

Biomasse – Rohstoff der Zukunft für die chemische Industrie

Übersichtsstudie



Vera Grimm, Matthias Braun, Olav Teichert, Axel Zweck

Biomasse - Rohstoff der Zukunft für die chemische Industrie

Übersichtsstudie

Dr. Vera Grimm
Dr. Matthias Braun
Dr. Olav Teichert
Dr. Dr. Axel Zweck

Herausgeber:
Zukünftige Technologien Consulting
der VDI Technologiezentrum GmbH
Airport City
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf

Durchführung: Dr. Vera Grimm
Dr. Matthias Braun
Dr. Olav Teichert
Dr. Dr. Axel Zweck

Kontakt: Dr. Vera Grimm (grimm@vdi.de)

Die Autoren danken Sabine Droll für Ihre Recherchen.

Zukünftige Technologien Nr. 90
Düsseldorf, im März 2011
ISSN 1436-5928

Für den Inhalt zeichnen die Autoren verantwortlich. Alle Rechte sind vorbehalten, auch die des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen photomechanischen Wiedergabe (Photokopie, Mikrokopie) und das der Übersetzung.

Titelbild: Kornfeld und Strohballen bei Hamm, Foto von Dirk Vorderstraße.

Zukünftige Technologien Consulting (ZTC)
der VDI Technologiezentrum GmbH

Airport City
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf

www.zt-consulting.de

Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG	7
2	EINLEITUNG	11
2.1	Zukunftsfeld biobasierte Chemie-Wirtschaft	12
2.2	Methodik der Studie	16
3	HINTERGRUND	17
3.1	Biomasse – was ist das?	17
3.2	Biomasse-Präkursoren und Plattformchemikalien	17
3.3	Produkte und Anwenderbereiche	22
3.4	Technologien und Innovationstreiber	24
4	STAND UND PERSPEKTIVEN EINER BIOBASIERTEN CHEMIE- WIRTSCHAFT	37
4.1	Auswahl von 26 Plattformchemikalien	37
4.2	Datenblätter der Plattformchemikalien	38
4.3	Entwicklungsdynamik der Plattformchemikalien	90
4.4	Fallbeispiel Polymilchsäure (PLA)	94
4.5	Fallbeispiel Bernsteinsäure	96
4.6	Entwicklungsstand von Bioraffinerien	99
4.7	Politische Rahmenbedingungen	103
5	CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN	107
6	FAZIT UND AUSBLICK	111
	ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS	115
	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS UND FACHTERMINI	117
	LITERATUR	121

1 ZUSAMMENFASSUNG

Zukunftsmarkt biobasierte Chemie-Wirtschaft

Die Chemie-Wirtschaft sieht sich im 21. Jahrhundert großen Herausforderungen gegenüber. Eine davon ist die Bewältigung des Paradigmenwechsels von der erdölbasierten zur biobasierten Chemie-Wirtschaft. Erdöl ist bekanntlich in seiner Verfügbarkeit endlich und der Bedarf einer erweiterten Rohstoffbasis ist im Sinne einer langfristigen Versorgungssicherheit für die chemische Industrie von wachsender Bedeutung. Schon heute werden immer mehr biobasierte Produkte hergestellt, besonders im Kunststoffmarkt oder in der Fein- und Spezialchemie. Die künftigen Anwendungsmöglichkeiten für biobasierte Chemie-Produkte gehen darüber jedoch noch deutlich hinaus. Biobasierte Plattformchemikalien können als Ausgangsstoff für viele Produkte genutzt werden.

Innovationstreiber und Technologien

Bedeutende Treiber der biobasierten Chemie-Wirtschaft und der Bioökonomie sind neben den politischen Rahmenbedingungen vor allem neue Produkte, der Nachhaltigkeitsgedanke im Unternehmen, steigende Ölpreise sowie niedrige Kosten für biogene Rohstoffe. Zum Beispiel wird der Rohstoff Glycerin immer kostengünstiger, seit er als Abfallprodukt bei der Biodieselherstellung anfällt. Damit ist Glycerin als Ausgangssubstanz für biobasierte Synthesen interessant.

Wichtige Treiber der biobasierten Chemie-Wirtschaft sind auch innovative Technologieansätze, die das Potenzial haben technologische Herausforderungen zu überwinden. Die industrielle Biotechnologie spielt hierbei eine besondere Rolle, aber auch der Anlagenbau und die Prozesstechnik sind bedeutsam, beispielsweise für die Entwicklung integrierter Bioraffinerien. Neue bahnbrechende Technologien wie die System- und die Synthetische Biologie könnten in Zukunft ebenfalls eine Treiberfunktion bei der Herstellung biobasierter Produkte einnehmen.

26 Plattformchemikalien mit besonderem Substitutionspotenzial

Der Fokus der vorliegenden Studie liegt auf der stofflichen Nutzung von Biomasse. Dazu werden 26 Plattformchemikalien analysiert, die eine Ausgangsbasis für zahlreiche Produkte sind. Sie zeichnen sich besonders durch ein hohes Substitutionspotenzial gegenüber erdölbasierten Substanzen aus. Für jeden der 26 Stoffe sind in einem Datenblatt chemische Eigenschaften, Anwendungen, Branchen, Märkte, Herstellungsverfahren (konventionell, biobasiert) und die Entwicklungsdynamik der biobasierten Produktion aufgeführt.

Die Betrachtung dieser ausgewählten Plattformchemikalien zeigt, dass noch die wenigsten heute biobasiert hergestellt werden. Ausnahmen sind solche Produkte, die schon seit langem traditionell aus biogenen Rohstoffen hergestellt werden. Dazu gehören Fette, Öle, Proteine, Aminosäuren und verschiedene Biokunststoffe. Für die meisten der vorgestellten Platt-

formchemikalien sind die heutigen biobasierten Produktionsvolumina eher gering, wenn auch bei elf Substanzen eine starke Entwicklungsdynamik der biobasierten Produktion erkennbar ist. Bei einigen Stoffen, wie zum Beispiel dem 1,4-Butandiol und der 3-Hydroxypropionsäure, sind hohe Ölpreise und eine auf Glycerin basierende Herstellung deutliche Treiber für eine biobasierte Herstellung. In anderen Fällen, wie etwa bei der Fumarsäure, sind biobasierte Herstellungsverfahren seit Jahrzehnten bekannt, konnten aber bisher noch nicht wirtschaftlich umgesetzt werden.

Anhand von zwei Fallbeispielen (Polymilchsäure und Bernsteinsäure) wird in dieser Studie der Entwicklungsstand erfolgreicher biobasierter Produkte verdeutlicht. Mit Polymilchsäure (PLA) ist ein biobasierter Kunststoff seit längerem am Markt platziert. PLA kann heute kompetitiv zu erdölbasierten Kunststoffen hergestellt werden und findet dank verbesserter Materialeigenschaften eine immer stärkere Verbreitung. Einsatzgebiete sind zum Beispiel Innenverkleidungen von Automobilen, Handyschalen oder Folien. Die Bernsteinsäure hingegen ist ein Beispiel für eine viel versprechende Plattformchemikalie, deren großtechnische Produktion weltweit gerade erst anläuft. Die Anwendungsmöglichkeiten der Bernsteinsäure sind breit gefächert. Ein aus der Bernsteinsäure synthetisierbares Derivat könnte sogar für den über fünf Milliarden Euro großen 1,4-Butandiol-Markt (Kunststoffe, Lösungsmittel, Fasern) interessant werden. Die chemische Industrie verfolgt die Entwicklung der Bio-Bernsteinsäure daher interessiert, aber zurückhaltend.

Entwicklungsstand von Bioraffinerien

Die integrierten Konzepte der Bioraffinerien befinden sich überwiegend im frühen Entwicklungsstadium. Dementsprechend ist die Zahl der Bioraffinerien in Deutschland und in Europa noch gering. Die meisten der Anlagen sind Demonstrations- oder Pilotanlagen, kommerzielle Bioraffinerien sind eher die Ausnahme. In Deutschland gibt es gemäß der Antwort der Bundesregierung auf eine kleine Anfrage im Jahr 2010 sieben Bioraffinerie-Anlagen. In ganz Europa sind es laut der Webseite von EuropaBio 121 Anlagen.¹ Die USA nehmen hinsichtlich des Baus, dem Betrieb und der Förderung von Bioraffinerien eine führende Rolle ein. Alleine im sogenannten „Biomass Program“² des US-amerikanischen Energieministeriums werden 29 Bioraffinerien gefördert.

Politische Rahmenbedingungen

Der verstärkte Einsatz von Biomasse ist ein vordringliches politisches Ziel in verschiedenen Ländern. Obwohl der Fokus meist auf der energetischen Nutzung liegt, nimmt auch die stoffliche Nutzung von Biomasse eine immer wichtigere Rolle ein. In Deutschland wird die stoffliche Nutzung von Biomasse insbesondere durch staatliche Förderprogramme vo-

¹ <http://www.bio-economy.net/search/search.asp>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

² <http://www1.eere.energy.gov/biomass/>, zuletzt abgerufen am 09.03.2011

rangetrieben. Die Förderprogramme setzen zum Beispiel in den Bereichen marktnahe F&E, vorwettbewerbliche Verbundprojekte, regionale Clusterbildung, KMU-Förderung oder in Einzelfällen bei der gezielte Förderung von Bioraffinerie-Pilotanlagen an. Die neue „Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“³ der Bundesregierung hat die Weiterentwicklung der Bioökonomie zum Ziel. Auf Europäischer Ebene werden ebenfalls vor allem Fördermaßnahmen innerhalb der Europäischen Forschungsrahmenprogramme sowie Maßnahmen zur Stärkung der Marktnachfrage eingesetzt, um die Bioökonomie zu stärken. Ein Beispiel hierfür ist die Leitmarktinitiative der Europäischen Kommission. Ziel ist es, innovationsfreundliche Leitmärkte zu entwickeln und die Vermarktung von innovativen Produkten zu erleichtern. Einer der zu entwickelnden Leitmärkte konzentriert sich auf „Biobasierte Produkte“. In den USA werden sowohl die stoffliche Nutzung von Biomasse als auch generell der Wandel zu einer biobasierten Wirtschaft stärker vorangetrieben als in Deutschland oder Europa. Der Wunsch nach Versorgungssicherheit und –unabhängigkeit zum Beispiel in Bezug auf Energie und Chemie-Produkte ist stark ausgeprägt. So wird im US-amerikanischen „Biomass Research and Development Act of 2000“⁴ explizit die weitere Entwicklung von biobasierten industriellen Produkten festgeschrieben. Die US-amerikanischen Forschungsförderprogramme sind außerdem finanziell sehr gut ausgestattet. Die USA setzt neben der Forschungsförderung wie die Europäische Kommission auch auf die Stärkung der Marktnachfrage.

Chancen und Herausforderungen

Die stoffliche Nutzung von Biomasse – und besonders auch die Einführung von Bioraffinerien – bietet zahlreiche Chancen für Deutschland. So kann sie beispielsweise einen entscheidenden Beitrag zur Erreichung umweltbezogener Ziele der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie durch CO₂-Neutralität und nachhaltiger Ressourcennutzung leisten. Aus ökonomischer Sicht bietet der Übergang zur biobasierten Chemie-Wirtschaft für Deutschland Möglichkeiten neue Absatzmärkte und Wertschöpfungsketten im In- und Ausland zu erschließen. Eine biobasierte Chemie-Wirtschaft ermöglicht außerdem die Entwicklung neuer Produkte auch mit völlig neuartigen Funktionalitäten.

Deutschland ist generell auf Innovationen und innovative Technologien als Wirtschaftstreiber angewiesen. Möglichkeiten für einen weiteren Ausbau der bereits guten Position Deutschlands bestehen vor allem in den Bereichen chemische Prozesstechnik, Katalysator-Entwicklung und Biotechnologie. Deutschland hat darüber hinaus eine sehr gute Ausgangslage bei der Verarbeitung von verschiedenen, in großen Mengen

³ <http://www.bmbf.de/pub/biooekonomie.pdf>, zuletzt abgerufen am 09.03.2011

⁴ http://www.usbiomassboard.gov/pdfs/biomass_rd_act_2000.pdf, zuletzt abgerufen am 09.03.2011

anfallenden Rohstoffen, wie zum Beispiel Holz, Stroh oder Grünpflanzen.

Bevor sich biobasierte Produktionsverfahren und hierbei besonders die integrierten Konzepte jedoch umsetzen lassen, sind noch weitere politische, sozio-ökonomische, technologische und nicht zuletzt ökologische Herausforderungen zu bewältigen. Dazu gehören unter anderem:

- Eine klare und dauerhafte Positionierung der Politik zur Planungssicherheit für Unternehmen.
- Eine gesicherte Verfügbarkeit und standardisierte Qualität der Biomasse.
- Berücksichtigung der Konkurrenzsituation von Biomasse zur Lebens-, Futtermittel- und Energieproduktion.
- Eine realistische Kostenabschätzung zum Beispiel der Investitionskosten, Betriebskosten oder Rohstoffkosten. Berücksichtigung der Kosten für Umstellung von Altanlagen oder dem Bau von Neuanlagen.
- Die Sicherstellung einer ausreichenden und marktorientierten Förderung von zum Beispiel KMU und F&E.
- Die Einbeziehung von ökologischen Faktoren in Lebenszyklusanalysen (LCA).

Die Fülle an Herausforderungen im sozio-ökonomischen und politischen Bereich darf allerdings nicht darüber hinweg täuschen, dass vor allem technologische Hürden auf dem Weg zu einer kostengünstigen und kompetitiven Herstellungsweise zu überwinden sind. Besonders das Downstreaming gehört heute zu den größten technischen Fragestellungen bei der fermentativen Verarbeitung von Biomasse. Die Extraktion der Produkte aus Fermenterbrühen ist mit bis zu 80 % einer der Hauptkostenfaktoren bei der biotechnologischen Produktion. Weitere technologische Hürden beinhalten zum Beispiel:

- Die Entwicklung neuer spezifischer Katalysatoren und Biokatalysatoren.
- Das Pathway-Engineering von Mikroorganismen und die Erzeugung neuer Organismen.
- Die Konzeption und Umsetzung innovativer Anlagenkonzepte.
- Das kostengünstige Downstreaming und Upscaling.

Diese und andere technologische Fragen müssen von Entwicklern und Anwendern gleichermaßen adressiert werden, wenn die biobasierte Chemie-Wirtschaft vorangebracht werden soll.

2 EINLEITUNG

Der Welt stehen große Veränderungen bevor. Die Erdbevölkerung wird von heute rund sieben auf etwa acht Milliarden Menschen im Jahr 2025 ansteigen, die immer mehr Energie und Rohstoffe benötigen [EC 2009]. Der World Wildlife Fund prognostiziert in seinem neuesten Living Planet Report, dass im Jahr 2030 zwei Planeten benötigt würden um die Menschheit zu versorgen [WWF 2010]. Neben den Industrienationen verlangen vor allem Schwellenländer wie China oder Indien immer stärker nach Energie und Rohstoffen als Basis für den Wohlstand ihrer Bevölkerungen.

Die Vorräte an fossilen Rohstoffen – Ausgangssubstanzen für den Energiesektor und viele Industrien – sind jedoch endlich und ihre Nutzung hat eine negative Klimabilanz. Die Verarbeitung fossiler Rohstoffe, insbesondere deren Verbrennung, setzt große Mengen des klimaschädlichen Treibhausgases CO₂ frei. Dieses wird ursächlich für den menschenverursachten Klimawandel verantwortlich gemacht.

Vorräte an fossilen Rohstoffen sind endlich

Unsere auf Erdöl basierende Wirtschaft kann daher in ihrer heutigen Form nicht von Dauer sein und wird langfristig auf ein nachhaltigeres System umgestellt werden müssen. Wie diese zukünftige Wirtschaft aussehen könnte, ist Gegenstand vieler Debatten. Die biobasierte Wirtschaft oder Bioökonomie kann ein Baustein oder ein Ziel auf dem Weg zu einem nachhaltigen System mit Energie- und Rohstoffsicherheit sein. Denn es wird weltweit eine vordringliche Aufgabe sein, Energie nachhaltig zu erzeugen und Rohstoffe nachhaltig zu bewirtschaften. Der Begriff der Bioökonomie „umfasst dabei alle industriellen und wirtschaftlichen Sektoren und ihre dazugehörigen Dienstleistungen, die biologische Ressourcen (Pflanzen, Tiere, Mikroorganismen) produzieren, ver- und bearbeiten oder in irgendeiner Form nutzen.“⁵

Erdölbasierte Wirtschaft kann nicht von Dauer sein

Während jedoch in der Energiewirtschaft verschiedene regenerative Energieformen zur Verfügung stehen, sind für die künftige Rohstoffbasis der chemischen Industrie in den meisten Produktfeldern nur wenige Alternativen möglich.

Künftige Rohstoffbasis der chemischen Industrie

Die vorliegende Studie beschäftigt sich daher insbesondere mit den Potenzialen der stofflichen Nutzung von Biomasse und den Perspektiven einer biobasierten Chemie-Wirtschaft. Sie vereint Ergebnisse und Prognosen unterschiedlicher verfügbarer Studien und Projekte, um so einen Blick in die Zukunft zu wagen.

⁵ <http://www.biooekonomierat.de/biooekonomie.html>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

Chemische Industrie ist eine tragende Säule unserer Volkswirtschaft

2.1 Zukunftsfeld biobasierte Chemie-Wirtschaft

Die chemisch-pharmazeutische Industrie ist eine tragende Säule unserer Volkswirtschaft und Innovationsmotor für die unterschiedlichsten Branchen. Sie beschäftigt mehr als 440.000 Mitarbeiter in Deutschland und erwirtschaftete einen Umsatz von über 175 Milliarden Euro in 2008 [VCI 2009]. Weltweit betrug der Umsatz der chemisch-pharmazeutischen Industrie in 2008 über 2.500 Milliarden Euro [IKB 2010]. Sie ist damit einer der größten Industriezweige in Deutschland und weltweit. Der Hauptteil des Umsatzes betrifft mit fast 50 % chemische Grundstoffe, gefolgt von Pharmazeutika mit 24 % (vgl. Abbildung 1).

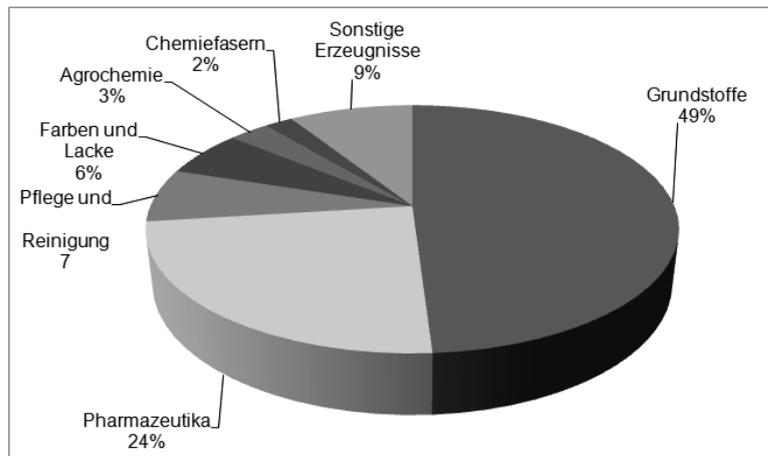


Abbildung 1: Umsatz der chemisch-pharmazeutischen Industrie, Angaben für 2008, Unternehmen ab 50 Beschäftigten (Quelle: Statistisches Bundesamt).

Die chemische Industrie ist für die Synthese von Vor-, Zwischen- und Endprodukten in hohem Maße von Rohstoffen abhängig. Laut dem Verband der Chemischen Industrie (VCI) verwendete die chemische Industrie im Jahr 2008 gerade mal 4 % der insgesamt genutzten fossilen Rohstoffe für die Herstellung von Chemie-Produkten. Der Großteil der fossilen Rohstoffe wird energetisch, also überwiegend für den Energie- und den Transportsektor, verwendet (vgl. Abbildung 2). Die von der chemischen Industrie im Jahr 2008 eingesetzten 18,5 Millionen Tonnen fossiler Rohstoffe, das sind 87 % der Rohstoffbasis der chemischen Industrie, bestehen zum größten Teil aus Naphta. Damit ist Erdöl neben Gas der wichtigste Ausgangsstoff für die chemische Industrie und in den letzten 30 Jahren hat sich eine hoch optimierte Petrochemie entwickelt.

Biomasse wird in der chemischen Industrie in Deutschland in der Größenordnung von 2,7 Millionen Tonnen pro Jahr eingesetzt, was etwa 13 % der Rohstoffbasis der chemischen Industrie entspricht.

Erdöl ist der wichtigste Rohstoff der chemischen Industrie

Nur 13 % der Rohstoffbasis der chemischen Industrie besteht aus Biomasse

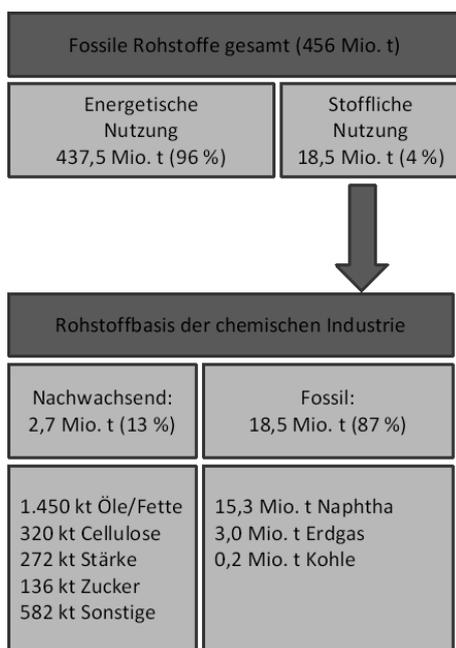


Abbildung 2: Rohstoffbasis der chemischen Industrie für die stoffliche Nutzung in Deutschland im Jahr 2008 (Quelle: ⁶).

Darüber hinaus wurden zum Beispiel im Jahr 2007 in Deutschland weitere ca. 900.000 Tonnen Biomasse überwiegend in der Papier- und Textilindustrie stofflich genutzt. Holz als nachwachsender Rohstoff ist hier nicht enthalten. Der Großteil der eingesetzten Biomasse wird importiert (64 %) und nur 36 % werden in Deutschland hergestellt [Nova Institut 2010].

Der Anteil biobasierter Chemie-Produkte ist heute noch gering. Bereits mittelfristig werden aber die erdölbasierten Produkte der chemischen Industrie schrittweise um biobasierte Bausteine ergänzt werden. Im Jahr 2007 betrug der mit biobasierten Produkten erwirtschaftete Umsatz 48 Milliarden Euro weltweit und damit etwa 3,5 % des Gesamtumsatzes der Chemie-Branche. Für 2012 wird bereits ein Umsatz von 135 Milliarden Euro (7,7 % des Umsatzes in der Chemie-Branche) und für 2017 gar 340 Milliarden Euro und über 15 % des Umsatzes der Chemie-Branche erwartet [Festel 2010, Carrez 2010]. Für 2025 könnte dieser Anteil unter guten Bedingungen sogar auf 22 % und einem weltweiten Umsatz von über 600 Milliarden USD anwachsen. Für einzelne Bereiche werden noch weit höhere Anteile erwartet, so könnten 40-50 % der Spezial- und Feinchemie im Jahr 2025 biobasiert sein [USDA 2008]. Allerdings sind

Biobasierte
Chemie-Produkte
haben hohe
Wachstumsraten

⁶ Daten entnommen von „Rohstoffbasis der chemischen Industrie: Daten und Fakten“, VCI, 2010.

die Prognosen sehr unterschiedlich, nach einer neuen Abschätzung könnte der Markt für „erneuerbare Chemikalien“ bis 2015 auf nur 67 Milliarden USD anwachsen [MarketsandMarkets 2011].

Einer der wichtigsten
Innovationstreiber:
die Industrielle
Biotechnologie

Einer der wichtigsten Innovationstreiber bei der Verwendung von Biomasse in der Chemie- und Pharmazie-Branche ist die industrielle Biotechnologie. Sie erwirtschaftete im Jahr 2006 einen Umsatz von sieben Milliarden Euro in Deutschland und weltweit 77 Milliarden USD. Für 2010 wird weltweit ein Umsatz von 125 Milliarden USD erwartet bei Wachstumsraten von über 60 % [Haas 2008]. Die biobasierte industrielle Biotechnologie hat darüber hinaus das Potenzial erhebliche Mengen des Treibhausgases CO₂ einzusparen, wie das dänische Biotech-Unternehmen Novozymes und der World Wide Fund (WWF) in einer Studie hervorheben [Bang 2009]. Der Studie zufolge beträgt das jährliche Einsparpotenzial von CO₂ durch biotechnologische Verfahren 1,0 bis 2,5 Milliarden Tonnen im Jahr 2030.

Konzept der
wissensbasierten
Bioökonomie

Der „Grünen Chemie“⁷ wird daher im Kampf gegen den Klimawandel eine wichtige Rolle zugeschrieben und deren Unterstützung und Entwicklung durch die Politik Raum gegeben. Das Konzept der wissensbasierten Bioökonomie (KBBE, knowledge based bio economy) wurde von der Europäischen Kommission im Jahr 2005 vorgestellt und ihr weiterer Ausbau bis 2020 als eine Top-Priorität in der neuen EU 2020-Strategie hervorgehoben.⁸ In den USA hat das US-Energieministerium (Department of Energy, DOE) bereits 2004 eine Studie zu den Potenzialen der biobasierten Herstellung von Basischemikalien vorgestellt [DOE 2004]. Auch auf der Forschungsagenda der Bundesregierung steht die BioÖkonomie ganz oben. Seit 2009 wird in Deutschland neben der energetischen auch die stoffliche Nutzung von Biomasse durch den vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) vorgestellten Aktionsplan zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe politisch forciert [BMELV 2009]. Im selben Jahr wurde der Bio-Ökonomierat mit Mitteln des Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gegründet, der einerseits einen Überblick über Perspektiven und Chancen der Bioökonomie in Deutschland bieten und andererseits wissenschaftlich fundierte Empfehlungen an die Bundesregierung abgeben soll. Der BioÖkonomierat ist zusammengesetzt aus Wissenschaftlern und politischen Akteuren insbesondere der agrarwissenschaftlichen Bereiche, wie Boden- und Landnutzung, Pflanzen- und Tierzüchtung sowie Agrarökonomie. Im Jahr 2010 wurde vom BMBF schließlich ein eigenes Referat Bioökonomie eingerichtet und die „Nati-

BMELV: Aktionsplan
zur stofflichen
Nutzung nachwach-
sender Rohstoffe

⁷ Die Grüne Chemie hat das Ziel umweltschonend zu produzieren, Ressourcen nachhaltig zu nutzen, Energie einzusparen und Umweltverschmutzungen einzudämmen. Ein 12-Punkte Katalog des EPA stellt grundlegende Faktoren auf, die zu diesen Zielen führen sollen.

⁸ <http://www.kbbe2010.be>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

onale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“ der Bundesregierung vorgestellt [BMBF 2010]. Sie hat zum Ziel den Aufbau der biobasierten Wirtschaft zu beschleunigen. Der BioÖkonomierat hatte hierfür im Vorfeld in seinem ersten Gutachten die Grundlage bereitet, Handlungsfelder aufgezeigt und Empfehlungen ausgesprochen [BioÖkonomierat 2010]. Ab 2011 soll das 2002 aufgelegte Rahmenprogramm zur Biotechnologie entsprechend ersetzt werden [Schütte 2010] und im Zuge der Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030 sollen 2,4 Milliarden Euro für die nächsten sechs Jahre bereitgestellt werden. Für die stoffliche Nutzung sind ca. ein Drittel der Gelder eingeplant, über 20 % entfallen auf die energetische Nutzung von Biomasse.⁹ Die energetische Nutzung von Biomasse wird allerdings schon seit Mitte des 20. Jahrhunderts politisch gefördert, so ist EU-weit entsprechend der Erneuerbaren Energie-Richtlinie eine Beimischung von 10 % biobasierter Komponenten am Kraftstoff bis zum Jahr 2020 verpflichtend vorgegeben.

Die Haupttreiber für die biobasierte Chemie-Wirtschaft und die Bioökonomie sind demnach vielfältig und die internationalen Aktivitäten machen deutlich, dass biobasierte Produkte als ein Motor des zukünftigen Wirtschaftswachstums angesehen werden. Außerdem spielen ökonomische Faktoren eine große treibende Rolle, denn die biobasierte Chemie-Wirtschaft verspricht neue, innovative Produkte und die kostengünstigere Herstellung herkömmlicher Produkte. Der Trend zur Nutzung von Biomasse wird getragen von steigenden Kosten fossiler Rohstoffe und dem Wunsch nach Versorgungssicherheit und Versorgungsunabhängigkeit von Öl-liefernden Staaten. Darüber hinaus ist die Bioökonomie auf europäischer, nationaler und weitgehend auch internationaler Ebene politischer Wille [World Economic Forum 2010]. Für die EU ist es darüber hinaus erstrebenswert, die europäische Landwirtschaft auf diesem Weg zu unterstützen sowie die europäische Vorreiterrolle in der weißen Biotechnologie weiter auszubauen. Nicht zuletzt spielen auch Nachhaltigkeitsaspekte eine wichtige Rolle, wie etwa die Erreichung der klimabezogenen Ziele der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie. Eine ausgewogene oder sogar positive Klimabilanz zum Beispiel durch eine biobasierte Chemie-Wirtschaft ist von breitem Interesse. Um den Klimawandel signifikant zu bremsen, müssen die Industrienationen ihre Emissionen bis 2050 um bis zu 95 % gegenüber 1990 reduzieren. Für 2020 strebt das Bundesumweltministerium eine Reduktion um 40 % an [Röttgen 2010].

Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030 der Bundesregierung

2,4 Milliarden Euro in den kommenden sechs Jahren für die Bioökonomie

Erreichung der klimabezogenen Ziele der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie

⁹ <http://www.biotechnologie.de/BIO/Navigation/DE/root,did=118380.html>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

2.2 Methodik der Studie

Auswahl von 26
Plattformchemikalien
mit besonderem Sub-
stitutionspotenzial

In der vorliegenden Übersichtsstudie wurde ausschließlich die stoffliche Nutzung von Biomasse für die chemische Industrie anhand ausgewählter Plattformchemikalien betrachtet. Als Hauptkriterium für die Auswahl der Plattformchemikalien wurde das Substitutionspotenzial gegenüber erdöl-basierten Stoffen betrachtet. Unter den 26 ausgesuchten Substanzen sind sowohl Basischemikalien, Bausteine für die Polymerindustrie als auch Endprodukte. Die ausgewählten Substanzen werden vereinfacht unter dem Begriff Plattformchemikalien subsumiert.

Datenbasis:
überwiegend
Sekundärquellen

Als Datenbasis wurden überwiegend Sekundärquellen, wie etwa Berichte und Studien herangezogen. Hiermit sollen insbesondere der (chemischen) Industrie und dem Ingenieur Informationen an die Hand gegeben werden, welche Substanzen heute schon biobasiert hergestellt werden und welche Chancen und Hürden sich abzeichnen.

Ein Datenblatt gibt
für jeden Stoff
wesentliche
Informationen
wieder

Für jede Plattformchemikalie gibt ein Datenblatt die zusammengetragenen Daten wieder (siehe Kapitel 4.2). Diese Datenblätter beinhalten chemische Grundinformationen über den Stoff, wie etwa Stoffklasse, Synonyme und chemische Derivate. Es folgen Anwendungen und Anwenderbranchen, Marktvolumina soweit verfügbar in 2008 und prognostiziert für 2020. Daran schließt sich eine Kurzdarstellung der konventionellen und biobasierten Herstellungsverfahren sowie der biogenen Präkursoren an. Die Datenblätter werden mit einer Einschätzung der Entwicklungsdynamik der biobasierten Produktion sowie den Quellen abgeschlossen.

3 HINTERGRUND

3.1 Biomasse - was ist das?

Die Definitionslage zum Begriff Biomasse ist uneinheitlich. Eine in der österreichischen Normung verwendete Definition lautet beispielsweise:

„Unter dem Begriff Biomasse versteht man alle organischen Stoffe biogener, nicht fossiler Art. Dieser Begriff umfasst somit in der Natur lebende und wachsende Materie und daraus resultierende Abfallstoffe, sowohl von der lebenden als auch schon abgestorbener organischer Masse.“¹⁰

Definition Biomasse

Biomasse gilt als regenerativ, da sie in relativ geringer Zeit erneuerbar ist. Schon seit den Anfängen der Chemie wird Biomasse als Rohstoff für verschiedene Bereiche eingesetzt und wurde zunehmend von damals kostengünstigen fossilen Rohstoffträgern abgelöst. Heute erlebt sie eine Renaissance und dient als Ausgangsstoff für die Erzeugung von Energie oder als Grundlage für die Synthese von chemischen Bausteinen. Dabei entsteht ein Konflikt mit der Nutzung von Biomasse zur Ernährung. Biokraftstoffe der zweiten Generation tragen diesen Konflikt nicht mehr in sich, denn sie werden überwiegend aus nicht essbaren Pflanzenteilen gewonnen. Allerdings benötigen sie Ackerland, das auch für Nahrungsmittelpflanzen eingesetzt werden könnte, so bleibt der Landnutzungskonflikt bestehen.

3.2 Biomasse-Präkursoren und Plattformchemikalien

Wichtige heimische biogene Rohstoffquellen sind zum Beispiel Stroh, Zuckerrüben, Raps, Soja oder Mais. Daraus werden über verschiedene Verfahren so genannte Biomasse-Präkursoren gewonnen, wie etwa Stärke, Hemicellulose und Cellulose sowie Lignin, Fette oder Öle und Proteine (vgl. Abbildung 3). Abbildung 3 gibt einen Überblick über eine Auswahl relevanter Biomasse-Präkursoren, der in dieser Studie betrachteten Plattformchemikalien sowie Beispiele für mögliche Produktklassen.

Heimische Rohstoffquellen und daraus generierbare Präkursoren

Die Präkursoren können weiter aufgetrennt werden, zum Beispiel Cellulose und Stärke zu Glucose und Fructose oder Hemicellulose zu verschiedenen Pentosen und Hexosen. Daraus können so genannte Plattformchemikalien, wie beispielsweise Methanol, Ethanol, Glycerin oder Milchsäure gewonnen werden, aus denen sich ein ganzer Produktstammbaum von Industriechemikalien ableiten lässt. Üblicherweise werden die Plattformchemikalien entsprechend der Anzahl ihrer Kohlenstoffatome klassifiziert. Beispielsweise lassen sich aus Glucose verschiedene chemische Bausteine mit einem oder mehreren Kohlenstoffatomen (C1-C6)

Plattformchemikalien: Ableitung zahlreicher Chemikalien von einem Intermediat

¹⁰ Österreichischer Standard, Fachnormungsausschuß 093 Energiewirtschaft, ÖNORM M 7101 Bbl 2

realisieren. Dazu gehören Ethanol (C2), Milchsäure (C3), Bernsteinsäure (C4) oder 5-Hydroxymethylfurfural (5-HMF)(C6). Ethanol dient unter anderem als Ausgangsprodukt zur Synthese von Acetaldehyd, Essigsäure, Ethylen oder Butadien. Milchsäure findet Verwendung in der Lebensmittel- und Futtermittelindustrie und ist Vorstufe und Produkt zur Herstellung des Biopolymers Polymilchsäure (PLA). Bernsteinsäure ist ebenfalls ein wichtiger Grundstoff für Biopolymere und 5-HMF kann als Edukt für eine Vielzahl chemischer Reaktionen in der Pharmazie sowie der Polymerchemie eingesetzt werden [Hirth 2003].

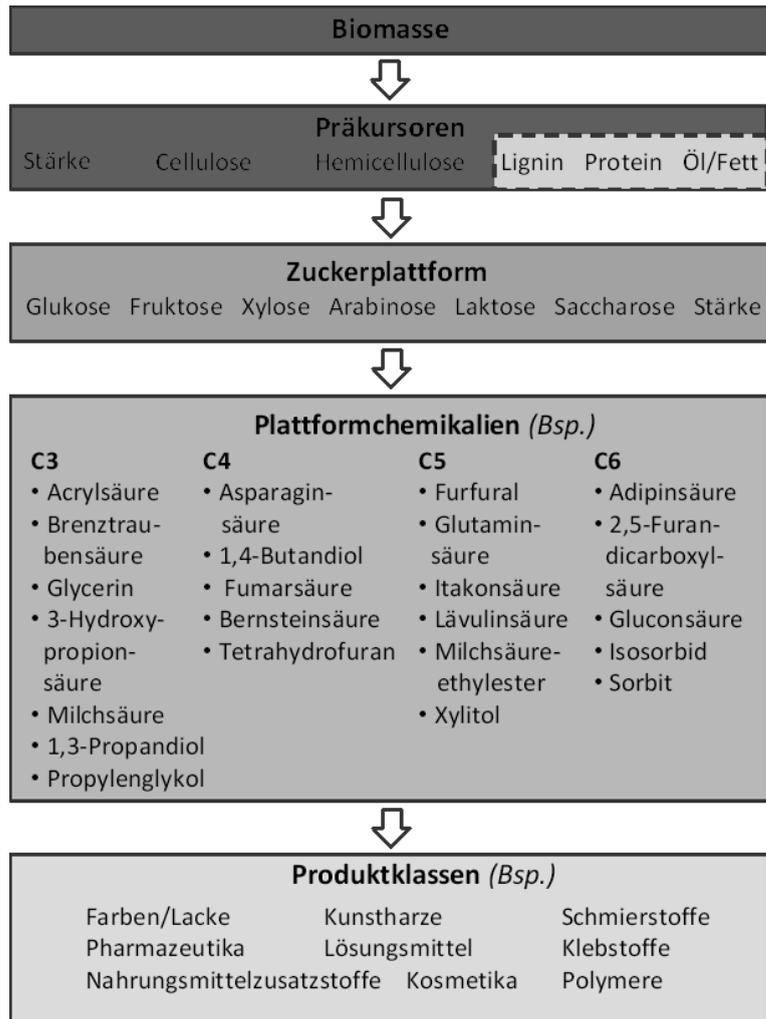


Abbildung 3: Beispiele für Biomasse-Präkursoren, Plattformchemikalien und Produktklassen bezogen auf die in dieser Studie untersuchten Stoffe. Lignin, Proteine, Öle und Fette waren nicht Gegenstand der Untersuchungen (Quelle: ZTC).

Besonders die Abtrennung des Lignins von der Cellulose und Hemicellulose ist heute noch eine große Herausforderung (siehe Exkurs: Lignocellulose). Die größten industriell genutzten Mengen von Biomasse entfallen auf die Cellulose mit ca. 320 Millionen Jahrestonnen bei einem Preis von 500 Euro pro Tonne, gefolgt von Zucker mit 140 Millionen Jahrestonnen und 250 Euro pro Tonne.

Aus Biomasse hergestellte Öle und Fette werden überwiegend zu Fettsäuren umgeestert und in der Kosmetik- und Waschmittelindustrie eingesetzt. Proteine finden Anwendung bei der Herstellung von Aminosäuren, zum Beispiel für Lebensmittelzusatzstoffe.

Verwendung von Ölen
und Fetten:
Kosmetika und
Waschmittel

Tabelle 1 zeigt eine Auswahl heute produzierter biobasierter Chemikalien und in Planung oder Bau befindliche Anlagen.

Tabelle 1: Auswahl an realisierten oder geplanten Anlagen für biobasierte Plattformchemikalien und einigen daraus gewonnenen Biopolymeren

Realisierungsgrad der Anlagen	Plattformchemikalie	Präkursor	Produkt	Unternehmen
2002	Milchsäure	Zucker	Polymilchsäure 140 kt	Cargill Dow NatureWorks USA
2009	Milchsäure	Sucrose Glucose	Polymilchsäure 1,5 kt	Futero BEL
2010	n.n.	Stärke	Polyhydroxyalkanoat 50kt	Metabolix USA
2010	Ethanol	Zucker	Ethylen, PVC 60kt	Solvay Indba BRA
2010	1,4 Butandiol	Rohrzucker	Plattformchemikalie	Genomatica USA
2010	Bernsteinsäure 2 kt	Glucose	Plattformchemikalie	BioAmber FRA
2010	Ethanol	Zuckerrohr	Ethylen HDPE [#] 200 kt	Braskem BRA
2010	Glycerin	Soja/Öl	Propylen-glycol	ADM USA
2010 (in Bau)	Bernsteinsäure	Zucker und Rohglycerin	Plattformchemikalie	BASF/CSM
2011	Milchsäure	Zucker	Polymilchsäure 75 kt	Purac THA

Realisierungsgrad der Anlagen	Plattform-chemikalie	Präkursor	Produkt	Unternehmen
2011	Ethanol	Zucker	Ethylen HDPE [#] 350 kt	Dow/Crystalse v BRA
2012	3-Hydroxypropionsäure	Stärke/Zucker	Methacrylsäure, 1,3-Propandiol	Perstorp SWE
2012	Isopren	Zucker	Synthetischer Gummi	Genencor/Good-year USA
2012	Milchsäure		Polymilchsäure 60kt	Pyramid Bioplastics Guben GmbH D
2013	n.n.	Zucker	1,4-Butandiol	Genomatica
Forschung	n.n.	Zucker	Polypropylen	Braskem/ Novozymes
Forschung	3-Hydroxypropionsäure	Zucker	Acrylsäure	Cargill/ Novozymes

(Quelle: Kircher 2010, ZTC), [#] High density Polyethylen

Exkurs: Lignocellulose

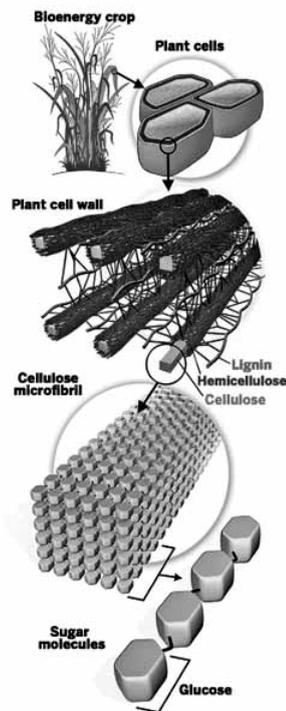
Eine der generellen Schlüsselkomponenten von „non-food“ Biomasse ist die „Lignocellulose“, eine strukturell vielfältige Substanz, deren genaue Zusammensetzung je nach Herkunft der Biomasse variiert. Lignocellulose ist ein wichtiger Bestandteil von Pflanzen und dient vorrangig der Zellwandstabilität.

Lignocellulose ist aus drei komplexen Biopolymeren aufgebaut. Dies sind nanoskalige Cellulose- und Hemicellulose-Fasern, die mit weniger strukturierten Polysacchariden, wie zum Beispiel Xylanen verbunden sind. Diese Cellulose-Hemicellulose-Matrix bildet einen Teil des pflanzlichen Stützgerüsts und verleiht Pflanzen eine hohe Zug- und Biegefestigkeit. Eingebettet in die Cellulose-Hemicellulose-Matrix ist Lignin, ein heterogenes phenolisches Aromatensystem.

Bisher ist der zielgerichtete Abbau von Lignocellulose von einem komplexen aromatischen zu einem weniger komplexen System nur in sehr begrenztem Umfang möglich. Der Großteil der anfallenden Lignocellulose etwa bei der Papierherstellung wird verbrannt. Heute werden nur etwa 2 % des gesamten Lignins für chemische Produkte verwendet [Star-COLIBRI 2010].

Die wesentlichen Herausforderungen bei einer künftigen Nutzung von Lignocellulose sind der kosteneffiziente Aufschluss, d. h. eine Abtrennung der Kohlenhydrate vom Lignin, die Umsetzung der Hexosen und auch der Pentosen, eine wirtschaftliche Abtrennung und Aufreinigung des Produktes und eine sinnvolle Verwendung des Lignins (vgl. auch Kapitel 3.4). Katalytische Verfahren zu Abbau und Modifikation von Lignin sind nur in geringem Umfang verfügbar, biotechnologische Verfahren fehlen großflächig und das Upscaling ist ebenfalls ein ungelöstes Problem. Einen Überblick über den technologischen und kommerziellen Status Quo gibt die Dokumentation der Gülzower Fachgespräche zur stofflichen Nutzung von Lignin [FNR 2009].

Abbildung 4: Aufbau und Bedeutung von Lignocellulose (Quelle: Genome Management Information System, Oak Ridge National Laboratory¹¹).



Wichtiger Pflanzenbestandteil:
Lignocellulose

Heute wird der Rohstoff Lignin zu 98 % verbrannt

Herausforderungen:
Kosteneffizienter und funktionsgerichteter Aufschluss

¹¹ <http://genomics.energy.gov/gallery/brc2009/detail.np/detail-08.html>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

Breite Anwendungsmöglichkeiten von Biomasse in der chemischen Industrie

3.3 Produkte und Anwenderbereiche

Die Anwendungen von Biomasse speziell in der chemischen Industrie sind vielfältig und beinhalten beispielsweise Kunststoffe, Waschmittel, Kosmetika, Farben und Lacke, Klebstoffe, Baustoffe oder Hydrauliköle und Schmiermittel. Einige der wichtigsten chemischen Substanzen sind hierbei die Oleochemikalien sowie weitere Chemikalien, wie zum Beispiel Zitronen-, Milch- und Lävulinsäure, Sorbit, Glycerin und Cellulosederivate [Oertel 2007]. Tenside und die daraus hergestellten Wasch- und Reinigungsmittel sind die mengenmäßig wichtigste Stoffgruppe und werden derzeit etwa zu 50 % aus Biomasse hergestellt. Die folgende Abbildung zeigt zwei konkrete Anwendungen aus zwei ganz unterschiedlichen Branchen.



Abbildung 5: Zwei Beispiele für biobasierte Produkte. Links: Konzeptreifen von Goodyear in Zusammenarbeit mit Genencor unter Verwendung von Bioisopren (Quelle: Pressebild von Goodyear). Rechts: Lebensmittelverpackung aus einem Stärke-basierten Biopolymer der Firma Novamont (Quelle: Pressebild von Novamont).

Die pharmazeutische Industrie nutzt Biomasse vor allem für die Herstellung von Arzneimitteln

In der pharmazeutischen Industrie dient Biomasse vor allem zur Entwicklung und Herstellung von Arzneimitteln und neuartigen Wirkstoffen. Neben der chemischen und der pharmazeutischen Industrie wird Biomasse auch in weiteren Branchen für die Produktion eingesetzt. Beispiele beinhalten Baumaterialien, Dämmstoffe oder die Papierherstellung. Tabelle 2 gibt einen Überblick über Einsatzgebiete und Anwendungen von Biomasse.

Tabelle 2: Biobasierte Anwendungen und Produkte in den verschiedenen Bereichen und Branchen

Branche/Bereiche	Anwendungen/Produkte
Chemie (Oleochemie, Spezial- und Feinchemie)	<ul style="list-style-type: none"> • Wasch- und Reinigungsmittel • Stärke und Zuckerprodukte • Grund- und Plattformchemikalien • Polymere • Klebstoffe • Dünger und Pestizide • Vitamine und Zusatzstoffe • Aktive Pharmawirkstoffe
Farben und Lacke	<ul style="list-style-type: none"> • Bindemittel • Additive • Lösungsmittel • Farbstoffe
Schmierstoffe und Verfahrensstoffe	<ul style="list-style-type: none"> • Hydrauliköl • Motorenöl • Schmieröl- und fett • Frostschutzmittel • Antikorrosions-Stoffe
Kosmetik und Pharma	<ul style="list-style-type: none"> • Kosmetika • Phytopharmaka • Pharmazeutika • Hilfsstoffe • Desinfektionsmittel • Dental-Produkte
Papierindustrie	<ul style="list-style-type: none"> • Holz • Zellstoffe
Textilien	<ul style="list-style-type: none"> • Fasern • Stoffe • Teppiche • Stoffbeschichtungen
Baumaterialien	<ul style="list-style-type: none"> • Dämmstoffe • Zement • Brandschutzmittel • Adhäsive
Industrie und Konsumgüterbereich	<ul style="list-style-type: none"> • Spritzgussteile • Kunststoffe • Möbel • Gehäuseteile
Werkstoffe/Materialien	<ul style="list-style-type: none"> • Thermoplaste • Biokunststoffe aus Stärke-, Stärkeblend- und Cellulosederivaten • Biopolymere • Kautschuk • Faserverstärkte Werkstoffe • Holz-Polymer-Werkstoffe • Pflanzenölbasierte Kunststoffe
Verpackungsprodukte	<ul style="list-style-type: none"> • Folien, Tragebeutel • Loose Fill • Paletten

Branche/Bereiche	Anwendungen/Produkte
Umwelt	<ul style="list-style-type: none"> • Wasserchemie • Detergenzien, Reiniger • Chelatbildner
Energie und Treibstoffe	<ul style="list-style-type: none"> • Biogas • Biodiesel, Bioethanol • Pflanzenöl • Pellets, Holz • Stroh

(Quelle: Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe¹², Braun 2006)

3.4 Technologien und Innovationstreiber

Biomasse wird in Abhängigkeit von Herkunft und Verwendungszweck meist mechanisch, chemisch und biochemisch vorbehandelt, um die Präkursoren zu extrahieren. Verschiedene Prozesse stehen hierfür zur Verfügung, dazu gehören das Pressen und Zerkleinern der Biomasse etwa durch Häckseln oder Mahlen, das Sieben, Filtern oder die chemische Auftrennung, etwa durch Hydrolyse oder Chromatographie. Die BASF nutzt beispielsweise Ionische Flüssigkeiten zur Vorbehandlung Lignocellulose-haltiger Biomasse [Ernst 2009]. Die weiteren folgenden Prozessschritte nutzen physikalisch-chemische, biotechnologische oder thermochemische Verfahren oder eine Mischung aus diesen (vgl. Abbildung 6). Die vorbehandelte Biomasse kann zum Beispiel verkohlt, thermisch vergast, verflüssigt oder zerkleinert und gepresst werden.

Biomasse wird in der Regel vorbehandelt

Weitere Prozessschritte: thermochemisch, physikalisch-chemisch oder biotechnologisch

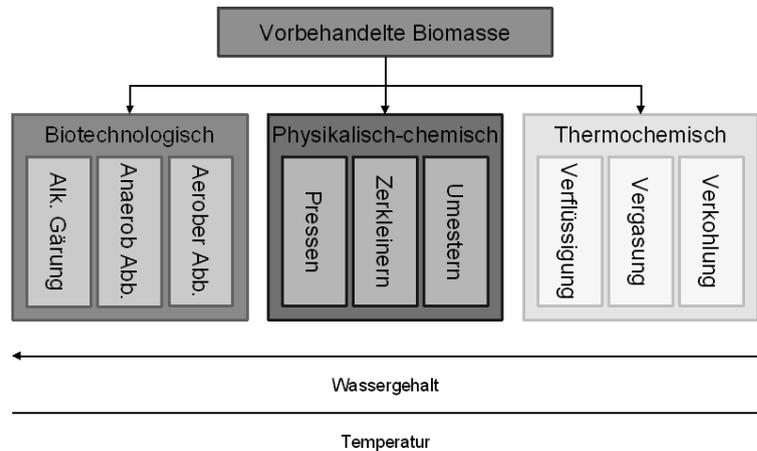


Abbildung 6: Verarbeitung von Biomasse (Quelle: eigene Darstellung nach ¹³).

¹² http://www.fnr-server.de/cms35/fileadmin/allgemein/pdf/veranstaltungen/marktanalyse/Beitrag_Schmitz_Nawaro.pdf, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

¹³ <http://www.gdch.de/strukturen/fg/hirth.pdf>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

Die **thermische Verkohlung** dient überwiegend dem Zweck der Holzkohlegewinnung aus holzhaltiger Biomasse und bleibt bei einer stofflichen Nutzung weitgehend unberücksichtigt.

Die **thermische Vergasung** von Biomasse dient heute ebenfalls fast ausschließlich der Energiegewinnung, wird aber auch in diesem Bereich aufgrund wirtschaftlicher Aspekte nur in geringem Umfang zum Beispiel zur Stromerzeugung im kleinen Leistungsbereich von unter 1 MW bis zu ca. 100 MW eingesetzt [Bohlmann 2006]. Allerdings sind in den letzten Jahren erhebliche Anstrengungen unternommen worden, die Technologie weiter zu verbessern, denn im Gegensatz zur direkten Verbrennung von Biomasse entstehen weniger Emissionen, und es wird mit einem höheren Wirkungsgrad gerechnet.¹⁴ Da das gewonnene Synthesegas teils große Anteile kondensierbarer organischer Stoffe enthält, ist dieses Verfahren prinzipiell auch für eine stoffliche Nutzung interessant.

Thermische Vergasung von Biomasse dient fast ausschließlich der Energiegewinnung

Die Biomasse wird hierzu unter Sauerstoffmangel bei Temperaturen von 800 bis 1.000 °C in seine chemischen Bestandteile Wasserstoff und Kohlenmonoxid zerlegt. Dieses Verfahren ist eine im Bereich der Kohleverarbeitung gut entwickelte Prozesstechnologie, deren ökonomisch sinnvolle Anwendung in der biobasierten Industrie derzeit noch strittig ist [DOE 2004, World Economic Forum 2010]. Die Anwendungs- und Weiterverarbeitungsmöglichkeiten von Synthesegas für die stoffliche Nutzung sind vielfältig. So kann es entweder direkt zur Herstellung von Methanol und Dimethylether oder auch mittels der aus der Petrochemie gut bekannten Fischer-Tropsch-Reaktion zur Herstellung von synthetischem Biokraftstoff genutzt werden. In beiden Fällen sind die wirtschaftliche Reinigung des Synthesegases und das Upscaling noch verbesserungsbedürftig. Eine weitere Herausforderung in diesem Bereich ist die Entwicklung von Katalysatoren, die beispielsweise Methan und Methanol selektiv und mit hoher Ausbeute reduzieren. Die Herstellung von gemischten Alkoholen über die Synthesegas-Route wurde bisher noch nicht kommerziell eingesetzt [Spath 2003]. Allerdings hat die Firma Albemarle Catalysts Company BV einen neuen Katalysator zur Herstellung gemischter Alkohole über die Synthesegas-Route für 2011 angekündigt.¹⁵

Die Technologie ist im Bereich der Kohleverarbeitung gut entwickelt

Eine der wenigen kommerziellen Lignocellulose-basierten Synthesegas-Bioraffinerien wird derzeit in Freiberg in Betrieb genommen. CHOREN Industries GmbH wird in der Anlage biobasierte Kraftstoffe (BTL, biomass to liquid) in einem zweistufigen Prozess – der Erzeugung des Synthesegases mittels Carbo-V^R-Technologie und anschließender Fischer-Tropsch-Synthese, herstellen (vgl. Abbildung 7). Die angestrebte Kapazität beträgt 13.500 Tonnen Flüssigtreibstoff pro Jahr. Der Verga-

In Freiberg entsteht eine der wenigen kommerziellen Lignocellulose-basierten Synthesegas-Bioraffinerien

¹⁴ <http://www.thema-energie.de/energie-erzeugen/erneuerbare-energien/biomasse/verarbeitung/vergasung-von-biomasse.html>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

¹⁵ Vortrag von Leen Gerritsen, Production of Renewable Fuels and Chemicals by Using New High-Activity Catalysts, BIO-raffiniert VI, 15./16.2.2011 Oberhausen.

sungsprozess ist zentral angelegt, im Gegensatz zum so genannten Bioliq-Verfahren des KIT, ebenfalls ein zweistufiger Prozess, bei dem die erste Stufe jedoch eine dezentrale Einheit zur Verflüssigung von Biomasse darstellt [Wagemann 2010].

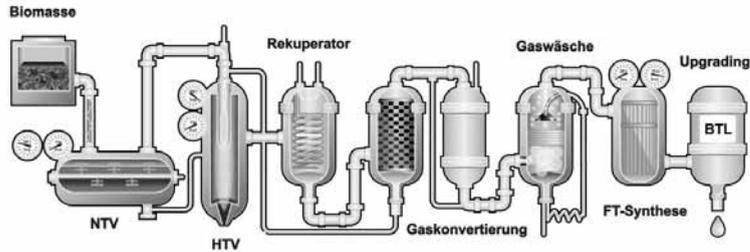


Abbildung 7: Schematische Darstellung des BTL-Herstellungsverfahrens von Flüssigtreibstoff aus Biomasse in einer Synthesegas-Bioraffinerie mittels Carbo-V^R-Verfahren und Fischer-Tropsch-Synthese (Quelle: CHOREN Industries GmbH).

Verflüssigung von Biomasse mittels Flash-Pyrolyse

Für eine **thermochemische Verflüssigung** von Biomasse wird meist die Flash-Pyrolyse angewendet. Hierbei wird die Biomasse thermisch in ein Gemisch verschiedener flüssiger Kohlenwasserstoffe und Sauerstoff zerlegt. Allerdings ist auch dieser Weg vergleichsweise teuer und wird bisher nicht großindustriell eingesetzt. Obwohl die Flash-Pyrolyse seit Jahren Gegenstand zahlreicher Forschungsprojekte ist, befindet sie sich heute immer noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium.

Verarbeitung von Ölpflanzen

Fast rein **physikalisch** werden Ölpflanzen wie etwa Kokospalmen verarbeitet, um deren Öle für die Oleochemie zu extrahieren. Für die Gewinnung von Fettsäuren werden die Triglyceride mit Methanol und einem Katalysator umgeestert. Die Verfahren sind lange etabliert und die Produkte unterliegen einem starken Preiskampf. Die Produktion wird zunehmend in den asiatischen Raum verlagert.

Lignocellulose-haltige Biomasse bedarf der gesonderten Vorbehandlung

Heute am weitesten verbreitet ist die **biotechnologische Umsetzung** von Biomasse mittels Biotransformation in lebenden Zellen oder der Biokatalyse mit isolierten Enzymen oder Enzymsystemen in der weißen Biotechnologie (vgl. Braun 2006). Bei der Biotransformation kommen verschiedenste Mikroorganismen zum Einsatz, die gängigsten sind Hefe, *Escherichia coli* und *Corynebacterium glutamicum*. Als Präkursoren dienen meist verschiedene Hexosen (C6-Zucker) wie Glucose oder Fructose, die zum Beispiel durch hydrolytische Vorbehandlung aus der Biomasse herausgelöst werden. Lignocellulose erfordert allerdings eine andere Vorbehandlung, um das nicht fermentierbare Lignin vom Zucker abzuspalten. Derzeit wird die Lignocellulose-haltige Biomasse daher mechanisch und chemisch zum Beispiel mit Säuren, Phenolderivaten, heißem Dampf und auch zunehmend hydrolytisch-katalytisch mit Zellulasen vor-

behandelt. Die aus der Lignocellulose freigesetzten Hemicellulosen enthalten einen hohen Anteil an Pentosen (C5-Zuckern), wie Xylose, für deren Abbau besondere Mikroorganismen benötigt werden.

