

Research Agenda Biobasierte Industrie

A. Windsperger, B. Windsperger,
T. Timmel, H. Steinmüller, J. Lindorfer,
M. Wörgetter, D. Bacovsky, A. Sonnleitner

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

57/2012

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

www.NachhaltigWirtschaften.at

Research Agenda

Biobasierte Industrie

Andreas Windsperger, Bernhard Windsperger
Institut für Industrielle Ökologie

Thomas Timmel
Austropapier

Horst Steinmüller, Johannes Lindorfer
Energie-Institut an der Johannes Kepler Universität Linz

Manfred Wörgetter, Dina Bacovsky, Andrea Sonnleitner
Bioenergy 2020+

St. Pölten, Oktober 2012

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Hintergrund	5
1.2	Ziele und Themen	6
1.3	Aufbau	7
2	Vom IST zum SOLL	8
2.1	Die Vision	8
2.2	Situation am Weltmarkt	11
2.3	Methodik des Technology Roadmapping.....	12
3	Realisierung einer biobasierten Industrie	13
3.1	Wege der Umsetzung	13
3.1.1	Nutzung der natürlichen Fasern.....	16
3.1.2	Der technologische Weg über biogene Plattformchemikalien.....	17
3.2	Situation bei den wesentlichen Umsetzungswegen.....	24
3.2.1	Herstellung natürlicher Fasern aus Holz	24
3.2.2	Situation bei wesentlichen Plattformchemikalien.....	29
4	Potentiale und Chancen für Österreich.....	57
4.1	Chancen für die Faserherstellung.....	59
4.1.1	Technologiepfad: Ressourceneffiziente Produktion	59
4.1.2	Technologiepfad: neue Produkte aus Fasern.....	61
4.2	Chancen im Bereich Plattformchemikalien	62
4.2.1	Technologiepfad Plattformchemikalien.....	62
4.2.2	Technologiepfad: Auskopplungsprodukte der Zellstoffherstellung als Plattformchemikalien.....	67

4.2.3	Technologiefad: Reststoffe der Zellstoffherstellung.....	68
5	Empfehlungen für das BMVIT.....	70
5.1	Wesentliche Handlungsfelder	70
5.2	Konkrete Empfehlungen.....	74
5.2.1	Themenspezifische Schwerpunkte.....	74
5.2.2	Innovationsförderndes Umfeld.....	76
5.2.3	Wirtschaftsnahe Umsetzung.....	77
	Literaturverzeichnis.....	79

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Kurz-, mittel- und langfristige Ziele für eine biobasierte Industrie (Eigene Darstellung).....	10
Abbildung 2:	Prozesskette einer biobasierten Industrie (Eigene Darstellung).....	13
Abbildung 3:	Produktvielfalt bei lignocellulosischen NAWAROs (Eigene Darstellung)	14
Abbildung 4:	Verarbeitung von pflanzlichen NAWAROs über Plattformchemikalien zu Produkten (Eigene Darstellung).	15
Abbildung 5:	Produktionsketten ausgehend von NAWAROs (Albrecht et al. 2010, 40).	18
Abbildung 6:	Prozessschema der Lenzing AG mit Nebenproduktverwertung (Lenzing AG 2003, 36).....	22
Abbildung 7:	Stand der Umsetzung bei Plattformchemikalien und einzelnen Produkten (Albrecht et al. 2010, 37).....	30
Abbildung 8:	Erwartete „kurz- bis mittelfristige“ und „mittel- bis langfristige“ Markteinführung (Bacovsky et al. 2009, 31).....	56
Abbildung 9:	Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe (Carus und Raschka 2012, 14).	58

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

“Das spektakuläre Wachstum der Weltbevölkerung seit dem 18. Jahrhundert – und besonders im 20. Jahrhundert, in dem sie sich nahezu vervierfachte – ist eine Hauptursache dafür, dass sich das Verhältnis zwischen unserer Zivilisation und den Ökosystemen der Erde radikal verändert hat. Das Bevölkerungswachstum allein wäre nicht so schlimm, wenn wir weniger Ressourcen verbrauchten und die Reichtümer der Erde in einer Weise ausbeuteten, die effizienter und weniger umweltschädlich wäre” (Gore 2009, 226).

Die rasante Zunahme der Weltbevölkerung ist somit eine Herausforderung, mit der die Menschheit in Zukunft konfrontiert sein wird. Es geht dabei aber wie gesagt nicht nur um die Zunahme der Bevölkerungszahl, sondern auch um eine Umstellung der Ressourcennutzung. Unsere Wirtschaft basiert zurzeit auf fossilen Energieträgern wie zum Beispiel Erdöl, dessen Vorräte allerdings begrenzt sind. Gleichzeitig entstehen bei der Nutzung fossiler Rohstoffe erhebliche Mengen des klimaschädlichen Treibhausgases CO₂, welches hauptverantwortlich für den anthropogenen Klimawandel ist. Somit erscheint eine Umstrukturierung unserer Wirtschaft als notwendig. Eine zukunftssträchtige Möglichkeit könnte der biobasierte Weg¹ darstellen, da auch die nachhaltige Erzeugung von Energie und die nachhaltige Bewirtschaftung der Ressourcen zu den zukünftig tragenden Aufgaben zählen werden.

Unter einer biobasierten Industrie versteht man die Produktion von materiellen Gütern (Produkten) aus Biomasse. Dort wo schon immer aus landwirtschaftlichen und forstwirtschaftlichen Rohstoffen (=Biomasse) produziert wurde, spricht man von konventionellen biobasierten Produkten, z. B. Papier und Lebensmittel. Dort wo traditionell aus fossilen Rohstoffen, Mineralen und Metallen produziert wird, spricht man beim Ersatz dieser Rohstoffe durch Biomasse von neuen biobasierten Produkten.

¹ Biobasierte Produkte werden zum Teil oder vollständig aus nachwachsenden Rohstoffen, wie etwa Pflanzen oder Bäumen hergestellt (Stiehl 2010, 3).

Für die Energieerzeugung werden bereits vielfältige erneuerbare Energieformen eingesetzt, für andere Bereiche wie beispielsweise die chemische Industrie sind hingegen derzeit noch wenige Alternativen zu fossilen Rohstoffquellen vorhanden (Braun et al. 2011, 11).

Böchzelt et al. (2004, 11) beschreiben in ihrem Bericht, dass auf dem Gebiet der stofflichen Nutzung erneuerbarer Rohstoffe zurzeit noch die notwendigen Strategien fehlen. Boniface et al. (2009, 4) zeigen hingegen auf, dass es auch für andere Industriebereiche durchaus attraktive Potentiale gibt. Zum Beispiel ergeben sich durch Biomasse, welche die einzige erneuerbare kohlenstoffhaltige Rohstoffquelle ist, vielfältige Möglichkeiten beispielsweise für die Herstellung von Fasern, Chemikalien oder Kraftstoffen.

Für die Bereitstellung biobasierter Grundstoffe könnte das Konzept der Bioraffinerie interessant werden. Darunter wird eine nachhaltige Verarbeitung von Biomasse in eine Vielzahl von marktfähigen Produkten und Energie verstanden. Gleichzeitig wird auch die Optimierung bei der Nutzung von Biomasse angestrebt. Allerdings ist für die Realisierung dieser Potentiale noch Forschung und Technologieentwicklung notwendig, da die rohstoffliche Verwertbarkeit von chemisch gleichen Grundbausteinen zwischen fossilen und nachwachsenden Rohstoffen nicht analog gegeben ist.

1.2 Ziele und Themen

Das Ziel dieser Roadmap ist es, für das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) die Möglichkeiten und die Chancen für die österreichische Industrie bei der Umstellung von einer auf fossilen Rohstoff basierten Wirtschaftsweise auf eine biobasierte Industrie auszuarbeiten und in einem Bericht zusammenzustellen. Dabei soll aufgezeigt werden, in welchen Aufgabenbereichen Förderungen und andere Unterstützungen von ministerieller Seite notwendig erscheinen, um vielversprechende Entwicklungen voranzutreiben.

Im Zuge des Projekts werden folgende Fragestellungen untersucht:

- Welche Umwandlungen sind für Biomasse technisch sinnvoll und welche Marktchancen ergeben sich auf diesem Gebiet?
- Dabei werden folgende Rohstoffgruppen betrachtet: Nachwachsende Rohstoffe (=NAWAROs, unterteilt in Einjahres- und lignocellulosische Pflanzen), Reststoffe und

Rückstände von Produktionsprozessen, aber auch neue alternative Rohstoffe wie Biomasse aus Algen.

- Für lignocellulosische Rohstoffe werden Wege für die Papier- und Zellstoffindustrie mit möglichen Produkten aus der Weiterverarbeitung von natürlichen Fasern aufgezeigt.
- Bei den Einjahrespflanzen sollen vor allem chemisch-technische und biotechnische Umwandlungen zu Plattformchemikalien und deren Marktchancen betrachtet werden. Hierbei geht es speziell um den Marktzugang auf bestehenden bzw. neuen Märkten.
- Die Ausrichtung der Arbeit ist dabei marktorientiert, das heißt auf die nachgefragten Produkte ausgerichtet.
- Andere Umsetzungswege der stofflichen Nutzung wie beispielsweise die direkte Nutzung des Holzes (z. B. Möbelindustrie) werden in diesem Bericht nicht berücksichtigt.
- Die energetische Nutzung sowie die thermochemische und thermische Umwandlung mit Vergasung und Pyrolyse werden in diesem Projekt nicht behandelt, da hierfür bereits zahlreiche nationale und internationale Aktivitäten vorliegen und auch organisatorisch gebündelt sind.

Die vom Projektteam ausgearbeiteten Ergebnisse wurden in mehreren Experten-Workshops mit Vertretern der Wissenschaft, Industrie und Zulieferern kritisch reflektiert und die Interessenslagen herausgearbeitet, um konkrete Potentiale der österreichischen Industrie zu erkennen und auch Handlungsempfehlungen für die Förderstellen zu entwickeln.

1.3 Aufbau

Die Roadmap befasst sich in Kapitel 1 zunächst mit einer Einführung in die Thematik und Informationen zu Hintergrund und Zielsetzung der Arbeit. Kapitel 2 beginnt mit einer Vision, welche Situation in naher Zukunft angestrebt wird, dem eine Darstellung der aktuellen Situation am Weltmarkt und in Österreich folgt. Danach folgt eine kurze Beschreibung der Methodik des Technology-Roadmappings. In Kapitel 3 werden die wesentlichen Umstellungspfade für eine biobasierte Industrie aufgezeigt. Dabei werden einerseits die

Nutzung natürlicher Fasern aus Holz und andererseits der technologische Weg über Plattformchemikalien, mit der derzeitigen Marktlage und unter Betrachtung des Technologiestandes, betrachtet. In Kapitel 4 werden die Ergebnisse zusammengefasst und mögliche Potentiale für Österreich durch Technologiepfade aufgezeigt. Daraus werden in Kapitel 5 Handlungsempfehlungen für die Förderstellen abgeleitet und Wege zur Umsetzung aufgezeigt.

2 Vom IST zum SOLL

2.1 Die Vision

„Eine am natürlichen Stoffkreislauf orientierte, nachhaltige bio-basierte Wirtschaft, deren vielfältiges Angebot die Welt ausreichend und gesund ernährt sowie uns mit hochwertigen Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen versorgt“
(Bundesministerium für Bildung und Forschung 2010, 3).

Wie obiges Zitat des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (2010, 3) beschreibt, soll ein Wirtschaftssystem aufgebaut werden, welches Produktionsprozesse so steuert, dass hochwertige Produkte aus erneuerbaren Rohstoffen wie Biomasse erzeugt werden und gleichzeitig auch Rücksicht auf die natürlichen Kreisläufe genommen wird.

Dabei nimmt einerseits die Holzverarbeitung und die Papier- und Zellstofferzeugung eine wesentliche Drehscheibenfunktion in der Herstellung von Grundstoffen für die industrielle Verarbeitung ein. Andererseits wird sie ergänzt durch Aktivitäten der „Sustainable Chemistry“, die mit der „weißen“, industriellen Biotechnologie die chemische Industrie auf biobasierte Grundstoffe für die industrielle Weiterverarbeitung ausrichten möchte (pers. Windsperger).

Nachfolgend werden die wesentlichen Zielrichtungen dieser Entwicklung zusammengefasst:

- Verstärkter Einsatz von Naturstoffen wie natürlichen Fasern in technischen Anwendungen und im Textilmarkt
- Möglichst vollständige Nutzung der biogenen Rohstoffe im Sinne einer integrierten Bioraffinerie
- Herstellung der chemischen Grundstoffe zu einem hohen Anteil aus biogenen Rohstoffen

Laut Böchzelt et al. (2004, 17ff) sind allerdings noch weitere Aspekte zu berücksichtigen, um eine biobasierte Industrie realisieren zu können. Beispielsweise ist eine ressourcenschonende Produktion von großer Bedeutung. Nachwachsende Rohstoffe bekommen durch ihre vielfältigen Eigenschaften, wie die Syntheseverleistung der Natur für die Herstellung von Produkten, immer mehr Aufmerksamkeit. Im Jahr 2007 wurde von Albrecht et al. (2010, 36) die Kapazität für biobasierte Polymere auf 360 Millionen (Mio.) Tonnen geschätzt, wobei die Wachstumsrate in Europa 48% und weltweit 38% betrug. Damit könnte bis 2020 der Marktanteil auf 10-20% gesteigert werden. Laut Böchzelt et al. (2004, 17ff) sieht das National Research Council der USA für 2090 sogar einen Anteil von biobasierten Rohstoffen von 90% vor. Bis ungefähr 2020 sollte eine Steigerung von derzeit rund 10% auf 25% erfolgen, vor allem bei den enormen Mengen der Chemiegrundstoffe (Bulk Chemicals). In den letzten Jahren hat auch das Interesse von Großbetrieben der chemischen Grundstoffindustrie an einer Umstellung ihrer Produktion auf biobasierte Rohstoffe zugenommen. Shell hat sich das Ziel gesetzt, bis 2050 den Bedarf an Chemikalien und Energie zu 30% durch Biomasse zu decken. Der Kunststoffhersteller Du Pont will ebenfalls seine Produkte zu 25% aus erneuerbaren Rohstoffen herstellen. Für diesen Wandel sind somit mehrere Branchen mit verschiedensten Herausforderungen konfrontiert. Dabei handelt es sich zum Beispiel um den Einsatz möglichst weniger Grundstoffe, bei gleichzeitiger Erhaltung der vielfältigen Produkteigenschaften. Nach dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (2010, 3ff) ist der Umstieg auf erneuerbare Rohstoffe als Ausgangsstoffe ein weiterer Meilenstein. Nachwachsende Rohstoffe weisen aufgrund ihrer Vielfalt an Inhaltsstoffen große Potentiale auf. Die Biomasse zeigt zum Beispiel den Vorteil, dass sie für die spätere Weiterverarbeitung bereits im Entstehungsprozess modifiziert werden kann, beispielsweise durch Pflanzenauswahl, Anbaumethoden oder Züchtung unter Anwendung von moderner Biotechnologie. Dadurch ergeben sich noch vielfältigere Möglichkeiten. Holz sollte wegen der großen Verfügbarkeit und dem Wegfall von Nahrungsmittelkonkurrenz (allerdings teilweise Flächenkonkurrenz) auf jeden Fall mit berücksichtigt werden und kann in verschiedensten Bereichen wie Bau-, Papier- oder Zellstoffindustrie verwendet werden. Aber auch Algen können aufgrund ihres schnellen Wachstums und des hohen Wirkungsgrades eine wichtige Rolle einnehmen. Desweiteren geht es nicht nur um den Einsatz der Ausgangsstoffe, sondern ebenfalls um die vollständige Nutzung von Rohstoffen. Bei Verwendung von sämtlichen Bestandteilen verschiedener

Pflanzen oder auch Abfall bzw. Reststoffen für die Herstellung von Chemikalien, Nahrungs- und Futtermitteln, Strom, Wärme und Kraftstoffen kann von einer so genannten Bioraffinerie gesprochen werden.

Für die Realisierung der Bioraffinerie ist allerdings noch einiges an Forschungsarbeit notwendig, wie zum Beispiel die Aufbereitung und Konversion von Biomasse. Nach Braun et al. (2011, 8) ist das Konzept der Bioraffinerie zurzeit weltweit in der Entwicklungsphase. In Europa befinden sich derzeit 121 Anlagen, wobei der Großteil Pilot- oder Demonstrationsanlagen sind. In den USA bekommt der Bau, Betrieb und die Förderung von Bioraffinerie-Anlagen immer größere Bedeutung. Beispielsweise wurden in dem „Biomass Program“ 29 neue Bioraffinerien gefördert.

In nachfolgender Abbildung 1 ist eine mögliche zeitliche Positionierung der Maßnahmen zur Umsetzung einer biobasierten Industrie bis zum Jahr 2050 dargestellt.

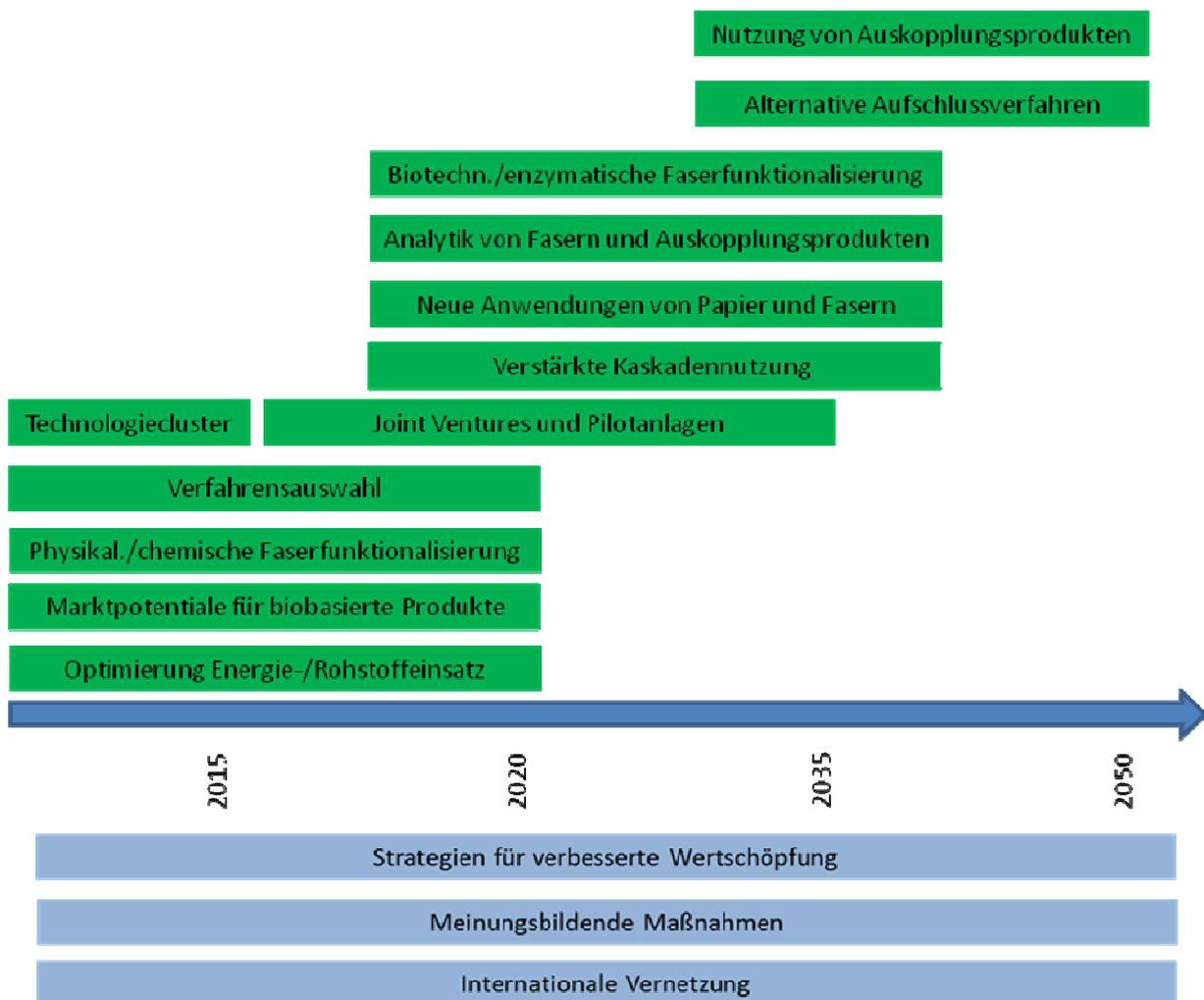


Abbildung 1: Kurz-, mittel- und langfristige Ziele für eine biobasierte Industrie (Eigene Darstellung).

2.2 Situation am Weltmarkt

Laut Böchzelt et al. (2004, 12ff) ist das Rohstoffaufkommen in der Industrie zurzeit größtenteils durch fossile, mineralische und metallische Ressourcen geprägt, die entweder energetisch oder stofflich weiterverwendet werden. Durch eine derartige Nutzung entsteht, wie bereits in Kapitel 1 beschrieben, das Treibhausgas Kohlendioxid, welches in der Atmosphäre angereichert wird und den Klimawandel weiter verschärft.

Aber nicht nur der negative Einfluss auf das Klima ist zu beachten. Fossile Rohstoffe wie Erdöl sind nicht unbegrenzt vorhanden. Es ist davon auszugehen, dass Erdöl in etwa 40-50 Jahren zu einem nicht mehr angemessenen Preis verfügbar sein wird. Dadurch wird ersichtlich, dass ein Umstieg auf nachwachsende Rohstoffe unumgänglich ist. Die chemische Industrie nimmt dabei neben anderen Wirtschaftssektoren ebenfalls eine zentrale Rolle ein. Die zurzeit größten Chemieproduzenten weltweit sind die USA, Japan, Deutschland, Frankreich, China und Italien. Im Jahr 2003 lag der Gesamtumsatz bei über 1.600 Milliarden (Mrd.) Euro. Derzeit ist in Deutschland und Amerika im Bereich der chemischen Industrie der Anteil erneuerbarer Ressourcen als Ausgangsmaterialien mit 10% allerdings noch sehr gering. Davon leisten Fette und Öle den größten Beitrag für den Einsatz nachwachsender Rohstoffe, die in der Kosmetik- und Waschmittelindustrie eingesetzt werden. Nach Barbosa et al. (2012, 2) liegt die derzeitige Produktion biobasierter Chemikalien und Polymere bei rund 50 Mio. Tonnen. Im Vergleich dazu werden ungefähr 330 Mio. Tonnen Chemikalien und Polymere aus fossilen Rohstoffen hergestellt. Es entstehen dabei hauptsächlich Schlüsselsubstanzen wie Methanol, Ethylen, Propylen, Butadien, Benzen oder Xylen, die weiter zu Polymeren, Plastik oder anderen Chemikalien verarbeitet werden. Aus technischer Betrachtung könnten alle industriellen Materialien, die zurzeit aus fossilen Ressourcen hergestellt werden, durch biobasierte Rohstoffe substituiert werden. Ein Nachteil bei der Produktion auf erneuerbarer Basis sind die derzeit noch höheren Kosten gegenüber der petrochemischen Herstellung, die in vielen Fällen aber durch die noch geringeren Produktionsvolumina bedingt sind (ungünstigere economy of scale). Die Verarbeitung des lignocellulosischen Rohstoffs Holz erfolgt seit Jahrzehnten bereits in großtechnischem Maßstab in Papier- und Zellstofffabriken. Die dabei gewonnene Naturfaser Zellulose wird derzeit noch immer vorwiegend für die Papier- und Textilfaserherstellung eingesetzt.

Während nun der Hygienebereich und die Anwendungen in der Verpackung auch zukünftig gute Marktchancen aufweisen, ist beim Kommunikationsbereich mit Zeitungs- Magazin- und Officepapieren längerfristig mit Stagnation und Rückgang zu rechnen. Andererseits bestehen große zukünftige Chancen in der Anwendung von natürlichen Fasern für technische Produkte.

2.3 Methodik des Technology Roadmapping

Nach der International Energy Agency (2010, 3) stellt eine Roadmap einen strategischen Plan dar, in dem die einzelnen Schritte für das Erreichen der gesetzten Ziele beschrieben werden. Bei einem Roadmapping-Prozess wird versucht das Engagement der Beteiligten so gut es geht für die Planerstellung zu nutzen und gleichzeitig auch Übereinstimmung über die zu setzenden Prioritäten zu finden. Für die Entwicklung einer Roadmap ist ein umfangreicher Prozess notwendig, der zwei Arten von Aktivitäten und vier Phasen beinhaltet. Die Aktivitäten bilden einerseits eine Expertenbeurteilung, bei der zum Beispiel die Ziele und Lösungsmöglichkeiten besprochen und gebildet werden (durch Experten Workshops). Andererseits wird versucht diese durch Daten und Analysen zu belegen und zusätzliche Ideen in die Roadmap zu integrieren. Die einzelnen Phasen werden unterteilt in Planung und Vorbereitung, Vision, Roadmap-Entwicklung und Roadmap-Durchführung und Überarbeitung.

