

VDI

Zentrum
Ressourceneffizienz

VDI ZRE Publikationen: Kurzanalyse Nr. 1



Bildquelle: © Wolfgang Jangstorff – Fotolia.com: Biogasanlage 454

Rohstoffquelle Biomasse – Stand und Perspektiven

Dezember 2012

Diese Kurzanalyse entstand im Auftrag der VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH und wurde durch die VDI Technologiezentrum GmbH erstellt.

Kurzanalyse Nr. 1: Rohstoffquelle Biomasse – Stand und Perspektiven (28.08.2012)

Autoren:

Dr. Vera Grimm, VDI Technologiezentrum GmbH
Dr. Heinz Eickenbusch, VDI Technologiezentrum GmbH

Zweite Auflage, November 2013

Redaktion:

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE)
Johannisstr. 5 - 6
10117 Berlin
Tel. 030-27 59 506-0
Fax 030-27 59 506-30
info@vdi-zre.de
www.ressource-deutschland.de

Ein Projekt im Rahmen der Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit



NATIONALE
KLIMASCHUTZ
INITIATIVE

Satz und Gestaltung: Marco Naujokat

Kurzanalyse Nr. 1

Rohstoffquelle Biomasse -
Stand und Perspektiven

Inhaltsverzeichnis

EINLEITUNG	6
1. BIORAFFINERIE	7
Erfahrungen und Herausforderungen	9
Bioraffinerien im europäischen und internationalen Kontext	10
Patent- und Literaturanalyse	13
2. BIOKUNSTSTOFFE	15
Naturfaserverstärkte Biokunststoffe	17
Compoundierung von Biokunststoffen	17
Verarbeitbarkeit von biobasierten Polymeren	18
Weltweite Aktivitäten	18
Problematik der eingeschränkten Recyclingfähigkeit von Biokunststoffen	19
3. BIOKRAFTSTOFFE	21
Verbesserung der Klimabilanz und des ökologischen Fußabdrucks	21
4. WEITERE INNOVATIVE TECHNOLOGIEN ZUR HERSTELLUNG BIOBASIERTER PRODUKTE	23
Folien und Beschichtungsmaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen	23
Beschichtung von biobasierten Kunststoffen	23
CO ₂ als Synthesebaustein für biobasierte Kunststoffe	23
Green Solvents	24
Mikroreaktionstechnik zur Herstellung von biobasierten Kunststoffen	24
Bionik am Beispiel Spinnenseide	25
Katalyse und Biokatalyse	25
Biotechnologie (grüne, weiße, rote)	25
Nanobiotechnologie, z. B. Nanozellulose	26
Synthetische Biologie	26
Selbstorganisation	27
Materialeffizienz	28
Energiespeicher auf Biopolymer-Basis	28
5. ANHANG	30
Fußnotenverzeichnis	30
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	33

EINLEITUNG

Der Welt stehen angesichts globaler Herausforderungen wie beispielsweise des Klimawandels, des Bevölkerungswachstums oder der steigenden Nachfrage nach Energie und (Roh-) Stoffen große Veränderungen bevor. Dem Wandel der heute überwiegend erdöl-basierten Wirtschaft hin zu einer nachhaltigeren, energie- und ressourceneffizienteren, biobasierten Wirtschaft wird daher weltweit hohe Bedeutung beigemessen.

Einen Meilenstein stellt hierbei die effiziente Nutzung von Biomasse dar, etwa als ergänzender oder substituierender Rohstoff in der chemischen Industrie. Die Bandbreite biobasierter Produkte ist groß und beinhaltet zum Beispiel Kunststoffe für kurzlebige Verpackungen oder langlebige Fahrzeugbauteile, Grund- und Feinchemikalien wie Tenside und pharmazeutische Vorstufen oder Biokraftstoffe.

Die vorliegende Kurzstudie skizziert den Stand und die Perspektiven von Technologien zur Umwandlung und Nutzung biogener Rohstoffe entlang der Wertschöpfungskette. Betrachtet werden die Themenblöcke Bioraffinerien, Biokunststoffe, aktuelle Entwicklungen im Bereich Biokraftstoffe sowie innovative Technologien für die Herstellung biobasierter Produkte.

Im ersten Kapitel *Bioraffinerien* werden unterschiedliche Anlagentypen, Erfahrungen mit bestehenden Anlagen sowie Herausforderungen bei einer idealerweise reststofffreien Kaskadennutzung biogener Rohstoffe aufgezeigt. Zum Thema *Biokunststoffe* wird im zweiten Kapitel ein detailliertes Bild der Potenziale biobasierter Polymere aufgezeigt.¹ Beispielsweise spielen die Verarbeitbarkeit, Recyclingfähigkeit und Lebensdauer bei den diskutierten Produkteigenschaften eine zentrale Rolle. Den Schwerpunkt des dritten Kapitels *Biokraftstoffe* bilden Kraftstoffe der zweiten Generation. Die Studie schließt im vierten Kapitel mit der Darstellung einer Auswahl an *innovativen Technologien zur Herstellung biobasierter Produkte* für den Einsatz in einem weiten Feld – von der Bionik bis hin zur Nanotechnologie.

Die klima- und ressourcenpolitischen Ziele der Bundesregierung, die Potenziale der Bioenergie verstärkt zu nutzen, sind mit großen Herausforderungen für Forschung und Technologie verbunden. Nur mit Hilfe grundlegender und innovativer Technologien kann die notwendige Effizienzsteigerung bei der Umwandlung und wirtschaftlichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe erreicht werden.

In Zukunft sind über die in der Kurzstudie dargestellten aktuellen FuE-Arbeiten hinaus weitergehende Maßnahmen zur Wettbewerbsfähigkeit der Produkte und eine ganzheitliche Berücksichtigung der Auswirkungen im Produktlebensweg notwendig.

¹ Biokunststoffe im Sinne von erdölbasierten, biologisch abbaubaren Kunststoffen werden in dieser Kurzstudie nicht betrachtet.

1. BIORAFFINERIEEN

Der Begriff Bioraffinerie wird heute noch immer uneinheitlich für eine Vielzahl von Konzepten, Prozessen und Methoden der Biomassenutzung verwendet. Für die vorliegende Kurzanalyse werden Bioraffinerien analog der Roadmap „Bioraffinerie“ definiert als „ein explizit integratives, multifunktionelles Gesamtkonzept, das Biomasse als vielfältige Rohstoffquelle für die nachhaltige, simultane Erzeugung eines Spektrums unterschiedlicher Zwischenprodukte und Produkte (Chemikalien, Werkstoffe, Bioenergie inkl. Biokraftstoffe) unter möglichst vollständiger Verwendung aller Rohstoffkomponenten nutzt; als Koppelprodukte können ggf. zusätzlich auch Nahrungs- und/oder Futtermittel anfallen“². Bioraffinerien sollen möglichst ressourceneffizient mit Stoffkreisläufen, Kaskadenwirtschaft und Recycling arbeiten. Haupttypen von Bioraffinerien sind beispielsweise:

„ein explizit integratives, multifunktionelles Gesamtkonzept, das Biomasse als vielfältige Rohstoffquelle ... nutzt“

- **Zucker-/Stärke-Bioraffinerien**
- **Pflanzenöl-/Algenlipid-Bioraffinerien**
- **Lignozellulose-Bioraffinerien**
- **Grüne Bioraffinerien**
- **Synthesegas-Bioraffinerien**

Grundsätzlich können zwei Ansätze zur Planung von Bioraffinerien unterschieden werden. Beim Bottom-up-Ansatz werden bereits vorhandene Biomasse-Anlagen, die bisher aber keine Bioraffinerie darstellen, erweitert. Beispiele sind Ölmühlen, Zellstofffabriken oder zuckerbasierte Anlagen. In Frankreich steht eine der größten europäischen Bioraffinerien dieser Art (Stärke-Bioraffinerie der Firma Roquette bei Lestrem, Herstellung diverser Basischemikalien, darunter auch Biokunststoffe und Vorstufen wie etwa Biobornsteinsäure). Für den Top-down-Ansatz müssen hoch integrierte Anlagen zur Herstellung verschiedener Produkte hingegen völlig neu konzipiert werden. Ein Beispiel hierfür bildet die Biowert-Anlage im Odenwald (siehe unten).

In Deutschland werden vor allem Zucker-/Stärke-Bioraffinerien, Lignozellulose-Bioraffinerien, Grüne Bioraffinerien und Synthesegas-Bioraffinerien in den Regionen Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg, Hessen und Sachsen-Anhalt vorangetrieben.

- **Baden-Württemberg:**
Synthesegas-Bioraffinerie auf Stroh-Basis des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT). Das sogenannte bioliq©-Verfahren basiert auf einer dezentralen Schnellpyrolyse (Pyrolyseöl, Koks und Gas), einer zentralen Vergasung im Hochdruck-Flurstromvergaser mit nachfolgender Gaskonditionierung. Im Anschluss erfolgt die Synthese des Biomass to Liquid-(BtL-)Kraftstoffes.³ Es handelt sich um eine Pilotanlage.

² Roadmap Bioraffinerien im Rahmen der Aktionspläne der Bundesregierung zur stofflichen und energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe, http://www.bmbf.de/pub/roadmap_bioraffinerien.pdf (aufgerufen am 28.08.2012)

³ <http://iwrwww1.fzk.de/bioliq/konzept.html> (aufgerufen am 28.08.2012)

- **Bayern:**

Lignozellulose-Bioraffinerie auf Stroh-Basis, errichtet durch die Firma Clariant (ehemals Süd-Chemie). Grundsteinlegung war im Sommer 2011.⁴ Das Sunliquid-Verfahren arbeitet mit einer Komponententrennung mittels Dampfexplosion, einer Hydrolyse der Kohlenhydrate und der energetischen Nutzung des Lignins.

- **Brandenburg:**

Grüne Bioraffinerie auf Basis von Gras der Firma biopos in Selbelang.⁵

- **Hessen:**

Grüne Bioraffinerie auf Basis von Grassilage der Firma Biowert in Brensbach (Odenwald). Die Anlage arbeitet mit ca. 5000 Tonnen Grassilage jährlich und stellt Dämmmaterial und Granulate für verschiedene Anwendungen wie etwa Terrassenbeläge her. Die Anlage ist mit einer Biogasanlage gekoppelt und arbeitet mit geschlossenen Kreisläufen.⁶ Die Biowert-Anlage soll darüber hinaus als Modell für eine umfassende Nachhaltigkeitsbetrachtung (ökonomisch, ökologisch, gesellschaftlich) in der noch unveröffentlichten VDI-Richtlinie „Gütekriterien von Bioraffinerien“ herangezogen werden.⁷

- **Sachsen-Anhalt:**

Lignozellulose-Bioraffinerie auf Holz-Basis. Das vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz geförderte Projekt befindet sich bereits in der zweiten Förderrunde und wird durch ein Konsortium aus Wissenschaft und Industrie unter Leitung der Dechema getragen. Nach einer zweijährigen Entwicklungsphase erfolgen derzeit die Erprobungsphase und die Errichtung der Pilotanlage als Teil des Chemisch-Biotechnologischen Prozesszentrums der Fraunhofer-Gesellschaft am Standort Leuna. Das entwickelte Verfahren arbeitet mit einer Komponententrennung nach dem Organosolv-Verfahren, der hydrolytischen Spaltung der Kohlenhydrate und der industriellen Nutzung des Lignins.

Grundsteinlegung für das Chemisch-Biotechnologische Prozesszentrum war im Dezember 2010.⁸ In Leuna sind zahlreiche Firmen aktiv, darunter die Linde AG oder auch ThyssenKrupp Uhde (Bio-Bernsteinsäureanlage).⁹

Zucker-Bioraffinerie auf Basis von Getreide und Zuckerrüben der Firma CropEnergies (Süd-Zucker Gruppe) in Zeitz. Die Anlage wurde bereits 2005 in Betrieb genommen und gilt als eine der größten Bioethanol-Produktionsanlagen in Deutschland. Im Jahr 2010 wurde zusätzlich eine CO₂-Verflüssigungsanlage gebaut, um das bei der Bioethanol-Herstellung

In Deutschland werden vor allem Zucker-/Stärke-Bioraffinerien, Lignozellulose-Bioraffinerien, Grüne Bioraffinerien und Synthesegas-Bioraffinerien vorangetrieben.

