

Birgit Kamm

## **Biomasse-Wirtschaft und Bioraffinerie-Systeme**

### **Hintergrund**

Die Erhaltung und nachhaltige Bewirtschaftung von Ressourcen ist ein wesentliches Ziel der umweltverträglichen, nachhaltigen Entwicklung im Sinne der Agenda 21, die als Aktionsprogramm für das 21. Jahrhundert von mehr als 170 Staaten in Rio de Janeiro im Juni 1992 verabschiedet und auf dem Weltgipfel für nachhaltige Entwicklung in Johannesburg im September 2002 fortgeschrieben wurde [1-3]. Die politischen Aktivitäten der Bundesregierung im Rahmen der EU-Ratspräsidentschaft 2007 waren insbesondere darauf gerichtet, dem Klimaschutz durch Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und zum Ausbau der erneuerbaren Energien – Windkraft, Fotovoltaik, Biomasse und Geothermie – zu dienen [4].

Nachhaltige Entwicklung beinhaltet auch, nach neuen Lösungen zu suchen, um den noch immer zunehmenden Anstieg des Verbrauchs an fossilen, nicht erneuerbaren Ressourcen wie Erdöl, Erdgas, Kohle und Mineralien zu ‚entschleunigen‘.

Das in der Physik als ‚Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik‘ oder ‚Entropiesatz‘ bekannte Grundgesetz der Natur besagt, dass sich in geschlossenen Systemen eine unwahrscheinliche Konfiguration (kleine Entropie) im Laufe der Zeit in eine wahrscheinlichere (größere Entropie) verwandelt. Dies hat die wesentliche Konsequenz, dass letztlich jegliche Ordnungsstruktur in einem System abgebaut wird, sich also in Unordnung auflöst, wenn nicht gegen den ‚natürlichen‘ Trend zur Ordnungsminderung die Entwicklung der ständigen ‚Wertschöpfung‘ wirkt.

Dieses Verhalten zur ‚Wertsteigerung‘ und strukturellen Höherentwicklung geschieht nicht im Widerspruch zum Entropiesatz, sondern ist durch die Position der Erde im elektromagnetischen Strahlungsfeld der Sonne begründet: Sonnenlicht wird als Ordnungsenergie oder Syntropie (negative Entropie) empfangen und ermöglicht somit einen Wertschöpfungsprozess. Diese Überlegungen des Physikers Hans Peter Dürr führen zur Schlussfolgerung, dass wir in einem Jahrhundert der sekundären Nutzung des Sonnenlichtes in Form von Erdöl, Erdgas, Kohle diese Ressourcen wesentlich schneller verbraucht haben als sie – über Hunderte von Jahrillionen – gebildet worden sind [5].

Wenn es gilt, den rasanten Verbrauch der nichterneuerbaren Ressourcen zu verlangsamen, gibt es für die Stoffwirtschaft, d.h. für die Produktion von Chemikalien und Materialien nur die Alternative der verstärkten Nutzung von Biomasse. Wesentlich wird dabei sein, inwieweit es gelingt, die derzeitige auf fossilen Rohstoffen basierende effiziente Produktion von Waren schrittweise auf eine auf biologischen Rohstoffen basierende industrielle Produktion umzustellen.

### Interdisziplinäres Zusammenwirken der Wissenschaften

Die Umstellung ganzer Volkswirtschaften auf biologische Rohstoffe als Wertschöpfungsquelle erfordert grundlegend neue Ansätze in Forschung und Entwicklung. Zum einen erhalten die biologischen und chemischen Wissenschaften bei der Formierung der Zukunftsindustrien des 21. Jh. eine führende Rolle. Zum anderen müssen neue Wege des Zusammenwirkens der biologischen, physikalischen, chemischen und technischen Wissenschaften konzipiert und realisiert werden – und dies im Verbund mit neuen Verkehrstechnologien, Medien- und Informationstechnologien, Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. Die Entwicklung von Bioraffinerien wird dabei „der Schlüssel für den Zugang zu einer integrierten Produktion von Nahrungsmitteln, Futtermitteln, Chemikalien, Werkstoffen, Gebrauchsgütern und Brennstoffen auf Basis biologischer Rohstoffe der Zukunft sein.“ [6]

### 3-Säulen Modell der Biomasse-Wirtschaft (Bioeconomy)

Eine nachhaltige, biobasierte Wirtschaft (Bioeconomy) mit dem Rohstoff Biomasse wird in einem 3-Säulen-Modell mit den Komponenten Biobasierte Produkte, Bioenergie und Biokraftstoffe betrachtet. Solche ganzheitlich wirtschaftlichen Wege erfordern Forschung und Entwicklung entlang der Wertschöpfungskette Rohstoffkonversion–Produktion–Distribution– Konsum. Dabei stehen insbesondere die Rohstoffkonversion und die Entwicklung von integrierten Energie-Kraftstoff- und Stoffproduktlinien im Vordergrund (Abbildung 1).

