

Herausforderungen für eine nachhaltige Stoffpolitik

Notwendigkeit einer Transformation im globalen Kontext

In memoriam Karl Otto Henseling

Inhalt

Zusammenfassung	6
Executive summary	8
1. Einleitung	10
2. Rückblick auf mehr als 60 Jahre Chemiediskussion	12
3. Leitbilder einer nachhaltigen Stoffpolitik	14
3.1 Vorsorgeprinzip	14
3.2 Nachhaltigkeit	16
4. Stoffpolitik ist eine planetare Frage	18
4.1 Globale Belastung mit Chemikalien	18
4.2 Planetare Leitplanken	18
4.3 Planetare Leitplanke: „Neue Substanzen“	22
4.4 Internationale Lösungsansätze	24
4.4.1 Die Zusage der Weltgemeinschaft	24
4.4.2 Aktivitäten der Vereinten Nationen – Nachhaltige Entwicklungsziele	24
4.4.3 Globale Übereinkommen	24
4.4.4 Das Forum SAICM	26
4.4.5 Global akzeptierte Prüf-, Bewertungs- und Einstufungsverfahren	27
4.4.6 Trotz allem: zu langsam und zu wenig!	27
5. Europäische Chemikalienpolitik	29
6. Stoffbewertung – Persistenz und andere kritische Stoffeigenschaften	33
6.1 Persistenz als zentrales Umweltproblem	33
6.2 (Bio-)Akkumulation	36
6.3 Mobilität	36
6.4 Indirekte Wirkungen	37
6.5 Hormonelle Wirkungen	38
6.6 Irreversible Gesundheitsschäden	39
6.7 Nanomaterialien und andere neuartige Materialien	40
6.8 Kombinationswirkungen	41
6.9 Mikroschadstoffe in Gewässern	43

7. Stoffstrommanagement	45
7.1 Grundregeln der Enquete-Kommission	45
7.2 Prinzipien des nachhaltigen Stoffstrommanagements	46
7.3 Notwendige Trendumkehr bei der Chemikalienproduktion	48
7.4 Zirkuläre Ökonomie	50
7.4.1 Zielkonflikte	51
7.4.2 Rohstoffgewinnung und -aufbereitung	52
7.4.3 Vielfalt der Inhaltsstoffe und der Produkte	53
7.4.4 Kunststoffe	55
7.4.5 Produktdesign	56
7.5 Dienstleistungsmodelle	58
8. Nachhaltige Chemie	59
9. Leitsätze zur Stoffpolitik – Forderungen des BUND	66
9.1 Forderungen zur Weiterentwicklung der internationalen Stoffpolitik	67
9.2 Forderungen zur Weiterentwicklung der europäischen Chemikalienpolitik	68
9.3 Forderungen zur Weiterentwicklung der Stoffbewertung und des Chemikalienmanagements	69
9.4 Forderungen für ein nachhaltiges Stoffstrommanagement	70
9.5 Forderungen zur Nachhaltigen Chemie	72
9.6 Forderungen zur Forschungs- und Bildungspolitik	72
10. Literatur	74
Die politische Position des BUND/Friends of the Earth Germany	96

Zusammenfassung

Die Nutzung natürlicher Ressourcen und die Chemikalienproduktion haben in den letzten Jahrzehnten weltweit dramatisch zugenommen – und eine weitere Zunahme ist prognostiziert. Während früher meist lokale Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt im Vordergrund standen, ist inzwischen klar, dass der gegenwärtige Umgang mit Rohstoffen, Chemikalien und aus Chemikalien hergestellten Produkten die Biosphäre als Ganzes gefährdet. Durch die massiven Eingriffe des Menschen seit Beginn des Industriezeitalters hat die Erde die stabile Phase des Holozäns verlassen und ist in eine neue erdgeschichtliche Periode, das Anthropozän, eingetreten.

2009 und 2015 haben Wissenschaftler*innen das Konzept der planetaren Leitplanken vorgestellt. Darin haben sie neun Bereiche definiert, in denen das Erdsystem durch menschliches Handeln gefährdet ist. Mit den Treibhausgasen, die den Klimawandel verursachen, der Versauerung der Meere, der Schädigung der Ozonschicht, den Aerosolen in der Atmosphäre, den Einträgen von Phosphor und Stickstoff sowie den „Neuen Substanzen“ sind sechs dieser Leitplanken mit Ressourcennutzung sowie dem Einsatz und Emissionen von Chemikalien direkt verbunden.

Die Analysen zeigen: Unsere heutige Wirtschaftsweise und aktuellen Lebensstile sind nicht nachhaltig und überschreiten die Kapazitätsgrenzen unserer Erde. Die Tendenzen beim globalen Rohstoff- und Energieverbrauch weisen auf eine sich beschleunigende Zunahme hin. Eine Trendwende ist nicht in Sicht. Die Menschheit hat den sicheren Handlungsraum bereits verlassen.

Auch die planetare Leitplanke „Neue Substanzen“ ist bereits überschritten. Weltweit werden schätzungsweise 350.000 verschiedene Chemikalien hergestellt. Dazu gehören Kunststoffe, Pestizide, Industriechemikalien, Chemikalien in Konsumgütern, Antibiotika und andere Pharmazeutika. Dabei handelt es sich häufig um völlig neue Stoffe, die nicht natürlich vor-

kommen, sondern erst durch menschliche Aktivitäten entstehen und deren Auswirkungen auf das Erdsystem noch weitgehend unbekannt sind. Viele dieser Chemikalien sind zudem über Jahrhunderte in der Umwelt stabil. Die Beispiele der Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), der per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) und des Plastiks zeigen, dass auch Substanzen und Materialien, von denen ursprünglich angenommen wurde, dass sie ungefährlich seien, große Probleme verursachen können. Einmal in die Umwelt gelangt, sind diese „Ewigkeits-Chemikalien“ – wenn überhaupt – nur mit großem Aufwand zurückzuholen.

Bereits in den 1970er und 1980er Jahren wurde erkannt, dass es zu spät sein kann, erst zu handeln, wenn Wirkungen von Stoffen in der Umwelt zweifelsfrei nachgewiesen sind. Im nationalen und internationalen Recht wurde daher das Vorsorgeprinzip verankert. Danach sollen Maßnahmen zur Vermeidung von Schäden bereits dann ergriffen werden, wenn triftige Gründe zur Besorgnis vorliegen. Doch noch immer ist viel zu oft das „weiter so“ die gängige Handlungsmaxime. Maßnahmen wurden und werden erst nach jahrelanger Verzögerung ergriffen, wenn Schäden bereits eingetreten sind.

Es wird schnell klar: Wir brauchen neue Ansätze. Eine Chemikalie für sich allein zu beurteilen, genügt meist nicht. Es muss in Zusammenhängen gedacht und gehandelt werden. Neben dem Zusammenspiel verschiedener Chemikalien sind auch weitere Faktoren, beispielsweise das sich ändernde Klima, die Verluste an biologischer Vielfalt und Belastungen der menschlichen Gesundheit, zu beachten. Auch die globale Dimension der Stoffströme ist in den Blick zu nehmen. Wir brauchen eine nationale und globale Stoffpolitik, die sich diesen Herausforderungen stellt.

Diese BUND-Position „Herausforderungen für eine nachhaltige Stoffpolitik – Notwendigkeit einer Transformation im globalen Kontext“ zeigt Wege auf, wie

eine nachhaltige Stoffpolitik gelingen kann. Beispiele: Langlebige Stoffe sollten nicht in die Umwelt gelangen und es sollten deutlich weniger giftige Chemikalien produziert werden. Wo möglich, sollten generell weniger Chemikalien eingesetzt werden. Wird eine Substanz oder ein Produkt dennoch verwendet, muss dies möglichst effizient – also mit hohem Nutzen geschehen. Dabei ist auf eine konsequente Kreislaufführung der verbleibenden Stoffströme zu achten; das Ziel muss eine zirkuläre Ökonomie sein. Die gesetzlichen Grundlagen des Chemikalien-, Produkt- und Abfallrechts sind deshalb auf eine gemeinsame Basis zu stellen und eng aufeinander abzustimmen. Bei der anstehenden Novellierung der EU-REACH-Verordnung ist dies zu beachten und eine konsequente Umsetzung der „EU-Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit“ notwendig.

Eine nachhaltige Stoffpolitik muss zudem alle Lebensbereiche wie Mobilität, Wohnen und Bauen, Ernährung, Bekleidung und Konsum umfassen. Sie geht damit weit über die bisherige Chemikalienpolitik hinaus und erfordert ähnlich wie beim Klimaschutz eine umfassende Transformation der Wirtschaftsweise und des Konsumverhaltens. Stoffpolitik ist dabei eng mit Ressourcen- und Klimaschutz verknüpft und muss gemeinsam mit diesen gedacht und umgesetzt werden.

Dieses Positionspapier zeigt: Die Stoffpolitik ist stärker an den Leitbildern Vorsorge und Nachhaltigkeit auszurichten. Dies bedeutet international eine Verknüpfung mit den nachhaltigen Entwicklungszielen („Sustainable Development Goals“, SDGs) der Vereinten Nationen. Bei der Stoffbewertung ist insbesondere die Persistenz als zentrales Gefährdungsmerkmal konsequent zu beachten. Ein zentrales Ziel ist es, nachhaltige Chemikalien, die insbesondere nicht persistent, aber auch nicht bioakkumulierend, (öko)toxisch oder hochmobil sind, zu entwickeln und einzusetzen. Nachhaltige Stoffpolitik erfordert auch eine Reduzierung der globalen Belastung mit Che-

mikalien und der Übernutzung der Ressourcen durch ein nachhaltiges Stoffstrommanagement.

Im abschließenden Kapitel „Leitsätze zur Stoffpolitik – Forderungen des BUND“ sind alle aus den vorherigen Kapiteln hergeleiteten Leitsätze und Forderungen zusammengefasst. Das Politikfeld „Stoffpolitik“ wird in seiner Breite dargestellt und Maßnahmen zur Zielerreichung vorgestellt. Hierzu zählen auch Forderungen zur stoffbezogenen Forschungs- und Bildungspolitik.

Dieses Positionspapier

- zeigt, dass Stoffe Auswirkungen auf planetarer Ebene haben, die – ähnlich wie der Klimawandel und der Biodiversitätsverlust – das ökologische Gleichgewicht des ganzen Planeten in Frage stellen;
- verdeutlicht, dass Persistenz eine zentrale Gefahr darstellt, der konsequent begegnet werden muss. Das ist vergleichbar mit der Kernenergie und ihren radioaktiven Abfällen oder mit der Rolle von Kohlendioxid beim Klimawandel, die ebenso langfristige Probleme verursachen;
- fokussiert auf das Vorsorgeprinzip und auf ein nachhaltiges Stoffstrommanagement mit einer besonderen Betonung der Suffizienz als Lösungsansatz;
- nennt wesentliche Elemente einer nachhaltigen Chemie;
- leitet her, dass rechtlich verbindliche internationale Vereinbarungen nötig sind. Eine zukünftige globale Rahmenkonvention zum nachhaltigen Management von Stoffen, Materialien und Ressourcen soll die Regelungen für Chemikalien, Schadstoffe, Ressourcen und gefährliche Abfälle verbinden und dabei gleichzeitig verbindliche Reduktionsziele festlegen.

Der BUND möchte mit dieser Position den Diskurs zu einer neuen nachhaltigen Stoffpolitik anstoßen.

Executive summary

Over the past decades the use of natural resources and the production of chemicals have increased dramatically – and a further increase is forecasted. Whereas earlier the main focus was on local effects on health and the environment, in the meantime it has become apparent that current ways of dealing with raw materials, chemicals and products manufactured from chemicals are threatening the biosphere as a whole. Due to the massive human interventions since the beginning of the industrial age, the earth has left the stable phase of the Holocene and has entered a new earth-historical period, the Anthropocene.

In 2009 and 2015 scientists introduced the concept of planetary boundaries. As part of this framework nine areas were defined in which human activities are threatening the Earth system. With the greenhouse gases causing climate change, the acidification of the oceans, damage to the ozone layer, atmospheric aerosol loading, biogeochemical flows of phosphorus and nitrogen as well as "novel entities" six of these boundaries relate to the use of resources as well as the use of chemicals and to their emissions.

The analyses show that the economic activity of humans today and current lifestyles are unsustainable and exceed the limits of our Earth system. The trends in global consumption of natural resources and energy indicate that increase is accelerating. No reversal of the trend is in sight. Humanity has already left the safe operating space.

The planetary boundary "Novel entities" has already been exceeded. An estimated 350,000 different chemicals are produced worldwide. These include plastics, pesticides, industrial chemicals, chemicals in consumer products, antibiotics and other pharmaceuticals. These are often completely new substances that do not occur naturally, but are created as a result of human activities, and their impact on the Earth system is still largely unknown. Many of these chem-

icals have been stable in the environment for centuries. The examples of chlorofluorocarbons (CFCs), per- and polyfluorinated alkyl substances (PFAS) and of plastics show that substances and materials which were originally assumed not to be hazardous can also cause considerable problems. Once released into the environment these "forever chemicals" can only be retrieved again – if at all – with great difficulty.

It was already recognized in the 1970s and 1980s that taking action only when the effects of substances in the environment have been proven beyond any doubt can be too late. That is why the precautionary principle was anchored in national and international law. Based on this, measures for preventing damage should be implemented as soon as there is legitimate reason for concern. However, "business as usual" continues to be the most common rule for action. Measures have been and still are only adopted after years of delay during which damage has already occurred.

It is quickly becoming clear: We need new approaches. Mostly it is not enough to assess one chemical on its own. Contextual thinking and action are needed. The interactions among different chemicals and other stress factors – such as the changing climate, losses of biodiversity and impacts on human health – must be taken into consideration. The global dimension of materials flows must be considered as well. We need a national and global chemicals and materials policy that faces these challenges.

This Friends of the Earth (FoE) Germany (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland BUND) position paper "Challenges for a Sustainable Chemicals and Materials Policy – the Need for Transformation in the Global Context" presents ways for successfully introducing a sustainable chemicals and materials policy. Examples: Persistent substances should not be released to the environment and substantially fewer toxic chemicals should be produced. Where possible, fewer chemicals should be used. If a chemical or

product is necessary to be used, this should be done as efficiently as possible – in other words, with a high level of benefit. At the same time, reuse of chemicals and materials by closing the material cycles should be considered. The ultimate goal is an efficient circular economy.

The statutory regulations for chemicals, product and waste legislation must share a common basis and be closely coordinated with each other. This must be taken into account in the upcoming revision of the EU REACH Regulation. A consistent implementation of the EU "Chemicals Strategy for Sustainability" is necessary.

A sustainable chemicals and materials policy must also encompass all areas of life such as mobility, housing and construction, nutrition, clothing and consumption. It thus goes far beyond traditional chemicals policy and, similarly to climate policy, requires a comprehensive transformation of economic activity and consumer behaviour. In this regard, chemicals policy is closely related to protecting resources and safeguarding climate and must be conceived and implemented while considering such protection.

This position paper shows: Chemicals policy must be developed with a stronger focus on precautionary action and sustainability. At the international level this means using the Sustainable Development Goals (SDGs) of the United Nations as a benchmark. In assessing chemicals, persistence must be consistently regarded as the core hazard. A central goal is to develop and use sustainable chemicals which in particular are neither persistent, bioaccumulating, (eco)toxic, nor highly mobile. Sustainable chemicals and materials policy also requires a reduction in the global burden of chemicals and the overexploitation of resources through sustainable materials flow management.

In the final chapter, "Guiding principles for chemicals and materials policy – Recommendations by Friends

of the Earth Germany", all the guiding principles and recommendations worked out in the previous chapters are summarized. The area of "chemicals and materials policy" is presented in its broader context and measures for achieving the goals are presented. This also includes recommendations regarding research and education policy on substances.

This position paper

- demonstrates that substances have effects at the planetary level, which – in a manner similar to climate change and loss of biodiversity – are threatening the ecological balance of the entire planet;
- underscores that persistence represents a central hazard that must be systematically addressed. It is comparable to nuclear energy with its radioactive waste or to carbon dioxide in climate change, which also create long-term problems;
- focuses on the precautionary principle and a sustainable material flow management with special emphasis on sufficiency as a solution measure;
- identifies essential elements of sustainable chemistry;
- derives that legally binding international agreements are needed. A future global framework convention on sustainable management of substances, materials and resources should link the regulations on chemicals, pollutants, resources and hazardous wastes, while setting binding reduction targets.

With this position paper FoE Germany wishes to stimulate discussions on a new sustainable chemicals and materials policy.

1. Einleitung

„Chemiepolitik“: Der BUND-Bundesarbeitskreis Umweltchemikalien/Toxikologie prägte diesen Begriff bereits im Jahr 1983. In der 1984 erschienenen ersten Ausgabe des damals vom BUND und dem Bundesverband Bürgerinitiativen Umweltschutz (BBU) herausgegebenen „Informationsdienstes Chemie und Umwelt“ steht ([1], vgl. auch [2]):

„Es ist nahezu unglaublich, dass die Regulierung des Chemikalieneinsatzes trotz der schwerwiegenden Umweltprobleme keinen eigenständigen Politikbereich darstellt. Es gibt selbstverständlich eine Wirtschaftspolitik, eine Sozialpolitik, eine Landwirtschaftspolitik – aber keine Chemiepolitik.“

Heute gibt es „Chemiepolitik“: Katastrophen wie im italienischen Seveso 1976 (Icmesa), im indischen Bhopal 1984 (Union Carbide India Limited) und in Schweizerhalle 1986 (Sandoz) waren Auslöser für eine chemiepolitische Diskussion. Mittlerweile wurden europäische und deutsche Gesetze zum Schutz vor Risiken durch Chemikalien erlassen. Die Ergebnisse können sich einerseits sehen lassen: Viele Chemiefirmen produzieren seitdem sicherer. Mit der Initiative „Responsible Care“ bekennt sich die chemische Industrie zu ihrer Verantwortung für die Sicherheit ihrer Produktion und Produkte. Auch Gesetze wurden verbessert: Die EU-Chemikalienverordnung REACH (REACH: Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals) [3] verpflichtet erstmals Hersteller und Importeure dazu, anhand von Daten zu belegen, dass alle ihre Chemikalien sicher für Mensch und Umwelt sind (gilt für jährliche Produktionsmengen größer 1 Tonne pro Jahr). Das Bundes-Immissionsschutzgesetz regelt unter anderem Herstellung und Umgang mit Chemikalien in Anlagen. Andererseits ist die Chemikalienbelastung von Mensch und Umwelt teilweise sogar gestiegen und inzwischen ein globales Problem.

In den westlichen Industrieländern sind die Konzentrationen einiger Schadstoffe im Menschen und in der Umwelt zurückgegangen, der technische Umweltschutz und einige gesetzliche Regelungen zeigen Wirkung. Gleichwohl weist die moderne chemische Analytik immer mehr problematische chemische Stoffe in der Umwelt, in Lebensmitteln und im Menschen nach und verdeutlicht auf diese Weise, dass unvermindert erheblicher Handlungsbedarf besteht. Sowohl die Mikroschadstoff-Strategie des BUND (Juli 2017) [4] als auch die des Umweltbundesamtes (April 2018) [5] zeigen, wie notwendig es ist, Maßnahmen gegen die Vielfalt der Chemikalien in den Umweltmedien zu ergreifen. Außerdem nimmt die Chemikalienproduktion weltweit ständig zu. Insbesondere die schiere Menge der Plastikproduktion gefährdet ganze Ökosysteme.

Auch bei verbrauchernahen Produkten nimmt die stoffliche Komplexität zu. Die Transparenz der Inhaltsstoffe der Produkte bleibt dürftig. Gleiches gilt für viele moderne Produkte wie Elektronikartikel oder Autos, die heutzutage aus einer Vielzahl komplexer Materialien und Bausteinen bestehen. Dies erschwert oder verhindert Wiederverwendung, Reparatur und Recycling. Viele wertvolle Rohstoffe gehen so verloren. Die rasante Zunahme der globalen Stoffströme stellt die Chemie- und Stoffpolitik vor neue Herausforderungen. Neue, als zukunftsfähig betrachtete Ansätze wie Power to X¹ oder die Nutzung nachwachsender Rohstoffe sind in ihrem wirklichen Beitrag zu mehr Nachhaltigkeit noch nicht abgeklärt (siehe [Abschnitt 7.3](#)).

Nach einem Rückblick auf über 60 Jahre Chemiediskussion ([Kapitel 2](#)) betrachten wir die Leitbilder einer nachhaltigen Stoffpolitik ([Kapitel 3](#)) und widmen uns der globalen Dimension der Stoffpolitik ([Kapitel 4](#)). In der EU ist REACH die zentrale Rechtsnorm für die Chemikaliensicherheit mit wesentlichen

¹ Mit Power to X werden Verfahren bezeichnet, unter Einsatz von (erneuerbarer) Energie gasförmige und flüssige Grundstoffe aus Kohlendioxid (CO₂) und Wasserstoff (H₂) herzustellen.

Fortschritten und einigen Schwächen ([Kapitel 5](#)). In [Kapitel 6](#) erörtern wir die Bedeutung der Persistenz und anderer stoffbezogener Gefahren, bevor wir uns in [Kapitel 7](#) den quantitativen Aspekten eines nachhaltigen Stoffstrommanagements zuwenden. In [Kapitel 8](#) wird die nachhaltige Chemie als Lösungsansatz vorgestellt. Abschließend stellen wir Leitsätze und Forderungen des BUND für eine nachhaltige Stoffpolitik vor ([Kapitel 9](#)).

2. Rückblick auf mehr als 60 Jahre Chemiediskussion

Die Debatte um Chemikalien hat sich verändert. In der Mitte des letzten Jahrhunderts stand die Durchdringung unseres Lebens mit Chemie noch am Anfang, ebenso wie die chemiepolitische Diskussion. Das änderte sich im Frühherbst 1962, als Rachel Carson das Buch „Silent Spring“ in den USA veröffentlichte [6]. Die Biologin trug in ihrem Buch Fakten über die Anwendung von Pestiziden zusammen. Das liegt inzwischen mehr als 60 Jahre zurück, doch viele der von ihr angesprochenen Fragen sind heute noch so aktuell, dass die Akademie der Wissenschaften Leopoldina ihrem Diskussionspapier zu Pflanzenschutzmitteln denselben Titel gegeben hat [7].

Bereits in den 1960er und 1970er Jahren wuchs der Widerstand gegen die Gefahren durch Chemikalien. Umweltschutzverbände und lokale Initiativen kämpften gegen die Auswirkungen solcher Umweltbelastungen und für eine saubere Herstellung, Anwendung und Entsorgung chemischer Stoffe sowie generell für ein sicheres Leben in einer zunehmend mit Chemikalien belasteten Welt.

Anfang der 1980er Jahre machten sich Fachleute des BUND erstmals grundsätzliche Gedanken zu dieser Thematik. 1983 prägte der BUND-Bundesarbeitskreis Umweltchemikalien/Toxikologie den Begriff „Chemiepolitik“. 1984 erschien das zehnte Positionspapier des BUND mit dem Titel „Chemiepolitik – der BUND fordert einen neuen Politikbereich“ [2]. Darin enthalten sind folgende drei chemiepolitische Leitsätze:

- Ein Minimierungsgebot soll sowohl für die Entnahme von Rohstoffen aus der Umwelt als auch für die Einbringung von Stoffen in die Umwelt gelten (Suffizienz).
- Mit dem Recyclingprinzip soll der Rückführung von Produkten bzw. der Rückgewinnung von Stoffen Priorität gegeben werden.
- Es gilt, ein ökologisches Design für Stoffe zu entwickeln. Das heißt, dass – soweit möglich – Chemikalien zur Anwendung kommen, die bei ihrer

Freisetzung in natürliche Stoffkreisläufe eingebunden werden können.

Weitere Publikationen, z. B. zur Chlorchemie, aus dem Umfeld des Arbeitskreises folgten ([8] – [11]).

Auch das Umweltbundesamt beschrieb 1999 Handlungsfelder und Kriterien für eine vorsorgende nachhaltige Stoffpolitik [12]. Darin werden u. a. folgende, unvermindert aktuelle Umwelthandlungsziele genannt:

- Der irreversible Eintrag von persistenten und/oder bioakkumulierenden Fremdstoffen in die Umwelt ist unabhängig von ihrer Toxizität vollständig zu vermeiden.
- Stoffliche Einträge in die Umwelt sind unabhängig von bisher erkannten Wirkungen und anderen intrinsischen² Eigenschaften zu vermeiden, falls eine Rückholbarkeit aufgrund der hohen Verteilung und/oder des geringen Austausches praktisch nicht möglich ist (Minimierungsgebot).

Ein weiterer Anstoß sich mit der weltweiten Belastung durch Chemikalien auseinanderzusetzen war die Veröffentlichung des Buches „Die bedrohte Zukunft“ von Theo Colburn im Jahr 1998, die auf die Wirkungen hormonell aktiver Chemikalien und ihren Einfluss auf die Fruchtbarkeit aufmerksam machte [13].

Die Debatte hat sich seitdem weiterentwickelt. Sie konzentriert sich heute nicht mehr nur auf die Chlorchemie, sondern beispielsweise auf Stoffe, die schädlich auf das Hormonsystem wirken (endokrine Disruptoren), die in der Umwelt über lange Zeiträume beständig sind (persistent), sich in Lebewesen anreichern (bioakkumulierbar) oder sich über weite Strecken ausbreiten können (mobil). Der Schutz der Biodiversität ist neben dem Schutz der menschlichen Gesundheit ein zentrales Schutzziel.

Die weltweite Verteilung freigesetzter Chemikalien und Kunststoffe auch weitab von deren Herkunfts-

² Unter *intrinsischen Eigenschaften* versteht man *Eigenschaften, die zum Gegenstand selbst gehören und ihn zu dem machen, was er ist.*

orten belegen, dass eine nachhaltige Stoffpolitik weltweit notwendig ist. Diese Herausforderung spiegelt sich in den nachhaltigen Entwicklungszielen („Sustainable Development Goals“ – SDGs) der Vereinten Nationen (2015) wider ([14], [15]).

In den vergangenen 25 Jahren wurde zunehmend auch erkannt, dass die Belastungen für Mensch und Umwelt am besten dann verringert werden können, wenn die Stoffströme analysiert und kontrolliert werden, da Umweltbelastungen zunehmend durch Ressourcengewinnung, die Produkte selbst und deren Entsorgung als Abfall nach Ende der Nutzungsdauer entstehen. Stoffpolitik ist heute eng mit Ressourcen-, Produkt- und Abfallpolitik verknüpft. Eine zirkuläre Ökonomie ist deshalb auch eine stoffpolitische Herausforderung.

3. Leitbilder einer nachhaltigen Stoffpolitik

Die Schwierigkeit bei der Suche nach Leitbildern für eine nachhaltige Stoffpolitik besteht darin, dass Abwägungsprozesse zu treffen sind. Es gilt die Herstellung, den Gebrauch und die Entsorgung synthetischer Chemikalien so zu gestalten, dass negative Folgen für Mensch und Umwelt so weit wie möglich vermieden werden. Allerdings sind nicht immer nicht-synthetische Verfahren ohne synthetische Chemikalien zu bevorzugen. Diese können im Hinblick auf Energieaufwand, Materialverbrauch, ihre Effektivität oder gesundheitliche Wirkungen deutliche Nachteile haben. Eine nachhaltige Stoffpolitik geht somit über eine reine Chemikalienpolitik hinaus. Sie umfasst die ganzen Lebenswege von Produkten und der dabei eingesetzten Stoffe. Sie betrachtet auch den Austausch problematischer Stoffe, das Schließen von Kreisläufen und die deutliche Verringerung des Einsatzes von Stoffen und Energie. Ein Erreichen der „Sustainable Development Goals“ (SDGs), der von den Vereinten Nationen 2015 formulierten Nachhaltigkeitsziele, ist ohne eine nachhaltige Chemie undenkbar. Das gilt etwa für regenerative Energieerzeugung und -speicherung, sauberes Wasser, Hygiene und Gesundheit, Mobilität oder den Korrosionsschutz.

Zwei Leitbilder kennzeichnen eine nachhaltige Stoffpolitik: das Vorsorgeprinzip und die Nachhaltigkeit:

3.1 Vorsorgeprinzip

Bereits 1986 hat die Bundesregierung Leitlinien zum Vorsorgeprinzip veröffentlicht [16]. Hiernach umfasst die Umweltvorsorge alle Handlungen,

- die der Abwehr konkreter Umweltgefahren dienen („Gefahrenabwehr“),
- die im Vorfeld der Gefahrenabwehr der Vermeidung oder Verminderung von Risiken für die Umwelt dienen („Risikovorsorge“),
- die vorausschauend der Gestaltung unserer zukünftigen Umwelt, insbesondere dem Schutz und der Entwicklung der natürlichen Lebensgrundlagen dienen („Zukunftsvorsorge“).

Vorsorge begründet sich zum einen mit der Begrenzt-

heit des Wissens über die Umwelt und über die Wirkungen von Stoffen, zum anderen mit dem Anspruch auf Wahrung von Handlungsspielräumen für die Zukunft.

Im internationalen Raum findet sich dieses Leitprinzip ebenfalls in zahlreichen Dokumenten und Verträgen wieder. So veröffentlichte die Europäische Kommission 2000 eine Mitteilung zum Vorsorgeprinzip [17]. In der Agenda 21 Kap. 35 Abs. 3 der Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung (UNEP) in Rio de Janeiro 1992 [18] steht hierzu:

„Angesichts der Gefahr irreversibler Umweltschäden soll ein Mangel an vollständiger wissenschaftlicher Gewissheit nicht als Entschuldigung dafür dienen, Maßnahmen hinauszuzögern, die in sich selbst gerechtfertigt sind. Bei Maßnahmen, die sich auf komplexe Systeme beziehen, die noch nicht voll verstanden worden sind und bei denen die Folgewirkungen von Störungen noch nicht vorausgesagt werden können, könnte der Vorsorgeansatz als Ausgangsbasis dienen.“

Im internationalen Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordostatlantiks (OSPAR) [19] wurde dies 1992 wie folgt beschrieben:

„Die Vertragsparteien treffen ... alle nur möglichen Maßnahmen, um Verschmutzungen zu verhüten und zu beseitigen, und unternehmen alle notwendigen Schritte zum Schutz des Meeresgebiets vor den nachteiligen Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten, um die menschliche Gesundheit zu schützen, die Meeresökosysteme zu erhalten und, soweit durchführbar, beeinträchtigte Meereszonen wiederherzustellen.“

Die Vertragsparteien wenden folgende Grundsätze an:

- *das Vorsorgeprinzip, nach dem Verhütungsmaßnahmen getroffen werden, wenn triftige Gründe zur Besorgnis vorliegen, dass unmittelbar oder*

mittelbar der Meeresumwelt zugeführte Stoffe oder Energie zu einer Gefährdung der menschlichen Gesundheit, einer Schädigung der lebenden Ressourcen und der Meeresökosysteme, einer Beeinträchtigung der Annehmlichkeiten der Umwelt oder einer Behinderung der sonstigen rechtmäßigen Nutzungen des Meeres führen können, selbst wenn es keinen schlüssigen Beweis für einen ursächlichen Zusammenhang zwischen den Einträgen und ihren Auswirkungen gibt.

- *das Verursacherprinzip, nach dem die Kosten der Maßnahmen zur Verhütung, Bekämpfung und Verringerung der Verschmutzung vom Verursacher zu tragen sind.“*

Nach dem Vorsorgeprinzip muss somit gehandelt werden, sobald es „triftige Gründe zur Besorgnis“ gibt. Obwohl das Vorsorgeprinzip Eingang in zahlreiche nationale, europäische und internationale Regelungen gefunden hat und verbindliches Leitprinzip sein soll, wird es beim stoffpolitischen Handeln zu selten konsequent umgesetzt. Die Publikationen der Europäischen Umweltagentur „Late Lessons from Early Warnings“ von 2001 und 2013 ([20], [21]) nennen zahlreiche Beispiele für eine zu geringe Beachtung des Vorsorgeprinzips (z. B. PCB, DDT, FCKW, Bisphenol A).

Bei der Vorsorge geht es stets auch darum, theoretisch mögliche und begründet vermutete – und nicht (wie bei der Gefahrenabwehr) lediglich hinreichend wahrscheinliche – Umweltschäden zu vermeiden. Das heißt:

- Vorsorge meint, dass schon vor der Schädlichkeitsgrenze einem Verdacht auf schädliche Wirkung nachgegangen und entsprechende Maßnahmen ergriffen werden sollen.
- Vorsorge verlangt nach einem ausreichenden Sicherheitsabstand von der Schädlichkeitsgrenze.
- Vorsorge tritt ein, wenn bei zeitlich entfernten Risiken der spätere Schadenseintritt nicht mit hin-

reichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann.

- Vorsorge kann Risikominderung bereits dann verlangen, wenn kausale, empirische oder statistische Verursachungszusammenhänge noch nicht vollständig bekannt oder nachweisbar sind.
- Vorsorge setzt ein bei Umweltbelastungen, die für sich genommen ungefährlich, aber im Zusammenwirken mit anderen Belastungen schädlich oder vermeidbar sind.

Mit der Einhaltung gesetzlicher Grenzwerte, die lediglich dem Schutz vor Gefahren dienen, wird dem Vorsorgeprinzip also nicht Genüge getan ([22], [23]). Das Vorsorgeprinzip ist mit der Formulierung von konkret zu erreichenden Umweltqualitäts- und -handlungszielen verknüpft. Es ist insofern auch an das Minimierungsgebot gekoppelt, das auf eine generelle Verbesserung der Umweltsituation abzielt.³ Deshalb dürfen Grenzwerte auch nicht als Auffüllungswerte verstanden werden, die man ausschöpfen darf. Neue wissenschaftliche Erkenntnisse können auch dazu führen, dass Grenzwerte erniedrigt werden müssen.

Es ist also wichtig, auch bei Stoffen, die derzeit als unproblematisch gelten, grundsätzlich die in die Umwelt eingetragenen Stoffmengen zu reduzieren. Dies gilt insbesondere für Stoffe, bei denen verzögert eintretende und noch unbekanntere Wirkungen nicht ausgeschlossen werden können – selbst dann, wenn solche Stoffe natürlich (biogen oder geogen) in der Umwelt vorkommen. Eine Reduktion der Stoffmengen ist auch erforderlich, da zu ihrer Nutzung weitere Ressourcen einschließlich Energie und Wasser benötigt werden.

Das OSPAR-Übereinkommen nimmt auch – ebenso wie die EU-Verträge und die Umweltpolitik der Bundesregierung – Bezug auf das Verursacherprinzip. Danach sind die Kosten der Verhütung und Beseitigung von Umweltschäden vom Verursacher zu tragen. In vielen Fällen sind die jeweiligen Verursacher nicht

³ Gemäß Art. 191 Abs. 1 des Vertrages über die Arbeitsweise der Europäischen Union (AEUV) [24] ist die Verbesserung der Qualität der Umwelt ein Ziel der EU.

eindeutig festzustellen, weshalb die Kosten auf die Allgemeinheit abgewälzt werden. Das Verursacherprinzip begründet auch Abgaberegulungen (in Deutschland etwa die Abwasserabgabe). Von dieser Möglichkeit macht der Gesetzgeber allerdings nur selten Gebrauch. Zu einer erweiterten Herstellerverantwortung der Industrie gehört auch, dass sie für später erkannte Schäden durch ihre Produkte (z. B. Altlasten mit Fluorchemikalien, Kosten für die Abwasserreinigung bei Arzneimitteln) aufkommt.

3.2 Nachhaltigkeit

Mit der Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio de Janeiro erklärte die Staatengemeinschaft nachhaltige Entwicklung zum verbindlichen Ziel einer globalen Umwelt- und Stoffpolitik. Nachhaltigkeit ist seitdem in zahlreichen nationalen und internationalen Dokumenten als Leitgedanke verankert. Nachhaltigkeit bedeutet, die Bedürfnisse der heutigen Generation zu befriedigen, ohne die Chancen künftiger Generationen zu beeinträchtigen. Damit soll sowohl eine intragenerative (innerhalb einer Generation) als auch eine intergenerative (zwischen den Generationen) Gerechtigkeit erreicht werden (zum Bezug zwischen Nachhaltigkeit und Umweltgerechtigkeit siehe Kasten auf der nächsten Seite „Umweltgerechtigkeit – ein wesentliches Element der Nachhaltigkeit“). Mit der Nachhaltigkeit eng verbunden ist auch der Begriff der Resilienz, d. h. die Fähigkeit von Ökosystemen, nach Störungen wieder in den ursprünglichen, stabilen Zustand zurückzufinden.

Nachhaltige Entwicklung wird oft in Ökologie, Ökonomie und Soziales aufgeteilt, wobei die ökologischen Aspekte die Fahrinne (oder die Leitplanken) beschreiben, innerhalb der eine wirtschaftliche und sozial gerechte Entwicklung stattfinden kann [25]. Viele Personen aus Politik und Wirtschaft führen Nachhaltigkeit im Munde, ohne danach zu handeln. Die Fahrinne wird immer enger; die derzeitige globale Entwicklung widerspricht eklatant den Anforderungen

an eine nachhaltige Entwicklung, die noch Handlungsspielräume ermöglicht.

Die Bundesregierung hat 2001 den Rat für nachhaltige Entwicklung als Beratungsgremium für eine nachhaltige Politik eingesetzt [26]. Das Umweltbundesamt hat mit seinen Publikationen von 1998 und 2002 über ein „Nachhaltiges Deutschland“ ([27], [28]) ebenso wie der BUND mit den Studien „Zukunftsfähiges Deutschland“ ([29], [30]) anhand mehrerer Handlungsfelder aufgezeigt, welche grundsätzlichen Weichenstellungen für eine Nachhaltigkeitspolitik erforderlich sind. In der praktischen Politik steht Nachhaltigkeit allerdings weiterhin unter dem Wachstumsvorbehalt. Der Glaube, allein durch Effizienzsteigerungen ein „grünes Wachstum“ zu erzielen, herrscht weiterhin vor. Nachhaltigkeit im industrialisierten Europa erfordert aber auch eine grundsätzliche Änderung der Wirtschaftspolitik und eine politische Strategie für deutliche Änderungen des Konsumverhaltens (Stichwort Suffizienz), auch um den Ländern des Südens Entwicklungschancen zu ermöglichen.

Stoffpolitisch bedeutet Nachhaltigkeit vor allem, irreversible Beeinträchtigungen der Ökosysteme zu vermeiden. Um dies zu erreichen, braucht es eine ganzheitliche Betrachtung der Stoffströme. In Wissenschaft und Politik hat sich in den vergangenen 20 Jahren der Begriff „Green Chemistry“ (Grüne Chemie) etabliert, der sich auf die Produkte (Chemikalien) und ihre Herstellung bezieht (insbesondere Einsparungen von Abfall und Energie, Verwendung erneuerbarer Ressourcen, Arbeitssicherheit, weniger toxische Hilfsstoffe). Die 1998 von Anastas und Warner veröffentlichten zwölf Kriterien für „Green Chemistry“ [31] als auch die Kriterien für die „besten verfügbaren Techniken“ („best available techniques“⁴ – BAT) in Anhang III der EU-Richtlinie 2010/75/EU über Industrieemissionen [32] nennen Maßstäbe für eine nachhaltige Ausrichtung der Chemie.

⁴ Das Technikniveau der „besten verfügbaren Techniken“ der EU entspricht in Deutschland dem „Stand der Technik“.

Umweltgerechtigkeit – ein wesentliches Element der Nachhaltigkeit

Umweltbelastungen sind häufig ungleich verteilt. Die ärmere Bevölkerung wohnt meist in Quartieren mit hohen Lärmbelastungen, geringer Luftqualität, wenig Grünflächen und starker Wärmebelastung. Beispielsweise sind die Konzentrationen von Stickstoffdioxid (NO₂) in verkehrsreichen Innenstädten deutlich höher als in den grünen Außenbereichen. Eindrücklich zeigt der Berliner Umweltgerechtigkeitsatlas, dass häufig Mehrfachbelastungen in ärmeren Wohnquartieren zusammentreffen [33]. Menschen mit geringem Einkommen sind oft auf Billigwaren mit geringen Umweltstandards angewiesen, z. B. bei Textilien. Dabei ist der ökologische Fußabdruck armer Menschen erheblich geringer als derjenigen, die sich aufwändigen Konsum leisten können. Diese Unterschiede betreffen auch stoffliche Belastungen, z. B. durch Luftschadstoffe, oder – insbesondere in weniger wohlhabenden europäischen Ländern – die Qualität von Wasser und Böden. Besonders drastische Ausmaße nimmt diese Diskrepanz häufig bei Migranten und bei Sinti- und Roma-Gemeinschaften in Mittel- und Osteuropa ein. Sie haben häufig keinen geregelten Zugang zu sauberem Trinkwasser, siedeln auf kontaminierten Flächen mit Abfallablagerungen oder im Nahbereich von Industrieemissionen [34], wobei der Umgang mit diesen Bevölkerungsgruppen rassistische Züge annehmen kann [35]. In einem Forschungsvorhaben des Umweltbundesamtes „Umweltgerechtigkeit im städtischen Raum“ werden Vorschläge entwickelt, dieser Ungleichverteilung entgegenzuwirken, z. B. Beteiligung und Mitwirkung der Bevölkerung in den Quartieren bei der Entwicklung von Zielen und Maßnahmen, ein integriertes Monitoring sowie planerische und umweltrechtliche Instrumente [36].

Ohne Umweltgerechtigkeit wird auch der sozial-ökologische Umbau nicht gelingen, vor dem die Gesellschaften in den Ländern des Nordens stehen. Eine Umstellung auf erneuerbare Energien und eine drastische Einschränkung des Ressourcenverbrauchs werden nur gelingen, wenn der Bevölkerung erfolgreich kommuniziert wird, dass Wohlstand und die Kosten für die ökologische und soziale Infrastruktur gerecht verteilt werden [37].

Der Begriff nachhaltige Chemie („Sustainable Chemistry“) wurde nahezu zeitgleich von der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) und der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) erstmals auch mit anderer Bedeutung als „Green Chemistry“ benutzt. „Sustainable Chemistry“ bedeutet danach, Produktion, Gebrauch und Entsorgung von Chemikalien und daraus hergestellten Produkten⁵ (siehe [Kapitel 8](#)).

Nachhaltigkeit und Vorsorge sind in ihrer Ausrichtung weitgehend deckungsgleich, wobei Nachhaltigkeit stärker globale und langfristige Effekte im Blick hat und Vorsorge stärker auf Wissensdefizite fokussiert.

Ohne optimale Umweltvorsorge ist aber eine nachhaltige Entwicklung nicht möglich.

⁵ Auf deutsche Initiative ist das International Sustainable Chemistry Collaborative Centre (ISC3) gegründet worden, das zum Ziel hat, eine Transformation zur nachhaltigen Chemie voranzutreiben, <https://www.isc3.org/>.

4. Stoffpolitik ist eine planetare Frage

Chemikaliensicherheit und Stoffpolitik sind inzwischen ein globales Thema geworden.

4.1 Globale Belastung mit Chemikalien

Die Sicherheits- und Umweltstandards bei Herstellung und Verwendung von Chemikalien in vielen Ländern des Südens sind noch genauso niedrig wie früher in Deutschland und der EU. Das hat oft dramatische Folgen in diesen Ländern: Mangelnde Arbeitssicherheit, Emissionen von Abwasser und Abluft sowie die Entsorgung von Abfällen belasten in vielen Fällen Gesundheit und Umwelt schwer. Dies bleibt auch für die Länder des Nordens nicht folgenlos: hier verbotene Chemikalien und Pestizide, die gewinnbringend von Chemiekonzernen des Nordens in die Länder des globalen Südens verkauft werden, verschmutzen dort die Umwelt und werden über Textilien, Kunststoffe oder als Verunreinigungen (Kontaminanten) auch über Lebensmittel, wieder eingeführt.

Die globalen Stoffströme (Extraktion von Rohstoffen und Handel mit Chemikalien und Fertigprodukten) haben sich vervielfacht. Die Chemikalienproduktion ist seit 1950 um das 50fache gestiegen und verdoppelt sich zurzeit alle 12–15 Jahre [38]. Hinzu kommt, dass auch europäische Chemiefirmen ihre Produktion in Entwicklungs- und Schwellenländer verlagert haben. Dabei halten sie dort nicht immer europäische Sicherheitsstandards ein und verlagern somit auch die damit verbundenen Risiken. Es gibt auch doppelte Standards: Produkte, die wegen höherer Umweltauflagen in manchen Ländern nicht mehr verkauft werden dürfen, wandern in den globalen Süden oder Osten.

Ähnliches ist beim Abfall zu verzeichnen. Große Abfallmengen werden aus Europa und den USA (oft illegal) in die Länder des Südens oder Ostens ausgeführt. Sie werden dort teilweise unter dramatischen Umwelt- und Arbeitsbedingungen aufbereitet und entsorgt, häufig durch ungelernete Kräfte. Nicht nur Elektroaltgeräte, sondern auch ganze Schiffe zum

Abwracken sind typische Beispiele dafür. International regelt zwar das Basler Übereinkommen (zuletzt novelliert 2022) [39] den Export gefährlicher Abfälle, kann aber zahlreiche illegale Stoffströme nicht verhindern.

Die Bevölkerung des Südens ist häufig Lieferant von Rohstoffen und Waren für die Konsumbedürfnisse des Nordens, sowohl in Bezug auf mineralische Rohstoffe als auch biogene Ressourcen wie landwirtschaftliche Produkte. Beispielsweise leiden insbesondere die ärmeren Menschen unter intensivem und unsachgemäßem Pestizideinsatz, unzureichenden Sicherheitsstandards in Bergwerken und Emissionen „schmutziger“ Industrien [40].

Einen guten Überblick über die globalen Belastungen mit chemischen Stoffen gibt der „Global Chemicals Outlook II“ [38] des Umweltprogramms der Vereinten Nationen (UNEP): Darin ist besonders alarmierend, dass – einer Schätzung der Weltgesundheitsorganisation (WHO) zufolge – der unsachgemäße Umgang mit Chemikalien jährlich 1,6 Millionen Menschenleben weltweit kostet. Dies zeigt: Die Chemikalienbelastung ist eine häufig unterschätzte Gefahr.

4.2 Planetare Leitplanken

Im Jahr 2009 haben Wissenschaftler*innen u. a. des Stockholmer Resilienz-Zentrums^{6,7}, mit der Publikation „A safe operating space for humanity“ weltweit Aufmerksamkeit erregt. Sie stellten einen Ansatz vor, der dazu dienen soll, die Stabilität unseres Planeten Erde zu beschreiben und die Leitplanken der Belastbarkeit (planetary boundaries) zu definieren [41].

