

NACHHALTIGE CHEMIE



Positionen und Kriterien
des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber: Umweltbundesamt
Pressestelle
Postfach 1406, 06813 Dessau-Roßlau

E-Mail: pressestelle@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Stand: März 2009

Gestaltung: UBA

Titelbild: ©Olivier / Fotolia.de
Bilder: Fotolia.de

Inhaltsverzeichnis

Prolog	4
1. Was ist Nachhaltige Chemie?	5
2. Stellenwert der chemischen Industrie als Branche	7
3. Warum befasst sich das Umweltbundesamt mit Nachhaltiger Chemie?	9
4. Handlungsfelder der Nachhaltigen Chemie in der Wertschöpfungskette	10
4.1. Handlungsfeld: nachhaltige Produktion und Verarbeitung	10
4.1.1. Nutzung nachwachsender Rohstoffe	12
4.1.2. Prozessoptimierung	13
4.1.3. Innovative Technikansätze	14
4.2. Handlungsfeld: Chemikalien und Produkte	20
4.2.1. REACH als Baustein zur Nachhaltigen Chemie	23
4.2.2. Gefährliche Chemikalien und inhärente Chemikaliensicherheit	24
4.2.3. Anforderungen an Produkte	26
5. Maßnahmen, um eine Nachhaltige Chemie einzuführen und zu verbreiten	28
5.1. Strategien zur Einführung einer Nachhaltigen Chemie	28
5.2. Rolle der Wissenschaft, Ausbildung und Erziehung	30
5.3. Rolle des Managements und der Managementkonzepte	32
5.3.1. Chemikalienleasing	32
5.3.2. Managementsysteme für eine nachhaltige Chemiebranche	34
6. Nachhaltigkeit im globalen Chemikalienmanagement	36
7. Fazit	39

Prolog

Die natürlichen Ressourcen der Erde sind begrenzt. Seit mehreren Jahren zeigt sich, dass sich die Vorräte der Erde erschöpfen. Die Meere sind überfischte; Nahrungsmittel und Trinkwasser werden knapper. Fruchtbare Böden erodieren oder versalzen, und die Besiedlung lässt landwirtschaftliche Produktionsflächen schrumpfen. Die weltweit stetig wachsende Bevölkerung und die damit steigende Zahl der „Umweltnutzer“ erhöhen zudem den Druck auf die vorhandenen Ressourcen¹. Die Kapazitäten der Umwelt, Schadstoffe aufzunehmen und abzubauen, reichen nicht mehr aus. Dies zeigt die Notwendigkeit, auf globaler und regionaler Ebene nachhaltige Konzepte und Lösungen zu finden, um diesem Trend entgegen zu wirken.

Das Umweltbundesamt (UBA) fördert seit einigen Jahren kontinuierlich Ansätze zur nachhaltigen Entwicklung. Im Jahre 1997 entwickelte das UBA die vier Managementregeln der Enquête-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung“ des Deutschen Bundestages² weiter, mit denen „ein Leben und Wirtschaften im Rahmen der Tragfähigkeit des Naturhaushaltes“ möglich ist. Das UBA formulierte³:

1. Die Nutzung einer Ressource darf auf Dauer nicht größer sein als ihre Regenerationsrate oder die Rate der Substitution all ihrer Funktionen.
2. Die Freisetzung von Stoffen darf auf Dauer nicht größer sein als die Tragfähigkeit der Umweltmedien oder als deren Assimilationsfähigkeit.
3. Gefahren und unvermeidbare Risiken für den Menschen und die Umwelt durch anthropogene Einwirkungen sind zu vermeiden.
4. Das Zeitmaß anthropogener Eingriffe in die Umwelt muss in einem ausgewogenen Verhältnis zu der Zeit stehen, die die Umwelt selbst zur stabilisierenden Reaktion benötigt.

Eng damit verbunden ist das Leitbild der „dauerhaften umweltgerechten Entwicklung unter Einbeziehung des Vorsorgeprinzips“, das der Rat der Sachverständigen für Umweltfragen (SRU) in seinem 1994 publizierten Umweltgutachten⁴ entwarf. Darin heißt es, dass *Nachhaltigkeit* und *Vorsorgeprinzip* die Vorgaben für einen verantwortungsbewussten Umgang mit natürlichen Ressourcen sind. Das Leitbild *Nachhaltigkeit* zielt darauf, Ressourcen langfristig und in globalem Maßstab ökologisch, ökonomisch und sozial verträglich zu erhalten. Das *Vorsorgeprinzip* hat das Ziel, Handlungsspielräume auch dann zu erhalten, wenn das Wissen über die komplexen und vernetzten Systeme in der Umwelt noch unvollständig ist. So fordert auch das Umweltbundesamt, dass eine nachhaltige Entwicklung nur unter dem Grundsatz der Vorsorge möglich ist. Dazu gehört nicht nur der Schutz der Ökosysteme, sondern ist auch verbunden, die Lebensqualität zu erhalten, ressourcenschonend und fair zu wirtschaften und gesellschaftliche Entwicklungen sozial gerecht und mit allen gesellschaftlichen Interessengruppen zu gestalten.

¹ Umweltbundesamt - Beiträge zur nachhaltigen Entwicklung: Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Erich Schmidt Verlag, 2002.

² Abschlussbericht der Enquête-Kommission: Empfehlungen zum "Schutz der Menschen und der Umwelt" umsetzen; <http://dip.bundestag.de/btd/13/112/1311200.pdf>

³ „Handlungsfelder und Kriterien für eine vorsorgende nachhaltige Stoffpolitik am Beispiel PVC“, Umweltbundesamt – Beiträge zur nachhaltigen Entwicklung, Erich-Schmidt Verlag, Berlin 1999; UBA 1997/1: „Nachhaltiges Deutschland – Wege zu einer dauerhaft umweltgerechten Entwicklung“ Erich-Schmidt Verlag, Berlin 1997

⁴ SRU Umweltgutachten 1994 - Für eine dauerhaft umweltgerechte Entwicklung. Februar 1994. Stuttgart: Metzler-Poeschel, 1994.

Konkret bedeutet das, nicht erneuerbare Naturgüter wie Mineralien oder fossile Energieträger nur in dem Umfang zu nutzen, wie ihre Funktionen durch andere Materialien oder Energieträger sich ersetzen lassen. Die Nutzung erneuerbare Ressourcen muss an ihrer Regenerationsrate ausgerichtet sein. Stoffe oder Energie werden dauerhaft nur so weit freigesetzt oder verbraucht, wie Ökosysteme sie aufnehmen oder sich daran anpassen können. Gefahren und unverantwortbare Risiken für die menschliche Gesundheit - einschließlich noch ungeklärter Wechselwirkungen - sind zu vermeiden.

Das UBA folgt diesem Anspruch einer nachhaltigen Entwicklung auch in dem **Bereich des nachhaltigen Chemikalienmanagements**. Bereits 1999 veröffentlichte das UBA seine Vorstellungen von einer vorsorglichen und nachhaltigen Stoffpolitik⁵. Das Thema ist vielfältig, da viele Akteure aus Industrie, Behörden und Politik bei der Herstellung, Verarbeitung und Verwendung von Chemikalien beteiligt sind.

Abb. 1: Chemikalien in Laborgefäßen: Ausgangsstoffe für viele Produkte und an vielen Prozessen beteiligt⁶



Das vorliegende Dokument informiert über verschiedene Aspekte einer Nachhaltigen Chemie aus Sicht des Umweltbundesamtes sowie über Handlungsfelder und Lösungsansätze, um die Ziele einer Nachhaltigen Chemie in Deutschland und weltweit zu erreichen.

1. Was ist Nachhaltige Chemie?

Das Konzept der Nachhaltigen Chemie ist eine Perspektive für die Chemiebranche in Deutschland. Ziel ist, vorsorgenden Umwelt- und Gesundheitsschutz - unter Nutzung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse - mit einer innovativen ökonomischen Strategie

⁵ „Handlungsfelder und Kriterien für eine vorsorgende nachhaltige Stoffpolitik am Beispiel PVC“, Umweltbundesamt – Beiträge zur nachhaltigen Entwicklung, Erich-Schmidt Verlag, Berlin 1999.

⁶ Abbildung: Umweltbundesamt

zu verbinden. Diese Strategie soll zu mehr wertschöpfungsstarker Beschäftigung führen. Gleichzeitig soll die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Chemieindustrie gewahrt bleiben und sich verbessern.

Forschung und Entwicklung sind die notwendige Basis für Innovationen. In dieser Hinsicht treiben wissenschaftliche Fachgesellschaften Nachhaltige Chemie konzeptionell und inhaltlich voran. Nachhaltige Chemie ist ein breit angelegtes Thema, das für Akteuren aus Wissenschaft, Wirtschaft, Behörden sowie Umwelt- und Verbraucherschutzverbänden gleichermaßen wichtig ist.

Die Vielfalt der Akteure macht deutlich, dass das Konzept der Nachhaltigen Chemie mehrere Handlungsfelder einbindet. Es gibt verschiedene Ansätze, welche Ziele sich eine Nachhaltige Chemiepolitik setzen muss. Ein bekanntes Beispiel sind die zwölf Prinzipien für eine „Green Chemistry“ nach *Anastas* und *Warner*⁷ aus dem Jahre 1998 (siehe Anhang 1). Auf europäischer Ebene bringen die zwölf Leitgedanken zum Stand der besten verfügbaren Technik im Anhang IV der Richtlinie zur Integrierten Vermeidung und Verminderung von Umweltverschmutzungen (IVU-Richtlinie)⁸ den Anspruch an eine Nachhaltige Produktion - besonders für die Chemiebranche – in ähnlicher Weise zum Ausdruck (siehe Anhang 2).

Das UBA erarbeitete - zusammen mit der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) - Kriterien für eine Nachhaltige Chemie in einem Workshop zur Nachhaltigen Chemie im Jahre 2004⁹.

Generelle Prinzipien für eine Nachhaltige Chemie sind demnach:

- **qualitative Entwicklung: ungefährliche Stoffe oder - wo dies nicht möglich ist - Stoffe mit geringer Gefährlichkeit für Mensch und Umwelt einsetzen und ressourcenschonend produzierte sowie langlebige Produkte herstellen;**
- **quantitative Entwicklung: Verbrauch natürlicher Ressourcen verringern, die möglichst erneuerbar sein sollten; Emissionen oder Einträge von Chemikalien oder Schadstoffen in die Umwelt vermeiden oder – falls dieses nicht möglich sein sollte - diese verringern; solche Maßnahmen helfen, Kosten zu sparen;**
- **umfassende Lebenswegbetrachtung: Analyse von Rohstoffgewinnung, Herstellung, Weiterverarbeitung, Anwendung und Entsorgung von Chemikalien und ausgedienter Produkte, um den Ressourcen- und Energieverbrauch zu senken und gefährliche Stoffe zu vermeiden;**
- **Aktion statt Reaktion: Bereits bei der Entwicklung und vor der Vermarktung von Chemikalien vermeiden, dass diese während ihres Lebenswegs Umwelt und menschliche Gesundheit gefährden und die Umwelt als Quelle oder Senke überbeanspruchen; Schadenskosten und damit wirtschaftliche Risiken der Unternehmen und Sanierungskosten für den Staat vermindern;**
- **wirtschaftliche Innovation: nachhaltige Chemikalien, Produkte und Produktionsweisen schaffen Vertrauen bei industriellen Anwendern, privaten Konsu-**

⁷ Anastas, P. T.; Warner, J. C. *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press: New York, 1998, p.30. Oxford University Press from ACS Green Chemistry Institute Webpage

⁸ Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung; ABl. L 257 vom 10.10.1996, S. 26

⁹ „*International Workshop on Sustainable Chemistry – Integrated Management of Chemicals, Products and Processes*“, gemeinsamer Workshop von Umweltbundesamt, OECD, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit vom 27. bis 29. Januar 2004 in Dessau; <http://www.gdch.de/taetigkeiten/nch/inhalt/jg2004/dessau.pdf>

mentinnen und Konsumenten sowie staatlichen Kunden und erschließen damit Wettbewerbsvorteile.

2. Stellenwert der chemischen Industrie als Branche

Der Chemiesektor zählt zu den wichtigsten und innovativsten Branchen in Europa. Wesentliche Stoffflüsse nehmen hier ihren Anfang. Die deutsche Chemieindustrie hatte im Jahr 2006 - wie in den Vorjahren - ein positives Produktionswachstum mit einem Zuwachs um sechs Prozent - bezogen auf den Gesamtumsatz¹⁰. Dabei waren sowohl die Produktionen der Pharmahersteller als auch der Grundstoffproduzenten am erfolgreichsten. Im Vergleich zum Vorjahr wuchs 2006 die Produktion von Fein- und Spezialchemikalien besonders deutlich von 0,7 Prozent auf 5,6 Prozent⁵. Auch international stehen deutsche Chemieunternehmen im Jahr 2006 mit einem Umsatzanteil am Weltmarkt von 7,4 Prozent gut da. Zwar überholte China in den letzten Jahren Deutschland und auch Japan; Deutschland liegt aber nach den USA, Japan und China in der Umsatzstärke auf dem vierten Platz im globalen Wettbewerb der Chemiebranche⁵. Diese Eckdaten machen die Wirtschaftskraft der Branche deutlich. Deutschland ist als in Europa führender Chemiestandort besonders gefragt nachhaltige Konzepte zu entwickeln und umzusetzen.

Die Chemikalienanwendung und die Chemikalienproduktion waren eine wesentliche Quelle für hohe Belastungen der Umwelt und der menschlichen Gesundheit. Die Branche machte in den vergangenen zwei Jahrzehnten erhebliche Anstrengungen, um diese Situation und das - im Wesentlichen durch Störfälle und Funde gefährlicher Stoffe in verbrauchernahen Produkten und Erzeugnissen entstandene - negative Image zu verbessern. Diese Initiativen sind jedoch nur teilweise als ein Erfolg aktiver und vorausschauender Selbstverantwortung der chemischen Industrie zu verstehen. Diese folgte vielmehr auch dem Druck der erheblichen Probleme, die in der Umwelt, am Arbeitsplatz und bei den Verbraucherinnen und Verbrauchern als Folge des Umgangs mit Chemikalien auftraten. Nicht zuletzt aus der daraus folgenden gesellschaftlichen Aufmerksamkeit begründet sich die über Jahre gewachsene hohe Regeldichte zur Chemikaliensicherheit. Die REACH-Gesetzgebung¹¹ und die IVU-Richtlinie¹² der Europäischen Union bilden gemeinsam einen wichtigen und notwendigen Rahmen, um Sicherheit in der Chemiebranche herzustellen. Die Eigenverantwortung der Chemieindustrie stieg in den vergangenen Jahren erkennbar. Dies ist bei der Beantwortung der Frage zu berücksichtigen, ob die vorhandene Gesetzgebung ausreicht, um ein nachhaltiges Chemikalienmanagement und einen produktionsintegrierten Umweltschutz zu gewährleisten oder andere Instrumente wichtiger und geeigneter sind.

Nachhaltigkeit in der Chemie bedarf - aufbauend auf gesetzlichen Anforderungen - einer zusammenfassenden, das heißt integrierten Konzeption. Die betroffenen Unternehmen, ihre Verbände, ihre Kunden, die Umwelt- und Verbraucherschutzverbände sowie Wissenschafts- und Behördenvertreter müssen gemeinsam eine innovative und den Nachhaltigkeitszielen verpflichtete Entwicklung voranbringen.

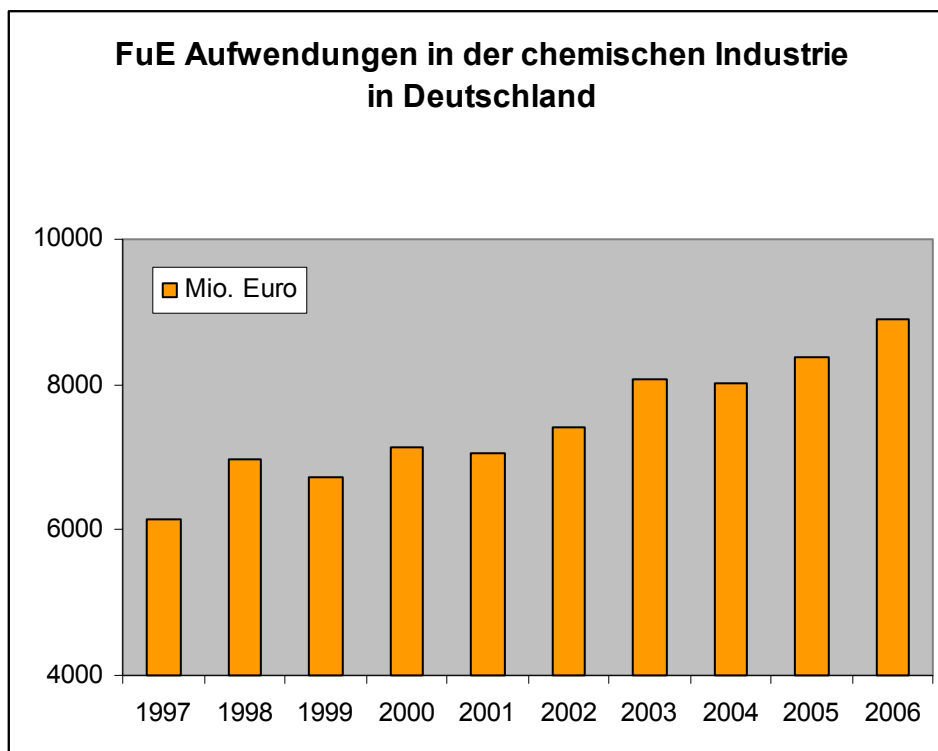
¹⁰ Broschüre „Chemiewirtschaft in Zahlen 2007“, Verband der chemischen Industrie (VCI); www.vci.de

¹¹ Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des EP und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH); Official Journal of the European Community L 396 (2006)

¹² Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung; ABl. L 257 vom 10.10.1996, S. 26

Die meisten deutschen Chemieunternehmen nahmen die Herausforderung zur Innovation offenbar an und erhöhten ihre Investitionen in Forschung und Entwicklung in den vergangenen Jahren deutlich (Abb. 2). In der Chemiebranche belief sich der Anteil der Forschung und Entwicklung im Jahr 2006 am Gesamtumsatz auf 5,4 Prozent. Damit gehört die Chemieindustrie zu den forschungsintensivsten Branchen in Deutschland. Das zeigen auch die Zahlen der in Forschung und Entwicklung tätigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter¹³. Die chemische Industrie¹⁴ berichtet die Zahl der in Forschung und Entwicklung Beschäftigten in der deutschen chemisch-pharmazeutischen Industrie in den 90er Jahren als rückläufig und seit dem Jahr 2001 als etwa konstant bis leicht steigend. Im Jahr 2005 waren rund 41.000 Personen in den Forschungs- und Entwicklungsabteilungen der deutschen Chemieindustrie beschäftigt. Großunternehmen setzen in ihren Entwicklungsstrategien offensichtlich auf starke Marken (*Brands*), denen die Industriekunden in Qualität und Sicherheit vertrauen. Umsatzstark sind auch einige Produkte, die erst wenige Jahre am Markt sind. Der sich rasch entwickelnde Markt zwingt zu raschen Anpassungen für die Unternehmen. Die Innovationstätigkeit der Unternehmen betrifft drei Gebiete: Innovationen in Produkte, Innovationen in Kunden- und Marktbeziehungen sowie Innovationen in Prozesse und Organisation¹⁵.