Der Begriff der Technology-Roadmap ist eine Art von Roadmap, die sich auf die Unterstützung bei der Entwicklung von Technologien bezieht. Bei den mitwirkenden Personen handelt es sich häufig um Experten in dem jeweiligen Tätigkeitsbereich.

3 Realisierung einer biobasierten Industrie

3.1 Wege der Umsetzung

Um eine biobasierte Industrie zu realisieren bedarf es mehrerer Umsetzungswege, wobei in nachfolgender Abbildung 2 einige dieser Pfade dargestellt werden.

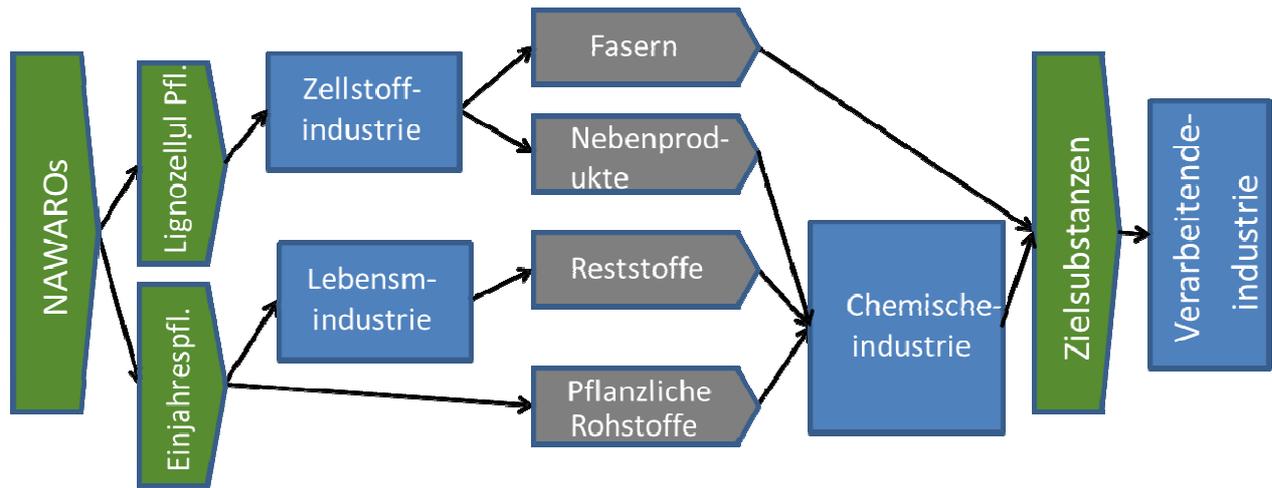


Abbildung 2: Prozesskette einer biobasierten Industrie (Eigene Darstellung)

Für die Realisierung einer biobasierten Industrie ist wie in Abbildung 2 zu sehen ist, einerseits die Herstellung von natürlichen Fasern aus Holz für den Einsatz von beispielsweise Papier, Textilfasern oder Vliesstoffen von Bedeutung. Andererseits sind allerdings auch die so genannten Plattformchemikalien zu berücksichtigen, die aus nachwachsenden Rohstoffen, Auskopplungsprodukten (Nebenprodukte)² der Holzverarbeitung oder auch Reststoffen der Verarbeitung von NAWAROs hergestellt werden. Nachfolgend wird in Abbildung 3 eine detaillierte Darstellung über die Verarbeitung von lignocellulosischen NAWAROs mit der Vielfalt an möglichen Produktanwendungen aufgezeigt.

² Auskopplungsprodukte sind Nebenprodukte, die aus dem Prozess abgetrennt werden können.

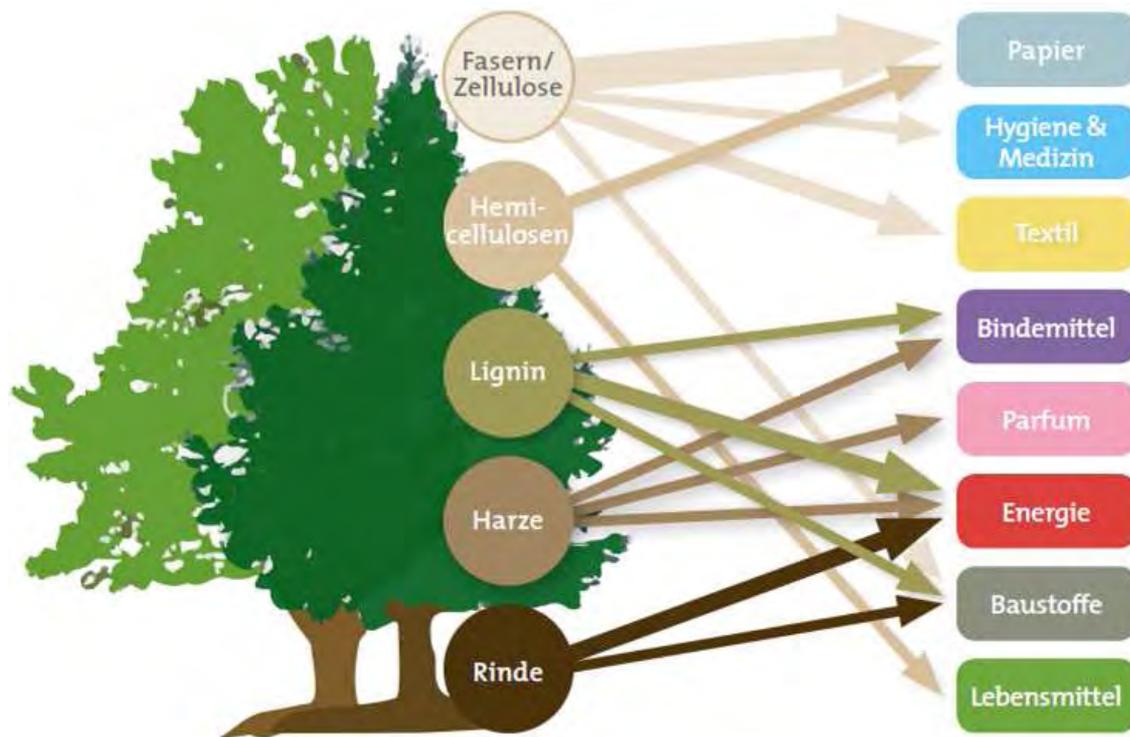


Abbildung 3: Produktvielfalt bei lignocellulosischen NAWAROs (Eigene Darstellung)

In Abbildung 4 ist die Behandlung von pflanzlichen Roh- und Reststoffen über die Umwandlung zu Plattformchemikalien, bis zu der Weiterverarbeitung zu Produkten mit einigen Anwendungen dargestellt.

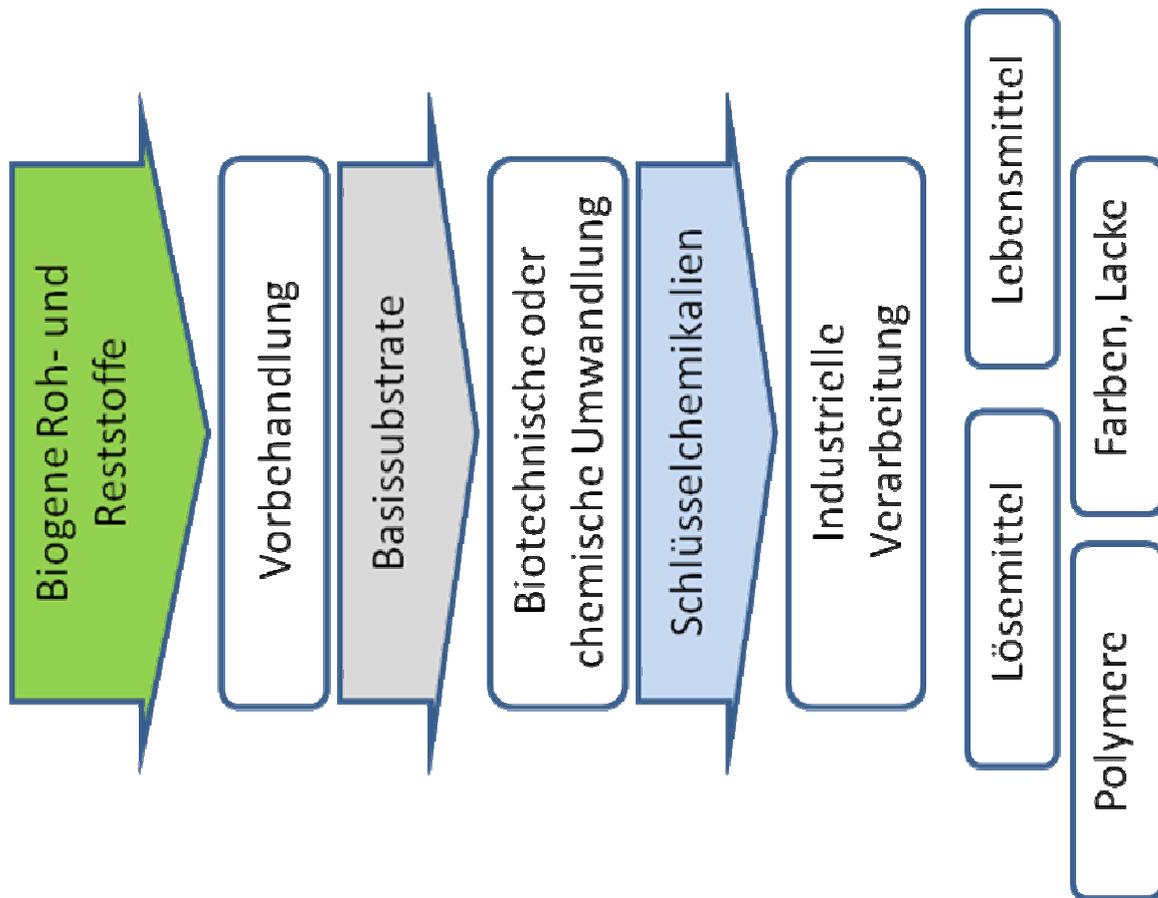


Abbildung 4: Verarbeitung von pflanzlichen NAWAROs über Plattformchemikalien zu Produkten (Eigene Darstellung).

Eine zentrale Frage für die Realisierung wird die künftige Verfügbarkeit von nachhaltig erzeugter Biomasse sein. Schon jetzt zeigt sich, dass nur durch die kaskadische Nutzung³ der wertvollen biogenen Ressourcen die einzelnen Industriebranchen ihr Auslangen finden werden. Dem Recycling von Abfällen wie Altpapier, aber auch anderen biogenen Materialien wie Gewebe oder Textilien kommt dabei eine strategische Bedeutung zu. Die Rohstoffverfügbarkeit entscheidet dabei auch über die Wirtschaftlichkeit der Produktionsprozesse in Europa. Die modernen Produktionsprozesse müssen variabel gestaltet sein und auf die Produkteigenschaften von mehreren unterschiedlichen Produkten aus demselben Rohstoff Rücksicht nehmen. Die Weiterentwicklung dieser Bioraffineriekonzepte in Branchen der biobasierte Industrie wird durch jene ergänzt, die sich mit dem Recycling biogener Reststoffe auseinandersetzen. Sowohl die frische Biomasse als

³ Unter einer kaskadischen Nutzung wird die (mehrfache) Verwendung desselben Rohstoffs sowohl für stoffliche als auch für energetische Nutzung verstanden. (Arnold et al. 2009, 15)

auch die Verarbeitung von Rückständen und Reststoffen sowie Recycling von Altmaterialien bieten Möglichkeiten erhöhte Wertschöpfung zu lukrieren.

Die politische Diskussion Teller oder Tank, die die ethischen und ökonomischen Bedenken der Nutzung von Lebensmittel oder auch Lebensmittelflächen für chemische Produkte, Treibstoffe oder Energie betrachtet, ist nicht zu vernachlässigen. Andererseits sucht die Landwirtschaft, wegen des Verfalls der Marktpreise von Lebensmitteln durch Marktüberschüsse, nach neuen Einsatzbereichen für ihre Produkte und sieht speziell in den heute schon technologisch ausgereiften Biokraftstoffen der 1. Generation eine Lösung. Wegen der oben angesprochenen Problematik ist auch die Einbeziehung von Reststoffen und Produktionsrückständen in die zu entwickelnden Produktionsketten wesentlich.

Die Rohstoffe müssen nachfolgend meist unter Aufspaltung von Stärke oder Zellulose in chemisch oder biotechnologisch umwandelbare Grundkörper gespalten werden. Dies ist teilweise technologisch noch eine Herausforderung, stellt wegen des oft hohen Wassergehalts und der geringen Energie- und Nährstoffdichte aber auch ein logistisches Problem dar.

Die erfolgreiche Umsetzung erfordert neben diesen stofflichen Voraussetzungen aber auch noch technologische: einerseits ist Technologieentwicklung notwendig, um die Schlüsselchemikalien herzustellen, andererseits ist auch Produktinnovation notwendig, um daraus die Produkte mit gleichen oder besseren funktionalen Eigenschaften zu erhalten.

Letztlich ist für die breite Anwendung aber auch noch die ökonomische Konkurrenzfähigkeit entscheidend. Diese hängt maßgeblich von der Größe der Anlagen ab, da entsprechend der Kostendegression die spezifischen Kosten mit der Anlagengröße sinken. Speziell bei neuen Produkten mit neuen Technologien ist aber ein langsames scale-up der Anlagengröße notwendig, was für die Umstellung ein wesentliches Hindernis darstellt.

3.1.1 Nutzung der natürlichen Fasern

Die Isolierung der Zellulose aus dem Rohstoff Holz erfolgt durch Holzaufschluss ("Kochung"). In der ersten Phase der Umstellung zu einer verstärkten Nutzung der Auskopplungsprodukte könnten speziell die Zellstofffabriken mit ihren in großtechnischem Maßstab hergestellten Zellulosefasern, denen neben der derzeitigen Hauptanwendung für die Papierherstellung auch als Grundstoff für technische Produkte Bedeutung zukommt, zu Treibern der

Umstellung auf eine biobasierte Industrie werden. Dies liegt daran, da in diesen Produktionsanlagen die Fasern erst aus dem Holz gewonnen werden und somit der Anteil an Nicht-Fasermaterial entsprechend hoch ist.

Derzeit werden Zellstofffasern vorrangig für die Produktion von Papieren für die unterschiedlichsten Anwendungszwecke erzeugt. Außerdem wird Textilzellstoff zu Viskose- und Lyocellfasern (Regeneratfasern) weiterverarbeitet, die für die Erzeugung von Bekleidung, Heimtextilien, Vliesstoffen und technischen Textilien verwendet werden.

Die Produktionsprozesse und auch Rohstoffe variieren je nach Anwendungszweck. In Österreich werden vorrangig Fichte und Buche für die Erzeugung von Zellstoff verwendet. Etwa 20% der österreichischen Faserproduktion geht in die Textilfasererzeugung. Neben Frischfasern für die Produktion von Papier werden importierter Zellstoff und in zunehmenden Maße Sekundärfasern aus Altpapier für die heimische Papierproduktion aufgewendet.

Für die richtige Faserqualität werden gezielt Zellstoffe aus unterschiedlichen Quellen gemischt, da sich nicht jeder Zellstoff für jedes Produktsegment eignet.

Die Zellstofffaser ist von den Produktionszahlen weltweit der mit Abstand meistproduzierte Faserstoff auf Basis nachwachsender Rohstoffe. Die Einsatzmöglichkeiten sind vielfältig und werden im Kapitel 3.2.1 detailliert aufgeführt.

3.1.2 Der technologische Weg über biogene Plattformchemikalien

Bis jetzt werden die meisten chemischen Produkte auf Basis fossiler Rohstoffe erzeugt. Produkte wie Fette, Öle, Proteine oder Biokunststoffe können allerdings bereits seit einiger Zeit biogen produziert werden. Wie bereits in Kapitel 1 beschrieben wurde, wird zukünftig für die chemische Industrie der Bereich der erneuerbaren Rohstoffe und die Verwendung von Biomasse von großer Bedeutung sein. Für die stoffliche Nutzung der Biomasse wird laut Braun et al. (2011, 7f) der Weg über so genannte biogene Plattformchemikalien eine bedeutende Rolle einnehmen. Diese Chemikalien können aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden und als Schlüsselprodukte für die Industrie dienen, indem sie Ausgangsstoffe für die verschiedensten Produkte darstellen. Diese Schlüsselprodukte sind analog den derzeitigen Plattformchemikalien für viele Produktionswege anwendbar, gut lagerbar und über den derzeitigen Stand hinaus aus biogenen Rohstoffen herstellbar. Die

biogenen Schlüsselprodukte könnten am Markt große Teile der derzeitigen Plattformchemikalien substituieren, wenn sie sowohl preislich als auch qualitativ konkurrenzfähig sind. Darüber können sie auch neue Bereiche hinsichtlich der Funktion und der Anwendung erschließen.

In Abbildung 5 sind mögliche Herstellungswege ausgehend von NAWAROs, über biogene Plattformchemikalien, bis zum Produkt dargestellt.

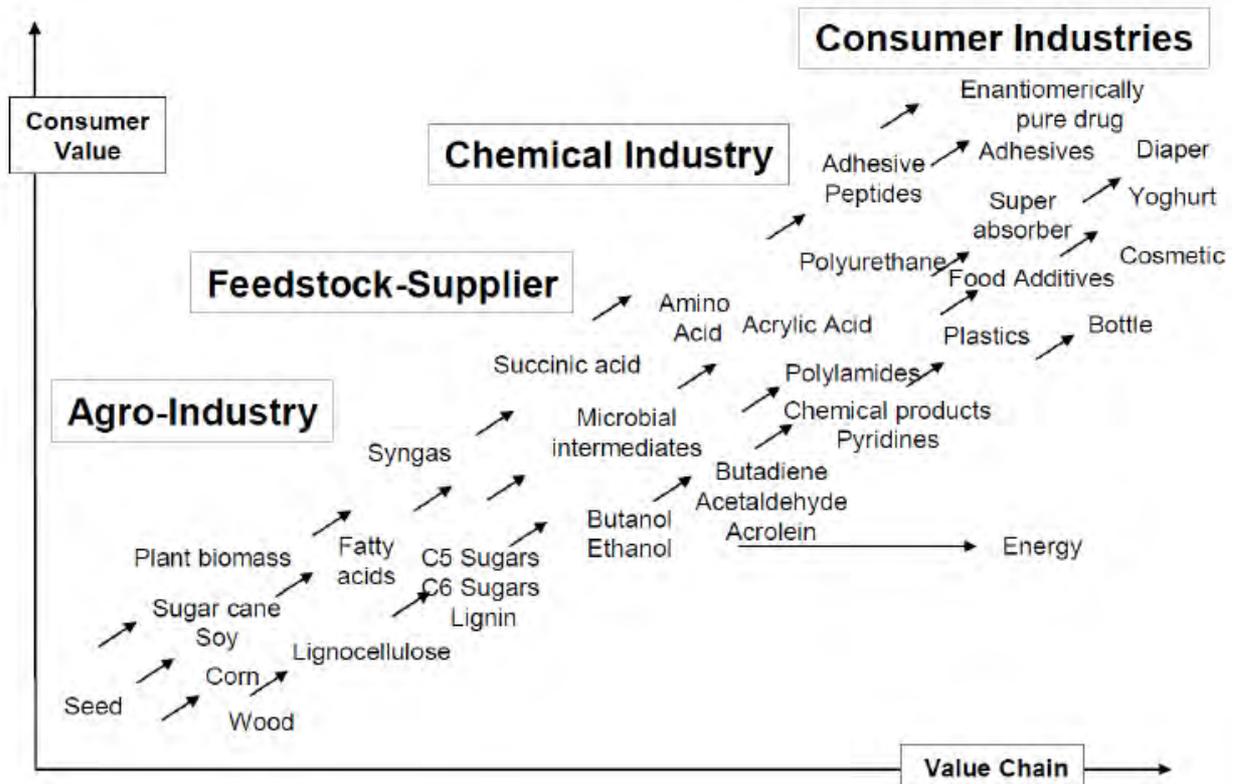


Abbildung 5: Produktionsketten ausgehend von NAWAROs (Albrecht et al. 2010, 40).

Die Herstellung der Plattformchemikalien kann über effiziente und integrierte biotechnische, chemisch-technische oder chemisch-thermische Prozesse erfolgen. Der Produktionsprozess erfolgt nach Braun et al. (2011, 17f) über mehrere Phasen. Ausgehend von biogenen Rohstoffen, wie beispielsweise Raps, Zuckerrüben, Stroh, Soja oder Mais werden so genannte Biomasse-Präkursoren gewonnen. Dies sind Stoffe wie Zellulose, Stärke, Hemicellulose, Proteine, Fette oder Lignin. Diese Präkursoren werden in weiteren Schritten erneut aufgetrennt (z. B. Zellulose und Stärke zu Glucose und Fructose). Daraus können anschließend verschiedenste Plattformchemikalien hergestellt werden, aus denen schließlich die Endprodukte produziert werden. Die Erzeugung der Schlüsselsubstanzen erfolgt über

effiziente biotechnologische (aerob, anaerob), physikalisch-chemische (umsetzen, zerkleinern und pressen) oder thermo-chemische (Verkohlung, Vergasung oder Verflüssigung) Prozesse.

Prinzipiell können laut Braun et al. (2011, 17f) aus diesen Plattformchemikalien mit vorhandenen oder adaptierten industriellen Prozessen Produkte für verschiedene Anwendungen in unterschiedlichen Branchen erzeugt werden:

- Chemie: Klebstoffe, Polymere, Dünger und Pestizide, Wasch- und Reinigungsmittel oder Zusatzstoffe
- Farben und Lacke: Lösungsmittel und Bindemittel
- Schmierstoffe und Verfahrensstoffe: Motorenöl, Hydrauliköl, Schmieröl und Frostschutzmittel
- Kosmetik und Pharma: Kosmetika, Pharmazeutika, Hilfsstoffe, Desinfektionsmittel und Dental-Produkte
- Papierherstellung: Holz- und Zellstoffe
- Textilien: Viskose- und Lyocellfasern, Stoffe, Teppiche und Stoffbeschichtungen
- Baumaterialien: Dämmstoffe, Zement und Brandschutzmittel
- Konsumgüterbereich: Kunststoffe, Möbel und Gehäuseteile
- Werkstoffe: Biokunststoffe, Biopolymere, Kautschuk, faserverstärkte Werkstoffe, Holz-Polymer-Werkstoffe
- Verpackungsprodukte: Loose Fill und Paletten, Folien (Cellophan)
- Umwelttechnik: Wasserchemie, Detergenzien und Chelatbildner
- Energie und Treibstoffe: Biodiesel, Bioethanol, Pellets, Biogas, Pflanzenöl, Wärme und Strom

In vielen Bereichen werden schon seit Jahrzehnten tierische und pflanzliche Erzeugnisse als Rohstoff eingesetzt. In anderen Bereichen ist die Nutzung von Biomasse als Rohstoff jedoch noch nicht ausreichend entwickelt, könnte aber fossile Rohstoffe ersetzen.

Die Herstellung biobasierter Produkte über Plattformchemikalien hat aber, wie bereits kurz angemerkt, noch zahlreiche Herausforderungen zu bewältigen. Bei der Bereitstellung der Rohstoffe ist durchaus mit Konflikten zu rechnen, weil eine Konkurrenz zur Lebensmittelindustrie entsteht. Im weiteren Sinne geht es aber primär um die Flächenkonkurrenz zwischen der Lebensmittelproduktion und der Herstellung chemisch/technisch/energetischer Produkte. Damit sind Strategien notwendig, um diese Rohstoffkonkurrenz zu lösen. Als aussichtsreiche Möglichkeit erscheint die Nutzung von Reststoffen und Rohstoffen, die keine oder möglichst geringe Konkurrenz zur Lebensmittelindustrie darstellen und darüber hinaus auch wenig Flächen in Anspruch nehmen.

Ein weiteres Problem sind die Kosten und die noch ausstehende technologische Entwicklung. Bereits bei niedrigen Anlagengrößen sollten sie im Bereich der fossilen Konkurrenzprodukte liegen, damit die Anwendung nicht nur wenigen Nischenbereichen vorbehalten bleibt. Es ist aber auch möglich mit Förderungen oder fiskalischen Instrumenten positive Rahmenbedingungen für die Etablierung biobasierter Produkte zu schaffen, um die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe zu einer attraktiven Ergänzung zur energetischen Nutzung zu etablieren und damit die nationale Wertschöpfung zu verbessern.

In der vorliegenden Roadmap sollen solche biobasierte Produkte betrachtet werden, die durch ihre Funktion als Grundstoffe für die industrielle Verarbeitung Erdölprodukte ersetzen können; die materielle Nutzung von Biomasse als Produkt ohne chemische oder biotechnische Umwandlung wie z. B. als Bauholz oder Strohdämmung wird hingegen nicht betrachtet.

3.1.2.1 Chemikalien aus NAWAROs

Als Rohstoffe für die Herstellung der Basissubstrate eignen sich die meisten Zucker-, Stärke und Zellulose-haltigen nachwachsenden Rohstoffe. Bei den typischen Agrarprodukten liegt meist der angesprochene Teller oder Tank Konflikt vor. Daher sollten auch Rückstände und Reststoffe der Lebensmittelproduktion miteinbezogen werden.

