

# Zukunftsfähige Chemie

Impulse für eine nachhaltige Stoffpolitik



# Inhaltsverzeichnis

## **Tanz der Elemente**

Einstiege 12

**Eine andere Chemie ist möglich** 17

Nachhaltiges Management von Chemikalien und Stoffen

*Von Markus Große Ophoff und Klaus Günter Steinhäuser*

## **Substanzen**

**Von Stoffströmen zu Informationsflüssen** 26

Kleine Geschichte der Stoffpolitik

*Von Julian Schenten*

**Lobbyismus gegen Überlebensgrundlagen** 33

Global Player Chemieindustrie

*Von Marius Stelzmann*

**Doppelt ungerecht** 41

Verteilung natürlicher Ressourcen

*Von Eugen Pissarskoi*

## **Toxikologie**

- 48 Unsichtbar, aber gefährlich**  
Schadstoffe im Alltag  
*Von Luise Körner*
- 54 Verschwenderischen Einsatz stoppen**  
Schädliche Fluorchemikalien  
*Von Johanna Hausmann und Hanna Mertes*
- 60 An Lösungen mangelt es nicht**  
Hoher Pestizideinsatz in der Landwirtschaft  
*Von Lars Neumeister*
- 67 Nicht unsere Müllkippe!**  
Stoffliche Belastung der Meere  
*Von Franziska Saalman*

## **Reaktionsschemata**

- 74 Geballtes Wissen für die Politik**  
Weltrat für Chemikalien und Abfälle  
*Andreas Schäffer und Leonie Müller*
- 80 „Wir sollten schnell ins Handeln kommen“**  
Internationales Chemikalienmanagement  
*Ein Interview mit Bettina Hoffmann*
- 84 Wege aus der Sackgasse der Linearität**  
Chemische Produktion als Kreislaufwirtschaft  
*Von Henning Wilts*
- 90 Für eine neue Ganzheitlichkeit**  
Nachhaltige Chemie  
*Von Klaus Kümmerer und Markus Große Ophoff*

## Impulse

Projekte und Konzepte 97

Medien 107

## Spektrum Nachhaltigkeit

Gefährliche Illusionen 112

Warum die Blümenträume des grünen Kapitalismus nicht reifen  
*Von Wigbert Tocha*

Atomare Rückwärtsrolle 116

Der Hype um Mini-AKW  
*Von Angela Wolff*

Auch die Politik ist gefragt 120

Rebound-Effekte in Unternehmen  
*Von Franziska Wolff und Stefan Schaltegger*

Democracy for Future 124

Demokratisches Update durch permanente Bürger(innen)räte  
*Von Wolfgang Oels*

## Rubriken

Editorial 7

Inhalt 9

Impressum 128

Vorschau 129

---

Für die gute Zusammenarbeit und die finanzielle Unterstützung danken wir dem Wissenschaftlichen Beirat des BUND.

---



Bund für  
Umwelt und  
Naturschutz  
Deutschland

## Nachhaltige Chemie

# Für eine neue Ganzheitlichkeit

**Die Transformation der chemischen Industrie hat längst begonnen. Aber anstatt wie bislang nur einzelne Symptome zu kurieren, muss grundsätzlicher gedacht und agiert werden. Nur so lässt sich gewährleisten, dass die Chemie als Wissenschaft und als Industrie Beiträge leistet, um die globalen Nachhaltigkeitsziele zu erreichen.**

*Von Klaus Kümmerer und Markus Große Ophoff*

— Die heutige Welt ist ohne Chemikalien und die vielfältigen Produkte, die aus ihnen in anderen Industriezweigen hergestellt werden, nicht mehr denkbar. Fast alle Produkte verzeichnen einen oder mehrere chemische Prozesse im Lebensweg ihrer Herstellung. An vielen Stellen können chemische Produkte – wie Solarzellen, Elektrogeräte, Korrosionsschutz oder Dämmstoffe – zur Nachhaltigkeit beitragen. Gleichzeitig ergeben sich aber auch zahlreiche Probleme durch Chemikalien und die daraus hergestellten Produkte. Daher wird schon länger über Kriterien für und Wege zu einer nachhaltigen Chemie nachgedacht.

Aber gibt es überhaupt nachhaltige Chemikalien? Ist der Kunststoff Polystyrol als Dämmstoff nachhaltig, da er zur Energieeinsparung beiträgt? Wie sind dabei die Zusatzstoffe im Dämmstoff beispielsweise für den Flammschutz zu beurteilen? Kann Polystyrol für Einwegverpackungen nachhaltig sein? Ist es vielleicht nachhaltig, wenn sie aus Recycling-Polystyrol hergestellt werden? Lässt sich beim Recycling sicherstellen, dass die gesundheitsschädlichen Flammschutzmittel aus Dämmstoffen nicht in Lebensmittelverpackungen gelangen?