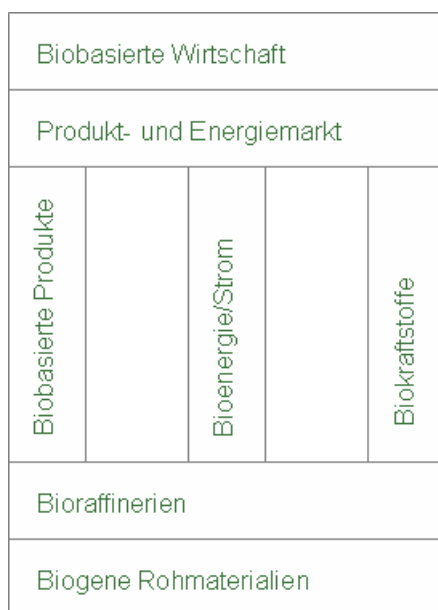


Abb. 1: 3-Säulenmodell der Bioeconomy

In den Vereinigten Staaten von Amerika sind derzeit die entschiedensten Bemühungen für die Umstellung zu einer Biomasse-Wirtschaft auf Basis des 3-Säulen-Modells zu beobachten. Großindustrielle Entwicklungen haben im Jahre 2000 in den USA durch den Präsidenten und den Kongress eine wesentliche Förderung erfahren [7,8]. Im Vordergrund steht die Entwicklung einer biobasierten Wirtschaft, wofür als wesentliche Argumente die Sicherheit von Rohstoffen und Energie (äußere Sicherheit), die Sicherheit der Landwirtschaft (innere Sicherheit), die Technologie-

entwicklung sowie die Entwicklung neuer Industrien, die ökonomische Entwicklung der Landwirtschaft und der Umweltschutz zu sehen sind.

Das industriegeführte Biomass Technical Advisory Committee (BTAC) der USA, welches auch als Berater der amerikanischen Regierung fungiert und dem u.a. Großunternehmen wie Dow Chemical, E.I. du Pont de Nemours, Cargill Dow LLC, Genecor International Inc. sowie Vereinigungen wie National Corn Growers Association und Natural Resources Defense Council angehören, haben solche Ziele in einem Stufenplan bis zum Jahre 2030 für die Bereiche Bioenergie, Biokraftstoffe und Bioprodukte konkretisiert [9,10]. Das bisherige Fehlen eines solchen gesamtwirtschaftlichen Ansatzes in Europa und Deutschland und die zeitlich gestufte Förderung von Biomasse – zuerst Bioenergie-Quotierung, dann folgend Biokraftstoff-Quotierung – haben zunächst volkswirtschaftliche Effekte behindert und kontraproduktive Konkurrenzen geschaffen.

Auf Basis des Europäischen Biomasse Aktionsplanes sollen diese nun überwunden werden [11]. Dazu wurden im Jahre 2006 zur Vorbereitung des 7. Rahmenprogramms der EU – insbesondere zur Politikberatung – die beiden strategischen EU-Projekte (1) BIOPOL, European Biorefineries: Concepts, Status & Policy Implications [12] und (2) Biorefinery Euroview: Current situation and potential of the biorefinery concept in the EU: strategic framework and guidelines for its development [13] entwickelt, deren vorläufige Ergebnisse auf einem interaktiven Biorefinery Workshop BioreFuture 2008, ‚Concepts and Strategies for biorefineries in Europe‘ am 12. Februar 2008 in Brüssel vorgestellt wurden.

Gegenwärtig wird eine Neuformulierung des Europäischen Biomasse-Aktionsplanes unter Berücksichtigung der stofflichen Nutzung von Biomasse, gefordert [14]. Was zunächst als eine sinnvolle Forderung gewertet werden sollte, erscheint mit der darin enthaltenen Begründung der Rohstoff- und Flächenkonkurrenz zu den Programmen der Biokraftstoff-Produktion wiederum kontraproduktiv.

### **Vergleich der Basisprinzipien der Erdölraffinerie und der Bioraffinerie**

Das Ausmaß der grundlegenden Veränderung der Rohstoffbasis der Industrie bedeutet für den Bereich der Chemie- und Stoffwirtschaft: die Nutzung von Biomasse. Während sich die Energiewirtschaft auf verschiedene alternative Rohstoffe – wie Wind, Sonne, Wasser, Erdwärme, Kernspaltung, Kernfusion und Biomasse – stützen kann, ist die Stoffwirtschaft im Wesentlichen auf die Biomasse und im Besonderen auf die pflanzliche Biomasse als Alternative angewiesen. An die stoffwandelnde Industrie wie auch an die Forschung und Entwicklung werden also besondere Anforderungen an Rohstoff-, Produkt- und Prozesseffizienz gestellt.

