

Die Natur als chemische Fabrik

Die Chemieindustrie nutzt überwiegend Rohstoffe, die vor vielen Millionen Jahren entstanden sind: Erdöl, Erdgas und Kohle. Nur etwa zehn Prozent stammen aus nachwachsenden Quellen, also von Pflanzen. Doch in den kommenden Jahrzehnten wird sich die Industrie umstellen müssen. Fraunhofer-Experten liefern das nötige Know-how für die »weiße Biotechnologie«.

So viel ist sicher: Die fossilen Ressourcen gehen zur Neige. Zwar streiten die Gelehrten noch darüber, ab wann es sich nicht mehr lohnen wird, Erdöl und Kohle aus dem Boden zu holen. Doch in den USA hat die Chemieindustrie bereits reagiert: Bis zum Jahr 2030 will sie ein Viertel der organischen Grundstoffe, die heute noch aus fossilen Quellen erzeugt werden, aus nachwachsenden Rohstoffen herstellen. Und auch die europäischen Chemieunternehmen betrachten diese Umstellung als einen Schwerpunkt ihrer Aktivität.

Ganz einfach wird diese Neuorientierung allerdings nicht werden. Denn sämtliche Prozesse in der Chemieindustrie sind eng miteinander verzahnt und ganz auf die fossilen Rohstoffe ausgerichtet. Das beginnt mit der Raffinerie, in der die Erdölbestandteile voneinander getrennt und zu wertvollen Grundsubstanzen veredelt werden. Diese setzt die Industrie in ungezählten Verfahren zu all dem um, was uns im Alltag an Chemikalien umgibt: Lösungsmittel und Lacke, Kleber und Kunststoffe, Waschmittel und Medikamente. Wenn all diese Stoffgruppen aus pflanzlichen Rohstoffen erzeugt werden sollen, muss die Industrie völlig neue Pfade beschreiten. Ein wesentliches Element wird dabei die Nutzung von Mikroorganismen und Enzymen für chemische Umsetzungen sein – Experten sprechen deshalb von der industriellen, der »weißen Biotechnologie«.

Industrie und EU setzen auf die weiße Biotechnologie

Dass auf diesem Gebiet Forschungsbedarf besteht, weiß nicht nur die Industrie. Die EU hat in ihrem 7. Forschungsrahmenprogramm die »weiße Biotechnologie« zum Thema gemacht; ebenso gibt es Forschungsinitiativen auf nationaler Ebene.

Auch die Fraunhofer-Gesellschaft bündelt ihre Aktivitäten auf diesem Gebiet im Rahmen einer strategischen Forschungsallianz. Sie wird von Prof. Thomas Hirth vom Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie [ICT](#) koordiniert. Die Allianz versucht, die gesamte Prozesskette abzubilden – von der Pflanze bis hin zu anwendungsfertigen Produkten im Sinne einer integrierten biobasierten Stoffwirtschaft.

Am Anfang dieser Kette stehen die Rohstoffe aus der Land- und Forstwirtschaft. Pflanzen sind eine wertvolle Quelle hochwertiger organischer Verbindungen, die sie durch die Photosynthese selbst erzeugen:

- Kohlenhydrate (z. B. Stärke, Cellulose)
- Proteine (Eiweiße)
- Öle und Fette
- Lignin, den »Holz-Stoff«
- »sekundäre« Pflanzeninhaltsstoffe wie Duft- und Farbstoffe sowie medizinisch wirksame Substanzen wie Antioxidantien, Vitamine oder Alkaloide.

Bisherige Verfahren der Rohstoffaufbereitung konzentrieren sich häufig darauf, nur den Hauptbestandteil zu gewinnen. Verschwendung, meint Dr. Michael Menner vom Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung [IVV](#) in Freising: »Es ist sinnvoll, die Synthese-Vorleistung der Natur so weit als möglich zu nutzen und alle hochwertigen Inhaltsstoffe zu gewinnen«, sagt der Biologe. Die Forscher setzen deshalb auf die Entwicklung schonender Fraktionierungsverfahren, bei denen beispielsweise Lupinen oder Raps so entölt werden, dass neben dem wertvollen Pflanzenöl auch die Proteine rein gewonnen werden können. Die Öle können als Speiseöle, als Rohstoff für Biodiesel oder für andere technische Zwecke verwendet werden. Pflanzliche Proteine haben neben ihrem Nährwert auch