⁴ <http://www.sud-chemie.com/scwww/web/content.jsp?nodeIdPath=7803&lang=de> (aufgerufen am 28.08.2012)

⁵ http://www.biopos.de/index_de.html (aufgerufen am 28.08.2012)

⁶ Die Autoren der Roadmap Bioraffinerie kommen zu dem Schluss, dass derzeit eine Grüne Bioraffinerie lediglich in Verbindung mit einer Biogasanlage wirtschaftlich betrieben werden kann und dies nur in Regionen mit ausreichend Grünlandpotenzial.

⁷ <http://www.vdi.de/44392.0.html> (aufgerufen am 28.08.2012)

⁸ <http://www.biotechnologie.de/BIO/Navigation/DE/root,did=119350.html> (aufgerufen am 28.08.2012)

⁹ <http://www.biom-wb.de/nachrichten/bioraffinerie-der-zukunft-schafft-arbeitsplaetze-in-leuna.html> (aufgerufen am 28.08.2012)

anfallende CO₂ weiter zu verwenden, beispielsweise als Kohlensäure für die Getränkeindustrie.¹⁰

Eine weitere Synthesegas-Bioraffinerie zur Erzeugung von Biokraftstoffen der zweiten Generation ist kurz vor Beginn der eigentlichen Produktion in die Insolvenz gegangen. Ein Teil der von der Choren Industries GmbH entwickelten Technologie ist von der Linde Engineering Dresden GmbH aufgekauft worden.¹¹

Synthesegas-Verfahren ist gemein, dass die Anlagen oft teuer und groß sind und der Energiebedarf wegen der hohen Reaktionstemperaturen von ca. 1000 °C sehr hoch ausfällt. Da Synthesegas jedoch einen interessanten chemischen Ausgangsstoff darstellt – nicht nur für synthetischen Kraftstoff – und die Synthesegas-Chemie vergleichsweise gut erschlossen ist, forschen Unternehmen wie die BASF an besseren Katalysatoren und Syntheserouten.¹²

Pflanzenöl- und Algenlipid-Bioraffinerien befinden sich im Vergleich zu den oben beschriebenen Bioraffinerie-Typen noch im Forschungsstadium. Insbesondere den Algen-Bioraffinerien werden jedoch große künftige Potenziale zugeschrieben, weil Mikroalgen einen viel höheren Wirkungsgrad bei der Photosyntheseleistung erzielen können als Pflanzen. Dies resultiert unter anderem daraus, dass alle Zellen einer Mikroalgenpopulation Photosynthese betreiben können, während dies bei Pflanzen nur in den grünen Blattzellen geschieht.

Erfahrungen und Herausforderungen

Die bisherigen Erfahrungen deuten darauf hin, dass sich die meisten Bioraffinerien noch in einem frühen Entwicklungsstadium befinden, mit großen unternehmerischen Risiken und hohen Kosten. Dies gilt vor allem für Bioraffinerien, die überwiegend chemische Produkte herstellen. Die stoffliche Nutzung der Biomasse stand lange Zeit nicht im Fokus von Politik und Wirtschaft und die chemische Produktpalette ist deutlich größer als bei der energetischen Nutzung. Darüber hinaus lassen die Märkte für Grundchemikalien, die mit hohen Tonnagen und sehr geringen Margen produziert werden, wenig Spielraum für Neuentwicklungen oder Kostensteigerungen.

Allerdings wird ein starker Anstieg der Investitionen in den Biomasse-Markt von 28,2 Mrd. US-Dollar (2010) auf 33,7 Mrd. US-Dollar (2015) erwartet.¹³ Der Markt für biobasierte Chemikalien verspricht ebenfalls hohe Wachstumsraten. Nach einer aktuellen Studie kann mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 22 Prozent gerechnet werden. Damit könnte der weltweite Markt von 2,5 Mrd. US-Dollar (2010) auf 6,8 Mrd. US-Dollar in 2015 anwachsen.¹⁴

Die stoffliche Nutzung der Biomasse stand lange Zeit nicht im Fokus von Politik und Wirtschaft und die chemische Produktpalette ist deutlich größer als bei der energetischen Nutzung.

¹⁰ <http://bio-pro.de/magazin/thema/05073/index.html?lang=de&artikelid=/artikel/05087/index.html> (aufgerufen am 28.08.2012)

¹¹ http://www.process.vogel.de/management_und_it/branchen_maerkte/uebernahmen/articles/352566/ (aufgerufen am 28.08.2012)

¹² http://www.process.vogel.de/anlagen_apparatebau/engineering_dienstleistung/grossanlagen/articles/304432/ (aufgerufen am 28.08.2012)

¹³ Pike Research: Biomass Markets and Technologies, 2011

¹⁴ <http://www.plastemart.com/Plastic-Technical-Article.asp?LiteratureID=1627&Paper=biorenewable-chemicals-market-bio-based-polymers-manufacture-bio-based-plastics> (aufgerufen am 28.08.2012)

Die Top-Region war im Jahr 2009 der US-amerikanische Markt; der Hauptanteil des Marktes entfiel auf die Produktion von Milchsäure (PLA) und Glycerin.

Zu den Herausforderungen gehören hohe Entwicklungs- und Produktionskosten, die teils deutlich über denen der petrobasierten Produkt-Linien liegen (Bio-PE ist zum Beispiel ca. 20 bis 30 Prozent teurer als petrobasiertes PE), die Frage nach einer verlässlichen Verfügbarkeit der Biomasse bei standardisierter Qualität (und damit der Standortfrage) sowie teilweise noch zu entwickelnde Märkte. Vor allem das Down-Streaming und Up-Scaling, die oft nur in Pilotanlagen verlässlich durchgeführt werden können, gehörten zu den Kostentreibern. Daher haben sich beispielsweise die niederländischen Chemieunternehmen CSM und DSM mit der Technischen Universität Delft für den Bau einer Testanlage in Delft zusammengeschlossen, damit Industrie und Wissenschaft gleichermaßen ihre Prozesse skalieren können. Baubeginn der „Joint Venture Bioprocess Pilot Facility“ soll noch im Jahr 2012 sein.

Generell wird in den Bereichen Anlagen- und Verfahrenstechnik, Katalysatoren und neuen Technologien intensiv geforscht, um Bioraffinerien wirtschaftlicher errichten und betreiben zu können.

Starke Treiber für die weitere Entwicklung von Bioraffinerien und Synthesepfaden sind unter anderem politische Rahmenbedingungen, Nachhaltigkeitsaspekte, die Bekämpfung des Klimawandels und ein Technology-Push. Für die energetische Biomasse-Nutzung, etwa die Produktion von Biokraftstoffen, gibt es heute bereits politische Vorgaben, während dies für chemische Produkte nicht der Fall ist.

Für die energetische Biomasse-Nutzung, etwa die Produktion von Biokraftstoffen, gibt es heute bereits politische Vorgaben, während dies für chemische Produkte nicht der Fall ist.

Bioraffinerien im europäischen und internationalen Kontext

Die Bedeutung von Bioraffinerien als ein wichtiger Baustein einer nachhaltigeren biobasierten Wirtschaft wird auch auf europäischer und internationaler Ebene als prioritär angesehen. Das Konzept der wissensbasierten Bioökonomie (Knowledge Based Bioeconomy, KBBE) wird von der Europäischen Kommission bereits seit 2005 vorangetrieben und als ein Schritt angesehen, den großen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts (Grand Challenges, Lund Declaration, Copenhagen Declaration) zu begegnen^{15,16,17}. Die Entwicklung und Erforschung von Bioraffinerien wird insbesondere seit dem 7. EU-Rahmenprogramm für Forschung, Technologische Entwicklung und Demonstration (FP7) der Europäischen Kommission gefördert.

¹⁵ Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL establishing Horizon 2020 – The Framework Programme for Research and Innovation (2014 – 2020)

¹⁶ Brussels, 13.2.2012, COM(2012) 60, Innovating for Sustainable Growth: a Bioeconomy for Europe

¹⁷ Copenhagen Declaration: <http://bioeconomy.dk/TheCopenhagenDeclarationforaBioeconomyinAction.pdf>

Eine Auswahl geförderter Projekte:¹⁸

- Star-COLIBRI – 2 Mio. EUR
- BIOCORE – 13,9 Mio. EUR
- EuroBioRef – 21,5 Mio. EUR
- SUPRA-BIO – 12,6 Mio. EUR
- AFORE – 7,9 Mio. EUR
- HYPE – 3,7 Mio. EUR
- DIBANET – 3,7 Mio. EUR
- SUSTOIL – 0,99 Mio. EUR
- GLYFINERY – 3,8 Mio. EUR
- PROPANERGY – 1,8 Mio. EUR
- BIOREF-INTEG – 0,995 Mio. EUR

Allerdings fallen die Budgets eher niedrig aus – besonders im Hinblick auf die hohen Kosten beim Bau von Pilot- und Demonstrationsanlagen – und bleiben hinter den Fördervolumina der nationalen Programme zurück. Im Folgenden sind einige Beispiele für nationale Förderaktivitäten aufgezeigt:

- **“BMELV: „RTD Program Renewable Resources“**
Funding: ~250 Mio EUR over 5 years, currently ~350 – 400 ongoing projects
- **BMBF: BioIndustry 2021, BioEnergy 2021, „Plant-KBBE“ and various other activities**
Funding: ~150 Mio EUR over 5 years
- **BMU: Climate protection initiative – RTD Program Bioenergy Use**
Funding: ~50 Mio EUR over 5 years
- **BMWi: various activities/projects in the frame of the programs AIF, ZIM and others**
- **BMVBS: activities/projects in the frame of the program Kopa II**
- **DBU: some projects for academia and SME”**¹⁹

Im nächsten EU-Forschungsprogramm (Horizon 2020) sind ca. 4,7 Mrd. EUR für den Bereich Bioökonomie vorgesehen, im Vergleich zu 1,9 Mrd. im noch laufenden 7. Forschungsrahmenprogramm.

Darüber hinaus sind weitere Aktivitäten geplant bzw. bereits in Vorbereitung, so etwa die Einrichtung eines Bioeconomy Panels als beratendes Gremium der EU, ein Bioeconomy Observatory unter Führung des Joint Research Centers (JRC) sowie verschiedene Calls und die Einführung von Private Public Partnerships (Bio-PPP).²⁰

Das EU-Projekt Star-Colibri hat eine gemeinsame europäische Bioraffinerie-Vision²¹ und Bioraffinerie-Forschungs-Roadmap²² vorgelegt, die die größten

¹⁸ Daten entnommen aus: http://www.carmen-ev.de/dt/portrait/symposien/symp_11/vortrage_symp_11/sternberg_symp_11.pdf (aufgerufen am 28.08.2012)

¹⁹ Zitiert aus dem Vortrag: Biorefinery – from policy issues to research and from knowledge to products, Dr. Dietmar Peters Agency for Renewable Resources (FNR), International Biomass Valorisation Congress, 2010

²⁰ Maive Rute – Implementation at a European Level, European Bioeconomy – From Knowledge via Demonstration to Products and Markets, 20th to 21st June 2012

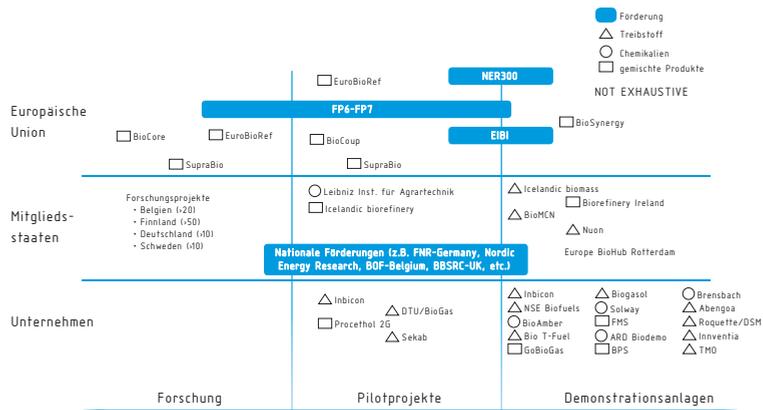
²¹ Joint European Biorefinery Vision for 2030, Star-colibri, Strategic Targets for 2020 – Collaboration Initiative on Biorefineries

²² <http://www.star-colibri.eu/files/files/roadmap-web.pdf> (aufgerufen am 28.08.2012)

Herausforderungen und damit Handlungsfelder bei der Rohstoffbeschaffung, der Biomasse-Vorbehandlung, dem Produktionsprozess, der Prozessintegration sowie dem Transfer von Forschungsergebnissen in die Märkte sieht. Star Colibri hat darüber hinaus zahlreiche Dokumente zum Status quo kommerzieller und nicht kommerzieller Bioraffinerien in Europa vorgelegt. Viele Aktivitäten und Bioraffinerie-Projekte sind in den Niederlanden zu finden²³, wo auch die meisten kommerziell betriebenen Anlagen biobasierte Produkte herstellen (z. B. Arkema, ARD, BioAmber, DSM, Roquette, Sofiprotéol u. a.).