Bei der anaeroben¹⁶ Fermentation von Abfallstoffen und anderer Biomasse in so genannten Biogasanlagen werden die natürlichen Stoffwechselwege von Mikroorganismen ausgenutzt, um verschiedene Substrate in Biogas umzuwandeln. Biogas ist ein Gemisch aus etwa 50 % Methan und Kohlendioxid. Die Umwandlungseffizienz beträgt etwa 70 %. Biogasanlagen gelten als sehr weit entwickelt.

Industrielle Biotechnologie

Die weiße Biotechnologie, oder auch industrielle Biotechnologie genannt, gehört zu den Haupttreibern von Innovationen in der biobasierten Chemie-Wirtschaft. Daher hat die Bundesregierung im Zuge der neuen Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030 eine 100 Millionen Euro schwere Innovationsoffensive zur weißen Biotechnologie angekündigt.¹⁷

Industrielle Biotechnologie: einer der Haupttreiber für Innovationen

Industrielle biotechnologische Prozesse tragen schon heute signifikant zur Produktion von Ethanol (>20.000.000 t/a), Zitronensäure (750.000 t/a), Polymilchsäure (140.000 t/a), Aminosäuren oder Vitaminen bei. Auch die großtechnische Herstellung von Enzymen erfolgt heute in der Regel über die Kultivierung von Mikroorganismen in geschlossenen Systemen. Die Enzymqualität lässt sich dabei in Abhängigkeit vom durchgeführten Reinigungsaufwand in technische Enzyme, die nur angereichert sind, und in analytische Enzyme unterscheiden. In Deutschland sind Akteure sowohl aus KMU, als auch aus großen Unternehmen in der weißen Biotechnologie tätig; Tabelle 3 gibt einen Überblick.

Deutsche Biotechnologie-Akteure kommen aus KMU und GU

Tabelle 3: Auswahl an deutschen Unternehmen und deren Produkten bzw. Anwendungen mit Bezug zur Biotechnologie

Unternehmen	Produkt/Anwendung
BASF	Vitamine, Spezialchemie
B.R.A.I.N	Enzyme, Bioactive Substanzen
BioSpring	Enzyme, Nukleinsäuren
c-Lecta	Enzyme
Codexis/Jülich Fine Chemicals	Enzyme, chirale Synthese
Cognis (jetzt BASF)	Tenside, Emulgatoren
Degussa	Aminosäuren (Lysin, Glutamat, etc.), Riboflavin (Vitamin B ₂)

¹⁶ Ohne Sauerstoff, im Gegensatz zur aeroben Fermentation.

¹⁷ <http://www.biotechnologie.de/BIO/Navigation/DE/root,did=118380.html>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

Unternehmen	Produkt/Anwendung
Direvo	Industrieenzyme, Biopharmazeutika
Dow	Bioplastik, Monomere, Spezialchemie
Henkel	Biobasierte Wasch- und Reinigungsmittel
Rütgers	Aromaten, Downstreaming
Südzucker	Zucker, Palatinose, Palatinat, Ethanol
Symrise	Geschmacksstoffe, Cosmetic, Lebensmittelzusätze
Wacker	Cyclodextrine, Feinchemikalien

(Quelle: ZTC)

Herausforderungen in der industriellen Biotechnologie

Trotz beachtlicher Erfolge der industriellen Biotechnologie sind biotechnologische Verfahren oft noch nicht kompetitiv oder gar kostengünstiger als klassisch-chemische Prozesse.

Generelle Arbeitsschritte bei der Etablierung neuer Fermentationsverfahren

Erfolgreiche Fermentationsprozesse in der industriellen Produktion sind in der Regel das Ergebnis von zeitintensiven und langwierigen Screening-, Entwicklungs- und Optimierungsarbeiten. Die generellen Arbeitsschritte zur Etablierung neuer Fermentationsverfahren oder deren Optimierung umfassen die Rohstoffauswahl, das Primär-Screening nach neuen Organismen oder Enzymen, die genotypische und die phänotypische Optimierung des biologischen Systems. Daran schließt sich die Prozessentwicklung und das Upscaling, also die Maßstabsvergrößerung und schließlich das Downstreaming an. Für die einzelnen Schritte stehen Verfahren aus der Mikrobiellen Genomik, der Bioinformatik, dem Metabolic Engineering, dem Enzymdesign oder dem Prozessdesign zur Verfügung.

Optimierungsbedarf besteht für jeden neuen Prozess auf verschiedenen Verfahrensstufen

Optimierungsbedarf besteht für jeden neuen Prozess auf verschiedenen der genannten Verfahrensstufen. Bedarf besteht zum Beispiel hinsichtlich neuer oder zu modifizierender Mikroorganismen oder bei der Erforschung neuer Biokatalysatoren etwa zum Abbau der pflanzlichen Zellwände. Enzyme, die in hydrophobem Milieu arbeiten oder immobilisierte Enzyme, sind ebenfalls von großem Interesse.

Herausforderung Downstreaming

Eine weitere große Herausforderung liegt in der Aufreinigung bzw. dem Downstreaming der Produkte, also der Produktextraktion aus Fermenterbrühen. Die Mengen an wässrigem Medium sind meistens sehr groß und darüber hinaus muss das Produkt oftmals auch noch aus dem Organismus isoliert werden. Für das Downstreaming stehen mechanische, thermische, elektrische und physiko-chemische Verfahren zur Verfügung. Die Aufreinigung ist ein großer Kostenfaktor und macht zwischen 30-80 % der Gesamtkosten aus [Jeude 2007].

Häufig ist neben dem Downstreaming auch das Upscaling, also die Übertragung der biotechnologischen Reaktionen im Labor- oder

Technikumsmaßstab in die großtechnische Produktion eine echte Herausforderung. Bei der industriell angewandten Fermentation, wie zum Beispiel bei der Produktion von Glutaminsäure oder Lysin durch *Corynebacterium glutamicum* kommt meist das Fed-batch-Verfahren zum Einsatz. Auch verschiedene Biopharmazeutika, wie Insulin, Interferon oder Wachstumshormone werden so hergestellt. Das Fed-batch-Verfahren ist ein diskontinuierlicher Prozess, der sich vom reinen Batch-Verfahren durch die gezielte Zufütterung von Nährstofflösung unterscheidet. Vorteile des Fed-batch-Verfahrens sind höhere Endkonzentrationen an Biomasse, die Verhinderung einer Substratinhibierung der Wachstumsrate und die Umgehung einer Katabolitrepession. Beim Primär-Screening, also der Suche nach neuen Organismen, kommt wegen der sehr hohen Stückzahlen jedoch ausschließlich das wesentlich einfachere und kostengünstigere Batch-Verfahren im Schüttelreaktor zum Einsatz [Jeude 2007].

Batch- und Fed-batch-Verfahren

Die bisherigen biochemischen, biomolekularen, bioinformatischen, genetischen Verfahren oder auch das Metabolic Engineering haben zur Einführung neuer biologischer Produktionssysteme und optimierter Biokatalysatoren geführt. Doch die im Folgenden näher beschriebene Systembiologie und die Synthetische Biologie eröffnen noch weitere Möglichkeiten, insbesondere für die Anpassung oder Erzeugung von Mikroorganismen. Diese könnten dann zum Beispiel (Algen)-Biomasse gezielt in Energie und chemische Stoffe oder Lignin in die gewünschten Produkte umsetzen.

System- und Synthetische Biologie

Die Systembiologie zielt auf ein ganzheitliches Verständnis aller Vorgänge im biologischen System, die Integration von genomischen und proteomischen Daten sowie deren theoretische Modellierung ab. Die Kenntnis der kompletten Informationen ermöglicht die genaue Zuordnung ganzer metabolischer Pfade und das Verständnis der Zusammenhänge bildet die Grundlage für eine gezielte Manipulation bzw. Funktionsanpassung. Das bisherige Systemverständnis ist noch vergleichsweise gering und besonders experimentelle Daten zur Konzentrationen von Metaboliten und Enzymen, Kinetik und Dynamik sowie Flussraten und molekulare Strukturen fehlen großflächig.

Systembiologie: ganzheitliches Verständnis aller Vorgänge im biologischen System

Die Synthetische Biologie nutzt die Erkenntnisse der Systembiologie und baut mit ihrer Hilfe artifizielle biologische Systeme nach. In diesem Bereich gibt es verschiedene Ansätze, wie den Bottom-up oder den Top-down-Ansatz, die einerseits die Reduzierung eines bestehenden Systems zu einem Minimalorganismus und andererseits das sukzessive Aufbauen eines neuen Systems aus biologischen Standardbauteilen beschreiben [vgl. Brenner 2006]. Der Synthetischen Biologie werden verschiedenste Anwendungsmöglichkeiten zugeschrieben, darunter beispielsweise neue

Die Synthetische Biologie erzeugt artifizielle biologische Systeme

Biosensoren, Therapeutika, Diagnostika, Drug-Delivery-Systeme, effizienter Herstellungsverfahren für Biokraftstoffe, Pharmazeutika und innovative Biomaterialien (Khalil 2010 gibt einen Überblick über den Stand der Entwicklung).

Synthetische Biologie
wird heute in der
Biomasse-Nutzung
intensiv erforscht

Im Bereich der energetischen und auch stofflichen Nutzung von Biomasse wird die Synthetische Biologie heute schon intensiv erforscht und hat besonders in den USA eine hohe politische Priorität. Diese zeigt sich auch am finanziellen Engagement von Ölfirmen, die in kleine Unternehmen der Synthetischen Biologie investieren oder eigene Forschungszentren aufbauen. BP hat ein solches Forschungszentrum, das Energy Bioscience Institute (EBI), errichtet, um unter anderem den Einsatz der Synthetischen Biologie zur Erzeugung neuartiger Biokraftstoffe zu erforschen. Das EBI wird in einer public-private-partnership mit der University of California und der University of Illinois über einen Zeitraum von zehn Jahren mit 500 Millionen USD gefördert.¹⁸ Im Jahr 2009 hat auch Exxon Investitionen von 600 Millionen USD in die Entwicklung von Biokraftstoffen aus Algen mittels Synthetischer Biologie zusammen mit der Firma Synthetic Genomics bekannt gegeben.

Weitere Unternehmen sind in diesem Bereich schon tätig, wie Amyris oder Synthetic Genomics. Amyris arbeitet beispielsweise bereits am automatischen Genetic Engineering und am automatischen Bakterienstamm-Engineering mittels standardisierter Komponenten mit der Zielstellung Zucker effizient in chemische Substanzen oder Biokraftstoffe umzuwandeln [Cherry 2010]. Verschiedene US-Unternehmen, darunter Gevo und LS09, arbeiten an der kommerziellen Umsetzung von Biomasse zu Bioethanol [vgl. Sheridan 2009].

Erste Teilerfolge

Die Synthetische Biologie hat bereits Teilerfolge erzielt, wie die hoch spezifische Synthese höherer Alkohole, insbesondere Isobutanol, in großer Ausbeute in *E. coli* mit Glucose als Substrat [Atsumi 2008], [Keasling 2008]. Diese haben höhere Oktanzahlen und sind daher als Biokraftstoff von Interesse.

Ein anderes Beispiel ist die Herstellung von Glucarsäure in *E. coli* nach dem Einbau eines künstlichen Stoffwechselweges via Metabolic Engineering und dem gezielten Verändern der Struktur dreier an diesem Stoffwechselweg beteiligten Enzyme [Moona 2010].

Noch zahlreiche
wissenschaftliche
Hürden zu
überwinden

Allerdings sind die meisten Arbeiten noch im Forschungsstadium und mit einer Kommerzialisierung ist nur langfristig zu rechnen. Denn es sind noch zahlreiche wissenschaftliche Probleme zu lösen. Zum Beispiel sind die einzelnen biologischen Komponenten meist nur schlecht charakterisiert, sie passen nicht zusammen oder das Verhalten der biologischen Funktionseinheiten ist unvorhersehbar. Weitere Herausforderungen sind

¹⁸ <http://www.energybiosciencesinstitute.org>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

spontane Mutationen und die Stabilität der erzeugten synthetischen Organismen [Kwok 2010]. Die Herstellung vollständiger artifizierlicher Mikroorganismen ist damit kurz- und auch mittelfristig nicht wahrscheinlich.

System- und Synthetische Biologie setzen an drei verschiedenen Stellen der Biomasse-Nutzung an. Zunächst ist die genetische Optimierung der Ertrags- und Nutzpflanzen in der grünen Biotechnologie für die Bereitstellung optimaler Biomasse wichtig. Darüber hinaus ist die Vorbehandlung der Biomasse, beispielsweise also der Abbau von pflanzlichen Zellwänden, ein noch unerreichter wissenschaftlicher Meilenstein. Der dritte Baustein ist die Optimierung der eigentlichen biologischen Produktionssysteme (vgl. Abbildung 8).

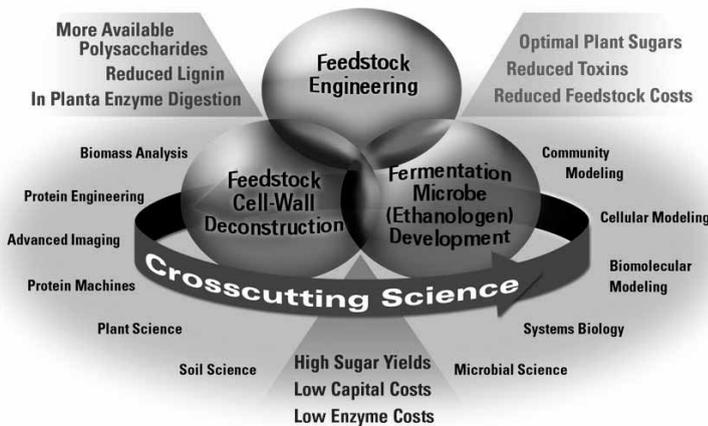


Abbildung 8: Drei Bausteine zur Optimierung biobasierter Produktion (Quelle: ¹⁹).

¹⁹ <http://genomics.energy.gov/gallery/b2b/detail.np/detail-12.html>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

Neue genomische Sequenzierverfahren bereiten den Weg für die Metagenomik

Metagenomik und Next Generation Sequencing

Dank Fortschritten in den genomischen Sequenziertechnologien wie etwa des Next Generation Sequencing²⁰, werden immer breitere experimentelle Untersuchungen der biologischen Zusammenhänge ganzer Habitats nicht kultivierbarer Mikroorganismen möglich („Metagenomik“). Ihnen wird generell ein sehr großes Potenzial bei der Identifikation neuer Biokatalysatoren eingeräumt. Es gelten heute nur etwa 1 % der bekannten Mikroorganismen als kultivierbar und nur etwa 240 Biokatalysatoren²¹ werden industriell genutzt.

Für die Verarbeitung von Biomasse ist beispielsweise das Boden-Metagenom interessant, in dem ein Repertoire an verschiedenen nützlichen Enzymen erwartet wird. Forschungsarbeiten beschäftigen sich daher auch mit der Identifikation neuer funktioneller Gene aus dem Boden-Mikrobiom zum Abbau von Lignocellulose-haltiger Biomasse [Sommer 2010].

Katalyse-Forschung und Entwicklung

Klassisch-chemische Katalyse-Forschung ist für die Verarbeitung von Biomasse sehr wichtig

Die klassisch-chemische Katalyse-Forschung ist für die Verarbeitung von Biomasse sehr wichtig. Katalysatoren ermöglichen überhaupt erst die Durchführung von Reaktionen bei milden Bedingungen wie niedriger Temperatur oder geringem Druck und viele Substanzen können bisher nur mit klassisch-chemischen Verfahren unter hohem Druck oder Temperatur aufgeschlossen werden.

Besonders der funktionsgerichtete Aufschluss von Lignin, Cellulose, Hemicellulose und Lignocellulose ist Gegenstand zahlreicher Untersuchungen und gilt als Meilenstein in der deutschen Katalysatorforschung [KatalyseRoadmap 2010].

Die derzeitigen Trends in der Katalysatorforschung gehen dementsprechend hin zu einer De- oder Refunktionalisierung von überfunktionalisierten Komponenten wie Lignin. Generell ist die katalytische Transformation von Biomasse ein wichtiger Bereich der deutschen Forschungen [KatalyseRoadmap 2010].

Nanostrukturierte Katalysatoren

Zunehmend werden nanostrukturierte Katalysatoren erforscht, die aufgrund ihres Oberflächen-Volumen-Verhältnisses eine sehr hohe Reaktivität haben können.

²⁰ Das Next Generation Sequencing beschreibt Hochdurchsatzverfahren zur Sequenzierung, die deutlich schneller, leistungsfähiger und kostengünstiger als traditionelle Verfahren sind. Sie ermöglichen unter anderem die *de novo* Sequenzierung von Genomen.

²¹ <http://www.amfep.org/list.html>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

Integrierte Konzepte: Bioraffinerien

Zukünftiger Schlüssel für eine integrierte Produktion ist die Bioraffinerie, in der in Analogie zur petrochemischen Raffinerie Biomasse kaskadenartig in Chemikalien, Materialien und Treibstoffe umgesetzt werden [vgl. IEA 2009]. Allerdings wird unter dem Begriff der Bioraffinerie eine Vielzahl unterschiedlicher Konzepte subsumiert [Cherubini 2009], die sich grundsätzlich in drei Entwicklungsphasen unterteilen lassen:

Konzept
Bioraffinerie:
kaskadenartige
Nutzung von
Biomasse

Phase I-Bioraffinerien sind dadurch gekennzeichnet, dass ein Rohstoff über ein Verfahren zum (Haupt)Produkt umgesetzt wird. Beispiele sind Anlagen für die Produktion von Biodiesel- und Bioethanol oder Zellstofffabriken.

Phase II-Bioraffinerien setzen einen Rohstoff über mehrere Prozesse zu verschiedenen Produkten und Energie um. Beispiele für diese Art Bioraffinerie sind Stärke- und Cellulosefabriken. Phase I- und Phase II-Bioraffinerien sind heutiger Stand der Technik und werden in der industriellen Produktion eingesetzt.

Phase III-Bioraffinerien gehen einen Schritt weiter und können verschiedenste Rohstoffe über unterschiedliche Verfahren zu mehreren Produkten verarbeiten. Phase III-Bioraffinerien können nach Rohstoffen und Anlagenkonzepten unterteilt werden. Bisher gibt es noch keine großindustrielle Umsetzung der im Folgenden vorgestellten Konzepte [Clark 2008, von Ree 2007]. Allerdings werden verschiedene Demonstrations-, Pilot- und Testanlagen in Deutschland und Europa betrieben. Für weitere Bioraffinerie-Anlagen vgl. auch Kapitel 4.6.

- **Lignocellulose-Bioraffinerien** nutzen trockene Biomasse, wie etwa Stroh, Holz oder Pflanzenteile. Es erfolgt eine Auftrennung in verschiedene Fraktionen, darunter Cellulose, Hemicellulose und Lignin. Bisher gibt es nur sehr wenige meist in Planung befindlichen Pilotanlagen. Die wohl bekannteste deutsche Lignocellulose-Bioraffinerie-Testanlage wird in Leuna im Jahr 2011 in Betrieb gehen und soll während ihrer dreijährigen Testphase die vollständige Verwertung von Holz in Chemieprodukte ermöglichen. Die sieben Pilotanlagen des Chemisch-Biotechnologische Prozessentrums in Leuna werden unter Leitung der Linde KCA errichtet und auch zur Untersuchung von Skalierbarkeit genutzt.²² Die chemische Industrie verfolgt den Bau mit großem Interesse und verschiedene Unternehmen, wie etwa die Bayer AG, Wacker Chemie oder Evonik wollen schon während der Testphase die Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit von biotechnologischen Prozessen in den zur Verfügung stehen-

Trockene Biomasse:
Lignocellulose-
Bioraffinerie

²² VDI nachrichten, Petrochemie weicht Bioraffinerie, 5.2.2010

den Pilotanlagen prüfen.²³ Ein weiteres Beispiel ist die deutschlandweit erste Stroh-Bioraffinerie, die im Jahr 2011 von der Süd-Chemie im bayerischen Straubing in Betrieb genommen wird, und Cellulose sowie Hemicellulose fermentativ zu Bio-Ethanol umsetzen soll.²⁴

Getreidesorten: Ganzpflanzen-Bioraffinerien

- In **Ganzpflanzen-Bioraffinerien** kommen Getreidesorten, wie etwa Weizen, Roggen oder auch Mais zum Einsatz, deren Stroh und Körner getrennt verarbeitet werden. Hierfür stehen zahlreiche Verfahren von der Fermentation bis zur Vergasung zur Verfügung. Zwischen- bzw. Endprodukte sind Methanol, Ethanol und Folgeprodukte aus der Stärke, wie Glucose, Acetatstärke oder Kunststoffe. Diese Art von Bioraffinerien befindet sich noch im Entwicklungsstadium.

Feuchte Biomasse: Grüne Bioraffinerien

- **Grüne Bioraffinerien** basieren auf dem Einsatz von feuchter Biomasse (Gras, Klee oder unreifes Getreide), die mechanisch zu einem Presskuchen und Presssaft verarbeitet wird. Der faserige Presskuchen kann als Dämmmaterial oder Viehfutter eingesetzt werden, der Presssaft zu verschiedenen Produkten weiterverarbeitet werden. Beispiele sind Proteine, Aminosäuren, Ethanol, Chemikalien, Futtermittel oder Brennstoffe. Zu diesem Typ Bioraffinerie befinden sich Pilotanlagen in Planung. Beispielsweise ist eine Erweiterung von Futtermittel-Trocknungswerken denkbar und dank staatlicher Förderung in der Region Havelland realisiert.²⁵

Zwei-Plattform-Konzept Bioraffinerie

- Die **Zwei-Plattform-Konzept Bioraffinerie** stellt eine Kombination der Bioethanolfermentation mit der Synthesegas-Technologie dar. Aus den Stärke- und Zuckeranteilen der Pflanzen wird Ethanol gewonnen. Die faserigen Bestandteile werden thermolytisch vergast. Aus dem entstehenden Synthesegas kann durch Fischer-Tropsch-Synthese Dieselkraftstoff erzeugt werden. Bisher ist allerdings noch kein integriertes Konzept verwirklicht worden; es werden die Plattformen jeweils einzeln genutzt.
- **Thermochemische Bioraffinerien** produzieren Öle und Kokse aus Biomasse. Die Technologien und Verfahren für dieses Konzept sind noch unausgereift und im Pilotstadium, wie zum Beispiel die Flash-Pyrolyse zur Thermolyse. Andere Bereiche, wie die stoffliche Verwertung von Biokoks und Bioöl befindet sich im Forschungsstadium.

²³ <http://www.biotechnologie.de/BIO/Navigation/DE/Foerderung/foerderbeispiele,did=112604.html>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

²⁴ <http://www.biotechnologie.de/BIO/Navigation/DE/Foerderung/foerderbeispiele,did=113790.html>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

²⁵ <http://www.biorefinica.de/Vortrag%20Kamm.pdf>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

- **Marine Bioraffinerien** verwerten Algenbiomasse. Zu den Verfahrensschritten gehören der Aufschluss, die Extraktion und die Aufreinigung von Wertstoffen. Die Umsetzung dieses Konzeptes ist abhängig von der Verfügbarkeit der Algenbiomasse, für deren nachhaltige Gewinnung derzeit verschiedene Becken- und Reaktorkonzepte getestet werden.

Marine Bioraffinerien
verwerten
Algenbiomasse

Heutige Trends gehen eindeutig hin zu mehr Pilotanlagen, zur Produktion einzelner weniger Chemikalien und/oder Energie. Die deutsche chemische Industrie zeigt bisher verhaltenes Interesse gegenüber einem flächendeckenden Einsatz von Biotechnologie und Biomasse.²⁶ Kleinere Unternehmen wie die Süd-Chemie oder Wacker engagieren sich hingegen teils mit eigenen Pilotanlagen.

Zurückhaltendes
Interesse der chemi-
schen Industrie

²⁶ Die weiße Revolution, manager magazin, 2/10

4 STAND UND PERSPEKTIVEN EINER BIOBASIERTEN CHEMIE-WIRTSCHAFT

4.1 Auswahl von 26 Plattformchemikalien

Für diese Studie wurden 26 Plattformchemikalien mit besonderem Substitutionspotenzial für erdölbasierte Stoffe betrachtet. Einige der ausgewählten Plattformchemikalien wurden auch in zwei anderen Studien als hoch relevant für eine künftige biobasierte Chemie-Wirtschaft eingestuft. Eine Plattformchemikalie, die Bernsteinsäure, wurde von den beiden Studien und der hier vorliegenden als wichtig angesehen (vgl. Tabelle 4). Die erste Studie des US-amerikanischen Energieministeriums (DOE-Studie) identifiziert 12 zentrale Plattformintermediate, die zuckerbasiert hergestellt werden können und Ausgangssubstanz für eine Vielzahl von chemischen Produkten sind [DOE 2004, Fernando 2006]. Die zweite Studie wurde im Rahmen des EU-Projekt BREW („Medium and long-term opportunities and risks of the biotechnological production of bulk chemicals from renewable resources“) erstellt und hat sich mit den Potenzialen der biobasierten Produktion von bulk Chemikalien beschäftigt. Es werden 21 Produkte bzw. Intermediate benannt [BREW 2006].

26 Plattformchemikalien werden stellvertretend für eine Vielzahl weiterer Stoffe näher untersucht

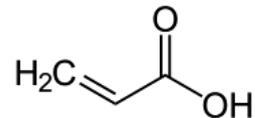
Tabelle 4: Ausgewählte Plattformchemikalien im Vergleich

Für diese Studie ausgewählte Plattformchemikalien	10 der 12 zentralen Plattformintermedia- te der DOE-Studie	7 der 21 im BREW- Projekt untersuchten Produkte
Acrylsäure		x
Adipinsäure		
Asparaginsäure	x	
Bernsteinsäure	x	x
Brenztraubensäure		
1,4-Butandiol		
Fumarsäure		
2,5- Furandicarboxylsäure	x	
Furfural		
Gluconsäure		
Glutaminsäure	x	
Glycerin	x	
3-Hydroxypropionsäure	x	
Isosorbid		
Itakonsäure	x	
Lävulinsäure	x	
Milchsäure		x
Milchsäureethylester		
Polyhydroxyalkanoat		x
Polymilchsäure		x
Polytrimethylenterephthalat		x
1,3-Propandiol		x
Propylenglycol		
Sorbit	x	
Tetrahydrofuran		
Xylitol	x	

4.2 Datenblätter der Plattformchemikalien

Im Folgenden werden 26 Plattformchemikalien in jeweils einem Datenblatt näher beschrieben. Für jede Substanz gibt das Datenblatt chemische Grundinformationen über den Stoff, wie die Stoffklasse, Synonyme und chemische Derivate, Anwendungen und Anwenderbranchen, Marktvolumina in 2008 und prognostiziert für 2020 wieder. Soweit verfügbar wird der Marktanteil einzelner Länder wie den USA oder China angegeben. Daran schließt sich eine Kurzdarstellung der konventionellen und biobasierten Herstellungsverfahren sowie der biogenen Präkursoren an. Die Datenblätter werden mit einer Entwicklungsprognose zur Bedeutung der biobasierten Produktion (Entwicklungsdynamik) und den Quellen abgeschlossen.

