



Titelthema

Die Natur als chemische Fabrik

Biodiesel aus Raps, leistungsfähige Kunststoffe, effiziente Waschmittel, preisgünstige Vitamine – mit Hilfe der Weißen Biotechnologie entstehen schon heute viele Produkte. Doch das ist erst der Anfang. Die Industrie sieht im Einsatz nachwachsender Rohstoffe und in der Weißen Biotechnologie die Alternative zur Petrochemie.

Die Zukunft ist weiß – da sind sich chemische Industrie, Politik und Wissenschaft einig. Die Weiße Biotechnologie wird von allen führenden Chemie-Unternehmen der Welt als Schlüsseltechnologie für das 21. Jahrhundert bezeichnet. Ein Grund dafür sind die steigenden Erdölpreise. Erdöl ist nicht nur der wichtigste Energieträger, sondern auch der am häufigsten verwendete Chemierohstoff. Aus dieser Abhängigkeit wollen sich die Unternehmen befreien. Sie setzen auf nachwachsende Rohstoffe, also Pflanzen, als Kohlenstoffquelle. Bis 2030 soll bereits ein Viertel der organischen Grundmaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden – so das ehrgeizige Ziel der amerikanischen Chemieindustrie. In Deutschland stammen bislang nur 10 Prozent aus regenerativen Quellen.

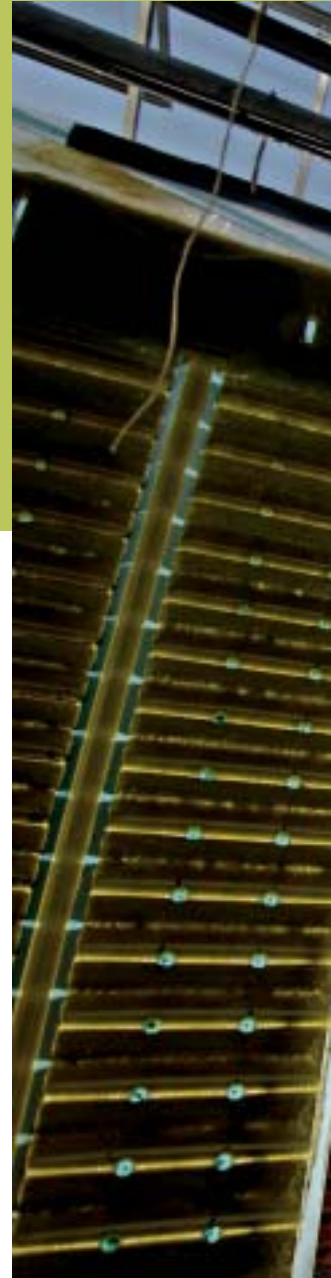
Auch bei allen großen europäischen Chemie-Unternehmen steht die Weiße Biotechnologie ganz oben auf der Agenda. »Der Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen in der chemischen Industrie wird eines der wichtigsten Themen in den nächsten Jahren«, betont Dr. Alfred Oberholz, Forschungsvorstand von Degussa. Den Paradigmenwechsel unterstützt die Politik. Das Bundesforschungs-Ministerium BMBF und die EU fördern die Weiße Biotechnologie. Erst vor wenigen Wochen fiel der Startschuss für die Initiative »BioIndustrie

2021«. Für dieses Projekt stellt das BMBF 60 Millionen Euro bereit. Die EU hat in ihrem 7. Forschungsrahmenprogramm die »Weiße Biotechnologie« zu einem Schwerpunktthema gemacht.

Aber was ist Weiße Biotechnologie genau? »Die Weiße Biotechnologie nutzt die Natur als chemische Fabrik. Herkömmliche chemische Produktionsprozesse werden durch den Einsatz von Mikroorganismen oder Enzymen ersetzt«, erläutert Prof. Thomas Hirth vom Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT. Ganz neu sind solche Verfahren nicht. Mikroorganismen und Enzyme werden schon seit langem in der Produktion genutzt – etwa beim Bier brauen oder bei der Herstellung von Käse. Die Weiße Biotechnologie geht noch einen Schritt weiter: Sie nutzt die Instrumente der modernen Biotechnologie für die Entwicklung von neuen biotechnischen Produktionsverfahren und Produkten wie Basis- und Feinchemikalien, Biokunststoffen, Lebensmittelzusatzstoffen, Agrar- und Pharmavorprodukten.

Saubere Wäsche bei 40 Grad

Erste Produkte werden bereits mit Hilfe der Biotechnologie hergestellt. Das bekannteste Beispiel sind moderne Waschmittel. Dank Enzymen wird das aufwändige



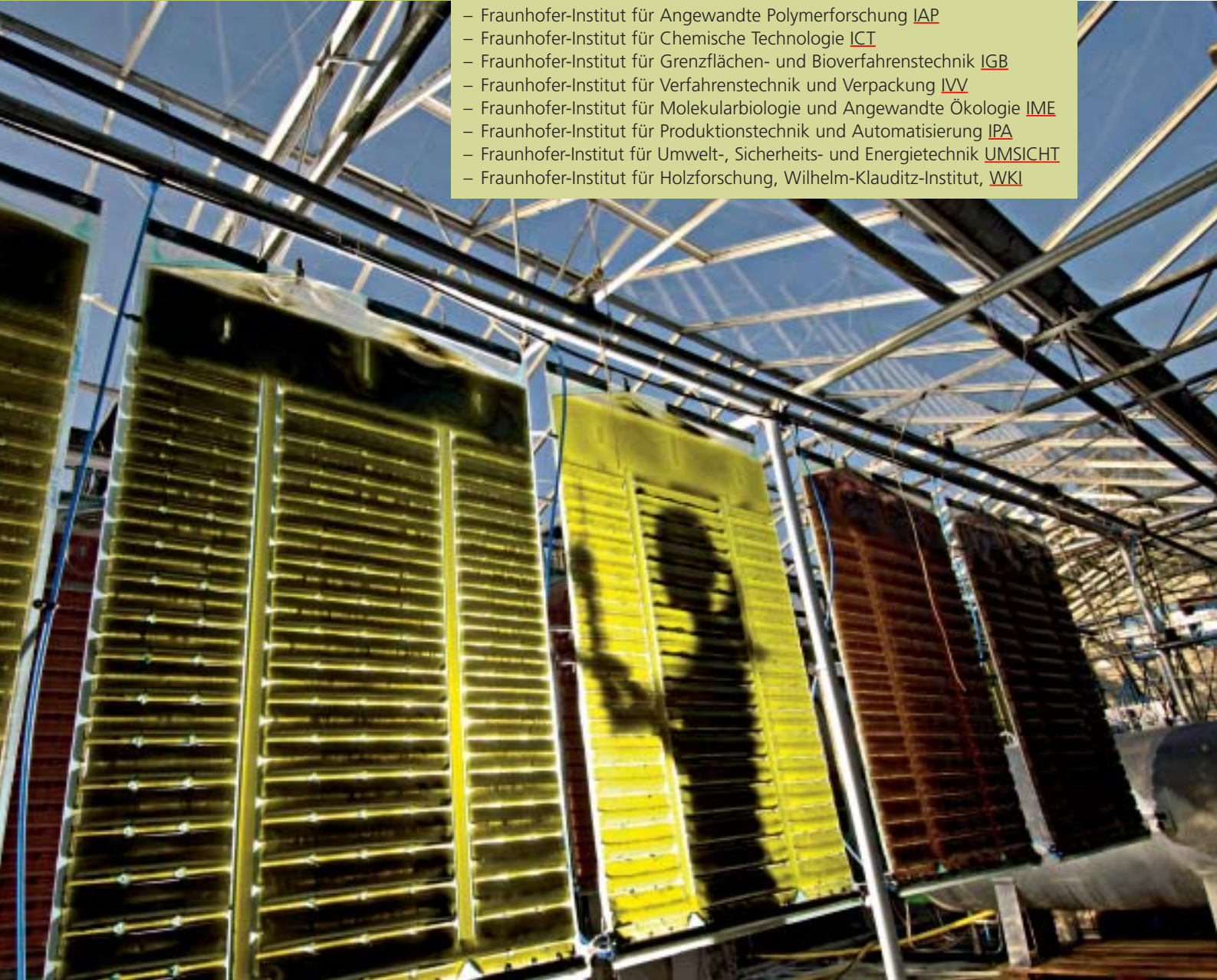
In einem Bioreaktor können Algen in großen Mengen gezüchtet werden.

© Volker Steger

Gemeinsam forschen

In der Fraunhofer-Gesellschaft haben sich acht Institute zusammengeschlossen, um das Thema »Industrielle Weiße Biotechnologie – Die Natur als chemische Fabrik« zu bearbeiten. Ziel ist es, einen integrierten Produkt- und Prozessansatz zu entwickeln – vom Rohstoff über den Biokatalysator bis zum Produkt. Die beteiligten Institute sind:

- Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung [IAP](#)
- Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie [ICT](#)
- Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik [IGB](#)
- Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung [IVV](#)
- Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie [IME](#)
- Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung [IPA](#)
- Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik [UMSICHT](#)
- Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut, [WKI](#)



Kochen der Wäsche überflüssig. Die Flecken gehen schon bei niedrigen Temperaturen heraus. Das hilft Energie und Wasser sparen. Aber auch bei der Herstellung von Ethanol, Citronensäure oder Aminosäuren haben sich in den vergangenen Jahren biotechnologische Verfahren etabliert. Nach und nach werden immer mehr petrochemische Prozesse durch biotechnologische ersetzt. Experten erwarten, dass die Chemie-

industrie bereits im Jahr 2010 etwa 20 Prozent ihres Umsatzes (300 Mrd. US Dollar) mit Hilfe der Weißen Biotechnologie erwirtschaften wird.

Doch ist die Umstellung auch wirtschaftlich? Die Unternehmensberater McKinsey & Company meinen, ja. In einer Studie (2003) gehen sie davon aus, dass sich durch die Weiße Biotechnologie weltweit Kosten von

insgesamt bis zwölf Milliarden Euro pro Jahr einsparen lassen. Bei konventionellen Verfahren wird oft bei hohem Druck und hohen Temperaturen gearbeitet. Mikroorganismen und Enzyme arbeiten dagegen unter Normalbedingungen im wässrigen Milieu. Das macht teure Sicherheitstechnik überflüssig. Weitere Vorteile: Die Weiße Biotechnologie spart Syntheschritte ein, vermindert Emissionen, senkt den Rohstoff-



und Energieverbrauch und belastet die Umwelt deutlich weniger. Das hilft, die Produktionskosten drastisch zu reduzieren, wie das Beispiel Vitamin B₂ (Riboflavin) zeigt. Bis 1990 stellte die BASF das Vitamin in einem komplexen mehrstufigen petrochemischen Prozess her. Nun wird Riboflavin in einer einstufigen Fermentation aus Sojaöl produziert. Die Umstellung machte sich für das Unternehmen bezahlt: Die Abfälle gingen um 95 Prozent zurück, die CO₂-Emission um 30 und der Ressourcenverbrauch um 60 Prozent. Insgesamt sanken die Kosten für die Vitamin-B₂-Herstellung um 40 Prozent.

Einfach wird die Umstellung jedoch nicht werden. Denn noch sind fast alle industriellen Verfahren ganz auf die Nutzung von Erdöl ausgerichtet. »Man hat sich in den vergangenen 50 bis 60 Jahren auf die Erdölchemie fokussiert. Hier hat man es mit einer konzentrierten Forschungs- und Entwicklungsarbeit geschafft, sehr viele kostengünstige Produkte herzustellen. Diesen Vorsprung muss man nun bei der Nutzung nachwachsender Rohstoffe aufholen«, meint GÖRGE DEERBERG, wissenschaftlicher Direktor vom Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT.

Die Fraunhofer-Gesellschaft bündelt deshalb ihre Aktivitäten in einer strategischen Forschungsallianz (siehe Kasten). Das Thema »Industrielle Weiße Biotechnologie – Die Natur als chemische Fabrik« ist auch eine der zwölf Perspektiven für Zukunftsmärkte. Von diesen Technologiefeldern werden in besonderem Maß marktrelevante Innovationen erwartet. Die Arbeiten auf dem Gebiet der Weißen Biotechnologie koordinieren Prof. HIRTH vom ICT und Prof. Dr. RAINER FISCHER vom Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME. »Unser Ziel

ist es, die gesamte Prozesskette abzubilden – von der Pflanze bis zum fertigen Produkt«, beschreibt HIRTH die umfangreiche Aufgabenstellung.

Rohstoffe vom Acker

Aus nachwachsenden Rohstoffen können vor allem Polymere, Spezialchemikalien wie Lösungsmittel, Tenside oder Klebstoffe sowie chemische Zwischenprodukte hergestellt werden. »Bevor Biomasse in großem Umfang als Rohstoff eingesetzt werden kann, muss der Ausgangsstoff zuverlässig und nachhaltig verfügbar sein, und das in konstanter Qualität und zu wettbewerbsfähigen Preisen«, nennt HIRTH wichtige Voraussetzungen. Die Verbesserung der Pflanzeigenschaften und ihre Vorbereitung auf die stoffliche Nutzung sind deshalb ein Forschungsschwerpunkt. Das IME arbeitet zum Beispiel daran, die Kartoffel als biotechno-

logisches Produktionssystem für neue Stärkequalitäten zu nutzen und aus anderen Nutzpflanzen natürlichen Kautschuk kostengünstiger bereitzustellen.

Pflanzen – wie Getreide, Hülsenfrüchte, Bäume oder Ölpflanzen, aber auch Algen – produzieren ein riesiges, aber bisher kaum genutztes Spektrum unterschiedlichster chemischer Verbindungen. »Es ist wirtschaftlich sinnvoll, die Diversität und die Syntheseleistung der Natur möglichst weit zu nutzen und alle wertvollen Inhaltsprodukte zu gewinnen«, betont Dr. MICHAEL MENNER vom Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackungen IVV.

Doch wie können die wertvollen Stoffe gewonnen werden? Die Fraunhofer-Institute arbeiten an Verfahren, um Raffinate wie Stärke, Lignin oder Fettsäuren als wichtige Zwischenstufen zu chemischen

Biobasierte Produkte

Marktchancen und Anwendungspotenziale

- Polymere
- Tenside
- Lösungsmittel
- Farbstoffe
- Geruchsstoffe
- Pharmawirkstoffe
- Kosmetika
- Kraftstoffe
- Schmierstoffe
- Fasern

Rohstoffe

- Lignin
- Cellulose
- Chitin
- Hemicellulose
- Zucker
- Stärke
- Öle und Fette



Anteil biotechnischer Verfahren an der Wertschöpfung

Sektor	Feinchemikalien	Polymere	Spezialchemikalien	Basischemikalien
Marktanteil in Mrd. Dollar	50	250	400	500
Anteil biotechnologischer Verfahren 2004 in %	15	1	2	2
Anteil biotechnologischer Verfahren 2010 in %	30-60	5-15	5-20	5-15

Quelle: Chemical week, February 2004 und McKinsey & Company, 2004

Produkten aus den Pflanzen zu extrahieren. Forscher des IVV haben dafür besonders schonende Trenn- und Fraktionierungsverfahren entwickelt, mit denen etwa Lupinen und Raps so entölt werden, dass auch die Proteine rein gewonnen werden. Forscher des UMSICHT und des ICT nutzen überkritische Fluide, um die wertvollen Inhaltstoffe zu extrahieren.

Die größten natürlichen Rohstofflieferanten sind unsere Wälder. Holz ist für die Papierproduktion unverzichtbar. Ein Abfallprodukt der Papierherstellung ist der Gerüststoff der Holzfasern, das Lignin. Jährlich fallen davon etwa 50 Mio Tonnen weltweit an. Lignin ist ein natürliches Polymer, aus dem man zusammen mit natürlichen Fasern und Additiven einen hervorragenden thermoplastischen Werkstoff herstellen kann, sprich einen Kunststoff, der bei einer bestimmten Temperatur schmilzt. Der große Vorteil: Der

man in der Natur fündig. Heute sind bereits mehr als 3 000 verschiedene Enzyme bekannt. Aber erst 150 werden in großem Maßstab kommerziell genutzt. Bislang setzt die Industrie vor allem Enzyme aus Mikroorganismen ein, die sich kultivieren lassen. Am Screening Center des Fraunhofer-Instituts für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB suchen Forscher nach neuen Enzymen aus Bakterien und Co.

Die Wissenschaftler um Dr. Steffen Rupp nutzen dazu eine besondere Technik: Sie isolieren aus einer Umweltprobe die gesamte DNA und nicht einzelne Mikroorganismen. Das Erbgut wird in einer Genbibliothek gesammelt und auf enzymatische Aktivität getestet. Mittlerweile wurden bereits 65 000 Klone auf verschiedene Aktivitäten untersucht. Mit Erfolg: Die Forscher haben schon eine breite Palette von Enzymen identifiziert, die neue Umsetzungen ermög-

Daran arbeiten neben dem IGB auch das IME. Die technischen Enzyme werden in industriell geeigneten Expressionsorganismen wie Bakterien, Hefen, tierischen Zellen und Pflanzen hergestellt.

Im Mittelpunkt der industriellen Biotechnologie steht die »Biokonversion«: die Umwandlung der Rohstoffe in Wertstoffe. Dazu werden entweder Mikroorganismen (Fermentation) oder Enzyme (Biokatalyse) genutzt. Damit die Rohstoffe in großen Mengen schnell und wirtschaftlich umgewandelt werden können, müssen neue Bioproduktionsverfahren entwickelt werden.

Forscher vom UMSICHT arbeiten zum Beispiel an einem Herstellungsverfahren für Bernsteinsäure. Das Projekt wird von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe gefördert. Die Dicarbonsäure, die als Säuerungsmittel, Geschmacksstoff und Konser-



Aus Pflanzen können wertvolle Rohstoffe für die chemische Industrie gewonnen werden.

© aboutpixel (li.); MEV

Werkstoff lässt sich auf herkömmlichen Kunststoffverarbeitungsmaschinen wie ein synthetischer Thermoplast verarbeiten.

Suche nach neuen Enzymen

Aber nicht alle Pflanzeninhaltsstoffe lassen sich in ihrer natürlichen Form industriell nutzen. Oft müssen sie mit Hilfe von Enzymen umgewandelt werden. Auch hier wird

lichen und zum Beispiel Pflanzenöle in Fettsäuren und Glycerin umwandeln oder Proteine spalten. Ein weiteres Arbeitsfeld der Forscher ist das Screening nach Milchsäurebakterien-Stämmen, die Stärke direkt zu Milchsäure vergären können.

Mit Hilfe der Bio- und Gentechnologie lassen sich sogar neue und verbesserte Mikroorganismen und Enzymvarianten entwickeln.

vierungsmittel in der Lebensmittelindustrie eingesetzt wird, eignet sich hervorragend als Plattformchemikalie. Mit Hilfe von Mikroorganismen kann die wertvolle Substanz aus Glucose gewonnen werden. Forscher des IGB hingegen nutzen Mikroalgen, um Fettsäuren und Carotinoide zu produzieren. In einem Flachplatten-Airlift-Reaktor können die Algen in Massen gezüchtet werden.



An neuen Herstellungsverfahren für eine wichtige Basis für Biokunststoffe arbeiten Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Polymerforschung IAP. Sie fertigen aus biotechnologisch hergestellter Milchsäure den Biokunststoff Polymilchsäure (PLA). Die Glucose für die Herstellung von Milchsäure lässt sich aus nachwachsenden Rohstoffen, wie Zuckerrübenschnitzeln, Weizen- oder Roggenmehl, gewinnen. »Biokunststoffe sollen nicht nur biologisch abbaubar sein, sondern gleichzeitig stabil während des Gebrauchs, einfach zu verarbeiten und möglichst unbe-

wickelt. Die Polymerkomponente ist Celluloseacetat, ein Stoff, der aus Cellulose und damit letztlich aus Holz gewonnen wird. Damit »grüne Kunststoffe« in Massenprodukten eingesetzt werden, müssen die Herstellungskosten noch deutlich sinken. Verfahrensoptimierung leistet einen entscheidenden Beitrag.