Das System Erde befand sich in den letzten rund 10.000 Jahren in einem klimatisch bemerkenswert stabilen Zustand, der in der Geologie das Holozän genannt wird. Der Zustand zeichnet sich durch beständige Temperaturen, Verfügbarkeit von frischem Wasser und über Jahrtausende weitgehend unveränderte biogeochemische⁸ Stoffkreisläufe aus. Dadurch wurde die menschliche Entwicklung hin zu unserer

⁶ Das Stockholm Resilience Centre ist der Universität Stockholm angegliedert, betreibt wissenschaftliche Forschung zu globalen Problemen und versteht sich als Vermittler zwischen Wissenschaft, Politik und Gesellschaft. <https://www.stockholmresilience.org/>.

⁷ Resilienz: Fähigkeit eines Ökosystems nach einer Störung in den Ausgangszustand zurückzukehren.

⁸ Die Biogeochemie befasst sich mit den chemischen, biologischen und physikalischen Prozessen, welche dem Aufbau und den Funktionen von Ökosystemen oder auch Landschaften zu Grunde liegen. Biogeochemie ist eine interdisziplinäre Systemwissenschaft, deren Themenkreis alle fünf geochemischen Sphären umfasst: Biosphäre, Pedosphäre, Hydrosphäre, Erdatmosphäre und Lithosphäre (Wikipedia, <https://de.wikipedia.org/wiki/Biogeochemie>).

aktuellen Lebensweise erst ermöglicht. Durch die stabile klimatische Phase wurde der Übergang von Jägern und Sammlern zu sesshaften Bauern mit domestizierten Tieren und Pflanzen möglich (das Neolithikum) – die Grundlage für unsere heutige Lebensweise.

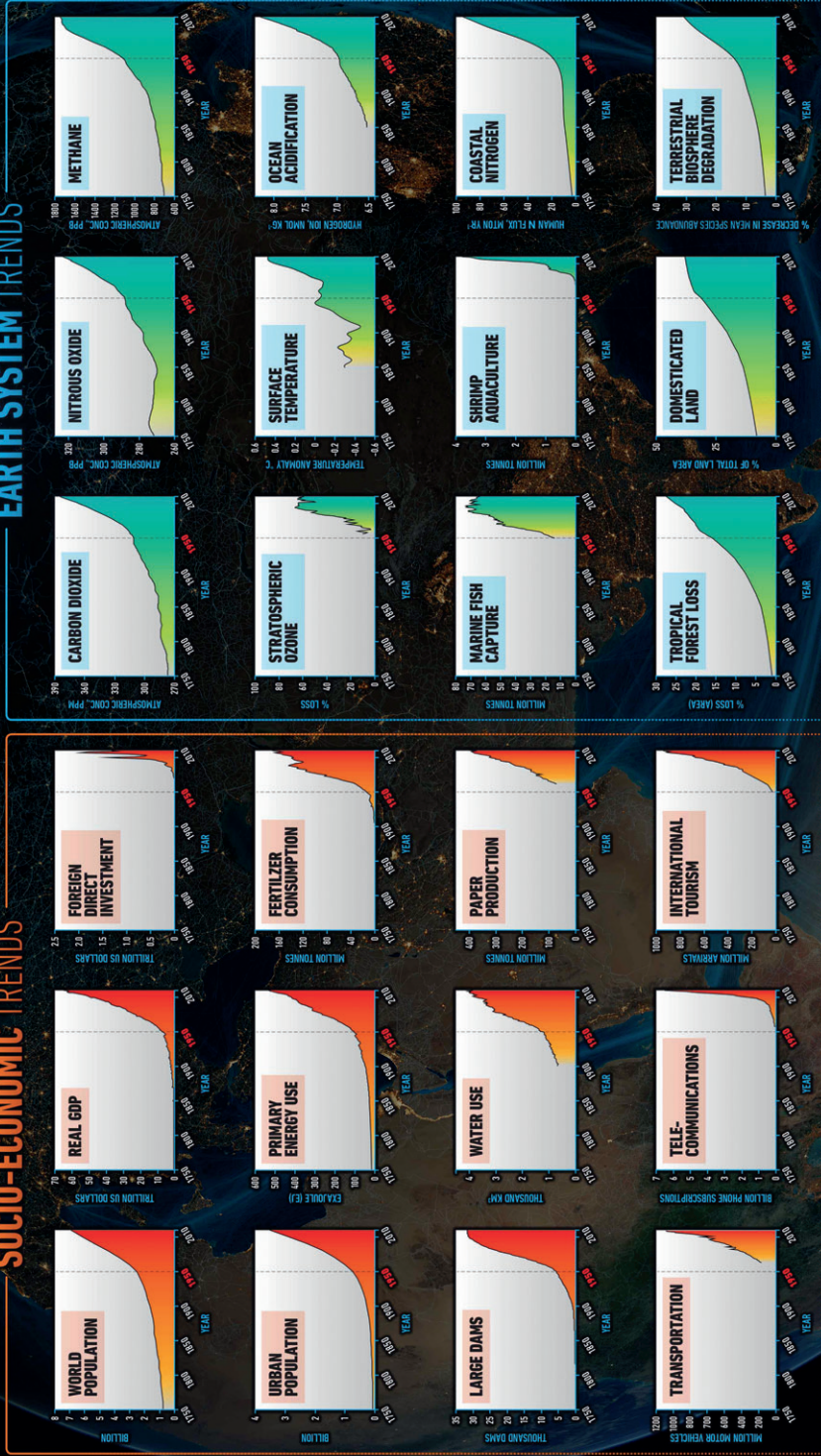
Spätestens mit Beginn der industriellen Revolution hat der Mensch jedoch immer stärker in die biogeochemischen Stoffkreisläufe eingegriffen und damit die Umweltbedingungen global beeinflusst. Seit den 1950er Jahren dokumentiert die Wissenschaft eine verstärkte Beschleunigung der menschengemachten (anthropogenen) Eingriffe in das System Erde – die sogenannte „Große Beschleunigung“ ([42] – [44]). Dies zeigt sich unter anderem im Klimawandel, abnehmender biologischer Vielfalt und aus den Fugen geratenen Stickstoffkreisläufen. Abb. 1 (auf der nächsten Seite) illustriert die große Beschleunigung durch menschliche Aktivität anhand zahlreicher ökologischer und sozioökonomischer Parameter.

Außerdem haben die Menschen persistente Chemikalien, Radionuklide und Kunststoffe in die Umwelt entlassen, die heute und voraussichtlich auch in Zukunft in Lebewesen und Sedimenten nachgewiesen werden können. Durch den großflächigen Einsatz von Beton und Ziegeln entstehen darüber hinaus anthropogene Gesteinsschichten. Die Ausbeutung von Bodenschätzen führt vielfach zu leblosen, wüsten Landschaften und hat die Mobilisierung von Schadstoffen zur Folge. Aufgrund dieser Beobachtungen wird in der Wissenschaft der Eintritt in ein neues erdgeschichtliches Zeitalter diskutiert: das Anthropozän ([43], [45], [46]).

THE GREAT ACCELERATION

SOCIO-ECONOMIC TRENDS

EARTH SYSTEM TRENDS



REFERENCE: Steffen, W., Broadgate, L., Deutsch, O., Gaffney and C. Ludwig (2015). The Trajectory of the Anthropocene: the Great Acceleration. Submitted to The Anthropocene Review.
 MAP & DESIGN: Felix Phairand-Dschines / Globbia

Abbildung 1: „Die große Beschleunigung“: Trends einiger ökologischer und sozioökonomischer Parameter im Verlauf der vergangenen 250 Jahre [42] (Die Grafik verdeutlicht, dass insbesondere in den vergangenen hundert Jahren Prozesse wie die Bevölkerungsentwicklung, der Wasserverbrauch und das Transportvolumen exponentiell gewachsen sind und damit ökologische Parameter wie der Verlust der Regenwälder und die Versauerung der Ozeane dramatisch angestiegen sind.)

Die menschlichen Aktivitäten haben laut Steffen et al. [47] ein Niveau erreicht, das die Stabilität der Systeme, die die Erde im Holozän in ihrem Zustand gehalten haben, nachhaltig stören könnte. Die Wissenschaftler*innen heben neun Prozesse hervor, welche die Stabilität des Erdsystems im Holozän maßgeblich bestimmt haben. Diese beeinflussen die globalen Wechselwirkungen zwischen Land, Ozeanen, Atmosphäre und Lebewesen, die zusammen die Umweltbedingungen ausmachen, auf denen unsere Gesellschaften fußen. Die Arbeitsgruppe bestimmte Variablen für die Belastbarkeit der neun identifizierten Prozesse (siehe Abb. 2).

Die Dramatik der Entwicklung verdeutlicht auch der Bericht „Transformation is feasible“ [48] von 2018 an den Club of Rome. In diesem wird an vier Szenarien gezeigt, dass ungebremstes ökonomisches Wachstum zu einem Verfehlen der Nachhaltigkeitsziele führt und nur eine große Transformation eine zukunftsgerichte Entwicklung ermöglicht.

Dass unbegrenztes Wachstum das begrenzte System Erde zerstört und eine deutliche Änderung von Denken und Handeln unabdingbar ist, damit unsere Kinder und Enkel*innen noch ein lebenswertes Leben haben können, macht auch der BUND in seiner Wachstumskritik deutlich [49].

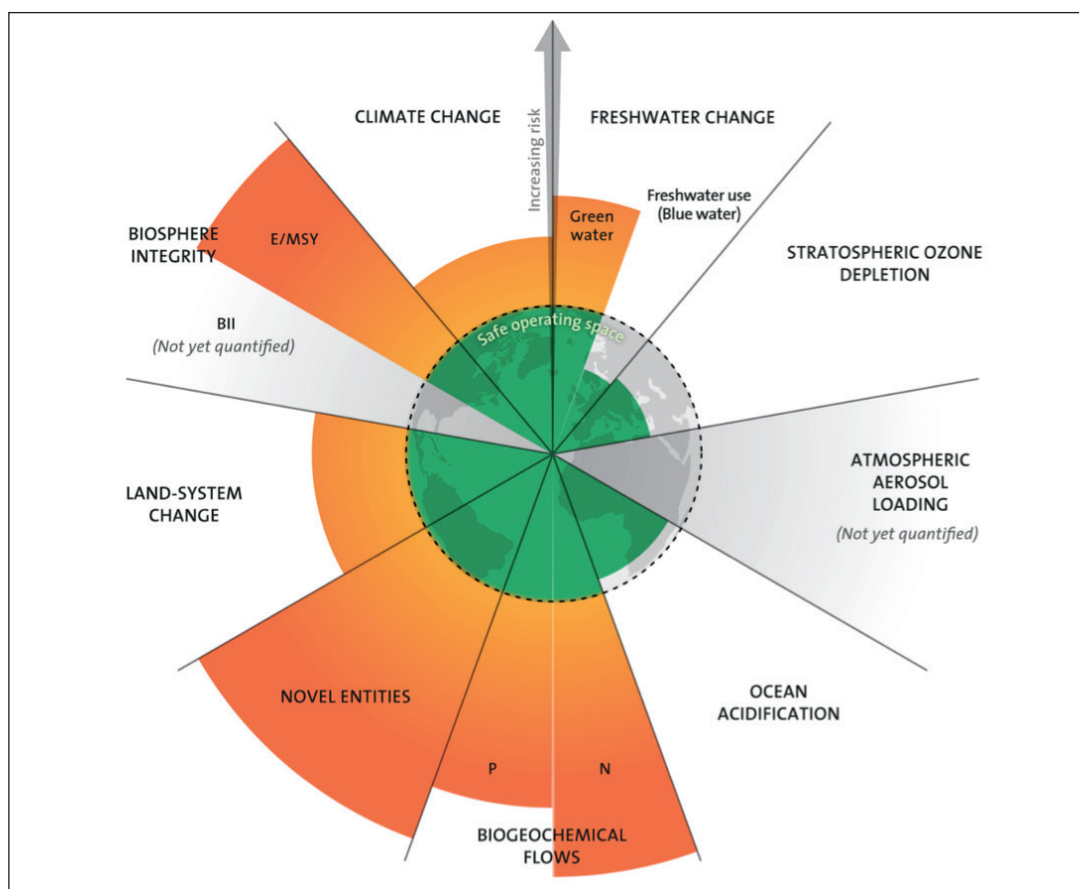


Abbildung 2: Planetare Leitplanken: Prozesse, die die Stabilität der Erde stören können
 Nach Azote für das Stockholm Resilienz-Zentrum, basierend auf einer Analyse in Persson et al. [50] und Steffen et al. [47]
 Erläuterungen:
 grüner Bereich: sicherer Handlungsraum, roter Bereich: planetare Leitplanken werden überschritten,
 BII: Biodiversity Intactness Index (functional diversity),
 E/MSY: extinctions per million species-years (genetic diversity)

4.3 Planetare Leitplanken: „Neue Substanzen“

Eine dieser planetaren Leitplanken sind die „novel entities“ (üblicherweise mit dem Begriff „Neue Substanzen“ ins Deutsche übersetzt) von den Autor*innen definiert als [47]:

- neue durch menschliches Handeln erzeugte Substanzen,
- neue Formen bereits existierender Substanzen,
- modifizierte Lebensformen (genetisch veränderte Organismen oder Produkte der synthetischen Biologie).

Diese haben jeweils das Potential, unerwünschte geophysikalische oder biologische Effekte im System Erde auszulösen.

Die Wissenschaftler*innen haben drei Kriterien formuliert, die „novel entities“ erfüllen müssen, um global wirken zu können:

- Sie sind persistent (über längere Zeiträume in der Umwelt beständig),
- über große Distanzen wie Klimazonen oder Kontinente hinweg mobil und entsprechend weit verbreitet und
- können auf wichtige Prozesse des Erdsystems oder seine Subsysteme einwirken.

Unter „Neuen Substanzen“ verstehen die Autor*innen unter anderem von Menschen hergestellte Chemikalien, die die Natur vorher nicht kannte (Xenobiotika). Es können aber auch natürlich vorkommende Elemente sein wie Metalle, die erst durch menschliche Aktivitäten mobilisiert und hierdurch zu einem Problem werden.⁹ Zahlreiche Publikationen präsentierten Indizien, dass die Belastung des Erdsystems mit Chemikalien und Plastik das verträgliche Maß überschreitet (z. B. [51]).

Im Jahr 2022 bewertete dann ein internationales Forscherteam [50] die Auswirkungen des Cocktails aus synthetischen Chemikalien, Kunststoffen und anderen „neuartigen Substanzen“, die in die Umwelt gelangen, auf die Stabilität des Erdsystems. Die Forscher*innen

bewerteten die Eignung einer Reihe von Kontrollvariablen wie Produktionsmengen, Mengen der Freisetzung in die Umwelt und den Anteil gefährlicher Chemikalien, die Merkmale wie Persistenz und Mobilität aufweisen. Sie kamen zu dem Schluss, dass trotz der begrenzten Datenlage die Prozesse im Erdsystem zunehmend gestört werden und das Erdsystem gefährdet ist. Die Menschheit hat demnach die planetarische Grenze für neuartige Substanzen überschritten.

Seit 1950 ist die chemische Produktion um das 50-fache gestiegen. Bis 2050 wird sich diese Menge voraussichtlich noch einmal verdreifachen [38]. Weltweit werden schätzungsweise 350.000 verschiedene Chemikalien hergestellt und verwendet. Dazu gehören Kunststoffe, Pestizide, Industriechemikalien, Chemikalien in Konsumgütern, Antibiotika und andere Pharmazeutika. Dabei handelt es sich überwiegend um Stoffe, die erst durch menschliche Aktivitäten entstanden sind, die natürlich nicht vorkommen und deren Auswirkungen auf das Erdsystem noch weitgehend unbekannt sind. Jeden Tag gelangen beträchtliche Mengen dieser neuen Stoffe in die Umwelt. Die Autor*innen [50] rufen zu dringenden Maßnahmen auf, um die Produktion und Freisetzung dieser Stoffe zu verringern. Unter anderem fordern sie Obergrenzen für die Produktion von Chemikalien und Kunststoffen.

Chemische Belastungen stellen nicht nur auf globaler, sondern auch auf der betrieblichen Ebene ein Problem dar. Neuerdings gibt es Vorschläge, wie Firmen, die Chemikalien oder Produkte mit chemischen Inhaltsstoffen verwenden, ihren chemischen Fußabdruck („chemical footprint“) messen und senken können [52]. Dabei werden Managementstrategie, Chemikalieninventar, Risiken der verwendeten Chemikalien, Strategien zur Verminderung der Chemikalienbelastung sowie die Bereitschaft zur Offenlegung von Daten bewertet und eine Punktzahl ermittelt. Die Fragen zielen auf eine Substitution gefährlicher Stoffe

⁹ Der Begriff „neue Substanzen“ sollte nicht verwechselt werden mit „neue Stoffe“ im Sinne des Chemikalienrechts, das darunter Stoffe versteht, die vorher noch nicht vermarktet wurden.

(wie der besonders besorgniserregenden Stoffe („Substances of Very High Concern“ – SVHC) nach REACH) und weniger auf eine Reduktion des Mengenstroms an chemischen Produkten.

Es bedarf weiterer Forschung, um Fragen der Quantifizierung chemischer Belastungen wissenschaftlich zu erfassen, zu bewerten und für die globale, nationale und betriebliche Ebene anwendbar zu machen.

Im Konzept der planetaren Leitplanken sind weitere Leitplanken eng mit den Anforderungen einer nachhaltigen Stoffpolitik verbunden ([47], [41]):

- Biogeochemische Stoffflüsse: Nach Meinung der Autor*innen sind die globalen Belastungsgrenzen mit Stickstoff und Phosphor bereits erreicht oder überschritten.
- Klimawandel: Den sicheren Handlungsraum innerhalb dieser planetaren Leitplanke hat die Menschheit ebenfalls bereits verlassen. Hauptursachen der anthropogenen Treibhausgasemissionen sind die Verbrennung fossiler Rohstoffe sowie unter anderem Reisanbau, Viehzucht und Entwaldung. In einem Hintergrundpapier stellt der BUND dar, dass stoffliche Produktion und Verwendung einen sehr starken Einfluss auf die Emission von Treibhausgasen haben [53].
- Versauerung der Meere: Diese ist stark mit dem Klimawandel gekoppelt, da etwa 27 bis 34 % des emittierten CO₂ von den Meeren aufgenommen wird und dort zur Senkung des pH-Wertes führt. Dadurch wird vielen Meerestieren die Bildung ihrer Kalkskelette erschwert. Nach Einschätzung der Autor*innen sind die Belastungsgrenzen hierfür noch nicht erreicht.
- Ozonverlust der Atmosphäre: Dieser konnte durch die Maßnahmen zum Verbot ozonschädigender Substanzen wie den FCKW gebremst und innerhalb der global vertretbaren Belastungsgrenzen gehalten werden.
- Aerosolgehalt der Atmosphäre: Durch den Gebrauch von Chemikalien ist dieser Gehalt deutlich gestie-

gen. Doch für diese planetare Leitplanke ist bisher noch keine Belastungsgrenze definiert.

- Biologische Vielfalt (funktionale und genetische Vielfalt): Die biologische Vielfalt sinkt dramatisch. Viele Arten von Insekten, Vögeln und anderen Organismengruppen sterben als Folge menschlicher Aktivität aus. Die Belastungsgrenzen sind deutlich überschritten. Das Artensterben hat viele Ursachen; darunter auch wesentlich die Belastung der Ökosysteme durch Chemikalien, insbesondere durch Pestizide [7] und andere anthropogene Stoffeinträge. Auch der Weltbiodiversitätsrat IPBES (Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) sieht – neben anderen Ursachen – in der Verschmutzung durch anthropogene Stoffe und im hohen Einsatz von Pestiziden wie auch allgemein in der intensiven Land- und Forstwirtschaft einen wesentlichen Grund für die hohen Verluste der Biodiversität [54]. Der BUND beleuchtet in einem Hintergrundpapier die Auswirkungen stofflicher Belastungen auf die Biodiversität [53].

Sechs der insgesamt neun planetaren Leitplanken haben somit eine enge Beziehung zur nachhaltigen Stoffpolitik. Um den Planeten Erde in einem sicheren Handlungsraum für die Menschheit zu halten, kann man daher die verschiedenen Handlungsfelder nicht isoliert betrachten, sondern muss Lösungen anstreben, die diese Verknüpfungen beachten.

4.4 Internationale Lösungsansätze

Seit langem ist anerkannt, dass zu viele Chemikalien Mensch und Umwelt bedrohen. Dies wird immer wieder offiziell durch Staats- und Regierungschefs betont. In einigen Fällen haben die Regierungen auch konkrete Maßnahmen vereinbart:

4.4.1 Die Zusage der Weltgemeinschaft

1992 hat die Weltgemeinschaft bei der Konferenz über Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro die Belastung der Umwelt und des Menschen durch Chemikalien und Abfälle als globale Herausforderung erkannt. Die Kapitel 19 und 20 der Agenda 21 [18] fordern das „sound management of chemicals and waste“ ein. Zehn Jahre später, 2002, auf dem Weltgipfel für nachhaltige Entwicklung WSSD (World Summit on Sustainable Development, Rio+10) [55] vereinbarte die Staatengemeinschaft das Ziel, bis 2020 die schädlichen Auswirkungen von Chemikalien bei Herstellung und Gebrauch zu minimieren.

4.4.2 Aktivitäten der Vereinten Nationen – Nachhaltige Entwicklungsziele

2015 beschloss die UN-Vollversammlung siebzehn Ziele für eine nachhaltige Entwicklung bis 2030 (Sustainable Development Goals, SDGs) ([14], [15]). Darunter befinden sich mehrere umweltbezogene Ziele mit Bezug auf reines Wasser, Klima oder den Schutz von Land- und Meeresökosystemen, die auch den Schutz von Mensch und Umwelt vor gefährlichen Chemikalien umfassen. Besonders relevant für die internationale Stoffpolitik ist das zwölfte SDG zu nachhaltiger Produktion und Konsum („Ensure sustainable production and consumption patterns“). Das Unterziel 12.4 nimmt unmittelbaren Bezug auf die Beschlüsse der WSSD 2002:

„By 2020, achieve the environmentally sound management of chemicals and all wastes throughout their life cycle, in accordance with agreed international frameworks, and significantly reduce their release to air, water and soil in order

to minimize their adverse impacts on human health and the environment.“

Allerdings ist dieses Ziel 2020 nicht erreicht worden. Im Rahmen des SAICM-Prozesses [56] („Strategic Approach to an International Chemicals Management“, siehe [Abschnitt 4.4.4](#)) wird nun – wie bei den anderen Zielen – das Jahr 2030 angestrebt. Die bisherigen Fortschritte reichen nicht aus, um die Situation wirklich zu verbessern. Im Gegenteil: Durch die rasante Zunahme der Chemikalienproduktion werden viele Erfolge wieder kompensiert.

In Bezug auf die erheblichen gesundheitlichen Schäden durch Chemikalien bleibt auch das Unterziel 3.9 des SDG 3 „Ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages“ besonders relevant:

„By 2030 substantially reduce the number of deaths and illnesses from hazardous chemicals and air, water and soil pollution and contamination.“

Die UN-Umweltversammlung (UNEA) hat in mehreren Resolutionen bekräftigt, das internationale Management von Chemikalien und Abfällen zu intensivieren und bis 2030 deutliche Fortschritte zu erreichen. In einer Resolution von UNEA 4 [57] wird auch nachhaltige Chemie als wichtiger Ansatzpunkt für ein sicheres Chemikalienmanagement anerkannt. Außerdem wurde als Ziel „Towards a Pollution-free Planet“ ausgerufen.

4.4.3 Globale Übereinkommen

Das wachsende internationale Bewusstsein über die Gefahren von Chemikalien und Abfällen führte bislang zur Vereinbarung von fünf rechtsverbindlichen internationalen Übereinkommen:

- Das Montreal-Protokoll [58], 1987, zuletzt geändert 2018, verbietet ozonschädigende Substanzen. Diese erste globale Vereinbarung zu Chemikalien gilt als erfolgreich. Die Konzentrationen der Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) und anderer ozonschä-

digenden Substanzen in der Atmosphäre gehen langsam zurück.

Mit dem Kigali Amendment von 2016 werden auch fluorierte Klimagas international beschränkt [59].

- Das Basler Übereinkommen [39], 1989, zuletzt geändert 2022, regelt den grenzüberschreitenden Transport gefährlicher Abfälle und soll illegale Exporte unterbinden. Dies gelingt weitgehend, verhindert aber nicht, dass nach wie vor aus Industriestaaten in großem Maßstab gefährliche Abfälle in Länder des Südens und Ostens exportiert werden, teilweise unter Umgehung der Bestimmungen dieses Abkommens. Im „Global Waste Management Outlook“(GWMO) [60] betont UNEP, dass nur zwei der 50 größten Abfalldeponien in den Industrieländern liegen, obwohl dort das Abfallaufkommen pro Kopf der Bevölkerung deutlich höher ist als in den Ländern des Südens.
- Im Rotterdamer Übereinkommen [61], 1998, zuletzt geändert 2019, verpflichten sich die Vertragsstaaten, sich über grenzüberschreitende Transporte gefährlicher Chemikalien zu informieren. Die Liste der Chemikalien wird kontinuierlich erweitert, auch wenn zu einigen besonders gefährlichen Stoffen wie Chrysotil-Asbest noch immer kein Konsens erzielt wurde.
- Das Stockholmer Übereinkommen [62], 2001, zuletzt geändert 2019, verbietet oder beschränkt Produktion und Einsatz einiger persistenter organischer Schadstoffe (POPs) sowie minimiert zudem die unbeabsichtigte Bildung von POPs (wie polychlorierte Dibenzodioxine und -furane) als Nebenprodukte in technischen und thermischen Prozessen. Auch werden laufend weitere Stoffe als POPs identifiziert und aufgenommen. Die globale Belastung durch die gelisteten Stoffe verringert sich offenbar allmählich.
- Das Minamata-Übereinkommen [63], 2013, hat zum Ziel, Quecksilbereinträge – seien sie durch Verwendung von Quecksilber in Produkten und Prozessen oder durch Verbrennung von Kohle entstanden – weltweit zu senken.

Basler, Rotterdamer und Stockholmer Übereinkommen bilden ein gemeinsames Sekretariat. Dies soll Chemikalien- und Abfallmanagement sinnvoll miteinander verbinden und Synergien nutzen. UNEA 5.2 (United Nations Environmental Assembly) hat im März 2022 beschlossen, ein globales Abkommen zu Plastikproduktion, -verwendung und -abfällen zu verhandeln (UNEP/EA.5/Res.14 [64]).

Einzelne rechtsverbindliche Übereinkommen können allerdings keine Lösung sein. Aus Sicht des BUND ist deshalb ein globales Rahmenkonvention zum nachhaltigen Management von Chemikalien, Ressourcen und Materialien notwendig, um der wachsenden Bedrohung des Planeten durch Stoffe zu begegnen und die Stoffpolitik gleichrangig mit der Klima- und Biodiversitätspolitik zu verknüpfen [65]. Auch auf UN-Ebene ist erkannt, dass – wie der Exekutivdirektor von UNEP, Inger Andersen, herausstellt – neben Klima und Biodiversität die Verschmutzung mit Stoffen die dritte große planetare Krise darstellt [66]. Die ebenfalls auf der UNEA 5.2 beschlossene geplante Einrichtung eines Wissenschaft-Politik-Beratungsgremiums (Science-Policy Panel) kann den globalen Stellenwert der Stoffpolitik wissenschaftlich untermauern (UNEP/EA.5/Res.8 [67]). Abb. 3 (auf der nächsten Seite) verdeutlicht, dass die drei globalen Krisen – Klimawandel, Biodiversitätsverluste und stoffliche Belastungen – in enger Wechselbeziehung zueinander stehen.

Zusätzlich gibt es noch eine Reihe weiterer multilateraler Vereinbarungen mit Chemikalienbezug im Rahmen von UN ECE (United Nations Economic Commission for Europe, Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen), UN ILO (International Labour Organization, Internationale Arbeitsorganisation), UN IMO (International Maritime Organization, Internationale Seeschiffahrts-Organisation) und UN WHO (World Health Organization, Weltgesundheitsorganisation). Die EU und Deutschland haben all diese Verträge ratifiziert.

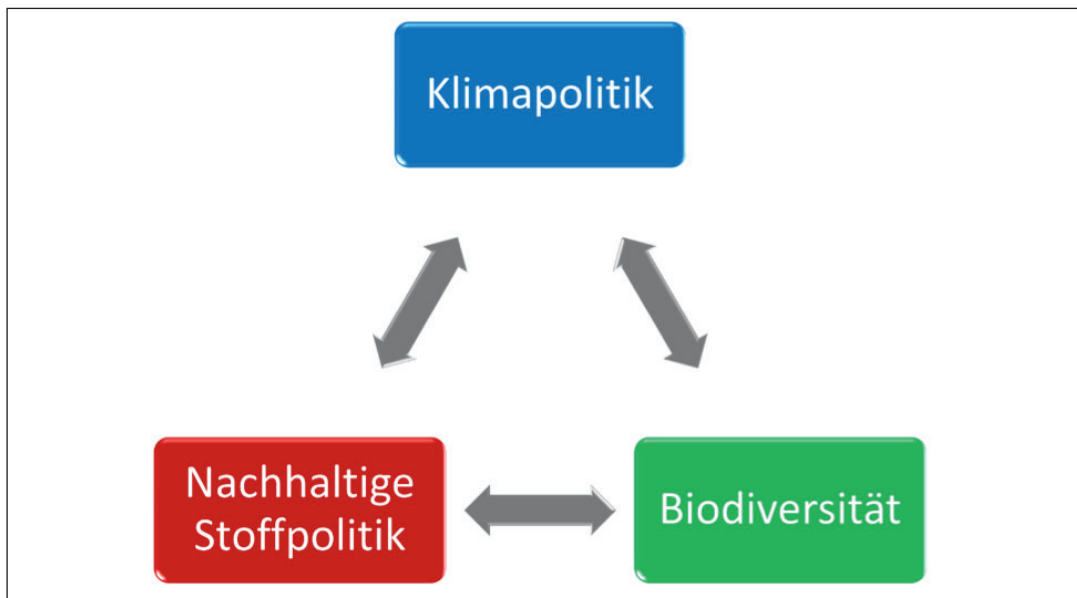


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen Stoffpolitik, Klimapolitik und Biodiversität

4.4.4 Das Forum SAICM

Im Jahr 2006 begann zudem der SAICM-Prozess („Strategic Approach to an International Chemicals Management“) [56], um das Ziel, negative Effekte von Chemikalien und Abfällen zu minimieren, in einem gemeinsamen, sektorübergreifenden Prozess der Staaten mit nichtstaatlichen Organisationen (z. B. Industrievereinigungen, Umweltverbände, Gewerkschaften) zu erreichen. SAICM wurde als Plattform konzipiert, die ausdrücklich komplementär zu den anderen globalen und regionalen Instrumenten des Chemikalienmanagements wirken soll.

In dieser Plattform werden weltweite Ziele und Maßnahmen zur Stoffpolitik diskutiert und geplant. Die derzeit wichtigen Themen (issues of concern/emerging issues) sind (in Klammern sind Links auf die entsprechenden Internetseiten von SAICM angegeben):

- Bleihaltige Farben ([Lead in paint](#)),
- Chemikalien in Produkten ([Chemicals in products](#)),
- Gefährliche Substanzen im Lebenszyklus von Elektro- und Elektronikartikeln ([Hazardous substance within the life cycle of electrical and electronic products](#)),

- Nanotechnologie und hergestellte Nanomaterialien ([Nanotechnology and manufactured nanomaterials](#)),
- Hormonelle Schadstoffe ([Endocrine-disrupting chemicals](#)),
- Pharmazeutische Produkte, die in der Umwelt persistent sind ([Environmentally persistent pharmaceutical pollutants](#)),
- Perfluorierte Chemikalien und ihr Ersatz durch sichere Alternativen ([Perfluorinated chemicals and the transition to safer alternatives](#)),
- Hochgefährliche Pestizide ([Highly hazardous pesticides](#)).

Ziel von SAICM ist zunächst ein „Sound management of chemicals and waste“. Verbindliche Vereinbarungen werden nicht gefasst, aber stoffpolitische Maßnahmen entwickelt und verabschiedet. Diese könnten durchaus mittelfristig in verbindliche internationale Konventionen münden. Das Mandat endete offiziell 2020. Ein Nachfolgeabkommen ist geplant und soll auf der nächsten Internationalen Chemikalienmanagementkonferenz (ICCM5), die wegen der COVID19-Pandemie auf Herbst 2023 verschoben wurde, verab-

schiedet werden. SAICM verfolgt bisher folgende strategische Ziele:

- geeignete Maßnahmen ergreifen, um Schäden durch Chemikalien während ihres Lebenszyklus sowie durch gefährliche Abfälle zu vermeiden oder zu minimieren,
- hierfür das verfügbare umfassende Wissen für informierte Entscheidungen und Maßnahmen weltweit nutzen,
- weitere kritische Themen (issues of concern) identifizieren, die globale Maßnahmen erfordern, diese zu priorisieren und die notwendigen Maßnahmen umzusetzen,
- sowie durch vorausschauendes Denken innovative und nachhaltige Lösungen ermöglichen, um sowohl den Nutzen von Chemikalien zu maximieren als auch Risiken für die menschliche Gesundheit und die Umwelt vorzubeugen.

Eine ausführliche Liste von einzelnen Zielen zur Unterstützung der strategischen Ziele wird der ICCM5 vorliegen. Bei globalen Initiativen bestimmen häufig die langsamsten Teilnehmer das Tempo. Jedoch ist ein eher informeller Ansatz wie SAICM durchaus hilfreich, weil er nicht mit dem Verhandlungsdruck für ein internationales Abkommen belastet ist.

4.4.5 Global akzeptierte Prüf-, Bewertungs- und Einstufungsverfahren

Ein weiterer Eckpunkt des internationalen Chemikalienmanagements ist das Chemikalienprogramm der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) [68]. Es stellt vor allem wissenschaftlich validierte Prüf- und Bewertungsverfahren bereit, die international anerkannt werden.

Die OECD war auch an der Entwicklung des „Globally Harmonized System“ (GHS) [69] beteiligt, wodurch eine weltweit einheitliche Einstufung und Kennzeichnung der Gefahren von Chemikalien möglich ist. Allerdings haben im Herbst 2021 nur 83 Länder das GHS implementiert, obwohl dies bereits bis 2008

gefordert war. Bedenklich ist auch die Erkenntnis, dass in der EU immer noch 68% der hergestellten und verwendeten Chemikalien eine Gefahreneinstufung gemäß GHS haben [38] – auch ein Zeichen, dass die nachhaltige Chemie selbst in der EU noch ein fernes Ziel ist. Die EU will sich gemäß ihrer Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit (siehe [Kapitel 5](#)) dafür einsetzen, dass GHS weltweit angewendet wird und um weitere Gefahrenmerkmale ergänzt wird [70]. Dazu gehört die Einstufung hormonell wirksamer Chemikalien (siehe [Abschnitt 6.5](#)) sowie von Stoffen, die persistent, mobil und toxisch (PMT/vPvM) sind (siehe [Abschnitt 6.3](#)).

4.4.6 Trotz allem: zu langsam und zu wenig!

Insgesamt werden die internationalen Bemühungen der Größe des Problems nicht gerecht. Die verschiedenen Maßnahmen und Foren sind fragmentiert und selten miteinander abgestimmt. Beschlüsse werden oft nicht umgesetzt. Im bisherigen Tempo werden die Probleme schneller wachsen als die Maßnahmen greifen. Die globalen Leitplanken werden überschritten. Wie im Bericht „Global Chemicals Outlook II“ der UNEP herausgestellt ist [38], ist „Business as usual“ keine geeignete Lösung. Es existieren zwar Lösungen; aber eine weitaus ehrgeizigere und abgestimmte Vorgehensweise ist dringend erforderlich. Hierzu zählt auch – wie oben dargelegt – die Notwendigkeit, mit einer globalen Rahmenkonvention zum nachhaltigen Management von Stoffen, Materialien und Ressourcen eine Vereinbarung anzustreben, die rechtsverbindliche Standards für Produktion und Gebrauch von Chemikalien und Materialien setzt und auch dem nicht nachhaltigen Wachstum der Chemieproduktion Grenzen setzt. Außerdem ist es wichtig, rechtlich verpflichtende Ziele zu formulieren, Indikatoren für Erreichung festzulegen sowie regelmäßig über Fortschritte in der Zielerreichung zu berichten.

Wesentlich für eine nachhaltige globale Stoffpolitik ist, dass die Industriestaaten die Entwicklungsländer bei der Umsetzung der Maßnahmen finanziell stärker

unterstützen. Zwischen Armut und mangelnden Möglichkeiten zur Umsetzung eines effektiven Managements besteht ein enger Zusammenhang [40]. Die Industrieländer dürfen sich der Verantwortung für die Probleme in den Ländern des Südens nicht entziehen. Sie sind direkt oder indirekt auch für viele Umweltprobleme in den Schwellen- und Entwicklungsländern verantwortlich.

Die aus dem Kapitel 4 abgeleiteten Forderungen des BUND zur internationalen Stoffpolitik sind in [Abschnitt 9.1](#) zusammengestellt.

5. Europäische Chemikalienpolitik

Die Chemikalienpolitik der EU ist durch zahlreiche Rechtsakte kodifiziert. Die zentrale Regelung ist die REACH-Chemikalienverordnung 1907/2006 (REACH: Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals) [3], auf die sich die EU Ende 2006 einigte. REACH ist das bis heute fortschrittlichste Chemikaliengesetz der Welt, mit dem die EU den Präventionsgedanken entscheidend stärkte: Nicht mehr der Staat oder die Gesellschaft, sondern Hersteller und Importeure sind jetzt verpflichtet nachzuweisen, dass ihre Stoffe und Stoffgemische ohne Risiken für Gesundheit und Umwelt verwendet werden können. Zu diesem Zweck müssen sie die vorgeschriebenen Sicherheitsdaten in Form von Registrierungsdossiers einreichen. Für das Inverkehrbringen von Chemikalien gilt der Grundsatz „Keine Daten, kein Markt“. REACH regelt nicht den Umfang der Chemikalienproduktion und -verwendung.

Ein Hauptziel von REACH ist es, Stoffe mit besonders kritischen Eigenschaften („Substances of Very High Concern“, SVHC) in einer sogenannten Kandidatenliste für eine Zulassungspflicht zu erfassen und diese nach und nach durch weniger schädliche beziehungsweise nachhaltige Stoffe oder Verfahren zu ersetzen. Zur Stärkung dieses rechtlich verankerten Substitutionsprinzips dürfen zulassungspflichtige SVHC nur mit einer besonderen Genehmigung befristet weiterverwendet werden.

REACH ist zweifellos ein großer Fortschritt, auch wenn die Verordnung noch deutliche Mängel aufweist [71]. Deutliche Kritik hat insbesondere die mangelhafte Qualität der eingereichten Registrierungsdossiers hervorgerufen. Regelmäßige Stichproben der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) und eine vom Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) durchgeführte Studie ([72] – [74]) zeigten, dass ein sehr hoher Prozentsatz der Registrierungen nicht den gesetzlichen Anforderungen der EU-REACH-Verordnung genügt. Der Grund sind häufig fehlende Sicherheitsdaten zu gefährlichen

Eigenschaften von Stoffen, die für eine adäquate Risikobewertung unerlässlich sind. Dabei geht es auch um Stoffe, die in sehr großen Mengen produziert und in zahlreichen Konsumprodukten des täglichen Gebrauchs verwendet werden. Auch etliche weltweit agierende Unternehmen unter anderem der Erdöl verarbeitenden und der Kunststoff-Industrie sind, wie eine BUND-Recherche offenlegte [75], ihren gesetzlichen Registrierungspflichten nicht nachgekommen.

Die Ziele der europäischen Umweltpolitik wurden im „Green Deal“ der EU neu formuliert [76]. Wesentlich ist dabei das Null-Verschmutzungsziel für eine schadstofffreie Umwelt („zero pollution ambition for a non-toxic environment“) [77]. Dieser Anspruch geht über die klassische Chemikalienpolitik hinaus und verknüpft sie mit einer „Zirkulären Ökonomie“ und Maßnahmen gegen Klimawandel und Verlust der Biodiversität. Im Oktober 2020 legte die Europäische Kommission die „Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit“ [70] vor mit einem umfangreichen Maßnahmenplan. Demnach sollen Stoffe künftig „sicher und nachhaltig“ („safe and sustainable by design“) sein (siehe [Kapitel 8](#)). Ein zentrales Element der Umsetzung der Chemikalienstrategie ist die Novellierung der EU-REACH-Verordnung. Nach umfangreichen Konsultationen sollte die Europäische Kommission bis Ende 2022 den Entwurf einer novellierten REACH-Verordnung vorlegen. Dieser Termin ist jetzt auf das letzte Quartal 2023 verschoben. Diese Verzögerung macht es unwahrscheinlich, dass die Beratungen noch während der Amtszeit der aktuellen Kommission zu einem Ergebnis kommen. Die chemische Industrie versucht offensichtlich eine rasche und wirksame Umsetzung zu verhindern [78], wie sie von Umweltverbänden, den Mitgliedstaaten und dem EU-Parlament gefordert wird.

Im Laufe der vergangenen 16 Jahre traten einige grundlegende Defizite und Schwächen von REACH zutage [79]. Die fortschreitende Nutzung umwelt- und gesundheitsschädlicher Chemikalien in Produk-

ten verdeutlicht, dass eine am Vorsorgeprinzip und der EU-Chemikalienstrategie ausgerichtete Novelisierung von REACH nötig ist. Es braucht in der EU durchschnittlich 13 Jahre und 8 Monate, bis eine Chemikalie offiziell als gefährlich gilt [80]. Dieser Zeitrahmen verhindert, dass gefährliche Chemikalien und ihre Anwendungen rasch vom Markt genommen werden. Zudem wurden in der Vergangenheit lediglich Einzelstoffe beschränkt. In ihrer Chemikalienstrategie hat die EU-Kommission angekündigt, die Verwendung von SVHC in Verbraucherprodukten in Zukunft stärker einzuschränken und die Kriterien für die SVHC-Einstufung zu erweitern. Endokrin wirksame Stoffe, atemwegssensibilisierende Stoffe sowie persistente Stoffe, die im Wasserkreislauf hochmobil sind (PMT/vPvM) sollen explizit aufgenommen und nicht mehr nur als Stoffe „gleicher Besorgnis“ betrachtet werden. Firmen, die solche Stoffe in ihren Produkten verwenden, sollten sich daher zeitnah um deren Substitution bemühen.

Dem verstärkten Schutz der Verbraucher*innen soll auch der „allgemeine Ansatz für das Risikomanagement“ („generic risk approach“) dienen, der wesentlich zur Vereinfachung und Beschleunigung von Regulierungsprozessen beitragen könnte. Bisher ist diese Methode beschränkt darauf, dass kanzerogene Stoffe generell nicht in Konsumprodukten wie Lebensmittelverpackungen, Spielzeug und andere Produkte für Kinder, Kosmetika, Reinigungsmittel, Möbel oder Textilien enthalten sein dürfen. Die vorgesehene Ausweitung dieses Konzepts auf alle SVHC-Gefahrenklassen könnte eine aufwändige Risikobewertung einzelner Anwendungen ersetzen. In einem zweiten Schritt soll dann eine so genannte Folgenabschätzung die Ausweitung dieses Vorsorgeansatzes auf weitere Stoffe in Konsumprodukten regeln, die schädlich für das Immunsystem, das Nervensystem, die Atemorgane oder andere spezifische Organe sein können.

Die Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit sieht weiterhin vor, die traditionelle Vorgehensweise, jede Che-

mikalie einzeln („substance by substance“) zu bewerten, durch eine Bewertung von Stoffgruppen zu ergänzen. Das Verfahren, jeden Stoff separat zu prüfen und ggf. zu beschränken, dauert viel zu lange. In vielen Fällen führte dies auch zu unangemessenen Substitutionen durch weniger gut untersuchte und noch nicht bewertete Stoffe mit ähnlichem Gefahrenprofil („regrettable substitutions“). Beispiele sind der zunehmende Ersatz von Bisphenol A durch Bisphenol S und andere verwandte Verbindungen und die per- und polyfluorierten Alkylverbindungen (PFAS). Bei diesen wurden die weitgehend verbotenen Stoffe PFOA und PFOS durch andere ebenso persistente Vertreter der sehr umfangreichen Stoffgruppe PFAS ersetzt [81]. Im Januar 2023 legten nun Schweden, Dänemark, Norwegen, Deutschland und die Niederlande ein Beschränkungsossier für die gesamte Stoffgruppe PFAS vor, das nun beraten werden soll. Dieses Verfahren lässt sich auf andere Stoffgruppen (z. B. Phthalate und andere Kunststoffadditive) übertragen und sollte vermehrt angewandt werden. Angesichts der Vielzahl der Chemikalien und der Unmöglichkeit sie alle zu bewerten, betrachten zahlreiche Expert*innen eine Vereinfachung durch Zusammenfassung zu Gruppen als logische Konsequenz der steigenden Belastung des Erdsystems mit „novel entities“ [82].

Eine weitere Maßnahme zur Beschleunigung der Bewertungsverfahren, die in der Chemikalienstrategie vorgesehen ist, ist die Beschränkung der weiteren Verwendung von SVHC auf unverzichtbare Anwendungen („essential uses“). Wie bereits im Montreal-Protokoll für ozon- und/oder klimaschädliche Gase bewährt, sollten für besorgniserregende Stoffe („substances of concern“) nur noch Anwendungen (befristet) erlaubt sein, die entweder für Gesundheit, Sicherheit oder das Funktionieren der Gesellschaft notwendig sind und für die es gleichzeitig keine Alternativen gibt, die technisch und ökonomisch geeignet sind [83]. Auch hier steht ein konkreter Vorschlag der Kommission aus, wie diese Kriterien unter REACH konkretisiert werden können.

Bei der Novellierung der EU-REACH-Verordnung sollten auch einige weitere zurzeit bestehende Sicherheitslücken geschlossen werden: Zwischenprodukte, insbesondere wenn sie isoliert oder außerhalb des Werksgeländes transportiert werden, bedürfen einer Vorlage von Daten, um die Risiken des Umgangs einzuschätzen. Um insbesondere bei Importprodukten die Sicherheit von Verbrauchern und Umwelt zu gewährleisten, sind bei Erzeugnissen die Informationsanforderungen und Kontrollen durch die nationalen Behörden zu schärfen. Auch ist es wichtig, für den stetig wachsenden online-Handel mit Chemikalien, Pestiziden und Gemischen strikte Regeln einzuführen und diese zu überwachen.

