

Herausforderungen für eine nachhaltige Stoffpolitik

Notwendigkeit einer Transformation im globalen Kontext

In memoriam Karl Otto Henseling

Inhalt

Zusammenfassung	5
1. Einleitung	7
2. Rückblick auf mehr als 50 Jahre Chemiediskussion	8
3. Leitbilder einer nachhaltigen Stoffpolitik	10
3.1 Vorsorgeprinzip	10
3.2 Nachhaltigkeit	12
4. Stoffpolitik ist eine planetare Frage	14
4.1 Globale Belastung mit Chemikalien	14
4.2 Planetare Leitplanken	14
4.3 Planetare Leitplanke: „Neue Substanzen“	17
4.4 Internationale Lösungsansätze	19
4.4.1 Die Zusage der Weltgemeinschaft	19
4.4.2 Fünf globale Übereinkommen	19
4.4.3 Der Diskussionsrahmen SAICM	20
4.4.4 Global akzeptierte Prüf-, Bewertungs- und Einstufungsverfahren	20
4.4.5 Aktivitäten der Vereinten Nationen – Nachhaltige Entwicklungsziele	20
4.4.6 Trotz allem: zu wenig!	21
5. Die EU-Chemikalienverordnung REACH	22
6. Persistenz und andere stoffbezogene Eigenschaften	24
6.1 Persistenz als zentrales Umweltproblem	24
6.2 (Bio-)Akkumulation	25
6.3 Mobilität	26
6.4 Indirekte Wirkungen	26
6.5 Hormonelle Wirkungen	27
6.6 Nanomaterialien und andere neuartige Materialien	28
6.7 Kombinationswirkungen	29
6.8 Spurenstoffe in Gewässern	31
6.9 Ausblick: nachhaltige Chemikalien	31

Inhalt

7. Stoffstrommanagement	32
7.1 Grundregeln der Enquete-Kommission	32
7.2 Prinzipien des ökologischen Stoffstrommanagements	33
7.3 Notwendige Trendumkehr bei der Chemikalienproduktion	35
7.4 Nachhaltige Chemie in der Kreislaufwirtschaft	36
7.4.1 Zielkonflikte	36
7.4.2 Rohstoffgewinnung und -aufbereitung	37
7.4.3 Vielfalt der Inhaltsstoffe und der Produkte	38
7.4.4 Sonderfall Kunststoffe	39
7.4.5 Produktdesign	40
7.5 Dienstleistungsmodelle	41
8. Leitsätze zur Stoffpolitik – Forderungen des BUND	42
8.1 Forderungen zur Weiterentwicklung der internationalen Stoffpolitik	43
8.2 Forderungen zur Weiterentwicklung von REACH	44
8.3 Forderungen zur Weiterentwicklung der Stoffbewertung und des Chemikalienmanagements	44
8.4 Forderungen für ein nachhaltiges Stoffstrommanagement	45
8.5 Forderungen zur Forschungs- und Bildungspolitik	46
9. Literatur	48

Zusammenfassung

Die Nutzung natürlicher Ressourcen und die Chemikalienproduktion haben in den letzten Jahren 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.

2009 und 2015 haben Wissenschaftler*innen das Konzept der planetaren Leitplanken vorgestellt [1]. 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“ – darunter verstehen die Wissenschaftler*innen Chemikalien, die der Mensch in die Umwelt eingebracht hat und die vorher dort noch nicht vorhanden waren – sind sechs dieser Leitplanken mit Ressourcennutzung sowie dem Einsatz und Emissionen von Chemikalien 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.

Welchen Beitrag kann eine nachhaltige Stoffpolitik leisten? Bisher ist es nicht gelungen, die planetare Leitplanke „Neue Substanzen“ zu quantifizieren. Dies liegt auch daran, dass die Vielfalt an unterschiedlich wirkenden Stoffen zunimmt. Erst nach und nach finden wir heraus, welche Folgen diese Stoffvielfalt etwa für empfindliche Ökosysteme hat. Viele dieser Chemikalien sind zudem über Jahrhunderte in der

Umwelt stabil. Die Beispiele der Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) 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 – 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 der Schaden bereits eingetreten ist.

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. Das Zusammenspiel verschiedener Chemikalien und anderer Stressfaktoren, wie beispielsweise das sich ändernde Klima, auf Ökosysteme und die menschliche Gesundheit ist 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 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, optimal sind geschlossene Kreisläufe. Die gesetzlichen Grundlagen des Stoff-, Produkt- und Abfallrechts sind deshalb auf eine gemeinsame Basis zu stellen und eng aufeinander abzustimmen.

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 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.

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 auf, 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 mit radioaktiven Abfällen oder mit Kohlendioxid beim Klimawandel, die ebenso langfristige Probleme machen.
- fokussiert auf das Vorsorgeprinzip und auf ein nachhaltiges Stoffstrommanagement mit einer besonderen Betonung der Suffizienz als Lösungsansatz.

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

1. Einleitung

„Chemiepolitik“! Der BUND-Arbeitskreis Umweltchemikalien/Toxikologie (AK UTox) prägte diesen Begriff bereits im Jahr 1983. In der ersten Ausgabe des damals vom BUND, dem Öko-Institut und dem Bundesverband Bürgerinitiativen Umwelt (BBU) herausgegebenen Informationsdienstes „Chemie und Umwelt“ steht:

„Es ist nahezu unglaublich, dass die Reglementierung 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, im indischen Bhopal 1984 und in Schweizerhalle 1986 (Sandoz) waren Auslöser für eine chemiepolitische Diskussion. Mittlerweile wurden europäische und deutsche Gesetze zum Schutz vor Chemikalienrisiken 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 verpflichtet erstmals Hersteller und Importeure 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 Bundesimmissionsschutzgesetz regelt unter anderem Herstellung und Umgang mit Chemikalien in Anlagen. Andererseits ist die Chemikalienbelastung von Mensch und Umwelt auch heute noch ein Problem.

In den westlichen Industrieländern sind die Konzentrationen einiger Schadstoffe in 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 nach und verdeutlicht auf diese

Weise, dass unvermindert erheblicher Handlungsbedarf besteht. Sowohl die Mikroschadstoff-Strategie des BUND (Juli 2017) [2] als auch die des Umweltbundesamtes (April 2018) [3] zeigen, wie notwendig es ist, Maßnahmen gegen die Vielfalt der Chemikalien in den Umweltmedien zu ergreifen.

Auch bei verbrauchernahen Produkten nimmt die stoffliche Komplexität zu. Die Transparenz über die 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 das Recycling oder macht es gar unmöglich. 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 ihrer Machbarkeit und ihrem wirklichen Beitrag zu mehr Nachhaltigkeit umstritten und ihre Folgen noch nicht abgeklärt.

Nach einem Rückblick auf über 50 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 Fortschritten und einigen Schwächen (Kapitel 5). In Kapitel 6 erörtern wir die Bedeutung der Persistenz und anderer stoffbezogenen Gefahren, bevor wir uns in Kapitel 7 den quantitativen Aspekten eines nachhaltigen Stoffstrommanagements zuwenden. Abschließend stellen wir Leitsätze und Forderungen des BUND für eine nachhaltige Stoffpolitik vor (Kapitel 8).

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

2. Rückblick auf mehr als 50 Jahre Chemiediskussion

Die Debatte um Chemikalien hat sich verändert. In der Mitte des vergangenen Jahrhunderts stand die Durchdringung unseres Lebens mit Chemie noch ebenso am Anfang, wie die chemiepolitische Diskussion. Das änderte sich im Frühherbst 1962, als Rachel Carson das Buch „Silent Spring“ in den USA veröffentlichte [4]. Die Biologin trug in ihrem Buch Fakten über die Anwendung von Pestiziden zusammen. Das liegt inzwischen mehr als 50 Jahre zurück, doch viele der von ihr angesprochenen Fragen sind heute noch so aktuell, dass die Akademie der Wissenschaften Leopoldina ihrem kürzlich erschienenen Diskussionspapier zu Pflanzenschutzmitteln denselben Titel gegeben hat [5].

Dass Chemikalien unsere Gesundheit und die Umwelt beeinflussen können, nahmen Menschen vor allem über Unfälle von Industrieanlagen wahr sowie über schlechte Erfahrungen mit der Anwendung von Produkten (Beispiele: Formaldehyd in Spanplatten; chlorierte Lösungsmittel in Trinkwasser). Bis in die 1990er Jahre standen Risiken durch Chemiefabriken und die Beseitigung gefährlicher Abfälle im Vordergrund der Debatte. Chemie und Chemieprodukte gelten verbreitet als grundsätzlich gefährlich.

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 chemisierten Welt.

Anfang der 1980er Jahre machten sich Fachleute des BUND erstmals grundsätzliche Gedanken zu dieser Thematik. 1983 prägte der BUND-Arbeitskreis Umweltchemikalien/Toxikologie (UTox) den Begriff Chemiepolitik. 1984 erschien das zehnte Positionspapier des BUND mit dem Titel „Chemiepolitik – der BUND fordert einen neuen Politikbereich“ [6]. 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 aus dem Umfeld des Arbeitskreises folgten [7–9]. Zehn Jahre später schaute sich der Arbeitskreis genauer die Folgen des steigenden Chloreinsatzes in der Chemieproduktion an. Im Februar 1994 folgte das 24. BUND-Positionspapier „Chlorchemie – eine Ära geht zu Ende“ [10]. Auch das Umweltbundesamt beschrieb 1999 Handlungsfelder und Kriterien für eine vorsorgende nachhaltige Stoffpolitik [11]. Darin werden u.a. folgende Umwelthandlungsziele genannt:

- Der irreversible Eintrag von persistenten und/oder bioakkumulierenden Fremdstoffen in die Umwelt ist unabhängig von ihrer Toxizität vollständig zu vermeiden.
- Eine Erhöhung stofflicher Einträge in die Umwelt ist 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).

Diese Leitsätze sind unvermindert aktuell.

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

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), in der Umwelt über lange Zeiträume beständig (persistent) sind oder sich in Lebewesen anreichern (siehe Kapitel 6). Der Schutz der Biodiversität ist nun neben dem Schutz der menschlichen Gesundheit ein zentrales Schutzziel. Ferner rückten die Risiken der zunehmenden Exposition³ von Mensch und Umwelt mit Produkten und Abfällen, die synthetische Chemikalien enthalten, stärker in den Blickpunkt.

Stoffpolitik geht heute weit über nationale Aufgaben hinaus. Die Verflechtung durch den internationalen Handel und die Bedrohungen des Systems Erde durch Klimaerwärmung, Verminderung der biologischen Vielfalt und auch durch Chemikalien belegen, dass eine nachhaltige Stoffpolitik weltweit notwendig ist (siehe Kapitel 4). Diese Herausforderung spiegelt sich auch in den „Sustainable Development Goals“ (SDG) der Vereinten Nationen (2015) wider^[12]. Dies gilt insbesondere für das zwölfte dieser Ziele, jenes zur nachhaltigen Produktion und zum nachhaltigen Konsum (SDG 12: Sustainable production and consumption).

In den vergangenen 20 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 die Abfallproblematik nach Ende der Nutzungsdauer entstehen. Die Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages „Schutz des Menschen und der Umwelt“ formulierte bereits 1998 fünf Grundregeln, die für eine nachhaltige zukunftsverträgliche Entwicklung zu beachten sind (siehe Abschnitt 7.1). Stoffpolitik ist heute eng mit Produkt- und Abfallpolitik verknüpft. Kreislaufwirtschaft („Circular Economy“) ist deshalb auch eine stoffpolitische Herausforderung.

³ Unter Exposition wird das Ausmaß verstanden, mit dem Mensch oder Umwelt Stoffen ausgesetzt sind.

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 den Einsatz und die Herstellung von Chemikalien so zu gestalten, dass negative Folgen so weit wie möglich vermieden werden. Dies gilt insbesondere für den Einsatz problematischer Stoffe, die in den Körper oder die Umwelt gelangen können. Allerdings sind nicht immer nicht-synthetische Stoffe oder Verfahren zu bevorzugen. Diese können bezüglich Energieaufwand, Materialverbrauch, ihrer Effektivität oder gesundheitlicher Wirkungen deutliche Nachteile haben. Eine nachhaltige Stoffpolitik geht somit über eine reine Chemikalienpolitik hinaus. Sie umfasst ganze Lebenswege von Produkten und der dabei eingesetzten Stoffe. Sie betrachtet auch den Austausch von problematischen Stoffen, das Schließen von Kreisläufen und die deutliche Verringerung des Einsatzes von Stoffen und Energie. Ein Erreichen der „Sustainable Development Goals“ (SDG), der von den Vereinten Nationen 2015 formulierten Nachhaltigkeitsziele (siehe oben), ist ohne 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 ^[13]. 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 Begrenztheit 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 ^[14]. In der Agenda 21 Kap. 35 Abs. 3 der UNCED-Konferenz in Rio de Janeiro 1992 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) ^[15] 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 unmittel-*

bar 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, wenn also etwa die Exposition gegenüber naturfremden, persistenten und mobilen Stoffen hoch ist. 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“ (EEA 2001 ^[16] und 2013 ^[17]) 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 hinreichender 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 nicht Genüge getan ^[18,19]. 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 ⁴. Deshalb dürfen Grenzwerte auch nicht als Auffüllungswerte verstanden werden, die man ausschöpfen darf. Neue wissenschaftliche Erkenntnisse können auch dazu führen, dass Grenzwerte gesenkt 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 unbekannte Wirkungen nicht ausgeschlossen werden können (siehe Abschnitt 6.1) – 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.

⁴ Gemäß Art. 191 Abs.1 AEUV ist die Verbesserung der Qualität der Umwelt ein Ziel der EU.

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 eindeutig festzustellen, weshalb die Kosten auf die Allgemeinheit abgewälzt werden. Allerdings begründet das Verursacherprinzip auch Abgaberegulungen (in Deutschland etwa die Abwasserabgabe). Von dieser Möglichkeit macht der Gesetzgeber allerdings nur selten Gebrauch.

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. Nachhaltige Entwicklung wird oft in Ökologie, Ökonomie und Soziales aufgeteilt, wobei die ökologischen Aspekte die Fahrbinne beschreiben, innerhalb der eine wirtschaftliche und sozial gerechte Entwicklung stattfinden soll [20]. Viele Personen aus Politik und Wirtschaft führen Nachhaltigkeit im Munde, ohne danach zu handeln. Die Fahrbinne 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 [21]. Das Umweltbun-

desamt hat mit seinen Publikationen „Nachhaltiges Deutschland“ [22, 23] ebenso wie der BUND mit den Studien „Zukunftsfähiges Deutschland“ [24, 25] 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 (Suffizienz).