Schnell wird klar: Es gibt keine per se nachhaltige Chemikalie. Es kommt vielmehr auf den Zweck oder die Funktion an, die diese Chemikalie erfüllen soll, und darauf, ob diese Anwendung überhaupt sinnvoll ist oder es eine nachhaltigere Alternative gibt. Es kommt ebenso auf die Rohstoffbasis an, wie viel Energie bei Herstellung und Nutzung verbraucht (oder eingespart) wird, wem die Ressource »weggenommen« wird, welche sozialen Auswirkungen ihre Nutzung hat oder wofür sie alternativ besser genutzt werden könnte, ob die Chemikalie oder das Produkt weiter genutzt oder nach der Nutzung wiederverwertet werden kann und ob schädliche Stoffe in die Umwelt abgegeben werden, um nur einige Kriterien zu nennen.

In der chemischen Industrie wird bereits intensiv über den Weg zur Nachhaltigkeit diskutiert. Im Vordergrund steht dabei derzeit eine neue Rohstoffbasis, die anstatt auf fossile Rohstoffe auf regenerative setzt und auf Kreislaufführung in Form von chemischem Recycling. Beide Ansatzpunkte sind wichtig, reichen aber bei Weitem nicht aus, um die Nachhaltigen Entwicklungsziele der Vereinten Nationen zu erreichen. Vielmehr sollte die chemische Industrie bereits jetzt einen deutlich umfassenderen Ansatz wählen, um nicht erneut in Technologien zu investieren, die sich schon bald als nicht nachhaltig herausstellen.

### **Auf die Funktion kommt es an**

Produkte der chemischen und verwandten Industrien werden verwendet, weil sie einen bestimmten Zweck erfüllen oder eine bestimmte Funktion bieten. Diese Funktion muss immer der Ausgangspunkt für die Nachhaltigkeitsbetrachtungen sein. Die erste Frage lautet: Ist dieser Zweck oder diese Funktion notwendig und wenn ja, wie lässt er oder sie sich am besten erreichen? Die Berücksichtigung von nicht chemischen Alternativen und alternativen Geschäftsmodellen, wie Dienstleistungen oder Leasing von Chemikalien, ist dabei wichtig. Die Geschäftsmodelle dürfen sich nicht ausschließlich auf wirtschaftliche Ziele konzentrieren. Erst wenn klar ist, dass eine chemische Verbindung für einen bestimmten Zweck benötigt wird, stellt sich die Frage, welche chemische Verbindung diesen Zweck am besten erfüllen kann und wie sich dies am nachhaltigsten verwirklichen lässt. Die Betrachtung geht dabei weit über die reine chemische Synthese hinaus. Der gesamte Lebensweg von der Rohstoffgewinnung bis hin zur Kreislaufführung muss betrachtet werden.

Dabei sollte man aufpassen, nicht in Fallen durch zu stark verallgemeinerte oder vereinfachte Leitbilder zu tappen. Eine vollkommen geschlossene Kreislaufführung ist in der Realität nicht möglich. (1) Sie wird allein schon durch die Vielfalt der eingesetzten Produkte und ihrer diversen Zusammensetzung etwa auf molekularer Ebene erschwert. So führt beispielsweise der Trend nach immer spezialisierteren Kunststoffen dazu, dass sich in den Sammelsystemen der gelben Tonne viele unterschiedliche Kunststoffe befinden, die teils untrennbar miteinander verbunden sind und zudem oft noch weitere Chemikalien (Additive) enthalten.

**„Auf allen Ebenen müssen Innovationen entwickelt werden, die verantwortungsvoll, vertrauenswürdig, transparent und nachvollziehbar sind.“**

Es wird daher immer einen Anteil geben, der infolge nicht entfernbare Bestandteile, Verunreinigungen oder Schädigungen ausgeschleust werden muss. Wir können nur den Anteil der unvermeidlichen Verluste reduzieren. Dies müssen wir dann aber nach den Gesetzen der Thermodynamik mit einem erhöhten Energieaufwand »bezahlen« und es wird immer zusätzlicher Abfall anfallen. Von daher kann es kein sogenanntes Upcycling geben. Dieser Begriff zeigt nur, dass der Betrachtungsrahmen zu eng gewählt wurde. Im besten Fall handelt es sich um eine Weiternutzung des Materials für eine gewisse Zeit, welches dann danach ebenfalls unter Verlusten und Energieaufwand und Entstehung von Abfällen wieder rezykliert werden muss. Im Bereich der Kunststoffe aus dem Verbraucherbereich funktioniert nur das Recycling der PET-Pfandflaschen einigermaßen gut, da sie weitgehend sortenrein gesammelt werden. Durch ein anspruchsvolles Sortierverfahren lässt sich daraus wieder Kunststoff für die Herstellung von Flaschen gewinnen. Doch auch hier wird ein Anteil anderer Kunststoffe (beispielsweise aus dem Deckel) und verschmutzter