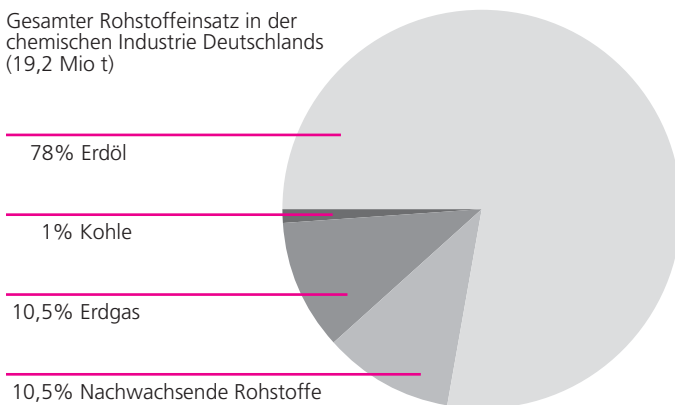
technisch-funktionelle Eigenschaften, die sie für die Lebensmittelindustrie interessant machen: etwa als Emulgatoren oder als Ersatz für Geliermittel aus tierischen Quellen. Kleinere Eiweißmoleküle, zum Beispiel aus der Sojabohne, sind häufig medizinisch wirksam, indem sie etwa den Cholesterinspiegel oder den Blutdruck senken. Dafür müssen sie in ihrer natürlichen Form vorliegen.

Eine weitere Möglichkeit, hochwertige Pflanzeninhaltsstoffe zu gewinnen, bietet die schonende Extraktion mit überkritischen Fluiden wie Kohlendioxid oder Wasser. Kohlendioxid wird in der Lebensmittelindustrie

Wissenschaftler um Dr. Steffen Rupp nach unbekanntem mikrobiellen Enzymen. Das Potenzial ist riesig, denn viele Bakterienstämme lassen sich im Labor nicht züchten und bleiben bei den üblichen Suchstrategien unberücksichtigt.

In ihrem »Screening Center« haben die Stuttgarter Forscher deshalb eine neue Technik entwickelt: Sie isolieren – etwa aus einer Bodenprobe – nicht die Mikroorganismen selbst, sondern deren Erbgut. Dieses zerlegen sie in viele tausend Bruchstücke, die eine Genbank bilden. Die einzelnen Abschnitte werden mit Hilfe der Gentechnik in

Gesamter Rohstoffeinsatz in der chemischen Industrie Deutschlands (19,2 Mio t)



Bisher wird in der chemischen Industrie vor allem Erdöl verarbeitet.

© Fraunhofer
Quelle: VCI

bereits großtechnisch zur Extraktion von Koffein oder Bitter- und Aromastoffen aus dem Hopfen angewendet. »Für die verstärkte zukünftige Nutzung nachwachsender Rohstoffe im Rahmen einer integrierten Bioproduktion liegt hier noch ein großes Potenzial«, berichtet Thomas Hirth. Mit der Entwicklung von Prozessen unter Anwendung überkritischer Fluide beschäftigen sich die Fraunhofer-Institute ICT und UMSICHT.

Auf der Suche nach neuen Enzymen

Doch nicht alle Pflanzeninhaltsstoffe sind in ihrer natürlichen Form brauchbar für die Industrie. Viele von ihnen müssen auf möglichst schonende Weise in wertvolle Zwischenprodukte verwandelt werden. Auch hier liefert die Natur ihren Beitrag: durch Enzyme – die molekularen Werkzeuge, mit denen Zellen Stoffe umwandeln. Die Produkte dieses »Stoff-Wechsels« sind attraktive Bausteine für die Chemieindustrie, die sie als Plattformchemikalien bezeichnet. Dazu zählen etwa Milchsäure oder verschiedene Dicarbonsäuren. Am Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB in Stuttgart su-