Stoffpolitisch bedeutet Nachhaltigkeit vor allem, irreversible Beeinträchtigungen des Ökosystems 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“ [26] als auch die Kriterien für die besten verfügbaren Techniken (best available techniques, BAT) in Anhang III der EU-Industrieemissionen-Richtlinie 2010/75/EU [27] nennen Maßstäbe für eine nachhaltige Ausrichtung der Chemie.

Der Begriff nachhaltige Chemie („Sustainable Chemistry“) wurde nahezu zeitgleich von der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) und der OECD erstmals auch mit anderer Bedeutung als Green Chemistry benutzt. „Sustainable Chemistry“ bedeutet danach, Produktion, Gebrauch und Entsorgung von Chemikalien an den Regeln der Nachhaltigkeit auszurichten⁵. Das schließt nach heutigem Verständnis ausge-

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/en/home.html>.

hend von der Funktion, die chemische Stoffe erfüllen sollen, auch alternative Geschäftsmodelle und Service orientiertes Denken, Ethik, soziale und ökonomische Aspekte sowie die Betrachtung ganzer Stoff-, Material- und Produktströme ein, die in der „Green Chemistry“ nicht betrachtet werden.

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.

4. Stoffpolitik ist eine planetare Frage

Chemikaliensicherheit und die Wirkungen von Chemikalien sind inzwischen zu einem globalen Thema geworden.

4.1. Globale Belastung mit Chemikalien

Die Sicherheits- und Umweltstandards bei Herstellung und Verwendung von Chemikalien in vielen Entwicklungs- und Schwellenländern sind vielerorts 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 Produktionsabfällen belasten in vielen Fällen Gesundheit und Umwelt schwer. Der Export dieser Risiken bleibt auch für Europa nicht folgenlos: Hier verbotene Chemikalien und Pestizide werden über Textilien, Kunststoffe oder als Verunreinigungen (Kontaminanten) auch über Lebensmittel, wieder eingeführt.

Die globalen Stoffströme (Handel mit Rohstoffen, Chemikalien und Fertigprodukten) haben sich in den letzten 20 Jahren vervielfacht. Hinzu kommt, dass auch europäische Chemiefirmen ihre Produktion in Entwicklungs- und Schwellenländer verlagert haben. Dabei halten sie 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 Abfallströme 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 ungelernte Kräfte. Nicht nur Elektroaltgeräte, sondern auch ganze Schiffe sind typische Beispiele dafür. International hat das Basel-Übereinkommen (1989) das Ziel, den illegalen Export gefährlicher Abfälle zu unterbinden.

Dies alles ist nicht zwangsläufig. Die Industrieländer dürfen sich der Verantwortung für diese Probleme nicht entziehen. Sie sind direkt oder indirekt auch für viele Umweltprobleme in den Schwellen- und Entwicklungsländern verantwortlich. Es wird eine neue globale Stoffpolitik mit bindenden internationalen Vereinbarungen benötigt.

Einen guten Überblick über die globalen Belastungen mit chemischen Stoffen gibt der neue „Global Chemicals Outlook II“ [28] des Umweltprogramms der Vereinten Nationen (UNEP): Darin ist besonders alarmierend, dass – einer Schätzung der WHO zufolge – der unsachgemäße Umgang mit Chemikalien jährlich mindestens 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 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 [29].

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 unveränderte biogeochemische Stoffkreisläufe aus. Dadurch wurde die menschliche Entwicklung hin zu unserer 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.

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.

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“ [30–32]. Dies zeigt sich unter anderem im Klimawandel, abnehmender biologischer Vielfalt und einem aus den Fugen geratenen Stickstoffkreislauf. Abb. 1 illustriert die große Beschleunigung durch menschliche Aktivität anhand zahlreicher ökologischer und sozioökonomischer Parameter.

Außerdem haben die Menschen persistente Chemikalien, Radionuklide und Plastik in die Umwelt entlassen, die heute und 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 [31,33,34].

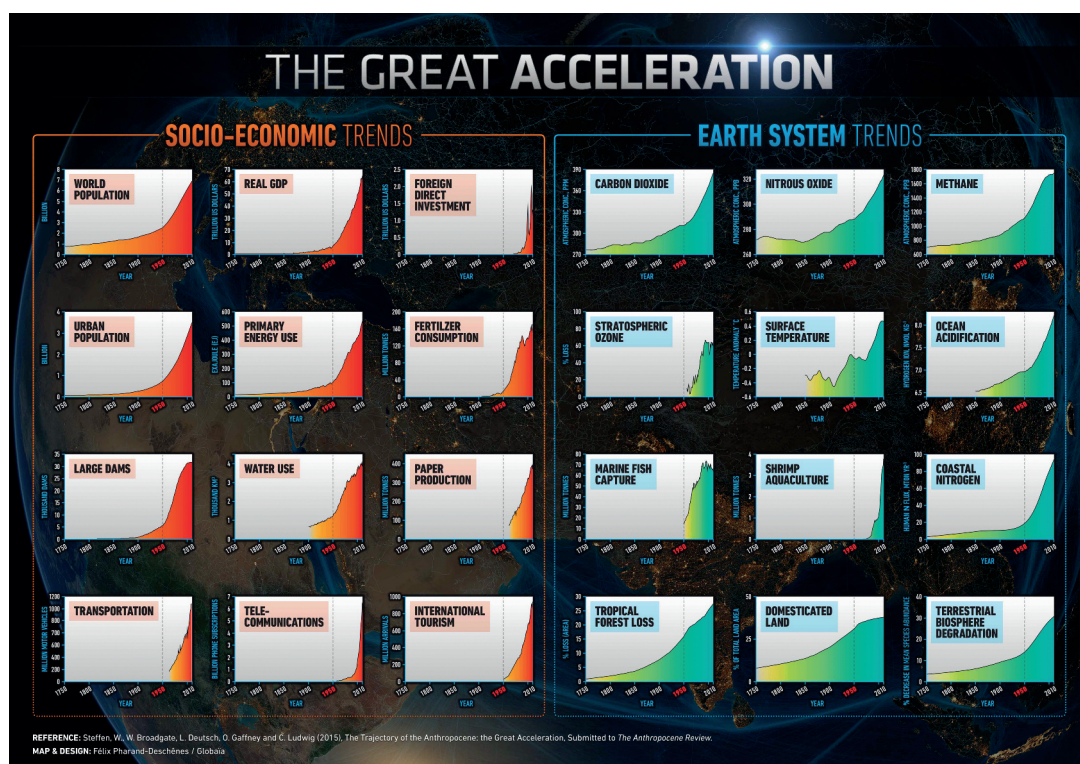


Abbildung 1: „Die große Beschleunigung“ Trends einiger ökologischer und sozioökonomischer Parameter im Verlauf der vergangenen 250 Jahre [30]

Die menschlichen Aktivitäten haben laut der Arbeitsgruppe um Steffen und Rockström [1] ein Niveau erreicht, das die Stabilität der Systeme, die die Erde in ihrem Holozän-Zustand halten, nachhaltig stören könnte. Die Wissenschaftler*innen heben neun Prozesse hervor, welche die Stabilität des Holozän-Erdsystems maßgeblich bestimmen. 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 (Abb. 2).

Die Dramatik der Entwicklung verdeutlicht auch der neue Bericht „Transformation is feasible“ [35] 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 zukunftsgerechte 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 [36].

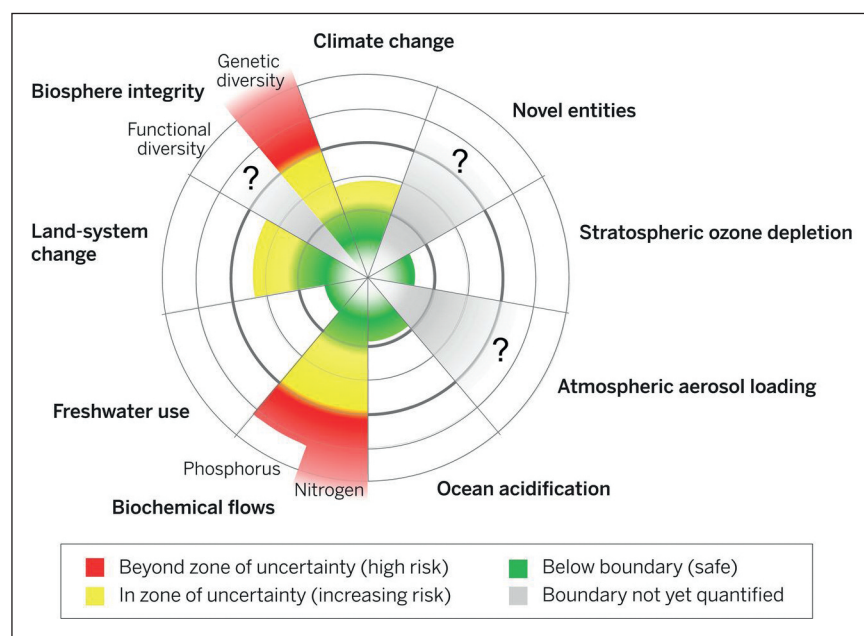


Abbildung 2: Planetare Leitplanken für neun globale Prozesse [1]

4.3. Planetare Leitplanke: „Neue Substanzen“

Eine dieser planetaren Leitplanken sind die „novel entities“ (üblicherweise mit dem Begriff „Neue Substanzen“ ins Deutsche übersetzt, zum Beispiel vom BMU), von den Autor*innen definiert als:

- 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 werden⁸.

Die Autor*innen sehen sich zwar noch nicht in der Lage, eine planetare Leitplanke für „novel entities“ zu quantifizieren. Sie sehen aber Anzeichen für eine Belastung oder gar Überlastung, so dass sie vorsorgendes Handeln und weitere Forschung empfehlen.

Als Beispiel aus der Vergangenheit nennen die Autor*innen die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), die zunächst als harmlos angesehen wurden, bevor erkannt wurde, dass sie die stratosphärische Ozonschicht zerstören. Die Menschheit hat – aus Sicht des Autorenteams – wiederholt durch das Einführen neuer Substanzen (wie polychlorierte Biphenyle (PCB), bromierte Flammhemmer, mobilisiertes Quecksilber oder Blei) Experimente mit globalen Auswirkungen unternommen (global-scale experiments), ohne die Risiken, die sich aus vorhergehenden Experimenten ergeben hatten, zu berücksichtigen. Bis zur Regulierung derartiger Eingriffe verstreicht dann meist sehr viel Zeit [16,17].

Steffen et al. (2015) legen dar, dass es angesichts der Vielfalt der Chemikalien und zahlreicher unbekannter Effekte schwierig ist, konkret einzelne Chemikalien oder Stoffgruppen zu identifizieren, die einen zerstörerischen Effekt auf das Erdsystem haben [1]. Für einige Stoffe, die zum Beispiel im Montreal-Protokoll oder in der Stockholm-Konvention (siehe unten) reguliert sind, sind solche Gefährlichkeitsprofile bekannt. Weitere Beschreibungen der Gefährlicheitseigenschaften befinden sich in der wissenschaftlichen Diskussion (Persson et al. 2013 [37], McLeod et al. 2014 [38] sowie Diamond et al. 2015) [39]. In jedem Fall sind Chemikalien, deren Eintrag in die Umwelt und damit deren mögliche Effekte über lange Zeiträume nicht rückgängig zu machen sind, potenziell problematisch. Steffen et al. (2015) empfehlen daher ein vorsorgendes Chemikalienmanagement mit dem Fokus auf einer nachhaltigen Chemie. Dabei können Synergien mit anderen Feldern wie Arbeitsschutz, erhöhte Lernbereitschaft aus bisherigen Fehlern und Investitionen, Monitoring und wissenschaftliche Forschung genutzt werden, um künftig globale Chemikalienrisiken so frühzeitig wie möglich zu erkennen. Die Zusammenhänge verdeutlichen, dass Chemiepolitik heute einen globalen Ansatz verfolgen muss, wobei hoher Handlungsbedarf besteht.

⁸ 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.

Das Problem der Quantifizierung chemischer Belastungen stellt sich nicht nur auf globaler Ebene, sondern auch in der betrieblichen Praxis. Neuerdings gibt es Vorschläge, wie Firmen, die Chemikalien oder Produkte mit chemischen Inhaltsstoffen verwenden, ihren chemischen Fußabdruck („chemical footprint“) messen und senken können^[40]. Dabei werden Managementstrategie, Chemikalieninventar, Ermittlung des „chemical footprint“, 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 (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 die Fragen der Quantifizierung der chemischen Belastung wissenschaftlich zu erfassen und für die globale, nationale und betriebliche Ebene anwendbar zu machen.

Im Konzept der planetaren Leitplanken nennt das Autorenteam um Rockström und Steffen weitere Leitplanken, die eng mit den Anforderungen einer nachhaltigen Stoffpolitik verbunden sind:

- Biogeochemische Stoffflüsse: Nach Meinung der Autor*innen sind die globalen Belastungsgrenzen von 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 Nutzung fossiler Rohstoffe sowie die Emissionen weiterer Treibhausgase.
- Versauerung der Meere: Diese ist stark mit dem Klimawandel gekoppelt, da etwa 27 bis 34 Prozent des emittierten CO₂ von den Meeren auf-

genommen wird und 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 innerhalb der global vertretbaren Belastungsgrenzen gehalten werden.
- Aerosolgehalt der Atmosphäre: Durch den Gebrauch von Chemikalien ist dieser Gehalt deutlich gestiegen. Doch für diese planetare Leitplanke konnten die Autor*en noch keine Belastungsgrenze definieren.
- Biologische Vielfalt (funktionale und genetische Vielfalt): Die biologische Vielfalt sinkt dramatisch. Insekten, Vögel und andere Arten 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^[5] und andere anthropogene Stoffeinträge. Auch der Weltbiodiversitätsrat IPBES (Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) sieht – neben anderen Ursachen – im hohen Einsatz von Pestiziden wie auch allgemein in der intensiven Land- und Forstwirtschaft einen wesentlichen Grund für die hohen Verluste der Biodiversität^[41].

Sechs der insgesamt neun planetaren Leitplanken haben somit eine enge Beziehung zur nachhaltigen Stoffpolitik. Es ist daher sehr wichtig, Lösungen in diesen Bereichen zu finden, um den Planeten Erde in einem sicheren Handlungsraum für die Menschheit zu halten.

