



## Green Chemistry – kann die Chemische Industrie umweltverträglich sein?

---

### Was ist "Green Chemistry"

---

Man kann den Begriff „Green Chemistry“ beschreiben als: Die Erfindung, Planung und Anwendung von chemischen Produkten und Prozessen, die den Gebrauch und die Erzeugung von gefährlichen Substanzen vermindern oder vermeiden. Green Chemistry ist der Versuch, chemische Produkte und Prozesse so zu gestalten, daß sie auf das Ökosystem weniger nachteilig wirken.

Blickt man auf diese Definition, so erkennt man, dass bereits bei Erfindung und Planung von chemischen Produkten und Prozessen die Gefährlichkeit von Stoffen bedacht werden muß.

Ein weiterer Aspekt von „Green Chemistry“ findet sich in den Wörtern Gebrauch und Erzeugung: Green Chemistry kann nicht nur als Werkzeug zur Optimierung von Prozessen im Sinne einer Vermehrung des erzeugten Endproduktes verstanden werden. Vielmehr sollen alle Teile eines Prozesses zur Risikominimierung beitragen. So gilt es, neben der Erzeugung von ungefährlichen Endprodukten auch auf den Einsatz von ungefährlichen Stoffen im Herstellungsprozess zu achten. Green Chemistry versteht sich als Weg zur Risikominimierung durch Minimierung des Gefährdungspotentials.

Um dies zu verstehen, muß man den Zusammenhang zwischen Risiko, Gefahrenpotential und Exposition betrachten:

$$\text{Risiko} = \text{Gefahrenpotential} \times \text{Exposition}$$

Die meisten bestehenden Gesetze versuchen ein Risiko zu vermindern, indem Kontrollme-

chanismen festgelegt werden oder der Verbleib von Abfällen reguliert wird. Auch bei der Schutzausrüstung von Personen wie Atemschutz, Schutzbrille etc., wird versucht das Risiko durch Verringerung der Exposition zu verkleinern.

Green Chemistry versucht dagegen ein Risiko durch Verminderung des Gefährdungspotentials zu verkleinern.

Weil Maßnahmen zur Expositionskontrolle anfällig für Fehler sind – Atemgeräte können versagen, Luftwäscher können ausfallen- ist der Ansatz von Green Chemistry überlegen.

Es wäre jedoch ein Missverständnis, zu glauben der Gefahrbegriff bei Green Chemistry beschränke sich auf unmittelbare chemische oder physikalische Gefahren wie Explosivität, Ätzwirkung oder Brandgefahr von Stoffen. Es wird als sinnlos angesehen nur Teilbereiche zu betrachten und andere zu vernachlässigen. So müssen beim Design von chemischen Verfahren auch globale Belange wie die globale Erwärmung, die Zerstörung der Ozonschicht, die Persistenz von Chemikalien und die Bioakkumulation beachtet werden.

---

### Die Leitsätze von "Green Chemistry"

---

1. Die Vermeidung von Abfällen ist der Behandlung oder Reinigung erzeugter Abfälle vorzuziehen.
2. Synthetische Methoden sind so zu planen, dass die Einbeziehung aller am Prozess beteiligten Materialien in das Endprodukt maximiert wird.
3. Wenn immer möglich, sollten synthetische Methoden so geplant werden, dass



nur Stoffe eingesetzt oder erzeugt werden, die keine oder nur geringe Toxizität gegenüber der Umwelt und der menschlichen Gesundheit zeigen.