Zur Zeit wird Erdöl raffiniert, um diejenigen chemischen Grundstoffe herzustellen, die in Tausenden von Produkten eingesetzt werden. Viele dieser erdölbasierten Produkte könnten durch wertsteigernde Chemikalien ersetzt werden, die aus Biomasse-Ressourcen hergestellt werden. Solche biobasierten Produkte stellen somit eine entscheidend neue Marktchance für Biomasse-Ressourcen dar. Sie werden nicht nur für jene, die die Rohstoffe raffinieren und verarbeiten, sondern auch für die Landwirte und andere, die in die Produktion biobasierter Produkte eingebunden sind, eine neue Einnahmequelle darstellen. Weiterführende Forschung und Entwicklung kann die Chancen für biobasierte Produkte wesentlich verbessern, bestehende Märkte erweitern und vollständig neue Märkte eröffnen.

Die Mehrzahl der biologischen Rohstoffe wird in der Landwirtschaft, der Waldwirtschaft und durch mikrobielle Systeme produziert. Waldbaupflanzen sind ein hervorragender Rohstoff für die

Papierherstellung, für Holzwerkstoffe und die Bauwirtschaft. Abfallbiomassen aus der Agrarwirtschaft sowie Biomassen der Natur- und Landschaftspflege sind wertvolle organische Rohstoffreservoirs und entsprechend ihrer organischen Zusammensetzung zu nutzen.

Im Hinblick auf den Erhalt des Lebensstandards unserer wie nachfolgender Generationen wird es eine wichtige Aufgabe sein, die Funktionsweise der Erdölraffinerien auf Biomasse verarbeitende Bioraffinerien zu übertragen. Diese nutzen dann in Analogie in großer Menge verfügbare biologische Rohstoffe bzw. Rest- und Abfallstoffe der Agro- und Lebensmittelproduktion.

Die Petrochemie beruht auf dem Prinzip, aus Erdöl einfach zu handhabende und definierte, chemisch reine Grundstoffe in Raffinerien zu erzeugen. In effizienten Produktlinien wurde ein System des Stammbaumes aufgebaut, in dem aus Basischemikalien, Zwischenprodukte und Veredelungsprodukte erzeugt werden. Das Funktionsprinzip von Erdölraffinerien muss auf Bioraffinerien übertragen werden. Biomasse enthält die Syntheseleistung der Natur und hat ein anderes C:H:O:N-Verhältnis als Erdöl. Die Verknüpfung von biotechnologischer und chemischer Stoffwandlung wird eine große Rolle spielen (Abbildung 2).

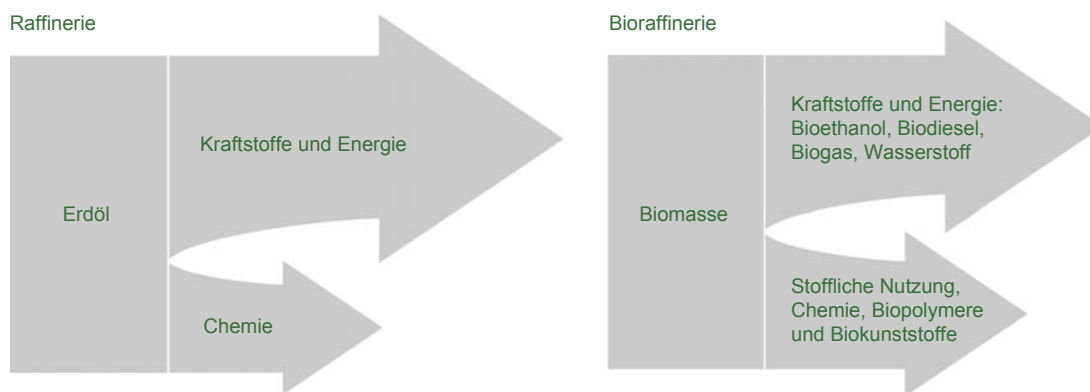


Abb. 2: Vergleich der Basisprinzipien der Erdölraffinerie und der Bioraffinerie

In der Europäischen Chemischen Industrie wird derzeit angenommen, dass bis zum Jahre 2025 ca. 30% der Rohstoffe auf der Basis von Biomasse hergestellt werden können [15].

