

# Nachwachsend nachhaltig

Von Jürgen O. Metzger und Marco Eissen

**Auch für die Chemie gilt Nachhaltigkeit als Leitbild. Große Bedeutung kommt dabei den nachwachsenden Rohstoffen zu. Damit sie Erdöl ersetzen können, müssen neue Prozesse für wirtschaftlich bedeutende chemische Synthesen entwickelt werden. Den Anbau von Rohstoffpflanzen zu fördern reicht nicht aus.**

Im Zentrum der Agenda 21, dem Arbeitsprogramm der UN-Konferenz von 1992, stehen die „Erhaltung und Bewirtschaftung der Ressourcen für die Entwicklung“ (Agenda 21, Teil II). Dazu müssen die Wissenschaften einen wesentlichen Beitrag leisten. „Die Wissenschaft muss sich permanent mit Möglichkeiten einer schonenderen Ressourcennutzung befassen. (...) Die Wissenschaft wird somit zunehmend als wesentliches Element der Suche nach gangbaren Wegen hin zu einer nachhaltigen Entwicklung verstanden“ (Kap. 35.2). „Dazu bedarf es der Zusammenführung natur-, wirtschafts- und sozialwissenschaftlicher Erkenntnisse“. (Kap.

35.11c). Aus dem gewaltigen Katalog der ungelösten Probleme, die in der Agenda 21 genannt sind, gilt es Forschungsthemen in Grundlagen- und angewandter Forschung zu entwickeln. Die Chemie kann zu einer schonenderen Ressourcennutzung beitragen durch

- effektivere chemische Prozesse,
- Bereitstellung chemischer Produkte, die die Umwelt nicht belasten, die Effektivität in andern Produktionsbereichen beträchtlich erhöhen und die sich in ein Recycling-Konzept einfügen,
- umweltverträgliche Produkte für den Endverbraucher, die diesem erlauben, Ressourcen effektiver zu nutzen.

Einige Aspekte der Rio-Deklaration und der Agenda 21 wurden in den vergangenen zehn Jahren in Angriff genommen. Die Chemikaliensicherheit, der in der Agenda 21 ein eigenes Kapitel 19 gewidmet ist, wurde durch internationale Vereinbarungen beträchtlich gesteigert. Dazu trägt die weltweite freiwillige Initiative „Verantwortliches Handeln“ der chemischen Industrie wesentlich bei. Die chemischen Industrien Europas, Japans und der USA haben sich in ihren Zukunftsprogrammen explizit zu dem Beitrag der Chemie zu einer nachhaltigen Entwicklung bekannt. Insgesamt versu-

chen die Betriebe der chemischen Industrie zu verstehen, was nachhaltige Entwicklung für sie bedeutet.