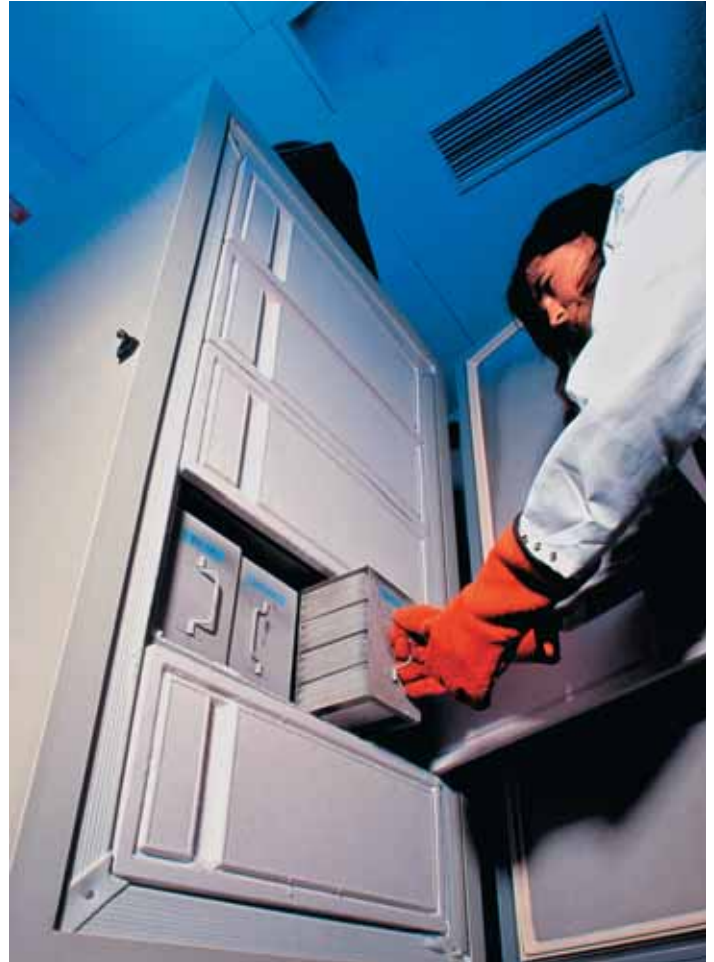
künstliche Eiweißmoleküle »übersetzt«, die nun parallel auf enzymatische Aktivität getestet werden können. »Wir müssen dabei nicht einmal wissen, aus welchem Mikroorganismus ein Enzym stammt – es genügt, dass wir den zugehörigen Erbschnitt haben«, das ist für Steffen Rupp der größte Pluspunkt des Verfahrens. Erste Erfolge gibt es bereits: Für die BASF AG haben die Forscher Enzyme identifiziert, die viel versprechende neue Umsetzungen ermöglichen. Auch am Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie IME in Aachen beschäftigen sich Wissenschaftler mit Enzymen für die Chemieindustrie. »In unserem Neubau, der Ende 2005 fertig sein soll, werden wir deshalb auch eine Produktionsanlage für technische Enzyme haben«, berichtet Institutsleiter Prof. Rainer Fischer.

In anderen Instituten nutzen die Experten Mikroorganismen, um pflanzliche Ausgangsstoffe zu Plattformchemikalien umzusetzen. So stellen Bakterien im Dienste der Forscher am UMSICHT Bernsteinsäure aus Glucose (Traubenzucker) her, die enzymatisch aus Maisstärke gewonnen wird. Die Rohlösung aus dem Fermenter ist aber noch weit weg von der reinen Bernstein-

säure, die von der Chemieindustrie als Ausgangsprodukt für »grüne« Lösungsmittel oder den Kunststoff Polyamid geschätzt wird. Sie enthält noch Biomasse, die zunächst abgetrennt werden muss. Erst dann kann sich ein physikalisches Trennverfahren anschließen, zum Beispiel eine Destillation, um die reine Chemikalie zu erhalten. »Für die Industrie ist der Einsatz der Biotechnologie nur dann wirtschaftlich, wenn auch die Trenntechniken kostengünstig genug sind«, unterstreicht Dr. Görgo Deerberg, wissenschaftlicher Direktor des UMSICHT, die Bedeutung der häufig unterschätzten Aufbereitungsschritte. Derzeit sind die Reinigungsprozesse für bis zu 80 Prozent des Produktpreises verantwortlich.