Abb. 2: FuE-Aufwendungen in der chemischen Industrie in Deutschland (1997-2006)¹⁶



¹³ Rede der Bundesministerin für Bildung und Forschung Dr. Annette Schavan, anlässlich der Eröffnung der AICHEMA 2006; http://www.bmbf.de/pub/mr_20060514.pdf

¹⁴ Eckdaten zu Forschung, Entwicklung und Bildung in der chemischen Industrie, Verband der Chemischen Industrie (VCI), Stand: August 2007; Seite 8

¹⁵ Lehner, U. Henkel: „Marken schaffen Vertrauen“, Chemanager 1/2007

¹⁶ Chemiewirtschaft in Zahlen 2006, Seite 90, VCI 2006

Die Dauer der Innovationszyklen verkürzte sich in den vergangenen Jahren, was einerseits einen hohen Druck auf die Unternehmen ausübt, es ihnen andererseits ermöglicht, erfolgreich zunehmend sichere Anwendungen für Umwelt und menschliche Gesundheit auf den Markt zu bringen. Dies ist auch eine Chance für mehr Nachhaltigkeit in der chemischen Produktion und in chemischen Produkten. Ein wachsender Anspruch der Kunden und der Öffentlichkeit auf sichere und risikoärmere Produkte führt zu einer besseren Ausnutzung natürlicher Ressourcen. So lassen sich zum Beispiel die Ausbeuten von Synthese- und Verarbeitungsverfahren erhöhen oder die Zahl von Synthesestufen verringern. Damit ergeben sich für innovative Unternehmen ökonomische Vorteile. Der Anbau nachwachsender Rohstoffe kann Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit positiv verbinden, wenn soziale und ökologische Verträglichkeit berücksichtigt werden (siehe Kapitel 4.1.1. Nutzung nachwachsender Rohstoffe).

Insgesamt stärkt ein ressourcensparendes Wirtschaften die Konkurrenzfähigkeit der deutschen Chemiebranche und hat positive Auswirkungen auf die Beschäftigung. Innovation bedeutet jedoch nicht zwangsläufig mehr Nachhaltigkeit. Alle Akteure in der Wertschöpfungskette müssen sich darüber verständigen, dass Nachhaltigkeitsziele die Entwicklungsrichtung der Innovationen bestimmen müssen. Ein Zusammenwirken der Beteiligten und eine intensive Kommunikation in den Wertschöpfungsketten sind wichtig, um eine Verständigung über Nachhaltigkeitsziele zu erreichen und der Nachhaltigkeit den ihr gebührenden Stellenwert als Entwicklungs- und Innovationsziel zu geben. Hier herrscht noch deutlicher Nachholbedarf.

Fazit: Langfristige wirtschaftliche Erfolge für Unternehmen stellen sich nur mit innovativen Produkten und Techniken ein, die auch sicher, risikoarm und ressourcenschonend sind. Die Chemiebranche mit ihrer überdurchschnittlichen Innovationskraft hat dazu sehr gute Voraussetzungen. Schnelle Innovationszyklen bieten der Branche die Chance, sichere Alternativen für Umwelt und Gesundheit rasch zu etablieren. Wo die Produktlebenszyklen lang sind, müssen auch die Verwertungszyklen ausgedehnt werden.

3. Warum befasst sich das Umweltbundesamt mit Nachhaltiger Chemie?

Früher stuften viele Vertreterinnen und Vertreter der Industrie - auch aus der Chemiebranche – Forderungen nach mehr Gesundheits- und Umweltschutz als unangemessene wirtschaftliche Belastung ein. Auch das Umweltbundesamt sah sich mit dieser These konfrontiert. Einige Industrie-Vertreter nahmen das UBA sogar als Gegner wahr. Dies änderte sich. Heute begreift man zunehmend, dass Investitionen in Umwelt- und Gesundheitsschutz nicht in Widerspruch zum Unternehmensziel - nämlich Gewinne zu erzielen - stehen, sondern die Zukunft sichern und die Firmen konkurrenzfähig halten.

Es ist ein Ziel des UBA, negative Wirkungen der Produktion chemischer Erzeugnisse sowie ihrer Verarbeitung und Anwendung auf Mensch und Umwelt vermeiden zu helfen. Soweit Produkte und Verfahren weniger natürliche Ressourcen verbrauchen, führt dies zu Entlastungen für die Umwelt und gleichzeitig zu Kostenersparnissen für die Unternehmen. Die chemische Industrie entwickelt viele neue Umwelttechniken und trägt so zur führenden Stellung Deutschlands auf diesem Gebiet bei¹⁷. Damit wird deutlich, dass das UBA und die Industrie auf vielen Gebieten gemeinsame Ziele verfolgen.

Für Fortschritte zu einer Nachhaltigen Chemie ist ein transparenter Dialog mit den Unternehmen der chemischen Industrie, den Verarbeitern und Anwendern ihrer Chemika-

¹⁷ „Wirtschaftsfaktor Umwelt – Innovation, Wachstum und Beschäftigung durch Umweltschutz“ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, März 2006

lien und Produkte sowie der wissenschaftlichen Fachöffentlichkeit und anderen gesellschaftlichen Akteuren – etwa aus Umweltschutz-, Verbraucher- und Wirtschaftsverbänden - anzustreben. Das UBA kann hier Initiativen vermitteln und anstoßen. Dazu gehört ein Informationstransfer zwischen Wissenschaft, Industrie und Politik. Netzwerke sind zu fördern, um den Unternehmen konkrete Beispiele bekannt zu machen.

Nachhaltige Chemie ist aus Sicht des UBA ein wichtiger Beitrag zu einer umweltgerechten Innovationspolitik, die gleichzeitig Umwelt und Gesundheit schützt. Das UBA bietet an, Forum für Akteure zu sein, um Ideen und Ansätze für eine Nachhaltige Chemie auszutauschen, Gestaltungsansätze zu entwickeln und ein gemeinsames Verständnis über Ziele wachsen zu lassen.

4. Handlungsfelder der Nachhaltigen Chemie in der Wertschöpfungskette

Nachhaltige Chemie befasst sich mit dem gesamten Lebensweg der Chemikalien, das heißt mit der Herstellung, einschließlich der Rohstoffe und deren Verarbeitung, der Anwendung der Produkte und ihrer Entsorgung.

Ziele für eine Nachhaltige Chemie sind hierbei:

- schädliche Emissionen in Gewässer, Böden, in den Innenraum und in die Atmosphäre zu vermeiden oder zu verringern und
- Ressourcen in Form von Materialien und Energie in geringst möglichem Umfang zu beanspruchen

Die Handlungsfelder für eine Nachhaltige Chemie sind miteinander vernetzt. Grundsätzlich kann man zwei Bereiche identifizieren:

- a) nachhaltige Produktion und Verarbeitung sowie**
- b) Chemikalien und Produkte**

4.1. Handlungsfeld: nachhaltige Produktion und Verarbeitung

Das UBA bewertet chemische Produktionsverfahren gemäß der Kriterien des Anhangs IV der IVU-Richtlinie¹⁸ mit Blick auf ihre Umweltentlastungspotenziale und schlägt Techniken zur integrierten Vermeidung und Minderung der Umweltverschmutzung vor. Innovationen sind erforderlich, um den Stand der besten verfügbaren Technik (BVT)¹⁹ weiter zu entwickeln. Der Stand der besten verfügbaren Techniken ist für spezielle Bereiche der chemischen Industrie²⁰ und für branchenübergreifende Aspekte²¹ in so genannten BVT-Merkblättern (BREF²²) beschrieben. Diese entstehen innerhalb eines EU-weiten Informationsaustauschs zwischen Behörden, Unternehmen und ihren Verbänden sowie Umweltverbänden. Die BVT-Merkblätter sind EU-einheitlich bei der Genehmigung der Industrieanlagen zu berücksichtigen.

¹⁸ Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung; ABl. L 257 vom 10.10.1996, S. 26

¹⁹ Stand der besten verfügbaren Technik = BVT; Best Available Techniques = BAT

²⁰ BVT-Merkblätter zur Herstellung anorganischer und organischer Grund- und Spezialchemikalien, von Polymeren, zur Chloralkaliindustrie, Abwasser- und Abgasbehandlung/-management in der chemischen Industrie, anlagenübergreifend für diese Branche, <http://www.bvt.umweltbundesamt.de/>

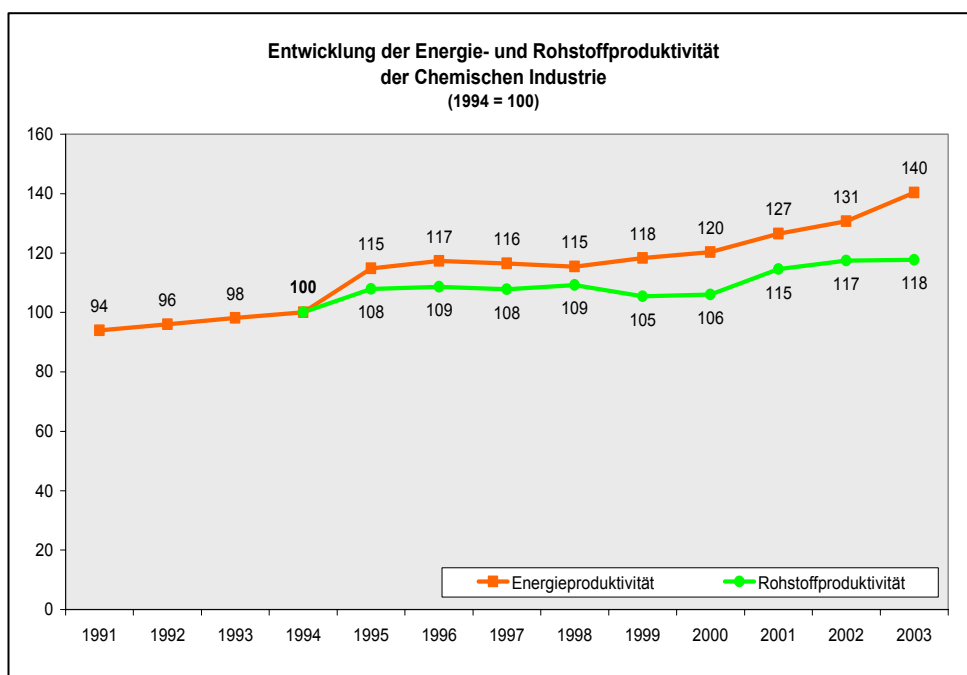
²¹ BVT-Merkblätter für industrielle Kühlsysteme, Lagerung gefährlicher Substanzen und staubender Güter, allgemeine Überwachungsgrundsätze (Monitoring), ökonomische und medienübergreifende Effekte; ein Entwurf liegt vor für ein BVT-Merkblatt zur Energieeffizienz

²² Best Available Techniques Reference Documents (Beste verfügbare Technik = BVT-Merkblätter)

Für die chemische Industrie ermittelten Arthur D. Little et al.²³ ein erhebliches Potenzial zur Materialeffizienz in mittelständischen Unternehmen (Abb. 3). Chemiegroßunternehmen der Grundstoffproduktion nutzen dieses Potenzial als rohstoffnahe Branche heute bereits besser als früher. Um chemische Produktions- und Verarbeitungsprozesse insgesamt mehr in Richtung Nachhaltigkeit zu gestalten, sind

- die Produktionsprozesse und Techniken weiter zu entwickeln und
- innovative Technikansätze einzusetzen.

Abb. 3: Entwicklung der Rohstoff- und Energieproduktivität in der chemischen Industrie (1991-2003)²⁴



Herstellungs- und Verarbeitungsverfahren der Chemieproduktion sind nachhaltig, wenn sie wenig Energie- und stoffliche Ressourcen verbrauchen. Entwickler und Hersteller sollten zum Beispiel zunehmend die Vorsyntheseleistung der Natur berücksichtigen. Die Prozesse werden effizienter und der Energieverbrauch sinkt durch weniger Syntheseschritte, die nicht mehr in der Papierverwertung genutzt werden. Die (Öko-)Toxizität²⁵ der Prozesschemikalien soll so gering wie möglich sein. Emissionen und Abfall sind zu vermeiden oder zu verringern. Nachwachsende Rohstoffe und Abfälle sind – bei günstigerer Kohlendioxid-Bilanz gegenüber herkömmlichen Ressourcen – als Rohstoffe in den Prozessen vermehrt zu

²³ Arthur D. Little, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung Fh-ISI, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, Abschlussbericht, Studie zur Konzeption eines Programm für die Steigerung der Materialeffizienz in mittelständischen Unternehmen, 2005, <http://www.materialeffizienz.de/dateien/fachartikel/studie-anlage.pdf>

²⁴ Statistisches Bundesamt, Berechnungen des UBA

²⁵ Ökotoxizität beschreibt die Gefährdung einer Chemikalie auf die Umwelt, insbesondere auf die darin lebenden Lebewesen und Lebensgemeinschaften

nutzen. Ein wichtiges Element der Nachhaltigkeit in der Chemie ist ferner, die Anlagen störfallsicher zu errichten und zu betreiben.

4.1.1. Nutzung nachwachsender Rohstoffe

Früher war die Hauptrohstoffquelle der chemischen Industrie Kohle, inzwischen ist es Erdöl (77 Prozent Naphtha²⁶, zehn Prozent Erdgas, drei Prozent Kohle²⁷). Nachwachsende Rohstoffe kommen ebenfalls zum Einsatz. Ihr Anteil lag 1991 bei acht Prozent und erhöhte sich bis 2005 auf 10,4 Prozent²⁸. 2 Millionen Tonnen der stofflich genutzten ca. 2,7 Millionen Tonnen nachwachsender Rohstoffe²⁹ nutzt die chemische Industrie, den Rest (0,7 Millionen Tonnen) verarbeitet die papierherstellende und naturfaserverarbeitende Industrie. Öle sind Rohstoffe zum Beispiel für Tenside und Bioschmierstoffe, Stärke oder Polymilchsäure für Biokunststoffe. Aus Fetten und Ölen entstehen Lösemittel und weitere Produkte, wie Vitamine, Aminosäuren, Vorprodukte für Antibiotika oder Polymere.

Der Anbau nachwachsender Rohstoffe kann Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit positiv verbinden, wenn dies unter umwelt- und sozialverträglichen Gesichtspunkten erfolgt, wie

- Erhaltung der natürlichen Fruchtbarkeit von Böden,
- sparsamer Einsatz von Wasser, Pestiziden und Düngemitteln (v. a. Phosphate),
- Schutz vor Bodenerosion,
- Einhaltung von Qualitätszielen für Oberflächengewässer und Grundwasser,
- Erhaltung der Schutzgüter aquatische und terrestrische Biodiversität,
- keine Erschließung unberührter Lebensräume wie den Regenwäldern und
- keine Umwidmung von Anbauflächen zu Lasten der Versorgung der Menschheit mit Nahrungsmitteln.

Zudem ist die Herstellung und Nutzung nachwachsender Rohstoffe für die Energieversorgung nur zu befürworten, wenn sie in der Gesamtbilanz über alle Produktions- und Wirkungsketten einen positiven Mindestbeitrag zum Klimaschutz leistet.

Vorteile vieler Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen sind ihre meist gute biologische Abbaubarkeit und ihre in der Regel geringe (Öko-)Toxizität. Man vermeidet zugleich den Verbrauch fossiler Rohstoffe. Die Verwendung von Naturstoffen nutzt die Syntheseleistung der Natur: Die Naturstoffe werden nur noch extrahiert und nicht mehr in komplexen mehrstufigen Reaktionen aufgebaut. Damit entstehen auch keine große-

²⁶ Eine Fraktion der Erdöldestillation.

²⁷ Hirth, Thomas, Die Natur als chemische Fabrik, GDCh-Workshop Nachhaltige Chemie, 20.03.2007, <http://www.gdch.de/strukturen/fg/hirth.pdf>

²⁸ Peters, Dietmar, Nachwachsende Rohstoffe in der Industrie, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2006

²⁹ Die wichtigsten nachwachsenden Rohstoffe sind derzeit: pflanzliche Öle (800.000 t), tierische Fett (350.000 t), Stärke (640.000 t), Cellulose/Chemiezellstoff (320.000 t), Zucker (240.000 t), Naturfasern (204.000 t); sonstige pflanzliche Rohstoffe (117.000 t). nach: - Auf einen Blick: Umwelt-Gesundheit-Sicherheit; Daten der chemischen Industrie, Stand August 2006; www.vci.de; - Peters, Dietmar, Nachwachsende Rohstoffe in der Industrie, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2006

ren Mengen an Nebenprodukten³⁰. Will man bei Extraktionen den Einsatz organischer Lösemittel vermeiden, kommt man häufig auch mit überkritischem³¹ Kohlendioxid (CO₂) zum Ziel.

Technische Weiterentwicklungen haben zum Ziel, die nutzbaren Stoffgehalte in Pflanzen zu steigern, biologische Abfälle und bisher nicht genutzte Pflanzen und Pflanzenteile als Rohstoffe zu verwerten und die Methoden der Stoffextraktion zu optimieren. Es ist zum Beispiel möglich, Grundchemikalien auf der Basis nachwachsender Rohstoffe zu produzieren. So entwickelte die Firma Solvay mit Glycerin aus der Biodieselproduktion ein Verfahren zur Herstellung des bislang nur petrochemisch herstellbaren Epichlorohydrins³².