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 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) vereinbarte die Staatengemeinschaft das Ziel, bis 2020 die schädlichen Auswirkungen von Chemikalien bei Herstellung und Gebrauch zu minimieren.

4.4.2. Fünf 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 [42], 1987, verbietet ozonschädigende Substanzen. Diese erste globale Vereinbarung zu Chemikalien gilt als erfolgreich. Die Konzentrationen der Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) und anderer ozonschädigenden Substanzen in der Atmosphäre gehen langsam zurück.
- Das Basel-Übereinkommen [43], 1989, 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 Abfälle in Länder des Südens und Ostens exportiert werden. Im „Global Waste Management Outlook“(GWMO) betont UNEP,

dass nur zwei der 50 größten Abfalldeponien in den Industrieländern liegen [44], obwohl dort das Abfallaufkommen pro Kopf der Bevölkerung deutlich höher ist als in den Entwicklungsländern.

- Im Rotterdam-Übereinkommen [45], 1998, verpflichten sich die Vertragsstaaten, sich gegenseitig über grenzüberschreitende Transporte gefährlicher Chemikalien zu informieren. Die Liste der Chemikalien wird kontinuierlich erweitert, auch wenn zu einigen besonders gefährlichen Stoffen wie Asbest noch immer kein Konsens erzielt wurde.
- Das Stockholm-Übereinkommen [46], 2001, verbietet oder beschränkt Produktion und Einsatz einiger persistenter organischer Schadstoffe (POPs) und 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 verringert sich offenbar allmählich.
- Das Minamata-Übereinkommen[47], 2013, hat zum Ziel, Quecksilbereinträge – seien sie durch Verwendung von Quecksilber in Produkten und Prozessen oder durch Verbrennung von Kohle entstanden – weltweit zu senken.

Basel-, Rotterdam- und Stockholm-Übereinkommen bilden ein gemeinsames Sekretariat. Dies soll Chemikalien- und Abfallmanagement sinnvoll miteinander verbinden und Synergien nutzen.

Zusätzlich gibt es noch eine Reihe weiterer multilateraler Vereinbarungen mit Chemikalienbezug im Rahmen von UN ECE, ILO (internationale Arbeitsorganisation), IMO (International Maritime Organisation) und WHO (Weltgesundheitsorganisation). Die EU und Deutschland haben all diese Verträge ratifiziert.

4.4.3. Der Diskussionsrahmen SAICM

Im Jahr 2006 begann zudem der SAICM-Prozess („Strategic Approach to an International Chemicals Management“) [48], um das Ziel, negative Effekte von Chemikalien und Abfällen zu minimieren, in einem gemeinsamen, sektorübergreifenden Prozess der Staaten mit nichtstaatlichen Organisationen zu erreichen. SAICM ist als Plattform konzipiert, die ausdrücklich komplementär zu den anderen globalen und regionalen Instrumenten des Chemikalienmanagements wirken soll. Alle erkennen die Bedeutung eines fundierten Chemikalien- und Abfallmanagements für eine nachhaltige Entwicklung an.

In dieser Plattform werden weltweite Ziele und Maßnahmen zur Stoffpolitik diskutiert und geplant, aber keine rechtsverbindlichen Beschlüsse gefasst. Das Mandat endet 2020. Es ist vorgesehen, bei der fünften Internationalen Chemikalienmanagementkonferenz (ICCM 5) im Jahr 2020 das Mandat von SAICM zu verlängern und zu bekräftigen. Folgende strategischen Ziele sollen erreicht werden:

- durch geeignete Maßnahmen Schäden durch Chemikalien während ihres Lebenszyklus sowie durch Abfälle vermeiden oder minimieren,
- hierfür das verfügbare umfassende Wissen für informierte Entscheidungen und Maßnahmen weltweit nutzen,
- dazu Themen 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.

4.4.4 Global akzeptierte Prüf-, Bewertungs- und Einstufungsverfahren

Ein weiterer Eckpunkt des internationalen Chemikalienmanagements ist das Chemikalienprogramm der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) [49]. 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) [50] beteiligt, wodurch eine weltweit einheitliche Einstufung und Kennzeichnung der Gefahren von Chemikalien möglich ist. Allerdings haben im Herbst 2018 noch 120 Länder das GHS nicht implementiert, obwohl dies bereits bis 2008 gefordert war. Bedenklich ist auch die Erkenntnis, dass in der EU 2016 immerhin 62 Prozent der 345 Millionen Tonnen verwendeten Chemikalien gesundheitsschädlich gemäß GHS-Einstufung sind [28], – auch ein Zeichen, dass die nachhaltige Chemie selbst in der EU noch ein fernes Ziel ist.

4.4.5. Aktivitäten der Vereinten Nationen – Nachhaltige Entwicklungsziele

2015 beschloss die UN-Vollversammlung siebzehn Ziele für eine nachhaltige Entwicklung bis 2030 (Sustainable Development Goals, SDG) [12]. 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 sind sich inzwischen alle Beteiligten einig, dass dieses Ziel 2020 nicht erreicht wird. Die geringen Fortschritte reichen nicht aus, um die Situation wirklich zu verbessern. Im Gegenteil: Durch die rasante Zunahme der Chemikalienproduktion werden Erfolge wieder kompensiert.

In Bezug auf die erheblichen gesundheitlichen Schäden durch Chemikalien ist 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.“

Bei der vierten UN-Umweltversammlung (UNEA 4, „United Nations Environmental Assembly“) im März 2019 beschloss die Staatengemeinschaft, das internationale Management von Chemikalien und Abfällen zu intensivieren und bis 2030 deutliche Fortschritte zu erreichen ^[51]. In dieser Resolution wird auch – wie schon 2016 bei UNEA 2 – nachhaltige Chemie als wichtiger Ansatzpunkt für ein sicheres Chemikalienmanagement anerkannt. Außerdem wurde als Ziel „Towards a Pollution-free Planet“ ausgerufen.

4.4.6 Trotz allem: 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 „Business as usual“ keine geeignete Lösung. Es existieren zwar Lösungen; aber eine weitaus ehrgeizigere und abgestimmte Vorgehensweise ist dringend erforderlich. Dazu zählt auch, 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. Außerdem muss sich die Verbindlichkeit der internationalen Beschlüsse erhöhen. Dazu gehört, verbindliche Ziele zu formulieren, Indikatoren für Erreichung festzulegen sowie die Pflicht, regelmäßig über Fortschritte in der Zielerreichung zu berichten.

Auch wenn derzeit der politische Wille dazu fehlt, ist angesichts der globalen Herausforderungen eine Chemierahmenkonvention, die weltweit verbindliche Standards für Produktion und Gebrauch von Chemikalien setzt, anzustreben.

Die aus diesem Kapitel abgeleiteten Forderungen des BUND zur internationalen Stoffpolitik sind in Abschnitt 8.1 zusammengestellt.

5. Die EU-Chemikalienverordnung REACH

Die EU einigte sich Ende 2006 mit der REACH-Chemikalienverordnung ^[52] auf das bis heute fortschrittlichste Chemikaliengesetz der Welt. Mit REACH stärkte die EU den Präventionsgedanken entscheidend: 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 Registrierungs dossiers einreichen. Für das Inverkehrbringen von Chemikalien gilt der Grundsatz „Keine Daten, kein Markt“.

Ein Hauptziel von REACH ist es, Stoffe mit besonders kritischen Eigenschaften („Substances of Very High Concern“, SVHC) in einer sogenannten Kandidatenliste 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 weiterverwendet werden.

REACH ist zweifellos ein großer Fortschritt, auch wenn die Verordnung noch deutliche Mängel aufweist ^[53]: Kritik ruft insbesondere die mangelnde Qualität der eingereichten Registrierungs dossiers hervor. Regelmäßige Stichproben der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) und eine vom Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) durchgeführte Studie ^[54] zeigen, dass ein sehr hoher Prozentsatz der Registrierungen nicht den gesetzlichen Anforderungen der 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 bei der Herstellung von unzähligen

Konsumprodukten des täglichen Gebrauchs verwendet werden. Etliche weltweit agierende Unternehmen unter anderem aus der Erdöl verarbeitenden und Kunststoff-Industrie sind, wie eine BUND-Recherche offenlegte ^[55], ihren gesetzlichen Registrierungs-pflichten nur sehr unvollkommen nachgekommen. Die Problematik hat generelle Debatten in der Europäischen Kommission, dem Rat und dem Europäischen Parlament ausgelöst.

Zu kritisieren ist auch die traditionelle Vorgehensweise, jede Chemikalie einzeln („substance by substance“) zu bewerten. Dies ignoriert das Zusammenwirken mehrerer Stoffe (siehe Abschnitt 6.7) und führte bereits in mehreren Fällen zu unangemessenen Substitutionen durch weniger gut untersuchte Stoffe mit ähnlichem Gefahrenprofil (Beispiel: Bisphenol S ersetzt zunehmend Bisphenol A). Ferner erfasst REACH Zwischenprodukte ebenso wie Erzeugnisse ⁹ mit gefährlichen Chemikalien unzureichend. Auch berücksichtigt die REACH-Verordnung in ihrer derzeitigen Fassung nicht die besonderen Risiken von Nanomaterialien oder Mikroplastik.

Ferner muss der Informationstransfer in der Produktkette (Downstream und Upstream) verbessert werden, da zahlreiche Unternehmen wesentliche, sicherheitsrelevante Informationen häufig nicht weitergeben ^[56]. Vor allem erreichen diese Informationen nicht die Recyclingunternehmen, 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 zusätzlich. Der aus der novellierten Abfall-Rahmenrichtlinie ^[57] abgeleitete Auftrag an die Europäische Chemikalienagentur (ECHA), eine Datenbank mit SVHC-haltigen Produkten aufzubauen, ist ein sinnvoller Schritt zu mehr Transparenz.

⁹ Erzeugnisse sind Produkte, bei denen nicht die chemische Zusammensetzung, sondern Form und Gestalt für die Funktion maßgebend sind.

REACH gilt im Grundsatz für alle Chemikalien. Für spezielle Stoffgruppen (z. B. Pestizide, Arzneimittel, Kosmetika) gelten jedoch eigene gesetzliche Bestimmungen. Zwar ist es sinnvoll, dass beispielsweise für Biozide 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.

Die aus diesem Kapitel abgeleiteten Forderungen des BUND zu REACH sind in Abschnitt 8.2 zusammengestellt.

6. Persistenz und andere stoffbezogene Eigenschaften

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.

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. Dieser Ansatz ignoriert, dass bei persistenten Stoffen Exposition und Wirkung entkoppelt sind. Da sie sich in der Umwelt anreichern und ausbreiten, können Wirkungen an anderen Orten verzögert eintreten. Falls man zu einem späteren Zeitpunkt nachteilige Effekte feststellt, ist der Stoff aus der Umwelt nicht mehr zu entfernen.

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. Dies hat das Beispiel der Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) eindrucksvoll demonstriert. Bei persistenten Stoffen können somit die Folgen des Nichtwissens über unerkannte Wirkungen besonders groß sein.

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 ist¹⁰. Es sind die „vPvB“-Stoffe („very persistent and very bioaccumulative“). Auch andere EU-Rechtsnormen wie die Pestizid-Verordnung^[58] und die Biozid-Verordnung^[59] sehen für persistente und bioakkumulierende Wirkstoffe strenge Bestimmungen mit dem Ziel eines „Phasing-out“ vor. Auf internationaler Ebene regelt die Stockholm-Konvention einige wenige langlebige organische Schadstoffe (POPs, persistent organic pollutants – siehe Abschnitt 4.4).

Persistenz betrifft auch Stoffgruppen, die bislang nicht im Fokus standen. Kunststoffe in der Umwelt wurden 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 sind¹¹. 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^[60].

Speziell zugesetztes Mikroplastik und solches, das durch Abrieb aus Plastikmaterialien, Textilien und Fahrzeugreifen 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 oder können sie nicht verdauen. Über das Nahrungsnetz gelangen 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 auch in Flüssen und Seen verbreitet sind^[61]. Sehr gravierend ist aber auch die Belas-

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.

tung von Böden. Komposte, Gärreste aus Biogasanlagen und Klärschlämme enthalten Plastikreste, so dass alle landwirtschaftlichen Böden heute Mikroplastik und auch Reste von Makroplastik enthalten [62].

Da der bei weitem größte Teil der Einträge mit Kunststoffabfällen aus Quellen in Asien und Afrika stammt [63] (zum Teil aus europäischen Kunststoffabfällen, die dorthin exportiert wurden), dürften dort die durch Makro- und Mikroplastik verursachten Umweltprobleme noch viel gravierender sein.

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 Flammschutzmittel ein ernstes Umweltproblem dar. 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 [64]. Australischen Untersuchungen zufolge nimmt der Mensch durchschnittlich 5 g je Woche an Mikroplastik auf [65]. 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 [66] (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 weiter oben im Nahrungsnetz sind dadurch besonders gefährdet. Die Schadstoffe

werden entlang der Nahrungskette weitergegeben, so dass bei Tieren wie Robben, Greifvögel oder auch bei Menschen die höchsten Konzentrationen zu finden sind. Daher sind diese Lebewesen einem größeren Risiko durch schädliche Effekte ausgesetzt. Beispiele für solche Stoffe sind sowohl flammhemmende Mittel wie polybromierte Diphenylether (PBDE) und Hexabromcyclododekan (HBCD) als auch polychlorierte Biphenyle (PCB), die unter anderem in Transformatoren, Hydraulikflüssigkeiten und Fugenmassen Verwendung gefunden haben.

Seit einiger Zeit sind zudem per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFC) in den Blickpunkt gerückt. Diese in zahlreichen Produkten wie Textilien und Löschschäumen, aber auch in Beschichtungen sowie in Prozessen wie der Galvanik verwendeten Stoffe sind mittlerweile ubiquitär verbreitet und häufig toxisch. Inzwischen sind zwei Vertreter dieser Stoffgruppe – Perfluorooctansulfonat (PFOS) und Perfluorooctansäure (PFOA) – als POPs in Annex A des Stockholm-Übereinkommens aufgenommen [67]. Damit ist ihr Einsatz – abgesehen von befristeten Ausnahmen – künftig weltweit verboten. Über die aktuellen Aktivitäten zur Reglementierung einzelner Vertreter dieser Stoffgruppe hinaus ist ein genereller Ausstieg aus diesem Teil der Fluorchemie zu fordern. Auch mehr als 50 renommierte Wissenschaftler*innen fordern in ihrem "Zürich Statement on Future Actions on Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs)" neue Bewertungs- und entschlossene Regulierungsansätze für diese Stoffgruppe [68].

Zudem können auch Umwandlungsprodukte (Metabolite) von Chemikalien in hohen Konzentrationen in Organismen auftreten. So zeigten Forscher*innen 2018, dass das Serum kanadischer Eisbären viele Metabolite halogener Substanzen enthielt. Sie schlossen daraus, dass die Risiken der Bioakkumulation offensichtlich bisher zu wenig beachtet wurden [69].

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 bioakkumulierender Stoffe wird bereits durch die EU-Chemikalienverordnung REACH oder das Stockholm-Übereinkommen verboten oder begrenzt.

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

6.3. Mobilität

Persistente Stoffe sind nicht nur in Verbindung mit Bioakkumulation besonders besorgniserregend. Sind diese 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 durch Adsorption an Aktivkohle entfernt werden.

In der REACH-Verordnung ist eine systematische Erkennung und Bewertung dieser Gefährlichkeitsmerkmale zwar 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. Der ECHA-Ausschuss der Mitgliedsstaaten hat inzwischen eine perfluorierte Chemikalie (HFPO-DA) als ersten Stoff wegen seiner Mobilität und Persistenz als besonders besorgniserregend eingestuft^[70]. Das Umweltbundesamt hat ein Bewertungskonzept mit Kriterien erarbeitet, das es ermöglicht, Stoffe zu identifizieren, die persistent (P), mobil im Wasserkreislauf

(M) und toxisch sind – so genannte PMT-Stoffe – oder die sehr persistent und sehr mobil sind – so genannte vPvM-Stoffe¹². Hier besteht ein klarer Regelungsbedarf.

6.4 Indirekte Wirkungen

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

- Pestizide: Einige 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 Verarmung 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 (Eutrophie-

¹² PMT-Stoffe sind persistent, mobil und toxisch, vPvM-Stoffe sind sehr persistent und sehr mobil; siehe auch: Umweltbundesamt (2018): <https://www.umweltbundesamt.de/mobile-chemikalien>.

rung) sowohl in Binnengewässern als auch in den Weltmeeren [71]. Die Folgen sind Sauerstoffmangel und eine Gefährdung der aquatischen Lebensgemeinschaften.

- **Reaktive Stickstoffverbindungen** (vor allem Ammoniak/Ammonium, Nitrat, Lachgas und Stickoxide): 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. Ammoniak und Nitrat (aus Stickoxiden) verursachen durch Einträge über die Atmosphäre eine Überdüngung und Beeinträchtigungen von Landökosystemen. Nitrat führt zu Grundwasserbelastungen und Überdüngung. Lachgas (N_2O) trägt wegen seines Treibhauspotenzials zur Klimaerwärmung bei. Auch die UN-Umweltversammlung UNEA 4 betrachtet die Überlastung der Umwelt mit reaktivem Stickstoff offenbar als Problem, ohne allerdings konkrete Maßnahmen zu beschließen [72]. Im Mai 2020 wird die „International Nitrogen Initiative“ (INI) [73] in Berlin eine Konferenz unter Schirmherrschaft des Umweltbundesamtes durchführen. Es sollen Maßnahmen diskutiert werden, wie sich die Einträge so reduzieren lassen, dass die planetaren Grenzen für Stickstoff (siehe Abschnitt 4.3) eingehalten werden.
- **Kohlendioxid (CO_2)**: Auch dieses Gas ist eine langlebige Substanz. Durch die Verbrennung fossiler Energieträger für Elektrizität, Mobilität, Wärme und andere technische Prozesse (z. B. Chemikalienproduktion, Zementherstellung) wurden und werden riesige Mengen an CO_2 freigesetzt, die die wesentliche Ursache des Klimawandels sind.

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

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 Hormone oder beeinflussen deren Wirkung, Bildung, Transport und Abbau. Mangelnde Fruchtbarkeit, drastisch sinkende Spermienzahl, Missbildungen der Geschlechtsorgane, erhöhtes Auftreten verschiedener hormonabhängiger Krebsarten (wie Brust- und Prostatakrebs) werden in der Literatur als mögliche Folgen einer Exposition beschrieben [74].

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“) [75] 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 umweltoffenen Anwendungen.

Hormonell schädliche Substanzen sind oft Massenschadstoffe wie Bisphenole, die in Polycarbonat-Kunststoffen und Innenbeschichtungen von Dosen verwendet werden, Weichmacher (Phthalate), die in Bodenbelägen, Kunstleder, Schuhen und trotz gesetzlicher Beschränkungen noch immer in jedem fünften Spielzeug gefunden werden [76], Flammenschutzmittel in Polstermöbeln bis hin zu agrarischen Pestiziden und antimikrobiellen Reinigungsmitteln. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat mehr als 800 endokrine Schadstoffe [77] gelistet. Sie führt auch viele weitere verdächtige Substanzen auf, die noch auf ihre hormonschädlichen Wirkungen untersucht werden müssen.

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 [78]. 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 [79].

Die EU-Kommission hat 2017 und 2018 mit zwei Verordnungen [80,81] wissenschaftliche Kriterien zur Definition von endokrin schädlichen Eigenschaften bei Pestiziden und Bioziden veröffentlicht, die auch auf andere Stoffgruppen Anwendung finden können. Diese Definition setzt aber hohe Nachweishürden und verlangt umfassende Untersuchungsergebnisse. Vermutlich werden deshalb nur wenige Stoffe als endokrin schädlich identifiziert werden. Eine Kategorie von Stoffen, bei denen der begründete Verdacht auf hormonelle Wirkung besteht (analog zu krebserregenden und genverändernden Stoffen), ist nicht vorgesehen. Die vorliegenden Kriterien sind deshalb offensichtlich unzureichend vom Vorsorgeprinzip geleitet. Auch ist die Standardisierung von Prüfverfahren, die verlässlich klären, ob endokrine Wirkungen auftreten, nach wie vor nicht abgeschlossen.

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

6.6. Nanomaterialien und andere neuartige Materialien

Nanomaterialien enthalten Partikel, deren Größe in mindestens einer Dimension 1 bis 100 Nanometer beträgt¹³. Die Partikel können ungebunden vorliegen oder als Agglomerat beziehungsweise Aggregat.

Weil Nanomaterialien vielfältige neue technologische Anwendungen ermöglichen, nimmt ihre wirtschaftliche Bedeutung zu und sie werden in immer größerem Umfang hergestellt. Damit ist auch eine steigende Belastung gegenüber Mensch und 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 [82].

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 der EU-Chemikalienverordnung REACH wird das Wort „nano“ bisher an keiner Stelle genannt. Stattdessen hat die Europäische Chemikalienagentur ECHA in den vergangenen Jahren Leitfäden veröffentlicht, in denen sie mitteilt, wie Unternehmen Nanomaterialien registrieren sollen. Diese Leitfäden hatten aber bislang keine ausreichende gesetzliche Grundlage. Grundsätzlich wäre es konsequent, den eigentlichen Verordnungstext anzupassen. Die EU-Kommission hat

¹³ Anzahlgrößenverteilung mindestens bei 50 %, siehe Empfehlung der EU Kommission vom 18. Oktober 2011, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011H0696&from=DE>.

sich aber in ihrem nach jahrelanger Verzögerung im April 2018 vorgelegten Vorschlag darauf beschränkt, nur die REACH-Anhänge in Bezug auf Nanomaterialien anzupassen und darin festzulegen, welche Daten Unternehmen von Januar 2020 an vorlegen müssen. Mit Zustimmung der Mitgliedstaaten ist am 03. Dezember 2018 diese Verordnung [83] veröffentlicht worden. Danach müssen Unternehmen für Nanoformen von Stoffen, von denen sie mehr als eine Tonne pro Jahr herstellen oder in die EU einführen, zusätzliche Angaben machen. Wesentliche Punkte wie spezifische Prüfanforderungen und eigene Expositionsbetrachtungen sind enthalten. Es bleibt abzuwarten, welche Daten die Hersteller am 01. Januar 2020 vorlegen werden. Außerdem steht noch die Novellierung der Prüfmethode-Verordnung [84] aus. Dies ist wichtig, da die Untersuchung von Nanomaterialien spezieller Anpassungen der Testverfahren bedarf.

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 verschiedenartigster Stoffe und Gemische, die gemeinsam haben, dass sich mit ihnen besondere Funktionalitäten wie Supraleitung, optische und magnetische Merkmale erschließen lassen. Auch Komposit-Werkstoffe sowie Stoffe mit biologischen Funktionalitäten (z.B. Bio-Nano) werden dazu gezählt. Eine einheitliche Definition 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. Darüber hinaus sind häufig die Ressourcenverfügbarkeit (etwa bei speziellen Legierungen) sowie die mangelnde Recycelbarkeit (zum Beispiel bei Komposit-Werkstoffen) in die Bewertung einzubeziehen (siehe Abschnitt 7.4). Einige Werkstoffe führen bei der Bearbeitung zu Risiken (etwa einige faserverstärkte Materialien). Ein be-

sonderes Augenmerk sollten solche Materialien haben, die über den Stoffbegriff von REACH nicht mehr erfasst werden (Beispiele: biologisch funktionalisierte Materialien, multifunktionelle Mehrkomponentensysteme). Um zu verhindern, dass potenzielle Risiken zu spät erkannt werden, ist eine partizipative, kritische Begleitung der rasanten technischen Entwicklung ebenso notwendig wie die Entwicklung von „Safe by Design“-Konzepten und ein neuer Schwerpunkt der Sicherheitsforschung. Unter Anwendung des Vorsorgeprinzips sind auf einigen Anwendungsfeldern auch regulatorische Maßnahmen angemessen.

6.7. 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) [85] enthält zwar Regeln, wie Gemische einzustufen und zu kennzeichnen sind. Eine Risikobewertung von Gemischen erfolgt jedoch nur in Ausnahmefällen. Vorhandene Risiken werden deshalb häufig unterschätzt, da sich die Komponenten eines Stoffgemisches gegenseitig beeinflussen und ihre Wirkungen verstärken können. Da eine experimentelle Prüfung eines Gemisches in der Regel aus Tierschutzgründen und wegen zu hohen Aufwandes (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 [86, 87].

Basierend auf Schlussfolgerungen des Rates 2009 hat die EU Kommission 2012 einen Bericht vorgelegt [88], 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.“

Die Chemikalienverordnung REACH kennt derzeit keine systematische Berücksichtigung von Mischungstoxizitäten. Die Europäische Chemikalienagentur ECHA verfolgt zwar in ihrem „Strategic Plan 2019-2023“ inzwischen den Ansatz, durch so genanntes „Grouping“ chemisch verwandte Stoffe bei der Bewertung und Regulierung zusammenzufassen. Sie will damit vermeiden, dass gefährliche Stoffe durch solche mit ähnlichen Eigenschaften ersetzt werden. Dies würde eine Abkehr vom bisherigen Prinzip bedeuten, dass die Bewertung „substance by substance“ erfolgt, und auch eine gemeinsame Expositionsbeurteilung ermöglichen. Allerdings ist dies keine Maßnahme zur Bewertung der sich addierenden Wirkung von Stoffgemischen.

Bei agrarischen Pestiziden werden zwar die Präparate geprüft und bewertet, nicht jedoch die immer häufiger verwendeten Tankmischungen und die mehrfachen Applikationen von Pestiziden während einer Vegetationsperiode („Spritzfolgen“) [5]. Jüngste Publikationen lassen vermuten, dass in der Pestizidbewertung Mischungstoxizitäten künftig mehr Beachtung

finden werden [89]. Auch die Festlegung von Rückstandshöchstmengen von Pestizidwirkstoffen in Lebensmitteln beruht derzeit noch auf der Bewertung von Einzelstoffen und führt damit häufig zu einer Unterschätzung des Risikos. Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) diskutiert derzeit einen Leitfaden-Entwurf zur Bewertung der kombinierten Exposition gegenüber mehreren Wirkstoffen. 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 2003 zeigte, dass in deren Blut im Durchschnitt 41 von 100 untersuchten Chemikalien nachweisbar waren [90]. Das „Human Biomonitoring“-Programm der EU (HBM4EU) verfolgt deshalb 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 Umwelttoxine wie Temperatur, Lärm, elektromagnetische 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 [91]. Unsicherheitsfaktoren zur Übertragung von Modellergebnissen auf die Realität bleiben deshalb auch bei deutlich verbesserter Datenlage notwendig.

6.8. Spurenstoffe 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 [2] unter anderem eine weitergehende Abwasserreinigung 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. Dies sind Maßnahmen, die auch das Umweltbundesamt empfiehlt [3].

Die neuere Forschung zeigt, 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.

6.9. Ausblick: nachhaltige Chemikalien

Eine nachhaltige Stoffpolitik rückt die Umwelteinträge persistenter Stoffe und Materialien stärker in den Mittelpunkt und hat deren Verringerung zum Ziel. Als Ersatzstoffe geeignete Chemikalien sollten weder persistent noch bioakkumulierend noch hochmobil sein. Sie sollten in ihrem Anwendungsbereich kontrollierbar und möglichst leicht abbaubar sein.

Da viele Inhaltsstoffe von Produkten im Laufe ihrer Gebrauchsphase bestimmungsgemäß (wie Pestizide, Arzneimittel, Waschmittel, Kosmetika) oder ungewollt (etwa durch Ausgasung, Auslaugung oder Abrieb) in die Umwelt gelangen und sich in Gewässern, Boden und (Innenraum-)Luft wiederfinden, brauchen diese Chemikalien ein ökologisches Moleküldesign. Das heißt, sie sollen „benign by design“ sein. „End of pipe“-Systeme wie die Abwasserreinigung stoßen bei der Minderung der Einträge an ihre Grenzen.

Damit eine Chemikalie als nachhaltig bezeichnet werden kann, muss sie mehrere Bedingungen erfüllen: Solche Chemikalien sollen möglichst keine unerwünschten Wirkungen haben und in der Umwelt eine geringe Stabilität aufweisen, also nach ihrem eventuellen Eintrag in die Umwelt möglichst rasch wieder abgebaut werden. Sie sollen auch zeitlich und räumlich eine geringe Reichweite haben („short range chemicals“). Die Entwicklung nachhaltiger Chemikalien ist auch deshalb erforderlich, weil zahlreiche unter der EU-Chemikalienverordnung REACH registrierte Stoffe nur dann sicher verwendet werden, wenn aufwendige und zum Teil auch teure Sicherheitsvorkehrungen und Expositionsminderungs-Maßnahmen eingehalten werden – eine Voraussetzung, die nicht ohne weiteres bei kleinen und mittleren Betrieben sowie außerhalb der EU gegeben ist.

Die aus diesem Kapitel abgeleiteten Forderungen zur Weiterentwicklung der Stoffbewertung sind in Abschnitt 8.3 zusammengestellt.

7. Stoffstrommanagement

Will man nachhaltige Chemie konkret umsetzen, braucht es ein umfassendes Stoffstrommanagement. Dies beginnt bereits bei der Entnahme und Gewinnung von Rohstoffen und endet bei der Wiederverwertung und Beseitigung von Abfällen.

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“ [92] formulierte 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 [93, 94].

Um solche Prioritäten setzen zu können, braucht es Indikatoren für die Umweltauswirkungen von Gewinnung und Nutzung energetischer und materieller Ressourcen [95]. Denn sowohl Energie- als auch Materialaufwand hängen in Produktion und Anwendung eng zusammen. Als Indikatoren eignen sich der „kumulierte Energieaufwand“ (KEA) [96], der „kumulierte Rohstoffaufwand“ (KRA) [97] 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 zu 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. 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 bestverfügbaren Techniken (BAT) im Rahmen des Sevilla-Prozesses¹⁴ in die sog. „Best available techniques reference documents“ (BREFs) aufzunehmen.

Diese drei Indikatoren decken jedoch nur einen Teil der durch die Nutzung von Ressourcen entstehenden Umweltauswirkungen 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 Bewertung 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

¹⁴ Gemäß Industrieemissionen Richtlinie 2010/75/EU wird der Stand der Technik branchenspezifisch festgelegt.

werden die Einsparungen teilweise durch das Wirtschaftswachstum wieder kompensiert. 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. 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 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) 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 unvertretbare 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 ökologischen Stoffstrommanagements

Ein ökologisches Stoffstrommanagement orientiert sich an Leitbildern. Eines hiervon ist die Kreislaufwirtschaft („Circular economy“) 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.

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. Entropie¹⁵ 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 Prozessen¹⁶. 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 [98].

Nachhaltige Chemikalienproduktion bedeutet aber 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 Arzneimitteln-Wirkstoffen werden sogar im Durchschnitt je kg Produkt 25 kg nicht weiter nutzbare Nebensubstanzen „produziert“, die entsorgt werden müssen [28].

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 [99,100]:

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. Dies wird Rebound-Effekt genannt.

Konsistenz bezieht sich auf die Vereinbarkeit von Natur und Technik. Darunter fällt unter anderem die Entwicklung geschlossener Stoffkreisläufe, indem Abfälle vollständig recycelt werden, oder auf naturverträgliche Materialflüsse, die sich problemlos in natürliche biogeochemische Prozesse einfügen lassen. 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 einzelner Personen, sondern der Gesellschaft insgesamt. Suffizienz lässt sich durch die Begriffe Entschleunigung, Entflechtung, Entkommerzialisierung und Entrümpelung charakterisieren [101]. Suffizienz bedeutet nicht asketischer Verzicht, sondern stellt die Frage nach dem rechten Maß und dem bewussteren Umgang mit begrenzten Ressourcen [102].

Während Effizienz und Konsistenz in der Bevölkerung allgemein akzeptiert werden, treffen Suffizienzstrategien auf Vorbehalte. Allerdings zeigt 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. Suffi-

¹⁵ 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.

¹⁶ Dissipation: Zerstreuung/Verteilung von Teilchen in einem System.

zienz wird sich nur durchsetzen, wenn Begünstigungen für die Verschwendung von Energie, Material und Arbeitskraft beendet werden.

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. Der Rohstoffhunger der Industrieländer beraubt ganze Regionen ihrer Entwicklungschancen.

7.3. Notwendige Trendumkehr bei der Chemikalienproduktion

Das weltweite Chemikalienproblem ist nicht nur ein Thema der gefährlichen Eigenschaften von Stoffen, sondern auch ein Problem der ständig steigenden weltweiten Chemikalienproduktion in Menge, Umsatz und Vielfalt: Der Umsatz verdoppelte sich in der Dekade von 2000 bis 2010. Für den Zeitraum 2017 bis 2030 prophezeit der Bericht „Global Chemicals Outlook II“ des Umweltprogramms der Vereinten Nationen (UNEP) eine weitere Verdopplung von 5 auf 10 Billionen US-\$ [28], wobei insbesondere in Schwellenländern eine Zunahme zu verzeichnen ist. Bereits heute benötigt die chemische Industrie circa zehn Prozent des globalen Energiebedarfs und ist der drittgrößte industrielle Sektor bezüglich der CO₂-Emissionen [103]. Auch wenn Schwellen- und Entwicklungsländer einen gewissen „Nachholbedarf“ haben, ist eine Trendumkehr erforderlich, die auch Maßnahmen in den Industrieländern erfordert. Die Zunahme der Produktion führt zwangsläufig zu einer zunehmenden weltweiten Belastung mit Chemikalien.

Derzeit dominieren Mineralöl und Gas mit rund 90 Prozent als stoffliche Basis für die Chemieproduktion. Der Mineralölverbrauch des Chemiesektors wächst

inzwischen im Vergleich mit anderen Bereichen am stärksten [104]. 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 [105]. Diese Probleme werden sich nur lösen lassen, wenn dieser Trend zu mehr Produktion und Einsatz von immer vielfältigeren Stoffen gestoppt und umgekehrt wird.

Um dies zu erreichen, bedarf es weltweiter Anstrengungen zu mehr Ressourceneffizienz und zur Kreislaufführung. Während die chemische Industrie bei der Herstellung ihrer Produkte durch Verbundproduktion schon in eigenem Interesse relativ effizient arbeitet, liegen in der Gebrauchsphase noch erhebliche ungenutzte Potenziale. Auch die Suffizienz, also die Beschränkung des Konsums und der Ansprüche, muss ein zentraler Ansatzpunkt einer neuen Stoffpolitik sein. Insbesondere die vielfältigen Wegwerfmaterialien 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.

Mineralöl und Gas als wesentlicher Rohstoff („Feedstock“) für die Herstellung von Chemieprodukten können auf Dauer keine nachhaltige Lösung sein. Prioritär – insbesondere aus Gründen des Klimaschutzes – muss die Verwendung von Mineralöl für Treib- und Brennstoffe so rasch wie möglich beendet werden. Insofern sind Stoffpolitik und Energiepolitik miteinander verknüpft. Fossile Rohstoffe für die Produktion sind mittelfristig nur bei einer konsequenten Kreislaufführung der aus ihnen hergestellten Produkte vertretbar.

Kohle als alternative Rohstoffquelle zu Mineralöl würde eher zu einem Anstieg der CO₂-Emissionen führen und damit das Problem noch verschlimmern. Biomasse ist nur begrenzt ausbaubar ^[106], wenn man Probleme wie Flächenkonkurrenz durch nachwachsende Rohstoffe oder die Abholzung von Urwäldern für die Produktion von Biomasse (Stichwort Palmöl) vermeiden will. Sinnvoll ist auf jeden Fall, die Syntheseleistungen der Natur durch Pflanzen und Mikroorganismen möglichst intelligent und effektiv zu nutzen. Eine Rohstoffproduktion mittels erneuerbarer Energien durch Reaktion von Kohlendioxid (CO₂) mit Wasserstoff (H₂) – Power to X – könnte eine langfristige Lösung sein, harrt jedoch noch einer genaueren Bewertung der Umweltauswirkungen. Es besteht noch Klärungsbedarf wegen des hohen Energieaufwands und der Notwendigkeit, CO₂ aus der Luft herauszufiltern oder aus Verbrennungs- und Fermentationsprozessen zu gewinnen und dann zwischenzulagern.

7.4 Nachhaltige Chemie in der Kreislaufwirtschaft

Stoffkreisläufe beginnen mit der Gewinnung und Aufbereitung von Rohstoffen und führen über die Produkt- und Abfallphase zur Wiederverwendung oder Recycling. Zu einem nachhaltigen Stoffstrommanagement gehören daher auch Anforderungen an die Produktgestaltung (recyclingfähig, gut trennbare Materialmischungen, zerlegbare Komponenten etc.) und 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. Auch geringe Verunreinigungen lassen sich häufig nur mit hohem Ressourcenaufwand und „Entropieproduktion“ wieder entfernen. 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 zum Recycling 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 etwa im Sinne längerfristiger Nutzung Vorrang haben muss und die ökologisch beste Form des Stoffstrommanagements ist.

Auch können die Ziele der Kreislaufwirtschaft (möglichst viel stoffliches Recycling) und der Chemikaliensicherheit (möglichst geringe Kontamination durch Schadstoffe aus Sekundärrohstoffen) im Widerspruch zueinanderstehen. 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.

In Bezug auf die erstrebenswerte Lebensdauer (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.

Das Ziel eines kreislaforientierten Stoffstrommanagements wird auch dann verfehlt, werden in Recyclingprozessen gefährliche Inhaltsstoffe verschleppt. Das können Schwermetallstabilisatoren in PVC oder flammhemmende halogenierte Zusatzstoffe in anderen Kunststoffen sein. Lassen sich solche „Störstoffe“ nicht abtrennen, sollten derartige Sekundärrohstoffe sinnvollerweise ausgeschleust und umweltverträglich entsorgt werden. Unter kontrollierten Bedingungen kann im Einzelfall eine weniger anspruchsvolle Anwendung für den 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, der Produktgesetzgebung und im Abfallrecht deutlich erweitert werden. Recyclingunternehmen verfügen meist nicht über hinreichende Informationen zur stofflichen Zusammensetzung der angelieferten Abfälle.

7.4.2. Rohstoffgewinnung und -aufbereitung

Die Nutzung von Rohstoffen hat im vergangenen Jahrhundert dramatisch zugenommen und wird sich in den kommenden Jahrzehnten weiter steigern [107,108] (siehe Abb. 3). Das Erreichen oder Überschreiten globaler Belastungsgrenzen (siehe Abschnitt 4.2) ist absehbar. Eine internationale Vereinbarung zur Deckelung der Rohstoffnutzung ist daher anzustreben.

Das Gewinnen und Aufbereiten von Rohstoffen hat 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

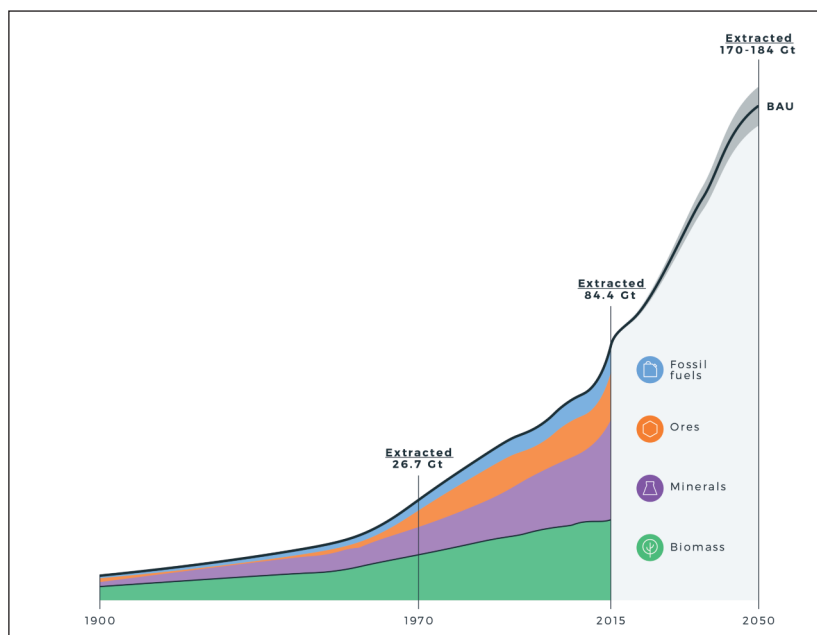


Abbildung 3: Weltweite Zunahme der Rohstoffextraktion (de Wit et al, 2018) [107]
Biomass – Biomasse,
Minerals – Mineralien, Ores – Erze, Fossil fuels – fossile Brennstoffe

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 und es bestehen erhebliche Versorgungsrisiken ^[109]. Solche Rohstoffe kommen oft nur in niedriger Konzentration in wenigen Weltregionen vor. Ihre Gewinnung und Verhüttung ist meist mit starken ökologischen Schäden verbunden. Ein Recycling ist zurzeit meist zu teuer, wäre aber dringend erforderlich für einen verantwortungsvollen Umgang mit diesen Stoffen ^[110]. Die Gewinnung dieser kritischen Metalle hat auch soziale Komponenten. Sie geschieht häufig in Ländern, in denen die Arbeitsbedingungen dramatisch schlecht sind. Sie wird teilweise sogar zur Finanzierung von Kriegen genutzt.

Einige dieser Auswirkungen kann die 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 ist.

In seinem Hintergrundpapier „Ressourcenschutz ist mehr als Rohstoffeffizienz“ hat der BUND eine Analyse der gegenwärtigen Rohstoffnutzung und eine Strategie für effektiveren Ressourcenschutz vorgelegt ^[111].

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 für Lebensmittelverpackungen sind teilweise komplexe Mehrschichtkunststoffe mit Zusatzstoffen, die sich nicht mehr trennen lassen.

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 Schrotte und Glas, mit Einschränkungen auch Papier und Pappe) beschränkt sich deshalb die stoffliche Wiederverwertung derzeit überwiegend noch auf Produktionsabfälle. Für Schrotte und Glas hat die EU-Kommission Kriterien festgelegt, welche Anforderungen ein Abfall erfüllen muss, um stofflich verwertet zu werden ^[112]. Ein zusätzliches Problem stellen Materialien dar, die – teilweise bereits verbotene – Schadstoffe enthalten (Beispiel: Cadmium-haltige Stabilisatoren in PVC). Beim Recycling werden solche Schadstoffe 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“ ^[113]. 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 (HBCD) ¹⁷ oder Weichmacher. Dies kann zu deutlichen gesundheitsgefährdenden Belastungen der Innenraumluft führen. Fassadenfarbe enthält oft Biozide, die den Algenbewuchs hemmen, aber bei Regen ausgewaschen werden und ins Grundwasser versickern. Es ist besonders misslich, dass die neue EU-Rechtsprechung ^[114] die Transparenz über Inhaltsstoffe beschränkt: Neben dem CE-Kennzeichen dürfen keine weiteren – und für Ver-

¹⁷ Seit 2017 enthalten neue Polystyrol-Dämmplatten kein HBCD mehr.

braucher*innen hilfreiche Umweltzeichen wie der „Blaue Engel“ – auf dem Produkt aufgebracht sein.

7.4.4. Sonderfall Kunststoffe

Kunststoffe sind eine besondere Herausforderung für die Kreislaufwirtschaft (siehe auch Abschnitt 6.1). In der EU fallen jährlich mehr als 25 Millionen Tonnen Plastikabfall an, wovon nur zirka 30 Prozent stofflich recycelt werden. Ein großer Teil des gesammelten Plastiks wird ausgeführt, wobei China seit Anfang 2018 durch schlagartige Erhöhung der Qualitätsanforderungen einen faktischen Importstopp schuf. Seitdem gelangen große Abfallströme in andere Länder des Ostens und Südens zur „Wiederverwertung“. Der Beschluss der Vertragsstaaten des Basel-Übereinkommens vom 10. Mai 2019 wird diese Praxis in Zukunft verhindern. Nur noch sortenreine, unverschmutzte Kunststoffabfälle dürfen künftig ohne Genehmigung zur Wiederverwertung exportiert werden [115]. Dies bedeutet, dass auch die EU Verwertung und Beseitigung von Plastikabfällen in Europa sicherstellen muss. Der Export von Kunststoffabfällen aus Europa in Entwicklungs- und Schwellenländer ist durch konsequente Kontrollen und das Verfolgen von Verstößen gegen das Basel-Übereinkommen zu unterbinden. Ein Großteil der Kunststoffabfälle sind Verpackungen aus mehreren Materialien, aus denen – wenn überhaupt – nur mit sehr hohem Aufwand sortenreine Kunststoffgranulate gewonnen werden können.

Die EU-Kommission legte 2018 eine Plastikstrategie vor [116]. Diese enthält Vorschläge, wie die Recyclingquote erhöht und die Kontamination der Umwelt vermindert werden kann. Viele Vorschläge sind jedoch wenig konkret. Und die Kommission setzt mehr auf Freiwilligkeit als auf regulatorische Anforderungen. Insbesondere fehlen wirksame Maßnahmen, um den Verbrauch von Kunststoffen zu senken.

Als erste Umsetzung der Plastikstrategie hat die Kommission eine Richtlinie zu bestimmten Plastikproduk-

ten vorgeschlagen. Diese hat zum Ziel, den Eintrag von Plastikprodukten zum einmaligen Gebrauch sowie von Fischernetzen zu reduzieren [117]. Im Dezember 2018 haben EU-Kommission, Rat und Europäisches Parlament hierzu Einigkeit erzielt. Das Maßnahmenpaket umfasst neben Kennzeichnungs- und Rücknahmeverpflichtungen, Reduktionszielen für Mitgliedstaaten und einer erweiterten Herstellerverantwortung auch Verbote für Trinkhalme, Wattestäbchen und Einweggeschirr aus Kunststoff. Da über die Wirksamkeit der Maßnahmen erst nach sechs Jahren Bilanz gezogen werden soll und der Erfolg vieler Maßnahmen von der Mitwirkung der Mitgliedstaaten und Marktteilnehmer abhängt, führt diese Richtlinie vermutlich zu keiner deutlichen Minderung des Eintrags in die Umwelt. Für Mikroplastik (Partikelgröße kleiner als 5 Millimeter) bereitet die Europäische Chemikalienagentur ECHA derzeit eine Beschränkungsrichtlinie gemäß REACH vor. Sie soll zu einem weitgehenden Vermarktungsverbot gezielt hergestellter Kunststoffpartikel führen. Mikroplastik wird nicht nur im kosmetischen Bereich eingesetzt, sondern in viel größerem Umfang in Düngemitteln und Pestiziden sowie in Wasch- und Reinigungsmitteln zur Einschließung und kontrollierten Abgabe von Nähr-, Wirk- und Duftstoffen [118].

Die bisherigen Pläne der EU gehen damit 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 abzuwenden [119]. Um dies zu erreichen, ist ein Bündel an regulatorischen, ökonomischen und freiwilligen Maßnahmen zu entwickeln und einzuführen. Besonders ist durch Verbote, Pfand- und Abgaberegulungen der Gebrauch von Einwegplastikverpackungen zurückzudrängen. Derzeit „produziert“ jeder Deutsche ca. 40 Kilogramm Plastikverpackungsabfall pro Jahr. Das Recycling ist auszubauen, was verbesserte effektive Sammel- und Sortiersysteme erfordert und – wo

möglich – einen Verzicht auf Verbundkunststoffe. Bioplastik ist sicherlich keine Lösung bei der Vermeidung von Einwegplastik. Es ist nur bei erhöhten Temperaturen langsam kompostierbar. Darüber hinaus gibt es keine geeigneten Recyclingsysteme für diese Polymere [120, 121].

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 Prozent zu steigern, werden trotz verbesserten Recyclings Kunststoffe eines der größten Umweltprobleme bleiben [122]. 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. In zwei Beschlüssen der UN-Umweltversammlung UNEA 4 im März 2019 werden die Staaten aufgefordert, wirksam gegen das Plastikproblem vorzugehen. [123]. Allerdings fehlt diesen Beschlüssen die Verbindlichkeit. Zur Bekämpfung der globalen Verschmutzung mit Plastik sollte die EU somit eine rechtlich verbindliche internationale Konvention anstreben.

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) [124]. Neuerwerb ist oft kostengünstiger als Reparatur. Das Umweltbundesamt hat Empfehlungen vorgelegt, wie sich die Lebensdauer von Haushaltsgeräten verlängern und der Ressourcenverbrauch reduzieren lässt [125].

Immer schnellere Produktzyklen wie bei Handys, Textilien oder Möbeln erschweren die Kreislaufführung. Das Elektrogesetz nennt zwar in Paragraph 4 „Produktkonzeption“ einige Kriterien, die eine Wiederverwendung von Bauteilen erleichtern sollen; allerdings sind diese Bestimmungen kaum verpflichtend, und die angestrebte Rücknahmequote von 85 Prozent bis 2019 ist deutlich verfehlt worden.

Die Ökodesign-Richtlinie [126] 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 im Oktober und Dezember 2019 im EU-Amtsblatt erscheinen, stellt die EU-Kommission konkrete Anforderungen an die Reparierbarkeit und Recyclbarkeit – ein erster wichtiger Schritt. [127]. In vielen anderen Bereichen fehlen entsprechende Regelungen noch.

An dem Anstieg der Stoffströme ist auch der zunehmende Internethandel beteiligt. Abgesehen davon, dass Versandwaren meist aufwendig 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 beziffert den Umfang der Entsorgung/Verschrottung mit 3,9 Prozent [128]; das ZDF Magazin „frontal 21“ dokumentierte einen bedenklich großen Umfang der Vernichtung gebrauchsfähiger Ware [129]. Das Bundesumweltministerium (BMU) erwägt eine gesetzliche Regelung zur Einschränkung dieser Ressourcenvernichtung (Stand: Juni 2019).

Diese Entwicklung unterstreicht, dass neben technischen Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz auch Suffizienz ein entscheidender Ansatz ist, Stoffströme zu reduzieren und 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) ^[130] und das österreichische Umweltministerium 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, hat das Umweltbundesamt ^[131] fünf Nachhaltigkeitskriterien für das Chemikalienleasing erarbeitet, die durch messbare Indikatoren hinterlegt sind: (1) Reduktion nachteiliger Wirkungen, (2) verbesserte Handhabung und Lagerung, (3) keine Substitution durch Stoffe mit höherem Risiko, (4) ökonomische und soziale Vorteile, (5) Monitoring der Verbesserungen.

Einer Verbreitung derartiger Geschäftsmodelle könnte auch förderlich sein, wenn sie im Rahmen des Sevil-la-Prozesses als bestverfügbare Techniken (BAT) in die sog. „Best available techniques reference documents“ (BREFs) 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 Kreislaufwirtschaft noch ein fernes Ziel ist ^[32].

Die aus diesem Kapitel abgeleiteten Forderungen des BUND zum Stoffstrommanagement sind in Abschnitt 8.4 zusammengestellt.

8. 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 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. 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 langlebigen 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. 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.

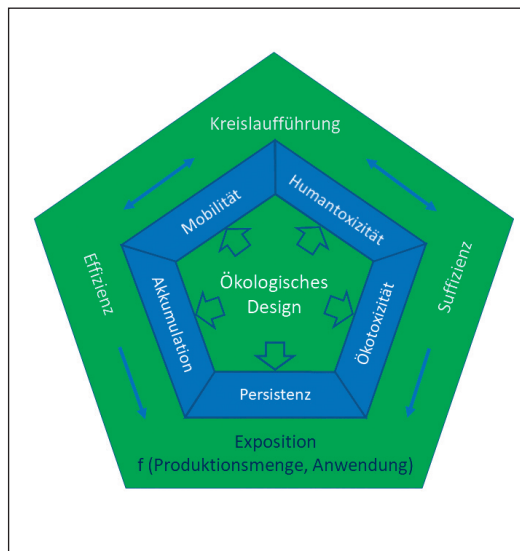
- Stoffpolitik und Kreislaufwirtschaft sind miteinander zu verbinden. Eine Reduzierung der Stoffströme kann nur gelingen, wenn die Abfallhierarchie konsequent beachtet wird. Dies bedeutet auch, dass die gesetzlichen Grundlagen des Stoff-, Produkt- und Abfallrechts zu integrieren sind und sich gegenseitig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

Das alles ist nicht neu. Die wichtigsten Grundzüge eines nachhaltigen Chemikalienmanagements sind bereits 1993 beschrieben und illustriert worden (s. Abb. 4): 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 Wiederverwendung oder Recycling wieder dem Wirtschaftskreislauf zuzuführen (Konsistenz).

Abbildung 4: Minimierung der Chemikalienrisiken durch Reduzierung von Exposition und Wirkung (nach Friege [132])



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

Dies bedeutet im Einzelnen:

8.1. 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.

- Verknüpfung der Stoffpolitik mit den Sustainable Development Goals (SDG) der Vereinten Nationen, insbesondere in Bezug auf SDG 12 zur nachhaltigen Produktion und Nutzung sowie SDG 3, das Maßnahmen gegen die gesundheitlichen Folgen der Chemikalienbelastung fordert. Die SDG müssen mehr sein als bloße Absichtserklärung und bedürfen der Entwicklung geeigneter Maßnahmen zu deren Umsetzung.

- Weltweite Umsetzung nachhaltiger Chemie entsprechend den Beschlüssen des „United Nations Environment Assembly“ (UNEA 2 und 4).
- Der „Strategic Approach to an International Chemicals Management (SAICM)“-Prozess ist fortzuentwickeln. Die beschlossenen Maßnahmen müssen eine höhere Verbindlichkeit erhalten, 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 von gefährlichen Abfällen (Basel-Übereinkommen).
- Der Export gefährlicher Abfälle aus der EU in Entwicklungs- und Schwellenländer ist durch konsequente Kontrollen und Verfolgen von Verstößen gegen das Basel-Übereinkommen zu unterbinden.
- Die Fragmentierung des internationalen Chemikalien- und Abfallmanagements auf zahlreiche Foren muss beendet werden, um ein konsistentes Vorgehen zu ermöglichen.
- Mittelfristige Entwicklung einer rechtlich verbindlichen Chemierahmenkonvention, die global gültige Prinzipien eines nachhaltigen Chemikalien-, Abfall- und Stoffstrommanagements festlegt.
- Entwicklung internationaler Regeln zur Verringerung der Komplexität globaler Stoffströme, um eine effektive Kreislaufwirtschaft 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.

8.2. Forderungen zur Weiterentwicklung von REACH

REACH ist ein erheblicher Fortschritt im Chemikalienmanagement. In einigen wesentlichen Punkten muss diese Chemikalienverordnung jedoch fortentwickelt werden, damit sie effektiver wird und ihre Ziele besser erreichen 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.
- Klarere und strengere Anforderungen an (Import-) Erzeugnisse, Zwischenprodukte, Polymere und Nanomaterialien.
- Effiziente, zahlreichere Kontrollen („Compliance Checks“) von Registrierungsdossiers auf EU-Ebene sowie strengere Verpflichtungen zu deren korrekter Umsetzung und Aktualisierung. In gravierenden Fällen müssen Registrierungen für ungültig erklärt, Vermarktung und Verwendung der betreffenden Stoffe gemäß dem REACH-Prinzip „Keine Daten, kein Markt“ verboten werden.
- Bekanntgabe aller Stoffe durch die Europäische Chemikalienagentur (ECHA), für die keine vollständigen toxikologischen und ökotoxikologischen Daten vorliegen sowie Offenlegung der Namen von Unternehmen und anderen Registranten, die unzureichende oder fehlerhafte Dossiers nicht umgehend korrigieren.
- Klarere Anforderungen an den Informations-transfer in der Produktkette zur Herstellung von Transparenz über potenzielle Risiken.

- Gemeinsame Bewertung von Stoffgruppen („Grouping“), um deren Risiken effektiver und effizienter zu bewerten und um unangemessene Substitutionen durch strukturell ähnliche Stoffe zu vermeiden.
- Weiterentwicklung der Kriterien für besonders besorgniserregende Stoffe (SVHC) um jene Substanzen, die persistent, mobil und toxisch (PMT) oder sehr persistent und sehr mobil (vPvM) sind, ebenso wie die grundsätzliche Einstufung endokriner Disruptoren als besonders besorgniserregende Stoffe.

8.3. 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, endokrinen Disruptoren und Mikroschadstoffen 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.

- 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 wie den perfluorierten Chemikalien (PFC).
- Berücksichtigung von Kombinationswirkungen von Stoffen in Stoffgemischen und bei kombinierter Anwendung mehrerer Produkte.
- Entwicklung und Einführung angepasster Prüf- und Bewertungsstrategien zur Einschätzung der besonderen Risiken von Nanomaterialien.
- Partizipative, kritische Begleitung der technischen Entwicklung bei „Advanced Materials“ und Entwicklung von „Safe by Design“-Konzepten.
- Umsetzung der Vorschläge der BUND Mikroschadstoff-Strategie insbesondere in Bezug auf die Umweltbewertung von Arzneimitteln und den Ausbau von Kläranlagen zur Reduzierung der Einträge in Gewässer (Stichwort: vierte 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.
- Entwicklung nachhaltiger Chemikalien mit hohem Nutzen und gleichzeitig geringen unerwünschten Wirkungen und geringer zeitlicher und räumlicher Reichweite („short-range chemicals“).
- 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 8.5).
- Es braucht eine Trendumkehr bei der Chemikalienproduktion: Eine deutliche Senkung der Produktionsmengen ist notwendig. Dazu muss der Chemikalienverbrauch 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.
- 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 Lieferkette 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 Sevilla-Prozess – also in den BAT-Referenzdokumenten (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.
- Maßnahmen zur Förderung und Ausweitung des Recyclings kritischer Rohstoffe wie Lithium, Kobalt, Neodym oder Tantal.
- Eine internationale Vereinbarung zur globalen Deckelung der Rohstoffentnahme ist anzustreben.