Acrylsäure (Acrylic acid)



Synonyme 1	Stoffklasse 1
2-Propensäure Ethylencarbonsäure Vinylcarbonsäure	C ₃ H ₄ O ₂ Ungesättigte Carbonsäure
Derivate 1	
Acrylsäure -> Methacrylsäure Polyacrylat Polyacrylsäure Polymethylmethacrylat Polyacrylamid Polyacrylnitril	
größte Anwendungen 2	Branchen
Co-Monomer Haftmittel Coatings Entspiegelungen (Kontaktlinsen) Superabsorber (Babywindeln) Lacke Farben	Automobilindustrie Bauwirtschaft Holz- und Möbelindustrie Feinmechanik und Optik Gesundheitswirtschaft Papier- und Textilindustrie

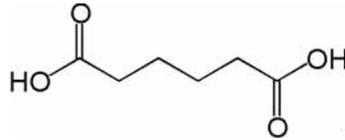
Marktvolumen	2008	2020
3, 4, 5	Weltweit: 2,4 Mio t/a USA: 908.000 t/a	Weltweit: 2,36 Mio t/a USA: 1,1 Mio t/a
konventionelle Herstellungsverfahren		
Katalytische Oxidation von Propen (heutige dominierendes Verfahren) Die Ausbeute beträgt 90 %. ^{5, 6, 7}		
biobasierte Herstellungsverfahren		
<p>- im Labormaßstab realisiert:</p> <p>a) Synthese von fermentierter 3-Hydroxypropionsäure^{7, 8}</p> <p>b) Katalytische Umwandlung von Rohglycerin aus der Biodieselproduktion zu Acrolein und Acrylsäure. Pilotanlage ist von Arkema in Planung.⁹</p> <p>- erste Pilotanlagen:</p> <p>a) Hydrolyse von Acrylnitril durch eine Nitrilhydratase aus <i>Pseudomonas chlororaphis</i> bzw. <i>Rhodococcus sp.</i>, Nitto Chemicals Ind. Co., Ltd¹⁰</p> <p>b) Enzymatische oder thermochemische Dehydratisierung von Milchsäure⁶</p>		
biogene Präkursoren		
C3-Zucker → Milchsäure		
Entwicklungsprognose zur Bedeutung biobasierter Produktion		
→ schwache Entwicklungsdynamik		

Quellen

- ¹ <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov> (CID 6581) , zuletzt abgerufen am 28.02.2011
- ² <http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/9/mac/andere/acryl.vlu/Page/vsc/de/ch/9/mac/andere/einleitung/acrylein.vscml.html>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011
- ³ The BREW Project Medium and Long-term Opportunities and Risks of the Biotechnological Production of Bulk Chemicals from Renewable Resources; September 2006, S.38
- ⁴ Biorefineries – Industrial Processes and Products, Birgit u. Michael Kamm, Vol.2, Wiley-VCH, 2006, S.353
- ⁵ Informationsserie Nachwachsende Rohstoffe, Fonds der Chemischen Industrie, 2009.
- ⁶ Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie, bmvit, korrigierte Fassung 2007, S.54
- ⁷ Griebtede, I.: Die partielle Oxidation von Propan zu Acrylsäure Bestimmung der Reaktionskinetik und in-situ Charakterisierung des Katalysators unter Betriebsbedingungen, Dissertation, Universität Karlsruhe, 2004.
- ⁸ <http://www.icis.com/v2/chemicals/9074872/acrylic-acid/process.html>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011
- ⁹ Catalyst creativity, ICIS Chemical Business, May 4-10, 2009.
- ¹⁰ Technologiestudie Industriell eingesetzte biotechnische Verfahren und Produkte im produktionsintegrierten Umweltschutz, rubitec, Mai 2001, S.15

Adipinsäure

(Adipic acid)



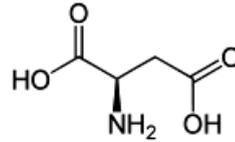
Synonyme		Stoffklasse
1,4-Butandicarbonsäure 1,6-Hexandisäure E355		$C_6H_{10}O_4$ Dicarbonsäure
Derivate		
Adipinsäure -> Polyamid-Fasern Ester Polyurethan-Harz		
größte Anwendungen		Branchen
1, 2 Nylon 6,6 Elastomere Polyurethan Harz Plastiziermittel Säuerungsmittel (Lebensmittel) Weich- und Hartschaum		Automobilindustrie Bauwirtschaft Handwerk Holz- und Möbelindustrie Ernährung Lederindustrie Textilindustrie
Marktvolumen		2020
2008 3 Weltweit: 890.000 t/a		Keine Angaben
konventionelle Herstellungsverfahren		
2 Benzen -> Hydrierung zu Cyclohexanol -> Oxidation mit Salpetersäure		
biobasierte Herstellungsverfahren		
- im Labormaßstab realisiert: ² a) Biosynthese von Glucose -> katalytische Hydrierung b) Biosynthese von Cyclohexanol mittels <i>Acinetobacter sp.</i> c) Enzymatische Umwandlung von Adiponitril zu Ammonium-Adipinat - erste Pilotanlagen: Das biologisch abbaubare 4,4-Polyesterpolymer Bionelle wurde von der japanischen Firma Showa Denko entwickelt. (Es deckt ähnliche Märkte wie PLA ab; derzeitig behindern die hohen Herstellungskosten einen verstärkten Verkauf des Polymers. Die derzeitige Produktionskapazität liegt bei ca. 6.000 t/a.) ³		
biogene Präkursoren		
C4-Zucker		
Entwicklungsprognose zur Bedeutung biobasierter Produktion		
➔schwache Entwicklungsdynamik		

Quellen

- ¹ <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/> (CID 196), zuletzt abgerufen am 28.02.2011
- ² The BREW Project Medium and Long-term Opportunities and Risks of the Biotechnological Production of Bulk Chemicals from Renewable Resources; September 2006, S.80f
- ³ Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie, bmvit, korrigierte Fassung 2007, S.56

Asparaginsäure

(Aspartic acid)



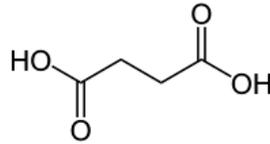
Synonyme 1		Stoffklasse 1
2-Aminobutandisäure Aminobernsteinsäure		C ₄ H ₇ NO ₄ proteinogene α-Aminosäure
Derivate 2		
Asparaginsäure -> 3-Aminotetrahydrofuran 2-Amino-1,4-butandiol Asparaginanhydrid		
größte Anwendungen 3		Branchen
Produktion von Aspartam (=Süßmittel) Salz für Chelatbildner		Gesundheitswirtschaft Handel Chemie und Pharmazie Ernährung
Marktvolumen 3, 4, 5	2008 Weltweit: 13.000 t/a	2020 Weltweit: 15.340 t/a
konventionelle Herstellungsverfahren 3		
konventionelle Fumarsäure -> Aminierung mit Ammoniak		
biobasierte Herstellungsverfahren		
- im Labormaßstab realisiert: ³ Fermentation von C4-Zucker Biotransformation von Oxalacetat im Krebs-Zyklus ⁶ - in der industriellen Umsetzung: ³ a) Enzymatische Aminierung von biobasierter Fumarsäure, katalysiert durch Aspartasen ³ b) Fumarsäure -> Proteinextraktion ³		
biogene Präkursoren		
C4-Zucker -> Fumarsäure		
Entwicklungsprognose zur Bedeutung biobasierter Produktion		
➤ durchschnittliche Entwicklungsdynamik		

Quellen

- ¹ <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov> (CID 5960), zuletzt abgerufen am 28.02.2011
- ² Top Value Added Chemicals From Biomass Volume I: Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas, August 2004, S.33
- ³ The BREW Project Medium and Long-term Opportunities and Risks of the Biotechnological Production of Bulk Chemicals from Renewable Resources; September 2006, S.47f
- ⁴ Biorefineries – Industrial Processes and Products, Birgit u. Michael Kamm, Vol.2, Wiley-VCH, 2006, S.353
- ⁵ Biopol Assessment of BIOrefinery concepts and the implications for agricultural and forestry POLicy, D 2.1.1 Note on literature review concerning market introduction and development of biorefinery concepts and related products, 2008, S. 10.
- ⁶ Fernando S., Adhikari S., Chandrapal C., Murali N., Biorefineries: Current Status, Challenges, and Future Direction, Energy & Fuels, 20, 1727-1737, 2006.

Bernsteinsäure

(Succinic acid)



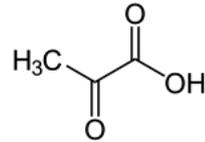
Synonyme 1		Stoffklasse 1
Succinylsäure 1,4-Butandisäure E 363		C ₄ H ₆ O ₄ Carbonsäure
Derivate 2		
Succinylsäure -> Tetrahydrofuran Pyrrolidone 1,4- Butandiol		
größte Anwendungen 3		Branchen
Geschmacksverstärker Lösungsmittel Antibiotika Weichmacher Parfümherstellung Polyesterharz		Forschung und Entwick- lung Gesundheitswirtschaft Chemie und Pharmazie Lederindustrie Ernährung Handel
Marktvolumen 4	2008	2015
	Weltweit: 30.000 t/a	Weltweit: 180.000 t/a
konventionelle Herstellungsverfahren 2, 3		
katalytische Hydrierung von Maleinsäure bzw. Maleinsäureanhydrid		
biobasierte Herstellungsverfahren		
- erste Pilotanlagen: ^{3, 5, 6} a) Fermentation von Fumarsäure durch Schimmelpilze (<i>Aspergillus succinoproducens</i>) b) Fermentation verschiedener Substrate durch angepasste (Metabolic Engineering) Bakterien, wie z. B. <i>Escherichia coli</i> , <i>Actinobacillus succinogenes</i> , <i>Corynebacterium glutamicum</i> oder <i>Anaerobiospirillum succiniciproducens</i> ⁵ Fermentation von Glycerin in <i>Basfia succiniciproducens</i> ⁶		
Bedarf an Bio-Bernsteinsäure: 270.000 t/a; Verbrauch steigt jährlich um 10 %		
biogene Präkursoren		
C4-Zucker -> Fumarsäure		
Entwicklungsprognose zur Bedeutung biobasierter Produktion		
↑ starke Entwicklungsdynamik		

Quellen

- ¹ <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov> (CID 1110), zuletzt abgerufen am 28.02.2011
- ² Top Value Added Chemicals From Biomass Volume I: Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas Produced by Staff at the Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) and the National Renewable Energy Laboratory (NREL), T. Werpy and G. Petersen, Principal Investigators, August 2004, S. 23ff.
- ³ The BREW Project Medium and Long-term Opportunities and Risks of the Biotechnological Production of Bulk Chemicals from Renewable Resources; September 2006, S.42, 52
- ⁴ Marktstudie von Frost&Sullivan, 2009, <http://www.frost.com/prod/servlet/report-brochure.pag?id=M2F2-01-00-00-00>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011
- ⁵ U.S. Biobased Products, Market Potential and Projections through 2025, USDA, S. 79ff, 2010
- ⁶ http://www.bio-pro.de/biopolymere/artikelliste_biopolymere/index.html?lang=de&artikelid=/artikel/04758/index.html, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

Brenztraubensäure

(Pyruvic acid)



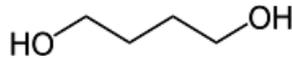
Synonyme 1		Stoffklasse 1	
2-Oxopropionsäure 2-Oxopropionsäure Acetylameisensäure		C ₃ H ₄ O ₃ Ketocarbonsäure	
Derivate 1			
Ethylpyruvat			
größte Anwendungen 2		Branchen	
Emulgator Pharmazeutika		Gesundheitswirtschaft Bio- und Gentechnologie Chemie und Pharmazie	
Marktvolumen		2008	2020
		Keine Angaben	Keine Angaben
konventionelle Herstellungsverfahren 2			
Hydrolyse von Acetylcyanid oder Reaktion von Weinsäure mit Kaliumhydrogensulfat			
biobasierte Herstellungsverfahren			
- im Labormaßstab realisiert: ³ Entwicklung eines fermentativen Verfahrens zur umweltverträglichen Produktion von Brenztraubensäure für die Synthese von Aminosäuren (Forschungszentrum Jülich GmbH; Degussa, Universität Ulm)			
- erste Pilotanlagen: ⁴ Trockene Destillation = Dehydratisierung („Brenzreaktion“) von Weinsäure ³			
biogene Präkursoren			
C3-Zucker			
Entwicklungsprognose zur Bedeutung biobasierter Produktion			
➤ durchschnittliche Entwicklungsdynamik			

Quellen

- ¹ <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov> (CID 1060), zuletzt abgerufen am 28.02.2011
- ² Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie, bmvit, korrigierte Fassung 2007, S.55
- ³ Fermentative Herstellung von Feinchemikalien auf Zuckerbasis via Pyruvat am Beispiel von Valin, Vortrag von Robert Gerstmeir, 2005.
- ⁴ Technologiestudie Industriell eingesetzte biotechnische Verfahren und Produkte im produktionsintegrierten Umweltschutz, rubitec, Mai 2001, S.29

1,4-Butandiol

(1,4-Butanediol)

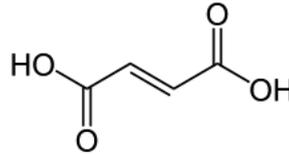


Synonyme <small>1</small>		Stoffklasse <small>1</small>
Tetramethylenglycol Butan 1,4-diol		C ₄ H ₁₀ O ₂ Alkohol mit zwei Hydroxylgruppen
Derivate <small>1, 2</small>		
1,4-Butandiol -> Tetrahydrofuran Polybutylenterephthalat (PBT) Butyrolacton Methylpyrrolidon Adipinsäure Pyrrolidone Polybutylen succinat (PBS) Polyurethan		
größte Anwendungen <small>2, 3</small>		Branchen
Lösungsmittel Feuchthaltemittel Glycerinersatz Harz für Coatings Plastik		Bauwirtschaft Forschung und Entwicklung Gesundheitswirtschaft Lederindustrie Automobilindustrie
Marktvolumen <small>4, 5</small>	2008	2020
	ca. 1,3 Mio t/a BASF: 575.000 t/a	Nordamerikanischer Markt: 860,000 t/a
konventionelle Herstellungsverfahren		
Seit 1930: Reppe-Synthese über Acetylen, Hydrierung von Maleinsäureanhydrid, Hydrierung von 2-Butin-1,4-diol mittels Katalysator ^{3, 6}		
biobasierte Herstellungsverfahren		
<p>- im Labormaßstab realisiert:^{2, 3}</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Acetoxylierung von Butadien b) Oxidation von Butan zu Maleinanhydrid -> Hydrierung c) Hydroformulierung von Allylalcohol d) Epoxidation von Butadien e) Biobasierte Bernsteinsäure -> Butandiol f) Mischung aus 2-Pyrrolidon und N-Methylpyrrolidon <p>- erste Pilotanlagen:³</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Fermentative Produktion von biobasierter Bernsteinsäure/Fumarsäure -> katalytische Reduktion zu 1,4-Butandiol b) Fermentation von Zucker durch genmodifizierte <i>E. coli.</i>, Pilotanlage von Genomatica in San Diego, USA.⁷ 		

biogene Präkursoren
C4 -> Fumar- oder Succinylsäure -> Butan
Entwicklungsprognose zur Bedeutung biobasierter Produktion
↑ starke Entwicklungsdynamik
Quellen
¹ http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/ (CID 8064), zuletzt abgerufen am 28.02.2011
² Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie, bmvit, korrigierte Fassung 2007, S.56f
³ The BREW Project Medium and Long-term Opportunities and Risks of the Biotechnological Production of Bulk Chemicals from Renewable Resources; September 2006, S.43, 52
⁴ Ölentzug für die Chemie, Technology Review, 2010. http://www.heise.de/tr/artikel/Oel-Entzug-fuer-die-Chemie-1075520.html , zuletzt abgerufen am 28.02.2011
⁵ René van Ree und Bert Annevelink, Status Report Biorefinery 2007, ISBN-number 978-90-8585-139-4
⁶ Biorefineries – Industrial Processes and Products, Birgit u. Michael Kamm, Vol.2, Wiley-VCH, 2006, S.353
⁷ http://www.genomatica.com/news/press-releases/genomatica-delivers-pilot-scale-validation/ , zuletzt abgerufen am 28.02.2011

Fumarsäure

(Fumaric acid)

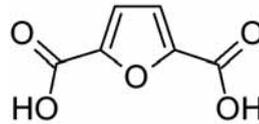


Synonyme 1		Stoffklasse 1
E 297 trans-Butendisäure trans-Ethylendicarbonsäure		C ₄ H ₄ O ₄ Ungesättigte Dicarbonsäure
Derivate 1		
Fumarsäure -> Tetrahydrofuran 1,4-Butandiol Butyrolactone Asparaginsäure L-alanin Succinylsäure		
größte Anwendungen 2, 3		Branchen
Lebensmittelzusatzstoff Säuerungsmittel Konservierungsmittel Komponente zur Herstellung von Polyesterharzen		Lebensmittelbranche Gesundheitswirtschaft Chemie und Pharmazie Automobilindustrie Bauwirtschaft Holz- und Möbelindustrie
Marktvolumen 2, 3, 4, 5	2008	2020
	Weltweit: 12.000 t/a bis 203.000 t/a	Keine Angaben
konventionelle Herstellungsverfahren 2		
Thermische oder katalytische Isomerisierung von Maleinsäure (Katalysator Thiourea)		
biobasierte Herstellungsverfahren		
- in der industriellen Umsetzung: Fermentation von Glucose mit den Pilzen <i>Rhizopus arrhizus</i> oder <i>Mucor aspergillus</i> ² (Prozess bereits in den 1940er Jahren entdeckt, hohe Produktionskosten und niedrige Öl-Preise machten diesen Syntheseweg lange Zeit unattraktiv. Ab einem Öl-Preis von über 61 USD/barrel gilt der fermentative Weg als kompetitiv.) ⁶		
biogene Präkursoren		
C4-Zucker		
Entwicklungsprognose zur Bedeutung biobasierter Produktion		
↑ starke Entwicklungsdynamik		

Quellen

- ¹ [http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/\(CID 444972\)](http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/(CID%20444972)), zuletzt abgerufen am 28.02.2011
- ² The BREW Project Medium and Long-term Opportunities and Risks of the Biotechnological Production of Bulk Chemicals from Renewable Resources; September 2006, S.45-47
- ³ Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie, bmvit, korrigierte Fassung 2007, S.56
- ⁴ Biopol Assessment of BIOrefinery concepts and the implications for agricultural and forestry POLicy, D 2.1.1 Note on literature review concerning market introduction and development of biorefinery concepts and related products, 2008, S. 10.
- ⁵ Biochemical Opportunities in the United Kingdom, September 2008, NNFCC project 08-008, A study funded by Defra, project managed by NNFCC and conducted by Nexant ChemSystems, S.25.
- ⁶ Carol A. Roa Engel, Adrie J. J. Straathof, Tiemen W. Zijlmans, Walter M. Van Gulik, and Luuk A. M. van der Wielen, Fumaric acid production by fermentation, Appl Microbiol Biotechnol. 2008 March; 78(3): 379-389.

2,5-Furan dicarboxylsäure (2,5-Furandicarboxylic acid)



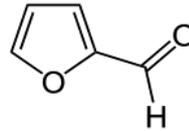
Synonyme		Stoffklasse
		1 C ₆ H ₄ O ₅ Carboxylsäure
Derivate		
2 2,5-Furandicarboxylsäure -> Lävulinsäure Succinylsäure		
größte Anwendungen		Branchen
2 Nylon Polyester Polyamide 2,5-dihydroxymethylfuran 2,5-bis(hydroxymethyl)tetrahydrofuran		Handel Chemie und Pharmazie Lederindustrie
Marktvolumen	2008	2020
2, 3	Weltweit: 2.270.000 t/a	Weltweit: 4.000.000 t/a
konventionelle Herstellungsverfahren		
4 Oxidation von 2,5-substituierten Furanen oder katalytisch		
biobasierte Herstellungsverfahren		
- im Labormaßstab realisiert: Enzymatische Produktion ² - in der industriellen Umsetzung: Oxidative Dehydratisierung von Glucose -> Hydroxymethylfurfural (HMF) ²		
biogene Präkursoren		
C6-Zucker -> Glucose -> 5-Hydroxymethylfurfural (HMF)		
Entwicklungsprognose zur Bedeutung biobasierter Produktion		
↑ starke Entwicklungsdynamik		

Quellen

- ¹ <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/> (CID 76720), zuletzt abgerufen am 28.02.2011
- ² Top Value Added Chemicals From Biomass
Volume I: Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas Produced by Staff at the Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) and the National Renewable Energy Laboratory (NREL), T. Wery and G. Petersen, Principal Investigators, August 2004, S.26-28
- ³ Biorefineries – Industrial Processes and Products, Birgit u. Michael Kamm, Vol.2, Wiley-VCH, 2006, S.353
- ⁴ US Biobased Products Market Potential and Projections through 2025, USDA, 2008.

Furfural

(Fural)



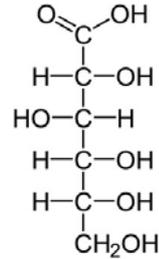
Synonyme 1		Stoffklasse 1
Furancarbonsäure Furan-2-aldehyd		C ₅ H ₄ O ₂ Heterocyclischer Aldehyd
Derivate 2, 3		
Furfural -> Furan Tetrahydrofuran Furfurylalkohol Adiponitril Furfurylamine Furanacrylsäure Lävulinsäure Maleinsäure		
größte Anwendungen 2, 3		Branchen
Arzneimittel Lösungsmittel Schmiermittel Kunstharz Nylon		Forschung und Entwicklung Gesundheitswirtschaft Chemie und Pharmazie Holz- und Möbelindustrie Lederindustrie
Marktvolumen 2, 4	2008	2020
	Weltweit: 309.000 t/a (ca. 75 % China)	Weltweit: 364.000 t/a
konventionelle Herstellungsverfahren		
- in der industriellen Umsetzung: Pentosan -> saure Hydrolyse z. B. mit Schwefelsäure -> Dehydratisierung -> Furfural ³		
biobasierte Herstellungsverfahren		
2010: Keine biotechnische Herstellung ⁵		
biogene Präkursoren		
C5-Zucker		
Entwicklungsprognose zur Bedeutung biobasierter Produktion		
↗ durchschnittliche Entwicklungsdynamik		

Quellen

- ¹ <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov> (CID 7362), zuletzt abgerufen am 28.02.2011
- ² Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie, bmvit, korrigierte Fassung 2007, S.62f
- ³ The BREW Project Medium and Long-term Opportunities and Risks of the Biotechnological Production of Bulk Chemicals from Renewable Resources; September 2006, S.58-61
- ⁴ Biorefineries – Industrial Processes and Products, Birgit u. Michael Kamm, Vol.2, Wiley-VCH, 2006, S.353
- ⁵ Sven Wydra, Bärbel Hüsing, Pirek Kukk, Analyse des Handlungsbedarfs für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) aus der Leitmarktinitiative (LMI) der EU-Kommission für biobasierte Produkte außerhalb des Energiesektors, Fraunhofer ISI, 2010, S. 31.

Gluconsäure

(Gluconic acid)



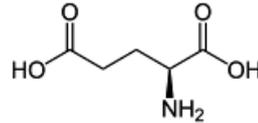
Synonyme ¹		Stoffklasse ¹
E 574 Dextronsäure		C ₆ H ₁₂ O ₇ Carbonsäure
Derivate		
größte Anwendungen ^{1, 2}		Branchen
Sequestrierungsmittel Nahrungsmittel (Säureregulator) Futtermittel Arzneimittel		Gesundheitswirtschaft Bio- und Gentechnologie Chemie und Pharmazie Ernährung Land- und Forstwirtschaft
Marktvolumen		2020
2008		2020
3, 4, 5, 6 Weltweit: 25.000 t/a bis 100.000 t/a		Weltweit: 120.000 t/a
konventionelle Herstellungsverfahren		
Oxidation von Glucose mit Bromwasser. (2010: Überwiegend biotechnische Produktion ⁷)		
biobasierte Herstellungsverfahren		
<p>- im Labormaßstab realisiert: Oxidation von Glucose mit Salpetersäure als Katalysator²</p> <p>- in der industriellen Umsetzung: a) Anaerobe Fermentation von D-Glucose mit dem Schimmelpilz <i>Aspergillus niger</i> -> Natriumgluconat -> Ansäuerung² b) Fermentative Oxidation der Glucose durch das Bakterium <i>Gluconobacter</i>⁸</p>		
biogene Präkursoren		
C6-Zucker -> Glucose		
Entwicklungsprognose zur Bedeutung biobasierter Produktion		
↗ durchschnittliche Entwicklungsdynamik		

Quellen

- ¹ <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov> (CID 10690), zuletzt abgerufen am 28.02.2011
- ² Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie, bmvit, korrigierte Fassung 2007, S.66f
- ³ Positionspapier der DECHEMA e.V., Weiße Biotechnologie, Chancen für Deutschland, November 2006, S.46
- ⁴ Biorefineries – Industrial Processes and Products, Birgit u. Michael Kamm, Vol.2, Wiley-VCH, 2006, S.353
- ⁵ Biopol Assessment of BIOrefinery concepts and the implications for agricultural and forestry POLicy, D 2.1.1 Note on literature review concerning market introduction and development of biorefinery concepts and related products, 2008, S. 10.
- ⁶ Minou Nowrousian, Ulrich Kück, Birgit Hoff, Ines Engh, Schimmelpilze: Lebensweise, Nutzen, Schaden, Bekämpfung, Springer Verlag, ISBN: 978-3-540-88716-4, 2009, S.99.
- ⁷ Sven Wydra, Bärbel Hüsing, Pirek Kukk, Analyse des Handlungsbedarfs für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) aus der Leitmarktinitiative (LMI) der EU-Kommission für biobasierte Produkte außerhalb des Energiesektors, Fraunhofer ISI, 2010.
- ⁸ Potentialanalyse der industriellen, weißen Biotechnologie, Endbericht, Fraunhofer-Institut, März 2008, S.130

Glutaminsäure

(Glutamic acid)



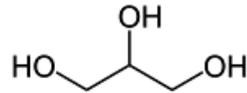
Synonyme 1		Stoffklasse 1
E620 – E625 Aminoglutarsäure 2-Aminopentandisäure		C ₅ H ₉ NO ₄ Nicht essentielle α-Aminosäuren
Derivate 2		
Glutaminsäure -> 1,5- Propandiol 1,5-Propandisäure		
größte Anwendungen 3		Branchen
Lebensmittelzusatzstoff Geschmacksverstärker (Glutamat)		Gesundheitswirtschaft Chemie und Pharmazie Land- und Forstwirtschaft Ernährung Lederindustrie
Marktvolumen 4, 5, 6	2008	2020
	Weltweit: 1,5 Mio t/a	Weltweit: 1,8 Mio. t/a
konventionelle Herstellungsverfahren		
biobasierte Herstellungsverfahren		
- in der industriellen Umsetzung: Fermentation von Melasse oder Glucose ³ (die Herstellung erfolgt seit den 1960er Jahren fast ausschließlich fermentativ; Bedarf stark steigend)		
biogene Präkursoren		
C5-Zucker -> Glucose/Melasse		
Entwicklungsprognose zur Bedeutung biobasierter Produktion		
↑ starke Entwicklungsdynamik		

Quellen

- ¹ <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov> (CID 611), zuletzt abgerufen am 28.02.2011
- ² Top Value Added Chemicals From Biomass, Volume I: Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas Produced by Staff at the Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) and the National Renewable Energy Laboratory (NREL), T. Werpy and G. Petersen, Principal Investigators, August 2004, S.39-41
- ³ Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie, bmvit, korrigierte Fassung 2007, S.74
- ⁴ The BREW Project Medium and Long-term Opportunities and Risks of the Biotechnological Production of Bulk Chemicals from Renewable Resources; September 2006, S.67
- ⁵ Biorefineries – Industrial Processes and Products, Birgit u. Michael Kamm, Vol.2, Wiley-VCH, 2006, S.353
- ⁶ Biopol Assessment of BIOrefinery concepts and the implications for agricultural and forestry POLicy, D 2.1.1 Note on literature review concerning market introduction and development of biorefinery concepts and related products, 2008, S.10

Glycerin

(Glycerol)



Synonyme 1		Stoffklasse 1
Propantriol E 422 1,2,3-Propantriol		C ₃ H ₈ O ₃ Dreiwertiger Alkohol
Derivate 2		
Glycerin -> 1,2-Propandiol 1,3-Propandiol Propylenglykol Acrolein Epichlorhydrin Polyglycerin		
größte Anwendungen 2, 3		Branchen
Feuchtigkeitsmittel Schmiermittel Arzneimittel Nahrungsmittel Frostschutzmittel Polyester-Fasern		Automobilindustrie Bauwirtschaft Kunststoff und Gummi Maschinen- und Anlagenbau Gesundheitswirtschaft Kosmetik-Industrie Chemie und Pharmazie Ernährung
Marktvolumen 2, 3, 4	2008	2020
	Weltweit: 750.000 t/a USA: 194.000 t/a	Weltweit: 890.000 t/a USA: keine Angaben
konventionelle Herstellungsverfahren 5		
Propylen -> Epichlorhydrin -> Hydrolyse (Weltweit: 10 % - Tendenz fallend)		
biobasierte Herstellungsverfahren 5		
- erste Pilotanlagen: a) Enzymatische Abtrennung von Fetten und Ölen mit Lipasen b) Fermentation von Zucker c) Kohlenhydrate -> Hydrierung -> Separation durch Destillation		
- in der industriellen Umsetzung: Veresterung von pflanzlichen Ölen mit Methanol (Abfallprodukt der Biodieselherstellung (10 %), dies führte zu stark sinkenden Preisen)		
biogene Präkursoren		
C3-Zucker		

Entwicklungsprognose zur Bedeutung biobasierter Produktion

➤ durchschnittliche Entwicklungsdynamik

Quellen

¹ <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov> (CID 753), zuletzt abgerufen am 28.02.2011

² Top Value Added Chemicals From Biomass Volume I: Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas Produced by Staff at the Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) and the National Renewable Energy Laboratory (NREL), T. Werpy and G. Petersen, Principal Investigators, August 2004, S.52-55

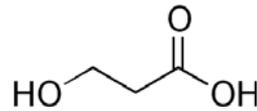
³ Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie, bmvit, korrigierte Fassung 2007, S.65

⁴ Biorefineries – Industrial Processes and Products, Birgit u. Michael Kamm, Vol.2, Wiley-VCH, 2006, S.353

⁵ The BREW Project Medium and Long-term Opportunities and Risks of the Biotechnological Production of Bulk Chemicals from Renewable Resources; September 2006, S.29-31

3-Hydroxypropionsäure

(3-Hydroxypropionic acid)



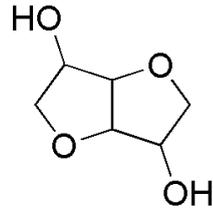
Synonyme		Stoffklasse
3-HPA		Carboxylsäure
Derivate		
3-Hydroxypropionsäure -> 1,3-Propanediol Malonsäure Acrylsäure Acrylamid		
größte Anwendungen		Branchen
Polymere (Polyester) Spezialchemikalien Coatings Plastikschaum Acrylfaser Konservierungsstoff (Lebensmittel)		Grundstücks- und Wohnungswesen Holz- und Möbelindustrie Kunststoff und Gummi Entsorgung und Recycling Lederindustrie Handel Nahrungsmittel
Marktvolumen		2020
2008		Keine Angaben
Keine Angaben		Keine Angaben
konventionelle Herstellungsverfahren		
Synthese aus Acrolein (DuPont/Degussa) oder Hydroformylierung von Ethylenoxid (Shell). Stark steigende Ölpreise und fallende Glycerin-Preise machen die konventionellen Verfahren immer unattraktiver. ^{2, 3, 5}		
biobasierte Herstellungsverfahren		
- Labormaßstab: Fermentation von Glycerin zu 3-Hydroxypropionaldehyd ^{6, 7, 8}		
- in der industriellen Umsetzung: Fermentation von Glucose (DuPont/Genecor, Cargill) ^{3, 6}		
biogene Präkursoren		
C6-Zucker		
Entwicklungsprognose zur Bedeutung biobasierter Produktion		
↑ starke Entwicklungsdynamik		

Quellen

- ¹ <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov> (CID 68152), zuletzt abgerufen am 28.02.2011
- ² Top Value Added Chemicals From Biomass Volume I: Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas Produced by Staff at the Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) and the National Renewable Energy Laboratory (NREL), T. Werpy and G. Petersen, Principal Investigators, August 2004, S.29-31
- ³ The BREW Project Medium and Long-term Opportunities and Risks of the Biotechnological Production of Bulk Chemicals from Renewable Resources; September 2006, S.32-34
- ⁴ Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie, bmvit, korrigierte Fassung 2007, S.59
- ⁵ Biorefineries – Industrial Processes and Products, Birgit u. Michael Kamm, Vol.2, Wiley-VCH, 2006, S.353
- ⁶ Nusser, M, Hüsing, B., Wydra, S. Potenzialanalyse der industriellen, weißen Biotechnologie, 2007, S.134.
- ⁷ C. Ulmer and A.-P. Zeng (2007). Microbial production of 3-hydroxypropionaldehyde from glycerol bioconversion. Chem. Biochem. Eng. Q. 21; 321-326.
- ⁸ Christoph Ulmer Mikrobielle Produktion von 3-Hydroxypropionaldehyd. Prozessentwicklung, Optimierung und Aufarbeitung, Dissertation, 2008.