Die folgende Abbildung²⁴ verdeutlicht einige der europäischen Aktivitäten im Bereich Bioraffinerien. Noch immer dominiert bei den Unternehmen die Produktion von Biokraftstoffen.

Noch immer dominiert bei den Unternehmen die Produktion von Biokraftstoffen.



- Die EU ist immer noch weit entfernt von einer biologisch basierten Ökonomie in Anbetracht der Zahl der Initiativen und Fördermaßnahmen:
- die meisten Anlagen konzentrieren sich auf Biotreibstoffe und die erste Generation von Sammelanlagen für Biomasse
- der überwiegende Teil der Förderungen fließt in Forschungsaktivitäten, weniger in Demonstrationsanlagen

Abbildung 1: Bioraffinerie-Landschaft in der EU (modifiziert nach Quelle: Biorefinery feasibility study, 2011)

Neben Deutschland haben auch weitere EU-Mitgliedsstaaten, wie etwa die Niederlande²⁵, Dänemark, Finnland²⁶, Irland oder Schweden²⁷, jeweils eigene Bioökonomie-Strategien entwickelt. Auf internationaler Ebene sind neben Brasilien besonders die USA sehr aktiv.²⁸ Das United States Department of Energy (DOE) unterstützt mindestens 29 Bioraffinerien US-weit im Biomass-Program.²⁹ In Betrieb oder im Bau sind jedoch deutlich mehr. Die Renewable Fuels Association listet auf ihren Webseiten alleine 220 Bioraffinerien für die Biokraftstoffproduktion.³⁰

²³ Star-Colibri: Preliminary report on the global mapping of research projects and industrial biorefinery initiatives, Due date of deliverable: April 30, 2010 S. 42

²⁴ Entnommen aus: Biorefinery feasibility study, Amsterdam, 20 October 2011, <http://www.endseurope.com/docs/111020a.ppt> (aufgerufen am 28.08.2012)

²⁵ Niederlande: New Earth, New Chemistry Actieagenda Topsector Chemie, 2011

²⁶ Finnland: <http://www.sitra.fi/julkaisut/Selvityksi%C3%A4-sarja/Selvityksi%C3%A4%2051.pdf> (aufgerufen am 28.08.2012)

²⁷ Swedish Research and Innovation Strategy for a Bio-based Economy, 2012

²⁸ US National Bioeconomy Blueprint, 2012, <http://www.whitehouse.gov/blog/2012/04/26/national-bioeconomy-blueprint-released> (aufgerufen am 28.08.2012)

²⁹ http://www1.eere.energy.gov/biomass/integrated_biorefineries.html (aufgerufen am 28.08.2012)

³⁰ <http://www.ethanolrfa.org/bio-refinery-locations/> (aufgerufen am 28.08.2012)

Patent- und Literaturanalyse

Das weltweit sprunghaft gestiegene Interesse an Bioraffinerien zeigt sich an den fast linear wachsenden Patentaktivitäten, wie eine einfache Patentanalyse³¹ zeigt:

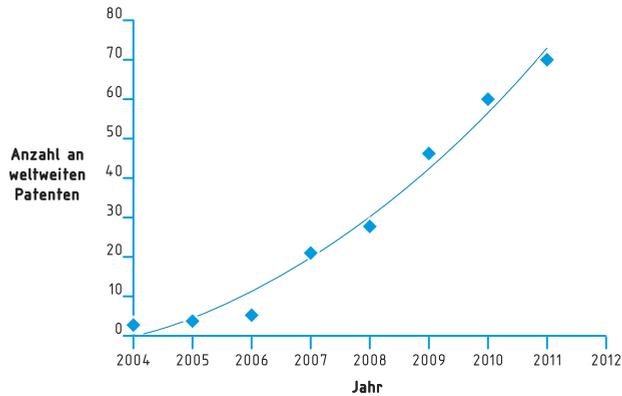


Abbildung 2: Anzahl an weltweiten Patentanmeldungen zum Thema Bioraffinerien bis 2011(modifiziert nach Quelle: ZTC)

Eine Analyse der Fachliteratur³² zum Thema Bioraffinerien ergibt ebenfalls einen stark steigenden Verlauf.

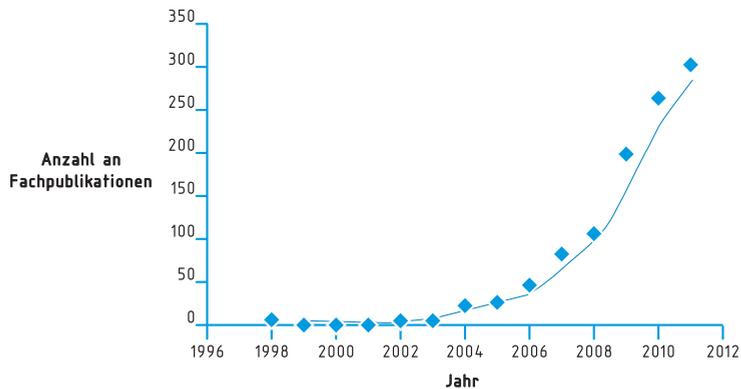


Abbildung 3: Anzahl an weltweiter Fachliteratur zum Thema Bioraffinerien im zeitlichen Verlauf (modifiziert nach Quelle: ZTC)

³¹ Volltextsuche auf den Seiten der World Intellectual Property Organization (WIPO) mit dem Schlagwort „biorefiner“*

³² Suche nach Fachliteratur im Thomson Web of Science. Schlagwort: „biorefiner“**

Analog zu den Patenten steigt die Anzahl an Publikationen etwa ab dem Jahr 2003/2004. Die absoluten Zahlen fallen im Vergleich zu den weltweiten Patenten erwartungsgemäß niedriger aus.

Die Verteilung der Fachliteratur über die Länder zeigt die große Dominanz der USA in diesem Bereich. Deutschland ist mit ca. vier Prozent der Fachartikel im Mittelfeld hinter Kanada, England, Spanien und China einzuordnen.

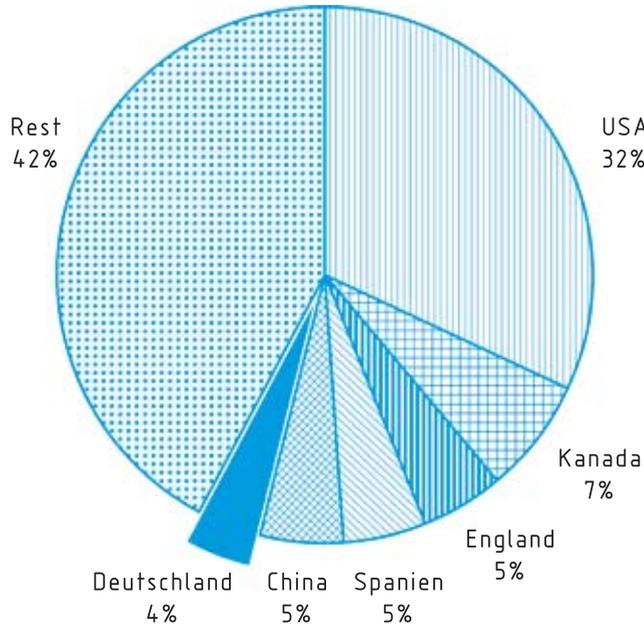


Abbildung 4: Verteilung der Fachpublikationen über die Länder (modifiziert nach Quelle: ZTC)

Ausblick

Zwar befinden sich die meisten Bioraffinerien noch am Anfang ihrer Entwicklung, doch bergen sie große Potenziale für eine ressourceneffizientere Produktion von Stoffen und Energie.

Bioraffinerien bezeichnen ein dynamisches Wachstumsfeld mit stark steigenden Literatur- und Patentaktivitäten. Zwar befinden sich die meisten Bioraffinerien noch am Anfang ihrer Entwicklung mit hoher Forschungsintensität und vielen Herausforderungen, doch bergen sie große Potenziale für eine ressourceneffizientere Produktion von Stoffen und Energie. Bioraffinerien stehen damit auch weiterhin im öffentlichen Interesse, ein Trend, dem die EU, die Bundesregierung und zahlreiche Regierungen der Mitgliedsstaaten Rechnung tragen, indem sie ihre Förderbemühungen intensivieren.

Bioraffinerien ergeben allerdings nur einen Nutzungspfad von Biomasse unter mehreren, wie etwa der klassischen Syntheseroute oder einfachen Prozessketten. Auch diese Technologien werden in Zukunft weiterentwickelt und tragen dazu bei, Biomasse nachhaltiger zu nutzen.

2. BIODERIVATE

Nachwachsende Rohstoffe zur Polymerherstellung rücken zunehmend in das Interessensfeld der Kunststoffhersteller und -entwickler. Bei biobasierten Polymeren wird zwischen langlebigen und kurzlebigen Anwendungen unterschieden. Die relativ neuen Ansätze der Langlebigkeit ermöglichen auch den Einsatz biobasierter Polymere in technischen Anwendungen. Generell stehen bei kurzlebigen Einsatz immer noch die Verpackungen und damit auch die Bioabbaubarkeit im Vordergrund. Dementgegen wird ein besonderes Augenmerk auf eine nachhaltige, recyclingfähige und zunehmend biobasierte Verfügbarkeit der Rohstoffe für beständige Kunststoffe mit langlebigen Anwendungen gelegt.³³

Polyactid (PLA) ist in Bezug auf die Marktverfügbarkeit und auch unter wirtschaftlichen Aspekten der am weitesten entwickelte reine biobasierte Polymer-Werkstoff. Dieser wird überwiegend auf fermentativem Weg aus Stärke und Zuckern hergestellt.

Sehr gute Marktchancen für langlebige Fahrzeugbauteile und kurzlebige Verpackungen haben besonders das aus nachwachsenden Rohstoffen (Zuckerrohr/Bioethanol) hergestellte biobasierte Polyethylenterephthalat (Bio-PET)^{34,35} oder das biobasierte Polyethylen (Bio-PE). Das Bio-PE von Braskem, São Paulo/Brasilien, kommt derzeit unter anderem bei Flaschen für Sonnenschutzcreme zum Einsatz.³⁶ Entsprechend der jeweiligen Anwendung kann bei der Herstellung des Materials der Anteil nachwachsender Rohstoffe bis zu 100 Prozent betragen. Die biobasierten Polymere bieten mittlerweile einen gleichwertigen Ersatz für konventionelle Kunststoffe und ersetzen diese bereits teilweise. Als sogenannte „Drop-in-Lösungen“ verfügen sie über einen oft nahezu gleichen chemischen Aufbau und damit auch gleiche Eigenschaftsprofile wie ihre petrochemischen Pendanten. Nach Aussagen des brasilianischen Produzenten bindet jede Tonne Bio-PE bis zu 2,5 Tonnen CO₂ aus der Atmosphäre. Es ist allerdings nicht biologisch abbaubar.³⁷ Darüber hinaus sind kommerziell erhältliche Polyamide (Bio-PA) am Markt verfügbar (zum Beispiel von BASF, Evonik, der Akro-Plastic GmbH) und unter anderem in Fahrzeugbauteilen eingesetzt. Diese basieren zu einem überwiegenden Anteil auf Rizinusöl, sind aber trotzdem nicht biologisch abbaubar.³⁸

Industriell hergestellt werden auch biobasierte Polyamide (Bio-PA). Das französische Chemieunternehmen Arkema bietet zum Beispiel das neue Hochtemperatur-Polyphthalamid „Rilsan HAT“ an, das bis zu 70 Prozent auf Rizinusöl basiert. Das Produkt gleicht in seinen Eigenschaften wie mechanischer Flexibilität, Hitze- und Alterungsbeständigkeit sowie Kälteschlagzähigkeit denen von konventionellen Polyamiden (PA 11 und PPA). Konzipiert wurde das neue Material, das Arkema

„... wird ein besonderes Augenmerk auf eine nachhaltige, recyclingfähige und zunehmend biobasierte Verfügbarkeit der Rohstoffe für beständige Kunststoffe mit langlebigen Anwendungen gelegt.“

³³ J. Hamprecht et al., „Hauptsache Bio?“, *Kunststoffe* 8/2011, Seite 39 – 42

³⁴ http://www.verpackungsrundschau.de/news/show/branchen-news/49629/Coca-Cola_Ziel_100_Bio-PET-Flasche (aufgerufen am 28.08.2012)

³⁵ <http://www.greencarcongress.com/2010/10/biopet-20101113.html> (aufgerufen am 28.08.2012)

³⁶ http://www.kunststoffweb.de/ki_ticker/Braskem_Bio-PE_nun_auch_fuer_Sonnencreme-Verpackungen_t221250 (aufgerufen am 28.08.2012)

³⁷ <http://www.haute-innovation.com/de/magazin/nachhaltigkeit/green-pe.html> (aufgerufen am 28.08.2012)

³⁸ B. Koal, S. Springer, „Kunststoffe im Automobilbau“, VDI Verlag 2010

als Alternative zu teureren Fluorpolymer-Lösungen sieht, unter anderem für Rohr-Anwendungen im Automobil-Motorraum.³⁹

Bio-Polypropylen (Bio-PP) befindet sich noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium. Bio-PP verspricht sehr große Potenziale für Anwendungen im Automobilbereich.