8.4. Forderungen für ein nachhaltiges Stoffstrommanagement

Beginnend mit der Gewinnung von Rohstoffen bis zur Wiederverwertung und Beseitigung von Abfällen sind die Stoffströme 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:

- 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 Recyclingfähigkeit und lange Lebensdauer von Produkten ist durch wirksame Maßnahmen, das heißt durch gesetzliche Anforderungen, Zielvorgaben und Verbraucherinformation durchzusetzen. Beispiele:
 - i. Nicht recyclingfähige Verbundwerkstoffe sind zu vermeiden, soweit diese keine deutlichen Vorteile bezüglich Funktionalität und Energieeffizienz haben;
 - ii. Der Einsatz von Additiven in Kunststoffen und von nicht mehr entfernbaren Legierungsbestandteilen in Metallen ist zu minimieren;
 - iii. Verunreinigungen, die einer Nutzung als Sekundärrohstoff entgegenstehen, sind bereits in der Produktionskette zu vermeiden;
 - iv. Reparaturfreundlichkeit kann durch modulare Bauweise erreicht werden; und
 - v. Produkte sind so zu konstruieren, dass sie eine möglichst lange Lebensdauer haben.
- Eine internationale Konvention zur Verhinderung der Einträge von Plastik in die Umwelt, besonders ins Meer, ist anzustreben.
- Die EU-Plastikstrategie zur Reduktion von Plastikemissionen (Verwendungsverbote, Pfandrege- lungen, Ausbau von Sortier- und Sammelsys- temen etc.) muss konsequent weiterentwickelt und verschärft werden. Der Beschluss des Basel- Übereinkommens, den Export verschmutzter, nicht sortenreiner Abfälle zu erschweren, ist umzusetzen.

- Die Abfallhierarchie ist konsequent zu beachten: Vermeiden hat Vorrang vor Wiederverwendung, Recycling, Verwertung und Entsorgung. Die Schnittstelle zwischen Chemikalien- und Abfall- recht ist zu verbessern. Dadurch wird es leichter möglich, Materialien aus Abfällen stofflich oder chemisch zu verwerten.
- Bei Produkten und Prozessen sind nicht-chemi- sche Lösungen zu bevorzugen, soweit sie keine Nachteile bezüglich Funktionalität, Energie- und Ressourceneffizienz haben.
- Für das Nutzen und die Weiterentwicklung res- sourcensparender Dienstleistungsmodelle wie das Chemikalienleasing braucht es mehr Anreize.

8.5. Forderungen zur Forschungs- und Bildungspolitik

Viele wissenschaftliche Erkenntnisse zur Be- und Überlastung der Erde mit Chemikalien sind Ergebnisse der Forschung der vergangenen Jahrzehnte. Zahlrei- che Fragen sind noch offen, viele Zusammenhänge nicht bekannt. Zur weiteren Entwicklung eines vor- sorgenden Chemikalienmanagements und einer nachhaltigen Stoffpolitik besteht weiterhin deutlicher Forschungsbedarf, der insbesondere im Rahmen staatlicher Forschungsprogramme berücksichtigt werden sollte. Außerdem ist es notwendig, nachhal- tige Chemie und Stoffstrommanagement in Studien- gängen 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 ver- meiden.
- Ein Forschungsschwerpunkt, wie sich der Eintrag von Chemikalien in die Umwelt vermeiden und verringern lässt und wie die Transformation der chemischen Produktion in Richtung auf eine nach- haltige 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 Leitplanken „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 unter 8.1 bis 8.4 genannten Forderungen!

Forderungen zur Bildung:

- Das Fach „Nachhaltige Chemie“ muss in der Ausbildung von Chemiker*innen, Verfahrenstechniker*innen und ähnlichen Studiengängen verankert 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.

9. Literatur

- [1] Steffen, W. et al. (2015): Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. Science Vol. 347, no. 6223, <https://science.sciencemag.org/content/347/6223/1259855>
- [2] BUND (2017): Standpunkt: Mikroschadstoff-Strategie, https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/fluensee/fluensee_mikroschadstoffe_standpunkt.pdf
- [3] Umweltbundesamt (2018): Empfehlungen zur Reduzierung von Mikroverunreinigungen in den Gewässern, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/uba_pos_mikroverunreinigung_final_bf.pdf
- [4] Carson, Rachel. (2019) [1962]: Der stumme Frühling [=Silent Spring]. Aus dem am. Engl. von Margret Auer. C.H:Beck-Verlag München, 5. Auflage.
- [5] 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), https://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/2018_Diskussionspapier_Pflanzenschutzmittel.pdf
- [6] BUND (1984): Chemiewirtschaft – BUND fordert einen neuen Politikbereich, AK Umweltchemikalien/Toxikologie, BUND-Positionen 10, Bonn
- [7] Friege, H., Claus, F. (1988): Chemie – für wen? Chemiewirtschaft statt Chemieskandale, Rowohlt, Reinbek, ISBN 3-499-12238-3.
- [8] Claus, F., Friege, H., Gremmler, D. (1990): Es geht auch ohne PVC. Einsatz – Entsorgung – Ersatz, Rasch und Röhrling, Hamburg, ISBN 3-89136-296-X.
- [9] Henseling, K.O. (1992): Ein Planet wird vergiftet. Der Siegeszug der Chemie: Geschichte einer Fehlentwicklung, Rowohlt Reinbek, ISBN 3499130130
- [10] BUND (1994): Chlorchemie – eine Ära geht zu Ende, AK Umweltchemikalien / Toxikologie, BUND-Positionen 24, Bonn
- [11] Umweltbundesamt (1999): Handlungsfelder und Kriterien für eine vorsorgende nachhaltige Stoffpolitik am Beispiel PVC, Erich Schmidt Verlag, Berlin, ISBN 3-503-04877-4
- [12] UNO (2015): Sustainable Development Goals, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>
- [13] Bundesregierung (1986): Leitlinien der Bundesregierung zur Umweltvorsorge durch Vermeidung und stufenweise Verminderung von Schadstoffen, Drucksache 10/6028 des Deutschen Bundestages vom 10.05.1986
- [14] EU Kommission (2000): Mitteilung der Kommission zur Anwendbarkeit des Vorsorgeprinzips, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52000DC0001&from=EN>
- [15] OSPAR (1992): Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordostatlantiks, Deutsche Übersetzung des BMU, https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Gesetze/ospar_convention_2014_bf.pdf
- [16] EEA (2002): Late lessons from early warnings: the precautionary principle 1896–2000, Issue Report 22/2001, Copenhagen, ISBN: 92-9167-323-4, https://www.eea.europa.eu/publications/environmental_issue_report_2001_22
- [17] EEA (2013): Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation II, Report No.1/2013, Copenhagen, ISBN: 978-92-9213-349-8, <https://www.eea.europa.eu/publications/late-lessons-2>
- [18] 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, Hamm. 23–25 [ISBN 978-3-9816755-0-4]

- [19] 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, Hamm. 25–28 [ISBN 978-3-9816755-0-4]
- [20] Umweltbundesamt (09.04.2019): Nachhaltigkeit in der Politik, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/nachhaltigkeit-strategien-internationales/nachhaltigkeit-in-der-politik>
- [21] Rat für Nachhaltige Entwicklung: <https://www.nachhaltigkeitsrat.de/>
- [22] Umweltbundesamt (1998): Nachhaltiges Deutschland – Wege zu einer dauerhaft umweltgerechten Entwicklung, <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/nachhaltiges-deutschland-wege-zu-einer-dauerhaft>
- [23] Umweltbundesamt (2002): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland, – Die Zukunft dauerhaft umweltgerecht gestalten, http://www.apug.de/archiv/pdf/uba_nachhaltige_entwicklung.pdf
- [24] BUND & 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; 4.
- [25] Bund für Umwelt und Naturschutz, Brot für die Welt & Evangelischer Entwicklungsdienst (Hrsg.) (2008): Zukunftsfähiges Deutschland in einer globalisierten Welt. Ein Anstoß zur gesellschaftlichen Debatte. Eine Studie des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie. Fischer-Taschenbuch-Verlag, Frankfurt, ISBN 978-3-596-17892-6
- [26] Anastas, P. T.; Warner, J. C. (1998): Green Chemistry: Theory and Practice, Oxford University Press: New York, p.30. By permission of Oxford University Press.
- [27] Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. November 2010 über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung), <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:334:0017:0119:de:PDF>
- [28] UNEP (2019): Global Chemicals Outlook, GCO II Synthesis report, https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27651/GCOII_synth.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [29] Rockström, J. et al. (2009): A safe operating space for humanity. Nature Vol. 461, S. 472–475, <https://www.nature.com/articles/461472a>
- [30] Steffen, W., W. Broadgate, L. Deutsch, O. Gaffney, C. Ludwig. (2015). The Trajectory of the Anthropocene: The great acceleration. The Anthropocene Review 2: 81–98 <https://www.stockholmresilience.org/publications/artiklar/2016-04-18-the-trajectory-of-the-anthropocene-the-great-acceleration.html>
- [31] Leinfelder R. (2014): Das Anthropozän beginnt doch erst ab 1950? Der Vorschlag der Anthropocene Working Group, <https://scilogs.spektrum.de/der-anthropozaniker/anthropozan-ab-1950/>
- [32] Schneidewind, U. (2018): Die große Transformation – Eine Einführung in die Kunst des gesellschaftlichen Wandels, S. Fischer Verlag Frankfurt am Main
- [33] Crutzen, P. and Stoermer, E.F. (2000): The Anthropocene, IGBP Newsletter; <http://www.igbp.net/news/opinion/opinion/haveweenteredtheanthropocene.5d8b4c3c12bf3be638a8000578.html>
- [34] 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., Waprich M., Williams M., An Zhisheng, Grinevald J., Odada E., Oreskes N., Wolfe A.P. (2016): The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. – Science 8 January 2016: Vol. 351 no. 6269
- [35] Stockholm Resilience Centre (2018): Transformation is feasible, Report, https://www.stockholmresilience.org/download/18.51d83659166367a9a16353/1539675518425/Report_Achieving%20the%20Sustainable%20Development%20Goals_WE_B.pdf

- [36] BUND (2019): Wachstumskritik: Unbegrenztes Wachstum zerstört begrenzte Systeme, <http://www.bund-rvso.de/wachstumskritik.html>
- [37] Persson L.M. et al (2013): Confronting Unknown Planetary Boundary Threats from Chemical Pollution, Environ. Sci. Technol., 47, 12619–12622, <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es402501c?rand=v75o3es0>
- [38] McLeod M, et al (2014): Identifying Chemicals that are Planetary Boundary Threats, Environ. Sci. Technol. 48, 11057–11063, <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es501893m>
- [39] Diamond M.L. et al (2015): Exploring the Planetary Boundary for Chemical Pollution, Environ. Int. 78, 8–15, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412015000288?via%3Dihub>
- [40] The Chemical Footprint Project: Guidance Document, <https://www.chemicalfootprint.org/assess/cfp-tool-guidance-document?/assess/cfp-tool-guidance-document-request> (2108)
- [41] Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) (2018): The regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Europe and Central Asia (Hrsg.: IPBES), ISBN 978-3-947851-03-4, Bonn, <https://www.ipbes.net/assessment-reports/eca>
- [42] Montreal Protocol: <https://www.undp.org/content/undp/en/home/2030-agenda-for-sustainable-development/planet/environment-and-natural-capital/montreal-protocol.html>
- [43] Basel Convention: <http://www.basel.int/>
- [44] UNEP (2015): Global Waste Management Outlook, <https://www.uncclearn.org/sites/default/files/inventory/unep23092015.pdf>
- [45] Rotterdam Convention: <http://www.pic.int/>
- [46] Stockholm Convention: <http://www.pops.int/>
- [47] Minamata Convention: <http://www.mercuryconvention.org/>
- [48] SAICM: <http://www.saicm.org/>
- [49] OECD, Chemical safety and biosafety: <https://www.oecd.org/chemicalsafety/>
- [50] GHS: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/einstufung-kennzeichnung-von-chemikalien/globally-harmonised-system-ghs>
- [51] UNEA 4: Decision UNEP/EA.4/L.9, 12 March 2019
- [52] Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals, REACH), zur Schaffung einer Europäischen Chemikalienagentur (ECHA), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02006R1907-20140410&from=DE>
- [53] DNR (2018): REACH Review – Ergebnisse und Bewertung, https://www.dnr.de/fileadmin/Publikationen/Steckbriefe_Factsheets/18_07_26_EUK_Steckbrief_REACH_Review_Aktualisiert.pdf
- [54] BfR Communication No 030/2018 of 25 September 2018: <https://www.bfr.bund.de/cm/349/reach-compliance-workshop-at-the-bfr.pdf>, UBA-Texte 43/2015, REACH Compliance: Data Availability of REACH Registrations Part 1: Screening of chemicals > 1000 tpa, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_43_2015_reach_compliance_data_availability_of_reach_registrations_0.pdf und UBA-Texte 64/2018, Part 2: Evaluation of data waiving and adaptations for chemicals 1000 tpa, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-10-23_texte_64-2018_reach-compliance-data_ii.pdf

