

PolRess 2 – Vertiefungsanalyse

Ressourcenpolitik und planetare Grenzen

Analyse möglicher naturwissenschaftlicher
Begründungszusammenhänge für
ressourcenpolitische Ziele

Martin Hirschnitz-Garbers, Stefan Werland

Ecologic Institut, Forschungszentrum für Umweltpolitik

November 2017

Ein Projekt im Auftrag des
Bundesumweltministeriums und des
Umweltbundesamtes (FKZ: 3715 11 110 0)

Laufzeit 04/2016 –4/2019



**Umwelt
Bundesamt**

Fachbegleitung UBA

Judit Kanthak
Umweltbundesamt
E-Mail: judit.kanthak@uba.de
Tel.: 0340 – 2103 – 2072

Ansprechpartner Projektteam

Dr. Klaus Jacob
Freie Universität Berlin
E-Mail: klaus.jacob@fu-berlin.de
Tel.: 030 – 838 54492

Projektpartner:

Freie Universität Berlin
Forschungszentrum für Umweltpolitik



Öko-Institut e.V.



Ecologic-Institute



Die veröffentlichten Papiere sind Zwischen- bzw. Arbeitsergebnisse der Autorinnen und Autoren. Sie spiegeln nicht notwendig Positionen der Auftraggeber oder der Ressorts der Bundesregierung wider. Sie stellen Beiträge zur Weiterentwicklung der Debatte dar.

Zitiationsweise: Hirschnitz-Garbers, Martin; Werland, Stefan (2017): Ressourcenpolitik und planetare Grenzen: Analyse möglicher naturwissenschaftlicher Begründungszusammenhänge für ressourcenpolitische Ziele. Vertiefungsanalyse im Projekt Ressourcenpolitik 2 (PolRess 2). www.ressourcenpolitik.de

Inhalt

1	<u>EINLEITUNG:.....</u>	3
2	<u>NATURWISSENSCHAFTLICHE BEGRÜNDUNGEN FÜR PLANETARE GRENZEN: STATE OF THE ART.</u>	5
2.1	BIODIVERSITÄT	7
2.1.1	PROBLEMBESCHREIBUNG UND ZIELE	7
2.1.2	HERLEITUNG BESTEHENDER ZIELE DURCH DIE ORIENTIERUNG AM NATÜRLICHEN ZUSTAND:	9
2.1.3	HERLEITUNG ÜBER SOZIALE ASPEKTE: INTERGENERATIONELLE UND GLOBALE GERECHTIGKEIT	13
2.1.4	ZUSAMMENSCHAU:.....	14
2.2	ANTHROPOGENER KLIMAWANDEL.....	14
2.2.1	PROBLEMBESCHREIBUNG UND ZIELE	14
2.2.2	ÖKOLOGISCHE HERLEITUNG DER KLIMAWANDEL-BEZOGENEN PLANETAREN GRENZEN	16
2.2.3	HERLEITUNG ÜBER SOZIALE ASPEKTE: GLOBALE GERECHTIGKEIT	18
2.2.4	RELATION DES ANSATZES PLANETARER KLIMAWANDELGRENZEN MIT ANDEREN KONZEPTEN	19
2.2.5	ZUSAMMENSCHAU:.....	21
2.3	LANDSYSTEMWANDEL	22
2.3.1	ÖKOLOGISCHE HERLEITUNGEN FÜR DIE BESCHRÄNKUNG DER FLÄCHENNUTZUNG	22
2.3.2	SOZIALE HERLEITUNG: ZUGANG ZU NAHRUNGSMITTEL UND GLOBALE GERECHTIGKEIT.....	23
2.3.3	SOZIAL / ÖKONOMISCH: KOSTEN VON INFRASTRUKTUREN (NUR IN NATIONALER DEBATTE)	24
2.3.4	ZUSAMMENSCHAU:.....	24
2.4	UMWELTVERSCHMUTZUNG DURCH CHEMIKALIEN	25
2.4.1	PROBLEMBESCHREIBUNG UND ZIELE	25
2.4.2	ÖKOLOGISCHE HERLEITUNG DER PLANETAREN GRENZEN ZU UMWELTVERSCHMUTZUNG DURCH CHEMIKALIEN:.....	27
2.4.3	RELATION DES ANSATZES PLANETARER GRENZEN ZUR UMWELTVERSCHMUTZUNG DURCH CHEMIKALIEN MIT ANDEREN KONZEPTEN.....	28
2.4.4	ZUSAMMENSCHAU:.....	30
2.5	ZWISCHENFAZIT	30
3	<u>DAS VORSORGEPRINZIP ALS GRUNDLAGE FÜR RESSOURCENPOLITISCHE ZIELGRÖßEN?</u>	32

3.1	EINORDNUNG DES VORSORGEPRINZIPS – LOGIK UND GRENZEN	32
3.2	BESTEHEND KRITIK AM VORSORGEPRINZIP	33
3.2.1	FEHLENDE HANDLUNGSLEITUNG.....	33
3.2.2	VORSORGE-HANDELN ZWISCHEN UNSICHERHEIT UND ZEITDRUCK	34
3.3	PASSUNG DES VORSORGEPRINZIPS FÜR EINE BEGRÜNDUNG VON RESSOURCENPOLITISCHEN ZIELE(WERTE)N .	35
4	<u>FAZIT: ERKENNTNISSE FÜR EINE BEGRÜNDUNG RESSOURCENPOLITISCHER ZIELE.....</u>	40
5	<u>LITERATUR.....</u>	43

1 Einleitung:

Für die globale absolute Nutzung abiotischer Rohstoffe gibt es bislang keinen politisch festgelegten Zielwert. Fehlende Zielwerte erschweren es, die Wirksamkeit politischer Strategien und Maßnahmen zum Ressourcenschutz zu evaluieren und entsprechend nachsteuern bzw. anpassen zu können. So ist beispielsweise auch die Auswahl ambitionierter Maßnahmen bei Fehlen von Zielwerten schwieriger zu begründen, da Festlegungen auf Größenordnungen, die es zu erreichen gilt und die den Einsatz bestimmter Maßnahmentypen erfordern könnten, nicht getroffen wurden. Fehlende Ziele verringern auch die potentielle Verbindlichkeit politischer Strategien im nationalen und internationalen Kontext.

Für die Nutzung abiotischer Rohstoffe existieren Ansätze, um mit der Nutzung einhergehende Probleme entlang der Wertschöpfungskette zu beschreiben. Beschreibungen für das Ausmaß der Materialbewegung basieren in der Regel auf mengenbasierten Materialflussindikatoren und setzen beispielsweise die anthropogen bedingten Stoffflüsse in Relation zu den natürlichen Materialbewegungen durch Erosion und Vulkanismus. Der Befund daraus ist, dass der Mensch mittlerweile mehr Material bewegt, als durch Erosion und Vulkanismus bewegt wird (Bringezu/Schütz 2013). Daraus lassen sich zwar quantifizierte ressourcenpolitische Forderungen entwickeln – eine Begründung, warum die Rohstoffentnahme ein Problem ist und warum die anthropogen bedingte Materialbewegung politisch begrenzt werden sollte, kann daraus jedoch nicht abgeleitet werden (vgl. Müller/Kosmol/Keßler/Angrik/u. a. 2016). Ebenso wenig lässt sich aus Materialflussindikatoren ableiten, wo eine „Nachhaltigkeitsgrenze“ für die Materialbewegung liegen könnte oder normativ liegen sollte.

Auf nationaler Ebene bestehen ressourcenpolitische Ziele mit Blick auf die Verdopplung der Rohstoffproduktivität bis 2020 im Vergleich zu 1994 (siehe z.B. die nationale Nachhaltigkeitsstrategie und das Deutsche Ressourceneffizienzprogramm ProgRess (BMUB 2016a)). Die Effektivität eines Ressourcenproduktivitätsziels ist vor dem Hintergrund einer sich abzeichnenden Überkompensation von Effizienzgewinnen durch Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum (im Sinne von Rebound-Effekten) jedoch fraglich. Gleichzeitig wird deutlich, dass dieses Ziel bis 2020 aller Voraussicht nach nicht erreicht wird (Statistisches Bundesamt 2014; Hirschnitz-Garbers u. a. 2016).

Es gibt Ansätze, die die Auswirkungen der Rohstoffnutzung auf andere planetare Systemelemente (z.B. Ökosphäre) nutzen, um das Problem, das der Ressourcenpolitik zugrunde liegt, zu fassen. Solche Nexus-Ansätze beziehen sich beispielsweise auf den Energieverbrauch oder die Treibhausgas(THG)-Emissionen, die mit der Rohstoffgewinnung einhergehen (UNEP 2013). Weitere Begründungen für eine Begrenzung der Rohstoffnutzung könnten sich mit Blick auf die Wirkungen auf Umweltmedien und andere Ressourcen ergeben, z.B. bezüglich der Inanspruchnahme von Flächen, lokaler Auswirkungen auf Wasserkörper, etc. (vgl. hierzu die Nexus-Analysen aus dem PolRess-Vorhaben Werland u. a. 2014; Graaf u. a. 2015; Wunder

u. a. 2015; Werland 2015). Darüber hinaus ist auch die Frage von Versorgungsengpässen oder insbesondere ökonomischen Knappheiten als Begründungs-Fokus denkbar (Werland 2012; Müller/Kosmol/Keßler/Angrick/u. a. 2016). Eine intrinsische¹ Begründung, warum die Rohstoffnutzung begrenzt werden sollte, findet sich bislang jedoch nicht.

Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel der vorliegenden Analyse

- 1) aus der Betrachtung anderer, weitestgehend etablierter Umweltpolitikfelder Zielsetzungen sowie Argumentationslinien und Prinzipien, die diesen Zielsetzungen zugrunde liegen, offenzulegen; insbesondere für solche Bereiche, in denen bislang noch keine Grenzwerte evidenzbasiert abgeleitet werden konnten;
- 2) die aus dieser Untersuchung gewonnenen Erkenntnisse auf ihre Anwendbarkeit auf die Ressourcenpolitik allgemein und auf spezifische Rohstoffkategorien (in Anlehnung an die Rohstoffkategorien im deutschen Ressourceneffizienzprogramm: Erze, Baumineralien, Industriemineralien sowie stofflich genutzte fossile und biotische Rohstoffe) hin einzuschätzen.

Bei der Untersuchung werden jeweils ökologische, soziale und ökonomische Begründungszusammenhänge gesucht und ggf. beschrieben.

¹ Insofern, als dass Rohstoffe als eigenständiges Schutzgut verstanden werden.

2 Naturwissenschaftliche Begründungen für planetare Grenzen: state of the art

Das Konzept der Planetaren Grenzen orientiert sich an Zustands- und Wirkungsaspekten², indem es Schwellen- oder Grenzwerte vor dem Hintergrund biophysikalischer und biogeochemischer Systemzustände sowie global (noch) tragbarer Stoffkonzentrationen formuliert (Rockström/Steffen/Noone/Å. Persson/u. a. 2009). Dabei werden sowohl

- Ressourcenentnahmen (Süßwasser, Landnutzung) als auch
- Emissionen (CO₂, Phosphor, Feinstaub, Chemikalien, Nährstoffüberschüsse) und
- Auswirkungen (Impacts; Biodiversitätsverlust, Schädigung der Ozonschicht, Übersauerung der Meere)

betrachtet und entsprechende Schwellen-/Grenzwerte formuliert. Diese Werte gelten für vier der neun definierten planetaren Grenzen (Biodiversitätsverlust; biogeochemische Stoffflüsse für Stickstoff und Phosphor; Klimasystem im Hinblick auf CO₂-Konzentrationen und den Strahlungsantrieb; Landsystemveränderungen) als bereits überschritten bzw. als in hoher Risiko-Zone (hohes Risiko schwerwiegender Auswirkungen) befindlich (Will Steffen u. a. 2015; Rockström u. a. 2009b).

Bei längerfristigem Verbleib innerhalb oder jenseits einer Zone hohen Risikos schwerwiegender Auswirkungen besteht die Gefahr, dass Kippunkte im System bzw. in den Teilsystemen – beispielsweise das Auftauen von Permafrostböden in subarktischen Zonen, Veränderungen im indischen Monsunsystem oder der Rückgang borealer Waldgebiete sowie des Regenwaldes im Amazonas – zu komplexen Kaskaden von negativen Auswirkungen für sozial-ökologische Systeme und damit für menschliche Gesellschaften und Entwicklung in weiten Teilen des Globus führen und das bisher stabile und für die menschliche Entwicklung förderliche Systemgleichgewicht des Holozäns langfristig ändern (Lenton u. a. 2008; Steffen u. a. 2011).

Die planetaren Grenzen markieren kritische Schwellenwerte. Sie sind ein Konstrukt, um zu bestimmen, ob relevante Kontrollvariablen in sicherer Entfernung von kritischen Schwellenwerten oder gefährlichen Werten liegen oder nicht. Die bisherigen Grenzsetzungen sind teilweise mit „erheblichen Unsicherheiten“ verbunden und stellen im Wesentlichen konservative und Risiko-averse Festlegungen mit Unsicherheitsspannen dar (Rockström u. a. 2009b). Die Festlegungen der Unsicherheitsspannen bzw. dessen, was als „sichere Entfernung“ von kritischen bzw. gefährlichen Werten gilt, schließen normative Entscheidungen zum Umgang mit Risiken und Unsicherheit ein.

² Zustand und Auswirkung im Kontext des DPSIR Driver-Pressure-State-Impact-Response Konzeptes der EEA (EEA 1999).

Aufgrund der systemischen „Spielregeln“ der Erdsystemprozesse werden die planetaren Grenzen zwar als unabhängig von menschlichen Präferenzen und sozio-technischen Entwicklungen (z.B. erwartete technologische Fortschritte oder Schwankungen im Wirtschaftswachstum) angesehen – allerdings bestimmen menschliche Aktivitäten und Auswahlentscheidungen in großem Maß wie nah wir an die kritischen Schwellenwerte heran- oder über sie hinweg manövrieren (Rockström/Steffen/Noone/Å. Persson/u. a. 2009). Damit besteht eine Vielzahl möglicher Entwicklungspfade für menschliches Wohlbefinden mit unterschiedlichen Auswirkungen hinsichtlich planetarer Grenzen.

In den folgenden Unterkapiteln dieser Kurzanalysen beleuchten wir die Bestimmung von und Begründungen für vier ausgewählte planetare Grenzen: Integrität der Biosphäre (Biodiversität und Aussterberate) Landsystemwandel (Flächennutzungsveränderung), anthropogener Klimawandel und novel entities (Umweltverschmutzung mit Chemikalien). Diese vier planetaren Grenzen werden für die Kurzanalyse möglicher ressourcenpolitischer Begründungszusammenhänge aus den folgenden Gründen verwendet:

- 1) Biodiversitätsverlust: dieser Fokusbereich weist nicht nur deutlichen Handlungsbedarf im Ansatz der planetaren Grenzen auf (Rockström u. a. 2009a; Will Steffen u. a. 2015), sondern auch unterschiedliche wissenschaftliche Ansätze zur Herleitung (z.B. Aussterbeereignisse, Degradation von Ökosystemen nach Millennium Ecosystem Assessment oder auch Driver-Pressure-State-Impact-Response [DPSIR] Ansätze), sodass hiervon Lerneffekte für Ressourcenziele wahrscheinlich erscheinen. Gleichzeitig sind mit dem Verlust biologischer Vielfalt irreversible Prozesse und Verringerungen von Ökosystemdienstleistungen verbunden, insofern kann Biodiversität (auch) als eine endliche Ressource ähnlich den abiotischen Rohstoffen, die den Kern der ressourcenpolitischen Diskussion in Deutschland bilden, verstanden werden.
- 2) anthropogener Klimawandel: mit Blick auf den Klimawandel betont das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), dass Steigerungen der Ressourceneffizienz eine wichtige Mitigationsstrategie darstellen (IPCC 2014b). Das International Resource Panel (IRP) der Vereinten Nationen ergänzt dass die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und menschlichem Wohlbefinden von der Ressourcennutzung ein integraler Bestandteil und wesentlicher Fokus von Klimapolitik sein muss (UNEP 2015). Und ein Bericht des IRP aus dem Jahre 2016 kommt zu dem Schluss, dass die bestehende 2 °C-Obergrenze bzw. die auf der letzten COP der Klimarahmenkonvention in Paris (Dezember 2015) anvisierte 1,5 °C-Obergrenze ohne eine ambitionierte Ressourcenpolitik nicht oder nicht kosteneffizient erreicht werden kann (UNEP 2016).

- 3) Landsystemwandel: für diese planetare Grenze besteht ein national quantifizierter Zielwert (max. 30 ha-Flächenverbrauch pro Tag bis 2030) in der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie; in ProgRes wird Fläche bzw. Landnutzung angesprochen, ist aber bisher nicht Gegenstand von Ressourcenpolitik. Auch wenn Fläche als solche nicht verbraucht wird, stellt sie mit Blick auf Nutzungsmöglichkeiten sowie bezüglich Nutzungskonkurrenzen, d.h. der Fähigkeit des Bodens, unterschiedliche Nutzungen zuzulassen, eine endliche Ressource dar. Flächennutzung ist sowohl im nationalen Kontext (insbesondere Flächeninanspruchnahme durch Siedlungs- und Verkehrsflächen) als auch im internationalen Kontext (virtuelle Flächenimporte durch Importe von Produkten, die in ihrer Herstellung viel Flächennutzung mit sich bringen) relevant.
- 4) Umweltverschmutzung mit Chemikalien: die Nutzung von Chemikalien in Produktionsprozessen, Dienstleistungen und in Konsumprodukten spielt eine wichtige Rolle im Rahmen ressourcenpolitischer Diskussionen zur Verwendung sekundärer Rohstoffe, insbesondere vor dem Hintergrund der Kreislaufführung kritischer Substanzen im Kontext der REACH-Verordnung 1907/2006 der EU (Lahl/Zeschmar-Lahl 2013; EEB u. a. 2015), aber auch mit Blick auf Plastik in der Umwelt (UNEP/GRID-Arendal 2016; Ellen MacArthur Foundation u. a. 2016).

2.1 Biodiversität

2.1.1 Problembeschreibung und Ziele

Der Verlust von Biodiversität ist einer der Problembereiche, in denen nach Steffen et al. (2015) und Rockström et al. (2009a) die planetaren Grenzen bereits weit überschritten werden. Zentrale Problemstellung der Biodiversitätspolitik ist es, den Verlust von Arten, von genetischer Vielfalt innerhalb der Arten und von Ökosystemen aufzuhalten (Wilson 1988; Ehrlich 1992). Derzeit sei ein Artensterben in beispiellosem Tempo zu beobachten: Arten gingen heute 100 bis 1.000 Mal schneller verloren als das in der früheren Erdgeschichte der Fall war (Wilson 1988; WBGU 2014).