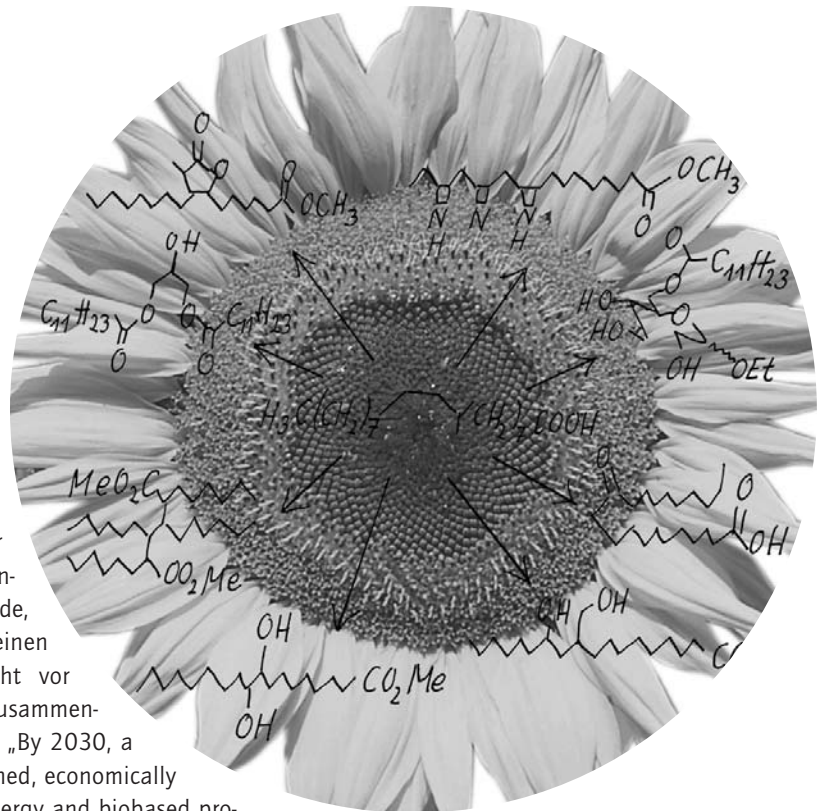
## Energieverbrauch

Das Energie- und Umweltprofil der chemischen Industrie wurde kürzlich detailliert untersucht und beschrieben (vgl. Tabelle 1). Bemerkenswert hoch ist der Anteil am Energieverbrauch im Produktionsbereich. Das zeigt die herausragende Bedeutung der chemischen Industrie, insbesondere in Deutschland. Davon wurden zirka 51 Prozent als Rohstoff für die chemischen Produkte (nichtenergetischer Verbrauch) und 49 Prozent als Energie für die Durchführung der Prozesse (energetischer Verbrauch) verbraucht. Es wurde ein Einsparungspotenzial von etwa 30 Prozent der Prozessenergie also zirka 15 Prozent des kumulierten Energieaufwands KEA, der Summe beider Verbräuche, geschätzt.

Der Verlauf von Produktion und Ausstoß der chemischen Industrie von 1974 bis 1997 zeigt aber, dass der Energieverbrauch pro Einheit des Ausstoßes von 1974 bis 1988 zwar um beträchtliche 40 Prozent gefallen ist, seither aber stagniert. Der Gesamtenergieverbrauch hingegen ist von 1974 bis 1997 wegen des

## 1 Energieprofil der chemischen Industrie

	Energieverbrauch in PJ (10 <sup>15</sup> Joule)	Anteil (%) am Weltenergieverbrauch	Anteil (%) am nationalen Energieverbrauch	Anteil (%) am nationalen Energieverbrauch in der Produktion
USA	6.650	1,8	7	25
Deutschland	1.700	0,46	12	44



kontinuierlichen Wachstums der chemischen Produktion aber um 80 Prozent gestiegen ist. Daraus ist zu schließen, dass die mit relativ geringen Kosten verbundenen Investitionen zur Energieeinsparung bereits durchgeführt wurden. Weitere Fortschritte werden tiefere Veränderungen der Prozesse und innovative Lösungen durch Forschung und Entwicklung erfordern.

Diese Abschätzungen zeigen, dass die gegenwärtig betriebenen Prozesse der chemischen Industrie effizienter werden können, sie zeigen aber auch, dass dadurch nicht das Doppelte oder gar Vierfache der heutigen Menge an Gütern produziert werden kann. Grundlegende Innovationen für die Produktion der notwendigen Güter mit einem wesentlich geringeren Ressourcenbedarf – etwa einem Zehntel – sind notwendig.

### Nachwachsende Rohstoffe

Die Förderung der umweltverträglichen Nutzung erneuerbarer natürlicher Ressourcen ist ein Ziel der Agenda 21 (2). Gegenwärtig beträgt der Anteil an nachwachsenden Rohstoffen am Rohstoffverbrauch der chemischen Industrie in Deutschland zirka 1,8 Millionen Tonnen, das sind rund zehn Prozent.