Neue Wege in der Kunststoffproduktion gehen auch Forscher des ICT. Gemeinsam mit Dow Deutschland GmbH haben sie ein neues Verfahren zur Gewinnung von Polyalkoholen aus Zuckern entwickelt. Diese Polyole

von der Biomasse getrennt werden. »Der Erfolg biotechnologischer Verfahren wird wesentlich von den Prozessen der Produktisolierung und -reinigung bestimmt«, betont Hirth. Denn nur wenn das Zwischenprodukt möglichst rein vorliegt, lässt es sich auch für die weitere chemische Synthese nutzen. Die mechanischen, thermischen oder chemischen Methoden müssen optimal auf die vorgelagerte Biokonversion und die nachfolgende Weiterverarbeitung abgestimmt werden. Hier verfügen die Fraunhofer-Institute über ein umfangreiches Know-how.

Bioraffinerie – Biomasse vollständig verwerten

Die Fraunhofer-Institute arbeiten an noch weitergehenden Konzepten. In einer Bioraffinerie sollen nachwachsende Rohstoffe vollständig verwertet und stofflich zu Chemikalien und Werkstoffen sowie energetisch zu Brenn- und Kraftstoffen umgesetzt werden. »Der Gedanke einer Kompletterwertung von nachwachsenden Rohstoffen wird in Zukunft immer wichtiger«, ist sich Hirth sicher. »Verschiedene Teilschritte hierzu sind bereits an Fraunhofer-Instituten realisiert.« Wie die integrierte Produktion von Energie, Wärme und Wertstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen funktionieren kann, demonstriert die Loick AG. In dem Unternehmen, das aus nachwachsenden Rohstoffen neuartige Produkte herstellt, werden aus Gülle, Pflanzen und organischen Reststoffen Biogas, Strom, Wärme und Kälte gewonnen. Diese Kleinst-Bioraffinerie entstand in enger Kooperation zwischen der Loick Gruppe und den Wissenschaftlern von UMSICHT.

Die Erwartungen an die Weiße Biotechnologie sind hoch. Damit der Paradigmenwechsel gelingen kann, müssen Chemiker, Biologen, Biotechnologen, Physiker und Verfahrenstechniker eng zusammenarbeiten. Deutschland ist nach den USA und Japan der drittgrößte Chemieproduzent. Will die chemische Industrie auch in Zukunft wettbewerbsfähig sein, muss die Umstellung der Produktion auf nachwachsende Rohstoffe und ressourcenschonende Verfahren gelingen.

Birgit Niesing

 fraunhofer.de/audio – online ab 21.12.2006.



In einem biotechnologischen Verfahren werden Enzyme hergestellt.

© BASF

grenzt verfügbar sein«, zählt Dr. Eckhard Bonatz vom IAP in Golm die Ansprüche an das Material auf. »Polylactid aus Glucose, die zu Milchsäure vergärt wurde, vereint all die gewünschten Vorzüge.«

Schon heute werden Kunststoffe aus Milchsäure in einigen Nischenanwendungen eingesetzt. Es gibt bereits geschäumte Verpackungen, Hygienematerialien und Medizinprodukte aus diesem Material. Sogar als Catering-Geschirr wird Biokunststoff genutzt. Beim Weltjugendtag in Köln aßen die jungen Besucher aus aller Welt von Geschirr aus bioabbaubaren Kunststoffen. Nach Gebrauch wanderten die Teller, Tassen, Messer, Gabeln und Löffel samt Essensresten in eine Biogasanlage und wurden vergoren. Das Catering-Geschirr bestand aus Biograde® 300A. Diesen Biokunststoff haben Forscher der FKUR Kunststoff GmbH und des UMSICHT ent-

sind ein wichtiger Ausgangsstoff für die Produktion von Polyurethanen und Polyester. In nahekritischem Wasser wurden die niedermolekularen Kohlenhydrate wie Glucose, Fructose, Xylose und Saccharose in Polyole umgewandelt. Die besten Ergebnisse lieferten Versuchsreihen zwischen 150 und 250 Grad Celsius mit dem Element Ruthenium als Katalysator. Die Polyole setzte Dow anschließend erfolgreich bei der Herstellung von Polyurethanen ein.

Damit erschließt sich für die Kunststoffproduktion eine völlig neue Rohstoffbasis. Kohlenhydrate werden aus Pflanzen wie der Zuckerrübe isoliert, die in Deutschland großflächig angebaut werden. Das Projekt wurde von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) gefördert. Entscheidend ist nicht nur die Produktion von Wertstoffen, sondern auch deren Aufarbeitung. Doch dazu müssen die gewünschten Stoffe