Ursächlich für den rasanten Verlust sei das Ausmaß der menschlichen Aktivitäten (Ehrlich 1992), vor allem die Zerstörung von Lebensräumen durch Bebauung und landwirtschaftliche Nutzung sowie Trockenlegung bzw. Überschwemmung von Flächen, die Einführung fremder Arten, ein übermäßiger Eintrag von Schadstoffen und der Klimawandel (WBGU 2014, 2011; Millennium Ecosystem Assessment 2005).

Der Begriff der Biodiversität bezieht sich auf Arten und deren genetische Vielfalt sowie auf Ökosysteme.³ Daraus ergeben sich drei zentrale Funktionen der Biodiversität:

Erstens die Bereitstellung von Ökosystemdienstleistungen d.h. die Regulierungs- bzw. Schutzfunktion für Nährstoffkreisläufe, für das Klima und den Wasserhaushalt, ihre Senkenfunktion für Schadstoffe und Abfälle sowie ihre Versorgungsfunktion als Anbieter von Rohstoffen und Energie. Durch ihre Dienstleistungen tragen Ökosysteme zum Erhalt des Lebens auf der Erde bei und bilden die Lebensgrundlage für jetzige und zukünftige Generationen (WBGU 2014; Hooper u. a. 2012).

Zweitens sichert eine hohe Artenvielfalt und genetische Vielfalt die Anpassungsfähigkeit von Ökosystemen an sich ändernde Umweltbedingungen. Durch den Verlust an Biodiversität werde die Resilienz von Ökosystemen, d.h. ihre Robustheit gegenüber externen Schocks und Störungen sowie ihre Fähigkeit zur Aufrechterhaltung bzw. Wiederherstellung essenzieller Strukturen und seiner Funktionen geschwächt (Berkes 2007). Dadurch kann die Bereitstellung ihrer lebensnotwendigen Dienstleistungen für den Menschen gefährdet werden.

Drittens dient die Biodiversität der Bereitstellung von Nahrung, Rohstoffen (Produktionsfunktion), Arzneiwirkstoffen und Nutzpflanzen (als „genetische Bibliothek des Lebens“) und dient als Vorbild für technische Entwicklungen (Bionik). Mit dem Verlust von Tier- und Pflanzenarten gehen auch ihre „genetischen und physiologischen Baupläne verloren (WBGU 1999: A 3).

Aus dieser Problembeschreibung werden in der UN-Biodiversitätskonvention (Convention on Biological Diversity CBD) die folgenden drei Ziele abgeleitet:

- die biologische Vielfalt zu erhalten,
- ihre Bestandteile nachhaltig zu nutzen und
- einen gerechten Vorteilsausgleich aus der Nutzung genetischer Ressourcen zu erreichen.

Als Vision des „Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020“ unter der CBD soll bis 2050 die Biodiversität erhalten, wiederhergestellt, und in einer Art und Weise genutzt werden, dass Ökosysteme erhalten bleiben. Weiterhin beinhaltet das Sustainable Development Goal (SDG) 15 das Ziel, den Verlust von Biodiversität zu stoppen und bis 2020 die Ausrottung gefährdeter Arten zu verhindern. Die Herleitung und Operationalisierung dieser Ziele und die damit verbundenen Grenzwerte werden im Weiteren untersucht.

³ Hertler verweist in diesem Zusammenhang darauf, dass Biodiversität kein einheitliches Forschungsfeld darstelle, sondern vielmehr eine Klammer sei, unter der heterogene Forschungsfelder mit unterschiedlichen Forschungsgegenständen subsummiert würden (Hertler 1999).

2.1.2 Herleitung bestehender Ziele durch die Orientierung am natürlichen Zustand:

2.1.2.1 Aussterberate von Arten (pressure-Variable)

Als Indikator für die Entwicklung der biologischen Vielfalt wird vielfach die Aussterberate von Arten angeführt. Nach Steffen et al. (2015) solle eine planetare Grenze an dem Punkt gesetzt werden, an dem die Aussterbensrate von Arten die Entstehungsrate neuer Arten während des Holozäns (d.h. in den letzten rund 11.000 Jahren) übersteigt (Will Steffen u. a. 2015). Diese Aussterberate sei zwar auch in einem natürlichen Zustand nicht statisch, aber derzeit anthropogen bedingt um einen Faktor zwischen 100 und 1.000 gegenüber dem natürlichen Zustand überhöht (Will Steffen u. a. 2015). Vor diesem Hintergrund wird gefordert, dass die Aussterberate langfristig nicht wesentlich oberhalb der natürlichen Rate liegen dürfe (WBGU 2014, 30).

Da die Höhe der vom Menschen unbeeinflussten natürlichen Aussterberate derzeit nicht hinreichend belegbar sei, schlagen Steffen et al. die globale Aussterberate einzelner, gut beforschter Arten über die letzten Millionen Jahre als Kontrollvariable vor. Diese liege bei etwa einer ausgestorbenen Art pro Million Arten pro Jahr. Weil auch hier eine hohe Unsicherheit bestünde, wurde die so ermittelte Aussterberate um einen Faktor 10 erhöht, so dass Steffen et al. von 10 ausgestorbenen Arten pro Million Arten pro Jahr („Speziesjahren“) als planetare Grenze ausgehen. Anzustreben sei jedoch eine Aussterbensrate von 1 Art pro Million Arten pro Jahr. Die derzeitige Rate liege mit etwa 100 - 1000 Arten pro Million Arten pro Jahr um einen Faktor 10 bis 100 über dem angenommenen natürlichen Zustand.

In der wissenschaftlichen Literatur werden jedoch nicht nur die bestehenden Unsicherheiten in Bezug auf die tatsächliche anthropogene Überhöhung der Aussterberate⁴ betont; es bestünden auch regionale Unterschiede in der Dichte und „Wertigkeit“ der Biodiversität, was eine universal gültige Zielsetzung erschwere. Zudem sei die Aussterberate von Arten nicht geeignet, die Verkleinerung von Populationen und ihre geographische Ausbreitung zu erfassen. Dieses Problem werde durch die komplexe, multidimensionale Definition von Biodiversität weiter verschärft (Scholes/Biggs 2005); so sei es nicht eindeutig, wie der Verlust von Arten das Funktionieren von Ökosystemen beeinflusse (Mace u. a. 2014).

Eine weitere Schwierigkeit bei der Nutzung der Aussterberate als Kontrollvariable ist, dass die Auswirkungen auf Ökosysteme durch den Verlust der Biodiversität nicht linear zunehmen, sondern Kipp-Punkte erreicht würden, an denen die Funktionsfähigkeit von Ökosystemen

⁴ So ist es nach Wilson und Peter (Wilson 1988) unmöglich zu schätzen, wie viele Arten in den Regenwäldern oder andren bedeutenden Lebensräumen der Welt verloren gehen, da nicht bekannt ist, wie viele Arten ursprünglich vorhanden waren.

schlagartig verringert wird (Steffen u. a. 2015; Leadley u. a. 2010). Diese Punkte seien aber unbekannt. Entsprechend betont auch der WBGU, dass „die exakte, naturwissenschaftlich begründete Ableitung einer Leitplanke für den Biosphärenschutz [...] beim derzeitigen Kenntnisstand noch nicht möglich [ist]“ (WBGU 1999, S. 7). Aufgrund der hohen Bedeutung der Biodiversität für das Leben auf der Erde, der hohen wissenschaftlichen Unsicherheit und der Gefahr, dass der Verlust von Arten und Ökosystemen irreversibel ist, wird dem Vorsorgeprinzip hier eine besondere Bedeutung beigemessen (Will Steffen u. a. 2015; WBGU 2014).

2.1.2.2 Zustand und Funktionsfähigkeit der Ökosysteme (state-Variable)

Eine weitere Herangehensweise zur Herleitung von Zielen ist über den Zustand konkreter Ökosysteme. Die dahinterliegende Argumentation bezieht sich vor allem auf die Fähigkeit von Ökosystemen, bestimmte Funktionen im Erdsystem zu erfüllen. Durch menschliche Aktivitäten überformte Ökosysteme wie Nutzwälder, Monokulturen oder Plantagen werden als weniger wertvoll für die Erbringung von Dienstleistungen und anfälliger für Störungen erachtet als naturbelassene Ökosysteme. Der Verlust von Arten führe zu einem Verlust solcher Ökosystem-Funktionen. Unter Verweis auf Studien zur Funktion lokaler Ökosysteme nennen Newbold u.a. (Newbold u. a. 2016) eine Verlustrate von 20% der Arten als möglichen Schwellenwert, ab dem starke Auswirkungen auf die Produktivität von Ökosystemen zu erwarten sind – wobei die dahinterliegenden Mechanismen, die zwischen Artenvielfalt und Funktionsfähigkeit von Ökosystemen vermitteln, unklar seien (Newbold u. a. 2016).

Auch hier soll letztlich ein Zustand der Ökosysteme erreicht werden, der möglichst nahe an einen natürlichen Zustand heranreicht. Der natürliche Zustand wird dabei nicht per se, aufgrund der „Natürlichkeit“ als wünschenswert betrachtet, sondern weil den Ökosystemen im natürlichen Zustand ein höherer Nutzen und eine verbesserte Resilienz zugeschrieben wird als menschlich beeinflussten Ökosystemen.

2.1.2.3 Ökonomische Herleitung: Monetäre Bewertung des Naturkapitals

Ein möglicher Begründungsansatz für den Erhalt von Biodiversität aus einer Input-Perspektive sind die ökonomischen Kosten, die mit dem Verlust von Ökosystemen, Arten und genetischer Vielfalt einhergehen. Ausgangspunkt dieser Argumentation ist, dass die Nutzungsmöglichkeiten von Biodiversität, z.B. zur Gewinnung neuer Arzneiwirkstoffe, mit der Artenvielfalt und der genetischen Vielfalt steigen. Ein Versuch, den Handlungsbedarf beim Biodiversitätsschutz zu belegen ist der – häufig kritisierte – Ansatz, das „Naturkapital“ und die „Ökosystem-Dienstleistungen“⁵ der Biodiversität mit einem monetären Wert zu bewerten.⁶

Dem Millennium Ecosystem Assessment zufolge übersteigen die gesamtgesellschaftlichen Kosten des Verlusts der Biologischen Vielfalt häufig die individuellen Gewinne aus den zugrundeliegenden Aktivitäten (Millennium Ecosystem Assessment 2005). Zu vermeiden wäre demnach ein Zustand, in dem der Schaden am „Naturkapital“ die Gewinne aus der Nutzung von Biodiversität übersteigt. Letztlich sollten durch die Internalisierung von Schäden am „Naturkapital“ Anreize geschaffen werden, möglichst schonend mit den natürlichen Ressourcen umzugehen.

Aus diesem Ansatz lassen sich – zumindest auf Basis der vorliegenden Informationen über den monetären Wert der in Anspruch genommenen Ökosystem-Dienstleistungen und ihrem Verhältnis zum gesamtwirtschaftlichen Schaden durch die Nutzung von Biodiversität – keine konkreten Zielwerte für ein „optimales Nutzungsniveau“ der Biodiversität ableiten. Vertreter dieses Ansatzes verweisen entsprechend darauf, dass es nicht um die Ableitung einer einzelnen Wertgröße für die Natur gehe. Vielmehr solle ein „stärkeres Bewusstsein für den gesellschaftlichen Wert von Naturkapital geschaffen werden mit dem Ziel, diesen Wert – in Wahrnehmung unserer moralischen Verantwortung – künftig stärker in privaten, unternehmerischen und politischen Entscheidungen zu berücksichtigen“.

Der Ansatz der Monetarisierung wird mit verschiedenen Begründungen und aus unterschiedlichen Perspektiven kritisiert:

- Methodisch sei es nicht möglich, Ökosystem-Dienstleistungen monetär zu beziffern. Dies gelte vor allem vor dem Hintergrund, dass Ökosysteme unterschiedliche Dienste erbringen und viele Funktionen, die die Biodiversität erbringt, bislang noch gar nicht bekannt seien. Die monetäre Bewertung kann demnach der Komplexität und der Multifunktionalität von Ökosystemen nicht gerecht werden; es bestehe die Gefahr, dass

⁵ Auch der Begriff Ökosystemdienstleistungen wird häufig als Versuch der Monetarisierung der Natur kritisiert (exemplarisch: Fatheuer 2013)

⁶ Aus dieser Argumentation heraus ist das Hauptproblem der Nutzung von Biodiversität, dass die von den Ökosystemen erbrachten Leistungen bisher weitestgehend kostenlos bereitgestellt würden. Dadurch komme es zu Übernutzungen. Durch eine Bewertung von Ökosystem-Dienstleistungen könnten diese sichtbar gemacht und somit in unternehmerischen und öffentlichen Entscheidungsprozessen besser berücksichtigt werden.

der zugemessene Nutzen der Biodiversität auf einzelne Faktoren beengt werde: So bemesse sich der Wert beispielsweise von Wald nicht alleine in seiner Kapazität zur CO₂-Speicherung, sondern er erfüllt eine Reihe weiterer Funktionen wie die Filterung von Luft und Wasser, die Regulierung des lokalen Klimas, er dient zur Erholung, als Lieferant von Nahrung und nachwachsenden Rohstoffen, u.v.m. Die Gesamtheit der Funktionen zu erfassen und objektiv gegeneinander zu gewichten sei nicht zu leisten.

- Zudem entwickelten sich die Schadkosten, die sich aus der Nutzung bzw. Übernutzung von Biodiversität ergeben aufgrund der existierenden Kipp-Punkte, bei deren Überschreitung sich der Zustand von Ökosystemen abrupt und unwiederbringlich verschlechtere und Ökosystem-Dienstleistungen wegbrächen, nicht linear. Diese Punkte seien kaum zu bestimmen und in Preisen abzubilden.
- Die monetäre Bewertung von Natur suggeriere ihre Substituierbarkeit durch Kapital. Der Verlust von Ökosystemen sei jedoch nicht mit Geld kompensierbar.⁷ Zudem seien verloren gegangene oder geschädigte Ökosysteme durch ihre spezifischen Funktionen und Charakteristika nicht einfach durch eine andere „Einheit“ Natur oder Habitat an einem anderen Ort zu reproduzieren. Letztlich würden die sozialen, kulturellen, spirituellen und ökologischen Funktionen von Ökosystemen ignoriert und „auf einzelne monetarisierbare Funktionen reduziert“ (Unmüßig 2014).
- Letztlich erfordere die Monetarisierung der Natur ihre Unterwerfung unter marktliche Verwertungslogik. Eine Vermarktung setze jedoch Eigentumsrechte voraus. Daraus ergebe sich die Frage, wem die Ökosysteme gehören und wer von ihrer Vermarktung profitieren sollte.

Die monetäre Bewertung von Ökosystemdienstleistungen eignet sich demnach nicht, absolute Grenzen für die Nutzung der Biodiversität zu definieren. Dahinter steht vielmehr eine relative und selektive Abwägung von Kosten und Nutzen der Naturnutzung. Dennoch wird das Argument, dass Wirtschaftswachstum in vielen Bereichen bereits „unökonomisch“ geworden sei, weil der – häufig vergemeinschaftete – Schaden am Naturkapital die – häufig individuellen – Gewinne aus der Nutzung von Natur übertreffe, durchaus auch in wachstumsskeptischen Kreisen genutzt (exemplarisch: Daly 2015).

⁷ vgl. hierzu die Diskussion um starke vs. schwache Nachhaltigkeit. Bei der schwachen Nachhaltigkeit wird von einer prinzipiellen Substituierbarkeit zwischen unterschiedlichen Kapitalarten ausgegangen, während ein starkes Nachhaltigkeitskonzept Substituierbarkeit ausschließt.

2.1.3 Herleitung über soziale Aspekte: intergenerationelle und globale Gerechtigkeit

2.1.3.1 Zukunftschancen der nachfolgenden Generationen erhalten

Allgemein wird darauf verwiesen, dass die Biodiversität die Grundlage allen Lebens sei. Sie stelle die „Bibliothek des Lebens auf der Erde“ dar und ihre Dienstleistungen seien die Voraussetzung um die Lebensgrundlagen der Menschheit zu erhalten“.⁸ Eine Verringerung der Biodiversität würde insofern die Möglichkeiten zukünftiger Generationen schmälern, genetische Informationen zu nutzen, etwa durch die Entdeckung neuer Arzneiwirkstoffe oder die Zucht neuer Nutzpflanzen. Daher müsse die Biodiversität erhalten werden, auch wenn ihre jeweiligen Funktionen im Naturhaushalt und ihr Nutzen für die Menschen in allen Details derzeit noch nicht erkannt seien (Deutsche Bundesregierung 2007 A 2).

2.1.3.2 Globale Gerechtigkeit

Ausgangspunkt dieser Argumentation ist, dass die Kosten und Risiken aus dem Verlust der Biodiversität disproportional häufig auf die Entwicklungsländer und die ärmsten Bevölkerungsschichten entfallen (beispielsweise aus dem Rückgang von Fischpopulationen oder der Verlust von Schutzfunktionen des Waldes). Gleichzeitig weisen viele Entwicklungsländer, vor allem in tropischen und subtropischen Regionen, eine hohe Biodiversität auf. Durch die potentielle Unterschützstellung der Biodiversität entstünden Nutzungseinschränkungen, beispielsweise, wenn Primärwälder nicht mehr in landwirtschaftliche Nutzflächen umgewandelt würden. Daraus resultierten ökonomische Nachteile. Profiteure vieler Ökosystem-Dienstleistungen seien hingegen die Industrieländer, die ihrerseits viele ihrer natürlichen Ökosysteme im Prozess der Industrialisierung unwiederbringlich beseitigt hätten. Zudem würden Unternehmen aus den Industrieländern Gewinne aus der Nutzung von Biodiversität, z.B. in der Pharmazie oder der pflanzenwissenschaftlichen Forschung ziehen.

Die Debatte um globale Gerechtigkeit bei der Ressourcennutzung zielt vor allem darauf ab, ein global verallgemeinerbares Nutzungsniveau zu erreichen. Insgesamt seien damit (1) ein nachhaltiges Nutzungsniveau, das das Regenerationspotential der Ökosysteme nicht überschreitet und (2) eine globale Gleichverteilung der Kosten und Gewinne aus der Nutzung von Biodiversität anzustreben.