Nutzbare Verbindungen sind häufig nur in bestimmten Pflanzenteilen vorhanden. Verfahren zur Biomasseverflüssigung sind geeignet, um einfache Bausteine für die chemische Synthese aus ganzen Pflanzen zu gewinnen. Dieses schont zwar endliche natürliche Ressourcen, die mit diesem Verfahren produzierten Grundchemikalien sind aber nicht notwendigerweise leichter abbaubar oder weniger toxisch.

Nachwachsende Rohstoffe als Grundstoffe für die chemische Industrie sind somit nicht *per se* nachhaltig. Der Anwender muss – wie auch bei biotechnischen Verfahren (siehe auch nachfolgendes Kapitel zur Biotechnik) – prüfen, ob ihr Einsatz mit Vorteilen für die Umwelt verbunden ist. Zudem konkurriert die chemische Industrie mit der Nahrungsmittelproduktion und der Energieerzeugung um land- und forstwirtschaftliche Rohstoffe. Eine Biomasseerzeugung als Ergebnis der Rodung von Wäldern für Plantagen ist mit den Zielen einer nachhaltigen Entwicklung nicht vereinbar, weil dieses Vorgehen Lebensräume zerstört, Treibhausgase freisetzt und Pflanzenschutz- sowie Düngemittel die Umwelt belasten. Zertifikate, die den umwelt- und sozialverträglichen Anbau belegen, würden transparent machen, ob nachwachsende Rohstoffe auch nachhaltig produziert sind.

Insgesamt besteht ein erhebliches Entwicklungspotenzial für die Nutzung der Biomasse in der chemischen Produktion. Zahlreiche Verfahren sind noch nicht ausgereift; die Möglichkeiten zur Nachhaltigen Chemie beizutragen sind jedoch beträchtlich.

4.1.2. Prozessoptimierung

Ressourceneffizienz lässt sich oft mit Prozessoptimierungen verbessern, zum Beispiel mit modernen und automatisierten Prozessleitsystemen. Bereits in der Planungsphase lassen sich die Verfahren computergestützt optimieren³³. So verringert man zum Beispiel das Abfallaufkommen, indem man Fehlchargen schon in der Pilotphase vermeidet³⁴.

³⁰ Der E-Faktor (das Verhältnis von kg Abfall und Nebenprodukte zu kg gewünschtem Produkt) wurde von Sheldon für Pharmazeutika mit 25 ->100, für Feinchemikalien mit 5 - 50 angegeben, Sheldon, R.A., Chem. Tech. 1994, 24(3), 38

³¹ In der Thermodynamik ist der kritische Punkt ein thermodynamischer Zustand eines Stoffes, der sich durch Angleichen der Dichten von flüssiger- und Gasphase kennzeichnet. Die Unterschiede zwischen beiden Aggregatzuständen hören an diesem Punkt auf zu existieren. Die kritische Temperatur ist die Temperatur, unterhalb der ein Gas durch Druck verflüssigt werden kann; oberhalb der kritischen Temperatur ist dies nicht mehr möglich.

³² McCoy, Michael, Glycerin Surplus - Plants are closing, and new uses for the chemical are being found, Chemical & Engineering News, February 2006 Volume 84, Number 6 S. 7

³³ Simulation chemischer Prozesse, cav chemie-anlagen + verfahren, 4/2007, www.cav.de, cav 482

³⁴ Optimal gerührt-Bestimmung der Mischzeit mit Simulationsverfahren, cav chemie-anlagen + verfahren, 5/2007, www.cav.de, cav 468

Einige Hochschulen lehren inzwischen Grundregeln für nachhaltige chemische Synthesen³⁵, zum Beispiel wie man Lösemittel, Hilfsstoffe und Kühlwasser im Kreislauf führt oder alternative Methoden der Energiezufuhr einsetzt - wie Mikrowellen oder Ultraschall.

Die chemische Industrie benötigt Energie in vielfältiger Form: als mechanische Energie, Prozesswärme, Kälte, Druckluft oder in Form hochreinen Wassers. Beispiele für Maßnahmen, den Energieverbrauch zu senken, sind Kraft-Wärme-Kopplung, Wärme-Kraft-Kälte-Kopplung³⁶ sowie stufenlos geregelte Antriebssysteme und Wärmerückgewinnung.

Um die Effizienz der Verfahren zu steigern und die Umwelt bei der Herstellung der Chemikalien zu entlasten, reicht es nicht aus, einzelne Syntheseschritte zu betrachten. Ganze Produktionsverfahren, einschließlich vorgelagerter Produktionsverfahren für Ausgangs- und Hilfsstoffe und die nachgelagerten Verarbeitungsprozesse sind auf Alternativen zu prüfen oder neue Synthesewege zu entwickeln. Mehrstufige Synthesen lassen sich manchmal durch neue, selektive Verfahren³⁷ mit wenigen Reaktionsschritten ersetzen. Dadurch lassen sich natürliche Ressourcen sparen sowie unerwünschte Nebenprodukte vermeiden.

4.1.3. Innovative Technikansätze

Die chemische Industrie entwickelt innovative Techniken, um in Zukunft eine ressourceneffizientere Produktion und Umweltentlastungen zu erreichen. Ansätze dazu sind zum Beispiel die Bio- und die Nanotechnik, selektive Katalyseverfahren und optimierte Trennverfahren. Ferner sind Mikroreakorteknik und Mikrosystemtechnik sowie der Einsatz verfahrensoptimierter Lösemittel zu nennen. Wie sich der spezielle Beitrag der diversen Techniken nutzen lässt, hängt von den Anforderungen an die einzelnen Anwendungen ab.

- **Lösemittel**

Lösemittel (Abb. 4) sind wichtige Hilfsstoffe in der chemischen Synthese. Eine vergleichende Bewertung muss ihren gesamten Lebenszyklus erfassen. Organische Lösemittel sind (öko-)toxikologisch häufig nicht unbedenklich und tragen als flüchtige organische Verbindungen (VOC) zur bodennahen Ozonbildung bei. Chlorierte Lösemittel sind zudem meist persistent³⁸ und in Lebewesen akkumulierend³⁹. Alternativen sind lösemittelfreie Verfahren oder andere Lösemittel - wie Wasser - oder ionische und überkritische Flüssigkeiten⁴⁰ - wie Kohlendioxid.

Ionische Flüssigkeiten sind geschmolzene organische Salze mit niedrigem Schmelzpunkt und sehr geringem Dampfdruck. Sie sind nicht brennbar, gut abtrennbar, und es besteht keine Explosionsgefahr. Reaktionen in diesen Medien laufen häufig selektiv und

³⁵ SUSOR Sustainable Syntheses Optimization Rules, www.oc-praktikum.de/de/articles/pdf/Susor_de.pdf

³⁶ Wärme-Kraft-Kälte-Kopplung erhöht nach Aussage der Energiezentrale der Fa. Schering am Standort Berlin-Wedding den Wirkungsgrad der Anlage entscheidend gegenüber Kraft-Wärme-Kopplung

³⁷ Chemische Verfahren sind selektiv, soweit nur eine Reaktion und keine Nebenreaktionen ablaufen und sich damit ein Reaktionsprodukt bevorzugt bildet.

³⁸ Als Persistenz bezeichnet man in der Biologie und Umweltchemie die Eigenschaft von Stoffen, unverändert durch physikalische, chemische oder biologische Prozesse über lange Zeiträume in der Umwelt zu verbleiben.

³⁹ Bioakkumulierbarkeit ist die Anreicherung von Stoffen in einem Organismus nach der Aufnahme aus der belebten oder unbelebten Umgebung.

⁴⁰ Im Überkritischen Bereich unterscheiden sich Gase und Flüssigkeiten nicht.

mit hoher Ausbeute ab. Über die Wirkungen ionischer Flüssigkeiten auf Mensch oder Umweltorganismen ist jedoch noch wenig bekannt^{41 42}. Untersuchungen zeigen, dass einige ionische Flüssigkeiten (öko-)toxisch nicht weniger wirksam sind als konventionelle organische Lösemittel⁴³. Die Herstellung ionischer Flüssigkeiten ist außerdem häufig energieintensiv, weswegen ein effizientes Recycling der gebrauchten Salze wichtig ist.

Abb. 4: Lösemittel sind wichtige Zusätze in Klebstoffen⁴⁴



Überkritische Flüssigkeiten - etwa überkritisches Kohlendioxid oder Wasser - besitzen ebenfalls ein hohes Lösevermögen, sind rückstandsfrei abtrennbar und effizient rückgewinnbar. Überkritisches Kohlendioxid kommt auch bei Extraktionsverfahren und bei der Reinigung von Textilien zum Einsatz.

- **Optimierte Trennverfahren**

Trennprozesse für die Trennung von Stoffgemischen verbrauchen in der chemischen Produktion mehr als 40 Prozent der Gesamtenergie⁴⁵. Trennverfahren zur Trennung von Stoffgemischen oder zur Reinigung mit gleichzeitiger Stofftrennung während der

⁴¹ Brennecke, J. F.; Maginn, E. J.: Ionic Liquids: Innovative Fluids for Chemical Processing, AIChE Journal, Vol. 47, No.11, (2384-2389), November 2001

⁴² Kralisch, Dana et al., Energetic, environmental and economic balances: Spice up your ionic liquid research efficiency, Green Chem., 2005, 7, 301-309

⁴³ Siehe unter anderem Publikationen des UFT Center for Environmental Research and Environmental Technology, Bremen, Jastorff, B. et al., zum Beispiel: Ranke et al, Biological effects of imidazolium ionic liquids with varying chain lengths in acute *Vibrio fischeri* and WST-1 cell viability assays, Ecotoxicology and Environmental Safety 58 (2004) 396-404

⁴⁴ Abbildung: Umweltbundesamt

⁴⁵ Eissen, Marco et.al, „10 Jahre nach „Rio“ – Konzepte zum Beitrag der Chemie zu einer nachhaltigen Entwicklung“, Angew. Chem. 2002, 114, 402-425

Reaktion - wie Reaktivrektifikation und –extraktion - verringern den Verbrauch an Energie und Material und reduzieren häufig zugleich die Kosten im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren. Ausbeute und Selektivität lassen sich mit weniger aufwändigen Apparaturen und weniger Arbeitsschritten im Vergleich zu bisherigen Verfahren steigern sowie mit einer höheren Störfallsicherheit verbinden.

- **Verbesserte Katalysatoren**

In 80 Prozent der chemischen Verfahren kommen heute Katalysatoren zum Einsatz⁴⁶. Sie machen zum Teil Synthesen erst möglich und beschleunigen sie. Katalysatoren senken den Energiebedarf und vermeiden Abfälle^{47 48}. Es entstehen weniger Nebenprodukte als bei früheren Verfahren, weil die Verfahren gezielter und selektiver ablaufen. Chirale Katalysatoren vermeiden die Bildung von Racematen⁴⁹, bei denen die Enantiomeren⁵⁰-Gemische anschließend aufwändig zu trennen sind⁵¹.

Ein Beispiel ist die von der Degussa AG entwickelte Direktsynthese des Propylenoxid, wobei Propen direkt mit Wasserstoffperoxid reagiert⁵². Das bisher zur Propylenoxidherstellung angewendete Chlorhydrin-Verfahren erzeugt unter hohem Energieeinsatz große Mengen an Abwasser mit hohem Salzgehalt und hohen Emissionen chlororganischer Verbindungen. Ein weiteres Beispiel verbesserter Katalysatortechnik sind metallorganische Katalysatoren (Metallocenkatalysatoren), mit denen sich Polyethen- und -Polypropen-Kunststoffe gezielt in Hinblick auf gewünschte Eigenschaften erzeugen lassen. Diese neuen Kunststoffe können andere material- und energieintensiv produzierte Materialien - wie Polyvinylchlorid, Polycarbonate, Polyaziridine oder Polyimide - ablösen^{53 54}.

⁴⁶ Kadyrov, Renat, Chemiebausteine optimal koppeln, Elements Degussa - Science Newsletter 2007(19) 27

⁴⁷ UBA-Texte 17/03 und 21/04, Marscheider-Weidemann, Dr. F. et al., Abfallvermeidung bei Produktionen für organische Spezialchemikalien durch den Einsatz hochspezifischer Katalysatoren

⁴⁸ Katalyse, Nachrichten aus der Chemie, 53, März 2005, 313-315

⁴⁹ In der Chemie bezeichnet man als ein Racemat (lat.: *acidum racemicum* = Traubensäure, mit der die erste Racemat-Trennung gelang) ein Gemisch von zwei Chemikalien, die vollkommen gleich aufgebaut sind, die sich aber wie Bild und Spiegelbild oder linke und rechte Hand verhalten; sogenannte Enantiomere.

⁵⁰ Enantiomere sind Stereoisomere chemischer Verbindungen, die in ihrer Konstitution übereinstimmen, sie besitzen also die gleiche Summenformel und die Atome sind in gleicher Weise miteinander verknüpft. Da Enantiomere in sämtlichen Stereozentren jeweils die entgegengesetzte Konfiguration besitzen, gibt es theoretisch immer ein (-)- und ein (+)-Enantiomer, von denen in der Natur praktisch aber oftmals nur eines vorhanden ist. Die räumlichen Strukturen eines Enantiomerenpaares verhalten sich zueinander exakt wie Bild und Spiegelbild. Daher nennt man sie auch Spiegelbildisomere.

⁵¹ Die Chiralität bezeichnet die Eigenschaft eines Moleküls, sich von seinem Spiegelbild zu unterscheiden, so dass es nicht durch Drehung mit dem Original zur Deckung gebracht werden kann. Moleküle, die sich wie Bild und Spiegelbild zueinander Verhalten und ansonsten gleich sind, nennt man Enantiomere. Ein Racemat ist das Gemisch beider Enantiomere.

⁵² Pilotanlage zur Direktsynthese von Wasserstoffperoxid läuft erfolgreich, Degussa News vom 09.März 2005, <http://www.degussa.de/degussa/de/innovationen/highlights/>

⁵³ Eissen, Marco et.al, „10 Jahre nach „Rio“ – Konzepte zum Beitrag der Chemie zu einer nachhaltigen Entwicklung“, Angew. Chem. 2002, 114, 402-425

⁵⁴ Rouhi, Maureen; Chiral Chemistry, C&EN, June 13, 2004, page 47-62

- **Nanotechnik**

Nanomaterialien haben in einen Durchmesser kleiner als 100 Nanometer⁵⁵. Ihre Anwendungsbereiche sind vielfältig. So listet ein Verzeichnis in den USA mehr als 600 Produkte mit Nanomaterialien im verbrauchernahen Bereich⁵⁶. Auch auf dem deutschen Markt gibt es bereits viele Nanomaterialien und Nanoprodukte. Zahlreiche weitere sind in der Entwicklung⁵⁷. Man geht davon aus, dass nanotechnische Anwendungen ein hohes Wachstumspotenzial haben⁵⁸.

Die Eigenschaften der Nanomaterialien lassen sich beim Herstellen gezielt steuern. In mehreren Fällen sind mit ihrer Anwendung Umweltentlastungen zu erreichen. So spart eine geringere Beschichtungsdicke Rohstoffe, da weniger Lösemittel und Materialien zum Einsatz kommen^{59 60 61}. Optimierte Bauteile bei Solar- und Brennstoffzellen machen die Energieumwandlung wirksamer. Abgase und Abwässer lassen sich mit nanoporösen Filtern und Membranen effektiv und mit geringem Raumbedarf reinigen. Nanoskalige Katalysatoren erhöhen auch die Ausbeute chemischer Synthesen. Wegen des so genannten Lotuseffekts reinigen sich beschichtete Oberflächen selbst und helfen damit Reinigungsmittel zu sparen. Auf Nanomaterialien basierende Schiffsanstriche sind als Alternativen zu chemisch wirksamen Antifoulinganstrichen in Erprobung.

Allerdings fehlt es noch an Daten zu den Wirkungen der Nanopartikel auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt. Es gibt Hinweise zu toxischen und ökotoxischen Wirkungen der Nanopartikel, da diese - im Gegensatz zu größeren Teilchen - von Körperzellen aufgenommen werden können. Die Untersuchungen sind jedoch noch nicht umfassend genug, um Bewertungen erstellen zu können. Es fehlt auch an Informationen zur Exposition und an standardisierten Verfahren zur Messung der Nanopartikel in Umweltmedien. Dabei ist der gesamte Lebenszyklus - einschließlich der Entsorgung - einzubeziehen. Fachkreise auf nationaler⁶², EU-⁶³ und OECD- Ebene sammeln und bewerten derzeit die Informationen, identifizieren den Forschungsbedarf und entwickeln neue Methoden für die Bewertung der Umwelt- und Gesundheitsrisiken. Die Bundesregierung

⁵⁵ In Anlehnung an die Definition von Paschen, H. et al, TA-Projekt Nanotechnologie. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim deutschen Bundestag, Arbeitsbericht Nr. 92, 2003

⁵⁶ „Project on Emerging Nanotechnologies“ beim Woodrow Wilson International Center for Scholars (Stand 13.03.2008) <http://www.nanotechproject.org/index.php?id=44> oder <http://www.nanotechproject.org/consumerproducts>

⁵⁷ UBA-Texte 10/07, Führ, M. et al., Rechtsgutachten Nano-Technologien – ReNaTe, S. 88-97, März 2007, www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3198.pdf

⁵⁸ Luther, W., Malanowski, N. u. a., Nanotechnologie als wirtschaftlicher Wachstumsmarkt, VDI Technologiezentrum GmbH (Hrsg.) im Auftrag des BMBF; 2004 (Kohlenstoffnanoröhren, Polymer-nanokomposite, Aerogelen, organische Halbleiter, anorganische Nanopartikel) <http://www.nanotruck.de/druck/service/literaturliste.html> oder http://www.nanotruck.de/fileadmin/nanoTruck/redaktion/download/nanotech_als_wachstumsmarkt.pdf

⁵⁹ Steinfeld, M., v. Gleich, A., Petschow, U., Haum, R., Chudoba, T. und S. Haubold: Nachhaltigkeitseffekte durch Herstellung und Anwendung nanotechnologischer Produkte. Schriftreihe des IÖW 177/04.