### Historie und Definition der Bioraffinerie

Arbeiten an Bioraffinerie-Konzepten, d.h. zunächst die Fraktionierung von Biomasse in Anlehnung an die Physiologie und biologisch-chemische Vielfalt der Inhaltsstoffe und entsprechende Nutzung und Verarbeitung der so erhaltenen Fraktionen, gab es noch ehe der Name Bioraffinerie/biorefinery etwa ab der Mitte der 80iger Jahre des 20. Jahrhunderts in der Fachwelt auftauchte. Wissenschaftlich lassen sich solche Arbeiten bis hin zu den französischen Chemikern G. F. & H. M. Roulle im Jahre 1773 (Herstellung von Proteinextrakten aus Luzerneblättern) zurückverfolgen. Erste Beispiele zur Technologieentwicklung der Fraktionierung von Biomassen waren die Gewinnung von Nahrungsmittel-Proteinfraktionen aus grünen Pflanzen, wie Luzerne; die Gewinnung von Protein-Xanthophyll-Konzentraten (70iger Jahre des 20. Jh.) die amerikanischen und chinesischen Verwertungskonzepte für schnellwachsende Holzgräser (frühe 80iger Jahre des 20. Jh.) sowie die Agro-Konzepte zur gekoppelten Grünfütter- und Reststoffverwertung, wie kombinierte Erzeugung von Silage, Rohprotein und Biogas (frühe 80iger Jahre des letzten Jh.).

Zur heutigen Etablierung der Bioraffinerie-Systeme trugen insbesondere pflanzenphysiologische und ökologische Betrachtungen (Carlsson, 1982), ökonomische Überlegungen, wie biotechnologisch-chemische Verwertungskonzepte von Melasse, einem Bulk-Nebenprodukt der Zuckerraffination zur Erzeugung von Aminosäuren sowie die Getreide-Nassmahlverfahren mit angeschlossenen biotechnologischen und chemischen Produktlinien zur Erzeugung von Stärkederivaten, Cyclodextrinen, Fructose und Fettsäuren bei (Literaturzitate in [16]).

Allgemein ist Biorefining der Transfer von Effizienz und Logik der fossil-basierten Chemie und stoffwandelnden Industrie sowie der Energieproduktion auf die Biomasse-Industrie. Das National Renewable Energy Laboratory (NREL) publizierte folgende Definition für den Terminus ‘Bioraffinerie’: “A biorefinery is a facility that integrates biomass conversion processes and equipment to produce fuels, power and chemicals from biomass. The biorefinery concept is analogous to today’s petroleum refineries, which produce multiple fuels and products from petroleum. Industrial biorefineries have been identified as the most promising route to the creation of a new domestic biobased industry.” [17]

### Bioraffinerie-Systeme

Im ersten Schritt einer Bioraffinerie werden Biomassen einer physikalischen Stofftrennung unterworfen. Die Hauptprodukte (H1-Hn) und Nebenprodukte (N1-Nn) werden in Folge mikrobiologischen und chemischen stoffwandelnden Reaktionen ausgesetzt. Die Folgeprodukte (F1-Fn) der Haupt- und Nebenprodukte können dann weiterkonvertiert oder in einer konventionellen Raffinerie Eingang finden.

Aktuell werden in Forschung und Entwicklung vier Bioraffinerie-Systeme forciert [18]:

1. die *lignocellulosehaltige Feedstock Bioraffinerie*, welche ‚natur-trockene‘ Rohstoffe, wie cellulosehaltige Biomasse und Abfälle nutzt (Abbildung 3),
2. die *Ganzpflanzen-Bioraffinerie*, welche Rohstoffe, wie Getreide oder Mais nutzt (Abbildung 4),
3. die *Grüne Bioraffinerie*, welche ‚natur-nasse‘ Rohstoffe, wie grünes Gras, Luzerne, Klee oder unreifes Getreide nutzt (Abbildung 5),
4. das *Zwei-Plattform-Konzept*, welches die ‚Zucker-Plattform‘ und die SynGas-Plattform einschließt (Abbildung 6).