⁸ <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3508.pdf>

2.1.4 Zusammenschau:

- Der wissenschaftliche Sachstand zum Verlust von Biodiversität ist derzeit noch nicht hinreichend, um eine klare planetarische Leitplanke zu definieren, jenseits derer ein Verlust biologischer Vielfalt zu intolerablen Folgen für die Menschheit führt (WBGU 2014).
- Es ist allerdings wissenschaftlicher Konsens, dass die derzeitigen Verlustraten nicht nachhaltig sind (MEA (Millennium Ecosystem Assessment) 2005).
- Als Orientierungsziel wird daher eine Annäherung an den natürlichen Zustand (Aussterberate, Ökosysteme) formuliert.
- Gleichzeitig sind mit dem Verlust biologischer Vielfalt Irreversibilitäten verknüpft, denn die Wiederherstellung von degradierten Ökosystemen ist nur in Grenzen und häufig mit großem Aufwand möglich; ein globales Aussterben von Arten ist endgültig.
- Andere Argumentationen zum Schutz der Biodiversität sind weniger evidenzbasiert, sondern normativ oder ökonomisch begründet, wobei auch hier massive Unsicherheiten über den zukünftigen (bislang noch nicht erkannten) Nutzen der Biodiversität bestehen.
- Der politische Konsens, die Biodiversität zu schützen basiert daher auf dem Vorsorgeansatz (Grundsatz 15 der Rio-Erklärung; Präambel der Biodiversitätskonvention)
- Der WBGU hat „biologische Imperative“ formuliert, die Prinzipien vermitteln sollen, mit denen die Werte der Biosphäre für heutige und kommende Generationen erhalten und nachhaltig genutzt werden können (WBGU 1999, 325).

2.2 Anthropogener Klimawandel

2.2.1 Problembeschreibung und Ziele

Nach Befunden des 5. Sachstandsberichts des IPCC zählen die letzten drei Jahrzehnte wahrscheinlich zu den wärmsten Jahren im Durchschnitt der letzten 1400 Jahre; insgesamt ist die globale oberflächennahe Durchschnittstemperatur im Zeitraum 1880 bis 2012 um etwa 0,85 °C angestiegen, wobei nahezu für die gesamte Erdoberfläche eine Temperaturzunahme zu verzeichnen ist (*Climate Change 2013 - The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* 2013).

Im Zuge dieser Veränderungen hat die Anzahl warmer Tage und Nächte global gesehen seit Mitte des 20. Jahrhunderts sehr wahrscheinlich zugenommen und die Häufigkeit von Hitze- wellen in weiten Teilen Europas, Asiens und Australien ist wahrscheinlich angestiegen; darüber hinaus sind auch Starkregenereignisse in Nordamerika und Europa wahrscheinlich häufiger und intensiver geworden (ebd.).

Die oberen 700 m der Ozeane haben sich zwischen 1971 und 2010 erwärmt, die obersten 75m Wassertiefe wahrscheinlich um die 0,11 °C pro Dekade im vorgenannten Zeitraum; der globale mittlere Meeresspiegel ist im Zeitraum 1901 bis 2010 um etwa 19 cm angestiegen (ebd.).

Mit diesen Klimaänderungen gehen verschiedene klimawandelbedingte Auswirkungen einher. Diese umfassen u.a. Veränderungen von Niederschlagsregimen, Zunahme von Extremwetterereignissen (wie Hitzewellen (insbesondere in Europa, Asien und Australien), Dürren, Überschwemmungen), Gletscherrückgänge, Artenverdrängung bzw. Veränderung von Lebensräumen (siehe 2.1 Biodiversität) (IPCC 2014a).

Die vorgenannten Klimaänderungen und ihre wahrscheinlichen Auswirkungen machen die Dringlichkeit deutlich, mit der die internationale, europäische und nationale Klimapolitik auf den anthropogenen Klimawandel reagieren muss. Das umfasst einerseits Maßnahmen, die ein weiteres Voranschreiten des Klimawandels durch Reduktion weiterer Treibhausgasemissionen vermeiden hilft (Klimaschutz/Mitigation); andererseits sind auch Maßnahmen notwendig, die von bereits eingetretenen und noch kommenden Auswirkungen der Klimaänderungen betroffenen Regionen, Ländern, Systemen und Akteuren dabei hilft, sich anzupassen (Anpassung/Mitigation)..

Dazu wurden politische Ziele im Hinblick auf die Begrenzung der globalen Erwärmung festgelegt. Zunächst wurde von der EEA im Jahre 1996 eine Obergrenze von 2°C als Politikziel vorgeschlagen (EEA 1996), welche im Jahre 2005 sowohl der Europäische Rat (Council of the European Union. 2005) als auch die Britische G8-Präsidentschaft als Aussagen aufgegriffen haben (Randalls 2010). Dieser Vorschlag entfaltete zwar keine rechtlich verbindliche Wirkung, wurde aber in der Abschlusserklärung des Kopenhagener Klimagipfels im Jahre 2009 als wissenschaftlich gerechtfertigtes Ziel benannt (UNFCCC 2010)(Randalls 2010). Mit dem Pariser Klimaabkommen international abgestimmt sind nun Anstrengungen zu unternehmen, die Zunahme der globalen Mitteltemperatur gegenüber dem vorindustriellen Niveau auf 1,5 °C zu begrenzen– da oberhalb einer solchen Erwärmung mit größerer Wahrscheinlichkeit langfristige und gefährliche Klimawandelauswirkungen auftreten und (eine größere Anzahl) Kippunkte mit größerer Wahrscheinlichkeit überschritten werden könnten (Schellnhuber und Cramer 2007; IPCC 2014a). Gleichfalls umfassen die politischen Zielsetzungen auch Reduktionen von CO₂-Emissionen bis 2050: weltweit um 60% gegenüber 2010; für die EU und für Deutschland um 80-95% gegenüber dem Stand von 1990 (European Commission 2016; BMUB 2016b). In der Diskussion sind auch sogenannte „negative Emissionen“, d.h. Entnahme bereits in der Atmosphäre befindlichen CO₂ und damit Emissionsminderungsziele von weit mehr als 100% (Geden/Schäfer 2016).

Damit werden die Zielsetzungen im Wesentlichen anhand der Triebkraft CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre festgelegt – die politischen Ziele und Klimaschutzbemühungen beziehen

sich jedoch auch auf andere, z.T. noch klimawirksamere Treibhausgase. Für diese geltenden bzw. entwickelten Grenzwerte werden allerdings in CO₂-Äquivalenten angegeben – so auch in dieser Analyse.

2.2.2 Ökologische Herleitung der Klimawandel-bezogenen planetaren Grenzen

Die planetaren Grenzen, die in der wissenschaftlichen Literatur mit Blick auf anthropogenen Klimawandel festgelegt wurden, basieren damit auf naturwissenschaftlich gewonnenen Erkenntnissen. Die politisch abgestimmten bzw. festgelegten Obergrenzen der globalen Erwärmung basieren auf diesen Erkenntnissen. Allerdings bezieht sich die bisherig formulierte planetare Grenze für anthropogenen Klimawandel nur auf das 2 °C-Ziel – die Zielstellungen aus dem Pariser Klimaabkommen vom Dezember 2015 sind in dieser Grenze noch nicht berücksichtigt.

Nach Rockström et al. (Rockström u. a. 2009a) bezieht sich die planetare Grenze zu anthropogenem Klimawandel auf die beiden Aspekte

- 1) Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre; als Obergrenze für die Vermeidung von Klimawandelauswirkungen wie beispielsweise Verlust der polaren Eisschilder, und Verlust an Süßwasserreservoirs durch Gletscherschmelze;
- 2) Veränderungen im Strahlungsantrieb (radiative forcing); als Obergrenze für die Vermeidung von Energieungleichgewichten in der obersten Schicht der Erdatmosphäre, die zu einer Abschwächung der Funktion als Kohlenstoffsенke führen könnten.

Diese beiden Aspekte gelten als wesentliche Einflussfaktoren auf die Energiebilanz und das Klimasystem der Erde und werden damit als Grenzwerte für die Vermeidung von (weiteren) Klimaänderungen und damit verbundener klimawandelbedingter Auswirkungen herangezogen.

2.2.2.1 Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre

Hier beläuft sich die Obergrenze, jenseits der die planetare Grenze als überschritten und im unsicheren Bereich mit steigendem Risiko schwerwiegender Auswirkungen (beispielsweise durch Abschmelzen der Polkappen, Zunahme von Extremwetterereignissen oder Anstieg des Meeresspiegels) gilt, auf 350 Teile von einer Million (parts per million, ppm) (Rockström/Steffen/Noone/Å. Persson/u. a. 2009; Steffen u. a. 2015). Für das Jahr 2015 wurde ein globaler Durchschnittswert von knapp unter 400 ppm gemessen (CO₂.Earth 2016), eine Überschreitung der Grenze um etwa 50 ppm oder 14,3%.

Die ursprünglich vorgeschlagene Obergrenze von 350 ppm wurde aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse mit einem Unsicherheitsbereich von 350-450 ppm versehen, da paläoklimatische Daten⁹ nahelegen, dass sozusagen „erst“ oberhalb von 450 ppm ein hohes Risiko von großflächigem Abschmelzen der polaren Eiskappen besteht (Rockström/Steffen/Noone/Å. Persson/u. a. 2009; O A 2013).

Trotz der Erweiterung des Bereiches mit der Unsicherheitsspanne stellt die Obergrenze weiterhin eine eher konservative Festlegung dar, da die bestehenden Klimamodelle überwiegend nur rasche Klimasystemfeedbacks einbeziehen (Veränderungen im Wasserdampfgehalt, in der Wolkenbedeckung und in der Meereisausdehnung) und dadurch Spannweiten möglicher Temperaturanstiege von 2 bis 4,5 °C bis 2100 ermitteln (Rockström u. a. 2009a). Werden jedoch auch langsame Klimasystemfeedbacks wie abnehmende Eisschilder, veränderte Vegetationsmuster und Absinken der Kontinentalränder berücksichtigt, resultiert eine Spannweite von 4-8 °C. Daher wird angenommen, dass die bestehenden Klimamodelle die Sensitivität des Klimasystems gegenüber einer langfristig wirkenden CO₂-Konzentration signifikant unterschätzen (Hansen u. a. 2008; Rockström/Steffen/Noone/Å. Persson/u. a. 2009). Dementsprechend dienen eine niedrigere Obergrenze und der Unsicherheitsbereich von 350 – 450 ppm als Puffer für Modellprognose-inhärente Unsicherheiten und im Sinne des Vorsorgeprinzips der Vermeidung gefährlichen Klimawandels (Schellnhuber und Cramer 2007).

2.2.2.2 Veränderungen im Strahlungsantrieb (radiative forcing).

Die Obergrenze für Veränderungen im Strahlungsantrieb beträgt +1 Watt pro Quadratmeter gegenüber vor-industriellen Werten (Rockström/Steffen/Noone/Å. Persson/u. a. 2009; Steffen u. a. 2015). Der Strahlungsantrieb bezeichnet die Rate der Veränderung in der Energiebilanz in der obersten Schicht der Erdatmosphäre. Über den Strahlungsantrieb kann der Einfluss externer Faktoren gemessen werden, die Einfluss auf die Energiebilanz und damit auf das Klimasystem haben. Das können beispielsweise Veränderungen in der Konzentration von Substanzen sein, die ihrerseits einen Einfluss auf die Energiebilanz haben, beispielweise Kohlendioxid, andere Treibhausgase oder Aerosole, aber auch Änderungen in der Sonnenintensität (O A 2013). Aber auch Änderungen in der Menge der von der Erde abgestrahlten Energie (Albedoeffekt) durch Veränderungen in der Vegetations- oder Eisbedeckung sowie in der Wolkenbildung tragen dazu bei, dass sich der Strahlungsantrieb ändert – nimmt der Strahlungsantrieb zu, so bedeutet das, dass die Energiebilanz der Atmosphäre sich in Richtung Erderwärmung ändert (Myhre u. a. 2013).

⁹ Paläoklimatischen Daten zeigen einen starken Zusammenhang zwischen CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre und der Eisbildung auf der Erde für die vergangenen 65 Millionen Jahre sowie mit der globalen Abkühlung der letzten 50 Millionen Jahre – demnach war die Erde weitestgehend eisfrei bei CO₂-Konzentrationen von über 450 ppm (Rockström u. a. 2009a).

Als Kontrollvariable für eine planetare Klimawandelgrenze ist der Strahlungsantrieb von fundamentalerer Bedeutung als die Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre, da er die Kohlendioxid-Konzentration, aber eben auch zusätzliche Faktoren umfasst, welche als Triebkräfte für eine Klimaerwärmung ausschlaggebend sind (Steffen u. a. 2015).

Nach Erkenntnissen aus dem fünften Klimabericht des IPCC betrug die anthropogen bedingte Veränderung des globalen mittleren Strahlungsantriebs zwischen 1750 (vor-industriell) und 2011 $+2,29 \text{ Watt/m}^2$ (mit einer Unsicherheitsspanne von $(1,13 \text{ bis } 3,33 \text{ Watt/m}^2)$) (Myhre u. a. 2013). Damit ist auch der zweite Aspekt der planetaren Klimawandelgrenze überschritten, mit mehr als 200% viel deutlicher als für die Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre.

2.2.3 Herleitung über soziale Aspekte: globale Gerechtigkeit

Die beiden vorgenannten Klimawandel-bezogenen planetaren Grenzen stellen globale Werte dar. Allerdings ergeben sich daraus zwangsweise Fragen der globalen Gerechtigkeit bzw. der globalen Verteilungsgerechtigkeit eines zukünftig nutzbaren Treibhausgas-Budgets (Paris-equity-check.org 2017), da Energienutzung, Treibhausgasemissionen und Klimaschutzverantwortung im globalen Governanceregime der Klimarahmenkonventionen zwischen Industrie- und sich entwickelnden Ländern unterschiedlich bewertet bzw. zugelassen werden. Historisch gesehen haben nahezu ausschließlich die Industrieländer zur Überschreitung der planetaren Grenzen beigetragen, gemessen im über den Zeitraum 1850 – 2012 kumulierten CO_2 -Ausstoß pro Kopf allen voran Luxemburg (1294 t), gefolgt von den USA (1167 t), Großbritannien (1106 t) und Deutschland (1055 t); während der kumulierte globale Durchschnitt für den vorgenannten Zeitraum gerade einmal 194 t pro Kopf beträgt (WRI 2017a). Mit Blick auf die wirtschaftlichen Realitäten und Emissionsentwicklungen in sich entwickelnden Ökonomien der letzten Jahre werden jedoch Trendänderungen seit etwa Mitte der 1990er Jahre deutlich: während bis 1995 die G7-Länder für den Großteil der globalen CO_2 -Emissionen verantwortlich waren, sind es danach die Nicht-G7-Länder (Australian-German Climate and Energy College 2017). Werden die kumulierten pro-Kopf- CO_2 -Emissionen für den Zeitraum 1990 – 2012 (inklusive Landnutzungsänderungen) betrachtet, so werden die größten Werte im globalen Vergleich nun in drei sich entwickelnden Ländern (bzw. in Nicht-Annex-I-Ländern gemäß Klimarahmenkonvention) gemessen – in Kuwait (1035 t), Brunei (1005 t) und Belize (885 t); erst auf dem vierten Rang folgt mit Australien (587 t) ein Industrieland (WRI 2017b). Darüber hinaus wird für die Zukunft erwartet, dass zwischen 2020 und 2030 die seit 1900 kumulierten Emissionen der Nicht-Annex-I-Staaten die der Annex-I-Staaten überschreiten werden (Australian-German Climate and Energy College 2017).

Bisherige Klimaverhandlungen thematisierten immer wieder und z.T. sehr kontrovers die unterschiedlichen historischen und zukünftigen Verantwortlichkeiten verschiedener Länder für den Klimaschutz. Grundsätzlich wurde als relevanter Ziel-Mechanismus das sogenannte

„Contraction and convergence“-Prinzip festgelegt. Das Prinzip besagt, dass Länder mit CO₂-Emissionen, die über dem mit der Temperaturobergrenze verbundenen Treibhausgas-Emissionslevel liegen, ihre Emissionen reduzieren müssen, während den Ländern mit darunter liegenden Werten aus Gründen der globalen Gerechtigkeit für ihre weitere Entwicklung noch weitere Emissionsbudgets zugewiesen werden. Damit nähern sich beide Seiten von oben bzw. von unten dem Klimaziel.

Eine weitere Komponente globaler Gerechtigkeit kommt mit Blick auf Klimawandelauswirkungen hinzu. Diese treffen oftmals Regionen in wenig(er) entwickelten Ländern und innerhalb dieser die verwundbarsten Teile der Bevölkerung. Daher sind industrialisierte Länder durch ihre Klimaschutz- und Anpassungsbemühungen auch für den Schutz von in anderen Ländern lebenden Menschen (mit) verantwortlich und sollten entsprechend weiterhin die Führung übernehmen, während sich entwickelnde Länder ihre Minderungsanstrengungen weiter verstärken sollen (Vertragsparteien des UNFCCC 2015).

2.2.4 Relation des Ansatzes planetarer Klimawandelgrenzen mit anderen Konzepten

Neben dem Ansatz planetarer Grenzen gibt es verschiedene weitere Konzepte zur Festlegung von Grenzen, beispielweise planetare Leitplanken (WBGU 2011, 2014) und das Konzept tolerierbarer Temperaturfenster (WBGU 1995).