Der US-amerikanische Kongress verabschiedete im Juni 2000 den „Biomass Research and Development Act of 2000“ und schuf damit eine Forschungsinitiative, die auf die Produktion von Kraftstoffen, Energie, Chemikalien und Materialien aus Biomasse fokussiert. Das *Biomass Technical Advisory Committee*, das für

die Umsetzung dieser Initiative eingerichtet wurde, legte jetzt seinen ersten Bericht vor und stellte zusammenfassend fest: „By 2030, a well-established, economically viable, bioenergy and biobased products industry will create new economic opportunities for rural America, protect and enhance our environment, strengthen U.S. energy independence, provide economic security, and deliver improved products to consumers“ (3). Es wird davon ausgegangen, dass im Jahr 2030 25 Prozent und 2090 95 Prozent der organischen Chemikalien aus nachwachsenden Rohstoffen produziert werden. Eine solche Forschungsinitiative fehlt gegenwärtig in Europa, wo im 6. Forschungs-Rahmenplan der EU für den Zeitraum von 2002 bis 2006 ausschließlich die energetische und die Treibstoffnutzung von Biomasse intensiv gefördert wird. Nicht erkannt wird, dass die stofflich-chemische Nutzung wesentlich effizienter ist als die direkte energetische Nutzung, wie unten an einem Beispiel, in dem es um Lacke geht, gezeigt wird. Denn mit Blick auf die vielen Reaktionsschritte, mit denen mühsam aus kleinen petrochemischen Grundchemikalien komplexe Moleküle aufgebaut werden müssen, liegt der Vorteil bei der Nutzung der Synthesevorleistung der Natur auf der Hand. Ein Hinweis darauf ist der KEA, der bei wichtigen Ba-

sischemikalien aus der Petrochemie, wie etwa Propylenoxid, wesentlich höher ist als bei nachwachsenden Rohstoffen, wie zum Beispiel Rapsöl. 1997 wurden weltweit zirka vier Millionen Tonnen Propylenoxid produziert. 65-70 Prozent werden via Polyetherpolyolen zu Polyurethanschäumen und 22 Prozent zu Propylenglykol für Polyesterharze umgesetzt. Die zur Erzeugung dieser Produkte notwendigen chemischen Funktionen sind in nachwachsenden Rohstoffen wie Kohlenhydraten, Fetten, Eiweißen und Lignin vielfältig vorhanden.

### Festhalten an der Petrochemie

Es ist eine große Herausforderung für die Chemie, Substitutionsprozesse und -produkte auf der Basis von nachwachsenden Rohstoffen zu entwickeln. Doch die chemische Industrie setzt unverändert auf die Petrochemie und sieht noch nicht die Notwendigkeit, auf eine neue Rohstoffbasis überzugehen. Sie ist sehr zurückhaltend, den Einsatz erneuerbarer Rohstoffe überhaupt in Erwägung zu ziehen. Dazu kommt, dass Chemiker bislang in petrochemischen Produktlinien

weltkugel in son-  
nenblume  
chemieformel drun-  
ter

erdöl

„Die stofflich-chemische Nutzung ist wesentlich effizienter als die direkte energetische Nutzung“.

denken lernen und es ihnen schwer fällt, sich Produktlinien auf Basis nachwachsender Rohstoffe vorzustellen.

Hier ist Umdenken notwendig. Und es deutet sich bereits zaghaft an: Wolfgang Herrmann, Präsident der TU München, stellte kürzlich fest: „Langfristig halte ich jedoch die nachwachsenden Rohstoffe für die einzig tragfähige Lösung. Dabei nehmen wir die Syntheseleistung der Natur zur Hilfe, wobei es sicherlich ihre (der nachwachsenden Rohstoffe) katalytische Weiterverarbeitung sein wird, die künftig Erdöl und Kohle als Basisprodukte ersetzbar machen“. Die Gesellschaft Deutscher Chemiker appellierte darüber hinaus anlässlich des Weltgipfels für nachhaltige Entwicklung in Johannesburg „an die Regierungen, die Förderung der notwendigen, grundlegenden Untersuchungen zu intensivieren bzw. Rahmenbedingungen zu schaffen, um entsprechende privatwirtschaftliche Forschungsaktivitäten verstärkt zu stimulieren, damit nachhaltigere Substitutionsprozesse und -produkte rechtzeitig zur Verfügung stehen“ (4).

#### **Flächenproblematik**

Die Konkurrenz des Anbaus von Nahrungsmitteln und nachwachsenden Rohstoffen auf den begrenzten Flächen kulturfähigen Ackerlands könnte zu Problemen führen, denn auch der Nahrungsmittelbedarf wird beträchtlich anwachsen. Deshalb ist das Wüstenprogramm der Agenda 21, Kap. 12, zu dem neben vielen anderen Wissenschaften die Chemie wichtige Beiträge leisten kann, von größter Bedeutung. Seine Umsetzung muss stark intensiviert werden, einerseits, um das weitere Vordringen der Wüsten zu stoppen, andererseits aber auch zur Gewinnung von zusätz-

lich nutzbaren landwirtschaftlichen Flächen, die auch zur Stabilisierung des Weltklimas beitragen werden. Dieses Ziel wäre leicht zu realisieren, wenn das Wüstenprogramm der UNO soviel Geld zur Verfügung hätte wie die Weltraumprogramme Deutschlands, der EU und der übrigen in den Weltraum strebenden Länder. Zudem ist Biomasse die beste, einfachste und sicherste Methode zur CO<sub>2</sub>-Fixierung und -Lagerung angesichts künftig steigender Kohlenutzung für die Energieerzeugung (5).

#### **Produkte der chemischen Industrie**

Die Produkte der chemischen Industrie zeichnen sich durch eine große chemische Vielfalt aus. Die Agenda 21 geht von etwa 100.000 chemischen Substanzen aus, die weltweit von der chemischen Industrie in den Handel gebracht werden, wobei auf etwa 1.500 Stoffe 95 Prozent der gesamten Weltproduktion entfallen. Etwa 5.100 stehen auf der OECD-Liste der HPV-Chemikalien (HPV, von engl. *High Production Volume*), die mit mehr als 1.000 Jahrestonnen produziert werden.

Die Herausforderung für die Chemie besteht darin, die vielfältigen und unterschiedlichen Produkteigenschaften der Massenprodukte der chemischen Industrie mit möglichst wenigen chemischen Grundstoffen zu realisieren. Denn bei wenigen Grundstoffen ist eine effektive Rückgewinnung in großem Maßstab möglich und auch ökonomisch sinnvoll.

#### **Nachhaltige Weiterverarbeitung**

Die Produkte der chemischen Industrie werden in der verarbeitenden Industrie zu Produkten für den Endverbraucher weiterverarbeitet, wobei vielfach organische Lösungsmittel eingesetzt werden,

die als flüchtige organische Verbindungen (VOCs) an die Atmosphäre abgegeben werden. In Deutschland waren dies im Jahr 1988 1,197 und 1995 1,090 Millionen Tonnen. Einerseits ist dies eine große Ressourcenverschwendung und andererseits eine wesentliche Ursache für die Bildung des troposphärischen Ozons, das zum Sommersmog beiträgt. Die Gesamtemission an VOCs, die unter anderem den Verkehrsbereich einschließt, muss bis zum Jahr 2010 von 3,241 Millionen Tonnen im Jahr 1988 auf 0,995 Millionen reduziert werden. Aufgrund der im durch die gesetzliche Einführung des Abgaskatalysators bereits erreichten Emissionsminderungen ist die Lösungsmittelverwendung – überwiegend in der verarbeitenden Industrie – inzwischen für mehr als der Hälfte der Gesamtemissionen verantwortlich.

Die Hauptemissionen werden bei der Lack-, Druckfarben- und Klebstoffverarbeitung verursacht. Die Bereitstellung von chemischen Produkten, die ohne die Verwendung und Freisetzung von VOCs weiterverarbeitet werden können, ist eine keineswegs triviale, sondern auf hohem Innovationsniveau liegende Herausforderung für die Chemie. Größere Erfolge in diesem Bereich wären ein wichtiger Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung. Dieser Beitrag würde noch erhöht, wenn diese Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen umweltverträglich produziert und auch unproblematisch entsorgt werden könnten.

Es gibt VOC-freie petrochemisch basierte Lacksysteme, die durch UV-Bestrahlung gehärtet werden. Wir haben einen entsprechenden Lack auf Basis von Leinöl eingeführt. Zum Vergleich der beiden Lacke wurde ein Ökobilanz erstellt, die deutliche Vorteile für den nachwachsenden

den Rohstoff Leinöl zeigt. Der kumulierte Energiebedarf, die CO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Emissionen sind jeweils beinahe eine Größenordnung kleiner. Dieses ist ein erstes Beispiel dafür, dass der Faktor 10 tatsächlich möglich ist.

### Ausblick

Von den dringlichsten Fragen von heute, die in der Agenda 21 angesprochen werden, hat die Chemie – Wissenschaft und Industrie – einige in Angriff genommen, aber noch keine befriedigend und abschließend beantwortet. Es ist dringend geboten, diese Fragen umfassend aufzugreifen und diejenigen Teilaspekte, zu denen die Chemie etwas beitragen kann, wissenschaftlich in interdisziplinärer Kooperation in Angriff zu nehmen. Der stofflich-chemischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe wird dabei eine überraschende Rolle zukommen. \_\_\_\_\_

### Anmerkungen

(1) Report of the United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, 3-14 June 1992; [www.un.org/esa/sustdev](http://www.un.org/esa/sustdev); deutsche Fassung: Umweltpolitik, Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro, Hrsg.: Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn, o. J.

(2) Agenda 21, Kap. 4.18, 16.1a

(3) Biomass Research and Development Technical Advisory Committee: Vision for Bioenergy & Biobased Products in The United States, October 2002; [www.bioproducts-bioenergy.gov/pdfs/BioVision\\_03\\_Web.pdf](http://www.bioproducts-bioenergy.gov/pdfs/BioVision_03_Web.pdf).

(4) Positionspapier der GDCh zum Weltgipfel für Nachhaltige Entwicklung in Johannesburg, [www.gdch.de](http://www.gdch.de)

(5) Siehe die vom Rat für Nachhaltige Entwicklung kürzlich beschlossenen „Perspektiven der Kohle in einer nachhaltigen Energiewirtschaft – Leitlinien einer modernen Kohlepolitik und Innovationsförderung“. ([www.nachhaltigkeitsrat.de](http://www.nachhaltigkeitsrat.de))



### Meine Reaktionsgeschwindigkeit ist am höchsten...

(a)

(b) "Wann meine Reaktionsgeschwindigkeit am schnellsten ist, kann ich nicht genau spezifizieren, weil ich überwiegend zeitnah agiere. Am langsamsten jedenfalls, ist sie bei Beantwortung dieser Frage".

### Zu den Autoren

(a) Jürgen O. Metzger, geb. 1940, studierte Chemie in Tübingen, Erlangen, Berlin und Hamburg, wurde 1970 in Hamburg promoviert und 1983 in Organischer Chemie an der Universität Oldenburg habilitiert. Dort ist er heute Hochschuldozent für Organische Chemie. 1994 erhielt er den August-Claas-Forschungspreis „Nachwachsende Rohstoffe“.

(b) XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

### Kontakt

Prof. Dr. Jürgen O. Metzger

Fachbereich Chemie

Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

Postfach 2503

D-26111 Oldenburg

Fon ++49/(0)441/798-37 18, Fax -33 29

E-Mail [juergen.metzger@uni-oldenburg.de](mailto:juergen.metzger@uni-oldenburg.de)

[www.chemie.uni-oldenburg.de/oc/metzger](http://www.chemie.uni-oldenburg.de/oc/metzger)

Dr. Marco Eissen

Laboratory of Technical Chemistry

Safety & Environmental Technology Group

ETH-Hoenggerberg HCI G138

CH-8093 Zürich