⁶⁰ Umweltbundesamt, Nanotechnik: Chancen und Risiken für Mensch und Umwelt, August 2006 <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/hintergrund/nanotechnik.pdf>

⁶¹ Oakdene Hollins Ltd im Auftrag des UK Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), Environmentally Beneficial Nanotechnology - Barriers and Opportunities, Mai 2007 <http://www.defra.gov.uk/environment/nanotech/policy/pdf/envbeneficial-report.pdf>

⁶² Forschungsstrategie von Umweltbundesamt, Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) und Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), <http://www.umweltbundesamt.de/technikverfahren-sicherheit/nanotechnologie/index.htm>

⁶³ SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly-Identified Health Risks), 29 March 2007, The appropriateness of the risk assessment methodology in accordance with the Technical Guidance Documents for new and existing substances for assessing the risks of nanomaterials. http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihr/scenihr_cons_04_en.htm,

beteiligt sich ressortübergreifend an der Diskussion über die Chancen und die Risiken der Nanotechnik. Im Rahmen des „NanoDialog 2006-2008“ erörtern Vertreterinnen und Vertreter aus Politik, Wirtschaft, Wissenschaft, Behörden und Verbänden Vor- und Nachteile verschiedener Nanomaterialien für die nachhaltige Entwicklung^{64 65}. Im November 2008 stellt die Kommission ihre Ergebnisse der Öffentlichkeit vor.

Wegen der lückenhaften Informationen über die Risiken empfiehlt das UBA, Nanomaterialien in Produktionsverfahren in geschlossenen Systemen zu führen und bei Produkten in feste Formen einzubinden, um einen direkten Kontakt mit Mensch und Umwelt zu vermeiden.

• **Mikroverfahrenstechnik/ Mikrosystemtechnik**

In der Mikroverfahrenstechnik finden chemische Prozesse in Apparaturen im Mikrometer- oder Millimeterbereich statt⁶⁶. Bei diesen Techniken werden die Reaktoren zur Produktion oder Weiterverarbeitung in kleinster Ausführung angewendet

Mit Mikroreaktortechnik erreicht man - gegenüber herkömmlichen Verfahren - insbesondere für die Produktion von Fein- und Spezialchemikalien^{67 68}:

- eine hohe Selektivität und höhere Ausbeuten im Vergleich zu großdimensionierten Verfahren, vermeidet Nebenreaktionen, verringert den Rohstoffverbrauch, Abfälle und den Energieeinsatz;
- wegen der kontinuierlichen Prozessführung eine größere Sicherheit des Produktionsverfahrens als beim bisherigen Verfahren sowie eine hohe, konstante Produktqualität und
- mit modularen Verfahren eine höhere Flexibilität bei wechselnden Marktanforderungen.

Prognosen gehen davon aus, dass bis zum Jahr 2010 etwa zehn bis 15 Prozent aller Fein- und Spezialchemikalien aus Produktionsverfahren mit Mikroreaktortechnik stammen dürften⁶⁷.

• **Biotechnik**

Die industrielle Biotechnik nutzt biologische Prozesse, um in Bioreaktoren mit Bakterien, Hefen, Schimmelpilzen und den darin enthaltenen Enzymen Chemikalien herzustellen oder zu verarbeiten. Eine mehrstufige chemische Synthese lässt sich bisweilen von einem einstufigen biotechnischen System ablösen. Weiße Biotechnik ersetzt aber nicht nur bestehende Verfahren, sondern man kann vor allem neue, wissen- und wirtschaft-

Bundesumweltministerium, Umweltbundesamt und Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Tagung „Dialog zur Bewertung von synthetischen Nanopartikeln in Arbeits- und Umweltbereichen“; Iku GmbH, Synthetische Nanopartikel, Abschlussbericht November 2005, <http://www.dialog-nanopartikel.de/downloads.html>, Claus, Frank; Lahl, Uwe, Synthetische Nanopartikel – Entwicklungschance im Dialog, UWSF – Z:Umweltchem Ökotox 2006 (OnlineFirst): 3, http://www.dialog-nanopartikel.de/UWSF_Entwicklungschancen.pdf

⁶⁵ Dubbert und Rappolder: Nationale und internationale Aktivitäten zu den Chancen und Risiken der Nanotechnik im Umweltbereich. UMID 2/2007, S. 20-23.

⁶⁶ Glossar zur Mikroverfahrenstechnik, Industrieplattform Mikroverfahrenstechnik – MicroChemTec, <http://www.microchemtec.de/content.php?pagelid=2402>

⁶⁷ „Auf die Plätze... Mikroreaktoren halten Einzug in die Produktion von Feinchemikalien“, Chemie Technik, Nr. 7, 2004

⁶⁸ Kralisch, Dana et al., Assessment of the ecological potential of microreaction technology, Chemical Engineering Science 62 (2007), 1094-1100,

lich interessante Stoffe herstellen. Bei biotechnischen Verfahren arbeitet man gewöhnlich in wässrigem Milieu, bei niedrigen Temperaturen und Normaldruck, so dass man weniger Energie benötigt und das Risiko von Störfällen geringer ist als bei herkömmlichen chemischen Prozessen. Die verwendeten Chemikalien sind für biologische Systeme verträglich und damit meist umwelt- und gesundheitsverträglicher als bei klassisch-synthetischen Verfahren.

Oft kommen nachwachsende Roh- oder Reststoffe als Nährmedien zum Einsatz, zum Beispiel Melasse und Molke⁶⁹. Die katalytischen Eigenschaften der Enzyme ermöglichen die Synthese optisch besonders reiner Produkte⁷⁰. Der Anteil biotechnisch erzeugter Produkte in der chemischen Industrie belief sich nach einer Studie aus dem Jahre 2006 auf fünf Prozent des Gesamtumsatzes. Bis 2010 wird ein Anstieg auf bis zu 20 Prozent prognostiziert⁷¹.

Die ökonomischen und ökologischen Chancen der Weißen Biotechnik⁷² sind groß. Biotechnische Verfahren sind jedoch nicht in jedem Fall umweltverträglicher als klassisch-chemische. Anwender müssen im Einzelfall prüfen, ob mit dem biotechnischen Verfahren wirklich Umweltvorteile einhergehen. So benötigen Reaktionen im wässrigen Milieu oft viel Wasser, und es entstehen große Mengen Abwasser. Der Energiebedarf steigt, wenn die gewünschten Produkte aus verdünnten Lösungen isoliert werden müssen, so dass die Trocknungsanforderungen höher sind. Im Übrigen entstehen auch bei biotechnischen Prozessen Abfälle.

Neue biotechnische Prozesse zielen darauf, Reststoffe und Abfälle zu nutzen und aus Biomasse chemische Grundstoffe sowie Produkte zu entwickeln. Entwicklungsbedarf gibt es für neue Biokatalysatoren, für die Optimierung der Verfahren und für die Aufbereitung der Produkte. Das UBA veranstaltete im Oktober 2006 - gemeinsam mit dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und der Deutschen Industrievereinigung Biotechnologie (DIB) - einen Workshop zu den ökologischen und ökonomischen Vorteilen der „Weißen Biotechnik“⁷³.

Mikroorganismen - ob gentechnisch verändert oder nicht - können bei biotechnischen Prozessen ein Risiko darstellen, wenn sie aus den Behältern entweichen und in die Umwelt gelangen. In der Regel sind diese Risiken jedoch in den geschlossenen Systemen gut beherrschbar.

Gentechnisch veränderte Pflanzen wachsen meist nicht in geschlossenen Systemen, sondern in der freien Natur. Zweifellos sind auch Pflanzen interessante und vielversprechende Bioreaktoren. Die amylosefreie⁷⁴ Kartoffel ist ein Beispiel dafür, wie sich die Grüne Gentechnik für die Rohstoffproduktion nutzen lässt. Dennoch ist der Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen nach wie vor umstritten. Lässt sich nach sorgfältiger

⁶⁹ Hüsing, B. et al.:(2003): Biotechnologische Herstellung von Wertstoffen unter besonderer Berücksichtigung von Energieträgern und Polymeren. UBA-Texte 64/03.

⁷⁰ siehe Fußnote 45

⁷¹ Braun, M., Teichert, O. und Zweck, A.: Übersichtsstudie Biokatalyse in der industriellen Produktion – Fakten und Potenziale zur weißen Biotechnologie. Zukünftige Technologien Consulting Band 57 (Januar 2006)

⁷² Weiße Biotechnik: industrielle Biotechnik, die den Einsatz biologischer Prozesse in technischen Verfahren und industrieller Produktion umfasst.

⁷³ Dubbert, W.und Heine, T. (Hrsg.) Weiße Biotechnologie – Ökonomische und ökologische Chancen. Umweltbundesamt und Deutsche Industrievereinigung Biotechnologie, 2007, http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennummer&Suchwort=3260

⁷⁴ Amylose (griechisch *amylon* = Stärkemehl) ist mit einem Massenanteil von etwa 20–30 Prozent neben Amylopektin Bestandteil der natürlichen, pflanzlichen Stärke, z. B. der Mais- oder der Kartoffelstärke.

Prüfung gemäß Gentechnikgesetz belegen, dass auch langfristige Risiken für Mensch und Umwelt nicht bestehen, so ist aus Sicht des UBA ein Anbau zu verantworten.

Dazu gibt es derzeit noch viele ungeklärte Fragen: Beispielsweise sind die Risiken für die Umwelt, z. B. Wirkungen auf die wildlebende Flora und Fauna als Folge der Ausbreitung der Pflanzen und das Auskreuzen der Transgene⁷⁵ sorgfältig zu prüfen, da mögliche Schäden unumkehrbar sein können. Nach wie vor gibt es große Kenntnislücken zu Langzeit- und Kombinationswirkungen⁷⁶. Darüber hinaus ist die Koexistenz mit nicht gentechnisch veränderten Anbaukulturen noch unzureichend gesichert. Aus Sicht des UBA ist es auch problematisch, gentechnisch veränderte Lebensmittelpflanzen zur biologischen Stoffproduktion zu nutzen, da Verwechslungen nicht vollständig auszuschließen sind. Unter den derzeitigen Bedingungen sieht das UBA deshalb die so genannte grüne Gentechnik nicht als nachhaltig an. Hinzuzufügen ist, dass sich die so genannte grüne Gentechnik in Europa aus UBA-Sicht wegen der mangelnden gesellschaftlichen Akzeptanz auf absehbare Zeit nicht durchsetzen wird.

4.2. Handlungsfeld: Chemikalien und Produkte⁷⁷

Wesentliche Ziele einer vorsorgenden, nachhaltigen Stoffpolitik formulierte das Umweltbundesamt schon im Jahr 1999⁷⁸. Die allgemeinen Handlungsziele sind nach wie vor aktuell:

- kein irreversibler Eintrag persistenter und/oder bioakkumulierender Fremdstoffe in die Umwelt, unabhängig von ihrer Giftigkeit,
- kein Eintrag krebserzeugender, erbgutverändernder oder reproduktionstoxischer Stoffe in die Umwelt,
- keine Freisetzung von Naturstoffen mit den vorgenannten Eigenschaften durch den Menschen, die zu einer Erhöhung der natürlichen Hintergrundbelastung führen,
- Reduktion des Eintrags anderer toxischer oder ökotoxischer Stoffe auf das technisch unvermeidbare Maß,
- Verringern des Eintrags von Stoffen mit unbekanntem Wirkungen, sofern diese nicht aus der Umwelt rückholbar sind.

Das Handlungsfeld „Chemikalien und Produkte“ innerhalb einer nachhaltigen Chemiepolitik zielt darauf, sichere Chemikalien zu verwenden und sichere Bedingungen für den Umgang mit Chemikalien zu schaffen. Dabei soll der Anteil weitgehend eigensicherer

⁷⁵ Transgene Organismen sind Lebewesen, die in ihrem Genom zusätzliche Gene aus anderen Arten enthalten. Diese Art der genetischen Modifikation ist von traditionellen Züchtungsmethoden zu unterscheiden, bei denen auf bestehendem Erbgut und dessen nutzbringender, willkürlicher Selektion von zufällig auftretenden Mutationen aufgebaut wurde.

⁷⁶ Wirkungen von mehreren Stoffen, die sich überschneiden oder gleichzeitig auftreten.

⁷⁷ Das Chemikalienrecht unterscheidet zwischen *Chemikalien* (reinen Stoffen), *Zubereitungen* (Gemischen aus Chemikalien) und *Erzeugnissen*. Bei *Erzeugnissen* wird die Funktion maßgeblich nicht durch den stofflichen Inhalt, sondern durch Form und Gestalt bestimmt. *Zubereitungen* und *Erzeugnisse* werden häufig unter dem Begriff *Produkte* zusammengefasst, der nachfolgend so verwendet wird. Wenn der Begriff *Produktion* verwendet wird, bezieht es sich auf die *Produktion von Chemikalien, Zubereitungen und Produkte*.

⁷⁸ Umweltbundesamt: „Handlungsfelder und Kriterien für eine nachhaltige Stoffpolitik am Beispiel PVC, Erich Schmidt Verlag, Berlin 1999

Chemikalien⁷⁹ besonders in den offenen Anwendungen steigen. Eigensicherheit bedeutet in diesem Zusammenhang, dass

- a) solche Chemikalien möglichst keine oder wenig gefährliche Eigenschaften aufweisen und
- b) unter dieser Voraussetzung bei der offenen Anwendung kein unkalkulierbares Risiko für Mensch oder Umwelt besteht.

Abb. 5: Glas mit einer der wichtigsten Ressourcen unseres Planeten: Wasser⁸⁰



Wenn der Anteil eigensicherer chemischer Stoffe in Produkten steigt, sind auch diese im Endeffekt für Umwelt und Gesundheit sicherer.

Chemikalien und Produkte sollen zudem mit wenigen Ressourcen (Abb. 5) hergestellt werden, das bedeutet (siehe Kapitel 4.1):

- mit hoher Ausbeute und atomökonomisch⁸¹ unter schonenden Bedingungen,
- mit geringem Verbrauch von Energie und Hilfsstoffen und
- mit wenig oder keinem Abwasser- und Abfallaufkommen.

⁷⁹ Eigensicherheit = „inhärente“ Sicherheit von Chemikalien wegen fehlender Risiken und potenziell beeinträchtigender Eigenschaften

⁸⁰ Abbildung: Umweltbundesamt

⁸¹ Bei einer hundertprozentig atomökonomischen Reaktion sind alle Reaktionspartner vollständig im resultierenden Produkt enthalten (Additionsreaktionen und Umlagerungen sind atomökonomisch, Substitutions- und Eliminierungsreaktionen weniger).

Das Umweltbundesamt fordert, Chemikalien nur dann in die Wertschöpfungskette einzubringen, wenn ihre Wirkungen auf Umwelt und menschliche Gesundheit bekannt sind. Die Hersteller und die Weiterverarbeiter werden damit ihrer Verantwortung für einen sicheren Umgang mit den Stoffen gerecht.

Für Produkte gelten diese Kriterien ebenso hinsichtlich ihrer stofflichen Zusammensetzung, die ökologisch und gesundheitlich unbedenklich sein soll. Um dieses zu realisieren, helfen Konzepte zu einem kunden- und nutzungsorientierten Chemikalienmanagement - wie Chemikalienleasing (⁸²siehe auch Kapitel 5.3.1) - sowie zum Energie- und Stoffstrommanagement⁸³ und der Lebenszyklusbewertung⁸⁴. Im produktbezogenen Stoffstrommanagement sind Produkt-Ökobilanzen die Basis. Die Ökobilanz ist nach der Norm ISO 14040⁸⁵ eine „Methode zur Abschätzung der mit einem Produkt verbundenen Umweltaspekte und produktspezifischen potentiellen Umweltwirkungen“. Dieses System analysiert und bilanziert Stoff- und Energieströme eines Produktes über dessen gesamten Lebensweg. Die daraus identifizierten ökologischen Potenziale dienen als Entscheidungshilfen in der strategischen Planung und beim Entwickeln von Produkten. Beispiele dazu sind Lebenszyklusanalysen zu graphischen Papieren oder Getränkemehrwegverpackungen. Zum Energie- und Stoffstrommanagement und zur Lebenszyklusbewertung richtete die Bundesregierung die Deutsche Materialeffizienzagentur (De-mea⁸⁶) ein.

Die chemische Industrie kann mit innovativen Produkten dazu beitragen, natürliche Ressourcen zu sparen. Neue Wärmedämmungsmaterialien mindern den Energieverbrauch, neue Oberflächen helfen Reinigungs-, Trenn- oder Entfettungsmittel einzusparen, neue Rezepturen für Waschmittel senken den Energieverbrauch beim Waschen. Mit Innovationen der chemischen Industrie lassen sich alternative Energiequellen, zum Beispiel die Solarenergie, erschließen und der Wirkungsgrad der Energieumwandlung steigern.

Ob die derzeitige Situation diesem Anspruch genügt und welche Richtung die Entwicklung aus Sicht des UBA nehmen muss, erläutern wir im Folgenden.

⁸² Jakl T, Joas R, Nolte R, Schott R, Windsperger A (2004); Chemical Leasing – An Intelligent and Integrated Business Model with a View to Sustainable development in Materials Management. ISBN 3-211-40445-7 Springer Wien New York

Jakl, Joas, Nolte, Schott, Windsperger: Chemikalien Leasing. Ein intelligentes und integriertes Geschäftsmodell als Perspektive zur nachhaltigen Entwicklung in der Stoffwirtschaft.; Springer-Verlag Wien New York, 2003.

Lebensministerium Österreich: CHEM – News XIII „aktuelle stoffpolitische Schwerpunkte der Abteilung für stoffbezogenen Umweltschutz – Chemiepolitik; 2004

⁸³ Das Energie- und Stoffstrommanagement (ESSM) zielt auf die ökologische und ökonomische Beeinflussung von Stoff- und Energieströmen. Hauptziele sind dabei die Ressourcen- bzw. Materialeffizienz und das Schaffen nachhaltiger Kreisläufe.

⁸⁴ Der Begriff der Lebenszyklusanalyse (life cycle assesment, LCA) ist nach der Norm ISO 14040 definiert als die „Zusammenstellung und Bewertung der Inputs, Outputs und der potentiellen Umweltwirkungen eines Produktsystems über den gesamten Lebenszyklus“.