Allen gemein ist eine normative Komponente, denn auch wissenschaftsbasierte klimapolitische Empfehlungen bezüglich Fragen, wie viel Emissionen bis wann wo vermieden werden sollten, kommen nicht ohne Rückgriff auf wertsetzende Entscheidungen aus (Bruckner/Schellnhuber 1999; Findeisen/Quade 1985; WBGU 2014). Da Wissenschaft solche normative Festlegungen weder treffen will noch sollte noch die demokratische Legitimität dafür hat, kann wissenschaftlicher Input nur in Form von Entscheidungsunterstützung (decision support) erfolgen (Geden 2015). Dazu wurde vom WBGU in den 1990er Jahren der sogenannte Ansatz tolerierbarer Fenster (tolerable windows approach) entwickelt, der mit Blick auf für Mensch und Natur tolerierbare Belastungen durch Klimaänderungen ein tolerierbares Fenster künftiger Klimaentwicklungen definiert und dazu eine Begrenzung der Erwärmung bis 2100 auf maximal 2°C gegenüber vorindustriellen Werten vorschlägt (WBGU 1995). Dieser Wert wurde insbesondere unter den folgenden zwei Gesichtspunkten festgelegt:

- 1) Vermeidung nicht tolerierbarer Schäden für Mensch und Umwelt; hierzu wurde ein tolerierbares Temperaturfenster anhand der aus Daten bekannten Temperaturschwankungen im jüngeren Quartär¹⁰ (von ca. 130.000 Jahren bis ca. 10.000 Jahre vor heute) gebildet, mit niedrigsten Mitteltemperaturen um 10,4 °C (Würmeiszeit; ca. 115.000 bis ca. 10.000 Jahre vor heute) und höchsten Mitteltemperaturen von etwa 16,1 °C (Eem –Warmzeit; ca. 125.000 bis ca. 115.000 Jahre vor heute). Dem Vorsorgeprinzip folgend wurde noch ein halbes °C am oberen Ende hinzugefügt, sodass sich eine Höchsttemperatur von 16,6 °C ergibt – in der Mitte der 1990er-Jahre lag die globale Durchschnittstemperatur bei ca. 15,3°C, sodass der Abstand bis zu dieser Grenze nur 1,3°C beträgt (WBGU 1995).
- 2) Vermeidung unzumutbarer Kosten für Anpassungen an Klimaänderungen und Reparatur von Klimafolgeschäden; unter wirtschaftswissenschaftlichen Annahmen werden jährliche Klimawandelfolge-Kosten auf 3-5% des globalen Bruttonettoprodukts (BSP) geschätzt, wobei ein globaler Mittelwert von 5% als gerade noch tolerierbar gilt (WBGU 1995). Mit Blick auf die jährlichen Folgekosten einer Verdopplung der CO₂-Emissionen bis 2100 gelangen die meisten Abschätzungen zu Werten von ca. 1-2% BSP (WBGU 1995). Einer solchen Verdopplung entspräche nach Ergebnissen von Klimamodellrechnungen eine mittlere Temperaturzunahme um 0,2°C pro Jahrzehnt; eine solche Temperaturzunahme pro Dekade wiederum könnte mit Blick auf zunehmende Extremereignisse wie Dürren, Überschwemmungen, Zyklone bereits zu der maximal noch tragbaren Kostengrenze von 5% BSP entsprechen (WBGU 1995). Daher ist ein zusätzlicher Temperaturanstieg über diese 0,2°C pro Dekade bzw. um 2°C bis 2100 aus ökonomischen Gesichtspunkten zu vermeiden.

Der Ansatz der tolerierbaren Fenster wird auch als Leitplankenansatz (impact guard rails) bezeichnet (Bruckner u. a. 1998). Der WBGU definiert Leitplanken als „quantitativ definierbare Schadensgrenzen, deren Überschreitung heute oder in Zukunft intolerable Folgen mit sich brächte, so dass auch großer Nutzen in anderen Bereichen diese Schäden nicht ausgleichen könnte“ (WBGU 2011). Daher trennen die Leitplanken im Idealfall tolerierbare (innerhalb der Leitplanken) von nicht tolerierbaren (außerhalb der Leitplanken) Auswirkungen (Bruckner u. a. 1998) – damit setzen die Leitplanken normative Wertentscheidungen dazu voraus, was als tolerierbar bzw. nicht mehr als tolerierbar gilt (WBGU 2014). Der zuvor genannte Idealfall wird jedoch nicht immer erreicht, da die normative Festlegung der Leitplanken durch politische Entscheidungsträger oft unter Rückgriff auf das bestmögliche Wissen erfolgt, das den Entscheidungsträger/-innen zum Zeitpunkt der Entscheidung zur Verfügung steht (Bruckner

¹⁰ Diese Epoche wurde gewählt, da sie unsere heutige Umwelt geprägt hat und ein Verlassen solcher Umweltbedingungen mit großen Unsicherheiten bezüglich der Entwicklungs- und Überlebensmöglichkeiten für Mensch und Natur verbunden ist (siehe Steffen et al. 2011).

u. a. 1998). Wenngleich die Festlegung der Leitplanken damit auf natur- und z.T. auch wirtschaftswissenschaftlichen Daten basiert, so sind es nicht unbedingt die aktuellsten wissenschaftlichen Befunde. Auch ist zu erwarten, dass Leitplanken unter Rückgriff auf ökonomische Erwägungen gewählt werden, sodass diese daher zwecks Minimierung von Klimaschutzausgaben selten strikter ausfallen als den bekannten wissenschaftlichen Schwellenwerten entsprechend (Bruckner u. a. 1998).

In einem Politikpaper von 2014 stellt der WBGU das Leitplankenkonzept in den Kontext zivilisatorischen Fortschritts zur Erreichung der globalen Nachhaltigkeitsziele (Sustainable Development Goals, SDGs) (WBGU 2014). Nur bei Einhaltung der Leitplanken kann die Grundlage menschlicher Entwicklung erhalten und damit die Voraussetzung zum Erreichen der SDGs geschaffen werden (WBGU 2014). Der WBGU selber sieht das Leitplankenkonzept als dem Ansatz planetarer Grenzen nach Rockström et al. (2009) sehr ähnlich an (WBGU 2014b): als Klimawandelleitplanke sieht der WBGU eine Begrenzung der Erwärmung des Klimasystems auf 2 °C vor.

2.2.5 Zusammenschau:

- Konservative, am Vorsorgeprinzip orientierte globale Grenzwerte bestimmen die planetaren Klimawandelgrenzen; die Unsicherheitsbandbreite der wissenschaftlichen Erkenntnisse spiegelt sich in der Bandbreite von Grenzwerten mit Unsicherheitsbereichen wider
- Begründungen für die globalen Grenzwerte leiten sich aus der normativ wünschenswerten bzw. notwendigen Vermeidung und Minderung gefährlichen Klimawandels und dessen Auswirkungen ab; dabei spielen nicht-lineare Systeme und Kipppunkte sowie unterschiedliche Verwundbarkeiten gegenüber Klimawandelauswirkungen eine wichtige Rolle
- Klimaschutz profitiert von Ressourcenpolitik, die z.B. Energieaufwände und Treibhausgasemissionen von Rohstoffextraktions-, verarbeitungs- und Produktionsprozessen zu vermindern vermag; ohne Ressourcenpolitik können die Klimaziele nicht oder nicht kosteneffizient erreicht werden (UNEP 2016; Graaf/Jacob o. J.)

2.3 Landsystemwandel

Fläche wird zwar nicht verbraucht, aber es handelt sich um eine begrenzt verfügbare, endliche Ressource. Beschränkende Faktoren der Flächennutzung sind (1) Nutzungskonkurrenzen und (2) die Fähigkeit des Bodens bzw. der darauf befindlichen Pflanzen, bestimmte Ökosystemfunktionen wie die Speicherung von Kohlenstoff, die Filterfunktion für die Grundwasserneubildung oder die Sicherung von Biodiversität zu gewährleisten. Bei den Landnutzungsarten muss unterschieden werden zwischen

- der Nutzung von Fläche, v.a. die Umwandlung von naturbelassenen Flächen in Siedlungsfläche oder landwirtschaftliche Nutzfläche,
- der Versiegelung von Fläche und
- der Abtragung bzw. Degradation von fruchtbarem Boden.

2.3.1 Ökologische Herleitungen für die Beschränkung der Flächennutzung

Bei der ökologischen Begründung zur Begrenzung der Flächennutzung werden in der nationalen und der internationalen Debatte unterschiedliche Funktionen von Boden bzw. Fläche betont:

Für die planetare Grenze zu Landsystemwandel besteht ein national quantifizierter Zielwert von 30 ha Flächenverbrauch pro Tag in der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie. Dabei wird die Neuinanspruchnahme von Fläche für Siedlungs- und Verkehrszwecke problematisiert. Der in der Nachhaltigkeitsstrategie angestrebte Zielwert von 30 ha pro Tag bezieht sich auf die neu versiegelte Fläche. Versiegelter Boden könne seine Funktionen im Wasserkreislauf als Speicher und Filter für Niederschlagswasser bei der Grundwasserneubildung und als Hochwasserschutz (als Speicher bzw. als Retentionsfläche) nicht mehr erfüllen. Zudem gehe die Versiegelung von Flächen mit einem Verlust von Ökosystemen einher; so komme es durch Infrastrukturprojekte zu einer Zerschneidung der noch verbleibenden zusammenhängenden Lebensräume für Tiere (RNE 2004). Unter Bezugnahme auf das UN Ziel für Nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goal, SDG) 15.3 zur Bodendegradation (s. unten) wurde in der Neuauflage der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie die Ausarbeitung eines Indikators zur „Beobachtung möglicher Veränderungen der Bodenqualität“ angekündigt. Während sich die Debatte in Deutschland zumindest bislang vor allem auf die Versiegelung von Fläche bezieht, stehen international die Konkurrenz zwischen unterschiedlichen Landnutzungsarten und die Bodendegradation im Vordergrund.

Ein zentraler Treiber der Flächenumwandlung ist die Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Vor allem bei einer Umwandlung von Primärwald in Ackerland oder in Plantagen komme es zu einem Verlust von Biodiversität und von Ökosystem-Funktionen (UNEP 2014). SDG 15.3 thematisiert die Bodendegradation und damit den qualitativen Zustand des Bodens.

Durch eine Änderung der Landnutzung könnte die Funktion des Bodens und der darauf befindlichen Pflanzen als Kohlenstoffspeicher beeinträchtigt werden. Diese Funktion wird auch bei Steffen et al. als entscheidendes Problem von Landnutzungsänderungen hervorgehoben („biogeophysische Prozesse in Land-Systemen, die direkt das Klima regulieren“). Als Kontrollvariable für Landnutzungsänderungen nutzen Steffen et al. (2015) die Waldbedeckung der Erdoberfläche (forest cover remaining). Das Internationale Ressourcenpanel IRP der Vereinten Nationen (global land use) weist einen „safe operating space“ für die Landnutzung von 1.640 Mha aus (UNEP 2014, 17). Bis zu diesem Wert könne die globale Landnutzung ansteigen, ohne dass die Konsequenzen der Landnutzungsänderung z.B. durch Entwaldung ein nicht mehr tolerierbares Niveau überschreiten. Als maßgeblich dafür werden der Verlust von Biodiversität, die Freisetzung von CO₂, die Störung von Wasser- und Nährstoffkreisläufen sowie der Verlust von fruchtbarem Boden angesehen (UNEP 2014, 67). Die Ableitung des konkreten Werts erfolgt im IRP-Bericht auf Basis einer Trendfortschreibung und der Annahme, dass sich die Fläche, die für landwirtschaftliche Zwecke genutzt wird, ab 2020 nicht mehr weiter ausdehnen darf (van Vuuren/Faber 2009, 13). Insofern liegt diesem Zielwert keine wissenschaftliche Ableitung einer Belastungsobergrenze zugrunde, sondern das normativ gesetzte Ziel, die globale Flächenumwandlung bis 2020 zu stoppen und auf diesem Stand einzufrieren.

2.3.2 Soziale Herleitung: Zugang zu Nahrungsmittel und globale Gerechtigkeit

Aus einer sozialen Perspektive wird argumentiert, dass die landwirtschaftliche Nutzfläche für Ernährungszwecke bereits knapp sei; erst recht im Hinblick auf den zu erwartenden globalen Bevölkerungsanstieg bis 2050 und die sich wandelnden Konsummuster in weiten Teilen der Welt. Nutzungskonkurrenzen werden vor allem mit Blick auf die Produktion von Biokraftstoffen gesehen („Tank-Teller Debatte“). Der Verlust von fruchtbarem Oberboden durch Wind- und Wassererosion (Global Soil Week 2015) oder Versalzung (WBGU 2014, 32) verschärfe die Lage zusätzlich. Der Schutz von Böden und Landflächen vor Übernutzung und Degradation sowie die Aufrechterhaltung der Bodenproduktivität sei eine entscheidende Voraussetzung, um die Ernährungssicherheit langfristig zu gewähren (WBGU 2014, 32).

Mögliche Indikatoren zur Bodendegradation, die derzeit diskutiert werden, umfassen den Wandel der Landproduktivität, den organisch gebundenen Kohlenstoff im Boden oder Landnutzungs- und Landbedeckungsveränderungen. Dieses Konzept der wird unter dem Titel „Landnutzungsneutralität“ u.a. unter der *United Nations Convention to Combat Desertification* (UNCCD) vorangetrieben. Als eine mögliche Toleranzgrenze für die Bodendegradation wird vorgeschlagen, dass nicht mehr Boden abgetragen oder degradiert werden dürfe, als neu gebildet wird. Da Boden-Neubildung jedoch ein geologischer Prozess ist und in entsprechenden Zeiträumen verläuft, kann Boden als nicht-erneuerbare Ressource verstanden werden. Daher

schlägt der WBGU (unter Bezugnahme auf Schwertmann et al. (Schwertmann u. a. 1990)) eine Grenze für Bodenverlust in der gemäßigten Zone von 1-10 t pro ha und Jahr vor. Bis 2030 solle zudem die Netto- Landdegradation auf Null zurückgeführt werden (WBGU 2014, 32).

Aus einer globalen Gerechtigkeitsperspektive ist der ökologische Fußabdruck ein Indikator, der die Fläche beschreibt, die benötigt wird, um die Ressourcen bereitzustellen und die Emissionen aufzunehmen, die von einem Land/einer Region/einer Person etc. innerhalb eines Jahres genutzt bzw. verursacht wurden. Diese Größe kann in Bezug zur biologisch aktiven Erdoberfläche (ohne tiefe Meere, Wüsten, Eisflächen) gesetzt werden. Wenn der Ökologische Rucksack eines Landes in Relation zu dessen biologisch aktiver Fläche (Biokapazität) gesetzt wird, können Überbeanspruchungen der Landfläche und regionale Problemverlagerungen erfasst werden. Ein Ziel, das sich daraus ableiten lässt, ist, dass die Biokapazität eines Landes bzw. der Erde nicht überschritten werden dürfe.

2.3.3 Sozial / Ökonomisch: Kosten von Infrastrukturen (nur in nationaler Debatte)

In der nationalen Debatte um den Flächenverbrauch wird zudem eine Verbindung zwischen Zersiedlung einerseits und dem Rohstoffverbrauch und den Kosten für die Errichtung und den Erhalt von Infrastrukturen andererseits hergestellt. Vor allem die Ausdehnung der Städte in die Fläche („urban sprawl“) und die resultierenden überdehnten Infrastrukturen führen zu hohen und immer weiter steigenden Schattenkosten für die betroffenen Kommunen.

2.3.4 Zusammenschau:

- Landsystemwandel umfasst die endlichen Ressourcen Fläche und Boden.
- Knappheiten entstehen durch Nutzungskonkurrenzen bzw. dem Verlust von Systemfunktionen des Bodens durch Flächenverbrauch (bzw. Bodenversiegelung) und Landnutzungswandel (z.B. Kohlenstoffspeicherung).
- Konkrete Grenzwerte werden auf Basis von normativen Annahmen und Trends abgeleitet, beispielsweise, dass sich die neu versiegelte Fläche bis 2030 wesentlich reduzieren muss oder sich die landwirtschaftlich genutzte Fläche ab 2020 nicht weiter ausdehnen darf.
- Weitere Begründungen finden sich in der Debatte um internationale Gerechtigkeit mit dem ökologischen Fußabdruck.

2.4 Umweltverschmutzung durch Chemikalien

2.4.1 Problembeschreibung und Ziele

Die Erforschung und Anwendung chemischer Produkte hat viele Vorteile für die sozioökonomische Entwicklung mit sich gebracht, beispielsweise im Bereich Landwirtschaft und Nahrungsmittelproduktion (z.B. im Hinblick auf künstlich hergestellte Pflanzendünger und die „grüne“ Revolution), Schädlingsbekämpfung, industrielle Fertigung, Medizin und Zukunftstechnologien (UNEP 2012). Gegenwärtig sind nahezu 250.000 Chemikalien auf globalen Märkten verfügbar, bei stetig steigender Entwicklungsgeschwindigkeit neuer Chemikalien sowie kontinuierlicher Zunahme der globalen Produktionsmengen, der Anwendungsbereiche und immer vielfältigerer Stoffkombinationen in vielen Anwendungen (UNEP 2012, 2013b).

Daneben spielen auch Kunststoffe, die bisher überwiegend aus der Petrochemie und fossilen Rohstoffen stammen, eine wesentliche und immer wichtiger werdende wirtschaftliche Rolle. Kunststoffe sind nahezu in allen Wirtschafts- und Lebensbereichen gegenwärtig und durchdringen viele Lieferketten, nicht zuletzt über Kunststoffverpackungen (Ellen MacArthur Foundation u. a. 2016). Durch den zunehmenden Einsatz von Chemikalien und Kunststoffen werden nicht nur immer größere Mengen in den Umlauf gebracht, mit teilweise gravierenden Problemen bei deren Rückführung bzw. Entsorgung, sondern proportional werden auch immer mehr Schadstoffe freigesetzt.

Die Freisetzung erfolgt nicht zuletzt über unsachgemäße Handhabung, Lagerung, Entsorgung oder durch Unfälle. Substanzen mit gefährlichen Eigenschaften, wie z.B. Biozide, Pflanzenschutzmittel und Pestizide, aber auch Antibiotika etc. werden in steigenden Konzentrationen in der Umwelt nachgewiesen und stellen aufgrund ihrer z.T. öko- und humantoxischen Wirkungen (schädlich für Umwelt und Menschen) eine Gefährdung für Mensch und Ökosysteme dar (2016, 2015b, 2013). Gleiches gilt für Kunststoffe. Die Nutzung von Kunststoffen führt durch unzureichende Entsorgung in vielen Ländern zu deutlich sichtbaren Umweltverschmutzungen durch Plastik; das ist nicht nur eine ästhetische Beeinträchtigung, sondern – wie im Folgenden ausgeführt wird – über den Eintrag von Kunststoffabfällen über Land-Wasser-Brücken in die Meeressysteme vielmehr ein weltweit sehr ernstzunehmendes Problem (UNEP und GRID-Arendal 2016; Ellen MacArthur Foundation, World Economic Forum, und McKinsey Center for Business and Environment 2016; Simon und Schulte 2017).

Das als „marine litter“ bekannte Problem hat durch besorgniserregende Befunde starke Aufmerksamkeit in den letzten Jahren erfahren – nach wissenschaftlichen Schätzungen sind heute mehr als 150 Millionen Tonnen an Plastikmüll in den Weltmeeren enthalten und werden sich diese Mengen bis 2050 derart steigern, dass dann in Gewicht mehr Plastik als Fische in den Ozeanen vorzufinden ist (Ellen MacArthur Foundation u. a. 2016). Über die Nahrungs-

kette reichern sich die Mengen an Mikroplastik, welche von marinen Lebewesen aufgenommen werden, an – dadurch steigt nicht nur die Gefahr für die Meerestiere, durch die Plastikaufnahme stark beeinträchtigt zu werden oder zu verhungern, sondern auch die Wahrscheinlichkeit, dass Mikroplastik durch Fische oder Meeresfrüchte schließlich auch in den menschlichen Organismus gelangt (UNEP/GRID-Arendal 2016).

Die Kreislaufführung von Kunststoffen ist eine wesentliche Strategie, um nicht nur den landbasierten Zuwachs an marine litter zu verringern, sondern führt auch wirtschaftlich relevante Materialien zurück in die Wirtschaftskreisläufe. Das Deutsche Ressourceneffizienzprogramm ProgRess II nennt u.a. unter Handlungsansatz „7.4 Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft ausbauen“ u.a. die Steigerung des Einsatzes von Sekundärkunststoffen sowie die Stärkung der stofflichen Verwertung von Kunststoffen durch bessere Getrennthaltung als Maßnahmen, um die Produktverantwortung zu stärken (BMUB 2016a). In ihrem Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft der EU thematisiert die Europäische Kommission Kunststoffe als einen von fünf Schwerpunktbereichen und bezeichnet das „verstärkte Recycling von Kunststoffen [...] [als] für den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft von grundlegender Bedeutung“ (2015a). Zur Steigerung des Recyclings von Kunststoffen sieht die Kommission u.a. EU-weite Qualitätsstandards für Sekundärrohstoffe und Maßnahmen zur Erleichterung des grenzüberschreitenden Handels mit Recycling-fähigen Kunststoffen vor (2015a).

Die Kreislaufführung und Sekundärrohstoffnutzung kann bei Kunststoffen und anderen Materialien mit zahlreichen Additiven jedoch problematisch sein, wenn für die Gesundheit oder Umwelt als bedenklich eingestufte Substanzen darin vorkommen. Wenngleich solche Substanzen mit der Europäische Chemikalienverordnung REACH (Regulation concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals)¹¹ Beschränkungen oder Verboten für das Inverkehrbringen unterworfen sind, können diese Substanzen in langlebigeren, bereits vor Gültigkeit der Beschränkungen verkauften Produkten enthalten sein und damit Recyclingströme verunreinigen (2015a). Da die Kosten für eine Feststellung und Entfernung nach REACH gelisteter Substanzen hoch sein können, müssen im Zusammenspiel der Ansätze zum Schutz von Mensch und Umwelt vor Verschmutzung mit Chemikalien und zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft bestmöglich Synergien gefunden und wechselseitige Beeinträchtigungen vermieden werden.

¹¹ VERORDNUNG (EG) Nr. 1907/2006 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Chemikalienagentur, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission.

Über die Frage möglicher Schadstoffverunreinigungen hinaus wird die Recyclingfähigkeit von Kunststoffen und Materialien dadurch erschwert, dass in vielen Kunststoffen und Materialien eine große Zahl verschiedener Stoffe chemisch so miteinander verbunden sind, dass sie nicht oder nur schwierig trennbar und damit wiederverwendbar sind. (vgl. EEB 2015)(Buffington 2016).

2.4.2 Ökologische Herleitung der planetaren Grenzen zu Umweltverschmutzung durch Chemikalien:

Im Fokus der Begrenzung von Umweltverschmutzung durch Chemikalien steht die Intention, ein hohes Schutzniveau für die menschliche Gesundheit und die Umwelt zu erzielen und aufrechtzuerhalten. Damit ist der Begründungsansatz, wie auch bei der Klimawandel-bezogenen planetaren Grenze und der Biodiversitäts-Grenze, auch anthropozentrisch ausgerichtet – indem die Auswirkungen auf und Folgen für die menschliche Gesundheit und das menschliche Wohlergehen thematisiert werden.

Dass eine planetare Grenze mit Blick auf Umweltverschmutzung durch Chemikalien notwendig ist, begründen Rockström et al. (Rockström/Steffen/Noone/Å. Persson/u. a. 2009) über zwei wesentliche Wege der Einflussnahme auf die Funktion der Erdsysteme:

- einerseits durch global beobachtbare Beeinträchtigungen der physiologischen Entwicklung von Menschen und anderen Organismen, welches Ökosystemfunktionen negativ beeinflussen kann;
- andererseits durch Einfluss dieser planetaren Grenze auf andere planetare Grenzen, beispielsweise auf die Biodiversitäts-Grenze durch Verringerung der Resilienz von Organismen und Ökosystemen und entsprechende Steigerung ihrer Verwundbarkeit oder auf die Klimawandel-Grenze durch mit der Chemikalien-Herstellung und der Anwendung und Nutzung chemischer Produkte und Dienstleistungen verbundene THG-Emissionen.

Nach Rockström et al. (Rockström/Steffen/Noone/Å. Persson/u. a. 2009) nimmt die planetare Grenze zu Umweltverschmutzung durch Chemikalien unterschiedlichste Formen chemischer Verschmutzung in den Blick, insbesondere radioaktive Verbindungen, Schwermetalle und verschiedene organische Substanzen anthropogenen Ursprungs. Die kontinuierlich größer werdende Anzahl von Chemikalien sowie fehlendes Wissen über die spezifischen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt¹² und über Schwellenwerte, ab denen diese Auswirkungen

¹² Das gilt umso mehr für Auswirkungen von Kombinationen verschiedener Chemikalien, denen Mensch und Umwelt ausgesetzt sein können (Rockström/Steffen/Noone/Å. Persson/u. a. 2009).

(wahrscheinlich) auftreten (können) erschwert die Festlegung planetarer Grenzen. Wenn gleich zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine Grenzwerte wissenschaftlich begründbar erscheinen, so ist die Aufrechterhaltung der Grenze aus Sicht von Vorsorge und Prävention geboten, um die Bedrohung und Schädigungspotentiale von Chemikalien sowie von neue(re)n Materialien und Substanzen anthropogenen Ursprungs im Blick zu halten und zu verringern (Steffen u. a. 2015). Um von der lange Liste potentiell relevanter Materialien und Substanzen möglichst relevante auszuwählen und zum Gegenstand von Monitoring und Verringerungsbemühungen zu machen, könnte an solchen angesetzt werden, die besonders langlebig sind und global gesehen signifikante Auswirkungen auf eine Reihe unterschiedlicher Organismen oder besonders verwundbare Arten bzw. Bevölkerungsgruppen haben (vor allem Kinder) (Rockström/Steffen/Noone/Å. Persson/u. a. 2009).

Explizite Kontrollvariablen (Chemikalien/-gruppen) sind gegenwärtig jedoch nicht definiert und mehr Forschung ist notwendig, um sowohl mögliche schädliche Wirkungen von Chemikalien sowie neue(re)n Materialien und Substanzen besser zu verstehen als auch dadurch Kontrollvariablen auswählen und für diese Grenzwerte vorschlagen zu können (Steffen u. a. 2015). Ob solche Grenzwerte dann rein naturwissenschaftlich, oder mit Blick auf inakzeptable Auswirkungen unter Vorsorge- und Präventionsgesichtspunkten zwar wissenschaftsbasiert, aber letztlich normativ abgeleitet werden können, bleibt abzuwarten.

2.4.3 Relation des Ansatzes planetarer Grenzen zur Umweltverschmutzung durch Chemikalien mit anderen Konzepten

Neben dem Ansatz planetarer Grenzen stellt der Critical Load-Ansatz ein weiteres wichtiges Konzept zur Festlegung von Grenzen mit Blick auf Umweltverschmutzung dar. Der Ansatz dient dazu, die Belastungsgrenzen von Ökosystemen wirkungsbasiert zu bewerten und abzuschätzen inwieweit diese Grenzen ggf. schon überschritten sind. Er wurde in den 1960er Jahren in Kanada entwickelt und fand im Laufe der 1970er und 1980er Jahre Eingang in die europäische Umweltdiskussion bzw. später auch in die Luftreinhaltepolitik (Nagel/Gregor 1999). Über das Schutzgut Luftqualität hinaus findet der Ansatz Anwendung insbesondere mit Blick auf die Schutzgüter Ökosysteme, Boden und Wasser, z.B. bezüglich Eutrophierung.

Die kritischen Belastungsgrenzen (critical loads) werden über naturwissenschaftliche (biologisch, chemisch, geowissenschaftlich, physikalisch) Indikatoren festgelegt, beispielsweise die Konzentration toxisch wirkenden Aluminiumionen im Boden. Damit stellen die critical loads eine objektivierte Grundlage für die Bestimmung von Umweltqualitätskriterien bereit (UBA 1994; Nagel/Gregor 1999). Ökosysteme sind i.d.R. gegenüber einem gewissen Maß an Belastung (z.B. eine gewisse Konzentration an Schadstoffen) über einen bestimmten Zeitraum hinweg resilient und vermögen ihre Funktionen aufgrund von Stabilisierungs-, Puffer-

und Reparaturmechanismen ohne Beeinträchtigungen von Funktionen aufrechtzuerhalten. Von einer kritischen Belastung wird erst dann gesprochen, wenn durch die Belastung(en) Schädwirkungen im Sinne von Funktionsbeeinträchtigungen eintreten – dabei ist wichtig, dass der Ansatz die Wirkungen in keiner Weise normativ bewertet im Sinne schwerer vs. weniger schwer wiegender Wirkungen (Nagel u. a. 2004; Nagel/Gregor 1999). Damit ist der kritische Belastungswert ein rein naturwissenschaftlich bestimmter Wert – im Kontext des Vorsorgeprinzips kann er dazu auch mit einer Unsicherheitsspanne versehen oder auch durch Tolerierung eines gewissen Schadensmaßes normativ weniger streng festgelegt werden (Nagel u. a. 2014; Nagel/Gregor 1999).

In Deutschland werden Critical Loads für die Schwermetalle Blei, Cadmium und Quecksilber sowie für eutrophierenden Stickstoff und Säureinträge festgelegt, um insbesondere für Wälder und andere naturnahe Ökosysteme ökologische Belastungsgrenzen bestimmen und auch kartieren zu können (Nagel u. a. 2004). In der wirkungsbasierten Bewertung werden Schädwirkungen auf Ökosysteme (ökotoxische Wirkungen) und auf die menschliche Gesundheit (humantoxische Wirkungen) betrachtet, um – soweit möglich – auch politische Maßnahmen abzuleiten und vorzuschlagen, welche die Schädwirkungen mindern können, beispielsweise durch Reduktion von Schadstoffemissionen (UBA 2013). Mittels des Critical Loads-Ansatzes wurden bereits für Säure und eutrophierenden Stickstoff Emissionsminderungsmaßnahmen abgeleitet. Bei Schwermetallen erschweren sowohl eine größere Unsicherheit in der Bewertung der Schädwirkungen als auch eine unzureichende Qualität der Emissionsdateninventare eine Ableitung von Maßnahmen (UBA 2013).

Die Belastungswerte werden kontinuierlich an den Stand von Wissenschaft und Technik angepasst und unterscheiden sich daher im zeitlichen Verlauf. So umfasste der Critical Load für eutrophierenden Stickstoff aufgrund aktualisierter Daten und veränderter Berechnungsmethoden zwischen 1994 und 2011 unterschiedliche Wertespannen¹³: ca. 12 bis 18 kg/ha * Jahr im Jahre 1994 und ca. 8 bis 38 kg/ha * Jahr im Jahre 2011 (Nagel u. a. 2014).

Generell ist ein positiv stimmender Trend für Critical Loads in Deutschland zu verzeichnen – so ist z.B. der Flächenanteil ohne Überschreitung der Critical Load für Versauerung von ca. 5% in 1980 auf über 80% in 2010 gestiegen sowie der Flächenanteil ohne Überschreitung der Critical Load für Eutrophierung von ca. 18% in 1980 auf über 45% in 2010 (Nagel u. a. 2014). Allerdings zeigen Messungen und Kartierungen für Schwermetalle Überschreitungen der Belastungsgrenzen für Blei und Quecksilber (UBA 2013).

Der Ansatz planetarer Grenzen zur Umweltverschmutzung durch Chemikalien erscheint in der Methodik einer wissenschaftsbasierten Grenzziehung mit dem Critical Load-Ansatz zwar

¹³ Die Wertespannen bilden den Bereich zwischen dem 5%- und dem 95%-Perzentil ab, d.h. den Bereich, jenseits dessen jeweils nur 5% der Datensätze niedrigere bzw. höhere Werte aufweisen.

grundsätzlich kompatibel. Auch deckt er sich mit Blick auf Schwermetalle als einem Fokus. Allerdings dürfte eine Passung der Ansätze dadurch wesentlich erschwert werden, dass im Rahmen einer planetaren Grenze zur Umweltverschmutzung durch Chemikalien eine Vielzahl kritischer und auch neuer Chemikalien in den Blick genommen werden, zu deren Wirkungen es noch keine (ausreichenden) wissenschaftlichen Befunde gibt. Solange dieses Wissen fehlt, ist auch die Möglichkeit, Belastungsgrenzen wissenschaftsbasiert festlegen zu können, deutlich eingeschränkt bzw. nicht gegeben. Damit teilen beide Konzepte bzw. Ansätze die Schwierigkeit, eine naturwissenschaftlich fundierte Grenzziehung für bestimmte Substanzen ableiten zu können und diese dann zwecks Entfaltung politischer Relevanz in weitere, normative Abstimmungsprozesse einspeisen zu müssen. Im Unterschied zu den planetaren Grenzen sind die Critical Loads jedoch in Abhängigkeit von belasteten Ökosystemen und deren Charakteristika zu bestimmen, was eine Anwendung auf Ebene planetarer Grenzen erschwert. Das schränkt die Anwendung des Ansatzes für die Ableitung einer planetaren Grenze zur Umweltverschmutzung durch Chemikalien weiter ein.

2.4.4 Zusammenschau:

- Die Fülle an potentiell für Umweltverschmutzung durch Chemikalien relevanten Materialien und Substanzen erschwert es, explizite Kontrollvariablen (Chemikalien/-gruppen) zu definieren und für diese Grenzwerte vorzuschlagen.
- Das Konzept der Critical Loads kann mit Blick auf einzelne Schwermetalle Orientierung für Grenzwerte bieten, ist jedoch stark von den Charakteristika der belasteten Ökosysteme abhängig und daher nicht global anwendbar.

2.5 Zwischenfazit

Die vier hier vorgestellten planetaren Grenzen basieren sämtlich auf einer naturwissenschaftlichen Diskussion relevanter Einflussgrößen und weisen mit Ausnahme der Grenze zur Umweltverschmutzung durch Chemikalien naturwissenschaftlich abgeleitete Indikatoren sowie Grenzwerte auf – die insbesondere mit Blick auf Landsystemwandel und Biodiversität mit großen Unsicherheiten versehen sind. Um naturwissenschaftlich begründbare Grenzwerte für Verschmutzung durch Chemikalien und neu(er)e Materialien und Substanzen ableiten zu können bzw. um die Unsicherheiten, die mit den anderen vorgenannten Grenzwerten verbunden sind zu reduzieren, sind weitere Forschungen notwendig.

Die abgeleiteten Grenzwerte werden auf Basis intolerabler bzw. inakzeptabler Folgen für Mensch und Umwelt begründet, welche durch eine Belastung der Ökosysteme bzw. der Atmosphäre über die gezogenen Grenzen hinaus plausibel erscheinen. Die exakten Werte sind jedoch in allen hier diskutierten Fällen nicht direkt wissenschaftlich belegbar, sondern

- basieren teilweise auf einer wissenschaftlich begründeten Unsicherheitsspanne (um einen Sicherheitsbereich aufgrund wissenschaftlicher Unsicherheit über exakte Belastungsgrenzen einzuziehen), deren Wertebereich aber letztlich normativ festgelegt wird (dies gilt für den Klimawandel und insbesondere den Biodiversitätsverlust) oder
- werden aus Entwicklungen und Trendfortschreibungen und Annahmen über tolerable Zustände in einem speziellen Jahr abgeleitet (z.B. Rückführung auf das Niveau des Jahres X bzw. Trendumkehr im Jahr Y).

Folglich werden die Belastungen, die durch menschliche Aktivitäten auf die Atmosphäre und die Ökosphäre (inkl. Böden und Gewässer) einwirken, in Relation zu natürlichen oder normativ anzustrebenden Zuständen bzw. Konzentrationen gesetzt – in einer relevanten Abweichung von diesen natürlichen bzw. gewünschten Zuständen bestehen dann die Überschreitungen der Grenzen. Da die Grenzen aufgrund teilweise fehlender wissenschaftlicher Daten nicht exakt festgelegt werden können, fungieren Unsicherheitsspannen um potentielle Belastungsgrenzen herum als vorsorgende Leitplanke, um ein Vordringen in potentiell gefährliche Bereiche für Mensch und Umwelt zu verhindern oder zumindest bewusst zu machen. Der normative Charakter kommt hierbei nicht zuletzt dadurch zum Tragen, dass wissenschaftliche Aussagen zu Wirkungsketten von Belastungen durch menschliche Tätigkeiten und Schadwirkungen dieser Belastungen auf Mensch und Umwelt (noch) nicht hinreichend genau getroffen werden können, um exakte Werte festzulegen. Dementsprechend bleibt normativ festzulegen, jenseits welcher Wertebereiche bzw. -spannen potentielle Schadwirkungen nicht mehr tolerable bzw. akzeptabel sind – und dann einem Überschreiten dieser Wertebereiche vorzubeugen.

Damit beziehen sich die Grenzziehungen bzw. die Begründungen dafür, dass Grenzen benötigt sind, in allen vier vorgenannten planetaren Grenzen auf das Vorsorgeprinzip als eine wesentliche Legimitationsgrundlage. Dabei umfasst die Vorsorge neben dem Schutz von Umwelt und Mensch vor Schadwirkungen auch Gerechtigkeitsaspekte, sowohl international als auch intergenerational (z.B. für Biodiversität und Klimawandel).

3 Das Vorsorgeprinzip als Grundlage für ressourcenpolitische Zielgrößen?

3.1 Einordnung des Vorsorgeprinzips – Logik und Grenzen

Im Kontext von Umweltpolitik nimmt das Vorsorgeprinzip eine weitreichende und vorausschauende Perspektive ein – der Gefahrenabwehr vorgelagert und als Gegenteil der Nachsorge bei bereits eingetretenen Schadwirkungen bedeutet das Vorsorgeprinzip, dass durch vorausschauende und frühzeitige Maßnahmen Belastungen für die Umwelt (und den Menschen) überhaupt gar nicht erst entstehen, und folglich weder Gefahren verhindert noch Schäden beseitigt werden müssen (UBA 2015).