Isosorbid

(Isosorbide)



Synonyme		Stoffklasse
1 4,8-dioxabicyclo[3.3.0]octane-2,6-diol Mannitol		1 C ₆ H ₁₀ O ₄ Alditol
Derivate		
1 Isosorbid -> Dimethylisosorbid Isosorbid dinitrat		
größte Anwendungen		Branchen
5 Medikamente (zur Gefäßerweiterung) Lösungsmittel in Kosmetika		Forschung und Entwicklung Gesundheitswirtschaft Bio- und Gentechnologie Chemie und Pharmazie Handel
Marktvolumen		2020
2, 3 2008 USA: 800 t/a Weltweit: keine Angaben		USA: keine Angaben Weltweit: 45.400 t/a
konventionelle Herstellungsverfahren		
biobasierte Herstellungsverfahren		
- im Labormaßstab realisiert: Pacific Northwest National Laboratory arbeitet an einem Prozess zur Verwendung fester Säuren als Katalysator ³ - in der industriellen Umsetzung: Dehydrierung von Sorbitol mittels Katalysatoren ³		
biogene Präkursoren		
C6-Zucker -> Sorbitol		
Entwicklungsprognose zur Bedeutung biobasierter Produktion		
↗ durchschnittliche Entwicklungsdynamik		

Quellen

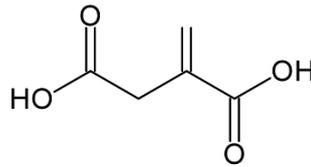
¹ <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov> (CID 12597), zuletzt abgerufen am 28.02.2011

² The BREW Project Medium and Long-term Opportunities and Risks of the Biotechnological Production of Bulk Chemicals from Renewable Resources; September 2006, S.75f

³ Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie, bmvit, korrigierte Fassung 2007, S.64

Itakonsäure

(Itaconic acid)



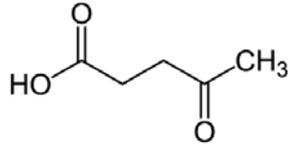
Synonyme ¹		Stoffklasse ¹
Methylenbernsteinsäure Cis-Methylenbutandisäure		C ₅ H ₆ O ₄ Organische Dicarbonsäure
Derivate ²		
Itakonsäure -> 2-Methyl-1,4-butandiol Tetrahydrofuran Pyrrolidinon		
größte Anwendungen ^{3,4}		Branchen
Kleber Polymerproduktion Reaktiver Co-Polymer Herbizide Latexfarben Detergenzien		Feinkeramische Industrie Bauwirtschaft Automobilindustrie Feinmechanik und Optik Kunststoff und Gummi Pflanzenschutz
Marktvolumen ⁵	2008	2020
	Weltweit: 15.000 t/a	Keine Angaben
konventionelle Herstellungsverfahren		
Viele einzelne Schritte – Option nicht praktikabel ^{2,4}		
biobasierte Herstellungsverfahren		
- in der industriellen Umsetzung: Fermentation von Xylose mit Schimmelpilzen (<i>Aspergillus terreus</i> und <i>Aspergillus itaconicus</i>) ^{3,4}		
biogene Präkursoren		
C5-Zucker		
Entwicklungsprognose zur Bedeutung biobasierter Produktion		
↗ durchschnittliche Entwicklungsdynamik		

Quellen

- ¹ <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov> (CID 811), zuletzt abgerufen am 28.02.2011
- ² Top Value Added Chemicals From Biomass Volume I: Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas Produced by Staff at the Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) and the National Renewable Energy Laboratory (NREL), T. Werpy and G. Petersen, Principal Investigators, August 2004, S.42-44
- ³ Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie, bmvit, korrigierte Fassung 2007, S.62
- ⁴ Potentialanalyse der industriellen, weißen Biotechnologie, Endbericht, Fraunhofer-Institut, März 2008, S.132
- ⁵ Datenblatt der OECD für CAS N°: 97-65-4
<http://www.inchem.org/documents/sids/sids/97654.html>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

Lävulinsäure

(Levulinic acid)



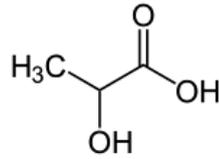
Synonyme 1		Stoffklasse 1
4-Oxopentansäure 4-Oxovaleriansäure Levulinsäure		C ₅ H ₈ O ₃ γ-Ketosäure
Derivate 1		
Lävulinsäure -> Methyltetrahydrofuran Tetrahydrofuran Diphenolsäure Aminolävulinsäure 1,4-Butandiol Valerolacton		
größte Anwendungen 2		Branchen
Chirales Reagenz Korrosionsinhibitor Faserproduktion Lösungsmittel Pharmazeutika		Chemie und Pharmazie Automobilindustrie Bauwirtschaft Informationstechnik- und Telekommunikation
Marktvolumen 2, 3	2008 Weltweit: 454.000 t/a	2020 Weltweit: 536.000 t/a
konventionelle Herstellungsverfahren		
Ozonolyse von ungesättigten Kohlenwasserstoff ⁴		
biobasierte Herstellungsverfahren		
<p>- im Labormaßstab realisiert:⁴</p> <p>a) Pentose (Xylose) -> saure Hydrolyse -> Reduktion</p> <p>b) Furfural -> Ringöffnung</p> <p>- in der industriellen Umsetzung:⁴</p> <p>a) Glucose -> mittels Enzyme -> Hydroxymethylfurfural -> saure Hydrolyse -> Lävulinsäure</p> <p>b) Cellulose/Stärke -> Säurekatalyse -> Lävulinsäure</p> <p>c) D-Fructose mittels Salzsäure (HCl) -> Lävulinsäure</p>		
biogene Präkursoren		
C5-Zucker -> Glucose -> Hydroxymethylfurfural		
Entwicklungsprognose zur Bedeutung biobasierter Produktion		
➤ durchschnittliche Entwicklungsdynamik		

Quellen

- ¹ <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/> (CID 11579), zuletzt abgerufen am 28.02.2011
- ² Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie, bmvit, korrigierte Fassung 2007, S.65
- ³ Biorefineries – Industrial Processes and Products, Birgit u. Michael Kamm, Vol.2, Wiley-VCH, 2006, S.353
- ⁴ The BREW Project Medium and Long-term Opportunities and Risks of the Biotechnological Production of Bulk Chemicals from Renewable Resources; September 2006, S.56

Milchsäure

(Lactic acid)



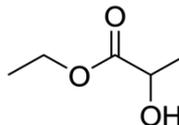
Synonyme 1		Stoffklasse 1
2-Hydroxypropionsäure 2-Hydroxypropansäure E 270		C ₃ H ₆ O ₃ Carboxylsäure
Derivate 1		
Milchsäure -> Acrylsäure Polylactid Ethyllactat Propylenglykol Brenztraubensäure		
größte Anwendungen 2, 3		Branchen
Lebensmittelzusatzstoff Calciumanreicherung (Futtermittel) Säuerungsmittel Emulgatoren Körperpflegeprodukte		Gesundheitswirtschaft Bio- und Gentechnologie Chemie und Pharmazie Land- und Forstwirtschaft Ernährung
Marktvolumen 4, 5	2008	2020
	Weltweit: 150.000 t/a	Weltweit: 180.000 t/a
konventionelle Herstellungsverfahren		
Acetaldehyd mit Blausäure -> Hydrolyse von Lactonitril ² Eine Japanische Firma (Musashino Chemical Laboratory Ltd) benutzt diese synthetische Route um das Racemat der Milchsäure zu produzieren ³		
biobasierte Herstellungsverfahren		
- in der industriellen Umsetzung: Fermentation von Laktose durch verschiedene <i>Bacillus</i> -Arten (<i>Lactobacillus casei</i> , <i>Lactobacillus bulgaricus</i>) ^{2, 3}		
biogene Präkursoren		
C3-Zucker		
Entwicklungsprognose zur Bedeutung biobasierter Produktion		
↗ durchschnittliche Entwicklungsdynamik		

Quellen

- ¹ <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov> (CID 612), zuletzt abgerufen am 28.02.2011
- ² Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie, bmvit, korrigierte Fassung 2007, S.48, 50-52
- ³ U.S. Biobased Products, Market Potential and Projections through 2025, USDA, S.77, 2010
- ⁴ The BREW Project Medium and Long-term Opportunities and Risks of the Biotechnological Production of Bulk Chemicals from Renewable Resources; September 2006, S.26f
- ⁵ Biorefineries – Industrial Processes and Products, Birgit u. Michael Kamm, Vol.2, Wiley-VCH, 2006, S.353

Milchsäureethylester

(Ethyl lactate)



Synonyme ¹		Stoffklasse ¹
2-Hydroxypropionsäureethylester Ethyllactat		C ₅ H ₁₀ O ₃ Ethylester
Derivate		
größte Anwendungen ²		Branchen
Lösungsmittel		Automobilindustrie Handwerk Kunststoff und Gummi
Marktvolumen ^{2, 3, 4}	2008	2020
	Weltweit: 91.000 t/a USA: 3.600 t/a	Weltweit: 107.500 t/a USA: 4.500 t/a
konventionelle Herstellungsverfahren		
biobasierte Herstellungsverfahren		
- in der industriellen Umsetzung: a) Veresterung von Milchsäure mit Ethanol ² b) 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, Methyläthylketon, N-Methyl-pyrrolidon) ²		
biogene Präkursoren		
C6-Zucker		
Entwicklungsprognose zur Bedeutung biobasierter Produktion		
↑ starke Entwicklungsdynamik		
Quellen		
¹ http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/ (CID 7344), zuletzt abgerufen am 28.02.2011		
² Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie, bmvit, korrigierte Fassung 2007, S.52ff, 115		
³ Biorefinery – The worldwide status at the beginning of 2006, R.W.R.Zwart (ECO), July 2006, BioRef 0603, S.11		
⁴ Biorefineries – Industrial Processes and Products, Birgit u. Michael Kamm, Vol.2, Wiley-VCH, 2006, S.353		

Polyhydroxyalkanoat (PHA) (Polyhydroxyalkanoate)

Synonyme 1	Stoffklasse 1	
Polyhydroxyfettsäuren	Polyester, Thermoplaste	
Derivate		
größte Anwendungen 2	Branchen	
Verpackungen Elastomere Biokunststoffe	Automobilindustrie Bauwirtschaft Gesundheitswirtschaft Handwerk Chemie und Pharmazie Ernährung	
Marktvolumen 3, 4, 6, 7	2008	2020
	Weltweit: 80.000 t/a	Weltweit: 442.000 t/a
konventionelle Herstellungsverfahren		
biobasierte Herstellungsverfahren		
<ul style="list-style-type: none"> - im Labormaßstab realisiert:² <ul style="list-style-type: none"> a) Bakterielle Fermentation von Glucose b) Monsanto und andere Firmen untersuchen die direkte Polymer-Produktion in der Pflanze. Dabei wird z. B. die Polyhydroxybuttersäure – Produktion in <i>Arabidopsis</i> als „Wirtspflanze“ durchgeführt. Zusätzlich wird daran gearbeitet PHBV (= Poly(3-Hydroxybutyrat-co-3-hydroxyvalerat)) mit solchen Organismen zu produzieren, die Mehrfachzucker aus weniger reinen Biomassequellen herstellen können. - erste Pilotanlagen:² <ul style="list-style-type: none"> a) Metabolix und Procter & Gamble verwenden rekombinante Bakterienstämme (<i>Escherichia coli</i>) zur Fermentation von Glucose. - in der industriellen Umsetzung:^{5,7} <ul style="list-style-type: none"> a) Metabolix betreibt seit 2010 eine 50kT-Anlage in Iowa, Vertrieb unter den Markennamen Tirl. b) Tianjin Bio Green /DSM hat in 2009 eine Anlage in China eröffnet, 10.000 T/Jahr c) Weitere Produzenten sind Bio-on (Italien), Tianan Biologic Material Co. (China), und BioMatera (Canada) 		
C6-Zucker		
Entwicklungsprognose zur Bedeutung biobasierter Produktion		
↑ starke Entwicklungsdynamik		
Quellen		

¹ <http://www.chemindustry.com/apps/chemicals>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

² Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie, bmvit, korrigierte Fassung 2007, S.60f, 79

³ The BREW Project Medium and Long-term Opportunities and Risks of the Biotechnological Production of Bulk Chemicals from Renewable Resources; September 2006, S.73

⁴ Biorefineries – Industrial Processes and Products, Birgit u. Michael Kamm, Vol.2, Wiley-VCH, 2006, S.353

⁵ <http://biopol.free.fr/index.php/current-players-in-pha-based-resins-polyhydroxyalkanoates/>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

⁶ Product overview and market projection of emerging bio-plastics PRO-BIP 2009, final report, S. 20

⁷ <http://plasticsnews.com/headlines2.html?id=18653>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

Polymilchsäure (PLA)

(Polylactid acid)

Synonyme		Stoffklasse
Polylactid		Polyhydroxysäure
Derivate		
größte Anwendungen		Branchen
Verpackungen Gartenwerkzeug Chirurgisches Nahtmaterial Implantate		Bauwirtschaft Forschung und Entwicklung Gesundheitswirtschaft Chemie und Pharmazie Land- und Forstwirtschaft
Marktvolumen	2008	2020
2, 3, 4	USA: 229.000 t/a	USA: 3.600.000 t/a
konventionelle Herstellungsverfahren		
biobasierte Herstellungsverfahren		
<p>- erste Pilotanlagen:</p> <p>a) in Guben: große PLA-Anlage unter Beteiligung der Uhde GmbH und Pyramid Bioplastic mit einer Kapazität von 60 kt⁵</p> <p>- in der industriellen Umsetzung:</p> <p>a) Milchsäure -> Polymerisation zur Polymilchsäure oder Veresterung von Lactid mit Alkohol²</p> <p>b) Im April 2002 wurde die erste Anlage zur Produktion von PLA im großtechnischen Maßstab in Blair (Nebraska) von NatureWorks in Betrieb genommen. Die Anlage hat eine heutige Kapazität von ca. 140.000 Tonnen PLA.</p> <p>c) Biomer, eine biotechnologische Firma in Krailling, Deutschland hat begonnen, Polylactid in kleinen Mengen kommerziell zu produzieren. Das Produkt wird für durchsichtige Verpackungsfilme und andere spezielle Materialien verwendet.⁶</p> <p>d) Seit 1998 baut Toyota Bioplastik-Bauteile in die Fahrzeugmodelle Prius und Raum ein.⁷</p> <p>e) Futero (50/50 Joint Venture zwischen Total Petrochemicals und Galactic) hat in Escanaffles/Belgien seine erste Anlage zur Herstellung von (PLA)-Biokunststoffen in Betrieb genommen. Kapazität: 1.500 t/a⁸</p>		
biogene Präkursoren		
C3-Zucker -> Milchsäure		
Entwicklungsprognose zur Bedeutung biobasierter Produktion		
↑ starke Entwicklungsdynamik		

Quellen

- ¹ <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov> (CID 612), zuletzt abgerufen am 28.02.2011
- ² Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie, bmvit, korrigierte Fassung 2007, S.48, 52f
- ³ U.S. Biobased Products, Market Potential and Projections through 2025, USDA, S. 104, 2010
- ⁴ Product overview and market projection of emerging bio-plastics PRO-BIP 2009, final report, S. 18
- ⁵ http://wip-kunststoffe.de/uploads/File/pdf/PI_PLA_Guben.pdf, zuletzt abgerufen am 28.02.2011
- ⁶ Techno-Economic Feasibility of Large-scale Production of Bio-based Polymers in Europe, ESTO, December 2005, S.61
- ⁷ Positionspapier der DECHEMA e.V., Weiße Biotechnologie, Chancen für Deutschland, November 2006, S.35f
- ⁸ http://www.kunststoffweb.de/ki_ticker/Futero_PLA-Demonstrationsanlage_nimmt_Normalbetrieb_auf_t216042, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

Polytrimethylenterephthalat

(PTT)

(Polytrimethylene terephthalate)

Synonyme		Stoffklasse
Polypropylen-terephthalat		Aromatischer Polyester, Kunststoff
Derivate		
größte Anwendungen		Branchen
Teppich Textilien Nylon Verpackungen		Automobilindustrie Bauwirtschaft Handel Lederindustrie
Marktvolumen	2008	2020
	Weltweit: 100.000 t/a	Keine Angaben
konventionelle Herstellungsverfahren		
1,4-Propandiol und Terephthalsäure -> Polykondensation		
biobasierte Herstellungsverfahren		
<p>- erste Pilotanlagen:³ Shell, im Joint venture mit SGF Chemie JV, betrieb von 2004 bis etwa 2009 eine PTT-Anlage in Montreal mit einer Kapazität von 95,000 t/a. Die Anlage wurde wegen Unrentabilität geschlossen.⁴</p> <p>- in der industriellen Umsetzung:² Produktion von PTT aus Bio-Propandiol von DuPont/Tate in Tennessee seit 2006.</p>		
biogene Präkursoren		
C3-Zucker -> 1,3-Propandiol		
Entwicklungsprognose zur Bedeutung biobasierter Produktion		
↗ durchschnittliche Entwicklungsdynamik		

Quellen

¹ <http://www.chemindustry.com/apps/chemicals>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

² The BREW Project Medium and Long-term Opportunities and Risks of the Biotechnological Production of Bulk Chemicals from Renewable Resources; September 2006, S.37

³ Techno-Economic Feasibility of Large-scale Production of Bio-based Polymers in Europe, ESTO, December 2005, S.66f

⁴ <http://www.icis.com/Articles/2009/03/03/9197225/shells-ptt-poly-canada-venture-to-close-down.html>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

1,3-Propandiol

(1,3-propanediol)

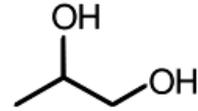


Synonyme 1		Stoffklasse 1
PDO Trimethylenglycol 1,3-Propylendiol		C ₃ H ₈ O ₂ Zweiwertiger Alkohol
Derivate 1		
1,3-Propandiol -> Malonsäure Malonsäurediethylester Polybutylenterephthalat Polyethylenterephthalat Polytrimethylenterephthalat		
größte Anwendungen 2,3,4		Branchen
Kosmetik Lebensmittel Schmiermittel Treibstoffzusatz Farben und Lacke Polymer-Additiv (z. B. Polyurethane) Polyester		Automobilindustrie Kunststoff Nahrungsmittel Bauwirtschaft Handwerk Holz- und Möbelindustrie Lederindustrie
Marktvolumen 3	2008	2020
	Weltweit: 80.000 t/a (USA: 4.500 t/a)	Weltweit 227.000 t/a
konventionelle Herstellungsverfahren		
Katalytische Oxidation Ethylenoxid -> Hydroxypropionaldehyd -> Hydrierung -> 1,3-Propandiol (Shell) oder aus Acrolein (Degussa/Dupont) ³		

<p>biobasierte Herstellungsverfahren</p> <p>- im Labormaßstab realisiert:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Bakterielle Fermentation von Glycerin Genencor International und DuPont haben eine Methode entwickelt, auf metabolischem Weg (<i>E. coli</i>) aus Glucose kostengünstig 1,3-Propandiol herzustellen.^{2, 5} b) Glycerin -> Biokonversion mittels <i>Clostridium butyricum</i> -> Malonsäure² c) Glucose -> Fermentation in Mischkultur³ d) Glucose -> 2-Phasen-Fermentation mit Mikroorganismen³ <p>- erste Pilotanlagen:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) DuPont, Genencor und Tate & Lyle haben einen rekombinanten Produktionsorganismus (Bio-Propandiol) und einen Fermentationsprozess aus Glucose (Mais) entwickelt. Dieses Verfahren wird seit 2000 in Decatur, Illinois angewandt.³ b) METabolic EXplorer baut erste Pilotanlage in Clermont Ferrand, France, für die 1,3-PDO Synthese via Fermentation von Glucose. Eine Anlage in Asien (50.000 t/a) ist in Planung.⁶ <p>- in der industriellen Umsetzung:</p> <p>Seit 2006 wird 1,3-Propandiol als Ausgangsstoff für die Kunststoffherstellung (Sorona) ausschließlich biotechnologisch in Loudon (Tennessee, USA) durch Korn-Hydrolyse produziert (Kapazität: 45,000 t/a).³ Eine Erweiterung der Anlage um 35 % in 2011 ist geplant.⁷</p>
<p>biogene Präkursoren</p> <p>C3-Zucker</p>
<p>Entwicklungsprognose zur Bedeutung biobasierter Produktion</p> <p>↑ starke Entwicklungsdynamik</p>
<p>Quellen</p> <p>¹ http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/ (CID 10442), zuletzt abgerufen am 28.02.2011</p> <p>² Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie, bmvit, korrigierte Fassung 2007, S.59f</p> <p>³ The BREW Project Medium and Long-term Opportunities and Risks of the Biotechnological Production of Bulk Chemicals from Renewable Resources; September 2006, S.34-37</p> <p>⁴ Zhi-Long Xiu & An-Ping Zeng, Present state and perspective of downstream processing of biologically produced 1,3-propanediol and 2,3-butanediol, Appl. Microbiol Biotechnol (2008) 78:917-926</p> <p>⁵ Ralf Bock, Biokonversion von Glycerin zu 1,3-Propandiol mit freien und immobilisierten Mikroorganismen, Dissertation, 2004.</p> <p>⁶ http://www.ubifrance.com/my/Posts-1483-METabolic-EXplorer-develops-its-first-plant-in-Malaysia, zuletzt abgerufen am 28.02.2011</p> <p>⁷ http://www.knoxnews.com/news/2010/may/04/dupont-tate-lyle-expanding-loudon-plant/, zuletzt abgerufen am 28.02.2011</p>

Propylenglykol (PG)

(Propylene glycol)



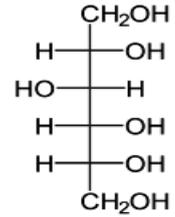
Synonyme 1		Stoffklasse 1
1,2 Propandiol E 1520 1,2-Propylenglykol Monopropylenglykol		C ₃ H ₈ O ₂ Mehrwertiges Alkanol
Derivate		
größte Anwendungen 2		Branchen
Lösungsmittel Verdünnungsmittel Oberflächencoatings Frostschutz Kosmetika Wärmetauscher		Chemie und Pharmazie Bauwirtschaft Feinmechanik und Optik Automobilindustrie Gesundheitswirtschaft Energieversorgung
Marktvolumen 2, 3, 4	2008	2020
	Weltweit: 1.500.000 t/a USA: 499.000 t/a	Weltweit: 1.770.000 t/a USA: 588.000 t/a
konventionelle Herstellungsverfahren		
Hydrolyse von Propylenoxide ²		
biobasierte Herstellungsverfahren		
<p>- im Labormaßstab realisiert:</p> <p>a) Katalytische Reduktion von fermentativ hergestellter Milchsäure²</p> <p>b) Veresterung von Milchsäure -> Hydrierung³</p> <p>d) Fermentative Produktion aus Zucker³</p> <p>- erste Pilotanlagen:^{5, 6}</p> <p>2008: Dow und CFK Valley Stade Recycling GmbH & Co.KG recyceln Karbonfaser-verstärkten Kunststoff. Kapazität: 1.000 t/a</p> <p>2010: Erweiterung der Anlage</p>		
biogene Präkursoren		
C3-Zucker -> Milchsäure		
Entwicklungsprognose zur Bedeutung biobasierter Produktion		
↗ durchschnittliche Entwicklungsdynamik		

Quellen

- ¹ <http://www.chemindustry.com/apps/chemicals>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011
- ² Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie, bmvit, korrigierte Fassung 2007, S.52, 55, 65
- ³ The BREW Project Medium and Long-term Opportunities and Risks of the Biotechnological Production of Bulk Chemicals from Renewable Resources; September 2006, S.28
- ⁴ Biorefineries – Industrial Processes and Products, Birgit u. Michael Kamm, Vol.2, Wiley-VCH, 2006, S.353
- ⁵ <http://www.dow.com/germany/standort/stade/produkt/hightech.htm>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011
- ⁶ [http://www.cfk-recycling.com/index.php?id=144&tx_ttnews\[tt_news\]=10&cHash=a833ddba679e67444e60d851416ae8e7](http://www.cfk-recycling.com/index.php?id=144&tx_ttnews[tt_news]=10&cHash=a833ddba679e67444e60d851416ae8e7), zuletzt abgerufen am 28.02.2011

Sorbit

(Sorbitol)



Synonyme 1		Stoffklasse 1
Hexanhexaol E 420		C ₆ H ₁₄ O ₆ Alditole
Derivate 2		
Sorbit -> Ethylenglykol Propylenglykol Glycerin Isosorbid		
größte Anwendungen 3,4		Branchen
Feuchthaltemittel Zuckeraustauschstoff Ascorbinsäure 1,4-Sorbitan		Forschung und Entwicklung Gesundheitswirtschaft Bio- und Gentechnologie Chemie und Pharmazie Ernährung
Marktvolumen 3,4	2008	2020
	Weltweit: 1,1 Mio t/a USA: 280.000 t/a	Keine Angaben
konventionelle Herstellungsverfahren		
biobasierte Herstellungsverfahren		
<ul style="list-style-type: none"> - im Labormaßstab realisiert:³ Fermentative Produktion von Sorbit aus Fructose und Glucose in Bakterien (<i>Zymomonas mobilis</i>) - in der industriellen Umsetzung:³ Katalytische Hydrierung von Glucose mit Nickelkatalysatoren 		
biogene Präkursoren		
C6-Zucker -> Glucose		
Entwicklungsprognose zur Bedeutung biobasierter Produktion		
➔ schwach Entwicklungsdynamik		

Quellen

¹ <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov> (CID 5780), zuletzt abgerufen am 28.02.2011

² Top Value Added Chemicals From Biomass Volume I: Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas Produced by Staff at the Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) and the National Renewable Energy Laboratory (NREL), T. Werpy and G. Petersen, Principal Investigators, August 2004, S.58-60

³ Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie, bmvit, korrigierte Fassung 2007, S.63-65

⁴ The BREW Project Medium and Long-term Opportunities and Risks of the Biotechnological Production of Bulk Chemicals from Renewable Resources; September 2006, S.66, 75

Tetrahydrofuran

(Tetrahydrofurane)



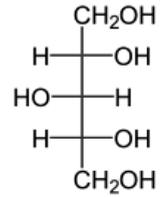
Synonyme 1		Stoffklasse 1
Tetramethylenoxid 1,4-Epoxybutan Oxolan		C ₄ H ₈ O Cyclischer Ether
Derivate 1		
Tetrahydrofuran -> Polytetramethylenglykol		
größte Anwendungen 2		Branchen
Lösungsmittel (Harz, Plastik, Kleber) Inhaltsstoff in Kleber und Tinte		Feinmechanik und Optik Handel Holz- und Möbelindustrie Lederindustrie
Marktvolumen 3,4,5	2008	2020
	Weltweit: 210.000 t/a	Weltweit: 250.000 t/a
konventionelle Herstellungsverfahren		
Cyclodehydrierung von 1,4-Butandiol ²		
biobasierte Herstellungsverfahren		
- im Labormaßstab realisiert: ³ a) Katalytische Reduktion von Succinylsäure -> 1,4-Butandiol -> Zyklisierung b) Katalytische Hydrierung von Fumarsäure c) Furan -> Decarbonylierung von Furfural -> katalytische Hydrierung ²		
biogene Präkursoren		
C4-Zucker -> Fumar-, Furan- oder Succinylsäure		
Entwicklungsprognose zur Bedeutung biobasierter Produktion		
↑ starke Entwicklungsdynamik		

Quellen

- ¹ <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov> (CID 8028), zuletzt abgerufen am 28.02.2011
- ² Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie, bmvit, korrigierte Fassung 2007, S.56f
- ³ The BREW Project Medium and Long-term Opportunities and Risks of the Biotechnological Production of Bulk Chemicals from Renewable Resources; September 2006, S.43, 46
- ⁴ Biorefineries – Industrial Processes and Products, Birgit u. Michael Kamm, Vol.2, Wiley-VCH, 2006, S.353
- ⁵ <http://chemiereport.at/chemiereport/stories/5697/>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

Xylitol

(Xylitol)



Synonyme 1		Stoffklasse 1	
Xylit E 967 Pentanpentol		C ₅ H ₁₂ O ₅ Zuckeralkohol	
Derivate 2			
Xylitol -> Glycerin Ethylenglykol Propylenglykol Xylitan D-Xalonsäure D-Xalansäure			
größte Anwendungen 3		Branchen	
Zuckeraustauschstoff		Gesundheitswirtschaft Handel Bio- und Gentechnologie Chemie und Pharmazie	
Marktvolumen		2008	2020
		Keine Angaben	Keine Angaben
konventionelle Herstellungsverfahren			
biobasierte Herstellungsverfahren			
- in der industriellen Umsetzung: Katalytische Hydrierung von Xylose ^{3,4}			
biogene Präkursoren			
C5-Zucker -> Xylose			
Entwicklungsprognose zur Bedeutung biobasierter Produktion			
➔ schwache Entwicklungsdynamik			

Quellen

¹ <http://www.chemindustry.com/apps/chemicals>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

² Top Value Added Chemicals From Biomass Volume I: Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas Produced by Staff at the Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) and the National Renewable Energy Laboratory (NREL), T. Werpy and G. Petersen, Principal Investigators, August 2004, S.61-63

³ Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie, bmvit, korrigierte Fassung 2007, S.63f, 67

⁴ The BREW Project Medium and Long-term Opportunities and Risks of the Biotechnological Production of Bulk Chemicals from Renewable Resources; September 2006, S.53-55

4.3 Entwicklungsdynamik der Plattformchemikalien

Für elf der 26 in dieser Studie vorgestellten Chemikalien konnte eine hohe Entwicklungsdynamik in Richtung einer biobasierten Produktion in der Literatur festgestellt werden. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die 26 für diese Studie ausgewählten Plattformchemikalien, ihre Anwendungsbereiche und Entwicklungsdynamik. Eine detaillierte Beschreibung jeder einzelnen Chemikalie findet sich in den Datenblättern in Kapitel 4.2.