⁸⁵ Die ISO 14044 ist eine Zusammenfassung der bisherigen ISO-Normen 14041 bis 14043 und beschäftigt sich mit dem Thema Ökobilanz. Eine vollständige Ökobilanz nach der Norm ISO 14040 (aktuelle Ausgabe: 7.2006) umfasst die folgenden Elemente: Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen(Umfang), ISO 14040; Umweltmanagement – Ökobilanz – Prinzipien und allgemeine Anforderungen; Sachbilanz, ISO 14041; Umweltmanagement – Ökobilanz – Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz; Wirkungsabschätzung, ISO 14042 Umweltmanagement – Ökobilanz – Wirkungsabschätzung; Auswertung, ISO 14043

⁸⁶ Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMBF), Deutsche Materialeffizienzagentur: <http://www.materialeffizienz.de/>

4.2.1. REACH als Baustein zur Nachhaltigen Chemie⁸⁷

Mit REACH gibt es in der EU ein neues Chemikalienmanagementsystem, das seit dem 1. Juni 2007 in Kraft ist. REACH steht für **R**egistrieren, **E**valuieren und **A**utorisieren⁸⁸ von **C**hemikalien⁸⁹ und soll in Zukunft dafür sorgen, dass

- die Unternehmen der chemischen Industrie die Sicherheit ihrer Chemikalien in den Anwendungen nachweisen,
- Wirkungen der Chemikalien auf Umwelt und auf Gesundheit bekannt sind,
- besonders gefährliche Chemikalien einem Zulassungsverfahren unterliegen,
- nicht nur die Stoffhersteller und Importeure, sondern auch die Stoffanwender für die Sicherheit verantwortlich sind und Pflichten haben.

Alle Hersteller und Importeure der Stoffe müssen deren Daten erheben und zur Verfügung stellen, sobald sie mehr als eine Tonne pro Jahr herstellen oder einführen. Registrierungszeitpunkt und Datenumfang sind in erster Linie von der Tonnage abhängig, die jährlich produziert wird, hochtonnagige Stoffe werden zuerst und mit mehr Daten registriert. Ab zehn Tonnen pro Jahr müssen die Hersteller einen Stoffsicherheitsbericht mit Risikobewertung erstellen.

Hersteller und Importeure übermitteln die Informationen über ihre Stoffe mit einem erweiterten Sicherheitsdatenblatt an die weiterverarbeitenden Betriebe. Letztere prüfen diese Informationen und führen gegebenenfalls eigene Sicherheitsbeurteilungen durch. Die Europäische Chemikalienagentur in Helsinki und die Mitgliedstaaten bewerten die Stoffdossiers in einem gestuften Verfahren. Verwendungen besonders gefährlicher Stoffe sind zulassungsbedürftig. Die Europäische Chemikalienagentur erteilt die Zulassungen nur an angemessen kontrollierte Stoffe oder falls der Stoff mangels Alternativen unverzichtbar ist.

REACH war während des Gesetzgebungsprozesses stark umstritten, weil die chemische und die verarbeitende Industrie fürchteten, die Anforderungen seien wirtschaftlich nicht tragbar. Die These, dass REACH die Zahl der Chemikalien auf dem Markt reduzieren und damit die Möglichkeiten für innovative Lösungen mit Chemikalien einschränken würde, ist inzwischen mit einer Studie widerlegt, welche die chemische Industrie selbst in Auftrag gab⁹⁰.

REACH bildet einen Rahmen, in dem sich die Chemiebranche in Richtung Nachhaltigkeit bewegen wird, weil unter REACH

- die Beteiligten Informationen zu Gefahrenmerkmalen und sicheren Anwendungen der Stoffe in der Wertschöpfungskette kommunizieren werden,

⁸⁷ Steinhäuser, K.; Richter, S.: „Nachhaltige Chemie – Perspektiven für Wertschöpfungsketten und Rahmenbedingungen für die Umsetzung“ in Nachhaltige Chemie – Erfahrungen und Perspektiven, Metropolis-Verlag, Herausgegeben von Angrick, M; Kümmerer, K.; Meinzer, L.; Marburg 2006

⁸⁸ REACH mit Registrieren, Evaluieren und Autorisieren = Anmelden, Bewerten und Zulassen von Chemikalien

⁸⁹ Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des EP und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), Official Journal of the European Community L 396 (2006)

⁹⁰ “REACH – further work on impact assessment – a case study report, KPGM Business Advisory Service; July 2005

- die gefährlichsten Stoffe zulassungspflichtig sind und damit unter Kontrolle sein werden,
- die Akteure künftig Chemikalien nur herstellen und verwenden dürfen, soweit ihre Verwendung sicher ist.

REACH schafft damit die Voraussetzung, dass alle Beteiligten - Hersteller, Stoffanwender, Behörden und zum Teil auch die Verbraucherinnen und Verbraucher sowie die Öffentlichkeit – die Risiken der Chemikalien erkennen können. Diese Anforderung greift besonders ab einer Produktionsmenge von zehn Tonnen pro Jahr je Hersteller und Importeur. Für den Bereich zwischen einer und zehn Tonnen reichen aus Sicht des UBA die Datenanforderungen meist nicht aus, um eine Gefährdungsbeurteilung vornehmen zu können.

REACH ist ein wichtiger Baustein zu einer Nachhaltigen Chemie. Es trägt dazu bei, dass in überschaubarer Zeit Chemikalien und ihre Anwendungen sicherer sein werden. Der Schwerpunkt liegt auf der Informationsbeschaffung zu den Chemikalien. Damit ist aber nicht sichergestellt, dass die Hersteller, Weiterverarbeiter und Anwender der Stoffe insgesamt nachhaltig arbeiten. Weitere Schritte sind deshalb notwendig.

4.2.2. Gefährliche Chemikalien und inhärente⁹¹ Chemikaliensicherheit

Ein Schritt zu mehr Sicherheit sind Chemikalien mit weniger gefährlichen Eigenschaften als bisher, deren Anwendung deshalb weniger Risikominderungsmaßnahmen erfordert. REACH sorgt für die nötigen Informationen zu Exposition und Wirkung, um die Risiken für den Menschen und die Umwelt auf ein vertretbares Maß senken zu können. Das Risiko definiert sich in der Chemikaliensicherheit – und so auch unter REACH – als Quotient der erwarteten Expositionskonzentration (so genannter PEC⁹²-Wert im Umweltmedium) und einer – aus Testergebnissen abgeleiteten – Wirkungsschwelle (so genannter PNEC⁹³-Wert im Umweltbereich)⁹⁴. Ist die berechnete (oder gemessene) Exposition niedriger als die Wirkschwelle, so betrachtet man einen Stoff als sicher. Erfüllte ein Stoff diese Bedingung, so wäre er jedoch noch nicht ohne weiteres nachhaltig.

Einen höheren Anspruch verfolgt das Konzept der inhärenten Stoffsicherheit. Das heißt, dass solche Chemikalien kein Risiko mehr darstellen, sobald man die Grundregeln des sicheren Umgangs mit Chemikalien einhält. Aus Sicht des Arbeitsschutzes sind zum Beispiel nur solche Stoffe inhärent sicher, die nicht als gefährlich für die menschliche Gesundheit eingestuft sind⁹⁵. Aus Sicht des Umweltschutzes dürfen nachhaltige Che-

⁹¹ Inhärente Eigenschaften einer chemischen Substanz sind die ihr innewohnenden chemisch-physikalischen Eigenschaften. Im vorliegenden Zusammenhang bezeichnet der Begriff inhärente Chemikaliensicherheit das Fehlen von für Mensch und Umwelt als problematisch bekannten Eigenschaften. Dadurch gibt es unabhängig von der Exposition keine der potentiellen Risiken.

⁹² PEC = Predicted Environmental Concentration; zu erwartende Umweltkonzentration

⁹³ PNEC = Predicted No Effect Concentration; zu erwartende nichtwirksame Konzentration (Konzentration, unterhalb der schädliche Auswirkungen auf die gefährdeten Umweltmedien nicht zu erwarten sind.)

⁹⁴ European Chemicals Bureau: Technical Guidance Document in Support of Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for new notified substances, Commission Regulation (EC) No 1488/94 on Risk Assessment for existing substances and Directive 98/8/EC of the European Parliament and of the Council concerning the placing of biocidal products on the market, Revised Version 2003 [<http://ecb.jrc.it/tgd/>]

⁹⁵ R. Packroff, Inherently safe Chemical Products, Vortrag beim Workshop "Sustainable Chemistry – Integrated Management of Chemicals, Products and Processes", 27-29 Januar 2004, Dessau Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund 2004

mikalien keine kurz- oder langfristigen Probleme verursachen, nachdem sie in die Umwelt gelangten. Dieses Konzept geht davon aus, dass Stoffhersteller und –verwender aufwändige Sicherheits- und Schutzmaßnahmen nicht in allen Fällen einhalten (können). Dieser Umstand hat vor allem für kleine und mittlere Unternehmen Bedeutung, die häufig nach einfachen Lösungen suchen.

Für die Umwelt bedeutet Nachhaltigkeit der Chemikalien insbesondere, dass sie nicht persistent sind, sich nicht über größere Entfernungen ausbreiten (*short range chemicals*)⁹⁶ und keine irreversiblen Wirkungen haben.

Besonders gefährliche Stoffe sind mit gesetzlichen Maßnahmen in der Anwendung einzuschränken oder zu verbieten. Dies sind zum Beispiel krebserregende, erbgutverändernde oder erbgutschädigende Stoffe – so genannte CMR-Stoffe⁹⁷ - und solche Stoffe, die für die Umwelt besonders kritisch sind, weil sie langlebig (persistent), anreicherungsfähig (bioakkumulierend) und toxisch – sog. PBT-/vPvB-Stoffe –⁹⁸ sind. Diese Stoffe sind unter REACH zulassungspflichtig.

Demgegenüber können Chemikalien als nachhaltig gelten, die keine gefährlichen Eigenschaften aufweisen und während des Lebensweges keine anderen negativen Wirkungen auf die Umwelt verursachen. Das bedeutet, dass sie weder bekannte Schädwirkungen haben, noch so lange in der Umwelt verbleiben, dass bisher unbekannte schädliche Wirkungen ein Problem werden könnten. Eine Mehrheit der Stoffe ist zwar nicht besonders besorgniserregend, bedarf jedoch wegen einzelner Wirkparameter einer vorsichtigen Anwendung, ohne dass ein gesetzliches Verbot oder eine Beschränkung der Verwendung gerechtfertigt wäre⁹⁹.

Das Kriterium der inhärenten Stoffsicherheit kann man jedoch nicht für alle Chemikalien absolut setzen. Sobald die gefährliche Eigenschaft für die Funktion des Stoffes in seinem Verwendungszweck erforderlich ist, lässt sich das damit verbundene Risiko nicht vermeiden. So müssen Brennstoffe entzündlich, Pestizide toxisch und reaktive Reagenzien aggressiv oder ätzend sein. Gefährliche Eigenschaften von Chemikalien sind aber nicht notwendig, soweit sie keine bestimmte Funktion bedienen. Abbildung 6 zeigt „inhärente“ Eigenschaften, welche die Nachhaltigkeit von Chemikalien charakterisieren.

Zu den Kriterien für die Nachhaltigkeit einer Chemikalie gehören auch die Bedingungen ihrer Herstellung sowie die mit ihrer Anwendung verbundenen Umweltbelastungen. Bezüglich der Herstellung ist der spezifische Ressourcenbedarf (in Bezug auf Energie, Roh- und Hilfsstoffe) sehr wichtig¹⁰⁰. Die Ausbeute bei der Herstellung, Emissionen in Luft, Wasser und Boden - wie Abwasser- und Abfallmengen bei Produktion und Anwendung - sind weitere Gesichtspunkte. Vergleicht man denselben Stoff zweier Hersteller, die unterschiedliche Produktionsverfahren etabliert haben, unterscheiden sich diese Kennwerte oft. Bei zahlreichen Synthese- und Verarbeitungsverfahren gibt es dazu erhebliche Verbesserungspotenziale (siehe Kapitel 4.1).

⁹⁶ M. Scheringer: Persistenz und Reichweite, Wiley VCH, Weinheim 1999

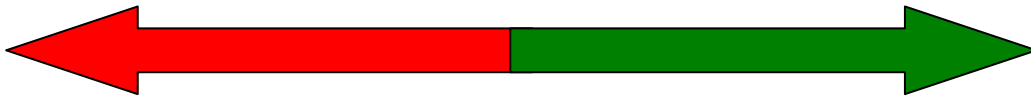
⁹⁷ *carcenogenic, mutagenic, reproductive toxic substances* = CMR-Stoffe

⁹⁸ *persistent, bioaccumulative and toxic substances* = PBT-Stoffe; *very persistent and very bioaccumulative substances* = vPvB-Stoffe

⁹⁹ K. G. Steinhäuser, S. Richter, P. Greiner, J. Penning und M. Angrick: Sustainable Chemistry – Principles and Perspectives, ESPR – Environ Sci & Pollut Res **11** (5), 284-290 (2004)

¹⁰⁰ Steinhäuser, K.; Richter, S.: „Nachhaltige Chemie – Perspektiven für Wertschöpfungsketten und Rahmenbedingungen für die Umsetzung“ in Nachhaltige Chemie – Erfahrungen und Perspektiven, Metropolis-Verlag, Herausgegeben von Angrick, M; Kümmerer, K.; Meinzer, L.; Marburg 2006

Abb. 6: Charakteristika für inhärent sichere Chemikalien



nicht nachhaltig

- CMR-Eigenschaften
- Atemwege sensibilisierend
- sehr hohe akute (Öko)Toxizität
- PBT- und vPvB-Eigenschaften
- hohe Persistenz und räumliche Reichweite

nachhaltig

- keine irreversiblen und chronischen Wirkungen
- niedrige akute (Öko-)Toxizität
- niedrige Persistenz
- keine Bioakkumulation
- geringe räumliche Reichweite

Fazit: Das Konzept der inhärent sicheren Chemikalien, die keine schädlichen Wirkungen und nur eine geringe Reichweite haben, kann einen wesentlichen Beitrag leisten, um Anwendungen nachhaltig zu machen. Die Entwicklung solcher Stoffe ist ein bedeutendes Entwicklungsziel für die chemische Industrie. Wo immer solche Stoffe nicht zur Verfügung stehen, z. B. weil das Gefährlichkeitsmerkmal für die Funktionalität wichtig ist, ist die sichere Verwendung dieser Chemikalien durch Schutz- und Emissionsminderungsmaßnahmen zu gewährleisten.

4.2.3. Anforderungen an Produkte

Gefährliche Stoffe können über den gesamten Produktlebenszyklus - bei der Herstellung, der Nutzung, dem Recycling und der Entsorgung - entweichen und die Umwelt sowie die Gesundheit belasten. Emissionen aus Industrieanlagen nahmen in den vergangenen Jahren deutlich ab. Die Belastungen freigesetzter Chemikalien aus Produkten¹⁰¹ gewannen damit an Bedeutung. Zudem gelangen sie oft diffus in die Umwelt oder können in sensiblen Bereichen, z. B. über die Atemluft in Innenräumen, direkt auf den Verbraucher wirken. Ihre Freisetzung ist kaum zu kontrollieren.

Viele Gebrauchsgüter werden zudem in Ländern außerhalb Europas produziert, wo häufig weniger strenge Anforderungen an den Arbeits- und Umweltschutz bestehen. Dies führt nicht nur zu produktionsbedingten Umweltbelastungen außerhalb Europas, sondern oft auch zu höheren Schadstoffgehalten der Produkte.

Um gefährliche Stoffe in Produkten zu vermeiden, bedarf es einer belastbaren Wissensbasis über die Eigenschaften der Stoffe und ihrer Verwendung in den Produkten. Methoden zur Analyse und Bewertung der Stoffe in Produkten und das Wissen über geeignete Substitutionsmöglichkeiten stehen häufig nicht zur Verfügung. Um Produkte nachhaltig zu gestalten, braucht man unter anderem:

¹⁰¹ Das Chemikalienrecht unterscheidet zwischen *Chemikalien* (reinen Stoffen), *Zubereitungen* (Gemischen aus Chemikalien) und *Erzeugnissen*. Bei *Erzeugnissen* wird die Funktion maßgeblich nicht durch den stofflichen Inhalt, sondern durch Form und Gestalt bestimmt. *Zubereitungen* und *Erzeugnisse* werden häufig unter dem Begriff *Produkte* zusammengefasst, auch im Text so verwendet. Wenn der Begriff *Produktion* verwendet wird, bezieht es sich auf die *Produktion von Chemikalien, Zubereitungen, Produkten und Erzeugnissen*.

- wissenschaftlich fundierte Bewertungsmethoden für Stoffe in Produkten mit:
 - Kriterien für Inhaltstoffe mit problematischen inhärenten Stoffeigenschaften,
 - Informationen zur Exposition und zum Emissionsverhalten der Inhaltstoffe im Produktlebenszyklus - einschließlich des Recyclings;
- Analysemethoden zur Messung des Schadstoffgehaltes und der Emissionen, zum Beispiel der Ausgasung oder der Auswaschung;
- Identifizierung jener Produktgruppen, die
 - in besonders großen Mengen auf den Markt kommen,
 - besonders problematische Chemikalien sind oder enthalten,
 - in besonders sensiblen Bereichen (z. B. Produkte für Kleinkinder oder Schwangere) vorkommen oder
 - gefährliche Stoffe enthalten, für die besonders gute Möglichkeiten zur Substituierung bestehen;
- Entwicklung von Substituten sowie Informationen und Handlungsempfehlungen zur Substitution gefährlicher Stoffe, um Verbraucherinnen und Verbrauchern, Herstellern sowie Gesetzgebern Alternativen darzulegen.

Das europäische Chemikalienrecht regelt Einstufung und Kennzeichnung, Beschränkung und Zulassung von Stoffen und Zubereitungen¹⁰². REACH wird mehr Informationen als früher verfügbar machen, um nachhaltigere Produkte herstellen zu können. Innerhalb der EU werden Produkte nur noch mit registrierten, sicher verwendbaren Chemikalien hergestellt. Darüber hinaus gibt es zahlreiche Richtlinien, die stoffliche Anforderungen an einzelne Produktgruppen stellen oder ausgewählte Stoffgruppen regeln¹⁰³.