Kunststoffe aussortiert und verbrannt. Wenn die notwendigen Qualitätsstandards für Lebensmittelverpackungen nicht erreicht werden, lassen sich aus dem Rezyklat Textilfasern herstellen. In diesem Fall werden aber weitere Chemikalien und gegebenenfalls weitere Fasern hinzugefügt, bis das Textil hergestellt ist, was dann ein nochmaliges qualitativ hochwertiges Recycling nicht erlaubt („Downcycling“). (2)

### **Planetare Leitplanken und Vorsorgeprinzip als Richtschnur**

Um eine Innovation oder ein alternatives Produktangebot zu entwickeln, ist es unumgänglich, soziale und gesellschaftliche Verbesserungen einzubeziehen. Auf allen Ebenen müssen Innovationen entwickelt werden, die verantwortungsvoll, vertrauenswürdig, transparent und nachvollziehbar sind. Um die 17 Ziele für Nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen zu erreichen, muss sich die Praxis der chemischen Industrie an allgemeinen Nachhaltigkeitsprinzipien wie Suffizienz, Konsistenz, Effizienz und Resilienz orientieren. Zusammen mit der Beachtung der planetaren Leitplanken und des Vorsorgeprinzips können neue wirtschaftliche Möglichkeiten entstehen, die gleichzeitig gesellschaftlichen Nutzen stiften. Hauptmerkmale einer nachhaltigen Chemie in diesem Sinne sind (2):

1. *Holistisch*: Der Chemiesektor richtet sich an den Zielen der Nachhaltigkeit aus. Dabei werden Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Sektoren und den damit zusammenhängenden Zeitskalen berücksichtigt.

2. *Vorsorge*: Es wird vermieden, dass sich Probleme und Kosten auf andere Bereiche, Sphären oder Regionen verlagern. Es werden keine Stoffe in Umlauf gebracht, die zur Bildung künftiger Altlasten führen könnten. Bestehende Altlasten werden entsprechend dem Verursacherprinzip behandelt.

3. *Systematisches Denken*: Nachhaltige Chemie erfordert ein inter-, multi- und transdisziplinäres Denken auf einer soliden fachlichen Basis.

4. *Ethische und soziale Verantwortung*: Die Grundrechte und Menschenrechte aller Bewohner(innen) der Erde werden eingehalten und Wohlergehen aller Lebe-



**„ Mit den Ansatzpunkten der nachhaltigen Chemie lässt sich die Transformation so gestalten, dass wirklich langfristig tragfähige Geschäftsmodelle entstehen.“**

wesen berücksichtigt. Gerechtigkeit, die Interessen gefährdeter Gruppen und die Förderung fairer, integrativer, kritischer und emanzipatorischer Ansätze in allen Bereichen, einschließlich Bildung, Wissenschaft und Technologie, werden vorangetrieben.

*5. Zusammenarbeit und Transparenz:* Der Austausch, die Zusammenarbeit und das Recht aller Beteiligten auf Information zur Verbesserung der Nachhaltigkeit von Geschäftsmodellen, Dienstleistungen, Prozessen und Produkten werden gefördert. Die damit verbundenen Entscheidungen, einschließlich der ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Entwicklung auf allen Ebenen, werden transparent gestaltet. Jegliches Greenwashing wird durch vollständige Transparenz bei allen wissenschaftlichen und geschäftlichen Aktivitäten gegenüber allen Beteiligten und der Zivilgesellschaft vermieden.

*6. Nachhaltige und verantwortungsbewusste Innovation:* Die chemischen und verwandten Industrien werden von der molekularen bis zur makroskopischen Ebene von Produkten, Prozessen, Funktionen und Dienstleistungen in einer proaktiven Perspektive in Richtung Nachhaltigkeit transformiert. Die schließt eine kontinuierliche vertrauenswürdige, transparente und nachvollziehbare Kontrolle mit ein.

*7. Chemikalienmanagement:* Chemikalien und Abfälle werden während ihres gesamten Lebenszyklus zur Vermeidung von Persistenz, Toxizität und Bioakkumulation sowie anderer Schäden durch chemische Stoffe, Materialien, Verfahren, Produkte und Dienstleistungen umweltgerecht gemanagt und überwacht.

