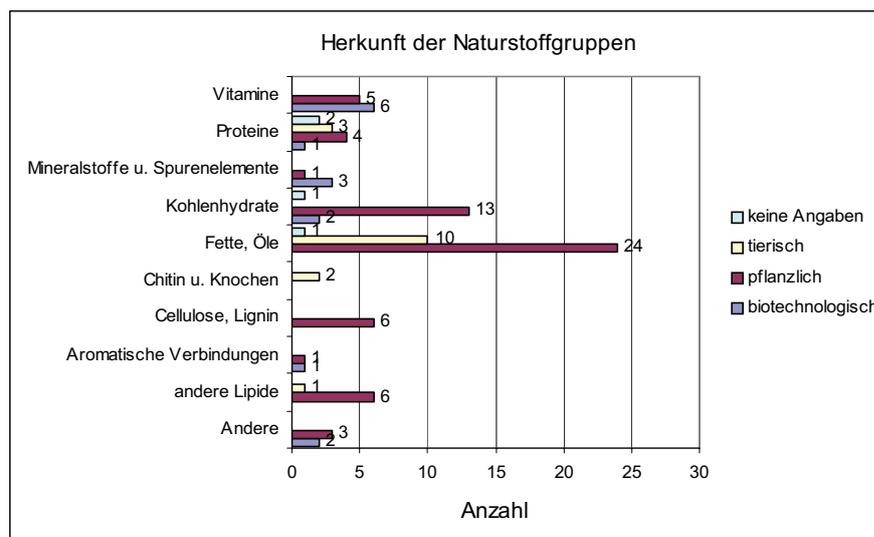


Abbildung 18: Betroffene Naturstoffgruppen der industriell eingesetzten ER laut Fragebögen (JOINTS, Herbst 2002)

8.2 CHANCEN UND HEMMNISSE BEI DER INDUSTRIELLEN NUTZUNG ERNEUERBARER ROHSTOFFE AUS SICHT DER CHEMISCHEN INDUSTRIE

Im Folgenden werden, aufbauend auf den beiden Zwischenberichten, die Ergebnisse der Gespräche mit den Firmenvertretern zusammengefasst, um einen Gesamteindruck der Gespräche darzustellen und alle wesentlichen Erkenntnisse noch einmal zu dokumentieren. Viele der angesprochenen Aspekte und Meinungen wiederholten sich in den meisten Gesprächen.

In den Firmengesprächen war es von äußerster Wichtigkeit, dass man (wenn möglich) an die „richtige“ Ansprechperson (falls vorhanden Forschungs- und Entwicklungsabteilung, Innovationsmanagement) gelangte. Es wurden vorwiegend Firmen kontaktiert, die bereits an der von JOINTS im Herbst 2002 im Rahmen des Projektes Innuplant durchgeführten Umfrage im deutschsprachigen Raum „Einsatz erneuerbarer Rohstoffe in der chemischen Industrie“ teilgenommen hatten. Aber auch andere Firmen, vorwiegend große chemische Konzerne wurden befragt. Meist wurde bei österreichischen Tochterunternehmen auf die Hauptsitze verwiesen, da diese die Rohstoff- bzw. Technologieauswahl treffen. Die Firmen stammen vorwiegend aus dem produzierenden Bereich der chemischen Industrie. Am kooperativsten zeigten sich Firmen und Konzerne, die sich schon längere Zeit mit dem Einsatz von ER in ihrer Produktpalette beschäftigen. Weiters zeigte sich, dass sich die meisten Firmengesprächspartner vorwiegend nur auf ihre Produkte und den möglichen Einsatz von ER in diesen konzentrieren.

Die Befragung im Rahmen dieses Projektes kann zwar als breit angesehen werden, ist jedoch keinesfalls umfassend.

8.2.1 DIE WICHTIGSTEN ALLGEMEINEN BESTIMMUNGSGRÜNDE FÜR EINEN EINSATZ VON ROHSTOFFEN

Unternehmen in der chemischen Industrie, die wettbewerbsfähig bleiben wollen, müssen auf Veränderungen bei Preis, Verfügbarkeit und Verarbeitungstechnologie von Rohstoffen rasch reagieren. Damit sind mit der nachhaltigen Entwicklung bereits die vier wichtigsten Bestimmungsgründe für den Einsatz von Rohstoffen und damit auch von ER in der chemischen Industrie genannt:

- Preis
- Verfügbarkeit (nach Mengen und Qualität)
- Verarbeitungstechnologie
- Nachhaltige Entwicklung

8.2.2 DIE DERZEIT AUSSICHTSREICHSTEN STOFFGRUPPEN AUS DER SICHT DER INDUSTRIE

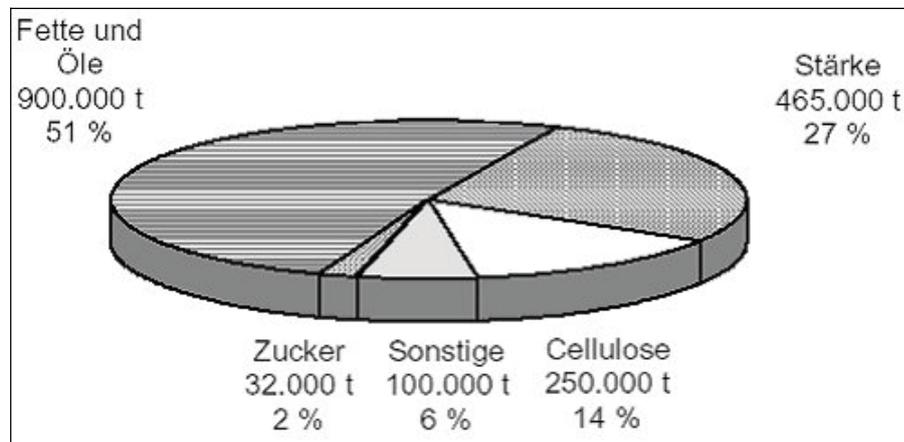


Abbildung 19: Erneuerbare Rohstoffe in der deutschen Chemischen Industrie 1991 (Lit²)

Die größten Potentiale zeigen neben den bereits in der chemischen Industrie eingesetzten Produktgruppen (siehe Abbildung 19) nach Einschätzung einiger Experten Lignin und Kohlenhydrate, andere wiederum sehen nach wie vor das größte Potential in den Fetten und Ölen. Aber auch die in diversen Produktionsschritten als Neben- und Reststoffe anfallende Biomasse, die sich aus verschiedensten Stoffgruppen zusammensetzt, bietet große Chancen in Zukunft noch stärker genutzt zu werden.

Fette und Öle sind aufgrund der eingesetzten Mengen und der bereits großtechnischen Umsetzung vieler Anwendungen (in der Kosmetik, als Tenside, Weichmacher etc.) in der chemischen Industrie weit verbreitet. Auch sind sie energetisch von großer Wichtigkeit als Biotreibstoffe (Biodiesel). Die Forschung in der Chemie der Fette und Öle ist nach Meinung einiger Gesprächspartner im Vergleich zu den Kohlenhydraten schon sehr weit fortgeschritten, deshalb besteht hier vorwiegend vertiefender Forschungsbedarf.

Bei der industriellen Nutzung von Kohlenhydraten gibt es in Anbetracht des weltweiten Potentials noch erheblichen Forschungsnachholbedarf, insbesondere bei der Entwicklung neuer Prozesse. Die Verfahren zur Produktion chemischer Grundbausteine (Ethylen, Hydroxymethylfurfural) auf der Basis von Kohlenhydraten weisen derzeit noch gravierende Mängel auf:

- Preisniveau der Petrochemie wird nicht annähernd erreicht
- Aufwendige Synthesen und Aufarbeitungsschritte, da nur wenige einfache, selektive Einstiegsreaktionen existieren

So gibt es z.B. für die Herstellung von Hydroxymethylfurfural, das ein wichtiger Ausgangsstoff für verschiedene Synthesen ist, noch kein vernünftiges (wirtschaftliches) Verfahren mit hoher Ausbeute. Ebenso ist die Ausbeute bei der Furfuralherstellung aus Pentosen noch immer zu gering und es fallen größere Mengen an Reststoffen an.

Demgegenüber erscheint der Einsatz von ER unter weitgehendem Erhalt der Kohlenhydratgrundstruktur und Funktionalität vielversprechender. Ein wichtiges Anwendungsgebiet, in dem Produkte auf Kohlenhydratbasis (neben den Fetten und Ölen) aufgrund ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften mit Produkten auf Erdölbasis wirtschaftlich konkurrieren können, ist die Detergentien- und Tensidchemie z.B. als Alkylpolyglycoside (APG). Für einen Einsatz in der chemischen Industrie und die damit verbundene Weiterverarbeitung müssen Zucker meist modifiziert werden. Stärken sind z.B. vor allem modifiziert interessant als Klebstoffe, Thermoplastanwendungen, Papierhilfsmittel, Coatings, Modifier, etc.

Für die Celluloseindustrie sehen Experten und Firmenvertreter vor allem die Hemicellulosen als wichtige Ausgangsstoffe für neue Märkte. Hier müssen aber erst Methoden entwickelt werden um die relativ großen Moleküle abzubauen oder zu transformieren. Cellulose bzw. Celluloseether wird/werden als Zuschlagstoffe in Rheologiehilfsmitteln, Speiseeis, Thermoplasten, biologisch abbaubaren Folien, etc. verwendet. Auch im Lebensmittelbereich bieten die Polysaccharide (Stärke und Cellulose) neue Möglichkeiten für Rohstoffe. Pektine und Alginat werden bereits zur Stabilisierung, als Rheologiehilfsmittel und als Gelatineersatz eingesetzt.

8.2.3 LOGISTIK UND ERNEUERBARE ROHSTOFFE

Die Nutzung von ER definiert sich heute neben der Verwendung von tierischem Material überwiegend durch die industrielle Nutzung bekannter Nahrungsmittelpflanzen, die zu Industriepflanzen umgewidmet werden. Die existierenden Betriebsgrößen, Strukturen und Vermarktungswege sind auf die Erzeugung von Nahrungsmitteln, nicht aber auf die Produktion von ER ausgerichtet, die industriell genutzt werden sollen. Dies führt in der konkreten Umsetzung zu erheblichen Problemen und schmälert das hohe Anfangsinteresse stark. Der Weg vom Landwirt bis zum Endverbraucher ist zur Zeit noch durch zahlreiche, technologische und vermarktungsrelevante Hürden gekennzeichnet. Dies stellt Landwirtschaft, Wissenschaft, Handel und Politik vor die Aufgabe, entsprechende Zwischenorganisationen mit Fähigkeiten in der technologischen Beratung und Begleitung der Abnehmer aufzubauen.

Im Gegensatz zu fossilen und mineralischen Rohstoffen, die in Prozessen von industriellem Maßstab gewonnen werden, erfordert die Gewinnung von ER den Einsatz von intensiver, menschlicher Arbeitsleistung und von für den Verwendungszweck adaptierten Maschinen.

Der einfachste Fall einen Rohstoff aus der Erdölindustrie mit einem ER hinsichtlich der Verfügbarkeit zu vergleichen, liegt dann vor, wenn derselbe Rohstoff auf verschiedenen Wegen zugänglich ist. Als Nachfrager wird man dann versuchen, sich von mehreren Anbietern beliefern zu lassen, um die Konkurrenz zwischen diesen zu fördern. Falls sich bei einem Lieferanten Versorgungsgengässe abzeichnen, kann man dann flexibel zum anderen Anbieter wechseln.

Komplizierter liegt der Fall bei verschiedenartigen Rohstoffen für ein bestimmtes Endprodukt. Da für die beiden Rohstoffe unterschiedliche Verarbeitungsverfahren entwickelt werden müssen, die dann unter Einsatz von erheblichen Investitionsmitteln in Großanlagen umgesetzt werden sollen, muss die Verfügbarkeit beider Rohstoffe für die Lebensdauer der Anlagen gesichert sein. Wenn sich über einen der beiden Rohstoffe nur ein geringer Anteil des Gesamtbedarfs decken

lässt, wird man selbst bei einer deutlichen preislichen Besserstellung dieses einen Rohstoffs in der Regel kein gesondertes Produktionsverfahren entwickeln und realisieren.

Die geringe Dichte der landwirtschaftlichen Rohstoffe, der zeitlich ungleiche Anfall, sowie der über die Fläche der Länder verteilte Anfall führt zu hohen Kosten der Transport- und Lagersysteme und zu hohen Preisen am Ort des Bedarfs. Hier sollte daran gearbeitet werden, dass die Rohstoffe durch bereits bestehende Industrie oder deren Aufbau und direkte Kooperationen zu den Herstellern örtlich direkt industriell genutzt bzw. zumindest vor verarbeitet werden können. Zumindest sollte die erste Behandlung der Biomasse bereits vor Ort durchgeführt werden, da unbehandelte Biomasse im Gegensatz zu fossilen oder mineralischen Materialien in den meisten Fällen über lange Distanzen (kritische Distanz 50 - 100 km) nicht transportiert und auch nicht lange ohne Verluste gelagert werden kann. Dies resultiert in Anforderungen an die Lagerung oder an Prozesse, die verschiedene Rohstoffe umwandeln können, die zu unterschiedlichen Zeiten geerntet werden können. Auch diese Faktoren beeinflussen die Technologieentwicklung und erhöhen die Kosten der Produktionsprozesse. Aufgrund ihrer Verderblichkeit müssen sie konserviert (Kühlung, Trocknung oder chemische Konservierung) werden. Hier sollte auch verstärkt daran gearbeitet werden, die sekundären Kondensationsreaktionen der Reaktionszwischenprodukte, die während der Umwandlungsprozesse entstehen, zu untersuchen. Denn diese Verbindungen sind aufgrund des höheren Grades an Oxygenierung im Vergleich zu Petrochemikalien sehr reaktiv. Dies kann auch zu Verlusten durch Umwandlungen führen. Alle diese Punkte führen zur Erhöhung der Produktionskosten. Weiters gilt für fossile und mineralische Rohstoffe das Gesetz der „Economy of scale“ d.h. je größer die Produktionsanlage ist, umso geringer sind die Produktionskosten. Dies gilt aber nicht automatisch für die Verarbeitung von Biomasse. Hier muss erst eine Balance zwischen den Vorteilen größerer Anlagen und den hohen Kosten des Transportes der Biomasse zur Anlage gefunden werden. Bei vielen gleichen Anlagen lässt sich die „Economy of Scale“ teilweise durch eine „Economy of Mass“, die Preiserniedrigung durch eine Herstellung vieler gleicher Anlagen, kompensieren.

Die hohen Materialkosten für ER können nur durch hohe Ausbeuten, Reduzierung der Verluste und Generierung von Produkten mit hoher Wertschöpfung ausgeglichen werden.