Schließlich sollten die Datenanforderungen für Polymere angepasst werden. Das Wissen über ihre Struktur, Anwendungen, physikalische und chemische Eigenschaften ist beschränkt, weil Polymere von der Registrierungspflicht unter REACH ausgenommen sind. Artikel 138 (2) REACH-Verordnung [3] sieht jedoch die Möglichkeit einer Ausweitung der Registrierungspflicht auf Polymere vor. Die Kommission arbeitet derzeit an einem Vorschlag zur Identifizierung von Polymeren [84], die künftig von einer REACH-Registrierungspflicht erfasst werden sollen (Polymers Requiring Registration, PRR). Wissenschaftler*innen kritisierten diesen Entwurf, weil er nur 6% der ca. 200.000 Polymere erfasse [85].

Ferner muss der Informationstransfer in der Produktkette (Downstream und Upstream) verbessert werden, da zahlreiche Unternehmen wesentliche, sicherheitsrelevante Informationen häufig nicht oder nur unvollständig weitergeben [86]. Vor allem erreichen die von ihnen benötigten Informationen die Recyclingunternehmen nicht, die aus Abfällen wieder marktfähige Produkte herstellen. Enthalten Produktabfälle „Substances of Very High Concern“ (SVHC), die in der Zwischenzeit nicht mehr verwendet werden dürfen, erschwert dies das Recycling zu Sekundärprodukten und deren Vermarktung zusätzlich. Abhilfe schaffen

soll die im Zuge der 2018 novellierten Abfall-Rahmenrichtlinie [87] eingerichtete ECHA-Datenbank für SVHC in Produkten SCIP (Substances of Concern In articles as such or in complex objects (Products)) [88] (siehe [Abschnitt 7.4.3](#)). Seit dem 05.01.2021 müssen alle Erzeugnisse, die SVHC über 0,1 Massen-% enthalten zur Registrierung in SCIP gemeldet werden. Aktuell ist SCIP insbesondere auf die Bedürfnisse von Recycling-Unternehmen ausgerichtet. Allerdings gibt es laut dem Ergebnis einer ECHA-Umfrage vom März 2022 [89] noch große technische Hürden, die den Nutzen von SCIP für Recyclingfirmen und damit auch zur Vermeidung SVHC-haltiger Abfälle sowie als Anreiz zur Substitution von SVHC erheblich einschränken [90]. Die gesammelten Informationen sollen auch für Verbraucher*innen verfügbar sein und informierte Kaufentscheidungen ermöglichen. Allerdings fehlt dafür noch eine geeignete Aufbereitung der Daten für Verbraucher*innen, die z. B. durch eine Verknüpfung mit der im LIFE-Projekt AskREACH [91] entwickelten Produktdatenbank möglich sein könnte. Über die angebundenen Smartphone-Apps ToxFox [92] und Scan4Chem [93] können Verbraucher*innen über das Scannen des Produktbarcodes direkt Informationen über vorhandene SVHCs erhalten. Bisher werden Anfragen von Verbraucher*innen nach SVHCs (nach Artikel 33 (2) REACH-Verordnung [3]) häufig von Unternehmen nicht oder ungenügend beantwortet [94]. Im Rahmen der Ökodesign für nachhaltige Produkte Verordnung, für die die Kommission im März 2022 einen Vorschlag vorgelegt hat, könnten Informationen über Inhaltsstoffe in Produkten in Zukunft über einen digitalen Produktpass bereitgestellt werden (siehe [Abschnitt 7.4.3](#)).

Angesichts des internationalen Handels sind aber europäische Regelungen nicht ausreichend. Anzustreben sind globale Vereinbarungen, die einen Informationsaustausch über gefährliche Chemikalien in Produkten sicherstellen.

Die EU-CLP-Verordnung 1272/2008 (CLP: Classification, Labelling and Packaging) [95] ist die „kleine Schwester“ von REACH. Sie setzt das „globally harmonized system“ (GHS) in europäisches Recht um (siehe [Abschnitt 4.4.5](#)). Sie bestimmt, welche Gefahrenmerkmale zu einer Einstufung des Stoffes als gefährlich führen und wie er dann zu kennzeichnen ist. In der Chemikalienstrategie ist vorgesehen, dass folgende zusätzliche Gefahrenklassen eingeführt werden und im Europäischen Wirtschaftsraum gelten sollen: endokrine Wirksamkeit, Immun- und Neurotoxizität sowie Persistenz in Verbindung mit Bioakkumulation (PBT/vPvB) und/oder Mobilität (PMT/vPvM) [96]. Diese Erweiterung wäre zu begrüßen, da zurzeit einige Stoffe, die als besonders besorgniserregend (SVHC) gelten, von der CLP-Verordnung nicht erfasst werden. Die EU beabsichtigt, diese Weiterentwicklung von Einstufung und Kennzeichnung auch global ins GHS-System zu integrieren.

REACH gilt im Grundsatz für alle Chemikalien. Für spezielle Stoffgruppen (z. B. Pestizide in der Landwirtschaft, Biozide, Arzneimittel, Kosmetika) gelten jedoch eigene gesetzliche Bestimmungen. Es ist sinnvoll, dass in diesen Fällen weitergehende Anforderungen bestehen. Allerdings fehlt der europäischen Gesetzgebung oft die Konsistenz. So ist es widersprüchlich, dass gefährliche Inhaltsstoffe bei Arzneimitteln, Kosmetika und Lebensmittelzusätzen nicht einzustufen und zu kennzeichnen sind und sich die Risikobewertung von Kosmetika trotz ihrer meist umweltoffenen Verwendung auf die Gesundheit beschränkt. Im Rahmen ihrer Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit plant die EU-Kommission die Bewertungen besser miteinander abzustimmen und Reibungsverluste zu vermeiden („one substance – one assessment“) [70].

Über die REACH- und die CLP-Verordnungen hinaus gibt es eine Reihe weiterer sektoraler Stoffgesetze der EU. Besonders zu erwähnen sind die Pestizid-Verordnung [97], die Biozid-Verordnung [98] sowie die Rechtsvorschriften für Human- [99] und Tierarznei-

mittel [100]. Die Wirkstoffe in diesen Präparaten haben eine physiologische Wirkung auf die Zielorganismen (Mensch, Tiere, „Schadorganismen“) und sind deshalb genauer zu prüfen, bevor sie zugelassen werden, damit schädliche Wirkungen auf Mensch und Umwelt vermieden werden. Agrarische Pestizide stellen trotz aller Prüfungen im Rahmen der Zulassung nach wie vor eine gravierende Umweltbelastung dar und sind mitverantwortlich für den Rückgang der Biodiversität ([7], [101]). Eine Abnahme der Pestizidbelastung ist nicht festzustellen und kann nur durch eine Änderung der landwirtschaftlichen Praxis hin zu einer agrarökologischen Wirtschaftsweise, die auf Pestizide weitgehend verzichtet, erreicht werden [102]. Im nicht-agrarischen Bereich werden (oft dieselben) Gifte eingesetzt, um Materialien zu schützen und schädliche oder lästige Organismen zu bekämpfen. Oft ließe sich das Ziel auch durch nicht-chemische Alternativen erreichen. Wie bei den agrarischen Pestiziden bedarf es wirksamer Maßnahmen zur Reduzierung der Biozid-Belastung. Arzneimittel-Wirkstoffe sind in ihren Nebenwirkungen auf die Umwelt oft nicht weniger wirksam als Pestizide. Der Verbrauch von Arzneimitteln nimmt infolge der demografischen Entwicklung kontinuierlich zu. Sie werden wieder ausgeschieden oder unsachgemäß entsorgt und belasten auf diese Weise Gewässer und Böden. Erst seit relativ kurzer Zeit werden im Rahmen der Zulassung ihre Wirkungen auf die Umwelt geprüft, allerdings nur in seltenen Ausnahmefällen mit dem Ergebnis einer Verweigerung der Zulassung. Der BUND hat in einem Positionspapier die Umweltbelastung durch Arzneimittel dargestellt und zahlreiche Maßnahmen zur Reduzierung der Belastung gefordert [103].

Die aus dem Kapitel 5 abgeleiteten Forderungen des BUND zur europäischen Chemikaliengesetzgebung sind in [Abschnitt 9.2](#) zusammengestellt.

6. Stoffbewertung – Persistenz und andere kritische Stoffeigenschaften

Stoffe werden aufgrund ihrer (potenziell) gefährlichen Eigenschaften bewertet. Eine wesentliche Rolle spielt dabei die Prüfung der toxischen und ökotoxischen Wirkungen. Erweisen sich Stoffe als giftig für Mensch oder Umwelt, sind sie – wenn überhaupt – nur in sehr geringen Konzentrationen unterhalb der Schwellenwerte verträglich. Toxizität und Ökotoxizität bestimmen jedoch nicht allein die Gefährlichkeit eines Stoffes. Andere Stoffeigenschaften sind ebenfalls wichtig für die Beurteilung, ob eine Chemikalie ein Risiko oder eine Gefahr für den Menschen oder die Umwelt darstellt (siehe Kasten „Gefährlichkeit oder Risiko?“): Persistenz, Bioakkumulierbarkeit, Mobilität, hormonelle Wirkungen und andere mehr. Auch können indirekte Wirkungen auftreten und Stoffmischungen stärkere Wirkungen entfalten als die Einzelstoffe. Einige Materialien, z. B. Nanomaterialien oder Fasern, lösen aufgrund ihrer Gestalt besondere Effekte aus (siehe [Abschnitt 6.7](#)).

6.1 Persistenz als zentrales Umweltproblem

Stoffe, die globale Probleme verursachen, sind in der Regel langlebig (persistent) und können sich vom Ort ihres Eintrags aus per Wind oder Wasser ausbreiten oder in Organismen und in der Nahrungskette anreichern. Persistenz ist deshalb eine zentrale Eigenschaft, die wesentlich zur Belastung durch Chemikalien für Mensch und die Umwelt führt.

Auch ohne eine (bekannte) negative Wirkung haben persistente Stoffe ein Gefährdungspotenzial. Sie können sich lange in der Umwelt aufhalten, weit verbreiten, an bestimmten Stellen anreichern und zu völlig unerwarteten Interaktionen mit unterschiedlichen Stoffen und Organismen führen ([104] – [106]). Dies hat das Beispiel der Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) eindrucksvoll demonstriert. Bei persistenten Stoffen können somit die Folgen des Nichtwissens über unerkannte Wirkungen besonders groß sein.

Gefährlichkeit oder Risiko?

Die klassische Stoffbewertung beruht darauf, Wirkung und Exposition zu vergleichen. Ist die erwartete oder gemessene Exposition (Konzentrationen/Dosen in Atemluft, in Nahrung, im Körper oder in der Umwelt) höher als die Wirkungsschwelle, wird ein Risiko festgestellt, das zu verringern ist. Dieses Vorgehen hat sich einerseits bewährt, weil auf diese Weise unmittelbare Vergiftungen von Mensch und Umwelt erkannt und vermieden werden. Andererseits ist die Prüfung jeder einzelnen Expositionssituation erforderlich, was einen beträchtlichen Aufwand bedeuten kann. Außerdem ignoriert dieser Ansatz, dass bei persistenten und mobilen Stoffen, persistenten und bioakkumulierenden Stoffen sowie Stoffen mit irreversibler Wirkung Exposition und Wirkung entkoppelt sind, d. h. die Wirkungen treten verzögert oder räumlich entfernt vom Zeitpunkt/Ort der Exposition auf. Ein Expositions-/Wirkungs-Vergleich führt in solchen Fällen zu falschen Ergebnissen. Falls man zu einem späteren Zeitpunkt nachteilige Effekte feststellt, ist der Stoff nicht mehr aus der Umwelt rückholbar. REACH nennt solche Stoffe besonders besorgniserregend (SVHC) und zielt auf eine Substitution solcher Stoffe und ihrer Anwendungen. In diesen Fällen bedarf es also nicht der Evaluierung einzelner Expositionsszenarien, sondern Handlungsbedarf ergibt sich allein aus der Gefährlichkeit des Stoffes. Es ist zu fordern, die gefährlichkeitsbezogene Bewertung auf alle „substances of concern“ [70] auszuweiten, d. h. zum Beispiel auch auf extrem persistente Chemikalien („Ewigkeitschemikalien“) sowie Mikroplastik oder hochgiftige Chemikalien, will man das Nachhaltigkeitsziel „giftfreie Umwelt“ erreichen, ist der möglichst vollständige Ausstieg aus gefährlichen Chemikalien unerlässlich. Der Risikoansatz hat nur noch seine Berechtigung bei Chemikalien, die die o. g. Kriterien nicht erfüllen sowie im Nachhinein zur Beurteilung von Belastungen (z. B. Altlasten, Gewässerunreinigungen, Abfälle) und Monitoring-Ergebnissen.

Persistenz ist besonders kritisch zu bewerten, wenn sie gemeinsam mit Bioakkumulation (siehe [Abschnitt 6.2](#)) oder Mobilität im Wasserkreislauf (siehe [Abschnitt 6.3](#)) auftritt. In den letzten 20 Jahren ist sie in Verbindung mit Bioakkumulation auch in der regulatorischen Bewertung von Chemikalien in den Vordergrund gerückt: Unter REACH zählen Stoffe, die sehr persistent sind und stark bioakkumulieren, zu den besonders besorgniserregenden Stoffen („Substances of Very High Concern“), auch ohne dass eine problematische Wirkung nachgewiesen ist.¹⁰ Es sind die „vPvB“-Stoffe („very persistent and very bioaccumulative“). Auch andere EU-Rechtsnormen wie die Pestizid-Verordnung [97] und die Biozid-Verordnung [98] sehen für persistente und bioakkumulierende Wirkstoffe strenge Bestimmungen mit dem Ziel eines „Phase out“ vor. Auf internationaler Ebene regelt die Stockholm-Konvention einige langlebige organische Schadstoffe (POPs, persistent organic pollutants) (siehe [Abschnitt 4.4](#)).

Persistenz betrifft auch Stoffgruppen, die bislang nicht im Fokus standen. Besondere Aufmerksamkeit gilt aktuell den per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS). Mehrere 1.000 Chemikalien gehören zu dieser Stoffgruppe. Allen ist gemeinsam, dass sie extrem persistent sind und erst nach Jahrzehnten oder länger abgebaut werden. Sie zählen deshalb zu den Ewigkeitschemikalien („Forever chemicals“). PFAS werden in zahlreichen technischen Anwendungen und Lebensbereichen eingesetzt, u. a. als Schaumlöschmittel, bei der Hartverchromung, bei der Imprägnierung von Textilien und Teppichen sowie zur Beschichtung von Lebensmittelverpackungen, z. B. für „Fast Food“. Das Recycling PFAS-haltiger Produkte, z. B. Verpackungen, führt zur Verschleppung der PFAS. Altlasten von PFAS sind z. B. auf die flächenhafte Ausbringung kontaminierter Materialien wie Reststoffen aus der Papierherstellung zurückzuführen.

Viele PFAS sind nicht nur extrem persistent, sondern reichern sich auch im Nahrungsnetz an, sind mobil

und bei geringen Konzentrationen toxisch für den Menschen und Umweltorganismen. Auf das Verbot einzelner PFAS reagierten die Hersteller mit der Substitution durch andere, weniger gut untersuchter Fluorchemikalien. PFAS sind deshalb ein Musterbeispiel für die Notwendigkeit einer Gruppenbewertung [107]. Im Januar 2023 überreichten vier Mitgliedstaaten und Norwegen der Kommission ein Dossier zur Beschränkung der gesamten Stoffgruppe PFAS [108]. In einem Hintergrundpapier „Fluorchemikalien – langlebig, gefährlich, vermeidbar“ hat der BUND die Gefährlichkeit dieser Stoffgruppe dargestellt und einen kompletten Ausstieg aus PFAS-Verwendungen insbesondere von verbrauchernahen Anwendungen bis 2025 gefordert ([81], [109]).

Kunststoffe sind ein weiteres Beispiel für extrem langlebige Stoffe. Plastik in der Umwelt wurde beispielsweise bis vor kurzem als allenfalls ästhetisches Problem angesehen. Mittlerweile aber sind Kunststoffe zu einem ernsthaften Problem geworden, auch wenn sie meist selbst weder toxisch noch bioakkumulierend sind.¹¹ Die europäische Chemikalienagentur ECHA führt aus, dass eine wichtige Eigenschaft des Mikroplastiks dessen „extreme“ Persistenz ist. Mikroplastik solle deshalb so behandelt werden, wie Substanzen ohne Schwellenwert, ähnlich wie PBT/vPvB-Substanzen, bei denen angenommen wird, dass jede Freisetzung in die Umwelt zu Risiken führt [110]. 2022 legte die EU-Kommission den Vorschlag einer Beschränkungsrichtlinie vor [111].

Speziell zugesetztes Mikroplastik und solches, das durch Abrieb aus Plastikmaterialien, Textilien und Fahrzeugreifen (siehe Kasten auf der nächsten Seite „Reifenabrieb – eine wesentliche Quelle für Mikroplastik“) entsteht, gelangt letztendlich in erheblichen Mengen in die Umwelt. Vieles landet in den Ozeanen. Meeresorganismen, insbesondere Planktonfresser, nehmen die persistenten Partikel auf und verhungern mit gefüllten Mägen, weil sie die Kunststoffe nicht verdauen können. Über das Nahrungsnetz gelangen

¹⁰ Auch Stoffe die persistent, bioakkumulierend und toxisch sind (PBT-Stoffe) gelten unter REACH als „Substances of Very High Concern“.

¹¹ Manche Kunststoffe enthalten allerdings toxische Zusatzstoffe, die – falls nicht gebunden – in der Gebrauchsphase entweichen können oder bei der Behandlung von Abfall freigesetzt werden.

sie dann auch in höhere Organismen wie Fische und Meeressäuger und darüber auch in den menschlichen Körper. Ein Messprogramm von fünf Bundesländern zeigte, dass Plastikpartikel mittlerweile auch in Flüssen und Seen verbreitet sind [112]. Selbst Schneeproben aus der Antarktis sind nicht frei von Mikroplastik-Partikeln [113]. Sehr gravierend ist aber auch die Belastung von Böden. Komposte, Gärreste aus Biogasanlagen und Klärschlämme enthalten Plastikreste, so dass alle landwirtschaftlichen Böden heute Mikroplastik und auch Reste von Makroplastik enthalten [114].

Da der größte Teil der Einträge von Kunststoffabfällen über Quellen in Asien und Afrika erfolgt [115] (zum Teil aus europäischen Kunststoffabfällen, die dorthin exportiert wurden), sind dort die durch Makro- und Mikroplastik verursachten Umweltprobleme noch viel gravierender als in Europa. Die laufenden Verhandlungen zu einer globalen Plastikkonvention sollen zu

einer umweltgerechten Produktion, Verwendung und Entsorgung von Kunststoffabfällen führen (siehe [Abschnitt 4.4.3](#)).

Die großen Mengen in Kombination mit der schweren Abbaubarkeit machen Kunststoffe zu einem der heute drängendsten globalen Umweltprobleme. Zudem stellen Beimengungen in Kunststoffen, wie Weichmacher, Antioxidantien, UV-Stabilisatoren und Flammenschutzmittel ein ernstzunehmendes Umweltproblem dar. So zeigten Henkel et al., dass sich aus Mikroplastik aus PVC über Jahrzehnte Phthalat-Weichmacher herauslösen [116]. Kunststoffteile in der Umwelt können zudem – wie viele andere kleine Partikel auch – Schadstoffe aus der wässrigen Umgebung aufnehmen, anreichern und in den Körper von Lebewesen transportieren [117].

Australischen Untersuchungen zufolge nimmt der Mensch durchschnittlich 5 g pro Woche an Mikro-

Reifenabrieb – eine wesentliche Quelle für Mikroplastik

Eine wesentliche Quelle für Mikroplastik in der Umwelt ist der Abrieb von Autoreifen [118]. Experten*innen sehen darin eine wesentliche Quelle sowohl für die Belastung von Böden, die Luftverschmutzung in Städten als auch für die Belastung der Gewässer durch Abschwemmung von Straßen bis hin zu einer Belastung der Meere [119]. Die chemische Zusammensetzung der Reifen und der daraus entstehenden Mikroplastikpartikel ist äußerst komplex und meist unbekannt. Zahlreiche Chemikalien werden zugesetzt, um die gewünschten Produkteigenschaften der Reifen zu erhalten. In einer Untersuchung der Universität Wien wiesen die Autor*innen nach, dass mehrere Zusatzstoffe aus Reifenpartikeln eluiert und von Salatpflanzen aufgenommen werden [120]. Hierzu zählen auch Oxidationsinhibitoren, die verhindern sollen, dass Ozon die Reifenmatrix angreift. Ein verbreiteter Inhibitor ist 6PPD. Untersuchungen der Washington State University legen nahe, dass dieser Zusatz ursächlich ist für das verbreitete Sterben von Silberlachsen an der Pazifikküste der USA. Mit der Abschwemmung von Reifenpartikeln von den Straßen in die Lachsgewässer lösen sich toxische Inhaltsstoffe, insbesondere das 6PPD-Chinon und führen zum Tod der Lachse [121]. 6PPD-Chinon ist das Oxidationsprodukt von 6PPD, das bei der Reaktion mit Ozon entsteht, wenn es also seine Funktion erfüllt. 6PPD-Chinon ist extrem toxisch. Bereits bei 95 ng/L werden in Laborversuchen 50% der Silberlachse getötet [122].

Der Fall zeigt eine deutliche Lücke in den EU-Chemikalienverordnungen REACH und CLP auf. Untersucht und eingestuft werden Ausgangschemikalien (hier: 6PPD). Bei bestimmungsgemäßem Gebrauch reagieren diese mit anderen Stoffen und bilden Folgeprodukte mit evtl. gefährlichen Eigenschaften. In solchen Fällen müssen auch die Folgeprodukte untersucht und bewertet werden.

plastik auf [123]. Inzwischen haben Wissenschaftler*innen der Medizinischen Universität Wien und des österreichischen Umweltbundesamtes Plastikpartikel auch in menschlichen Stuhlproben nachgewiesen. Erste Hinweise zeigen, dass dadurch eventuell Entzündungsreaktionen im Darm begünstigt werden ([124], [125]). Selbst im Kindspech von Neugeborenen und in Muttermilch lassen sich Plastikpartikel nachweisen ([126], [127]) (siehe auch [Abschnitt 7.4.4](#)).

6.2 (Bio-)Akkumulation

Besonders problematisch sind persistente Substanzen, die bioakkumulieren. Sie sind oft kaum wasserlöslich und reichern sich – meist wegen ihrer Fettlöslichkeit – in Lebewesen an. Auch einige Schwermetalle wie Quecksilber und Cadmium sind bioakkumulierend. Tiere, die am Ende von Nahrungsketten bzw. -netzen stehen, sind dadurch besonders gefährdet. Die Schadstoffe werden entlang der Nahrungsketten weitergegeben (Biomagnifikation), so dass bei Tieren wie Robben, Greifvögeln oder auch beim Menschen die höchsten Konzentrationen solcher Stoffe zu finden sind. Daher sind diese Lebewesen einem größeren Risiko durch schädliche Effekte ausgesetzt. Beispiele für solche Stoffe sind flammenhemmende Mittel wie polybromierte Diphenylether (PBDE) und Hexabromcyclododecan (HBCD) als auch polychlorierte Biphenyle (PCB), die unter anderem in Transformatoren, Hydraulikflüssigkeiten und Fugenmassen Verwendung gefunden haben.

Zudem können auch Umwandlungsprodukte (Metabolite) von Chemikalien in vergleichsweise hohen Konzentrationen in Organismen auftreten. So zeigten Forscher*innen 2018, dass das Serum kanadischer Eisbären eine Reihe von Metaboliten halogener Substanzen enthielt. Sie schlossen daraus, dass die Risiken der Bioakkumulation offensichtlich bisher zu wenig beachtet wurden [128].

Die Bioakkumulation ist somit ebenfalls ein in der

klassischen Risikobewertung häufig unterschätztes Belastungs- und Gefährdungsmerkmal, das insbesondere bei persistenten Stoffen Mensch und Umwelt gefährdet. Der Einsatz einiger stark bioakkumulierender Stoffe wird bereits durch die EU-Chemikalienverordnung REACH oder das Stockholmer Übereinkommen verboten oder begrenzt.

Auch eine Anreicherung von Stoffen in bestimmten Umweltmedien ist möglich. Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) und Fluorkohlenwasserstoffe (FKW) reichern sich in der Atmosphäre an, schädigen die Ozonschicht und/oder tragen zum Treibhauseffekt bei.

6.3 Mobilität

Sind persistente Stoffe wasserlöslich (polar), können sie in Böden und Sedimenten häufig leicht versickern und im Grundwasser über lange Strecken transportiert werden. Wird Grundwasser oder Uferfiltrat für Trinkwasser genutzt, können solche mobilen Stoffe in der Wasseraufbereitung kaum wieder entfernt werden.

In der EU-REACH-Verordnung ist eine systematische Erkennung und Bewertung dieser Gefährlichkeitsmerkmale bisher nicht vorgesehen. Allerdings ist es möglich, Stoffe als besonders besorgniserregend – also als „Substances of Very High Concern“ (SVHC) – einzustufen, wenn ein vergleichbares Ausmaß an Besorgnis („equivalent level of concern“) vorliegt. Das Mitgliedstaaten-Komitee der ECHA hat inzwischen zwei perfluorierte Chemikalien (HFPO-DA und PFBS) wegen ihrer Mobilität und Persistenz als besonders besorgniserregend eingestuft [129]. Das Umweltbundesamt hat ein Bewertungskonzept mit Kriterien erarbeitet, das es ermöglicht, Stoffe zu identifizieren, die persistent (P), mobil im Wasserkreislauf (M) und toxisch (T) sind – so genannte PMT-Stoffe – oder die sehr persistent und sehr mobil sind – so genannte vPvM-Stoffe [130]. Gemäß ihrer „Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit“ beabsichtigt die EU-Kommis-

sion, künftig PMT-Stoffe¹² systematisch zu bewerten und – falls erforderlich – zu beschränken [70].

6.4 Indirekte Wirkungen

Bei den schädlichen Wirkungen auf die Umwelt wurde bisher die sicherlich wichtige Ökotoxizität meist in den Vordergrund gestellt. Es zeigt sich aber, dass einige persistente Stoffe eher indirekt zu Schäden führen. Beispiele dafür sind:

- Pestizide: Einige Wirkstoffe schädigen Lebewesen nicht nur durch direkte toxische Wirkungen, sondern auch, indem sie die agrarischen Lebensgemeinschaften verändern. Eliminieren etwa Herbizide Wildkräuter, wird Insekten und damit auch Vögeln die Lebensgrundlage entzogen. Das Insekten- und Vogelsterben wiederum führt zu einer Abnahme der Artenvielfalt.
- FCKW: Die Zerstörung der Ozonschicht durch diese Substanzen sorgt für eine stärkere kurzweilige UV-Strahlung auf der Erde, die Lebewesen schädigt. Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) besitzen zudem, ebenso wie Fluorkohlenwasserstoffe (FKW) und einige andere stabile Gase, ein sehr hohes Treibhauspotenzial.
- Kunststoffe: Die meisten Polymere sind im Sinne einer direkten toxischen Wirkung nicht giftig. Sie schädigen trotzdem Lebewesen, weil sie Lebensräume bedecken, Mägen von Meerestieren blockieren oder als Mikropartikel in Zellen eindringen, Gewebe schädigen und Schadstoffe transportieren können (siehe [Abschnitt 6.1](#)).
- Phosphat: Die Knappheit dieses wichtigen natürlichen Nährstoffs war bis zur Industrialisierung ein zentrales Problem der Ernährungssicherung. Der massenhafte Einsatz von Phosphor als Düngemittel (im Zuge der großen Beschleunigung – siehe [Abschnitt 4.2](#)) führt nun weltweit zu massiver Überdüngung (Eutrophierung) sowohl in Binnengewässern und Landökosystemen als auch in den Weltmeeren [132]. Die Folgen sind Sauerstoffmangel und eine Gefährdung der aquatischen Lebensgemeinschaften.

- Reaktive Stickstoffverbindungen (vor allem Ammoniak/Ammonium, Nitrate, Lachgas und andere Stickstoffoxide): Die anthropogene Vervielfachung des natürlichen Eintrags reaktiver Stickstoffverbindungen in die Umwelt führt zu unterschiedlichen Problemen: Hierzu zählen toxische Wirkungen, z. B. durch Ammoniak oder Stickoxide (NO und NO₂). Ammoniak und Nitrat (aus Stickoxiden) verursachen durch Einträge über die Atmosphäre eine Überdüngung und Beeinträchtigungen von Landökosystemen. Nitrat führt zu Grundwasserbelastungen und Überdüngung. Lachgas (N₂O) trägt wegen seines hohen Treibhauspotenzials zur Klimaerwärmung bei. Die 2021 von Deutschland als Gastgeber organisierte 8. Konferenz der International Nitrogen Initiative (INI) hat mit ihrer Berliner Erklärung die wichtigsten Ansätze zur Bekämpfung des Stickstoff-Krise zusammengefasst [133]. Die UNEA 5.2 (United Nations Environmental Assembly) hat daraufhin das Problem der Überlastung der Umwelt mit reaktivem Stickstoff [134] zum Thema von UNEP gemacht (siehe [Abschnitt 4.3](#)). Ziel ist die Einträge von reaktivem Stickstoff so zu reduzieren, dass die planetaren Grenzen künftig eingehalten werden.
- Kohlendioxid (CO₂): Auch dieses Gas ist eine persistente Substanz. Durch die Verbrennung fossiler Energieträger für Elektrizität, Mobilität, Wärme und andere technische Prozesse (z. B. Chemikalienproduktion, Zementherstellung) wurden und werden riesige Mengen an CO₂ freigesetzt, die eine der wesentlichen Ursachen des Klimawandels sind.

All diese Probleme lassen sich nicht mehr allein mit traditionellen Instrumenten wie der klassischen Risikobewertung mit einem rechnerischen Expositions-Wirkungs-Vergleich lösen.

¹² PMT-Stoffe sind persistent, mobil und toxisch, vPvM-Stoffe sind sehr persistent und sehr mobil; siehe auch [131].

6.5 Hormonelle Wirkungen

Verschiedene Stoffe können mit dem hormonellen (endokrinen) System des Menschen oder von Tieren wechselwirken (endokrine Disruptoren, ED). Sie simulieren oder blockieren die Wirkung körpereigener Hormone oder beeinflussen deren Bildung, Transport und Abbau. Mangelnde Fruchtbarkeit, sinkende Spermienzahl und -qualität, Missbildungen der Geschlechtsorgane, erhöhtes Auftreten verschiedener hormonabhängiger Krebsarten (wie Brust- und Prostatakrebs) werden in der Literatur als mögliche Folgen einer Exposition gegenüber ED beschrieben [135]. Verbreitet sind Wirkungen auf die Sexualhormone, aber auch Störungen der Schilddrüse und der Steroidsynthese sind vielfach beschrieben.

Die vielfältigen Störungen durch hormonell wirksame Substanzen können in frühen Entwicklungsstadien (zum Beispiel in Embryonen und Föten) bei sehr niedrigen Konzentrationen auftreten und erhebliche, oft irreversible Gesundheitsstörungen beim Menschen oder negative populationsdynamische Effekte bei Organismen in der Umwelt verursachen. Da die Effekte bei niedrigen Dosen stärker sein können als bei höheren Dosen („non monotonic dose responses“) [136] und auch der Zeitpunkt der Einwirkung entscheidenden Einfluss hat, führt die Vorgehensweise bei der traditionellen Risikobewertung oft zu Fehlschlüssen. Hier ist daher eine Regulierung gemäß dem Vorsorgeprinzip wichtig, insbesondere bei Verbrauchernahen und bei umweltoffenen Anwendungen.

Endokrine Disruptoren stören nicht nur das Hormonsystem des Menschen, sondern auch das endokrine System von Umweltorganismen, z. B. bezüglich der Larvalentwicklung, der Fortpflanzungsfähigkeit, des Verhältnisses zwischen den Geschlechtern oder Impossex der Tiere. Die Wirkungen dieser Stoffe auf die in der Umwelt lebenden Organismen sind deshalb ebenso ernst zu nehmen wie die gesundheitlichen Wirkungen [137].

Hormonell schädliche Substanzen sind oft Massenchemikalien wie Bisphenole, die in Polycarbonat-Kunststoffen und Epoxidharzen (z. B. Innenbeschichtungen von Konservendosen) verwendet werden, Weichmacher (Phthalate), die in Bodenbelägen, Kunstleder, Schuhen und trotz gesetzlicher Beschränkungen noch immer in jedem fünften Spielzeug gefunden werden [138], Flammschutzmittel in Polstermöbeln bis hin zu agrarischen Pestiziden und antimikrobiellen Reinigungsmitteln. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat nahezu 800 endokrine Schadstoffe [139] gelistet.

Versuche, eine bereits vorhandene EU-Gemeinschaftsstrategie zu hormonell wirksamen Substanzen von 1999 auf Basis neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse und durch Nennung konkreter Maßnahmen zur Bekämpfung des Problems zu aktualisieren, waren nicht erfolgreich [140]. In einer vom Petitionsausschuss des Europäischen Parlaments in Auftrag gegebenen Studie werden die vorliegenden Erkenntnisse dargestellt, Empfehlungen für einen effektiven Schutz vor endokrinen Disruptoren gegeben und die damit verbundenen gesundheitlichen Auswirkungen und Kosten aufgeführt [141]. Das Thema ist seit Mitte der 1990er Jahre in der politischen Diskussion. Das schleppende Tempo der Regulierung hat keine wissenschaftlichen Gründe. Europaparlament und mehrere Mitgliedstaaten drängten wiederholt zum Handeln, aber interne Diskussionen innerhalb der Kommission und intensive Lobbyarbeit der Industrie verhinderten einen Fortschritt. Es steht zu befürchten, dass solche Verzögerungen auch weiterhin andauern.

Die EU-Kommission veröffentlichte 2017 und 2018 mit zwei Verordnungen ([142], [143]) wissenschaftliche Kriterien zur Definition von endokrin schädlichen Eigenschaften bei Pestiziden und Bioziden, die auch auf andere Stoffgruppen Anwendung finden sollten. Diese Definition setzt aber hohe Hürden und verlangt umfassende Untersuchungsergebnisse. Vermutlich werden deshalb nur wenige Stoffe als endo-

krin wirksam identifiziert werden. Eine Kategorie von Stoffen, bei denen der begründete Verdacht auf hormonelle Wirkung besteht (analog zu krebserregenden und genverändernden Stoffen), war nicht vorgesehen. Die vorliegenden Kriterien sind deshalb offensichtlich unzureichend vom Vorsorgeprinzip geleitet. Auch wenn die Standardisierung von Prüfverfahren, die verlässlich klären, ob endokrine Wirkungen auftreten, nach wie vor im Gange ist, wurde auf OECD-Ebene inzwischen eine umfassende Zusammenstellung von Testmethoden erarbeitet [144].

In ihrer EU-Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit [70] vom Herbst 2020 gestand die EU-Kommission ein, dass die Rechtsvorschriften in Bezug auf hormonell schädliche Substanzen reformiert werden müssen, um Mensch und Umwelt in Zukunft effektiv vor solchen Stoffen schützen zu können. Die Chemikalienstrategie sieht deshalb vor, dass die Vorschriften zur Identifizierung von Chemikalien überarbeitet und neue Gefahrenklassen im Rahmen der Verordnung über die Einstufung und Kennzeichnung und Verpackung von Chemikalien (CLP-Verordnung) eingeführt werden, darunter auch für Stoffe mit endokriner schädlicher Wirkung für den Menschen und die Umwelt. Am 19. Dezember 2022 hat die Kommission Vorschläge für eine überarbeitete Fassung der CLP-Verordnung [96] und für einen delegierten Rechtsakt zur Einführung neuer Gefahrenklassen vorgelegt [145].

Der Erfolg dieser Maßnahmen wird in hohem Maße von einer weiteren, in der Chemikalienstrategie im Rahmen der REACH-Novellierung angekündigten Maßnahme abhängen (siehe [Kapitel 5](#)): der Einführung des präventiven generischen Ansatzes bei der Risikobewertung von Chemikalien, insbesondere auch um die Verwendung von endokrinen Schadstoffen in Konsumprodukten zu beenden.

Auch auf nationaler Ebene sind Maßnahmen zur Verringerung der Risiken von ED möglich. So publizierte Frankreich 2019 einen Aktionsplan zu endokrinen Dis-

ruptoren [146] und überlegt derzeit auch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) einen solchen Plan zu erstellen.

Eine Exposition von Mensch und Umwelt gegenüber endokrin wirksamen Stoffen ist deshalb zu verhindern und auch bei Verdachtsstoffen vorsorglich so weit wie möglich zu mindern.

6.6 Irreversible Gesundheitsschäden

Besonders schwerwiegende Beeinträchtigungen der Gesundheit durch Chemikalien sind die krebserzeugende (Kanzerogenität) und die erbgutverändernde (Mutagenität) Wirkung sowie die Beeinflussung der Fruchtbarkeit (Reproduktionstoxizität) und des Hormonsystems (endokrine Wirkung). Sie führen in der Regel zu irreversiblen Schäden und meist kann kein Schwellenwert für das Auftreten einer schädlichen Wirkung bestimmt werden. Die hormonabhängigen Krebserkrankungen Brust- und Prostatakrebs haben seit 1970 um 0,75–1,00 % jährlich zugenommen [147]. Bei diesen Werten ist die altersbedingte Zunahme der Krebserkrankungen berücksichtigt. Da genetische Faktoren sich in einem anderen Zeitrahmen verändern, liegen Umweltfaktoren, insbesondere eine erhöhte Chemikalienexposition als Ursache nahe.

Da unsere bisherigen Kontrollsysteme offensichtlich keinen ausreichenden Schutz bieten, sollte überlegt werden, wie der Zeitraum von ersten Erkenntnissen über verdächtige Anzeichen zu o.g. Wirkungen bis zum Eintritt eines wirksamen Schutzes durch stoffliche Regulierung verkürzt werden kann. Es sollte ein verbindlicher Ablauf festgelegt werden, dass unter Beteiligung von Wissenschaft und Öffentlichkeit abgesicherte wissenschaftliche Erkenntnisse generiert werden. So könnte in kürzerer Frist entschieden werden, ob Regulierungsbedarf besteht.

6.7 Nanomaterialien und andere neuartige Materialien

Gemäß Verordnung (EU) Nr. 2018/1881 [148] wird die Nanoform von Materialien im Anhang VI der REACH-Verordnung als die Form eines natürlichen oder hergestellten Stoffes definiert, die Partikel enthält, deren Außenmaße bei mindestens 50% der Partikel in mindestens einer Dimension zwischen 1 bis 100 nm betragen.¹³ Die Partikel können ungebunden oder als Agglomerat beziehungsweise Aggregat vorliegen. Als Bulkform wird dabei diejenige Form des gleichen Stoffes verstanden, auf die diese Definition als Nanoform wegen ihrer größeren Partikelgröße nicht zutrifft.

Weil Nanomaterialien vielfältige neue technische Anwendungen ermöglichen, nimmt ihre wirtschaftliche Bedeutung zu. Sie werden in immer größerem Umfang hergestellt. Damit ist auch eine steigende Belastung des Menschen und der Umwelt durch solche Materialien verbunden. Doch während Wirkungen und Expositionspotenzial der meisten Stoffe durch ihre chemische Zusammensetzung bedingt sind, haben bei Nanomaterialien auch physikalisch-chemische Eigenschaften wie Korngröße, Form, Oberflächenchemie und Oberflächenladung einen erheblichen Einfluss auf Verhalten und Wirkung im menschlichen Organismus und in der Umwelt. Grobkörnige Teilchen sind oft nicht bioverfügbar, während Nanomaterialien aufgrund ihrer geringen Größe in Zellen eindringen und sich in der Umwelt rascher verbreiten können [150].

Neue Prüfstrategien sind deshalb erforderlich, um die Risiken von Nanomaterialien bewerten zu können. Im Rahmen des Testrichtlinien-Programms der Organisation für ökonomische Entwicklung und Zusammenarbeit (OECD) sind geeignete Prüfverfahren für Nanomaterialien ein Schwerpunkt.

In den vergangenen Jahren hat die Europäische Chemikalienagentur ECHA Leitfäden veröffentlicht, in

denen sie mitteilt, wie Unternehmen Nanomaterialien registrieren sollen. Die EU-Kommission hat sich in ihrer im Dezember 2018 verabschiedeten Verordnung (EU) Nr. 2018/1881 darauf beschränkt, nur die REACH-Anhänge in Bezug auf Nanomaterialien anzupassen und darin festzulegen, welche Daten Unternehmen vorlegen müssen, nicht aber die REACH-Verordnung selbst anzupassen und sie um die Nanomaterialien zu ergänzen. Danach müssen Unternehmen seit 01.01.2020 für Nanoformen von Stoffen, von denen sie mehr als eine Tonne pro Jahr herstellen oder in die EU einführen, zusätzliche Angaben machen. Da sowohl die Bulkformen als auch die Nanoformen lediglich unterschiedliche Formen ein und desselben Stoffes darstellen, muss der betreffende Stoff gemäß dem sogenannten OSOR-Prinzip (OSOR = one substance – one registration) nur einmal registriert werden; bei Auftreten von einer oder weiteren Nanoformen muss eine bereits erfolgte Registrierung des betreffenden Stoffes aber aktualisiert und um zusätzliche Informationen betreffs der jeweiligen Nanoformen ergänzt werden. Grundsätzlich muss dabei jede Nanoform einzeln beschrieben werden, wenn ihre Abweichung von anderen Nanoformen über die üblichen Schwankungen von Charge zu Charge eines bestimmten Herstellungsprozesses hinausgeht. Wesentliche Punkte wie spezifische Prüfanforderungen und eigene Expositionsbetrachtungen für diese Aktualisierung des Registrationsdossiers werden in dieser Verordnung genannt. Es sollte überlegt werden, ob im Rahmen der REACH-Novellierung (siehe [Kapitel 5](#)) die Bestimmungen zu Nanomaterialien nicht in den Haupttext der Verordnung übernommen werden sollten, der den Begriff „nano“ bisher nicht kennt. Dann könnte zum Beispiel auch die Mengenschwelle zur Aufnahme einer Nanoform in ein Registrierungs-dossier gesenkt werden, die mit einer Tonne pro Jahr eindeutig zu hoch für diese in geringer Konzentration aktiven Materialien ist. Auch sollten wissenschaftliche Erkenntnisse zum Zusammenfassen verschiedener Nanoformen umgesetzt werden [151] und dann die Mengenschwellen sich auf die Summe beziehen.

¹³ Zur Anzahlgrößenverteilung von mindestens bei 50% siehe Empfehlung der EU-Kommission vom 18. Oktober 2011 [149] (siehe auch [147] bzw. [3]).

Darüber hinaus schreibt eine weitere EU-Verordnung (Nr. 2020/878) veränderte Anforderungen an die Erstellung des Sicherheitsdatenblattes gemäß Anhang II der REACH-Verordnung vor, nach der zusätzliche Angaben zur Nanoform bzw. zu den verschiedenen Nanoformen eines Stoffes oder Gemisches in seinem Sicherheitsdatenblatt verbindlich einzufügen sind, sofern der Stoff in der Nanoform gefährliche Eigenschaften aufweist [152]. Da die Untersuchung von Nanomaterialien spezieller Anpassungen der Testverfahren bedarf, ist außerdem eine Anpassung der Prüfmethoden-Verordnung notwendig, die kurz vor dem Abschluss steht [153].¹⁴

Die Diskussion um die besonderen Eigenschaften von Nanomaterialien hat sich inzwischen zur Frage erweitert, welche potenziellen Risiken sich mit anderen neuartigen Materialien („advanced materials“) verbinden. Darunter versteht man ein äußerst heterogenes Feld sehr unterschiedlicher Stoffe und Gemische, die nicht natürlich vorkommen, sondern absichtlich entwickelt und hergestellt werden, damit sich mit ihnen besondere Funktionalitäten wie Supraleitung, optische und magnetische Merkmale erschließen lassen. Sie werden auf der atomaren oder molekularen Ebene gezielt gestaltet und hergestellt, um funktionelle Anforderungen einer bestimmten Anwendung möglichst optimal zu erfüllen. Auch Komposit-Werkstoffe sowie Stoffe mit biologischen Funktionalitäten (z. B. Bio-Nano, Biomaterialien für die Zellkultur oder Vektoren für die gezielte Medikamentenverabreichung) werden dazu gezählt. Eine einheitliche Definition neuartiger Materialien existiert ebenso wenig wie eine einheitliche Beurteilung potenzieller Risiken für Umwelt und Gesundheit. Wie bei Nanomaterialien leiten sich die stofflichen Risiken oft nicht allein aus der chemischen Zusammensetzung ab. Die mit ihnen als besorgniserregenden Materialien (Materials of concern) verbundenen potentiellen Risiken und Gefahren für Mensch, Umwelt und Gesellschaft sollten daher frühzeitig identifiziert und eingeschätzt werden, möglichst vorausschauend

bereits während ihrer Entwicklung. Darüber hinaus sind häufig die Ressourcenverfügbarkeit (etwa bei speziellen Legierungen) sowie die mangelnde Wiederverwertung (zum Beispiel bei Komposit-Werkstoffen) in die Bewertung einzubeziehen (siehe [Abschnitt 7.4](#)). Es ist notwendig, bei der vorhandenen Vielfalt dieser Materialien Prioritäten zu identifizieren, die einer näheren Prüfung eines potenziellen Risikos bedürfen [155]. Ein besonderes Augenmerk sollten solche Materialien haben, die über den Stoffbegriff von REACH nicht mehr erfasst werden (Beispiele: biologisch funktionalisierte Materialien, multifunktionelle Mehrkomponentensysteme). Aus Sicht des Arbeits- und Verbraucherschutzes bedarf es auch einer Risikobewertung faserverstärkter Werkstoffe, die bei der Bearbeitung gefährliche Fasern freisetzen können [156]. Die besonderen Risiken von biopersistente Fasern sind im Chemikalienrecht bisher unzureichend geregelt.

Um zu verhindern, dass potenzielle Risiken zu spät erkannt werden, ist eine partizipative, vorausschauende und kritische Begleitung der rasanten technischen Entwicklung und die Berücksichtigung der damit verbundenen ökologischen und sozialen Auswirkungen ebenso notwendig wie die Entwicklung von „Safe by Design“-Konzepten als ein neuer Schwerpunkt der Sicherheitsforschung. Unter Anwendung des Vorsorgeprinzips sind auf einigen Anwendungsfeldern auch regulatorische Maßnahmen angemessen.