8. *Zirkularität*: Die Möglichkeiten und Grenzen einer Kreislaufwirtschaft, einschließlich der Verringerung der gesamten Stoff-, Material- und Produktströme sowie der damit verbundenen Energieströme in allen räumlichen und zeitlichen Maßstäben und Dimensionen, insbesondere in Bezug auf Volumen und Komplexität, werden berücksichtigt.

9. *Grüne Chemie*: Im Rahmen der Anwendung nachhaltiger Chemie werden so viele der zwölf Grundsätze der grünen Chemie wie möglich erfüllt, wobei die Verringerung von Gefahren im Mittelpunkt steht, wenn Chemikalien zur Erbringung einer Dienstleistung oder Funktion benötigt werden, wann und wo immer dies mit der Nachhaltigkeit vereinbar ist. (3)

10. *Lebenszyklus*: Die oben genannten Prinzipien werden für den gesamten Lebenszyklus von Produkten, Prozessen, Funktionen und Dienstleistungen auf allen Ebenen und in allen Sektoren proaktiv in Richtung Nachhaltigkeit angewandt.

### **Interdisziplinärer und umfassender ausbilden**

Diese zehn Merkmale zeigen auf, dass die Transformation in Richtung einer nachhaltigen Chemie eine grundsätzlich andere Herangehensweise erfordert. Auch für die Ausbildung der Mitarbeiter(innen) in chemischen Berufen und insgesamt für alle Berufe in der chemischen Industrie stellt dies eine besondere Herausforderung dar. (4) Die Zusammenarbeit in interdisziplinären Teams muss sowohl in der Wissenschaft als auch in der Industrie und in Behörden vorangetrieben und gefördert werden. In die fachliche Ausbildung von Chemiker(inne)n müssen Nachhaltigkeitsthemen sowie das inter-, multi- und transdisziplinäre Denken integriert werden. Dazu muss die Bedeutung von chemischen Produkten in verschiedenen Branchen und in der Gesellschaft – einschließlich Ökonomie und Nachhaltigkeit – vermittelt werden. (5)

Wir befinden uns bereits in einer Transformation der chemischen Industrie. Es besteht aber die Gefahr, dass jetzt nur einzelne Symptome kuriert, aber die Probleme nicht ganzheitlich angegangen werden. Mit den Ansatzpunkten der nachhaltigen Chemie lässt sich diese Transformation so gestalten, dass wirklich langfristig trag-

fähige Geschäftsmodelle entstehen und gleichzeitig die 17 Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen insgesamt erreicht werden können. \_\_\_\_\_

### Literatur

- (1) Lehmann, H. et al. (2022): The Impossibilities of the Circular Economy, Routledge, London.
- (2) Zuin, V. G. / Kümmerer, K. (2022): Repurposing chemical waste: Sustainable chemistry for circularity beyond artificial intelligence. In: Cell. 2022, 185, S. 2655-2656.
- (3) <https://isc3.org/page/key-characteristics-of-sustainable-chemistry>
- (4) Anastas, P. T. / Warner, J. C. (1998) Green Chemistry: Theory and Practice, New York, S. 30.
- (5) Wissinger, J. E. et al (2021): Integrating Sustainability into Learning in Chemistry. In: Journal of Chemical Education, 98, S. 1061-1063



### Wann stimmt bei Ihnen die Chemie?

- a) Die Chemie stimmt, wenn sie nachhaltig nachhaltig ist.
- b) Wenn die Wechselwirkungen auf dem Planeten zu unser aller Wohlbefinden beitragen.

### Zu den Autoren

- a) Klaus Kümmerer ist Chemiker und seit 2010 Professor für Nachhaltige Chemie und Stoffliche Ressourcen. an der Leuphana Universität.
- b) Markus Große Ophoff ist Chemiker und

lehrt an der Hochschule Osnabrück. Er ist Sprecher des Arbeitskreises Umweltchemikalien / Toxikologie im Wissenschaftlichen Beirat des BUND.

### Kontakt

Prof. Dr. Klaus Kümmerer  
Leuphana Universität Lüneburg  
Institut für Nachhaltige Chemie  
E-Mail [klaus.kuemmerer@leuphana.de](mailto:klaus.kuemmerer@leuphana.de)

Prof. Dr. Markus Große Ophoff  
Bund für Umwelt und Naturschutz  
Deutschland e. V. (BUND)  
E-Mail [markus.grosse-ophoff@bund.net](mailto:markus.grosse-ophoff@bund.net)