4. Das Design chemischer Produkte sollte so gestaltet werden, dass ihre Eigenschaften die Funktionalität mit verminderter Giftigkeit verbinden.
5. Der Gebrauch von Zusatzstoffen (z.B. Lösemitteln, Trennmitteln etc.) sollte wo immer möglich vermieden werden.
6. Der Energiebedarf sollte ermittelt und wegen seiner ökologischen und ökonomischen Folgen minimiert werden. Synthetische Prozesse sollten vorzugsweise bei Raumtemperatur und Atmosphärendruck durchgeführt werden.
7. Wo immer technisch oder ökonomisch durchführbar, sollten eingesetzte Rohmaterialien aus erneuerbaren Quellen stammen.
8. Unnötige Derivatisierungen (z.B. Einführung von Schutzgruppen, Endgruppen) in der Synthese sollten vermieden werden.
9. Katalytische Reagenzien (so selektiv wie möglich) sind stöchiometrischen Reagenzien überlegen.
10. Das Design chemischer Produkte sollte so gestaltet sein, dass am Ende ihres Gebrauches nicht eine persistente Wirkung zu befürchten ist. Sie sollten sich am Ende ihres Gebrauchs zu ungefährlichen Abbauprodukten zersetzen.
11. Analytische Techniken sollten weiterentwickelt werden um ein „Echtzeit-Prozessmonitoring“ zu ermöglichen und Schadstoffe bei ihrer Entstehung zu erfassen.

12. Ein Stoff und die Form eines Stoffes der in einem chemischen Prozess eingesetzt wird, sollte so gewählt werden, dass das Potential eines chemischen Unfalles minimiert wird.

---

### **Beispiel Politik**

---

Auszug aus der Rede der Bundesministerin für Bildung und Forschung, Edelgard Bulmahn, am Mittwoch, 02.12.1998 im Deutschen Bundestag:

Bildungs- und forschungspolitische Vorhaben und Schwerpunkte der Bundesregierung in der 14. Wahlperiode - Nachhaltiges Wachstum

Die politische Leitidee der Nachhaltigkeit, die jeder in den Sonntagsreden predigt, braucht Konkretisierung. Sie darf nicht auf einen eng verstandenen und ökonomisch nur als Kostenfaktor gesehenen Umweltbereich beschränkt werden.

Wir müssen in Angriff nehmen, was die Europäischen Regierungschefs mit dem Weißbuch "Wachstum, Wettbewerbsfähigkeit, Beschäftigung. Herausforderungen der Gegenwart und Wege ins 21. Jahrhundert" 1993 beschlossen haben. Darin wird festgestellt, "die gegebenen industriellen Verbrauchs- und Produktionsmuster können nicht auf die ganze Welt ausgedehnt werden, die Wachstumszahlen messen zu einem immer größeren Teil Scheinfortschritte, viele herkömmliche ökonomische Begriffe verlieren für zukünftige Politikentwürfe ihre Relevanz und die unausgewogene Nutzung der verfügbaren Ressourcen - Arbeit und Umwelt - stimmt eindeutig nicht mit den Präferenzen der Gesellschaft überein, wie sie über das demokratische Verfahren geäußert werden." Das sind starke Worte, denen Taten folgen müssen.



Wissenschaft und Forschung sind dafür da, diese Aussagen operational zu machen und in die Bildung und Ausbildung unserer Kinder einzubringen. Unter diesem Blickwinkel möchte ich die Umweltforschung, die Sozial- und Wirtschaftswissenschaften, die Wissenschaftsforschung und nicht zuletzt die vernachlässigte sozial-ökologische und die Friedens- und Konfliktforschung neu zusammenfassen und unter dem Leitmotiv "Nachhaltiges Wachstum" bündeln.

Besseres Wissen über die Funktionen und Belastungsgrenzen natürlicher Systeme und wirksamere Methoden, Schadstoffe zurückzuhalten, sind seit langem Gegenstand der Umweltforschung. Die naturwissenschaftliche Grundlagenforschung hat unser Verständnis über die Funktionsweise einzelner Ökosysteme, aber auch des globalen Klimasystems, weit vorangebracht.

Nachsorgender Umweltschutz ist inzwischen ein erheblicher Kostenfaktor. Ökoeffiziente integrierte Technik setzt sich nur schrittweise durch. Umweltvorsorge wird vielerorts mehr mit Genehmigungsverfahren und Innovationshemmnissen als mit Zukunftsfähigkeit assoziiert.