Das Vorsorgeprinzip ist international wie national zu einem wesentlichen Werkzeug der Entscheidungsunterstützung avanciert und wird in offiziellen Quellen empfohlen oder sogar vorgeschrieben¹⁴. Bereits im Jahre 1986 wurde das Vorsorgeprinzip (neben dem Verursacher- und dem Kooperationsprinzip) in den Leitlinien Umweltvorsorge als handlungsleitendes Prinzip für die deutsche Umweltpolitik verankert (Bundesregierung 1986; UBA 2015). Gemäß der Leitlinien Umweltvorsorge umfasst das Prinzip der Umweltvorsorge sowohl die Gefahrenabwehr als auch die Risikovorsorge im Vorfeld der Gefahrenabwehr und die Zukunftsvorsorge (im Sinne vorausschauender und verstärkter Bemühungen zur aktiven und zukunftsichernden Gestaltung der Umwelt) dienen. Risikovorsorge meint hier „*Risikominimierung, d. h. Vermeidung oder Verminderung von Risiken für die Umwelt*“ und ist „*auf die Verminderung oder Vermeidung von Risiken für die Umwelt gerichtet, die nach Art und Umfang etwaiger Schäden sowie nach der Wahrscheinlichkeit ihres Eintritts noch keine Gefahr begründen oder gegenwärtig nicht genau abschätzbar sind.*“ (Bundesregierung 1986) Dabei stellt die Bundesregierung klar, dass im Rahmen der Risikovorsorge „*auch solche Schadensmöglichkeiten in Betracht gezogen wer-*

¹⁴ Beispielsweise heißt es im Grundsatz 15 der Rio-Deklaration von 1992: „Zum Schutz der Umwelt wenden die Staaten im Rahmen ihrer Möglichkeiten allgemein den Vorsorgegrundsatz an. Drohen schwerwiegende oder bleibende Schäden, so darf ein Mangel an vollständiger wissenschaftlicher Gewissheit kein Grund dafür sein, kostenwirksame Maßnahmen zur Vermeidung von Umweltverschlechterungen aufzuschieben.“ (UNCED 1992, S. 3). Die Agenda 21 ergänzt dazu in Art. 35, Absatz 3: „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.“ (BMU 1992, S. 273) In Art. 191 des Vertrags über die Arbeitsweise der Europäischen Union (ehemals Art. 174 des bis 30.11.2009 als Vertrag zur Gründung der Europäischen Gemeinschaft benannten Vertrags) wird in Nr. 2 ausgeführt: „Die Umweltpolitik der Union zielt unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Gegebenheiten in den einzelnen Regionen der Union auf ein hohes Schutzniveau ab. Sie beruht auf den Grundsätzen der Vorsorge und Vorbeugung, auf dem Grundsatz, Umweltbeeinträchtigungen mit Vorrang an ihrem Ursprung zu bekämpfen, sowie auf dem Verursacherprinzip.“ (Europäische Union 2013)

den (müssen), die sich nur deshalb nicht ausschließen lassen, weil nach dem derzeitigen Wissensstand bestimmte Ursachenzusammenhänge weder bejaht noch verneint werden können und daher insoweit noch keine Gefahr, sondern nur ein Gefahrenverdacht oder ein „Besorgnispotential“ besteht“ (ebd.). Das heißt, dass weder Lücken in den wissenschaftlichen Erkenntnissen noch Unsicherheiten bezüglich der wissenschaftlichen Gewissheit das Vorsorgeprinzip aushebeln, sondern eben auch solche potentiell möglichen Schadwirkungen vom Vorsorgeprinzip erfasst werden.

Was bringt die Anwendung des Vorsorgeprinzips in der Umweltpolitik mit sich? Aus dem Prinzip der Umweltvorsorge wird umweltpolitisch das Gebot zur Minimierung von Risiken abgeleitet (Bundesregierung 1986). Entsprechende Vorsorge-Maßnahmen müssen gemäß des Rechtsstaatsprinzips sowohl erforderlich und geeignet als auch mit Blick auf den Aufwand, den ihre Umsetzung für die umsetzenden Akteure und die Politikadressaten bedeutet, verhältnismäßig sein (Europäische Kommission 2000; Bundesregierung 1986). D.h. bei der Festlegung von Vorsorge-Maßnahmen gilt es zwischen dem wirtschaftlichen und sonstigen Aufwand auf der einen Seite und der erreichbaren Zustandserhaltung und -verbesserung der Umweltqualität abzuwägen. Wissenschaftlicher und technischer Fortschritt machen es hier erforderlich, bestehende Orientierungs- bzw. Zielwerte für die vorsorgende Umweltpolitik in Abständen zu überprüfen und ggf. an den Stand von Wissenschaft und Technik anzupassen – die Werte können daher nicht langfristig festgelegt werden, weil das dem Grundgedanke der Vorsorge bei neuem Erkenntnisgewinn entgegenwirken würde (ebd.).

3.2 Bestehend Kritik am Vorsorgeprinzip

3.2.1 Fehlende Handlungsleitung

Ein wesentlicher Kritikpunkt am Vorsorgeprinzip, wie es in offiziellen Dokumenten auf internationaler Ebene beschrieben ist (siehe hierzu Fußnote 14) ist, dass das Prinzip lediglich Situationen beschreibt, unter denen bzw. bei deren Vorliegen Handeln unter Vorsorgegesichtspunkten erforderlich ist ohne jedoch in diesen Situationen passende Maßnahmen zu spezifizieren (Persson 2016). Daher wird das Vorsorgeprinzip zwar als handlungsleitende Liste von Gegebenheiten bzw. Situationsbeschreibungen, nicht jedoch als Werkzeug für eine Entscheidungsunterstützung mit Blick auf bestimmte Vorsorgemaßnahmen angesehen (Persson 2016). Das macht das Vorsorgeprinzip nicht weniger relevant zur Unterstützung umweltpolitischer Entscheidungen – jedoch liegt der Fokus der Unterstützung nicht auf Maßnahmen-spezifizierungen, sondern vielmehr auf Begründungen und Rechtfertigungen für das Ergreifen (nicht weiter spezifizierter) vorsorgender Maßnahmen (ebd.).

Sandin (Sandin 2004) beschreibt den vorgenannten Kritikpunkt so, dass uns das Vorsorgeprinzip eben nicht sagt, was zu tun, sondern nur, dass etwas zu tun ist und auch, was nicht

zu tun ist – nämlich fehlendes bzw. unsicheres wissenschaftliches Wissen als Rechtfertigung für fehlendes Handeln zu nutzen. Das gilt auch, wenn die Kausalketten zwischen Ursache(n) und Schädigung(en) auf Umwelt und Mensch noch nicht vollständig wissenschaftlich verstanden sind (Whiteside 2006; O’Riordan/Jordan 1995; Persson 2016; Bundesregierung 1986).

3.2.2 Vorsorge-Handeln zwischen Unsicherheit und Zeitdruck

Damit macht das Vorsorgeprinzip deutlich, dass Handeln unter (wissenschaftlicher) Unsicherheit notwendig ist. Auf vollständige oder abschließende Evidenz bzw. auf vollständige Kausalketten zwischen einem Problem/einer Ursache und (möglichen) Auswirkungen zu warten birgt das Risiko, dass Mensch und Umwelt unnötige Schädigungen erleiden, die bei frühzeitigem Handeln hätten vermieden oder abgeschwächt werden können (Persson 2016). Wenngleich nach den Grundsätzen von Verhältnismäßigkeit und Übermaßverbot Abwägungen zwischen wirtschaftlichem Aufwand und Umweltqualität bzw. Schutz menschlicher Gesundheit vor Ergreifen von Vorsorgemaßnahmen vorzunehmen sind (Bundesregierung 1986; Europäische Kommission 2000), so deuten Studien darauf hin, dass Schädigungen durch zu spät ergriffene Vorsorgemaßnahmen deutlich häufiger auftreten als Nachteile durch zu rasche Vorsorge (Steel 2015; EEA 2001, 2013). Die Sorge davor, dass eine weit verbreitete Anwendung des Vorsorgeprinzips zu einer großen Anzahl von „Überregulierung“ geringer oder nicht-existierender Risiken führt¹⁵, erscheint demnach wenig begründet (EEA 2013).

Der zeitliche Faktor, also frühzeitig ergriffene Vorsorge (auch bei unvollständigem Wissen und Unsicherheit), ist besonders wichtig bei potentiellen Schädigungen auf komplexe Systeme wie Ökosysteme oder den menschlichen Körper. Denn hier treten die Auswirkungen einer Exposition gegenüber Schädigfaktoren häufig erst nach längerer Exposition auf, sodass dann beispielsweise chemische Substanzen bereits in größeren Mengen im System enthalten sind und daher lange wirksam sein können (Gollier/Treich 2003; Osimani 2013; EEA 2013). Gleichzeitig erschweren komplexe Systeme eine klare Zuordnung zu Ursache(n)-Wirkungs-Ketten bzw. verzögern die Genese mit geringer Unsicherheit behafteter wissenschaftlicher Erkenntnisse (Whiteside 2006).

Das Vorsorgeprinzip bedeutet nicht, ohne Einbezug bestehender Informationen oder wissenschaftlicher Erkenntnisse zu handeln bzw. diese zu ignorieren, sondern anhand bestehender Indikationen potentieller Risiken frühzeitig genug zu handeln, um Schädigungen zu vermeiden. Ein solch vorausschauendes Handeln ist nicht nur akzeptabel, sondern moralisch und

¹⁵ So benennt die Europäische Kommission in ihrer Mitteilung über die Anwendbarkeit des Vorsorgeprinzips aus dem Jahre 2000 als ein Ziel der Mitteilung: „verhindern, daß auf das Vorsorgeprinzip nur als Vorwand für protektionistische Maßnahmen zurückgegriffen wird.“ (Europäische Kommission 2000)

rational erforderlich (Persson 2016) – was frühzeitig genug ist, ist anhand der bekannten spezifischen Schadpotenziale und der möglicherweise betroffenen Schutzgüter von den Entscheidungsträgern fallspezifisch normativ zu entscheiden. Das erfordert in jedem Fall ein Abwägen zwischen Exaktheit bzw. Sicherheit des Wissens und dem zeitlichen Bedarf des Vorsorgehandelns.

Dieser Abwägungsbedarf kann als Schwäche gesehen werden, wenn sich die Entscheidungsfindung darin überfordert wahrnimmt. Persson (Persson 2016) hingegen sieht diesen Bedarf vielmehr als Stärke des Vorsorgeprinzips an, da er Raum für (normative) Diskussionen zwischen mitunter konfligierenden Werten unter Einbeziehung vorhandener Wissensbestände bietet und eine Auseinandersetzung mit der Rolle wissenschaftlicher Erkenntnisse in normativen Entscheidungsfindungsprozessen erfordert (EEA 2013). Das Vorsorgeprinzip ist kein Werkzeug, das die Priorisierung zwischen unterschiedlichen Werten vornehmen kann – aber es macht die Diskussion dazu erforderlich und unterstützt dadurch eine Priorisierung (Persson 2016).

3.3 **Passung des Vorsorgeprinzips für eine Begründung von ressourcenpolitischen Ziele(werte)n**

Das Vorsorgeprinzip bietet anhand der obigen Ausführungen eine wichtige Begründung für umweltpolitisches Handeln im Sinne der Notwendigkeit des Handelns zur Vermeidung von Schädwirkungen an Mensch und Umwelt. Es wird auch mit Blick auf die Schutzgüter Biodiversität, Ökosysteme (inkl. Böden und Gewässer) Atmosphäre in den vorgenannten vier planetaren Grenzen als (eine) Begründung deutlich. Die Grenzziehungen hingegen basieren auf naturwissenschaftlichen Erkenntnissen und ergänzen diese um normativ gesetzte Unsicherheits- bzw. Toleranzspannen.

Diese Spannen können als weitere Konkretisierungen der Anwendung des Vorsorgeprinzips für (Schutzgut-spezifische) Einzelfälle verstanden werden, da sie den vorausschauenden Handlungsbedarf der Vorsorge anhand von Werteschwellen substantiieren. Demnach sollten Vorsorge-Maßnahmen dann dazu beitragen, dass diese Werteschwellen möglichst nicht überschritten werden bzw. wenn sie bereits überschritten sind, sollten Gefahrenabwehr- und Nachsorgemaßnahmen längerfristig eine Unterschreitung der Werteschwellen bewirken bzw. unterstützen.

Die Begründung ressourcenpolitischer Handlungen kann sich zweifelsohne auch des Vorsorgeprinzips bedienen, da eine vorausschauende und integrierte Ressourcenpolitik nicht zuletzt auch Output-seitig die Auswirkungen von Ressourcennutzungen auf Umweltqualitäten und Zustände von (insbesondere) umweltbezogenen Schutzgütern in den Blick nehmen muss (2011; Umweltbundesamt 2015; Bleischwitz u. a. 2009; Hirschnitz-Garbers u. a. 2015;

Jacob u. a. 2015; Bringezu 2015). Diese umfassen damit auch Input-seitig die Entnahme natürlicher Ressourcen – nicht zuletzt über Umweltwirkungen bei Entnahmeaktivitäten (UNEP 2010, 2013a).

Potentielle Schadwirkungen durch Ressourcennutzungen können damit unter Vorsorgegesichtspunkten ressourcenpolitische Handlungen rechtfertigen. Die Handlungen verfolgen dann das Ziel, eben Schadwirkungen durch Ressourcennutzung zu begrenzen oder zu vermeiden und auf diese Weise die Tragfähigkeit der Ökosysteme zu bewahren (Schmidt-Bleek 1994; Bringezu 2015). Dabei kann das Vorsorgeprinzip in der Ressourcenpolitik aufgrund der Vielfalt möglicher Bezugspunkte (einzelne Ressourcen[gruppen] – Input-seitig; oder mögliche Auswirkungen der Nutzung – Output-seitig) anhand bestehender naturwissenschaftlicher Erkenntnisse weder exakte Grenzwerte vorgeben, noch spezifizieren oder antizipieren, welche Vorsorge-Maßnahmen bzw. welche davon zuerst ergriffen werden sollten. Beides, Werte bzw. Ziele und Maßnahmenwahl, verbleibt als Entscheidungsbedarf bei ressourcenpolitischen Entscheidungsträgern, die dann anhand vorliegender (u.U. noch lückenhafter) Erkenntnisse über potentiell relevante Wirkungsketten und einer Priorisierung von Schutzgütern bzw. natürlichen Ressourcen und Wertigkeiten entscheiden müssen.

Müller et al. (Müller/Kosmol/Keßler/Angrik/u. a. 2016) weisen darauf hin, dass *„der Zusammenhang von Materialentnahme und Umweltbelastungspotenzial allein auf Plausibilitätsargumenten beruht und sich der Ansatz sowohl einer empirischen wissenschaftlichen Analyse als auch einer wissenschaftlichen Bewertung der Unsicherheit entzieht“* (a.a.O., S. 8). Daher sehen sie eine Anwendbarkeit des Vorsorgeprinzips auf die Legitimierung von umweltpolitischen Maßnahmen zur Dematerialisierung kritisch. Aus Sicht der Autoren der vorliegenden Analyse legitimiert das Vorsorgeprinzip jedoch durchaus den Bedarf an Dematerialisierung, da diese als vorausschauendes, frühzeitiges Handeln zur Minimierung und Vermeidung potentieller Schadwirkungen durch Ressourcennutzung dienen kann (Vorsorge). Das Vorsorgeprinzip ist jedoch nicht dazu gedacht bzw. sollte nicht dazu herangezogen werden, der Auswahl bestimmter Maßnahmen als einzige Begründung zu dienen, da diese Auswahl den Entscheidungsträger/-innen anhand wissenschaftlicher Erkenntnisse und normativer Aushandlungsprozesse obliegt. Des Weiteren sehen wir das Vorsorgeprinzip auch trotz wissenschaftlicher Unsicherheit (z.B. aufgrund unvollständiger wissenschaftlicher Kenntnisse) bezüglich eines Zusammenhangs von Materialentnahme und damit potentiell verbundenem Umweltbelastungspotenzial als Handlungsbedarf auslösend an (siehe z.B. Persson 2016; Gollier und Treich 2003; Whiteside 2006; Bundesregierung 1986; Europäische Kommission 2000) – aber eben nur für den Handlungsbedarf, nicht für die Maßnahmenwahl oder für eine Definition konkreter Zielwerte.

Ähnlich können auch Müller et al. (Müller/Kosmol/Keßler/Angrik/u. a. 2016) interpretiert werden, da sie im o.g. Sinn das Vorsorgeprinzip nicht als Legitimationsquelle einer *„Setzung von pauschalen Dematerialisierungszielen [...]“* (ebd.) sehen. D.h. der Kritikpunkt besteht nicht in der

Verwendung des Vorsorgeprinzips an sich, um Dematerialisierung bzw. Ressourcenpolitik zu begründen, sondern darin, bestehende Vorschläge für ressourcenpolitische Ziele bzw. konkrete Grenzwerte wissenschaftlich mit dem Vorsorgeprinzip begründen zu wollen. Das ist mit dem Vorsorgeprinzip auch weder intendiert noch zu leisten, da es die Verantwortung sowohl für eine Maßnahmenwahl als auch für eine Abwägung, ab wann genau Schadwirkungen als nicht mehr tolerierbar gelten (-> Grenzwerte) der normativen Setzung durch Entscheidungsträger/-innen überantwortet (Persson 2016). Damit stimmen die Autoren Müller et al (Müller/Kosmol/Keßler/Angrik/u. a. 2016) darin überein, da ihrer Ansicht nach *„Wertefragen [...] besser im demokratischen Prozess entschieden werden [sollten]“* (a.a.O., S. 8) als im wissenschaftlichen Prozess.

Natürlich können auch Wissenschaftler/-innen basierend auf Forschungserkenntnissen Grenzwerte oder Zielwerte vorschlagen und diese auch durch Unsicherheits- oder Toleranzspannen (normativ) begründen (siehe den Inkurs unten).¹⁶ Es kann aber nicht Aufgabe von Wissenschaft sein bzw. darf es im demokratischen System auch nicht sein, alleinig politische wirksame Grenzwerte zu bestimmen. Das muss ein Abwägungs- und Aushandlungsprozess im demokratischen System bleiben, der eben auch mit Unsicherheiten umgehen können muss (Persson 2016; Bundesregierung 1986; Europäische Kommission 2000). Und in eben diesem Sinne versteht sich das Vorsorgeprinzip dadurch, dass es die Diskussion zu Wertentscheidungen und Prioritäten, aber eben auch zur Relation von normativen Entscheidungen und wissenschaftlichen Erkenntnissen auf die Ebene politischer Entscheidungsträger delegiert.