Die weiße Biotechnologie kann bei der Herstellung neuer und verbesserter industrieller Enzyme helfen.

© Fraunhofer IGB



Bausteine für Kunststoffe

Die Reinheit des gewonnenen Zwischenprodukts bestimmt letztlich darüber, ob es als Ausgangsmaterial für chemische Synthesen geeignet ist oder nicht. So kann Milchsäure nur dann erfolgreich zum bioabbaubaren Kunststoff Polymilchsäure umgesetzt werden, wenn sie möglichst chemisch hochrein und enantiomerenfrei vorliegt. Am Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP in Potsdam beschäftigen sich Forscher um Dr. Gerald Rafler mit der Verfahrenstechnik und den Prozessparametern bei der Herstellung von Polymilchsäure. Diese fällt im Reaktor als Schmelze an, die durch Spritzguss, Thermopressen oder Spinnen weiter verarbeitet wird. »Für die Industrie ist entscheidend, dass sie dabei die gewohnte Anlagentechnik und ihre üblichen Verarbeitungsmaschinen verwenden kann«, weiß Gerald Rafler.

Weitere Plattformchemikalien sind Polyole, α -, ω -Hydroxy- und Aminosäuren sowie Di-

carbonsäuren und Dicarbonsäuren. Sie stellen interessante Bausteine für die Herstellung technischer Kunststoffe wie Polyurethane, Polyester und Polyamide dar. Im Rahmen seiner material- und verfahrenstechnischen Forschung entwickelt das Fraunhofer ICT Prozesse, um diese Bausteine aus Stärke, Zucker, Cellulose oder Lignin zu gewinnen und sie zu den Kunststoffen umzuwandeln. Beispielsweise wurde mit einem Industrieunternehmen ein Verfahren entwickelt, um biobasierte Polyole herzustellen, die bei der Herstellung von Polyurethanen eingesetzt werden können. Noch

liegt der Marktanteil für Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen allerdings nur bei rund einem Prozent. Das Potenzial liegt nach Meinung von Experten mindestens bei der zehnfachen Menge. Für Deutschland erwartet das UMSICHT im Jahr 2020 eine Produktion von etwa einer Million Tonnen Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, davon 40 Prozent Polymilchsäure. Die erwartete Steigerung dürfte Arbeitsplätze schaffen und Chancen auf den Export hochwertiger Technologien bieten – so das vorläufige Ergebnis einer Studie zu den volkswirtschaftlichen Auswirkungen der weißen Biotechnologie, die das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI derzeit durchführt.

Freilich sind die Kunststoffe nur eine von mehreren Produktgruppen, bei der die Chemieindustrie auf die weiße Biotechnologie setzt. Bereits heute werden nach deren Verfahren unter anderem Lösungsmittel, Aminosäuren und Vitamine hergestellt (siehe Kasten). Der Anteil der Biotechnologie an der Chemieproduktion liegt dabei zwischen einem Prozent (Kunststoffe) und 16 Prozent (Feinchemikalien). Die Tendenz ist steigend – und die Chemieindustrie liegt damit ganz im Trend des nachhaltigen Umgangs mit den natürlichen Ressourcen.

Hellmuth Nordwig

| Stoffgruppe | Produktbeispiele | Anwendungen |
|------------------|---------------------------|--|
| Aminosäuren | Glutamat; Lysin | Geschmacksverstärker; Futtermittelzusatz |
| Säuren | Zitronensäure; Essigsäure | Waschmittel, Haushalt; Lebensmittel |
| Grundchemikalien | Acrylamid; Ethanol | Zwischenprodukte; Kraftstoffzusatz |
| Pharmaka | Antibiotika; Vitamine | Medikamente, Ernährung |
| Kunststoffe | Polymilchsäure | Verpackung, Textilfasern |

Quelle: Weiße Biotechnologie – Chancen für Deutschland, Positionspapier der DECHEMA e. V., Frankfurt am Main 2004