Ich will mit der Forschung Tore für integrative, zukunftsfähige Lösungen aufstoßen. Nachhaltig zu wirtschaften heißt, mehrere Ziele gleichzeitig im Auge zu behalten: Wir wollen das Naturkapital erhalten und nicht verspielen. Wir brauchen eine Wirtschaft, die am Standort umwelteffizient arbeitet und zugleich im Weltmarkt wettbewerbsfähig ist. Wir wollen, daß Werte wie soziale Teilhabe, Gerechtigkeit und Vertrauen als soziales Kapital an die kommenden Generationen weitergegeben werden. Um dies zu schaffen, sind auch künftig naturwissenschaftliche Grundlagen und technologisches Know how zu entwickeln. Allerdings müssen zwischen diesen beiden Wissenschaftstraditionen mehr

Brücken geschlagen werden.

Ganz besonders fehlen jedoch Kenntnisse und Vorstellungen über soziale und institutionelle Innovationen, die auf den Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung führen: Veränderungen im Verhalten von Verbrauchern und Kommunen, von Betrieben und Behörden. Es sind ökonomische Rahmenbedingungen nötig, damit Preise die ökologische Wahrheit sagen, damit umweltentlastende Lebensstile und Konsummuster für große Bevölkerungsgruppen attraktiv und bezahlbar werden. Es sind Innovationen nötig, die langfristigerem Denken und häuslicherem Wirtschaften auf allen gesellschaftlichen Ebenen wieder zu mehr Geltung verhelfen. Die Problemlösungen von heute dürfen nicht die Altlasten der Zukunft sein.

Ich werde diese Suchprozesse zu mehr Nachhaltigkeit nicht auf technologische oder soziale Lösungswege beschränken, sondern auch die staatlichen Rahmenbedingungen mit ins Blickfeld der Forschungspolitik nehmen.

Ergebnisse von FuE-Vorhaben, die sich mit den innovativen Wirkungen umweltpolitischer Instrumente befassen und die von meinem Vorgänger zwar initiiert, aber nicht aufgegriffen wurden, werde ich in den nächsten Monaten aktiv in die politische Diskussion einbringen.

Forschung und Entwicklung zu Schlüsseltechnologien spielen dabei eine zentrale Rolle. Ich erinnere daran: Auch wenn die Bedeutung des Dienstleistungssektors in hochentwickelten Volkswirtschaften zunimmt, kommt dem verbleibenden Produktionssektor eine weiterhin entscheidende Rolle zu. Seine Weiterentwicklung auf höchstem technischen Niveau ist und bleibt unverzichtbar - die hierfür notwendigen Schlüsseltechnologien müssen von der Wissenschaft in ihren Grundlagen erforscht und von unserer Wirtschaft an vorderster



Front mitentwickelt, patentrechtlich geschützt und sicher beherrscht werden. Hieran führt kein Weg vorbei.

Neben den Innovationsanstrengungen im Bereich der Lebenswissenschaften und Informations- und Kommunikationstechnologien bilden Forschung und Entwicklung in Bereichen wie Chemie und Materialwissenschaften, Physik, insbes. Halbleiter-, Laser- und Plasmatechnik zusammen mit neuesten Produktionsverfahren die Grundlagen neuer technischer Entwicklungen für morgen. Wir haben angekündigt, daß wir in diesen Bereichen die Mittel für Forschung und Entwicklung verstärken werden, und wir sind im Haushaltsaufstellungsverfahren konkret dabei, dies umzusetzen. Dabei wird nicht nur quantitativ aufgestockt, auch neue Programme, wie z. B. "Forschung für die Produktion von morgen" sollen gestärkt werden. Von besonderer Bedeutung sind Entwicklungen transdisziplinärer Art, allen voran die Mikrosystemtechnik und die Nanotechnologie. Wir wissen, die wirkliche Herausforderung steckt für uns in den Technologien hoher Komplexität. Die einfachen Technologien sind längst im Einsatz und wandern in Billiglohnländer ab.