In den meisten Fällen sind Vorbehandlungen notwendig, um die biogenen Rohstoffe in biotechnisch verarbeitbare Substrate umzuwandeln. Bei den Vorbehandlungen handelt es sich meist um eine Spaltung von Zellulose oder Stärke in die leicht verwertbaren

Grundzucker. Dementsprechend sind zuckerhaltige Substrate einfacher zu verarbeiten, aber weniger lagerstabil, außer sie weisen nur geringen Wassergehalt auf. Für stärkehaltige Rohstoffe liegen technologisch in allen Größen gut entwickelte Verzuckerungsverfahren vor. Bei Zellulose ist die Verzuckerung in kosteneffizienter Form nach wie vor eine Herausforderung und damit deutlich aufwendiger. Allerdings könnten Teilhydrolysen für die Substratherstellung ausreichend sein, wie das bei Stroh möglich wäre.

3.1.2.2 Auskopplungsprodukte der industriellen Verarbeitung von Holz

Die Lenzing AG betreibt in Österreich am Standort Lenzing eine Holzbioraffinerie, bei der wesentliche Nebenprodukte des Prozesses als chemische Grundstoffe genutzt bzw. zu Produkten weiterverarbeitet werden.

Einerseits werden laut Lenzing AG (2003, 34ff) die beim Faserprozess anfallenden schwefelhaltigen Abluftströme teils einer direkten stofflichen Rückgewinnung unterzogen und teils zu Schwefelsäure umgewandelt. Andererseits werden die bei der Holzkochung anfallenden Nebenprodukte Essigsäure und Furfural in einer Brüdenkondensation erfasst, durch Extraktion, Konzentration und nach Reinigungsschritten an die Lebensmittel- bzw. chemische Industrie als Rohstoff abgegeben. Aus dem in der Ablauge enthaltenen Inhaltsstoff Xylose wird durch die Danisco GmbH (inzwischen Du Pont) Xylit hergestellt, ein karieshemmender Süßstoff. In nachfolgender Abbildung 6 ist das Prozessschema der Lenzing AG auch bildlich dargestellt.

Anfalls wesentlich und die Planung etwaiger dezentraler Verarbeitungsstätten, um den Gehalt und die Stabilität der Rohstoffe durch z. B. Verringerung des Wassergehalts zu erhöhen und teilweise vielleicht auch eine Vorbehandlung (z. B. Hydrolyse) durchzuführen.

Letztlich liegen bei den Reststoffen neben den größeren Schwierigkeiten in der Verarbeitung auch Konkurrenzsituationen vor, einerseits marktseitig durch derzeit praktizierte Verwertungen wie als Futtermittel. Andererseits sind aber auch ökologische Konkurrenzen zu beachten, wie der Erhalt des Strohs und damit des Kohlenstoffs am Feld, was bei einer kompletten Verwertung durch andere Wege nicht mehr gegeben wäre. Lösungen hierfür sind jedenfalls im Gesamtkontext der Umstellung auf biobasierte Produkte zu beachten.

3.2 Situation bei den wesentlichen Umsetzungswegen

3.2.1 Herstellung natürlicher Fasern aus Holz

Holz ist bei den technisch genutzten nachwachsenden Rohstoffen die mit Abstand wichtigste Rohstoffquelle. Im Gegensatz zu agrarischen Rohstoffen ist eine Konkurrenz mit Flächen für die Lebensmittelerzeugung ausgeschlossen. Dies trifft auf alle Holzarten zu, außer für lignocellulose Kurzumtriebskulturen zur Erzeugung von Biomasse für die energetische Nutzung, diese werden auf den der Landwirtschaft gewidmeten Flächen kultiviert.

Holz nimmt als natürliches Verbundmaterial in der biobasierten Industrie auch als Ausgangsstoff für die chemische, biochemische, thermische Veredelung einen wichtigen Stellenwert ein. Wie schon einleitend beschrieben, ist die Nutzung der Syntheseleistung der Natur ein wesentlicher Schlüssel zur Wettbewerbsfähigkeit der biobasierten Materialien. Holz findet schon jetzt Anwendung in zahlreichen Produkten.

Derzeit werden in Österreich 33 Mio. Festmeter (FM)/a Holz verarbeitet. Davon werden 20 Mio. FM in der Säge zu Sägeprodukten umgesetzt. Durchforstungsholz sowie Sägenebenprodukte (SNP) aus der Sägeindustrie werden entlang der kaskadischen Wertschöpfungskette in der Platten-, sowie Papier- und Zellstoffindustrie zu Produkten verarbeitet.

Aktuell produziert die österreichische Holzindustrie (Säge-, Bauholz-, Möbel-, Ski- und Plattenindustrie) 14,9 Mio. FM Holzprodukte pro Jahr. Vor allem im Baubereich ist das Potential zum Bauen mit Holz noch nicht ausgeschöpft.

Die gesamte holzverarbeitende Branche ist in Österreich mit 75 - 85% Exportquote (je nach Industriezweig) ein wichtiger Devisenbringer für die österreichische Handelsbilanz bzw. Volkswirtschaft. Insgesamt sind über 200.000 Arbeitsplätze vorrangig im ländlichen Raum durch die holzverarbeitende Industrie in Österreich gesichert. Unzählige Leitbetriebe sichern darüber hinaus auch in vor- und nachgelagerten Betrieben wichtige Arbeitsplätze.

Die Fläche Österreichs ist zu 47% mit Wald bedeckt. Dadurch ist der Rohstoff Holz in Österreich prinzipiell vorhanden. Allerdings nimmt die Importabhängigkeit Österreichs bei der Holzversorgung stetig zu. Neben der stofflichen Nutzung für Holzprodukte erzeugt die wachsende direkte energetische Nutzung von Holz einen intensiven Wettbewerb um die

Rohstoffversorgung und führt zu einer Importrate von mittlerweile 25% des gesamten Holzbedarfs in Österreich.

Etwa 5 Mio. FM an Holz werden jährlich von der österreichischen Papier- und Zellstoffindustrie zu Zellstoff und Holzstoff und in weiterer Folge zu Papier, Textilien und Nonwovens⁴ verarbeitet. 2011 hat die österreichischen Papier- und Zellstoffindustrie 4,9 Mio. t Papier, etwa 550.000 t Marktzellstoff sowie 290.000 t Textilzellstoff hergestellt.

Zellstofffaser stellt für die Papier- und Zellstoffindustrie das Hauptprodukt aus Holz dar. Es gibt zwei wesentliche Technologien um Zellstoff herzustellen:

Am häufigsten wird EU-weit das Kraft-Zellstoffverfahren angewendet. Es handelt sich um einen basischen Aufschluss der Holzsubstanz. In Kochern wird bei hohem Druck und Temperatur Hackschnitzel gekocht. Dabei trennt sich die Zellulosefaser von der restlichen, verflüssigten Holzsubstanz. In darauf folgenden Waschprozessen und – je nach Produkt erforderlichen elementar- oder völlig chlorfreien - Bleichsequenzen mit unterschiedlichen Bleichchemikalien wird der Rest der ungewünschten Holzsubstanz von der Faseroberfläche entfernt. Je nach Produkt handelt es sich bei den zu entfernenden Holzsubstanzen um Lignin, aber auch Hemicellulosen.

Das in Europa nicht mehr weit verbreitete Sulfitverfahren, ein Aufschluss in saurem Medium, wird in Österreich noch zahlreich angewendet. Mit diesem Verfahren werden weichere, nicht so feste Fasern erzeugt. Sie finden vor allem in grafischen Papieren, Hygienepapieren und Textilfasern Anwendung. Im Gegensatz zum Kraft-Zellstoffverfahren liegen die Nebenproduktströme des Sulfitverfahrens, und da vor allem die Kohlenhydrate, so vor, dass diese zu weiteren Produkten verarbeitet werden können. Daher wird dem Sulfitverfahren bei der Weiterentwicklung der Zellstoff-Bioraffinerie großes Potential zugeschrieben. Schon vor mehr als 70 Jahren wurde mittels Fermentation und Destillation aus den Restzuckern der Sulfitlauge Ethanol für Kraftstoffe aber auch die Lebensmittelindustrie hergestellt. Aktuell finden diese Verfahren in Österreich keine Anwendung. Weiterentwicklungen im Bereich der Biotechnologie sind jedoch vielversprechend, so dass eine etwaige stoffliche Nutzung dieser Restzucker zukünftig interessant werden könnte.

⁴ Faservlieserzeugnis

Weitere Holzbestandteile bzw. Auskopplungsprodukte wie Terpentin, Tallöl, Rinde, Lignin und Hemicellulosen werden derzeit nur teilweise einer stofflichen Nutzung zugeführt. Deren intensivere Nutzung ist eines der wesentlichen Ziele der Aktivitäten rund um die biobasierte Industrie. Konkrete Daten zum Umfang der stofflichen Nutzung dieser Nebenprodukte sind in der Vereinigung der österreichischen Papierindustrie noch nicht verfügbar.

Zellstoffe sind separierte Zellulosefasern aus Holz und ein Zwischenprodukt, bevor diese zu weiteren Produkten veredelt wird. Zellstoff ist ein weltweit gehandeltes, kompakt transportierbares Produkt. Er wird sowohl integriert als auch in Marktzellstofffabriken produziert. Integrierte Fabriken verfügen über den nachgeschalteten Verarbeitungsschritt zu Papier oder Textilfasern. Marktzellstofffabriken produzieren Zellstoff, der am Weltmarkt an andere Papierfabriken bzw. Textilfasererzeuger verkauft wird. Die Veredelungsschritte zu Papier und Textilfasern stellen eine wesentliche Wertschöpfung aus Holz dar. Die österreichische Papier- und Zellstoffindustrie ist mit einer seit Jahren stabilen Exportquote von etwa 85% ein wichtiger Devisenbringer der heimischen Volkswirtschaft.

Die aktuelle Entwicklung der Papier- und Zellstoffindustrie in Österreich ist von zwei wesentlichen Strömungen geprägt:

Einerseits leidet die grafische Papiererzeugung europaweit an der Elektronisierung der Kommunikation. In der Branche haben weltweit in den letzten Jahren umfassende Marktberäuberungen stattgefunden. Auch in Österreich wurden in den letzten 20 Jahren Erzeugungskapazitäten im Umfang von 450.000 Tonnen pro Jahr (t/a) stillgelegt. Durch den Ausbau effizienterer großer Papiermaschinen ist die Produktion in Österreich jedoch stetig auf bis zuletzt 2,7 Mio. t/a gestiegen.

Die Verpackungspapiererzeuger, Hygienepapiererzeuger sowie Spezialpapiererzeuger haben andererseits nicht mit einem Strukturwandel in diesem Ausmaß zu kämpfen. Im Bereich der Verpackungspapiere ist zwar mit dem zunehmenden Verkauf von Waren über Versanddienst aus dem Internet ein stark wachsendes Segment am Markt. Allerdings werden immer mehr Waren nicht mehr in Europa produziert, was zur Folge hat, dass auch die Verpackungspapierhersteller in jenen Weltregionen Produktionskapazitäten aufbauen, in denen auch die allgemeine Konsumgüterindustrie ihre Produktionsstandorte ansiedelt.

Hygienepapiererzeuger und Spezialpapiererzeuger sind entweder durch ihr Produkt krisenfest aufgestellt oder in Nischenmärkten aktiv, in denen Erzeuger nicht so schnell ersetzt werden können (z. B. Zigarettenpapier).

Die Zellstoffherzeugung ist vom Strukturwandel der grafischen Papiererzeuger ebenfalls nicht betroffen. Der Zellstoff kann zur Produktion von unterschiedlichsten Papierprodukten verwendet werden. Es zeigt sich, dass der Bedarf an Fasern in Europa hoch und noch immer steigend ist.

Besonders am Textilmarkt werden Zellulosefasern (Man Made Cellulosics) immer wichtiger. Die konventionelle Baumwollerzeugung leidet zusehends unter Einschränkungen durch den hohen Ressourcenbedarf bei der Produktion von Baumwolle. Textilien aus Viskose- und Lyocellfasern bekommen bei der Versorgung für die Bekleidungs- und Heimtextilindustrie sowie auch für Hygieneartikel einen immer größeren Stellenwert.

Neben der Erzeugung von Zellstoff aus Holz, den sogenannten Frischfasern, spielen die Fasern aus recyceltem Altpapier eine große Rolle bei der Rohstoffversorgung der Papierindustrie. EU- weit werden 50% der Papierprodukte aus Altpapierfasern hergestellt. 70% des Altpapiers wird in Europa recycelt. In Österreich sind aufgrund der hier ansässigen Unternehmen und der Nähe zum Rohstoff Holz ebenfalls 50% der Papierprodukte auf Basis von Altpapier. Da die in Österreich jährlich gesammelte Menge an Altpapier (72% des Verbrauches wird gesammelt) nicht ausreicht, um die Unternehmen zu versorgen, werden jährlich etwa 1,3 Mio. t Altpapier importiert, das entspricht jener Menge, die die Unternehmen aus dem Inland beziehen können. Altpapier wird in allen Produktgruppen der Papierindustrie eingesetzt. Um die Ressourceneffizienz der Erzeugung zu steigern, ist ein höherer Recyclinganteil in den Produkten generelles Ziel der Branche. Altpapier wird nach Sorten gesammelt und gezielt in der Produktion gemischt, um die erforderliche Produktqualität zu erhalten. In einigen Produkten ist der Einsatz jedoch nur begrenzt möglich. Bei jedem Recyclingschritt wird durch das Wiederauflösen des Papiers die Faser beschädigt. Daraus ergibt sich, dass die Papierfasern etwa sechs bis sieben Mal recycelt werden können, bevor sie zu kurz für die Produktion sind und im Aufbereitungsschritt aussortiert werden. Aktuell werden diese ungeeigneten, kurzen Altpapierfasern entweder in den Unternehmen direkt oder extern energetisch genutzt.

In der Textilzellstoffindustrie ist das Recycling von Endprodukten (aussortierte Kleidung, Heimtextilien) zwar Forschungsinhalt aber noch nicht industriell umgesetzt.

3.2.1.1 Einsatzmöglichkeiten von Papier

Um neue Anwendungsgebiete zu erschließen, ist die Funktionalisierung der Fasern und Papier ein wichtiger Überbegriff, um Produktsicherheit (z. B.: Barrierefunktion bei Lebensmittelkontakt), Produktqualität (Bedruckbarkeit, Festigkeit und Flexibilität) weiter zu entwickeln.

Neben neuen Anwendungsmöglichkeiten, wie das Tiefziehen von Papier, sind es vor allem Ressourceneffizienzbemühungen, die wichtige Forschungsimpulse für die Papierindustrie geben. Die Reduktion des Flächengewichts bei der gleichen Funktionalität ist für alle Papieranwendungen wichtig, da Fasern die kostenintensivste Hauptkomponente von Papier sind.

3.2.1.2 Einsatzmöglichkeiten von Paper Plastic Composites

Die Arbeiten von Mundigler et.al. (2007) ⁵ zeigen die Möglichkeit der Verarbeitung von Altpapierzellstofffasern zu Compositematerialien für klassische Extrusionswerkstoffe auf.

3.2.1.3 Einsatzmöglichkeiten von Regeneratfasern (Viskose und Lyocell) und anderen zellulosischen Formkörpern

Großes Potential für die Entwicklung biobasierter Produkte liefert die Zellulose nach Lösung über chemische Reaktion (Viskose-Verfahren) oder über physikalische Lösung (Lyocell-Verfahren). Die Möglichkeiten der Nutzung als Regeneratfaser in diversen Textilien und NonWovens-Anwendungen sind bei weitem nicht ausgeschöpft. Auch weiterführende Innovationen als zellulosische Formkörper (z. B. Folien, Schäume etc.) haben großes Potential.

Eine interessante laufende Technologieentwicklung der Lenzing AG beschäftigt sich mit der Erzeugung von Non-Wovens (Vliesstoffen) über das Melt-blown Verfahren (TencelWeb®).

⁵ www.upmprofi.com/

Die Zellstofffasern werden gelöst und von der flüssigen Phase direkt in den endgültigen Vliesstoff verarbeitet. Bisher war dieser Verarbeitungsweg den fossilen schmelzbaren Kunststoffen vorbehalten. Mit der Entwicklung des Melt-blow Verfahrens für dissolving pulp, (Textilzellstoff) erschließt sich für den Textilzellstoff der wachsende und immer wichtiger werdende Markt der Non-Wovens auch direkt ohne Umweg über Viskose- oder Lyocellfasern.

3.2.2 Situation bei wesentlichen Plattformchemikalien

Derzeit sind die Produktionsvolumina für die aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellten Plattformchemikalien eher gering, wobei einige Chemikalien eine durchaus starke Entwicklungsdynamik aufweisen. Bei Stoffen wie 1,4-Butandiol oder 3-Hydroxypropionsäure ist zum Beispiel der hohe Ölpreis ein Anreiz für die Umstellung auf biobasierte Produktion. Allerdings ist bei gewissen Stoffen wie der Fumarsäure die Technologie bereits seit Jahren bekannt, jedoch ökonomisch noch nicht rentabel. Zwei Plattformchemikalien, die große Potentiale aufweisen, sind die Milchsäure für Biokunststoffe und die Bernsteinsäure. Die Polymilchsäure ist bereits seit einiger Zeit als Biokunststoff auf dem Markt vorhanden und wird immer verbreiteter eingesetzt. Die Bernsteinsäure ist eine sehr vielversprechende Chemikalie, deren Herstellung sich erst in der Anfangsphase befindet. Die bio-basierte Bernsteinsäure hat desweiteren auch durchaus das Potential, für den 1,4-Butandiol-Markt interessant zu werden, da aus dieser Plattformchemikalie für den Butandiol-Markt relevante Derivate herstellbar sind. Dieser insgesamt durchaus recht neue Markt der bio-basierten Plattformchemikalien hat auf jeden Fall noch einige Hürden zu bewältigen, um eine attraktive Konkurrenz zur fossilen Herstellung darzustellen. Patel et al. (2006, 4f) schreiben in ihrem Bericht beispielsweise von den recht hohen Produktionskosten. Trotz des noch höheren Preises haben die aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellten Chemikalien teilweise zusätzliche funktionale Eigenschaften, die zu hochwertigen Produkten führen. Einige Firmen wie DSM oder Degussa haben ihren Fokus bereits von der petrochemischen Produktion in Richtung weißer Biotechnologie gelegt. NatureWorks LLC ist das erste Unternehmen, das mit Polymilchsäure einen bio-basierten Polyester in einer Großanlage herstellt (Kapazität: 140 kt/Jahr). Dadurch wurde das Interesse vieler weiterer Firmen geweckt, die nun dieses Gebiet der erneuerbaren Rohstoffe für die stoffliche Verwendung in der chemischen Industrie in Betracht ziehen.

Hier werden speziell Plattformchemikalien betrachtet, die für die Weiterverarbeitung zu verschiedensten Produkten geeignet sind. Diese Zwischenstoffe können entweder aus NAWAROs, aus Nebenprodukten der Verarbeitung von Holz oder auch aus Reststoffen der Verarbeitung von NAWAROs hergestellt werden.

In den nachfolgenden Betrachtungen werden speziell jene Wege bevorzugt, die Syntheseleistung der Natur für die Bereitstellung von biobasierten Chemiegrundstoffen bestmöglich zu nutzen. Außerdem sollen die Kosten niedrig gehalten werden, um der Konkurrenz zur energetischen Nutzung zu begegnen und der agrarischen Produktion ausreichende Wertschöpfung zu ermöglichen.

3.2.2.1 Chemikalien aus NAWAROs und Reststoffen

In Abbildung 7 ist der Stand der derzeitigen Entwicklung bei einzelnen biobasierten Plattformchemikalien und zum Teil biobasierten Kunststoffen zu sehen.

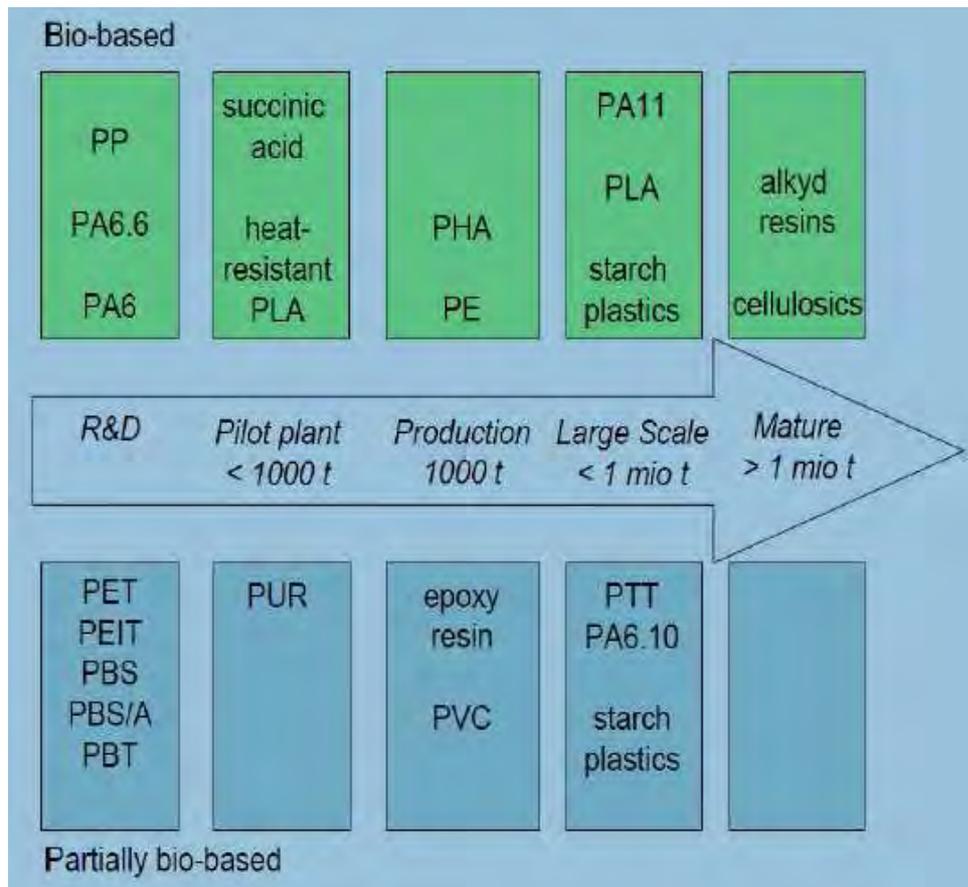
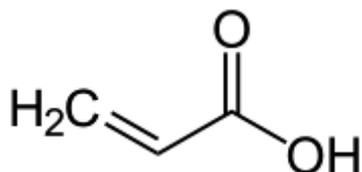


Abbildung 7: Stand der Umsetzung bei Plattformchemikalien und einzelnen Produkten (Albrecht et al. 2010, 37).

Nachfolgend werden die wesentlichsten Plattformchemikalien mit ihren Anwendungen, Herstellungsprozessen, derzeitige und zu erwartende Marktgröße und auch bereits tätige Unternehmen beschrieben.

➤ **Acrylsäure**



Die Acrylsäure ist ein C3-Körper, der nach Braun et al. (2011, 38f) in mehreren Branchen wie der Automobilindustrie, Bauwirtschaft, Holz- und Möbelindustrie, Feinmechanik und Optik, Gesundheitswirtschaft oder Papier- und Textilindustrie zum einen zu Farben, Entspiegelung von Kontaktlinsen, Haftmittel oder Co-Monomer weiterverarbeitet werden kann. Zum anderen kann laut dem Fonds der chemischen Industrie (2009, 52f) dieser C3-Körper auch für die Herstellung von Polymeren eingesetzt werden. Die Polyacrylsäure übernimmt auch die Funktion als Superabsorber in Babywindeln, die Polyacrylate können aber ebenfalls als Anstriche (Acryllacke) verwendet werden.

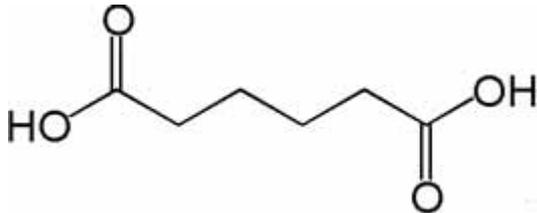
Das Marktvolumen betrug 2008 nach Braun et al. (2011, 39) weltweit rund 2,4 Mio. t/a, wobei die USA mit über 900.000 t/a einen Großteil des Marktes besetzen. Bei der Acrylsäure ist in den derzeitigen Anwendungsbereichen mit einer schwachen Marktentwicklung zu rechnen, wodurch das Volumen bis 2020 global sogar leicht abnehmen (2,36 Mio. t/a), in den USA jedoch weiter zunehmen wird (ca. 1,1 Mio. t/a).