Tabelle 5: Ausgewählte Chemikalien und ihre Entwicklungsdynamik hin zu einer biobasierten Produktion bis 2020

Ausgewählte Chemikalie	Anwendungen	Entwicklungsdynamik
Bernsteinsäure	Kunsthharze, Weichmacher, Lösungsmittel, Polyester, Polyamide	↑ stark
1,4-Butandiol (BDO)	Polyester	↑ stark
Fumarsäure	Polyesterharze, Konservierungsmittel	↑ stark
2,5- FDCA	Polyester, Polyamide, PET, PBT	↑ stark
Glutaminsäure	Glutamat	↑ stark
3-Hydroxypropionsäure (3HPA)	Polymere, Harze, Acrylfasern	↑ stark
Milchsäureethylester	Lösungsmittel	↑ stark
Polyhydroxyalkanoat (PHA)	Polyester, Elastomere, Verpackungen	↑ stark
Polymilchsäure (PLA)	Thermoplastische Polymere, Polyester	↑ stark
1,3-Propanediol (PDO)	Polyester, PTT, Kunststoffe	↑ stark
Tetrahydrofuran (THF)	Lösungsmittel, Klebstoffe, Plastifizierer, Enteiser	↑ stark

Ausgewählte Chemikalie	Anwendungen	Entwicklungs- dynamik
Asparaginsäure	Aspartam, Aminosäure	↗ durchschnittlich
Brenztraubensäure	Ethylpyruvat, Reinigungs- und Lösungsmittel, Fermentationsmedium, Vorstufe Aminosäuren	↗ durchschnittlich
Furfural	Nylon	↗ durchschnittlich
Gluconsäure	Nahrungsmittel, Reinigungsmittel	↗ durchschnittlich
Glycerin	Substrat für Biosynthesen	↗ durchschnittlich
Isosorbid	Pharmazeutika, Polymeradditive	↗ durchschnittlich
Itakonsäure	Co-Monomer, Fette, Pharmazeutika, Herbizide	↗ durchschnittlich
Lävulinsäure	Bisphenol A Ersatz, Chelatbildner, Polyether, Herbizide, Oxide für Treibstoff	↗ durchschnittlich
Milchsäure	Grünes Lösungsmittel, Phthalat Polyester, Polyacrylamid, Polyacrylate	↗ durchschnittlich
Polytrimethylenterephthalat (PTT)	Polyester, Textilien	↗ durchschnittlich
Propylenglycol (PG)	Schmiermittel, Wärmeleitflüssigkeit, Frostschutzmittel	↗ durchschnittlich
Acrylsäure	Acrylate, Superabsorber, saugfähiges Polymer	➔ schwach
Adipinsäure	Polyester, Vorprodukt von Polyamid 66, Polyurethan	➔ schwach
Sorbit	Ascorbinsäure, Sorbitol	➔ schwach
Xylitol	Frostschutzmittel, Enteiser, Emulgatoren	➔ schwach

(Quelle: ZTC)

Bernsteinsäure: von vielen Studien als wichtig eingestuft

Die Plattformchemikalie **Bernsteinsäure** wurde sowohl von der vorliegenden Studie, als auch vom US-amerikanischen Energieministerium DOE und dem EU-Projekt BREW als besonders relevant eingestuft. Dies liegt unter anderem daran, dass die Produktion von biobasierter Bernsteinsäure bereits an der Schwelle zu einer groß angelegten Kommerzialisierung steht und eine ganze Reihe groß skaliger Anlagen in Bau oder Planung sind (siehe Fallbeispiel Bernsteinsäure, Kapitel 4.5). Die **Itakonsäure** hingegen ist ein Beispiel, das in der DOE-Studie als besonders relevant eingestuft wurde, aber im Rahmen der hier vorliegenden Untersuchung nur eine durchschnittliche Entwicklungsdynamik zeigt. Die Itakonsäure ist noch eine Entwicklungsstufe früher als die Bernsteinsäure anzusiedeln und wird heute überwiegend petrochemisch mit vergleichsweise geringer Produktivität, teurer Aufarbeitung und damit hohen Produktionskosten hergestellt. Sie besitzt ähnliche Eigenschaften wie die überwiegend petrobasierte Acrylsäure, ist aber nicht giftig. Da klassisch-chemische Produktionsrouten sehr teuer sind, wird die Itakonsäure ausschließlich biotechnologisch, zum Beispiel in *Asperigillus terreus* oder zunehmend auch in Hefe oder anderen Organismen hergestellt. Trotz Jahrzehnte-langer intensiver Forschungsbemühungen steht der entscheidende Durchbruch für eine kostengünstigere Produktion noch aus. Allerdings könnte eine innovative und günstige fermentative Route der Itakonsäure zu einem großflächigen Einsatz im Kunststoff- und Klebstoffsektor verhelfen.

Itakonsäure: Noch Forschungsbedarf vorhanden

Biobasiertes 1,4-Butandiol: interessant für den Nylon-Markt

Die Entwicklungsdynamik von biobasiertem **1,4-Butandiol (BDO)** wird als stark eingestuft, denn insbesondere eine Herstellung über die Bio-Bernsteinsäure könnte in diesem Fall künftig von Bedeutung sein. BDO ist eine wichtige Ausgangssubstanz für den Kunststoffmarkt. Steigende fossile Rohstoffpreise und ein starkes Wachstum dieses Marktsegmentes machen die biobasierte Herstellung von BDO aber auch über andere biobasierte Syntheserouten immer interessanter. Ähnliches gilt für **2,5-FDCA**, das ebenfalls eine starke biobasierte Entwicklungsdynamik hat.

Hoher Ölpreis und Glycerin als Substrat

Die starke Entwicklungsdynamik der **Bio-Fumarsäure** wird beispielsweise durch einen hohen Ölpreis vorangetrieben. Die fermentative Syntheseroute ist schon lange bekannt, war aber in der Vergangenheit wegen „niedriger“ Ölpreise wenig rentabel. Ein Umschwung ist hier in Sicht. Ähnlich verhält es sich mit Plattformchemikalien, die auf dem immer preiswerter werdenden Rohstoff Glycerin (Abfallprodukt der Biodiesel-Herstellung) als Substrat aufbauen. Glycerin findet Eingang in die fermentative Synthese von **3-HPA** oder **1,3-PDO**, deren traditionelle Herstellungsweisen besonders auch in Zusammenhang mit der teurer werdenden Erdölbasis immer unrentabler werden. Biobasierte Produktionsverfahren werden im Allgemeinen ab einem Rohölpreis von durchschnittlich 80 USD pro barrel interessant [Stry 2010].

Biobasierte **Acrylsäure**, ein saugfähiger Polymer, verzeichnet hingegen nur eine schwache Entwicklungsdynamik. Dies liegt unter anderem an

noch bestehenden technologischen Hürden und hohen Produktionskosten. Allerdings hat sich mit dem französischen Unternehmen Arkem ein großer Player der weiteren Entwicklung von biobasierter Acrylsäure angenommen und plant in wenigen Jahren eine erste Pilotanlage in Betrieb zu nehmen. Arkem hat erst kürzlich die Entwicklung eines Wolfram-Zirkonium-Katalysators bekannt gegeben, der den Einsatz des preiswerten Glycerins bei der Acrylsäureherstellung ermöglichen soll.

Biobasierte Acrylsäure: technologische Hürden

Biopolymere sind als Materialien generell von großem Interesse, aber besonders bedeutsam sind sie hinsichtlich geringerer CO₂-Emissionen und niedrigerem Energieverbrauch im Vergleich zu erdölbasierten Kunststoffen [Patel 2007]. Der Anteil aller biobasierter Kunststoffe im stark wachsenden Kunststoffsegment ist mit 3 % allerdings noch klein und bis 2020 wird auch nur mit einer moderaten Steigerung von bis zu 6 % gerechnet [Dornburg 2008]. Im Bereich der Biokunststoffe verzeichnen vor allem **PHA** und **PLA** neben Stärke- oder Cellulosebasierten Kunststoffen eine anhaltend hohe Entwicklungsdynamik. PLA ist mit 0,75 bis 1,50 USD pro Pfund kompetitiv zu erdölbasierten Verfahren (PE kostet zum Beispiel 0,60 bis 0,75 USD pro Pfund). PHA hat im Gegensatz zu PLA ein noch größeres Spektrum an wünschenswerten Eigenschaften, die den Einsatz in fast allen heute petrobasierten Segmenten des Kunststoffmarktes erlaubt (Ersatz auch von PVC, PE und PP). Darüber hinaus ist der natürliche Polymer PHA vollständig bioabbaubar. Astra Zeneca und Monsanto arbeiten daher schon seit den 1970er Jahren an der Entwicklung einer kostengünstigen biotechnologischen Herstellung von PHA, das sich auf petrochemischem Wege nicht wirtschaftlich darstellen lässt. Allerdings waren die Produktionskosten bisher trotz dieser Forschungs- und Entwicklungsbemühungen immer noch zu hoch für die meisten groß angelegten Anwendungen und die Produktionsmengen daher entsprechend gering. Seit 2010 betreibt Metabolix eine Anlage in Iowa, USA mit einer Produktionskapazität von 50.000 metrischen Tonnen PHA pro Jahr.²⁷ Der Preis von PHA liegt aber auch hier mit 2,50-2,75 USD pro Pfund immer noch vergleichsweise hoch. Die Hoffnung auf deutlich günstigere Kosten liegt in technologischen Entwicklungen, etwa der direkten Produktion von PHA in modifizierten Zellen (vgl. Kapitel 4.2 und 4.4).

Biopolymere: geringe CO₂-Emissionen und niedriger Energieverbrauch

PLA und PHA: Ersatz erdölbasierter Kunststoffe (PET, PVC oder PP)

PHA noch vergleichsweise teuer

Die **Lävulinsäure** wird weitgehend petrochemisch produziert mit Kosten von um die 4-6 USD pro Pfund und damit sind die Anwendungen von Lävulinsäure bisher auf hochpreisige Spezialitäten wie chirale Agenzien und biologisch aktive Substanzen beschränkt. Die Entwicklungsdynamik der Lävulinsäure ist nur durchschnittlich ausgeprägt. Die **Glutaminsäure** wird in der Regel als Geschmacksverstärker eingesetzt und der weltweite Bedarf ist stark ansteigend; die Entwicklungsdynamik entsprechend stark.

Lävulinsäure wird heute überwiegend petrochemisch produziert

²⁷ <http://plasticsnews.com/headlines2.html?id=18653>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

Eine schwache Entwicklungsdynamik zeigt die biobasierte Herstellung von Acrylsäure, Adipinsäure, Sorbit und Xylitol.

Zwei Fallbeispiele

Anhand von zwei Fallbeispielen soll der Entwicklungsstand und -trend erfolgreicher biobasierter Produkte bzw. Intermediate näher beleuchtet werden. Das erste Fallbeispiel „Polymilchsäure“ zeigt die Erfolgsgeschichte eines biobasierten Produktes, das kompetitiv hergestellt wird und seit längerem am Markt vertreten ist. Das zweite Fallbeispiel „Bernsteinsäure“ widmet sich hingegen einem noch sehr jungen Erfolgsbeispiel mit großen Potenzialen für die Zukunft.

4.4 Fallbeispiel Polymilchsäure (PLA)

PLA: Polymer der Milchsäure mit PET-ähnlichen Eigenschaften

Polymilchsäure (PLA) ist ein Milchsäure-basierter thermoplastischer Polymer (vgl. Datenblatt PLA). Das zu den Polyhydroxysäuren zählende PLA ist optisch aktiv, wobei das L-Enantiomer den größten Verbreitungsgrad hat. PLA weist viele vergleichbare mechanische Eigenschaften von PET auf, ist biobasiert, in geringem Umfang bioabbaubar und hat eine wesentlich bessere Umweltbilanz als PET. PLA wird daher als Substitut zu PET eingesetzt, beispielsweise für Verpackungsmaterialien, im Automobilbau oder in der Consumer-Elektronik (siehe Abbildung 9). Substitutionspotenzial wird auch für Polymethylmethacrylat (PMMA), Polyamid (PA) und Polypropylen (PP) gesehen [IPTS 2003]. Nachteile sind unter anderen schlechten Barriere-Eigenschaften gegenüber O₂, CO₂ und Wasser, so dass PLA kein geeignetes Material zum Transport kohlenstoffhaltiger Flüssigkeiten ist. Besonders aber die mangelnde Temperaturstabilität limitieren die Anwendungen von PLA. Zu diesem Zweck wird PLA oftmals mit Naturfasern vermischt, als Blend mit petrobasierten Additiven genutzt oder spezielle L-/D-Mischungen hergestellt.

Vermischung von PLA mit anderen Substanzen zu Blends



Abbildung 9: Bio-Handy von Nokia. Die Handyschale wird aus PLA gefertigt (Quelle: Pressebilder von Nokia).

PLA wird fast ausschließlich über Polymerisation von fermentativ produzierter Milchsäure hergestellt. Weltweit bauen verschiedene Unternehmen neue oder erweitern bestehende PLA-Anlagen. Alleine das Unternehmen Purac erzeugt insgesamt 200.000 Tonnen Milchsäure, die Vorstufe von PLA, in fünf Anlagen, zwei davon in Europa (Niederlande und Spanien). Purac betreibt auch eine PLA-Anlage in Thailand.

Die größte heutige Produktionsanlage für PLA steht in Nebraska, USA und stellt 140 kt PLA pro Jahr her. In Deutschland entsteht im brandenburgischen Guben die erste PLA-Anlage unter Verwendung der Anlagentechnik des zum Thyssen-Krupp Konzern gehörenden Unternehmens Uhde-Inventa-Fischer.²⁸ Die Anlage soll nach einer Demonstrationsphase mit einer Kapazität von zunächst 500 Tonnen pro Jahr auf 60.000 Tonnen pro Jahr erweitert werden.

Größte PLA-Produktionsanlage: 140 kt

In Asien sind vor allem China, Taiwan und Japan in der PLA-Produktion und Weiterverarbeitung besonders im Automobilbereich tätig. Das chemische Unternehmen Zhejiang Hisun Biomaterials Co. Ltd. gilt heute als größter PLA-Produzent in Asien und betreibt eine Anlage mit einer Kapazität von 10.000 Jahrestonnen [Endres 2009]. Einige weitere chinesische Unternehmen produzieren PLA in vergleichsweise geringem Umfang, allerdings sind in den meisten Fällen dem steigenden Bedarf entsprechende Erweiterungen geplant. Beispielsweise stellt Nanotong Jiuding Biological Engineering Co. Ltd. heute jährlich 1.000 Tonnen PLA her und eine Erweiterung der Anlage auf 20.000 Tonnen ist geplant. Eine Aufstockung der Lieferkapazitäten plant auch der japanische Automobilzulieferer Toray. Bis zum Jahr 2015 will er seine Lieferkapazitäten für PLA-basierte Materialien für Autoinnenteile von heute 200 Tonnen auf 5.000 Tonnen ausbauen. Weitere Autokonzerne (Mazda, Toyota) planen ebenfalls den verstärkten Einsatz von Bioplastik.

Asiatische Player ebenfalls aktiv in der PLA-Produktion

Der PLA-Markt zeigt anhaltend hohes Wachstum und für das Jahr 2020 wird die Produktion von 3,6 Millionen metrischer Tonnen PLA jährlich prognostiziert, von heutigen geschätzten 300.000 Tonnen. Dementsprechend hoch ist die Entwicklungsdynamik in diesem Segment. Weiterentwicklungen, Mischungen von PLA mit anderen Materialien und Materialinnovationen treiben das Feld voran und tragen zu dieser hohen Dynamik bei. Denn daraus entstehen auch neue Anwendungen in wichtigen Industriesektoren, wie dem Automobilbau.

Starke Entwicklungsdynamik des PLA-Marktes

²⁸ http://wip-kunststoffe.de/uploads/File/pdf/PI_PLA_Guben.pdf, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

4.5 Fallbeispiel Bernsteinsäure

Bernsteinsäure ist eine aliphatische Dicarbonsäure $\text{HOOC-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$, die auch als Butandiensäure, E 363 oder Succinylsäure bezeichnet wird (vgl. Datenblatt Bernsteinsäure). Bernsteinsäure kommt natürlicherweise in Pflanzenharzen, Pilzen, Algen sowie tierischen und menschlichen Zellen im Fett- und Kohlehydratstoffwechsel vor.

Bernsteinsäure wurde
bisher petrochemisch
hergestellt

Die technische Herstellung von Bernsteinsäure nutzt erdölbasierte Verbindungen wie 1,4-Butandiol. Die weltweite Produktionskapazität lag im Jahr 2008 laut einer Studie von Frost & Sullivan bei 30.000 Jahrestonnen und könnte bei zweistelligen Wachstumsraten bis zum Jahr 2015 auf 180.000 Jahrestonnen anwachsen [Frost&Sullivan 2009]. Diese Versechsfachung wird vor allem der groß angelegten Einführung biobasierter Bernsteinsäure zugeschrieben. Der USDA-Report „US-Biobased Products“ sieht für Bernsteinsäure ein gewaltiges Marktpotenzial vorher, das in 2015 bei über einer Milliarde USD liegen könnte [USDA 2008]. Bernsteinsäure gilt aber bereits seit dem Jahr 2004 als der Hoffnungsträger für chemische Grundstoffe, nachdem das DOE sie als eine der wichtigsten von zwölf biobasierten Plattformchemikalien hervorgehoben hat.

Anwendung: wichtiger
Monomerbaustein für
verschiedene
Biopolymere

Bernsteinsäure ist generell eine wichtige Plattformchemikalie für die Herstellung von Monomerbausteinen (1,4-Butandiol oder 1,4-Diaminobutan) für verschiedene Biopolymere (Polyester, Polyamid). Es dient ebenfalls der Synthese von Lösungsmitteln wie Pyrrolidon oder THF. Damit ist Bernsteinsäure Basis für biologisch abbaubare Kunststoffe, „grüne“ Lösungsmittel und Chelatbildner. Petrochemisch hergestellte Bernsteinsäure ist derzeit mit etwa zwei bis drei Euro pro Kilo zu teuer für solche Anwendungen, so dass im Kunststoffsegment die größten Potenziale für die biobasierte Bernsteinsäure zur Herstellung neuartiger und bioabbaubarer Biopolymere gesehen werden.²⁹

Herstellung:
Fermentation mit
verschiedenen
Substraten

Neue biotechnologische Verfahren könnten der Bernsteinsäure zu einer noch größer angelegten Produktion verhelfen, denn die heutige Fermentation verschiedener Substrate zum Beispiel in *E. coli* und Hefe sind noch immer zu teuer für verschiedene Anwendungen. Sollten neue biotechnologische Verfahren die Produktionskosten deutlich senken und Bernsteinsäure damit zu einem kostengünstigen Ausgangsstoff auch für die Butandiol synthese machen, könnte sich daraus ein noch größeres Marktpotenzial als bisher angenommen ergeben. Die chemische Industrie stellt etwa 900.000 Jahrestonnen Butandiol überwiegend für den Kunststoffmarkt her (Nylon) und das Marktvolumen von 1,4-Butandiol-abhängigen Produkten wird auf fünf Milliarden Euro geschätzt.

Im Januar 2010 ging die erste biotechnologische, biobasierte Produktionsanlage für Bernsteinsäure im französischen Pomacle in Betrieb.

²⁹ <http://www.bio-pro.de/magazin/wirtschaft/index.html?lang=de&artikelid=artikel/04758/index.html>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

Bioamber, ein Joint Venture von DNP Green Technology in den USA und ARD (Agro-Industrie Recherches et Développements) stellt seither mit einer Kapazität von mehr als 2.000 Jahrestonnen biobasierte Bernsteinsäure her (siehe Abbildung 10). Ausgangsrohstoff für den Prozess ist Weizenglucose, der mit optimierten *E. coli* Stämmen fermentiert wird. Drei Gene wurden in dem Bakterium ausgeschaltet um den Ertrag der Bernsteinsäure zu erhöhen und die Menge an Nebenprodukten zu reduzieren [Gabrielczyk 2010]. Die biobasierte Bernsteinsäure hat laut dem Unternehmen eine höhere Reinheit als die erdölbasierte. Bereits für das Jahr 2012 ist die Inbetriebnahme zweier Anlagen in Nordamerika und Asien geplant die jeweils 25.000 bis 30.000 Jahrestonnen biobasierte Bernsteinsäure produzieren sollen.³⁰

Erste biobasierte
Bernsteinsäure-
Anlage in Frankreich

Auch andere Anbieter arbeiten an Pilotanlagen für die Produktion von Bernsteinsäure. Erst im September 2009 hatten BASF und die CSM-Tochter Purac ein fermentatives Verfahren zur Herstellung von Bernsteinsäure vorgestellt und die Produktion im großtechnischen Maßstab für das zweite Quartal 2010 angekündigt. Die Entwickler von der BASF haben hierzu einen Mikroorganismus aus Rinderpansen gentechnisch umgerüstet: *BASFio succiniciproducens* kann nicht nur Zucker, sondern auch Rohglycerin als Substrat nutzen [Gabrielczyk 2010]. Zurzeit läuft der Testbetrieb des Verfahrens in der Nähe von Barcelona mit einer Produktionskapazität von 4.000 Jahrestonnen.

Auch andere Akteure
sind aktiv, u.a. die
BASF



Abbildung 10: Anlage zur Produktion von Bernsteinsäure im November 2009 im französischen Pomacle (Quelle: Pressebild von Bioamber³¹).

³⁰ <http://www.rsc.org/chemistryworld/News/2010/January/21011003.asp>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

³¹ http://www.bio-amber.com/img/product_facility.jpg, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

Größte
Bernsteinsäure-
Anlage in den USA

Im US-amerikanischen Louisiana wird die derzeit größte Bernsteinsäure-Anlage gebaut. Sie soll zunächst eine Kapazität von 15.000 Jahrestonnen haben und noch in diesem Jahr den Betrieb aufnehmen. Die Biotechnologie-Abteilung der deutschen Uhde GmbH ist maßgeblich am Bau der Anlage beteiligt.³² Eine zügige Erweiterung ist geplant. Das DOE unterstützt das Unternehmen Myriant Technologies in ihren Bemühungen mit Fördergeldern in Höhe von 50 Millionen USD und auch der thailändische Petrochemie-Konzern PTT Chemical Group investiert 50 Millionen USD in das Unternehmen.³³

Seit 2009 ist eine vergleichsweise hohe Entwicklungsdynamik im Bereich der Bernsteinsäureproduktion zu verzeichnen. Akteure aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik verfolgen den Fall Bernsteinsäure mit großem Interesse, denn in der chemischen Industrie herrscht immer noch eine überwiegend abwartende Haltung vor.

³² <http://www.myriant.com/announcement4.htm>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

³³ http://www.myriant.com/Myriant_PTT_PRESS.htm, zuletzt abgerufen am 8.02.2011

4.6 Entwicklungsstand von Bioraffinerien

Die Entwicklung von Bioraffinerien hat weltweit sprunghaft an Bedeutung zugenommen. Dies ist einerseits an der exponentiell steigenden Publikationstätigkeit (vgl. Abbildung 11) und andererseits an den ebenfalls steigenden Patentzahlen (vgl. Abbildung 12) zu erkennen. Die Absolutzahlen der Patentanmeldungen sind allerdings noch vergleichsweise gering.

Anzahl an Publikationen zum Thema „Bioraffinerie“ exponentiell steigend

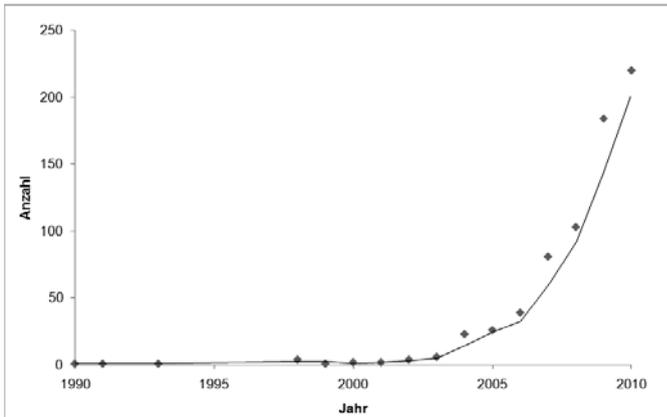


Abbildung 11: Weltweites Publikationsaufkommen in den Jahren 1990-2010 zum Thema Bioraffinerien.³⁴

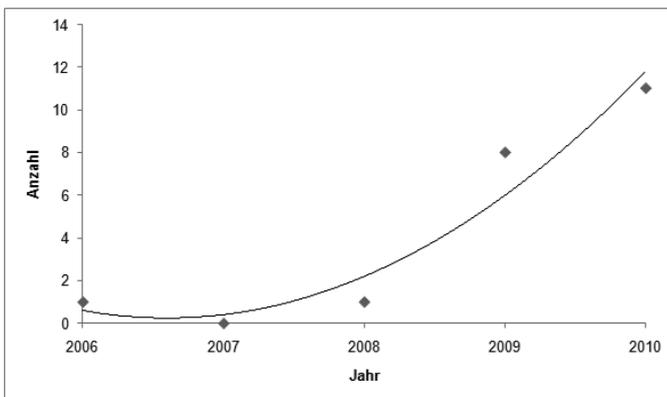


Abbildung 12: Weltweites Patentaufkommen in den Jahren 1990-2010 zum Thema Bioraffinerie.³⁵

³⁴ Suche im Thomson Web of Science mit dem Schlagwort „biorefiner*“, Stand Februar 2011.

³⁵ Suche in der WIPO mit dem Schlagwort „biorefiner*“, Stand Februar 2011.

USA: weltweit die meisten Patente und Publikationen

Das Land mit den meisten Publikationen und Patenten ist mit Abstand die USA (vgl. Abbildung 13 und Abbildung 14). Indien folgt auf Platz zwei bei der Anzahl an Patenten, spielt bei den Publikationen jedoch keine Rolle. In Europa sind sowohl hinsichtlich Publikationen, als auch Patente UK und Deutschland von Bedeutung.

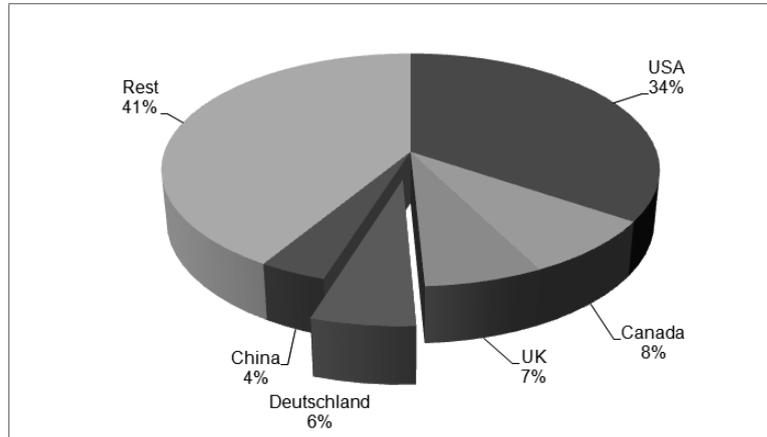


Abbildung 13: Länderverteilung des Publikationsaufkommens in den Jahren 1990-2010 (Mehrfachzuordnungen möglich).

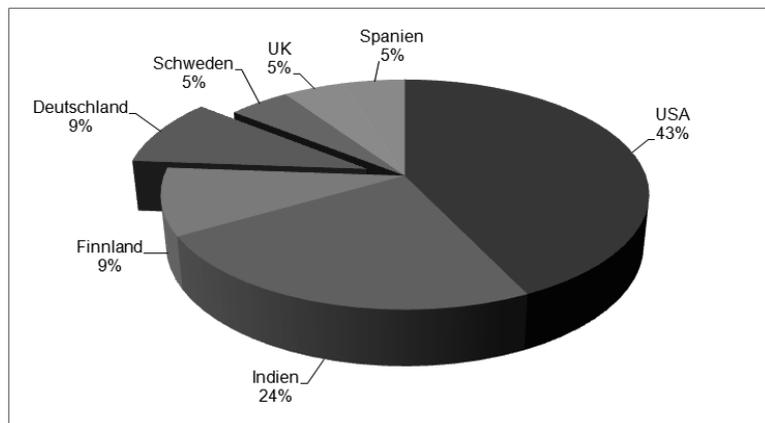


Abbildung 14: Länderverteilung des Patentaufkommens in den Jahren 1990-2010.