Wir werden eine moderne Forschungspolitik betreiben, die klassischen Instrumente der institutionellen und der Projektförderung ergänzen und weiter entwickeln. Neben der stärkeren Bündelung von Einzelthemen zu "Leitprojekten" werden wir verstärkt Kompetenznetzwerke zwischen Wirtschaft und Wissenschaft aufbauen, wie dies beispielhaft für das Zukunftsfeld der Nanotechnologie begonnen worden ist. Auch Erprobungs- und Beratungszentren, wie sie in der Materialforschung oder in der Lasertechnik existieren, werden auf ihre Wirksamkeit hin evaluiert und gegebenenfalls verstärkt zum Einsatz kommen.

Ein zentrales Anliegen wird sein, durch die Veränderungen der Rahmenbedingungen in enger Verknüpfung mit der Forschungsförderung die organisatorischen Voraussetzungen für eine nachhaltige Entwicklung unserer Wirtschaft zu unterstützen und voranzubringen. Eine zukunftsorientierte Forschungs- und Innovationspolitik muß, aufbauend auf den Grundlagen aus Physik, Chemie und Biologie die Nachhaltigkeit von neuen Technologien zu einem Grundprinzip machen, um die Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen und den Erhalt der wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit zu gewährleisten. Die in der Koalitionsvereinbarung festgeschriebene nationale Nachhaltigkeitsstrategie wird von daher auch im Bereich Forschung und Entwicklung ihre konkrete Verankerung finden. Als Stichwort nenne ich hier die Diskussion zu einer "Nachhaltigen Chemie" im angelsächsischen Raum auch kurz "Green Chemistry" genannt. Beispiele hierfür sind als Stichworte: Katalyse und Mikroreaktoren in der chemischen Technik, in denen wir auch international führend sind. Bei diesen Innovationsanstrengungen steht die rasche und effiziente Umsetzung der Forschungsergebnisse im Mittelpunkt, um die Innovationskraft insbesondere der leistungsstarken, mittelständischen Industrie wirksam zu unterstützen.

---

#### Beispiel chemische Analytik

---

Organische Schadstoffe werden in der chemischen Analytik überwiegend mit chromatografischen Analysenverfahren untersucht.

In der Regel ist das zu prüfende Untersuchungsmaterial einer direkten Messung nicht zugänglich. Deshalb müssen die interessierenden Stoffe zunächst aus der Matrix (Boden, Luft, Wasser, Lebensmittel etc.) isoliert werden. Dies geschieht in der Regel im Rahmen der sogenannten Probenvorbereitung indem die Probe mit



Lösemitteln extrahiert wird, in denen der zu untersuchende Stoff eine gute Löslichkeit besitzt.

Der Lösungsmittelverbrauch liegt normalerweise in einem Bereich von 50 ml bis 500 ml pro Probe.

Leider haben die eingesetzten Lösemittel auch gefährliche Eigenschaften (z. B. leicht entzündlich, narkotisch, neurotoxisch etc.), die einerseits die Gesundheit der Mitarbeiter gefährden und andererseits selbst umweltgefährdend sein können.

Die Headspace Gas-Chromatografie erlaubt es, Proben ohne den Einsatz von Lösemitteln zu untersuchen. Im Chemischen Untersuchungsamt werden folgende Schadstoffe mit der Headspace-Technik untersucht:

Aromatische Kohlenwasserstoffe:

- Benzol, Toluol, Xylole, Ethylbenzol, Propylbenzole

Halogenkohlenwasserstoffe:

- Trichlorfluormethan, Trichlortrifluoethan, Dichlormethan, cis-Dichlorethen, Trichlormethan, Trichlorethan, Tetrachlorkohlenstoff, Trichlorethen, Bromoform, Dichlorbrommethan, Dibromchlormethan

Die Headspace-Technik erfüllt die Forderungen von „Green Chemistry“ weil sie ohne den Verbrauch von Lösemitteln auskommt und so Ressourcen schont, Risiko vermindert und die Umwelt schützt.