Die Herstellung erfolgt derzeit über das konventionelle Verfahren der katalytischen Oxidation von Propen, wobei die Ausbeute bei rund 90% liegt. Die Herstellung von Acrylsäure mit biobasierten Verfahren ist nach mehreren Varianten möglich. Im Labormaßstab realisiert wurden bereits die Synthese aus fermentierter 3-Hydroxypropionsäure und die katalytische Umwandlung von Rohglycerin aus der Biodieselproduktion zu Acrolein und Acrylsäure. Als Ausgangsstoffe müssen nach Bullis (2010) Rohstoffe eingesetzt werden, aus denen Zucker gewonnen werden kann.

Erste Pilotanlagen werden derzeit laut Kempf (2011), Bullis (2010) und Barobsa et al. (2012, 20) beispielsweise in Brasilien in Camacari (BASF, Start der Produktion 2014) geplant und sind teilweise bereits in Verwendung. Eine Anlage begann 2011 aus erneuerbaren

Rohstoffen Acrylsäure herzustellen. Derzeit wird getestet, ob es sich um ein marktfähiges Projekt handelt (Dow Chemical Company und OPX Biotechnologies). Ein 200-Liter fassender Fermentierungstank, dem eine 20.000-Liter-Fabrik folgen soll, ist ebenfalls bereits in Betrieb (OPX).

➤ **Adipinsäure**



Die Adipinsäure ist ein C6-Körper, der nach Braun et al. (2011, 38f) zu Elastomeren, Nylon 6,6, Harz, Plastiziermittel, Säuerungsmittel oder Weich- und Hartschaum umgewandelt werden kann, die in Branchen wie der Automobilindustrie, Bauwirtschaft, Holz- und Möbelindustrie, Ernährung oder Textilindustrie eingesetzt werden.

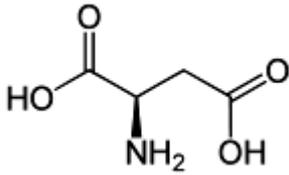
Braun et al. (2011, 41) beschreiben das Marktvolumen für das Jahr 2008 weltweit mit rund 890.000 t/a. Prognose für eine zukünftige Entwicklung der Adipinsäure gibt es derzeit keine, wobei insgesamt mit einer eher schwachen Dynamik zu rechnen ist.

Konventionell wird die Adipinsäure ausgehend vom Benzen durch Hydrierung zu Cyclohexan und anschließender Oxidation mit Salpetersäure hergestellt. Durch biologische Verfahren kann über die Biosynthese von Muconsäure aus Glucose mit darauf folgender katalytischer Hydrierung, die Biosynthese von Cyclohexanol mittels *Acinetobacter sp.*, oder die enzymatische Umwandlung von Adiponitril zu Ammonium-Adipinat das Produkt Adipinsäure hergestellt werden.

Als Ausgangsstoffe können nach Verdezyne (2011) Pflanzenreste eingesetzt werden, wodurch keine Konkurrenz zur Lebensmittelindustrie herrscht.

Erste Pilotanlagen sind zum Beispiel in Carlsbad in den USA bereits in Produktion und erzeugen sogar kostengünstigere Adipinsäure als auf petrochemischen Weg (Verdezyne). Nach Barbosa et al. (2012, 24) sind auch andere Firmen wie Genomatica (besitzt Patent) oder Bioamber (Zusammenarbeit mit Celexion LLC) auf diesem Gebiet bereits tätig.

➤ **Asparaginsäure**

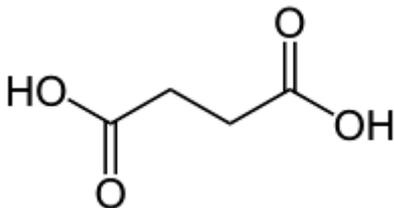


Die Asparaginsäure ist ein C4-Körper, der nach Braun et al. (2011, 43) für die Produktion von Aspartam, als Baustein für Chelatbildner, oder wie Patel et al. (2006, 49) berichten, auch für die Herstellung von 1,4-Butandiol, Tetrahydrofuran, Butyrolacton, Anhydride oder auch spezielle Polymere geeignet ist. Somit können laut Braun et al. (2011, 43) Produkte für die Ernährung, die Chemie und Pharmazie, den Handel und auch im Gesundheitsbereich aus der Asparaginsäure erzeugt werden. Die Marktgröße betrug 2008 global 13.000 t/a. Bis 2020 ist mit einer durchschnittlichen Entwicklungsdynamik zu rechnen, wodurch das Volumen auf ungefähr 15.340 t/a steigen wird.

Die Herstellung erfolgt derzeit konventionell über die Fumarsäure mit anschließender Aminierung mit Ammoniak. Für die biotechnische Herstellung sind mehrere Verfahrensvarianten möglich. Im Labormaßstab wurden die Fermentation von C4-Zuckern und die Biotransformation von Oxalacetat im Krebs-Zyklus realisiert. Industriell umgesetzt wurde die enzymatische Aminierung von biobasierter Fumarsäure, katalysiert durch Aspartasen und die Proteinextraktion aus der Fumarsäure.

Im Bereich dieser Plattformchemikalie sind laut Patel et al. (2006, 47) noch wesentliche Herausforderungen zu bewältigen, wie die Senkung der Kosten und die Entwicklung von Fermentationsprozessen für Kohlenhydrate.

➤ **Bernsteinsäure**



Die Bernsteinsäure ist ein C4-Körper, der nach Braun et al. (2011, 45) in Branchen wie Chemie und Pharmazie, Lederindustrie oder im Gesundheitsbereich angewendet werden kann. Konkret kann diese Plattformchemikalie zu folgenden Produkten weiterverarbeitet werden: Geschmacksverstärker, Lösungsmittel, Antibiotika, Weichmacher, Parfüm,

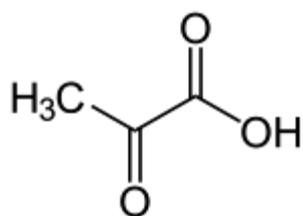
Polyesterharz, nach Patel et al. (2006, 42) auch für die Herstellung von Butandiol, Tetrahydrofuran und Ersatz für Maleinanhydrid oder als Zwischenprodukt für Polymere. Laut Braun et al. (2011, 45) betrug das Marktvolumen 2008 global 30.000 t/a und wird bis 2020 auf rund 180.000 t/a steigen. Somit ist in den nächsten Jahren ein massiver Entwicklungsprozess im Bereich der Bernsteinsäure anzunehmen. Trotzdem liegt der Bedarf mit 270.000 t/a noch weit über der Verfügbarkeit und wird durchschnittlich weiter um 10% jährlich steigen.

Die Produktion erfolgt derzeit konventionell über die katalytische Hydrierung von Maleinsäure bzw. Maleinsäureanhydrid. Biologische Verfahren sind beispielsweise die Fermentation von Fumarsäure durch Schimmelpilze (*Aspergillus succinoproducens*) oder die Fermentation verschiedener Substrate durch angepasste (Metabolic Engineering) Bakterien, wie z. B. *Escherichia coli*, *Actinobacillus succinogenes*, *Corynebacterium glutamicum* oder *Anaerobiospirillum succiniciproducens*, sowie die Fermentation von Glycerin mit *Basfia succiniciproducens*. Böchzelt et al. (2004, 55) beschreiben die Notwendigkeit von Technologien mit besser angepassten Mikroorganismen und verbesserter Trennungstechnologie (System, das in 2 Stufen entsalzt und Elektrodialyse einsetzt, wodurch die Säure konzentriert und gereinigt wird), womit die Kosten von rund 3 Euro auf 0,91 Euro/kg gesenkt werden könnten. Laut Hirth (2011, 24) wird für die Herstellung von biobasierter Bernsteinsäure hauptsächlich Glucose benötigt. Diese wird üblicherweise aus Kohlenhydraten gewonnen.

Bei der Herstellung von Bernsteinsäure sind bereits mehrere Unternehmen in der Produktion aus nachwachsenden Rohstoffen tätig. Barbosa et al. (2012, 21), Bioamber (2012) und Gabrielczyk (2010) nennen Bioamber als erste Firma, welche die Technologie mit einer Anlage für biobasierte Bernsteinsäure aus Weizenglucose in Frankreich umsetzte. Für die Produktion werden die Mikroorganismen *Escherichia coli* für die Umwandlung des Zuckers eingesetzt. Andere Unternehmen leisten zurzeit noch in Pilotanlagen Forschungsarbeit für die industrielle Herstellung biobasierter Bernsteinsäure (Mitsubishi Chemical Corp, Ajinomoto, DSM und ihr französischer Partner Roquette). BASF hat neben Bioamber für den biotechnischen Prozess am meisten Arbeit investiert, bei dem ein aus dem Pansen von Rindern isolierte Bakterium „*BASFia succiniciproducens*“ nicht nur Zucker aus Pflanzenbiomasse verarbeiten kann, sondern ebenfalls Rohglycerin, welches bei der

Biodieselproduktion als Reststoff anfällt. Purac unternimmt derzeit noch die letzten Wirtschaftlichkeitstests in einer Pilotanlage mit 4.000 t/a in Barcelona, wodurch die biobasierten Verfahren von Bioamber und Purac gemeinsam ungefähr 20% der Gesamtjahresproduktion von 30.000 t liefern würden. Weitere Projekte sind derzeit in Planung (Biopolymer-Anlage mit 200.000 t/a von Braskem, Bioethylen-Anlage mit 350.000 t/a von Joint Venture zwischen Crystalsev und Dow Chemical).

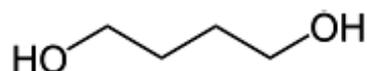
➤ **Brenztraubensäure**



Die Brenztraubensäure ist ein C3-Körper, der nach Braun et al. (2011, 47) in Branchen wie Chemie und Pharmazie, Bio- und Gentechnologie und im Gesundheitsbereich Anwendung findet, wobei konkret Emulgatoren oder Pharmazeutika aus dieser Chemikalie hergestellt werden können. Angaben hinsichtlich der Marktgröße gibt es keine, für die Zukunft wird eine durchschnittliche Entwicklungsdynamik vorhergesagt.

Die Herstellung erfolgt konventionell über die Hydrolyse von Acetylcyanid oder die Reaktion von Weinsäure mit Kaliumhydrogensulfat. Biologische Verfahren wurden bereits im Labormaßstab realisiert, wie beispielsweise die Entwicklung eines fermentativen Verfahrens zur umweltverträglichen Produktion von Brenztraubensäure für die Synthese von Aminosäuren (Forschungszentrum Jülich GmbH, Degussa, Universität Ulm). In einer ersten Pilotanlage wurde die trockene Destillation(=Dehydratisierung von Weinsäure) getestet. Weitere Aktivitäten sind bei dieser Chemikalie noch keine bekannt.

➤ **1,4-Butandiol**



Diese Plattformchemikalie ist ein C4-Körper, der nach Braun et al. (2011, 49) für folgende Anwendungen interessant sein könnte: Lösungsmittel, Feuchthaltemittel, Glycerinersatz, Harz für Coatings, Plastik, nach Patel et al. (2006, 52) auch für Klebstoffe, thermoplastische Polyester oder als Zwischenstoff in der Industrie. Laut Braun et al. (2011, 49) profitieren

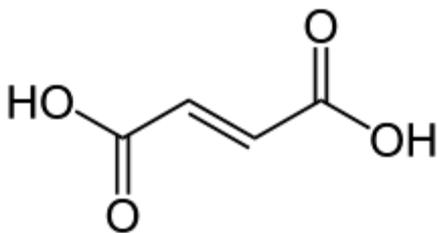
Branchen wie Chemie und Pharmazie, Bio- und Gentechnologie und der Gesundheitsbereich von dieser Schlüsselsubstanz. Das Marktvolumen wurde 2008 auf ungefähr 1,3 Mio. t/a geschätzt, bis 2020 sagt eine Prognose alleine für die USA eine Marktgröße von 860.000 t/a und eine allgemein starke Entwicklungsdynamik voraus.

Die Herstellung kann konventionell über die Reppe-Synthese über Acetylen, die Hydrierung von Maleinsäureanhydrid, oder durch Hydrierung von 2-Butin-1,4-diol mittels Katalysator erfolgen. Die Alternative dazu sind die biologischen Verfahren. Im Labormaßstab realisiert wurde die Erzeugung von 1,4-Butandiol aus biobasierter Bernsteinsäure. Erste Pilotanlagen sind für die fermentative Produktion von biobasierter Bernsteinsäure/Fumarsäure, die dann durch katalytische Reduktion zu 1,4-Butandiol umgeformt wird und auch für die Fermentation von Zucker durch genmodifizierte E. coli (Genomatica in San Diego, USA) in Anwendung.

Darüber hinaus läuft bereits die Produktion von Butandiol aus selbst hergestellter Bio-Bernsteinsäure nach einer lizenzierten Technologie von Dupont im technischen Maßstab (Bioamber).

Desweiteren befindet sich die Herstellung von Butandiol aus Glucose an einem bestehenden Standort in Italien in Synergie mit der Herstellung von Mater-Bi in Anwendung (Joint Venture zwischen Genomatica und Novamont).

➤ Fumarsäure



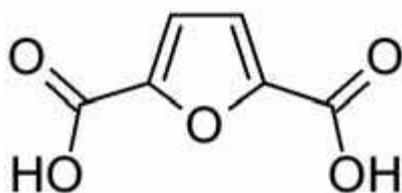
Die Fumarsäure ist ein C4-Körper, der nach Braun et al. (2011, 51) in der Lebensmittel-, Automobil-, Holz- und Möbelindustrie, Gesundheitsbereich, Chemie und Pharmazie und in der Bauwirtschaft durch Umwandlung eingesetzt werden kann, wobei Anwendungen wie als Lebensmittelzusatzstoff, Säuerungsmittel, Konservierungsmittel, für die Herstellung von Polyesterharz, oder nach Patel et al. (2006, 46) auch als Inhaltsstoff bei Getränken, Zusätze bei Tierfutter, für die Umwandlung zu sämtlichen Derivaten oder als Einsatz für ungesättigte Säurekomponenten für die Herstellung von ungesättigten Polyesterharzen berichtet werden.

Das Marktvolumen hat 2008 global 12.000 bis 203.000 t/a betragen. Prognose ist keine vorhanden, es soll sich allerdings in den nächsten Jahren eine starke Dynamik für diese Plattformchemikalie entwickeln.

Über thermische oder katalytische Isomerisierung von Maleinsäure (Katalysator Thioharnstoff) kann die Fumarsäure konventionell hergestellt werden. Biologische Verfahren sind ebenfalls in der industriellen Umsetzung bereits vorhanden. Die Fermentation von Glucose mit den Pilzen *Rhizopus arrhizus* oder *Mucor aspergillus* ist ein seit 1940 bekannter Prozess. Laut Patel et al. (2006, 45) wurden bis jetzt viele Fermentationsprozesse von Kohlenhydraten mit Pilzen entwickelt, jedoch spielt keiner eine entscheidende Rolle. Ein Grund dafür sind die limitierenden Bedingungen (geringes Stickstoff:Kohlenstoff-Verhältnis), unter denen die Pilze wachsen. Für die Herstellung werden bevorzugt Rohstoffe wie Glucose und Melasse verwendet, die Umwandlung von Pyruvat zu Fumarat wäre ebenfalls eine Möglichkeit.

Bereits produzierende Anlagen sind zurzeit noch keine bekannt.

➤ **2,5-Furandicarbonsäure (FDC)**



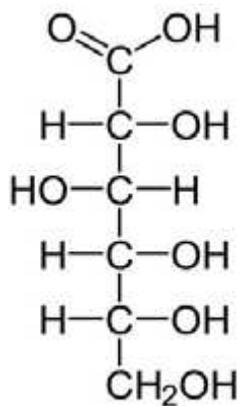
2,5-Furandicarbonsäure ist ein C₆-Körper, der nach Braun et al. (2011, 53) für Produkte wie Nylon, Polyester, Polyamide, 2,5-bis- (hydroxymethyl) furan oder 2,5-bis- (hydroxymethyl) tetrahydrofuran für den Handel, die Chemie und Pharmazie und die Lederindustrie verwendet werden kann. Das Marktvolumen für diese Schlüsselsubstanz wurde 2008 global betrachtet auf 2,27 Mio. t/a geschätzt. In den kommenden Jahren wird dieser Markt weiter stark anwachsen und bis 2020 auf rund 4 Mio. t/a kommen.

Konventionell wird diese Plattformchemikalie über Oxidation von 2,5-substituierten Furanen oder katalytisch hergestellt. Im biologischen Maßstab wurde im Labor die enzymatische Produktion bereits durchgeführt. Industriell könnte die oxidative Dehydratisierung von Glucose zu Hydroxymethylfurfural (HMF) und anschließender Oxidation zur Dicarbonsäure (FDC) umgesetzt werden. Für die Produktion wird vorwiegend Glucose als Rohstoff benötigt.

Desweiteren entstehen Furfural und HMF bei der Zellstoffkochung als Nebenprodukte, es gibt derzeit aber keinen Prozess, der auf diese Nebenprodukte ausgerichtet gefahren wird.

Barbosa et al. (2012, 23) und Wissens- und Innovations-Netzwerk Polymertechnik (2012) berichten, dass bis jetzt kaum Produktionsanlagen in Betrieb sind, sondern hauptsächlich Forschungsarbeit durchgeführt wird. Zum Beispiel wird an einer neuen Technologie YXY gearbeitet, um biobasierte Furane erzeugen zu können. Diese wiederum stellen Bausteine für Materialien, Chemikalien und Treibstoffe dar (Avantium). Diese Technologie soll gleichzeitig auch zu 100% biobasierte PET-Flaschen herstellen. Als Ausgangsstoffe kann Biomasse wie Zuckerrohr, landwirtschaftliche Reststoffe, Pflanzen oder Getreide verwendet werden. Eine Pilotanlage mit einer Kapazität von 40 t/a ist bereits in Anwendung.

➤ **Gluconsäure**



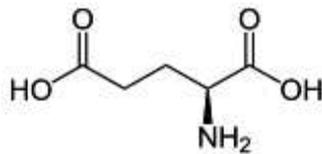
Gluconsäure ist ein C6-Körper, der nach Braun et al. (2011, 57) in Branchen wie Chemie und Pharmazie, Land- und Forstwirtschaft, Bio- und Gentechnologie, im Gesundheitsbereich und im Ernährungsbereich für folgende Produkte eingesetzt werden kann: Arzneimittel, Nahrungsmittel, Futtermittel, Sequestrierungsmittel. Das Marktvolumen für diese Schlüsselsubstanz wurde 2008 global betrachtet zwischen 25.000 und 100.000 t/a geschätzt. In den kommenden Jahren ergibt sich eine durchschnittliche Dynamik auf diesem Markt, wodurch die Größe bis 2020 auf 120.000 t/a ansteigen könnte.

Konventionell wird die Gluconsäure über Oxidation von Glucose mit Bromwasser (2010: Überwiegend biotechnische Produktion) hergestellt. Biologische Verfahren liegen im industriellen Maßstab für die anaerobe Fermentation von D-Glucose mit dem Schimmelpilz *Aspergillus niger* zu Natriumgluconat und darauf folgender Ansäuerung bereits vor.

Alternativ ist die fermentative Oxidation der Glucose durch das Bakterium *Gluconobacter* möglich. Für die Erzeugung der Gluconsäure wird meist von Glucose ausgegangen.

Nach Barbosa et al. (2012, 24) produzieren einzelne Unternehmen zurzeit schon Gluconsäure, wie zum Beispiel durch die katalytische Oxidation von Glucose (Rivertop).

➤ **Glutaminsäure**

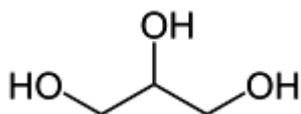


Glutaminsäure ist ein C6-Körper, der laut Braun et al. (2011, 59) in Branchen wie Chemie und Pharmazie, Lederindustrie, Land- und Forstwirtschaft, im Gesundheitsbereich und im Ernährungsbereich für folgende Produkte eingesetzt werden kann: Lebensmittelzusatzstoff und Geschmacksverstärker (Glutamat). Der Markt wurde 2008 global gesehen auf rund 1,5 Mio. t/a geschätzt. In den kommenden Jahren ergibt sich eine starke Entwicklungsdynamik auf diesem Markt, wodurch die Größe bis 2020 auf 1,8 Mio. t/a wachsen könnte.

Konventionelle Herstellungsverfahren sind für diese Chemikalie keine bekannt. Biologische Verfahren für die Fermentation von Melasse oder Glucose (die Herstellung erfolgt seit den 1960er Jahren fast ausschließlich fermentativ; Bedarf stark steigend) sind im industriellen Maßstab bekannt. Dabei sind vorwiegend zuckerhaltige Stoffe wie Glucose oder Melasse die Ausgangsstoffe.

Weitere Unternehmungen sind derzeit noch keine bekannt.

➤ **Glycerin**



Glycerin ist ein C3-Körper, der nach Braun et al. (2011, 38f) für die Automobilindustrie, Bauwirtschaft, Kunststoff und Gummi, Maschinen- und Anlagenbau, Kosmetikindustrie, Chemie und Pharmazie, im Gesundheitsbereich und im Ernährungsbereich von Interesse ist. Produkte wie Feuchtigkeits-, Schmier-, Arznei-, Nahrungs- oder Frostschutzmittel und Polyester-Fasern könne aus Glycerin hergestellt werden. Laut Patel et al. (2006, 29ff) kann es für die Umwandlung zu Polyglycerin, 1,2-Propandiol, 1,3-Propandiol, Polymeren, Ester,

Mono-, Di- und Triester von anorganischen und organischen Säuren und als Substrat für Fermentationen verwendet werden. Darüber hinaus bestehen nach Fonds der chemischen Industrie (2009, 51) Anwendungen als Bestandteil von Zahnpasten, Bestandteil von Salben, für die Herstellung von Acrylsäure, als Weichmacher und für die Herstellung von Nitroglycerin.

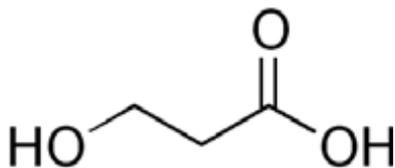
Das Marktvolumen für diese Schlüsselsubstanz wurde laut Braun et al. (2011, 61) für 2008 global betrachtet zwischen 750.000 t/a geschätzt. In den kommenden Jahren ergibt sich eine durchschnittliche Dynamik auf diesem Markt, wodurch die Größe bis 2020 auf 890.000. t/a ansteigen könnte.

Konventionell wird Glycerin ausgehend vom Propylen, über das Epichlorhydrin durch Hydrolyse hergestellt. Bei der Herstellung von Biotreibstoffen, wie durch Veresterung von pflanzlichen Ölen mit Methanol, entsteht Glycerin als Nebenprodukt, dies führte zu stark sinkenden Preisen. Erste Pilotanlagen sind für die enzymatische Abtrennung von Fetten und Ölen mit Lipasen, die Fermentation von Zucker und die Hydrierung von Kohlenhydraten mit anschließender Abtrennung durch Destillation vorhanden.

Laut Patel et al. (2006, 29ff) kommen 90% des Glycerins von der Verarbeitung von Ölen und Fetten und nur 10% durch die Synthese von Propylen.

Im Bereich dieser Chemikalie sind bereits zahlreiche Unternehmen tätig, wie beispielsweise in Deutschland (Cargill GmbH), oder nach Braun et al. (2011, 19) ADM in den USA, die aus Sojaöl Propylenglykol herstellen.

➤ **3-Hydroxypropionsäure**



Die 3-Hydroxypropionsäure ist ein C3-Körper, der nach Braun et al. (2011, 38f) eine Plattformchemikalie ist, die für die Holz- und Möbelindustrie, Entsorgung und Recycling, den Handel, Nahrungsmittel, Kunststoff und Gummi und im Grundstücks- und Wohnungswesen von Interesse ist. Es können daraus Produkte wie Polymere, Spezialchemikalien, Coatings, Plastikschaum, Acrylfaser und Konservierungsstoffe hergestellt werden. Nach Patel et al.

(2006, 32f) ist auch der Einsatz für die Umwandlung zu 1,2-Propandiol, Acrylsäure, Malonsäure oder Acrylamid möglich.

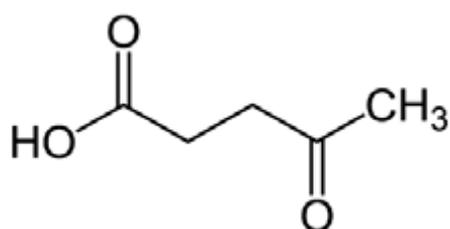
Angaben über das Marktvolumen sind keine vorhanden. Nach Braun et al. (2011, 63) ist allerdings mit einer starken Dynamik für diesen Markt zu rechnen.

Konventionell wird die 3-Hydroxypropionsäure durch Synthese aus Acrolein (DuPont/Degussa) oder Hydroformylierung von Ethylenoxid (Shell) produziert. Biologische Verfahren liegen im Labormaßstab durch die Fermentation von Glycerin zu 3-Hydroxypropionaldehyd vor, die Fermentation von Glucose (DuPont/Genecor, Cargill) zu Hydroxypropionsäure ist bereits in der industriellen Umsetzung.

Im Bereich dieser Schlüsselsubstanz ist nach Patel et al. (2006, 32f) auch ein Unternehmen tätig, welches über einen Fermentationsprozess 3-Hydroxypropionsäure produziert (Cargill, Inc in den USA). Nach Braun et al. (2011, 20) ist auf diesem Markt auch bereits Perstorp aus Schweden (Herstellung von Methacrylsäure und 1,3-Propandiol aus Stärke/Zucker) aktiv.

Darüber hinaus müssen laut Patel et al. (2006, 32f) allerdings noch Herausforderungen wie die Senkung der Kosten, die Steigerung der Produktivität und die Probleme der Systemintegration gelöst werden, um diese Chemikalie konkurrenzfähig zu machen.

➤ Lävulinsäure



Die Lävulinsäure ist ein C3-Körper, der nach Braun et al. (2011, 38f) für die Chemie und Pharmazie, Automobilindustrie, Bauwirtschaft und die Informations- und Telekommunikation interessant sein könnte. Durch verschiedenste Verfahren können aus der Lävulinsäure Produkte wie chirale Reagenzien, Korrosionsinhibitoren, Lösungsmittel, Pharmazeutika oder Anwendungen für die Faserproduktion hergestellt werden. Darüber hinaus kann dieser C5-Körper laut Böchzelt et al. (2004, 65) auch für Polymere und synthetische Faserprodukte, Katalysatoren und für die Herstellung von Derivaten eingesetzt werden.

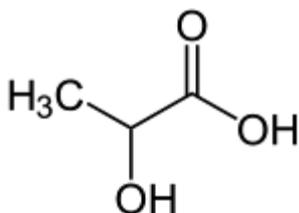
Die Marktgröße betrug nach Braun et al. (2011, 69) 2008 weltweit 454.000 t/a. In Zukunft wird eine durchschnittliche Entwicklung auf diesem Markt vorherrschen, wodurch sich das Volumen auf ungefähr 536.000 t/a verändern wird.

Konventionell wird die Lävulinsäure durch Ozonolyse von ungesättigtem Kohlenwasserstoff produziert. Biologische Verfahren sind im Labormaßstab einerseits ausgehend von der Pentose, durch saure Hydrolyse und darauf folgender Reduktion, andererseits durch eine Ringöffnung des Furfurals möglich. Für die Herstellung dieser Schlüsselsubstanz werden vorwiegend Rohstoffe wie Zucker (Glucose, Fructose) oder auch Stärke bzw. Zellulose benötigt.

Neben den in Pilotanlagen erprobten Technologien wird nach Böchzelt et al. (2004, 65) in den USA an einem Prozess gearbeitet, bei dem Lignocellulose, das in verschiedenen Prozessen als Reststoff anfällt, eingearbeitet wird und unter hohen Temperaturen durch saure Hydrolyse zu Lävulinsäure umgewandelt wird. Circa 0,23 kg Lävulinsäure können aus 0,45 kg Zellulose gewonnen werden. Nebenprodukte sind Ameisensäure, Furfural und ein fester Reststoff, der als Brennstoff verwendet werden kann. Die Kosten könnten unter 0,9 Euro/kg, vielleicht sogar bei 0,18 Euro/kg liegen.

Weitere Aktivitäten sind, wie Barbosa et al. (2012, 22) berichten, ebenfalls bereits vorhanden. Zum Beispiel werden Lävulinketale für verschiedene Anwendungen kommerzialisiert (Segetis). Desweiteren ist ein Prozess entwickelt worden, bei dem Lignocellulose unter Einwirkung von verdünnter Mineralsäure aufgebrochen und zu Lävulinsäure umgeformt wird. Hemicellulosen werden dabei meist zu Furfural umgewandelt (Maine BioProducts).

➤ **Milchsäure**



Die Milchsäure ist ein C₃-Körper, der laut Braun et al. (2011, 38f) für die Chemie und Pharmazie, Land- und Forstwirtschaft, Bio- und Gentechnologie, im Gesundheitsbereich und im Ernährungsbereich von Interesse ist. Diese Chemikalie kann für Produkte wie

Lebensmittelzusatzstoffe, Säuerungsmittel, Emulgatoren, Körperpflegeprodukte und Kalziumanreicherungen im Futtermittel, oder laut Papendiek (2010, 36ff) für die Herstellung von PLA oder Polymeren verwendet werden.

Das Marktvolumen für diese Schlüsselsubstanz wurde laut Braun et al. (2011, 61) für 2008 weltweit betrachtet auf 150.000 t/a geschätzt. In den kommenden Jahren ergibt sich eine durchschnittliche Dynamik auf diesem Markt, wodurch die Größe bis 2020 auf 180.000. t/a ansteigen könnte. Zurzeit importiert Österreich rund 770 t Milchsäure pro Jahr.

Konventionell wird die Milchsäure ausgehend von Acetaldehyd mit Blausäure durch Hydrolyse von Lactonitril hergestellt. Biologische Verfahren sind in der industriellen Umsetzung durch die Fermentation von Lactose durch verschiedene Bacillus-Arten (Lactobacillus case, Lactobacillus bulgaricus) möglich. Laut Patel et al. (2006, 26ff) sind bei der Produktion zwei Arten von Gärungen denkbar. Einerseits Homolactic (pure lactic), die überwiegend Milchsäure herstellt, und andererseits Heterolactic (mixed lactic), wobei neben Milchsäure auch Gärungsprodukte wie Essigsäure, Ethanol oder CO₂ erzeugt werden. Nach Papendiek (2010, 36ff) werden für die Erzeugung von Milchsäure häufig Getreide und Leguminosen als Ausgangsstoffe verwendet. Diese können danach zu Polylactat (Biokunststoff) weiterverarbeitet werden (Pilotanlage am Leibniz-Institut seit 2006, aus 100t Roggen 10 t Milchsäure/a).

Das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (2012) und Böchzelt et al. (2004, 50f) beschreiben Konzepte, bei denen Milchsäure in Österreich aus Grassäften und Grassilagesaft hergestellt werden könnte. Die dabei verwendete Feststofffermentation, oder auch die Silierung von Grünmassen wären zum Beispiel günstige Alternativen zum Import. In diesem Bereich der Grassilage liegt großes Potential, welches allerdings noch Forschungsarbeit benötigt. Desweiteren wären die Verwendung von C5- und C6-Zuckern, wie Lignocellulose oder Resten von Energiepflanzen attraktive Rohstoffalternativen, weil diese geringere Preise aufweisen.

Braun et al. (2011, 19f) nennen Cargill Dow und Naturework, die in den USA mit Zucker Polymilchsäure (PLA) in einem Ausmaß von 140 Kilotonnen (kt) herstellen. Futerro produziert in Belgien mit Glucose und Sucrose 1,5 kt Polymilchsäure, Purac stellt in Thailand mit Zucker 75 kt PLA her und Pyramid Bioplastics erzeugen 60 kt PLA.

Patel et al. (2006, 26ff) und Barbosa et al. (2012, 17) nennen mehrere Unternehmen die biobasierte Milchsäure herstellen (Purac in Brasilien, Holland und Spanien, Natureworks LLC in den USA, Archer Daniels Midland Company in den USA, PGLA-1 in den USA und Galactic in Belgien). Seit 2003 besteht die weltweit größte Produktionsanlage von Natureworks LLC in Nebraska in den USA. Auch Österreich weist hier mit Jungbunzlauer einen maßgeblichen Player am internationalen Markt auf. Trotz der bereits vielfältigen Aktivitäten sind noch einige Herausforderungen zu bewältigen, wie die Bereitstellung von ausreichend Kohlenstoff, das Versorgen mit Nährstoffen, die Regelung des pH-Wertes (zwischen 5,5 und 6,5) und die Vermeidung von Abfall bei der Abtrennung.

➤ **Polymilchsäure (PLA)**

Die Polymilchsäure ist eine Plattformchemikalie, die nach Braun et al. (2011, 76) in folgenden Branchen eingesetzt werden kann: Chemie und Pharmazie, Land- und Forstwirtschaft, Bauwirtschaft, im Gesundheitsbereich und in der Forschung und Entwicklung. Diese Chemikalie kann zu Produkten wie Verpackungen, Gartenwerkzeugen, chirurgischem Nähmaterial oder zu Implantaten weiterverarbeitet werden.

Das Marktvolumen für diese Schlüsselsubstanz wurde laut Braun et al. (2011, 61) für die USA im Jahr 2008 auf 229.000 t/a geschätzt. In den kommenden Jahren wird durch die starke Entwicklungsdynamik das Volumen bis 2020 auf 3,6 Mio. t/a ansteigen.

Für die Herstellung sind nur biologische Verfahren bekannt. Erste Pilotanlagen sind beispielweise in Guben (Deutschland) geplant. Es handelt sich um eine PLA-Anlage mit einer Kapazität von 60 kt unter Beteiligung der Uhde GmbH und Pyramid Bioplastic

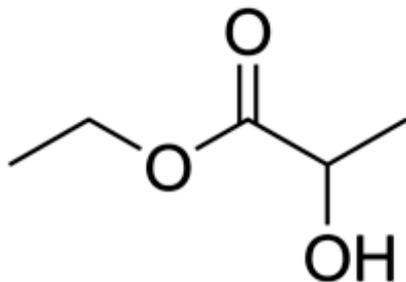
In der industriellen Umsetzung wird ausgehend von der Milchsäure, durch Polymerisation oder Veresterung von Lactid mit Alkohol Polymilchsäure hergestellt. 2002 wurde die erste Anlage zur Produktion von PLA im großtechnischen Maßstab mit einer Kapazität von 140.000 t in Blair (Nebraska) in Betrieb genommen (NatureWorks LLC). Biomer, eine biotechnologische Firma in Krailling, Deutschland, hat ebenfalls begonnen, Polylactid in kleinen Mengen kommerziell zu produzieren. Das Produkt wird dabei für durchsichtige Verpackungsfilme und andere spezielle Materialien verwendet. Seit 1998 baut Toyota Bioplastik-Bauteile in die Fahrzeugmodelle Prius und Raum ein. Futerra (50/50 Joint Venture

zwischen Total Petrochemicals und Galactic) hat in Escanaffles/Belgien seine erste Anlage mit einer Kapazität von 1.500 t/a zur Herstellung von Biokunststoffen in Betrieb genommen.

Laut Barbosa et al. (2012, 17) und Böchzelt et al. (2004, 52f) hat die Erzeugung biobasierter Polymilchsäure zahlreiche Vorteile, wie knapp um die Hälfte weniger fossile Rohstoffe als für Erdölprodukte, hohe Stabilität, Klarheit, Glanz und Schmutzresistenz und auch bessere Wiederverwendbarkeit.

Zurzeit sind bereits eine Vielzahl an Unternehmen auf diesem Markt tätig (Futero, Teijin Fibers in Japan, Toyobo in Japan, HiSun in China und Pyramid Bioplastics in Deutschland). Darüber hinaus hat sich Cargill Dow mit Biocorp Inc. zusammengeschlossen, um zum einen kompostierbare Tassen herstellen zu können und zum anderen wird an einer Fermentation von C5-Zucker zu Milchsäure gearbeitet, wodurch billige Rohstoffe genutzt werden könnten. Eine Forschung für neue Mikroorganismen, die auch unter limitierenden Bedingungen große Ausbeuten ermöglichen, ist am Laufen.

➤ **Milchsäureethylester (Ethyllactat)**



Milchsäureethylester ist ein C3-Körper, der nach Braun et al. (2011, 38f) für die Automobilindustrie, das Handwerk und für Kunststoff und Gummi von Interesse ist. Es können daraus hauptsächlich Lösungsmittel erzeugt werden.

Die Marktgröße betrug 2008 weltweit 91.000 t/a (USA 3.600 t/a). Bis 2020 wird der Markt wegen der starken Dynamik auf diesem Markt auf 107.500 t/a anwachsen.

Bei der Herstellung sind ausschließlich biologische Verfahren bekannt. In der industriellen Umsetzung kann durch Veresterung von Milchsäure mit Ethanol Milchsäureethylester produziert werden. Vertec Biosolvents verwendet Milchsäureethylester, Limonen und Fettsäuremethylester (Sojaölbasis) in seinen Produkten VertecBio Gold und VertecBio Citrus. Diese Lösungsmittel bieten eine umweltfreundliche Alternative zu herkömmlichen fossilen Lösungsmitteln (zum Beispiel Methylenchlorid, Methylethylketon, N-Methyl-pyrrolidon).

Im Bereich dieser Schlüsselsubstanz ist nach Patel et al. (2006, 32f) beispielsweise ein Unternehmen tätig, welches über einen Fermentationsprozess 3-Hydroxypropionsäure produziert (Cargill, Inc in den USA), die analog mit Ethanol verestert werden könnte. Darüber hinaus müssen allerdings noch Herausforderungen wie die Senkung der Kosten, die Steigerung der Produktivität und die Probleme der Systemintegration gelöst werden, um diese Chemikalie konkurrenzfähig zu machen.

➤ **Polyhydroxyalkanoat (PHA)**

Das Polyhydroxyalkanoat ist eine Schlüsselchemikalie, die nach Braun et al. (2011, 74) für die Automobilindustrie, das Handwerk, die Bauwirtschaft, Gesundheitswirtschaft, Chemie und Pharmazie und im Ernährungsbereich angewendet werden kann. Es können daraus hauptsächlich Verpackungen, Elastomere und Biokunststoffe erzeugt werden.

Die Marktgröße betrug 2008 weltweit 80.000 t/a. Bis 2020 wird der Markt wegen der starken Dynamik auf diesem Markt auf 442.000 t/a anwachsen.

Bei der Herstellung sind ausschließlich biologische Verfahren bekannt. Im Labormaßstab wird die bakterielle Fermentation von Glucose als Produktionsprozess genannt, desweiteren untersuchen Monsanto und andere Firmen die Polymer-Produktion in der Pflanze, wobei z. B. die Polyhydroxybuttersäure – Produktion in Arabidopsis als „Wirtspflanze“ durchgeführt wird. Darüber hinaus wird daran gearbeitet PHBV (= Poly(3- Hydroxybutyrat-co-3-hydroxyvalerat) mit Mikroorganismen zu produzieren, die Mehrfachzucker aus weniger Biomasse produzieren können. Pilotanlagen sind bereits von Metabolix und Procter & Gamble vorhanden, die rekombinante Bakterienstämme (*Escherichia coli*) zur Fermentation von Glucose verwenden. Forschungsaktivitäten lagen auch an der TU-Graz mit einer Forschungsanlage in Brasilien vor.

In der industriellen Umsetzung betreibt Metabolix seit 2010 eine 50 kt-Anlage in Iowa, der Vertrieb läuft über den Namen Tirel, Tianjin Bio Green/DSM haben 2009 eine Anlage mit 10.000 t/a in China eröffnet. Weitere Produzenten sind Bio-on (Italien), Tianan Biologic Material Co. (China) und BioMatera (Canada). Laut Böchzelt et al. (2004, 60f) liegt auch ein Prozess über den Anbau, Ernte und Gewinnung der Glucose aus Mais und anschließendem Fermentationsprozess der Glucose zu PHA vor. Das Polymer wird danach gereinigt, getrocknet und zum Endprodukt weiterverarbeitet.

Als Ausgangsstoffe können somit verschiedene landwirtschaftliche Rohstoffe (z. B. Mais) verwendet werden, die einen möglichst hohen Zuckergehalt aufweisen sollten.

➤ **1,3-Propandiol**



Das 1,3-Propandiol ist ein C3-Körper, der nach Braun et al. (2011, 38f) für die Automobilindustrie, Bauwirtschaft, im Nahrungsmittelbereich, Lederindustrie, Handel, Holz- und Möbelindustrie und für Kunststoffe von Interesse ist. Es können daraus Produkte wie Kosmetika, Lebensmittel, Schmiermittel, Treibstoffzusatz, Farben und Lacken, Polymerzusatz, Polyester hergestellt werden. Nach Patel et al. (2006, 34ff) wird es auch in Kühlmitteln, Klebstoffen oder als Co-Monomer mit Terephtalsäure oder Dimethylterephthalat für die Herstellung von Polymeren wie Polytrimethylen Terephthalat PTT verwendet.

Das Marktvolumen für diese Schlüsselsubstanz wurde laut Braun et al. (2011, 61) für das Jahr 2008 global betrachtet auf 80.000 t/a geschätzt. In den kommenden Jahren ergibt sich eine starke Entwicklungsdynamik auf diesem Markt.

Konventionell wird durch die katalytische Oxidation von Ethylenoxid Hydroxypropionaldehyd produziert, aus welchem durch Hydrierung 1,3-Propandiol hergestellt wird (Shell).

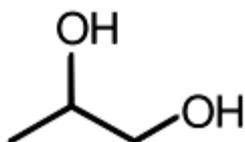
Folgende biologischen Verfahren sind im Labormaßstab realisiert: Fermentation von Glucose in Mischkultur und auch die 2-Phasen-Fermentation von Glucose mit Mikroorganismen. Auch über die bakterielle Fermentation von Glycerin kann PDO erhalten werden. Genencor International und DuPont haben eine Methode entwickelt, auf metabolischem Weg (E. coli) aus Glucose kostengünstig 1,3-Propandiol herzustellen.

Erste Pilotanlagen haben DuPont, Genencor und Tate & Lyle mit einem rekombinanten Produktionsorganismus (Bio-Propandiol) und einen Fermentationsprozess aus Glucose (Mais) entwickelt. Dieses Verfahren wird seit 2000 in Decatur, Illinois angewandt. Desweiteren baut METabolic EXplorer eine Pilotanlage in Clermont Ferrand, in Frankreich, wobei 1,3-Propandiol über die Fermentation von Glucose produziert wird. Darüber hinaus ist eine Anlage in Asien (50.000 t/a) in Planung.

In der industriellen Umsetzung wird 1,3-Propanediol seit 2006 ausschließlich über biotechnologische Verfahren als Ausgangsstoff für die Kunststoffherstellung (Sorona-Polymer) in Loudon (Tennessee, USA) durch Mais-Hydrolyse von Du Pont Tate & Lyle produziert (Kapazität: 45.000 t/a). Eine Erweiterung der Anlage um 35 % ist geplant. Damit sind für die Produktion dieser Schlüsselchemikalie vor allem Glucose und Glycerin als Ausgangsstoffe von großer Bedeutung. Eine weitere Anlage ist in Asien mit einer Anfangskapazität von 8.000 t und einer erwarteten Endproduktion von 50.000 t geplant (Metabolic Explorer).

Nach Patel et al. (2006, 34ff) und Barbosa et al. (2012, 18) ist gerade die Fermentation von Glycerin ein vielversprechendes Verfahren, da Glycerin gut verfügbar ist und wegen der steigenden Biodieselproduktion auch zukünftig mit steigenden Mengen gerechnet wird (Shell und Du Pont als führende Unternehmen).

➤ **Propylenglykol (PG)**



Das Propylenglykol ist ein C3-Körper, der nach Braun et al. (2011, 38f) in mehreren Branchen wie der Automobilindustrie, Bauwirtschaft, Feinmechanik und Optik, Gesundheitswirtschaft, Energieversorgung, Chemie und Pharmazie in Anwendungen wie Lösungsmittel, Verdünnungsmittel, Frostschutz, Oberflächencoatings, Kosmetika und Wärmetauscher eingesetzt werden kann.

Das Marktvolumen betrug 2008 weltweit rund 1,5 Mio. t/a. Beim Propylenglykol ist mit einer durchschnittlichen Entwicklung zu rechnen, wodurch das Volumen bis 2020 global auf 1,77 Mio. t/a ansteigen könnte.

Die Herstellung kann einerseits über das konventionelle Verfahren mit der Hydrolyse von Propylenoxiden erfolgen. Andererseits besteht auch die Möglichkeit diese Plattformchemikalie über biobasierte Verfahren herzustellen. Im Labormaßstab realisiert wurden bereits die katalytische Reduktion von fermentativ hergestellter Milchsäure, die

Veresterung von Milchsäure und anschließender Hydrierung, oder auch die fermentative Produktion aus Zucker.

Eine erste Pilotanlage wird seit 2008 mit dem Recycling von karbonfaserverstärkten Kunststoff mit einer Kapazität von 1.000 t/a betrieben (Dow und CFK Valley Stade Recycling GmbH & Co.KG). Ein Ausbau der Anlage ist in Planung.

➤ **Ethanol**

Laut Böchzelt et al. (2004, 50) wird Ethanol vorwiegend als Treibstoffzusatz verwendet. Darüber hinaus können aus dieser Plattformchemikalie jedoch auch zahlreiche Produkte wie Acetaldehyd, Essigsäure, Butadien, Ethylen oder verschiedene Ester hergestellt werden. Das Ethylen ist hierbei von großer Bedeutung, da daraus eine Vielzahl von wichtigen Gebrauchsgütern entstehen (z. B. PVC, Polyethylen, Vinylacetat, Ethylenoxid), die damit ebenfalls biobasiert hergestellt werden könnten.

Der Markt für die weltweite Ethanolproduktion wurde 2012 nach Patel et al. (2006, 12ff) auf etwa 65 Mrd. l geschätzt, wobei Brasilien und die USA zu den größten Produzenten zählen. Der überwiegende Teil der Menge wurde aus Zuckerpflanzen (Zuckerrohr und Zuckerrüben) oder stärkehaltigen Pflanzen (Getreide, Mais) gewonnen. Die Kosten belaufen sich in etwa auf 0,31-0,38 US\$/l Ethanol.

Die Herstellung erfolgt zu rund 90% durch Gärung von Biomasse, nur 10% durch chemische Synthese von fossilen Rohstoffen. Fonds der chemischen Industrie (2009, 45f) berichten, dass die USA bis 2017 ein Drittel des Erdölimports durch selbst produziertes Bioethanol ersetzen will. Dafür ist allerdings eine verbesserte Nutzung des Rohstoffs notwendig. Es wird intensiv daran geforscht, neben stärkehaltigen Teilen der Pflanze eventuell auch Stiel und Blätter nutzen zu können.

Wie auch Böchzelt et al. (2004, 50) berichten, werden als Ausgangsstoffe bei der Ethanolproduktion vorwiegend Glucose aus Getreidestärke, Nebenprodukte aus der Klebstoffherstellung und der Papierindustrie, oder auch Lactose aus der Käsemolke verwendet. Insgesamt dominieren stärke- und zuckerhaltige Rohstoffe.

Nach Braun et al. (2011, 19f) sind die wesentlichsten Unternehmen Solvay Indba in Brasilien (Produktion mit Zucker zu 60 kt PVC und Ethylen), Braskem in Brasilien (mit Zuckerrohr zu

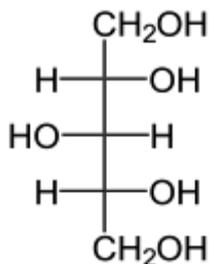
200 kt Ethylen und HDPE) und Dow/Crystalsev in Brasilien (mit Zucker zu 350 kt Ethylen und HDPE)

Patel et al. (2006, 12ff) nennen ebenfalls Firmen, die auf diesem Markt tätig sind, wobei der Gärungsprozess bei der Herstellung am weitesten verbreitet ist (Archer Daniel Midland, USA, mit 3,4 Mrd. € als größtes Unternehmen). Die synthetische Produktion wird von kleineren Firmen angewendet (Sasol in Deutschland und Südafrika; Sadaf, Joint Venture zwischen Shell und Saudiarabien Basic Industries Corporation, in Saudiarabien; BP in Großbritannien und Equistar in den USA). Darüber hinaus produzieren auch ADM (aus Korn) und Verdezyne (aus der Umwandlung von Hexose und Pentose) Ethanol. Österreich besitzt mit der Anlage Pischelsdorf der Agrana ebenfalls eine Ethanolproduktion für die Treibstoffbeimischung.

3.2.2.2 Auskopplungsprodukte der industriellen Verarbeitung von Holz

Zellulose ist mengenmäßig der häufigste Bestandteil von Holz. In der Zellstoffindustrie wird die Zellulose aus dem Holz gelöst und gemeinsam mit Hemicellulose (außer bei Textilzellstofferzeugung) zu Zellstoff für die Papierindustrie verarbeitet. Dies geschieht vorrangig durch einen chemischen Aufschluss der makroskopischen Holzstruktur und führt zur Separation von Zellulose, Hemicellulose und Lignin, sowie Harzsäure. Die Nutzung der beiden ersteren Stoffe wurde bereits beschrieben. Die stoffliche Nutzung von Lignin und Harzsäure ist nur teilweise entwickelt. Vorrangige Nutzungsvariante ist die energetische Nutzung im Laugenkessel der Zellstofffabrik, um einerseits die thermische und elektrische Energie für die Fabrik zu erzeugen und außerdem die (Koch-)Chemikalienrückgewinnung durchzuführen. Allgemein wird der stofflichen Nutzung von Lignin hohe Wichtigkeit für die Wettbewerbsfähigkeit der Zellstoffindustrie in Europa beigemessen.