Der Anbau muss zielgerichteter vor sich gehen, indem die Landwirte Rohstoffe anbauen, die in der Industrie wirklich gebraucht werden. Biomasse steht auch nach wie vor nicht nur mit mineralölbasierten Rohstoffen sondern auch mit der Nahrungsmittelproduktion im Wettbewerb.

8.2.4 TECHNOLOGIEENTWICKLUNG

Es gibt einige interessante Ähnlichkeiten im Ablauf zwischen der petrochemischen Industrie und jener, die ER einsetzt. Beide benützen die selben drei Hauptzugänge zur Produktion von Chemikalien. Zunächst wird die Quelle der Rohstoffe auf ihre Lagerfähigkeit und die Gewinnung der einzelnen Rohstoffe aus ihrer Matrix hin untersucht und getestet. Anschließend müssen beide Industriezweige Methoden zur Trennung durch die Analyse der Inhaltsstoffe des Rohstoffes und die darauf folgende Trennung bzw. Gewinnung jener Strukturen aus dem Rohstoff entwickeln. Schließlich müssen die Stoffe zur Weiterverarbeitung und Produktentwicklung umgewandelt werden. Im Unterschied zur Erdölchemie, wo große Moleküle

wegen ihrer Struktur gecrackt bzw. zerlegt werden müssen und von kleinen Molekülen ausgegangen wird, stellt die Natur in den meisten Fällen große Moleküle zur Verfügung, die in einer Form vorliegen, die im Endprodukt gefordert ist.

Von den drei genannten Bereichen (Gewinnung der Rohstoffe aus ihrer Matrix, Trennung und Gewinnung der Inhaltsstoffe, Weiterverarbeitung und Produktentwicklung der Stoffe) fehlt es bei den ER derzeit im Vergleich zu den Erdölprodukten noch vor allem an den optimierten Technologien zur Weiterverarbeitung der Rohstoffe. Es müssen bestehende Verarbeitungstechnologien auf die ER abgeglichen oder vollständig neue Prozesse entwickelt und vor allem geeignete Vertriebswege aufgebaut werden. An den Trennungstechnologien zur Gewinnung von Inhaltsstoffen aus ihrer Matrix und an neuen Technologien zur Synthese von Produkten aus Vorstufen muss noch verstärkt gearbeitet werden. Einige Produktionswege von unterschiedlichen Produkten können parallel aus dem selben Rohstoff durchgeführt werden, andere Synthesewege sind wiederum nicht kompatibel. Hier muss entschieden werden, welche Produktion vorgezogen werden soll. Obwohl dies auch für fossile und mineralische Rohstoffe gilt, ist die Anzahl der potentiellen Produkte aus Biomasse doch wesentlich höher. Lignocellulose besteht beispielsweise aus vielen komplexen Molekülen, was zu Problemen in der Effizienz der Verarbeitung führen kann. Auch ist die Bandbreite der einsetzbaren Technologien für die Verarbeitung von Biomasse wesentlich größer, von der einfachen physikalischen Behandlung über chemische und biochemische Prozesse, Fermentation hin zu thermischen und chemischen Umwandlungen wie die Vergasung, Hydrolyse und Verbrennung.

Auch sollte verstärkt auf die Zusatznutzung von Nebenprodukten gesetzt werden um deren Nutzen noch weiter zu optimieren.

In der Oleochemie sind viele Prozesse ähnlich wie in der Petrochemie. Sie können also weitestgehend übernommen werden.

Trotzdem ist das Wissen vor allem im molekularen Bereich auf dem Gebiet der fossilen Rohstoffe um einiges höher als das im Bereich der ER. Die Petrochemie besitzt umfangreiches Know-How und Kontrollmöglichkeiten in Bezug auf Verhalten, Funktionalität und Umlagerung ihrer Rohstoffbausteine. Diese Transformationen laufen selektiv (z.B. ohne die Bildung von unerwünschten Nebenprodukten) und mit hoher Ausbeute (z.B. der gesamte Rohstoff wird in das Produkt umgewandelt) ab. Im Gegensatz dazu besteht derzeit im Bereich der ER eine wesentlich engere Auswahl an verschiedenen Grundbausteinen, geringere Methoden diese umzuwandeln und einen wesentlichen Mangel an Wissen, wie man aus den Startgrundstoffen (Lignin, Kohlenhydrate, Ölsaaten, Proteinen, Biomassepolymeren, etc.) einzelne Produkte mit hoher Ausbeute gewinnt und welche Möglichkeiten diese Produkte bieten. Deshalb hält die chemische Industrie derzeit noch an Produkten aus Erdöl fest, da die ER in den Prozessverfahren meist noch nicht konkurrenzfähig sind. Der Aufbereitungsprozess des Rohstoffes und der Verarbeitungsprozess bis zum Verkaufsprodukt dürfen nicht so teuer sein, dass der Vorteil beim Einstandspreis überkompensiert wird.

Der Forschungsstand der Verfahrenstechnik spielt hier eine wichtige Rolle. Die Einführung neuer Technologien wird grundsätzlich dadurch erschwert, dass sie zu Anfang noch nicht auf den bestehenden Produktionsverbund hin optimiert sind. Umstellungskosten belasten die an sich wirtschaftlichen Innovationen. Wenn technologisch machbar sollten bestehende Technologien für Erdölprodukte auch für die Verarbeitung der ER weiterverwendet werden und anfallende Reststoffe sollten auch in die Prozesse miteinbezogen und so möglich weiterverarbeitet werden.

Ein wichtiger Punkt wird in Zukunft die Prozessintegration sein, also die Kombination von verschiedenen Prozessen und deren Intensivierung (Milchsäure dient in Silage einerseits als Konservierungsstoff, kann aber auch selbst ein wichtiges, hochwertiges Produkt für die chemische Industrie darstellen) oder die Integration von Reaktions- und Trennungsschritten (Abtrennung von flüchtigen Substanzen durch Pervaporation von Fermentationskuchen).

Allgemein sollte bei allen Prozessen nach Prinzipien der „Green Chemistry“ (siehe 4.4.1) gearbeitet werden, indem der Einsatz von Chemikalien, metallischen Katalysatoren und Lösungsmitteln auch bei Anwendung von ER weitestgehend reduziert wird.

Nach Meinung eines Gesprächspartners muss erst mit einem Beispiel/einer Basischemikalie ein Durchbruch erzielt werden um weitere Entwicklungen nach sich zu ziehen. Zum Beispiel wird Propylenoxid in der Erdölchemie mit großem Aufwand produziert. Es dient zur Herstellung von Polyurethanlacken und Schaumstoffen und könnte ebenso gut aus Fetten, Ölen oder Kohlehydraten hergestellt werden. Bisher konnte aber noch kein technologisch ausgereifter Prozess entwickelt werden.

8.2.5 QUALITÄTSKRITERIEN UND NORMEN

Die Industrie ist gewohnt, Rohstoffe in bekannter und konstanter Qualität einzusetzen und auf Bestellung verfügbar zu haben. Dies erfordert nach Meinung der chemischen Industrie zumindest eine europaweit einheitliche Qualität, die durch anerkannte Normen festgeschrieben sein muss. Bestehende Normen sind zur Normung bestehender Produkte erstellt worden. Sie beschreiben die Eigenschaften bestehender, konventioneller Produkte. Die derzeitige Normung ist sehr häufig auf diese engen Qualitätsbreiten von Produkten aus fossilen Rohstoffen bezogen, sodass Produkte aus ER einen Wettbewerbsnachteil haben.

Normen sind jedoch ein zentrales Hilfsmittel im Handel von Gütern. Produkte, die den Normen nicht entsprechen, können ihre Leistungsfähigkeit nur sehr schwer nachweisen. Sie kommen daher auch nicht in den breiten Handel und bleiben Mischprodukte, selbst wenn die Anwendungsgebiete breit wären. Es gilt die Kurzformel: „Ohne Normung kein Markt“.

Bis heute ist das Problem der dringend benötigten Qualitätsnormen und Definitionen nicht gelöst. Die Entwicklung europäischer Normenwerke und die Einführung von spezifischen Ökolabels sind ein langwieriger Prozess, der sich über viele Jahre hinziehen kann. Besonders wichtig sind die Anforderungen der Abnehmer an die Qualitäts-, Mengen- und Preisstabilität von ER. Diese müssen in aufwendiger Eigenleistung durch die Anbieter und Anwender erarbeitet werden. Die festgelegten Qualitätskriterien können nicht hundertprozentig Jahr für Jahr geboten werden. ER sind Naturprodukte, die natürlichen Schwankungen von Klima, Standorten und Boden unterliegen. Oft können auch nur Teile von Pflanzen die gewünschten Eigenschaften bzw. Inhaltsstoffe besitzen. Qualitätskriterien können deshalb nicht ganz genau definiert werden; vielmehr hat sich der Anwender auf eine möglichst eng gefasste Qualitätsbandbreite einzustellen und Schwankungen bei seiner Produktentwicklung und Planung zu berücksichtigen. Hier müssen Verträge zwischen allen Akteuren geschlossen werden um diese Bandbreite in etwa abfangen zu können. Instrumente müssen entwickelt werden,

die eine bessere Abstimmung von Angebot und Nachfrage bieten (Regeln und Grenzen für Preise, Volumen, geografische Verordnung und Festlegung und Definition von Qualitätsstandards auf jährlicher Basis).

Ziel wäre es auch, den gesamten Lebenszyklus eines Produktes (LCA) zu betrachten, da es, um die Ökoeffizienz eines Produktes zu bewerten, nicht ausreicht, nur den ökologischen Fingerabdruck der Einsatzstoffe (ER) zu betrachten. Dabei sollten die Gesamtkosten und Umweltauswirkungen über den gesamten Lebenszyklus hinweg erfasst werden. Hier werden EU-weit einheitliche Protokolle entwickelt um eine standardisierte Durchführung zu gewährleisten. SETAC (Society for Environmental Toxicology and Chemistry) und ISO haben bereits solche Protokolle entwickelt.

Die chemische Industrie Europas und vor allem Deutschlands hat in den letzten zehn Jahren, aufgrund der starken Konkurrenz der aufstrebenden Länder in Asien, einen massiven Strukturwandel vollzogen. Die Produktstruktur ist davon besonders betroffen. Die Produktion entwickelt sich von niedrigpreisigen Basisprodukten immer mehr hin zu hoch veredelten Produkten mit größerer Wertschöpfung. Und gerade dieser Strukturwandel bietet eine Chance für die ER in der chemischen Produktion, da der Einstandspreis der Rohstoffe immer weniger relevant wird, je teurer das Endprodukt ist. Die oft zitierten Preisschwankungen von ER können also, falls die gesamte Produktentwicklung im Unternehmen durchgeführt wird, abgefangen werden.

Für die Industrie können also auch kleine Mengen von Naturstoffen hochinteressant sein. z.B.:

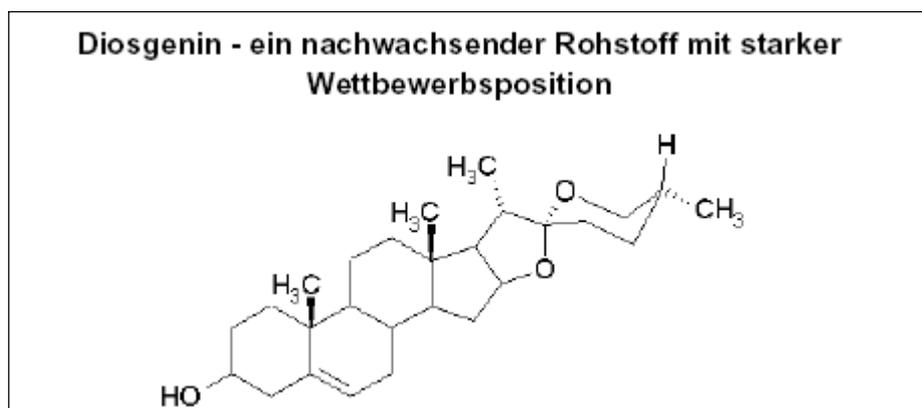


Abbildung 20: Diosgenin

Fast alle Steroidhormone können aus Diosgenin hergestellt werden, einem Naturstoff, der im technischen Maßstab aus der Yamswurzel gewonnen wird. Hauptlieferanten für die Yamswurzel sind Mexiko und China. Ein großer Teil der in hormonellen Antikonzeptionsmitteln eingesetzten Steroidhormone stammt indirekt aus dem aus der Yamswurzel extrahierten Diosgenin. Die Natur hat hier bereits große Teile des komplizierten Steroidgerüsts aufgebaut. Dies ist ein Beispiel für einen ER, der keine großen Anbauflächen benötigt.

Ähnlich steht es mit der Vitamin B2-Synthese der BASF auf fermentativem Weg mit Hilfe des Pilzes *Ashbya gossypii*: Als Rohstoff werden ca. 1.000 t Sojaöl pro Jahr benötigt. Es existieren hier noch unzählige weitere meist pharmazeutisch genutzte Beispiele, die sich mit der Produktion von Feinchemikalien aus Naturstoffen (auch aus Reststoffen) beschäftigen (z.B.: Proanthocyanidine aus Weintrauben (- trester), Taxol aus der Eibenrinde, etc.).

8.2.6 BIOTECHNOLOGIE

Die biotechnologische Produktion von biologisch abbaubaren Polymeren wird nach Einschätzung der meisten Gesprächspartner zukünftig noch wichtiger werden.

Auf dem Gebiet der Biotechnologie wird schon seit 20 Jahren Forschung betrieben. Viele Kunststoffe werden bereits fermentativ aus Zuckern hergestellt und zu Folien, Fasern, thermoplastischen Werkstoffen, Dispersionen für Klebstoffe oder Beschichtungen weiterverarbeitet. Diese Kunststoffe sind vollständig biologisch abbaubar. Auch neue Enzymklassen und Spezialenzyme aus Biomasse (z.B. Cellulasen) werden vor allem für die Waschmittelindustrie in Zukunft interessant werden. Es zeichnet sich stark ab, dass Fortschritte in der Bio- und Gentechnologie auch die Chancen für die ER erhöhen. Einerseits lassen sich mit gentechnologischen Methoden resistenterere, ertragreichere und wertstoffreichere Pflanzen züchten. Dies ist wichtig für die Versorgungssicherheit. Andererseits profitieren auch die Verfahren zur Höherveredelung von den modernen Methoden. Dazu kommen noch die Fortschritte in der Verfahrenstechnik z.B. in der Membrantechnologie und der Bioreaktorenentwicklung. Bei der Entwicklung gentechnologischer Prozesse stößt man in Europa aber noch immer auf das Problem der möglichen Risiken bei der Freisetzung genetisch modifizierter Organismen und der daraus folgenden mangelnden Akzeptanz dieser Technologie in der Öffentlichkeit. Hier sollte Forschungs- und Aufklärungsarbeit geleistet werden um sicherzustellen, dass die Gentechnologie keine Gefahr für unkontrollierte Reaktionen darstellt.

Firmenvertreter forderten in den Interviews weiters nachdrücklich, dass durch den Einsatz von biotechnologischen Methoden in den industriellen Prozessen keine Prozesskostenerhöhungen auftreten.

8.2.7 INFORMATIONSAUSTAUSCH

Die meisten Firmen informieren sich über Literaturrecherchen, Patentrecherchen, Zusammenarbeit mit Universitäten und Forschungsinstituten über den Stand der Technik auf dem Gebiet der ER oder sie haben eine eigene Forschungs- und Entwicklungsabteilung. Chemieunternehmen müssen ihre Forschungsgelder sorgfältig auf die aussichtsreichsten Projekte fokussieren. Für Unternehmen ist es wichtig, Forschungsarbeiten für alternative Rohstoffe genau zum richtigen Zeitpunkt zu starten. Man kann mit langfristig sinnvollen Forschungsergebnissen auch zu früh kommen. Wenn der Markt sich erst langsam entwickelt, nähert sich das Produkt häufig erst dann der Gewinnzone, wenn die Patente bereits auslaufen und Nachahmer, die kaum Entwicklungskosten hatten, in den Markt eindringen. Für langfristige Planungen ist deshalb eher staatlich finanzierte Vorlaufforschung angebracht. Die herkömmliche chemische Synthese hat bisher dominiert, weil fossile Rohstoffe mit günstigem Eigenschaftsspektrum ausreichend zur Verfügung standen.

Von der Wissenschaft wird seitens der Industrie mehr Transparenz gewünscht, wissenschaftliche Ergebnisse sollten besser zugänglich gemacht werden. Von der Regierung wird der Ausbau der Förderschienen auf die Bedürfnisse der Industrie hin gewünscht. Es sollen verstärkt Netzwerke mit allen Akteuren gebildet werden, derzeit hängen die Entwicklungen meist noch an wenigen Einzelpersonen bzw. -institutionen. Weiters wird die Bildung von zentralen Gremien (national, aber auch im europäischen Maßstab) zur Diskussion von Themen von einigen Gesprächspartnern als Strategie vorgeschlagen. Ein EU-

weites politisches Programm ist vonnöten. Dies sollte Projekte fördern (siehe 6. Rahmenprogramm - explizit wird die Nutzung von ER laut einem Gesprächspartner erst im 7. Rahmenprogramm unterstützt).

Eine bessere Umsetzung der Zusammenarbeit zwischen Landwirtschaft, Wissenschaft und Industrie gelingt dann, wenn die Zusammenarbeit bereits in der Anfangsphase eines Projektes beginnt. Landwirte sollten von der Industrie informiert werden, welche Nachfrage an Rohstoffen besteht.

Allgemein sollten die Großkonzerne der chemischen Industrie jene Vorreiterrolle als Marktpioniere übernehmen, die sie auch teilweise schon innehaben (siehe 7.1.1). Vor allem die großen Industriekonzerne der USA arbeiten bereits an einer langfristigen Strategie für die Rohstoffumstellung. Du Pont z.B. hat bereits ein neues Geschäftsfeld „Biobased Materials“ eingerichtet.

8.2.8 KONGRESSE 2004 - HINTERGRÜNDE

Im Vergleich zur energetischen Nutzung und zur Treibstoffherzeugung hat sich die stoffliche Nutzung von Biomasse in den letzten Jahren weniger rasch in Richtung einer industriellen Umsetzung entwickelt. Dies zeigt sich auch beim Besuch diverser Kongresse, wie z.B. der „2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection“ im Mai 2004 in Rom. Die stoffliche Nutzung von Biomasse und der Einsatz von Biomasseprodukten in der chemischen Industrie beschränkt sich forschungsmäßig hauptsächlich auf die integrierte Produktion von Biomassechemikalien in der grünen Bioraffinerie. In vielen Bereichen der Nutzung von ER werden die vorliegenden Erkenntnisse aus Forschung, Entwicklung und Demonstration erst versuchsweise genutzt.

Ziel des unter Federführung von DBU, DECHEMA, der GDCh und biopos e.V. veranstalteten Symposiums „Biorefinica 2004 - Internationales Symposium für biobasierte Produkte und Bioraffinerien“ in Osnabrück vom 27. - 28.10.2004 war neben einer Bestandsaufnahme deutscher Aktivitäten auf dem Gebiet der biobasierten Produkte und Bioraffinerien die Führung eines Dialoges mit Wissenschaft, Politik und Wirtschaft über Chancen und Erfordernisse einer nachhaltigen, biobasierten Stoffwirtschaft.

Viele große und global agierende Konzerne aus der chemischen Industrie besuchten die Veranstaltung, so z.B. Dow Deutschland GmbH, Cargill TDC Food – Cerestar R&D Center, BASF AG, Bayer Chemicals AG, Degussa AG, Cargill Dow LLC um nur einige zu nennen.

Unter den Firmenvertretern herrschte Konsens darüber, dass mittelfristig kein Weg an den Erneuerbaren Rohstoffen vorbeiführen wird. Erste Umsetzungen sind bereits als Leuchttürme vorhanden, weitere Innovationen in den nächsten Jahren marktreif – vieles ist aber zum heutigen Zeitpunkt aus wirtschaftlicher Sicht noch nicht umsetzbar.

Einigkeit herrschte auch darüber, dass es vermutlich erste, kleinere Nischenprodukte und Märkte geben wird, die vollständig auf Basis von ER produzieren, und eine Umstellung von der Erdöl basierten Chemieproduktion zu Produktionslinien auf Basis von ER in mehreren Etappen erfolgen wird – abhängig vor allem von folgenden Faktoren:

- Verfügbarkeit von ER (Bildung von Kooperationsachsen, Schaffung neuer Strukturen – vom Rohstoff zur Basischemikalie)
- Erzielung einheitlicher Qualitäten der Rohstoffe (Normen, Standards, etc.)
- Lösung logistischer Probleme
- Entwicklung neuer, effizienterer Technologien zur Verarbeitung von ER (Schwerpunkte: Reaktionstechnik, Trenntechnologien, Katalyse - Biokatalyse)
- Bildung von Forschungskoperationen Wirtschaft - Wissenschaft, einheitliche Koordination der Forschung, Bündelung der Anstrengungen
- Verstärkte Unterstützung von Forschungsschwerpunkten durch politische Entscheidungsträger („Will to Do“)
- Fortschritte in der Genforschung und der Biotechnologie
- Akzeptanz der Anwender (Zwischen- und Endnutzer), gelungenes Marketing

Alle diese Punkte haben sich auch in den Gesprächen als wichtigste Faktoren herauskristallisiert.

9 ERNEUERBARE ROHSTOFFE IN AUSGEWÄHLTEN LÄNDERN – MARKT, NETZWERKE UND FORSCHUNGSINITIATIVEN

9.1 DEUTSCHLAND

9.1.1 WICHTIGE INDUSTRIEVERTRETER AUF DEM GEBIET DER ERNEUERBAREN ROHSTOFFE

In Deutschland findet die Produktion, Verarbeitung und Herstellung nahezu aller derzeit am Markt befindlichen Produkte aus Biomasse statt. Die wichtigsten Industrievertreter sind Konzerne (Cognis, Fuchs Petrolub AG, Südzucker) und einige wenige KMUs wie Auro, Livos, Biotec (Biologische Naturverpackungen GmbH & Co. KG), die sich vor allem in Nischenmärkten behaupten.

9.1.2 HAUPTMARKTSEKTOREN

Die in Deutschland hergestellten Produkte auf Basis von Biomasse decken eine Vielzahl von Marktsektoren ab. Produkte aus Ölpflanzen wie Schmiermittel, Ölchemikalien und Lösungsmittel sind die wichtigsten. Stärkederivate werden in vielen Anwendungen im Papierbereich eingesetzt. Auch das Interesse an Verbundmaterialien aus Biomasse vor allem im Automobilsektor nimmt merklich zu. Pharmazeutische und kosmetische Produkte machen zwar nur eine geringe Menge aus, besitzen aber einen hohen Wert und sind von zunehmender Wichtigkeit. Die Produktion von Biodiesel zählt auch zu den wichtigen Stützpfeilern der biobasierten Energiewirtschaft in Deutschland.

9.1.3 MARKTVORSCHAU BIS 2010

DEUTSCHLAND	Polymere		Schmiermittel		Tenside		Verbundmaterial	
	[1.000 t]	[%Gesamt]	[1.000 t]	[%Gesamt]	[1.000 t]	[%Gesamt]	[1.000 t]	[%Gesamt]
Markt für Produktgruppe (alle Rohstoffbasen)	2.600 ¹⁵		1.076		671		60 ¹⁶	
davon ER ohne polit. Unterstützung bis 2010	5 - 10	<1	60	6	100	16	14,4	24
davon ER mit polit. Unterstützung bis 2010	150	6	200	19	127	20	45	75

Tabelle 19: Marktvorschau bis 2010 in Deutschland (2002) (Lit³⁵)

¹⁵ Theoretisches Potential basierend auf einer Einschätzung von kurzlebigen Anwendungen der Polymere (ca. 25% des Polymereinsatzes)

¹⁶ Nur faserverstärkte Verbundmaterialien im Automobilsektor

9.1.4 GESETZGEBUNG AM GEBIET DER ERNEUERBAREN ROHSTOFFE

Die Gesetzgebung orientiert sich zu einem großen Ausmaß an EU-Richtlinien, z.B. an der ELV (End-of-Life Vehicle Directive), an EINECS und deren Nachfolger ELINCS. Es existieren auch spezielle Gesetze für ER z.B. in der Papierindustrie oder der Kompostierung.

9.1.5 FORSCHUNG, MARKTINITIATIVEN UND NETZWERKE AM GEBIET DER ERNEUERBAREN ROHSTOFFE

Die angewandte Forschung wird durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), die vom Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft finanziert wird, koordiniert. Derzeit koordiniert die FNR 250 Forschungsprojekte mit einem Umsatz von 70 Millionen Euro.

Neben den Markteinführungsprogrammen für „Biogene Treib- und Schmierstoffe und für „Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen“, die im Jahr 2000 vom Ministerium gestartet wurden (jährliches Budget 10 Millionen Euro) soll es zukünftig noch weitere Einführungsprogramme für weitere Marktsektoren geben. Firmen, die bereit sind ihre Prozesse zur Herstellung von Produkten auf natürlicher Basis umzurüsten, erhalten eine finanzielle Unterstützung vom Ministerium.

Seit 2001 läuft in Kassel ein großes Modellprojekt (www.modellprojekt-kassel.de) zur Vermarktung und Verwertung von kompostierbaren Verpackungen aus biologisch abbaubaren Werkstoffen, das technische, logistische und gesetzliche Aspekte der Thematik abdecken soll. Anstatt der üblichen Sammlung und Wiederverwertung von Plastik werden biologisch abbaubare Polymere in Biokübeln gemeinsam mit Biomüll aus Küche und Garten gesammelt. Dies wird kompostiert und als Dünger für Böden verwendet. Neben der Kostenminimierung (geschätzt: von 1,35 auf 0,33 €) liegen weitere Vorteile auch in der Regionalität von Kompostieranlagen im Gegensatz zu Plastikverbrennungsanlagen, die meist örtlich zentral liegen. Somit wird auch die Anzahl der Transporte gesenkt. Das bei der Kompostierung entstehende Methan kann zusätzlich zur Energieerzeugung verwendet werden.

Das deutsche Ökolabel „Blauer Engel“ wird für einige Biomasseprodukte z.B. für Kettensägeöl und hydraulische Flüssigkeiten bereits verwendet.

Weitere Netzwerke:

- C.A.R.M.E.N: Eine gemeinnützige Organisation, die sich ebenso wie die FNR mit der Förderung von ER und der Forschung auf diesem Gebiet beschäftigt. <http://www.carmen-ev.de/>
- UFOP (Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V.): Ein Netzwerk, das die Förderung von Ölpflanzen und deren Produkte zum Inhalt hat. <http://www.ufop.de/>

- IBAW (Interessengemeinschaft Biologisch Abbaubare Werkstoffe): Die im Jahr 1993 gegründete Interessengemeinschaft ist ein internationaler Zusammenschluss von Unternehmen und Instituten zur Förderung der Innovation von biologisch abbaubaren Werkstoffen. <http://www.ibaw.org/>
- VCI (Verband der Chemischen Industrie e.V.): Der VCI ist ein Verband der deutschen Chemieunternehmen und deutschen Tochterunternehmen ausländischer Konzerne und beschäftigt sich unter anderem auch mit der Förderung von ER. <http://www.vci.de/default.asp>
- FAH (Forschungsvereinigung der Arzneimittelhersteller) <http://www.fah-sinzig.de/>
- Nova-Institut GmbH, Abteilung für ER (angewandte Forschung im Bereich der ER vor allem mit Hanffasern) <http://www.nova-institut.de/>

Die wichtigsten deutschen Konzerne und Produktionsbetriebe bzw. Verarbeiter von ER:

- Henkel (Reinigungsmittel, Kleber aus ER) http://www.henkel.de/int_henkel/company_de/index.cfm
- Cognis (Oleochemikalien aus ER) <http://www.cognis.de/germany/decognis.html>
- Fuchs Petrolub AG (Schmiermittel aus ER) <http://www.fuchs-oil.de/>
- Livos (Farben und Lacke) <http://www.livos.de/index.php3?lang=de>
- AURO (Farben und Lacke) <http://www.auro.de/>
- Südzucker AG (Produkte basierend auf Zucker) <http://www.suedzucker.de/flash/index.shtml>
- Hobum Oleochemicals (Oleochemikalien) http://www.hobum.de/content_home.html
- Biotec (Biologische Naturverpackungen GmbH; Biopolymere) <http://www.biotec.de/>
- Wolff Walsrode AG (Zelluloseprodukte) <http://www.wolff-walsrode.de/index.htm>
- KWS Saat AG (Biotechnologie und Pflanzenzüchtung) <http://www.kws.de/ca/fh/tfa/>
- Cerestar (Verarbeitung von Stärkeprodukten) <http://www.cerestar.com/>

Wissenschaftliche Einrichtungen:

- FAL (Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft; Institut für Technologie und Biosystemtechnik; beschäftigt sich mit Bioprozessen) <http://www.fal.de/>
- TLL (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft; natürliche Farbstoffe, etc.) http://www.tll.de/tll_idx.htm
- IGV (Institut für Getreideverarbeitung GmbH; Verarbeitung von Rohstoffen aus Stärke) <http://www.igv-gmbh.de/>

- IFUL (Institut für umweltgerechte Landwirtschaft Müllheim; Informationsdienst) <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/-s/uxzczl1bijcdn2ar9qy1ejolmsvzv4cp/menu/1044269/index.html>
- Fraunhofergesellschaft – Institut für angewandte Polymerforschung (Biotechnologie) <http://www.nanolifescience.de/>
- Fachhochschule Reutlingen - Institut für angewandte Forschung (Flachs- und Hanffasern) <http://www-iaf.fh-reutlingen.de/seiten/profil.html>

9.2 FRANKREICH

9.2.1 WICHTIGE INDUSTRIEVERTRETER AM GEBIET DER ERNEUERBAREN ROHSTOFFE

Hauptindustrievertreter im Bereich der ER in Frankreich finden sich in der Gruppe der großen Konzerne (Atofina, Cognis, Rhodia, etc.) ebenso wie in der Gruppe der KMUs (ARD, Autobar Packaging, Novance, Onidol,...).