- [55] BUND (2019): BUND Recherche deckt auf: Großunternehmen verstoßen gegen EU-Chemikalienrecht und gefährden damit Mensch und Umwelt, <https://www.bund.net/service/presse/pressemitteilungen/detail/news/bund-recherche-deckt-auf-grossunternehmen-verstossen-gegen-eu-chemikalienrecht-und-gefaehrden-damit-me/>
- [56] Führ M. et al (2018): Integrating „Green Chemistry“ into the Regulatory Framework of European Chemicals Policy, Studie für das österreichische. Ministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, https://www.greenchemistryvienna2018.com/fileadmin/inhalte/gcc/pdf/REACH_GreenChem_draftIV.pdf
- [57] Richtlinie 2018/851/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0851&from=EN>
- [58] 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, <https://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:309:0001:0050:de:PDF>
- [59] 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, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012R0528&from=ET>
- [60] ECHA (2019): Annex XV Restriction Report, Proposal for a restriction: intentionally added microplastics, <https://echa.europa.eu/documents/10162/0724031f-e356-ed1d-2c7c-346ab7adb59b>
- [61] LANUV u.a. (2018): Mikroplastik in Binnengewässern Süd- und Westdeutschlands, Bundesländerübergreifende Untersuchungen in Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz, Karlsruhe, Augsburg, Wiesbaden, Recklinghausen, Mainz 2018, https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/6_sonderreihen/L%C3%A4nderbericht_Mikroplastik_in_Binnengew%C3%A4ssern.pdf
- [62] Piehl, S. et al, (2018): Identification and quantification of macro- and microplastics on an agricultural farmland, Scientific reports 2018, <https://www.nature.com/articles/s41598-018-36172-y>
- [63] Schmidt, C., Krauth, T., Wagner, S. (2017): Export of Plastic Debris by Rivers into the Sea. Environ. Sci. Technol., <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.7b02368?rand=4trmxskr>
- [64] Hollmann, P.C.H.; Bouwmeester, H. & Peters, R.J.B. (2013): Microplastics in aquatic food chain: sources, measurement, occurrence and potential health risks. Research report, Wageningen RIKILT – Institute of Food Safety, <http://edepot.wur.nl/260490>
- [65] Universität Newcastle (2019): Plastic ingestion by people could be equating a credit card by week, <https://www.newcastle.edu.au/newsroom/featured/plastic-ingestion-by-people-could-be-equating-to-a-credit-card-a-week>
- [66] Schwabl P., Liebmann, B. et al (2018): Assessment of microplastic concentrations in human stool – Final results of a prospective study, Conference on nano and microplastics in technical and freshwater systems, Microplastics, https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/presse/news_2018/UEG_Week_2018_-_Philipp_Schwabl_Microplastics_Web.pdf
- [67] Chemical Watch (2019): Geneva meeting agrees global ban on PFOA, with exemptions, 06 May 2019, <https://chemical-watch.com/register/result?o=77163&layout=main&productID=1>
- [68] Ritscher A. et al (2018): Environ. Health Perspectives, Zürich Statement on Future Actions on Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs), <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/full/10.1289/EHP4158>
- [69] Liu Yanna et al (2018): Hundreds of Unrecognized Halogenated Contaminants Discovered in Polar Bear Serum, Angew. Chem. 2018, 130, 16639 – 16644, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/anie.201809906>

- [70] Chemical Watch (2019): Echa MSC identifies GenX chemicals as SVHCs for mobility and persistence, <https://chemical-watch.com/79441/echa-msc-identifies-genx-chemicals-as-svhcs-for-mobility-and-persistence>
- [71] Keeling et al (2010): Ocean deoxygenation in a Warming World, *Annu. Rev. Marine Sci.* 2:199-229, <http://scrippschemists.ucsd.edu/rkeeling/content/ocean-deoxygenation-warming-world>
- [72] UNEA 4: Resolution UNEP/EA.4/L.16
- [73] International Nitrogen Initiative (INI): <https://initrogen.org/>
- [74] Gore A.C. et al (2015): EDC 2: The Endocrine Society's Second Scientific Statement on Endocrine-disrupting Chemicals, *Endocrine Rev.* 36, E1 – E150, <https://academic.oup.com/edrv/article/36/6/E1/2354691>
- [75] Vandenberg, L.N. (2013): Non-Monotonic Dose Responses in Studies of Endocrine Disrupting Chemicals Bisphenol A as a Case Study, *Dose-Response*, 12, 259–276, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24910584>
- [76] ECHA (2018): Forum Ref-4 Project Report, Harmonised enforcement project on restrictions, https://echa.europa.eu/documents/10162/13577/ref_4_report_en.pdf
- [77] Weltgesundheitsorganisation (WHO) (2012): State of the Science of Endocrine Disrupting Chemicals (EDCs), <https://www.who.int/ceh/publications/endocrine/en/>
- [78] Corporate Europe (CEO) (2015): A toxic affair, https://corporateeurope.org/sites/default/files/toxic_lobby_edc.pdf
- [79] Europäisches Parlament, PETI Committee (2019): Endocrine Disruptors – From Scientific Evidence to Human Health Protection, [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)
- [80] 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, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R2100&from=EN>
- [81] 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, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0605&from=EN>
- [82] Steinhäuser, K.G., Sayre, P.G.: (2017): Reliability of methods and data for regulatory assessment of nanomaterial risks, *NanoImpact* 7, 66–74, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452074817300472>
- [83] 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, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R1881>
- [84] Verordnung (EG) Nr. 440/2008 der Kommission vom 30. Mai 2008 zur Festlegung von Prüfmethode gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:142:0001:0739:DE:PDF>
- [85] 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, <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:353:0001:1355:DE:PDF>
- [86] Altenburger, R. et al (2018): Mixture effects in samples of multiple contaminants – an interlaboratory study with manifold bioassays, *Environment International* 114, 95–106, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29499452>

- [87] 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
- [88] EU Kommission (2012): Kombinationswirkungen von Chemikalien – Chemische Mischungen, COM(2012) 252 final
- [89] Solecki, R., Stein, B., Frische, T., Matezki, S., Wogram, J., Streloke, M. (2014): Paradigm shift in the risk assessment of cumulative effects of pesticide mixtures and multiple residues to humans and wildlife: German proposal for a new approach, J. Verbr. Lebensm. 9:329–331
- [90] WWF 2004: European parliamentarians contaminated by 76 chemicals (Veröffentlicht 21.04.2004). http://wwf.panda.org/wwf_news/press_releases/?12622/European-parliamentarians-contaminated-by-76-chemicals
- [91] Kühling, W. (2012): Mehrfachbelastungen durch verschiedenartige Umwelteinwirkungen. In: Bolte, G. et al.: Umweltgerechtigkeit. Chancengleichheit bei Umwelt und Gesundheit: Konzepte, Datenlage und Handlungsperspektive, Huber-Verlag
- [92] 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, <http://dipbt.bundestag.de/doc/btd/13/112/1311200.pdf>
- [93] Degreif S., Buchert M. (2017): Rohstoffwende Deutschland 2049 – Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft, Müll u. Abfall 49 (11), 554–550
- [94] Friege, H. (2015): Nachhaltiges Ressourcenmanagement als abfallwirtschaftliches Leitbild, Müll u. Abfall 47 (9), 500–508 (2015)
- [95] Umweltbundesamt (2012), UBA-Texte 01/2012: Indikatoren/Kennzahlen für den Rohstoffverbrauch im Rahmen der Nachhaltigkeitsdiskussion, <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4237.pdf>
- [96] VDI (2012): Richtlinie 4600, Kumulierter Energieaufwand, Beuth-Verlag Berlin
- [97] VDI (2018): Richtlinie 4800, Teil 2, Ressourceneffizienz – Bewertung des Rohstoffaufwands, Beuth-Verlag Berlin
- [98] Gößling-Reisemann, S., von Gleich, A. (2009): Ressourcen Kreislaufwirtschaft und Entropie am Beispiel der Metalle, In: Hösel, G.; Bilitewski, B.; Schenkel, W.; Schnurer, H. (Hrsg.): Müllhandbuch. Berlin: Erich Schmidt Verlag, S. 1–27
- [99] Ekardt, F. (2017): Wir werden verzichten müssen, Zeit-online, 20.07.2017
- [100] relaio (2018): Suffizienz, Konsistenz und Effizienz – Drei Wege zu mehr Nachhaltigkeit, 12.11.2018, <https://www.relaio.de/wissen/suffizienz-konsistenz-und-effizienz-drei-wege-zu-mehr-nachhaltigkeit/>
- [101] Sachs, W. (1993): Die vier E's: Merkposten für einen maß-vollen Wirtschaftsstil, Politische Ökologie 11(33), 69–72, https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/66/file/66_Sachs.pdf
- [102] BUND (2017): Perspektive 2030 – Suffizienz in der Praxis, https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/ressourcen_und_technik/suffizienz_perspektive_2030_impulspapier.pdf
- [103] Levi, P.G. and Cullen, J.M. (2018): Mapping global flows of chemicals: From fossil fuel feedstocks to chemical products. Environmental Science and Technology 52(4), 1725–1734, <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.7b04573?rand=58ozdm3t>
- [104] International Energy Agency (IEA) (2018): The future of petrochemicals, <https://webstore.iea.org/download/summary/2310?fileName=Arabic-Future-Petrochemicals-ES.pdf>
- [105] Henseling K.O. (2008): Am Ende des fossilen Zeitalters. Alternativen zum Raubbau an den natürlichen Lebensgrundlagen, oekom Verlag München 2008, ISBN 3865811221

- [106] nova-Institut GmbH (2015): Pressemitteilung vom 8. Oktober 2015: <http://news.bio-based.eu/globale-biooekonomie-im-spannungsfeld-von-biomasseangebot-und-nachfrage/>
- [107] de Wit, M. et al (2018): The Circularity Gap Report, <https://www.circularity-gap.world/copy-of-report-1>
- [108] OECD (2018): Global Material Resources Outlook to 2060, Economic Drivers and Environmental Consequences, OECD Publishing, Paris, https://www.oecd-ilibrary.org/environment/global-material-resources-outlook-to-2060_9789264307452-en
- [109] EU-Kommission (2017): Critical raw materials, https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en
- [110] Ökoinstitut (2011): Study on Rare Earths and Their Recycling, Final Report for The Greens/EFA Group in the European Parliament. Authors: Schüler D, Buchert M, Liu R, Dittrich, S, Merz C., http://www.ressourcenfieber.eu/publications/reports/Rare%20earths%20study_Oeko-Institut_Jan%202011.pdf
- [111] BUND (2015): Ressourcenschutz ist mehr als Rohstoffeffizienz, Hintergrund, https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/ressourcen_und_technik/ressourcen_ressourcenschutz_hintergrund.pdf
- [112] EU-Kommission: Verordnungen der Kommission Nrn.. 715/2011, 1179/2012 und 715/2013, establishing criteria determining when iron, steel, aluminum scrap / copper scrap / glass cullet ceases to be waste under Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council
- [113] EU-Kommission, DG Environment (2014): Resource Efficiency in the Building Sector, <https://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/Resource%20efficiency%20in%20the%20building%20sector.pdf>
- [114] EuGH-Urteil C-100/13 vom 16. Oktober 2014
- [115] UNEP (2019): UNEP.CHW.14/CRP.40, <http://wiki.ban.org/images/0/0b/UNEP-CHW.14-CRP.40.English.pdf>
- [116] EU-Kommission (2018): A European Strategy for Plastics in a Circular Economy, COM(2018)28 final, <https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/plastics-strategy.pdf>
- [117] EU-Kommission (2018): Proposal for a Directive of the European Parliament and the Council on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment, COM(2018) 340 final, 28.05.2018n, https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:fc5c74e0-6255-11e8-ab9c-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_1&format=PDF
- [118] ECHA (2019): ECHA proposes to restrict intentionally added microplastics, <https://echa.europa.eu/de/-/echa-proposes-to-restrict-intentionally-added-microplastics>
- [119] 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
- [120] BUND (2011): Biologisch abbaubare Kunststoffe – Stellungnahme des AK Abfall, https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/chemie/biokunststoffe_stellungnahme.pdf
- [121] Deutsche Umwelthilfe (2018): Bioplastik – Mythen und Fakten, Infopapier, https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Kreislaufwirtschaft/Verpackungen/180220_DUH_Infopapier_Bioplastik_de_eng.pdf
- [122] BUND, Heinrich Böll Stiftung (2019): Plastikatlas – Daten und Fakten über eine Welt voller Kunststoff, https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/chemie/chemie_plastikatlas_2019.pdf
- [123] UNEA 4: Decisions UNEP/EA.4/L.8 und L.10, 11 March 2019

- [124] Trinkwalder S. (2016): Fairarscht – Wie Wirtschaft und Handel die Kunden für dumm verkaufen, Knauer-Verlag, ISBN: 978-3-426-78794-6
- [125] Umweltbundesamt (2017): Strategien gegen Obsoleszenz, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017_11_17_uba_position_obsoleszenz_dt_bf.pdf
- [126] 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, <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:285:0010:0035:de:PDF>
- [127] EU-Kommission, Vertretung in Deutschland (2019): Pressemitteilung vom 1.10.2019: Mehr Reparieren, mehr Recyceln – Neue EU-Vorschriften für mehr Energieeffizienz von Haushaltsgeräten https://ec.europa.eu/germany/news/energieeffizienz20191001_de
- [128] Universität Bamberg (2019): Pressemitteilung vom 26.04.2019, Retourentacho 2018/2019 ausgewertet, <https://www.uni-bamberg.de/news/artikel/retourenmanagement-2019/> und <https://www.papier-sprick.de/aktuelles/45-retouren-im-e-commerce-jedes-sechste-paket-geht-zurueck/>
- [129] ZDF frontal 21, Sendungen 12.06.2018 und 11.06.2019, <https://www.zdf.de/politik/frontal-21/amazon-vernichtet-tonnenweise-ware-100.html>
- [130] UNIDO (2018): Chemical Leasing, <https://www.unido.org/our-focus/safeguarding-environment/resource-efficient-and-low-carbon-industrial-production/chemical-leasing>
- [131] Moser F., Karavezyris V. Blum C. (2014): Chemical Leasing in the context of Sustainable Chemistry, Environ. Sci Pollut. Res., DOI 10.1007/s11356-014-3926-0 ; 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
- [132] Friege H. (1993): Zum zukünftigen Umgang mit Stoffströmen, Chem. Techn. 45, 133–138

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

mail: info@bund.net

www.bund.net

*Bundesarbeitskreis Umweltchemi-
kalien und Toxikologie des BUND
(AK UTox)*

Autor*innen:

*Markus Große-Ophoff,
Klaus Günter Steinhäuser,
Ralph H. Ahrens,
Uwe Schneidewind, Henning Friege,
Arnim von Gleich, Wolfgang Körner,
Klaus Kümmerer, Eva Scholl,
Patricia Cameron,
Manuel Fernández.*

*Wir danken für die Beiträge der
Mitglieder des AK UTox und des
Wissenschaftlichen Beirats des
BUND.*

V.i.S.d.P.: Antje von Broock

Produktion: Natur & Umwelt
GmbH

Druck: Z.B.! Köln

1. Auflage, Oktober 2019