Perspektivisch interessante biobasierte Polymerwerkstoffe sind die Polyhydroxyalkanoate (Bio-PHA), die allerdings im Vergleich zu den anderen genannten Biokunststoffen noch weit von einem technischen Einsatz (z. B. im automobilen Innenraum) entfernt sind.

Material	Typ	Hersteller
Bio-PA	PA 6 10	DuPont, BASF, Akro-Plastics, Evonik, ...
	PA 10 10	DuPont, EMS, Evonik, ...
	PA 4 10	DSM
	PA 10 12	Arkema, Evonik, ...
	PA 11	Arkema, Gehr
Bio-PUR	Bio-Polyole	Bayer, Cargill, Merquinsa, ...
	Bio-PUR	Ford, Metzeler, Merquinsa, ...
Bio-PVC		Solvay
Biopolyolefine	Bio-PE	Braskem, Genencor/Danisco
	Bio-PP	Braskem
Biopolyester	Bio-PET	Coca Cola, Toyota Tsusho, ...
		DuPont, Merquinsa, ...
Bio-PC	TPE	DSM, Mitsubishi Chemical Corp, ...

Tabelle 1: Werkstoffe und Marktakteure im Bereich biobasierter, beständiger Werkstoffe (modifiziert nach Quelle: Kunststoffe 8/2011, Carl Hanser Verlag, München)

Neben den beständigen biobasierten Kunststoffen entwickeln sich in der jüngsten Vergangenheit auch die biologisch abbaubaren und biobasierten Polymere der sogenannten zweiten Generation langsam, aber stetig weiter. Dies ist unter anderem darin begründet, dass auch in diesem Werkstoffbereich zunehmend ein hoher Anteil an nachwachsenden Rohstoffen und weiterhin eine Vergleichbarkeit zu den herkömmlichen Kunststoffen gefordert sind.

Dabei gleichen sich gerade Biofolienwerkstoffe immer mehr den herkömmlichen Materialien an.

Dabei gleichen sich gerade Biofolienwerkstoffe immer mehr den herkömmlichen Materialien an. Wie bei den petrochemisch basierten Kunststoffen können bei biobasierten Polymeren sowohl das Flächengewicht reduziert als auch mechanische und optische Eigenschaften sowie die Barrierefunktion weiter verbessert werden.

³⁹ http://www.arkema.com/sites/group/en/products/product_viewer.page?p_filepath=/templatedata/Cotent/Product_Datasheet/data/en/technical_polymers/090717_rilsan_ht_a_new_high_temperature_polyamide_to_replace_metal.xml (aufgerufen am 28.08.2012)

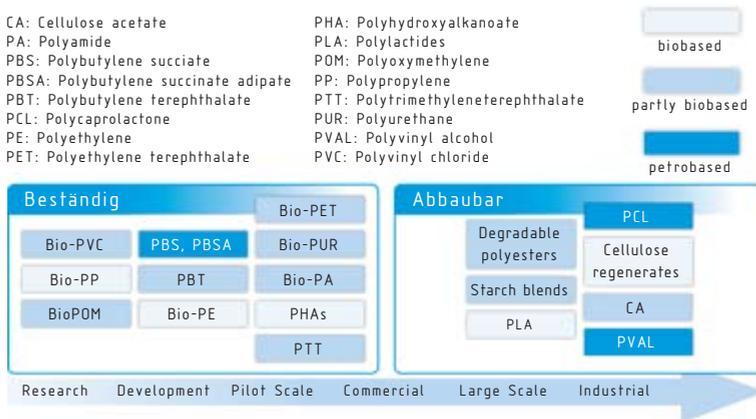


Abbildung 5: Entwicklungstand verschiedener Kunststoffe (modifiziert nach Quelle: Endres und Siebert-Raths: Engineering Biopolymers, Carl Hanser-Verlag, 2011)

Naturfaserverstärkte Biokunststoffe

Eine bisher kaum betrachtete Werkstoffklasse bilden die duroplastischen Biopolymere in Verbindung mit Naturfasern. Auch sie können – ähnlich der „Drop-in-Lösungen“ im Thermoplastbereich – aus Pflanzenölen als Feedstock gewonnen werden. Mittelfristig ist jedoch nicht zu erwarten, dass die hierfür notwendigen Reaktivharze nicht nur partiell, sondern vollständig aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden können. Trotzdem stehen die faserverstärkten duroplastischen Biopolymere vor ihrem großindustriellen Einsatz. Auch im thermoplastischen Bereich nehmen naturfaserverstärkte Biokunststoffe eine immer größer werdende Rolle ein. So befassen sich die Automobilhersteller wie zum Beispiel Ford und Volkswagen mit Untersuchungen zu Biopolymer- und Naturfaserverstärkten Kunststoff (NFK)-Anwendungen im automobilen Innenraum, speziell Spritzgussanwendungen. Beim Einsatz dieser neuartigen Werkstoffe spielt insbesondere die industrielle Verarbeitbarkeit eine wichtige Rolle.

Eine bisher kaum betrachtete Werkstoffklasse bilden die duroplastischen Biopolymere in Verbindung mit Naturfasern.

Darüber hinaus finden sojabasierte Schäume (Soja-Polyol zur Herstellung von Polyurethanschäumen) in der Produktion von Sitzpolstern und Rückenlehnen Anwendung. Durch deren Einsatz konnten bereits bis 2010 453 Tonnen Erdöl und damit 2,4 kt CO₂ pro Jahr gespart werden.^{40,41}

Compoundierung von Biokunststoffen

Neben dem Einsatz naturfaserverstärkter Biokunststoffe wird in stetig steigendem Maße die gezielte Compoundierung von biobasierten Polymeren zur Modifizierung und Optimierung der Materialeigenschaften vorangetrieben.⁴² Neben den zentralen Additiven wie Stabilisatoren oder Weichmachern spielen zunehmend auch Farben eine entscheidende Rolle. Da bisher größtenteils Masterbatches (hochkonzentrierte, polymergebundene Farbzusatzstoffe) eingefärbt werden, geht hier die Entwicklung

⁴⁰ M. Magnani, Vortrag auf dem Bio-Based Polymers Workshop in Amsterdam, Oktober 2010

⁴¹ Tagungsbericht zum Thema „Von der Folie bis zum technischen Bauteil“ im Rahmen der Fachtagung „BioKunststoffe“ im April 2011 in Hannover, Kunststoffe 8/2011, Seite 22 – 24

⁴² <http://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2012/april/kunststoff-aus-der-natur.html> (aufgerufen am 28.08.2012)

eindeutig zur Selbsteinfärbung mittels Flüssigfarben durch den Verarbeiter über. Die flüssigen Farbsysteme für biobasierte Polymere werden weiter optimiert, damit sie für alle Polymertypen eingesetzt werden können.

Verarbeitbarkeit von biobasierten Polymeren

Bei den technischen biobasierten Polymerwerkstoffen liegt ein wesentlicher Fokus auf der Optimierung des Spritzgießprozesses von naturfaserverstärkten Polymeren, Polylactiden (PLAs), Polyamiden etc. und, damit einhergehend, den Materialeigenschaften (z. B. Kristallisationsverhalten, Wärmeformbeständigkeit, mechanische Eigenschaften) für technische Anwendungen. Auch Extrusionstechniken und Pressverfahren werden vermehrt zur Verarbeitung dieser neuartigen Werkstoffe herangezogen. Bei den verarbeitenden Firmen wie der Krauss-Maffei Technologies GmbH stehen die Energieeffizienz und die zu beachtenden Besonderheiten bei der Verarbeitung von Biopolymeren im Vordergrund. In einem bereits erfolgreich umgesetzten Kooperationsprojekt zwischen der Firma Henkel und der Fachhochschule Hannover wurde PLA spritzgießtechnisch zu Produkten verarbeitet.

Auch Extrusions-
techniken und
Pressverfahren
werden vermehrt zur
Verarbeitung dieser
neuartigen Werk-
stoffe herangezogen.

Weltweite Aktivitäten

Biotechnologische Prozesse in der Kunststoffbranche gewinnen zunehmend an Bedeutung, einschließlich der Massenkunststoffe. Einen Vorreiter stellt das brasilianische Unternehmen Braskem dar, das im Frühjahr 2009 die erste Anlage der Welt errichtete, mit der vollständig biobasiertes Polyethylen aus Bioethanol produziert wird (Kapazität 200.000 Tonnen pro Jahr). Der Weltmarkt für Bio-Polyethylen wird von Braskem auf 600.000 Tonnen geschätzt. Allerdings liegen die Preise für biobasiertes Polyethylen noch etwas höher als für petrochemisch erzeugtes Polyethylen. Es bleibt abzuwarten, ob der Markt bereit ist, für das Etikett „Bio“ mehr zu bezahlen, und ob Kostenreduzierungen noch möglich werden.

Der Weltmarkt für
Bio-Polyethylen
wird von Braskem
auf 600.000 Tonnen
geschätzt.

In den USA gibt es ebenfalls industrielle Bestrebungen, in das Geschäft mit den biobasierten Kunststoffen einzusteigen und sich dem internationalen Wettbewerb zu stellen. Metabolix, ein Biotechunternehmen aus Cambridge, hat sich der großtechnischen biotechnologischen Produktion von Polyhydroxyalkanoaten aus Maisstärke verschrieben. Mirel™, abgeleitet von „miracle of nature“, soll ein vielseitiger Kunststoff werden, der zu 100 Prozent aus nachwachsenden Rohstoffen besteht und zudem biologisch abbaubar ist. Gemeinsam mit der Archer Daniels Midland Company hat Metabolix eine Produktionsanlage in Betrieb genommen, die jährlich fast 50.000 Tonnen Mirel™ herstellt.

In Südost-Asien soll der Biokunststoff-Markt bis 2015 laut Prognosen von Frost & Sullivan um mehr als 100 Prozent pro Jahr wachsen. Die Regierung Thailands verabschiedete 2006 einen Drei-Stufen-Plan mit dem Ziel, bis zum Jahr 2021 zum stärksten Biokunststoff-Produzenten in Südost-Asien aufzusteigen. Das Land setzt vor allem auf Polylactid. Hergestellt werden soll die Milchsäure biotechnologisch aus Maniok und Maisstärke. An Material mangelt es nicht, Thailand produziert pro Jahr 20 Millionen Tonnen Maniok und ist weltgrößter Exporteur.