REACH wird jedoch nicht automatisch alle problematischen Verwendungen gefährlicher Stoffe in Produkten ausschließen. Erst im Jahre 2018 wird es für alle Chemikalien gelten. Für einen nachhaltigen produktbezogenen Umweltschutz sind weitergehende Regelungen, insbesondere für Erzeugnisse, notwendig, weil

- REACH vor allem bei Stoffen mit Produktions- oder Importmengen von mehr als zehn Tonnen im Jahr greift; darunter - und bei speziellen Anwendungen - bleiben die Informationsanforderungen häufig dürrtig. Problematische Anwendungen sind somit auch in Zukunft nicht auszuschließen.
- importierte Erzeugnisse nicht immer mit in Europa registrierten Chemikalien hergestellt werden; nur absichtlich aus Erzeugnissen freigesetzte Chemikalien hat der Importeur gemäß REACH zu notifizieren und besonders besorgniserregende Inhaltsstoffe anzumelden. Dies führt – im Vergleich zu den in der EU hergestellten Erzeugnissen – zu weniger Umwelt- und Gesundheitsschutz bei Importerzeugnissen und – in einzelnen Fällen – zu Wettbewerbsnachteilen für Hersteller in der EU.
- REACH die Zulassung nur für besonders gefährliche Stoffe fordert. Andere problematische Chemikalien, die nicht allen Kriterien für zulassungsbedürftige Stoffe erfül-

¹⁰² Als wichtige europäische Richtlinien und Verordnungen sind unter anderem zu nennen: Richtlinie 67/548/EWG „Gefahrstoffrichtlinie“, Richtlinie 76/769/EWG „Beschränkungsrichtlinie“, Richtlinie 98/8/EG „Biozidrichtlinie“, Richtlinie 1999/45/EG „Zubereitungsrichtlinie“, Verordnung (EWG) Nr. 793/93 „Altstoffverordnung“.

¹⁰³ Ein Beispiel für die Regelung stofflicher Anforderungen an eine einzelne Produktgruppe ist Richtlinie 2002/95/EG über bestimmte gefährliche Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (RoHS). Ein Beispiel für die Regelung einer ausgewählten Stoffgruppe ist Verordnung (EG) Nr. 842/2006 über bestimmte fluorierte Treibhausgase.

len, können weiterhin in importierten Produkten enthalten sein. Die Importeure ausländischer Erzeugnisse werden allenfalls Empfehlungen für ihre sichere Anwendung geben. Spezielle produktbezogene Regelungen bleiben daher weiterhin notwendig – zum Beispiel für Klima oder Ozonschicht schädigende Stoffe oder Stoffe mit anderen problematischen Wirkungen, die nicht einer Zulassung unterliegen.

REACH ist also vor allem ein Verfahren, um Daten über inhärente Stoffeigenschaften und sichere Anwendungsbereiche zu beschaffen. Damit liefert es die Grundlagen für vergleichende Stoff- und Produktbewertungen über den gesamten Produktlebensweg.

Eine wichtige Neuerung unter REACH ist, dass die Hersteller oder Importeure die Informationen über die Stoffe und ihre sichere Anwendung zu den Verarbeitern und industriellen Anwendern weiterreichen. Damit erhalten diese so genannten *Downstream user* erstmals die Möglichkeit zu vergleichen, mit welchen Stoffen sie umgehen und ihre Produkte herstellen. Zudem hat der Handel als Schnittstelle zu den Verbraucherinnen und Verbrauchern ein Eigeninteresse, nur sichere Produkte anzubieten. Es ist daher wahrscheinlich, dass der Marktdruck zur Substitution gefährlicher Stoffe und Produkte in Zukunft größer sein wird als bisher. Die konkreten Auswirkungen von REACH werden aber erst einige Zeit nach seinem Inkrafttreten erkennbar.

Es wird vorerst unverzichtbar bleiben, Anforderungen an Verwendung und stoffliche Zusammensetzung von Produkten zu stellen, soweit sie zu einer kritischen Exposition von Mensch und Umwelt mit Chemikalien führen. Langfristig sind gleiche chemikalienrechtliche Anforderungen an alle Produkte anzustreben, unabhängig davon, ob ihre Herstellung innerhalb oder außerhalb der EU erfolgt. Gleiche Standards für Produkte stellen sicher, dass die hohen europäischen Anforderungen weltweit gelten und damit Nachteile für Hersteller in der EU nicht entstehen.

5. Maßnahmen, um eine Nachhaltige Chemie einzuführen und zu verbreiten

5.1. Strategien zur Einführung einer Nachhaltigen Chemie

Konzepte der nachhaltigen Chemie und Problemlösungen setzen sich - trotz zum Teil vorhandener ökonomischer Vorteile - in der chemischen Industrie nicht automatisch durch. Es gibt eine viele Aspekte, die sich hemmend und fördernd auswirken können¹⁰⁴. So stellen Unternehmen auf alternative Prozesse, Produkte oder Chemikalien um, falls

- Produkt- oder Verfahrensinnovationen finanzielle Vorteile versprechen,
- Vorschriften und Gesetze Standards verlangten, die mit den bestehenden Verfahren oder Produkten nicht mehr einhaltbar sind,
- ein Hersteller für ein Produkt ein Zertifikat (Öko- und Gesundheitskennzeichen, zum Beispiel Blauer Engel) anstrebte,
- Druck von Geschäftspartnern, Kunden oder einer kritischen Öffentlichkeit Umstellungen nötig machte.

Hindernisse für Umstellungen sind

- mangelnde Kenntnisse über verfügbare Alternativen und ihre Nutzen,
- lange Entwicklungszeiten mit unsicheren Erfolgschancen,
- hohe Investitionskosten und ein langfristiger Rücklauf der Investitionen,
- bestehende Anlagen, die Gewinne erwirtschaften und sich amortisieren sollen,

¹⁰⁴ <http://www.gdch.de/taetigkeiten/nch/inhalt/jg2004/dessau.pdf>

- Unsicherheiten über die Zuverlässigkeit der Alternative wegen noch nicht vorhandener Pilotanlagen oder Prototypen,
- eingefahrene und rückständige Unternehmenspolitik in den Bereichen Produkte, Prozesse, Anlagensicherheit und –effizienz,
- zu geringe Marktkenntnisse und unzureichende Kooperationsverflechtungen.

So wären zum Beispiel Mikroverfahrenstechniken vermutlich schneller durchsetzbar, sobald „large scale“¹⁰⁵-Referenzanlagen zeigen könnten, dass sie funktionstüchtig arbeiten und zugleich wirtschaftlich sind¹⁰⁶. Kleine und mittlere Unternehmen haben allerdings nicht immer dieselben Möglichkeiten, in neue Technologien und Techniken zu investieren und den Markt zu erschließen wie große Unternehmen. Um die Nachhaltige Chemie zu fördern, ist es zunächst wichtig, Kommunikationsbarrieren zu überwinden und Investitionen zu bündeln. Strategien dies zu erreichen sind:

- Entwicklung marktfähiger, nachhaltiger Produkte und Verfahren und Überwinden mangelnden Wissens über verfügbare alternative Ansätze mit Hilfe
 - einer interdisziplinären Forschung und Entwicklung,
 - Kommunikation guter Beispiele, die im Pilotmaßstab erfolgreich waren,
 - Bündeln der Ressourcen bis hin zur Vermarktung,
 - Zusammenarbeit der Verantwortlichen für Innovations- und Vermarktungsmanagement mit Umweltschutz- und Nachhaltigkeitsbeauftragten¹⁰⁷;
- Verbesserung des Informationsflusses und der Zusammenarbeit zwischen Wissenschafts- und Industriepartnern entlang der gesamten Wertschöpfungskette, zum Beispiel mit Ansätzen wie einer *Open-Innovation-Strategie*¹⁰⁸ oder eine Organisation von Kontakten vor Konferenzen¹⁰⁹;
- Kleine, innovative Unternehmen entwickeln Technik- oder Produktlösungen und bieten sie anderen als Dienstleistung gegen Lizenzgebühren zur Nutzung an (Multiplikatoreffekt für Innovationen)¹¹⁰.
- Mehrere Unternehmen tragen Entwicklungskosten gemeinsam und verteilen sie auf mehrere Projekte¹¹¹, um die Entwicklung partnerschaftlich selbst zu nutzen oder den Markt mit gebündeltem Einsatz bewerben zu können.

¹⁰⁵ Bislang existieren einige sogenannte „small scale“-Anlagen für kleine Produktionsmengen hochwertiger, hochpreisiger Substanzen, aber keine „large scale“-Anlagen für die Produktion von Massenchemikalien.

¹⁰⁶ BMBF, VDI/VDE/IT, Trends in der Mikrosystemtechnik 2006, Rahmenprogramm Mikrosysteme – Innovationsunterstützende Maßnahmen, www.mstonline.de/publikationen/download/MST_Trends_2006.pdf

¹⁰⁷ IZT Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Arbeitsbericht Nr. 10/2004: „Zukünfte der Informationsgesellschaft im Diskurs: eine Auswertung von fünf internationalen Konferenzen (2003-2004)“, http://www.izt.de/pdfs/IZT_AB10_Auswertung_internationale_Konferenzen.pdf

¹⁰⁸ Unternehmen, die die "Open-Innovation"-Strategie anwenden, kaufen Leistungen von anderen Firmen ein, um den Innovationsprozess innerhalb des Unternehmens zu beschleunigen, während die "Closed Innovation"-Strategie bedeutet, dass ein Unternehmen alle anfallenden Leistungen von der Fertigung bis zur Vermarktung eines Produkts eigenständig erbringt [Herzog, Philipp; Offen für Ideen von außen, Nachrichten aus der Chemie, 55, Mai 2007].

¹⁰⁹ Transkript, Nr. 5, 13. Jahrgang 2007, S. 56

¹¹⁰ Positionspapier der DECHEMA e.V., Weiße Biotechnologie: Chancen für Deutschland, Nov. 2004, http://www.achema.de/data/achema_/DECHEMA_Positionspapier_Nov_%202004f.pdf

¹¹¹ Luther, W., Malanowski, N. u. a., Nanotechnologie als wirtschaftlicher Wachstumsmarkt, VDI Technologiezentrum GmbH, im Auft. des BMBF; 2004 <http://www.nanotruck.de/druck/service/literaturliste.html> oder http://www.nanotruck.de/fileadmin/nanoTruck/redaktion/download/nanotech_als_wachstumsmarkt.pdf

- Installation von Netzwerken mit Datenbanken zur Kommunikation und Information, um potenzielle Partner zusammenzubringen und erfolgreiche Problemlösungen sowie Beispiele bekannt zu machen. Solche Netzwerke sind:
 - o SusChem (European Technology Platform for Sustainable Chemistry) mit dem Ziel, Konsortien für Forschungsschwerpunkte zu bilden, und den Schwerpunktthemen Materialtechnologie, Reaktions- und Prozesstechnik und industrielle Biotechnik¹¹²,
 - o SubChem (*sustainable substitution of hazardous chemicals*) mit Gestaltungsoptionen für Innovationssysteme zur erfolgreichen Substitution gefährlicher Stoffe des Forschungsverbunds des Bundesministeriums für Forschung und Bildung (BMBF)¹¹³,
 - o *Sustainable Chemistry Network* (SCN) der OECD fördert die Zusammenarbeit zu Themen der Nachhaltigen Chemie auf OECD-Ebene. Diese Zusammenarbeit stößt kurzfristig den Informationsaustausch, neue Entwicklungen und Anreize für eine verstärkte Umsetzung einer Nachhaltigen Chemie an. Das SCN erstellt mittel- und langfristig Fallstudien und Leitlinien zu speziellen Themen, um den Informationsaustausch zu vereinfachen, neue Entwicklungen zu bewerten und Anreize für eine nachhaltige Chemie zu erarbeiten. Im Meeting des “Chemicals Committee and the Working Party on Chemicals, Pesticides and Biotechnology” im Juni 2007 erklärte sich Deutschland bereit, die Führungsrolle bei den Aktivitäten zu Anreizsystemen für eine Implementierung Nachhaltiger Chemie zu übernehmen. Das UBA erstellt daher zurzeit eine Internet-Plattform zur nachhaltigen Chemie für die OECD.
- Einbeziehen des Handels über „*Product Panels*“ (Beispiel aus Dänemark), in denen Hersteller, Handel, Gewerkschaften, Behörden sowie Umweltschutz- und Verbraucherverbände ausgewählte Produktgruppen entlang des Lebenszyklus bewerten. Ein erfolgreiches deutsches Beispiel ist das „Forum Waschen für die Zukunft“, das Kriterien für nachhaltiges Waschen und Projekte zur Information der Verbraucherinnen und Verbraucher entwickelte¹¹⁴.

5.2. Rolle der Wissenschaft, Ausbildung und Erziehung

Paul Anastas, einer der Begründer der *Green Chemistry* in den USA, vertritt die Position: Nachhaltige Chemie wird nicht mit Gesetzen und Verordnungen durchgesetzt, sondern verwirklicht sich in den Köpfen¹¹⁵. Obwohl diese Position, die gleichzeitig gesetzliche Anforderungen zur Durchsetzung von *Green Chemistry* ablehnt, kritisch zu beurteilen ist, betont sie gleichwohl die wichtige Rolle von Erziehung, Ausbildung und Wissenschaft.

¹¹² Hoer, R., GDCh, SusChem–eine Erfolgsstory, Chemie in unserer Zeit, 2007, 41, 117
www.suschem.org

¹¹³ v. Gleich, A. et al, SubChem Gestaltungsoptionen für handlungsfähige Innovationssysteme zur erfolgreichen Substitution gefährlicher Stoffe, Dezember 2003, <http://www.tecdesign.uni-bremen.de/subchem/startgerman.html>

¹¹⁴ <http://www.gdch.de/taetigkeiten/nch/inhalt/jg2004/dessau.pdf>

¹¹⁵ Anastas, P. T.; Warner, J. C. *Green Chemistry: Theory and Practice*; Oxford University Press: New York, 1998; Anastas, P.T. Meeting the Challenges to Sustainability through Green Chemistry, *Green Chemistry*. April 2003, G 29-34

Dies beginnt mit dem Chemieunterricht in der Schule. Ein Unterricht, der nur Fachwissen vermittelt, befähigt die Schülerinnen und Schüler kaum, dieses auch in der eigenen Lebenswelt anzuwenden und fachliche Zusammenhänge zu beurteilen. Um die Form unserer Umweltnutzung nachhaltig zu gestalten, muss man in neuen Zusammenhängen denken und bewerten können. Die OECD versteht naturwissenschaftliche Grundbildung „als die Fähigkeit, dieses Wissen anzuwenden, naturwissenschaftliche Fragen zu erkennen und aus Belegen Schlussfolgerungen zu ziehen“¹¹⁶. Nur soweit diese Fähigkeiten gelehrt und trainiert sind, lassen sich einzelne Themen - wie Energie und Klima, Mobilität oder Textilien - in den Kontext einer nachhaltigen Entwicklung bringen. Dies gilt auch für den Ansatz der Nachhaltigen Chemie und seine Bezüge zum alltäglichen Leben. In Deutschland steht dazu inzwischen umfangreiches, aber leider selten genutztes Unterrichtsmaterial zur Verfügung¹¹⁷.

Nachhaltige Chemie muss auch ein Thema in der Ausbildung von Chemikern an der Universität werden. Dazu müssen sich die Akteure in der Chemie mit Nachbarwissenschaften vernetzen, sind Zusammenhänge zwischen Struktur und Wirkung zu erkennen und zu erlernen, wie man schon in die Planung von Synthesen die sparsame Verwendung der Energie und der stofflichen Ressourcen einbezieht. Ein wesentlicher Schritt in diese Richtung ist das von mehreren deutschen Universitäten entwickelte „Nachhaltige Organische Praktikum“ (NOP)¹¹⁸, das die Universitäten ständig aktualisieren und weiterentwickeln. Inzwischen ist es – wegen des großen Interesses – in die englische und italienische Sprache übersetzt; weitere Übersetzungen sind in Planung.

Das *Green Chemistry Network (GCN)* der Universität York in Großbritannien strebt an, ein Bewusstsein für Nachhaltigkeit in der Chemie für die Ausbildung an Universitäten und Schulen sowie in Industrie und Handel zu entwickeln. Auch dieses Netzwerk bietet Ausbildungsmaterialien an; zusätzlich vergibt es auch Auszeichnungen sowie Preise an Firmen- und Hochschulforscher¹¹⁹.

Welche Bedeutung nachhaltige Lösungen in der chemischen Forschung inzwischen hat, zeigt der Chemie-Nobelpreis 2005 für Yves Chauvin, Robert H. Grubbs und Richard R. Schrock¹²⁰. In der Begründung für dessen Vergabe ist der Beitrag der ausgezeichneten Metathese-Reaktionen zu einer Nachhaltigen Chemie ausdrücklich herausgestellt. Weltweit versuchen zahlreiche Forschungsgruppen, mit Hilfe der Chemie Lösungen für eine nachhaltige Energiegewinnung und –versorgung zu finden, zum Beispiel Wasserstoff mittels Sonnenlicht zu gewinnen¹²¹ und zu speichern.

Wissenschaft und wissenschaftliche Gesellschaften spielen eine wichtige Rolle, um eine Nachhaltige Chemie zu verwirklichen. Die Gesellschaft deutscher Chemiker (GDCh) erläuterte in einer Erklärung aus dem Jahr 2002, wie sie Kapitel 19 der Agenda 21 fortschreiben will¹²². Diese nennt mehrere konkrete Entwicklungsziele einer Nachhaltigen Chemie. Die GDCh gründete einen Arbeitskreis „Nachhaltige Chemie“. Das Buch

¹¹⁶ J. Baumert, E. Klieme, M. Neubrand, M. Prenzel, U. Schiefele, W. Schneider, P. Stanat, K.-J. Tillmann & M. Weiß (Hrsg.). (2001). PISA 2000: Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich.

¹¹⁷ Demuth, R., Parchmann, I. Ralle, B.: Chemie im Kontext – Sekundarstufe II, Cornelsen Verlag Berlin 2006, ISBN-10: 3-06-031130-7

¹¹⁸ König, B. et al: Nachhaltigkeit im organisch-chemischen Praktikum; <http://www.oc-praktikum.de/>

¹¹⁹ Green Chemistry Network: www.chemsoc.org/gcn

¹²⁰ The Nobel Prize in Chemistry 2005, supplementary information to press release 5 oct 2005: Metathesis—a change-your-partners dance; http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2005/

¹²¹ Koch, W.: Sustainable Chemistry – not without Chemistry, Vortrag beim EU-Workshop „Sustainable Chemistry – Implementation of a Scientific Concept in Policy and Economy“, Berlin, 15 May 2007

¹²² GDCh: Erklärung der Gesellschaft Deutscher Chemiker zur Fortschreibung des Kapitels 19 der Agenda 21, 2002, http://www.gdch.de/oearbeit/johannesburg_de.pdf

„Green Chemistry – Nachhaltigkeit in der Chemie“¹²³ stellt Entwicklungstrends und Charakteristika einer Nachhaltigen Chemie vor.