9.2.2 HAUPTMARKTSEKTOREN

Produkte aus Ölpflanzen gehören zur größten Produktgruppe aus ER in Frankreich. Neben Treibstoffen werden sie vor allem in der traditionellen Oleochemie, als Tenside und Schmiermittel eingesetzt. Weitere sich entwickelnde Sektoren sind jene der Biopolymere für Verpackungen und Verbundmaterialien.

FRANKREICH	Polymere		Schmiermittel		Tenside		Verbundmaterial	
	[1.000 t]	[%Gesamt]	[1.000 t]	[%Gesamt]	[1.000 t]	[%Gesamt]	[1.000 t]	[%Gesamt]
Markt für Produktgruppe (alle Rohstoffbasen)	5.300		600		600		1.000	
davon ER ohne polit. Unterstützung bis 2010	106	2	20	3	150	25	21	2
davon ER mit polit. Unterstützung bis 2010	530	10	100	16	300	50	120	12

Tabelle 20: Marktvorschau bis 2010 in Frankreich (2002) (Lit³⁶)

9.2.3 GESETZGEBUNG AM GEBIET DER ERNEUERBAREN ROHSTOFFE

Die Gesetzgebung greift am Gebiet der ER vor allem durch Abfallregulierung, durch Kontrolle der Einhaltung der EU-Richtlinien für Lösungsmittel und durch das Verbot von Asbest ein.

9.2.4 INSTITUTIONEN UND NETZWERKE AM GEBIET DER ERNEUERBAREN ROHSTOFFE

- ADEME – Programm AGRICE (Förderung der angewandten Forschung in Form eines Rates, der von den Ministerien für Umwelt und Ackerbau gegründet wurde (mehr als 300 Projekte seit 1994, mit einem Projektvolumen von 70 Millionen Euro)) <http://www.ademe.fr/>
- AGPB (L'Association Générale des Producteurs de Blé et autres céréales, Netzwerk für Getreidepflanzen) <http://www.agpb.fr/>
- ANVAR (French agency for innovation, finanzielle und technische Unterstützung für KMUs) <http://www.anvar.com/>
- ARD (Agroindustry Research and Development, vorwiegend Forschung am Gebiet der Tenside und Biopolymere) <http://www.a-r-d.fr/english.html>
- Cirad (Agricultural Research for Developing countries, Forschung in der Landwirtschaft) <http://www.cirad.fr/en/index.php>
- CNRS (French National Center for Scientific Research, Grundlagenforschung u. a. am Gebiet der Life Sciences, Biotechnologie, Chemie, etc.) <http://www.cnrs.fr/>
- Institut Français du Pétrole (Center for research and industrial development, education and information for the oil, natural gas and automotive industry, vor allem Forschung mit Schmiermitteln) <http://www.ifp.fr/IFP/en/aa.htm>
- INRA (National Institute for Agricultural Research, Biotechnologie, Pflanzenzüchtung, landwirtschaftliche Forschung) <http://www.inra.fr/ENG/>
- Pronovial (Centre d'intelligence économique pour les produits renouvelables et l'effet de serre, Förderung von Non-food Produkten) <http://europolagro.univ-reims.fr/pronovial.htm>

9.2.5 FIRMENVERTRETER IM BEREICH DER ERNEUERBAREN ROHSTOFFE

- ATOFINA (Spezialchemikalien - Waschmittel, Tenside, etc.) <http://www1.arkemagroup.com/atofinafr/fr/index.cfm>
- Autobar Packaging group (Verpackungsmaterial für die Nahrungsmittelindustrie) <http://www.autobarpackaging.com/AutobarPackaging/>
- Aventis (Pharmazeutika) <http://www.aventis.fr>
- Bioeurope – Solabia (Biotechnologie) <http://www.solabia.fr/C02/s.nsf/index?openform&L=2>
- Cerestar (Verarbeitung von Stärkeprodukten) <http://www.cerestar.com/>

- Eridania - Beghin Say (Zuckerindustrie) <http://www.eridania-beghin-say.com/>
- Cognis France <http://www.fr.cognis.com/france/frcognis.html>
- D.R.T. - Les Dérivés Résiniques et Terpéniques (Waschmittel aus Tallöl) <http://www.drt.fr/>
- Limagrain (Anbau, Pflanzenzüchtung und Biopolymere) <http://www.limagrain.com/>
- Exxon Mobil (Schmiermittel) http://www2.exxonmobil.com/siteflow/Country/SF_CY_France.asp
- Novance (Oleochemie – Spezialchemikalien) <http://www.novance.com>
- Onidol Prolea (Organisation Nationale Interprofessionnelle des Oléagineux, Hersteller von Ölen) <http://www.onidol-prolea.com/>
- Rhodia (Spezialitätenchemie) http://www.rhodia.com/us/home_tunel.asp
- Seppic (Tenside und Spezialchemikalien) <http://www.seppic.com/>

9.3 GROSSBRITANNIEN

9.3.1 WICHTIGE INDUSTRIEVERTRETER AM GEBIET DER ERNEUERBAREN ROHSTOFFE

Auch in Großbritannien gehören die Industrievertreter, die ER in ihrer Produktpalette verwenden, einerseits zur Gruppe der großen Firmen wie Akzo Nobel, Croda, Cargill, Fuchs Lubricants, ICI Paints, Lubrizol, National Starch & Chemical und Uniqema und auf Seite der KMUs z.B. The Boots Company, die sich vorwiegend mit biologisch aktiven Molekülen, die aus Pflanzen isoliert werden können, zum Einsatz in kosmetischen und pharmazeutischen Anwendungen.

KMUs wie BioFibre (natürliche Fasern für Textilien), Botanix (Geschmacks- und Geruchsstoffe), Hemcore (natürliche Fasern und Papier), J K King (Gesundheitspflege- und Spezialchemikalien), MolecularNature (Pharmazeutika) und Plantoil (Kettensägeschmieröl) decken Nischenmärkte ab.

9.3.2 HAUPTMARKTSEKTOREN

Die wichtigsten Sektoren sind Oleochemikalien und biologisch abbaubare Polymere aus Stärke, die als Verpackungsmaterial verwendet werden. Weiters zeigt sich steigendes Interesse in pharmazeutische und Pflegeprodukte aus Pflanzen und in Hanf als Biofaser.

In Großbritannien gibt es keine Produktion von Biotreibstoffen, da durch das Steuersystem diese Produkte nicht konkurrenzfähig sind.

GROSSBRITANNIEN	Polymere		Schmiermittel		Tenside		Verbundmaterial	
	[1.000 t]	[% Gesamt]	[1.000 t]	[% Gesamt]	[1.000 t]	[% Gesamt]	[1.000 t]	[% Gesamt]
Nat. Markt für Produktgruppe (alle Rohstoffbasen)	3.000		800		200		325	
davon ER ohne polit. Unterstützung bis 2010	50	2	32	4	75	30	33	10
davon ER mit polit. Unterstützung bis 2010	200	7	160	20	125	60	65	20

Tabelle 21: Marktvorschau bis 2010 in Großbritannien (Lit³⁷)

9.3.3 GESETZGEBUNG AM GEBIET DER ERNEUERBAREN ROHSTOFFE

Die wichtigsten Richtlinien sind die Verpackungsrichtlinie, die den Einsatz von ER aufgrund ihrer biologischen Abbaubarkeit generell unterstützt, und die End-of-Life Vehicle – Richtlinie, die die Anforderung an die Automobilindustrie stellt, dass mehr als 85% der Materialien wiederverwertet werden müssen. Biomasseprodukte werden von der Industrie meist noch nicht als biologisch abbaubar wahrgenommen. EINECS und ELINCS haben die Anmeldung vieler neuer Chemikalien aus Biomasse durch hohe Registrierungskosten behindert. Diese Listen sind weiters nach Meinung vieler Anwender nicht konsistent. Weiters existiert eine freiwillige Anwendungsregel für den Einsatz von Bioschmierstoffen in der Forstwirtschaft (Forestry Commission) und in Binnengewässern (Environment Agency).

9.3.4 FORSCHUNGSPROGRAMME UND INSTITUTIONEN AM GEBIET DER ERNEUERBAREN ROHSTOFFE

Großbritannien hat am Gebiet der ER eine Vielzahl an Forschungsinstitutionen, wobei die BBSRC–Institute (Biotechnology and Biological Sciences Research Council) zu den wichtigsten Einrichtungen zählen. Dazu gehören das John Innes Centre (Biowissenschaften) und das Silsoe Research Institute (Ackerbau- und Ingenieurwissenschaften). Ebenso beschäftigt sich das CNAP (Centre for Novel Agricultural Products) an der Universität York mit ER.

Das LINK (Competitive Industrial Materials from Non-Food Crops) – Programm, mit den Sponsoren BBSRC, DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs), EPSRC (Engineering and Physical Sciences Research Council), DTI

(Department of Trade and Industry) und SEERAD (Scottish Executive: Environment and Rural Affairs Department) ist das Hauptförderungsprogramm für strategische Forschung am Gebiet der ER für die Entwicklung, Besteuerung und Verbreitung von Biomasseprodukten mit einem Budget von 4 Millionen Pfund über fünf Jahre. ACTIN (Alternative Crops Technical Interaction Network) war eine von der Industrie geführte, gemeinnützige Organisation, die das Interesse in ER in Großbritannien allgemein steigern sollte. Sie wurde aufgelöst und in den NNFCC (National Non-Food Crops Centre) integriert. Das Programm wird durch die Abteilung "Sustainable Farming and Food Science Division" des Ministeriums geleitet und durch den National Non-Food Crops Centre verwaltet.

In Großbritannien gibt es keine Ökolabel oder andere industrielle Unterstützungen zum Einsatz von ER. Trotzdem hat die Regierung gemeinsam mit der Industrie im Rahmen eines Forums in den letzten Jahren eine Strategie für Großbritannien entwickelt, die sich um eine weitere Verbreitung von ER in der Industrie und eine verstärkte Annahme von ER in der Gesellschaft bemüht. ACTIN kümmerte sich in diesem Zusammenhang um Kontakte zur Industrie wie z.B. Sainsbury (Supermarktkette), die großes Interesse am Einsatz von nachhaltig produzierten Produkten zeigen.

Weitere Forschungs-, Förderinstitutionen und Netzwerke:

- ADAS (Forschungsgesellschaft, die die ländliche Industrie unterstützt) <http://www.adas.co.uk/home/>
- CSL (Central Science Laboratory, Institut des Ministeriums) <http://www.csl.gov.uk/>
- DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs) <http://www.defra.gov.uk/>
- DTI (Department of Trade and Industry) <http://www.dti.gov.uk/index.html>
- Forum for the Future (Forum der nachhaltigen Entwicklung) <http://www.forumforthefuture.org.uk/>
- Green chemistry activities (Gruppe von Experten, die die „Green chemistry“ und saubere Technologien zum Inhalt hat - Forschung, Netzwerk, Preise und Kurse - Projekt CRYSTAL ist eine Initiative, die die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Industrie durch den Einsatz von „Green chemistry“ - Technologien für die chemische und mit ihr verwandten Industrien verstärken soll) <http://www.crystalfaraday.org/>
- SUSCOMPNET (Sustainable Composites Network, wurde im Jahr 2001 durch die Warwick Manufacturing Group der Universität Warwick und das BioComposites Centre gegründet. Hauptziel ist es, die Entwicklung und Kommerzialisierung von Verbundstoffen aus Biomasse durch einen integrierten Zugang in der Versorgungskette voranzutreiben.) <http://www.bc.bangor.ac.uk/suscomp/>
- White Rose University Consortium (Konsortium der drei Universitäten Leeds, Sheffield und York u.a. auf dem Gebiet der Biowissenschaften) <http://www.whiterose.ac.uk/Home.aspx>

9.3.5 FIRMENVERTRETER IM BEREICH DER ERNEUERBAREN ROHSTOFFE

- Croda (Internationaler Produzent von Pflegeprodukten, Klebern und Spezialchemikalien)
<http://www.croda.co.uk/home.aspx?s=53>
- ICI (Gruppe von ICI Paints, National Starch, Quest und Uniqema, produziert Farben, Lebensmittel, Duftstoffe und Pflegeprodukte) <http://www.ici.com/ICIPLC/home/index.jsp>

9.4 FINNLAND

Da Finnland mehr landwirtschaftliche Flächen besitzt als zur Versorgung der Bevölkerung mit Lebensmittel notwendig sind, ist es einer der wichtigsten Anwarter zur verstärkten Produktion von Biomasseprodukten. Derzeit wird aber noch mehr Zeit in die Forschung mit Anlagen im Pilotmaßstab gesteckt als in die Umsetzung der industriellen Produktion von Biomasseprodukten. Trotzdem existieren bereits einige Modellbeispiele.

In Finnland wurde in den letzten Jahren nach Veröffentlichung eines Memorandums des finnischen Landwirtschaftsministeriums vorwiegend an folgenden Zielen gearbeitet:

- Verwendung von Fasern in der Papierindustrie
- Verwendung von Fasern (z.B. Flachs) bei der thermischen Isolierung
- Produktion von Stärke zur Herstellung von biologisch abbaubaren Polymeren (werden derzeit noch nicht industriell produziert)
- Gebrauch von Pflanzenöl als Zusatzstoff in Schmierölen und Medikamenten (einige auf Biomasse basierenden hydraulischen Öle und Sägekettenöle werden bereits hergestellt)
- Einsatz von Lactose und Milchproteinen als Additive, Medikamente und spezielle Lebensmittel (einige werden bereits produziert)

Eines der Hauptziele an dem in Finnland derzeit verstärkt gearbeitet wird, ist der Einsatz von Flachs und anderen biobasierten Fasern vor allem in der thermischen Isolierung. Die am häufigsten angebaute Faserpflanze war in Finnland im Jahr 2000 der Leinsamen. Nur kleine Flächen wurden für Flachs und Hanf eingesetzt. Das Hauptproblem in der Ernte und Weiterverarbeitung von Faserpflanzen liegt in Europa am hohen Feuchtigkeitsgehalt der Pflanzen im Herbst. Dies zieht hohe Trocknungskosten mit sich. Technisch ist auch die Abtrennung des Bastes von der restlichen Biomasse schwierig. Ähnliche Probleme zeigen sich in ganz Europa. Deshalb wird die Ernte nun im Frühjahr durchgeführt. Eine kurze Faser wurde entwickelt, die zur thermischen Isolation und in der Kartonproduktion eingesetzt werden kann (Lit³⁸).