Auch in Deutschland wird die Anlagenkapazität für biobasierte Kunststoffe ausgebaut. Die Pyramid Bioplastics Guben GmbH hat in Guben/Brandenburg eine Anlage errichtet, in der aus Zucker und Stärke Polylactid hergestellt wird.⁴³

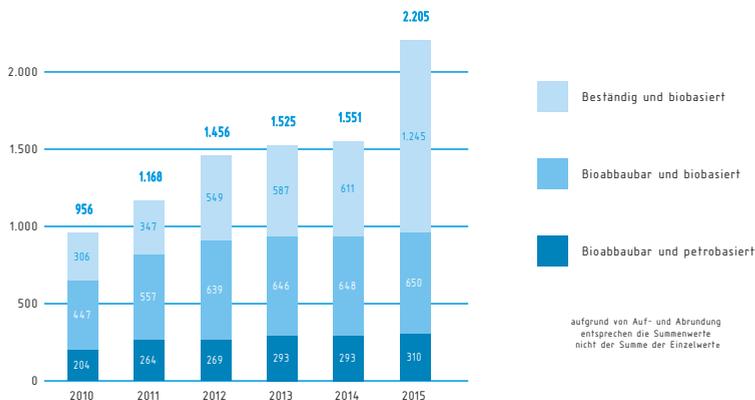


Abbildung 6: Weltweite Produktionskapazitäten von biobasierten Kunststoffen (modifiziert nach Quelle: IFBB & European Bioplastics)

Problematik der eingeschränkten Recyclingfähigkeit von Biokunststoffen

Obwohl die Verwendung von Biokunststoffen das Potenzial aufweist, CO₂-Emissionen und den Verbrauch fossiler Ressourcen zu senken, ist noch nicht vollständig untersucht, welchen Beitrag diese Werkstoffgruppe – ökologisch über den gesamten Produktlebenszyklus betrachtet – zum Klima- und Ressourcenschutz leistet. Insbesondere für die Mehrzahl der Produkte aus biobasierten biologisch abbaubaren Kunststoffen liegen keine aussagefähigen Umwelt- und Nachhaltigkeitsbetrachtungen vor. So sind sie vielfach nicht oder nur schlecht kompostierbar und zersetzen sich selbst nach langen Zeiträumen kaum. Sofern die Rottezeiten in industriellen Kompostierbetrieben überhaupt eingehalten werden können, entstehen keine wertgebenden Kompostbestandteile wie Nährstoffe und Mineralien oder bodenverbessernder Humus, sondern ausschließlich CO₂ und Wasser.⁴⁴ Aufgrund dieser ungelösten Probleme werden biologisch abbaubare Kunststoffe vorrangig dort eingesetzt, wo sie einen deutlichen Produktnutzen versprechen.

Biokunststoffe sind nicht nur hinsichtlich der stofflichen Verwertungsmöglichkeit begrenzt, sondern behindern auch ein gemeinsames werkstoffliches Kunststoffrecycling. Denn die Biokunststoffe lösen sich bei den notwendigen Wasch- und Aufbereitungsprozessen auf und mindern so die Materialqualität der herkömmlichen Kunststoffe. Außerdem muss das dadurch verschmutzte Waschwasser häufiger ausgetauscht oder mit einem deutlich größeren Aufwand gereinigt werden.⁴⁵ Infolgedessen müssen für Hochleistungskunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, die langlebig und nicht biologisch abbaubar sind, neue Recyclingverfahren entwickelt werden.

Biokunststoffe sind nicht nur hinsichtlich der stofflichen Verwertungsmöglichkeit begrenzt, sondern behindern auch ein gemeinsames werkstoffliches Kunststoffrecycling.

⁴³ <http://www.bio-pro.de/magazin/thema/04308/index.html?lang=de> (aufgerufen am 28.08.2012)

⁴⁴ W. Beier, „Biologisch abbaubare Kunststoffe“, UBA 2009

⁴⁵ http://www.bvse.de/316/5369/Biokunststoffe_sorgen_fuer_grosse_Probleme_beim_Kunststoffrecycling (aufgerufen am 28.08.2012)

Die Branche befindet sich in der Startphase, manches wird noch erprobt und zukünftig werden die Kosten einen entscheidenden Parameter für den Erfolg der biobasierten Kunststoffe ergeben.

Ausblick

Obwohl die Produktionskapazitäten und der Markt für biobasierte Kunststoffe wachsen, fallen derzeit die Anteile der biobasierten Polymere am Gesamtmarkt noch sehr gering aus. Die Branche befindet sich in der Startphase, manches wird noch erprobt und zukünftig werden die Kosten einen entscheidenden Parameter für den Erfolg der biobasierten Kunststoffe ergeben. Daher bleiben die indirekten Beziehungen zwischen den biologischen Rohstoffen und dem Ölmarkt ein Thema für die Hersteller biobasierter Kunststoffe. Ein Ziel dabei ist, die Preise für biologische Rohstoffe wie Mais, Zucker und Weizen vom Ölpreis zu entkoppeln und zusätzliche biologische Rohstoffquellen zu finden.

Eine ungünstige Entwicklung für die Wettbewerbsfähigkeit biobasierter Polymere zeigt sich neuerdings auch in der Kunststoffproduktion durch die Ölproduzenten, wie das Beispiel Polyethylen deutlich macht. Denn einige Erdölstaaten im arabischen Raum haben mittlerweile auch die Kunststoffproduktion für sich entdeckt und zusätzliche Anlagen gebaut, wodurch die Kapazität in den kommenden Jahren stark wachsen wird. Das weltweite Produktionsvolumen von Polyethylen beträgt derzeit etwa 50 Millionen Tonnen pro Jahr. Experten erwarten, dass durch die arabischen Aktivitäten das Angebot an Polyethylen bald schon die Nachfrage übersteigen wird. Dies könnte Unternehmen wie Braskem, die auf Bio-Polyethylen setzen, das Geschäft erschweren.⁴⁶

⁴⁶ <http://www.bio-pro.de/magazin/thema/04308/index.html?lang=de> (aufgerufen am 28.08.2012)

3. BIOKRAFTSTOFFE

Flüssige Biokraftstoffe der ersten Generation stehen in der öffentlichen Kritik, da sie Pflanzenbestandteile wie Zucker, Stärke oder Öl verwenden, die auch für Nahrungsmittel nutzbar sind. Dabei wird der Großteil des pflanzlichen Materials, der aus Lignin und Zellulose besteht, nicht genutzt. Um die Ausbeute zu verbessern, werden deshalb Biokraftstofftechnologien der zweiten Generation entwickelt, die sich durch folgende Vorteile gegenüber den biomassebasierten Kraftstoffen der ersten Generation auszeichnen:

- Konzentration auf die Verwendung von Biomasse, die nicht als Nahrungsmittel für Menschen dient,
- Entwicklung neuer Herstellungsverfahren zur Verbesserung der Biokraftstoffe,
- Nutzung weiterer chemischer Verbindungen und Pflanzenbestandteile.

Ein Vorteil der Biokraftstofftechnologien der zweiten Generation: Konzentration auf die Verwendung von Biomasse, die nicht als Nahrungsmittel für Menschen dient

Verbesserung der Klimabilanz und des ökologischen Fußabdrucks

Beispielsweise erlaubt das am Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) entwickelte bioliq®-Verfahren, aus biogenen Reststoffen wie Stroh in einem vierstufigen Prozess einen hochwertigen und besonders reinen Synthesekraftstoff herzustellen. Die Pilotanlage ist bereits realisiert, eine industrielle Anlage soll Anfang 2013 ihren Betrieb aufnehmen.⁴⁷

Die Entwicklung von Biokraftstoffen der nächsten Generation wird insbesondere durch Biokraftstoffunternehmen in den USA (Renewable Energy Group, KIOR, Solazyme, Gevo, Amyris und Codexis, Genomatica, Elevance, Fulcrum und Mascoma) und Schweden vorangetrieben, es können verschiedene kostspielige Verfahren und Technologien parallel entwickelt werden. Beispiele für den Bau von Produktionsanlagen für Biokraftstoffe der Folgegeneration sind eine Anlage von AE Biofuels in Keynes (Kalifornien) mit einer Jahreskapazität von etwa 200 Millionen Liter Zellulose-Ethanol und eine Anlage des schwedischen Zellstoffproduzenten Domsjö Fabriker AB in Örnsköldsvik mit angestrebten 100.000 Tonnen Bio-Dimethylether und Bio-Methanol pro Jahr aus Holzabfällen.

Auch die Süd-Chemie AG (seit 2011 zum Schweizer Spezialchemiekonzern Clariant gehörend) hat gerade in Straubing eine 1.000-Tonnen-Pilotanlage für die enzymatische Herstellung von Zellulose-Ethanol aufgebaut und plant jetzt die Realisierung einer großindustriellen Produktionsanlage. Zellulose-Ethanol stellt eine neue, bisher noch nicht erschlossene Energiequelle dar, basierend auf einem nachwachsenden Rohstoff, für den keine neuen Anbau- oder Produktionskapazitäten erschlossen werden müssen. Durch ein biotechnologisches Verfahren (sunliquid®-Verfahren) werden die in den nicht essbaren Pflanzenteilen in Form von Zellulose und Hemizellulose gebundenen Zucker nutzbar gemacht und zu Ethanol vergoren.

Allerdings wurde in Deutschland die Entwicklung der Biokraftstoffe der zweiten Generation im Jahr 2011 durch die Insolvenzanmeldung der Choren Industries

⁴⁷ http://www.process.vogel.de/management_und_it/forschung_entwicklung/produktentwicklung/articles/317259 (aufgerufen am 28.08.2012)

GmbH, einer der größten Hoffnungsträger für die Herstellung von Biokraftstoffen der Folgegeneration, gedämpft.

Neue Entwicklungen zielen auf die Herstellung von gasförmigen Biokraftstoffen durch die Vergasung von Biomasse (Syngas, hydrothermale Karbonisierung). Außerdem werden Bioethanol-Hersteller ihren Fokus auf energiereichere Moleküle, wie beispielsweise Butanol, erweitern. Auf dieser Basis werden weitere kommerzielle Anlagen für die Herstellung von Biokraftstoffen der nächsten Generation gebaut werden.

Auch Bioerdgas, das aus verschiedensten Substraten hergestellt werden kann, wird unter den Biokraftstoffen der nächsten Generation eine wichtige Rolle einnehmen.

Auch Bioerdgas, das aus verschiedensten Substraten hergestellt werden kann, wird unter den Biokraftstoffen der nächsten Generation eine wichtige Rolle einnehmen.

Bioethanol aus Zuckerrohr ist bei Weitem der preiswerteste Biokraftstoff. Die in der Entwicklung befindlichen Biomass to Liquid (BtL)-Kraftstoffe sowie Ethanol aus Zuckerrüben oder Lignocellulose markieren die obere Grenze bei den auf den Energiegehalt bezogenen Herstellungskosten.⁴⁸

	Herstellungskosten (EUR/l)	Kraftstoffäquivalente (EUR/l)	Herstellungskosten (EUR/GJ)
Biodiesel aus Raps	0,63	0,69	19,03
Rapsöl	0,49	0,51	14,17
Bioethanol			
Getreide	0,47	0,72	21,97
Zuckerrüben	0,57	0,88	27,00
Zuckerrohr (BRA)	0,22	0,34	10,39
Lignocellulose	0,64	0,98	30,00
BtL	1,00	1,03	29,90
Biomethan (Biogas)	1,04 *	0,74	20,83

*(EUR/kg)

Tabelle 2: Herstellungskosten von Biokraftstoffen (modifiziert nach Quelle: meó Consulting)

Es wird erwartet, dass Biokraftstoffnachfrage und -angebot weiterhin rapide steigen werden. Obwohl der Beitrag flüssiger Biokraftstoffe zum gesamten Kraftstoffverbrauch im Verkehrsbereich sehr begrenzt bleiben wird, wird der zunehmende Anbau von Pflanzen für die Biokraftstoffproduktion voraussichtlich einen wesentlichen Anteil des vorhergesehenen Wachstums der gesamten Agrarproduktion darstellen. Der Anteil an Boden, der weltweit dem Anbau von Pflanzen zur Gewinnung flüssiger Biokraftstoffe dient, wird voraussichtlich von derzeit ca. einem Prozent auf etwa vier Prozent in 2030 steigen. Gekoppelt mit Biokraftstoffen der ersten Generation könnte diese Landfläche fünf Prozent des gesamten Kraftstoffverbrauchs im Straßenverkehrsbereich abdecken. Der Beitrag könnte nach Schätzungen doppelt so hoch liegen, wenn Technologien der zweiten Generation auf dem Markt verfügbar wären.⁴⁹

⁴⁸ http://www.enerchange.de/userfiles/pdf_303fg_dafa_071107.pdf (aufgerufen am 28.08.2012)

⁴⁹ <http://www.greenfacts.org/de/biokraftstoffen/links/index.htm> (aufgerufen am 28.08.2012)

4. WEITERE INNOVATIVE TECHNOLOGIEN ZUR HERSTELLUNG BIOBASIERTER PRODUKTE

Folien und Beschichtungsmaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen

Bisher bestehen Polymerfolien für Verbundverpackungen aus erdölbasiertem Polyethylen und könnten zukünftig durch biobasierte Polymere ersetzt werden. Das Fraunhofer-Institut UMSICHT hat zum Beispiel ein auf nachwachsenden Rohstoffen basierendes Werkstoffsystem für Getränkekartons entwickelt. Um die erforderlichen mechanischen und lebensmitteltechnischen Eigenschaften von Biokunststoffen zu erreichen, werden biobasierte Polymerfolien durch gezielte Beimengungen (Compoundieren, Blenden) hergestellt. Dabei lassen sich die biobasierten Materialentwicklungen auch auf vorhandenen Maschinen zur Herstellung von Verbundverpackungen verarbeiten.⁵⁰

Beschichtung von biobasierten Kunststoffen

Ähnlich wie erdölbasierte Kunststoffe lassen sich auch biobasierte Kunststoffe beschichten, um sie vor chemischen und mechanischen Beeinträchtigungen zu schützen (zum Beispiel Kratzschutz), oder mit zusätzlichen Funktionen versehen (zum Beispiel elektrisch leitend, optisch reflektierend oder einstellbare Permeabilität). So gibt es Beschichtungs- und Folienlösungen für Verpackungen, die unter dem Begriff „active packaging“ bekannt sind und über synthetische Barrierschichten Feuchtigkeit und Sauerstoff von der verpackten Ware fernhalten und damit für längere Haltbarkeit sorgen.⁵¹ Generell lassen sich mit biobasierten Kunststoffen hybride Werkstoffe jeglicher Art herstellen, zum Beispiel Faserverbundwerkstoffe, Nanobiopolymerkomposite, Metall-Biokunststoffhybride, Keramik-Bio-Kunststoffhybride etc.