Das UBA führte anlässlich der deutschen EU-Ratspräsidentschaft 2007 im Juni den Workshop „Sustainable Chemistry – Implementation of a Scientific Concept in Policy and Economy“ durch¹²⁴. Die Veranstaltung war ein internationales Forum zu Gestaltungsoptionen für ein nachhaltiges Management in der chemischen Industrie. Es wurde deutlich, dass eine nachhaltige Chemiewirtschaft ein unverzichtbares Element für die Gestaltung einer nachhaltigen Entwicklung insgesamt ist.

Auch andere Länder versuchen, die Realisierung einer Nachhaltigen Chemie im wissenschaftlichen Bereich zu fördern und gründen Netzwerke zum Erfahrungsaustausch über erfolgreiche Pilotprojekte. Die wissenschaftliche Zeitschrift „Green Chemistry“¹²⁵ erscheint inzwischen seit 1999 und gewinnt weiter an Renommee. Das Interesse der Wissenschaftsgemeinde bezeugten u. a. mehrere hundert Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Konferenz „First International IUPAC Conference on Green-Sustainable Chemistry“ im September 2006 in Dresden.

Diese Beispiele zeigen, dass der Gedanke der Nachhaltigkeit die chemische Wissenschaft erreicht hat. Zwar ist die Nachhaltige Chemie nach wie vor ein kleiner Bereich in der chemischen Wissenschaft und v. a. in der chemischen Industrie, aber das Konzept setzt sich zunehmend durch. Das UBA trägt dazu bei, die Informationen zu vernetzen, indem es Konferenzen organisiert und sich an wissenschaftlichen Tagungen und Diskussionen in Arbeitsgruppen beteiligt.

5.3. Rolle des Managements und der Managementkonzepte

5.3.1. Chemikalienleasing

Chemikalienleasing¹²⁶ steht für ein dienstleistungsorientiertes Geschäftsmodell mit dem Ziel, Chemikalien nicht mehr mengenorientiert, sondern für eine Dienstleistung zur Verfügung zu stellen (Abb. 7).

So orientiert sich zum Beispiel der Preis für die Dienstleistung einer Lösemittel-Entfettung an der Fläche der gereinigten Oberfläche und nicht mehr an der Menge des verkauften Lösemittels. Der Hersteller der Chemikalie wird im neuen Geschäftsmodell zum Dienstleistungsunternehmen.

¹²³ *Green Chemistry* - Nachhaltigkeit in der Chemie; 1. Auflage - Juni 2003, ISBN-10: 3-527-30815-6

¹²⁴ EU Workshop on „Sustainable Chemistry – Implementation of a Scientific Concept in Policy and Economy“, Umweltbundesamt; 15./16. Mai 2007 in Berlin; www.sustainablechemistry2007.de

¹²⁵ *Green Chemistry*, RSC-Publishing; <http://www.rsc.org/publishing/journals/GC/article.asp>

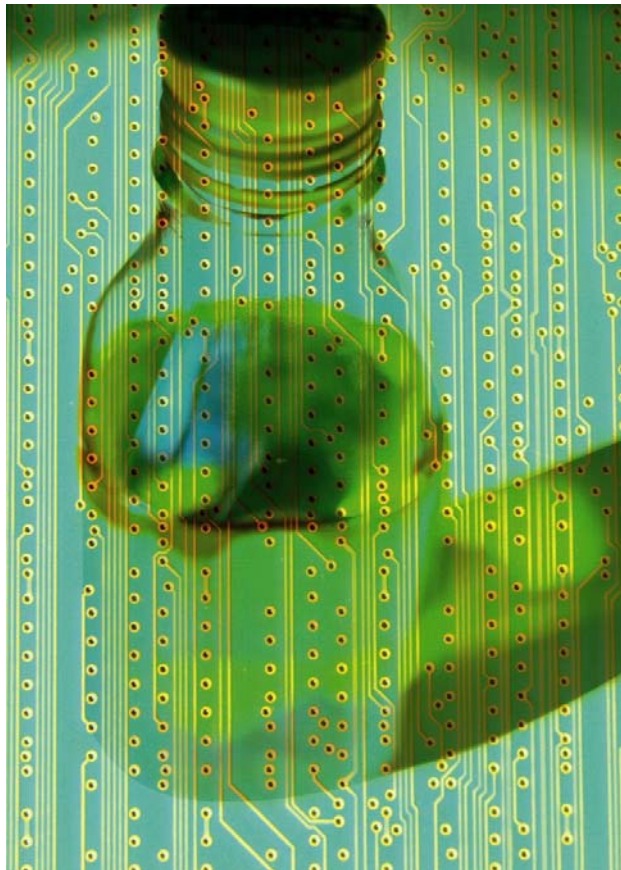
¹²⁶ Jakl T, Schwager P. „Chemicals Leasing Goes Global – Selling Services Instead of Barrels: A Win-win Business Model for Environment and Industry“, Springer Wien New York, 2008

Jakl T, Joas R, Nolte R, Schott R, Windsperger A (2004); *Chemical Leasing – An Intelligent and Integrated Business Model with a View to Sustainable development in Materials Management*. ISBN 3-211-40445-7 Springer Wien New York

Jakl, Joas, Nolte, Schott, Windsperger: *Chemikalien Leasing. Ein intelligentes und integriertes Geschäftsmodell als Perspektive zur nachhaltigen Entwicklung in der Stoffwirtschaft.*; Springer-Verlag Wien New York, 2003

Lebensministerium Österreich: CHEM – News XIII „aktuelle stoffpolitische Schwerpunkte der Abteilung für stoffbezogenen Umweltschutz – Chemiewirtschaft“; 2004

Abb. 7: Illustration des Chemikalienleasing-Modells. Die Chemikalie in der Flasche verblasst vor dem Ziel: das fertige Produkt (hier eine Computerplatine)¹²⁷



Chemikalienleasing ist ein Instrument, um Nachhaltige Chemie zu verwirklichen, da der Gewinn nicht mit der Menge verkaufter Chemikalien steigt, sondern mit deren möglichst sparsamer Verwendung pro Dienstleistungseinheit. Ziel ist es, auf diese Weise den Chemikalieneinsatz zu verringern, damit Kosten zu sparen und den Ressourcenverbrauch zu reduzieren. Der Hersteller oder Importeur der Chemikalien tritt bei diesem Modell mit seinen Kunden in Kontakt, befasst sich also mit dem weiteren Lebensweg der Chemikalien und macht das weitere Know-how zur Anwendung seiner Chemikalie zu seinem eigenen Geschäft. Im Idealfall übernimmt er damit auch die Verantwortung für die sichere Anwendung.

Bisher sind verschiedene Anwendungsbereiche dieses Geschäftsmodells erprobt worden, zum Beispiel in der Metallbearbeitung (Anwendung: Reinigen/Entfetten, Beizen, Gießen, Kühlen/Schmierem), im Bereich chemische Synthesen (Anwendung: Katalyse), in der Nahrungsmittelindustrie (Anwendung: Extraktion, Wasseraufbereitung) und in der Bereitstellung von Hilfsstoffen (Anwendung: Kühlen von Gütern, technische Gase).

Eine Untersuchung des österreichischen Lebensministeriums aus dem Jahr 2002 kommt zu dem Ergebnis, dass sich in Österreich bei vollständiger Anwendung des Modells in allen geeigneten Bereichen 53.000 Tonnen Chemikalien jährlich einsparen ließen. Dies entspricht einem Drittel der Gesamtmenge der dort eingesetzten Chemikalien. Das heißt auch, dass weniger Emissionen und Abfälle entstünden. Dieses Ge-

¹²⁷ Abbildung: Umweltbundesamt

schäftsmodell verbindet die Vorteile für Umwelt, menschliche Gesundheit am Arbeitsplatz sowie für Verbraucherinnen und Verbraucher mit dem ökonomischen Nutzen.

Die Erwartungen sind daher hoch. Es gibt jedoch noch Fragen zu klären, zum Beispiel:

- Für welche Branchen ist das Modell in Deutschland praktikabel?
- Wie groß ist die in Deutschland potenziell einzusparende Chemikalienmenge?
- Wie müssen die Leasingpartner ihre Verträge gestalten, damit die Vorteile für Umwelt, Gesundheit und Ökonomie gleichermaßen fair verteilt sind?
- Welche Bedingungen müssen erfüllt sein, um Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse zu wahren?

In diesem Zusammenhang steht auch das Bestreben des UBA, des österreichischen Lebensministeriums und der Organisation für Industrieentwicklung der Vereinten Nationen (UNIDO)¹²⁸, Qualitätskriterien zu entwickeln. Diese sollen Nachhaltigkeit – etwa im Sinne der Produktion, der inhärenten Sicherheit, sicherer Anwendung, Entsorgung etc. – für die angewandten Chemikalien im Chemikalienleasing sicherstellen.

5.3.2. Managementsysteme für eine nachhaltige Chemiebranche

Einer Umfrage des Verbandes der Chemischen Industrie (VCI) zufolge haben 50 Prozent der Mitgliedsunternehmen, die an der Befragung teilnahmen, ein oder mehrere registrierte oder zertifizierte Umweltmanagementsysteme eingeführt¹²⁹. Derartige Systeme zur umweltbezogenen Bewertung sind nur ein Teil eines Instrumentariums, um unternehmerisches Handeln langfristig, zugleich sicher und erfolgreich zu steuern.

Als Umweltmanagementsystem sind vor allem die Internationale Norm ISO 14001¹³⁰ und die EG-Öko-Auditverordnung (EMAS II¹³¹) zu nennen. Sie enthalten Leitfäden und Empfehlungen mit Umweltleistungskennzahlen. EMAS ist anspruchsvoller als ISO 14001 und fordert eine umfassende umweltbezogene Bestandsaufnahme einschließlich der Umweltwirkungen über den Lebensweg der Produkte mit externer Kommunikation der Ergebnisse. Für kleinere und mittlere Unternehmen gibt es eine Reihe vereinfachter Umweltmanagementansätze^{132 133}.

¹²⁸ Die Organisation für Industrieentwicklung der Vereinten Nationen (United Nations Industrial Development Organization = UNIDO) hat in Zusammenarbeit mit dem Österreichischen Lebensministerium in Mexiko, Ägypten und Russland Pilotprojekte initiiert, um Chemikalienleasing in Schwellenländern zu erproben und zu fördern; "Chemical leasing" UNIDO (United Nations Industrial Development Organization); <http://www.chemikalienleasing.de/>

¹²⁹ Verband der chemischen Industrie (VCI), 2006: "Responsible Care 2006", S. 24, http://www.vci.de/Umwelt_Responsible_Care/default2~cmd~shd~docnr~119560~lastDokNr~114664.htm

¹³⁰ International Organization for Standardization (ISO) TC 207 Environmental Management, <http://www.tc207.org/About207.asp>

¹³¹ EMAS II (Eco-Management and Audit Scheme), Verordnung (EG) Nr. 761/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. März 2001 über die freiwillige Beteiligung von Organisationen an einem Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung, <http://www.umweltbundesamt.de/umweltoekonomie/emas/>

¹³² Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Umweltbundesamt, Umweltmanagementansätze in Deutschland, 2005, <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3062.pdf>

¹³³ Kahlenborn, W., Freier, I., Adelphi Consult et al, Hintergrundpapier zur Studie „Umweltmanagementansätze in Deutschland“, http://www.ums-fuer-kmu.de/upload/Downloads/Hintergrundpapier_final.pdf

Um Wirkungen auf die Umwelt und Kriterien der Nachhaltigkeit zu bewerten, stehen verschiedene Methoden zur Verfügung, zum Beispiel:

- betriebliche Umweltleistungskennzahlen (etwa DIN EN ISO 14031)¹³⁴,
- Norm DIN EN ISO 14040: „Umweltmanagement-Ökobilanz-Grundsätze“ als internationaler Standard für die ganzheitliche Bewertung entlang des Produktlebenszyklus (*Life Cycle Assessment* = LCA),
- Ökoeffizienzanalyse, entwickelt von der BASF AG¹³⁵, die diese inzwischen um eine soziale Komponente ergänzte und zur SEEBalance-Methode erweiterte.

Lebenszyklusanalysen sind aufwändig und benötigen eine Vielzahl an Daten. In Datenbanken zu "Prozessorientierten Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente (Pro-Bas)" stellt das UBA Informationen zu Lebenszyklusanalysen und zum Energie-Stoffstrommanagement zur Verfügung¹³⁶.

EMAS-validierte Produkterklärungen („Geprüfte Umweltinformation“), die die Unternehmen für Werbezwecke verwenden dürfen, sind Anreize für die Unternehmen, nachhaltige Produkte zu entwickeln¹³⁷. Prinzipien für Produktkennzeichnungen mit Umweltzeichen und Umweltdeklarationen beschreibt die Normenreihe ISO 14020 ff.¹³⁸. Umweltdeklarationen nach ISO 14025 enthalten lebensweg- und umweltbezogene Daten, um Waren und Dienstleistungen vergleichen zu können. Die BASF AG entwickelte ein Ökoeffizienzlabel für Produkte auf der Grundlage ihrer Ökoeffizienzanalyse¹³⁹.

Unternehmen, die sich dem nachhaltigen Wirtschaften verpflichten, verfügen in der Regel auch über einen umfassenden organisatorischen Ansatz. Damit wollen sie sowohl ihre Kunden zufriedenstellen als auch die Sicherheit des Unternehmens langfristig gewährleisten. Dafür stehen weitere Methoden zur Verfügung, zum Beispiel:

- Qualitätsmanagementsysteme nach DIN EN ISO 9000,
- Grundsätze der Guten Laborpraxis (GLP)¹⁴⁰,
- EFQM-Modell für *Excellence* der *European Foundation for Quality Management*: zu Waren, Dienstleistungen und Managementleistungen, die Mindestforderungen, gültige Gesetze und Regeln übertreffen und zu sozialer Verantwortung und ökologischer Nachhaltigkeit beitragen^{141 142},

¹³⁴ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Umweltbundesamt, Leitfaden Betriebliche Umweltkennzahlen, 1997,

<http://old.cleaner-production.de/wwwcpg/htmlneu/view.php?obj=25244>

¹³⁵ BASF: Ökoeffizienz-Analyse;

<http://corporate.basf.com/de/sustainability/oekoeffizienz/?id=d3qRXAcSDbcp3le>

¹³⁶ Umweltbundesamt, Öko-Institut e.V.: Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagementsysteme, <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php>

¹³⁷ EMAS II (Eco-Management and Audit Scheme), Verordnung (EG) Nr. 761/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. März 2001 über die freiwillige Beteiligung von Organisationen an einem Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung, <http://www.umweltbundesamt.de/umweltoekonomie/emas/>

¹³⁸ BMU, Umweltbundesamt, BDI, Umweltinformationen für Produkte und Dienstleistungen, 2004, <http://www.positivlist.com/download/ISO14025.pdf> (seit Juli 2006 ISO 14025 als Norm)

¹³⁹ BASF: Ökoeffizienz-Analyse

<http://corporate.basf.com/de/sustainability/oekoeffizienz/label.htm?id=V00-2RT20Abjkbcp1PK>

¹⁴⁰ Grundsätze der Guten Laborpraxis, Richtlinie 2004/10/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Februar 2004, http://www.bfr.bund.de/cm/252/richtlinie_2004_10_eg_de.pdf

¹⁴¹ EFQM – Grundkonzepte www.deutsche-efqm.de/download/Grundkonzepte_2003.pdf, EFQM Excellence einführen; [www.deutsche-efqm.de/download/Excellence_einfuehren_2003\(5\).pdf](http://www.deutsche-efqm.de/download/Excellence_einfuehren_2003(5).pdf)

¹⁴² Nachhaltige Unternehmensentwicklung umsetzen, UmweltMagazin, März 2007, S.63

- Arbeitsschutzmanagementsystem OHSAS 18001 (*Occupational Health and Safety Management System*): Bewertung von Produktionsprozessen,
- *System Safety and Quality Assessment (SQAS)*¹⁴³: z. B. ESAD-Dokument (*European Single Assessment Document*) des Verbandes Chemiehandel (VCH) - auf Responsible Care der chemischen Industrie für sicherheits-, gesundheits- und umweltbezogenen Aspekte des Handels mit Chemikalien aufbauend¹⁴⁴.
- *Responsible Care* der chemischen Industrie zu einer nachhaltigen Entwicklung der Branche¹⁴⁵: Es umfasst den Dialog mit Stakeholdern, um die Leistungen und das Management chemischer Produkte (*Product Stewardship*) zu verbessern und darüber zu berichten,
- *Corporate Social Responsibility (CSR)* der EU-Kommission: Es definiert die gesellschaftliche Verantwortung der Unternehmen als ein Konzept für die Unternehmen, auf freiwilliger Basis über gesetzliche Mindestanforderungen zugunsten gesellschaftlicher Notwendigkeiten hinauszugehen¹⁴⁶,
- *Supply Chain Management* (verantwortliches Management in der Wertschöpfungskette): Es fordert auf, die Lieferanten und weitere Vorstufen der Produktion in die Bewertung der Unternehmensleistungen einzubeziehen, um auch soziale Standards in Entwicklungsländern berücksichtigen zu können¹⁴⁷.

Diese Beispiele zeigen, dass zu einem nachhaltigen Chemikalienmanagement nicht nur technische und produktbezogene Maßnahmen zählen. Insbesondere die Unternehmen selbst müssen ihr unternehmerisches Handeln und seine Wirkungen insgesamt bewerten. Dazu müssen die Unternehmen die Verantwortung auch über die langfristigen Wirkungen auf die Umwelt, auf den Arbeits- und auf den Verbraucherschutz übernehmen, das heißt, im Vorfeld erforderliche Maßnahmen ergreifen und das betriebliche Management danach ausrichten. Die vorgelagerte Wertschöpfungskette ist in diese Überlegungen einzubeziehen, auch hinsichtlich möglicher sozialer Wirkungen in weniger entwickelten Ländern - zum Beispiel Vermeidung der Kinderarbeit sowie Schäden für Gesundheit und Umwelt in weniger entwickelten Ländern. Dazu sind Branchenstandards für verantwortliches Handeln hilfreich und in das unternehmerische Handeln einzubeziehen.