Im Folgenden wird die Anzahl und Art bestehender kommerzieller oder Pilot-Bioraffinerie-Anlagen in Deutschland, Europa und den USA beleuchtet.

Deutschland

Die in Kapitel 3.4 vorgestellten Typen von Bioraffinerien als integrierte Konzepte befinden sich fast ausschließlich im Forschungs- und Entwicklungsstadium und sind nur teilweise als Pilotanlagen realisiert. Kommerzielle Anlagen sind die Ausnahme. Einzelne Prozesse werden allerdings durchaus schon großtechnisch und ökonomisch sinnvoll eingesetzt. Hierzu gehört beispielsweise die Zucker-Raffinerie von Südzucker, d. h. etwa die Herstellung von Palatinose durch immobilisierte Mikroorganismen im Maßstab 80.000 Tonnen pro Jahr [Wilke 2007].

Bioraffinerien in Deutschland: überwiegend Pilotanlagen

Bisher konnte vor allem die Verknüpfung von Chemieproduktion mit der Erzeugung von Biokraftstoffen der zweiten Generation sowie anderen Bioenergieprodukten noch nicht umgesetzt werden. Außerdem fehlen Nachhaltigkeitsbewertungen und Ökobilanzen von Bioraffinerien und auch einzelnen Prozessen [Biorefinica 2009]. Im Jahr 2010 gab es nach Angaben der Bundesregierung nur sieben Bioraffinerie-Anlagen in Deutschland. Dies sind im Einzelnen [zitiert aus: Bundesregierung 2010]:

Sieben Bioraffinerien in Deutschland im Jahr 2010

1. Lignocellulose-Bioraffinerie auf Basis von Holz eines Konsortiums in Leuna, Sachsen Anhalt (im Aufbau);
2. Lignocellulose-Bioraffinerie auf Basis von Stroh der Firma Süd-Chemie AG in München, Bayern (in der Planung);
3. Synthesegas-Bioraffinerie auf Basis von Holz der Firma CHOREN Industries GmbH in Freiberg, Sachsen (Demonstrationsanlage);
4. Synthesegas-Bioraffinerie auf Basis von Stroh des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) in Karlsruhe, Baden-Württemberg (im Bau);
5. Zucker/Stärke-Bioraffinerie auf Basis von Getreide/Zuckerrüben der Firma Südzucker AG/CropEnergies AG in Zeitz, Sachsen-Anhalt (Ausbau geplant);
6. Grassaft/Grasfaser-Bioraffinerie auf Basis von Gras der Firma BLOWERT Industrie GmbH in Brensbach, Hessen;
7. Grassaft/Grasfaser-Bioraffinerie auf Basis von Gras des Forschungsinstituts biopos e. V. in Selbelang, Brandenburg (in Planung).

Darüber hinaus steht in Arneburg an der Elbe in Sachsen-Anhalt eine als Lignocellulose-Bioraffinerie klassifizierte Anlage, die überwiegend Papierprodukte herstellt. Die von der Zellstoff Stendal GmbH betriebene Anlage verarbeitet Holz oder Sägespäne [IEA 2009].

Europa

Auch in Europa nur wenige kommerzielle Bioraffinerien

In Europa werden ebenfalls nur wenige Bioraffinerien kommerziell betrieben und diese sind meistens mit der Herstellung von Biokraftstoffen befasst. Besonders aktiv in der Bioethanol- und Biodiesel-Herstellung sind zum Beispiel die Niederlande, Schweden, Belgien und Frankreich. In Frankreich werden neben Biodiesel und Bioethanol auch Bernstein-säure (Bioamber), Feinchemikalien (Roquette) und Bioplastik (Bio-Hub) produziert. Ein wichtiger Player in Italien ist Novamont, der im Bereich Bioplastik produzierend tätig ist. In Zeitz (D) und Wanze (BE) stellt CropEnergies AG (ein Mitglied der Südzucker Gruppe) über 500.000 m³ (500 Millionen Liter) Bioethanol her, der vor allem für den deutschen Markt bestimmt ist.^{36, 37}

Die Literatur gibt einen Überblick über Europäische Anlagen

Einen Überblick über kommerzielle Pilot- und Demonstrationsanlagen geben Luguel o.J., IEA 2009 und Zwart 2006. Außerdem können Daten zu den derzeit 121 gelisteten Europäischen Pilot- und Demonstrationsanlagen auf der Webseite von EuropaBio abgerufen werden.³⁸

USA

USA nimmt eine führende Rolle beim Bau, Betrieb und der Förderung von Bioraffinerien ein

Die USA nehmen derzeit eine führende Rolle hinsichtlich des Baus, des Betriebs und der Förderung von Bioraffinerie-Anlagen ein. Alleine im Rahmen des „Biomass Programs“ des US-amerikanischen Energieministeriums (vgl. Kapitel 0 und USDA 2008a) sind 29 integrierte Bioraffinerien in Betrieb oder Planung. 28 dieser Bioraffinerien dienen der Herstellung biobasierter Kraftstoffe, nur die Anlage von Myriant Technologies in Louisiana soll Bio-Bernsteinsäure produzieren (vgl. Abbildung 15). Das DOE hat darüber hinaus sein Bioraffinerie-Förderprogramm erst vor kurzem revidiert um auch den Bau von stofflichen genutzten Anlagen stärker in den Förderfokus zu rücken.³⁹

³⁶ http://www.cropenergies.com/de/Home/CE_Q3_2010_Deutsch.pdf, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

³⁷ http://www.carmen-ev.de/dt/energie/beispielprojekte/biotreibstoffe/netzwerk/downloads/e85_kassel/keil.pdf, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

³⁸ <http://www.bio-economy.net/search/search.asp>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

³⁹ <http://www.biorefiningmagazine.com/articles/5311/scaling-up-to-biobased-chemicals>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

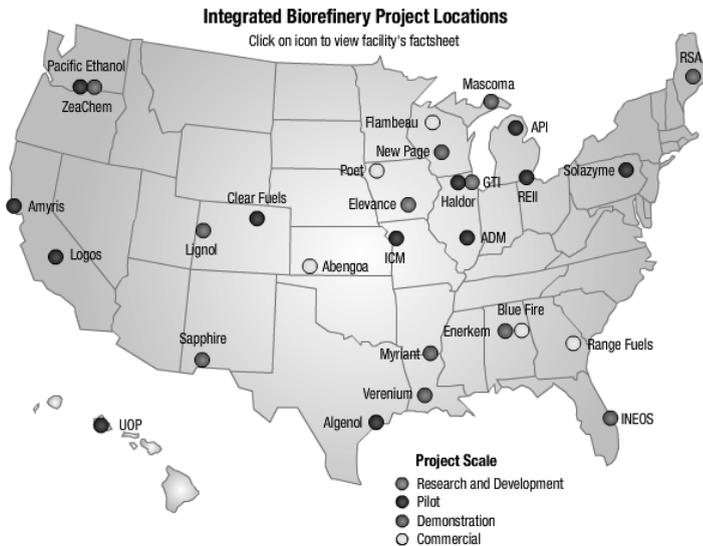


Abbildung 15: Integrierte Bio Raffinerien, die vom US-amerikanischen Energieministerium gefördert werden (Quelle: Department of Energy, DOE⁴⁰).

4.7 Politische Rahmenbedingungen

Der verstärkte Einsatz von Biomasse ist ein vordringliches politisches Ziel in verschiedenen Ländern. Obwohl der Fokus meist auf der energetischen Nutzung liegt, nimmt auch die stoffliche Nutzung von Biomasse eine immer wichtigere Rolle ein. Im Folgenden werden die politischen Rahmenbedingungen für die (stoffliche) Nutzung von Biomasse in Deutschland, Europa und den USA näher betrachtet.

Vordringliches politisches Ziel in verschiedenen Ländern: verstärkter Einsatz von Biomasse

Deutschland

Die Bundesregierung unterstützt die stoffliche Nutzung von Biomasse mit verschiedenen politischen Instrumenten. Dies sind insbesondere staatliche Förderprogramme beispielsweise in den Bereichen marktnahe F&E, vorwettbewerbliche Verbundprojekte, regionale Clusterbildung, KMU-Förderung oder in Einzelfällen die gezielte Förderung von Bio Raffinerie-Pilotanlagen. Getragen wird die bundesweite Förderung überwiegend vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), dem Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und

Verschiedene politische Instrumente kommen zum Einsatz

⁴⁰ http://www1.eere.energy.gov/biomass/integrated_biorefineries.html und http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/ibr_four_pager.pdf, beide zuletzt abgerufen am 28.02.2011

Reaktorsicherheit (BMU) und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) sowie nachgeschalteten Bundesbehörden.

BMBF: „Rahmenprogramm Biotechnologie“ und „Zukunftsinitiative Bioenergie und gesunde Ernährung“

Das BMBF stellt zum Beispiel in den Jahren 2008 bis 2012 etwa 200 Millionen Euro für die Förderung von Biomasse im Rahmen der „Zukunftsinitiative Bioenergie und gesunde Ernährung“ zur Verfügung. Allerdings steht hierbei die energetische Nutzung von Biomasse, etwa in der Fördermaßnahme „BioEnergie 2021“ im Vordergrund. Forschungsvorhaben werden vom BMBF auch im Rahmenprogramm „Biotechnologie – Chancen nutzen und gestalten“ gefördert. Darüber hinaus unterstützt das BMBF die regionale Clusterbildung, wie zum Beispiel durch den Clusterwettbewerb BioIndustrie2021. Einer der Gewinner ist der „Cluster Industrielle Biotechnologie“ (CLIB2021), dem mittlerweile 70 akademische Einrichtungen, Firmen und Investoren angehören. Durch CLIB2021 wurden bisher Projekte mit einem Gesamtvolumen von 50 Milliarden Euro angestoßen.

BMELV: Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“

Das BMELV unterstützt mit seinem Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ die Nutzung von Biomasse. Zwischen 2005 und 2010 wurden etwa 140 Millionen Euro investiert [Wydra 2010]. Die in den geförderten Projekten bearbeiteten Themen sind sehr unterschiedlich. Ein neueres Projekt beschäftigt sich beispielsweise mit Verfahren zur Verarbeitung von Lignocellulose. Das Pilot-Projekt „Lignocellulose-Bioraffinerie“ unter Beteiligung von 19 Partnern läuft noch bis 2012 bei einem Fördervolumen von bis zu 15 Millionen Euro [Kerckow 2009].

Das BMWi ist vor allem im Bereich Unternehmensgründungen und KMU-Förderung tätig.

Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030

Eine Ministerien-übergreifende Initiative ist die Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030. In den nächsten sechs Jahren sollen 2,4 Milliarden Euro gemeinsam vom BMBF, BMELV, BMZ (Bundesministerium für Zusammenarbeit) und BMU investiert werden (vgl. Kapitel 2.1).

Darüber hinaus sind insbesondere beim kostenintensiven Bau von Bioraffinerie-Anlagen neben Bundesministerien auch Landesregierungen beteiligt. Ein Beispiel ist das Bioraffinerie-Zentrum in Leuna. Für dieses Pilot-Projekt investieren das BMBF, das BMELV, das BMU und das Land Sachsen-Anhalt gemeinsam insgesamt 50 Millionen Euro. Die Plattform soll der weiteren Entwicklung von Bioraffinerien im Allgemeinen und der Lignocellulose-Bioraffinerie im Besonderen dienen. Ein anderes Beispiel ist der vom BMBF und dem Land Brandenburg geförderte Bioraffinerie-Verbund Mitte-Ost. Er hat die Stärkung der Region Potsdam/Berlin, Halle/Leipzig und Dresden zum Ziel.⁴¹

⁴¹ <http://www.unternehmen-region.de/de/1060.php>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

Europa

Für die Entwicklung der Bioökonomie auf Europäischer Ebene kommen ebenfalls verschiedene politische Instrumente zum Einsatz. Dies sind vor allem Fördermaßnahmen innerhalb der Europäischen Forschungsrahmenprogramme (FRP) sowie Maßnahmen zur Stärkung der Marktnachfrage.

Bioraffinerie-
Förderung in den Europäischen
Forschungs-
rahmenprogrammen

Fördermaßnahmen: Bereits im 6. FRP wurden insbesondere Bioraffinerie-Projekte (Biorefinery Euroview und BIOPOL) gefördert, im siebten FRP dann weitere Projekte entlang der Wertschöpfungskette vom feedstock bis zum Absatzmarkt. Beispielsweise beschäftigt sich ein Projekt mit der Errichtung einer Lignocellulose-Bioraffinerie im Pilotmaßstab (Projekt BIOCORE). Weitere FRP 7-Projekte beinhalten die Zusammenführung der Akteure und eine Defragmentierung der Biomasse-Landschaft (Star-Colibri), die Entwicklung eines neuen Bioraffinerie-Konzeptes (EuroBioRef) oder die Weiterentwicklung von F&E (SUPRABIO). Für einen Überblick siehe KBBE 2010. Darüber hinaus gibt es einige Biomasse-relevante Europäische Plattformen (ETP), die der Vernetzung und der Unterstützung der Akteure dienen. Beispiele sind "SusChem", "Forestry", "Biofuels" und "Plant for the Future".

Marktnachfrage und Zertifizierung: Die Europäische Kommission setzt mit dem Instrument der Leitmarktinitiative LMI (engl. Lead Market Initiative) seit 2007 auf die Stärkung von sechs, für Europa besonders relevante, Leitmärkte. Ziel ist es, innovationsfreundliche Märkte zu entwickeln und die Vermarktung von Innovationen zu erleichtern. „Biobasierte Produkte“ ist einer dieser Leitmärkte [EC 2009]. Eine weitere europäische Initiative wurde 2010 unter dem Namen BIOCHEM gestartet. Hauptziel ist die Unterstützung europäischer Unternehmen, insbesondere KMU, bei der Vermarktung ihrer biobasierten Produkte und der Erschließung neuer Märkte. Weitere Ziele von BIOCHEM sind die Steigerung der Nachfrage nach biobasierten Produkten, die Untersuchung des Marktes oder die Steigerung der Innovationsfähigkeit der Unternehmen.⁴²

Stärkung der Märkte
und der Nachfrage

Kennzeichnungen und Zertifizierungen von biobasierten Produkten stehen in Europa bisher noch aus. Allerdings hat die Europäische Kommission zwei Mandate vergeben, eines zur Erarbeitung eines Normungsprogrammes für biobasierte Produkte und ein anderes zur Entwicklung von europäischen Normen für Biopolymere und -schmierstoffen. In Deutschland befasst sich derzeit ein Richtlinienausschuss des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) mit Gütekriterien für Bioraffinerien.⁴³

Kennzeichnung und
Zertifizierung von
biobasierten
Produkten

⁴² <http://www.biochem-project.eu>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

⁴³ <http://www.vdi.de/44392.0.html>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

USA

US-Förderprogramme:
finanziell gut
ausgestattet

In den USA werden die energetische und stoffliche Nutzung von Biomasse sowie der Wandel zur biobasierten Wirtschaft noch deutlich stärker forciert als in Deutschland oder Europa. Im „Biomass Research and Development Act of 2000“ wird explizit die Unterstützung der weiteren Entwicklung von biobasierten industriellen Produkten festgehalten. Neben diesem klaren politischen Kommitment zeigen vor allem auch die gut ausgestatteten Forschungsförderprogramme die hohe Bedeutung biobasierter Produkte in den USA (vgl. auch Star-COLIBRI 2010). Das „Biomass Program“ des US-amerikanischen Energieministeriums DOE konzentriert sich beispielsweise auf F&E-Projekte rund um die Produktion von Bioethanol. Für das Jahr 2011 wird ein Budget von etwa 220 Millionen USD alleine für dieses Programm vorgeschlagen.⁴⁴ Darin sind 54 Millionen USD für die Entwicklung von Bioraffinerien vorgesehen. Neben dem DOE ist das US-amerikanische Agrarministerium USDA an der Biomasse-Förderung beteiligt. In einer Gemeinschaftsinitiative haben DOE und USDA im Jahr 2010 die Bereitstellung von weiteren 33 Millionen USD für die Entwicklung neuer Konversationstechnologien für Biomasse angekündigt.⁴⁵

Marktnachfrage:
US-Programm
BioPreferred

Marktnachfrage und Zertifizierung: In diesem Bereich setzt das US-amerikanische BioPreferred-Programm an. Es dient der Unterstützung und Steigerung des Kaufs und Gebrauchs biobasierter Produkte. Im öffentlichen Beschaffungswesen der USA haben Biowerkstoffe sogar Vorrang („buy bio program“). Darüber hinaus hat die BioPreferred Initiative an einer freiwilligen Selbstzertifizierung und Kennzeichnung gearbeitet. Die neue Kennzeichnung wird voraussichtlich ab Frühling 2011 vom USDA vergeben werden und soll dem Verbraucher eine verlässliche Entscheidungsgrundlage an die Hand geben.^{46, 47}

International: IEA
Bioenergy Task 42
Biorefinery

Auf internationaler Ebene wird es eine der Hauptaufgaben der IEA Bioenergy Task 42 Biorefinery für die Jahre 2010 bis 2012 sein, den weltweiten Status Quo und die Potenziale von Bioraffinerien im Hinblick auf die nachhaltige Produktion von zum Beispiel neuen Kraftstoffen, Energie, Lebensmitteln und Chemikalien zu beschreiben. Die IEA Bioenergy versucht die Bioenergie weltweit voranzubringen und beinhaltet verschiedene Tasks. Eine davon beschäftigt sich mit Bioraffinerien, andere beispielsweise mit der Pyrolyse-Forschung.⁴⁸

⁴⁴ http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/doe_fy11_budget_biomass_program.pdf, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

⁴⁵ http://www.csrees.usda.gov/newsroom/news/2010news/05061_brdi.html, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

⁴⁶ <http://www.biopreferred.gov/>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

⁴⁷ <http://www.greenbiz.com/news/2011/01/21/us-launches-official-label-biobased-products>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

⁴⁸ <http://www.ieabioenergy.com/OurWork.aspx>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

5 CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN

Chancen

Die verstärkte stoffliche Nutzung von Biomasse und besonders auch die Einführung von Bioraffinerien können einen entscheidenden Beitrag zur Erreichung der umweltbezogenen Ziele der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie durch **CO₂-Neutralität und nachhaltiger Ressourcennutzung** leisten (vgl. Abbildung 16).

Beitrag zur Erreichung umweltbezogener Ziele der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie

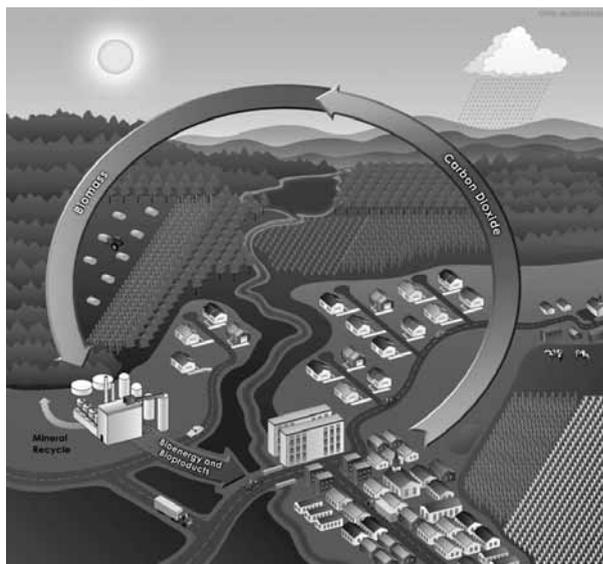


Abbildung 16: Reduktion der CO₂-Emissionen durch die biobasierte Produktion von Ethanol (Quelle: U.S. Department of Energy Genome Programs⁴⁹).

Obwohl bisher nur wenige Bioraffinerien realisiert worden sind, verfügt Deutschland über gute Entwicklungspotenziale im Bereich der Ganzpflanzen- und Grünen Bioraffinerien sowie bei den **Lignocellulose-Bioraffinerien** [BIOPOL 2007]. Die gute Ausgangslage bei den Lignocellulose-Bioraffinerien begründet sich einerseits auf der großen Menge an produziertem Stroh und andererseits auf einer starken Lignocellulose-Forschung. Die deutsche Anlagentechnik von Lignocellulose-Bioraffinerien ist weit entwickelt und europaweit gefragt. So stammt beispielsweise die Technik einer neuen isländischen Lignocellulose-Bioraffinerie-Pilotanlage größtenteils aus Deutschland.⁵⁰

Gute Chancen für Grüne und Lignocellulose-Bioraffinerien

⁴⁹ <http://genomics.energy.gov>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

⁵⁰ ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/sustdev/docs/energy/bioenergy_a06.pdf, zuletzt abgerufen am 28.02.2011

Deutsche Vorreiterrolle im Bereich Synthesegas-Bioraffinerien

Deutschland nimmt auch im Bereich von **Synthesegas-Bioraffinerien** eine weltweite Vorreiterrolle ein. Die Anlagen in Karlsruhe (KIT) und in Freiberg (CHOREN) verwenden modernste Technologien und dienen auch der Weiterentwicklung dieser Technologien [Wagemann 2010] (siehe auch Kapitel 3.4).

Gute Potenziale im Bereich Katalysatoren, Prozesstechnik und Bioraffinerietechnologien

Deutschland als rohstoffarmes Land – und dies gilt auch für Biomasse – ist generell auf Innovationen und **innovative Technologien** als Wirtschaftstreiber angewiesen. Möglichkeiten für einen weiteren Ausbau der bereits guten Position Deutschlands bestehen vor allem in den Bereichen chemische Prozesstechnik, Katalysator-Entwicklung und Biotechnologie. In der weißen Biotechnologie sind die verfügbaren Infrastrukturen gut, das Personal ist hochqualifiziert und eine intensive staatliche Förderung hat eine hervorragende Forschungslandschaft mit begründet [Nusser 2007]. Diese kann durch eine zielgerichtete Förderung der stofflichen Nutzung von Biomasse erweitert und ausgebaut werden.

Eine biobasierte Chemie-Wirtschaft ermöglicht außerdem die Entwicklung **neuer Produkte** eventuell mit völlig neuartigen Funktionalitäten.

Neue Absatzmärkte und Wertschöpfungsketten

Aus ökonomischer Sicht bietet der Übergang zur biobasierten Chemie-Wirtschaft Möglichkeiten **neue Absatzmärkte und Wertschöpfungsketten** im In- und Ausland zu erschließen.

Die internationale Fokussierung auf die Bioökonomie und die biobasierte Chemie-Wirtschaft bietet die Möglichkeit einen **Konsens zur Rohstoff-situation** zu suchen. Denn auch Biomasse liegt nicht in beliebiger Quantität vor und dient vorrangig der Ernährung von Mensch und Tier. Daher sind gemeinsame Anstrengungen zu unternehmen, um erstens die nötigen Technologien weiter zu entwickeln und zweitens einen gemeinsamen Rahmen für die nachhaltige Ressourcennutzung zu finden.

Herausforderungen

Noch zahlreiche Herausforderungen zu überwinden

Bevor sich biobasierte Produktionsverfahren und hierbei besonders die integrierten Konzepte in wirtschaftlich sinnvoller Weise umsetzen lassen, sind noch politische, sozio-ökonomische, technologische und ökologische Herausforderungen zu bewältigen. Dazu gehören:

- Eine klare und dauerhafte Positionierung der Politik zur Planungssicherheit für Unternehmen.
- Eine gesicherte Verfügbarkeit und standardisierte Qualität der Biomasse.
- Berücksichtigung der Konkurrenzsituation von Biomasse zur Lebens-, Futtermittel- und Energieproduktion.
- Weitere Landnutzungskonflikte (zum Beispiel mit Naturschutzgebieten oder Wohnräumen).

- Eine realistische Kostenabschätzung zum Beispiel der Investitionskosten, Betriebskosten oder Rohstoffkosten. Berücksichtigung der Kosten für Umstellung von Altanlagen oder dem Bau von Neuanlagen.
- Die Sicherstellung einer ausreichenden und marktorientierten Förderung von zum Beispiel KMU und F&E.
- Die Einbeziehung von ökologischen Faktoren in Lebenszyklusanalysen (LCA).
- Diskussion zum Einsatz genmodifizierter Organismen (GMO).

Besonders die klare und dauerhafte politische Positionierung ist von den Akteuren gewünscht. Beispielsweise im Bereich der Biodiesel-Produktion haben die diskontinuierlichen politischen Vorgaben private Investoren zurückhaltend gemacht. Sie betonen, dass **Planungssicherheit** für ein bis zwei Dekaden dringend erforderlich sei [KBBE 2010/Festel]. Eine direkte Konsequenz daraus ist beispielsweise die abwartende Haltung des Unternehmens Novozymes beim Bau von Pilot- oder Produktionsanlagen für Bioethanol in Europa. Entsprechende Anlagen in den USA, in Brasilien und in China sind von dem Unternehmen in Bau oder Planung, über den Standort Europa herrscht bisher hingegen Unentschiedenheit [KBBE 2010/Riisgaard].

Die Akteure wünschen sich Planungssicherheit

Von Seiten der weiterverarbeitenden Industrie, beispielsweise im Kunststoffsegment, werden einerseits der **hohe Preis** biobasierter Zwischenprodukte und andererseits die nicht „standardisierte“ Qualität als größte Herausforderungen genannt [BambooBusinessGroup 2010]. Auch in anderen Studien wird die Verfügbarkeit der Biomasse als ein elementarer Faktor für die künftige Nutzung der Biomasse angesehen. Der Großteil der Biomasse für die stoffliche Nutzung steht außerhalb Europas zur Verfügung [Reinhardt 2007].

Hoher Preis und Qualität der Biomasse werden als Herausforderungen gesehen

Eine weitere der Herausforderung für die Einführung von Bioraffinerien in Deutschland ist die Frage nach den **künftigen Betreibern** der Anlagen. Einer neuen Studie zufolge äußern sich Vertreter der (chemischen) Industrie als potenzielle Betreiber hierzu zurückhaltend. Demnach kämen als Standortbetreiber eher Chemieparks und Agrounternehmen in Frage [Wydra 2010].

Die Fülle an Herausforderungen im sozio-ökonomischen und politischen Bereich darf allerdings nicht darüber hinweg täuschen, dass **vor allem technologische Hürden** auf dem Weg zu einer kostengünstigen Herstellungsweise zu überwinden sind. Besonders das Downstreaming gehört heute zu den größten technischen Fragestellungen bei der fermentativen Verarbeitung von Biomasse. Die Extraktion der Produkte aus Fermenterbrühen ist mit bis zu 80 % einer der Hauptkostenfaktoren bei

Zahlreiche technologische Hürden

der biotechnologischen Produktion. Weitere technologische Hürden beinhalten zum Beispiel:

- Die Entwicklung neuer spezifischer Katalysatoren und Biokatalysatoren.
- Das Pathway Engineering von Mikroorganismen und die Erzeugung neuer Organismen.
- Die Konzeption und Umsetzung innovativer Anlagenkonzepte.
- Das kostengünstige Downstreaming und Upscaling.

Der großangelegte Markteintritt von Bioraffinerien ist noch nicht absehbar

Bisher gibt es so gut wie keine seriöse zeitliche Abschätzung wann mit dem groß angelegten **Markteintritt von Bioraffinerien** zu rechnen ist. Eine Studie beschreibt die Markteinführung von Bioraffinerien in kleinerem Umfang als kurzfristig bis zum Jahr 2013 möglich. Mittelfristig (2013-2020) erwarten die Autoren der Studie allerdings neue, effizientere Bioraffinerie-Konzepte [van Ree 2007]. Zur Identifizierung von Rahmenbedingungen und nötigen Meilensteine zum weiteren Ausbau verschiedener Bioraffinerie-Konzepte in Deutschland, wird derzeit an der Ressort-übergreifenden Erstellung einer Roadmap Bioraffinerie gearbeitet [Bundesregierung 2010]; das erste Treffen hat Ende 2010 stattgefunden [Peters 2010].

6 FAZIT UND AUSBLICK

Biomasse ist „der Rohstoff“ der Zukunft und eröffnet neue technologische wie ökonomische Potenziale. Aus Biomasse hergestellte Produkte sind interessant als Substitut für erdölbasierte Produkte, aber auch für die Einführung völlig neuartiger Funktionalitäten. Drei der wichtigsten Argumente für die chemische Industrie sich mit dem Thema Biomasse neben dem bewussten Umsetzen des Nachhaltigkeitsgedankens zu beschäftigen, betreffen die Sicherung und Erweiterung der Rohstoffbasis, die Einsatzmöglichkeiten effizienterer und kostengünstigerer Prozesse und die Erschließung innovativer Produkte bzw. verbesserter Produkteigenschaften.