6.8 Kombinationswirkungen

In der Chemikalienbewertung ist es üblich, die Wirkung und die erwarteten Konzentrationen von Einzelstoffen zu bestimmen und zu bewerten. In der Praxis finden Stoffe jedoch häufig als Stoffmischungen Verwendung. Die EU-Verordnung über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen (CLP-Verordnung) [95] enthält zwar Regeln, wie Gemische einzustufen und zu kennzeichnen sind. Eine Risikobewertung von Gemischen

¹⁴ Die aktuelle Fassung der gemäß der REACH-Verordnung festgelegten Prüfmethoden findet sich in [154].

erfolgt jedoch nur in Ausnahmefällen. Vorhandene Risiken werden deshalb häufig unterschätzt, da sich die Komponenten eines Stoffgemischs gegenseitig beeinflussen und ihre Wirkungen verstärken oder abschwächen können. Da eine experimentelle Prüfung eines Gemischs in der Regel aus Tierschutzgründen und wegen dem damit verbundenen hohen Aufwand (kommerziell hergestellte Zubereitungen haben selten eine unveränderliche Zusammensetzung) nicht durchgeführt wird, braucht es andere geeignete Verfahren zur Einschätzung der Kombinationswirkung. Eine Möglichkeit ist die Berechnung aus den Toxizitäten der Komponenten durch Konzentrationsaddition ([157], [158]).

Basierend auf Schlussfolgerungen des Rates 2009 hat die EU-Kommission 2012 einen Bericht vorgelegt [159], inwieweit die bestehenden Rechtsakte die Toxizität von Mischungen ausreichend berücksichtigen. Darin wird festgestellt:

„In den geltenden EU-Rechtsvorschriften ist keine umfassende und integrierte Bewertung der kumulativen Wirkungen unterschiedlicher Chemikalien unter Berücksichtigung verschiedener Expositionswege vorgesehen. Wenn eine bedenkliche Mischung bestimmt wird und eine solche Mischung chemische Stoffe enthält, für die unterschiedliche EU-Rechtsvorschriften gelten, ist derzeit kein Mechanismus verfügbar, um eine integrierte und koordinierte Bewertung über unterschiedliche Rechtsakte hinweg voranzutreiben.“

In der 2020 veröffentlichten EU-Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit (siehe [Kapitel 5](#)) [70] kündigt die EU-Kommission an, einen konsistenten gesetzlichen Rahmen für Kombinationswirkungen zu schaffen. Konkret ist vorgesehen, einen sogenannten Mischungsbewertungsfaktor (Mixture Assessment Factor, MAF) bei der Stoffsicherheitsbeurteilung unter REACH einzuführen. Auch in anderen relevanten Rechtsvorschriften (etwa zu Wasser, Lebensmittelzu-

satzstoffen, Spielzeug, Lebensmittelkontaktmaterialien, Detergenzien und Kosmetika) soll das Verfahren Anwendung finden. Der MAF wäre aus Sicht des BUND und anderer Umweltverbände eine pragmatische Lösung, um die Risiken solcher Wirkungen angemessen zu reduzieren. Der Faktor sollte hoch genug sein, um das bisherige Schutzniveau für Umwelt und Gesundheit deutlich anzuheben. Angesichts der großen Zahl an Stoffen aus unterschiedlichen Quellen, die im Körper und in der Umwelt nachgewiesen werden, sowie der Wissenslücken bezüglich der Wirkung bislang unbekannter Stoffe, wäre ein MAF von 100 angemessen.

Bei agrarischen Pestiziden ist der Bedarf an einem praktikablen und gleichzeitig Sicherheit gewährleistenden Verfahren besonders hoch, wie u. a. die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina herausstellt [7]. Dabei sind Kombinationseffekte sowohl bei der Festlegung von Rückstandshöchstmengen in Lebensmitteln als auch bei der ökologischen Risikobewertung zu berücksichtigen. Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) hat einen Leitfaden-Entwurf zur Bewertung der kombinierten Exposition gegenüber mehreren Wirkstoffen in von der EFSA zu beurteilenden Produkten veröffentlicht [160]. Bei der Pestizidbewertung sind dabei nicht nur die Effekte der in den Präparaten enthaltenen Komponenten zu betrachten, sondern auch dass immer häufiger mehrere Präparate gleichzeitig als Tankmischungen ausgebracht werden. Weiterhin ist zu bedenken, dass während einer Vegetationsperiode oft mehrere Applikationen von Pestiziden stattfinden (Spritzfolgen), die sich gegenseitig beeinflussen. Beispielsweise finden im Obstbau oft mehr als 20 Spritzungen pro Jahr statt.

Lassen sich Chemikalienmischungen aus einer Quelle noch mit wissenschaftlichen Methoden hinreichend bewerten, so fehlen bislang belastbare Expositionsszenarien für die Bewertung von Vielfachbelastungen durch Chemikalien aus verschiedenen Quellen. Dabei

sind Mensch und Umwelt in der Realität vielen verschiedenen Stoffen aus unterschiedlichen Quellen ausgesetzt. Die Untersuchung von Blutproben von EU-Parlamentarier*innen durch den World Wide Fund for Nature (WWF) im Jahr 2004 zeigte, dass in deren Blut im Durchschnitt 41 von 100 untersuchten Chemikalien nachweisbar waren [161]. Das „Human Bio-monitoring“-Programm der EU (HBM4EU) verfolgt deshalb auch das Ziel, Verfahren zu entwickeln, wie sich die Mehrfachbelastungen durch Chemikalien bei der Risikobewertung berücksichtigen lassen.

Noch geringer ist die Prognosemöglichkeit, will man zusätzlich die Einflüsse nichtstofflicher Umweltnoxen wie Temperatur, Lärm, elektromagnetischer Strahlung und Trockenheit auf die Toxizität von Stoffen berücksichtigen. Dies zeigt einmal mehr, wie notwendig es ist, das Vorsorgeprinzip verstärkt in Risikobewertung und -management einzubeziehen, um sich dem von der EU ausgerufenen Ziel eines „Non toxic environment“ wirklich zu nähern [162]. Unsicherheitsfaktoren zur Übertragung von Modellergebnissen auf die Realität bleiben deshalb auch bei deutlich verbesserter Datenlage notwendig.

6.9 Mikroschadstoffe in Gewässern

In letzter Zeit mehren sich Befunde, wonach empfindliche Arten wirbelloser Tiergruppen in Fließgewässern bei Konzentrationen von Mikroschadstoffen verschwinden, die niedriger sind als Ergebnisse aus Laboruntersuchungen erwarten lassen. Das heißt, festgelegte Umweltqualitätsnormen, die in der Regel auf Ergebnissen von Laboruntersuchungen beruhen, vermögen solche Arten nicht ausreichend zu schützen. Eine plausible Erklärung dafür ist, dass die meisten Studien über die Auswirkungen von Substanzen auf Wasserorganismen nur die Wirkung des Einzelstoffes erfassen. In Gewässern wirken aber meist mehrere Verbindungen gleichzeitig auf Flora und Fauna. Als notwendige Maßnahmen nennt die Mikroschadstoff-Strategie des BUND [4] unter anderem eine weitergehende Abwasserreinigung in Form der

4. Reinigungsstufe sowie eine konsequentere Berücksichtigung der Umweltrisiken bei der Arzneimittelzulassung. Zur Vermeidung der Gewässerbelastung mit Arzneimittelwirkstoffen ist es etwa notwendig, Abwässer aus Punktquellen wie Krankenhäusern gesondert zu behandeln [103].

Auch die Bundesregierung beschäftigt sich mit dem Thema Mikroschadstoffe. Im Jahr 2022 wurde das Spurenstoffzentrum (obwohl der Begriff Mikroschadstoff eigentlich aussagekräftiger ist, wurde hier der Begriff Spurenstoffe verwendet) des Bundes beim Umweltbundesamt gegründet.¹⁵ Nach dem dort festgelegten Verfahren beurteilt in einem ersten Schritt ein Expertengremium, ob es sich um einen prioritären Spurenstoff handelt, bei dem akuter Handlungsbedarf zur Reduktion besteht. Im zweiten Schritt wird dann ein „Runder Tisch“ zu diesem Spurenstoff eingerichtet, der Minderungsmaßnahmen beschließt. Seit 2016 wird an diesem Verfahren gearbeitet. Bisher wurden erst drei Runde Tische abgeschlossen, die sich nur auf wenig ambitionierte Minderungsmaßnahmen einigen konnten.

Dieses Verfahren des Spurenstoffdialogs der Bundesregierung ist gleich an drei Stellen unzureichend:

1. Es werden zu wenige Spurenstoffe behandelt, da die Auswahl durch das Expertengremium nur langsam erfolgt und zu enge Maßstäbe angelegt werden. Notwendig wären Regelungen für hunderte oder sogar tausende Mikroschadstoffe in Gewässern.
2. Die „Runden Tische“ schlagen gemeinschaftlich Maßnahmen vor. Durch das weitgehende Konsensprinzip haben in der Praxis die beteiligten Industrievertreter ein Vetorecht. Die so entwickelten Maßnahmen reichen nicht aus, um notwendige Minderungen zu erzielen.
3. Das ganze Verfahren fußt bisher auf Freiwilligkeit, obwohl es eigentlich klarer Regelungen über Verordnungen oder Gesetze bedarf.

¹⁵ <https://www.umweltbundesamt.de/das-spurenstoffzentrum-des-bundes>

Um wirksame Maßnahmen zur Minderung der Spurenstoffe durchzusetzen, braucht es auch Maßnahmen, die über das reine Umweltrecht hinauswirken.

Einer der in einem „Runden Tisch“ behandelten Spurenstoffe war das Schmerzmittel Diclofenac. Die dort entwickelten Maßnahmen werden nicht ausreichen, um die nötige Minderung der Einträge zu erzielen. Ein Werbeverbot für Diclofenac oder eine Verschreibungspflicht würden sofort zu einer deutlichen Minderung führen, da der größte Teil der Einträge über in ihrer Wirkung umstrittene Schmerzgels erfolgt, die beim nächsten Bad zum größten Teil abgewaschen und in die Gewässer eingetragen werden. Für ein Werbeverbot oder eine Verschreibungspflicht bräuchte es aber entsprechende Regelungen im Arzneimittelrecht.

Die neuere Forschung zeigt zudem, dass persistente Stoffe auch Umwandlungsprodukte sein können, die durch unvollständigen Abbau beispielsweise in der Abwasserreinigung oder der Umwelt entstehen. Diese sind meist von unbekannter Struktur und Wirkung. Deren Vermeidung muss künftig in der Mikroschadstoffstrategie verstärkt berücksichtigt werden.

Die aus dem Kapitel 6 abgeleiteten Forderungen zur Weiterentwicklung der Stoffbewertung sind in [Abschnitt 9.3](#) zusammengestellt

7. Stoffstrommanagement

Will man nachhaltige Chemie konkret umsetzen, braucht es ein umfassendes Stoffstrommanagement, das integraler Bestandteil einer zirkulären Ökonomie („Circular Economy“) ist. Dies beginnt bereits bei der Entnahme und Gewinnung von Rohstoffen und endet bei der Wiederverwertung und Beseitigung von Abfällen. Zirkuläre Ökonomie bedeutet aber auch einen Paradigmenwechsel hinsichtlich der Stoffkreisläufe, indem sie verlangt, die Wertschöpfungskette in ihrer Gesamtheit zirkulär zu gestalten.

7.1 Grundregeln der Enquete-Kommission

Die Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages „Schutz des Menschen und der Umwelt – Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltigen zukunftsverträglichen Entwicklung“ [163] formulierte bereits 1998 mit Blick auf unterschiedliche Rohstoffe fünf Grundregeln. Die ersten beiden Regeln setzen den Rahmen für eine nachhaltige Ressourcenstrategie:

„1. Die Abbaurate erneuerbarer Ressourcen soll deren Regenerationsrate nicht überschreiten. Dies entspricht der Forderung nach der Aufrechterhaltung der ökologischen Leistungsfähigkeit, das heißt (mindestens) nach Erhaltung des von den Funktionen her definierten ökologischen Realkapitals.“

2. Nicht-erneuerbare Ressourcen sollen nur in dem Umfang genutzt werden, in dem ein physisch und funktionell gleichwertiger Ersatz in Form erneuerbarer Ressourcen oder höherer Produktivität der erneuerbaren sowie nicht erneuerbaren Ressourcen geschaffen wird.“

Es gilt, klare Prioritäten für das Ressourcenmanagement zu setzen wie auch Instrumente zu finden, mit denen diese umgesetzt werden können ([164], [165]).

Um solche Prioritäten setzen zu können, braucht es Indikatoren für die Wirkungen auf die Umwelt von Gewinnung und Nutzung energetischer und materieller Ressourcen [166]. Denn sowohl Energie- als

auch Materialaufwand hängen in Produktion und Anwendung eng zusammen. Als Indikatoren eignen sich der „kumulierte Energieaufwand“ (KEA) [167], der „kumulierte Rohstoffaufwand“ (KRA) [168] und die daraus ableitbaren Emissionen an Treibhausgasen (THG). Mit dem KEA werden der Energieaufwand für die Herstellung von Gütern von der Stoffgewinnung bis zum fertigen Produkt, der Energieaufwand in der Nutzungsphase einschließlich Instandhaltung sowie der energetische Aufwand für Recycling, Entsorgung usw. erfasst. Der KRA umfasst alle zur Herstellung und Transport eines Produktes aufgewendeten Rohstoffe, inklusive der Energierohstoffe, nicht jedoch Stoffe und Materialien wie Abraum, die bei der Gewinnung anfallen, ohne wirtschaftlich genutzt zu werden. Auch der Umfang der Wassernutzung bei der Produktion von Chemikalien und anderen Stoffen wird durch den KRA nicht erfasst – ein zunehmendes Problem angesichts der durch den Klimawandel verursachten Wasserknappheit z. B. am Rhein. Durch KEA, KRA und damit verbundene THG-Emissionen bekommt man einen Eindruck von dem Zusammenhang zwischen Gewinnung und Verarbeitung einer bestimmten Ressource, dem damit verbundenen Energie- und Rohstoffaufwand sowie der Wirkung für das Klima. Es wäre sinnvoll, diese Kennzahlen bei der Beschreibung der „besten verfügbaren Techniken“ (BVT) im Rahmen des EU-Sevilla-Prozesses¹⁶ in die sog. BVT-Merkblätter aufzunehmen.

Diese drei Indikatoren decken jedoch nur einen Teil der durch die Nutzung von Ressourcen entstehenden Wirkungen auf die Umwelt ab. So wird die Kritikalität einzelner Rohstoffe, also ihre ökonomische, ökologische und soziale Relevanz, durch keinen dieser Indikatoren erfasst. Weitere negative Effekte wie die Überdüngung, die Versauerung oder die toxischen Wirkungen von Emissionen bleiben hierdurch ebenso unberücksichtigt wie die Folgen für die Biodiversität. Diese und weitere Indikatoren sind für eine umfassende Umweltbewertung von Produkten und Prozessen unabdingbar. Derzeit scheitert eine solche Bewer-

¹⁶ Anhang III der EU-Richtlinie 2010/75/EU über Industrieemissionen enthält die Kriterien, nach denen zu bestimmen ist, was die „besten verfügbaren Techniken“ („best available techniques“ – BAT) für einen industriellen Prozess sind. Die „besten verfügbaren Techniken“ der EU entsprechen in Deutschland dem Technikniveau „Stand der Technik“. Im EU-Sevilla-Prozess werden die BVT-Merkblätter („best available techniques reference documents“ – BREFs) für einzelne Industrie-sektoren erarbeitet.

tung sowohl an der Datenverfügbarkeit als auch an noch bestehenden methodischen Unklarheiten.

In den vergangenen Jahren ist es in vielen Industriestaaten gelungen, nicht nur die CO₂-Emissionen, sondern auch den Energieverbrauch von der Wachstumsrate des Bruttoinlandsprodukts (BIP) zu entkoppeln. Die Energieeffizienz ist also gestiegen. Allerdings werden die Einsparungen teilweise durch das Wirtschaftswachstum wieder kompensiert (Rebound-Effekt). In Bezug auf den Rohstoffverbrauch ist aber noch keine signifikante Entkopplung eingetreten. Hier ist eine deutliche Umkehr erforderlich, um die Nachhaltigkeitsziele und die Ziele des Pariser Klimaabkommens zu erreichen.

Aus der europäischen Rohstoffwirtschaft selbst kommen inzwischen Anstöße, Ressourcen sparsam zu nutzen. Die Gefährdung der Rohstoffverfügbarkeit aus geostrategischer Sicht steht dabei im Fokus. Die Diskussion dazu hat sich seit Beginn des Angriffskrieges Russlands gegen die Ukraine verschärft. Zunehmend wird versucht, die Rohstoffabhängigkeit von Russland und der Volksrepublik China zu reduzieren ([169], [170]). Aus der Kombination dieser Überlegungen lassen sich Prioritäten für eine deutsche und europäische Politik der Ressourcenschonung entwickeln, die sich an der natürlichen Verfügbarkeit von Ressourcen, an den mit ihrer Gewinnung verbundenen Umweltbelastungen und an geopolitischen sowie sozialen Kriterien orientieren sollte.

Die dritte und die vierte Nachhaltigkeitsregel der Enquete-Kommission berücksichtigen potenzielle Schäden in den Umweltmedien und weisen auf schwer erkennbare, aber umso kritischere Probleme bei der Fehlsteuerung von Ökosystemen aufgrund von (Schad-)Stoffeinträgen hin, die unter Umständen über mehrere menschliche Generationen Bedeutung erlangen wie bei den Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW), den per- und polyfluorierten Alkylverbindungen (PFAS) oder den polychlorierten Biphenylen (PCB).

„3. Stoffeinträge in die Umwelt sollen sich an der Belastbarkeit der Umweltmedien orientieren, wobei alle Funktionen zu berücksichtigen sind, nicht zuletzt auch die „stille“ und empfindlichere Regelungsfunktion.

4. Das Zeitmaß anthropogener Einträge bzw. Eingriffe in die Umwelt muss im ausgewogenen Verhältnis zum Zeitmaß der für das Reaktionsvermögen der Umwelt relevanten natürlichen Prozesse stehen.“

Die fünfte Regel betont den Stellenwert des Erhalts der menschlichen Gesundheit:

„5. Gefahren und unvermeidbare Risiken für die menschliche Gesundheit durch anthropogene Einwirkungen sind zu vermeiden.“

Bei der Anwendung dieser Regeln müssen insbesondere auch die Kombinationswirkungen von verschiedenen Stoffen in Gemischen, die besonderen Risiken von Nanomaterialien, Mikroschadstoffen und hormonellen Wirkungen berücksichtigt werden (siehe [Kapitel 6](#)).

Bedenkt man, dass die Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages bereits vor mehr als 20 Jahren diese Regeln zum nachhaltigen Umgang mit Stoffen formuliert hat und zahlreiche Experten wie die des Club of Rome schon viele Jahre zuvor auf die Notwendigkeit des Umsteuerns beim Stoffstrommanagement hingewiesen haben, fällt die Bilanz der bisherigen politischen Bemühungen leider sehr ernüchternd aus.

7.2 Prinzipien des nachhaltigen Stoffstrommanagements

Ein nachhaltiges Stoffstrommanagement orientiert sich an Leitbildern.

Eines hiervon ist die Kreislaufwirtschaft in Verbindung mit der Abfallhierarchie, die als Prioritätenreihenfolge festlegt: Vermeiden, Wiederverwendung,

Recycling, Verwertung und Beseitigung. Ein anderes Leitbild orientiert sich an den Stoffkreisläufen und technischen Lösungen der Natur (Bionik), die sich dadurch auszeichnen, dass sie mit lokal vorfindbaren Stoffen räumlich und zeitlich begrenzt mit hoher Effektivität und Effizienz arbeiten.

Ein nachhaltiges Stoffstrommanagement muss diese Leitbilder einbeziehen, muss aber darüber hinausgehen. Es bedarf eines Paradigmenwechsels weg von linearen Wirtschaftsweisen hin zu einer zirkulären Ökonomie entlang der gesamten Wertschöpfungsnetzwerke und unter Einbeziehung des vollständigen Produktlebenszyklus (vgl. hierzu Empfehlungen des Umweltbundesamtes [171]). Dabei ist zentral, dass tatsächlich Primärressourcen eingespart werden und die Systeme insgesamt energie- und ressourcensparend sind.

Um Stoffströme in Gang zu halten, wird Energie benötigt. Nachhaltige Prozesse zeichnen sich deshalb durch eine hohe Energieeffizienz aus. Damit einher geht eine möglichst geringe Entropiezunahme. Entropie¹⁷ wird häufig als „Verlustenergie“ beschrieben, die bei Prozessen nicht mehr nutzbar ist und insoweit „verloren geht“. Sie entsteht aber auch bei Mischungsvorgängen, also bei dissipativen Vorgängen¹⁸. Entropie ist insbesondere von Bedeutung, wenn Stoffe in Produkten oder in der Umwelt so verteilt werden, dass sie nicht oder nur mit sehr hohem Aufwand zurückgewonnen werden können. Damit ist eine möglichst geringe Entropieproduktion ein Indikator für nachhaltige Prozesse ([172], [53]).

Nachhaltige Chemikalienproduktion bedeutet auch, bei der Herstellung eines Stoffes – über den gesamten Herstellungsweg inklusive der Vorprodukte entlang der Lieferkette – so wenig Abfall wie möglich entstehen zu lassen. Trotz großer Fortschritte bei der abfallarmen Synthese von Chemieprodukten gibt es noch immer Synthesewege, bei denen mehr Abfälle als Produkte anfallen. Bei der Herstellung von Arzneimittel-Wirkstoffen werden sogar im Durchschnitt

je kg Produkt 25 kg nicht weiter nutzbare Nebenstoffe „produziert“, die entsorgt werden müssen [38].

Eine globalisierte, an hohen Materialdurchsätzen orientierte und energieintensive Gesellschaft mit kurzen Produktlebenszeiten und einer großen Stoffvielfalt innerhalb einzelner Produkte und Stoffströme benötigt viel Energie und „produziert“ gewaltige Mengen an Entropie, was zu hohen Verlusten und Kosten stofflicher, energetischer und ökonomischer Art führt. Nicht zuletzt deshalb gilt es, Stoff- und Materialströme auf allen Ebenen so gering und in ihrer Zusammensetzung so einfach wie möglich zu halten.

Um mehr Nachhaltigkeit beim Management von Stoffströmen zu erreichen, ergänzen sich drei Strategien ([173], [174]):

- **Effizienz** richtet sich auf eine ergiebigere Nutzung von Energie und Ressourcen. Mit weniger Energie- und Materialeinsatz soll ein Produkt oder eine Dienstleistung entstehen. Dies betrifft zum Beispiel den Wirkungsgrad bei Kraftwerken ebenso wie die Materialersparnis bei der Herstellung von Produkten. Manche Effizienzgewinne sind in der Vergangenheit allerdings durch erhöhten Verbrauch wieder kompensiert worden (Rebound-Effekt). Aktuell wird die Ressourceneffizienz auf die erzielte Wertschöpfung im Indikator BIP (Bruttoinlandsprodukt) bezogen. Dies bedeutet, dass auch Preisänderungen, die nichts mit dem Materialverbrauch zu tun haben, sich in dem Indikator widerspiegeln. Außerdem sind wichtige Aspekte in diesem Indikator nicht enthalten wie z. B. der Zustand natürlicher Ressourcen.
- **Konsistenz** bezieht sich auf die Vereinbarkeit von Natur und Technik. Darunter fällt unter anderem die Entwicklung von Materialien und Produkten für geschlossene Stoffkreisläufe. Produkte sind möglichst lange zu verwenden. Soweit eine Wiederverwendung nicht möglich ist, sind die Abfälle möglichst vollständig zu recyceln oder in natürli-

¹⁷ Entropie ist ein thermodynamisches Maß für nicht mehr nutzbare Energie und kann auf stofflicher Ebene analog betrachtet werden (oft als Grad der „Unordnung“ plakativ dargestellt). Sie ist ein Indikator für Nachhaltigkeit.

¹⁸ Dissipation: Zerstreuung/Verteilung von Teilchen in einem System.

che biogeochemische Prozesse eingefügt werden [65]. Dabei sind auch die Senken für die Aufnahme von Stoffen wie die Atmosphäre, Boden und Meere als begrenzt belastbare Ressourcen zu betrachten.

- **Suffizienz** richtet sich an Konsum- und Lebensstile, nicht nur durch einzelne Personen, sondern die Gesellschaft insgesamt. Suffizienz lässt sich durch die Begriffe Entschleunigung, Entflechtung, Entkommerzialisierung und Entrümpelung charakterisieren [175]. Suffizienz richtet sich nicht nur an die Verbraucher*innen, sondern auch an die Produzent*innen mit der Frage, was wird wirklich gebraucht [176]. Das bedeutet nicht asketischen Verzicht, sondern Antworten auf die Frage nach dem rechten Maß und dem bewussteren Umgang mit begrenzten Ressourcen [177].

Während Effizienz und Konsistenz in der Bevölkerung allgemein akzeptiert werden, treffen Suffizienzstrategien auf Vorbehalte. Allerdings zeigt u. a. die Initiative „Unverpackt-Läden“, dass manche Verbraucher*innen bereits versuchen, ihren Materialverbrauch zu senken. Auch die Verbreitung des Car-Sharing und die zunehmende Beliebtheit des Fahrrads zeigen, dass sich das Verbraucherverhalten zu ändern beginnt. Das Auto gilt heute insbesondere in der jüngeren Generation nicht mehr als Statussymbol. Letztlich bedarf es geeigneter politischer Rahmenbedingungen. Suffizienz wird sich nur durchsetzen, wenn Begünstigungen für die Verschwendung von Energie, Material und Arbeitskraft entfallen.

Ein häufig übersehener Aspekt beim Stoffstrommanagement ist die Umweltgerechtigkeit. Beispielsweise sind Arbeitsplätze in der Abfallentsorgung auch in Europa häufig schlecht bezahlt und gesundheitlich belastend. Die Gewinnung von Rohstoffen erfolgt häufig unter sehr schlechten Arbeits- und Umweltbedingungen. In den rohstoffliefernden Ländern entstehen Bergbauwüsten und Monokulturen (siehe [Abschnitt 4.1](#)) sowie negative gesundheitliche und ökologische Folgen wie Trinkwasserverschmut-

zung und erhöhte Krebsraten bei Menschen, die in der Nähe von petrochemischen Anlagen leben.

7.3 Notwendige Trendumkehr bei der Chemikalienproduktion

Seit 1950 ist die chemische Produktion weltweit um das 50fache gestiegen. Sie könnte sich – so einige Prognosen – bis 2050 noch einmal verdreifachen ([38], [178]). Produktionsmengen, Gebrauch, Umsätze und die Vielfalt der Chemikalien nehmen ständig zu, wobei weniger in Europa als in Schwellenländern eine Zunahme zu verzeichnen ist. Bereits heute benötigt die chemische Industrie weltweit ca. 10% des Energiebedarfs und ist der drittgrößte industrielle Sektor bezüglich der CO₂-Emissionen ([179], [180]). Der Mineralölbedarf steigt schneller als in anderen Industriesektoren. In Deutschland, wo ein Viertel der europäischen Chemieindustrie beheimatet ist, betrug 2019 der Primärenergieverbrauch für die Herstellung chemischer und pharmazeutischer Produkte 33,5% des Verbrauchs des verarbeitenden Gewerbes – mehr als alle anderen Branchen [181]. Die Zunahme der Produktion führt zwangsläufig zu einer zunehmenden weltweiten Belastung mit Chemikalien.

Die chemische Industrie nutzt fossile Rohstoffe nicht nur zur Deckung ihres Energiebedarfs, sondern auch als Grundstoffe für ihre Produktion. Derzeit dominieren Mineralöl und Gas mit rund 90% als stoffliche Basis für die Chemieproduktion. Zudem werden große Mengen an Wasser verbraucht. Im Sinne der Nachhaltigkeit und des Klimaschutzes kann dies nicht zukunftsfähig sein, da kohlenstoffhaltige Chemikalien aus Mineralöl letztlich zur Emission von Treibhausgasen beitragen, wenn sie bei der Entsorgung zu Kohlendioxid (CO₂) umgesetzt werden oder biologisch abgebaut werden [182]. Zwar unternimmt die chemische Industrie im eigenen Interesse beträchtliche Anstrengungen durch Kopplung der Produktion an ihren Standorten, um Energie effizient zu nutzen und wenige Abfälle zu erzeugen. Insbesondere bei Grundstoffen sind die Optimierungspotenziale jedoch gering.

Will man den Bedarf an fossilen Rohstoffen bei der Chemikalienproduktion drosseln und den Einsatz von immer vielfältigeren Stoffen stoppen und umkehren, gibt es drei Handlungsfelder:

- Eine nachhaltige Rohstoffgrundlage für die Chemikalienproduktion: Als Alternativen werden vor allem die Synthese chemischer Grundstoffe aus Kohlendioxid und (grünem) Wasserstoff, die Nutzung von Biomasse und auch das „chemische Recycling“ aus Kunststoffabfällen diskutiert ([183], [184]).

Die Synthese aus Kohlendioxid und Wasserstoff (PtX-Verfahren) könnte eine wichtige Rolle spielen, benötigt aber heute noch sehr viel (erneuerbare) Energie, um das reaktionsträge CO₂ in organische Chemikalien zu überführen. Der Energiebedarf lässt sich in Zukunft vielleicht durch neue Verfahren wie die nichtthermische Plasmakatalyse reduzieren [185]. Besonders aufwändig ist es, Kohlendioxid direkt aus der Luft zu filtern (Direct air capture), sobald dieses nicht mehr genügend aus Verbrennungs- und anderen technischen Prozessen anfällt. Nach einer Studie der chemischen Industrie stieg der Energiebedarf der chemischen Industrie um den Faktor 11, wollte man die fossilen Grundstoffe auf heutigem Niveau vollständig ersetzen [186].

Die Nutzung von Biomasse ist nur begrenzt ausbaubar. Die Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion und anderen landwirtschaftlichen Nutzungen sowie der notwendige Erhalt von Naturräumen machen rasch deutlich, dass biologische Materialien zwar viele neue interessante Synthesewege eröffnen, aber nicht die fossilen Grundstoffe für die chemische Industrie ersetzen können ([187] – [[190]).

Als dritte Option wird die Nutzung von Kunststoffabfällen durch „chemisches Recycling“ diskutiert. „Chemisches Recycling“ bzw. chemische Verwertung führt nur dann zu sinnvollen Ergebnissen, wenn durch Verfahren wie Pyrolyse oder Vergasung Produkte entstehen, die als Bausteine für die chemische Synthese geeignet sind und die Materialverluste und Energieverbräuche nicht zu groß sind.

Dies ist zurzeit noch zweifelhaft, da auch viele toxische Nebenprodukte entstehen können und eine Nutzung der Produkte zur Energiegewinnung keine Vorteile gegenüber der direkten Verbrennung aufweist. In der Regel ist das „chemische Recycling“ deutlich weniger umweltfreundlich als das werkstoffliche Recycling von Kunststoffabfällen. Auch das „chemische Recycling“ wird nur zu einem geringen Teil die fossile Grundlage der heutigen Chemieproduktion ersetzen können. Es verbraucht auch sehr viel Energie. Eine Studie des Öko-Instituts [191] geht davon aus, dass eine Pyrolyse etwa neunmal so viel Energie benötigt wie mechanisches Recycling. An einer Reduktion der Chemieproduktion führt deshalb kein Weg vorbei, will man die Nachhaltigkeitsziele erreichen. In ihren Szenarien geht die chemische Industrie aber aktuell noch davon aus, den Umfang ihrer Produktion mindestens zu halten [186].

- Die chemische Industrie muss sich von der derzeitigen linearen Produktion zu einer zirkulären Produktionsweise entwickeln [192]. Ein Ziel ist eine weitgehende Schließung der Kohlenstoffkreisläufe. Besondere Anstrengungen betreffen hier die mengenmäßig besonders hohe Plastikproduktion (siehe [Abschnitt 7.4.4](#)). Einige Berechnungen sagen vorher, dass der Anstieg der Mengen an Plastikabfällen in den kommenden 20 Jahren weitaus größer sein wird als die Erfolge bei der Erhöhung der Recyclingquote [193]. Nur ein Bündel aus politischen, ökonomischen und technischen Maßnahmen kann diesen Trend brechen [194].
- Aber nicht nur bei Kunststoffen, sondern auch bei diversen Prozesschemikalien, die an gewerbliche Kunden verkauft werden, muss die chemische Industrie Rücknahme- und Aufbereitungssysteme entwickeln. In einem Leitfaden der „Nachhaltigkeitsinitiative der deutschen Chemie“ werden praktische Tipps vor allem für mittelständische Unternehmen gegeben, wie sie Elemente der Kreislaufwirtschaft in ihren Unternehmen implementieren können [195].

- Die Produkte der chemischen Industrie müssen nachhaltiger werden. Dies betrifft eine Implementierung der Prinzipien der nachhaltigen Chemie, insbesondere auch eine Umstellung auf nachhaltige Chemikalien (siehe [Kapitel 8](#)). Außerdem sollen die Produkte der chemischen Industrie weniger komplex, haltbar und reparierbar sein sowie weniger gefährliche (Zusatz-)Stoffe enthalten (siehe [Abschnitte 7.4](#) und [Abschnitt 7.4.5](#)).

Eine Reduktion der Chemikalienproduktion auf ein für das Erdsystem erträgliches Maß bedarf auch politischer Vorgaben. Hierzu zählen globale Obergrenzen für die Chemikalien- und Plastikproduktion vergleichbar mit den Obergrenzen für die Emission von Klimagasen [50]. Insbesondere in der Gebrauchsphase von Chemikalien noch erhebliche ungenutzte Potenziale zur Erhöhung der Ressourceneffizienz. Auch die Suffizienz, also die Beschränkung des Konsums und der Ansprüche auf das Notwendige, muss ein zentraler Ansatzpunkt einer neuen Stoffpolitik sein. Die vielfältigen Wegwerfmaterialien und Artikel mit Einmalnutzung in der heutigen Wirtschaftsweise stellen keinen nachhaltigen Weg dar und müssen zukünftig vermieden werden. Chemikalien sollten nur da eingesetzt werden, wo durch sie ein langfristiger Nutzen erzielt werden kann, der die negativen Umweltauswirkungen deutlich überwiegt. Manchmal bieten auch klassische Werkstoffe wie Holz eine geeignete funktionelle und nachhaltige Lösung.

7.4 Zirkuläre Ökonomie

Das heutige Wirtschaften mit Materialien ist durch lineare Abläufe gekennzeichnet: Aus Rohstoffen werden Chemikalien und Produkte gefertigt, die nach ihrer Gebrauchsphase als Abfall entsorgt werden. Diese Form des Wirtschaftens führt zu einer Verschwendung von Ressourcen und ist nicht nachhaltig. Es bedarf vielmehr einer zirkulären Ökonomie entlang der gesamten Wertschöpfungsnetzwerke und unter Einbeziehung des vollständigen Produktlebenszyklus.

Eine zirkuläre Wirtschaftsweise verfolgt das Ziel, Stoffkreisläufe möglichst vollständig zu schließen, den Ressourcenverbrauch absolut zu reduzieren und insgesamt einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung und insbesondere für Klimaneutralität, den Schutz der Biodiversität und insgesamt den Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen zu leisten [196]. Zirkuläres Wirtschaften hilft zudem, die Abhängigkeit von importierten Rohstoffen zu vermindern und damit den Ressourcenverbrauch vom Wirtschaftswachstum zu entkoppeln und damit die stofflichen Produktionsgrundlagen in nachhaltiger Weise zu sichern. So ist der Ansatz des zirkulären Wirtschaftens deutlich umfassender als das Verständnis der „Kreislaufwirtschaft“, welches bisher primär auf das Recycling von „Abfällen“ fokussiert ist.

Auf globaler Ebene wird dies in der Resolution 11 der UNEA 5.2 (United Nations Environmental Assembly) im März 2022 bekräftigt, dass eine „Zirkuläre Ökonomie“ („Circular Economy“) wesentlich für nachhaltige Produktion und Konsum (SDG 12) ist [197]. Die EU-Kommission hat eine zirkuläre Ökonomie zu einem zentralen Element ihres „Green Deal“ erklärt [198]. In einer Mitteilung vom März 2022 kündigt die Kommission Maßnahmen an, kreislauffähige Produkte zur Norm zu machen, z. B. für Textilien und Bauprodukte [199]. Auch einige Mitgliedstaaten haben Strategien und Pläne zur Transformation in eine zirkuläre Wirtschaft vorgelegt, z. B. die Niederlande und Österreich (vgl. hierzu auch Empfehlungen des Umweltbundesamtes [171]). Dabei gilt es konkrete, ambitionierte Ziele zu nennen, wie z. B. eine Steigerung der Ressourcenproduktivität in Österreich um 50 % bis 2030 [200].

Stoffkreisläufe beginnen mit der Gewinnung und Aufbereitung von Rohstoffen und führen über die Produkt- und Abfallphase zum Wiederverwenden oder Recycling. Zu einem nachhaltigen, zirkulärem Stoffstrommanagement gehören daher auch Anforderungen an die Produktgestaltung (recyclingfähig,

gut trennbare Materialmischungen, zerlegbare Komponenten etc.). Auf diese Weise wird eine Wiederverwendung von Produkten und Produktkomponenten ermöglicht. Ist dies nicht möglich, sollen die in den Produkten enthaltenen Stoffe möglichst vollständig wiedergewonnen werden (werkstoffliches Recycling). Die bisherigen Fortschritte halten sich in engen Grenzen. Der weltweite Verbrauch primärer Ressourcen wächst schneller als die Gewinne durch Wiederverwendung und Recycling. So ist der Anteil des Recyclings von 2018 bis 2020 von 9,1 % auf 8,6 % eher gefallen [201]. Es ist allerdings eine Illusion, dass Stoffkreisläufe zu 100 % geschlossen werden können ([202], [203]). Folgende Hindernisse machen ein vollständiges Recycling zur Illusion:

- Während des Lebenszyklus eines Produkts gehen Energie und Material verloren. Die Entropie nimmt zu, insbesondere wenn verschiedene Komponenten gemischt werden. Eine Rückgewinnung ist dann nur mit hohem Energieaufwand und nicht vollständig möglich.
- Verbraucher*innen entledigen sich ihrer gebrauchten Produkte nicht vollständig, d. h. ein Anteil landet im Mischabfall.
- Produkte können gefährliche Stoffe als Komponenten enthalten, die sich nur mit großem Aufwand abtrennen lassen.
- Recyclingunternehmen verfügen oft nicht über eine vollständige Stoffinformation. Dies gilt insbesondere für Importprodukte.
- Stoffströme, die einer Wiederverwertung zugeführt werden, haben oft wechselnde Zusammensetzung, was die Prozessführung beim Recycling erschwert.
- Sekundäre Rohstoffe müssen am Markt mit primären Rohstoffen konkurrieren und von Kunden akzeptiert werden. Ohne staatliche Förderung gelingt dies oft nicht.

Oggleich ein zu 100 % geschlossener Stoffkreislauf nicht erreicht werden kann, sind die Potenziale einer zirkulären Ökonomie bei weitem nicht ausgeschöpft. Wang et al. schlagen vor, die Zirkularität der Chemi-

kalienverwendung mit dem „essential uses“-Konzept zu verbinden (siehe [Kapitel 5](#)) und konsequent stoffliche Verluste im Lebenszyklus zu minimieren [204]. Wichtig für eine zirkuläre Ökonomie ist u. a. die Prozessgestaltung (z. B. Verknüpfung von thermodynamisch hochwertigen Stoff- und Energieströmen mit geeigneten Folgeprozessen, geringe dissipative Verluste). Stoffströme sollten so lange wie möglich auf hohem Reinheitsniveau gehalten werden. Je mehr die Stoffströme miteinander vermischt werden, desto weniger Verwertungswege stehen offen.

7.4.1 Zielkonflikte

Häufig besteht bei Produktentwicklung, -herstellung und -nutzung ein Zielkonflikt zwischen Energie- und Ressourceneffizienz sowie optimaler Funktionalität, wobei der ganze Lebensweg von der Rohstoffgewinnung über die Produktherstellung bis zu Wiederverwendung / Recycling und zur endgültigen Entsorgung zu betrachten ist, um ein optimales Maß zu finden. So kann ein energie- und ressourceneffizient hergestelltes Produkt nicht nachhaltig sein, wenn der Zusatz von Additiven dazu führt, dass eine stoffliche Verwertung der Materialien nach dem Gebrauch nicht möglich ist. Generell zeigen solche Schwierigkeiten des stofflichen Recyclings, dass Abfallvermeidung im Sinne längerfristiger Nutzung Vorrang haben muss und die ökologisch beste Form des Stoffstrommanagements ist.

Auch können die Ziele der Kreislaufwirtschaft (möglichst lange Nutzung durch Reparatur und Wiederverwendung und möglichst viel stoffliches Recycling) und der Chemikaliensicherheit (möglichst geringe Kontamination von Sekundärrohstoffen mit gefährlichen Chemikalien) im Widerspruch zueinander stehen. Stoffe verlieren ihr Gefährdungspotenzial nicht, wenn sie zu Abfall werden; sie unterliegen dann aber nicht mehr den Anforderungen der EU-Chemikalienverordnung REACH. Die Schnittstellen zwischen den Regimen des Stoff-, Produkt- und

Abfallrechts sind deshalb so zu gestalten, dass

- (i) die Anforderungen möglichst gleich,
- (ii) Sekundärstoffe sicher für Mensch und Umwelt sind und
- (iii) eine stoffliche Wiederverwertung nicht unangemessen erschwert wird [205].

In Bezug auf die erstrebenswerte Dauerhaftigkeit (Langlebigkeit) eines Produkts ist zu beachten, dass die darin enthaltenen Chemikalien hinreichend stabil sein müssen. Sonst entsteht ein Zielkonflikt zwischen Kurzlebigkeit der Chemikalie und Langlebigkeit des Produkts und die Ressourceneffizienz wird beeinträchtigt. Es ist abzuwägen, ob z. B. die Langlebigkeit des Produkts durch Zusatz eines Oxidationsinhibitors Vorteile bietet, auch wenn dadurch die stoffliche Verwertung des Produkts beeinträchtigt wird.

Das Ziel eines kreislauforientierten Stoffstrommanagements wird auch dann verfehlt, wenn in den ursprünglichen Produkten enthaltene gefährliche Inhaltsstoffe über Recyclingprozesse in Sekundärrohstoffe und neue Produkte verschleppt werden. Das können Schwermetallstabilisatoren in PVC oder flammhemmende halogenierte Zusatzstoffe in anderen Kunststoffen sein. Lassen sich solche „Störstoffe“ nicht abtrennen, sollten derartig kontaminierte Produkte sinnvollerweise ausgeschleust und umweltverträglich als Abfall entsorgt werden, statt sie zu Sekundärrohstoffen zu verwerten. Beispielsweise führt das Recycling von PFAS beschichtetem Papier zu einer Verschleppung und Ausbreitung dieser Problemstoffe [81]. Unter kontrollierten Bedingungen kann im Einzelfall eine weniger anspruchsvolle Anwendung für den aus den kontaminierten Abfällen erzeugten Sekundärrohstoff (beispielsweise Zaunpfosten statt Kinderspielzeug) in Betracht kommen („Downcycling“).

Diese Probleme lassen sich nur lösen, wenn die Anforderungen an Transparenz in der Produktkette in der EU-Chemikalienverordnung REACH, in der Produkt-

gesetzgebung und im Abfallrecht deutlich erweitert werden (siehe [Kapitel 5](#)).

7.4.2 Rohstoffgewinnung und -aufbereitung

Die Nutzung von Rohstoffen hat im vergangenen Jahrhundert dramatisch zugenommen und wird – mehreren Prognosen zufolge – sich in den kommenden Jahrzehnten weiter steigern ([206], [207]) (siehe Abb. 4 auf der nächsten Seite). Der Gesamtverbrauch hat inzwischen 100 Gt pro Jahr überschritten [201]. Das Erreichen oder Überschreiten globaler Belastungsgrenzen (siehe [Abschnitt 4.2](#)) ist absehbar. Um diese einzuhalten, muss aus Sicht des BUND der Ressourcenverbrauch etwa um den Faktor 10 reduziert werden. Eine internationale Vereinbarung zur Deckung der Rohstoffnutzung sowie ein europäisches und ein nationales Ressourcenschutzgesetz sind daher anzustreben.

Das Gewinnen und Aufbereiten von Rohstoffen verursacht Nebeneffekte. So setzt der Abbau von Rohstoffen, insbesondere von Metallen, häufig toxische Stoffe frei. Die jeweiligen Stoffströme können um ein Vielfaches gegenüber den natürlichen Kreisläufen anschwellen. Bei der Gewinnung von Phosphat werden zum Teil Uran und Cadmium mobilisiert, beim Abbau des Neodyms, das unter anderem für Magnete, in CD-Playern und in Smartphones eingesetzt wird, werden die radioaktiven Metalle Thorium und Actinium frei. Das Gewinnen hochreiner Metalle ist zudem häufig mit großem Energieaufwand und gewaltiger Zunahme von Entropie verbunden.

Seltene Erden sowie Kobalt, Tantal, Gallium, Antimon und Lithium sind Beispiele für „kritische“ Metalle. Sie sind ökonomisch für Europa bedeutend, aber es bestehen erhebliche Versorgungsrisiken [208]. Solche Rohstoffe kommen oft nur in niedriger Konzentration in wenigen Weltregionen vor. Ihre Gewinnung und Verhüttung sind meist mit Menschenrechtsverletzungen und starken ökologischen Schäden verbunden. Ein Recycling ist zurzeit meist zu teuer, wäre aber

dringend erforderlich für einen verantwortungsvollen Umgang mit diesen Stoffen [209]. Die Gewinnung dieser kritischen Metalle hat auch soziale und politische Komponenten. Beispielsweise nutzt die Volksrepublik China ihre dominierende Stellung, andere Staaten abhängig zu machen. In vielen Ländern sind die Arbeitsbedingungen dramatisch schlecht. In einigen afrikanischen Ländern werden die Erträge aus der Rohstoffgewinnung sogar zur Finanzierung von Kriegen oder kriminellen Banden genutzt.

Einige dieser Auswirkungen kann eine effektive Kreislaufwirtschaft verringern. So lassen sich viele Metalle ohne gravierende Qualitätsverluste wiederverwerten. Dabei ist die Entropieproduktion umso geringer, je höher der Metallgehalt im wieder verwerteten Schrott und je geringer die Komplexität der jeweiligen Legierung ist.

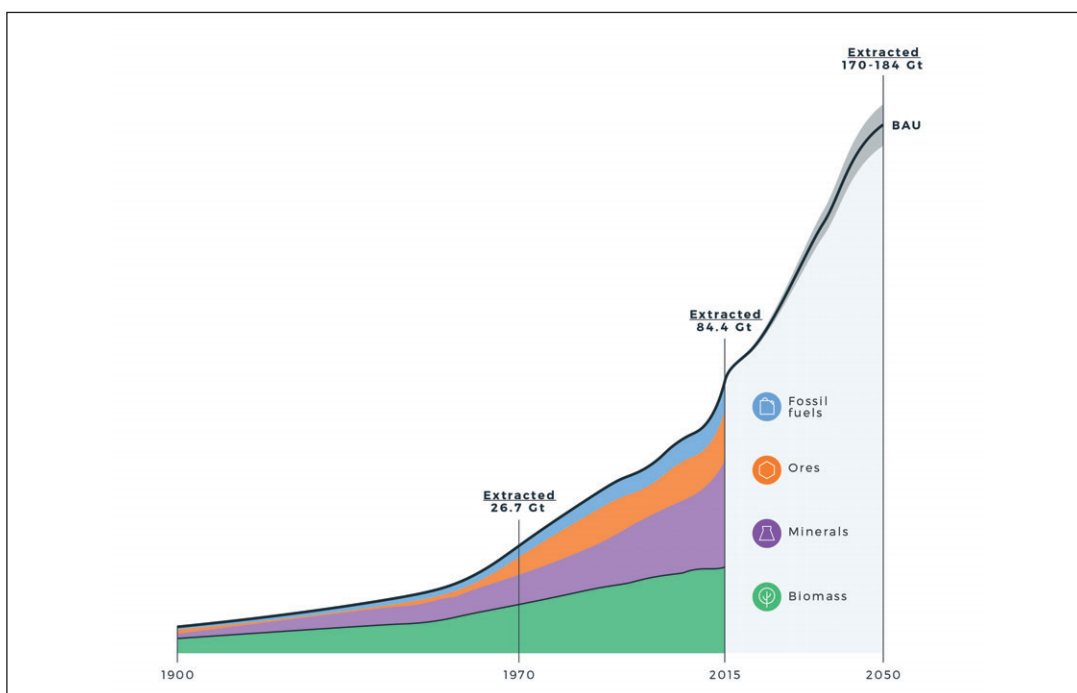
In seinem Hintergrundpapier „Ressourcenschutz ist mehr als Rohstoffeffizienz“ hat der BUND eine Ana-

lyse der gegenwärtigen Rohstoffnutzung und eine Strategie für effektiveren Ressourcenschutz vorgelegt [210]. Mit dem Netzwerk Ressourcenwende haben der BUND, der DNR und das IÖW einen Zusammenschluss von Akteur*innen aus Zivilgesellschaft und Wissenschaft im deutschsprachigen Raum aufgebaut, welcher sich für eine global und generationsübergreifend gerechte Ressourcennutzung im Rahmen der ökologischen Belastungsgrenzen einsetzt [211]. Das Netzwerk orientiert sich am Prinzip der Suffizienz. Das bedeutet es sucht nach Wegen, die oftmals verschwenderische Ressourcennutzung des globalen Nordens auf ein sozial-ökologisch verträgliches Maß zu reduzieren.

7.4.3 Vielfalt der Inhaltsstoffe und der Produkte

Moderne Produkte sind meist vielfältig und komplex. Hochleistungskunststoffe, die etwa im Automobilbau zur Gewichtsreduktion eingesetzt werden, enthalten eine Vielfalt von Additiven und bestehen oft aus mehreren Polymeren. Selbst vermeintlich einfache Folien

Abbildung 4:
Weltweite Zunahme der
Rohstoffextraktion [206]
Erläuterungen:
Biomass – Biomasse, Mine-
rals – Mineralien, Ores –
Erze, Fossil fuels – fossile
Brennstoffe



für Lebensmittelverpackungen sind teilweise komplexe Mehrschichtkunststoffe mit Zusatzstoffen, die sich nicht mehr abtrennen lassen. Soweit keine Kennzeichnungspflicht besteht, bleibt die stoffliche Zusammensetzung den Konsument*innen, gewerblichen Nutzern und Recyclern unbekannt. Die Vielfalt der Chemikalien in Produkten wird zunehmend zum Problem, das der Umsetzung einer zirkulären Ökonomie entgegensteht. Kümmerer et al. plädieren deshalb für Maßnahmen insbesondere bei Verbraucher*innenprodukten die stoffliche Vielfalt zu beschränken [212].

Ein stoffliches Recycling ist insbesondere im „Post-Consumer“-Bereich sehr schwierig. Komplex zusammengesetzte Produkte entziehen sich meist der angestrebten Wiederverwertung. Ursprünglich mit viel Aufwand in hoher Reinheit hergestellte Stoffe, Materialien und Produkte werden zunehmend durchmischt und über globale Märkte weltweit verteilt, so dass beim Recycling enorme Anstrengungen unternommen werden müssen, um Verluste an den unterschiedlichsten Stellen des vermeintlichen Kreislaufs zu vermeiden. Von wenigen Ausnahmen abgesehen (wie metallische Schrotte und Glas, mit Einschränkungen auch Papier und Pappe) beschränkt sich deshalb die stoffliche Wiederverwertung derzeit überwiegend noch auf Produktionsabfälle ([53], [65]). Für Schrotte und Glas hat die EU-Kommission Kriterien festgelegt, welche Anforderungen ein Abfall erfüllen muss, um stofflich verwertet zu werden [213]. Ein zusätzliches Problem stellen Materialien dar, die – teilweise inzwischen verbotene – Schadstoffe enthalten (Beispiel: Cadmium-haltige Stabilisatoren in PVC). Beim Recycling werden solche Schadstoffe ungewollt in Sekundärrohstoffe verschleppt.

Zunehmend problematisch ist die Vielfalt der Bauprodukte. Der Materialstrom der Bauprodukte ist der bei weitem größte überhaupt: 4,7 Milliarden Tonnen mineralische Rohstoffe werden in der EU pro Jahr „verbraucht“ [214]. Selbst bei Sand als Rohstoff treten bereits Verknappungen ein. Bauprodukte sind jedoch

nicht nur ein quantitatives Problem. Sie enthalten zum Teil gefährliche Chemikalien wie das Flammenschutzmittel Hexabromcyclododecan (HBCD¹⁹) oder Weichmacher. Dies kann zu deutlichen gesundheitsgefährdenden Belastungen der Innenraumluft führen. Fassadenfarben enthalten oft Biozide, die den Algenbewuchs hemmen, aber bei Regen ausgewaschen werden und ins Grundwasser versickern. Es ist besonders misslich, dass ausgerechnet das EU-Recht [215] die Transparenz über Inhaltsstoffe beschränkt: Neben dem CE-Kennzeichen dürfen keine weiteren – und für Verbraucher*innen hilfreiche Umweltzeichen wie der „Blaue Engel“ – auf dem Produkt aufgebracht sein.

Die fehlende Transparenz zu Inhaltsstoffen in Produkten führt dazu, dass auch Handelsmarken es schwer haben, Schadstoffe zu vermeiden [216]. Verbraucher*innen können sich nicht bewusst vor Schadstoffen schützen [217] und Schadstoffe verbleiben im Produktkreislauf. Weitestgehende Transparenz von Inhaltsstoffen in Produkten ist ein zentrales Element für eine funktionierende, schadstofffreie zirkuläre Ökonomie [204]. Heute muss bereits in der Lieferkette kommuniziert werden, wenn in Produkten mehr als 0,1 Massen% besonders besorgniserregende Chemikalien (SVHC) gemäß EU-REACH-Verordnung enthalten sind. Diese Informationen ermöglichen es Firmen und Verbraucher*innen jedoch nicht, vorausschauend auch andere bekannte Schadstoffe, die z. B. in der SIN-Liste (SIN: Substitute It Now) [218] gelistet sind, zu vermeiden. Es werden unterschiedliche Methoden diskutiert, wie die Inhaltsstofftransparenz verbessert werden kann. Dazu gehören chemische und digitale Tracer, elektronische Kennzeichnung, (digitale) Produktpässe, aber auch standardisierte Materialien mit vorgegebenen Inhaltsstoffen. Gemäß der EU-Abfall-Rahmenrichtlinie hat die ECHA die SCIP-Datenbank (Substances of Concern In articles as such or in complex objects (Products)) entwickelt [88], welche besonders besorgniserregende Schadstoffe in Produkten sichtbar machen soll (siehe [Kapitel 5](#)). Außerdem hat im März 2022 die EU-Kommission einen Ent-

¹⁹ Seit 2017 enthalten neue Polystyrol-Dämmplatten kein HBCD mehr.

wurf der Verordnung Ökodesign für nachhaltige Produkte veröffentlicht [220], welcher die Einführung digitaler Produktpässe vorsieht (siehe [Abschnitt 7.4.5](#)). Auch seitens der Industrie gibt es Initiativen, die jedoch nur unvollständige Inhaltsstoffangaben für Verbraucher*innen zugänglich machen. Dazu gehört im Verpackungsbereich das HolyGrail-Projekt [221] und in der Automobilindustrie die Projekte Catena-X [222] und das International Material Data System. Die Weitergabe von Inhaltsstoffangaben braucht eine eindeutige Identifikation von Chemikalien, für die es internationaler Regeln zur einheitlichen harmonisierten Benennung bedarf [223].

7.4.4 Kunststoffe

Kunststoffe zählen zu den großen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Im Global Plastics Outlook [224] legt die OECD Zahlen zu Herstellung, Gebrauch, Abfällen und Umweltwirkungen von Kunststoffen vor. Der Bericht stellt fest, dass „Business as usual“ nicht nachhaltig ist und entwickelt Szenarien zum Umgang mit Plastik in Art, Umfang und Menge. Kunststoffe sind extrem persistent (siehe auch [Abschnitt 6.1](#)) und sind ein Prüfstein für eine funktionierende zirkuläre Wirtschaft. Die Produktion weltweit verdoppelte sich alle 20 Jahre und betrug mehr als 400 Mt im Jahr 2015 [225]. In der EU werden jährlich mehr als 25 Millionen Tonnen als Plastikabfall gesammelt, wovon in Deutschland nur ca. 30% stofflich recycelt werden. Circa 7% des gesammelten Plastiks werden ausgeführt [226], wobei China seit Anfang 2018 durch schlagartige Erhöhung der Qualitätsanforderungen einen faktischen Importstopp schuf. Seitdem gelangen große Abfallströme von Kunststoffmüll in andere Länder des Ostens und Südens zur „Wiederverwertung“. Der Beschluss der Vertragsstaaten des Basler Übereinkommens vom 10. Mai 2019 soll diese Praxis in Zukunft verhindern. Nur noch sortenreine, unverschmutzte Kunststoffabfälle dürfen künftig ohne Genehmigung der betroffenen Staaten zur Wiederverwertung exportiert werden [227]. Dies bedeutet, dass auch die EU die Verwertung

und Beseitigung von Plastikabfällen in Europa sicherstellen muss. Der Export von Kunststoffabfällen aus Europa in die Länder des Südens und Ostens ist durch konsequente Kontrollen und das Verfolgen von Verstößen gegen das Basler Übereinkommen zu unterbinden. Ein Großteil der Kunststoffabfälle sind verschiedene Verpackungen aus unterschiedlichen Polymeren. Aus diesen können – wenn überhaupt – nur mit sehr hohem Aufwand sortenreine Kunststoffgranulate gewonnen werden.

Die EU-Kommission legte 2018 eine Plastikstrategie vor [198]. Diese enthält Vorschläge, wie die Recyclingquote erhöht und die Kontamination der Umwelt vermindert werden kann. Viele Vorschläge sind jedoch wenig konkret. Die Kommission setzt dabei mehr auf Freiwilligkeit als auf regulatorische Anforderungen. Insbesondere fehlen wirksame Maßnahmen, um den Verbrauch von Kunststoffen zu senken.

Als erste Umsetzung der Plastikstrategie erließ die EU 2019 eine Richtlinie zu bestimmten Kunststoffprodukten. Diese hat zum Ziel, den Eintrag von Kunststoffprodukten zum einmaligen Gebrauch sowie von Fischernetzen zu reduzieren [228]. Das Maßnahmenpaket umfasst neben Kennzeichnungs- und Rücknahmeverpflichtungen und einer erweiterten Herstellerverantwortung auch Verbote für acht Produktgruppen wie Trinkhalme, Wattestäbchen und Einwegteller aus Kunststoff und ist inzwischen in den Mitgliedstaaten umgesetzt. Über die Wirksamkeit der Maßnahmen soll erst nach sechs Jahren Bilanz gezogen werden. Für Mikroplastik (Partikelgröße kleiner als 5 Millimeter) hat die Europäische Chemikalienagentur ECHA 2019 einen Vorschlag für eine Beschränkungsrichtlinie gemäß REACH vorgelegt [110], der 2022 zu einem Richtlinien-Entwurf der EU-Kommission geführt hat [111]. Sie soll zu einem weitgehenden Vermarktungsverbot gezielt hergestellter primärer Kunststoffpartikel führen. Mikroplastik wird nicht nur im kosmetischen Bereich eingesetzt, sondern in größerem Umfang in Düngemitteln und Pes-

tiziden sowie in Wasch- und Reinigungsmitteln zur Einschließung und kontrollierten Abgabe von Nähr-, Wirk- und Duftstoffen.

Die bisherigen Pläne der EU gehen zwar in die richtige Richtung, werden aber nicht ausreichen. In einer Studie wird geschätzt, dass eine Reduktion der Kunststoffeinträge in die Umwelt um den Faktor 27 erforderlich ist, um weitere Schäden in der Umwelt abzuwenden [229]. Um dies zu erreichen, ist ein Bündel an regulatorischen, ökonomischen und freiwilligen Maßnahmen zu entwickeln und einzuführen. Besonders ist durch Verbote, Mehrweg, Pfand- und Abgaberegulungen der Gebrauch von Einwegplastikverpackungen deutlich zurückzudrängen. Pro Person werden in Deutschland aktuell ca. 40 Kilogramm Plastikverpackung produziert die dann als Abfall entsorgt werden müssen. Das werkstoffliche Recycling ist auszubauen, was verbesserte effektive Sammel- und Sortiersysteme erfordert und – wo möglich – einen Verzicht auf Verbundkunststoffe. Da es häufig auch ökologisch keinen Sinn macht, gemischte Plastikabfälle zu reinigen, zu sortieren und zu pelletieren und einige Kunststoffarten (z. B. Reifen, Harze) sich nicht werkstofflich verwerten lassen, ist das sog. „chemische Recycling“ als Alternative zunehmend in der Diskussion [219]. Hierunter versteht man Verfahren wie die Depolymerisation, die Pyrolyse oder die Vergasung [230]. Lassen sich dadurch Produkte gewinnen, die sich als Ausgangsprodukte für chemische Synthesen verwenden lassen, könnte dies eine Option sein (siehe [Abschnitt 7.3](#)) [184]. Eine Nutzung der Produkte als Treibstoffe macht allerdings wenig Sinn – eine direkte Verbrennung ist hier vorteilhafter. Außerdem ist zu bedenken, dass z. B. bei der Pyrolyse toxische Nebenprodukte und relevante Materialverluste entstehen. Es muss noch geprüft werden, ob diese Verfahren ökologisch und ökonomisch sinnvoll sind. In jedem Fall benötigen sie deutlich mehr Energie als werkstoffliches Recycling (eine Studie des Öko-Instituts [231] geht von einem neunfach höheren Energiebedarf aus) und stellen deshalb keine Alternative dar, wenn dieses zu guten Ergebnissen führt. Angesichts

der Vielfalt der Kunststoffarten und der verschiedensten Zusatzstoffe sollte auch erwogen werden, diese Vielfalt regulativ zu beschränken, um werkstoffliches Recycling zu ermöglichen.

„Bio“-Plastik ist sicherlich auch keine Lösung bei der Vermeidung von Einwegplastik. Es ist nur bei erhöhten Temperaturen langsam kompostierbar. Darüber hinaus bestehen keine geeigneten Recyclingsysteme für diese Polymere ([232], [233]) Aus Sicht des BUND bietet bioabbaubares Plastik keinen Vorteil bei der Entsorgung. Für die Erzeugung biobasierter Plastics werden pflanzlicher Rohstoffe und somit Böden, Dünger und Pestizide benötigt. Es besteht einerseits die Gefahr der Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion und andererseits der Umwandlung von extensiv in intensiv genutzte Flächen.

Das Plastikproblem ist allerdings kein reines Abfallproblem. Notwendig ist vielmehr, Herstellung und Verbrauch deutlich zu senken. Falls sich die Pläne der herstellenden Industrie verwirklichen, die weltweite Produktion in den kommenden zehn Jahren um 40% zu steigern, werden trotz verbesserten Recyclings Kunststoffe eines der größten Umweltprobleme bleiben [225]. Wiederum zeigt sich, dass technische Innovation und Effizienzsteigerung zur Lösung nicht ausreichen. Eine Umsteuerung beim Konsum ist notwendig (Stichwort Suffizienz). Plastik ist ein weltweites Problem. Die UN-Umweltversammlung UNEA 5.2 hat im Februar 2022 die Vereinbarung einer rechtlich verbindlichen internationalen Plastikkonvention beschlossen, die bis 2024 verhandelt werden und einen Stopp der Plastikverschmutzung bis 2040 bewirken soll [64].

7.4.5 Produktdesign

Bei Autos, Elektrogeräten wie Computern und anderen komplexen Produkten sind Bauteile oft miteinander verklebt und können nicht ausgetauscht werden. Nur wenige Produkte zeichnen sich durch eine modulare Bauweise aus und sind auf Langlebigkeit

konstruiert. Häufig werden Produkte so konstruiert, dass sie zwar preisgünstig sind, aber bald durch ein Nachfolgeprodukt ersetzt werden müssen (geplante Obsoleszenz) [234]. Neuerwerb ist oft kostengünstiger als Reparatur. Das Umweltbundesamt hat Empfehlungen vorgelegt, wie sich die Lebensdauer von Haushaltsgeräten verlängern und der Ressourcenverbrauch reduzieren lässt [235].

Immer schnellere Produktzyklen z. B. bei Handys, Textilien oder Möbeln erschweren die Kreislaufführung. Das Elektrogesetz (ElektroG) [236] nennt zwar in § 4 „Produktkonzeption“ einige Kriterien, die eine Wiederverwendung von Bauteilen erleichtern sollen; allerdings sind diese Bestimmungen kaum verpflichtend. Die angestrebte Sammelquote von 65 % seit 2019 ist 2020 mit 44,1 % deutlich verfehlt worden. Hiervon wurden dann 75–85 % verwertet, was den Vorgaben entspricht [237].

Die EU-Ökodesign-Richtlinie [238] gibt für energieverbrauchende Produkte maximale Energieverbrauchswerte vor. Hierbei wird die Herstellungs- und Gebrauchsphase einbezogen. Zwar soll auch der Ressourcenbedarf vermindert werden, doch die Anforderungen hierzu gehen über eine Dokumentationspflicht noch nicht hinaus. In mehreren Durchführungsverordnungen, beispielsweise für Geschirrspüler und Kühlgeräte, die 2019 verkündet wurden, hat die EU-Kommission nun konkrete Anforderungen an die Reparierbarkeit und Recycelbarkeit gestellt [239]. Die Ökodesign-Richtlinie wird künftig von der Verordnung für Ökodesign für Nachhaltige Produkte abgelöst, für welche der Gesetzesvorschlag im März 2022 vorgelegt wurde [220]. Mit dieser Verordnung sollen künftig nahezu alle Produktgruppen in der EU erfasst werden, z. B. auch Standards für Möbel und Textilien. Neben Energieeffizienz sind Vorschriften zu Reparierbarkeit, Haltbarkeit, Chemikalien, welche die Kreislaufführung stören, Anteil an recyceltem Material sowie zum CO₂ und Umwelt Fußabdruck vorgesehen. Zudem setzt die Verordnung den Grund-

stein für einen digitalen Produktpass [240]. Bis die Standards Produktgruppe für Produktgruppe festgelegt sind, wird jedoch noch viel Zeit vergehen. Eine ressourcenschonende und kreislaforientierte Produktpolitik muss konsequent eingeführt werden. Es ist daher von der EU-Kommission und der Bundesregierung zu fordern, die neue Ökodesign-Verordnung zügig in Kraft zu setzen und auch Produktgruppen übergreifende Standards zu formulieren. Hierzu zählt das Recht auf Reparatur: Neu produzierte Produkte sollen verpflichtend reparierbar, Ersatzteile über die gesamte Lebensdauer hinaus verfügbar und Reparaturen steuerlich günstiger als Neuanschaffungen sein [210]. Ein ressourcen- und umweltschonendes Produktdesign bedeutet auch, dass bei einer Entsorgung die einzelnen Module stofflich einfach und ohne Schadstoffe zusammengesetzt sind und sich deshalb einem werkstofflichen Recycling zuführen lassen.

An dem Anstieg der Stoffströme ist auch der zunehmende Internethandel beteiligt. Die COVID19-Pandemie führte zu einer erheblichen Zunahme des Versandhandels. Abgesehen davon, dass Versandwaren meist aufwändig verpackt sind, ist die Zahl der Rücksendungen (Retouren) hoch: Jedes sechste Paket wird von Kund*innen zurückgeschickt. Es liegen keine gesicherten Zahlen vor, in welchem Umfang diese Retouren weiterverkauft, an gemeinnützige Organisationen verschenkt oder als Abfall entsorgt werden. Die Universität Bamberg untersuchte den Umfang der Entsorgung/Verschrottung und stellte fest, dass für die Händler die Vernichtung der Retouren oft die günstigste Möglichkeit darstellt [241]. Auch das ZDF-Magazin „frontal 21“ dokumentierte einen bedenklich großen Umfang der Vernichtung gebrauchsfähiger Ware [242]. Die Bundesregierung reagierte darauf und nahm in § 23 Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrwG) [243] die Bestimmung auf, dass bei Rücknahme die Gebrauchstauglichkeit eines Produkts erhalten bleiben muss. Gleichwohl verstößt den Recherchen von Greenpeace zufolge die Fa. Amazon

offensichtlich weiterhin gegen diese Bestimmung und macht zurückgegebene Ware untauglich [244].

Diese Entwicklung unterstreicht, dass neben technischen Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz und der Kreislaufführung die Suffizienz ein entscheidender Ansatz ist, Stoffströme zu reduzieren und im Sinne einer zirkulären Ökonomie umweltverträglich zu gestalten.

7.5 Dienstleistungsmodelle

Einen Weg, Stoff- und Materialströme zu verringern, bieten Geschäftsmodelle wie das Chemikalienleasing („Chemical Leasing“). Klassisch haben Hersteller von Stoffen das Interesse, ihren Kunden ihr Produkt in großer Menge oder Stückzahl zu verkaufen. Damit schwillt ein Stoffstrom mehr als notwendig an. Bietet ein Lieferant jedoch neben dem Stoff auch eine Dienstleistung wie gereinigte Werkstücke, geschmierte Anlagen oder Hygiene an, liegt es auch in seinem Interesse, möglichst wenig Material zu verbrauchen. Es entsteht auf diese Weise eine Win-win-Situation, die mit wirtschaftlichen Vorteilen für Beide verbunden ist. Das Interesse am „Chemical Leasing“ steigt dank der Förderung insbesondere durch die UN-Organisation für industrielle Entwicklung (UNIDO) ([245], [246]) und das österreichische Umweltministerium [247] stetig an.

Allerdings existieren Hemmnisse, die eine allgemeine Verbreitung behindern: Manche Industriepartner fürchten Knowhow-Verluste oder eine zu starke Abhängigkeit von einem Lieferanten. In einigen Fällen sind Haftungsfragen nicht geklärt. Es ist dringlich, Lösungsansätze zu entwickeln, um diese Hemmnisse zu überwinden. Um einen Missbrauch dieses Geschäftsmodells zu vermeiden, haben Moser et al. fünf Nachhaltigkeitskriterien für das Chemikalienleasing erarbeitet, die durch messbare Indikatoren hinterlegt sind [248]:

- Reduktion nachteiliger Wirkungen,
- verbesserte Handhabung und Lagerung,

- keine Substitution durch Stoffe mit höherem Risiko,
- ökonomische und soziale Vorteile,
- Monitoring der Verbesserungen.

Einer Verbreitung derartiger Geschäftsmodelle könnte auch förderlich sein, wenn sie im Rahmen des EU-Sevilla-Prozesses als „beste verfügbare Techniken“ (BVT) in die sog. BVT-Merkblätter („Best available techniques reference documents“ – BREFs, vgl. [Fußnote 16](#)) aufgenommen würden.

Neue Geschäftsmodelle sind auch notwendig, um Abfälle zu vermeiden, Produkte wieder zu verwenden oder hochwertig zu recyceln. Derzeit ist es für viele Gewerbetreibende immer noch einfacher und billiger, Abfälle zu „entsorgen“, weshalb eine zirkuläre Ökonomie noch ein fernes Ziel ist [44]. Ohne eine zirkuläre Ökonomie ist eine nachhaltige Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft aber nicht möglich.

Die aus dem Kapitel 7 abgeleiteten Forderungen des BUND zum Stoffstrommanagement sind in [Abschnitt 9.4](#) zusammengestellt.

8. Nachhaltige Chemie

Wie kann die Chemie zur Nachhaltigkeit beitragen? Einerseits stellt die Chemie viele Instrumente zur Verfügung, die helfen, die Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDGs) der Vereinten Nationen zu erreichen. Wir brauchen Chemikalien für die Erzeugung und Speicherung erneuerbarer Energien, sauberes Wasser, Hygiene und Gesundheit, Wärmedämmung, Mobilität oder Korrosionsschutz. Eine „chemiefreie Welt“ ist nicht vorstellbar und wäre auch nicht wünschenswert. Andererseits können Chemikalien eine Gefahr für Mensch und Umwelt darstellen und die Erreichung der SDGs gefährden ([249], [250]).

Nachhaltige Chemie hat vor allem das Ziel, irreversible Schäden für die menschliche Gesundheit und die Umwelt zu vermeiden. Dies kann erreicht werden durch

- chemische Produkte, die keine Gefahr für Mensch und Umwelt darstellen,
- chemische Produktion in einer Weise, die Mensch und Umwelt nicht gefährdet und Energie und Ressourcen schont,
- ein Stoffstrommanagement, das ökologischen Kriterien genügt und die planetaren Grenzen beachtet (siehe [Kapitel 7](#)),
- eine signifikante Reduktion der eingesetzten Ressourcen- und Stoffstrommengen durch eine Orientierung an Suffizienz und konsequente Kreislauf-führung und Abfallvermeidung.

Viele Inhaltsstoffe von Produkten gelangen in ihrer Gebrauchsphase bestimmungsgemäß in die Umwelt (wie Pestizide, Waschmittel) oder werden ungewollt freigesetzt (etwa durch Ausgasung, Auslaugung oder Abrieb). Sie finden sich deshalb in Gewässern, Böden oder (Innenraum-)Luft wieder. „End of pipe“-Systeme wie die Abwasserreinigung sind hilfreich und notwendig, stoßen aber an ihre Grenzen. Bereits an der Quelle sind Maßnahmen zur Verhinderung von gesundheits- und Umweltbelastungen erforderlich. Chemikalien brauchen deshalb ein ökologisches Moleküldesign; sie sollen „benign by design“ sein, d. h. keine unerwünsch-

ten Wirkungen haben und in der Umwelt eine geringe Stabilität haben, bevor sie in harmlose Substanzen zerfallen ([251], [252]). Sie sollen zeitlich und räumlich eine geringe Reichweite haben, was ihre Persistenz und ihre Mobilität in den Vordergrund rückt [253]. Einige gefährliche Eigenschaften sind untrennbar mit der Funktion verknüpft (z. B. Brennbarkeit). Gefährliche Eigenschaften ohne Bezug zur Funktion sind aber so weit möglich zu vermeiden. Viele derzeit registrierte Chemikalien lassen sich nur bei Einhaltung aufwändiger Sicherheitsmaßnahmen sicher handhaben – eine Voraussetzung, die in Klein- und Mittelbetrieben und außerhalb der Industrieländer oft nicht gegeben ist. In ihrer Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit ruft die EU-Kommission deshalb das Ziel aus, dass Chemikalien sicher und nachhaltig (safe and sustainable) sein sollen [70]. Das Joint Research Center der EU entwickelte in einem technischen Bericht Kriterien und Indikatoren für diese Chemikalienkategorie [254]. Ein wesentlicher Schritt wäre es, im Rahmen von REACH gefährliche Stoffe nur für unverzichtbare Anwendungen (essential uses) zu registrieren, und diese an strenge Auflagen zu knüpfen [83]. Über die stofflichen Eigenschaften hinaus sind Energie- und Ressourcenaufwand bei der Rohstoffgewinnung und der Herstellung wichtige Kriterien zur Beurteilung der Nachhaltigkeit einer Chemikalie. Weiterhin sind Notwendigkeit und Umfang des Einsatzes einer Chemikalie wichtige Beurteilungskriterien. Das Umweltbundesamt hat eine Entscheidungshilfe in Form eines „Leitfadens für nachhaltige Chemikalien“ [255]. Eine nachhaltige chemische Produktion bedeutet u. a. eine hohe Energie- und Ressourceneffizienz, eine Abwasser- und Abluftreinigung nach dem Stand der Technik sowie inhärent sichere Produktionsprozesse [256]. Dies erfordert innovative Änderungen, z. B. die Nutzung (bio-)katalytischer Prozesse, Synthesen bei niedrigen Temperaturen und Drucken, ein hohes Maß an Anlagensicherheit, den Einsatz von Mikroreaktoren sowie nicht zuletzt eine Änderung der Rohstoffbasis hin zu erneuerbaren Ausgangsmaterialien (siehe [Abschnitt 7.3](#)).

Produkte der chemischen und verwandter Industrien werden verwendet, weil sie einen bestimmten Zweck erfüllen oder eine bestimmte Funktion bieten. Diese Funktion muss immer der Ausgangspunkt für Nachhaltigkeitsbetrachtungen sein [257]. Die erste Frage lautet: Ist dieser Zweck oder diese Funktion notwendig und wenn ja, wie lässt sich diese am besten erreichen? Die Berücksichtigung nicht-chemischer Alternativen und alternativer Geschäftsmodelle, wie Dienstleistungen oder Leasing von Chemikalien, ist dabei wichtig. Die Geschäftsmodelle dürfen sich nicht ausschließlich auf wirtschaftliche Ziele zu konzentrieren. Erst wenn klar ist, dass eine chemische Verbindung für den Zweck benötigt wird, stellt sich die Frage, welche chemische Verbindung diesen Zweck am besten erfüllen kann und wie dies am nachhaltigsten verwirklicht werden kann. Die Betrachtung geht dabei weit über die reine chemische Synthese hinaus. Der gesamte Lebensweg von der Rohstoffgewinnung bis zum Nutzungsende unter Beachtung möglicher Wege der Rückgewinnung muss betrachtet werden.

Um eine Innovation oder ein alternatives Produktangebot erfolgreich einzuführen, ist die Einbeziehung sozialer und gesellschaftlicher Verbesserungen unumgänglich. Auf allen Ebenen müssen Innovationen entwickelt werden, die verantwortungsvoll, vertrauenswürdig, transparent und nachvollziehbar sind. Hierzu zählt auch, dass nachhaltige Chemie die Anforderungen der Gendergerechtigkeit erfüllen muss (siehe Kasten „Gender und Chemikalien“ auf der nächsten Seite).

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 kann dies neue wirtschaftliche Möglichkeiten schaffen, die gleichzeitig gesellschaftlichen Nutzen stiften.

Nachhaltige Chemie bedeutet außerdem vor allem, dass zumindest irreversible Schäden für die menschliche Gesundheit und die Ökosysteme vermieden werden ([249], [250]). Dies kann erreicht werden durch

- chemische Produkte, die keine gefährlichen Eigenschaften haben, die die Umwelt und die Gesundheit belasten,
- eine chemische Produktion, die so durchgeführt wird, dass sie keine Gefahr für Mensch und Umwelt darstellt und effizient im Hinblick auf Energie und Ressourcen ist,
- Aufbereitung und Recycling, die von Anfang an berücksichtigt werden,
- Stoffströme, die so gesteuert werden, dass sie die planetarischen Grenzen nicht überschreiten und ökologischen Kriterien genügen.

Das International Collaborative Center for Sustainable Chemistry (ISC3) hat die zentralen Merkmale einer nachhaltigen Chemie aufgelistet [268]:

- 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. SYSTEMISCHES 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 Lebewesen 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 kontinuier-

Gender und Chemikalien

Ungleichheiten zwischen den Geschlechtern sind in unserer Gesellschaft allgegenwärtig und beeinflussen auch die Welt der Chemie. Physiologische Differenzen zwischen Männern und Frauen führen oft zu unterschiedlichen Reaktionen auf chemische Belastungen. Insbesondere Frauen durchleben Lebensphasen, in denen der Körper besonders anfällig ist (wie Schwangerschaft, Stillzeit und Menopause) und können dabei angereicherte Chemikalien an die nachfolgende Generation weitergeben ([258], [259]). Unterschiedliche soziale Geschlechterrollen und -normen führen zu unterschiedlicher Exposition. Beispielsweise sind Männer häufiger von Vergiftungen in (Industrie-)Arbeitsplätzen betroffen: Chemikalienbedingte Todesfälle sind etwa doppelt so häufig wie bei Frauen ([260]). Demgegenüber sind Frauen in Haushalt und Beruf in stärkerem Maße kontaminierter Innenraumluft ausgesetzt. Im medizinischen Bereich und in der Textilindustrie stellen sie die Mehrheit der Beschäftigten [261]. Sie verwenden mehr Haushaltschemikalien, Wasch- und Reinigungsmittel sowie Kosmetika ([260], [262], [263]). Verschiedene Geschlechterrollen in den Ländern des Südens führen zu unterschiedlichen Expositionen von Frauen und Männern z. B. gegenüber Agrar- und Bauchemikalien [261]. Die Nichtbeachtung dieser Genderaspekte kann negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt zur Folge haben. Es besteht ein deutlicher Mangel an Daten, die nach Geschlechtern differenzieren („gender data gap“) [264]. Bedenklich ist auch, dass Daten über die gesundheitlichen Auswirkungen von Chemikalien in Medizin und Toxikologie insbesondere an erwachsenen Männern und zu wenig an Frauen und Kindern erhoben werden, was zur Missachtung anderer physiologischer Reaktionen bei Frauen führt [265]. Zusätzlich mangelt es an Forscherkenntnissen zu den Auswirkungen von Chemikalien auf Trans- oder Inter-Personen.

Ein nachhaltiges Chemikalienmanagement erfordert daher, die Auswirkungen von Maßnahmen in einem „Gender Impact Assessment“ (GIA) zu prüfen, um negative Auswirkungen auf Geschlechter erkennen und gender-responsive Maßnahmen ergreifen zu können [266] – denn eine nachhaltige Stoffpolitik muss auch bedeuten, dass

- kein Geschlecht unter giftigen Chemikalien und strukturellen Ungleichheiten in der Chemie leidet,
- alle Geschlechter als Akteur*innen des Wandels angesehen werden,
- alle Geschlechter von einer Nachhaltigen Chemie profitieren ([264], [267]).

liche vertrauenswürdige, transparente und nachvollziehbare Kontrolle mit ein.

- 7. CHEMIKALIENMANAGEMENT:** Chemikalien und Abfällen werden während ihres gesamten Lebenszyklus zur Vermeidung von Persistenz, Toxizität und Bioakkumulation sowie anderer Schäden durch chemische Stoffe, Materialien, Verfahren, Produkte und Dienstleistungen für Mensch und Umwelt umweltgerechten 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 12 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.²⁰
- 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.

Die nachhaltige Chemie nimmt die wesentlichen Schnittstellen von Chemikalieneinsatz mit Gesundheit, Klima, Ernährung, Energiebereitstellung, Ressourcenverbrauch in den Blick. Sie geht damit über die zwölf Prinzipien der „Grünen Chemie“ [31] hinaus und orientiert sich an den Funktionen, die chemische Stoffe erfüllen sollen. Damit werden auch soziale, wirtschaftliche und ethische Aspekte einbezogen.

Auch das Umweltbundesamt kennzeichnete 2021 die wesentlichen Charakteristika eines nachhaltigen Chemikalienmanagements [269]:

- „1. Grundsätzlich sollte immer die Verwendung von Stoffen bevorzugt werden, die der Gesundheit und der Umwelt keinen Schaden zufügen.*
- 2. Gefährliche Stoffe dürfen nur noch verwendet werden, wenn es unbedingt im Interesse von Gesellschaft und nachhaltiger Entwicklung liegt und es keine alternativen Lösungen gibt. Ein Beispiel ist die Abwägung der Verwendung von per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen, zu denen auch Perfluoroktansäure gehört. Wo diese Stoffe heutzutage noch unverzichtbar sind, wird derzeit auf europäischer Ebene diskutiert.*
- 3. Die Kreislaufwirtschaft benötigt schadstofffreie Materialströme. Das bedeutet, dass über die gesamte Kette hinweg bekannt sein muss, welche Chemikalien in den Produkten enthalten sind, dass diese unbedenklich sind und dass die Rohstoffe nachhaltig bereitgestellt werden. Bedenkliche Stoffe, die dennoch in Materialien enthalten sind, müssen je nach Bedarf in sicheren Kreisläufen sorgsam gemanagt oder ausgeschleust werden. Der daraus resultierende Energiebedarf ist bei den Maßnahmen zu berücksichtigen.*
- 4. Die Gesellschaft muss ein nachhaltiges Maß für ihren Chemikalienbedarf finden. Anders ist ein nachhaltiger Energie- und Ressourcenverbrauch kaum zu erreichen. Gefährliche Stoffe durch andere Stoffe zu ersetzen, reicht nicht aus. Da Chemikalien Teil unserer Lebensumwelt sind und auch zukünftig für nachhaltige Lösungen vielfältig gebraucht werden, muss der Einsatz aller synthetischen Chemikalien grundsätzlich immer hinterfragt und mögliche Auswirkungen auf Klima und Biodiversität mitbedacht werden.*
- 5. Auch für Chemikalien muss Klimaneutralität über ihren Lebenszyklus hinweg erreicht werden. Die Chemieindustrie bietet innovative Lösungen, um Energie regenerativ zu erzeugen und zukünftig auch auf nicht-fossile Rohstoffe zurückzugreifen, sowie energieeffizienter zu*

²⁰ Zu den Prinzipien der Grünen Chemie vgl. [31].

werden. Gleichzeitig ist sie jedoch mit ihrem hohen Energieverbrauch und globalen Wachstum derzeit eine wichtige CO₂-Emittentin und damit Treiberin des Klimawandels.

6. Klare Kriterien und Indikatoren können der Industrie, aber auch Verbraucherinnen und Verbrauchern sichtbar machen, inwieweit ein Produkt zu den benannten Nachhaltigkeitsaspekten beiträgt. Diese Indikatoren werden benötigt, um zwischen Chancen und Risiken abwägen zu können.“

Wie lässt sich die Entwicklung von Chemikalien, Produkten und deren Anwendungsbereichen im Sinne Nachhaltiger Chemie messen? Dafür benötigt man Indikatoren, die an Grundsätzen der Nachhaltigen Chemie ausgerichtet sind, und dies am besten auf globaler Ebene (siehe Kasten „Indikatoren für eine Nachhaltige Chemie“ auf der nächsten Seite).

Die zehn Merkmale der Nachhaltigen Chemie [268] verdeutlichen, dass die Transformation in Richtung auf eine nachhaltige Chemie eine grundsätzliche neue Herangehensweise erfordert. Der Ausgangspunkt des Zweckes oder der Funktion eines Produktes, einer Produktion oder einer Dienstleistung erfordert eine ganzheitliche Herangehensweise. Dies stellt auch eine besondere Herausforderung für die Ausbildung der Mitarbeiter*innen in chemischen Berufen und insgesamt für alle Berufe in der chemischen Industrie dar [273]. Die Zusammenarbeit in interdisziplinären Teams muss sowohl in der Wissenschaft als auch in der Industrie und Behörden vorangetrieben und gefördert werden. In die fachliche Ausbildung von Chemiker*innen müssen Nachhaltigkeitsthemen und 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.

Ein aktuelles Beispiel aus der Pharmaindustrie (Roche Group) verdeutlicht allerdings die Schwierigkeiten

beim Ausstieg aus Chemikalien, welche durch die Europäische Chemikalienagentur als besorgniserregende Stoffe (SVHC) klassifiziert wurden [274]. Im Rahmen der Studie wurden 37 problematische Substanzen im Unternehmen identifiziert, jedoch musste bei 27 eine Ausnahme vom ambitionierten Ausstiegsziel gemacht werden. Als Gründe für die Ausnahmen gab das Unternehmen unter anderem technische Schwierigkeiten, wie fehlende Testzeiträume für neue Syntheseabläufe in der laufenden Produktion, mangelnde Alternativ-Chemikalien und die hohen behördlichen Beweispflichten zur Unbedenklichkeit eines alternativen Herstellungsprozesses im Rahmen laufender Produktionsgenehmigungen an. Dennoch hält das Unternehmen einen Ausstieg aus den problematischen Chemikalien innerhalb von 10 Jahren für möglich. Die lange Umstellungsphase in der Industrie unterstreicht die zentrale Rolle der prospektiven Bewertung, sodass Chemikalien bereits vor Eintritt in den Markt als problematisch erkannt werden. Technischer Fortschritt und Nachhaltigkeit in der Chemie basieren auf einer konsequenten Verfolgung des Vorsorgeprinzips, sodass Risiken bereits vor der Marktreife eines Produkts erkannt und vermieden werden.

Ein nachhaltiger Pfad für die Chemie lässt sich aber nur finden, wenn die Intensität der Chemikalienproduktion und –verwendung weltweit nicht weiter steigt, sondern deutlich abnimmt (siehe [Abschnitt 7.3](#)) [275].

Die aus dem Kapitel 8 abgeleiteten Forderungen des BUND zur nachhaltigen Chemie sind in [Abschnitt 9.5](#) zusammengestellt.

Indikatoren für eine Nachhaltige Chemie

Die Diskussion über nachhaltige Chemie auf globaler Ebene begann 2016 bei der zweiten UN-Umweltversammlung UNEA 2, die UNEP u. a. beauftragte, „einen Bericht zu erstellen, der SAICM dabei unterstützt, Chancen der nachhaltigen Chemie zu prüfen. Dabei sollen die Beziehungen zu Strategien des nachhaltigen Konsums und Produktion und die Möglichkeiten dargestellt werden, was nachhaltige Chemie zur Erreichung der Ziele der 2030 Agenda beitragen kann.“ („to prepare a report... to assist the Strategic Approach to International Chemicals Management in considering the opportunities presented by sustainable chemistry, including linkages to sustainable consumption and production policies, and the possibilities that sustainable chemistry may offer of contributing to the achievement of the 2030 Agenda“) [270]. Ein Meilenstein auf diesem Weg ist das „Green and Sustainable Chemistry Framework Manual“ [271], an dem Fachleute aus Industrie, Wissenschaft, Administration und Umweltverbänden mitwirkten. Diese Veröffentlichung sowie das o. a. Diskussionspapier von ISC3 [268] werden in einem vom Umweltbundesamt beauftragten Projekt [272] für die Entwicklung von Nachhaltigkeitsindikatoren für das internationale Chemikalienmanagement genutzt. Die daraus abgeleiteten Kriterien für Indikatoren sind in der folgenden Tabelle dokumentiert.

Tabelle: Kriterien für die Entwicklung von Indikatoren in Bezug auf die zentralen Merkmale der nachhaltigen Chemie (ISC3) und des „Green and Sustainable Chemistry Framework“ (UNEP) (nach [272])

Nachhaltige Chemie als Orientierung und Schrittmacher für das „Sound Management of Chemicals and Waste“

H) Nachhaltigkeit

Systemisches Denken ist die Voraussetzung für die Erreichung der Ziele der Agenda 2030: Mögliche Zielkonflikte können durch systemisches Denken identifiziert und bewältigt werden. Sektoren, die mit chemischen Substanzen umgehen, tragen zur nachhaltigen Entwicklung in Übereinstimmung mit den diesbezüglichen nachhaltigen Entwicklungszielen (SDGs) bei. Dabei beachten sie folgende Einzelkriterien (H1–H5).

H1) Verantwortungsbewusste Innovationen

Entwicklung nachhaltiger Lösungsansätze und sicherer, nicht-ähnlich problematischer Alternativen für besorgniserregende Chemikalien durch Kooperation bei Innovationen, nicht-chemischen Alternativen, Geschäftsmodelle wie Chemikalienleasing oder Mechanismen zur erweiterten Herstellerverantwortung. Förderung der Zusammenarbeit entlang der Wertschöpfungsketten zur Förderung der Zirkularität

H2) Inter- und Multidiziplinarität, Holistischer Ansatz

Berücksichtigung der Schnittstellen mit anderen dringlichen Themen (Gesundheit, Umwelt, Klima, Ressourcen/ Abfall/ Zirkularität, biologische Vielfalt, Ernährung etc.) im gesamten Lebenszyklus chemischer Substanzen, wobei eine Problemverlagerung in andere Sektoren oder die Entstehung von Altlasten zu vermeiden ist.

H3) Soziale Verantwortung

Förderung und Sicherstellung von Gesundheit und Sicherheit; faire, inklusive und emanzipatorische Arbeitsbedingungen; Beachtung der Menschenrechte und der Gerechtigkeit in allen Bereichen einschließlich Erziehung und Wissenschaft. Verringerung von Ungleichheiten und gerechte Verteilung des Nutzens.

H4) Transparenz und Informationsaustausch

Ermöglichung des Rechts auf Wissen (right to know) im gesamten Lebenszyklus. Förderung des Wissenstransfers auf allen Stufen unter Einbezug aller Akteure (Wissenschaft, Erziehung, Wirtschaft, Regierung, Verwaltung)

H5) Ressourcenmanagement und Zirkularität

Nachhaltiges Management von Ressourcen, Materialien, Energie und Produkten (Extraktion von Rohstoffen, Produktion, Anwendung, Logistik, Recycling, Ende des Produktlebenswegs), um Zirkularität im gesamten Lebenszyklus ohne Kontamination zu ermöglichen.

Die identifizierten Indikatoren sollen auf bei der Internationalen Chemikalienkonferenz ICCM5 im September 2023 vorgestellt und diskutiert werden. Die Indikatoren sollten sich möglichst einfach ermitteln lassen sowie die Herkunft der Daten transparent sein. In diesem Sinne werden u. a. Indikatoren vorgeschlagen für

- eine Verringerung des Gebrauchs gefährlicher Chemikalien und daraus entstehender Gesundheitsschäden,
- eine Unterstützung des Klimaschutzes durch Produktion und Produkte der Chemieindustrie,
- einen Verzicht auf Subventionen für fossile Grundstoffe,
- ein nachhaltiges Management von Nährstoffen (v. a. Stickstoff),
- einen schonenden Umgang mit Ressourcen für die Rohstoffgewinnung,
- eine Verwertung von Abfällen,
- Maßnahmen der Chemieindustrie für mehr Produktions- und Produktsicherheit.

Diese Übersicht spiegelt die Notwendigkeit wider, den Gebrauch von Chemikalien von der Herstellung bis zum Abfall zu betrachten und systemisch mit anderen nur global lösbaren Themen zu verbinden.

9. Leitsätze zur Stoffpolitik – Forderungen des BUND

Eine nachhaltige Stoffpolitik muss verstärkt die Persistenz von Stoffen und die Mengenströme der Stoffe von der Wiege bis zur Wiederverwendung oder der Beseitigung als Abfall in den Fokus nehmen. Stoffpolitik muss sich deshalb an folgenden Leitsätzen orientieren:

- Stoffpolitik ist heute international. Die Belastung des Systems Erde mit Chemikalien hat ein bedenkliches Ausmaß erreicht. Zum Teil werden die planetaren Leitplanken bereits überschritten. Dies gilt insbesondere auch für die Leitplanke „Neue Substanzen“. Um gegenzusteuern, sind die Nachhaltigkeits-Ziele der Vereinten Nationen („Sustainable Development Goals“) ernst zu nehmen und verbindliche Maßnahmen zu deren Umsetzung zu ergreifen.
- Stoffpolitik muss sich verstärkt an den Prinzipien der Vorsorge und Nachhaltigkeit ausrichten. Dies bedeutet insbesondere, Persistenz als zentrales Gefährdungsmerkmal konsequent zu beachten – auch bei Stoffen, die zu persistenten Abbauprodukten umgewandelt werden sowie bei Stoffen, die wie Kunststoffe in großen Mengen in die Umwelt eingetragen werden, ohne andere Gefahrenmerkmale wie Toxizität aufzuweisen.
- Stoffströme sind regional und weltweit zu verlangsamen und zu verkleinern und der Ressourcenverbrauch insgesamt zu verringern. Dies bedeutet vor allem, weniger nicht nachhaltig einsetzbare Chemikalien zu verwenden. Dies lässt sich über eine höhere Ressourceneffizienz, Kreislaufführung und Suffizienz beim Umgang mit Stoffen und Materialien erreichen.
- Stoffpolitik ist eng mit Ressourcen- und Klimaschutz verknüpft. Nachhaltige Chemie muss helfen, den Ressourcenverbrauch und die Emissionen an Treibhausgasen deutlich zu verringern. Herausforderungen sind etwa, die geeigneten Stoffe und Verfahren für eine umweltverträgliche Mobilität und klima- und ressourcenschonendes Bauen zu finden.
- Stoffpolitik ist auch mit dem Biodiversitätsschutz verknüpft. Verschmutzungen der Umwelt tragen in erheblichem Maße zum Rückgang der biologischen Vielfalt bei. Stoffeinträge in Wasser, Boden und Luft bewirken ebenso Biodiversitätsverluste wie der groß-

flächige Anbau biogener Rohstoffe und Futtermittel und die Ausbringung von Pestiziden und Düngemitteln.

- Stoffpolitik und Kreislaufwirtschaft sind miteinander zu verbinden. Eine Reduzierung der Stoffströme kann nur gelingen, wenn die Abfallhierarchie konsequent beachtet wird. Dies bedeutet auch, dass die gesetzlichen Grundlagen des Stoff-, Produkt- und Abfallrechts zu integrieren sind und sich gegenseitig ergänzen müssen.

Nachhaltige Stoffpolitik richtet sich an alle Akteure:

- den Staat, der durch konkrete Vorschriften und Genehmigungen sowie durch indirekte Anreize wie Steuern und Abgaben das Verhalten von Unternehmen und Verbraucher*innen mit dem Ziel einer nachhaltigen Ökonomie und eines sicheren Umgangs mit Stoffen steuert,
- die Unternehmen, die ihrer Verantwortung in einer globalen Wirtschaft gerecht werden und nachhaltige Produkte bereitstellen, sowie
- die Verbraucher*innen, die unter Beachtung fachlich korrekter Informationen ihren Lebensstil an den Prinzipien der Nachhaltigkeit und insbesondere der Suffizienz ausrichten.

Das alles ist nicht neu. Die wichtigsten Grundzüge eines nachhaltigen Chemikalienmanagements sind bereits 1993 beschrieben und illustriert worden (siehe Abb. 5 auf der nächsten Seite): Danach steht „ökologisches Design“ im Zentrum. Solch ein Design zielt darauf ab, nur Chemikalien und Stoffe zu verwenden, deren Umweltauswirkungen so gering wie möglich sind. Es sollen also nur Stoffe eingesetzt werden, die möglichst nicht persistent, aber auch nicht mobil oder toxisch sind und sich auch nicht anreichern. Und um die Gesamtexposition des Menschen und der Ökosysteme zu senken ist sowohl der Chemikalienverbrauch durch Erhöhung der Effizienz und mehr Suffizienz zu reduzieren als auch gebrauchte Produkte durch Reparatur, Wiederverwendung oder Recycling wieder dem Wirtschaftskreislauf zuzuführen (Konsistenz).

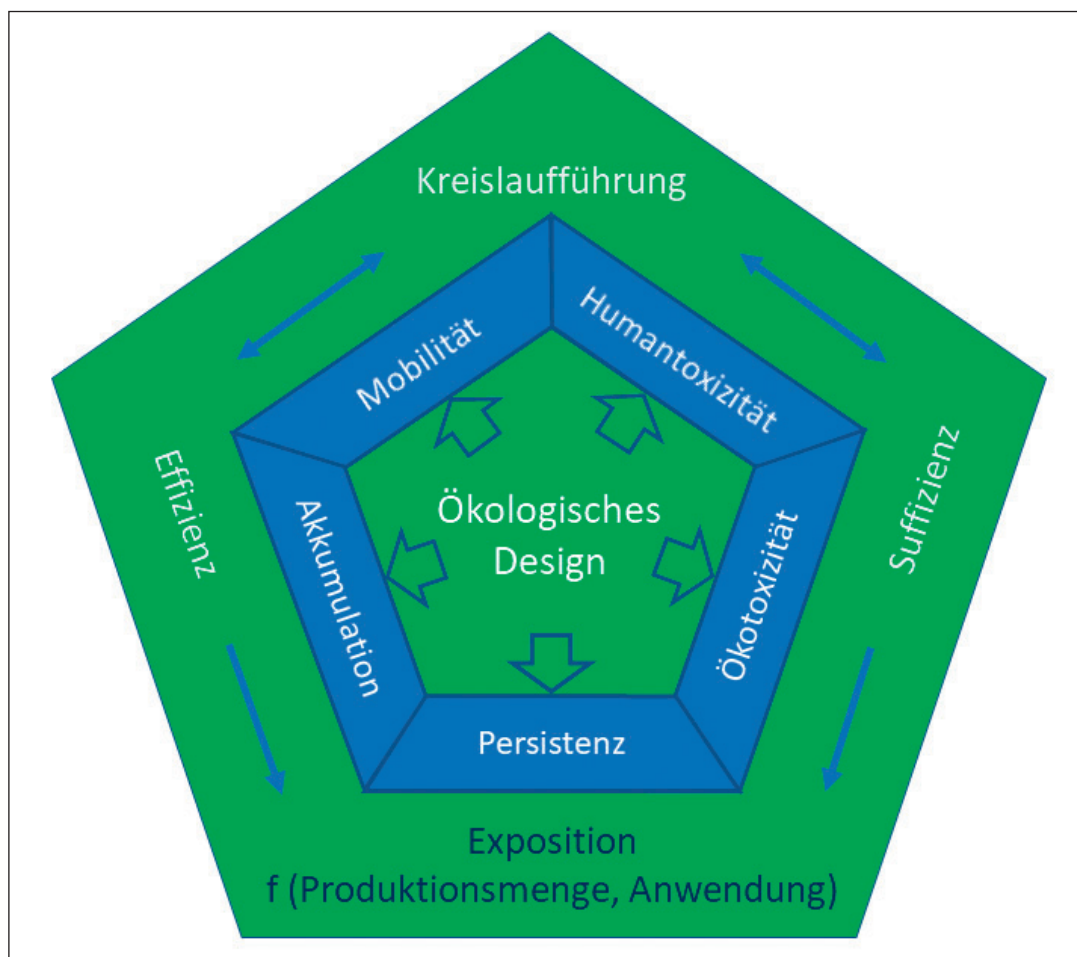


Abbildung 5: Minimierung der Chemikalienrisiken durch Reduzierung von Exposition und Wirkung (nach Friege [276])

Der BUND fordert eine nachhaltige Chemie sowie eine konsequente Umsetzung einer nachhaltigen Ressourcen- und Stoffpolitik unter besonderer Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips.

Dies bedeutet im Einzelnen:

9.1 Forderungen zur Weiterentwicklung der internationalen Stoffpolitik

Stoffpolitik braucht heute angesichts der stetig anschwellenden Produktion von Chemikalien und der internationalen Verbreitung gefährlicher Stoffe und Abfälle einen globalen Ansatz, damit die planetaren Belastungsgrenzen nicht weiter überschritten werden.

- Stoffpolitik muss mit den Sustainable Development Goals (SDGs) der Vereinten Nationen verknüpft werden, insbesondere in Bezug auf SDG 12 zur nachhaltigen Produktion und Nutzung sowie SDG 3, welches Maßnahmen gegen die gesundheitlichen Folgen der Chemikalienbelastung fordert. Die SDGs müssen mehr sein als bloße Absichtserklärung, sondern bedürfen der Entwicklung geeigneter Maßnahmen zu deren Umsetzung.
- Es braucht eine globale Rahmenkonvention zum nachhaltigen Management von Stoffen, Materialien und Ressourcen, die wirksame globale Beschränkung der Produktion und Verwendung von Chemikalien vorsieht, um die planetaren Grenzen

einzuhalten. Eine solche Konvention soll als Dach die bestehenden internationalen Regelungen mit umfassen und gleichzeitig für eine übergeordnete Strategie zur deutlichen Reduktion von Umweltbelastungen durch Chemikalien und Ressourcen führen und Regelungen für ein Stoffstrommanagement entlang der Wertschöpfungskette beinhalten. Der „Strategic Approach to an International Chemicals Management (SAICM)“-Prozess kann als Grundlage für eine Weltchemikalienkonvention weiterentwickelt werden. Die beschlossenen Maßnahmen müssen verbindlich werden, Indikatoren zur Messung der Zielerreichung sind zu entwickeln und festzulegen. Dabei ist die Durchsetzung eines nachhaltigen Chemikalien- und Abfallmanagements unter Berücksichtigung des Verursacherprinzips („Polluter pays Principle“) erheblich zu beschleunigen. Die Länder des Ostens und Südens müssen im Aufbau eines eigenen Chemikalienmanagementsystems unterstützt werden.

- Konsequente Erweiterung und Vollzug der internationalen Chemikalien-Übereinkommen, insbesondere auch zur Verhinderung illegaler Exporte gefährlicher Abfälle (Basler Übereinkommen).
- Das derzeit verhandelte globale Plastikabkommen muss zu einer wirksamen Beschränkung von Produktion, Verwendung und des Abfallvolumens von Plastik führen. Es sollte unter dem Dach einer zukünftigen globalen Rahmenkonvention zum nachhaltigen Management von Stoffen, Materialien und Ressourcen als ein wesentliches Element integriert werden.
- Der Export gefährlicher Abfälle aus der EU in Entwicklungs- und Schwellenländer ist durch konsequente Kontrollen und Verfolgen von Verstößen gegen das Basler Übereinkommen zu unterbinden.
- Die Fragmentierung des internationalen Chemikalien- und Abfallmanagements auf zahlreiche Foren muss beendet werden, um ein konsistentes Vorgehen zu ermöglichen. Ein wissenschaftliches Begleitgremium (Science Policy Panel) zum Management von Chemikalien und Abfällen ist entsprechend dem

Beschluss von UNEA 5.2 (United Nations Environment Assembly) einzurichten und mit vergleichbaren Kompetenzen und Finanzierung auszustatten wie IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) und IPBES (Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services). Bei der Berufung der Mitglieder ist besonders auf deren Unabhängigkeit zu achten, damit keine Interessenkonflikte entstehen.

- Entwicklung internationaler Regeln zur Verringerung der Komplexität globaler Stoffströme, um eine zirkuläre Ökonomie zu ermöglichen. Globale Maßnahmenpläne zur Senkung der Umwelteinträge mit Phosphor und reaktivem Stickstoff sowie ein konsequenter Vollzug und eine Verschärfung der Düngebestimmungen auf nationaler und EU-Ebene.

9.2 Forderungen zur Weiterentwicklung der europäischen Chemikalienpolitik

- In einigen wesentlichen Punkten muss diese Chemikalienverordnung fortentwickelt werden, damit sie effektiver zur Umsetzung des „Green Deal“ und der EU-Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit beitragen kann. Inkonsistenzen zwischen den diversen stoffbezogenen gesetzlichen Regelungen müssen beseitigt werden.
- Konsequente Umsetzung des Vorsorgeprinzips zur Vermeidung bisheriger Fehler, als erst zu spät reagiert wurde, nachdem die schädlichen Wirkungen erkannt wurden.
- Die in der „Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit“ vorgesehenen Weiterentwicklungen sind zeitnah umzusetzen, um das Ziel einer „giftfreien Umwelt“ zu verfolgen. Sie dürfen keinesfalls verwässert werden.
- In diesem Sinne ist die EU-Kommission aufgefordert, baldmöglichst einen ambitionierten Entwurf einer REACH-Novellierung vorzulegen.
- Es sind klarere und strengere Anforderungen an (Import-)Erzeugnisse, Zwischenprodukte, Polymere und Nanomaterialien erforderlich.
- Bei Chemikalien, die in der Umwelt bestimmungs-

gemäß mit anderen Stoffen Folgeprodukte bilden, sind diese Transformationsprodukte zu identifizieren, zu untersuchen und zu bewerten.

- Effiziente, zahlreichere Kontrollen („Compliance Checks“) von Registrierungs dossiers auf EU-Ebene sowie strengere Verpflichtungen zu deren korrekter Umsetzung und Aktualisierung sind notwendig. In gravierenden Fällen müssen Registrierungen für ungültig erklärt, Vermarktung und Verwendung der betreffenden Stoffe gemäß dem REACH-Prinzip „Keine Daten, kein Markt“ verboten werden.
- Neben Kontrollen von Dossiers müssen auch Produkte vermehrt auf REACH-Konformität geprüft werden. Es braucht starke Sanktionen und Bußgelder, um Schadstofffreie Produkte und Wettbewerbsgleichheit zu garantieren. Dafür ist eine Harmonisierung der Durchsetzung aller nationaler Vollzugsbehörden der EU-Mitgliedsstaaten und deren Ausstattung mit den nötigen Mitteln notwendig.
- Die Europäische Chemikalienagentur (ECHA) muss alle Stoffe bekanntgeben, für die keine vollständigen toxikologischen und ökotoxikologischen Daten vorliegen sowie die Namen von Unternehmen und anderen Registranten offenlegen, die unzureichende oder fehlerhafte Dossiers nicht umgehend korrigieren.
- Es sind klarere Anforderungen an den Informationstransfer in der Produktkette bis hin zum Recyclingunternehmen zur Herstellung von Transparenz über die stoffliche Zusammensetzung von Produkten und potenzielle Risiken erforderlich.
- Es muss eine gemeinsame Bewertung von Stoffgruppen („Grouping“) erfolgen, um die Regulierung besorgniserregender Stoffe zu beschleunigen und um unangemessene Substitutionen durch strukturell ähnliche Stoffe zu vermeiden. Die per- und polyfluorierten Alkylverbindungen (PFAS) können hierbei als Muster für andere Stoffgruppen, z. B. Weichmacher, dienen.
- Stoffe mit gefährlichen Eigenschaften dürfen nicht mehr in verbrauchernahen Anwendungen genutzt

werden (konsequente Anwendung des „generic risk approach“) oder in Stoffkreisläufe zum Recycling gelangen. Bei besorgniserregenden Stoffen ist die gefährlichkeitsbasierte Bewertung Grundlage für Beschränkungen und Verbote. Nur unverzichtbare Anwendungen (essential uses) sind befristet anzuerkennen.

- Substanzen, die persistent, mobil und toxisch (PMT) oder sehr persistent und sehr mobil (vPvM) sind, sollen ebenso wie hormonell wirksame Substanzen zu den besonders besorgniserregenden Stoffen zählen. Die Kriterien für Einstufung und Kennzeichnung in der CLP-Verordnung sind entsprechend zu erweitern.
- Die Bewertung über mehrere Rechtsverordnungen hinweg soll durch Anwendung des Prinzips „One substance – one assessment“ vereinfacht werden,
- Es muss eine Reduktion des Einsatzes von Pestiziden und Bioziden durch Änderung der landwirtschaftlichen Praxis bzw. geringere Verwendung von Bioziden erfolgen. Umweltgefährdende Arzneimittel müssen verschreibungspflichtig werden.
- Das Verursacherprinzip muss deutlicher verankert und Abgaben auf den (Internet-)Handel mit besorgniserregenden Stoffen und Produkten, die solche enthalten, eingeführt werden. Dadurch erzielte Einnahmen sollten in die Finanzierung der Überwachung fließen.

9.3 Forderungen zur Weiterentwicklung der Stoffbewertung und des Chemikalienmanagements

Neben Toxizität und Ökotoxizität sind Anreicherung, Mobilität im Wasserkreislauf und insbesondere Persistenz zentrale Gefährlichkeitsmerkmale bei der Stoffbewertung. Ein besonderes Augenmerk ist indirekten Wirkungen, Kombinationswirkungen sowie der Bewertung von Nanomaterialien und endokrinen Disruptoren zu widmen. Die Persistenz von Stoffen verdient besondere Beachtung, da sich gezeigt hat, dass viele langlebige Stoffe zu späteren Schäden in der Umwelt führen, die bei der Einführung dieser Stoffe

noch nicht vermutet wurden. Deshalb sind insbesondere folgende Maßnahmen erforderlich:

- Verhinderung des irreversiblen Eintrags synthetischer persistenter Stoffe in die Umwelt.
Maßnahmen zur ökologisch verträglichen Rückholung und Beseitigung bestehender Kontaminationen mit persistenten Materialien wie Kunststoffen unter Anwendung des Verursacherprinzips.
- Verhinderung des irreversiblen Eintrags synthetischer bioakkumulierender Stoffe in die Umwelt.
- Verhinderung des irreversiblen Eintrags synthetischer hochmobiler stabiler Stoffe in den Wasserkreislauf.
- Verhinderung der Belastung von Mensch und Umwelt mit hormonell wirksamen synthetischen Stoffen (endokrinen Disruptoren).
- Ausstieg aus Herstellung und Verwendung besonders kritischer Stoffgruppen. Die per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) sollen bis 2030 möglichst vollständig nicht mehr hergestellt und verwendet werden.
- Berücksichtigung von Kombinationswirkungen von Stoffen in Stoffgemischen und bei kombinierter Anwendung mehrerer Produkte. Der in der Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit vorgesehene „Mixture assessment factor“ (MAF) ist rasch zu implementieren.
- Weiterentwicklung und Einführung angepasster Prüf- und Bewertungsstrategien zur Einschätzung der besonderen Risiken von Nanomaterialien.
Entwicklung eines Steuerungs- und Regelungssystems, um die Entwicklungen dieser Technologie zu verfolgen und einen sicheren Umgang mit diesen Materialien zu gewährleisten.
- Prüf- und Bewertungsstrategien biopersistenter Fasern.
- Partizipative, kritische Begleitung der Entwicklung von „Advanced Materials“.
Priorisierung potenziell umweltgefährlicher Produkte und Entwicklung von „Safe by Design“-Konzepten.
- Umsetzung einer wirksamen Spurenstoff-Strategie.

Einführung von gesetzesübergreifenden Maßnahmen, um den Eintrag von Spurenstoffen in Gewässer zu reduzieren, u. a. Ausbau von Kläranlagen mit der vierten Reinigungsstufe.

- Minimierung der Einträge von Stoffen in die Umwelt, die in großen Mengen hergestellt werden und nicht in geschlossenen Kreisläufen verwendet werden wie Waschmittel, Plastikprodukte, Schmierstoffe, Produkte des täglichen Bedarfs, Kosmetika und Arzneimittel.

9.4 Forderungen für ein nachhaltiges Stoffstrommanagement

Beginnend mit der Gewinnung von Rohstoffen bis zur Wiederverwertung und Beseitigung von Abfällen sind die Stoffströme und der Ressourcen- und Wasserverbrauch zu reduzieren (Minimierungsgebot). Der derzeitige Verbrauch von Energie und Ressourcen ist nicht nachhaltig; es entsteht zu viel Entropie. Dies lässt sich mit der Beachtung folgender Forderungen ändern:

- Es bedarf eines kreislaufwirtschaftsfähigen, zirkulären Produktdesigns. Bereits bei der Entwicklung und Gestaltung von Produkten sind Fragen eines nachhaltigen Stoffstrommanagements zu berücksichtigen. Hierzu sind auch die Ausbildungsziele und -kriterien von Design-Studiengängen zu prüfen und ggf. zu reformieren (siehe auch [Abschnitt 9.6](#)).
- Der Einsatz von umwelt- und gesundheitsgefährdender Chemikalien ist auf essentielle Anwendungen zu beschränken. Gefährliche Stoffe sind aus Stoffkreisläufen auszuschleusen.
- Es bedarf rechtlicher Regelungen zur Transparenz von bewusst hinzugefügten Inhaltsstoffen (inklusive kritischer Verunreinigungen) für die Produkte aller Sektoren. Diese müssen für alle Akteure (z. B. Lieferkette, Zivilgesellschaft, Recycler) leicht und verständlich zugänglich sein. Globale Standards zur Produkttransparenz sind notwendig.
- Es braucht eine Trendumkehr bei der Chemikalienproduktion: Eine deutliche Senkung der Produktionsmengen ist notwendig. Dazu muss der Chemi-

kalienverbrauch durch höhere Effizienz und mehr Suffizienz geringer werden. Die (deutlich reduzierte) Rohstoffbasis muss sich mittelfristig ändern: Dazu sind nachhaltige Wege zur regenerativen Bereitstellung von Rohstoffen zu entwickeln. Konkrete Reduktionsziele für den Einsatz von Chemikalien und Ressourcen sind zu formulieren.

- Prozesse sind so zu gestalten, dass sie eine hohe Energieeffizienz haben und wenig Verluste durch Entropiezunahme etwa durch Feinverteilung in Produkten und dadurch anschließend in der Umwelt (Dissipation) eintreten.
- Bei der Herstellung von Stoffen und Produkten ist der Chemikalieneinsatz entlang der gesamten Wertschöpfungskette bis zum fertigen Produkt möglichst gering zu halten.
- Eine vergleichende Beurteilung des kumuliertem Energie- und Ressourcenaufwands (KEA, KRA) sowie der Treibhausgas (THG)-Emissionen von Produkten und Prozessen ist notwendig und muss im EU-Sevilla-Prozess – also in den EU-BVT-Merkblättern (BREFs) – berücksichtigt werden.
- Stoffliche Ressourcen sind sparsam zu nutzen. Bei der Rohstoffgewinnung sind Einträge durch Mobilisierung des Rohstoffs und seiner Nebenstoffe in die Umwelt zu vermeiden.
- Es sind Maßnahmen zur Förderung und Ausweitung des Recyclings kritischer Rohstoffe wie Lithium, Kobalt, Neodym oder Tantal erforderlich.
- Eine internationale Vereinbarung im Kontext einer Rahmenkonvention zum nachhaltigen Management von Stoffen, Materialien und Ressourcen zur globalen Deckelung der Rohstoffentnahme ist notwendig.
- Ein europäisches und ein deutsches Ressourcenschutzgesetz mit anspruchsvollen Zielvorgaben sind notwendig.
- Es bedarf einer Förderung des nachhaltigen Konsums und der nachhaltigen öffentlichen Beschaffung. Verbraucher*innen benötigen mehr Information und Beratung, um ihr Konsumverhalten und ihren Lebensstil den Nachhaltigkeitserfordernissen

anpassen zu können (Suffizienz). Dazu bedarf es auch ökonomischer Anreize zur Steuerung des Verbraucherverhaltens.

- Gesetzliche Regelungen sind nötig, um die Vernichtung neuwertiger gebrauchsfähiger Waren weitgehend zu verhindern.
- Die Recyclingquoten sind in den kommenden 10 Jahren mindestens zu verdoppeln. Die Nutzung von Rezyklaten ist zu stärken. Sekundärmaterialien in anthropogenen Lagern müssen soweit wie möglich genutzt werden. U. a. sind staatliche Anreize zur Verwendung von Produkten aus Sekundärrohstoffen notwendig.
- Die Recyclingfähigkeit und lange Gebrauchsdauer von Produkten ist durch wirksame Maßnahmen, das heißt durch gesetzliche Anforderungen, Zielvorgaben und Verbraucherinformation durchzusetzen. Beispiele:
 - Verbraucher*innen können über Ökolabels und den digitalen Produktpass auf leicht verständliche, vergleichbare Informationen zugreifen;
 - Anforderungen zur Verringerung der Komplexität der Inhaltsstoffe in Produkten sind zu formulieren und durchzusetzen;
 - Nicht recyclingfähige Verbundwerkstoffe sind zu vermeiden, soweit diese keine deutlichen Vorteile bezüglich Funktionalität und Energieeffizienz haben;
 - Der Einsatz von Additiven in Kunststoffen und von nicht mehr entfernbaren Legierungsbestandteilen in Metallen ist zu minimieren;
 - Verunreinigungen, die einer Nutzung als Sekundärrohstoff entgegenstehen, sind bereits in der Produktionskette zu vermeiden;
 - Reparaturfreundlichkeit kann durch modulare Bauweise erreicht werden; und
 - Produkte sind so zu konstruieren, dass sie eine möglichst lange Lebensdauer haben, und ein Recht auf Reparatur ist verbindlich vorzuschreiben.
- Die derzeit verhandelte internationale Konvention zur Verhinderung der Einträge von Plastik in die

Umwelt, besonders ins Meer, muss anspruchsvolle globale Verpflichtungen enthalten.

- Die EU-Plastikstrategie zur Reduktion von Plastikemissionen (Verwendungsverbote, Pfandregelungen, Ausbau von Sortier- und Sammelsystemen etc.) muss konsequent weiterentwickelt und verschärft werden. Der Beschluss des Basler Übereinkommens, den Export verschmutzter, nicht sortenreiner Abfälle zu erschweren, ist umzusetzen.
- Ein ökologisch hochwertiges Recycling ist zu fördern. Die Abfallhierarchie ist konsequent zu beachten: Vermeiden hat Vorrang vor Wiederverwendung, Recycling, Verwertung und Entsorgung. Die Schnittstelle zwischen Chemikalien- und Abfallrecht ist zu verbessern. Dadurch wird es leichter möglich, Materialien aus Abfällen stofflich oder chemisch zu verwerten.
- Bei Produkten und Prozessen sind nicht-chemische Lösungen zu bevorzugen, soweit sie keine Nachteile bezüglich Funktionalität, Energie- und Ressourceneffizienz haben.
- Für die Nutzung und die Weiterentwicklung ressourcensparender Dienstleistungsmodelle wie das Chemikalienleasing braucht es mehr Anreize.

9.5 Forderungen zur Nachhaltigen Chemie

Nachhaltige Chemie bedeutet, dass Chemikalienproduktion und -verwendung sich entlang der gesamten Wertschöpfungsnetzwerke an den Nachhaltigen Entwicklungszielen (SDGs) der UN ausrichten. Sie soll zur Einhaltung der planetaren Grenzen beitragen. Deshalb sind insbesondere folgende Maßnahmen erforderlich:

- Vor der Verwendung von Chemikalien sollen Zweck und Funktion geprüft werden, ob und in welchem Umfang es eines Chemikalieneinsatzes bedarf.
- Entwicklung nachhaltiger Chemikalien mit hohem Nutzen und gleichzeitig geringen unerwünschten Wirkungen und geringer zeitlicher und räumlicher Reichweite („short-range chemicals“).
- Substitution gefährlicher Chemikalien durch nachhaltige Chemikalien.
- Gewinnung und Verbrauch von Ressourcen müssen

drastisch reduziert werden, um die planetaren Grenzen einzuhalten.

- Weltweite Umsetzung nachhaltiger Chemie entsprechend den Beschlüssen der United Nations Environment Assembly (UNEA 2 und 4 und 5).
- Beachtung der vom ISC3 (International Sustainable Chemistry Collaborative Centre) entwickelten 10 Merkmale der nachhaltigen Chemie.
- Messung von Fortschritten bei der Umsetzung der nachhaltigen Chemie durch global abgestimmte Indikatoren.
- Maßnahmen des Chemikalienmanagements sollen durch ein „Gender Impact Assessment“ (GIA) begleitet werden.
- Monitoring der Belastung der Bevölkerung mit Umweltstressoren (z. B. Luft- und Wasserqualität), um ungerechte Belastungen ärmerer Bevölkerungsschichten zu identifizieren und zu beseitigen.

9.6 Forderungen zur Forschungs- und Bildungspolitik

Viele wissenschaftliche Erkenntnisse zur Be- und Überlastung der Erde mit Chemikalien sind Ergebnisse der Forschung der vergangenen Jahrzehnte. Zahlreiche Fragen sind noch offen, viele Zusammenhänge nicht bekannt. Zur weiteren Entwicklung eines vorsorgenden Chemikalienmanagements und einer nachhaltigen Stoffpolitik besteht weiterhin deutlicher Forschungsbedarf, der insbesondere im Rahmen staatlicher Forschungsprogramme berücksichtigt werden sollte. Außerdem ist es notwendig, nachhaltige Chemie und Stoffstrommanagement in Studiengängen sowie bei Aus- und Fortbildung zu verankern.

Forderungen zur Forschung:

- Stärkung der Unabhängigkeit der Forschung.
Die wissenschaftliche Forschung zu stofflichen Risiken darf nicht abhängig von der Finanzierung durch die Industrie sein. Interessenkonflikte sind zu vermeiden.
- Ein Forschungsschwerpunkt, wie sich der Eintrag von Chemikalien in die Umwelt vermeiden und verringern lässt und wie die Transformation der che-

mischen Produktion in Richtung auf eine nachhaltige Stoffpolitik gelingen kann, ist einzurichten.

- Die toxikologische und ökotoxikologische Forschung in Deutschland ist sicherzustellen und auszubauen.
- Umweltforschung und Toxikologie sollten sich weniger auf die Details der Effekte von bekannten, oft bereits von Herstellungs- und/oder Verwendungsverboten betroffenen Schadstoffen fokussieren, sondern sich den Wissenslücken bei den zahlreichen wenig untersuchten Stoffen und den Kombinationswirkungen zuwenden. Persistente Stoffe sollten besondere Beachtung finden.
- Forschungsprogramme braucht es insbesondere zu folgenden elf Handlungsfeldern:
 - i. Operationalisierung der planetaren Leitplanke „Novel Entities“: Entwicklung von Indikatoren zur Belastung mit Chemikalien auf globaler, nationaler und betrieblicher Ebene;
 - ii. Entwicklung von Indikatoren zur Messung der Fortschritte bei der Umsetzung von Maßnahmen beim nationalen und internationalen Chemikalienmanagement;
 - iii. Entwicklung von Kriterien und Prozeduren zur Umsetzung des Vorsorgeprinzips besonders im Hinblick auf persistente Stoffe;
 - iv. Entwicklung von Kriterien und Prozeduren zur Bewertung von mobilen Stoffen im Wasserkreislauf;
 - v. Umwelt- und Gesundheitswirkungen von Nanomaterialien und „Advanced Materials“;
 - vi. Umwelt- und Gesundheitswirkungen endokriner Disruptoren;
 - vii. Indirekte Wirkungen von Stoffen und Stoffgemischen auf Lebensgemeinschaften und geochemische Kreisläufe;
 - viii. Kombinationswirkungen von Stoffgemischen und bei gleichzeitiger oder sequentieller Anwendung verschiedener Stoffe oder Produkte;
 - ix. Entwicklung von Strategien und Maßnahmen zur Reduzierung der Stoffströme und zu einer nachhaltigen Verwendung von Produkten;
 - x. Entwicklung von technischen Möglichkeiten,

Strategien und einer besseren Logistik für das Recycling; sowie

- xi. Entwicklung von Strategien zur Nutzung einer regenerierbaren Rohstoffbasis für die Chemieproduktion.

Wissenslücken und bestehender Forschungsbedarf sind aber keine Rechtfertigung für fehlendes Handeln im Sinne der in Abschnitt 8.1 bis 8.5 genannten Forderungen!

Forderungen zur Bildung:

- Das Fach „Nachhaltige Chemie“ muss in der Ausbildung von Chemiker*innen, Verfahrenstechniker*innen und ähnlichen Studiengängen verankert und entsprechende Lehrmaterialien entwickelt werden.
- Die Themen Lebenszyklusanalyse, Stoffstrommanagement und Kreislaufwirtschaft sind in das Curriculum aller Ingenieurstudiengänge und naturwissenschaftlichen Fächer aufzunehmen.
- Studiengänge und Fortbildungsangebote zur Toxikologie und Ökotoxikologie sind zu konsolidieren und auszubauen.
- Aus- und Weiterbildungsangebote für einen verantwortlichen, nachhaltigen Umgang mit Stoffen und Produkten sind auszubauen.
- Bildungsangebote für Schüler*innen und Bürger*innen zum nachhaltigen Umgang mit Stoffen sollten entwickelt und ausgebaut werden.
- Fachlich fundierte Informationen zur Nachhaltigkeit von Stoffen und Produkten, die von unabhängigen Expert*innen erarbeitet und geprüft werden, sollten bereitgestellt werden.
- Der Zugang zu Informationen zur Nachhaltigkeit von Stoffen und Produkten durch Verbraucher und Verbände sollte verbessert werden. Die Hersteller müssen dazu die entsprechenden Informationen in nachprüfbarer Weise bereitstellen.
- Schulbuchverlage sollten bei Neuauflagen dem Bereich nachhaltige Stoffpolitik mehr Raum geben.
- Verstärkung des Programms BilRes – Ressourcenkompetenz in Aus- und Weiterbildung (vgl. [277]).

10. Literatur

Alle nachfolgend angegebenen Internetquellen wurden zuletzt am 13.04.2023 abgerufen.

- [1] Frieger, H., Griebhammer, R., Zimmermann, M. (1984): Chemiepolitik gegen den „biologischen Bumerang“, Informationsdienst Chemie und Umwelt (ICU), 1984, Nr. 1, S. 2 vom 23.01.1984, Hrsg.: Bundesverband Bürgerinitiativen Umweltschutz (BBU), Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND), Redaktion: Griebhammer, R. (verantw.), Zimmermann, M., Frieger, H.
- [2] BUND (ohne Jahr, veröffentlicht 1984): Chemiepolitik – BUND fordert einen neuen Politikbereich, Bundesarbeitskreis Umweltchemikalien/Toxikologie, BUND-Positionen 10, Bonn
- [3] Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Chemikalienagentur, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission, Amtsblatt der EU vom 30.12.2006, L 396, S. 1, zuletzt geändert durch Verordnung (EU) Nr. 2022/586 vom 08. April 2022, Amtsblatt der EU vom 11.04.2022, L 112, S. 6, konsolidierte Fassung:
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02006R1907-20221217&tid=1677942073398&from=DE>
- [4] BUND (2017): Mikroschadstoff-Strategie, BUND-Standpunkt 11, Berlin,
https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/fluesse/fluesse_mikroschadstoffe_standpunkt.pdf
- [5] Umweltbundesamt (2018): Empfehlungen zur Reduzierung von Mikroverunreinigungen in den Gewässern, Hintergrund, April 2018, Dessau-Roßlau, ISSN 2363-829X
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/uba_pos_mikroverunreinigung_final_bf.pdf
- [6] Carson, R. L. (2021) [englisches Original 1962]: Der stumme Frühling [= Silent Spring], aus dem am. Engl. von Margret Auer, C. H. Beck-Verlag, München, 6. Auflage, ISBN 978-3-406-73177-8
- [7] Schäffer, A., Filser, J., Frische, T., Gessner, M., Köck, W., Kratz, W., Liess, M., Nuppenau, E.-A., Roß-Nickoll, M., Schäfer, R., Scheringer, M. (2018): Der stumme Frühling – Zur Notwendigkeit eines umweltverträglichen Pflanzenschutzes, Diskussion Nr. 16, Nationale Akademie der Wissenschaften – Leopoldina, Halle (Saale), ISBN 978-3-8047-3858-4,
https://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/2018_Diskussionspapier_Pflanzenschutzmittel.pdf
- [8] Frieger, H., Claus, F. (Hrsg.) (1988): Chemie – für wen? Chemiepolitik statt Chemieskandale, Rowohlt, Reinbek, ISBN 3-499-12238-3
- [9] Claus, F., Frieger, H., Gremmler, D. (1990): Es geht auch ohne PVC. Einsatz – Entsorgung – Ersatz. Ein Ratgeber, Rasch und Röhring, Hamburg, ISBN 3-89136-296-X
- [10] Henseling, K. O. (1992): Ein Planet wird vergiftet. Der Siegeszug der Chemie: Geschichte einer Fehlentwicklung, Rowohlt, Reinbek, ISBN 3-499-13013-0
- [11] BUND (1994): Chlorchemie – eine Ära geht zu Ende, Bundesarbeitskreis Umweltchemikalien/Toxikologie, BUND-Positionen 24, Bonn
- [12] Umweltbundesamt (1999): Handlungsfelder und Kriterien für eine vorsorgende nachhaltige Stoffpolitik am Beispiel PVC, Erich Schmidt Verlag, Berlin, ISBN 3-503-04877-4,
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/schadstoffe-in-produkten/problematische-stoffeigenschaften/handlungsfelder-kriterien-fuer-eine-nachhaltige#teil-1-ziele-und-handlungsfelder-einer-dauerhaft-umweltgerechten-stoffpolitik>
- [13] Colburn, T., Dumanoski, D., Peterson Myers, J. (1996): Die bedrohte Zukunft – Gefährden wir unsere Fruchtbarkeit und Überlebensfähigkeit? [= Our Stolen Future – How We Are Threatening Our Fertility, Intelligence and Survival], aus dem Amerikanischen von Susanne Kuhlmann-Krieg, Droemer Knauer, München, 1996, ISBN 3-426-26864-7
- [14] United Nations (2015): Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development, A/RES/70/1,
<https://sdgs.un.org/sites/default/files/publications/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>
- [15] United Nations: Sustainable Development Goals, thematisches Internetportal: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals>

- [16] Bundesregierung (1986): Leitlinien der Bundesregierung zur Umweltvorsorge durch Vermeidung und stufenweise Verminderung von Schadstoffen (Leitlinien Umweltvorsorge), Drucksache 10/6028 des Deutschen Bundestages vom 19.09.1986
<https://dserver.bundestag.de/btd/10/060/1006028.pdf>
- [17] Europäische Kommission (2000): Mitteilung der Kommission zur Anwendbarkeit des Vorsorgeprinzips vom 02.02.2000, KOM (2000) 1 endgültig,
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52000DC0001&from=EN>
- [18] Vereinte Nationen (UN) (1992): Agenda 21, Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung, vom 3. bis 14 Juni 1992, Rio de Janeiro, Brasilien, deutsche Übersetzung durch die UN:
http://www.un.org/Depts/german/conf/agenda21/agenda_21.pdf
- [19] OSPAR (1992): Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordostatlantiks, zuletzt geändert auf dem Meeting der OSPAR Konvention (OSPAR 2007) vom 25. bis 29. Juni 2007 in Ostende, deutsche Übersetzung des BMU als konsolidierte Fassung, Stand 08.07.2014:
https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Gesetze/ospar_convention_2014_bf.pdf
- [20] European Environment Agency (EEA) (2001): Late lessons from early warnings: the precautionary principle 1896–2000, Environmental Issue Report, Nr. 22, Kopenhagen, Dänemark, ISBN 92-9167-323-4,
https://www.eea.europa.eu/publications/environmental_issue_report_2001_22
- [21] European Environment Agency (EEA) (2013): Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation, EEA Report Nr. 1/2013, Kopenhagen, Dänemark, ISBN 978-92-9213-349-8, Zusammenfassung unter: <https://www.eea.europa.eu/publications/late-lessons-2>
- [22] Kühling, W. (2014): Anforderungen an den Schutz der menschlichen Gesundheit und ‚wirksame Umweltvorsorge‘. Der Vorsorgebegriff, in: UVP-Gesellschaft e.V., AG Menschliche Gesundheit (Hrsg.): Leitlinien Schutzgut Menschliche Gesundheit – Für eine wirksame Gesundheitsfolgenabschätzung in Planungsprozessen und Zulassungsverfahren, Hamm (bzw. Paderborn 2. Auflage), S. 23–25, ISBN 978-3-9816755-0-4, die 2. ergänzte und korrigierte Auflage 2020 ist zugänglich über:
https://www.uvp.de/_openaccess/leitlinien/LL_SG_Mensch_2020.pdf
- [23] Kühling, W. (2014): Anforderungen an den Schutz der menschlichen Gesundheit und ‚wirksame Umweltvorsorge‘. Vorsorge als gesetzlicher Auftrag, in: UVP-Gesellschaft e.V., AG Menschliche Gesundheit (Hrsg.): Leitlinien Schutzgut Menschliche Gesundheit – Für eine wirksame Gesundheitsfolgenabschätzung in Planungsprozessen und Zulassungsverfahren, Hamm (bzw. Paderborn 2. Auflage), S. 25–28, ISBN 978-3-9816755-0-4, die 2. ergänzte und korrigierte Auflage 2020 ist zugänglich über:
https://www.uvp.de/_openaccess/leitlinien/LL_SG_Mensch_2020.pdf
- [24] Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union (AEUV), 2016/C 202/01, Amtsblatt der EU vom 07.06.2016, C 202, S. 1, zuletzt geändert durch Beschluss (EU) 2019/1255 des Rates vom 18. Juli 2019, Amtsblatt der EU vom 24.07.2019, L 196, S. 1, konsolidierte Fassung:
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02016ME/TXT-20200301&qid=1678107349649&from=DE>
- [25] Umweltbundesamt (2019): Nachhaltigkeit in der Politik, Internetartikel vom 09.04.2019,
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/nachhaltigkeit-strategien-internationales/nachhaltigkeit-in-der-politik>
- [26] Rat für Nachhaltige Entwicklung: Internetportal: <https://www.nachhaltigkeitsrat.de/>
- [27] Umweltbundesamt (Hrsg.) (1998): Nachhaltiges Deutschland – Wege zu einer dauerhaft umweltgerechten Entwicklung, Erich Schmidt Verlag, Berlin, ISBN 978-3-503-04396-5,
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/nachhaltiges-deutschland-wege-zu-einer-dauerhaft>
- [28] Umweltbundesamt (2002): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland – Die Zukunft dauerhaft umweltgerecht gestalten, Erich Schmidt Verlag, Berlin, ISBN 978-3-503-06650-6
- [29] Bund für Umwelt und Naturschutz & Misereor (Hrsg.) (1996): Zukunftsfähiges Deutschland. Ein Beitrag zu einer global nachhaltigen Entwicklung, Studie des Wuppertal-Instituts für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Birkhäuser-Verlag, Basel/Boston/Berlin, ISBN 3-7643-5278-7

- [30] Bund für Umwelt und Naturschutz, Brot für die Welt & Evangelischer Entwicklungsdienst (Hrsg.) (2008): *Zukunftsfähiges Deutschland in einer globalisierten Welt. Ein Anstoß zur gesellschaftlichen Debatte*, Studie des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie, Fischer Taschenbuch Verlag, Frankfurt a. M., ISBN 978-3-596-17892-6, zugänglich über: <https://epub.wupperinst.org/frontdoor/index/index/docId/3016>
- [31] Anastas, P. T.; Warner, J. C. (1998): *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press, Oxford University Press, New York, reprint edition 25. Mai 2000, ISBN 978-0198506980
- [32] Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. November 2010 über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung) (Neufassung), Amtsblatt der EU vom 17.12.2010, L 334, S. 17, zuletzt geändert durch Berichtigung im Amtsblatt der EU vom 19.06.2012, L 158, S. 25, konsolidierte Fassung: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02010L0075-20110106&qid=167811997603&from=DE>
- [33] Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz Öffentlichkeitsarbeit (Hrsg.) (2022): *Die umweltgerechte Stadt – Umweltgerechtigkeitsatlas Aktualisierung 2021/2022*, Berlin, <https://www.berlin.de/sen/uvk/umwelt/nachhaltigkeit/umweltgerechtigkeit/>
- [34] Heidegger, P., Wiese, K. (2020): *Pushed to the wastelands – Environmental racism against Roma communities in Central and Eastern Europe*, European Environmental Bureau (EEB), Brüssel, Belgien, <https://eeb.org/wp-content/uploads/2020/04/Pushed-to-the-Wastelands.pdf>
- [35] Ituen, I., Tatu Hey, L. (2021): *Der Elefant im Raum – Umweltrassismus in Deutschland Studien, Leerstellen und ihre Relevanz für Umwelt- und Klimagerechtigkeit*, Kurzstudie, Heinrich Böll Stiftung (Hrsg.), Berlin, <https://www.boell.de/sites/default/files/2021-12/E-Paper%20Der%20Elefant%20im%20Raum%20-%20Umweltrassismus%20in%20Deutschland%20Endf.pdf>
- [36] Umweltbundesamt (Hrsg.) (2015): *Umweltgerechtigkeit im städtischen Raum – Entwicklung von praxistauglichen Strategien und Maßnahmen zur Minderung sozial ungleich verteilter Umweltbelastungen*, Umwelt & Gesundheit 01/2015, Dessau-Roßlau, ISSN 1862-4340, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/umwelt_und_gesundheit_01_2015.pdf
- [37] Paritätischer Gesamtverband, Bund für Umwelt und Naturschutz (Hrsg.) (2021): *Eine Zukunftsagenda für die Vielen*, Berlin, https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/bund/bundestagswahl/bund_zukunftsagenda_fuer_die_vielen.pdf
- [38] United Nations Environment Programme (UNEP) (2019): *Global Chemicals Outlook II – From Legacies to Innovative Solutions: Implementing the 2030 Agenda for Sustainable Development – Synthesis Report (2019)* (GCO II Synthesis report), ISBN 978-92-807-3745-5 https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27651/GCOII_synth.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [39] Basler Übereinkommen über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung gefährlicher Abfälle und ihrer Entsorgung vom 22. März 1989, zuletzt geändert durch die 15. Vertragsstaatenkonferenz vom 8. bis 17. Juni 2022, Genf, Schweiz (Basel Convention), thematisches Internetportal: <http://www.basel.int/> übernommen in das EU-Recht durch: Verordnung (EG) Nr. 1013/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Juni 2006 über die Verbringung von Abfällen, Amtsblatt der EU vom 12.07.2006, L 190, S. 1, zuletzt geändert durch Delegierte Verordnung (EU) 2020/2174 der Kommission vom 19. Oktober 2020, Amtsblatt der EU vom 22.12.2020, L 433, S. 11, konsolidierte Fassung: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02006R1013-20210111&qid=1682340417992> (vgl. auch: <https://www.bmuv.de/gesetz/basler-uebereinkommen-ueber-die-kontrolle-der-grenzueberschreitenden-verbringung-gefaehrlicher-abfaelle-und-ihrer-entsorgung>)
- [40] BUND (2021): *Profite ohne Grenzen – Wie Unternehmen Umweltschutz und Menschenrechte weltweit missachten*, Berlin, https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/chemie/Broschuere_Profite_ohne_Grenzen_deutsch.pdf
- [41] Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R. W., Fabry, V. J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P., Foley, J. A. (2009): *A safe operating space for humanity*, Nature, Vol. 461, S. 472 – 475, <https://www.nature.com/articles/461472a>

- [42] Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., Ludwig, C., (2015): The Trajectory of the Anthropocene: The great acceleration, *The Anthropocene Review*, Vol. 2, S. 81 – 98,
Publikation auch verfügbar über:
https://openresearch-repository.anu.edu.au/bitstream/1885/66463/8/01_Steffen_GREAT%20ACCELERATION_2015.pdf
- [43] Leinfelder, R. (2014): Das Anthropozän beginnt doch erst ab 1950? Der Vorschlag der Anthropocene Working Group, Internetartikel vom 14.05.2014,
<https://scilogs.spektrum.de/der-anthropozaeniker/anthropozaen-ab-1950/>
- [44] Schneidewind, U. (2018): Die große Transformation – Eine Einführung in die Kunst des gesellschaftlichen Wandels, S. Fischer Verlag, Frankfurt am Main, ISBN 978-3-596-70259-6
- [45] Crutzen, P., Stoermer, E. F. (2000): The Anthropocene, *IGBP Newsletter* vom 31.10.2000,
<http://www.igbp.net/news/opinion/opinion/haveweenteredtheanthropocene.5.d8b4c3c12bf3be638a8000578.html>
- [46] Waters, C. N., Zalasiewicz, J., Summerhayes, C., Barnosky, A. D., Poirier, C., Galuszka, A., Cearreta, A., Edgeworth, M., Ellis, E. C., Ellis, M., Jeandel, C., Leinfelder, R., McNeill, J. R., Richter, D. B., Steffen, W., Syvitski, J., Vidas, D., Wagemann, M., Williams, M., Zhisheng, A., Grinevald, J., Odada, E., Oreskes, N., Wolfe, A. P. (2016): The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene, *Science*, Vol. 351, Nr. 6269,
<https://www.science.org/doi/10.1126/science.aad2622>
- [47] Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., de Vries, W., de Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B., Sörlin, S. (2015): Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet, *Science*, Vol. 347, Nr. 6223,
<https://science.sciencemag.org/content/347/6223/1259855>
- [48] Stockholm Resilience Centre (2018): Transformation is feasible – How to achieve the Sustainable Development Goals within Planetary Boundaries – A report to the Club of Rome, for its 50 years anniversary 17 October 2018, Stockholm, Schweden,
https://www.stockholmresilience.org/download/18.51d83659166367a9a16353/1539675518425/Report_Achieving%20the%20Sustainable%20Development%20Goals_WEB.pdf
- [49] BUND (2019): Wachstumskritik: Unbegrenztes Wachstum zerstört begrenzte Systeme, Internetartikel vom 13.04.2019,
<http://www.bund-rvso.de/wachstumskritik.html>
- [50] Persson, L., Carney Almroth, B. M., Collins, C. D., Cornell, S., de Wit, C. A., Diamond, M. L., Fantke, P., Hassellöv, M., MacLeod, M., Ryberg, M. W., Jørgensen, P. S., Villarrubia-Gómez, P., Wang, Z., Zwicky Hauschild, M. (2022): Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities, *Environ. Sci. Technol.*, 2022, Vol. 56, S. 1510 – 1521,
<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.1c04158>
- [51] Carney-Almroth, B., Conell, S. E., Diamond, M. L., de Wit, C. A., Fantke, P., Wang, Z. (2022): Understanding and addressing the planetary crisis of chemicals and plastics, *One Earth*, Vol. 5, Nr. 10, S. 1070 – 1074,
<https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.09.012>
- [52] The Chemical Footprint Project (Hrsg.) (2018): The Chemical Footprint Project Survey – 2018 Guidance Document,
https://chemicalfootprint.org/assets/downloads/cfp_guidance_2018_20190102.pdf
thematisches Internetportal: <https://chemicalfootprint.org/>
- [53] BUND (2021): Nachhaltige Stoffpolitik zum Schutz von Klima und Biodiversität, BUND-Hintergrund, Berlin,
https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/chemie/chemie_nachhaltige_stoffpolitik_hintergrund.pdf
- [54] Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) (Hrsg.) (2018): The regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Europe and Central Asia, Bonn, ISBN 978-3-947851-08-9,
Publikation und zusätzliches Material verfügbar über: <https://www.ipbes.net/assessment-reports/eca>
- [55] United Nations (UN) (2002): Report of the World Summit on Sustainable Development (WSSD), Johannesburg, South Africa, 26. August – 4. September 2002, A/CONF.199/20, United Nations publication, Sales No. E.03.II.A.1 and corrigendum, New York, ISBN 92-1-104521-5,
<https://undocs.org/en/A/CONF.199/20>
- [56] Strategic Approach to an International Chemicals Management (SAICM): Internetportal,
<http://www.saicm.org/>
- [57] United Nations Environment Programme (UNEP) (2019): Sound management of chemicals and waste, Resolution 4/8 (UNEP/EA.4/Res.8), angenommen von der United Nations Environmental Assembly am 15. März 2019, Nairobi, Kenia,
<https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/28518/English.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

- [58] Montrealer Protokoll über Stoffe, die zu einem Abbau der Ozonschicht führen, vom 16. September 1987, zuletzt geändert durch die 30. Vertragsstaatenkonferenz vom 5. bis 9. November 2018, Quito, Ecuador (Montreal Protocol), thematisches Internetportal: <https://ozone.unep.org/treaties/montreal-protocol>, übernommen in das EU-Recht durch:
Verordnung (EG) Nr. 1005/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. September 2009 über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen (Neufassung), Amtsblatt der EU vom 31.10.2009, L 286, S. 1, zuletzt geändert durch Verordnung (EU) 2017/605 der Kommission vom 29. März 2017, Amtsblatt der EU vom 30.03.2017, L 84, S. 3, konsolidierte Fassung: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02009R1005-20170419&tid=1678642981037&from=DE>, (vgl. auch: <https://www.bmu.de/themen/luft-laerm-mobilitaet/luft/ozonschicht-ozonloch/montrealer-protokoll-chronologie-der-massnahmen>)
- [59] United Nations Environment Programme (UNEP) (2016): Amendment to the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer (Kigali Amendment), 28. Vertragsstaatenkonferenz, 10. – 15. Oktober 2016, Kigali, Ruanda, <https://ozone.unep.org/treaties/montreal-protocol/amendments/kigali-amendment-2016-amendment-montreal-protocol-agreed>
- [60] United Nations Environment Programme (UNEP) (2015): Global Waste Management Outlook, Wien, Österreich, ISBN 978-92-807-3479-9, https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9672/-Global_Waste_Management_Outlook-2015Global_Waste_Management_Outlook.pdf.pdf?sequence=3&stamp%3BisAllowed=
- [61] Rotterdamer Übereinkommen über das Verfahren der vorherigen Zustimmung nach Inkennzeichnung für bestimmte gefährliche Chemikalien sowie Pestizide im internationalen Handel vom 10. September 1998, zuletzt geändert durch die 9. Vertragsstaatenkonferenz, 29. April – 10. Mai 2019, Genf, Schweiz (Rotterdam Convention), thematisches Internetportal: <http://www.pic.int/>, übernommen in das EU-Recht durch:
Verordnung (EU) Nr. 649/2012 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 04. Juli 2012 über die Aus- und Einfuhr gefährlicher Chemikalien (Neufassung), Amtsblatt der EU vom 27.07.2012, L 201, S. 60, zuletzt geändert durch Delegierte Verordnung (EU) 2022/643 der Kommission vom 10. Februar 2022, Amtsblatt der EU vom 20.04.2022, L 118, S. 14, konsolidierte Fassung: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02012R0649-20220701&from=DE> (vgl. auch: <https://www.bmu.de/themen/gesundheit-chemikalien/chemikalien/rotterdamer-uebereinkommen-pic>)
- [62] Stockholmer Übereinkommen über persistente organische Schadstoffe (Stockholm-Konvention oder POP-Konvention) vom 22. Mai 2001, zuletzt geändert durch die 9. Vertragsstaatenkonferenz vom 29. April bis 10. Mai 2019, Genf, Schweiz (Stockholm Convention), thematisches Internetportal: <http://www.pops.int/>, übernommen in das EU-Recht durch:
Verordnung (EU) Nr. 2019/1021 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 über persistente organische Schadstoffe (Neufassung), Amtsblatt der EU vom 25.06.2019, L 169, S. 45, zuletzt geändert durch Delegierte Verordnung (EU) 2022/2291 der Kommission vom 08. September 2022, Amtsblatt der EU vom 23.11.2022, L 303, S. 19, konsolidierte Fassung: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02019R1021-20221213&tid=1678702512462&from=DE> (vgl. auch: <https://www.bmu.de/themen/gesundheit-chemikalien/chemikalien/pops>)
- [63] Übereinkommen von Minamata über Quecksilber vom 10. Oktober 2013 (Minamata-Übereinkommen, Minamata Convention on Mercury) thematisches Internetportal: <http://www.mercuryconvention.org/>, übernommen in das EU-Recht durch:
Verordnung (EU) 2017/852 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2017 über Quecksilber und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1102/2008, Amtsblatt der EU vom 24.05.2017, L 137, S. 1, zuletzt geändert durch Delegierte Verordnung (EU) 2022/2526 der Kommission vom 23. September 2022, Amtsblatt der EU vom 22.12.2022, L 328, S. 66, konsolidierte Fassung: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02017R0852-20221225&tid=1678646848601&from=DE> (vgl. auch: <https://www.bmu.de/gesetz/gesetz-zum-uebereinkommen-von-minamata-ueber-quecksilber>)

- [64] United Nations Environment Programme (UNEP) (2022): End plastic pollution: towards an international legally binding instrument, Resolution 5/14 (UNEP/EA.5/Res.14), angenommen von der 5. United Nations Environmental Assembly am 2. März 2022, Nairobi, Kenia,
<https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/39764/END%20PLASTIC%20POLLUTION%20-%20TOWARDS%20AN%20INTERNATIONAL%20LEGALLY%20BINDING%20INSTRUMENT%20-%20English.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [65] Steinhäuser, K. G., von Gleich, A., Große Ophoff, M., Körner, W. (2022): The Necessity of a Global Binding Framework for Sustainable Management of Chemicals and Materials – Interactions with Climate and Biodiversity, Sustainable Chemistry, 2022, Vol. 3 (2), S. 205 – 237,
<https://doi.org/10.3390/suschem3020014>
- [66] Andersen, I. (2020): The triple planetary crisis: Forging a new relationship between people and the earth, UNEP, Internetartikel vom 14.07.2020,
<https://www.unep.org/news-and-stories/speech/triple-planetary-crisis-forging-new-relationship-between-people-and-earth>
- [67] United Nations Environment Programme (UNEP) (2022): Science-policy panel to contribute further to the sound management of chemicals and waste and to prevent pollution, Resolution 5/8 (UNEP/EA.5/Res.8), angenommen von der 5. United Nations Environmental Assembly am 2. März 2022, Nairobi, Kenia,
<https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/39944/SCIENCE-POLICY%20PANEL%20TO%20CONTRIBUTE%20FURTHER%20TO%20THE%20SOUND%20MANAGEMENT%20OF%20CHEMICALS%20AND%20WASTE%20AND%20TO%20PREVENT%20POLLUTION.%20English.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [68] Organization for Economic Co-operation and Development (OECD): Chemical safety and biosafety, thematisches Internetportal: <https://www.oecd.org/chemicalsafety/>
- [69] Organization for Economic Co-operation and Development (OECD): Globally Harmonized System (GHS), für nähere Informationen vgl. das thematische Internetportal des Umweltbundesamtes (Stand 16.05.2014): <https://www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/einstufung-kennzeichnung-von-chemikalien/globally-harmonised-system-ghs>
- [70] Europäische Kommission (2020): Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit – Für eine schadstofffreie Umwelt, Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen vom 14.10.2020, COM (2020) 667 final,
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0667&tid=1682504977252>
- [71] Deutsche Naturschutzring (DNR) (2018): REACH-Review – Ergebnisse und Bewertung, Steckbrief Juli 2018,
https://www.dnr.de/fileadmin/Publikationen/Steckbriefe_Factsheets/18_07_26_EUK_Steckbrief_REACH_Review_Aktualisiert.pdf
- [72] Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) (2018): REACH Compliance Workshop at the BfR, BfR Communication Nr. 030/2018 vom 25. September 2018,
<https://www.bfr.bund.de/cm/349/reach-compliance-workshop-at-the-bfr.pdf>
- [73] Umweltbundesamt (Hrsg.) (2015): REACH Compliance: Data Availability of REACH Registration – Part 1: Screening of chemicals > 1000 tpa, UBA-Texte 43/2015, Dessau-Roßlau, ISSN 1862-4804,
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_43_2015_reach_compliance_data_availability_of_reach_registrations_0.pdf
- [74] Umweltbundesamt (Hrsg.) (2018): REACH Compliance: Data availability in REACH registrations Part 2: Evaluation of data waiving and adaptations for chemicals ≥ 1000 tpa, Final Report, UBA-Texte 64/2018, Dessau-Roßlau, ISSN 1862-4804,
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-10-23_texte_64-2018_reach-compliance-data_ii.pdf
- [75] BUND (2019): Hintergrund und Erläuterungen zur BUND-Recherche: Großunternehmen verstoßen gegen EU-Chemikalienrecht und gefährden damit Mensch und Umwelt, BUND-Recherche, 20.05.2019, Berlin,
<https://www.bund.net/service/presse/pressemitteilungen/detail/news/bund-recherche-deckt-auf-grossunternehmen-verstossen-gegen-eu-chemikalienrecht-und-gefahrden-damit-me/>

- [76] Europäische Kommission: Europäischer Grüner Deal – Erster klimaneutraler Kontinent werden, thematisches Internetportal: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de
- [77] Europäische Kommission (2021): Auf dem Weg zu einem gesunden Planeten für alle – EU-Aktionsplan: „Schadstofffreiheit von Luft, Wasser und Boden“, Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen vom 12.05.2021, COM (2021) 400 final, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0400&tid=1682505237401>
- [78] Ricardo (2021): Economic Analysis of the Impacts of the Chemicals Strategy for Sustainability – Phase 1 Report, Report for the European Chemicals Industry Council (Cefic), <https://cefic.org/app/uploads/2021/12/Economic-Analysis-of-the-Impacts-of-the-Chemicals-Strategy-for-Sustainability-Phase-1.pdf>
- [79] European Environmental Bureau (EEB) (2022): EEB Key messages to the Commission for the REACH Revision, April 2022, https://eeb.org/wp-content/uploads/2022/05/EEB-Key-Messages_REACH-revision.pdf
- [80] European Environmental Bureau (EEB) (2022): The Need for Speed – Why takes it the EU a decade to control harmful chemicals and how to secure more rapid protections, Brüssel, Belgien, https://eeb.org/wp-content/uploads/2022/07/Need-for-speed_Online_Final.pdf
- [81] BUND (2021): Fluorchemikalien: langlebig, gefährlich, vermeidbar, BUND-Hintergrund, Berlin, https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/chemie/chemie_fluorchemikalien_hintergrund.pdf
- [82] Fenner, K., Scheringer, M., (2021): The Need for Chemical Simplification As a Logical Consequence of Ever-Increasing Chemical Pollution, Environ. Sci. Technol., 2021, Vol. 55, Nr. 21, S. 14470 – 14472, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.1c04903>
- [83] Cousins, I. T., Goldenman, G., Herzke, D., Lohmann, R., Miller, M., Ng, C. A., Patton, S., Scheringer, M., Trier, X., Vierke, L., Wang, Z., DeWitt, J. C. (2019): The concept of essential use for determining when uses of PFASs can be phased out, Environ. Sci.: Processes Impacts, 2019, Vol. 21, S. 1803 – 1815, <https://doi.org/10.1039/C9EM00163H>
- [84] European Commission (2020): Identification of PRRs, Background Document for the CASG-polymers meeting 16 Dec 2020, CASG-Polymers/04/2020, 08.12.2020, <https://circabc.europa.eu/ui/group/a0b483a2-4c05-4058-addf-2a4de71b9a98/library/6381dbc9-2e88-4034-a86d-f5fd20f9ac70/details>
- [85] Almroth, B. C. und weitere 18 Wissenschaftler*innen (2021): Statement on the registration of polymers under REACH, April 2021, https://eeb.org/wp-content/uploads/2021/04/Statement-on-the-registration-of-polymers-under-REACH-_v250421.pdf
- [86] Führ, M., Schenten, J., Kleihauer, S. (2018): Integrating „Green Chemistry“ into the Regulatory Framework of European Chemicals Policy, Studie für das österreichische Ministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Die Studie wurde 2019 abgeschlossen und ist auch verfügbar über: https://www.sofia-darmstadt.de/fileadmin/Dokumente/Studien/2019/sofia_Studien_2019-02_Fuehr.pdf
- [87] Richtlinie 2008/98/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien, Amtsblatt der EU vom 22.11.2008, L 312, S. 3, zuletzt geändert durch Richtlinie (EU) 2018/851 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018, Amtsblatt der EU vom 14.06.2018, L 150, S. 109, konsolidierte Fassung: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008L0098-20180705&tid=1678808214002&from=DE> (vgl. auch <https://www.bmuv.de/themen/wasser-ressourcen-abfall/kreislaufwirtschaft/abfallpolitik/abfallvermeidungsprogramm/die-abfallrahmenrichtlinie>)
- [88] European Chemicals Agency (ECHA): SCIP-Datenbank, thematisches Internetportal: <https://echa.europa.eu/de/scip>
- [89] European Chemicals Agency (ECHA) (2022): First ex-post Evaluation of SCIP, Final report – May 2022, FWC ECHA/2018/452 SC02, PwC EU Services EESV, https://echa.europa.eu/documents/10162/6205986/scip_evaluation_report_en.pdf/2c677149-e876-f2b1-0ba7-3daca0a419ef?t=1665556373094

- [90] BDE, BDSV, BVSE, VDM (2020): Die SCIP-Datenbank und die Recycling- und Entsorgungswirtschaft: Positionierungspapier der deutschen Kreislaufwirtschaft vom 01. September 2020, https://www.bde.de/documents/281/SCIP_Positionierung_der_KLW_01092020.pdf
- [91] AskREACH: thematisches Internetportal, <https://www.askreach.eu/>
- [92] BUND: Giftfrei einkaufen mit der ToxFox-App, thematisches Internetportal: <https://www.bund.net/themen/chemie/toxfox/>
- [93] Umweltbundesamt: Scan4Chem Smartphone-App und Web-App, thematisches Internetportal (Stand 20.04.2022): <https://www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/chemikalien-reach/reach-fuer-verbraucherinnen-verbraucher/scan4chem-smartphone-app-web-app#erklarfilm-smartphone-app-scan4chem>
- [94] AskREACH (2022): LIFE AskREACH letter to European Commission – Experience from the LIFE AskREACH project (LIFE16GIE/DE/738) indicates urgent need for the Commission to advance Article 33 of REACH, <https://www.askreach.eu/askreach-letter-to-european-comission/>
- [95] Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen (CLP-Verordnung), zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006, Amtsblatt der EU vom 31.12.2008, L 353, S. 1, zuletzt geändert durch Berichtigung, Amtsblatt der EU vom 27.01.2022, L 18, S. 131, konsolidierte Fassung: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008R1272-20221217&tid=1678811634588&from=DE>
- [96] Europäische Kommission (2022): Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, COM (2022) 748 final vom 19.12.2022, 2022/0432 (COD), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022PC0748&tid=1678812747953&from=DE>
- [97] Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln und zur Aufhebung der Richtlinien 79/117/EWG und 91/414/EWG des Rates, Amtsblatt der EU vom 24.11.2009, L 309, S. 1, zuletzt geändert durch Verordnung (EU) 2022/1438 vom 31. August 2022, Amtsblatt der EU vom 01.09.2022, L 227, S. 2, konsolidierte Fassung: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02009R1107-20221121&tid=1678811975529&from=DE>
- [98] Verordnung (EU) Nr. 528/2012 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Mai 2012 über die Bereitstellung auf dem Markt und die Verwendung von Biozidprodukten, Amtsblatt der EU vom 27.06.2012, L 167, S. 1, zuletzt geändert durch Delegierte Verordnung (EU) 2021/807 der Kommission vom 10. März 2021, Amtsblatt der EU vom 21.05.2021, L 180, S. 81, konsolidierte Fassung: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02012R0528-20220415&tid=1678812256535&from=DE>
- [99] Richtlinie 2001/83/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. November 2001 zur Schaffung eines Gemeinschaftskodexes für Humanarzneimittel, Amtsblatt der EU vom 28.11.2001, L 311, S. 67, zuletzt geändert durch Richtlinie (EU) 2022/642 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. April 2022, Amtsblatt der EU vom 20.04.2022, L 118, S. 4, konsolidierte Fassung: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02001L0083-20220101&tid=1678813335506&from=DE>
- [100] Verordnung (EU) 2019/6 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über Tierarzneimittel und zur Aufhebung der Richtlinie 2001/82/EG, Amtsblatt der EU vom 07.01.2019, L 004, S. 43, zuletzt geändert durch Delegierte Verordnung (EU) 2023/183 der Kommission vom 23. November 2022, Amtsblatt der EU vom 30.01.2023, L 26, S. 7, konsolidierte Fassung: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02019R0006-20220128&tid=1678813748932&from=DE>
- [101] Heinrich Böll Stiftung, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, PAN Germany (Pestizid Aktions-Netzwerk), Le Monde Diplomatique (2022): Pestizidatlas – Daten und Fakten zu Giften in der Landwirtschaft 2022, ISBN 978-3-86928-242-8, https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/umweltgifte/umweltgifte_pestizidatlas_2022.pdf

- [102] BUND (2022): Zukunftsfähige Landwirtschaft – umweltverträglich, tiergerecht und sozial, Bundesarbeitskreis Landwirtschaft, BUND-Positionen 73, Berlin,
https://www.bund-nrw.de/fileadmin/nrw/dokumente/Landwirtschaft/bund_positionen_Landwirtschaft_2022.pdf
- [103] BUND (2020): Arzneimittel in der Umwelt, BUND-Positionen 70, Berlin,
https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/bund/position/position_arzneimittel.pdf
- [104] Cousins, I. T., Ng, C. A., Wang, Z., Scheringer, M. (2019): Why is high persistence alone a major cause of concern?, *Environ. Sci.: Processes Impacts*, Vol. 21, S. 781 – 792,
<https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2019/em/c8em00515j>
- [105] Cousins, I. T., DeWitt, J. C., Glüge, J., Goldenman, G., Herzke, D., Lohmann, R., Ng, C. A., Scheringer, M., Wang, Z. (2020): The high persistence of PFAS is sufficient for their management as a chemical class, *Environ. Sci.: Processes Impacts*, Vol. 22, S. 2307 – 2312,
<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/em/d0em00355g>
- [106] Scheringer, M. (1996): Persistence and Spatial Range as Endpoints of an Exposure-Based Assessment of Organic Chemicals, *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 30, S. 1652 – 1659,
<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es9506418>
- [107] Brunn H., Arnold, G., Körner, W., Steinhäuser, K. G., Valentin, I. (2023): PFAS: forever chemicals – persistent, bioaccumulative and mobile – Reviewing the status and the need for their phase out and remediation of contaminated sites, *Environ. Sci. Eur.*, Vol. 35:20,
<https://en.euro.ingentaopen.com/counter/pdf/10.1186/s12302-023-00721-8.pdf>
- [108] European Chemicals Agency (ECHA) (2023): Registry of restriction intentions until outcome – Per- and polyfluorinated substances (PFAS), Internetartikel vom 08.02.2023
<https://echa.europa.eu/en/registry-of-restriction-intentions/-/dislist/details/0b0236e18663449b>
- [109] Steinhäuser, K. G., Valentin, V. (2022, 2023): PFAS – „Ewige“ Chemikalien und kein Ende,
 Teil 1: Verwendungen, Eigenschaften, Umweltaspekte, *Umwelt & Gesundheit*, 2022, Nr. 4, S. 114 – 117,
https://allergieverein-europa.de/wp-content/uploads/2023/03/224-114_7-SP-PFAS-Teil-1-aktuell.pdf
 und
 Teil 2: Toxikologie, Humanexposition, Forderungen, *Umwelt & Gesundheit*, 2023, Nr. 1, S. 7 – 12
http://allergieverein-europa.de/wp-content/uploads/2023/03/231-07_12-SP-PFAS-2.pdf
- [110] European Chemicals Agency (ECHA) (2019): Annex XV Restriction Report, Proposal for a Restriction: intentionally added microplastics, Version Number 1.2 vom 22. August 2019,
<https://echa.europa.eu/documents/10162/05bd96e3-b969-0a7c-c6d0-441182893720>
- [111] European Commission (2022): Commission Regulation (EU) .../... of XXX amending Annex XVII to Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) as regards synthetic polymer microparticles, D083921/01 (Draft Implementing Act)
<https://ec.europa.eu/transparency/comitology-register/screen/documents/083921/1/consult?lang=en>
- [112] Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW), Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG), Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU RLP) (Hrsg.) (2018): Mikroplastik in Binnengewässern Süd- und Westdeutschlands, Bundesländerübergreifende Untersuchungen in Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz, Karlsruhe, Augsburg, Wiesbaden – Teil 1: Kunststoffpartikel in der oberflächennahen Wasserphase, Karlsruhe, Augsburg, Wiesbaden, Recklinghausen, Mainz, 2018,
https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/6_sonderreihen/L%C3%A4nderbericht_Mikroplastik_in_Binnengew%C3%A4ssern.pdf
- [113] Aves, A. R., Revell, L. E., Gaw, S., Ruffell, H., Schuddeboom, A., Wotherspoon, N. E., LaRue, M., McDonald, A. J. (2022): First evidence of microplastics in Antarctic snow, *The Cryosphere*, Vol. 16, S. 2127 – 2145,
<https://doi.org/10.5194/tc-16-2127-2022>
- [114] Piehl, S., Leibner, A., Löder, M. G. J., Dris, R., Bogner, C., Laforsch, C. (2018): Identification and quantification of macro- and microplastics on an agricultural farmland, *Scientific Reports*, Vol. 8, Nr. 17950,
<https://www.nature.com/articles/s41598-018-36172-y>
- [115] Schmidt, C., Krauth, T., Wagner, S. (2017): Export of Plastic Debris by Rivers into the Sea, *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 51, Nr. 21, S. 12246 – 12253
<https://doi.org/10.1021/acs.est.7b02368>

- [116] Henkel, C., Hüffer, T., Hofmann, T. (2022): Polyvinyl Chloride Microplastics Leach Phthalates into the Aquatic Environment over Decades, *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 56, S. 14507 – 14516, <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c05108>
- [117] Hollmann, P. C. H., Bouwmeester, H., Peters, R. J. B. (2013): Microplastics in aquatic food chain: sources, measurement, occurrence and potential health risks, RIKILT report 2013.003, RIKILT Wageningen UR (University & Research centre), Wageningen, Niederlande, Juni 2013, <http://edepot.wur.nl/260490>
- [118] Evangelidou, N., Grythe, H., Klimont, Z., Heyes, C., Eckhardt, S., Lopez-Aparicio, S., Stohl, A. (2020): Atmospheric transport is a major pathway of microplastics to remote regions, *Nature Communications*, Vol. 11, Nr. 3381 <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17201-9>
- [119] McVeigh, K. (2022): Tyre dust: the 'stealth pollutant' that's becoming a huge threat to ocean life, *The Guardian*, Internet-artikel vom 25.07.2022, <https://www.theguardian.com/environment/2022/jul/25/tyre-dust-the-stealth-pollutant-becoming-a-huge-threat-to-ocean-life>
- [120] Castan, S., Sherman, A., Peng, R., Zumstein, M. T., Wanek, W., Hüffer, T., Hofmann, T. (2023): Uptake, Metabolism, and Accumulation of Tire Wear Particle-Derived Compounds in Lettuce, *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 57, S. 168 – 178, <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.2c05660>
- [121] Tian, Z., Zhao, H., Peter, K. T., Gonzalez, M., Wetzel, J., Wu, C., Hu, X., Prat, J., Mudrock, E., Hettlinger, R., Cortina, A. E., Biswas, R. G., Kock, F. V. C., Soong, R., Jenne, A., Du, B., Hou, F., He, H., Lundeen, R., Gilbreath, A., Sutton, R., Scholz, N. L., Davis, J. W., Dodd, M. C., Simpson, A., McIntyre, J. K., Kolodziej, E. P. (2021): A ubiquitous tire rubber-derived chemical induces acute mortality in coho salmon, *Science*, Vol. 371, Nr. 6525, S. 185 189, <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abd6951>
- [122] Tian, Z., Gonzalez, M., Rideout, C. A., Zhao, H. N., Hu, X., Wetzel, J., Mudrock, E., James, C. A., McIntyre, J. K., Kolodziej, E. P. (2022): 6PPD-Quinone: Revised Toxicity Assessment and Quantification with a Commercial Standard, *Environ. Sci. Technol. Lett.*, Vol. 9, Nr. 2, S. 140 – 146, <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.1c00910>
- [123] Dalberg Advisors, University of Newcastle (2019): No Plastic in Nature: Assessing Plastic Ingestion from Nature to People, Studie im Auftrag des World Wide Fund For Nature (WWF, veröffentlicht vom WWF, Juni 2019, ISBN 978-2-940529-95-7, <https://www.wwfse.cdn.triggerfish.cloud/uploads/2019/06/no-plastic-in-nature-1.pdf>
vgl. auch: <https://www.newcastle.edu.au/newsroom/featured/plastic-ingestion-by-people-could-be-equating-to-a-credit-card-a-week>
- [124] Schwabl, P., Köppel, S., Königshofer, P., Bucsecs, T., Trauner, M., Reiberberger, T., Liebmann, B. (2019): Detection of Various Microplastic in Human Stool – A Prospective Study, *Ann. Intern. Med.*, Vol. 171, Nr. 7, S. 453 – 457, <https://www.acpjournals.org/doi/10.7326/M19-0618>
präsentiert im Rahmen der United European Gastroenterology (UEG) Week 2018 in Wien am 24. Oktober 2018, vgl. auch: https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/aktuelles/2018/ueg_week_2018_philipp_schwabl_microplastics.pdf, <https://www.meduniwien.ac.at/web/ueber-uns/news/detailseite/2018/news-im-oktober-2018/erstmal-mikroplastik-im-menschen-nachgewiesen/>
- [125] Yan, Z., Liu, Y., Zhang, T., Zhang, F., Ren, H., Zhang, Y. (2022): Analysis of Microplastics in Human Feces Reveals a Correlation between Fecal Microplastics and Inflammatory Bowel Disease Status, *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 56, Nr. 1, S. 414 – 421 <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03924>
- [126] Ragusa, A., Notarstefano, V., Svelato, A., Belloni, A., Gioacchini, G., Blondeel, C., Zucchelli, E., De Luca, C., D'Avino, S., Gulotta, A., Carnevali, O., Giorgini, E. (2022): Raman Microspectroscopy Detection and Characterisation of Microplastics in Human Breastmilk, *Polymers*, 2022, Vol. 14, Nr. 2700, <https://doi.org/10.3390/polym14132700>
- [127] Zhang, J., Wang, L., Trasande, L., Kannan, K. (2021): Occurrence of Polyethylene Terephthalate and Polycarbonate Microplastics in Infant and Adult Feces, *Environ. Sci. Technol. Lett.*, Vol. 8, Nr. 11, S. 989 – 994 <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.1c00559>
- [128] Liu, Y., Richardson, E. S., Derocher, A. E., Lunn, N. J., Lehmler, H.-J., Li, X., Zhang, Y., Cui, J. Y., Cheng, L., Martin, J. W. (2018): Hundreds of Unrecognized Halogenated Contaminants Discovered in Polar Bear Serum, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2018, Vol. 130, Nr. 50, S. 16639 – 16644, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/anie.201809906>

- [129] Davies, E. (2019): Echa MSC identifies GenX chemicals as SVHCs for mobility and persistence – Environmental mobility used for equivalent concern for first time, Chemical Watch, Internetartikel vom 04.07.2019, <https://chemicalwatch.com/79441/echa-msc-identifies-genx-chemicals-as-svhcs-for-mobility-and-persistence>
- [130] Umweltbundesamt (2021): Kriterien zur Identifizierung von PMT/vPvM-Stoffen, thematisches Internetportal (Stand 01.01.2021): <https://www.umweltbundesamt.de/die-pmt-vpvm-kriterien>
- [131] Umweltbundesamt (2021): Mobile Chemikalien, thematisches Internetportal (Stand 18.03.2021): <https://www.umweltbundesamt.de/mobile-chemikalien>
- [132] Keeling, R. F., Körtzinger, A., Gruber, N. (2010): Ocean Deoxygenation in a Warming World, *Annu. Rev. Marine Sci.*, Vol. 2, S. 199 – 229, <https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163855>
- [133] Umweltbundesamt (Hrsg.) (2022): INI 2021 – 8th Global Nitrogen Conference, Final Report, Dokumentation 01/2022, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2022-09-19_doku_01-2022_ini2021.pdf
- [134] United Nations Environment Programme (UNEP) (2022): Sustainable nitrogen management, Resolution 5/2 (UNEP/EA.5/Res.2), angenommen von der 5. United Nations Environmental Assembly am 2. März 2022, Nairobi, Kenia, <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/39816/SUSTAINABLE%20NITROGEN%20MANAGEMENT.%20Eng-lish.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [135] Gore A. C., Chappell, V. A., Fenton, S. E., Flaws, J. A., Nadal, A., Prins, G. S., Toppari, J., Zoeller, R. T. (2015): EDC-2: The Endocrine Society's Second Scientific Statement on Endocrine-Disrupting Chemicals, *Endocrine Rev.*, Vol. 36, Nr. 6, S. E1 – E150 <https://academic.oup.com/edrv/article/36/6/E1/2354691>
- [136] Vandenberg, L. N. (2013): Non-monotonic dose responses in studies of endocrine disrupting chemicals: Bisphenol A as a case study, *Dose-Response*, Vol. 12, Nr. 2, S. 259 – 276, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24910584>
- [137] Matthiesen, P., Ankley, G. T., Biever, R. C., Bjerregaard, P., Borgert, C., Brugger, K., Blankinship, A., Chambers, J., Coady, K. K., Constantine, L., Dang, Z., Denslow, N. D., Dreier, D. A., Dungey, S., Gray, L. E., Gross, M., Guiney, P. D., Hecker, M., Holbech, H., Iguchi, T., Kadlec, S., Karouna-Renier, N. K., Katsiadaki, I., Kawashima, Y., Kloas, W., Krueger, H., Kumar, A., Lagadic, L., Leopold, A., Levine, S. L., Maack, G., Marty, S., Meador, J., Mihaich, E., Odum, J., Ortego, L., Parrott, J., Pickford, D., Roberts, M., Schaefer, C., Schwarz, T., Solomon, K., Verslycke, T., Weltje, L., Wheeler, J. R., Williams, M., Wolf, J. C., Yamazaki, K. (2016): Recommended Approaches to the Scientific Evaluation of Ecotoxicological Hazards and Risks of Endocrine-Active Substances, *Integr. Environ. Assess. Manag.*, Vol. 13, Nr. 2, S. 267 – 279, <https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ieam.1885>
- [138] European Chemicals Agency (ECHA) (2018): Harmonised enforcement project on restrictions, Forum Ref-4 Project Report, Version 1.0, ISBN 978-92-9020-375-9, https://echa.europa.eu/documents/10162/13577/ref_4_report_en.pdf/b53f5cd9-64a4-c120-1953-e9e176b9c282
- [139] World Health Organization (WHO), United Nations Environment Programme (UNEP) (Hrsg.) (2013): State of the Science of Endocrine Disrupting Chemicals – 2012 – An assessment of the state of the science of endocrine disruptors prepared by a group of experts for the United Nations Environment Programme and World Health Organization., ISBN 978-92-807-3274-0 (UNEP) and ISBN 978 92 4 150503 1 (WHO), <https://www.who.int/publications/i/item/9789241505031>
- [140] Horel, S., Corporate Europe Observatory (CEO) (2015): A toxic affair – How the chemical lobby blocked action on hormone disrupting chemicals, Paris (Frankreich), Brüssel (Belgien), https://corporateeurope.org/sites/default/files/toxic_lobby_edc.pdf
- [141] European Parliament, PETI Committee (Hrsg.) (2019): Endocrine Disruptors – From Scientific Evidence to Human Health Protection, Study requested by the PETI committee, Updated Version, Mai 2019, PE 608.866, ISBN 978-92-846-4671-5, [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2019/608866/IPOL_STU\(2019\)608866_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2019/608866/IPOL_STU(2019)608866_EN.pdf)
- [142] Delegierte Verordnung (EU) 2017/2100 der Kommission vom 4. September 2017 zur Festlegung wissenschaftlicher Kriterien für die Bestimmung endokrinschädigender Eigenschaften gemäß der Verordnung (EU) Nr. 528/2012 des Europäischen Parlaments und des Rates, Amtsblatt der EU vom 17.11.2017, L 301, S. 1, zuletzt geändert durch Berichtigung, Amtsblatt der EU vom 17.05.2018, L 122, S. 36, konsolidierte Fassung: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02017R2100-20171117&tid=1679321807942&from=DE>
Es handelt sich hierbei um eine Änderung der EU-Biozid-Verordnung, deren konsolidierte Fassung unter [98] angegeben ist.

- [143] Verordnung (EU) 2018/605 der Kommission vom 19. April 2018 zur Änderung von Anhang II der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 durch die Festlegung wissenschaftlicher Kriterien für die Bestimmung endokrinschädlicher Eigenschaften, Amtsblatt der EU vom 20.04.2018, L 101, S. 33, zuletzt geändert durch Berichtigung, Amtsblatt der EU vom 02.05.2018, L 111, S. 10,
konsolidierte Fassung: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02018R0605-20180420&tid=1679322432107&from=DE>
Es handelt sich hierbei um eine Änderung der EU-Pestizid-Verordnung, deren konsolidierte Fassung unter [97] angegeben ist.
- [144] Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) (2018): OECD Work related to endocrine disruptors, thematisches Internetportal: <https://www.oecd.org/env/ehs/testing/oecdworkrelatedtoendocrinedisrupters.htm>
- [145] European Commission (2022): Commission Delegated Regulation (EU) .../... of 19.12.2022 amending Regulation (EC) No 1272/2008 as regards hazard classes and criteria for the classification, labelling and packaging of substances and mixtures, C(2022) 9383 final,
<https://environment.ec.europa.eu/system/files/2022-12/Delegated%20Regulation%20amending%20Regulation%2012722008.pdf>
- [146] Ministère de la Transition écologique et Solidaire, Ministère de la Solidarités et de la Santé (2023): Second national strategy on endocrine disruptors – 2019 – 2022 action plan,
<https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/SNPE%202%20english%20-%20Action%20plan.pdf>
- [147] Robert Koch Institut (RKI) (Hrsg.) (2016): Bericht zum Krebsgeschehen in Deutschland 2016, Berlin, ISBN 978-3-89606-279-6,
<https://edoc.rki.de/bitstream/handle/176904/3264/28oaKVmif0wDk.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [148] Verordnung (EU) 2018/1881 der Kommission vom 3. Dezember 2018 zur Änderung der Anhänge I, III, VI, VII, VIII, IX, X, XI und XII der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) zwecks Berücksichtigung der Nanoformen von Stoffen, Amtsblatt der EU vom 04.12.2018, L 308, S. 1,
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R1881&tid=1679395162015&from=DE>
Es handelt sich hierbei um eine Änderung der REACH-Verordnung, deren konsolidierte Fassung unter [3] angegeben ist.
- [149] Europäische Kommission (2011): Empfehlung der Kommission (2011/696/EU) vom 18. Oktober 2011 zur Definition von Nanomaterialien, Amtsblatt der EU vom 20.10.2011, L 275, S. 38,
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011H0696&tid=1679394365168&from=DE>
- [150] Steinhäuser, K. G., Sayre, P. G. (2017): Reliability of methods and data for regulatory assessment of nanomaterial risks, *NanoImpact*, Vol. 7, S. 66 – 74,
<https://doi.org/10.1016/j.impact.2017.06.001>
- [151] Giusti, A., Atluri, R., Tsekovska, R., Gajewicz, A., Apostolova, M. D., Battistelli, C. I., Bleeker, E. A. J., Bossa, C., Bouillard, J., Dusinska, M., Gómez-Fernández, P., Grafström, R., Gromelski, M., Handzhiyski, Y., Jacobsen, N. R., Jantunen, P., Jensen, K. A., Mech, A., Navas, J. M., Nymark, P., Oomen, A. G., Puzyn, T., Rasmussen, K., Riebeling, C., Rodriguez-Llopis, I., Sabella, S., Sintes, J. R., Suarez-Merino, B., Tanasescu, S., Wallin, H., Haase, A. (2019): Nanomaterial grouping: Existing approaches and future recommendations, *NanoImpact*, Vol. 16, Nr. 100182,
<https://doi.org/10.1016/j.impact.2019.100182>
- [152] Verordnung (EU) 2020/878 der Kommission vom 18. Juni 2020 zur Änderung des Anhangs II der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), Amtsblatt der EU vom 26.06.2020, L 203, S. 28,
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0878&tid=1679397540297&from=DE>
Die konsolidierte Fassung der REACH-Verordnung ist unter [3] angegeben.
- [153] Council of the European Union (2022): Annex to the Commission Regulation amending, for the purpose of its adaptation to technical progress, the Annex to Regulation (EC) No 440/2008 laying down test methods pursuant to Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council on the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), Nr. 13037/22, ADD 1 vom 30. September 2022,
<https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-13037-2022-ADD-1/en/pdf>
- [154] Verordnung (EG) Nr. 440/2008 der Kommission vom 30. Mai 2008 zur Festlegung von Prüfmethoden gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), Amtsblatt der EU vom 31.05.2008, L 142, S. 1, zuletzt geändert durch Verordnung (EU) 2019/1390 der Kommission vom 31. Juli 2019, Amtsblatt der EU vom 26.09.2019, L 247, S. 1,
konsolidierte Fassung: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008R0440-20191016&tid=1681394625585&from=DE>

- [155] Umweltbundesamt (Hrsg.) (2020): Advanced materials: Overview of the field and screening criteria for relevance assessment, Texte 132/2020, Dessau-Roßlau, ISSN 1862-4804, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-06_texte_132-2020_overview-advanced-materials_0.pdf
- [156] Broßell, D., Meyer-Plath, A., Kämpf, K., Plitzko, S., Wohlleben, W., Stahlmecke, B., Wiemann, W., Haase, A. (2022): A human risk banding scheme for high aspect-ratio materials, in: Wagterveld, R. M., Marijnissen, J. C. M., Gradon, L., Moskal, A. (Hrsg.), Synthetic Nano- and Microfibers, Wetsus, European Centre of Excellence for Sustainable Water Technology, Leeuwarden, 2022, ISBN 9781716632426, <https://www.lulu.com/shop/r-martijn-wagterveld-and-arkadiusz-moskal-and-leon-gradon-and-jan-cm-marijnissen/synthetic-nano-and-microfibers/paperback/product-ejjrg2.html?q=Synthetic+Nano-+and+Microfibers&page=1&pageSize=4> S. 55 – 79, Projekt-Nr. F 2480
- [157] Altenburger, R., Scholze, M., Busch, W., Escher, B. I., Jakobs, G., Krauss, M., Krüger, J., Neale, P. A., Ait-Aissa, S., Almeida, A. C., Seiler, T.-B., Brion, F., Hilscherová, K., Hollert, H., Novák, J., Schlichting, R., Serra, H., Shao, Y., Tindall, A., Tollefsen, K. E., Umbuzeiro, G., Williams, T. D., Kortenkamp, A. (2018): Mixture effects in samples of multiple contaminants – An interlaboratory study with manifold bioassays, Environ. Int., Vol. 114, S. 95 – 106, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412017321608/pdf?md5=463b1d99566cfa1f4d78631e55a98fd&pid=1-s2.0-S0160412017321608-main.pdf>
- [158] Kortenkamp, A., Backhaus, T., Faust, M. (2009): State of the Art Report on Mixture Toxicity, Report for the Directorate General for the Environment of the European Commission, Final Report Nr. 070307/2007/485103/ETU/D.1, https://ec.europa.eu/environment/chemicals/effects/pdf/report_mixture_toxicity.pdf
- [159] Europäische Kommission (2012): Kombinationswirkungen von Chemikalien – Chemische Mischungen, Mitteilung der Kommission an den Rat vom 31.05.2012, COM(2012) 252 final <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52012DC0252>
- [160] European Food Safety Authority (EFSA) Scientific Committee (2019): Guidance on harmonised methodologies for human health, animal health and ecological risk assessment of combined exposure to multiple chemicals, EFSA Journal, Vol 17 (3), Nr. 5634, <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2019.5634>
- [161] World Wide Fund For Nature (WWF) (2004): European parliamentarians contaminated by 76 chemicals, Internetartikel vom 21.04.2004 http://wwf.panda.org/wwf_news/press_releases/?12622/European-parliamentarians-contaminated-by-76-chemicals
- [162] Kühling, W. (2012): Mehrfachbelastungen durch verschiedenartige Umwelteinwirkungen, in: Bolte, G., Bunge, C., Hornberg, C., Köckler, H., Mielck, A. (Hrsg.) (2012): Umweltgerechtigkeit – Chancengleichheit bei Umwelt und Gesundheit: Konzepte, Datenlage und Handlungsperspektive, Huber-Verlag, Bern, Schweiz, ISBN 978-3-456-85049-8, S. 135 – 150
- [163] Deutscher Bundestag (1998): Konzept Nachhaltigkeit – Vom Leitbild zur Umsetzung, Abschlussbericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt – Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltigen zukunftsverträglichen Entwicklung“ des 13. Bundestages vom 26.06.1998, Drucksache 13/11200, <http://dipbt.bundestag.de/doc/btd/13/112/1311200.pdf>
- [164] Degreif, S., Buchert, M. (2017): Rohstoffwende Deutschland 2049 – Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft, Müll und Abfall, Vol. 49, Nr. 11, S. 544–550, <https://doi.org/10.37307/j.1863-9763.2017.11.03>
Die Aussagen der Veröffentlichung sind auch über die Präsentation der Autor*innen vom 01.12.2016 auf Jahrestagung Öko-Institut Berlin zugänglich: https://www.oeko.de/uploads/oeko/aktuelles/Jahrestagung_2016/D2049_buchert.pdf
- [165] Friege, H. (2015): Nachhaltiges Ressourcenmanagement als abfallwirtschaftliches Leitbild, Müll und Abfall, Vol. 47, Nr. 9, S. 500 – 508, <https://doi.org/10.37307/j.1863-9763.2015.09.06>
- [166] Umweltbundesamt (Hrsg.) (2012): Indikatoren / Kennzahlen für den Rohstoffverbrauch im Rahmen der Nachhaltigkeitsdiskussion, Texte 01/2012, Dessau-Roßlau, ISSN 1862-4804, <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4237.pdf>

- [167] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (2012, 2015): Richtlinie 4600, Kumulierter Energieaufwand (KEA) – Begriffe, Berechnungsmethoden, Beuth-Verlag, Berlin,
<https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-4600-kumulierter-energieaufwand-kea-begriffe-berechnungsmethoden>
 Richtlinie 4600 Blatt 1, Kumulierter Energieaufwand – Beispiele, Beuth-Verlag, Berlin,
<https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-4600-blatt-1-kumulierter-energieaufwand-beispiele>
- [168] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (2018): Richtlinie 4800 Blatt 2, Ressourceneffizienz – Bewertung des Rohstoffaufwands, Beuth-Verlag Berlin,
<https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-4800-blatt-2-ressourceneffizienz-bewertung-des-rohstoffaufwands>
 Berichtigung: <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-4800-blatt-2-berichtigung-ressourceneffizienz-bewertung-des-rohstoffaufwands-berichtigung-zur-richtlinie-vdi-4800-blatt-22018-03>
- [169] Kurz, R., Spangenberg, J. H. (2022): Zeitenwende – Sicherheitspolitik im 21. Jahrhundert, Politische Ökologie, Vol. 169, S. 116–119,
<https://www.oekom.de/beitrag/zeitenwende-sicherheitspolitik-im-21-jahrhundert-360>
- [170] Spangenberg, J. H., Kurz, R. (2023): Epochal turns: Uncomfortable insights, uncertain outlooks, Sustainable Development, 1 – 16
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sd.2512>
- [171] Umweltbundesamt (Hrsg.) (2022): Empfehlungen für die Fortentwicklung der deutschen Kreislaufwirtschaft zu einer zirkulären Ökonomie (Stand 03. November 2022),
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/uba_positionspapier_kreislaufwirtschaft.pdf
- [172] Gößling-Reisemann, S., von Gleich, A. (2009): Ressourcen Kreislaufwirtschaft und Entropie am Beispiel der Metalle, in: Hösel, G., Bilitewski, B., Schenkel, W., Schnurer, H., Zeschmar-Lahl, B. (Hrsg.): Müll-Handbuch – Sammlung und Transport, Behandlung und Ablagerung sowie Vermeidung und Verwertung von Abfällen, Erich Schmidt Verlag, Berlin, S. 1–27
- [173] Ekardt, F. (2017): Wir werden verzichten müssen, Zeit-online, Internetartikel vom 20.07.2017
https://www.zeit.de/wirtschaft/2017-07/nachhaltiger-konsum-technologie-emissionen-nutzen-klimawandel?utm_referer=https%3A%2F%2Fwww.startpage.com%2F
- [174] Minge, B. (2018): Suffizienz, Konsistenz und Effizienz – Drei Wege zu mehr Nachhaltigkeit, Internetartikel vom 12.11.2018, aktualisiert vom relaio-Team,
<https://www.relaio.de/wissen/suffizienz-konsistenz-und-effizienz-drei-wege-zu-mehr-nachhaltigkeit/>
- [175] Sachs, W. (1993): Die vier E's – Merkposten für einen maß-vollen Wirtschaftsstil, Politische Ökologie, Vol. 11, Nr. 33, S. 69 – 72, zugänglich über:
https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/66/file/66_Sachs.pdf
- [176] Umweltbundesamt (Hrsg.) (2021): Vorstudie zu Ansätzen und Konzepten zur Verknüpfung des „Planetaren Grenzen“ Konzepts mit der Inanspruchnahme von abiotischen Rohstoffen/Materialien, Abschlussbericht, April 2021, Texte 51/2021, Dessau-Roßlau, ISSN 1862-4804,
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-04-12_texte_51-2021_vorstudie_abiotische_rohstoffe_materialien_0.pdf
- [177] BUND (2017): Perspektive 2030: Suffizienz in der Praxis – Wie Kommunal- und Bundespolitik eine nachhaltige Entwicklung in den Bereichen Mobilität, Materialverbrauch, Energie, Landwirtschaft und Ernährung gestalten können – Ein Impulspapier, Berlin,
https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/ressourcen_und_technik/suffizienz_perspektive_2030_impulspapier.pdf
- [178] Environmental Investigation Agency (EIA) (Hrsg.) (2020): Convention on Plastic Pollution – Toward a New Global Agreement to Address Plastic Pollution, EIA report, Juni 2020, London, Vereinigtes Königreich,
<https://eia-international.org/wp-content/uploads/EIA-report-Convention-on-Plastic-Pollution-single-pages-for-print.pdf>
- [179] Levi, P. G., Cullen, J. M. (2018): Mapping Global Flows of Chemicals: From Fossil Fuel Feedstocks to Chemical Products, Environ. Sci. Technol., Vol. 52, Nr. 4, S. 1725–1734,
<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.7b04573?rand=58ozdm3t>
- [180] International Energy Agency (IEA) (2018): The future of petrochemicals – Towards more sustainable plastics and fertilisers, Paris, Frankreich,
https://iea.blob.core.windows.net/assets/bee4ef3a-8876-4566-98cf-7a130c013805/The_Future_of_Petrochemicals.pdf

- [181] Umweltbundesamt (2021): Branchenabhängiger Energieverbrauch des verarbeitenden Gewerbes, thematisches Internetportal (Stand 16.03.2022):
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-wirtschaft/industrie/branchenabhaengiger-energieverbrauch-des#der-energiebedarf-deutschlands>
- [182] Henseling, K. O. (2008): Am Ende des fossilen Zeitalters – Alternativen zum Raubbau an den natürlichen Lebensgrundlagen, oekom Verlag, München, ISBN 978-3865811226
- [183] BUND (2022): Wasserstoffstrategie, Bundesarbeitskreis Energie, BUND-Standpunkt 15, Berlin,
https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/bund/standpunkt/bund_wasserstoffstrategie_standpunkt.pdf
- [184] Meys, R., Kätelhön, A., Bachmann, M., Winter, B., Zibunas, C., Suh, S., Bardow, A. (2021): Achieving net-zero greenhouse gas emission plastics by a circular carbon economy, Science, Vol. 374, Nr. 6563, S. 71 – 76,
<https://www.science.org/doi/10.1126/science.abg9853>
- [185] Koch, C. (2023): Methanol und Ethylen aus Kohlendioxid, Nachrichten aus der Chemie, Vol. 71, S. 33 – 34,
<https://gdch.app/article/methanol-und-ethylen-aus-kohlendioxid-4132285>
- [186] FutureCamp Climate GmbH, DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e. V. (Hrsg.) (2019): Roadmap Chemie 2050 – Auf dem Weg zu Einer Treibhausgasneutralen Chemischen Industrie in Deutschland, Studie von DECHEMA und FutureCamp für den VCI, Frankfurt, München, ISBN 978-3-89746-223-6
https://dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapiere/2019_Studie_Roadmap_Chemie_2050%20-p-20005590.PDF
- [187] nova-Institut GmbH (2015): Globale Bioökonomie im Spannungsfeld von Biomasseangebot und -nachfrage – Welche Mengen an Biomasse können im Jahr 2050 weltweit nachhaltig produziert werden? Welche Nachfrage von Lebens- und Futtermitteln, stofflicher Nutzung, Bioenergie und Biokraftstoffen kann damit gedeckt werden?, Pressemitteilung vom 8. Oktober 2015,
<https://renewable-carbon.eu/news/wp-content/uploads/2015/10/15-10-08-PM-globale-Biooekonomie-2050-nova.pdf>
- [188] Spangenberg, J. H., Kuhlmann, W. (2020): Bioökonomie im Lichte der Planetaren Grenzen und des Schutzes der Biologischen Vielfalt, Studie für den BUND und das Denkhaus Bremen, Köln, Bremen,
https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/ressourcen_und_technik/ressourcen_biooekonomie_projekt_studie_spangenberg.pdf
- [189] Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) (Hrsg.) (2020): Wie nachhaltig ist die Bioökonomie wirklich? Anregungen für einen Perspektivwechsel – damit eine sozial und ökologisch gerechte Wirtschaftsweise gelingen kann, November 2020, Berlin,
https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/ressourcen_und_technik/ressourcen_biooekonomie_broschuere.pdf
- [190] BioÖkonomieRat (2022): Bioökonomie: Gemeinsam eine nachhaltige Zukunft gestalten, 1. Arbeitspapier des III. Bioökonomierats, Berlin,
https://www.biooekonomierat.de/media/pdf/arbeitspapiere/1_Arbeitspapier_des_BOER_-_Gemeinsam_eine_nachhaltige_Zukunft_gestalten.pdf?m=1657008309&
- [191] Öko-Institut (2022): Climate impact of pyrolysis of waste plastic packaging in comparison with reuse and mechanical recycling, Darmstadt,
https://zerowasteurope.eu/wp-content/uploads/2022/09/zwe_2022_report_climat_impact__pyrolysis_plastic_packaging.pdf
- [192] Wilts, H. (2022): Chemische Produktion als Kreislaufwirtschaft – Wege aus der Sackgasse der Linearität, Politische Ökologie, Vol. 171, S. 84 – 89, zugänglich über:
https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/8110/file/8110_Wilts.pdf
- [193] The Pew Charitable Trusts, SYSTEMIQ (Hrsg.) (2020): Breaking the Plastic Wave – A Comprehensive Assessment Of Pathways Towards Stopping Ocean Plastic Pollution,
https://www.systemiq.earth/wp-content/uploads/2020/07/BreakingThePlasticWave_MainReport.pdf

- [194] PlasticsEurope Deutschland e.V. (2022): KreislaufwirtschaftPLUS: Handlungsempfehlungen für eine nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie – Ein Diskussionsbeitrag für eine Kreislaufwirtschaft mit Kunststoffen moderiert von PlasticsEurope Deutschland e.V.,
<https://plasticseurope.org/de/wp-content/uploads/sites/3/2022/11/2022-10-13-Handlungsempfehlungen-Nationale-Kreislaufwirtschaftsstrategie.pdf>,
 thematisches Internetportal: <https://plasticseurope.org/de/knowledge-hub/kreislaufwirtschaftplus-handlungsempfehlungen-fur-eine-nationale-kreislaufwirtschaftsstrategie/>
- [195] CHEMIE³ (2022): Leitfaden – Einstieg in die Kreislaufwirtschaft in der chemischen Industrie,
https://www.chemiehoch3.de/fileadmin/user_upload/Home/Handlungshilfen/Leitfaeden/Kreislaufwirtschaft/Chemie3-Leitfaden_Einstieg_in_die_Kreislaufwirtschaft_in_der_chemischen_Industrie.pdf
 thematisches Internetportal: <https://www.chemiehoch3.de/handlungshilfen/leitfaden-kreislaufwirtschaft/>
- [196] Rat für Nachhaltige Entwicklung (RNE) (2021): Zirkuläres Wirtschaften: Hebel für eine nachhaltige Transformation, Stellungnahme vom 05.10.2021,
https://www.nachhaltigkeitsrat.de/wp-content/uploads/2021/10/20211005_RNE_Stellungnahme_zirkulaeres_Wirtschaften.pdf
- [197] United Nations Environment Programme (UNEP) (2022): Enhancing circular economy as a contribution to achieving sustainable consumption and production, Resolution 5/11 (UNEP/EA.5/Res.11), angenommen von der 5. United Nations Environmental Assembly am 2. März 2022, Nairobi, Kenia,
<https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/39920/ENHANCING%20CIRCULAR%20ECONOMY%20AS%20A%20CONTRIBUTION%20TO%20ACHIEVING%20SUSTAINABLE%20CONSUMPTION%20AND%20PRODUCTION.%20English.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [198] Europäische Kommission (2018): Eine europäische Strategie für Kunststoffe in der Kreislaufwirtschaft, Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen vom 16.01.2018, COM(2018) 28 final,
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0028&qid=1682505427494>
- [199] Europäische Kommission (2022): Nachhaltige Produkte zur Norm machen, Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen vom 30.03.2022, COM(2022) 140 final,
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022DC0140&qid=1679497769801&from=DE>
- [200] Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) (2022): Österreich auf dem Weg zu einer nachhaltigen und zirkulären Gesellschaft – Die österreichische Kreislaufwirtschaftsstrategie, Wien, Österreich,
https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/nw_pdf/kreislaufwirtschaft/kreislaufwirtschaftsstrategie-2022.pdf
- [201] Circle Economy (Hrsg.) (2022): The Circularity Gap Report 2022, Amsterdam, Niederlande,
https://drive.google.com/file/d/1NMAUtZcoSLwmHt_r5TLWwB28QJDghi6Q/view
 thematisches Internetportal: <https://www.circularity-gap.world/2022> bzw. <https://www.circle-economy.com/>
- [202] Friege, H., Kümmerer, K. (2022): Practising circular economy: Stumbling blocks for circulation and recycling, in: Lehmann, H., Hinske, C., de Margerie, V., Nikolova, A. S. (Hrsg.), The impossibilities of the circular economy – Separating aspirations from reality, Routledge, London, New York, ISBN 978-1-032-15443-5 (hbk),
<https://doi.org/10.4324/9781003244196>
 S. 259 – 271
- [203] Friege, H. (2022): Chancen und Grenzen der „Circular Economy“: Erkenntnisse aus der BMBF-Fördermaßnahme ReziProK, Müll und Abfall, Vol. 54, Nr. 11, S. 606 – 619,
<https://doi.org/10.37307/j.1863-9763.2022.11.06>
- [204] Wang, Z., Hellweg, S. (2021): First Steps Toward Sustainable Circular Uses of Chemicals: Advancing the Assessment and Management Paradigm, ACS Sustainable Chem. Eng., Vol. 9, Nr. 20, S. 6939 – 6951
<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acssuschemeng.1c00243>
- [205] Friege H., Kummer, B., Steinhäuser, K. G., Wuttke, J., Zeschmar-Lahl, B. (2019): How should we deal with the interfaces between chemicals, product and waste legislation?, Environ. Sci. Eur., Vol. 31, Nr. 51,
<https://doi.org/10.1186/s12302-019-0236-7>

- [206] Circle Economy (Hrsg.) (2018): The Circularity Gap Report 2018 – An analysis on the circular state of the global economy, Amsterdam,
[https://pacecircular.org/sites/default/files/2020-01/Circularity Gap Report 2018_0.pdf](https://pacecircular.org/sites/default/files/2020-01/Circularity%20Gap%20Report%202018_0.pdf),
 vgl. auch [201]
- [207] Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) (2018): Global Material Resources Outlook to 2060 – Economic Drivers and Environmental Consequences, OECD Publishing, Paris, Frankreich,
<https://doi.org/10.1787/9789264307452-en>
- [208] European Commission (2023): Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023 – Final Report, ET-07-23-116-EN-N, Brüssel, Belgien, ISBN 978-92-68-00414-2,
https://single-market-economy.ec.europa.eu/document/download/04f72016-032f-4dc1-92cd-1ada791b5540_en?filename=Study%202023%20CRM%20Assessment.pdf
 thematisches Internetportal: https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en
- [209] Öko-Institut (Hrsg.) (2011): Study on Rare Earths and Their Recycling, Final Report for The Greens/EFA Group in the European Parliament, Darmstadt,
http://www.ressourcenfieber.eu/publications/reports/Rare%20earths%20study_Oeko-Institut_Jan%202011.pdf
- [210] BUND (2023): Ressourcenschutz heißt drastische Verringerung des Ressourcenverbrauchs – Warum wir eine Festlegung von absoluten und verbindlichen Ressourcenschutzzielen innerhalb eines Ressourcenschutzstammgesetzes brauchen, Bundesarbeitskreis Abfall und Rohstoffe, BUND-Positionen 74, Berlin,
https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/ressourcen_und_technik/ressourcen-schutz-verbrauch-stammgesetz-position-bund.pdf
- [211] Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND), Deutscher Naturschutzring e.V. (DNR), Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW): Netzwerk Ressourcenwende,
 thematisches Internetportal: <https://www.ressourcenwende.net>
- [212] Kümmerer, K., Clark, J. H., Zuin, V. G. (2020): Rethinking chemistry for a circular economy – Chemical complexity complicates product recycling and manufacturing sustainability, Science, Vol. 367, Nr. 6476, S. 369 – 370,
<https://www.science.org/doi/10.1126/science.aba4979>
- [213] Europäische Union (2011, 2012, 2013):
 Verordnung (EU) Nr. 333/2011 des Rates vom 31. März 2011 mit Kriterien zur Festlegung, wann bestimmte Arten von Schrott gemäß der Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates nicht mehr als Abfall anzusehen sind, Amtsblatt der EU vom 08.04.2011, L 94, S. 2,
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011R0333&tid=1679670677241&from=DE>
 und
 Verordnung (EU) Nr. 1179/2012 der Kommission vom 10. Dezember 2012 mit Kriterien zur Festlegung, wann bestimmte Arten von Bruchglas gemäß der Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates nicht mehr als Abfall anzusehen sind, Amtsblatt der EU vom 11.12.2012, L 337, S. 31,
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012R1179&tid=1679670773979&from=DE>
 und
 Verordnung (EU) Nr. 715/2013 der Kommission vom 25. Juli 2013 mit Kriterien zur Festlegung, wann bestimmte Arten von Kupferschrott gemäß der Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates nicht mehr als Abfall anzusehen sind, Amtsblatt der EU vom 26.07.2013, L 201, S. 14,
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R0715&tid=1679670816927&from=DE>
- [214] Herczeg, M., McKinnon, D., Milios, L., Bakas, I., Klaassens, E., Svatikova, K., Widerberg, D. (2014): Resource Efficiency in the Building Sector, Final Report für die Europäische Kommission – GD Umwelt, Rotterdam, Niederlande,
<https://ec.europa.eu/environment/eusss/pdf/Resource%20efficiency%20in%20the%20building%20sector.pdf>
- [215] Europäische Gerichtshof (EuGH) (2014): Urteil des Gerichtshofs (Zehnte Kammer) (EU:C:2014:2293) vom 16. Oktober 2014, „Vertragsverletzung eines Mitgliedstaats – Freier Warenverkehr – Regelung eines Mitgliedstaats, nach der bestimmte Bauprodukte, die mit der Konformitätskennzeichnung ‚CE‘ versehen sind, zusätzlichen nationalen Normen entsprechen müssen – Bauregellisten“, in der Rechtssache C-100/13,
<https://curia.europa.eu/juris/document/document.jsf?docid=158649&doclang=de>

- [216] International Chemical Secretariat (ChemSec) (2022): Open letter to the Commission regarding transparency, vom 20. April 2022,
<https://chemsec.org/open-letter-to-the-commission-regarding-transparency/>
- [217] The Regeneration Roadmap (2013): Consumers Rank Ingredient Transparency Among Most Important Issue For Brands, Internetartikel vom 25.04.2013,
<https://globescan.com/2013/04/25/consumers-rank-ingredient-transparency-among-most-important-issues-for-brands/>
- [218] International Chemical Secretariat (ChemSec) (2023): SIN List, thematisches Internetportal: <https://chemsec.org/business-tool/sin-list/>
- [219] European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, De Smet, M., Linder, M. (Hrsg.) (2019): A circular economy for plastics – Insights from research and innovation to inform policy and funding decisions, Brüssel, Belgien, ISBN 978-92-79-98429-7,
<https://data.europa.eu/doi/10.2777/269031>
- [220] Europäische Kommission (2022): Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte und zur Aufhebung der Richtlinie 2009/125/, vom 30.03.2022, COM(2022) 142 final/2, [2022/0095 (COD)], Corrigendum,
[https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022PC0142R\(01\)&tid=1679588467859&from=DE mit den Anhängen](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022PC0142R(01)&tid=1679588467859&from=DE%20mit%20den%20Anh%C3%A4ngen)
https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:bb8539b7-b1b5-11ec-9d96-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_2&format=PDF
- [221] Procter&Gamble, Ellen McArthur Foundation: Holy Grail-Project: HolyGrail: tagging packaging for accurate sorting and high-quality recycling,
https://assets.ctfassets.net/vl90rc30fazt/2A5qUwOkI2tpgJGu0Lzm7I/d499c6c5666821d56f12dc11cc466d59/Holy_Grail_project_summary.pdf
- [222] Catena X (2023): Catena X – Automotive Network, thematisches Internetportal: <https://catena-x.net/de/>
- [223] Wiesinger, H., Wang, Z., Hellweg S. (2021): Deep Dive into Plastic Monomers, Additives, and Processing Aids, Environ. Sci. Technol., Vol. 55, S. 9339–9351,
<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.1c00976>
- [224] Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) (2022): Global Plastics Outlook: Policy Scenarios to 2060, OECD Publishing, Paris, Frankreich, ISBN 9789264898813,
<https://doi.org/10.1787/aa1edf33-en>
- [225] Heinrich-Böll-Stiftung, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) (Hrsg.) (2019): Plastikatlas – Daten und Fakten über eine Welt voller Kunststoff, Berlin, ISBN 978-3-86928-200-8,
https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/chemie/chemie_plastikatlas_2019.pdf
- [226] Conversio Market & Strategy GmbH (2022): Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2021: Zahlen und Fakten zum Lebensweg von Kunststoffen, Kurzfassung der Conversio Studie, Mainschaft,
https://www.bvse.de/dateien2020/2-PDF/01-Nachrichten/03-Kunststoff/2022/Kurzfassung_Stoffstrombild_2021_13102022_1_.pdf
- [227] United Nations Environment Programme (UNEP) (2019): Amendments to Annexes II, VIII and IX to the Basel Convention (UNEP.CHW.14/CRP.40), adopted by the Fourteenth meeting of the Conference of the Parties to the Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal, 29 April – 10 May 2019, Geneva, Switzerland,
<https://www.basel.int/Portals/4/download.aspx?d=UNEP-CHW-COP.14-BC-14-12.English.pdf>
- [228] Richtlinie (EU) 2019/904 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juni 2019 über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt, Amtsblatt der EU vom 12.06.2019, L 155, S. 1,
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0904&from=DE>
- [229] Bertling, J., Bertling, R., Hamann, L. (2018): Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik – Ursachen, Mengen, Umweltschicksale, Wirkungen, Lösungsansätze, Empfehlungen, Kurzfassung der Konsortialstudie, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT (Hrsg.), Oberhausen,
http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-4971178.pdf

- [230] Hofmann, A., Franke, M., Betsch, F., Rieger, T., Reh, K., Seiler, E., Mäurer, A. (2021): Recyclingtechnologien für Kunststoffe – Positionspapier, Fraunhofer Cluster of Excellence Circular Plastics Economy CCPE (Hrsg.), Oberhausen/Sulzbach-Rosenberg, September 2021,
https://www.umsicht-suro.fraunhofer.de/content/dam/umsicht-suro/de/documents/pressemitteilungen/2021/positionspapier-kunststoffe/Fraunhofer_CCPE_Positionspapier_Recyclingtechnologien.pdf
- [231] Möck, A., Bulach, W., Betz, J. (2022): Climate impact of pyrolysis of waste plastic packaging in comparison with reuse and mechanical recycling, Studie des Öko-Instituts (Hrsg.), Darmstadt,
https://zerowasteurope.eu/wp-content/uploads/2022/09/zwe_2022_report_climat_impact__pyrolysis_plastic_packaging.pdf
- [232] BUND (2022): „Bio“Kunststoffe, Bundesarbeitskreis Abfall Rohstoffe, BUND-Hintergrund, Berlin,
https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/chemie/chemie_biokunststoffe_hintergrund.pdf
- [233] Deutsche Umwelthilfe (DUH) (2018): Bioplastik – Mythen und Fakten, Infopapier, Radolfzell,
https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Kreislaufwirtschaft/Verpackungen/180220_DUH_Infopapier_Bioplastik_de_eng.pdf
- [234] Trinkwalder, S. (2016): Fairarscht – Wie Wirtschaft und Handel die Kunden für dumm verkaufen, Knauer-Verlag, ISBN 978-3-426-78794-6
- [235] Umweltbundesamt (2017): Strategien gegen Obsoleszenz – Sicherung einer Produktmindestlebensdauer sowie Verbesserung der Produktnutzungsdauer und der Verbraucherinformation, Dessau-Roßlau, ISSN 2363-8273,
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017_11_17_uba_position_obsoleszenz_dt_bf.pdf
- [236] Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz – ElektroG) vom 20. Oktober 2015 (BGBl. I, S. 1739), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 8. Dezember 2022 (BGBl. I, S. 2240)
 konsolidierte Fassung: https://www.gesetze-im-internet.de/elektrog_2015/ElektroG.pdf
- [237] Umweltbundesamt (2022): Elektro- und Elektronikaltgeräte, thematisches Internetportal (Stand 28.09.2022):
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/elektro-elektronikaltgeraete#sammlung-und-verwertung-von-elektro-und-elektronikaltgeraten-drei-kennzahlen-zahlen>
- [238] Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (Neufassung), Amtsblatt der EU vom 31.10.2009, L 285, S. 10, zuletzt geändert durch Richtlinie 2012/27/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2012, Amtsblatt der EU vom 14.11.2012, L 315, S. 1,
 konsolidierte Fassung: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02009L0125-20121204&tid=1679596967554&from=DE>
- [239] Delegierte Verordnung (EU) 2019/2017 vom 11. März 2019 zur Ergänzung der Verordnung (EU) 2017/1369 des Europäischen Parlaments und des Rates in Bezug auf die Energieverbrauchskennzeichnung von Haushaltsgeschirrspülern und zur Aufhebung der Delegierten Verordnung (EU) Nr. 1059/2010 der Kommission, Amtsblatt der EU vom 05.12.2019, L 315, S. 134, zuletzt geändert durch Berichtigung, Amtsblatt der EU vom 11.02.2021, L 48, S. 14,
 konsolidierte Fassung: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02019R2017-20210501&tid=1679597381046&from=DE>
 und
 Verordnung (EU) 2019/2019 der Kommission vom 1. Oktober 2019 zur Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an Kühlgeräte gemäß der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 643/2009 der Kommission, Amtsblatt der EU vom 05.12.2019, L 315, S. 187, zuletzt geändert durch Berichtigung, Amtsblatt der EU vom 25.02.2021, L 65, S. 93,
 konsolidierte Fassung: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02019R2019-20210501&tid=1679597819630&from=DE>
- [240] Götz, T., Adisorn, T., Tholen, L. (2021): Der digitale Produktpass als Politik-Konzept, Kurzstudie im Rahmen der Umweltpolitischen Digitalagenda des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), Wuppertal-Report Nr. 20, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH (Hrsg.), Wuppertal,
<https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7694/file/WR20.pdf>
- [241] Asdecker, B., Karl, D. (2022): Shedding Some Light on the Reverse Part of E-Commerce: A Systematic Look Into the Black Box of Consumer Returns in Germany, European Journal of Management, Vol. 22, Nr. 1, S. 59–81,
<https://iabe.org/IABE-DOI/article.aspx?DOI=EJM-22-1.4>

- [242] ZDF frontal 21 (2018, 2019): Retouren für den Müll – Amazon vernichtet neuwertige Waren, Sendung vom 12.06.2018, <https://www.zdf.de/politik/frontal-21/amazon-vernichtet-tonnenweise-ware-100.html>
- [243] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG) vom 24. Februar 2012 (BGBl. I, S. 212), zuletzt geändert durch Artikel 5 des Gesetzes vom 2. März 2023 (BGBl. 2023 I, Nr. 56, S. 3), konsolidierte Fassung: <https://www.gesetze-im-internet.de/krwg/KrWG.pdf>
- [244] Kaul, A., Redelfs, M., Jansen, N. (2022): Produktvernichtung bei Amazon geht trotz Verbot weiter, Internetartikel vom 11.10.2022, Greenpeace (Hrsg.), <https://www.greenpeace.de/ueber-uns/leitbild/investigative-recherche/produktvernichtung-amazon-geht-weiter-verbot>
- [245] United Nations Industrial Development Organization (UNIDO): Chemical Leasing, thematisches Internetportal: <https://www.unido.org/our-focus/safeguarding-environment-resource-efficient-and-low-carbon-industrial-production/chemical-leasing>
- [246] United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) (2021): Chemical Leasing – The performance based business model for sustainable chemicals management, thematisches Internetportal: <https://chemicaleasing.com>
- [247] Österreichisches Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Chemikalien-Leasing – Ein intelligentes und integriertes Geschäftsmodell als Perspektive zur nachhaltigen Entwicklung in der Stoffwirtschaft, vgl. https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/chemiepolitik/chemleasing/publikationen/chemikalien_leasing.html
- [248] Moser, F., Karavezyris, V., Blum, C. (2015): Chemical Leasing in the context of Sustainable Chemistry, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, Vol. 21, S. 6968 – 6988, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-014-3926-0>, verfügbar auch über: https://www.researchgate.net/profile/Christopher_Blum5/publication/269169310_Chemical_leasing_in_the_context_of_sustainable_chemistry/links/5583c91e08ae89172b85f296/Chemical-leasing-in-the-context-of-sustainable-chemistry.pdf?origin=publication_detail
- [249] Clark, J. H.: (2006) Green chemistry: today (and tomorrow), *Green Chem.*, Vol. 8, S. 17 – 21, <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2006/gc/b516637n>
- [250] Blum, C., Bunke, D., Hungsberg, M., Roelofs, E., Joas, A., Joas, R., Blepp, M., Stolzenberg, H.-C. (2017): The concept of sustainable chemistry: Key drivers for the transition towards sustainable development, *Sustain. Chem. Pharm.*, Vol. 5, S. 94 – 104, <https://doi.org/10.1016/j.scp.2017.01.001>
- [251] Kümmerer, K. (2007): Sustainable from the very beginning: rational design of molecules by life cycle engineering as an important approach for green pharmacy and green chemistry, *Green Chem.*, Vol. 9, S. 899 – 907, <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2007/gc/b618298b>
- [252] Moermond, C. T. A., Puhlmann, N., Brown, A. R., Owen, S. F., Ryan, J., Snape, J., Venhuis, B. J., Kümmerer, K. (2022): GREENER Pharmaceuticals for More Sustainable Healthcare, *Environ. Sci. Technol. Lett.*, Vol. 9, S. 699 – 705, <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.2c00446>
- [253] Scheringer, M. (2002): Persistence and Spatial Range of Environmental Chemicals: New Ethical and Scientific Concepts for Risk Assessment, Wiley-VCH Verlag, Weinheim, ISBN 9783527305278, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/3527607463>
- [254] Caldeira, C., Farcas, R., Moretti, C., Mancini, L., Rasmussen, K., Rauscher, H., Riego Sintes, J., Sala, S. (2022): Safe and Sustainable by Design chemicals and materials – Review of safety and sustainability dimensions, aspects, methods, indicators, and tools, European Commission, Joint Research Centre, JRC Technical Report JRC127109, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-47560-6 (PDF), <https://data.europa.eu/doi/10.2760/879069>
- [255] Umweltbundesamt (Hrsg.) (2016): Leitfaden Nachhaltige Chemikalien – Eine Entscheidungshilfe für Stoffhersteller, Formulierer und Endanwender von Chemikalien, Dessau-Roßlau, ISSN 2363-832X https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/161215_uba_fb_chemikalien_dt_bf.pdf
- [256] Umweltbundesamt (2009): Nachhaltige Chemie – Positionen und Kriterien des Umweltbundesamtes, Hintergrund, Dessau-Roßlau, <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3734.pdf>

- [257] Kümmerer, K., Große Ophoff, M. (2022): Nachhaltige Chemie – Für eine neue Ganzheitlichkeit, Politische Ökologie, Vol. 171, S. 90–96
- [258] United Nations Development Programme (UNDP) (2011): Chemicals and Gender, Energy Et Environment Practice, Gender Mainstreaming Guidance Series, Chemicals Management, <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/publications/2011%20Chemical&Gender.pdf>
- [259] Women Engage for a Common Future (WECF) (Hrsg.) (2021): Geschlechtergerechte Chemikalienpolitik – Gemeinsam für eine giffreie Zukunft, Hintergrundpapier, München, https://www.wecf.org/de/wp-content/uploads/2018/10/Gender-and-Chemicals-Hintergrundpapier_11.21.pdf
- [260] World Health Organization (WHO) (2019): The Public Health Impact of Chemicals: Knowns and Unknowns – Data addendum for 2019, <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/342273/WHO-HEP-ECH-EHD-21.01-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [261] Strategic Approach to an International Chemicals Management (SAICM), International Pollutants Elimination Network (IPEN) (Hrsg.) (2020): Women, Chemicals and the SDGs – Gender review mapping with a focus on women and chemicals – Impact of emerging policy issues and the relevance for the sustainable development goals, https://ipen.org/sites/default/files/documents/ipen-gender-chemicals-report-v1_6dw-en.pdf
- [262] Strategic Approach to an International Chemicals Management (SAICM) (2018): Gender and the sound management of chemicals and waste – Policy brief, September 2018, http://www.saicm.org/Portals/12/Documents/SDGs/SAICM_Gender_Policy_Brief.pdf
- [263] International Labour Organization (ILO) (2021): Exposure to hazardous chemicals at work and resulting health impacts: A global review, International Labour Office, Genf, Schweiz, ISBN 978-9-22-034219-0 (web PDF), https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_dialogue/---lab_admin/documents/publication/wcms_811455.pdf
- [264] Holthaus, A., Hemmati, M. (2022): Gender – an essential substance for sustainable chemistry, Journal of Business Chemistry, Vol. 19, S. 30–35, <https://d-nb.info/1253138982/34>
- [265] Strategic Approach to an International Chemicals Management (SAICM) (2017): Gender and the sound management of chemicals and waste, Prepared for the intersessional process considering the Strategic Approach and the sound management of chemicals and waste beyond 2020 by the secretariat, 20. Dezember 2017, SAICM/IP.2/6, http://www.saicm.org/Portals/12/documents/meetings/IP2/IP_2_6_gender_document.pdf
- [266] MSP Institute (Hrsg.) (2021) Gender and Chemicals Roadmap – Brief guidance on a gender-responsive national chemicals policy, Berlin, <https://gender-chemicals.org/wp-content/uploads/2022/04/Gender-Road-Map-final.pdf>
- [267] MSP Institute (2020): Webinar 4: Gender and Green and Sustainable Chemistry, Videoaufzeichnung: https://www.youtube.com/watch?v=hD0_23u9vcl
- [268] International Sustainable Chemistry Collaborative Centre (ISC3) (Hrsg.) (2020): Key characteristics of sustainable Chemistry – Towards a Common Understanding of Sustainable Chemistry, presentiert auf ISC3 stakeholder forum November 2020 in Bonn, Die Präsentation wurde 2021 von ISC3 als „Dialogue Paper“ veröffentlicht und ist verfügbar über https://www.isc3.org/cms/wp-content/uploads/2022/06/ISC3_Sustainable_Chemistry_key_characteristics_20210113.pdf
- [269] Umweltbundesamt (2021): Chemikalien: Umwelt und Gesundheit besser schützen – Immer mehr Chemikalien werden weltweit verwendet, thematisches Internetportal (Stand 31.11.2021): <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/chemikalien-umwelt-gesundheit-besser-schuetzen>
- [270] United Nations Environment Programme (UNEP) (2016): Sound management of chemicals and waste, Resolution 2/7 (UNEP/EA.2/Res.7), angenommen von der 2. United Nations Environmental Assembly am 27. Mai 2022, Nairobi, Kenia, https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/11183/K1607167_UNEPEA2_RES7E.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [271] United Nations Environment Programme (UNEP) (2020): Green and Sustainable Chemistry: Framework manual – Executive Summary, Châtelaine-Geneva, Schweiz, ISBN 978-92-807-3839-1, https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35312/GSCF_ES.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [272] Umweltbundesamt (2019): Projekt „Nachhaltige Chemie im Chemikalienmanagement verankern: Entwicklung von Meilensteinen und Indikatoren für das internationale Chemikalienmanagement nach 2020“, laufendes Projekt des Umweltbundesamts, Forschungskennzahl 3719 65 404 0, Abschlussbericht in Vorbereitung (erscheint Ende 2023) vgl. auch thematisches Internetportal (Stand 09.01.2023): <https://www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/chemikalien-management/nachhaltige-chemie-0#nachhaltigkeit-im-umgang-mit-chemikalien>

- [273] Wissinger, J. E., Visa, A., Saha, B. B., Matlin, S. A., Mahaffy, P. G., Kümmerer, K., Cornell, C. (2021): Integrating Sustainability into Learning in Chemistry, *J. Chem. Educ.*, Vol. 98, S. 1061 – 1063,
<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.jchemed.1c00284>
- [274] Ujaczki, É., Stark-Rogel, V., Olbrich, M., Fuetsch, M., Backmann, J. (2022): Experiences and consequences of phasing out substances of concern in a multinational healthcare company, *Environmental Sciences Europe*, Vol. 34, Nr. 101
<https://enveurope.springeropen.com/counter/pdf/10.1186/s12302-022-00678-0.pdf>
- [275] Stolzenberg, H.-C., Blum, C., Klauk, A. (2022): How chemicals can serve people sustainably without polluting the planet: through common objectives, integration, and more effective cooperation, *Journal of Business Chemistry*, Vol. 19, S. 100–109,
https://repositorium.uni-muenster.de/document/miami/3f997ced-5535-4ec7-8d0e-b0e3a14679ba/jbc_2022_19_3_100-109.pdf
- [276] Friege, H. (1993): Zum zukünftigen Umgang mit Stoffströmen, *Chem. Techn.*, Vol. 45, S. 133 – 138
- [277] Netzwerk „Bildung für Ressourcen-schonung und Ressourceneffizienz“ (Bilress) (2023): 18. Bilress-Netzwerkkonferenz – Ressourcenkompetenz in Aus- und Weiterbildung, thematisches Internetportal: <https://www.bilress.de/>

Die politische Position des BUND/Friends of the Earth Germany in den BUND Positionen

Die Welt steht vor immensen ökologischen, gesellschaftlichen und sozialen Herausforderungen. Der BUND/Friends of the Earth sucht und gestaltet dafür Lösungen, die ökologischen und sozialen Kriterien gerecht werden. Als Umwelt- und Naturschutzverband kämpft er insbesondere für die Einhaltung der 1,5 Grad-Obergrenze in der Klimakrise und für Klimagerechtigkeit, für die Beendigung des Artensterbens, und den Schutz und die Wertschätzung von Natur und biologischer Vielfalt. Wir fordern eine tatsächlich nachhaltige Landwirtschaft ohne Gentechnik, den sofortigen Atomausstieg und eine Minderung des Ressourcenverbrauchs. Kampagnen des BUND zielen auf ein Ende der Vermüllung und Vergiftung unserer Umwelt, unter anderem mit Pestiziden, zahllosen Schadstoffen und Mikroplastik. Als Nachhaltigkeitsverband setzt sich der BUND für soziale wie ökologische Gerechtigkeit, Armutsbekämpfung, Menschenrechte und Demokratie ein. Das eine ist ohne das andere nicht zu haben, das haben uns unsere Erfahrungen gelehrt.

Diese Ziele sind nur zu erreichen, wenn nicht nur alle umwelt- und sozialverträglichen Möglichkeiten zur Steigerung der Effizienz bei der Ressourcennutzung ausgeschöpft werden. Zur absoluten Reduzierung unserer Ressourcenentnahme aus der Umwelt brauchen wir außerdem Suffizienz: wir müssen nicht nur anders, sondern auch weniger konsumieren. Eine nachhaltige Änderung der Lebensweise aller Bürger*innen ist aber keine individuelle Verantwortung, sondern eine gemeinsame und gesellschaftliche. Zur Förderung des Gemeinwohls brauchen wir mehr Mitwirkungsrechte der Zivilgesellschaft, vor allem aber förderliche politische Rahmenbedingungen. So fordert der BUND seit langem, durch Energiesparen den Endenergieverbrauch mindestens um die Hälfte zu senken, damit der Rest aus erneuerbaren Energien bereitgestellt werden kann – Studien des Umweltbundesamtes geben diesen Forderungen Recht.

Sollen die Ausrottung von immer mehr Arten beendet und unsere Naturräume geschützt werden, dann muss endlich der Flächenverbrauch für immer mehr Straßen-, Gewerbe- und Siedlungsflächen beendet und die Landwirtschaft natur- und tierwohlverträglich werden. Der Rohstoffverbrauch muss im Laufe dieses Jahrhunderts drastisch, z. B. um einen Faktor 10 oder mehr, reduziert werden – eine schnelle und massive Absenkung würde helfen die Klimakrise zu bewältigen, den Biodiversitätsverlust zu stoppen und den kommenden Generationen in allen Ländern gleiche Entwicklungschancen zu ermöglichen.

Stofflich und energetisch muss unser Wirtschaftssystem schlanker werden. Das ist eine große Herausforderung, aber es ist machbar. Jedoch wird die Bewältigung dieser Aufgabe unmöglich, wenn die Politik weiterhin dem Wirtschaftswachstum Vorrang vor der Bewahrung unserer Lebensgrundlagen gibt. Wachstumspolitik, ob erfolgreich oder nicht, ist der Treiber für Schäden an Natur und Umwelt – beispielsweise durch den Ausbau von Infrastruktur mit exzessivem Flächenverbrauch (Flughäfen, Straßen, Flussausbau), die Förderung einer exportorientierten Landwirtschaft mit viel zu hohem Tierbestand. Sie fordert und fördert Niedriglohnsektoren, Einkommenspolarisierung und eine globale Raubwirtschaft. Demokratische Entscheidungen und Bürger*innenmitsprache werden durch Beschleunigungsgesetze und die Schwächung von Bürger*innenbeteiligung eingeschränkt, um die Wachstumsziele nicht zu gefährden.

Die notwendige sozial-ökologische Transformation bietet die Chance zu einem gerechten und weniger durch Egoismen, Konkurrenz und Ausbeutung bestimmten Leben im Einklang mit den planetaren Systemen. Wie notwendig eine solche Wende zum guten Leben ist, haben viele Mitbürger*innen erkannt, nicht zuletzt in der Pandemiekrise seit 2020. Viele Arbeitsverhältnisse und Lebensweisen werden sich

ändern und ändern müssen, durch neue Technologien ebenso wie durch eine neue, nachhaltige Gestaltung für gute Erwerbs- wie Nichterwerbsarbeit. Das erfordert nicht nur neue Berufsbilder und Qualifikationen, sondern auch, dass Status, Bezahlung und soziale Sicherung in vielen Bereichen von Wirtschaft und Verwaltung verbessert werden.

Der BUND steht nicht nur für die ökologische, sondern auch für soziale, institutionelle und ökonomische Nachhaltigkeit – deshalb enthalten unsere Positionen immer auch Ansätze, die zu sozialer Gerechtigkeit, zu guter Arbeit und zu zukunftsfähigem Wirtschaften beitragen. Dabei blickt der BUND stets über den Tellerrand und entwickelt Perspektiven zusammen mit den Partnerorganisationen in unserem internationalen Netzwerk, Friends of the Earth Europe und Friends of the Earth International und anderen Organisationen der Zivilgesellschaft.

Es gibt Alternativen zu einer Politik, die mit immer höherer Geschwindigkeit in die Sackgasse fährt! Solche Alternativen zeigt der BUND in den BUND-Positionen, die von den Bundesarbeitskreisen und vom Wissenschaftlichen Beirat des BUND erarbeitet sowie vom Bundesvorstand beschlossen werden. In den Bundesarbeitskreisen wird akademische und nicht-akademische Expertise zusammengeführt, im wissenschaftlichen Beirat werden die Positionen von Expert*innen aus 20 Themenbereichen gemeinsam geprüft – der BUND praktiziert seit Jahrzehnten das Prinzip der transdisziplinären Wissenschaft. So basieren alle BUND-Positionen auf mehrfach und interdisziplinär geprüften aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und zeigen politische und gesellschaftliche Lösungswege auf. Jede dieser Positionen, auch die hier vorliegende, ist ein wichtiger Baustein im Gesamtbild des sozial-ökologischen Umbaus hin zu einer nachhaltigen Wirtschafts- und Lebensweise.

Impressum

Herausgeber:

*Bund für Umwelt
und Naturschutz
Deutschland e. V. (BUND),
Kaiserin-Augusta-Allee 5
10553 Berlin*

Telefon: 0 30/2 75 86-40

Telefax: 0 30/2 75 86-440

E-Mail: info@bund.net
www.bund.net

*Beschluss des BUND Bundes-
vorstandes vom 24.03.2023.*

*Bundesarbeitskreis Umwelt-
chemikalien/Toxikologie des
BUND*

Autor*innen:

*Ralph H. Ahrens, Hubertus Brunn,
Patricia Cameron, Dieter Cohors-
Fresenborg, Manuel Fernandez,
Henning Friege, Arnim von Gleich,
Markus Große Ophoff, Benedikt
Jacobs, Janine Korduan, Wolfgang
Körner, Janna Kuhlmann, Klaus
Kümmerer, Stefan Lips, Volker
Molthan, Uwe Schneidewind, Eva
Scholl und Klaus Günter
Steinhäuser*

*Wir danken Anna Holthaus, MSP
Institute (Multi-Stakeholder
Processes for Sustainable
Development e. V.), Projekt-
koordinatorin, für ihren Beitrag
zum Thema „Gender und
Chemikalien“.*

*Wir danken ferner für die Beiträge
der Mitglieder des Bundes-
arbeitskreises Umweltchemikalien
/Toxikologie und des Wissen-
schaftlichen Beirats des BUND.*

V.i.S.d.P.: Petra Kirberger

Produktion: Natur & Umwelt
GmbH

1. Auflage, Oktober 2019

2. Auflage, Mai 2023