9.5 EUROPÄISCHE NETZWERKE

In der EU gibt es eine Reihe von nationalen Organisationen, die Netzwerke zwischen Anbieter und Konsumenten von ER vertreten. Dazu gehören NNFC (Großbritannien), FNR (Deutschland), AGRICE (Frankreich) und AIACE (Italien). Diese kooperieren auf EU-Level in Form der ERRMA (European Renewable Raw Materials Association). ERRMA setzt Rahmenbedingungen und bildet Kontakte zwischen den Hauptproduzenten und Hauptkonsumenten von Biomasseprodukten weltweit.

9.5.1 WHITE BIOTECHNOLOGY

Die sogenannte "White Biotechnology", ist eine Arbeitsgruppe der Technologieplattform „EuropaBio“ mit Mitgliedern aus Industrie und Wissenschaft von denjenigen Institutionen, die sich mit der industriellen Anwendung der Biotechnologie auseinandersetzen. Es soll die Entwicklung der weißen (industriell angewandte) Biotechnologie und deren Einsatz in der Industrie vorangetrieben werden.

Es wurden verschiedene Fallstudien (LCAs) von Chemiekonzernen gemeinsam mit dem deutschen Öko-Institut, McKinsey & Co. und einem wissenschaftlichen Beratungsbeirat als Modellbeispiele für Anwendungen der Biotechnologie ausgewählt:

- Produktion des Vitamin B2 durch BASF

Traditionell war die chemische Vitaminsynthese ein achtstufiger Prozess, heute erfolgt er in einer Stufe durch Fermentation. Die Produktionskosten sanken damit um bis zu 40%, der Umwelteinfluss ebenso um 40%. (Der Umwelteinfluss ist ein Durchschnittswert aller Faktoren basierend auf der Ökoeffizienzmethode entwickelt durch die BASF und das Ökoinstitut). Bereits 30% aller Feinchemikalien, die bei BASF produziert werden, beruhen auf biotechnologischen Vorgängen.

- Produktion des Antibiotikums Cephalaxin durch DSM

Cephalaxin wird schon seit mehreren Jahren bei der DSM produziert. Der traditionelle Prozess läuft über viele Stufen, durch die neu entwickelte milde Biotransformation konnte die Anzahl der Schritte reduziert werden. Die neue „Synthese“ basiert auf einem fermentierten Zwischenprodukt, das enzymatisch mit einer Seitenkette zum Endprodukt verlinkt wird. Dieser Prozess verbraucht weniger Energie, eine geringere Menge an eingesetzten Chemikalien, basiert auf Wasser und verursacht weniger Abfall. Bereits 50% aller Life Science-Chemikalien, die bei DSM produziert werden, beruhen auf biotechnologischen Vorgängen.

- Herstellung von Textilenzymen durch Novozymes

Die Firma Novozymes bietet, neben anderen Firmen, Enzyme für Reinigungsprozesse in der Textilindustrie an. LCAs zeigen, dass die Anwendung von Enzymen in der wasserintensiven Textilindustrie zu geringeren Emissionen ins Abwasser und zu geringerem Energieverbrauch und 20% geringeren Kosten führt.

- Biopolymere von Cargill Dow und Du Pont/Genencor

Die ersten Biopolymere sind bereits am Markt (NatureWorks™, SORONA® → siehe auch 7.2). Derzeit decken sie am Markt noch Nischen ab, trotzdem werden sie, sobald sie in größerem Maßstab produziert werden, mit erdölbasierenden Polymeren konkurrieren können.

Derzeitige Mitglieder:

Nationale Biotechnologieorganisationen, BASF, Danisco, DSM, Du Pont, Genencor International, Genzyme Corp., Innogenetics, Nestle, Novozymes, Unilever, Procter&Gamble, u. a.

9.5.2 SUSTECH – CLUSTER

Seit 1994 unterstützt SUSTECH (SUStainable TECHnology), eine europäische Technologieplattform für Nachhaltige Chemie, initiiert vom European Chemical Industry Council (CEFIC), mit Forschungsprogrammen und der Herstellung von Kontakten und Netzwerken zwischen Forschung und Industrie vor allem das Gebiet der nachhaltigen Entwicklung und deren Umsetzung in der chemischen Industrie. Erst kürzlich hat SUSTECH seine Ziele neben den naturwissenschaftlichen auch auf wirtschaftliche, rechtliche und soziale Fragestellungen ausgeweitet, die ebenso wie technische Aspekte lenkend auf Innovation einwirken. CEFIC repräsentiert ca. 40.000 Firmen der chemischen Industrie (Großkonzerne bis KMUs), diese stehen für ein Drittel der gesamten Weltproduktion in der chemischen Industrie.

Im Rahmen von SUSTECH existieren mehrere Netzwerke z.B. das Netzwerk der Trenntechnologien (SepTech) oder das Netzwerk der industriellen Analyse (NICE). Im allgemeinen sollen bei allen Innovationen die Prinzipien der „Green chemistry“ (siehe auch 4.4.1) beachtet werden.

9.5.3 ERRMA

ERRMA (European Renewable Resources and Materials Association) ist ein Netzwerk von Industrievertretern, die bereits Biomasseprodukte erzeugen, und Regierungsvertretern mit Verbindung zur europäischen Kommission.

Zu den Hauptaufgaben von ERRMA zählen:

- Förderung und Entwicklung von ER
- EU-weite und internationale Verbreitung von Information und Wissen
- Beratung zur Politik und Maßnahmen im Bereich der ER um eine weitere Verbreitung von ER voranzutreiben und in Verbindung damit die Einführung von Qualitätskriterien

9.5.4 INFORRM – IENICA

IENICA ist ein Netzwerkprojekt (gegründet 1997 von ERRMA) und eine Informationsplattform am Gebiet der ER gesponsert durch die Europäische Kommission und untergebracht im Central Science Laboratory in York (GB). Es zielt darauf ab, ein Netzwerk zwischen der europäischen Gesetzgebung und Kommission und der wissenschaftlichen Gemeinschaft in den Mitgliedsstaaten der EU zu bilden um die Anwendung von ER in der Industrie zu erleichtern. Das IENICA-Projekt wird noch einige Jahre fortgesetzt werden (seit 2001 in Form von INFORRM (Industry Network for RRM's) – IENICA) und wird jährlich durch die jeweiligen nationalen Verantwortlichen in Form eines Berichtes dargelegt. Ein weiteres Informationsnetzwerk, initiiert durch ERRMA, ist PRONOVIAL (Economic Intelligence Unit for RRM's).

9.5.5 FEDIOL

FEDIOL (EC Oilseed Crushers' and Oil Processors' Federation) repräsentiert die Ölmühlen- und Ölverarbeitungsindustrie (150 Betriebe im Produktionsbereich der Fette und Öle) in der EU. Vor zwei Jahren hat die FEDIOL ein Manifest publiziert, das einen integrierteren Zugang des Non-food-Einsatzes von Agrarprodukten im EU-Maßstab zum Inhalt hat.

9.6 EUROPÄISCHE FORSCHUNGSPROGRAMME IM BEREICH DER ERNEUERBAREN ROHSTOFFE

Die europäische Kommission hat in den letzten zehn Jahren über 200 Forschungsprojekte und Netzwerke im Bereich der ER (exklusive Bioenergie und Forschung im Bereich der Forstwirtschaft) gefördert.

Zu den wichtigsten EU-Forschungsprogrammen bzw. Bereichen der Forschungsprogramme, die sich mit der Förderung der ER beschäftigten, zählten bisher:

- ECLAIR (European Collaborative Linkage of Agriculture and Industry through Research): das erste EU-Programm mit Fokus auf agrarwissenschaftlichen Fragestellungen gefördert durch das 2. Rahmenprogramm der EU (1988 bis 1993)
- AIR (Agriculture and Agro-Industry including Fisheries Programme of Research and Technological Development): gefördert durch das 3. Rahmenprogramm (1990 bis 1994) und organisiert durch die DG¹⁷ Research, DG Agriculture und DG Fisheries.

¹⁷ DG = Directorate general

- FAIR (Agriculture and Fisheries, including Agro – Industry Food Technologies, Forestry, Agriculture and Rural Development): im 4. Rahmenprogramm gefördert (1994 bis 1998)
- Key Action 5 (The integrated production and exploitation of biological materials for non-food uses) Punkt 5.2 in der Hauptgruppe 5 (Sustainable Agriculture, fisheries and Forestry) aus “Quality of Life and Management of Living Resources” des 5. Rahmenprogrammes (1998 bis 2002)

Mehr als 40% der 42 Forschungsprojekte von ECLAIR hatten die Entwicklung von Biomasseprodukten aus Non-food-Rohstoffen zum Inhalt. Als Ergebnisse konnten Produkte mit höherer Wertschöpfung wie Seifen, Verbundstoffe, Biopolymere, etc. entwickelt werden.

Das 3. Rahmenprogramm AIR führte diese Entwicklung fort, mit einer größeren Anzahl an geförderten Projekten inklusive sieben Demonstrationsprojekten von Produkten, erzeugt im industriellen Produktionsmaßstab. Weiters wurden Projekte und Netzwerke im europäischen Maßstab mit industrieller Beteiligung implementiert.

Das 4. und 5. Rahmenprogramm (1994 bis 2002) förderte aufbauend auf den vorangehenden Programmen Projekte, die sich mit Verbesserungen in der Produktions- und Prozesskette von ER bis zum Endprodukt auseinander setzten. Der Schwerpunkt lag dabei am Endprodukt und der davon belegten Marktnische, die direkt die Produktionsanforderungen und Spezifikationen des biologischen Rohstoffes festlegen.

Die wichtigsten Ergebnisse all dieser Forschungsprojekte waren:

- Die Entwicklung von integrierten, multidisziplinären Projekten und Netzwerken, die Produzenten und Verbraucher von Biomasseprodukten in Kooperation mit Wissenschaftlern zusammenbrachten
- Die Definition von Marktanforderungen und potentieller Marktgrößen
- Die Anwendung traditioneller und moderner Biotechnologiemethoden zur Verbesserung der Produktqualität und für ein verbessertes Wissen am Gebiet des biologischen Materials auf zellulärem Level
- Integrierte Systeme und Modelle, die die Verfügbarkeit von ER verbesserten und deren Einsatz in verschiedensten Industriebereichen möglich machten
- Ökonomisch effizientere und umweltfreundlichere Prozesstechnologien
- Beiträge zur Entwicklung industrieller Standards für neue Materialien und Treibstoffe wie Biodiesel und Biopolymere

Diese direkte Unterstützung der Entwicklung von ER durch die EU ist zur Zeit fast zum Erliegen gekommen und findet sich auch im gegenwärtigen 6. Rahmenprogramm nicht unter den Hauptinhalten und nur teilweise in der 3. (Materialien) und 6. Priorität (Klimawechsel) wieder.

10 DISKUSSION UND AUSBLICK

Einleitung

Jede neue Verteuerung von Erdöl bringt die „Wiederentdeckung“ von Erneuerbaren Rohstoffe als mögliche Produkte für die chemische Industrie ins Bild der Öffentlichkeit.

Bei Betrachtung der österreichischen Handelsbilanz für chemische Erzeugnisse zeigt sich ein deutliches Defizit in der Höhe von etwa einer Milliarde Euro (siehe Tabelle 22). Für die meisten Vor-, Zwischen-, und Endprodukte ist die Bilanz ebenfalls negativ. Mengenmäßig große Defizite sind vor allem im Bereich der Chemischen Erzeugnisse im Allgemeinen, der Pflanzlichen Öle, der ätherischen Öle, der Riech- und Putzmittel sowie der Kunststoffe in Primärformen vorhanden. Eine gezielte Umstellung der Rohstoffbasis könnte hier in einigen Bereichen ausgeglichene Bilanzen und eine Abschwächung der Abhängigkeit von Exporten und dem Rohstoff Erdöl beitragen. Darüber hinaus wäre es möglich, bei weiterer Differenzierung der Stoffgruppen die vielversprechendsten Märkte und Nischenmärkte zu identifizieren, welche aus österreichischer Sicht die größten Hoffnungsträger einer zukünftigen Entwicklung von biomassebasierten Chemikalien sein könnten.

Warenbenennung	Einfuhr		Ausfuhr		Einfuhr- Ausfuhr- Überschuss, 1.000 €
	100 kg	1.000 €	100 kg	1.000 €	
Tierische und pflanzliche Öle und Fette	1.719.153	109.685	1.223.337	52.788	56.897
Chemische Erzeugnisse a.n.g.	47.192.022	8.229.178	44.490.418	7.077.429	1.151.749
Farbstoffe, Gerbstoffe und Farben	2.728.175	605.066	4.003.865	376.971	228.095
Medizinische u. pharmazeutische Erzeugnisse	430.310	2.639.733	444.812	2.296.577	343.156
Äther. Öle, Riech-, Putz- und Reinigungsmittel	2.512.583	721.653	1.622.956	348.267	373.386
Kunststoffe in Primärformen	11.163.864	1.251.810	10.600.851	967.642	284.168
Kunststoffe anders	2.450.269	784.927	3.288.046	1.033.464	248.537
Chemische Erzeugnisse, Waren daraus a.n.g. ¹⁸	6.511.458	904.873	4.448.997	659.689	245.184

Tabelle 22: Ausschnitt aus der Tabelle zum Außenhandel Österreichs 2001 nach Gruppen des SITC (Standard International Trade Classification) (Lit³⁹)

„Biobased Economy“ und Bioraffinerie

Langfristig sollte also die Umstellung der gesamten industriellen Produktion vom Erdöl auf die Basis von Erneuerbaren Rohstoffen gelingen. Das heißt, die bisherige Basis Erdöl wird umfassend durch Biomasse ersetzt und vollständig konvertiert und vorrangig für die stoffliche Nutzung eingesetzt. Weitere im Prozess anfallende biogene Reststoffe werden energetisch (Biogas, Biotreibstoffe) genutzt. Der Aufbau einer biobasierten Chemie

¹⁸ a.n.g. = anderweitig (bei anderen Warennummern) nicht genannt.

steht aber erst ganz am Anfang der Entwicklung mit Forschungsbedarf in nahezu allen Bereichen, vor allem in der Entwicklung von Produktionsstammbäumen und in der dafür notwendigen Verfahrenstechnik.