Drei Argumente für die chemische Industrie sich mit dem Thema Biomasse zu beschäftigen

Die chemische Industrie hat die Notwendigkeit erkannt, sich intensiver mit der Erschließung biobasierter Lösungen und Rohstoffquellen zu beschäftigen.⁵¹ Viele Unternehmen setzen bereits auf den Einsatz und die Vermarktung von biobasierten Lösungen und Produkten. Beispielsweise bietet die Wacker Chemie AG seit 2010 ihren Kunden die Entwicklung biologischer Komplettlösungen an und hat den Geschäftsbereich „Feinchemie“ in „Biosolutions“ umbenannt.⁵²

Bei aller aufkommender Euphorie rund um die Entwicklung und Einführung biobasierter Produkte und Prozesse ist jedoch auch Skepsis angebracht, gerade was die zeitliche Einschätzung eines großflächigen Einsatzes von Biomasse bei der Herstellung von Basis- und Feinchemikalien oder die viel diskutierten ökologischen Potenziale betrifft. So zeigt die aktuelle Biokraftstoff (E10)-Debatte sehr eindrücklich, dass bei der Einführung biobasierter (Energie-)Produkte häufig viele Fragestellungen beispielsweise zur Ökobilanz oder zu möglichen Auswirkungen auf die Nahrungsmittelproduktionen und -preise unbeantwortet oder nur zum Teil beantwortet sind. So kommt das Büro für Technikfolgen-Abschätzungen beim Deutschen Bundestag (TAB) in einem neuen Gutachten zum Beispiel zu dem Urteil, dass Biokraftstoffe aufgrund ihrer geringen Energieproduktivität pro Fläche „nur begrenzte Einsparungen bei den Klimaemissionen“ aufweisen.⁵³

Skepsis angebracht hinsichtlich zeitlicher Einschätzungen und viel diskutierter ökologischer Potenziale

Die in dieser Debatte zu Tage tretenden ökologischen und ökonomischen Kontroversen lassen sich auch auf die Einführung biobasierter Chemie-Produkte übertragen und zwar insbesondere dann, wenn diese ohne systematische Analysen aller wichtigen technologischen Faktoren und gesellschaftlicher Auswirkungen zum Beispiel in Folge politischer Vorgaben erfolgt. Biomasse ist nicht pauschal und für alle Chemie-Produkte als

Systematische Analysen technologischer Faktoren und gesellschaftlicher Auswirkungen notwendig

⁵¹ <http://www.vci.de/default-cmd~shd~docnr~126682~lastDokNr~-1.htm>, zuletzt abgerufen am 10.03.2011

⁵² <http://www.chemanager-online.com/news-opinions/nachrichten/wacker-setzt-verstaerkt-auf-biotechnologie>, zuletzt abgerufen am 10.03.2011

⁵³ <http://www.wiwo.de/politik-weltwirtschaft/brot-fuer-den-tank-458874/2/>, zuletzt abgerufen am 10.03.2011

Ersatz für Erdöl geeignet. Eine differenzierte Betrachtung der Nutzungspotenziale von Biomasse ist für jeden Anwendungsfall angebracht.

Nur wenige Plattformchemikalien (abseits etablierter Produkte) werden heute biobasiert hergestellt

Die in der vorliegenden Studie vorgenommene Analyse zum Substitutionspotenzial ausgesuchter Plattformchemikalien hat gezeigt, dass derzeit nur wenige der Substanzen abseits der schon länger biobasiert hergestellten Produkte, wie etwa Fettsäuren, Vitamine oder einige Biopolymere, tatsächlich im großindustriellen Maßstab produziert werden. Es zeigt sich, dass vor allem die Biopolymere (PLA, PHA) sowie Ausgangssubstanzen für den Polymermarkt (BDO, PDO) zu den Chemikalien gezählt werden können, die in dieser Hinsicht eine hohe Entwicklungsdynamik aufweisen. Insgesamt kann für elf der 26 hier betrachteten Chemikalien eine starke Entwicklungsdynamik hin zu einer biobasierten Produktionsweise prognostiziert werden. Darunter ist zum Beispiel die Bernsteinsäure, die vielseitige Synthese- und Produktpotenziale eröffnet und deren biobasierte industrielle Produktion weltweit gerade anläuft. Die in der Studie aufgezeigten Entwicklungsdynamiken sind angesichts der fortschreitenden Globalisierung und einem zunehmenden Kampf um Rohstoffe kontinuierlichen Änderungsprozessen unterworfen sind. Hemmende Faktoren, wie beispielsweise durch Engpässe oder Spekulationen stetig verändernde Rohstoffmärkte, spielen dabei ebenso eine Rolle wie treibende Faktoren, die zum Beispiel durch die Implementierung neuer technologischer Plattformen wie der Bioraffinerietechnologie ermöglicht werden.

Entwicklungsdynamiken der Substanzen sind kontinuierlichen Änderungsprozessen unterworfen

Im Bereich der Bioraffinerien setzt die chemische Industrie in Deutschland neben Synthesegas- und Grünen Bioraffinerien insbesondere auf die Weiterentwicklung von Lignocellulose-Bioraffinerien. Bei diesem Bioraffinerie-Typ sind zwar noch einige technologische Hürden zu überwinden (das betrifft insbesondere den zielgerichteten Aufschluss von Lignocellulose), aber dafür bietet dieser Bioraffinerietyp ein hohes Potenzial für die Umsetzung bisher ungenutzter Pflanzenbestandteile. Die Weiterentwicklung entsprechender Prozesstechnologien und der Bau von Pilotanlagen werden daher auch von der Bundesregierung gefördert. Das Hauptaugenmerk muss dabei dem Upscaling neuer Verfahren gelten, um in Deutschland mittelfristig die Grundlagen für eine großtechnische Produktion zu legen. Die kontinuierliche Förderung sowohl von Forschungsvorhaben, als auch von ersten Pilot-Anlagen ist daher von großer Bedeutung, damit in entsprechend großen Anlagen Daten bezüglich Downstreaming, Anlagenbau oder für Lebenszyklusanalysen ermittelt werden können.

Förderung von Pilotanlagen: Daten für Upscaling oder Lebenszyklusanalysen

Bis biobasierte Herstellungsprozesse und Produktstammbäume einen höheren Verbreitungsgrad in der chemischen Industrie finden können, müssen weitere technologische und nicht zuletzt sozio-ökonomische Herausforderungen gemeistert werden. Die Frage nach der Zukunft der biobasierten Chemie-Wirtschaft hängt vor allem aber auch von den weiteren industrie- und forschungspolitischen Rahmenbedingungen ab. Die Ende 2010 vorgestellte Forschungsstrategie „BioÖkonomie 2030“ der Bundesregierung setzt für die chemische Industrie in dieser Beziehung wichtige zukunftsweisende Signale auf den Weg zu einer kontinuierlich angelegten Umstellung der Chemie-Wirtschaft auf biobasierte Produktionsprozesse.

Zukunft der biobasierten Chemie-Wirtschaft hängt auch von politischen Rahmenbedingungen ab

ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Umsatz der chemisch-pharmazeutischen Industrie, Angaben für 2008, Unternehmen ab 50 Beschäftigten ..	12
Abbildung 2:	Rohstoffbasis der chemischen Industrie für die stoffliche Nutzung in Deutschland im Jahr 2008.....	13
Abbildung 3:	Beispiele für Biomasse-Präkursoren, Plattformchemikalien und Produktklassen bezogen auf die in dieser Studie untersuchten Stoffe	18
Abbildung 4:	Aufbau und Bedeutung von Lignocellulose	21
Abbildung 5:	Zwei Beispiele für biobasierte Produkte	22
Abbildung 6:	Verarbeitung von Biomasse	24
Abbildung 7:	Schematische Darstellung des BTL-Herstellungsverfahrens von Flüssigtreibstoff aus Biomasse in einer Synthesegas-Bioraffinerie mittels CarboV ^R -Verfahren und Fischer-Tropsch-Synthese	26
Abbildung 8:	Drei Bausteine zur Optimierung biobasierter Produktion	31
Abbildung 9:	Bio-Handy von Nokia	94
Abbildung 10:	Anlage zur Produktion von Bernsteinsäure im November 2009	97
Abbildung 11:	Weltweites Publikationsaufkommen in den Jahren 1990-2010 zum Thema Bioraffinerien.....	99
Abbildung 12:	Weltweites Patentaufkommen in den Jahren 1990-2010 zum Thema Bioraffinerie	99
Abbildung 13:	Länderverteilung des Publikationsaufkommens in den Jahren 1990-2010	100
Abbildung 14:	Länderverteilung des Patentaufkommens in den Jahren 1990-2010	100
Abbildung 15:	Integrierte Bioraffinerien, die vom US-amerikanischen Energieministerium gefördert werden	103
Abbildung 16:	Reduktion der CO ₂ -Emissionen durch die biobasierte Produktion von Ethanol	107
Tabelle 1:	Auswahl an realisierten oder geplanten Anlagen für biobasierte Plattformchemikalien und einigen daraus gewonnenen Biopolymeren.....	19
Tabelle 2:	Biobasierte Anwendungen und Produkte in den verschiedenen Bereichen und Branchen	23
Tabelle 3:	Auswahl an deutschen Unternehmen und deren Produkten bzw. Anwendungen mit Bezug zur Biotechnologie	27
Tabelle 4:	Ausgewählte Plattformchemikalien im Vergleich	37
Tabelle 5:	Ausgewählte Chemikalien und ihre Entwicklungsdynamik hin zu einer biobasierten Produktion bis 2020	90

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS UND FACHTERMINI

Batch	Diskontinuierliches Verfahren in der Verfahrenstechnik bei dem das Edukt nur einmal zugegeben wird (siehe auch Fed-batch).
BDO	1,4-Butandiol, Rohstoff für die Kunststoffproduktion.
Biomasse	Alle organischen Stoffe biogener, nicht fossiler Art.
BioÖkonomierat	Neu gegründeter Rat zu Fragen der Bioökonomie, berät die Bundesregierung.
Bioraffinerie	Laut IEA: "Biorefining: the sustainable processing of biomass into a spectrum of marketable products and energy".
BMU	Bundesministerium für Umwelt und Reaktorschutz
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschafts- und Verbraucherschutz
BREW	EU-Projekt (2003-2006): Medium and long-term opportunities and risks of the biotechnological production of bulk chemicals from renewable resources.
BTL	Biomass to Liquid (Biomasseverflüssigung)
Chelatbildner	Stoffe, die Liganden komplexieren, so dass besonders stabile Komplexe entstehen.
CLIB2021	Cluster Industrielle Biotechnologie e.V. Gewinner des BMBF-Clusterwettbewerbes „BioIndustrie 2021“.
CO ₂	Kohlendioxid
DECHEMA	Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.
DGMK	Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V.
DOE	Department of Energy (US-Energieministerium)
Downstreaming	Auch Downstream processing genannt. Beschreibt sämtliche Verfahren, die geeignet sind biotechnologische Produkte aus Fermentationsbrühen zu isolieren.

Enantiomer	Begriff aus der Chemie. Zwei Moleküle die sich wie Bild und Spiegelbild zueinander verhalten und nicht zur Deckung gebracht werden können.
EPA	US Environmental Protection Agency, US-amerikanische Umweltschutzbehörde
ETP	European Technology Platform
EU	Europäische Union
FDCA	Furan-2,5-dicarbonsäure, Ausgangssubstanz für die Synthese von Polyamiden und verschiedenen Furanderivaten.
Fed-batch	Zulauf-Verfahren in der Verfahrenstechnik, das sich durch das konstante Zufüttern der Edukte auszeichnet.
Fermentation	Umsetzung von Biomasse mit Hilfe von Mikroorganismen, Pilzen oder Zellkulturen.
Flagship initiative	Neue Initiative der Europäischen Kommission im Rahmen der Europa 2020-Strategie.
FNR	Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe
FRP 6	Sechstes Forschungsrahmenprogramm der EU
FRP 7	Siebtens Forschungsrahmenprogramm der EU
FT	Fischer-Tropsch-Synthese. Verfahren zur großtechnischen Synthese von flüssigen Kohlenwasserstoffen aus gasförmigen CO-H ₂ -Gemischen. Einsatz als synthetische Kraftstoffe.
GDCh	Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V.
GMO	Genmodifizierte Organismen
IEA	International Energy Agency, initiiert Kooperationen im Energie-Sektor innerhalb der 28 Mitgliedsländer.
KBBE	Knowledge-based Bio economy (wissensbasierte Bioökonomie); Konzept der EU für eine biobasierte Wirtschaft und Gesellschaft.
Leitmarktinitiative	Die EU benennt sechs Märkte, in denen sie besonderes Entwicklungspotenzial sieht. Einer dieser zu entwickelnden Märkte sind „biobasierte Produkte“
Lignin	Stützmaterial in Pflanzen; komplexer Polymer mit verschiedenen Funktionalitäten. Wird heute meistens verbrannt und nur wenig stofflich genutzt.

Metagenomik	Genomische Analyse ganzer, meist nicht kultivierbarer Habitate.
Next Generation Sequencing	Neuartige Sequenzierverfahren, die parallel arbeiten und daher schneller und kostengünstiger sind. Sie sind Basis zahlreicher genomischer Analysen und Treiber für die weitere Entwicklung der „persönliche Genomik“.
PA	Polyamid, thermoplastischer Kunststoff, Ausgangssubstanz für synthetische Fasern (Nylon, Polyamid 6.6).
PE	Polyethylen, das am weitesten verbreitete Plastik, Haupteinsatzbereich sind Plastiktüten.
PET	Polyethylenterephthalat, thermoplastischer Polymer aus der Polyester-Familie, großflächiger Einsatz im Verpackungsbereich.
PG	Propylenglycol
PHA	Polyhydroxyalkanoate, natürlicher Polyester.
PLA	Polylactide, auch Polymilchsäure genannt, aufgebaut aus mehreren Milchsäuremolekülen, Basis für thermoplastische Polymere.
PMMA	Polymethylmethacrylat, synthetischer, thermoplastischer Kunststoff, auch bekannt unter den Namen Acrylglas oder Plexiglas.
PP	Polypropylen, teilkristalliner Thermoplast, breiter Einsatz im Maschinen- und Fahrzeugbau, Elektrotechnik oder der Textilindustrie.
PTT	Polytrimethylenterephthalat, Polyester, Einsatz als Faser.
Pyrolyse	Thermochemische Spaltung organischer Masse. Produkt ist oftmals das Pyrolyseöl.
PVC	Polyvinylchlorid, amorpher, thermoplastischer Kunststoff, der durch die Gabe von Weichmachern formbar gemacht wird. Verwendung in Fußbodenbelägen, Rohren und Kabeln.
Star-COLIBRI	EU-Projekt zum Thema Bioraffinerien (Strategic Research Targets for 2020 – Collaboration Initiative on Biorefineries)
THF	Tetrahydrofuran, Basischemikalie

USD	US-amerikanische Währung
USDA	US-amerikanisches Agrarministerium (United States Department of Agriculture)
VCI	Verband der Chemischen Industrie e.V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
WWF	World Wildlife Fund

LITERATUR

- Atsumi S., Hanai T., Liao J.C.: Non-fermentative pathways for synthesis of branched-chain higher alcohols as biofuels, *Nature* 451, 86-89, 3 January 2008.
- Biorefinica 2009: Kamm B., Lahl U., Schwarz S., Tagungsbericht zum Deutschen Bioraffinerie-Kongress 2009 - Biobasierte Produkte und Bioraffinerien, 2009.
- Bang J.K., Follér A., Buttazoni M.: Industrial biotechnology - more than green fuel in a dirty economy? Exploring the transformational potential of industrial biotechnology on the way to a green economy. WWF und Novozymes, 2009.
- BIOPOL 2007: Finaler Bericht des EU-Projektes: "Assessment of BIOrefinery concepts and the implications for agricultural and forestry POLicy", Deliverable 7.6, 2007.
- BioÖkonomierat 2010: Gutachten des BioÖkonomierats 2010, Innovation Bioökonomie.
<http://www.biooekonomierat.de/meldungen.92/items/biooekonomierat-uebergibt-erstes-gutachten-an-die-bundesregierung.html>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011.
- BMBF 2010: Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030, Unser Weg zu einer bio-basierten Wirtschaft, BMBF, 2010.
<http://www.bmbf.de/pub/biooekonomie.pdf>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011.
- BMELV 2009: Aktionsplan der Bundesregierung zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe, BMELV, 2009.
- Bohlmann J.: Biokraftstoffe der zweiten Generation: Herstellungsoptionen, Stand der Technik, Effizienz, Kosten, Vortrag im Rahmen der „Mobil mit Biomasse“-Tagung, Stuttgart, 27. September 2006.
- Braun M., Teichert O., Zweck A.: VDI Übersichtsstudie: Biokatalyse in der industriellen Produktion. ZTC-Band 57, VDI Technologiezentrum GmbH (Hrsg.), 2006.
- Benner S.A. und Sismour A.M.: Synthetic Biology Review, *Review Genetics*, Volume 6, 2006.
- BREW 2006: Medium and long-term opportunities and risks of the biotechnological production of bulk chemicals from renewable resources the potential of white biotechnology, 2006.
http://www.bioeconomy.net/applications/files/Brew_project_report.pdf, zuletzt abgerufen am 28.02.2011.
- Bundesregierung 2010: Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Dagmar Enkelmann, Eva Bulling-Schröter, Dr. Rosemarie Hein, weiterer Abgeordneter und der Fraktion DIE LINKE – Drucksache 17/2375. Zukunft der stofflichen Nutzung von Biomasse in Bioraffinerien, 29.07.2010.
- Carrez D.: Einleitender Vortrag auf der Veranstaltung: „Lighthouses of Sustainability - European Concepts for Competitive Bio-based Chemicals“, Brüssel, 3.-4. Februar 2010.

- Cherry J.R.: Turning the promise of synthetic biology in to commercial reality for health and energy, Vortrag beim "European Commission Synthetic Biology Workshop", Brüssel, 18. März 2010.
- Cherubini F., Jungmeier G., Wellisch M., Wilke T., Skiadas I., Van Ree R., de Jong E.: Towards a common classification approach for biorefinery systems, *Biofuels*, *Bioprod. Bioref.*, 2009.
- DOE 2004: Top value added chemicals from biomass, volume I: Results of screening for potential candidates from sugars and synthesis gas, produced by staff at the Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) and the National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2004.
- DOE 2005: Breaking the biological barriers to cellulosic ethanol: A joint Research Agenda, a research roadmap resulting from the biomass to biofuels workshop sponsored by the U.S. Department of Energy, December 7–9, 2005.
http://genomicscience.energy.gov/biofuels/2005workshop/2005low_sugar.pdf, zuletzt abgerufen am 28.02.2011.
- DOE 2007: Bozell J.J., Holladay J.E., Johnson D., White J.F., Top-added chemicals from biomass, volume II – Results of screening for potential candidates from biorefinery Lignin, produced for the U.S. Department of Energy, October 2007.
- Dornburg V., Hermann B.G., Patel M.K.: Scenario projections for future market potential of biobased bulk chemicals, *Environ. Sci. Technol.*, 42, 2008.
- EC 2009: The world in 2025, rising Asia and socio-ecological transition, Directorate-General for Research, Socio-economic Sciences and Humanities, 2009.
- EC 2009a: Taking bio-based from promise to market, measures to promote the market introduction of innovative bio-based products, a report from the ad-hoc advisory group for bio-based products in the framework of the European Commission's Lead Market Initiative, 3. November 2009.
- Endres H.-J., Siebert-Raths A.: *Technische Biopolymere*, ISBN-10: 3-446-41683-8, 2009.
- Ernst B.: Biorefinery concept for low cost chemicals, Vortrag für die IEA Bioenergy Task42 Biorefinery, Worms, 15. September 2009.
- Fernando S., Adhikari S., Chandrapal C., Murali N.: Biorefineries: Current status, challenges, and future direction, *Energy & Fuels*, 20, 1727-1737, 2006.
<http://nfscfaculty.tamu.edu/talcott/Food%20Chem%20605/Class%20Papers%202010/Review-Biofuels.pdf>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011.
- Festel 2010: Industry structure and business models for industrial biotechnology research methodology and results for discussion, OECD Workshop on the Outlook on Industrial Biotechnology Vienna, January 14, 2010.

- <http://www.oecd.org/dataoecd/18/1/44776744.pdf>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011.
- Frost&Sullivan 2008: Strategic analysis of the worldwide market for bio-renewable chemicals, Frost&Sullivan, 2008.
- FNR 2009: Gülzower Fachgespräche, Band 31, Stoffliche Nutzung von Lignin, Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe, 10. März 2009.
- Gabrielczyk T.: Öl-Entzug für die Chemie, Technology Review, 2010.
- Hirth H.: Verfahrensentwicklung zur Synthese von 5-Hydroxymethylfufural und Kohlenhydratcarbonsäuren auf Basis nachwachsender Rohstoffe. Dissertation, Technischen Universität Darmstadt, 2003.
- Hoppenheidt K., Peche R., Tronecker D., Roth U., Hottenroth S.: Entlastungseffekte für die Umwelt durch Substitution konventioneller chemisch-technischer Prozesse und Produkte durch biotechnologische Verfahren, 2004.
- <http://www.bifa.de/download/entlastungseffekte.pdf>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011.
- IEA 2009: IEA Bioenergy Task 42 Biorefinery, 2009.
- http://www.biorefinery.nl/fileadmin/biorefinery/docs/Brochure_Totaal_definitief_HR_opt.pdf, zuletzt abgerufen am 28.02.2011.
- IKB 2010: IKB Branchenbericht, Chemische Industrie, April 2010.
- IPTS 2003: Techno-economic feasibility of large-scale production of bio-based polymers in Europe, Technical Report Series, IPTS, ETSO, COM, 2003.
- <http://ftp.jrc.es/EURdoc/eur22103en.pdf>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011.
- Jeude M.: Entwicklung und Anwendung einer Fed-batch-Betriebsweise mit Nährstofffreisetzungssystemen zur kontrollierten Kultivierung und zum Screening von Mikroorganismen in Schüttelreaktoren, Dissertation, RWTH Aachen, 2007.
- Kamm B., Kamm M.: Das Konzept der Bioraffinerie - Produktion von Plattformchemikalien und Finalprodukten, Chemie, Ingenieur Technik CIT, 79, 5, 2007
- KatalyseRoadmap 2010: Katalyse - eine Schlüsseltechnologie für nachhaltiges Wirtschaftswachstum, Roadmap der Deutschen Katalysatorforschung, German Catalysis society, GeCatS, 2010.
- KBBE: The knowledge-based Bio economy – achievements and challenges, Full report, KBBE-Konferenz, September 2010.
- KBBE/Festel G.: Diskussionsrunde, Innovative biobased products, KBBE-Konferenz, Brüssel 2010.
- KBBE/Riisgaard S.: The bio-economy – what's in it for Europe? Vortrag im Rahmen der KBBE-Konferenz in Brüssel, 2010.
- Keasling J.D. und Chou H.: Metabolic engineering delivers next-generation biofuels, Nature Biotechnology 26, 298 – 299, 2008.
- <http://www.nature.com/nbt/journal/v26/n3/full/nbt0308-298.html>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011.

- Kerckow B.: Support of R&D, conversion, processes and biorefineries by BMELV/FNR, Vortrag, IEA-Bioenergy Task42 Biorefineries - German Workshop on Biorefineries, 15th September 2009.
- Khalil A.D. und Collins J.J.: Synthetic biology: applications come of age, *Nature Review Genetics*, Volume 11, 2010.
- Kircher M.: Trends in technology and applications, OECD workshop on the outlook on industrial biotechnology, Wien, 2010.
<http://www.oecd.org/dataoecd/18/49/44776140.pdf>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011.
- Kwok R.: Five hard truths for synthetic biology, *Nature* 463, 288-290, 2010.
- Leiß S., Kamm B.: Grüne Chemie – Bioraffinerie-Systeme und Anlagen, 8. Biomasse-Tagung Rheinland-Pfalz 06./07. November 2008.
http://www.stoffstrom.org/fileadmin/userdaten/bilder/Biomasse/Gruene_Chemie_-_Bioraffinerie-Systeme_und_Anlagen-Sebastian_Leiss.pdf, zuletzt abgerufen am 28.02.2011.
- Luguel C.: Preliminary report on the global mapping of research projects and industrial biorefinery initiatives. Task 2.3.3 Commercial biorefineries in Europe. Strategic Targets for 2020 – Collaboration Initiative on Biorefineries.
- MarketsandMarkets 2011: Global renewable chemicals market by geography, feedstock's, prices, applications trends and forecasts (2010 - 2015), MarketsandMarkets 2011.
<http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/renewable-chemical-274.html>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011.
- Moona T.S., Duebera J.E., Shiuea E., Prathe K.L.J.: Use of modular, synthetic scaffolds for improved production of glucaric acid in engineered *E. coli*, *Metabolic Engineering*, Volume 12, Issue 3, May 2010.
- Nova Institut 2010: Entwicklung von Förderinstrumenten für die stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland, Mai 2010.
- Nusser M, Hüsing, B., Wydra, S.: Potenzialanalyse der industriellen, weißen Biotechnologie. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der Innovations- und Technikanalyse (ITA), 2007.
- Oertel D.: Industrielle stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) 2007 (TAB-Arbeitsbericht Nr. 114), 2007.
- Patel M.K., Crank M.: Projections for the production of bulk-volume bio-based polymers in Europe and environmental implications, *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, Vol. 1, 2007.
- Peters D.: Vortrag: „Bioraffinerien“, Arbeitsgruppe „Roadmap Bioraffinerien“, Auftaktsitzung, Berlin, 30.09.2010.
- Reinhardt G., Detzel A., Gärtner S., Rettenmeier N., Krüger M.: Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie: Optionen und Potenziale für die Zukunft; IFEU-Institut gefördert durch die Fachverei-

- nigung Energie Klimaschutz und Rohstoffe im Verband der Chemischen Industrie; Heidelberg, 2007.
- Röttgen N.: Klimaschutz als Antrieb für Mobilität, auto motor sport - Kongress 2010, 15.04.2010, Stuttgart.
http://www.bmu.de/reden/bundesumweltminister_dr_norbert_roettgen/doc/print/45890.php, zuletzt abgerufen am 28.02.2011.
- Schütte G.: Rede im Rahmen der Deutschen Biotechnologietage 2010, Berlin, 2010.
- Sheridan C.: Making green, Nature Biotechnology, Volume 27, Number 12, Dezember 2009.
- Sommer O.A., Church G.M., Dantes G.: A functional metagenomic approach for expanding the synthetic biology toolbox for biomass conversion, Molecular Systems Biology, 6, 2010.
- Spath P.L., Dayton D.,C.: Preliminary screening – technical and economic assessment of synthesis gas to fuels and chemicals with emphasis on the potential for biomass-derived syngas, NREL Technical Report NREL/TP-510-34929, December 2003.
- Star-COLIBRI 2010: Star-COLIBRI-Project, D 2.3 Collection of information on biorefinery research funding and research organisations (projects), April 30, 2010, Strategic Targets for 2020 – Collaboration Initiative on Biorefineries.
- Stary F.: Chemistry and Biotechnology – A productive partnership for “green” chemicals, senior vice president corporate R&D bei Wacker, Vortrag im Rahmen des “Workshop Lighthouses of Sustainability – European Concepts for Competitive Bio-based Chemicals”, Brüssel, 2010.
- USDA 2008: U.S. Biobased products, market potential and projections through 2025. United States Department of Agriculture, 2008.
- USDA 2008a: State of the art in biorefinery in Finland and the United States, 2008, United States Department of Agriculture, 2008.
- van Ree R., Annevelink, B.: Status report biorefinery 2007, ISBN 978-90-8585-139-4.
<http://www.biorefinery.nl/fileadmin/biorefinery/docs/publications/StatusDocumentBiorefinery2007final211107.pdf>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011.
- Wagemann K.: Strategische Bioraffinerieprojekte in Deutschland – Was haben und was brauchen wir? Chemie Ingenieur, Technik, 82, No. 12, 2010.
- Wilke T.: Biorefinery in Germany – current status, Vortrag für die IEA Bioenergy Task 42 on Biorefineries, Kick-off Meeting, Amsterdam, 15/16 March 2007.
- World Economic Forum 2010: The future of industrial biorefineries, the world economic forum, 2010.
http://www3.weforum.org/docs/WEF_FutureIndustrialBiorefineries_Report_2010.pdf, zuletzt abgerufen am 28.02.2011.
- Wydra S., Hüsing B., Kukk P.: Analyse des Handlungsbedarfs für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) aus der

Leitmarktinitiative (LMI) der EU-Kommission für biobasierte Produkte außerhalb des Energiesektors, Fraunhofer ISI, Dezember 2010.

WWF 2010: Living planet report, World Wildlife Fund, 2010.

<http://assets.panda.org/downloads/lpr2010.pdf>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011.

Zwart R.: Biorefinery – the worldwide status at the beginning of 2006.

<http://www.biorefinery.nl/fileadmin/biorefinery/docs/bioref/bioref0603.pdf>, zuletzt abgerufen am 28.02.2011.

Zukünftige Technologien Consulting

ist eine Beratungseinheit der VDI Technologiezentrum GmbH mit Sitz in Düsseldorf.

Zukünftige Technologien Consulting (ZTC) verbindet technologisches, zukunftsorientiertes und sozioökonomisches Know-how mit langjähriger Erfahrung in der Beratung von Entscheidungsträgern aus politischer Administration, Industrie, Finanzwelt sowie Verbänden, Vereinen und Organisationen.



Das interdisziplinär ausgerichtete Team von ZTC deckt dabei ein breites Themen- und Methodenspektrum ab. Mit Unterstützung eigener Softwareinstrumente werden kundenspezifisch strategische Themen identifiziert, neue Technologien und Trends bewertet, Ideen entwickelt sowie praxisnahe Lösungen umgesetzt.

Produkte

- Newsmonitoring
- Innovationscreening und Innovationsmonitoring
- Studien und Analysen
- Szenarien und Prospektionen
- Prozessberatung

Weitere Informationen erhalten Sie unter www.zt-consulting.de



Zukünftige Technologien Consulting
VDI Technologiezentrum GmbH
Airport City
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf

Telefon: + 49 (0) 211 62 14 - 5 36
Telefax: + 49 (0) 211 62 14 - 1 39
E-Mail: ztc@vdi.de
www.zt-consulting.de