¹⁶ Dann ist es selbstverständlich erforderlich klar zu kommunizieren, an welcher Stelle wissenschaftliche Erkenntnisse zugrunde liegen und ab wo wissenschaftliche Erkenntnisse eine normative Bewertung begründen helfen.

Inkurs: Beispiele für wissenschaftliche Vorschläge für Zielwerte von Ressourcennutzung

Unter Rückgriff auf das Vorsorgeprinzip schlug Schmidt-Bleek (1994) beispielsweise vor, die globale Ressourcenentnahme (Mineralien und Biomasse) bis 2050 im Vergleich zu 1990 zu halbieren, was für industrialisierte Länder eine Reduktion um 90% (Faktor 10) bedeuten könnte, und dabei jedem Menschen auf der Welt das gleiche Nutzungsrecht zu gewährleisten (Bringezu 2015). Damit wird das Ziel bzw. die Begrenzung auch mit internationalen, intra- und intergenerationalen Gerechtigkeitsaspekten begründet, insbesondere mit Blick auf eine nachholende Nutzungsphase in sich entwickelnden Ländern. Hier schlägt Schmidt-Bleek vor, die Verteilung der Ressourcennutzung zukünftig vor allem auf die Entwicklungsländer (80% zu 20% für Industrieländer) zu fokussieren, sodass erstere ihre Ressourcennutzung bis 2050 verdoppeln können, während letztere ihre Nutzung bis 2050 um den Faktor 10 reduzieren müssen (Schmidt-Bleek 1994; Bringezu 2015).

Basierend auf bestehenden Studien, die Zielvorschläge für eine Materialnutzung machen, erarbeitet Bringezu (2015) einen möglichen Zielkorridor global nachhaltiger Ressourcenflüsse für das Zieljahr 2050:

1. TMC_{abiot} : mit einer Nachhaltigkeitsspanne von 6–12 t pro Person sowie mit möglichem politischen Ziel von 10 t/Person
2. TMC_{biot} : mit einer Nachhaltigkeitsspanne und möglichem politischen Ziel von jeweils 2 t/Person
3. RMC: mit einer Nachhaltigkeitsspanne von 3–6 t pro Person sowie mit möglichem politischen Ziel von 5 t/Person

Mit den Ausführungen in diesem Kapitel argumentieren die Autoren der vorliegenden Kurzanalyse, dass das Vorsorgeprinzip auf die Ableitung eines Bedarfs zu vorsorgendem Handeln mit Blick auf Ressourcenschonung und Dematerialisierung anwendbar ist – nicht jedoch für als alleinige Begründung bestimmter Zielwerte oder für spezifische Maßnahmen. Dieser Anwendbarkeit steht aus unserer Sicht auch keineswegs entgegen, dass die Wirkungszusammenhänge zwischen Ressourcennutzung und Belastung von Mensch und Umwelt zweifelsohne noch (deutlich) besser als bisher wissenschaftlich verstanden und auch belegt werden können. Das macht auch die Europäische Kommission in ihrer Mitteilung zur Anwendbarkeit des Vorsorgeprinzips deutlich. Dort schreibt sie, dass das Vorsorgeprinzip anwendbar ist in Fällen,

„in denen die wissenschaftlichen Beweise nicht ausreichen, keine eindeutigen Schlüsse zu lassen oder unklar sind, in denen jedoch aufgrund einer vorläufigen und objektiven wissenschaftlichen Risikobewertung begründeter Anlaß zu der Besorgnis besteht, daß die möglicherweise gefährlichen Folgen für die Umwelt und die Gesundheit von Menschen, Tieren und

Pflanzen mit dem hohen Schutzniveau der Gemeinschaft unvereinbar sein könnten.“ (Europäische Kommission 2000, S. 12)

Weiterhin weist sie darauf hin, dass auf das Vorsorgeprinzip nur dann zulässig zurückgegriffen werden kann, wenn

„[...] die möglichen negativen Folgen eines Phänomens, eines Produkts oder eines Verfahrens [nach bestem Stand des Wissens; Einfügung durch die Autoren] ermittelt worden sind; [...] eine wissenschaftliche Risikobewertung wegen unzureichender, nicht eindeutiger oder ungenauer Daten keine hinreichend genaue Bestimmung des betreffenden Risikos zulässt.“ (a.a.O., S. 18)

Damit sehen die Autoren der vorliegenden Analysen ressourcenpolitischen Vorsorgehandlungsbedarf als mit dem Vorsorgeprinzip als Handlungsmaßstab begründbar an.

Die tatsächlichen Grenzziehungen bleiben damit weiterhin in der Verantwortung politischer Entscheidungsträger aufgrund normativer Aushandlungsprozesse unter Einbeziehung bestehender Wissensbestände, wissenschaftlicher Unsicherheit und dem Bedarf vorausschauender Risikominimierung. Wissenschaftliche Unsicherheiten von Grenzziehungen und Zielwerten können hierbei gute Begründungszusammenhänge für das normative Festlegen von Toleranzspannen liefern – ersetzen können und dürfen sie es nicht.

4 Fazit: Erkenntnisse für eine Begründung ressourcenpolitischer Ziele

Aus der Zusammenschau der untersuchten Ansätze zur Ableitung absoluter Grenzwerte in den Problemfeldern Biodiversitätsverlust, Klimawandel, Landsystemwandel und Umweltverschmutzung durch Chemikalien lassen sich die folgenden zentralen Aussagen treffen:

- Es wird in der Regel über den Erhalt von Ökosystemfunktionen und -dienstleistungen argumentiert, um den Schutz der Ressource bzw. eines bestimmten Zustands zu begründen;
- Anzustreben (über Grenzwerte mit oder ohne Unsicherheitsspannen) sind Zustände der Ökosysteme, die sich an einem vom Menschen unbeeinflussten Zustand orientieren (Biodiversität) oder eine wesentliche Trendumkehr bedeuten (Landsystemwandel);
- Dabei besteht zumindest im Bereich der Biodiversität eine extrem hohe Unsicherheit über diesen Zustand bzw. die Ausprägung der Kontrollvariablen (z.B. natürliche Aussterbensrate).
- Die bestehenden Zielwerte stellen globale Werte dar. Nicht zuletzt entsprechend ihrer Intention als planetare Grenze sind die Werte nicht nach bestimmten Aspekten (wie z.B. unterschiedliche Ökosysteme, unterschiedliche Treibhausgase (THG) oder bestimmte Chemikalien) differenziert, sondern auf einen einzelnen Indikator subsumiert. Weitere Differenzierungen sind nicht nur denkbar, sondern aus Sicht der wissenschaftlichen Datenlage mitunter sogar notwendig (siehe z.B. W. Steffen u. a. 2015). So werden z.B. alle THG als CO₂-Äquivalente ausgewiesen; eine Differenzierung erfolgt im Zuge der Implementierung z.B. in Form von Sektorzielen für THG-Emissionen. Gleiches ließe sich für die Stoffstromindikatoren anführen, die für eine Maßnahmenentwicklung über Dekompositionsanalysen auch nach unterschiedlichen Rohstoffarten differenzierte Argumente zulassen können.
- Das Vorsorgeprinzip wird in allen der betrachteten Bereiche genutzt, um Handlungsbedarf zu begründen – ohne die Auswahl bestimmter konkreter Maßnahmen vororientieren zu können. Vor dem Hintergrund des fortschreitenden Erkenntnisstands durch Forschungsprozesse müssen die politisch zu treffenden Entscheidungen für Maßnahmenauswahl immer wieder angepasst werden – daher erscheinen vor dem Hintergrund der Vorsorge solche Maßnahmen besonders vielversprechend, die bei unterschiedlichen möglichen Entwicklungen keine nachteiligen Wirkungen entfalten (sogenannte „no-regret“-Maßnahmen).
- Weiterhin werden die Chancen nachfolgender Generationen sowie eine global gerechte Nutzung der jeweiligen Ressourcen als normatives Argument genutzt. Hier

scheinen Anknüpfungspunkte zum Ansatz des gemeinsamen Menschheitserbes gut denkbar, den der WBGU bereits in der Mitte der 1990er Jahre aus den sogenannten „Gemeinsamen Sorge der Menschheit“, die Eingang in die Klimarahmen- und die Biodiversitätskonvention fand, formulierte und im Jahre 2014 in seinem Hauptgutachten thematisierte (Menschheitserbe Meer) (WBGU 1996; 2014).

Diese Aussagen entfalten aus unserer Sicht Relevanz für eine mögliche Begründung ressourcenpolitischer Ziele. So erachten wir für die Begründung eines absoluten Minderungsziels für die Rohstoffnutzung eine Doppelstrategie als sinnvoll: erstens die Integration von Ressourcenschonung und ressourcenpolitischen Aspekten insbesondere in solche anderen Politikfelder, die ressourcenrelevant sind, bisher aber kaum Bezüge zu Ressourcenschonung aufweisen (Beispiel Klimapolitik); zweitens eine normative Begründung für eine politisch festzulegende absolute Begrenzung der Rohstoffinanspruchnahme – als originäre ressourcenpolitische Zielsetzung – über den Erhalt von Zukunftschancen der nachfolgenden Generationen.

Im Gegensatz zur Biodiversität, zum Klima und zur Fläche/dem Boden sind Rohstoffe bzw. deren Verfügbarkeitsmengen aus einer ökologischen Perspektive heraus kein eigenständiges Schutzgut im Sinne einer Zustands-Variable, die es in eben diesem Zustand zu bewahren gilt. Ihre Gewinnung, Nutzung und Entsorgung führt jedoch zu Auswirkungen auf den Zustand von Ökosystemen und von anderen natürlichen Ressourcen (wie z.B. Klima, Wasser, Boden, Biodiversität). Dieser Zusammenhang, wie er in den sogenannten Nexus-Ansätzen untersucht wird, könnte als eine Begründung für ein bzw. mehrere Rohstoffziele genutzt werden, wobei die Verantwortung zur Zieldefinition bzw. Festlegung von Grenzwerten dann bei den jeweiligen schutzgutspezifischen Politikfeldern (Klimapolitik, Biodiversitätspolitik, ...) verbleibt. Hier könnte eine Rolle der Ressourcenpolitik zur Unterstützung der Zielerreichung definiert werden im Sinne der horizontalen Politikfeldintegration (wie das bereits im Klimabereich mit Verweis auf die Notwendigkeit von Ressourcenpolitik zur Erreichung bzw. kosteneffizienten Erreichung von Klimazielen versucht wird; siehe UNEP 2016).

Aus diesem Vorgehen würde eine fragmentierte Ressourcenpolitik entstehen und letztlich die Zieldefinition in andere Ressorts oder Abteilungen übergeben. Um eine konsistente Ressourcenpolitik zu etablieren scheint eine originäre, Input-basierte Zieldefinition (ggf. nur ausdifferenziert für einzelne relevante Materialien) als ressourcenpolitischer Kern und Orientierungsgrundlage nötig: (Primär-)Rohstoffe werden dann zu einem Schutzgut, wenn eine Input-Perspektive genutzt wird. Eine solche Schutzgutdefinition bzw. -ausweitung erscheint mit Blick auf intergenerationale Gerechtigkeit sowie die Umsetzung der Nachhaltigkeitsziele (SDGs) denkbar. So begründet der Bericht "Resource Efficiency: Potential and Economic Implications" des UNEP IRP seine Aussage

„substantielle Steigerungen der Ressourceneffizienz sind notwendig, um die Nachhaltigkeitsziele zu erreichen“ (UNEP 2016, S. 4; Übersetzung durch die Autoren),

damit, dass 12 der 17 SDGs direkt vom nachhaltigen Management einer Vielzahl natürlicher Ressourcen abhängen. Schließlich sei Ressourceneffizienz essentiell, um einen langfristig, generationenübergreifend sicheren Zugang zu den Ressourcen zu gewährleisten, der sozio-ökonomische Entwicklung und menschliches Wohlbefinden mit Umweltschutz synergetisch zusammenführt (ebd.). Demnach wäre der Bestand an nicht erneuerbaren (Primär-) Rohstoffen (=Zustand) möglichst zu erhalten, um die Chancen der nachfolgenden Generationen nicht zu schmälern – auch wenn die potentiellen Vorteile aus der künftigen Rohstoffnutzung nicht bekannt sind. Diese Argumentation wird analog bereits im Bereich der Biodiversitätspolitik genutzt. Als Handlungsbedarf käme dann für eine zustandserhaltende Rohstoffinanspruchnahme beispielsweise eine weitestgehende Kreislaufführung von Rohstoffen in Betracht, die soweit möglich ohne die Nutzung von Primärrohstoffen auskommt.

Das Vorsorgeprinzip lässt sich dementsprechend auch auf die Ressourcenpolitik anwenden, um Handlungsbedarf zu begründen. Eine Zieldefinition, eine Festsetzung von konkreten Grenzwerten oder die Auswahl spezifischer Handlungsansätze im Sinne ressourcenpolitischer Interventionen lässt sich aus dem Vorsorgeprinzip jedoch nicht ableiten. Die Festsetzung des Ziels muss normativ, politisch auf Basis eines Problemverständnisses und einer Priorisierung von potentiellen, tolerablen Auswirkungen erfolgen. Dieses kann naturwissenschaftlich (wie im Beispiel Klimawandel mit dem wissenschaftlichen Konsens über den Zusammenhang von Treibhausgasemissionen und Veränderungen des Klimas) oder rein normativ (globale Gerechtigkeit; Chancen zukünftiger Generationen) begründet sein. Darüber hinaus kann es mit Unsicherheits- bzw. Toleranzspannen versehen werden, die wiederum auf wissenschaftlichen Erkenntnissen basieren können, letztlich jedoch auch normativ festgelegt werden (müssen).

Das bedeutet, dass eine kohärente und langfristig wirksame Ressourcenpolitik

- Schutzgüter bzw. Handlungsbereiche anderer Politikfelder einbeziehen muss
- und für relevante Bereiche (=natürliche Ressourcen) unter Vorsorgegesichtspunkten Schritte in Richtung normativer Festlegung von Grenzwerten (zu schützenden Zustandsmengen) unternehmen muss.

Dabei kann und sollte sie die Wissenschaft durch neue Forschungsergebnisse kontinuierlich unterstützen. Da wissenschaftliche Befunde jedoch verschiedenste Wertoptionen (und u.U. sogar das Auslassen von Zielfestlegungen) begründen helfen können, bleibt die Entscheidung stets in demokratischen Aushandlungsprozessen verortet – mit allem Bedarf an Mut, Geschick und langfristigem Denken, der erforderlich ist, die gesetzten Ziele und Unsicherheitsspannen langfristig zu verfolgen und auszutarieren.

5 Literatur

- Australian-German Climate and Energy College. 2017. „Facts4Paris: Until 1995, the G7 were the major cumulative emissions contributor but not after; and sometime in 2020-30 non-Annex I nations become the major cumulative contributors.“ Zugegriffen August 2. <http://climate-energy-college.org/facts4paris-until-1995-g7-were-major-cumulative-emissions-contributor-not-after-and-sometime-2020-30>.
- Berkes, Fikret. 2007. „Understanding uncertainty and reducing vulnerability: lessons from resilience thinking“. *Natural Hazards* 41 (2): 283–95. doi:10.1007/s11069-006-9036-7.
- Bleischwitz, Raimund, Bettina Bahn-Walkowiak, Stefan Bringezu, Rainer Lucas, Sören Steger, Henning Wilts, Mathias Onischka, und Oliver Röder. 2009. „Outline of a resource policy and its economic dimension“. In *Sustainable Resource Management. Global trends, visions and policies*, herausgegeben von Stefan Bringezu und Raimund Bleischwitz, 216–96. Sheffield, UK: Greenleaf Publishing.
- BMUB. 2016a. „Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II. Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen“.
- BMUB. 2016b. „Klimaschutzplan 2050 - Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung“. BMUB.
- Bringezu, Stefan. 2015. „Possible Target Corridor for Sustainable Use of Global Material Resources“. *Resources* 4 (1): 25–54. doi:10.3390/resources4010025.
- Bringezu, Stefan, und Helmut Schütz. 2013. „Ziele und Indikatoren für die Umsetzung von ProgRes. Arbeitspapier AS 1.2/1.3 im Projekt Ressourcenpolitik: Analyse der ressourcenpolitischen Debatte und Entwicklung von Politikoptionen (PolRes)“. Wuppertal: Wuppertal Institut.
- Bruckner, Thomas, G. Petschel-Held, und F.L. Tóth. 1998. „The Tolerable Windows Approach to Global Warming. Paper presented at the World Congress of Environmental and Resource Economists, June 25-27, 1998, Venice, Italy“.
- Bruckner, Thomas, und H.J. Schellnhuber. 1999. „Climate Change Protection: The Tolerable Windows Approach.“ Potsdam Institute for Climate Impact Research.
- Bundesregierung. 1986. „Leitlinien der Bundesregierung zur Umweltvorsorge durch Vermeidung und stufenweise Verminderung von Schadstoffen (Leitlinien Umweltvorsorge)“. Drucksache 10/6028. Bonn: Deutscher Bundestag 10. Wahlperiode.
- Climate Change 2013 - The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2013. Cambridge: Cambridge University Press.

- CO2.Earth. 2016. „Annual CO2. Atmospheric CO2 Concentrations Mauna Loa Observatory (MLO) & Global“. (National Oceanic and Atmospheric Administration).
- Council of the European Union. 2005. „Information note 7242/05. Climate Change: Medium and longer term emission reduction strategies, including targets; 11th March 2005.“. <http://register.consilium.europa.eu/doc/srv?l=EN&f=ST%207242%202005%20INIT>.
- Daly, Herman. 2015. „Economics for a Full World“.
- Deutsche Bundesregierung. 2007. „Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt“.
- EEA. 1996. „Climate Change in the European Union“. ENVIRONMENTAL ISSUES SERIES NO. 2. Copenhagen: European Environment Agency (EEA). http://www.carboncontrol.com/wp-content/uploads/2012/03/Environmental_issue_report_No-2.pdf.
- EEA. 1999. „Environmental Indicators: Typology and Overview“. EEA, Copenhagen.
- EEA. 2001. „Late Lessons From Early Warnings – The Precautionary Principle 1896–2000“. Copenhagen: European Environment Agency.
- EEA. 2013. „Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation“. EEA Report No 1/2013. Copenhagen: European Environment Agency.
- EEA, und Global Land Indicators Initiative. 2015. „Proposal for land and soil indicators to monitor the achievement of the Sustainable Development Goals (SDGs)“.
- EEA. 2015. The European Environment: State and Outlook 2015 : Synthesis Report. Luxembourg: Publications Office.
- EEB, CHEMTrust, Friends of the Earth Europe, und ZEROWASTE EUROPE. 2015. „The Circular Economy and REACH – an essential partnership“.
- EEB. 2015. „Delivering Resource Efficient Products – How Ecodesign Can Drive a Circular Economy in Europe“. European Environmental Bureau, Brussels
- Ehrlich, Paul. 1992. „Der Verlust der Vielfalt: Ursachen und Konsequenzen“. In Ende der Biologischen Vielfalt?, herausgegeben von Edward O. Wilson. Heidelberg, Berlin, New York.
- Ellen MacArthur Foundation, World Economic Forum, und McKinsey Center for Business and Environment. 2016. „The new plastics economy: Rethinking the future of plastics“. Ellen MacArthur Foundation.
- Europäische Kommission. 2015a. „Den Kreislauf schließen – Ein Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft. COM(2015) 614 final“.
- Europäische Kommission. 2000. „Die Anwendbarkeit des Vorsorgeprinzips. KOM (2000) 1 endgültig“.