Zentrales Element der „Biobased Economy“ wird das Konzept der Bioraffinerie sein. Die Bioraffinerie ist ein komplexes und integriertes System von Prozessen und Anlagen in welcher Biomasse verschiedenster Quellen in eine Vielzahl von Produkten umgewandelt wird. In der Umsetzung dieses Konzepts liegen langfristig die größten ökologischen und ökonomischen Potentiale zur Nutzung von Erneuerbaren Rohstoffen. Große Einsatzchancen bieten sich für die gesamte Sparte der Biotechnologie, von der die chemische Industrie erwartet, dass sie bis 2010 zwischen 10 und 20 % der chemischen Produktion abdeckt. Neben den Möglichkeiten zum Aufschluss von Biomasse bietet die Biotechnologie auch ein großes Potential, Energie und Lösungsmittel bei der Produktentwicklung einzusparen und außerdem die Möglichkeit zur Herstellung neuer Feinchemikalien und Polymere, die bisher mit „klassischen“ chemischen Verfahren nicht möglich war. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass bei der biotechnologischen Produktion im Vergleich zur chemischen Reaktion mit geringeren Temperaturen und Drücken sowie manchmal ohne umweltgefährliche Katalysatoren gearbeitet wird und so neben der Energieeinsparung auch das Gefahrenpotential deutlich gesenkt wird. Die Biotechnologie ist außerdem die Grundlage, um die Nutzung bestehender Kulturpflanzen zukünftig noch effizienter als bisher zu machen und damit die Möglichkeiten einer Bioraffinerie maßgeblich zu erweitern.

Ähnlich der Erdölraffinerie wird in der Bioraffinerie die Biomasse zunächst aufgeschlossen und fraktioniert und die Teilströme dann in weiteren Verfahren zu chemischen Ausgangsstoffen oder bereits zu Produkten wie Polymeren verarbeitet. Diese vollständige Nutzung der eingesetzten Biomasse wird durch die Kombination von biotechnologischen, chemischen und physikalischen Trenn-, Aufbereitung- und Produktionsverfahren möglich.

Als Ausgangssubstrate dienen entweder direkt Ackerfrüchte, Gräser oder holzartige Biomasse, aber auch Abfälle aus der Lebensmittelindustrie oder aus der Gemüse- und Milchverarbeitung lassen sich als Ausgangsmaterial nutzen. Sogar kommunale organische Abfälle wie Papier und Pappe oder getrennt gesammelte Bioabfälle könnten eingesetzt werden. Stofflich nicht nutzbare Anteile lassen sich zumindest energetisch nutzen um so z.B. teilweise die notwendige Prozessenergie zu gewinnen. Zur vollständigen Nutzung von Erneuerbaren Rohstoffen bedarf es noch intensiver Forschung auf dem Gebiet komplexer und integrierter Technologien biogener Rohstoffe.

Generell kann man den Markt für Chemikalien aus Biomasse in zwei große Gruppen einteilen: Zum einen gibt es jene Verbindungen, die unter Erhalt ihrer Struktur aus der Biomasse isoliert werden. Hierbei handelt es sich meist um spezielle Chemikalien und komplexe Strukturen, deren Aufbau über die Synthesechemie prinzipiell möglich, aber weitaus umständlicher ist. Diese Stoffe stellen im Allgemeinen jedoch nur einen kleinen Anteil der Weltproduktion dar. Der größte Teil der Chemikalien wird als so genannte Bulk- oder Basischemikalien verwendet, welche häufig unter Umwandlung von Biomasse gewonnen werden. Die verbreitetsten Technologien zur Umwandlung von Biomassepolymeren (Lignin, Cellulose, etc.) zur Gewinnung von Basischemikalien sind:

- biotechnologische Prozesse (z.B. Fermentation, Biokatalyse, etc.) und

- thermochemische Prozesse (z.B. Pyrolyse, hydrothermische Verflüssigung und Vergasung von Biomasse).

Mit Hilfe dieser Prozesse lassen sich aus Biomasse viele bekannte „Grundbausteine“ der gängigen Synthesechemie aber auch neue Produktgruppen und Plattformchemikalien, die zu vielen weiteren chemischen Produkten derivatisiert werden können, herstellen.

Für die chemische Industrie Österreichs, scheint sowohl die Produktion von Bulkchemikalien auf Basis von Erneuerbaren Rohstoffen aber auch die Produktion von Feinchemikalien für die hohe Anzahl kleiner, innovativer Firmen, Markchancen zu bieten. Diese beiden Strategien finden sich zum Beispiel in der integrierten Produktion einer grünen Bioraffinerie wieder. Diese könnte zukünftig sowohl Bulk- als auch Feinchemikalien erzeugen (z.B. Produktion von Milchsäure im großen Maßstab, Aminosäuren als Feinchemikalien).

Eine Auswahl von „neuen“ Biomasseprodukten für die chemische Industrie

Ein Beispiel ist **Polylactid (PLA)**, ein Milchsäurepolymer, das zur Zeit vorwiegend fermentativ aus Mais oder Zuckerrüben hergestellt wird. Der Bulkrohstoff **Milchsäure** wird dazu durch einen speziellen Kondensationsprozess zu Lactid umgewandelt. Dieses wird dann gereinigt und durch Ringöffnung mithilfe eines lösungsmittelfreien Schmelzprozesses polymerisiert. Bereits 1992 betrug die weltweite Produktion von PLA 20.000 t jährlich mit einer Hauptanwendung in kosmetischer und pharmazeutischer Verpackung, für medizinische Nähte, Implantate, etc. Im April 2002 wurde die erste Anlage zur Produktion von PLA im großtechnischen Maßstab in Blair (Nebraska) von Cargill Dow Polymers LLC in Betrieb genommen. Die Anlage hat eine Kapazität von 140.000 Tonnen jährlich und die Nachfrage nach dem so genannten Nature WorksTM – PLA ist bereits so groß, dass in den nächsten Jahren mit der Herstellung einer weiteren Anlage begonnen wird. Auch in der EU soll eine Anlage mit der gleichen Kapazität gebaut werden. Dow will die Polymere in einem breiten Anwendungsbereich einsetzen z.B. für Folien, Fasern, Behälter und als Beschichtungsmaterial für Papier und Pappe. Cargill Dow rechnet mit einem Markt von 3,6 Millionen t bis 2020. PLA ist im Vergleich zu herkömmlichen Polymeren aus Erdöl die Herstellungskosten betreffend konkurrenzfähig und bietet bessere (biologische Abbaubarkeit) oder zumindest gleiche Eigenschaften wie die Erdölpolymere. Am Ende seines Lebenszyklus kann PLA geschmolzen, wieder verwendet (recycelt) oder auch kompostiert werden.

In Abbildung 21 ist anhand einer Prognose das Marktpotential für PLA in den USA unter der Annahme, dass die Größe des Polymermarktes konstant bleibt, dargestellt. Der allgemeine Polymermarkt, der für die Darstellung herangezogen wurde, gilt für potentielle Anwendungen von PLA für Thermo- und Filmverpackungen, Fasern und Faserfüllanwendungen, für die PLA prinzipiell eingesetzt werden können.

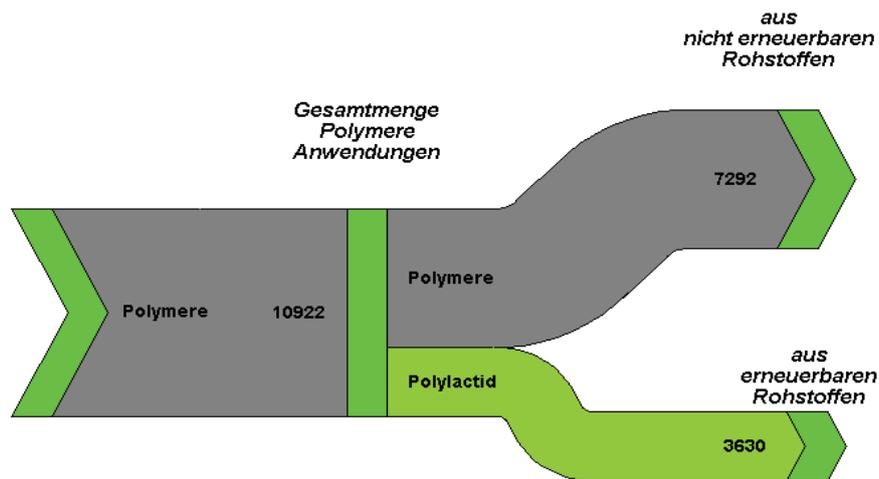


Abbildung 21: Prognose des potentiellen Marktes für PLA in den USA bis 2020 [Tsd. t/Jahr] (Lit²⁸)

Weitere amerikanische Firmen entwickeln zur Zeit neue Prozesse, die die biotechnologische Herstellung von Chemikalien und Polymeren aus Glucose zu relativ geringen Kosten möglich machen sollen, welche bisher nur in teuren petrochemischen Prozessen hergestellt werden konnten (z.B. SORONA von Du Pont → 1,3-Propandiol, eine Polymervorstufe, biotechnologische Alternative durch Produktion aus Glucose).

1,3-Propandiol (PDO) wird gemeinsam mit Terephthalsäure zur Herstellung von **Polytrimethylenterephthalat (PTT)** eingesetzt. Es handelt sich dabei um ein Polymer mit hervorragenden Zugeigenschaften. PDO wird in den verschiedensten Anwendungsbereichen eingesetzt. Es wird aktuell von Shell Chemical (CORTERRA Polymers) und von DuPont und Genencor (SORONA® 3GT) produziert. Bisher wurden PTT aus PDO erzeugt, das aus fossilen Quellen stammt. Auch die Technologie, die Shell Chemical zur Herstellung von PDO anwendet, basiert auf petrochemischen Rohstoffen. Genencor International und DuPont haben hingegen eine Methode entwickelt in *E. coli* auf metabolischem Weg PDO direkt aus Glucose zu geringen Kosten herzustellen. Auch Glycerin bietet sich zur Produktion von PDO als Ausgangsrohstoff durch Biokonversion mittels *Clostridium butyricum* an. Glycerin fällt vorwiegend als Nebenprodukt bei der Biodieselherstellung (Fettsäuremethylester aus Triglyceriden) an. Für PDO wird aufgrund der Herstellung von PTT ein Marktpotential für 2020 von 227.000 t eingeschätzt. Dafür muss ein Marktpreis von 0,37 – 0,55 € pro kg erreicht werden. Dies ist nach derzeitigem Wissensstand machbar. In Studien wurde nachgewiesen, dass SORONA Nylon und Polyethylenterephthalat (PET) in Faseranwendungen bzw. Polybutylenterephthalat (PBT) und PET in Harzanwendungen in einigen Eigenschaften (Resistenz gegen Flecken, leichtere Farbapplikation) sogar übertrifft.

Polyhydroxyalkanoate (PHA) sind eine Familie von natürlichen Polymeren, die in verschiedenen Bakterienstämmen durch Fermentation von Glucose aus verschiedensten stärkehaltigen Getreidesorten erzeugt werden können.

PHAs haben ebenfalls ausgezeichnete Chancen konventionelle Polymere in industriellem Maßstab zu ersetzen. Diese Polymere können auf breiter Basis vor allem im biomedizinischen Feld eingesetzt werden. Sobald die Produktionskosten wettbewerbsfähig sind, kann ein großer Bereich des Plastikmarktes durch die PHAs abgedeckt werden. In den 1970er Jahren haben sich ICI (National Starch), Zeneca und Monsanto (heute Monsanto) mit der

Entwicklung eines kostengünstigen Prozesses beschäftigt. Ursprünglich handelte es sich nur um Polyhydroxybutyrate (PHB), die aber für viele Anwendungen zu spröde waren. Deshalb wurden Copolymere wie Poly(3-Hydroxybutyrat-co-3-hydroxyvalerat) (PHBV) aus 75% Hydroxybutyrat und 25% Hydroxyvalerat entwickelt. Diese bakterielle Fermentation von PHAs, vor allem von PHBV, wurde in den 1990er Jahren von Zeneca und Monsanto (heute beide Monsanto) unter dem Markennamen Biopol™ kommerziell vermarktet und durch diese neuen Biopolymere Polymere wie Polyvinylchlorid (PVC), Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP) ersetzt. PHBV wurde auch im Plastikflaschen- und Papierbereich verwendet, konnte sich aber aufgrund hoher Energieaufwendungen zum Aufbruch der Zellwände und hohen Gewinnungskosten nie gegen die fossilen Plastikmaterialien (Polystyren) behaupten. Inzwischen wurde aber von Metabolix ein Prozess mit geringeren Kosten entwickelt. Metabolix behauptet, dass Produktionskosten für eine großtechnische Herstellung der PHAs unter 0,38 € pro kg möglich sind. Dies würde für die PHAs einen großen Markt eröffnen. Das erste PHA - Produkt, das durch Fermentation hergestellt wurde, wurde 2002 von Metabolix bereits in den Markt eingeführt.

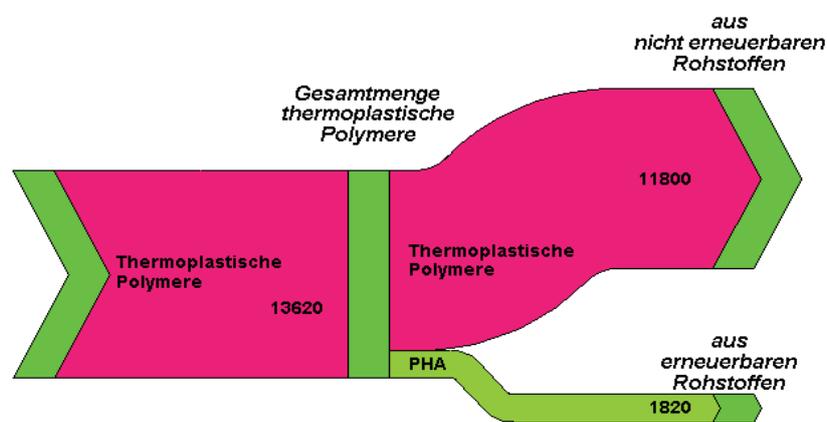


Abbildung 22: Prognose des potentiellen Marktes für PHA in den USA bis 2020 [Tsd. t/Jahr] (Lit²⁸)

Ethyllactat (Bulkrohstoff Milchsäure) gilt als umweltfreundliches Lösungsmittel, das seit einiger Zeit bereits auf dem Markt ist. Es weist teilweise bessere Eigenschaften als so manches Lösungsmittel auf Erdölbasis auf. Aufgrund der hohen Produktionskosten (2,74 – 3,66 € pro kg, im Vergleich zu herkömmlichen Lösungsmitteln mit 1,65 – 3,11 € pro kg) wurde bis vor kurzem Ethyllactat noch nicht in großen Mengen angewandt. Erst seitdem die Trennungstechnologien durch Elektrodialyse, Membranen und durch die direkte Umwandlung von Milchsäuresalzen in Ethyllactat verbessert werden konnten, reduzierten sich die Produktionskosten auf 1,55 € pro kg. Ethyllactat entsteht durch die Veresterung von Milchsäure mit Ethanol. Es wird Milchsäure mit Ethanol erhitzt (140°C), wobei Ethyllactat und Nebenprodukte entstehen. Danach wird über eine Destillation (175°C) reines Ethyllactat gewonnen. Industrieexperten nehmen an, dass 80% der herkömmlichen Lösungsmittel auf Erdölbasis (Methylenchlorid, Methylethylketon, N-Methyl-2-pyrrolidon) durch Ethyllactat ersetzt werden könnten. Ethyllactat wird bereits von Vertec Biosolvents Inc. in Lösungsmittelmischungen basierend auf Sojaöl eingesetzt.

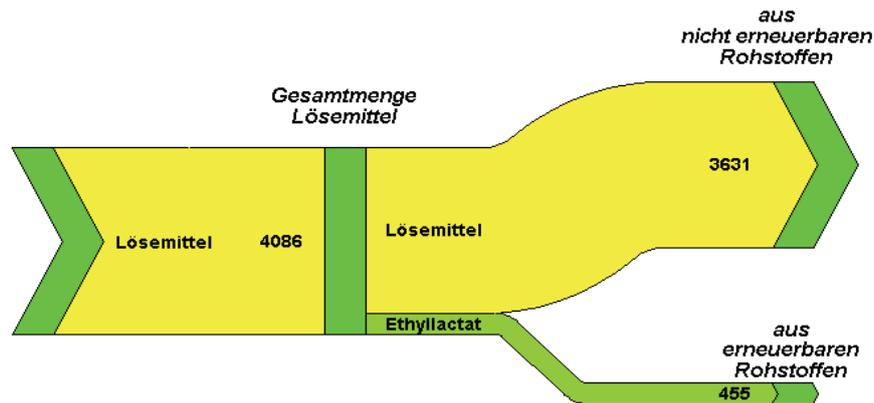


Abbildung 23: Prognose des potentiellen Marktes für Ethylactat in den USA bis 2020 [Tsd. t/Jahr] (Lit²⁸)

Technologiepolitische Empfehlungen anhand der Ergebnisse aus den Gesprächen mit den Firmenvertretern

Grundsätzlich wird aus heutiger Sicht kein Weg an einer „Biobased Economy“ vorbeiführen. Ziel muss eine chemische Industrie sein, die sich auf eine erneuerbare Ressourcenbasis gründet.

Dabei stehen für die chemische Industrie zwei zentrale Entwicklungsziele im Vordergrund:

Entwicklungsziel 1. Ein langfristiger Wechsel vom fossilen Grundstoff Erdöl zu einer Chemie auf Basis von Erneuerbaren Rohstoffen

Durch einen solchen Paradigmenwechsel in der chemischen Produktion können gewaltige Innovationspotenziale initiiert werden. Langfristig werden sich die steigenden Preise für Rohöl auch auf die chemische Industrie negativ auswirken und zusätzliche Impulse für den notwendigen Wandel geben. Diese Wende wird dabei sowohl durch den Wechsel zu erneuerbaren Energiequellen und eine weitere Steigerung der Energieeffizienz in den Produktionsprozessen als auch durch einen Übergang zur Nutzung von ER als Produktionsbasis geprägt sein.

Die ressourcenschonende Produktion von Basischemikalien aus ER wäre aufgrund der großen produzierten Mengen und der darauf aufbauenden Produktlinien, für eine nachhaltige Entwicklung von besonderer Bedeutung. Dies macht die Entwicklung neuer Prozesse für bestimmte Basischemikalien oder sogar völlig „neuer Basischemikalien“ (Plattformchemikalien) und Produktgruppen erforderlich. Die Basischemikalien prägen die chemischen Produkte, die daraus über eine oder mehrere Stufen produziert werden, und deren Weiterverarbeitung in Industriebereichen, die häufig nicht zur chemischen Industrie gehören, entscheidend.

Entwicklungsziel 2. Eine Verringerung des Chemikalieneinsatzes und die Wiederverwertung der Materialien im Rahmen eines konsequenten ökologischen Stoffstrommanagements (Konzepte der „Green Chemistry“)

Unter "Nachhaltiger Chemie" oder „Green Chemistry“ versteht man alle Bemühungen den Ressourcen- und Energieverbrauch zu reduzieren, nicht - erneuerbare Ressourcen durch erneuerbare zu ersetzen,

Umweltschadstoffe bereits in der Synthesepaltung zu vermeiden, problematische Arbeitsstoffe durch weniger problematische zu ersetzen, alle negativen Auswirkungen chemischer Stoffe oder Prozesse auf die Gesundheit des Menschen und auf die Umwelt zu minimieren als auch die Führung eines geschlossenen Stoffkreislaufs. Zur Bewertung des Erfolges der neuen chemischen Prozesse und Synthesen werden vergleichende Ökobilanzen (Ökoeffizienzanalysen) herangezogen.

Mit der Entsorgung und Wiederverwertung von Chemikalien aus Industrie- und Konsumgütern könnte die chemische Industrie selbst neue Geschäftsfelder besetzen, dabei ihr Know-How effektiv einsetzen und zudem ihrer Produktverantwortung noch umfassender gerecht werden.

→ EMPFEHLUNG 1: Das Prinzip der „Green Chemistry“, das in den USA schon weitgehend Akzeptanz gefunden hat, ist in Österreich besser zu verankern. Sowohl die entsprechenden Interessensorganisationen der chemischen Industrie (GÖCH, Fachverband der chemischen Industrie, etc.) als auch die Universitäten sind gefordert, hier – gemeinsam mit den zuständigen Ministerien und Förderstellen - Aktivitäten zu setzen.

Obwohl wirtschaftliche Überlegungen eine große Rolle spielen, wird ein breiterer Einsatz von ER vorwiegend durch Mängel in der Entwicklung neuer Technologien behindert. Noch immer entsprechen die Technologien zur Verarbeitung von ER in Selektivität und Ausbeute nicht jenen der petrochemischen Grundstoffe.

Es müssen bestehende Verarbeitungstechnologien auf die neuen Rohstoffe abgeglichen oder vollständig neue Prozesse entwickelt und insbesondere eine geeignete Logistik zur Rohstoffversorgung aufgebaut werden. Vor allem an den Trennungstechnologien zur Gewinnung von Inhaltsstoffen aus ihrer Matrix und an neuen Technologien zur Synthese von Produkten aus Vorstufen muss noch verstärkt gearbeitet werden. Viele weitere Produktgruppen, vor allem Plattformchemikalien, die wichtige Ausgangsprodukte für weitere Chemikalien darstellen, wurden bereits auf Basis Biomasse entwickelt, ihre Produktionsverfahren müssen noch weiter optimiert werden. Biotechnologie, Biokatalyse und diverse technische Prozesse (Membrane, Chromatographie) werden dabei wichtige Bestandteile neuer Technologien sein.

Einige Synthesen von unterschiedlichen Produkten können parallel aus demselben Rohstoff durchgeführt werden, andere Synthesewege sind wiederum nicht kompatibel. Hier muss entschieden werden, welche Produktion vorgezogen werden soll. Obwohl dies auch für fossile und mineralische Rohstoffe gilt, ist die Anzahl der potentiellen Produkte aus Biomasse doch wesentlich höher. Lignocellulose besteht beispielsweise aus vielen komplexen Molekülen, was zu Problemen in der Effizienz der Verarbeitung führen kann. Vor allem im Bereich der enzymatischen Auftrennung von Lignin in phenolische und aromatische Verbindungen muss noch geforscht werden, damit auch aromatische „Plattformchemikalien“ zur Verfügung stehen.

Auch ist die Bandbreite der einsetzbaren Technologien für die Verarbeitung von Biomasse wesentlich größer, von der einfachen physikalischen Behandlung über chemische und biochemische Prozesse, Fermentation hin zu thermischen und chemischen Umwandlungen wie die Vergasung und Hydrolyse. Auch sollte verstärkt auf die

Zusatznutzung von Nebenprodukten als Rohstoffe gesetzt werden um die Wertschöpfung noch weiter zu optimieren.

In der Agrarwissenschaft ist es vor allem die Pflanzenzüchtung und damit verbunden die Veredelung von Pflanzen, die sich intensiv mit Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der ER beschäftigt. Dabei kommt es in erster Linie auf die Bereitstellung von Sorten mit neuen Inhaltsstoffen oder neuen Zusammensetzungen von Inhaltsstoffen an. Diese Inhaltsstoffe müssen nicht für existierende chemische Prozesse adaptiert werden, sondern können in vollkommen neuen Bioprozessen weiterverarbeitet werden. Im Fall der Gentechnik wird es nötig sein, Studien über ihre Effekte auf die Umwelt durchzuführen, damit eine sichere Anwendung gewährleistet ist.

→ EMPFEHLUNG 2: Technologieentwicklungen im Bereich von Biotechnologie und Biokatalyse sollten weiter konsequent gefördert werden (z.B. die Förderung von Stoffumwandlungsprozessen von Biomasseprodukten und deren Produkte, Förderung der Verknüpfung von biotechnologischer und chemischer Stoffumwandlung, etc.) ebenso wie die Forschung am Gebiet der Gewinnungs- und Analysemethoden von Pflanzeninhaltsstoffen sowie das Gebiet neuer Synthesewege und deren Bewertung.

Für Österreich scheint eine Fokussierung auf 2 – 3 Plattformchemikalien (Milchsäure, 3 - Hydroxypropionsäure, etc....) vorrangig zu sein. Die Chance Österreichs liegt dabei sicher im Aufbau bzw. der Nutzung regionaler Produktionsstrukturen. Diese regionalen Kreisläufe können durch weitere, gezielte Förderungen verstärkt werden. Es sollten vor allem die regionalen Voraussetzungen beachtet werden (Anbau heimischer Pflanzen, vorhandene Infrastruktur – Zuckerindustrie, Molkereien, Ölmühlen, etc.).

→ EMPFEHLUNG 3: Einige erfolgreiche Beispiele für Demonstrationsvorhaben im Bereich der Massenchemikalien (2 - 3 Plattformchemikalien) auf Basis ER sind in Kooperation von Industrie, Forschung, Landwirtschaft und Fördereinrichtungen zu schaffen (z.B. integrierte Bioraffinerie).

Die Kooperation zwischen Industrie und Landwirtschaft zur Verwertung von ER erscheint auf längere Sicht dann realisierbar, wenn die unterschiedlichen Zielvorstellungen, nämlich langfristige Absatzsicherung für die Landwirtschaft und flexible marktgerechte Rohstoffbeschaffung für die Industrie, miteinander verknüpft werden können. Eine bessere Umsetzung der Zusammenarbeit zwischen Landwirtschaft, Wissenschaft und Industrie kann gelingen, wenn die Zusammenarbeit bereits in der Anfangsphase eines Projektes beginnt. Landwirte sollten von der Industrie informiert werden, welche Nachfrage und Qualitätsanforderungen an Rohstoffen bestehen.

→ EMPFEHLUNG 4: Eine stärkere Einbeziehung von Primärproduzenten (Landwirtschaft, Primärverarbeiter) in die Produktionskaskade zur Gewährleistung der Mengen- und Qualitätsziele ist sicherzustellen. Vor allem in der Anfangsphase von Projekten muss dazu eine Verknüpfung

zwischen Industrie, Wissenschaft und Landwirtschaft hergestellt werden um gemeinsam Qualitätsstandards definieren zu können.

Das EU – System für die Anmeldung neuer Chemikalien legt der Einführung von vielen Biomasseprodukten Barrieren in den Weg. Substanzen, die bereits 1981 am Markt waren, als das System eingeführt wurde, wurden in EINECS gelistet, neue Substanzen werden derzeit in der Nachfolgeliste ELINCS aufgenommen. Obwohl das System den Zweck hat die europäische Gesellschaft und die Umwelt vor potentiell gefährlichen Chemikalien zu schützen, ist es inkonsistent für Substanzen, die aus Biomasse hergestellt werden. Manchmal werden die Produkte anhand ihrer chemischen Inhaltsstoffe aufgelistet, manchmal aber auch nur nach dem pflanzlichen Ursprung des Rohstoffs. Wenn sie nach der Pflanze gelistet werden, verschwinden idente Substanzen anderen Ursprungs (Pflanzenspezies) von der Liste. Es besteht hier also das Problem, dass Chemikalien mit selben chemischem Strukturmuster aus anderen Rohstoffquellen nicht separat in die Liste aufgenommen werden können, auch wenn sie sich zur Vermarktung eignen würden. Neue Substanzen sollten also erstens nach ihrer chemischen Struktur und zweitens nach ihrer Rohstoffherkunft gelistet werden können.

→ EMPFEHLUNG 5: Gleichsetzung der Anmeldung von Produkten aus erneuerbaren Rohstoffen im EINECS (European Inventory of Existing Chemical Substances) – bzw. ELINCS (European List of Notified Chemical Substances) – System.

Ziel wäre es auch den gesamten Lebenszyklus eines Produktes (LCA) zu betrachten, da es, um die Ökoeffizienz eines Produktes zu bewerten, nicht ausreicht, nur den ökologischen Fingerabdruck der Einsatzstoffe (ER) zu betrachten. Dabei sollten die Gesamtkosten und Umweltauswirkungen über den gesamten Lebenszyklus hinweg erfasst werden. Hier werden EU - weit einheitliche Protokolle entwickelt um eine standardisierte Durchführung zu gewährleisten. SETAC (Society for Environmental Toxicology and Chemistry) und ISO (International Organization of Standardization) haben bereits solche Protokolle für Lebenszyklusanalysen entwickelt. Diese sollten auch in Österreich vermehrt eingesetzt werden.

→ EMPFEHLUNG 6: Durch die Durchführung von Lebenszyklusanalysenstudien von Biomasseprodukten mit vergleichbaren Produkten aus der Erdölchemie sollen Technologieentwicklungen unterstützt werden. Dazu muss auch eine Standardisierung von Lebenszyklusanalysen festgesetzt werden (vorhandene Protokolle von SETAC (Society for Environmental Toxicology and Chemistry) und ISO (International Organization of Standardization) sind zu verwenden bzw. zu adaptieren).

Die Industrie ist gewohnt, Rohstoffe in bekannter und konstanter Qualität einzusetzen und auf Bestellung verfügbar zu haben. Dies erfordert nach Meinung der chemischen Industrie zumindest eine europaweit

einheitliche Qualität, die durch anerkannte Normen festgeschrieben sein muss. Bestehende Normen sind zur Normung bestehender Produkte erstellt worden. Sie beschreiben daher die Eigenschaften bestehender, konventioneller Produkte. Die derzeitige Normung ist sehr häufig auf diese engen Qualitätsbreiten von Produkten aus fossilen Rohstoffen bezogen, sodass Produkte aus ER einen Wettbewerbsnachteil haben.

Normen sind jedoch ein zentrales Hilfsmittel im Handel von Gütern. Produkte, die den Normen nicht entsprechen, können ihre Leistungsfähigkeit nur sehr schwer nachweisen. Sie kommen daher auch nicht in den breiten Handel und bleiben Mischprodukte, selbst wenn die Anwendungsgebiete breit wären. Es gilt die Kurzformel: „Ohne Normung kein Markt“.

Bis heute ist das Problem der dringend benötigten Qualitätsnormen und Definitionen nicht gelöst. Die Entwicklung europäischer Normenwerke und die Einführung von spezifischen Ökolabels sind ein langwieriger Prozess, der sich über viele Jahre hinziehen kann. Besonders wichtig sind die Anforderungen der Abnehmer an die Qualitäts-, Mengen- und Preisstabilität von ER. Diese müssen in aufwendiger Eigenleistung durch die Anbieter und Anwender erarbeitet werden. Die festgelegten Qualitätskriterien können nicht hundertprozentig Jahr für Jahr geboten werden. ER sind Naturprodukte, die natürlichen Schwankungen von Klima, Standorten und Boden unterliegen. Oft können auch nur Teile von Pflanzen die gewünschten Eigenschaften bzw. Inhaltsstoffe besitzen. Qualitätskriterien können deshalb nicht ganz genau definiert werden; vielmehr hat sich der Anwender auf eine möglichst eng gefasste Qualitätsbandbreite einzustellen und Schwankungen bei seiner Produktentwicklung und Planung zu berücksichtigen. Hier müssen Verträge zwischen allen Akteuren geschlossen werden um diese Bandbreite berücksichtigen zu können. Instrumente müssen entwickelt werden, die eine bessere Abstimmung von Angebot und Nachfrage bieten (Regeln und Grenzen für Preise, Volumen, geografische Verordnung und Festlegung und Definition von Qualitätsstandards auf jährlicher Basis). Eine Veränderung der bestehenden Normungsvorschriften auf den Einsatz von Biomasseprodukten, erscheint nicht zielführend. Hier stehen einerseits massive Interessen der verschiedenen Vertreter einander gegenüber und andererseits finden schon seit Jahren langwierige Verhandlungen statt, die zu keinem wirklich tragfähigen Ergebnis, weder für die konventionelle Produkte noch für die ER geführt haben. Vielmehr erscheint es sinnvoll, eigene Normen für Produkte auf der Basis von ER zu erarbeiten. Diese Normen können dabei auf die Besonderheiten von Produkten auf Biomassebasis und deren Zusatznutzung eingehen.

→ EMPFEHLUNG 7: Förderung der wissenschaftlichen Weiterentwicklung von EU – weiten Standards für Biomasseprodukte vor allem im Hinblick einer Qualitätsbeschreibung und in Verbindung damit Einführung von EU – Ökolabels.

In Europa gewinnt die Förderung von Erneuerbaren Rohstoffen für die energetische und die Treibstoffnutzung zunehmend Aufmerksamkeit. So bildet dieser Bereich einen der Forschungsschwerpunkte im 6. EU-Forschungsrahmenprogramm. Die Nutzung von Biomasse als stoffliche Basis in der chemischen Produktion hingegen findet bislang in den europäischen Forschungsprogrammen so gut wie keine Beachtung, Fördermittel werden hierfür von der EU kaum bereitgestellt. Das Thema der industriellen Biotechnologie deckt einen kleinen

Bereich im Subprogramm Nanotechnologie ab. Projekte im Bereich Biotechnologie sind allgemein nur für den medizinischen Bereich im Rahmenprogramm als mögliche Förderthemen ausgeschrieben. Im 7. Rahmenprogramm der EU ist die Förderung der stofflichen Nutzung von ER nun geplant.

→ EMPFEHLUNG 8: Forschung und Entwicklung am Gebiet der Erneuerbaren Rohstoffe vor allem im Bereich der angewandten Forschung muss, wie im 7. Rahmenprogramm der EU geplant, auch in Österreich konsequent gefördert werden.

11 ANHANG

11.1 CHEMISCHES GLOSSAR

(Lit⁴⁰)

Decarbonylierung:

Decarbonylierung ist eine Bezeichnung für die Abspaltung von Kohlenmonoxid aus Carbonyl - Verbindungen (Aldehyden oder Ketonen), Carbonsäure - Derivaten (z. B. Carbonsäureestern oder Carbonsäurechloriden) und Carbonyl - Komplexen, wobei die Decarbonylierung von Aldehyden gelegentlich auch als Deformylierung bezeichnet wird.

Dehydratisierung:

Die Dehydratisierung, oder auch Dehydration genannte und nicht mit Dehydrierung zu verwechselnde Bezeichnung, entspricht der Eliminierung (Abspaltung) von Wasser aus den unterschiedlichsten Stoffen. Sie kann sowohl chemisch als auch physikalisch erfolgen.

Hydratation:

Unter Hydratation soll hier die Solvatation in Wasser als Lösungsmittel verstanden werden, bei der sich die Moleküle des Wassers an darin dispergierte oder gelöste Ionen, Elektronen, Atome, Moleküle oder Kolloide unter Bildung von Hydraten anlagern, wobei ihre H – OH-Bindung unversehrt bleibt. Reaktionen mit Wasser, bei denen eine Aufspaltung der Wassermolekülen erfolgt, werden als **Hydratisierung** und **Hydrolyse** bezeichnet. Allerdings scheinen die Grenzen im allgemeinen Sprachgebrauch oft verwischt, auch dadurch, dass in der englischen Sprache kein Unterschied zwischen Hydratation und Hydratisierung gemacht wird.

Hydrierung:

Hydrierung ist ein Begriff für die normalerweise katalytisch ablaufende Einführung von Wasserstoff in organische Verbindungen, im allgemeinen durch Addition von H₂. Im Gegensatz zur Hydrierung bezeichnet man die Spaltung einer Kohlenstoff-Kohlenstoff- oder Kohlenstoff-Heteroelement-Bindung unter den Bedingungen der katalytischen Hydrierung als Hydrogenolyse (siehe dort).

Hydrogenolyse:

Katalytische Spaltung einer Kohlenstoff-Kohlenstoff- oder meistens Kohlenstoff-Heteroatom-Bindung durch Wasserstoff nach dem Schema $A-B + H_2 \rightarrow AH + BH$.

11.2 LITERATUR

- ¹ Narayan R. (2001) Drivers for biodegradable compostable plastics & role of composting in waste management & sustainable agriculture. Bioprocessing of Solid Waste & Sludge. Vol1, Issue1.
- ² Warwel S. (1997) Technische Produkte durch Umwandlung von Stoffen der Natur mit Methoden der Natur. Aus: Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ - Workshop Biokonversion Nachwachsender Rohstoffe in Detmold. Herausgeber: FNR.
- ³ National Academy of Sciences, National Research Council (USA). (2003) Biobased Industrial Products: Priorities for Research and Commercialization. National Academic Press, Washington DC, USA.
- ⁴ <http://www.tecson.de/poelhist.htm>
- ⁵ Panel on Population Projections, Committee on Population, National Research Council (USA). (2000) Beyond Six Billion: Forecasting the World's Population. Hrsg.: J. Bongaarts, R.A. Bulatao. Washington DC. <http://www.nationalacademies.org/>
- ⁶ Von Weizäcker E. U., A. B. Lovins und L. Hunter Lovins. (1995) Faktor vier: Doppelter Wohlstand - halbiertes Verbrauch. Der neue Bericht an den Club of Rome. Droemer Knauer, München.
- ⁷ Schmidt-Bleek F. (1998) Das MIPS-Konzept, Weniger Naturverbrauch mehr Lebensqualität durch Faktor 10. Droemer Knauer, München.
- ⁸ <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/english/agenda21chapter19.htm>
- ⁹ Verband der chemischen Industrie Deutschlands e.V., Abteilung Volks- und Betriebswirtschaft, Finanzen und IT. (2004) Chemiewirtschaft in Zahlen 2004. M. Erhardt KG, Frankfurt.
- ¹⁰ American Institute of Chemical Engineers. (2000) Vision 2020: 2000 Separations Roadmap. Published by the Center for Waste Reduction Technologies of the American Institute of Chemical Engineers in cooperation with the U.S. Department of Energy. New York.
- ¹¹ American Chemical Society, American Institute of Chemical Engineers, Chemical Manufacturers Association, Council For Chemical Research, Synthetic Organic Chemical Manufacturers Association. (1999) Technology Vision 2020 – The U.S. Chemical Industry. Zusammenfassung der Meetings der chemischen Industrie der USA. <http://www.ccrhq.org/vision/>
- ¹² Biomass Initiative. (2002) Roadmap for Biomass Technologies in the United States. <http://www.bioproducts-bioenergy.gov/pdfs/FinalBiomassRoadmap.pdf>
- ¹³ Christ C. (1999) Production - Integrated Environmental Protection and Waste Management in the Chemical Industry. Wiley - VCH, Weinheim.

-
- ¹⁴ Hulpke H., H. Wendt und H. Henkel. (2000) Chemie und Umwelt - Ursache oder Lösung der Probleme. Aus: Chemie - Eine reife Industrie oder weiterhin Innovationsmotor?. Hrsg.: U.-H. Felcht. Verlag der Universitätsbuchhandlung Blazek und Bergmann seit 1891, Frankfurt, S. 213 – 253.
- ¹⁵ Hungerbühler K., J. Ranke und T. Mettier. (1998) Chemische Produkte und Prozesse, Grundkonzepte zum umweltorientierten Design. Springer, Berlin.
- ¹⁶ http://www.chemie.uni-oldenburg.de/oc/metzger/publikationen/pdf/posp_joh.htm
- ¹⁷ Anastas P.T. und J.C. Warner. (1998) Green Chemistry: Theory and Practice. Oxford University Press, S. 11.
- ¹⁸ Die Grünen - Deutschland. (2004). Wege zu einer nachhaltigen Chemiepolitik - Positionspapier der Bundestagsfraktion Bündnis 90.
- ¹⁹ Eissen M. und J.O. Metzger. (2000) Konzepte zum Beitrag der Chemie zu einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung. Symposium:21, BIS, Oldenburg. <http://www.chemie.unioldenburg.de/oc/metzger/>
- ²⁰ Romm J.J. und C.R. Curtis. (1996) The Evolution of the World's Energy System. Shell International Limited, SIL Shell Centre London Group external affairs. Atlantic Monthly. 277, 4, S. 57.
- ²¹ Klass D.L. (1998) Biomass for renewable Energy Fuels and Chemicals. Academic Press, San Diego, London.
- ²² Danner H., B. Molzbichler, G. Notegger und R. Braun. (1998) Biotechnologie zur Produktion von marktrelevanten Chemikalien aus nachwachsenden Rohstoffen. Studie im Auftrag des BMUW, Auftragnehmer: IFA-Tulln.
- ²³ Boechzelt H., N. Graf, J. Lomsek, H. Schnitzer und S. Wagner. (2002) Möglichkeiten der Wertschöpfungssteigerung durch Abfallvermeidung und Nebenproduktnutzung – Feasibilitystudy. Projektendbericht BBK. Joanneum Research Graz.
- ²⁴ Boechzelt H., N. Graf, W. Haas, J. Lomsek, G. Pörtl und S. Wagner. (2001 und 2002) Wertstoffgenerierung aus dem Abfallprodukt Traubentrester I und II. Projektendberichte Land Steiermark Graz.
- ²⁵ Boechzelt H., N. Graf, W. Haas und S. Wagner. (2004) Feinstoffliche Wertschöpfung aus dem Kondensat der Thermoholzerzeugung. Projektendbericht Joanneum Research Graz.
- ²⁶ Kamm B. und M.Kamm. (2001) Biobasierte industrielle Produkte und Bioraffinerie-Systeme - Ein Weg in die industrielle Zukunft des 21. Jahrhunderts? Rezension für die Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie der Gesellschaft deutscher Chemiker. Teltow, Potsdam.
- ²⁷ Narodoslawsky M. (2003) Renewable resources – new challenges for process integration and synthesis. Chemical with Biochemical Engineering. Q. 17,1. S. 55 – 64.

-
- ²⁸ Paster M., J. Pellegrino und T. Carole. (2003) Industrial Bioproducts - Today and Tomorrow. Energetics Incorporated Columbia, Maryland.
- ²⁹ Bols M. (1996) Carbohydrate Building Blocks. Wiley-Interscience, New York.
- ³⁰ Lichtenthaler F. and S. Mondel. (1997) Enantiopure Building Blocks from Sugars, 20. Perspectives in the Use of Low Molecular Weight Carbohydrates as Organic Raw Materials. Pure and Applied Chemistry. 69, S. 1853.
- ³¹ http://www.aidic.it/icheap6/webpapers/179_Branca.pdf
- ³² ERRMA (European Renewable Resources & Materials Association) - Working Group „Renewable Raw Materials“. (2002) Current situation and future prospects of EU industry using renewable raw materials. Edited by Joachim Ehrenberg - European Commission - DG Enterprise - Unit E.1: Environmental Aspects of Industry Policy. Brussels.
- ³³ Johansson Daniel. (2000) Renewable Raw Materials – a way to reduced greenhouse gas emissions for the EU industry?. Survey from DG Enterprise/E.1 for Working Group “Industry” of the European Climate Change Programme (ECCP).
- ³⁴ IENICA (Interactive European Network for Industrial Crops and their Applications – Summary report for EU). (2000) Crops for speciality chemicals. Project Coordinator Melvyn Askew, Funded by DG Research of the European Commission in the FAIR Programme. Brussels. <http://www.ienica.net/ienicareports.htm>
- ³⁵ FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. (2002) National Report – Germany. Aus: Current Situation and Future Prospects of EU Industry using Renewable Raw Materials. Edited by Joachim Ehrenberg - European Commission - DG Enterprise - Unit E.1: Environmental Aspects of Industry Policy. Brussels.
- ³⁶ ADEME. (2002) National Report – France. Aus: Current Situation and Future Prospects of EU Industry using Renewable Raw Materials. Edited by Joachim Ehrenberg - European Commission - DG Enterprise - Unit E.1: Environmental Aspects of Industry Policy. Brussels.
- ³⁷ ACTIN. (2002) National Report – Great Britain. Aus: Current Situation and Future Prospects of EU Industry using Renewable Raw Materials. Edited by Joachim Ehrenberg - European Commission - DG Enterprise - Unit E.1: Environmental Aspects of Industry Policy. Brussels.
- ³⁸ Pasila A., H.-R. Kymäläinen und A. Pehkonen. (2004) Non-food research and development in Finland. http://tehnika.eau.ee/pages/2002/Product_Development/111_Pasila_Kymalainen_Pehkonen.pdf
- ³⁹ Statistik Austria. (2003) Statistisches Jahrbuch 2003. <http://www.statistik.at>
- ⁴⁰ Falbe J. und M. Reglitz (Hrsg.). (1999) CD Römpp Chemie Lexikon A-Z. 10. Auflage. Thieme Verlag RÖMPP Chemie.