CO₂ als Synthesebaustein für biobasierte Kunststoffe

In einigen Forschungsaktivitäten unter Beteiligung von Chemieunternehmen wie Bayer, BASF und Mitsui Chemicals wird untersucht, wie das Klimagas CO₂ als Synthesebaustein für Polymere energieeffizient genutzt werden kann, um völlig neue, nachhaltige Verfahren zur Herstellung chemischer Produkte zu entwickeln. Mit Hilfe speziell entwickelter Katalysatoren setzt zum Beispiel Bayer aus Kraftwerken abgetrenntes, hochreines CO₂ als Rohstoff zum Aufbau von Polyolen ein. Das hergestellte Polyurethan wird für verschiedene Anwendungen wie Matratzen und Gehäusebauteile getestet. Eine dafür von Bayer MaterialScience betriebene Pilotanlage soll das Verfahren bis 2015 zur Marktreife bringen.⁵²

Darüber hinaus läuft bei der BASF ein vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördertes Forschungsprojekt zur Herstellung von biologisch

⁵⁰ <http://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2012/april/kunststoff-aus-der-natur.html> (aufgerufen am 28.08.2012)

⁵¹ http://www.intermeat.de/cipp/md_intermcm/custom/pub/content,oid,57403/lang,1/ticket,g_u_e_s_t/~/Innovativ_Verpacken_mit_Biofolien.html (aufgerufen am 28.08.2012)

⁵² http://www.k-online.de/cipp/md_k/custom/pub/content,oid,33902/lang,1/ticket,g_u_e_s_t/~/Kunststoff_als_Klimaretter.html (aufgerufen am 28.08.2012)

abbaubaren Polypropylencarbonaten (PPC) als Thermoplast, zum Beispiel für den Verpackungsbereich.⁵³ Auch dem Freiburger Materialforschungszentrum (FMF) und Institut für Makromolekulare Chemie der Universität Freiburg ist es mit einem neuen Verfahrensansatz gelungen, Limonenoxid mit Kohlendioxid umzusetzen, ohne dabei Lösungsmittel einzusetzen. Bei dieser Reaktion wird CO₂ chemisch in Limonenoxid gebunden. Das so entstandene Limonendicarbonat ist gießfähig und kann mit Aminen gehärtet werden. Bei der Härtung mit natürlich gewonnenen Zitronensäureamidoaminen entstehen auch Polyurethan-Materialien.^{54, 55}

Allerdings können angesichts der 28 Gigatonnen CO₂-Emissionen solche Verwertungskonzepte nur einen verhältnismäßig kleinen Beitrag zur CO₂-Reduktion leisten. Die Chemieverbände VCI und Dechema schätzen derzeit das Verwertungspotenzial von CO₂ in der Größenordnung von einem Prozent ein.⁵⁶ Eine der neuen vom BMBF geförderten Innovationsallianzen unter der Führung von RWE befasst sich mit CO₂ als Rohstoff (Projekt ZeroCarbonFootPrint).⁵⁷

Green Solvents

Die Verwendung von „Green Solvents“, wie überkritische Medien und ionische Flüssigkeiten, sind für die Synthese von biobasierten Kunststoffen geeignet und zunehmend von Interesse. Beispielsweise sind die Ergebnisse zur chemischen Umwandlung nachwachsender Rohstoffe, speziell die Dehydratisierung von Kohlenhydraten in weniger funktionalisierte Zwischenprodukte („platform chemicals“, „building blocks“), mit überkritischen Fluiden vielversprechend.⁵⁸ In einem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekt unter Beteiligung der Bayer AG wird mit Hilfe neuartiger ionischer Flüssigkeiten ein neues Verfahren zur Gewinnung von Lignin, Zellulose und Hemizellulose aus biogenem Material entwickelt.⁵⁹

Mikroreaktionstechnik zur Herstellung von biobasierten Kunststoffen

Fortschritte bei der Fertigung mikrostrukturierter Bauteile ermöglichen die Mikroreaktionstechnik als neue Technologie. Während diese Technologie anfangs vor allem von der technischen Chemie zur Modellierung und Entwicklung verfahrenstechnischer Prozesse eingesetzt wurde, so gibt es jetzt kommerziell erhältliche Mikroreaktoren für verschiedene chemische Synthesen. Die Mikroreaktionstechnik wird mittlerweile erfolgreich in Produktionsanlagen der chemischen Industrie

⁵³ E. Dengler et al., „A One-Component Iron Catalyst for Cyclic Propylene Carbonate Synthesis“, *Eur. J. Inorg. Chem.* 2011, 336 – 343

⁵⁴ M. Bähr, A. Bitto, R. Mülhaupt, „Cyclic limonene dicarbonate as a new monomer for non-isocyanate oligo- and polyurethanes (NIPU) based upon terpenes“, *Green Chemistry* 2012, 14, 1447 – 1454

⁵⁵ <http://news.innomateria.de/tag/materialforschung/> (aufgerufen am 28.08.2012)

⁵⁶ http://www.process.vogel.de/thermische_verfahrenstechnik/katalyse/articles/367449/ (aufgerufen am 28.08.2012)

⁵⁷ <http://www.rwe.com/web/cms/de/37110/rwe/presse-news/pressemitteilung/?pmid=4008003> (aufgerufen am 28.08.2012)

⁵⁸ H. Vogel, „Überkritische Fluide zur Verwertung nachwachsender Rohstoffe“, *Nachrichten aus der Chemie*, 55, 2007

⁵⁹ BMBF-Statusseminar „Chemische Prozesse und stoffliche Nutzung von CO₂“, am 3./4. Mai 2012 in Berlin

eingesetzt und könnte zukünftig auch zur Steigerung der Selektivität und Effizienz von Synthesen bei biobasierten Kunststoffen führen.^{60,61}

Bionik am Beispiel Spinnenseide

Nach dem Vorbild der Natur können neue, biobasierte Kunststoffe synthetisiert werden. Beispielsweise stellt der Seidenfaden der Spinne eine einzigartige Naturfaser dar. Belastungstests mit natürlichen Spinnenfäden ergaben, dass diese bis zu fünfmal fester sind als Stahl. Dabei sind die Fäden im Schnitt zehnmal dünner als ein menschliches Haar. Gleichzeitig lässt sich dieses Naturprodukt auf die dreifache Länge dehnen, bevor es reißt. Die Dehnbarkeit übersteigt damit die eines Nylonfadens. Das Besondere an den Seidenfäden ist die Kombination der Eigenschaften stabil und elastisch. Künstliche Fasern wie Nylon oder Kevlar besitzen immer nur eine dieser Eigenschaften. Außerdem wäre Spinnenseide im Gegensatz zu Kunstfasern vollständig biologisch abbaubar. Mittlerweile ist es gelungen, den natürlichen Herstellungsprozess der Spinnenseidenfäden im Labor nachzuahmen.⁶² In Zukunft könnte sich daraus als Alternative zu konventionellen Kunststoffen und Stahl ein großes Anwendungspotenzial eröffnen. Vorstellbar sind zum Beispiel extrem belastbare Seile beziehungsweise Textilfasern für Airbags, Fallschirme oder kugelsichere Westen, Beschichtungsmaterialien für medizinische Implantate, biokompatible Nähfäden für Chirurgen oder künstliche Nervenstränge.⁶³

Katalyse und Biokatalyse

Die energieeffiziente katalytische Umsetzung von verschiedenen Ausgangsmaterialien stellt eine sehr wichtige Basismethode der chemischen Industrie dar. (Bio-)Katalysatoren werden zum Beispiel für die Umwandlung nachwachsender Rohstoffe, die CO₂-Nutzung oder die Herstellung von Chemikalien genutzt. Dabei ist ein wichtiger Trend und Meilenstein in der Katalysatorforschung die Defunktionalisierung hochkomplexer Systeme, wie etwa Lignin, anstelle der funktionsgerichteten Synthese von Grundstoffen aus Erdöl.⁶⁴

Die energieeffiziente katalytische Umsetzung von verschiedenen Ausgangsmaterialien stellt eine sehr wichtige Basismethode der chemischen Industrie dar.

Biotechnologie (grüne, weiße, rote)

Biotechnologische Innovationen bilden den Grundstein für die nachhaltige und effiziente Nutzung von Biomasse. Die grüne Biotechnologie befasst sich mit der Veränderung und Optimierung zum Beispiel von Nutzpflanzen. Zu den Methoden gehören sowohl klassische Züchtungsverfahren als auch die in Deutschland umstrittene Gentechnik. BASF hat daher seine Pflanzengenetik-Abteilung (plant science) in die USA verlagert. Eine Abschätzung künftiger Trends hängt in diesem Fall sehr stark von der öffentlichen Akzeptanz ab.

⁶⁰ Microreactors in Organic Synthesis and Catalysis, Thomas Wirth (Hrsg.), Wiley-VCH 2008

⁶¹ <http://marktplatz.kunststoffweb.de/produkte/mikroreaktionstechnik-1731-23964.html> (aufgerufen am 28.08.2012)

⁶² <http://www.amsilk.com/> (aufgerufen am 28.08.2012)

⁶³ <http://suite101.de/article/spinnenseide-a45672> (aufgerufen am 28.08.2012)

⁶⁴ http://www.gecats.de/gecats_media/Urbanczyk/Katalyse_Roadmap_2010_final.pdf (aufgerufen am 28.08.2012)

Bereits heute werden ganze Produktklassen fast ausschließlich biotechnologisch hergestellt.

Die weiße oder industrielle Biotechnologie arbeitet zwar ebenfalls mit genmodifizierten Organismen, diese befinden sich allerdings in geschlossenen Systemen. Da gibt es so gut wie keine Akzeptanzprobleme. Bereits heute werden ganze Produktklassen fast ausschließlich biotechnologisch hergestellt, wie zum Beispiel Nahrungsmittelzusätze und Enzyme.⁶⁵ Viel versprechende Trends sind beispielsweise zellfreie biotechnologische Produktionssysteme. Der derzeit in der Endphase befindliche Strategieprozess „Nächste Generation biotechnologischer Verfahren“ bringt Experten aus den unterschiedlichsten Bereichen zusammen, um der Frage nach zukünftigen Entwicklungen nachzugehen.⁶⁶ Eine europäische Expertengruppe hat sich ebenfalls mit der Frage nach künftigen Trends im Bereich industrieller Biotechnologie beschäftigt.⁶⁷

Die Bundesregierung fördert gezielt Innovationsallianzen zur weißen Biotechnologie. Die ersten Förderbescheide wurden auf der AICHEMIA im Juni 2012 vergeben. In der roten Biotechnologie wird Biomasse bereits seit längerem für die fermentative Gewinnung von Enzymen, rekombinanten Proteinen oder pharmakaktiven Vorstufen eingesetzt. Beispielsweise wird das Enzym Glukoseoxydase für Blutzuckermessungen bereits seit 1954 von der Firma Roche fermentativ gewonnen.⁶⁸ Weitere Beispiele sind die fermentative Herstellung von Insulin oder verschiedener Antibiotika wie etwa Penicilline und Penicillin-Derivate.

Nanobiotechnologie, zum Beispiel Nanozellulose

Die Nanobiotechnologie gehört zu den interdisziplinären Technologien, da sie Nanotechnologie und Biotechnologie kombiniert. Sie zielt auf die Nachahmung der Natur zu technischen Zwecken, wobei im Unterschied zur Bionik und zur konventionellen Biotechnologie auf der nanoskaligen Ebene angesetzt wird. Ein Beispiel bildet die Nanozellulose, die sich aufgrund ihrer molekularen Struktur gegenüber der herkömmlichen Zellulose durch einzigartige Eigenschaften auszeichnet und vielfältige neue Anwendungen eröffnet, unter anderem als biobasierter Polymerverbundwerkstoff beziehungsweise Leichtbauwerkstoff im Automobilbau oder als Membran- oder Filtermaterial in der Biomedizin. Die Einsatzmöglichkeiten dieses neuartigen Biomaterials reichen von der Werkstoff- und Medizintechnik bis hin zur Lebensmittel- und Pharmaindustrie. Im Gegensatz zur pflanzlichen Zellulose, die hauptsächlich aus Holz isoliert wird, kann Nanozellulose in biotechnologischen Prozessen, unter anderem mit Hilfe von Bakterien und Glukose, synthetisiert werden.⁶⁹

Synthetische Biologie

Die Synthetische Biologie bildet eine neuartige Querschnittstechnologie, die das funktionsgerichtete Design und die Synthese künstlicher Gene und kompletter biologischer Systeme beziehungsweise das gezielte Re-Design bestehender Organismen zum Ziel hat.

⁶⁵ http://www.bmbf.de/pub/weisse_biotechnologie.pdf (aufgerufen am 28.08.2012)

⁶⁶ <http://www.biotechnologie2020plus.de> (aufgerufen am 28.08.2012)

⁶⁷ KET – INDUSTRIAL BIOTECHNOLOGY, Working Group Report, June 2011, (Final report of the High Level Expert Group on Key Enabling Technologies (KETs))

⁶⁸ Biotechnologie – neue Wege in der Medizin, Hoffmann-La Roche AG, 2006

⁶⁹ D. Klemm, F. Kramer, S. Moritz, T. Lindström, M. Ankerfors, D. Gray, A. Dorris; „Nanocelluloses: A new Family of Nature-Based Materials“, *Angew. Chem., Int. Ed.* 2011, 50, 5438

Sie gründet sich auf der Idee, standardisierte biologische Komponenten wie Maschinenteile in beliebiger Weise zusammensetzen zu können.⁷⁰

Anwendungen der Synthetischen Biologie werden in verschiedensten Bereichen gesehen, von der effizienten Biomasse-Konversion für die energetische und stoffliche Nutzung bis hin zur Bereitstellung biologischer Synthese-Plattformen etwa für die Herstellung von Biokunststoffen. Eine Arbeitsgruppe an der Utah State University beschäftigt sich beispielsweise mit der Herstellung von Polyhydroxyalkanoaten (PHA) mittels eines modifizierten *E. coli* Bakteriums.⁷¹

Die synthetische Biologie wird von etlichen Unternehmen vorangetrieben, unter anderem von Life Technologies⁷², die eine Palette an Lösungen von der NG-Sequenzierung (Next Generation Sequenzierung) bis zur Genomsynthese anbieten. Weitere meist US-basierte Player sind zum Beispiel Amyris, Metabolix, Gevo, LS9 oder Synthetic Genomics. Zwar sind sehr viele Produkte noch im frühen Entwicklungsstadium angesiedelt, jedoch haben beispielsweise Genencor (Dansico) und Goodyear bereits einen zuckerbasierten Konzeptreifen aus Bio-Isopren entwickelt und vorgestellt.⁷³

Selbstorganisation

Selbstorganisierte Prozesse, in denen sich kleine molekulare Bausteine zu großen funktionsfähigen Strukturen, zum Beispiel Zellen, zusammenschließen, sind in der Natur grundlegend. Dem Vorbild der Natur folgend, kann die Polymerchemie derartige Prozesse unter Laborbedingungen mit ebenso hoher Effizienz nachahmen. In Forschungsarbeiten werden Konzepte entwickelt und umgesetzt, um ausgehend von einzelnen (Bio-)Polymermolekülen hierarchisch aufgebaute Großstrukturen zielgenau aufzubauen und zu formen – und zwar so, dass diese Prozesse wie in der Natur von selbst ablaufen. Obwohl diese Arbeiten bisher noch Grundlagenforschung sind, zeichnen sich bereits jetzt hochinteressante Anwendungspotenziale ab, unter anderem als neue Werkstoffe in der Automobiltechnik und Elektronik sowie als neue Biomaterialien für die Medizin.

Die Selbstorganisation eröffnet den Zugang zu neuartigen polymeren Werkstoffen mit vielseitigen Eigenschafts- und Anwendungsprofilen. Selbstorganisierte Strukturwerkstoffe zeichnen sich zum Beispiel durch Materialverbunde (Nanocomposite) mit einer verstärkten Polymermatrix und durch leichte Verarbeitbarkeit aus. Bei Funktionspolymeren lassen sich optische und elektrische Eigenschaften sowie biologische Funktionen, zum Beispiel Membrantransport, maßschneidern.

Dem Vorbild der Natur folgend, kann die Polymerchemie Prozesse unter Laborbedingungen mit ebenso hoher Effizienz nachahmen.

⁷⁰ Thesenpapier zum Status der Synthetischen Biologie in Deutschland, DECHEMA, Juli 2011

⁷¹ <http://sbc.usu.edu/htm/research/projects/bioplastics/> (aufgerufen am 28.08.2012)

⁷² <http://www.lifetechnologies.com/de/de/home.html> (aufgerufen am 28.08.2012)

⁷³ <http://www.heise.de/tr/artikel/Und-jetzt-auch-Bio-Reifen-967652.html> (aufgerufen am 28.08.2012)

Intelligente Materialsysteme funktionieren als Aktoren und reagieren auf Signale mit Eigenschaftsänderungen. In der Biomedizin können definierte Polymerstrukturen synthetisiert und genutzt werden, um Wirkstoffe einzulagern und dosiert abzugeben.^{74, 75}

Materialeffizienz

Unter Materialeffizienz ist vereinfacht das Verhältnis der Materialmenge in den erzeugten Produkten zu der für ihre Herstellung eingesetzten Materialmenge zu verstehen. Materialeffizienz kann deshalb auch zur Ressourcenschonung beitragen. Eine höhere Materialeffizienz wird durch eine Reduzierung des Materialeinsatzes erreicht, wie beispielsweise durch Verringerung des Ausschusses, durch Reduzierung von Verschnitt, durch verringerten Einsatz von Hilfsstoffen oder die Optimierung der Produktkonstruktion. Materialkosten stellen im Produzierenden Gewerbe mit ca. 43 Prozent noch vor den Personalkosten (20 Prozent) den mit Abstand größten Kostenblock dar.

Materialkosten stellen im Produzierenden Gewerbe mit ca. 43 Prozent noch vor den Personalkosten (20 Prozent) den mit Abstand größten Kostenblock dar.

Die Deutsche Materialeffizienzagentur beziffert die schnell zu realisierenden Einsparungen aufgrund gesteigerter Materialeffizienz auf durchschnittlich etwa 2,5 Prozent jährlich, bezogen auf den Umsatz eines Unternehmens. Mit dem Einsatz intelligenter Technologien auf Basis von Nanotechnologie und neuen Materialien, einschließlich biobasierter Werkstoffe, lässt sich dieser Prozentsatz noch wesentlich erhöhen. Es können eine Reihe von Optimierungsansätzen verfolgt werden, wie Minderung des Materialverbrauchs durch Beschichtungstechnologien, Substitution von Materialien und Erhöhung der Ausbeute bei der Materialsynthese, Optimierungen im Produktionsprozess durch eine höhere Auslastung von Anlagen und Maschinen oder eine Erhöhung der Recyclingquote von Stoffen.⁷⁶ Beim effizienten Einsatz von Rohstoffen werden auch nachwachsende Rohstoffe als Alternative zu erdölbasierten Grundstoffen zunehmend in Betracht gezogen. Treiber hierfür sind insbesondere Biotechnologie, Biokraftstoffe und Biokunststoffe.⁷⁷

Energiespeicher auf Biopolymer-Basis

Neben dem Einsatz von elektrochemischen Speichern (Batterien) für Elektroantriebe in Fahrzeugen werden verschiedene Energiespeichersysteme in Zukunft auch aufgrund der zeitlich variablen Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien wie Solar- und Windenergie benötigt. Darüber hinaus bilden Wärmespeicher Schlüsselkomponenten für eine effektive Nutzung industrieller Prozesswärme in solarthermischen Kraftwerken, Wärmerückgewinnungsprozessen, solaren Nahwärmeprojekten sowie in Hausenergieversorgungs- und Brauchwassersystemen. Die heute verfügbaren Speichertechnologien (sensible und latente

⁷⁴ A. H. Gröschel, F. H. Schacher, H. Schmalz, O. V. Borisov, E. B. Zhulina, A. Walther, A. I. H.E. Müller, "Precise hierarchical self-assembly of multicompart ment micelles", *Nature Communications*, Vol. 3, No 710, 28 February 2012.

⁷⁵ J. Groll, K. Müllen, A. Walther, C. Sinkel, R. Loos, M. Yamamoto, A. Künkel, F. Schnieders, „Die Selbstorganisation funktionaler Polymere und ihre Hauptanwendungsgebiete: Elektronik und Biomedizin“, *Nachrichten aus der Chemie*, Heft 3/2012

⁷⁶ http://www.hessen-nanotech.de/mm/Materialeffizienz_durch_Nanotechnologie_und_neue_Materialien.pdf (aufgerufen am 28.08.2012)

⁷⁷ <http://www.plastverarbeiter.de/texte/anzeigen/12606/Rohstoffe-bewegen> (aufgerufen am 28.08.2012)

Wärmespeicher, thermochemische und elektrochemische Energiespeicher) leiden noch an zu geringen Energiedichten und zu hohen Investitionskosten.^{78,79}

Neue Lösungsansätze werden sowohl mit erdöl- als auch biobasierten Polymeren verfolgt. Bei Lithium-Polymer-Batterien könnten organische Biopolymere, wie zum Beispiel Lignine aus recycelten Holzstoffen oder Chitin aus Krabben-schalen, in Elektrolyten und Elektroden eingesetzt werden.^{80,81} Ein innovatives Wärmespeichermaterial wurde in den letzten Jahren auf Basis polymergebundener organischer Phasenwechselmaterialien entwickelt, welche gegenüber herkömmlichen Wärmespeichern eine bis zu dreifach höhere Wärmekapazität besitzen. Neben den hohen Wärmekapazitäten und den breiten Einsatzmöglichkeiten durch die Verwendung von Paraffinen mit einem Schmelzpunkt zwischen ungefähr sechs und 82 °C lassen sich vielfältigste Zielmärkte herleiten. Die Speichergranulate können derzeit zu Pulver vermahlen, zu Folien und Platten extrudiert, zu Filamenten versponnen und teilweise zu Formkörpern verspritzt werden. Die Polymere sind auch biobasiert bzw. aus nachwachsenden Rohstoffen herzustellen.⁸²

⁷⁸ F. Schüth, *Spektrum der Wissenschaft*, April 2012

⁷⁹ H. Kerskes u. a., „Thermochemische Energiespeicher“, *Chemie Ingenieurtechnik* 2011, 83, No. 11, 2014 – 2026

⁸⁰ Milczarek, et al., „Renewable Cathode Materials from Biopolymer/Conjugated Polymer Interpenetrating Networks“, *Science* 23 March 2012, 1468 – 1471

⁸¹ Milczarek, et al., „Renewable Cathode Materials from Biopolymer/Conjugated Polymer Interpenetrating Networks“, *Science* 23 March 2012, 1468 – 1471

⁸² <http://www.polymertherm.de/pcm/material/pulver.php> (aufgerufen am 28.08.2012)

5. ANHANG

Fußnotenverzeichnis

- ¹ Biokunststoffe im Sinne von erdölbasierten, biologisch abbaubaren Kunststoffen werden in dieser Kurzstudie nicht betrachtet.
- ² Roadmap „Bioraffinerie“ im Rahmen der Aktionspläne der Bundesregierung zur stofflichen und energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe, http://www.bmbf.de/pub/roadmap_bioraffinerien.pdf (aufgerufen am 8.08.2012)
- ³ <http://iwrwww1.fzk.de/bioliq/konzept.html> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁴ <http://www.sud-chemie.com/scwww/web/content.jsp?nodeIdPath=7803&lang=de> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁵ http://www.biopos.de/index_de.html (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁶ Die Autoren der Roadmap „Bioraffinerie“ kommen zu dem Schluss, dass derzeit eine Grüne Bioraffinerie lediglich in Verbindung mit einer Biogasanlage wirtschaftlich betrieben werden kann und dies nur in Regionen mit ausreichend Grünlandpotenzial.
- ⁷ <http://www.vdi.de/44392.0.html> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁸ <http://www.biotechnologie.de/BIO/Navigation/DE/root,did=119350.html> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁹ <http://www.biom-wb.de/nachrichten/bioraffinerie-der-zukunft-schafft-arbeitsplaetze-in-leuna.html> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ¹⁰ <http://bio-pro.de/magazin/thema/05073/index.html?lang=de&artikelid=/artikel/05087/index.html> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ¹¹ http://www.process.vogel.de/management_und_it/branchen_maerkte/uebernahmen/articles/352566/ (aufgerufen am 28.08.2012)
- ¹² http://www.process.vogel.de/anlagen_apparatebau/engineering_dienstleistung/grossanlagen/articles/304432/ (aufgerufen am 28.08.2012)
- ¹³ Pike Research: Biomass Markets and Technologies, 2011
- ¹⁴ <http://www.plastemart.com/Plastic-Technical-Article.asp?LiteratureID=1627&Paper=biorenewable-chemicals-market-bio-based-polymers-manufacture-bio-based-plastics> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ¹⁵ Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL establishing Horizon 2020 – The Framework Programme for Research and Innovation (2014 – 2020).
- ¹⁶ Brussels, 13.2.2012, COM(2012) 60, Innovating for Sustainable Growth: a Bioeconomy for Europe.
- ¹⁷ Copenhagen Declaration: <http://bioeconomy.dk/TheCopenhagenDeclarationforaBioeconomyinAction.pdf>
- ¹⁸ Daten entnommen aus: http://www.carmen-ev.de/dt/portrait/symposien/symp_11/vortraege_symp_11/sternberg_symp_11.pdf (aufgerufen am 28.08.2012)
- ¹⁹ Zitiert aus dem Vortrag: Biorefinery – from policy issues to research and from knowledge to products, Dr. Dietmar Peters Agency for Renewable Resources (FNR), International Biomass Valorisation Congress, 2010
- ²⁰ Maive Rute – Implementation at a European Level, European Bioeconomy – From Knowledge via Demonstration to Products and Markets, 20th to 21st June 2012

- ²¹Joint European Biorefinery Vision for 2030, Star-colibri, Strategic Targets for 2020 – Collaboration Initiative on Biorefineries
- ²² <http://www.star-colibri.eu/files/files/roadmap-web.pdf> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ²³ Star-Colibri: Preliminary report on the global mapping of research projects and industrial biorefinery initiatives, Due date of deliverable: April 30, 2010 S. 42
- ²⁴Entnommen aus: Biorefinery feasibility study, Amsterdam, 20 October 2011, <http://www.endseurope.com/docs/111020a.ppt> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ²⁵Niederlande: New Earth, New Chemistry Actieagenda Topsector Chemie, 2011
- ²⁶ Finland: <http://www.sitra.fi/julkaisut/Selvityksi%C3%A4-sarja/Selvityksi%C3%A4%2051.pdf> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ²⁷Swedish Research and Innovation Strategy for a Bio-based Economy, 2012
- ²⁸ US National Bioeconomy Blueprint, 2012, <http://www.whitehouse.gov/blog/2012/04/26/national-bioeconomy-blueprint-released> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ²⁹ http://www1.eere.energy.gov/biomass/integrated_biorefineries.html (aufgerufen am 28.08.2012)
- ³⁰ <http://www.ethanolrfa.org/bio-refinery-locations/> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ³¹Volltextsuche auf den Seiten der World Intellectual Property Organization (WIPO) mit dem Schlagwort „biorefiner*“
- ³² Suche nach Fachliteratur im Thomson Web of Science. Schlagwort: „biorefiner*“
- ³³J. Hamprecht et al., „Hauptsache Bio?“, Kunststoffe 8/2011, Seite 39 – 42
- ³⁴ http://www.verpackungsrundschau.de/news/show/branchen-news/49629/Coca-Cola_Ziel_100___Bio-PET-Flasche (aufgerufen am 28.08.2012)
- ³⁵ <http://www.greencarcongress.com/2010/10/biopet-20101113.html> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ³⁶ http://www.kunststoffweb.de/ki_ticker/Braskem_Bio-PE_nun_auch_fuer_Sonnencreme_Verpackungen_t221250 (aufgerufen am 28.08.2012)
- ³⁷<http://www.haute-innovation.com/de/magazin/nachhaltigkeit/green-pe.html> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ³⁸ B. Koal, S. Springer, „Kunststoffe im Automobilbau“, VDI Verlag 2010
- ³⁹ http://www.arkema.com/sites/group/en/products/product_viewer.page?p_filepath=/templatedata/Cotent/Product_Datasheet/data/en/technical_polymers/090717_rilsan_ht_a_new_high_temperature_polyamide_to_replace_metal.xml (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁴⁰ M. Magnani, Vortrag auf dem Bio-Based Polymers Workshop in Amsterdam, Oktober 2010
- ⁴¹Tagungsbericht zum Thema „Von der Folie bis zum technischen Bauteil“ im Rahmen der Fachtagung „BioKunststoffe“ im April 2011 in Hannover, Kunststoffe 8/2011, Seite 22 – 24
- ⁴² <http://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2012/april/kunststoff-aus-der-natur.html> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁴³ <http://www.bio-pro.de/magazin/thema/04308/index.html?lang=de> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁴⁴ W. Beier, „Biologisch abbaubare Kunststoffe“, UBA 2009

- ⁴⁵ http://www.bvse.de/316/5369/Biokunststoffe_sorgen_fuer_grosse_Probleme_beim_Kunststoffrecycling (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁴⁶ <http://www.bio-pro.de/magazin/thema/04308/index.html?lang=de> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁴⁷ http://www.process.vogel.de/management_und_it/forschung_entwicklung/produktentwicklung/articles/317259 (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁴⁸ http://www.enerchange.de/userfiles/pdf_303fg_dafa_071107.pdf (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁴⁹ <http://www.greenfacts.org/de/biokraftstoffen/links/index.htm> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁵⁰ <http://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2012/april/kunststoff-aus-der-natur.html> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁵¹ http://www.intermeat.de/cipp/md_intermcm/custom/pub/content,oid,57403/lang,1/ticket,g_u_e_s_t/~/Innovativ_Verpacken_mit_Biofolien.html (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁵² http://www.k-online.de/cipp/md_k/custom/pub/content,oid,33902/lang,1/ticket,g_u_e_s_t/~Kunststoff_als_Klimaretter.html (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁵³ E. Dengler et al., "A One-Component Iron Catalyst for Cyclic Propylene Carbonate Synthesis", *Eur. J. Inorg. Chem.* 2011, 336 – 343
- ⁵⁴ M. Bähr, A. Bitto, R. Mülhaupt, „Cyclic limonene dicarbonate as a new monomer for non-isocyanate oligo- and polyurethanes (NIPU) based upon terpenes“, *Green Chemistry* 2012, 14, 1447 – 1454
- ⁵⁵ <http://news.innomateria.de/tag/materialforschung/> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁵⁶ http://www.process.vogel.de/thermische_verfahrenstechnik/katalyse/articles/367449/ (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁵⁷ <http://www.rwe.com/web/cms/de/37110/rwe/presse-news/pressemitteilung/?pmid=4008003> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁵⁸ H. Vogel, „Überkritische Fluide zur Verwertung nachwachsender Rohstoffe“, *Nachrichten aus der Chemie*, 55, 2007
- ⁵⁹ BMBF-Statusseminar „Chemische Prozesse und stoffliche Nutzung von CO₂“, am 3./4. Mai 2012 in Berlin
- ⁶⁰ *Microreactors in Organic Synthesis and Catalysis*, Thomas Wirth (Hrsg.), Wiley-VCH
- ⁶¹ 2008 <http://marktplatz.kunststoffweb.de/produkte/mikroreaktionstechnik-1731-23964.html> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁶² <http://www.amsilk.com/> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁶³ <http://suite101.de/article/spinnenseide-a45672> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁶⁴ http://www.gecats.de/gecats_media/Urbanczyk/Katalyse_Roadmap_2010_final.pdf (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁶⁵ http://www.bmbf.de/pub/weisse_biotechnologie.pdf (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁶⁶ <http://www.biotechnologie2020plus.de> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁶⁷ KET – INDUSTRIAL BIOTECHNOLOGY, Working Group Report, June 2011, (Final report of the High Level Expert Group on Key Enabling Technologies (KETs))
- ⁶⁸ *Biotechnologie – neue Wege in der Medizin*, Hoffmann-La Roche AG, 2006
- ⁶⁹ D. Klemm, F. Kramer, S. Moritz, T. Lindström, M. Ankerfors, D. Gray, A. Dorris; „Nanocelluloses: A new Family of Nature-Based Materials“, *Angew. Chem., Int. Ed.* 2011, 50, 5438

- ⁷⁰Thesenpapier zum Status der Synthetischen Biologie in Deutschland, DECHEMA, Juli 2011
- ⁷¹<http://sbc.usu.edu/htm/research/projects/bioplastics/> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁷² <http://www.lifetechnologies.com/de/de/home.html> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁷³ <http://www.heise.de/tr/artikel/Und-jetzt-auch-Bio-Reifen-967652.html> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁷⁴ A. H. Gröschel, F. H. Schacher, H. Schmalz, O. V. Borisov, E. B. Zhulina, A. Walther, A. I.H.E. Müller, "Precise hierarchical self-assembly of multicompartment micelles", Nature Communications, Vol. 3, No 710, 28 February 2012.
- ⁷⁵ J. Groll, K. Müllen, A. Walther, C. Sinkel, R. Loos, M. Yamamoto, A. Künkel, F. Schnieders, „Die Selbstorganisation funktionaler Polymere und ihre Hauptanwendungsgebiete: Elektronik und Biomedizin“, Nachrichten aus der Chemie, Heft 3/2012
- ⁷⁶http://www.hessen-nanotech.de/mm/Materialeffizienz_durch_Nanotechnologie_und_neue_Materialien.pdf (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁷⁷<http://www.plastverarbeiter.de/texte/anzeigen/12606/Rohstoffebewegen> (aufgerufen am 28.08.2012)
- ⁷⁸ F. Schüth, Spektrum der Wissenschaft, April 2012
- ⁷⁹ H. Kerskes u. a., „Thermochemische Energiespeicher“, Chemie Ingenieurtechnik 2011, 83, No. 11, 2014 – 2026
- ⁸⁰ Milczarek, et al., „Renewable Cathode Materials from Biopolymer/Conjugated Polymer Interpenetrating Networks“, Science 23 March 2012, 1468-1471
- ⁸¹ Milczarek, et al., „Renewable Cathode Materials from Biopolymer/Conjugated Polymer Interpenetrating Networks“, Science 23 March 2012, 1468 – 1471
- ⁸² <http://www.polymertherm.de/pcm/material/pulver.php> (aufgerufen am 28.08.2012)

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

- Abbildung 1: Bioraffinerie-Landschaft in der EU
(modifiziert nach Quelle: Biorefinery feasibility study, 2011)
- Abbildung 2: Anzahl an weltweiten Patentanmeldungen zum Thema Bioraffinerien bis 2011(modifiziert nach Quelle: Biorefinery Quelle: Zukünftige Technologien Consulting (ZTC)
- Abbildung 3: Anzahl an weltweiter Fachliteratur zum Thema Bioraffinerien im zeitlichen Verlauf (modifiziert nach Quelle: Biorefinery Quelle: s. ZTC)
- Abbildung 4: Verteilung der Fachpublikationen über die Länder
(modifiziert nach Quelle: s. ZTC)
- Tabelle 1: Werkstoffe und Marktakteure im Bereich biobasierter, beständiger Werkstoffe
(modifiziert nach Quelle: Kunststoffe 8/2011, Carl Hanser Verlag, München)
- Abbildung 5: Entwicklungsstand verschiedener Kunststoffe
(modifiziert nach Quelle: Endres und Siebert-Raths: Engineering Biopolymers, Carl Hanser-Verlag, 2011)
- Abbildung 6: Weltweite Produktionskapazitäten von biobasierten Kunststoffen
(modifiziert nach Quelle: IFBB & European Bioplastics)
- Tabelle 2: Herstellungskosten von Biokraftstoffen
(modifiziert nach Quelle: meó Consulting)

**Ressourceneffizienz im Internet:
ressource-deutschland.de**

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE)
Johannisstr. 5 - 6
10117 Berlin
Tel. 030-27 59 506-0
Fax 030-27 59 506-30
info@vdi-zre.de
www.ressource-deutschland.de

Ein Projekt im Rahmen der Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit



NATIONALE
KLIMASCHUTZ
INITIATIVE