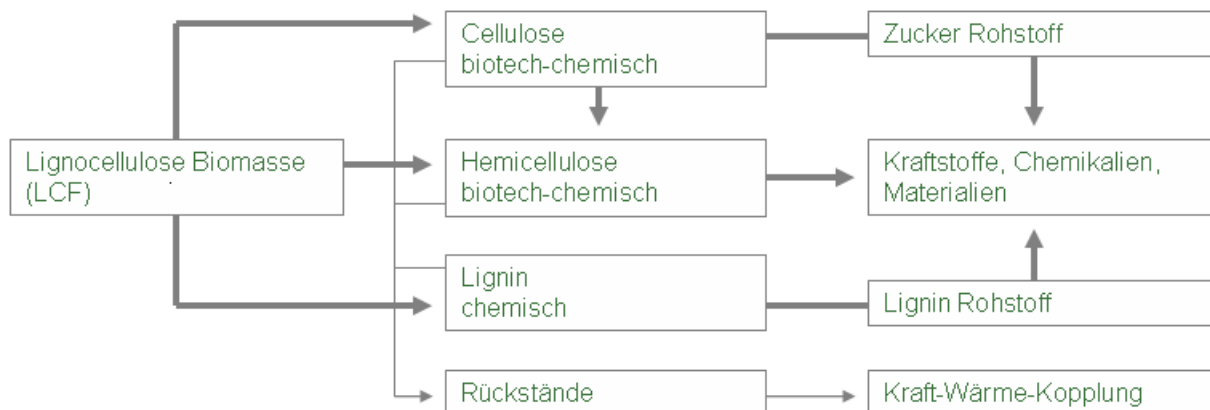


Abb. 3: Lignocellulose-Feedstock Bioraffinerie

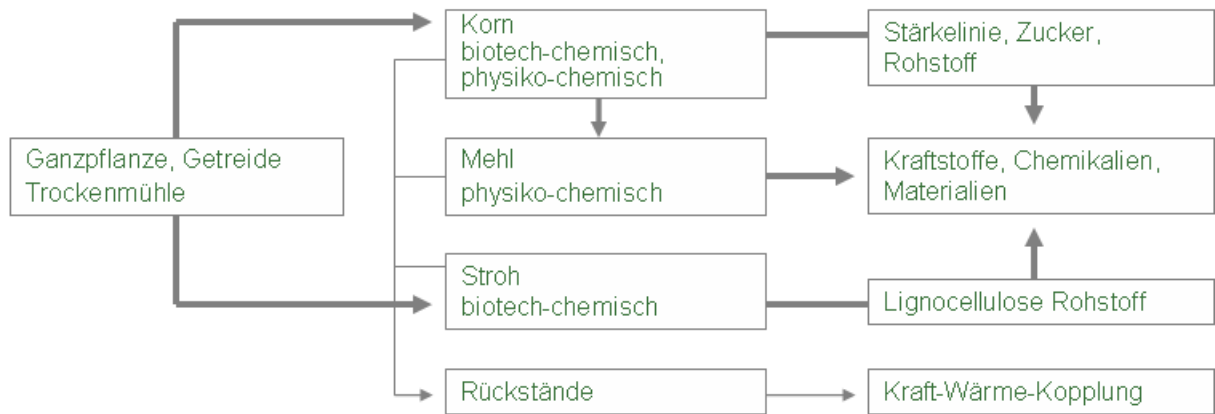


Abb. 4: Ganzpflanzen Bioraffinerie

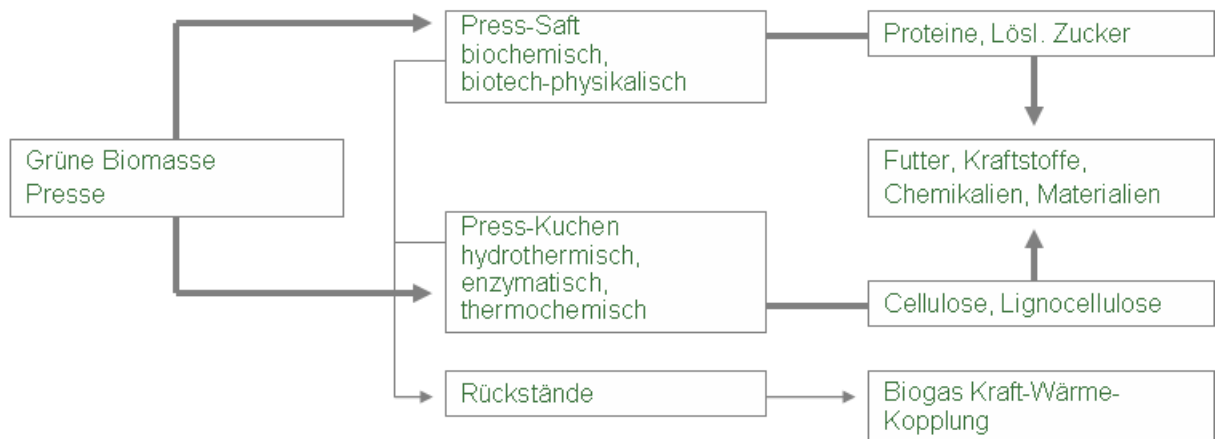


Abb. 5: Grüne Bioraffinerie

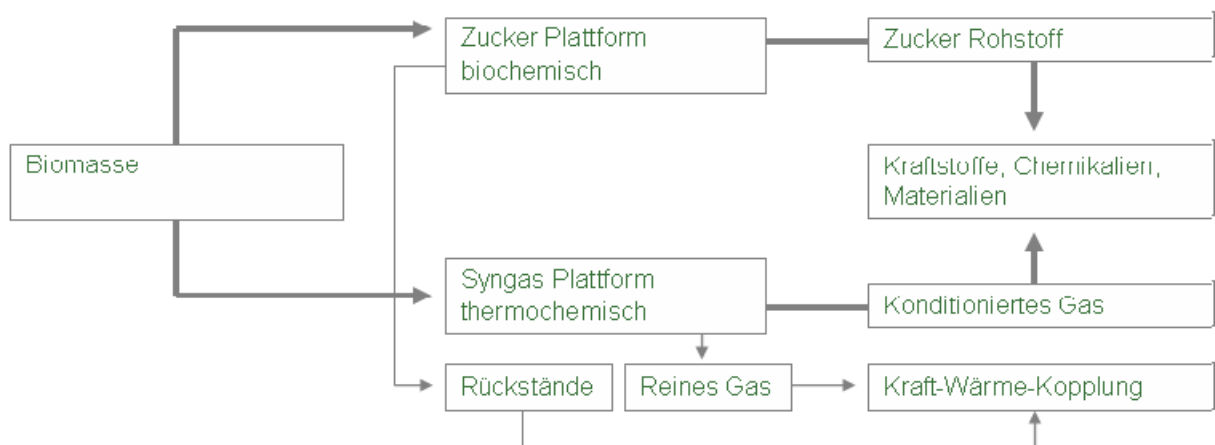


Abb. 6: Zwei-Plattform Konzept

Ein Hauptaugenmerk liegt zukünftig auf dem industriellen Einsatz von Lignocellulose-Rohstoffen, wie Stroh, Holz, Schilf oder spätgemähten Gräsern. Insbesondere die globale Verfügbarkeit und der günstige Preis dieser Rohstoffe – weil Nicht-Nahrungsmittel – sind für die Chemische Industrie und die Kraftstoffindustrie interessant. Man rechnet damit, dass in den nächsten Jahren weltweit die ersten Demonstrationsanlagen zur Herstellung von Ethanol aus Lignocellulose-Rohstoffen gebaut werden, welches als Kraftstoffadditiv für Otto-Kraftstoffe oder als Ausgangschemikalie für die Herstellung von Polymeren, Kautschuk oder ‚Grünen Lösungsmitteln‘ fungiert.

### Plattformchemikalien aus Biomasse

Biomasse enthält im Gegensatz zum Erdöl von der Natur synthetisierte Strukturen, die überwiegend makromolekular bzw. höher funktionalisiert sind (Kohlenhydrate, Lignin, Proteine, Fette). Diese können im Bioraffinerie-Regime mittels mikrobiologischen und chemischen Methoden zu definierten Chemikalien abgebaut werden. Die Chemikalien sind Basis für eine Vielzahl von Produkten im Baukastensystem der Chemie. Deshalb wird hier von ‚Plattformchemikalien‘ gesprochen.

Das US-Department of Energy legte eine Liste von 12 potentiellen biobasierten Plattformchemikalien vor, die durch Screening aus 300 Kandidaten ausgewählt wurden. Die Kriterien zur Auswahl waren die Biomasse-Präkursoren (Kohlenhydrate, Lignin, Fette, Proteine), die Prozeß-Plattformen, die Synthesebausteine, die Folgechemikalien und deren finale Anwenderprodukte [19].

Die ausgewählten Plattformchemikalien können über biologische oder chemische Konversionen produziert werden. Die Synthesebausteine können anschließend in eine Vielzahl von hochwertigen biobasierten Chemikalien und Materialien umgewandelt werden. Plattformchemikalien, die in dieser Analyse betrachtet wurden, sind Moleküle mit mehreren funktionellen Gruppen, die im Stammbaumsystem in neue nützliche Moleküle transformiert werden können. Die zwölf Zuckerbasierten Plattformchemikalien sind: 1,4 Dicarbonsäuren (z.B. Bernsteinsäure, Fumarsäure, Äpfelsäure), Furan-2,5-dicarbonsäure, 3-Hydroxypropionsäure, Asparaginsäure, Glutarsäure, Glutaminsäure, Itaconsäure, Lävulinsäure, 3-Hydroxybutyrolacton, Glycerin, Sorbitol und Xylitol/Arabinitol.

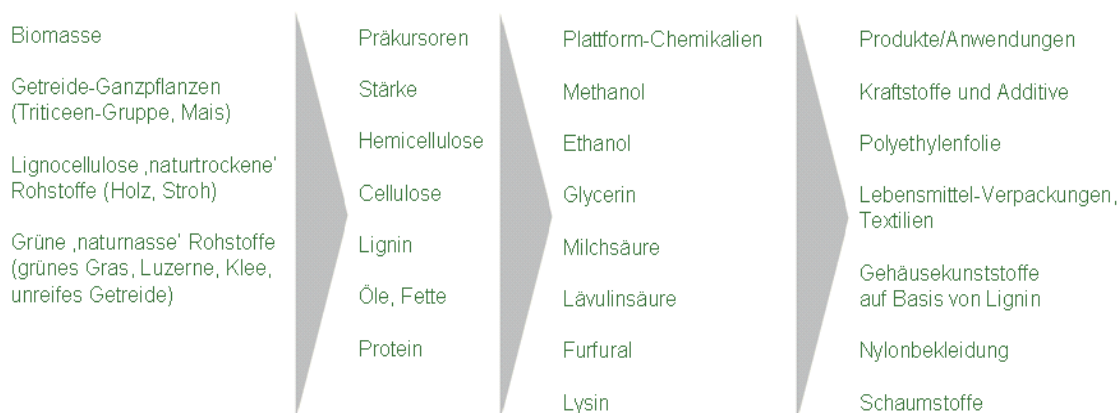
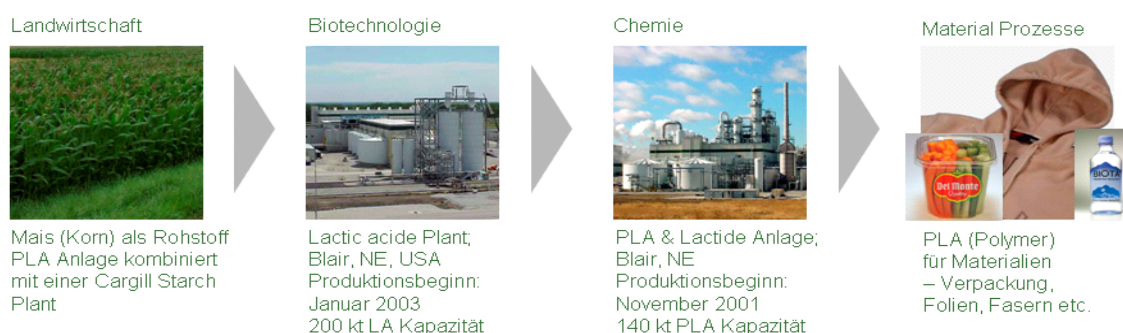


Abb. 7: Biomasse-Präkursoren, Plattformchemikalien und Anwendungen

## Bioraffinerie-Anlagen

Ein industrieller Leuchtturm der jungen ‚Biobasierten Industrie‘ ist das amerikanische Unternehmen Cargill Dow LLC (heute Nature Works). Seit dem Jahre 2002 stellt das Unternehmen aus Mais-Korn Biokunststoffe her, die sich zu Plastikverpackungen wie Folien oder Bechern und sogar T-Shirts verarbeiten lassen – sämtlich biologisch abbaubar. Rund 140.000 Tonnen Bio-Kunststoff kann die Bioraffinerie in Blair, Nebraska jährlich herstellen. Dazu wird die Maisstärke enzymatisch zu Glukosesirup abgebaut, fermentativ in Milchsäure konvertiert und anschließend chemisch zu einem Polymer (Kunststoff) – zu Polylactid Acid umgesetzt, welcher thermoplastisch zu Folien, Formkörpern und Fasern verarbeitbar ist. Atmungsaktive Kleidung aus PLA geht vor allem in Südostasien über die Ladentheke. In Europa sind bioabbaubare Nahrungsmittel-Verpackungen auf dem Markt.



Quelle: NatureWorks LLC

Abb. 8: PLA-Anlage Nature Works LLC, Blair Nebraska

Jüngst hat das amerikanische Unternehmen Dow Chemical, der weltgrößte Produzent von Polyethylen, und das Unternehmen Crystalsev, einer der größten brasilianischen Ethanolproduzenten den Bau einer neuen Anlage von Polyethylen basierend auf Zuckerrohr bekannt gegeben. Aus Zucker wird durch Fermentation Ethanol hergestellt, dieser wird durch Dehydratisierung zu Ethylen umgesetzt und dieses anschließend polymerisiert. Die Anlage startet 2011 und hat eine Jahres-Kapazität von 350.000 Tonnen. Das entspricht der Größe moderner petrochemisch basierter Polyethylenanlagen. Polyethylen wird als vielseitiger Massenkunststoff in den Schlüsselbereichen Rohrsysteme, Kabel und Leitungen, Automobil und anspruchsvolle Verpackungen vermarktet.

## Ausblick

Es gibt verschiedene Erfordernisse für den Eintritt in die industriellen Bioraffinerie- Technologien und die Produktion von Plattformchemikalien und Materialien. Einerseits ist die Produktion von Substanzen auf der Basis biogener Rohstoffe in den bestehenden Produktionsanlagen der Cellulose-, Stärke-, Zucker- und Öl-Produktion zu erweitern, andererseits ist die Einführung und Etablierung von Bioraffinerie-Demonstrationsanlagen erforderlich. Die Stoffwandlungsprozesse müssen im Bioraffinerie-Regime entwickelt werden, d.h. definierte Produktlinien und Produktstammbäume (Plattformchemikalien  $\Rightarrow$  Zwischenprodukte  $\Rightarrow$  Folgeprodukte). Eine Aufgabe der Organisch-Technischen Chemie ist es, sich im Konzept der ‚Biobasierten Produkte und Bioraffinerie-Systeme‘ zu positionieren, u.a. mit dem Focus der Verknüpfung von biologischen mit che-



mischen Synthesen und Technologien insbesondere unter Einbeziehung der Bereiche Reaktionstechnik, Prozessintensivierung und heterogene Katalyse .

Neben der Förderung der dafür notwendigen Forschung und Entwicklung ist eine Etablierung des Fachgebietes ‚Chemie Nachwachsender Rohstoffe/ Bioraffinerie-Systeme‘ in der Ausbildung und universitären Lehre erforderlich und daher dringend geraten.

## Literatur

- [1] United Nations (1992): Report of the United Nations Conference on Environment and Development. Rio de Janeiro, 3-14 June 1992, [www.un.org/esa/sustdev](http://www.un.org/esa/sustdev)
- [2] United Nations, Agenda 21 (1992): Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro- Dokumente -Agenda 21, deutsche Übersetzung <http://www.oneworldweb.de/agenda21/welcome.html>
- [3] United Nations (2002): Johannesburg Declaration on Sustainable Development, From our origins to the future, Johannesburg, South Africa, 26. August till 4. September 2002 [http://www.un.org/esa/sustdev/documents/WSSD\\_POI\\_PD/English/POI\\_PD.htm](http://www.un.org/esa/sustdev/documents/WSSD_POI_PD/English/POI_PD.htm)
- [4] Klimakonferenz auf Bali (Dez. 2007): [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hintergrund\\_bali.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hintergrund_bali.pdf)
- [5] Dürr, H.-P. (1995): Energie und Umwelt: Rolle der Naturwissenschaft bei ökologisch nachhaltiger Wirtschaft. In: Synergie, Syntropie, Nichtlineare Systeme, Heft 2, Nachhaltigkeit (Hrsg.: W. Eisenberg, U. Renner, S. Trimper, M. Kunz, K. Vogelsang), Verlag im Wissenschaftszentrum Leipzig, ISBN 3-930433-06-0
- [6] National Research Council, USA (2000): Biobased Industrial Products, Priorities for Research and Commercialization, National Academic Press, Washington D.C. 2000, ISBN 0-309-05392-7
- [7] US-President (1999): Developing and Promoting Biobased Products and Bioenergy, Executive Order 13134, August 12, 1999, William J. Clinton, The White House, Washington D.C. <http://ceq.eh.doe.gov/nepa/regs/eos/eo13134.html>
- [8] US-Congress (2000): Biomass Research and Development, Act of 2000, Washington D.C. Biomass R&D, Technical Advisory Committee (Oct. 2002): Vision for Bioenergy & Biobased Products in the United States, Washington D.C., October 2002, <http://www.bioproducts-bioenergy.gov/default.asp>
- [10] Biomass R&D, Technical Advisory Committee (Dec., 2002): Roadmap for Biomass Technologies in the United States Washington D.C., December 2002, <http://www.bioproducts-bioenergy.gov/default.asp>
- [11] Biomasse Aktionsplan (2005): <http://www.euractiv.com/en/energy/biomass-action-plan/article-155362>
- [12] EU-Projekt BIOPOL (2007): Specific Support Action, Priority Scientific Support to Policies (laufendes Projekt, nicht abgeschlossen), <http://www.biorefinery.nl/biopol>
- [13] EU-Projekt Biorefinery-Euroview (2007): Specific Support Action, Priority Scientific Support to Policies, (laufendes Projekt, nicht abgeschlossen), <http://www.biorefinery-euroview.eu>
- [14] Memorandum Agriculture Ministers (2007): <http://www.euractiv.com/en/energy/eu-member-states-call-increased-industrial-use-biomass/article-169297>

- [15] European Technology Platform for Sustainable Chemistry, (2005), Industrial Biotechnology Section, 2005, [www.suschem.org](http://www.suschem.org)
- [16] Kamm, B., et al. (2000): Grüne Bioraffinerie Brandenburg, Beiträge zur Produkt- und Technologieentwicklung sowie Bewertung, Brandenburgische Umweltberichte 8, 260-69
- [17] National Renewable Energy Laboratory (NREL):  
<http://www.nrel.gov/biomass/biorefinery.html>
- [18] Kamm, B., Gruber, P. R., Kamm, M. (2007): Biorefineries – Industrial Processes and Products, ULLMANN'S ENCYCLOPEDIA OF INDUSTRIAL CHEMISTRY, 7<sup>th</sup> ed., WILEY-VCH
- [19] Werpy, T., Petersen, G. (eds.) (2004): Top Value Added Chemicals from biomass (ed.) [U.S. Department of Energy, Office of scientific and technical information, No.: DOE/GO-102004-1992, [www.osti.gov/bridge](http://www.osti.gov/bridge)]

[16.07.08]

Anschrift der Autorin:

Prof. Dr. Birgit Kamm  
Forschungsinstitut Bioaktive Polymersysteme (FI Biopos e.V.)  
Forschungsstandort Teltow-Seehof  
Kantstr. 55  
D – 14513 Teltow