➤ Xylitol



Xylitol ist ein C5-Körper, der laut Braun et al. (2011, 88) in der Gesundheitswirtschaft, dem Handel, der Bio- und Gentechnologie und der Chemie und Pharmazie für Produkte wie

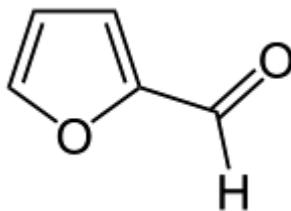
beispielsweise Zuckeraustauschstoffe eingesetzt werden kann. Die weltweite Produktion beträgt nach Barbosa et al. (2012, 23) rund 900.000 t/a, wobei für die Zukunft mit einer schwachen Entwicklungsdynamik zu rechnen ist.

Braun et al. (2011, 88) beschreiben in ihrem Bericht, dass Xylitol biologisch durch die katalytische Hydrierung von Xylose hergestellt werden kann. Darüber hinaus zeigen Barbosa et al. (... , 23) allerdings mit dem Danisco Wood Based process einen neuen Herstellungsprozess auf.

➤ **Essigsäure**

Von der Lenzing AG wird die bei der Zellstoffkochung anfallende Essigsäure in der Brüdenkondensation gewonnen und unter anderem für den Einsatz in der Lebensmittelindustrie vermarktet. Damit wird ein Großteil des österreichischen Marktes abgedeckt.

➤ **Furfural**



Das Furfural ist ein C5-Körper, der nach Braun et al. (2011, 55) in Branchen wie Forschung und Entwicklung, Chemie und Pharmazie, Leder-, Holz- und Möbelindustrie und im Gesundheitsbereich Anwendung findet. Aus dieser Plattformchemikalie können Arzneimittel, Lösungsmittel, Schmiermittel, Kunstharz oder Nylon, nach Patel et al. (2006, 59f) auch Pestizide, Auszugsmittel und Ausgangsmaterialien für die industrielle Produktion von fast allen Furanverbindungen hergestellt werden. Das Marktvolumen für diese Schlüsselsubstanz wurde 2008 global betrachtet auf 309.000 t/a geschätzt, wobei China ungefähr 75% davon produziert. In den kommenden Jahren ergibt sich eine durchschnittliche Dynamik auf diesem Markt, wodurch die Größe bis 2020 auf 364.000 t/a ansteigen könnte.

Konventionell wird aus Pentosen durch saure Hydrolyse zum Beispiel mit Schwefelsäure und anschließender Deydratisierung Furfural hergestellt. Biotechnische Verfahren sind keine vorhanden. Nach Patel et al. (2006, 58) ist allerdings die Herstellung aus Biomasseabfall, wie Bagasse, Pentosen oder Sonnenblumenhülsen möglich. Bei der Zellstoffherstellung entsteht

bei der Verarbeitung von Buchenholz Furfural, das bei der LENZING AG nach der Brüdenkondensation als Produkt abgetrennt wird. Andere produzierende Anlagen für Furfural oder Pilotanlagen sind derzeit nicht bekannt.

➤ **Lignin**

Lignin ist neben Zellulose der zweithäufigste Inhaltsstoff von Holz. Er fungiert als Kittsubstanz zwischen der Zellulose und Hemicellulose und nimmt Druckkräfte im Holz auf. Immer wieder in der Geschichte der Zellstoffindustrie wurde daran gearbeitet, Lignin als Klebstoff - seiner ursprünglichen Funktion in Holz - zu verwenden. Bemühungen scheiterten an der bisher kostengünstigen Verfügbarkeit von Phenol und Formaldehyd. Diese beiden Substanzen werden zur Erzeugung von langlebigen Klebstoffen und Harzleimen für die Spanplattenindustrie verwendet. Außerdem ist die Verfügbarkeit von Lignin zu einer gleichbleibenden Qualität in industriellen Mengen derzeit nicht gegeben. An der Kostenfrage, aber vielmehr an der Qualitätsfrage scheiterten bisherige Ideen, Lignin in großen Mengen einzusetzen, wodurch es bisher nur einzelne Produkte aus Lignin gibt.

Lignosulfonate aus der Sulfitzellstofferzeugung werden im Allgemeinen als Netz- und Dispergiermittel eingesetzt. Beispielsweise ergibt die Zugabe von Lignosulfonaten zur Stärkeleimung eine niedrigere Viskosität bei gleichen Trockengehalten. Der Effekt ist, dass aufgrund der niedrigeren Viskosität die Oberflächenleimung des Papiers bei höheren Geschwindigkeiten durchgeführt werden kann und zusätzlich die Wiederbefeuchtung der Papierbahn reduziert wird. Lignosulfonate haben eine Funktion als Lösungsvermittler, wodurch Lignin in Spezialbeton als Zuschlagstoff Verwendung findet. Durch Zugabe von Lignin wird die Anfälligkeit auf Risse im Beton durch jahreszeitliche Temperaturschwankungen reduziert, da bei der Verarbeitung die Wasserzugabe reduziert werden kann.

In geringen Mengen werden Lignosulfonate zur Kompaktierung von Pellets eingesetzt.

Das Angebot an Lignin bzw. Lignosulfonaten in den Zellstofffabriken übersteigt jedoch bei weitem die Nachfrage nach der stofflichen Nutzung. Darüber hinaus ist das Lignin in der Lauge der Zellstoffindustrie ein wichtiger Energieträger. Vor allem in integrierten Fabriken ist die Energieversorgung der energieintensiven Papiererzeugung durch die energetische Nutzung von Lignin, bei gleichzeitiger Rückgewinnung der Prozesschemikalien, eine gut

aufeinander abgestimmte Prozesskette. Wenn Lignin verstärkt einer stofflichen Nutzung zugeführt wird, so müssen die Fabriken auf andere Energieträger ausweichen. Die Substitution des Energieträgers Lauge durch fossile Energieträger, würde die Anstrengungen zum Klimaschutz und des Ausstiegs aus fossilen Energieträgern konterkarieren.

Daraus folgt, dass eine stoffliche Nutzung von Lignin von der Verfügbarkeit von robusten Verarbeitungstechnologien, einer entsprechend hohen Wertschöpfung und auch den Entwicklungen der Energiepreise und Klimapolitik abhängig ist.

Metsö⁶ hat mit dem LignoBoost-Verfahren einen Prozess übernommen, mit dem das Lignin vor der energetischen Verwertung im Laugenkessel als pulverförmiges Produkt ausgekoppelt werden kann. Einzelne Pilotanlagen in Skandinavien verarbeiten Lignin zu Fasern und Filmen. Derzeit sind die weiteren Nutzungsmöglichkeiten vorrangig auf thermische Prozesse beschränkt. Allerdings werden durch den Einsatz des separierten Lignins fossile Brennstoffe im Drehrohrofen der Zellstofffabrik substituiert. Eine stoffliche Verwertung des gewonnenen Lignins nach dem Verfahren von Metso ist derzeit nicht in Sicht.

Im Rahmen eines Projekts⁷ ist im Zeitraum von 2010 bis 2013 der Betrieb einer Pilotanlage zur Erzeugung von chemisch hochwertigem Lignin mit alternativen Holz-Aufschlussmethoden in Leuna, Deutschland, vorgesehen. Diese sind jedoch nicht für die kombinierte Nutzung von Lignin, Hemicellulosen und Zellulosen als Polymer konzipiert. Zellulose wird in dieser Anlage zu Zuckermonomeren umgesetzt. Die Nutzung der Faser ist damit nicht Zielsetzung dieser Pilotanlage. Wie und ob die alternativen Aufschlussverfahren mit konventionellen, installierten Produktionsverfahren kombiniert werden können, ist derzeit offen. Das Lignin aus der Pilotanlage wird für die Produktion zu Klebstoffen und Harzen aufbereitet.

➤ Harzsäuren

Die Harzsäuren, die nach dem Kochprozess abgeschöpft werden können, werden derzeit zur Herstellung von Riechstoffen (Parfum) ins Ausland exportiert.

⁶http://www.metso.com/pulpanpaper/recovery_boiler_prod.nsf/WebWID/WTB-090513-22575-6FE87?OpenDocument

⁷ <http://www-alt.igb.fraunhofer.de/www/gf/cbp-leuna/dt/lignocellulose.html>

3.2.2.3 Herstellung von Biotreibstoffen

Weltweit steigt der Bedarf an Mobilität – nicht nur nimmt der Individualverkehr zu, auch ist der Transport von Gütern ein wesentliches Element moderner Gesellschaften. Allerdings sind die zur Verfügung stehenden fossilen Rohstoffe begrenzt und tragen durch ihren CO₂-Ausstoß zur Klimaerwärmung bei. Die sichere Versorgung mit Transporttreibstoffen ist daher ein besonderes Anliegen der Politik. Dieses ist z. B. in der Erneuerbaren Energie Richtlinie der EU verankert, sowie im Energy Independence and Security Act der USA.

Die Substituierung von Erdöl durch biomassebasierte Produkte im Transportbereich ist damit eine besondere Herausforderung im Rahmen einer biobasierten Industrie. Notwendig ist eine hohe Energiedichte des Treibstoffs, da dieser im Fahrzeug mitgeführt werden muss. Zudem erfordert die vorhandene Infrastruktur (Fahrzeuge, Tankstellen) eine hohe Übereinstimmung des biobasierten Produktes mit herkömmlichen Treibstoffen. Die Entwicklung eigener Fahrzeuge (Brennstoffzellenfahrzeuge, Elektroautos) erfordert größere Umstellungen in Industrie und Gesellschaft als die Entwicklung von angepassten Biotreibstoffen („drop in biofuels“) und geschieht dementsprechend langsamer.

Die technischen Möglichkeiten, die Abhängigkeit vom Erdöl und der CO₂-Ausstoß des Transportsektors verlangen nach verbesserten Verbrennungsmotoren, verbesserter Antriebstechnik z. B. Hybridisierung und Elektrifizierung des Antriebs, Anwendung von Brennstoffzellentechnologie und Verwendung von Biotreibstoffen. Die verschiedenen Möglichkeiten stehen dabei nicht im Widerspruch sondern ergänzen einander. Im Blue Map Szenario, das die IEA in den Energy Technology Perspectives 2008 vorstellte, wird die CO₂-Reduktion im Transportsektor zu 52% durch Effizienzsteigerung, zu 17% durch Biotreibstoffe, zu weiteren 17% durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs und zu 14% durch die Verwendung von wasserstoffgetriebenen Brennstoffzellenfahrzeugen erreicht. Biobasierte Beiträge leisten hierbei die Verwendung von Biotreibstoffen in Verbrennungsmotoren sowie Elektrifizierung und Brennstoffzellentechnologie, soweit mit biogenem Wasserstoff, Öl oder Strom betrieben.

Bei den Biotreibstoffen wird zwischen konventionellen und fortschrittlichen Verfahren unterschieden.

Konventionell:

- Biodiesel (Fettsäuremethylester)
- Bioethanol aus Zucker und Stärke
- Biogas
- Pflanzenöl
- Bio-ETBE (Ethyl-Tertiär-Butylether)
- Bio-MTBE (Methyl-Tertiär-Butylether)
- HVO

Fortschrittlich:

- Bioethanol aus Lignozellulose
- FT-Diesel
- Bio-SNG
- Bio-DME
- Biomethanol
- Treibstoffe aus Pyrolyseöl
- Biowasserstoff
- Gemischte Alkohole
- HTU-Treibstoffe und Treibstoffe aus der gemeinsamen Verarbeitung von fester Biomasse mit Erdöl
- „Drop-in Biofuels“ (flüssige Kohlenwasserstoffe zum unmittelbaren Einsatz in Motoren wie z. B. Dieseltreibstoff oder Kerosin aus Farnesene)
- Algenbasierte Treibstoffe

Eine detaillierte Beschreibung der verschiedenen Biotreibstoffe wurde bereits 2009 im Rahmen des Projekts „F&E-Strategie für Biotreibstoffe – Aufbau einer „Biotreibstoff-Plattform““ erstellt und ist im Endbericht zum Projekt enthalten.

Der Status der Markteinführung wurde damals in der folgenden Abbildung 8 dargestellt:

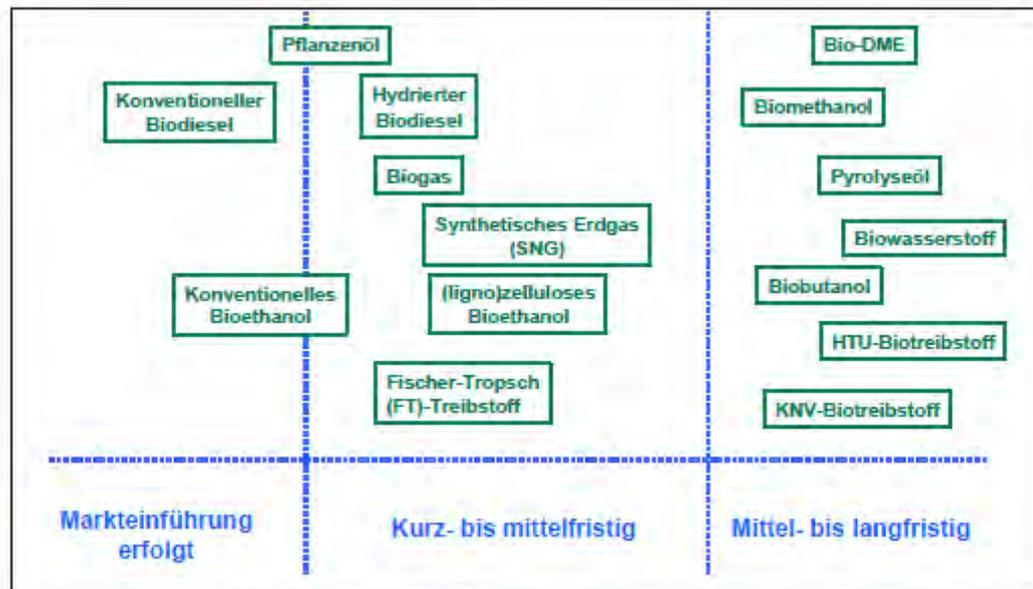


Abbildung 8: Erwartete „kurz- bis mittelfristige“ und „mittel- bis langfristige“ Markteinführung (Bacovsky et al. 2009, 31)

Der Markt für Biotreibstoffe ist ein politikgetriebener Markt; ohne Änderung der Rahmenbedingungen wie z. B. durch Steuerbefreiung oder verpflichtend abzusetzende Biotreibstoffmengen, sind Biotreibstoffe derzeit nicht wettbewerbsfähig. Das Marktvolumen für Biotreibstoffe hängt daher von den politischen Rahmenbedingungen ab.

In der EU wird durch die Erneuerbare Energie Richtlinie vorgeschrieben, dass im Jahr 2020 10% des Marktvolumens im Transportsektor aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden muss. Basierend auf der derzeitigen Fahrzeugflotte kann man davon ausgehen, dass der Großteil dieser 10% durch konventionelle Biotreibstoffe abgedeckt werden wird. Kleinere Beiträge können von fortschrittlichen Biotreibstoffen und von Elektrofahrzeugen kommen.

Im Biofuels Barometer wird jährlich die Produktion von Biotreibstoffen in der EU erhoben. In der Ausgabe für 2011 wird die EU-weite Produktion von Biotreibstoffen für das Jahr 2010 mit 13,8 Mtoe (Millionen Tonnen Öleinheiten) beziffert; der EU-weite Bedarf für 2020 wird auf 30,8 Mtoe geschätzt.

Der globale Transportenergiebedarf betrug im Jahr 2009 ca. 2.300 Mtoe. 46% davon waren Ottokraftstoffe, 32% Dieselmotorkraftstoffe, 10% Jetfuel, 8% Residual Oil (für Schiffe) und 4% gasförmige Treibstoffe; Biotreibstoffe und Elektrizität zusammen (Daten der IEA). Der Anteil der Biotreibstoffe hängt vom politischen Willen ab; die IEA beziffert diesen Anteil in ihrem Blue Map Scenario mit 26% im Jahr 2050.

4 Potentiale und Chancen für Österreich

In diesem Kapitel werden mögliche Technologiepfade dargestellt, um daraus Chancen und Potentiale für Österreich ableiten zu können. Chancen für Österreich können vor allem dort gesehen werden, wo für ein Produkt gute Marktchancen bestehen, wo der Rohstoff ausreichend und günstig verfügbar ist und österreichische Unternehmen Know-how haben oder erwerben können.

Diese Pfade können einerseits den Bereich der Faserherstellung durch beispielsweise ressourceneffizientere Produktion oder die Herstellung neuer Produkte betreffen. Die Herstellung natürlicher Fasern für die Weiterverarbeitung zu Produkten ist neben der Erzeugung der so genannten Plattformchemikalien auf biogener Basis für eine Umstellung der zurzeit noch von fossilen Rohstoffen dominierten Wirtschaft von großer Bedeutung. Andererseits werden die Potentiale der einzelnen für Österreich relevanten Plattformchemikalien näher betrachtet, um daraus konkrete Handlungsempfehlungen ableiten zu können. Oft sind es noch sehr indirekte Wege, wie zum Beispiel in Brasilien, wo aus Zuckerrohr über Ethanol Ethylen produziert wird. Bio-Polyethylen wird jedoch aus Gründen der Effizienz und aus der Sicht von Ökobilanzbetrachtungen als nicht zielführend gesehen.

Wesentlich für die breite Umsetzung biobasierter Produkte sind neben der ökologischen Kriterien und einer zumindest ausreichenden Qualität vor allem auch äquivalente Kosten. Bei der Beurteilung biobasierter Produkte kommt man heute an der Konkurrenz zu Nahrungsmitteln und der Rückwirkungen auf den Preis nicht vorbei. Dieser Konflikt betrifft vor allem die landwirtschaftlichen Rohstoffe, ist aber eigentlich eine Konkurrenz um die Fläche. Trotzdem sind die lignocellulosischen Produkte davon kaum betroffen. Bei Qualität und Preis wirken sich bei Produktentwicklungen der anfänglich noch ausbaufähige Qualitätsstandard und die, durch geringe Produktionsmenge hohen Kosten, negativ aus. Laufende Weiterentwicklung des Produktes und des Herstellverfahrens führen zur Verbesserung der Produktqualität und verbesserter Effizienz des Verfahrens. Wesentlich für den Produktpreis ist jedenfalls der Rohstoffpreis, der seinerseits wieder von der Verfügbarkeit abhängt. So führt Konkurrenz zu Nahrungsmittel oder energetischer Verwendung zu Preiskämpfen am Markt. Ohne Produktivitätssteigerungen auf der landwirtschaftlichen Fläche (Stärke, Zellulose) bzw. verstärkte Mobilisierung der

Holzpotentiale, ist keine Konkurrenzfähigkeit zur Herstellung auf Basis fossiler Rohstoffe denkbar. Positive Auswirkungen haben auch alle Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz, der verbesserten Ausnutzung der Rohstoffe, wie sie bei Bioraffinerie-Konzepten und der kaskadischen Nutzung gegeben ist. Weiters ist neben optimalem Recycling auch die Erschließung neuer Rohstoffquellen förderlich. Die weitgehende Verwirklichung dieser Verfahrensprinzipien ist damit ein Erfolgsfaktor für die Umstellung auf biobasierte Produkte. Ein möglichst rasches Scale-up in rentable Produktionsgrößen wäre ein Erfordernis aus wirtschaftlicher Sicht.

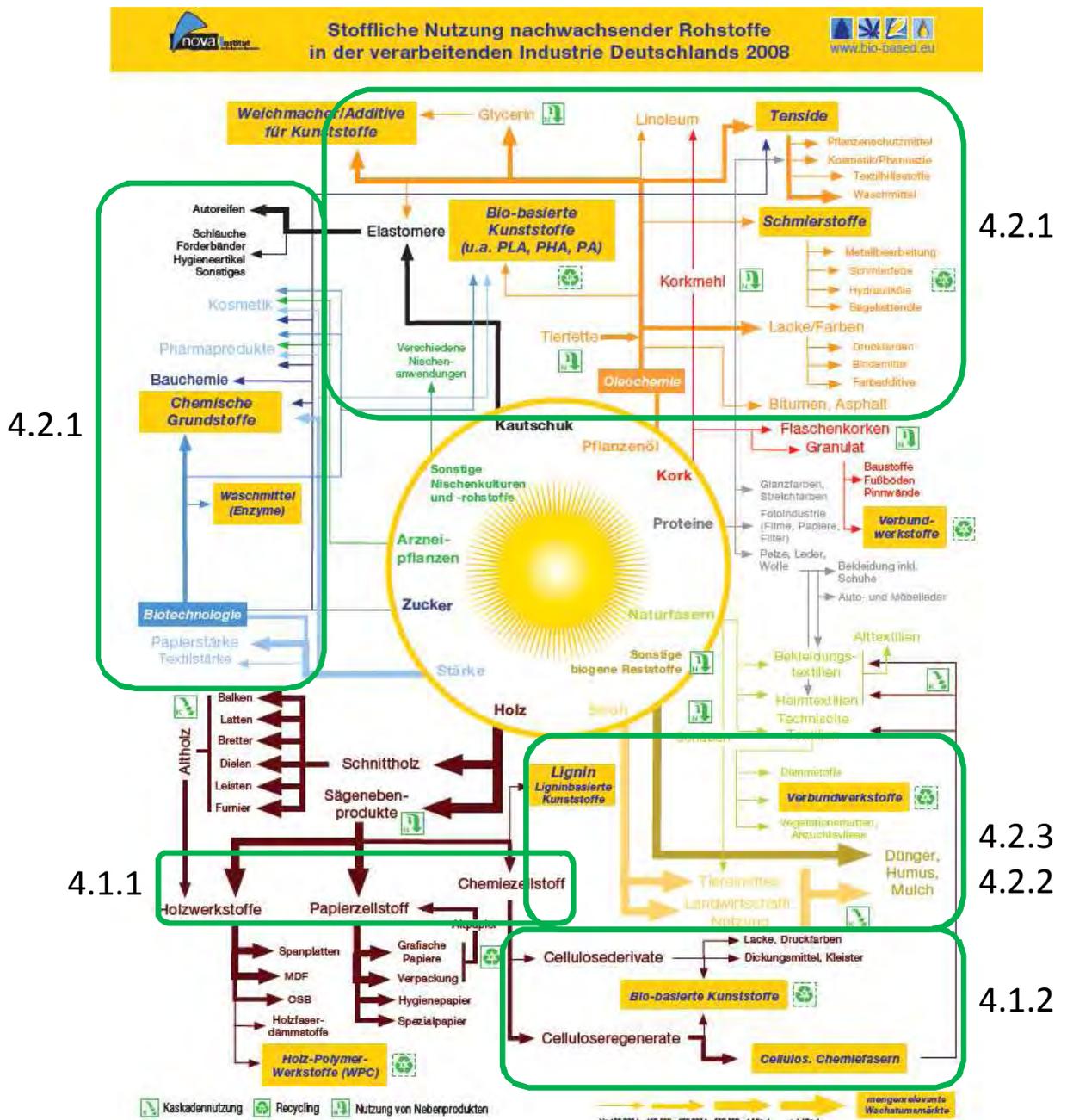


Abbildung 9: Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe (Carus und Raschka 2012, 14).

Abbildung 9 zeigt die möglichen Wege der Herstellung biobasierter Produkte und dient als Überblick für die nachfolgend beschriebenen Technologiepfade.

4.1 Chancen für die Faserherstellung

4.1.1 Technologiepfad: Ressourceneffiziente Produktion

Die Papier- und Zellstoffindustrie ist in Österreich ein entwickelter Industriezweig. Neben der Einführung neuer Produkte aus Fasern und Nebenprodukten ist zur langfristigen Standortabsicherung die Weiterentwicklung der Produktionsprozesse der Bulk-Produkte Zellstoff und Papier für die Unternehmen von strategischer Bedeutung.

➤ Wasser

Eines der Schlüsselthemen der Papier- und Zellstoffindustrie ist die ausreichende Versorgung mit geeignetem Wasser für die Produktionsanlagen. Wasser ist für die Erzeugung von Fasern und Papier von essenzieller Bedeutung. Damit einhergehen jedoch auch einige Probleme, vor allem der hohe Trocknungsenergieaufwand ist durch die Verwendung von Wasser begründet. Der richtige Umgang mit Wasser in der Produktion und die optimalen Aufbereitungs- sowie Abwasserbehandlungstechnologien werden als wichtige Technologieschritte erkannt, um langfristig die Produktion von qualitativ hochwertigen Fasern in Österreich sicherstellen zu können.

➤ Recycling als Schlüssel zur Ressourceneffizienz

Das Recycling von Altpapier aber auch anderen Fasermaterialien (Textilien) ist für die langfristige Rohstoffversorgung von strategischer Bedeutung und kann auch gezielte Vorteile bieten. Durch entsprechende Logistikkonzepte können bisher nicht erreichbare Altpapierfraktionen zu den Produktionsstandorten rückgeführt werden. Langfristig erlauben abgestimmte Recyclingprozesse den Aufschluss komplexer Produkte wie zum Beispiel von Verbundwerkstoffen aus Zellulose, Kunststoff und Metall und ermöglichen so die ressourceneffiziente Produktion neuer Güter. Das Recycling von Geweben und Textilien steht vor grundlegenden Herausforderungen. Neben den Logistikkonzepten sind vor allem auf Grund der Fasermischungen komplexe Aufschlusstechnologien für das effiziente Faserrecycling nötig.

➤ **Prozesssteuerung**

Durch immer neue Anwendungszwecke von Zellstofffasern ist die gezielte Einstellung der Produktqualität und der Fasereigenschaften im Herstellungsprozess des Produktes (Zellstoffkochung bzw. Papiermaschine) von wachsendem Interesse. Um das Eigenschaftsprofil gezielt zu modifizieren, sind grundlegende Kenntnisse zur Wechselwirkung zwischen Faser und Wasser nötig. Ergänzend dazu bietet die Modifizierung der Fasern durch den Einsatz von Chemikalien beziehungsweise durch Biotechnologie, allen voran die Enzymtechnologie, die Möglichkeit gezielte Fasereigenschaften zu erzeugen (hydrophil, hydrophob). Gleichzeitig kann mit einer solchen Modifizierung die Produktionseffizienz durch verringerten Energieaufwand bei der Faseraufbereitung oder späteren Trocknung gesteigert werden.

Enzyme sind in einigen wenigen Unternehmen bei der Altpapieraufbereitung im Einsatz. Durch die Vielzahl an verfügbaren Enzymen ist die Optimierung der Produktionsprozesse und Produkteigenschaften durch den Einsatz von Enzymbehandlungen sehr vielschichtig. Ergänzend dazu kann eine chemische Modifizierung der Faseroberfläche vollkommen neue Eigenschaftsprofile der Fasern hervorbringen und damit auch die Anwendungsmöglichkeiten von Zellstofffasern erweitern.

➤ **Organosolv-Prozess und Pre-Separationsstrategien**

Mit neuen Pre-Separationsstrategien kann die Produktion von Zellstoff und hochwertigen Auskopplungsprodukten effizienter und weniger chemikalienintensiv gestaltet werden. Die Pilotanlage in Leuna, Deutschland, soll zeigen, dass durch den bereits entwickelten Organosolv-Prozess hochwertige Holzbestandteile voneinander getrennt werden können. Darüber hinaus gibt es noch weitere Pre-Separationsstrategien. Es gilt diese mit den konventionellen Produktionsprozessen so abzustimmen, dass eine schrittweise Integration dieser Separationstechnologien in den industriellen Produktionsablauf möglich wird. Parallel dazu muss die Verwertung dieser hochwertigen Auskopplungsprodukte/Nebenprodukte entwickelt werden (siehe dazu 4.2.2).

➤ **Trocknung**

Die Papiererzeugung ist aufgrund des hohen Trocknungsenergieaufwandes ein energieintensiver Prozess. Um die Energieeffizienz zu steigern sind drastische Einsparungen

des Energieeinsatzes nötig. Österreich verfügt ergänzend zu den Produktionsstandorten der Papier- und Zellstoffindustrie auch über wichtige Anlagenbau-Unternehmen für diesen Industriezweig. Langfristig können kooperative Forschungsanstrengungen der produzierenden Industrie mit den Anlagenbauern helfen, neue Trocknungsprozesse, aber auch vollkommen neue Produktionsprozesse zu entwickeln. Der richtige Umgang mit Wasser als wesentliches Produktionsmedium, nimmt dabei eine Schlüsselfunktion ein. Es entscheidet über die Produkteigenschaften, ist jedoch auch für den hohen Energieverbrauch verantwortlich. Eine der Strategien zur langfristigen Steigerung der Energieeffizienz kann ein völlig neuer Produktionsprozess der wasserfreien Papiererzeugung sein. Dazu sind jedoch grundlegende Forschungsaktivitäten nötig. Kurz und Mittelfristig muss jedoch an der Optimierung des gegenwärtigen Trocknungsprozesses gearbeitet werden, wenn man Energieeinsparungen erreichen möchte.

4.1.2 Technologiefad: neue Produkte aus Fasern

➤ Verbundwerkstoffe

Wie bereits geschildert, ist die Verwendung von Zellulosefasern in Verbundwerkstoffen mit Kunststoffen zur Erzeugung von Bodenbelägen für den Außeneinsatz industriell umgesetzt. Die Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten, um solche Produkte, die hochwertigen Zellstoff und einen biobasierten bzw. biologisch abbaubaren Kunststoff verwenden, würde die Erzeugung von ökologischen, formstabilen, festen Kunststoffprodukten ermöglichen.

Darüber hinaus ist vor allem der Materialverbund mit Metall beispielsweise für den Fahrzeugbau und andere Leichtbauteile von verstärktem industriellem Interesse.

➤ Verarbeitung von gelöster Zellulose zu Formkörper

Die installierten Viskose- und Lyocell- Prozesse zur Erzeugung von Textilfasern bringen die aus dem Holz stammenden Fasern in Lösung, bevor diese zu Regeneratfasern versponnen werden. Die gelöste Zellulose bietet dabei zahlreiche Möglichkeiten in neue Formen gebracht zu werden, verbesserte Eigenschaftsprofile zu erreichen oder in Verbundwerkstoffe integriert zu werden. Mit dem umfangreichen Know-how einer der weltweit größten Faserhersteller in Österreich, kann langfristig der Produktionsstandort Österreich zur Technologiedrehscheibe für Textilzellstoffproduktion bzw. Dissolving Pulp Produktion werden.

4.2 Chancen im Bereich Plattformchemikalien

4.2.1 Technologiepfad Plattformchemikalien

➤ **Bernsteinsäure**

Im Bereich dieser Plattformchemikalie ist das Ziel die kostengünstige Herstellung eines Grundstoffs für Polymere mit hoher Funktionalität. Das Unternehmen Bioamber produziert in Frankreich als Erster Bernsteinsäure aus Weizenglucose. Darüber hinaus sind 3 Anlagen mit insgesamt 60.000 t/a in Kanada und den USA in Planung, die Bernsteinsäure aus Zucker (auf Maisbasis) erzeugen sollen. BASF betreibt eine Pilotanlage, die aus Glycerin Bernsteinsäure erzeugt.

Insgesamt sind im Bereich der Bernsteinsäure bereits viele große Unternehmen auf dem Markt. Dadurch ist es für andere, wie beispielsweise österreichische Firmen, schwierig in diesen Markt einzutreten.

➤ **Butandiol**

Auf diesem Markt besteht ein Joint Venture zwischen Genomatica und Novamont zur Herstellung von Butandiol aus Glucose an einem bestehenden Standort in Italien in Synergie mit der Herstellung von Mater-Bi.

Bioamber produziert Butandiol durch Hydrierung von selbst hergestellter Bio-Bernsteinsäure nach einer lizenzierten Technologie von DuPont im technischen Maßstab.

Butandiol steht damit in direkter Konkurrenz zur Bernsteinsäure, da die wesentlichen C4-Körper von beiden Stoffen aus zugänglich sind. Es wird damit entscheidend sein, welche Technologie effizient und betriebssicher aus möglichst günstig verfügbaren Rohstoffen das jeweilige Produkt herstellen kann. Für Österreich erscheint auch dieser Bereich wenig vielversprechend, da internationale Großunternehmen bereits am Markt aktiv sind. Die Chance österreichischer Unternehmen liegt im Technologieexport in den Bereichen Rohstoffaufbereitung und Produktabtrennung zur Verbesserung der Gesamteffizienz.

➤ **Propandiol**

Erste Pilotanlagen haben DuPont, die allgemein sehr viel für dieses Marktsegment produzieren und auch selbst verwenden, Genencor und Tate & Lyle. Weitere Anlagen sind zurzeit noch in Planung (Metabolic Explorer in Frankreich und Anlage in Asien mit 50.000

t/a). Seit 2006 wird auf industrieller Basis in einer Anlage mit einer Kapazität von 45.000 t/a Propandiol hergestellt.

Vogelbusch hat ein patentiertes Verfahren für die Propandiol-Produktion entwickelt und ist zurzeit mit ausländischen Firmen in Gesprächen (z. B. eine türkische Firma und PTT in Thailand).

Für die Herstellung ist neben Glucose auch Glycerin einsetzbar, welches z. B. in Thailand zu geringen Gestehungskosten vorhanden ist. Rohglycerin hat hingegen einen sehr hohen Preis.

Wie bei der Bernsteinsäure ist es äußerst schwierig in den Weltmarkt einzudringen, allerdings hat Österreich hier einen Player im Technologiebereich, der neben den Hauptmarktschienen mit Partnern in den Markt eindringen will. Diese Bemühungen könnten unterstützt werden.

➤ **Adipinsäure**

Erste Pilotanlagen sind für diese Plattformchemikalie zum Beispiel in Carlsbad in den USA in Produktion und erzeugen sogar kostengünstigere Adipinsäure als auf petrochemischen Weg (Verdezyne). Auch andere Firmen wie Genomatica (besitzt Patent) oder Bioamber (Zusammenarbeit mit Celexion LLC) sind auf diesem Gebiet bereits tätig.

In Österreich wurden auf diesem Gebiet bis jetzt noch keine Erfahrungen gemacht.

➤ **Biokunststoffe**

Aus Sicht der Workshopteilnehmer ist die Herstellung von Kunststoffen aus Milchsäure auf Basis von Stärke und Zuckerrohstoffen derzeit international nicht im Aufwind, da ein Player wie Cargill seine Joint-Ventures in diesem Bereich abgegeben hat.

• **PHA**

Weltweit sind auf diesem Markt bereits einige Firmen tätig (Metabolix betreibt seit 2010 eine 50 kt-Anlage in Iowa, Tianjin Bio Green/DSM seit 2009 10.000t/a-Anlage in China). Desweiteren produzieren auch Bio-on (Italien), Tianan Biologic Material Co. (China) und BioMatera (Canada) PHB (Polyhydroxybuttersäure).

In Österreich besitzt Vogelbusch in diesem Bereich keine Produktionsverfahren. Die Alkoholfermentation aus Sulfitablauge wurde mit M-Real untersucht, aber nicht weiter verfolgt. Die PHA Produktion oder auch Bioalkohol wären jetzt nach der Übernahme durch

Schweighofer wieder Optionen, die mit Technologieförderungen unterstützt werden könnten.

- **PLA**

Für diese Schlüsselsubstanz sind bereits die ersten Anlagen in Produktion (Anlage von Natureworks LLC in Blair, Nebraska, mit einer Kapazität von 140.000 t/a; Biomer produziert in Deutschland kleine Mengen). Futero betreibt eine Anlage in Belgien (Kapazität: 1.500 t/a) zur Herstellung von Biokunststoffen. Weitere Unternehmen wie Teijin Fibers in Japan, Toyobo in Japan, Hisun in China oder Pyramid Bioplastics in Deutschland sind ebenfalls auf diesem Markt tätig. Cargill hat hingegen 50% des Joint Ventures an PTT abgegeben. Das Unternehmen Purac ist bei dieser Chemikalie weltweit führend.

In Österreich ist laut Ehrig et al. (2009, 13) zurzeit noch keine Produktionsanlage für Polymilchsäure in Betrieb. Viele Unternehmen haben bereits Forschungsarbeit geleistet, jedoch wurde die Umsetzung bis jetzt noch nicht durchgeführt (z. B. Borealis Polyfine).

Die Vorteile von Biokunststoffen können vielfältig sein, sind allerdings wie beispielsweise im Fall der CO₂-Bilanz stark von den Rahmenbedingungen abhängig.

- **Ethylactat**

Auf diesem Markt sind bereits große Unternehmen wie Purac oder Cargill Inc. tätig.

In Österreich kann die Produktion von Ethylactat ebenfalls von großem Interesse sein, da die Milchsäure aus Reststoffen und Nebenprodukten über das Konzept der grünen Bioraffinerie gewonnen werden kann. Die Wertschöpfung erfolgt aus der Grünfläche, der dezentralen Silierung und Fraktionierung und der zentralen Weiterverarbeitung der Wertstoffe zu beispielsweise Ethylactat. Das Konzept konnte bereits erfolgreich im Demonstrationsmaßstab in Utzenaich umgesetzt werden und bedarf weiterer Entwicklung im Down-stream-processing der Wertstoffe. So könnte aus Grassilage Milchsäure erzeugt werden. Allerdings ist zurzeit kein etablierter Markt in Österreich vorhanden. Der Fokus liegt auf der Qualitätssteigerung der Produkte, wobei die Qualität der Silage von großer Bedeutung ist.

Ein weiteres Verfahren zur katalytischen Umsetzung von Glycerin als Reststoff der Biodieselherstellung zu Milchsäure, wurde vor kurzem von einer Firma in Österreich

patentiert. ABandCD besitzt eine Pilotanlage, die aus Glycerin Milchsäure erzeugt. Diese ist in eine Biodieselanlage integrierbar. Das österreichische Unternehmen Vogelbusch besitzt Patente für die Milchsäurefermentation, sieht aber nur geringe Chancen gegen große Firmen wie Purac.

➤ **Essigsäure**

Im Bereich der Essigsäure besitzt Vogelbusch in Österreich Patente. Hier ist allerdings die Frage, welche Anwendungen der Essigsäure neben dem Lebensmittelbereich für Österreich vielversprechend sein könnten. Hier wären Technologien der Weiterverarbeitung und ihre Erfolgsaussichten zu screenen.

➤ **Acrylsäure**

Acrylsäure dient als Ausgangsstoff für die Herstellung von Polymeren und Absorbentien. Für die Acrylsäure sind derzeit einige Pilotanlagen in Planung und teilweise auch schon in Anwendung. Insgesamt herrscht auf diesem Markt allerdings noch eher Zurückhaltung. In Österreich ist beispielsweise die Ausbeute von Acrylsäure aus Milchsäure eher gering, wodurch diese Plattformchemikalie über diesen Weg wohl nur geringe Bedeutung einnehmen wird.

Acrylsäure kann auch über Brenztraubensäure, die aus Weinsäure hergestellt wird, produziert werden. Weinsäure wird innerhalb Europas hauptsächlich in Spanien und Portugal hergestellt, und zu ca. 30 % aus China importiert. Die Chancen des Verfahrens hängen vor allem von der Rohstoffverfügbarkeit und dem Produktweltmarktpreisen ab.⁸

➤ **Fettsäuren**

Die Fettsäuren stellen ein sehr vielseitiges Gebiet dar, für das bis jetzt aber noch keine konkreten Wege zur biobasierten Produktion verfügbar sind. Die Anwendung der Fettsäuren als Co-Monomere kann für die Polymerisation von Bedeutung sein. Die Herstellung aus Algen oder Pflanzenpresskuchen scheint zum Beispiel eine gute Perspektive zu bieten, für die jedoch noch hoher Forschungsbedarf besteht.

⁸ Rat der Europäischen Union (2012): Durchführungsverordnung des Rates zur Einführung eines endgültigen Antidumpingzolls auf die Einfuhren von Weinsäure mit Ursprung in der Volksrepublik China im Anschluss an eine Auslaufüberprüfung nach Artikel 11 Absatz 2 der Verordnung (EG) Nr. 1225/2009 des Rates.

➤ **Biotreibstoffe**

Auf diesem Sektor befindet sich ein großer Absatzmarkt, Know-how und die Technologien sind in Österreich ebenfalls bereits vorhanden. Laut Projektdefinition sind jene Biotreibstoffe ausgeschlossen, die mit der Nahrungsmittelproduktion in Konkurrenz stehen, sowie auch die thermochemischen Wege, da die Syntheseleistung der Natur in hohem Ausmaß genutzt werden soll. Möglichkeiten hierfür sind Biodiesel aus Tallöl, Tierfett oder Altspeiseöl, Biomethan aus der Fermentation von Gras, Algen und Reststoffen und die Gewinnung von Bioethanol aus Lignocellulose.

Die Produktion von Biotreibstoffen aus Algen stellt ein neues innovatives Forschungsgebiet dar. Die Produktivität von Algen kann höher sein als die von Ackerfrüchten. Der derzeitige Hype um die Algen wird trotzdem abflauen. Für die Kultivierung in offenen Teichen werden dennoch viele Flächen benötigt. Eine Möglichkeit wäre in Photobioreaktoren in die Höhe zu bauen und so eine effizientere Flächennutzung zu erzielen. Algen besitzen eine höhere Flächenproduktivität als landwirtschaftliche Rohstoffe, das Problem bleibt jedoch die Wirtschaftlichkeit. In der Papierindustrie wurden zum Beispiel Algen bereits angedacht, um das Abwasser- und Platzproblem zu verringern. Chancen sind in diesem Sektor vorhanden, die Kultivierung ist allerdings noch nicht ausgereift. Eine langfristig angelegte Forschungsplattform sollte für den Bereich der Algenkultivierung und –nutzung initiiert werden. Für Österreich ist aufgrund der Verfügbarkeiten nicht die flächenintensive Kultivierung im Fokus, sondern die Technologieentwicklung im Bereich Photobioreaktoren bzw. die Anwendung in Nischensegmenten wie der Abwasserreinigung.

Bei Biodiesel aus Altspeiseöl tritt das Problem der fehlenden Winterfestigkeit auf. Die Nahrungsmittelkonkurrenz wird in Österreich von vielen als zu dramatisch angesehen, die Landwirte bekommen jedoch zurzeit noch Prämien für Brachflächen.

Als weitere Möglichkeit könnte das Glycerin, welches bei der Biodieselproduktion anfällt, zu Milchsäure oder Methanol weiterverarbeitet werden (Ausbeute 80%), oder energetisch genutzt werden. Das Glycerinangebot ist als Folgeerscheinung des Biodieselbooms im Wachsen. Derzeit ziehen sich aber viele Firmen aus dem Glycerinmarkt zurück, da der Markt sehr volatil und damit schwer hervorzusagen ist.

Desweiteren ist die Produktion von Bioethanol aus Lignocellulose eher sinkend. Bioethanol aus Syngas ist für Vogelbusch von größerer Bedeutung, dieses wird aber nicht in diesem Projekt berücksichtigt. Syngasfermentation zu Ethanol ist eine Alternative zum FischerTropsch Verfahren, weil weniger Equipment benötigt wird.

Biodiesel aus Tallöl wäre ebenfalls eine interessante Kooperationsmöglichkeit mit der Papierindustrie.

4.2.2 Technologiepfad: Auskopplungsprodukte der Zellstoffherstellung als Plattformchemikalien

➤ Furandicarbonsäure

Diese Plattformchemikalie wäre als Ersatz für die Terephthalsäure für Bio-PET mit großem Marktvolumen realistisch. Eine Pilotanlage mit einer Kapazität von 40 t/a ist bereits in Anwendung. Die Synthese über das Holzbioraffinerie-Nebenprodukt HMF ist dafür denkbar. Einige Unternehmen in Österreich führen bereits thermochemische Versuche durch. Weiters könnten nach der Übernahme der Halleiner Zellstofffabrik durch die Schweighofer Gruppe die bereits geplanten Aktivitäten zur stofflichen Ablaugenutzung wieder aufgenommen werden. WoodKPlus überlegen diesbezügliche Aktivitäten, zurzeit laufen noch Gespräche mit mehreren Partnern. Aufgrund der Rohstoffsituation und der zahlreichen Zellstoffbetriebe würden sich hier Potentiale in diesem Bereich in Österreich bieten.

➤ Harz als Raffinerierohstoff

Die Harze aus Holz werden im Kochprozess in das flüchtig Terpentinöl sowie die verbleibenden Harzsäuren getrennt. Beide Substanzen werden einer stofflichen Verwertung zugeführt oder am Standort thermisch genutzt. Aus den Harzsäuren (Tallöl) lassen sich Harze für die Produktion von Lackierungen sowie andere technische Harzprodukte herstellen. Dazu besteht in Österreich am Standort Hafen Krems eine Destillationsanlage, die Tallöl zu Vorprodukten für die Lackindustrie verarbeitet.

Terpentinöl wird ins Ausland an die Hersteller von Parfumausgangsstoffen verkauft. Ein heimischer Verarbeiter ist derzeit nicht bekannt. Da es sich jedoch an sich um ein Rohprodukt aus organischen Säuren handelt, sollte eine Verarbeitung in klassischen chemischen Betrieben und Raffinerien möglich sein.

4.2.3 Technologiepfad: Reststoffe der Zellstoffherstellung

➤ Lignin

Lignin ist ein Polymer aus phenolischen Grundkörpern, so genannten Phenolpropanoiden. Dadurch entstehen komplexe dreidimensional vernetzte Strukturen des Lignins, welche im Kochprozess des Zellstoffaufschlusses chemisch verändert werden.

Die Verarbeitung zu Bindemitteln und Klebstoffen ist seit langem Forschungsgegenstand zahlreicher Unternehmen. Man verfolgt dabei die Idee, Lignin die ursprüngliche Aufgabe als Kittsubstanz der Zellulosefasern zu geben. Für Klebstoffe in der Spanplattenindustrie bzw. Faserplattenindustrie wäre damit ein nachhaltiger, biogener Rohstoff gefunden, der die Fähigkeit besitzt das aus Erdöl erzeugte, toxische Phenol zu ersetzen, da Lignin aufgrund seiner phenolischen Grundkörper ähnliche chemische Funktionen mit sich bringt, jedoch ohne die toxische Wirkung.

Derzeit werden jährlich weltweit etwa sieben Mio. Tonnen Phenol als Ausgangsstoff für zahlreiche Kunststoffe verarbeitet. Produkte mit Phenol reichen von CD-Scheiben über Autoverkleidungen und Bindemitteln für Farben und Lacke.

Die Verwendung von Lignin scheitert jedoch an der chemisch gleichbleibenden Qualität von Lignin aus der Zellstoffindustrie und an fehlenden Anwendungsfeldern von Lignin, die einerseits die entsprechende Wertschöpfung aufweisen, andererseits auch die verfügbaren Volumina abnehmen. Die steigenden Preise für Rohöl kommen der stofflichen Nutzung von Lignin entgegen, da die fossilen Grundstoffe dadurch ebenfalls teurer werden. Da Lignin jedoch derzeit energetisch genutzt wird, steigt der Wert von Lignin ebenfalls an. Langfristig ist jedoch von einer stofflichen Nutzung von Lignin auszugehen, da mit entsprechenden Phenolersatzprodukten eine deutlich höhere Wertschöpfung möglich ist, als mit der energetischen Nutzung.

Jüngste Forschungsergebnisse haben ergeben, dass sich Lignine aus Stroh zur raschen Herstellung hochwertiger Bodenverbesserer als Humusersatz eignen. Lignin fungiert dabei als Netzwerk, das organischen Dünger für die Pflanzen zur Verfügung stellt und durch die hygroskopische Wirkung für ausreichende Feuchtigkeitsversorgung der Pflanzen sorgt. Der Einsatz von Lignin als Bodenverbesserer verfügt aus Sicht der Wertschöpfung nicht über jene Chancen, wie der Einsatz als Phenol-Ersatz, jedoch würde beim Einsatz als Bodenverbesserer

als high volume / low value Anwendung große Mengen an Lignin den Unternehmen abgenommen werden können, was verfahrenstechnische Vorteile bezüglich der Ausschleusung der gewünschten Ligninkomponente mit sich bringen kann. Der Einsatz als Bodenverbesserer ist in der modernen Landwirtschaft weit verbreitet. Durch die teils intensive Landbewirtschaftung wird die Bodenerosion verstärkt. Der Vorteil von Bodenverbesserern auf Basis von Lignin ist die rasche Herstellung ohne lange Reifezeiten. Pilotanlagen für die Konversion zu N-Ligninen (Bodenverbesserer) durch Ammonoxidation werden in Deutschland, China, Japan, Ägypten und den Emiraten betrieben.

➤ **Ethanol aus Restzuckern der Lauge**

Faserreststoffe aus der Zellstoffkochung bzw. aus der Altpapieraufbereitung werden derzeit gemeinsam mit anderen Reststoffen energetisch genutzt oder der Ziegelindustrie als Porosierungsmittel zur Verfügung gestellt. Eine Analyse der potenziellen Möglichkeit zur Verzuckerung dieser Faserreststoffe und die Fermentation wurden in Forschungsprojekten schon teilweise untersucht. Da es sich um einen sehr kostengünstigen Rohstoff handelt, ist eine mögliche Nutzung als Zuckerquelle für weitere Verarbeitungsschritte denkbar.

5 Empfehlungen für das BMVIT

In diesem Kapitel werden zunächst vielversprechende Handlungsfelder aufgezeigt, die im Zuge des Projekts identifiziert wurden. Anschließend werden daraus für das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie konkrete Empfehlungen abgeleitet, welche Möglichkeiten das Ministerium bei der Unterstützung für die Etablierung von biobasierten Produkten hätte.

5.1 Wesentliche Handlungsfelder

Die Handlungsfelder der Holz- und Zellstoff-Faserproduktion sind von den in Österreich und Europa hohen wirtschaftlichen, ökologischen und gesellschaftlichen Ansprüchen, denen die Produktionsprozesse genügen müssen, geprägt. Umweltaspekte der Produktion werden als weiterhin themenbestimmend für die Forschung erkannt. Neben der Verfügbarkeit von geeignetem Wasser für die Produktion, ist die Reduktion des Energieverbrauches von strategischer Bedeutung für die Erzeugung von Fasern und deren Verarbeitung zum Endprodukt. Moderne interdisziplinäre Technologieentwicklungen im Bereich der Biotechnologie und Enzymtechnologie sind vielversprechende Handlungsfelder für den nachwachsenden Rohstoff Holz.

Die Individualisierung der Produktionsprozesse bezüglich der gezielten Einstellung der Produktqualität für die Erzeugung hochwertiger Fasern ist von wachsender Bedeutung. Dabei steht nicht nur das technologische Know-how zur richtigen Prozesssteuerung im Fokus, sondern auch die Frage, wie die Produktionsprozesse möglichst flexibel gestaltet werden können, um eine hohe Variabilität der Produkteigenschaften zu erhalten. Die zielgerichtete Funktionalisierung und Modifikation der Fasereigenschaften ist für die Entwicklung von verbesserten, (material-)effizienteren Produkten für bestehende und neue Anwendungen entscheidend.

Papier ist in seiner vollen Anwendungsvielfalt derzeit das wichtigste Produkt aus Zellstofffasern. Papier vereint die Vorteile eines vielseitigen, umweltfreundlichen und recyclingfähigen Produkts, das darüber hinaus biologisch abbaubar ist. Um seine Anwendungsmöglichkeit in unserer Gesellschaft als Verpackung, Hygieneartikel, Spezialprodukt und effizientes Kommunikationsmedium auf weitere Faserprodukte zu

erweitern, ist die Vertiefung von technologischem Wissen über die entscheidenden Stellschrauben zur ressourceneffizienten Produktion wichtig. Eine der komplexen Fragestellungen ist wie die Produktionsprozesse und Einsatzstoffe miteinander interagieren und wo der Schlüssel zur intelligenten Produktion der Güter bei möglichst geringem Aufwand von Produktionsfaktoren liegt.

Um die Versorgung der Gesellschaft mit nachhaltigen Konsumgütern aus nachwachsenden Rohstoffen sicherzustellen ist mittel- und langfristig das Recycling der produzierten Güter nach dem Ende des Nutzungszeitraums auf noch umfassendere Teile der Produktvielfalt der Zellstoff,- Papier- und Regeneratfaserindustrie auszuweiten. Im Bereich der neuen Produkte aus Fasern nehmen die Faserverbundmaterialien eine entscheidende Rolle ein. Um das Einsatzspektrum von Fasern und Papier zu erweitern, sind die oben genannten Funktionalisierungen und Modifikationen, aber auch das Verständnis der komplexen Zusammenhänge der Prozesskette zu erarbeiten. Der Leichtbau im Verbund mit Metall stellt Anforderungen an Fasern bezüglich der konstruktionstechnischen Eigenschaften. Diese werden im Bereich der Verpackungen und Teilen der Spezialpapiere schon jetzt eingesetzt. Diese gilt es weiter zu entwickeln. Für den gesamten Verbundbereich (Metall und Kunststoff) gilt es die Interaktivität zwischen den Werkstoffgruppen optimal zu verstehen und zu entwickeln. Die Frage des Ecodesigns der neuen Produkte, wird durch gesetzliche Vorgaben zwar vorgeschrieben, wie das Recycling logistisch und technologisch umgesetzt wird, bedarf jedoch noch umfassender Forschungsaktivitäten.

Neben der Bereitstellung von Fasern ist für eine biobasierte Industrie auch die Umstellung der chemischen Grundstoffe auf biobasierte Herstellungswege wichtig. Hierfür laufen zahlreiche Entwicklungen zur Suche nach geeigneten biobasierten Plattformchemikalien, die auch zum Teil aus dem Holzaufschluss kommen können.

Im Bereich der Plattformchemikalien konnten folgende Schlüsselprodukte mit bekannten Herstellverfahren, die auch im industriellen Maßstab umgesetzt sind, als aussichtsreich identifiziert werden:

- C4-building blocks - Bernsteinsäure, Butandiol,
- C3-building blocks - Hydroxypropionsäure, Propandiol, Milchsäure

Die Chancen für Österreich bestehen hier insbesondere in Verfahrensverbesserungen zur Effizienzsteigerung bei Rohstoffaufbereitung und Produktabtrennung, sowie Beiträgen zu besserer Energieökonomie. Da es sich aber generell um niedrigpreisige Bulk-Chemicals handelt, könnten sich bei der Optimierung der Standorte Chancen für zentrale Standorte in Europa ergeben, speziell wenn die Nähe zu Rohstoffen und Abnehmern gegeben ist.

Schlüsselprodukte wie Ethyllactat erscheinen chancenreich, stehen aber noch nicht in breiter Anwendung. Ethyllactat ist das Ergebnis der Veresterung von Milchsäure mit Ethanol und stellt ein Lösungsmittel auf biogener Basis mit geringer Flüchtigkeit und hohem Siedepunkt dar. Zudem ist es biologisch abbaubar und ungiftig. Aufgrund dieser Eigenschaften wäre das ökologisch vorteilhafte Ethyllactat in vielen Bereichen zur Substitution von Ethylacetat und Aceton geeignet. Joint Ventures zwischen Herstellern und Anwendern wären notwendig, um die Produkte zu testen und damit den Umstieg auf biobasierte Produkte zu forcieren.

Einige Produktionswege erscheinen vielversprechend, werden aber noch nicht in äquivalentem Ausmaß bearbeitet. Hier würden sich Chancen für österreichische Technologieentwicklungen bieten. Diese aussichtsreichen Produkte betreffen vor allem Furandicarbonsäure (FDC), Acrylsäure, Weinsäure und Brenztraubensäure. Hier sind aber noch weitreichende Technologieentwicklungen notwendig, die hohes Erfolgsrisiko beinhalten. Ein Screening der österreichischen Potentiale wäre notwendig, um Forschungsschwerpunkte zu identifizieren.

Für eine erfolgreiche Technologieentwicklung ist jedenfalls die Gesamteffizienz des Prozesses zu beachten. Dazu ist die maximale Rohstoffausnutzung durch optimale Kombination des Prinzips der Bioraffinerie mit nahezu vollständiger Verwertung der Rohstoffe und das Prinzip der kaskadischen Nutzung der Rohstoffe anzustreben.

Präkursorhaltige Biomassen sind bevorzugt einer Stofftrennung bzw. -umwandlung zu unterziehen, welche die Syntheseleistung der Natur für die Bereitstellung von biobasierten Chemiegrundstoffen bestmöglich nutzt. Für eine Nutzung von Auskopplungsprodukten aus der Holzkochung ist vor allem die Entwicklung geeigneter, robuster Analysemethoden notwendig. Diese müssen mit komplexen Stoffströmen wie der Lauge aus der Zellstoffkochung belastbare Ergebnisse erzielen. Nur mit belastbaren Analyseergebnissen ist eine Produktentwicklung beispielsweise für Lignin möglich. Online-Systeme sind notwendig,

um die Prozessführung für mehrere gleichwertige Produkte aus dem Rohstoff Holz zu gewinnen.

Im Bereich der Verfahrens- und Prozessentwicklung ist die Fortführung der Förderung biotechnologischer, chemokatalytischer oder thermochemischer Konversion in anwendungsorientierter Forschung im Vordergrund. Eine weitere technologische Herausforderung liegt im Bereich des Downstreamprocessing, insbesondere bei einer biotechnologischen Verarbeitung. Die Gewinnung der Produkte aus Fermentationsbrühen ist mit bis zu 80 % einer der Hauptkostenfaktoren bei der biotechnologischen Produktion.⁹

Auch im Bereich der Biotreibstoffe sind Tätigkeitsfelder als Schwerpunkte für Österreich denkbar, wie beispielsweise: Biodiesel aus Tallöl, Glycerinverarbeitung, Bioethanol aus lignocellulosen Rohstoffen über Synthesegasfermentation als Alternative zum Fischer-Tropsch Verfahren, Biomethan aus der Fermentation von Gras, Algen und Reststoffen, Algen als Rohstoff für Biotreibstoffe und thermische Verfahren zur Produktion von Biotreibstoffen.

Die Etablierung einer biobasierten Industrie in Österreich kann nicht losgelöst von der Klimapolitik und Förderung der energetischen Nutzung betrachtet werden. Künftige Strategien sind auf Basis einer Gesamtbetrachtung des volkswirtschaftlichen Nutzens zu entwickeln. Wesentliche Bewertungskriterien für die Zukunftsfähigkeit eines möglichen biobasierten Produktes betreffen:

- die Wirtschaftlichkeit (spezifische Gestehungskosten im Vergleich zum fossil basierten Produkt)
- nachhaltige Prozesse, Einbettung in natürliche Kreisläufe
- die Umweltwirkung (z. B. spezifische CO_{2eq}-Einsparung)
- Technologieentwicklungspotential (Technologieführerschaft, Entwicklung der Investitionskosten)
- Wohlfahrtsökonomische Indikatoren (Auswirkungen auf das BIP und die Beschäftigungszahlen, Verteilungswirkung der Technologiefolgen und dgl.)

Im Falle einer Konkurrenzsituation ist der stofflichen Biomassenutzung bei höheren erzielbaren Sekundäreffekten (regionale Wertschöpfung, Versorgungssicherheit,

⁹ Grimm, V., Braun, M., Teichert, O, Zweck, A. (2011) Biomasse – Rohstoff der Zukunft für die chemische Industrie herausgegeben von Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH.

Umweltentlastung) Vorrang gegenüber energetischen Nutzungspfaden zu geben. Begleitende Standardisierungs- und Informationsaktivitäten sollen helfen die Qualität und Akzeptanz biobasierter Produkte zu erhöhen. Mit nachfrageorientierten Maßnahmen sollte eine breite Bewusstseinsbildung für biobasierte Produkte bzw. Verfahren erfolgen.

Aufgrund der gegebenen Strukturen der weltweiten biobasierten Produktion, ist die Unterstützung von Internationalisierungs- und Vernetzungsaktivitäten von österreichischen Unternehmen und Forschern wesentlich, um sich erfolgreich als Technologieexporteur etablieren zu können.

Zur Erreichung einer erfolgreichen Kommerzialisierung der Technologien zur Bereitstellung der aussichtsreichen Schlüsselprodukte, sind vor allem die Finanzierungsmöglichkeiten des erheblichen Zeit- und Kostenaufwands in der Phase zwischen Pilot-/Demonstrationsanlage und Etablierung am Markt auszuweiten.

5.2 Konkrete Empfehlungen

Nachfolgend werden konkrete Handlungsempfehlungen für das BMVIT und andere ministeriellen Förderstellen abgeleitet, die in die folgenden Kategorien unterteilt werden: themenspezifische Schwerpunkte, innovationsförderndes Umfeld und wirtschaftsnahe Umsetzung.

5.2.1 Themenspezifische Schwerpunkte

- Um die Ziele der erhöhten **Ressourceneffizienz**, des **Klimaschutzes** und aber auch die hohen **Umweltstandards** nachhaltig sicherzustellen beziehungsweise zu erreichen, ist die Erforschung der Produktionsprozesse bezüglich der Umweltfaktoren Wasser, Energie und Rohstoffeffizienz kurz-, mittel- und langfristig ein wichtiges Thema. Auch die Flexibilisierung der Produktionsprozesse hinsichtlich des Mengenoutputs aber auch der Verfahrensumstellungen, um individuelle Kundenwünsche zu erfüllen, wird durch die Spezialisierung der Unternehmen immer wichtiger. Für diesen Bereich werden die nachfolgenden spezifischen Förderschienen für die Herstellung und Verarbeitung von Zellulosefasern vorgeschlagen:
 - ➔ Optimierung des Energie- und Rohstoffeinsatzes in Betrieben, sowie von Wasserverbrauch, Wasseraufbereitung und Wasserbehandlung

- ➔ spezifische Förderschienen zur Effizienzverbesserung bei der Nutzung biobasierter und mineralischer Rohstoffe, z. B. höhere Ausbeuten, verstärktes Recycling von Papier- und Textilfasern, verbessertes Chemikalienrecycling
- ➔ gezielte Forschungsschwerpunkte für die Technologieentwicklung und das Know-how der Prozessführung ausschreiben
- Mittel- und langfristig sind **Prozess- und Produktinnovationen**, die eine optimale Nutzung der Eigenschaften und Vorteile von bestehenden und neuen biobasierten Materialien in wettbewerbsfähige Produkte ermöglichen, nötig (Ersatz fossil-basierter Verpackungen durch solche auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen). Die Funktionalisierung der Fasern für bestehende und neue Anwendungsbereiche durch konventionelle physikalische und chemische Methoden, aber auch durch gezielten Einsatz von Enzym- und Biotechnologie im Produktionsprozess verspricht einen Technologieschub für die Unternehmen und einen Wettbewerbsvorteil am Markt. Technologien wie das Tiefziehen von Papier ermöglichen 3-dimensionale Verpackungslösungen, ähnlich denen von Kunststoff. Weiterentwicklungen durch die Ausrüstung der Fasern ermöglichen die Produktion von durchsichtigen, wasserlöslichen oder wasserbeständigen Faserprodukten, Filmen und Formkörpern. Die Produktion von kleinsten, kugelförmigen Teilchen ermöglicht den Einsatz von Fasern in Kunststoffen, Schäumen und Isolationsmaterialien. Der Einbau funktioneller Gruppen und Moleküle führt zu für klassische Fasern völlig neuen Einsatzgebieten, z. B. in der Elektronik (leitfähige, halbleitfähige Materialien), Energietechnik (Solarzellen auf Zellulosebasis) und Sensortechnik (fluoreszierende Materialien, Indikatoren, Sensoren). Viele dieser Entwicklungen werden unter dem Begriff "intelligent fibers" zusammengefasst. Weitere wichtige Aspekte neuer Faserentwicklungen sind die Rückverfolgbarkeit (Fluoreszenz) sowie die biologische Abbaubarkeit.
- ➔ Produkt- und Applikationsinnovationen für Papier, Regeneratfasern und neue zellulosische Formkörper
- Um die Wertstoffe Zellulose, Lignin und Hemicellulose einer stofflichen Nutzung zuführen zu können, sind alternative, großtechnisch durchführbare Holzaufschlussverfahren notwendig, die die gleichzeitige Produktion der genannten Stoffe erlauben. Um die bestehende Infrastruktur der Unternehmen dafür nutzen zu

können, müssen die alternativen Prozesse in bestehende Anlagen als vor- oder nachgeschaltete Prozesse integriert werden können. Aufbauend auf einem umfassenden Verständnis der Ligninstruktur und einer verlässlichen Ligninanalytik, die eine gleichbleibende Ligninqualität überprüfen und gewährleisten können, ist eine stoffliche Verwertung des bisher nur energetisch genutzten Rohstoffes Lignin für die Zellstofferzeuger ein wichtiges langfristiges Ziel. Zahlreiche Laborversuche zu alternativen Aufschlusstechnologien bestehen bereits.

➔ Technologie- und Analytikentwicklung zur Verarbeitung und Charakterisierung von Lignin

➔ Förderung von Prozess-Upscaling und Integrationskonzepten in die bestehende Industrie

- **Aufbereitungs- und Abtrenntechnologien** sind universell für konventionelle und biogene Produkte einsetzbar bzw. werden benötigt, da sie große Effizienzsteigerungen versprechen. Mit Forschungsschwerpunkten können neue Abtrenntechnologien, die deutliche Effizienzverbesserungen für den Prozess versprechen, wie z. B. Membranverfahren, Österreichs Position als Know-how Träger forcieren.

➔ Sondierungsstudien über Know-how in diesen Bereichen

➔ Gezielte Forschungsschwerpunkte für Grundoperationen der Aufbereitungs- und Produktabtrenntechnologien

5.2.2 Innovationsförderndes Umfeld

- Entwicklung von **Strategien zur Erzielung verbesserter Wertschöpfung aus inländischen Ressourcen**. Dabei sollten die Möglichkeiten der Steigerung der stofflichen Verwertung von inländischem Holz in kaskadischer Nutzung mit energetischer Verwertung am Ende des Produktlebens untersucht und Wege zur Implementierung betrachtet werden.

➔ Ausschreibungsschwerpunkte für die Entwicklung von Strategien zur effizienten kaskadischen Rohstoffnutzung mit hoher Ressourcenproduktivität

➔ Akkordierung der wesentlichen erfolversprechenden Einsatzbereiche für biobasierte Produkte

- ➔ Initiierung von Förderschienen zur Förderung des Einsatzes von Biomasse in diesen Bereichen
- **Technologieentwicklung** in entwicklungsfähigen und zukunftsorientierten Bereichen fördern (z. B. FDC, Brenztraubensäure, Weinsäure). Thematisieren dieser Bereiche für die österreichischen Forscher, Suche nach Technologie- und Forschungspotentialen in Österreich.
 - ➔ Sondierungsstudien nach vielversprechenden Entwicklungsbereichen
 - ➔ Initiative für Technologiecluster und Kompetenzzentren
- Förderung und Forcierung der **internationalen Vernetzung** von potentiellen Technologieentwicklern und –exporteuren.
 - ➔ Unterstützung der Mitwirkung österreichischer Forscher bei internationalen Projekten mit Anbahnungsfinanzierungen
 - ➔ Finanzierung von Vernetzungstreffen
- **Meinungsbildende Maßnahmen** und Informationsverbreitung über die Sinnhaftigkeit und den Nutzen von biobasierten Produkten zur Steigerung der Nachfrage und Verbesserung der Marktchancen.
 - ➔ Informationsveranstaltungen
 - ➔ Tagungen und Workshops gemeinsam mit Wirtschaftsvertretungen zur Vorstellung neuer Entwicklungen
 - ➔ Verbreitung der Informationen in Print- und visuellen Medien

5.2.3 Wirtschaftsnahe Umsetzung

- Für Produkte mit bereits entwickelten Technologien (Bernsteinsäure, etc.) könnten die zentrale Lage Österreichs, die hohe Verfügbarkeit biogener Ressourcen, aber auch hohe Abnehmerdichte in Mitteleuropa Vorteile für **Österreich als Produktionsstandort** bringen. Vorhandenes Technologie-Know-how, betriebliche Infrastruktur und Erfahrung mit chemischen und biotechnologischen Prozessen stellen hierfür zusätzliche

Entscheidungsargumente dar. Folgende Wege zur Förderung österreichischer Produktionsstandorte werden vorgeschlagen:

- ➔ Unterstützung der Standortauswahl gemeinsam mit einschlägigen Landes- und Bundesstellen. Förderung von Pilotanlagen und neuen Business Modellen zur Ansiedlung von Betrieben
- ➔ Unterstützung von Joint Ventures zwischen Anbietern und Anwendern von Grundstoffen zur Produktentwicklung (z. B. Ethyllactat). Synergieeffekte zwischen bestehenden Industrien und potentiellen neuen Geschäftszweigen evaluieren
- ➔ Unterstützung von Betrieben bei der Suche nach geeigneten patentierten Verfahren für die Herstellung biobasierter Produkte gemeinsam mit Wirtschaftsförderungsstellen

Literaturverzeichnis

- Albrecht, J., Carrez, D., Cunningham, P., Daroda, L., Mancia, R., Mathe, L., Raschka, A., Carus, M. und Piotrowski, S., 2010. The Knowledge Based Bio-Economy (KBBE) in Europe: Achievements and Challenges. Meise: Clever Consult BVBA.
- Arnold, K., Bienge, K., Borbonus, S., v. Geibler, J., Kristof, K. und Stachura, C., 2009. Kaskadennutzung von nachwachsenden Rohstoffen: Ein Konzept zur Verbesserung der Rohstoffeffizienz und Optimierung der Landnutzung. Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH.
- Bacovsky, D., Fürnsinn, S., Hofbauer, H., Jungmeier, G., Kaltenecker, I., Könighofer, K., Lingitz, A., Spitzer, J. und Wörgetter, M., 2009. Basispapier "F&E-Strategie für Biotreibstoffe". Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
- Barbosa, M., Blaauw, R., de Jong, E., Gosselink, R., Higson, A., Jorgensen, H., Mandl, M., McLaughlin, M., Smith, M. A., Walsh, P., Wellisch, M., Willke, T. und van Ree, R., 2012. Bio-based Chemicals – Value Added Products from Biorefineries. IEA Bioenergy.
- Bioamber, Inc., 2012. Bio-Succinic Acid. Verfügbar in: http://www.bio-amber.com/bioamber/en/products/succinic_acid [Abfrage am 24.7.2012].
- Böchzelt, H., Schnitzer, H. und Wagner, S., 2007. Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
- Boniface, L., Cherubini, F., de Jong, E., Dohy, M., Jorgensen, H., Jungmeier, G., Mandl, M., Philips, C., Pouet, J.-C., Skiadas, I., Walsh, P., Wellisch, M., Willke, T. und Van Ree, R., 2009. IEA Bioenergy Task 42 on Biorefineries: Co-production on fuels, chemicals, power and materials from biomass. IEA Bioenergy.
- Braun, M., Teichert, O. und Zweck, A., 2006. VDI Übersichtsstudie. Biokatalyse in der industriellen Produktion – Fakten und Potentiale zur weißen Biotechnologie. Zukünftige Technologien Nr. 57. Düsseldorf: Zukünftige Technologien Consulting (ZTC) der VDI Technologiezentrum GmbH.
- Braun, M., Grimm, V., Teichert, O. und Zweck, A., 2011. Biomasse – Rohstoff der Zukunft für die chemische Industrie. Düsseldorf: Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH.
- Bullis, K., 2010. Fleißige Bakterien. Hannover: Technology Review. Verfügbar in: <http://www.heise.de/tr/artikel/Fleissige-Bakterien-1082514.html> [Abfrage am 10.7.2012].
- Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2010. Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030 – Unser Weg zu einer bio-basierten Wirtschaft.
- Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2012. TEILPROJEKTE - Gewinnung von Proteinen und Milchsäure aus Grassäften und Grassilagesaft. Wien. Verfügbar in:

- <http://www.nachhaltigwirtschaften.at/publikationen/forschungsforum/041/teil2.de.html> [Abfrage am 10.7.2012].
- Carus, M. und Raschka, A., 2012. Stoffliche Nutzung von Biomasse – Basisdaten für Deutschland, Europa und die Welt. Hürth: nova-Institut GmbH.
- Ehrig, R., Strasser, C. und Wörgetter, M., 2009. Bestandserhebung zur stofflichen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in Österreich - Studie im Rahmen des Programms klima:aktiv nawaromarkt im Auftrag der Österreichischen Energieagentur. Graz: Bioenergy 2020+ GmbH.
- Gore, A., 2009. Wir haben die Wahl – Ein Plan zur Lösung der Klimakrise. München: Riemann Verlag.
- Fonds der chemischen Industrie, 2009. Informationsserie Nachwachsende Rohstoffe. Frankfurt am Main: Fonds der chemischen Industrie.
- Gabrielczyk, T., 2010. Öl-Entzug für die Chemie. Hannover: Technology Review. Verfügbar in: <http://www.heise.de/tr/artikel/Oel-Entzug-fuer-die-Chemie-1075520.html> [Abfrage am 24.7.2012].
- Hirth, T., 2011. Herausforderung Rohstoffwandel – Alternativ mit nachwachsenden Rohstoffen dem Wandel begegnen. InnovationsForum Bioökonomie – Herausforderungen für Industrie, Landwirtschaft und Umwelt. Frankfurt.
- International Energy Agency, 2010. Energy Technology Roadmaps – a guide to development and implementation.
- Kempf, J., 2011. BASF baut Acrylsäure-Produktionskomplex in Brasilien. Würzburg: Vogel Business Media GmbH & Co.KG. Verfügbar in: http://www.process.vogel.de/anlagen_apparatebau/engineering_dienstleistung/grossanlagen/articles/327513/ [Abfrage am 15.6.2012].
- Lenzing AG, 2003. Nachhaltigkeit in der Lenzing Gruppe. Lenzing: Lenzing AG.
- Papendiek, F., 2010. Bioraffinerien: Die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe und die Verlagerung ihrer Veredelung in den ländlichen Raum. Leibniz: Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V..
- Patel, M., Alles, C., Aracil, J., Boydell, P., Brask, J., Crank, M., de Wolf, W., Dornburg, V., Hermann, B., Hüsing, B., Karau, A., Kirk, O., Law, D., Martinez, M., Muska, C., Musket, M., Nisbet, T., Nossin, P., Overbeek, L., Poulina, M., Recchia, E., Roes, L., Rupp-Dahlem, C., Simons, P., Terragni, F., Vicente, M., Vink, E. und Weusthuis, R., 2006. Medium and Long-term Opportunities and Risks of the Biotechnological Production of Bulk Chemicals from Renewable Resources – The Potential of White Biotechnology. The BREW Report. Utrecht: Utrecht University. Department of Science, Technology and Society (STS) / Copernicus Institute.
- Stiehl, C., 2010. EU-Leitmarktinitiative biobasierte Produkte – ein Schritt auf dem Weg zu mehr Nachhaltigkeit? Kommunikation & Regierungsbeziehungen BASF Gruppe / Wirtschaftspolitik.
- Verdezyne, Inc., 2011. Adipic Acid. Carlsbad. Verfügbar in: <http://www.verdezyne.com/verdezyne/Products/adipic.cfm> [Abfrage am 27.6.2012].

Wissens- und Innovations-Netzwerk Polymertechnik, 2012. 100% biobasierte PEF-Flaschen.
Verfügbar in: <http://wip-kunststoffe.de/wip/en/news/100-biobasierte-pef-flaschen/>
[Abfrage am 10.7.2012].