- Europäische Union. 2013. „Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union - Fassung aufgrund des am 1.12.2009 in Kraft getretenen Vertrages von Lissabon (Konsolidierte Fassung bekanntgemacht im ABl. EG Nr. C 115 vom 9.5.2008, S. 47)“.
- European Commission. 2016. „EU climate action“.
- Fatheuer, Thomas. 2013. „Neue Ökonomisierung der Natur. Eine kritische Einführung“. 35. Heinrich Böll Stiftung Ökologie.
- Findeisen, W., und E. Quade. 1985. „The Methodology of Systems Analysis: An Introduction and Overview“. In Handbook of Systems Analysis, herausgegeben von H. Mises und E. Quade. New York: Wiley.
- Geden, Oliver. 2015. „Qualitätssicherung in der klimawissenschaftlichen Politikberatung“. SWP aktuell A 53: 8.
- Geden, Oliver, und Stefan Schäfer. 2016. „»Negative Emissionen« als klimapolitische Herausforderung“. SWP aktuell 70: 1–4.
- Global Soil Week. 2015. „Soil and Land in Sustainable Development Agendas“.
- Gollier, Christian, und Nicolas Treich. 2003. „Decision-Making Under Scientific Uncertainty: The Economics of the Precautionary Principle“. Journal of Risk and Uncertainty 27 (1): 77–103.
- Graaf, Lisa, und Klaus Jacob. o. J. „Ressourcenpolitik und Klimaschutz – Analyse der konkreten Anknüpfungspunkte zwischen Maßnahmen und strategischen Handlungsfelder beider Strategieprozesse. PolRess II Kurzanalyse“. Berlin: FFU.
- Graaf, Lisa, Stefan Werland, und Klaus Jacob. 2015. „Nexus Ressourceneffizienz und Wasser Eine Analyse der Wechselwirkungen“. PolRess Reihe Nexus-Analysen. Berlin.
- Hansen, James, Makiko Sato, Pushker Kharecha, David Beerling, Robert Berner, Valerie Masson-Delmotte, Mark Pagani, Maureen Raymo, Dana L. Royer, und James C. Zachos. 2008. „Target Atmospheric CO₂: Where Should Humanity Aim?“ The Open Atmospheric Science Journal 2 (1): 217–31. doi:10.2174/1874282300802010217.
- Hertler, Christine. 1999. „Aspekte der historischen Entstehung von Biodiversitätskonzepten in den Biowissenschaften“. In Görg, Christoph et al: Zugänge zur Biodiveristät. Marburg: Metropolis Verlag.
- Hirschnitz-Garbers, Martin, Martin Distelkamp, Mark Meyer, Harald U. Sverdrup, und Deniz Koca. 2016. „Ressourcenproduktivität und Ressourcenschonung – potentielle Wirkungen von Politikansätzen. Kernergebnisse aus dem Projekt “Modelle, Potenziale und Langfristszenarien für Ressourceneffizienz (SimRess)““. August.

- Hirschnitz-Garbers, Martin, Adrian R. Tan, Albrecht Gradmann, und Tanja Srebotnjak. 2015. „Key drivers for unsustainable resource use – categories, effects and policy pointers“. *Journal of Cleaner Production*, Februar. doi:10.1016/j.jclepro.2015.02.038.
- Hooper, David U., E. Carol Adair, Bradley J. Cardinale, Jarrett E. K. Byrnes, Bruce A. Hungate, Kristin L. Matulich, Andrew Gonzalez, J. Emmett Duffy, Lars Gamfeldt, und Mary I. O'Connor. 2012. „A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of eco-system change“. *Nature*, Mai. doi:10.1038/nature11118.
- IPCC. 2014a. „Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)].“ Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA; Cambridge University Press: IPCC.
- IPCC. 2014b. „Summary for policymakers. In O. Edenhofer, R. Pichs- Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J. C. Minx (Eds.), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*“ Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.: IPCC.
- Jacob, Klaus, Stefan Werland, Lisa Graaf, Martin Hirschnitz-Garbers, Susanne Langsdorf, Mandy Hinzmann, Doris Bergmann, u. a. 2015. „Innovationsorientierte Ressourcenpolitik in planetaren Grenzen. Endbericht des Projekts Ressourcenpolitik: Analyse der ressourcenpolitischen Debatte und Entwicklung von Politikoptionen (PolRess).“
- Lahl, Uwe, und Barbara Zeschmar-Lahl. 2013. „Risk Based Management of Chemicals and Products in a Circular Economy at a Global Scale (Risk Cycle), Extended Producer Responsibility and EU Legislation“. *Environmental Sciences Europe* 25 (1): 3. doi:10.1186/2190-4715-25-3.
- Leadley, P., H.M. Pereira, R. Alkemade, V. Fernandez-Manjarrés, J.F. Proença, Scharlemann J.P.W., und M.J. Walpole. 2010. „Biodiversity Scenarios: Projections of 21st century change in biodiversity and associated ecosystem services“. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. Technical Series no. 50.
- Lenton, T. M., H. Held, E. Kriegler, J. W. Hall, W. Lucht, S. Rahmstorf, und H. J. Schellnhuber. 2008. „Tipping Elements in the Earth's Climate System“. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105 (6): 1786–93. doi:10.1073/pnas.0705414105.

- Mace, Georgina M., Belinda Reyers, Rob Alkemade, Reinette Biggs, F. Stuart Chapin, Sarah E. Cornell, Sandra Díaz, u. a. 2014. „Approaches to defining a planetary boundary for biodiversity“. *Global Environmental Change* 28 (September): 289–97. doi:10.1016/j.gloenvcha.2014.07.009.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. „Ecosystems and Human Well-being: Synthesis.“ World Resources Institute, Washington DC.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and Human Well-Being. Biodiversity Synthesis.* World Resources Institute.
- Müller, Felix, Jan Kosmol, Hermann Keßler, Michael Angrick, und Bettina Rechenberg. 2016. „Die unerträgliche Ressourcenleichtigkeit des Seins“. *Ökologisches Wirtschaften - Fachzeitschrift* 31 (4): 45. doi:10.14512/OEW310445.
- Müller, Felix, Jan Kosmol, Hermann Keßler, Michael Angrick, und Bettina Rechenberg. 2016. „Aller Dinge Maß“. *ReSource*, Nr. 4: 4–10.
- Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestedt, J. Huang, D. Koch, u. a. 2013. „Anthropogenic and Natural Radiative Forcing“. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.“ IPCC.
- Nagel, Hans-Dieter, Rolf Becker, Heiko Eitner, Philipp Hübener, Frank Kunze, Angela Schlutow, Gudrun Schütze, und Regine Weigelt-Kirchner. 2004. „Critical Loads für Säure und eutrophierenden Stickstoff“. Berlin: BMU.
- Nagel, Hans-Dieter, und Heinz-Detlef Gregor, Hrsg. 1999. *Ökologische Belastungsgrenzen - Critical Loads & Levels: ein internationales Konzept für die Luftreinhaltepolitik ; mit 90 Abbildungen und 56 Tabellen ; Hans-Dieter Nagel ... [(Hrsg.)].* Berlin: Springer.
- Nagel, Hans-Dieter, Angela Schlutow, Thomas Scheuschner, Regine Weigelt-Kirchner, und Juliane Kokoschka. 2014. „Modellierung und Kartierung atmosphärischer Stoffeinträge und kritischer Belastungsschwellen zur kontinuierlichen Bewertung der ökosystemspezifischen Gefährdung der Biodiversität in Deutschland - PINETI (Pollutant Input and Ecosystem Impact). Teilbericht 4 Critical Load, Exceedance und Belastungsbewertung“. Texte 63/2014. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Newbold, T., L. N. Hudson, A. P. Arnell, S. Contu, A. De Palma, S. Ferrier, S. L. L. Hill, u. a. 2016. „Has land use pushed terrestrial biodiversity beyond the planetary boundary? A global assessment“. *Science* 353 (6296): 288–91. doi:10.1126/science.aaf2201.

- O’Riordan, Timothy, und Andrew Jordan. 1995. „The Precautionary Principle in Contemporary Environmental Politics“. *Environmental Values* 4 (3): 191–212. doi:10.3197/096327195776679475.
- Osimani, Barbara. 2013. „The Precautionary Principle in the Pharmaceutical Domain: A Philosophical Enquiry into Probabilistic Reasoning and Risk Aversion“. *Health, Risk & Society* 15 (2): 123–43. doi:10.1080/13698575.2013.771736.
- Paris-equity-check.org. 2017. „A multidimensional equity assessment of national climate pledges“; results derived in study: Robiou du Pont, Y. et al. Equitable mitigation to achieve the Paris Agreement goals. *Nat. Clim. Chang.* 7
- PBL, und JRC. 2015. „Trends in Global CO2 Emissions: 2015 report. Background Study“. The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Persson, Erik. 2016. „What Are the Core Ideas behind the Precautionary Principle?“ *Science of The Total Environment* 557–558 (Juli): 134–41. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.03.034.
- RNE. 2004. „Mehr Wert für die Fläche: Das ‚Ziel-30-ha‘ für die Nachhaltigkeit in Stadt und Land. Empfehlungen des Rates für Nachhaltige Entwicklung an die Bundesregierung“.
- Rockström, Johan, Will Steffen, Kevin Noone, Åsa Persson, F. Stuart Chapin, Eric F. Lambin, Timothy M. Lenton, u. a. 2009a. „Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity“. *Ecology and Society* 14 (2): 32.
- Rockström, Johan, Will Steffen, Kevin Noone, Asa Persson, F Stuart Chapin, Eric F Lambin, Timothy M Lenton, u. a. 2009b. „A safe operating space for humanity.“ *Nature* 461 (7263): 472–75. doi:10.1038/461472a.
- Sandin, Per. 2004. „The Precautionary Principle and the Concept of Precaution“. *Environmental Values* 13 (4): 461–75.
- Schellnhuber, Hans Joachim, und Wolfgang Cramer, Hrsg. 2007. *Avoiding Dangerous Climate Change: [International Symposium on Stabilisation of Greenhouse Gas Concentrations, Avoiding Dangerous Climate Change, (ADCC), Exeter, United Kingdom, on 1 - 3 February 2005].* Reprint. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Schmidt-Bleek, Friedrich. 1994. *Wieviel Umwelt braucht der Mensch?: MIPS - Das Maß für ökologisches Wirtschaften.* Basel: Birkhäuser Basel.
- Scholes, R J, und R Biggs. 2005. „A biodiversity intactness index“. *Nature* 434 (7029): 45–49. doi:10.1038/nature03289.
- Schwertmann, Udo, Wilhelm Vogl, und Maximilian Kainz. 1990. *Bodenerosion durch Wasser: Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen.* 2. Aufl. Stuttgart: Ulmer.

- Simon, Nils, und Maro Luisa Schulte. 2017. „Stopping Global Plastic Pollution: The Case for an International Convention“. Publication Series Ecology Volume 43. Berlin: Heinrich Boell Stiftung & adelphi.
- SRU. 2016. „Impulse für eine integrative Umweltpolitik. SRU-Umweltgutachten 2016“. Berlin: Sachverständigenrat für Umweltfragen SRU.
- Statistisches Bundesamt. 2014. „Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht 2014“. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Steel, Daniel, Hrsg. 2015. *Philosophy and the Precautionary Principle: Science, Evidence, and Environmental Policy*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Steffen, W., K. Richardson, J. Rockstrom, S. E. Cornell, I. Fetzer, E. M. Bennett, R. Biggs, u. a. 2015. „Planetary Boundaries: Guiding Human Development on a Changing Planet“. *Science* 347 (6223): 1259855–1259855. doi:10.1126/science.1259855.
- Steffen, Will, Åsa Persson, Lisa Deutsch, Jan Zalasiewicz, Mark Williams, Katherine Richardson, Carole Crumley, u. a. 2011. „The Anthropocene: From Global Change to Planetary Stewardship“. *AMBIO* 40 (7): 739–61. doi:10.1007/s13280-011-0185-x.
- Steffen, Will, Katherine Richardson, J. Rockstrom, Sarah E. Cornell, Ingo Fetzer, Elena M. Bennett, R. Biggs, u. a. 2015. „Planetary Boundaries: Guiding Human Development on a Changing Planet“. *Science* 347 (6223): 1259855–1259855. doi:10.1126/science.1259855.
- UBA. 1994. „Umweltqualitätsziele, Umweltqualitätskriterien und – standards – Eine Bestandsaufnahme.“ Texte 64/94. Berlin: Umweltbundesamt.
- UBA. 2013. „Critical Loads für Schwermetalle“.
- UBA. 2015. „Vorsorgeprinzip“. URL <https://www.umweltbundesamt.de/themen/nachhaltigkeit-strategien-internationales/umweltrecht/umweltverfassungsrecht/vorsorgeprinzip>, eingesehen am 3. August 2017.
- UBA. 2015. „Elemente einer erfolgreichen Ressourcenschonungspolitik“. Positionen. Dessau-Roßlau.
- UNEP. 2010. *Assessing the Environmental Impacts of Consumption and Production: Priority Products and Materials*. Nairobi, Kenya: UNEP IRP.
- UNEP. 2011. *Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth*. Kenya, UNEP.
- UNEP. 2012. „Global Environmental Outlook GEO5. Summary for Policy Makers“. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme.
- UNEP. 2013a. *Environmental Risks and Challenges of Anthropogenic Metals Flows and Cycles. A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Re-*

- source Panel. Herausgegeben von Ester van der Voet, Reijo Salminen, Matthew Eckelman, Gavin Mudd, Terry Norgate, und Roland Hischie.
- UNEP. 2013b. GCO–Global Chemicals Outlook: Towards Sound Management of Chemicals. http://www.unep.org/hazardoussubstances/Portals/9/Mainstreaming/GCO/The%20Global%20Chemical%20Outlook_Full%20report_15Feb2013.pdf.
- UNEP. 2014. „Assessing Global Land Use: Balancing Consumption with Sustainable Supply. A Report of the Working Group on Land and Soils of the International Resource Panel.“
- UNEP. 2015. „The International Resource Panel: 10 key messages on Climate Change.“ Paris, France: United Nations Environment Programme.
- UNEP. 2016. „Resource Efficiency: Potential and Economic Implications. A report of the International Resource Panel.“
- UNEP. 2013. GCO–Global Chemicals Outlook: Towards Sound Management of Chemicals.
- UNEP, und GRID-Arendal. 2016. „Marine Litter Vital Graphics.“ Nairobi and Arendal: United Nations Environment Programme and GRID-Arendal.
- UNFCCC. 2010. „Report of the Conference of Parties on its fifteenth session, held in Copenhagen from 7 to 19 December 2009 FCCC/CP/2009/11/Add.1; 2010“. Copenhagen: UNFCCC.
- Unmüßig, Barbara. 2014. „Vom Wert der Natur. Sinn und Unsinn einer Neuen Ökonomie der Natur“.
- Vertragsparteien des UNFCCC. 2015. „Übereinkommen von Paris“. http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/paris_abkommen_bf.pdf.
- Vuuren, Detlef .P. van, und Albert Faber. 2009. „Growing within Limits. A Report to the Global Assembly 2009 of the Club of Rome“.
- WBGU. 1995. „Szenario zur Ableitung globaler CO2-Reduktionsziele und Umsetzungsstrategien. Stellungnahme zur ersten Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention in Berlin“. Bremerhaven: Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU).
- WBGU. 1996. „Welt im Wandel: Herausforderung für die deutsche Wissenschaft. Jahresgutachten 1996.“ Bremerhaven
- WBGU. 1999. Welt im Wandel. Erhaltung und nachhaltige Nutzung der Biosphäre. Jahresgutachten 1999. Berlin.
- WBGU. 2011. „Welt im Wandel. Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation“. WBGU.

- WBGU. 2014. „Zivilisatorischer Fortschritt innerhalb planetarischer Leitplanken. Ein Beitrag zur SDG-Debatte“.
- WBGU. 2014. „Hauptgutachten: Welt im Wandel. Menschheitserbe Meer.“ Berlin
- Werland, Stefan. 2012. „Debattenanalyse Rohstoffknappheit“. 5.1. PolRes Arbeitspapier. Berlin.
- Werland, Stefan. 2015. „Nexus Ressourceneffizienz und Biodiversität. Eine Analyse der Wechselwirkungen“. PolRes Nexus Analyse. Berlin.
- Werland, Stefan, Lisa Graaf, Klaus Jacob, Stefan Bringezu, Bettina Bahn-Walkowiak, Martin Hirschnitz-Garbers, Falk Schulze, und Mark Meyer. 2014. „Nexus Ressourceneffizienz und Energiewende“. 1. Nexus-Papier. Berlin.
- Whiteside, Kerry H. 2006. Precautionary Politics: Principle and Practice in Confronting Environmental Risk. Urban and Industrial Environments. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Wilson, Edward O. 1988. Biodiversity. Washington D.C.: National Academy Press.
- WorldBank. 2016. „CO2 emissions (metric tons per capita)“.
- WRI. 2017a. „CAIT Climate Data Explorer. Equity Explorer: CO2 Emissions - Cumulative Per Capita 1850-2012“. <http://cait.wri.org/equity>.
- WRI. 2017b. „CAIT Climate Data Explorer. Equity Explorer: GHG Emissions - Cumulative Per Capita 1990-2012 with LUCF“. <http://cait.wri.org/equity>.
- Wunder, Stephanie, Martin Hirschnitz-Garbers, und Timo Kaphengst. 2015. „Ressourceneffizienz und Flächeninanspruchnahme“. PolRes Nexus Analyse. Berlin.