6. Nachhaltigkeit im globalen Chemikalienmanagement

Zahlreiche Umweltprobleme lassen sich nicht mehr nur auf nationaler oder EU-Ebene lösen, sondern erfordern globale Handlungsansätze. Die Weltwirtschaft ist heute und zukünftig in zunehmendem Maße auf einen globalen, freien Handel ausgerichtet. So zeigt eine Untersuchung der Deutschen Bank¹⁴⁸ einen globalen Anstieg der Umsätze der Chemieindustrie in den letzten zehn Jahren um gut fünf Prozent pro Jahr auf 2.000 Milliarden Euro. Ein überproportionales Wachstum ist in China, Indien und Korea zu

¹⁴³ CEFIC Safety and Quality Assessment System,
http://www.pharox.net/pls/portal30/sqas.al_sqas_entry.show

¹⁴⁴ http://www.vch-online.de/index.php?option=com_content&task=view&id=23&Itemid=27

¹⁴⁵ <http://www.responsiblecare.org/>

¹⁴⁶ Mitteilung der Kommission, KOM(2006) 136 endgültig, 22.3.2006

¹⁴⁷ Seuring, Stefan et al, Zum Entwicklungsstand des Nachhaltigen Managements von Wertschöpfungsketten, UmweltWirtschaftsForum 14. Jg., H. 3, September 2006

¹⁴⁸ Perlitz, U., Deutsche Bank Research: „Chemische Industrie in China – International auf der Überholspur“, Februar 2007; http://www.dbresearch.com/PROD/DBR_INTERNET_EN-PROD/PROD000000000191202.pdf

verzeichnen – für die Europäische Union und die USA ein leicht unterdurchschnittlicher Zuwachs und für Japan eine Stagnation. China ist inzwischen (Stand: 2006) nach den USA zweitwichtigster Chemikalienhersteller - gemessen am Weltmarktanteil - knapp vor Japan und Deutschland¹⁴⁹. Die OECD stellt zudem fest, dass die Produktion von Chemikalien auch in anderen Staaten außerhalb der OECD, besonders in Brasilien, Russland und Indien schnell wachsen dürfte, so dass der Anteil der OECD-Staaten an dieser Produktion von 75 Prozent im Jahr 2007 auf 63 Prozent im Jahr 2030 zurückgehen wird¹⁵⁰. Dies macht deutlich, dass die Initiativen zur Entwicklung einer Nachhaltigen Chemie in Zukunft nicht auf Deutschland, die Europäische Union und die industrialisierten OECD-Länder beschränkt sein dürfen.

Die Abkommen der Welthandelsorganisation (World Trade Organisation, WTO) erkennen nationale Standards zum Schutz der Umwelt und der Gesundheit nur an, soweit sie keine offenen oder versteckten Protektionsmaßnahmen für die heimische Wirtschaft darstellen¹⁵¹. Einen Ansatz dazu machten die Vertragsstaaten bei der vierten Ministerkonferenz von Doha im Jahre 2001, als man die Beziehungen zwischen globalem Handel und Umweltschutz analysierte und feststellte, wie multilaterale Umweltübereinkommen und WTO zusammenarbeiten¹⁵².

Für globale Umweltprobleme - wie den Schutz des Klimas, der Ozonschicht, der Biodiversität, der Schonung natürlicher Ressourcen und auch für die Chemikaliensicherheit - reicht es jedoch nicht aus, dass die Vertragswerke zum globalen Handel darauf hinweisen, dass der Warenfluss beschränkt werden darf, soweit von ihnen umwelt- und gesundheitsgefährdende Risiken ausgehen können. Es bedarf globaler Lösungsstrategien, da solche Umweltwirkungen sich nicht räumlich begrenzen lassen und auch Länder mit hohen Umweltschutzstandards beeinträchtigen können. Die WTO erkennt auch Risikominderungsmaßnahmen auf der Basis der Regeln des globalen Chemikalienmanagements eher an als nationale Maßnahmen, bei denen der Verdacht näher liegt, sie könnten handelsbeschränkende Motive haben.

Globale Initiativen für eine nachhaltige Chemikalienproduktion und zur Chemikaliensicherheit sind notwendig, vor allem wegen der zahllosen Produkte, die im EU-Ausland – zum Teil ohne ausreichende Standards für den Schutz natürlicher Ressourcen, der Umwelt und der Gesundheit – hergestellt und auf den europäischen Markt gebracht werden. In einigen Branchen verlagern sich die einstmals einheimische Produktion und die mit ihr verbundenen Probleme ins EU-Ausland. Beispiele dafür sind Textilien und Leder, deren Produktion inzwischen zum überwiegenden Teil in Asien - unter schlechten Bedingungen hinsichtlich des Arbeits- und Umweltschutzes - stattfindet.

Um eine Problemverlagerung zu vermeiden, versucht man mit internationalen, völkerrechtlich verbindlichen Übereinkommen einen Rahmen für einheitliche, weltweit geltende Standards zu entwickeln. Sie sollen Rechtsprinzipien zum Schutz der Umwelt und der Gesundheit international verankern. Die Europäische Union hat ein großes Interesse daran, ihre technischen Standards in diese Vereinbarungen einzubringen: zum Bei-

¹⁴⁹ Broschüre „Chemiewirtschaft in Zahlen 2007“, Verband der chemischen Industrie (VCI); www.vci.de

¹⁵⁰ „Draft Briefing Note on Environment Ministers Policy Conclusions on the role of OECD in SAICM Implementation“, Annex 2 of a document for the 41st Jopint Meeting of the Chemicals Committee and the Working Party on Chemicals, Pesticides and Biotechnology; ENV/JM(2007)15, 09 May 2007

¹⁵¹ United Nations Conference on Environment and Development (UNCED), Rio de Janeiro, 3-14 June 1992; Agenda 21, the Rio Declaration on Environment and Development, the Statement of Forest Principles, the United Nations Framework Convention on Climate Change and the United Nations Convention on Biological Diversity; <http://www.un.org/geninfo/bp/enviro.html>

¹⁵² Existing forms of cooperation and Information Exchange between UNEP/MEAs and the WTO; TN/TE/S/2/Rev.2 16 January 2007

spiel die Informationen zum Stand der Technik oder zum Risikomanagement für gefährliche Chemikalien.

Basis für die Entwicklungen zum globalen Chemikalienmanagement sind die Entscheidungen der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung (*UN Conference on Environment and Development*) in Rio de Janeiro, Brasilien im Jahre 1992: Kapitel 19 der Agenda 21¹⁵³ adressiert das „Umweltgerechte Management von giftigen Chemikalien, einschließlich dem illegalen, internationalen Transport von giftigen und gefährlichen Gütern“.

Der Weltgipfel für Nachhaltige Entwicklung (*World Summit on Sustainable Development*) in Johannesburg ergänzte im Jahr 2002 mit dem Kapitel „Nachhaltiger Konsum und Produktion“¹⁵⁴ diesen Auftrag und fordert, „Chemikalien in ihrem gesamten Lebenszyklus sicher zu handhaben und ihre signifikanten, negativen Auswirkungen bis zum Jahr 2020 zu minimieren“.

Diese globalen Konferenzen brachten eine Reihe internationaler Initiativen und Übereinkommen zur Chemikaliensicherheit hervor, zum Beispiel:

- Globally Harmonised System (GHS)¹⁵⁵ zur weltweit einheitlichen Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien;
- Stockholmer Übereinkommen¹⁵⁶ zur Regulierung persistenter organischer Schadstoffe (POPs) und Leitlinien für bestverfügbare Techniken (BVT=BAT¹⁵⁷) und beste Umweltpraktiken (BEP) für industrielle Mindeststandards;
- Rotterdamer Übereinkommen über das Verfahren zur vorherigen Zustimmung des Empfängerlandes beim Export von Chemikalien (Prior Informed Consent – PIC) zur Regulierung des internationalen Handels mit gefährlichen Stoffen¹⁵⁸;
- Basler Übereinkommen über die Kontrolle des grenzüberschreitenden Transports von gefährlichen Abfällen – und damit auch von verbrauchten Chemikalien – und ihre Entsorgung¹⁵⁹.

Die derzeit wesentlichste Weiterentwicklung des internationalen Chemikalienmanagements zielt mit einem strategischen Ansatz (*Strategic Approach to International Chemical Management = SAICM*)¹⁶⁰ darauf, ein übergreifendes, globales System einer verbesserten Chemikaliensicherheit aufzubauen. Die zahlreichen Einzelinitiativen sollen zusammengeführt werden. Das Instrument ist zwar nicht rechtlich bindend, dennoch ist

¹⁵³ Fourth WTO Ministerial Conference in Doha, Qatar, in November 2001; http://www.wto.org/English/tratop_e/envir_e/envir_neg_mea_e.htm

¹⁵⁴ World Summit on Sustainable Development (WSSD), Johannesburg, August 26 – September 4, 2002; Johannesburg Plan of Implementation III. Changing unsustainable patterns of consumption and production, paragraph 23; http://www.un.org/esa/sustdev/documents/WSSD_POI_PD/English/POIChapter3.htm

¹⁵⁵ Globally Harmonized System (GHS); verabschiedet im Dezember 2002, veröffentlicht 2003; erste Revision in 2005; zweite Revision in 2006 verabschiedet, in 2007 wird die zweiten revidierten Fassung vorliegen; wird; http://www.unece.org/trans/danger/publi/ghs/ghs_welcome_e.html

¹⁵⁶ Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs) www.pops.int

¹⁵⁷ Best Available Techniques = BAT (entspricht den besten verfügbaren Techniken nach EU-Verständnis; EU-BVT beinhaltet jedoch BEP implizit); Best Environmental Practices = BEP

¹⁵⁸ Rotterdam Convention on Prior Informed Consent (PIC); www.pic.int

¹⁵⁹ Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal; www.basel.int

¹⁶⁰ Strategic Approach to International Chemical Management“ (SAICM); <http://www.chem.unep.ch/saicm/>

erkennbar, dass sich die Staatengemeinschaft bemühen wird, Wege zur weltweiten Umsetzung zu finden.

In Zukunft wird es immer wichtiger, die verschiedenen Initiativen auf globaler Ebene zum Chemikalienmanagement zu vernetzen. Das betrifft vor allem die internationalen Übereinkommen zum Chemikalienmanagement. Eine sehr wichtige Plattform ist auch die OECD mit ihrem Programm für Umwelt, Gesundheit und Sicherheit (*Environment, Health and Safety = EHS*)¹⁶¹. Die beteiligten Staaten entwickeln und validieren im Rahmen dieses Programms international gültige Test- und Bewertungsverfahren zur Anwendung in der Stoffgesetzgebung. Weitere Schwerpunkte sind Leitlinien für den gegenseitigen Austausch von Daten (*Mutual Acceptance of Data = MUA*), fachlichen Kriterien des GHS zur Einstufung und Kennzeichnung von Stoffen, Leitlinien zur Nachhaltigen Chemie und zur Nanotechnik. Das UBA hat für Deutschland die Federführung bezüglich Nachhaltiger Chemie inne und baut eine Plattform zum Informationsaustausch auf (s. a. Kapitel 5.1).

Angesichts einer globalen Wirtschaft reicht es nicht aus, Nachhaltige Chemie nur auf regionaler und nationaler Ebene zu entwickeln. Nachhaltige Chemie ist auch als Thema in die internationalen Foren zu tragen. Es ist ein Ziel, anspruchsvolle Standards für Datenanforderungen, Bewertungsmaßstäbe, beste verfügbare Techniken und Umweltschutzpraktiken auf globaler Ebene zu etablieren. Dies hilft der menschlichen Gesundheit und der Umwelt weltweit, erhöht gleichzeitig die Exportchancen für hochentwickelte, innovative Techniken und Produkte und gibt Impulse für eine nachhaltige Entwicklung in Schwellen- und Entwicklungsländern.

7. Fazit

Nachhaltige Chemie

- mindert das Risiko gefährlicher Chemikalien und Schadstoffe für die Umwelt sowie für die menschliche Gesundheit und hilft so Schadenskosten zu vermeiden. Der Ressourcenverbrauch verringert sich. Die Unternehmen und die Wissenschaften erhalten Anreize zur Innovation. In einer globalisierten Welt erfordert dies, die internationale Zusammenarbeit zu pflegen und zu gestalten;
- ist ein wichtiges Element einer nachhaltigen Entwicklung insgesamt, da sie eine wirtschaftlich bedeutende Branche mit intensiven Beziehungen zu anderen Industriezweigen betrifft. Sie hilft, natürliche Ressourcen sowie die menschliche Gesundheit zu schützen;
- ist nur dann eine erfolgreiche Strategie, falls Innovationen von Produktionsverfahren und Produkten den Schutz der Umwelt und der menschlichen Gesundheit zum Ziel haben.

Es ist wichtig, Anforderungen und Qualitätskriterien für eine Nachhaltige Chemie zu setzen und mögliche Lösungen mess-, bewert- und realisierbar zu machen. Daran knüpft an, dass das Konzept der Nachhaltigen Chemie konkrete und erfolgreiche Lösungsansätze bekannt macht und verbreitet.

Im Einzelnen wird das Umweltbundesamt dazu beitragen, mit

¹⁶¹ OECD; Environment, Health and Safety (EHS)
http://www.oecd.org/about/0,2337,en_2649_34365_1_1_1_1_1,00.html

- Informations- und Diskussionsforen und Dialogen zu Nachhaltiger Chemie mit interessierten Kreisen (Unternehmen, Behörden, wissenschaftlichen Einrichtungen und Nicht-Regierungsorganisationen),
- Managementkonzepten (z. B. Chemikalienleasing), die Produktlebenswege einbinden, andere erfolgreiche Lösungsansätze weiter bekannt zu machen und zur Anwendung zu verhelfen,
- der Weiterentwicklung der Produktregelungen und -kennzeichnungen (wie dem Blauen Engel), die als Qualitätsmerkmal für Verbraucherinnen und Verbraucher sowie gewerbliche Nutzer dienen, den Kauf besonders umwelt- und sozialverträglicher Produkte einfacher machen,
- einer aktiven Teilnahme am Konsultationsprozess zur Neugestaltung der BVT-Merkblätter (BREFs) für die Chemiebranche,
- einer Weiterentwicklung der Kriterien, Definitionen und Standards für nachhaltige Anwendungen für Chemikalien,
- dem Gestalten des *Sustainable Chemistry Network* (SCN) der OECD, welches Akteure zu Themenfeldern der Nachhaltigen Chemie zusammenführt, um innovative und nachhaltige Produktionstechnik- und Produktlösungen bekannt zu machen,
- dem Einbringen des Konzepts der Nachhaltigen Chemie in die internationalen Foren zur Chemikaliensicherheit, insbesondere als Beitrag für das Verwirklichen des *Strategic Approach on International Chemicals Management* (SAICM) auf nationaler und regionaler Ebene.

Anhang 1

The Twelve Principles of Green Chemistry*

- Prevention: It is better to prevent waste than to treat or clean up waste after it has been created.
- Atom Economy: Synthetic methods should be designed to maximize the incorporation of all materials used in the process into the final product.
- Less Hazardous Chemical Syntheses: Wherever practicable, synthetic methods should be designed to use and generate substances that possess little or no toxicity to human health and the environment.
- Designing Safer Chemicals: Chemical products should be designed to effect their desired function while minimizing their toxicity.
- Safer Solvents and Auxiliaries: The use of auxiliary substances (e.g., solvents, separation agents, etc.) should be made unnecessary wherever possible and innocuous when used.
- Design for Energy Efficiency: Energy requirements of chemical processes should be recognized for their environmental and economic impacts and should be minimized. If possible, synthetic methods should be conducted at ambient temperature and pressure.
- Use of Renewable Feedstocks: A raw material or feedstock should be renewable rather than depleting whenever technically and economically practicable.
- Reduce Derivatives: Unnecessary derivatization (use of blocking groups, protection/ deprotection, temporary modification of physical/chemical processes) should be minimized or avoided if possible, because such steps require additional reagents and can generate waste.
- Catalysis: Catalytic reagents (as selective as possible) are superior to stoichiometric reagents.
- Design for Degradation: Chemical products should be designed so that at the end of their function they break down into innocuous degradation products and do not persist in the environment.
- Real-time analysis for Pollution Prevention: Analytical methodologies need to be further developed to allow for real-time, in-process monitoring and control prior to the formation of hazardous substances.
- Inherently Safer Chemistry for Accident Prevention: Substances and the form of a substance used in a chemical process should be chosen to minimize the potential for chemical accidents, including releases, explosions, and fires.

Anastas, P. T.; Warner, J. C. *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press: New York, 1998, p.30. By permission of Oxford University Press from [ACS Green Chemistry Institute](#) Webpage

Anhang 2

Die 12 Leitkriterien der IVU-Richtlinie*

- Einsatz abfallarmer Technologie
- Einsatz weniger gefährlicher Stoffe
- Förderung der Rückgewinnung und Wiederverwertung der bei den einzelnen Verfahren erzeugten und verwendeten Stoffe und gegebenenfalls der Abfälle
- Vergleichbare Verfahren, Vorrichtungen und Betriebsmethoden, die mit Erfolg im industriellen Maßstab erprobt wurden
- Fortschritte in der Technologie und in den wissenschaftlichen Erkenntnissen
- Art, Auswirkungen und Menge der jeweiligen Emissionen
- Zeitpunkte der Inbetriebnahme der neuen oder der bestehenden Anlagen
- Für die Einführung einer besseren verfügbaren Technik erforderliche Zeit
- Verbrauch an Rohstoffen und Art der bei den einzelnen Verfahren verwendeten Rohstoffe (einschließlich Wasser) sowie Energieeffizienz
- Die Notwendigkeit, die Gesamtwirkung der Emissionen und die Gefahren für die Umwelt so weit wie möglich zu vermeiden oder zu verringern
- Die Notwendigkeit, Unfällen vorzubeugen und deren Folgen für die Umwelt zu verringern
- Die von der Kommission gemäß Artikel 16 Absatz 2 oder von internationalen Organisationen veröffentlichten Informationen

*RICHTLINIE 96/61/EG DES RATES vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung