

PolRess Reihe Nexus-Analysen

Nexus Ressourceneffizienz und Wasser

Eine Analyse der Wechselwirkungen

Lisa Graaf, Stefan Werland, Klaus Jacob (FFU)

Forschungszentrum für Umweltpolitik

PolRess – Ressourcenpolitik

Ein Projekt im Auftrag des Bundesumweltministeriums und des Umweltbundesamtes

Laufzeit 01/2012 – 05/2015

FKZ: 3711 93 103



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:



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

Die Autoren danken Stefan Bringezu (Wuppertal Institut), Mark Meyer (GWS) sowie Falk Schulze (Öko-Institut) für hilfreiche Kommentare und Anregungen.

Zitationsweise: Graaf, Lisa, Werland, Stefan, Jacob, Klaus (2015): Nexus Ressourceneffizienz und Wasser. Eine Analyse der Wechselwirkungen. Berlin. www.ressourcenpolitik.de

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | Nexus Ressourceneffizienz und Wasser: Einführung und Handlungsbedarf | 1 |
| 2. | Systematisierung des Ressourcenbegriffs | 1 |
| 3. | Auswirkungen der Wasserpolitik auf die stoffliche Nutzung von Rohstoffen..... | 3 |
| 3.1. | Ziel: Verbesserung der Wasserqualität | 5 |
| 3.1.1. | Ansatz: Abwasserbehandlung (Abwasserabgabe)..... | 6 |
| 3.1.2. | Ansatz: Vermeidung von diffusen Einträgen | 9 |
| 3.2. | Ziel: nachhaltige Wassermengenbewirtschaftung | 10 |
| 3.2.1. | Ansatz: Kreislaufführung von Prozesswasser in der Industrie..... | 13 |
| 3.2.2. | Instrument: kostendeckende Wasserpreise / Wasserentnahmeentgelt | 13 |
| 3.2.3. | Ansatz: Nutzung des Indikators Wasserfußabdruck (global)..... | 14 |
| 3.3. | Ziel: Hochwasserschutz | 18 |
| 3.3.1. | Maßnahmen: Stärkung der natürlichen Wasserrückhaltung der Fläche, technischer Hochwasserschutz und Hochwasservorsorge | 18 |
| 3.4. | Zwischenfazit Kapitel 3: Auswirkungen der Wasserpolitik auf die stoffliche Nutzung von Rohstoffen | 20 |
| 4. | Auswirkungen der Ressourceneffizienzpolitik auf die Inanspruchnahme von Wasser..... | 21 |
| 4.1. | Ziel: Reduktion des Rohstoffverbrauchs..... | 22 |
| 4.2. | Ziel: Ressourceneffizienz in der Produktion und der Landwirtschaft (inkl. ressourceneffizientere Produkte) | 25 |
| 4.2.1. | Ansatz: Effizienzsteigerung in der Produktion..... | 26 |
| 4.2.2. | Ansatz: Effizienzsteigerung im Baugewerbe..... | 27 |
| 4.2.3. | Ansatz: Substitution von abiotischen durch biotische Materialien..... | 28 |
| 4.2.4. | Ansatz: Verringerter Einsatz von Mineraldüngern in der Landwirtschaft..... | 30 |
| 4.3. | Ziel: Ressourceneffizienten Konsum fördern | 31 |
| 4.3.1. | Ansatz: Erhöhung der Nutzungsintensität (das Beispiel Verlängerung der Nutzungsdauer) | 31 |
| 4.4. | Ziel: Ressourceneffiziente Abfall- und Kreislaufwirtschaft ausbauen | 32 |
| 4.4.1. | Ansatz: Förderung der Kreislaufführung von Material..... | 33 |
| 4.4.2. | Ansatz: Förderung der Phosphor-Rückgewinnung aus Abwasser | 33 |
| 4.5. | Zwischenfazit Kapitel 4: Auswirkungen der Ressourceneffizienzpolitik auf die Inanspruchnahme von Wasser | 34 |
| 5. | Fazit | 36 |
| | Literatur..... | 38 |
| | Anhang: | 47 |

Abbildungsverzeichnis:

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Formen der Wasserinanspruchnahme..... | 3 |
| Abbildung 2: Zielerreichung bis 2015 und Inanspruchnahme von Ausnahmen in Deutschland | 6 |
| Abbildung 5: Industrieller Gesamtfrischwasserbezug 2007 | 8 |
| Abbildung 6: Wasserdargebot und Wassernutzung in Deutschland 2010..... | 11 |
| Abbildung 7: Wassereinsatz im verarbeitenden Gewerbe in Deutschland 2010 nach Sektoren..... | 12 |
| Abbildung 8: Rohstoffproduktion in Deutschland im Jahr 2011. | 23 |
| Abbildung 9: Materialeinsparpotential und Kosteneinsparung nach Branchen. | 26 |
| Abbildung 10: Rohstoffe für die Herstellung biobasierter Kunststoffe und naturfaserverstärkter Kunststoffe in Deutschland..... | 29 |
| Abbildung 11: relevante Stoffströme für das P-Recycling (Zahlen aus dem Verbundprojekt PhoBe) | 34 |
| Abbildung 10: Schematische Darstellung einer Wirkungskette | 47 |

1. Nexus Ressourceneffizienz und Wasser: Einführung und Handlungsbedarf

Das Ziel dieses Arbeitspapiers ist es, die Schnittstellen und die Kohärenz zwischen der Politik zur Erhöhung der Ressourceneffizienz (wie im Deutschen Ressourceneffizienzprogramm ProgRess formuliert, nachfolgend auch: Ressourceneffizienzpolitik) und der Politik zum nachhaltigen Umgang mit Wasser zu analysieren. Im Fokus dieses Arbeitspapiers steht die Frage, wie sich die Aktivitäten des einen Handlungsfelds auf das jeweils andere auswirken, um so ggf. Synergien nutzen sowie Konflikte vermeiden zu können. Methodisch wird bei der Analyse eine Wirkungskettenanalyse zugrunde gelegt. Dabei wird von den Zielen des Politikfelds ausgegangen, die entsprechenden Ansätze/Maßnahmen beschrieben, die daraus resultierende Verhaltensänderung der Adressaten sowie die direkten Effekte auf die Nutzung einer Ressource. Eine Erläuterung des methodischen Vorgehens findet sich im Anhang.

In der europäischen Leitinitiative Ressourceneffizientes Europa wird neben den Bereichen Energieeffizienz, Agrarpolitik, biologische Vielfalt, Rohstoffmärkte/-sicherung, Kreislaufwirtschaft und Anpassung an den Klimawandel auch die Wasserpolitik genannt. In ProgRess ist Wasser explizit ausgeklammert – nichts desto trotz ist es wichtig, sich die Wechselwirkungen zwischen beiden Politikfeldern anzuschauen. Bereits gut quantifiziert ist der Nexus zwischen Wasser und Energie (De Wever 2010; WWAP 2014)¹; in den letzten Jahren hat zudem aus entwicklungspolitischer Perspektive vermehrt auch die Erweiterung des Wasser-Energie-Nexus um Nahrung („Water-Energy-Food -Nexus“) Beachtung gefunden². Hierbei wird besonders deutlich, dass die Nutzung, der Schutz oder die Schädigung einer Ressource auch Implikationen für andere Ressourcen hat. Die Wechselwirkungen speziell von Wasserpolitik und Ressourceneffizienzpolitik wurden bislang jedoch noch nicht systematisch untersucht. Dies ist Ziel des vorliegenden Papiers.

2. Systematisierung des Ressourcenbegriffs

Unter natürlichen Ressourcen werden in dieser Analyse stofflich oder energetisch genutzte Rohstoffe, Boden und Fläche, Wasser, die Atmosphäre sowie die Biodiversität verstanden. Natürliche Ressourcen werden als Inputfaktor oder als Senke genutzt. Das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung beinhaltet, dass die Nutzung der erneuerbaren natürlichen Ressourcen im Rahmen ihrer Erneuerungs- bzw. Regenerationsraten erfolgen soll, nicht-erneuerbare Rohstoffe substituiert³ oder im Kreislauf geführt werden sollen und die Absorptionskapazitäten (Senkenfunktion) nicht überschritten werden. Die Schonung der natürlichen Ressourcen ist ein zentrales Motiv der deutschen, europäischen und internationalen Umweltpolitik. Sowohl die Wasserpolitik als auch die Steigerung der Ressourceneffizienz sind in diesem Zusammenhang zentrale Politikfelder.

¹ vgl. auch Weltwassertag 2014 zum Thema „Energie und Wasser zusammen denken“: <http://www.dgvr.de/meldung/energie-und-wasser-zusammendenken/>

² z.B. BMU/BMZ-Konferenz dazu, seit 2011 sowie Forschungsschwerpunkt zum Thema Nexus seit 2012: https://www.fh-koeln.de/forschung/nexus-wasser--energie--ernaehrungssicherheit_3363.php

³ Unter Berücksichtigung der sozialen und ökologischen Auswirkungen der Substitution.

In der Wasserpolitik geht es vor allem darum, den „guten ökologischen Zustand“ von Gewässern sicherzustellen. Dazu zählt, die stofflichen Belastungen des Wasserkreislaufes zu reduzieren sowie eine ausreichende mengenmäßige Versorgung – sowohl für Wirtschaft und Haushalte, als auch für den Erhalt der Ökosysteme und Ökosystemdienstleistungen – zu gewährleisten. Der Bereich Wasserpolitik umfasst zum einen den Schutz von **Oberflächenwasser** (Seen, Flüsse, etc.), **Grundwasser** und der **Meere**. Zum anderen gehört auch der vorbeugende **Hochwasserschutz** (WHG, §72ff⁴), d.h. der Schutz vor Risiken für die menschliche Gesundheit, die Umwelt, Infrastrukturen und Eigentum, zur Wasserpolitik.

Das Oberflächen- und Grundwasser bildet zusammen das Süßwasser. Für die Nutzung als Trink- und Haushaltswasser sowie für die Landwirtschaft und Industrie ist dieses besonders wichtig.

Dabei sind verschiedene Arten der Wasserinanspruchnahme zu unterscheiden (wobei Wasserinanspruchnahme in dieser Studie als Oberbegriff genutzt wird, der die verschiedenen Nutzungsarten umfasst): So kann die sogenannte *in-stream* Wasserinanspruchnahme, bei der keine Wasserentnahme erfolgt von der *off-stream* Wassernutzung unterschieden werden. Beispiele für erstere sind die Erzeugung von Elektrizität, die Schifffahrt oder die Funktion von Wasser als Senke für Schadstoffe (UNEP 2012, 37). Im Gegensatz dazu bedeutet *off-stream* Wassernutzung, dass Wasser aus einem Gewässer oder dem Grundwasser entnommen wird, z.B. durch Pumpen und Umleitung für kommunale, landwirtschaftliche oder industrielle Nutzung (Owens 2001).

Darüber hinaus kann zwischen degradativer und konsumtiver Wasserinanspruchnahme unterschieden werden (Bayart u. a. 2010). Bei einer konsumtiven Nutzung geht Wasser aus dem lokalen Wasserhaushalt verloren und steht in diesem nicht mehr zur Verfügung, beispielweise weil es verdampft, in Produkte integriert oder in andere Wasserkörper oder Meere eingeleitet wird (Bayart et al., 2010; UNEP, 2012). Im Rahmen dieser Analyse wird auch das so genannte „virtuelle Wasser“ in diese Kategorie gefasst (vgl. Kap.3.2.3)⁵. Bei einer degradativen Nutzung wird Wasser aus einem Wasserkörper entnommen und nach der Nutzung wieder in dasselbe Einzugsgebiet eingeleitet, wobei die *Qualität* des Wassers verändert wurde (z.B. Abwasser, Kühlwasser). Kombiniert man beide Definitionen ergeben sich daraus drei mögliche Typen der Wassernutzung (Abbildung 1). Diese sind Idealtypen, die untersuchten Beispiele vereinen häufig mehrere Formen der Wasserinanspruchnahme.

⁴ Vgl. auch Richtlinie 2007/60/EG über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken.

⁵ Der Begriff virtuelles Wasser wird in Kapitel 3.2.3 genauer erläutert. Hier sei nur darauf hingewiesen, dass innerhalb des Begriffs und seinen Aufteilungen in sog. blaues, grünes und graues Wasser eine eindeutige Zuordnung innerhalb der Kategorien nicht möglich ist, da es sowohl um konsumtive als auch degradative Wasserinanspruchnahme geht.

Abbildung 1: Formen der Wasserinanspruchnahme

| | <i>ohne Wasserentnahme (in-stream)</i> | <i>mit Wasserentnahme (off-stream)</i> |
|-------------------|--|---|
| <i>Konsumtiv</i> | | Beispiele: <ul style="list-style-type: none"> • Verdunstung von Bewässerungswasser; • Wassertransfer in andere Wasserkörper z.B. durch Bewässerungssysteme; • Verdunstung von Kühlwasser; • Absenkung des Grundwasserspiegels für die Rohstoffgewinnung. • Wasser in Produkten und virtuelles Wasser |
| <i>Degradativ</i> | Beispiele: <ul style="list-style-type: none"> • Schadstoffeinträge (z.B. aus der Landwirtschaft oder durch Bergbauaktivitäten) • Wärmeeintrag durch Kühlwasser | Beispiele: <ul style="list-style-type: none"> • Wasserentnahme durch häusliche oder industrielle Prozesse und Einleiten des belasteten Abwassers |

Quelle: Eigene Zusammenstellung nach (UNEP 2012; Bayart u. a. 2010; Owens 2001)

Im Bereich Politik der Ressourceneffizienz wird dem in ProgRes verwendete Fokus gefolgt. Auch wenn der Ressourcenbegriff zunächst alle natürlichen Ressourcen umfasst, konzentriert sich das Programm auf stofflich genutzten biotischen und abiotischen Rohstoffen. Unter diesem Begriffsverständnis sind folgende Materialien relevant:

- Erze und Metalle
- Industriemineralien
- Baumineralien
- Biotische Rohstoffe (z.B. Holz, Pflanzenfasern etc.) , die stofflich genutzt werden
- Fossile Rohstoffe, sofern sie stofflich genutzt werden⁶.

Im Folgenden wird von stofflich genutzten Rohstoffen gesprochen, um diese Ressourcengruppe zu bezeichnen.

3. Auswirkungen der Wasserpolitik auf die stoffliche Nutzung von Rohstoffen

In diesem Kapitel wird der Rahmen der Wasserpolitik skizziert, um dann – ausgehend von den Zielen und den für die Zielerreichung zentral eingeschätzten politischen Ansätzen – die Auswirkungen der Wasserpolitik auf die stoffliche Nutzung von Rohstoffen zu analysieren (vgl. zum Vorgehen auch die Methodik im Anhang).

Den Rahmen der Wasserpolitik in Deutschland bildet die EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL). Die WRRL enthält europaweite Ziele für den Schutz und die nachhaltige Bewirtschaftung der europäischen Flussgebietseinheiten. Die WRRL umfasst Qualitäts- und Quantitätsziele, die mit den damit verbundenen

⁶ In der Übersichtsgrafik in ProgRes werden stofflich genutzte fossile Energieträger nicht als Teil der in ProgRes behandelten Ressourcen ausgewiesen (Deutsche Bundesregierung, 2012a: 12).

Maßnahmen in den nachfolgenden Kapiteln ausgeführt werden. Die europäische WRRL ist in Deutschland im Rahmen des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) in die nationale Wasserpolitik umgesetzt. Weitere Anforderungen für die Einleitung von Abwässern in Gewässer sowie die Abgabepflicht bei der Einleitung von Abwässern sind in der Abwasserverordnung (AbwV) sowie dem Abwasserabgabengesetz (AbwAG) festgehalten.

Im WHG wird ferner auch die europäische Hochwasserrisikomanagementrichtlinie (HWRM-RL) umgesetzt, die eine Koordination von Hochwasserschutzmaßnahmen mit den Umweltzielen des Artikels 4 der WRRL fordert (§80 WHG).

Außerdem bestehen Kommissionen für eine grenzüberschreitende Zusammenarbeit zum Schutz von Binnengewässern und Meeren (Internationalen Kommissionen zum Schutz von Rhein, Donau, Oder, Elbe und Maas, Meeresschutzkommissionen für die Ostsee und den Nordostatlantik). Im August 2014 trat die UN Gewässerkonvention in Kraft, die einen rechtlichen Rahmen für die Zusammenarbeit an internationalen Gewässern bildet⁷.

Zunehmend wird auch der sogenannte virtuelle Wasserverbrauch diskutiert. Dieses Konzept ist mehr und mehr in den politischen Fokus gerückt und wird mittlerweile auch in der amtlichen Statistik aufgegriffen (Flachmann u. a. 2012). Virtuelles Wasser bezeichnet die Menge von Wasser, die in einem Produkt, in Vorprodukten, in Rohstoffen oder in einer Dienstleistung erhalten ist bzw. zu ihrer Herstellung im In- und Ausland verwendet wird (vgl. ProgRess: Deutsche Bundesregierung 2012a, 10; Vereinigung Deutscher Gewässerschutz o. J.). Etwa die Hälfte des Wassers für die in Deutschland benötigten Produkte und Güter wird im Ausland in Anspruch genommen, was auch als sogenannter Wasserrucksack oder externer Wasserfußabdruck bezeichnet wird (WWF 2009, 11). Auch wenn es bislang noch kein konkretes politisches Ziel mit Bezug auf virtuelles Wasser in der bundesdeutschen Politik gibt, wird dieser Aspekt als relevant für die Analyse der Wechselwirkungen zwischen Wasser und den ProgRess-Ressourcen eingeschätzt und darauf in Kapitel 3.2.3 vertieft eingegangen. Nachfolgend werden – ausgehend von den in der Wasserpolitik formulierten Zielen – die als zentral identifizierten Ansätze und Maßnahmen sowie deren Wirkungen auf die stoffliche Nutzung von Rohstoffen dargestellt.

⁷ 35 Staaten haben die Konvention nun unterzeichnet; darin verankert ist die Verpflichtung zu einer ausgewogenen und angemessenen Nutzung grenzüberschreitender Wasserläufe sowie die Verhinderung von Schäden bei anderen Staaten im Einzugsgebiet eines gemeinsamen Wasserlaufs (BMUB 2014).

3.1. Ziel: Verbesserung der Wasserqualität

Ziele zur Verbesserung der Wasserqualität sind in verschiedenen Gesetzen und Verordnungen der nationalen Wasserpolitik zu finden. Wie oben bereits erwähnt bildet die WRRL bzw. das WHG den Rahmen. Darin werden folgende Qualitätsziele genannt: es soll ein guter ökologischer und chemischer Zustand der Oberflächengewässer und Küstengewässer sowie ein guter chemischer Zustand des Grundwassers bis 2015 erreicht werden (WHG §29, WHG §47 auf Basis WRRL Art. 4.1). Ziel ist es weiterhin alle signifikanten und anhaltenden Trends ansteigender Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser aufgrund der Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten umzukehren (WHG §47 (1) 2.).

Um die Qualitätsziele zu erreichen werden Umweltqualitätsnormen und Grenzwerte in verschiedenen Richtlinien und Gesetzen⁸ festgelegt. Zur Überprüfung muss die Wassergüte erhoben (Messstellen) sowie Maßnahmenprogramme zur Verbesserung der Gewässerqualität für die einzelnen Flussgebietseinheiten erstellt werden (WRRL Artikel 11, WHG §82). Nachfolgend wird auf als zentral geltende Gesetze und Verordnungen fokussiert. So werden im Abwasserabgabengesetz Schwellenwerte festgelegt, um den Schadstoffeintrag in Gewässer zu reduzieren (AbwAG Anlage zu §3). Des Weiteren sollen industrielle Punktquellen der Verschmutzung der Fließgewässer identifiziert und reduziert werden (AbwV). Die Stoffeinträge durch diffuse Quellen sollen durch die Einhaltung der guten fachlichen Praxis bei der Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln reduziert werden (Düngeverordnung, DüV; zur Zeit der Erarbeitung der Analyse, Dezember 2014, wird eine Novelle vorbereitet). Speziell für Bergbautätigkeiten regelt die Allgemeine Bundesbergverordnung den Umgang mit belastetem Abwasser und Sickerwässern (ABBergV §22a, vgl. auch: Kap. 4.1).

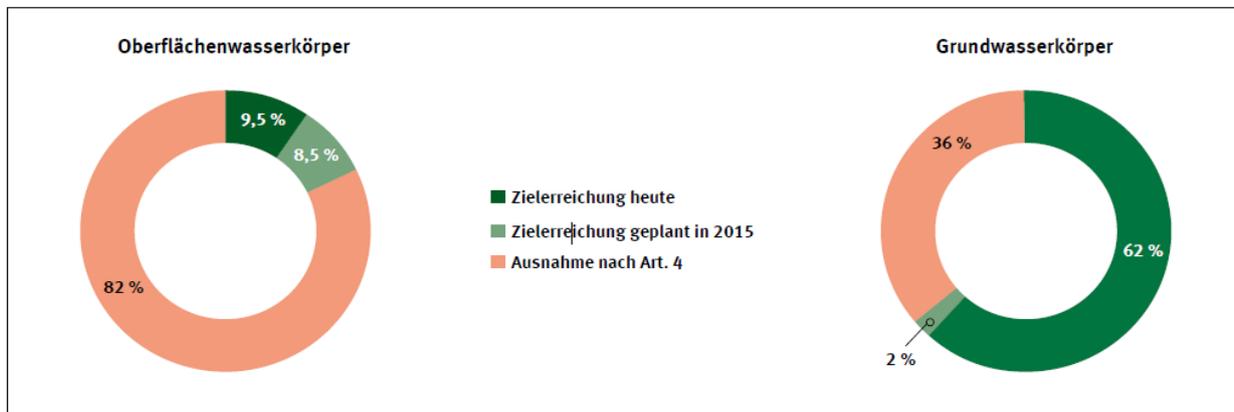
Für Deutschland besteht zur Erreichung der Ziele der EU-WRRL noch Handlungsbedarf (Wissenschaftliche Beiräte für Agrarpolitik (WBA) und für Düngungsfragen (WBD)/SRU 2013; Grüne Liga 2014). Einen guten ökologischen Zustand erreichen derzeit nur 10 Prozent der Oberflächenwasserkörper (Umweltbundesamt 2014c, 42). Für 82 Prozent aller Oberflächenwasserkörper wurden Fristverlängerungen und Ausnahmen⁹ in Anspruch genommen (ebd.), so dass voraussichtlich nur 18 Prozent die Umweltziele erreichen werden (ebd.). Die größten Qualitätsprobleme resultieren nach wie vor aus dem Nährstoffeintrag aus der Landwirtschaft – ein Viertel der Grundwasserkörper verfehlt derzeit den guten chemischen Zustand (*in-stream degradative*) (Umweltbundesamt 2014c, 42) (Kap. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Darüber hinaus sind weitere Verbesserungen

⁸ Z.B. Umweltqualitätsnormen für Nährstoffe und Schadstoffe in Oberflächengewässern (Richtlinie 2008/105/EG Artikel 3, WHG), für flussgebietsspezifische Schadstoffe (OGewV Anlage 5), Grenzwerte für die Ableitung gefährlicher Stoffe (2006/11/EG Artikel 3, WHG), Grenzwerte für die Kanalisation, Indirekteinleitung (Indirekteinleiter-Verordnung IndV auf Basis des WHG § 58) oder die Festlegung von Höchstmengen über die Umweltverträglichkeit von Wasch- und Reinigungsmitteln (WRMG §5) sowie Anforderung an die Entsorgung bergbaulicher Abfälle (ABBergV §22a, Anhänge 5, 6)

⁹ Fristverlängerungen und Ausnahmen können dann in Anspruch genommen werden, wenn Wasserkörper so stark belastet oder tiefgreifend morphologisch verändert sind, dass keine Verbesserung des Zustands in absehbarer Zeit mit verhältnismäßigen Maßnahmen möglich ist. Beispiele hierfür sind die Flussgebiete in den Bergbauregionen (Rhein, Maas, Elbe, Oder) (Umweltbundesamt 2014c, 42).

an der Strukturgüte von Flüssen und Seen vorzunehmen (z.B. Renaturierung), um den in der WRRL vorgeschriebenen guten ökologischen Zustand zu erreichen (Baumgarten u. a. 2011, 64).

Abbildung 2: Zielerreichung bis 2015 und Inanspruchnahme von Ausnahmen in Deutschland



Quelle: (Umweltbundesamt 2014c)

3.1.1. Ansatz: Abwasserbehandlung (Abwasserabgabe)

Die Einleiter von Abwässern müssen eine nach Schädlichkeit des Abwassers gestaffelte Abgabe zahlen.¹⁰ Für Betreiber von Abwasserbehandlungsanlagen, d.h. Kommunen, Abwasserzweckverbände und Industriebetriebe mit eigener Kläranlage, stellt die gestaffelte Abwasserabgabe einen Anreiz dar, Abwasser möglichst effektiv zu reinigen. Gleichzeitig ist die Abgabe zweckgebunden und muss in die Instandhaltung und Verbesserung der Abwassertechnik investiert werden (§13 AbwAG). Die WRRL schreibt die Verpflichtung zur Verwendung der besten verfügbaren Technik zur Abwasserbehandlung (*best available technique*, BAT) vor.

Sowohl für kommunale Abwässer als auch für Industrierwässer sind somit hohe Standards bei der Abwasserbehandlung einzuhalten. In Deutschland werden 98 Prozent der kommunalen Abwassermenge mit dem höchsten EU-Standard behandelt, d.h. dass dabei eine dritte Reinigungsstufe – die biologische Behandlung mit Nährstoffelimination – vorhanden ist (BDEW 2013; Hillenbrand u. a. 2010, 42). Die in der WRRL festgehaltenen und im WHG umgesetzten Ziele zur Qualität der Oberflächengewässer (gutes ökologisches Potenzial, guter chemischer Zustand) bedeuten aber, dass auch in weniger dicht besiedelten Gebieten die Abwasserbehandlung dem Stand der Technik anzupassen ist, beispielsweise durch den Neubau oder die Nachrüstung von Kleinkläranlagen (Hillenbrand et al., 2010: 39). Besonders in schwach besiedelten Gebieten ist ein Trend von zentralisierten hin zu dezentralisierten Abwassersystemen zu beobachten (Sartorius/Hillenbrand 2008). Durch die abnehmende

¹⁰ Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserabgabengesetz - AbwAG, §3 (1)). Die Abwasserabgabe richtet sich nach der Schädlichkeit des Abwassers, die unter Zugrundelegung der oxidierbaren Stoffe, des Phosphors, des Stickstoffs, der organischen Halogenverbindungen, der Metalle Quecksilber, Cadmium, Chrom, Nickel, Blei, Kupfer und ihrer Verbindungen sowie der Giftigkeit des Abwassers gegenüber Fischeiern nach der Anlage zu diesem Gesetz in Schadeinheiten bestimmt wird.

Bevölkerungszahl in manchen ländlichen Gebieten erhöhen sich dort die Kosten für die Abwasserinfrastruktur pro Kopf. Allerdings wird die durch Dezentralisierung der Abwassersysteme erreichbare Kostenentlastung als eher gering eingeschätzt und dies auch nur für Gebiete, in denen das Kanalsystem ohnehin sanierungsbedürftig ist (Schiller 2010, 23). Gespart werden könnte durch eine Dezentralisierung jedoch zusätzliches Trinkwasser, welches häufig für den Transport von menschlichen Exkrementen genutzt wird, wenn das Abwasseraufkommen zu gering ist (De Wever 2010, 253). Im Maßnahmenkatalog der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), der zur Umsetzung der WRRL auf Länderebene dient, ist der Neubau und Umrüstung von Kleinkläranlagen als eine Maßnahme zur Verbesserung der dezentralen Abwasserentsorgung festgeschrieben (LAWA 2013, 2)¹¹.

Weiterer Handlungsbedarf wird in der Anpassung der kommunalen Infrastruktur an die Auswirkungen des Klimawandels, v.a. der Abwasserentsorgung an Starkniederschläge, gesehen („Klimaresiliente Infrastruktur“) (Kurmutz u. a. 2012, 53)¹². Auch hier entsteht somit die Notwendigkeit für Neubau bzw. die Umrüstung bestehender Infrastruktur.

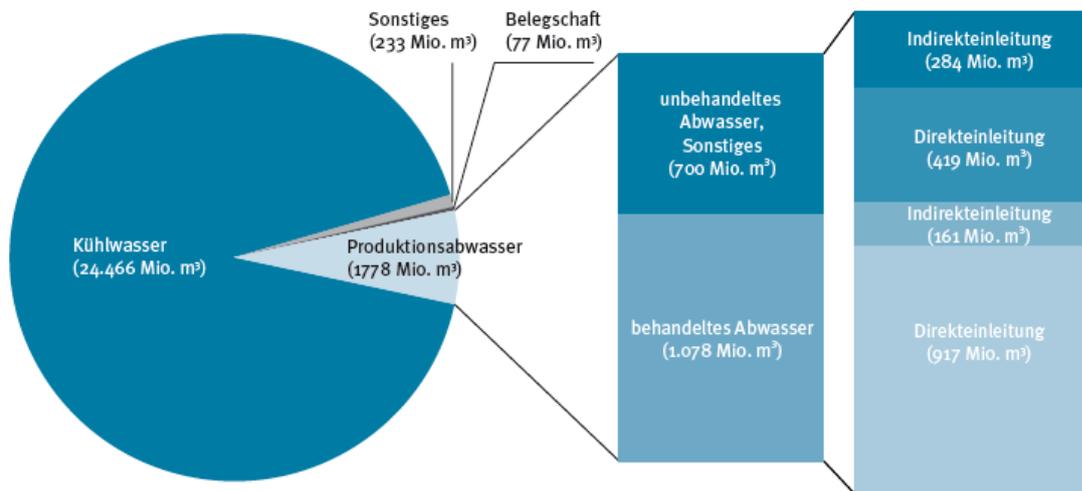
2007 betrug die industriell genutzte Wassermenge in Deutschland mit 26,5 Mrd. m³/a das Sechsfache des häuslichen und gewerblichen Bedarfs von 4,5 Mrd. m³/a. Dabei eingerechnet wird auch Kühlwasser, welches 92 Prozent des verwendeten Süßwassers ausmacht. Kühlwasser wird in der Regel direkt in das Gewässer zurückgeleitet, aus dem es entnommen wurde (*in-stream, degradative Nutzung*, Abbildung 3) (Ante u. a. 2014, 21f) oder verdunstet (*off-stream, konsumtive Nutzung*). Der verbleibende Anteil an Produktionsabwasser (*off-stream degradative Nutzung*) wird zu fast zwei Dritteln in industrieeigenen Anlagen behandelt (behandeltes Abwasser, 1.078 Mio. m³), ehe es zu einem kleinen Teil über die öffentliche Kanalisation (Indirekteinleitung, 161 Mio. m³) oder direkt in die Gewässer (Direkteinleitung, 917 Mio. m³) eingeleitet wird¹³.

¹¹ Im Maßnahmenkatalog beziehen sich die Maßnahmen 1-13 (von insgesamt 100 Maßnahmen, die der WRRL zugeordnet sind) auf den Aus- bzw. Neubau von kommunalen und industriellen Kläranlagen (LAWA 2013)

¹² Vgl. auch die Dokumentation des „Nationaler Dialog Infrastrukturen im Klimawandel“, der vom 28.-29. Januar 2014 im Umweltbundesamt durchgeführt wurde, http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/364/dokumente/nationaler-dialog_2014_infrastrukturen-im-klimawandel_dokumentation.pdf

¹³ Bei der Direkteinleitung müssen sowohl biologische und gefährliche Stoffe abgebaut werden; bei der Indirekteinleitung müssen nur die gefährlichen Stoffe selbst aus dem Abwasser entfernen werden, da die biologisch abbaubaren Stoffe in der kommunalen Kläranlage entfernt werden.

Abbildung 3: Industrieller Gesamtfrischwasserbezug 2007



Quelle: (Ante u. a. 2014, 6)

In der Abwasserverordnung wird der Stand der Technik durch branchenspezifische Mindestanforderungen an die Qualität des Abwassers an der Einleitungsstelle konkretisiert (Anhang, AbwV). Auch für die industrielle Wassernutzung stellen die Anforderungen der WRRL sowie des AbwAG und der AbwV (letztere derzeit in Überarbeitung¹⁴) daher einen Anreiz dar, die Qualität der Abwässer zu verbessern und in neue Abwassertechnologien zu investieren. So ist zum Beispiel bei einigen Metallen, die als prioritär gefährdende Stoffe eingestuft werden (Quecksilber, Blei, Nickel u.a.), mit einer Verschärfung der Grenzwerte auf Grund der Umsetzung der WRRL (sowie der Grundwasserrahmenrichtlinie, GWRL) zu rechnen¹⁵ (Ante u. a. 2014, 21). Es wird prognostiziert, dass in Zukunft vor allem die Rückgewinnung von Wertstoffen und die Wiederverwendung von Wasser an Bedeutung gewinnen wird (ebd: 21f).

Allgemein ergeben sich aus den Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserqualität und des daraus resultierenden Verhaltens in folgenden Bereichen Auswirkungen auf die ProgResS-Rohstoffe:

- Bedarf an Anpassungen bzw. Neubau der Wasseraufbereitungsinfrastruktur;
- Bedarf an Rohstoffen im Prozess der Wasseraufbereitung und der Elimination von Belastungsquellen (einschließlich der Potenziale zur Rückgewinnung von Rohstoffen aus Ab- und Prozesswasser).

¹⁴ „Mit den geplanten Änderungen in den Abwasserverordnungen wird erstmalig der Integrationsansatz durch eine Umweltkompartimentübergreifende Betrachtung der Energieeffizienz und Ressourcenschonung umgesetzt. Dieses Prinzip wird auch in die Prozessabwasserbehandlung übertragen werden.“ (DECHEMA 2014, 8)

¹⁵ Die Verschärfung der Grenzwerte kann u.a. davon kommen, dass die in der GWRL bzw. in deren Umsetzung festgeschriebenen „Schwellenwerte“, z.B. für Blei, von den Mitgliedsstaaten eigenhändig festgelegt werden (im Gegensatz zu „Qualitätsnormen“, bei denen Stoffkonzentrationswerte, z.B. Nitrat und Pestizid-Wirkstoffe, konkret festgelegt wurden). Um die Qualitätsziele zu erreichen, kann es daher sein, dass Anpassungen bei den Schwellenwerten nötig sind.

Für den Bau neuer bzw. die Sanierung und Anpassung bestehender Anlagen werden vor allem Baustoffe benötigt. Insgesamt wird Material auch für die Sanierung der Kanalisation benötigt. So sind 20 Prozent der öffentlichen Kanalisation kurz- bis mittelfristig sanierungsbedürftig, 21,5% müssen langfristig saniert werden (Hillenbrand u. a. 2010, 41).

Eine weitere Wechselwirkung mit den ProgRess-Ressourcen ergibt sich aus dem Prozess der Abwasserreinigung. Zwar werden überwiegend biologische Verfahren für die kommunale und industrielle Abwasserbehandlung genutzt, jedoch müssen immer wieder auch unterschiedlichste Chemikalien eingesetzt werden, um die Fällung, Flockung und Neutralisation von Stoffen zu erreichen (De Wever 2010, 256); dies sind vor allem Eisenerze und Aluminiumsalze, die für die Aufbereitung des Wassers benötigt werden (ebd. S. 256; Bayerisches Landesamt für Umwelt 2013, 2). Quantifizierte Angaben zu den Mengen der in der Abwasserbehandlung genutzten abiotischen Rohstoffe liegen nicht vor.

Eine Synergie mit den Zielen des Gewässerschutzes und der Ressourceneffizienzpolitik liegt in den Verfahren zur Elimination von Nähr- und Rohstoffen. Durch die Wiedergewinnung und Kreislaufführung, z.B. von Phosphat, werden Rohstoffe geschont, da sie als Sekundärrohstoffe wiederverwendet werden können (Hillenbrand u. a. 2010, 114f). Alleine aus dem Recycling des Klärschlammes könnten theoretisch 41 Prozent der Phosphat-Importe (Importmenge 2008/09) substituiert werden (Werland u. a. 2010). Die Einhaltung der Wasserqualitäts-Grenzwerte hat potenziell auch eine schonende Wirkung auf Rohstoffe, da z.B. weniger Mineraldünger aus Rohphosphaten verwendet werden und damit letztlich auch weniger Schwermetalle ausgebracht werden (Werland u. a. 2010, 14).

3.1.2. Ansatz: Vermeidung von diffusen Einträgen

Der Einsatz von nitrat- und phosphathaltigen Düngemitteln stellt eine Hauptquelle von diffusen Stoffeinträgen in Gewässer dar. Die damit verbundene Eutrophierung von Gewässern zählt nach Angaben des Umweltbundesamts zu den wichtigsten Treibern des Biodiversitätsverlusts in Deutschland (Umweltbundesamt 2009b, 2). Das übermäßige Wachstum einzelner nitrophiler Arten kann sich negativ auf die Artenvielfalt in Ökosystemen und damit auf die Biodiversität auswirken. Solche Tier- und Pflanzenarten, die auf nährstoffarme Lebensbedingungen spezialisiert sind, können ihren Lebensraum verlieren und durch andere Arten verdrängt werden (Umweltbundesamt 2009a).

Um die Verschmutzung des Grund- und Oberflächenwassers durch Nitrate aus der Landwirtschaft (*in stream degradative*) zu verhindern, wurde auf EU-Ebene die Nitratrichtlinie (Richtlinie 91/676/EWG) erlassen. Die Richtlinie fordert Regeln der guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft; sie ist in Deutschland in der Düngeverordnung umgesetzt (zur Zeit der Erarbeitung der Analyse, Dezember 2014, Arbeit an der Novelle). Derzeit laufen Vertragsverletzungsverfahren gegen Deutschland, da die vorgeschriebenen Grenzwerte an über der Hälfte der Messstellen nicht eingehalten werden (EU KOM Vertretung in Deutschland 2014). Die Reduktion des Düngemittleinsatzes in der Landwirtschaft stellt eine Synergie mit den Zielen der Ressourceneffizienz dar, da z.B. weniger Phosphor in Mineralischen Düngemitteln genutzt wird (vgl. hierzu auch ausführlicher Kap. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Maßnahmen und Ansätze zur Verbesserung der Wasserqualität und ihre direkte Wirkung auf die stoffliche Nutzung von Rohstoffen

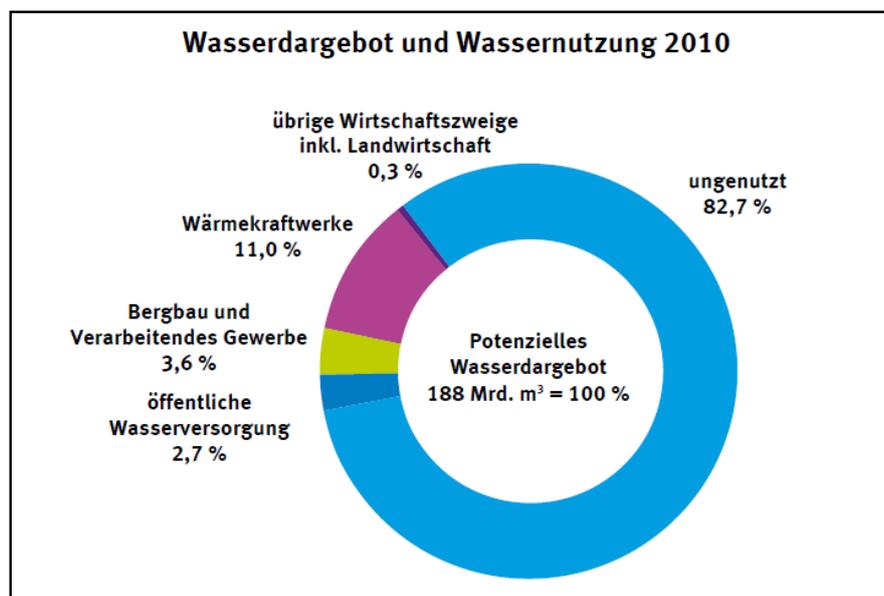
Die Tabelle dient dem Überblick. Sie stellt Tendenzen dar. Die konkreten Wirkungen sind in hohem Maße von regionalen / lokalen Bedingungen abhängig. Grün: tendenziell Synergien; Rot: potentielle Konflikte

| Wirkung auf die Inanspruchnahme von | Wasser | | Massenmetalle (primär) | Bau-mineralien | Industrie-mineralien | Biomasse (stoffl. Nutzung) |
|-------------------------------------|-----------------------|----------|------------------------|----------------|----------------------|----------------------------|
| | Maßnahmen und Ansätze | Qualität | | | | |
| Abwasserbehandlung | Grün | | | Rot | Rot | Grün |
| Vermeidung diffuser Einträge | Grün | | | | Grün | |

3.2. Ziel: nachhaltige Wassermengenbewirtschaftung

Neben der Verbesserung der Wasserqualität ist ein weiterer Aspekt der deutschen Wasserpolitik die Wassermengenbewirtschaftung. Deutschland ist ein wasserreiches Land: Von dem Wasserdargebot, d.h. der Menge an Grund- und Oberflächenwasser, welches potenziell für häusliche und industrielle Zwecke zur Verfügung steht, werden durchschnittlich unter 20 Prozent genutzt – rechnet man das Kühlwasser heraus sind es sogar nur knapp zehn Prozent des potenziellen Wasserdargebots (Umweltbundesamt 2014c, 14f). Zudem ist die Wassernutzung in Deutschland insgesamt sowohl in Privathaushalten als auch in der Industrie rückläufig.

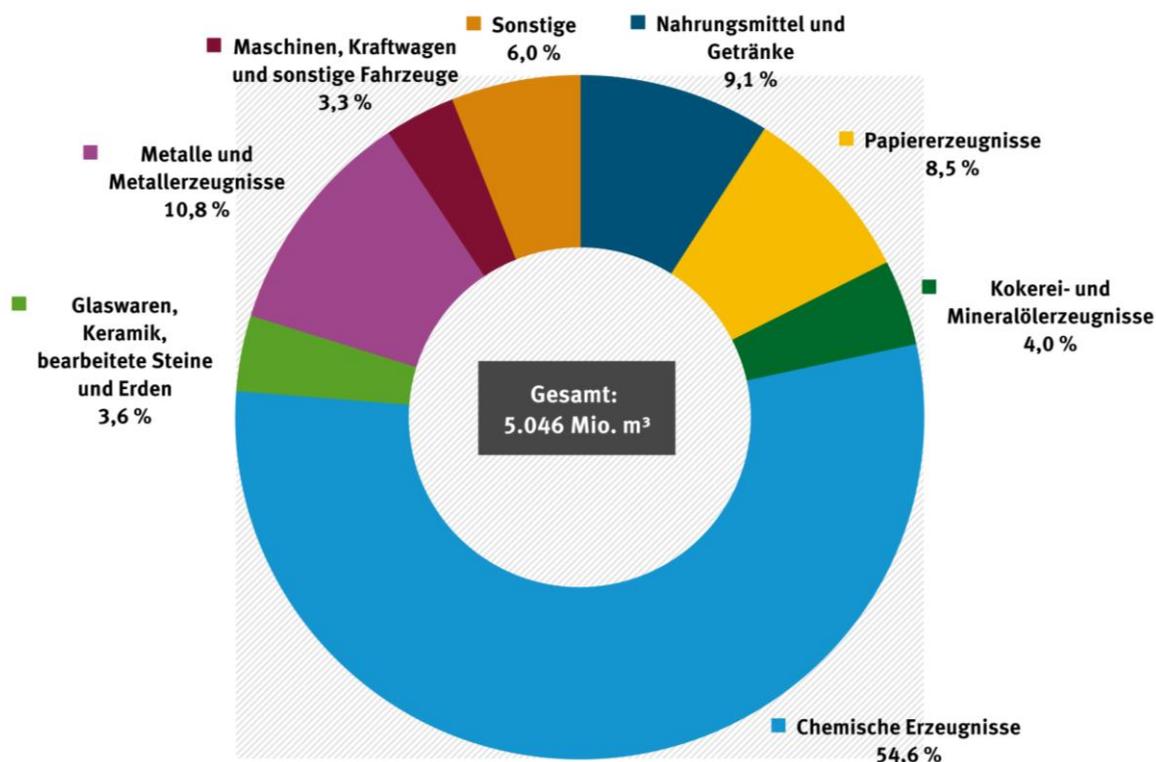
Abbildung 4: Wasserdargebot und Wassernutzung in Deutschland 2010



Quelle: (Umweltbundesamt 2014c, 16)

Im Jahr 2013 entfielen 92 Prozent des Wassereinsatzes auf wirtschaftliche Aktivitäten und acht Prozent auf private Haushalte (Statistisches Bundesamt 2013a, 35). Von den für wirtschaftliche Aktivitäten genutzten Wassermengen wurde über die Hälfte in der Erzeugung von Strom und Gas genutzt, vorwiegend als Kühlwasser (vgl. Abbildung 3). Im verarbeitenden Gewerbe ist die Chemieindustrie für den weitaus größten Anteil an der Wassernutzung verantwortlich.

Abbildung 5: Wassereinsatz im verarbeitenden Gewerbe in Deutschland 2010 nach Sektoren.



Quelle: (Umweltbundesamt 2013)

Nach Angaben des Statistischen Bundesamts hat sich der Wassereinsatz für Produktionszwecke in Deutschland zwischen den Jahren 2000 und 2010 um insgesamt 15,8 Prozent verringert. Die größten Veränderungen gab es mit -25,9 Prozent bei der Chemieindustrie (Statistisches Bundesamt 2013a). Dementsprechend verringerte sich auch die Wasserintensität der deutschen Wirtschaft, d.h. der Wassereinsatz je Bruttowertschöpfung, in vielen Wirtschaftsbereichen im angegebenen Zeitraum. Eine Erhöhung der Wasserintensität war dagegen in den Produktionsbereichen „Papiererzeugnisse“, „Glas, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden“ sowie in der Landwirtschaft zu verzeichnen (Statistisches Bundesamt 2013a).

Ein Ziel der deutschen Wasserpolitik ist es, die Mindestwasserführung der Oberflächengewässer (WHG §33) sicherzustellen sowie ausreichende, dezentrale Niederschlagsversickerung im gesamten Einzugsbereich der Flüsse als Beitrag zur Grundwasserneubildung zu gewährleisten (WHG §55, 2). Insgesamt stellt die Wasserverfügbarkeit in Deutschland nur in wenigen Regionen im Nordosten Deutschlands oder während extremer Trockenphasen ein Problem dar. Allerdings wird darauf verwiesen, dass sich gerade für diese Regionen die Situation durch den Klimawandel verschärfen könne (Bundestagsdrucksache 18/2085 2014).

3.2.1. Ansatz: Kreislaufführung von Prozesswasser in der Industrie

In der Industrie kann Wasser vor allem durch wassersparende Prozesstechniken sowie den Ausbau des Prozesswasserrecyclings effizienter genutzt werden (Ante u. a. 2014, 7; vgl. auch Kapitel 5.?)¹⁶. Dabei ist häufig ein Trennen der Abwässer für ein erfolgreiches Wasserrecycling nötig. Da das produktionsintegrierte Abwasserrecycling noch nicht flächendeckend eingesetzt wird (Ante u. a. 2014, 8), ist auch hier mit notwendigen Anpassungen der betrieblichen Infrastrukturen zu rechnen. Diese Maßnahmen dienen häufig sowohl der Verbesserung der Wasserqualität als auch der Einsparung von Wasser (vgl. Kap. 0). Durch die Barroso-Kommission wurde Mitte des Jahres 2014 eine öffentliche Konsultation zur Förderung des Wasserrecyclings initiiert, wobei es neben industriellen Prozessen vor allem auch um die Nutzung von aufbereitetem Abwasser in der Landwirtschaft ging. Ein Vorschlag sollte erst 2015 unterbreitet werden (EU KOM 2014)¹⁷. Wie die neue EU Kommission dieses Thema weiterverfolgt, ist derzeit (Stand: Dezember 2014) noch offen.

Auch hier besteht die Auswirkung der Wasserpolitik zur nachhaltigen Mengenbewirtschaftung vor allem im Bereich des Materialbedarfs für neue wassersparende Produktionsanlagen oder innerbetriebliche Anlagen zu Wasseraufbereitung (Ante u. a. 2014, 8). Die Wirkung auf Rohstoffe erfolgt hier in zwei Richtungen: zum einen werden Baustoffe und Metalle benötigt, um solche Anlagen zu bauen, die die Kreislaufführung von Abwässern beinhalten. Zum anderen kann das Wasserrecycling auch eine senkende Wirkung auf die Nachfrage nach Rohstoffe haben, da auch die Kreislaufführung von Prozesswasser verstärkt mit der Rückgewinnung von z.B. Metallen – wie oben dargestellt – kombiniert werden kann (Ante u. a. 2014).

3.2.2. Instrument: kostendeckende Wasserpreise / Wasserentnahmeentgelt

Ein Instrument, das auf eine effiziente Nutzung der Wasserressourcen sowie auf die Generierung von Finanzmitteln für den Gewässerschutz zielt, ist die vorgeschriebene Abgabe zur Deckung der Kosten der Wasserdienstleistungen (WRRL, Art. 9)¹⁸. Die Bundesländer sind aber frei, Wasserentnahmeentgelte für Industrien zu erheben (genutzt wird dies derzeit von 13 Bundesländern; Ausnahme: Bayern, Hessen und

¹⁶ Positive Beispiele sind Trends zur weiteren Kreislaufschließung und zur komplett abwasserfreien Produktion (sog. Zero Liquid Discharge, z. B. Trockenlackierung, Papierindustrie) (Ante u. a. 2014).

¹⁷ Die Konsultation lief von Juli bis November 2014. Es wurde nach geeigneten Instrumenten für Wasserrecycling gefragt. Grund für die derzeit häufig unzureichende Nutzung von aufbereitetem Abwasser ist das Fehlen EU-einheitlicher Umwelt- und Gesundheitsstandards für die mit wiederverwendetem Wasser erzeugten landwirtschaftlichen Produkte, was zu Hindernissen für deren freien Verkehr führen kann (EU KOM 2014).

¹⁸ Bis vor kurzem strittig war zwischen einigen Mitgliedsstaaten – darunter Deutschland – und der EU Kommission die Interpretation der Definition dessen, was Wasserdienstleistungen bedeutet. Die WRRL verlangt, dass das Kostendeckungsprinzip auch auf z.B. Kühlwasser oder die Wasserentnahmen im Zuge von Bergbau und Energieerzeugung angewandt wird (*in-stream degradative use*) (Bender 2014). Deutschland zählt unter Wasserdienstleistungen jedoch lediglich die Trinkwasseraufbereitung und Abwasserentsorgung (*off-stream consumptive und degradative use*). Hierzu liefen Vertragsverletzungsverfahren (UBA 2014; DNR EU Koordination 2011; Grüne Liga 2011)¹⁸, wobei das Gericht im September 2014 die Klage zu Gunsten Deutschlands abgewiesen hat.

Thüringen) (Umweltbundesamt 2014c, 39). Dabei variieren die Preise und auch die Industrien, die für die Wasserentnahme zahlen müssen. Einige Bundesländer erheben neben der Abgabe für Wasserentnahme (*off-stream, konsumtive und degradative Nutzung*) weitere Abgaben und Zahlungen auch für andere Arten der Wasserinanspruchnahme (vgl. Kap. 2), z.B. Schifffahrtsabgaben oder Wassernutzungsentgelt für Wasserkraftanlagen (potentiell: *in-stream, degradative Nutzung*) (Grüne Liga 2011, 8).

Ob die Wasserentnahmeentgelte auch tatsächlich (oder zu welchem Anteil) den Verbrauch von Wasser reduzieren (Lenkungswirkung) ist umstritten (kritisch hierzu: Reimer 2013; Neumüller 2000). Zwar kam es seit der Einführung des Instruments zu einem Rückgang des Trinkwasserverbrauchs, jedoch gilt dies auch für Bundesländer, die keine Entnahmeentgelte eingeführt haben (Reimer 2013). Allerdings gilt auch hier, dass von den Einnahmen durch die Entgelte häufig Maßnahmen des Gewässerschutzes finanziert werden (wenn auch im Unterschied zum Abwasserabgabengesetz nicht verpflichtend; einige Länder schreiben eine Zweckbindung dennoch verpflichtend vor) (Umweltbundesamt 2014d, 39). In sieben Bundesländern wird eine zweckgebundene Nutzung des Wasserentnahmeentgeltes vorgesehen: Dort wird die Einnahme in vollem Umfang dazu verwendet, ökologische Maßnahmen zu finanzieren, die sich vorrangig auf den Schutz und die Sanierung von Oberflächen- und Grundwässern, den sparsamen Umgang mit Wasser sowie die Sicherung der öffentlichen Trinkwasserversorgung konzentrieren. Diese Maßnahmen führten langfristig zu größeren Einspareffekten im Wasserverbrauch, als die Abgabe selbst (Neumüller 2000).

Laut Stiefel nutzen Betriebe u.a. vor dem Hintergrund der Wasserentnahmeentgelte zunehmend Regenwasser, um Kosten zu sparen¹⁹ (Stiefel 2014, 125). Für die Regenwassernutzung in Industriebetrieben sind Speicherkapazitäten nötig²⁰. Für den Bau dieser werden wiederum Materialien benötigt – gleichzeitig führen sie zu Synergien mit den notwendigen Regenrückhaltebecken um Hochwassersituationen abzumildern und vor allem kurzfristige Überlastungen der Kanalisation zu vermeiden (ebd. 135) (siehe Kap. 3.3 Hochwasserschutz).

3.2.3. Ansatz: Nutzung des Indikators Wasserfußabdruck (global)

Um die tatsächlichen Wassernutzung der Bevölkerung eines Landes zu berechnen, wird neben dem Wasser für Haushalte, Gewerbe und Industrie auch das in Produkten enthalten Wasser gezählt (sog. Gesamt-Wasserfußabdruck oder virtuelles Wasser) (Hoeckstra 2013). Wie bereits angesprochen importiert Deutschland etwa die Hälfte seines Gesamtwasser-Fußabdrucks in Form von Produkten aus

¹⁹ Die Bundesregierung spricht sich für eine Nutzung von Grauwasser im gewerblichen und industriellen Bereich aus; als Betriebswasser im Haushalt wird aus hygienischen Gründen abgeraten. Eine Schaffung von Anreizen zur stärkeren Nutzung von Grauwasser in Haushalten oder die Nutzung von Regenwasser ist derzeit nicht vorgesehen (Bundestagsdrucksache 17/8675 2012, 5).

²⁰ Im WHG ist geregelt, dass Regenwasser nicht mit Schmutzwasser vermischt werden darf. Es wird eine ortsnahe Bewirtschaftung des Niederschlags gefordert. Eine Rechtsverordnung ist in Vorbereitung. Künftig sollen bei der Oberflächenentwässerung maximal 10 Prozent von der natürlichen Entwässerungssituation, wie sie vor der Bebauung war, abgewichen werden (Stiefel, 2014: 128).

dem Ausland (WWF 2009). Dieses virtuelle Wasser (auch indirektes Wasser), das in Produkte und Dienstleistungen bei der Herstellung eingeflossen ist, stammt teils aus wasserarmen Regionen, die eigene Wasserressourcen damit übernutzen (Deutsche Bundesregierung 2012a, 10). Nimmt man die Verflechtung der Wirtschaft durch Import- und Export von Gütern und das damit verbundene virtuelle Wasser in den Blick, wird deutlich, dass Deutschland auch für die mit Wasserknappheit verbundenen ökologischen Probleme in anderen Weltregionen mitverantwortlich ist.

Der Wasserfußabdruck (WFA) ist ein Analysewerkzeug, um die Wasserinanspruchnahme von Produkten im Ausland zu bewerten.²¹ Das Statistische Bundesamt hat den Wasserfußabdruck (WFA) Deutschlands für importierte Agrarerzeugnisse sowie Textilien aufgeschlüsselt (Mayer u. a. 2014). Der WFA der importierten Agrarerzeugnisse betrug 2010 mehr als das Doppelte der inländischen Erzeugung von Agrarprodukten (ebd.: S. 100); für Textilien und Bekleidung aus Baumwolle beträgt das importierte Wasser (als Nettoimport, d.h. Inlandsverbrauch) mehr als die doppelte Menge des von den privaten Haushalten genutzten direkten Wassers aus der öffentlichen Wasserversorgung (ebd.: S. 100). Bei der Analyse der Verlagerung der Wasserinanspruchnahme ins Ausland ist es sinnvoll, zwischen blauem, grünem und grauem Wasser zu unterscheiden:

- blaues Wasser meint Bewässerungswasser, welches aus Grund- und Fließgewässern zur Herstellung eines Produktes oder zur Bewässerung entnommen wird und nicht mehr in ein Gewässer zurück geführt wird;
- das so genannte grüne Wasser meint das natürlich vorkommende Boden- und Niederschlagswasser. Aus Knappheitsgesichtspunkten ist daher der blaue Fußabdruck ‚kritischer‘ als der grüne Fußabdruck, da das Wasser dem lokalen Wasserhaushalt entzogen wird und anderen Nutzungen nur noch eingeschränkt zur Verfügung steht (*off-stream konsumtive Nutzung*) (Mayer u. a. 2014, 114)²². Beispielsweise kann es durch eine übermäßige Wasserentnahme zu Einschränkungen der Reinigungskapazität von Gewässern, dem Absenken des Grundwasserspiegels oder sogar zur Austrocknung von Gewässern kommen; das bekannteste Beispiel ist die Austrocknung des Aralsees, dessen Zuflüssen Wasser zu Bewässerungszwecken entnommen wird (*degradative Nutzung*).
- Als graues Wasser wird ein hypothetisches Konzept bezeichnet, das die Menge an Wasser beschreibt, die benötigt wird, um Verschmutzungen wieder so weit zu verdünnen, dass sie für die Umwelt unschädlich sind (ebd.: p. 114). Graues Wasser kann somit als Indikator für die Verschmutzung des Wassers angesehen werden (Flachmann u. a. 2012, 7).

Während bei den Agrarprodukten nur fünf Prozent der Importe Deutschlands auf blaues Wasser entfallen (da vor allem Früchte und Nüsse) und die wichtigsten Exportländer Spanien, Frankreich, die

²¹ Bei der Bewertung dieser Maßnahme wird unterstellt, dass die Nutzung des WFA zu einer Verringerung der Nachfrage nach Produkten mit einem hohen WFA führt.

²² Vgl. auch UBA-Website zum Wasserfußabdruck: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/wasserbewirtschaften/wasserfussabdruck>

USA und Italien sind²³, sind es bei Textilien mit 4.622 Mill. m³ blaues Wasser weit mehr als das Volumen des gesamten in deutschen Haushalten genutzten Wassers (Mayer u. a. 2014, 110). Obwohl die Importmenge für unverarbeitete Baumwolle mit 47.000 t nur sehr gering ist (Rang 23 in der Liste der importierten Agrarprodukte), sind die damit verbundenen indirekten Wasserimporte mit 462 Mio. m³ quantitativ bedeutend (dritter Rang, nach Früchte&Nüsse und Zucker&Zuckerwaren, ebd. S. 102). Beim Baumwollanbau werden große Mengen an Pestiziden sowie Stickstoff-, Phosphat- und Kaliumdüngern eingesetzt, weshalb hier auch das graue Wasser zu berücksichtigen ist (*in-stream degradative*). Baumwollanbau hat einen hohen grauen Fußabdruck, d.h. theoretisch sind große Mengen an Wasser nötig, um die eingesetzten Düngemittel und Pestizide auf ein umweltverträgliches Niveau zu verdünnen (ebd.: S. 114). Für die deutschen Baumwollimporte sind der Studie von Mayer et al. zufolge vor allem Indien, die Türkei und Usbekistan relevant, wobei besonders die beiden letztgenannten Ländern nur sehr geringe Niederschlagsmengen aufweisen und von daher ein hoher Bedarf an Bewässerung besteht. Fast 30 Prozent des blauen Wasserbedarfs werden in beiden Ländern je für die Baumwollerzeugung genutzt (ebd.: S. 115).

Es gibt in der nationalen Wasserpolitik kein Ziel, welches dieses Thema der nachhaltigen Bewirtschaftung des WFA adressiert. Allerdings gibt es auf internationaler Ebene im Rahmen der MDGs und SDGs Ziele für eine nachhaltige globale Wassernutzung, zum Beispiel den Zugang zu Trinkwasser und sanitäre Anlagen weltweit zu verbessern. Das Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) verweist im Sektorkonzept Wasser darauf, dass durch den Export von virtuellem Wasser in Industrieländer, diese ein zusätzliches – auch ideelles – Interesse an einer nachhaltigen Wasserressourcenmanagement in den Herkunftsländern haben und dieses für die entsprechenden Produkte unterstützen sollten (BMZ, 2006: 27). Theoretisch könnte der Wasserfußabdrucks als Analyseinstrument genutzt werden, um gezielt Maßnahmen einzuführen, die eine Übernutzung der Wasserressourcen verhindern (z.B. die Anpassung von Anbaumethoden bzw. der Wirtschaftsstruktur, so dass daraus keine negativen Auswirkungen auf die Wasserressourcen des Exportlandes resultieren). In ProgRess wird das Instrument der bilateralen Handelsabkommen erwähnt (Deutsche Bundesregierung 2012a, 10), jedoch gibt es hierzu keine konkreten Maßnahmen.

Da der Wasserfußabdruck bislang nur als reines Analyseinstrument dient, um die Nutzung von Wasserressourcen (blauem Wasser) für die der Herstellung von Exportgütern abzubilden, hat er keine direkten quantitativen Auswirkungen auf die Nutzung von Rohstoffen.

Als freiwilliges Instrument wird er teilweise bereits von Unternehmen angewandt, um die durch Wasserknappheit entstehenden Risiken für die Prozesskette zu analysieren (WWF und SABMiller 2009, vgl. auch Website WWF, ‚Corporate Partnerships‘; WWF 2010b). Mit dem Wasserfußabdruck kann der Wasserbedarf, die Wasserverfügbarkeit und die damit verbundenen Risiken unter weltweit unterschiedlichen Bedingungen beurteilt werden (Ante u. a. 2014, 8). Das finnische Unternehmen Raisio

²³ Etwa die Hälfte der Importe von blauem Wasser für pflanzliche Erzeugnisse im Jahr 2010 stammt aus den EU27-Staaten, 20 % aus Asien und 16 % vom amerikanischen Kontinent.

ist das erste Unternehmen, das seine Cornflakes mit einem Wasserfußabdruck-Siegel kennzeichnet (Website Raisio²⁴). Auch die DEHEMA rät den Unternehmen, sich des Instruments des Wasserfußabdrucks zu bedienen; dabei solle für die Einordnung vor allem auch die regionale Verfügbarkeit des genutzten Wassers berücksichtigt werden (vgl. auch Ante u. a. 2014, 15).

Eine Maßnahme, die zumindest den grauen WFA beispielsweise des Baumwollanbaus reduzieren könnte, ist der ökologische oder biologische Anbau. Indem auf chemische Dünger und Pestizide verzichtet wird, reduziert sich die benötigte Menge an Verdünnungswasser, um negative Auswirkungen auf die Gewässerqualität zu vermeiden (Mayer u. a. 2014, 114). Dies hätte dann auch synergetische Effekte mit dem Ziel der Ressourceneffizienz, da weniger Düngemittel eingesetzt würden. Allerdings macht der Anteil der Biobaumwolle bislang lediglich 1,1 Prozent der weltweiten Baumwollproduktion aus (Saison 2009/2010) (ebd.)²⁵.

| Maßnahmen und Ansätze zur nachhaltigen Wassermengenbewirtschaftung und ihre <i>direkte</i> Wirkung auf die stoffliche Nutzung von Rohstoffen | | | | | | |
|--|----------|-----------|-------------------------|----------------|----------------------|----------------------------|
| Die Tabelle dient dem Überblick. Sie stellt Tendenzen dar. Die konkreten Wirkungen sind in hohem Maße von regionalen / lokalen Bedingungen abhängig. Grün: tendenziell Synergien; Rot: potentielle Konflikte | | | | | | |
| Wirkung auf die Inanspruchnahme von | Wasser | | Massenmetallen (primär) | Bau-mineralien | Industrie-mineralien | Biomasse (stoffl. Nutzung) |
| | Qualität | Quantität | | | | |
| Maßnahmen und Ansätze | | | | | | |
| Kreislaufführung von Prozesswasser | Grün | Grün | Grün | Rot | Grün | |
| Kostendeckende Wasserpreise | Grün | Grün | | | | |
| Nutzung des Indikators Wasserfußabdruck | Grün | Grün | | | Grün | |

²⁴ <http://www.raisio.com/www/page/4397>

²⁵ Hier kann nur darauf verwiesen werden, dass bei allen Maßnahmen des WFA die Sicherstellung des Rechts auf wirtschaftliche Entwicklung der Produzentenländer berücksichtigt werden sollte. Das bedeutet, dass Produktionsprozesse nicht lediglich eingestellt werden dürfen, um einen niedrigeren WFA zu erhalten, weil dies ggf. zu Arbeitsplatzverlusten bei der lokalen Bevölkerung nach sich ziehen kann.

3.3. Ziel: Hochwasserschutz

Hochwasser beispielsweise in Auengebieten ist ein natürlicher Vorgang und zentral für die Gewässerökologie (Mehl u. a. 2013). Das WHG enthält auch Vorschriften zum vorbeugenden Hochwasserschutz (WHG §72f). Es schreibt die Koordination von Hochwasserschutzmaßnahmen mit den Umweltzielen der WRRL vor (§80 WHG). Insgesamt ist es Ziel des Hochwasserschutzes Niederschläge ortsnah zurückzuhalten und versickern zu lassen, die Bodenverdichtung und -versiegelung zu begrenzen, natürliche Überschwemmungsgebiete von Bebauung freizuhalten oder zurückzugewinnen sowie Schadensrisiken zu vermeiden (BMUB 2013).

Maßnahmen des Hochwasserschutzes werden seit der 53. Umweltministerkonferenz 1999 in einem Drei-Säulen-Modell zusammengefasst (Umweltministerkonferenz, 1999; TOP9; vgl. auch Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Sachsen-Anhalt, 2014): Stärkung der natürlichen Wasserrückhaltung der Fläche, technischer Hochwasserschutz und Hochwasservorsorge.

2013 wurde vor dem Hintergrund der Eindrücke des Hochwassers im selben Jahr beschlossen, ein Nationales Hochwasserschutzprogramm zu erarbeiten (Umweltministerkonferenz, 2013: 4). Dieses wurde im Oktober 2014 auf der Umweltministerkonferenz beschlossen (LAWA 2014a). Es beinhaltet eine bundesweite Aufstellung vordringlicher Maßnahmen für den Hochwasserschutz, darunter insgesamt 29 Projekte in den Ländern zu Deichrückverlegungen, 57 Projekte zur gesteuerten Hochwasserrückhaltung (z.B. Flutpolder) sowie Maßnahmen zur Beseitigung von Schwachstellen (insgesamt 16 Projekte) (LAWA 2014b).

3.3.1. Maßnahmen: Stärkung der natürlichen Wasserrückhaltung der Fläche, technischer Hochwasserschutz und Hochwasservorsorge

Maßnahmen zur Erhöhung des natürlichen Rückhalts sind z.B. Flussrenaturierung, Deichrückverlegung oder Auenvernetzung (LAWA, 2013: 14ff). Auch von der Sonderumweltministerkonferenz, die nach dem Juni-Hochwasser 2014 tagte, wurde die Notwendigkeit, den Flüssen durch solche Maßnahmen wieder mehr Raum zu geben, betont (Umweltministerkonferenz, 2013: 2). Flussauen gehören z.B. zu den Hotspots der Artenvielfalt in Deutschland, Überschwemmungsflächen bieten wertvolle Lebensräume für die aquatische Fauna und üben eine Filterwirkung für das Grundwasser aus (Mehl u. a. 2013).

Zum technischen Hochwasserschutz können Errichtungen oder Erhöhungen von Dämmen, Deichen oder Hochwasserschutzmauern, Hochwasserrückhaltebecken und Talsperren sowie die Einrichtung von Poldern²⁶ verstanden werden (LAWA, 2013: 14ff; vgl. auch Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 2011). Nach dem Koalitionsvertrag (Seite 120) sollen für den Bau von Hochwasserschutzanlagen die Möglichkeiten für beschleunigte Planungs- und Genehmigungsverfahren ausgeschöpft werden (Bundestagsdrucksache 18/938 2014, 3). Hier bestehen potenziell Synergien mit der Regenwassernutzung von Betrieben, die dies zunehmend einführen, um Kosten für Wasser etc. zu

²⁶ Retentionsgebiet, das bei Flusshochwassern geflutet werden kann.

sparen (vgl. 3.2.2). Bayern ist beispielsweise für die Instandsetzung und Unterhaltung von rund 1.380 km Flussschleusen und rund 50 km Hochwasserschutzwände an größeren Gewässern zuständig, wobei die meisten von ihnen den heutigen Anforderungen an Deichaufbau nicht genügen und Sanierungsarbeiten nötig sind (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014)²⁷. In Sachsen-Anhalt wurden beispielsweise bis Ende 2009 ca. 480 km Deichneubau erreicht (Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Sachsen-Anhalt 2014a). In den Anliegerländern der Elbe wurden seit 1990 insgesamt über 50 Rückdeichungsvorhaben vorgenommen, so dass bei einer Realisierung aller Vorhaben rund 23.250 ha reaktiviert werden könnten (Kuhlicke u. a. 2013). Dies würde eine Zunahme der aktuellen Überschwemmungsflächen von knapp 30 Prozent bedeuten. Durch Deichrückverlegungen, Verhinderung von Flächenversiegelung etc. werden diese Hotspots geschützt und es können Synergiepotenziale mit den Zielen des Naturschutzes geschaffen werden (Umweltministerkonferenz, 2013: 2; Grüne Liga, 2014: 4). Aus Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes, zum Beispiel für Deichsanierungen und -neubauten oder Verstärkungsmaßnahmen kann eine zusätzliche Nachfrage nach Baustoffen resultieren.

Die weitergehende Vorsorge umfasst Maßnahmen der Flächenvorsorge, Bauvorsorge, Verhaltensvorsorge sowie Risikovorsorge. So sind Überschwemmungsgebiete auszuweisen und Notfall- und Katastrophenplänen aufzustellen (LAWA 2013, 14ff). Für die sogenannten Risikogebiete, d.h. Gebiete mit signifikantem Hochwasserrisiko, sind Gefahren- und Risikokarten zu erstellen (§ 74 Absatz 2 WHG). In Überschwemmungsgebieten bestehen Einschränkungen bei der Bebauung sowie ein Verbot des Aufbringens und Ablagerns von wassergefährdenden Stoffen auf dem Boden (§ 78 Abs. 1 WHG).

Darüber hinaus sind Maßnahmen für den privaten Hochwasserschutz zu erwähnen, wie hochwasserangepasstes Planen, Bauen und Sanieren sowie zumindest die Prüfung von Umsiedlungsstrategien in Überschwemmungsgebieten (LAWA 2013; Umweltministerkonferenz 2013)

Maßnahmen und Instrumente zum Hochwasserschutz und ihre direkte Wirkung auf die stoffliche Nutzung von Rohstoffen

Die Tabelle dient dem Überblick. Sie stellt Tendenzen dar. Die konkreten Wirkungen sind in hohem Maße von regionalen / lokalen Bedingungen abhängig. Grün: tendenziell Synergien; Rot: potentielle Konflikte

| Wirkung auf die Inanspruchnahme von | Wasser | | Massenmetallen (primär) | Bau-mineralien | Industrie-mineralien | Biomasse (stoffl. Nutzung) |
|-------------------------------------|----------|-----------|-------------------------|----------------|----------------------|----------------------------|
| | Qualität | Quantität | | | | |
| Maßnahmen und Ansätze | | | | | | |

²⁷ Laut einem Bericht der Süddeutschen Zeitung wurden seit 2001 Deiche auf 420 Kilometer saniert und rund 760 Kilometer Gewässerstreifen renaturiert (<http://www.sueddeutsche.de/bayern/hochwasserschutz-in-bayern-nach-der-katastrophe-ist-vor-der-katastrophe-1.1687176>, 3. Juni 2013).

| | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|
| Stärkung der natürlichen Wasserrückhaltung der Fläche | | | | | | |
| Technischer Hochwasserschutz | | | | | | |
| Nutzung des Indikators Wasserfußabdruck ²⁸ | | | | | | |

3.4. Zwischenfazit Kapitel 3: Auswirkungen der Wasserpolitik auf die stoffliche Nutzung von Rohstoffen

Die Analyse der Wechselwirkungen aus der Perspektive der Wasserpolitik (Frage: welche Auswirkungen haben die dort verankerten Maßnahmen auf die stoffliche Nutzung von Rohstoffen) zeigt, dass sich Auswirkungen auf ProgRes-Rohstoffe vor allem über Infrastrukturanpassungen ergeben.

Sowohl zur Verbesserung der Wasserqualität (Einhaltung von Umweltqualitätsnormen und Grenzwerten) als auch zur nachhaltigen Wassermengenbewirtschaftung (Kreislaufführung von Prozesswasser in der Industrie, Dezentralisierung der Abwassersysteme) sind Modernisierungen bzw. der Neubau von Anlagen und Infrastruktur nötig – womit vor allem ein potenziell erhöhter Bedarf an Baustoffen einhergeht. Auch der Hochwasserschutz, da vor allem der technische Hochwasserschutz, bedeutet einen erhöhten Materialaufwand.

Gleichzeitig bergen die Verbesserungen bspw. bei der Kreislaufführung von Wasser aber auch ein erhöhtes Potenzial zur Rückgewinnung von Rohstoffen im Sinne eines Stoffrecyclings – was wiederum der Einsparung von Primärmaterialien²⁹ dient.

Mit den anderen natürlichen Ressourcen können bei den direkten Effekten ausschließlich Synergien mit den Zielen und Maßnahmen der Wasserpolitik festgestellt werden. So führen eine verbesserte Wasserqualität, ein nachhaltiges Wassermanagement (vor allem auch auf globaler Ebene) sowie die Maßnahmen zum Hochwasserschutz wie Renaturierung etc. zur Schonung von Boden, Fläche und Biodiversität.

²⁸ Hier wird unterstellt, dass die Nutzung des Indikators zu einer Verhaltensänderung, z.B. den Kauf weniger wasserintensiver Produkte führt.

²⁹ Primärrohstoffe sind Materialien, die durch Entnahme aus der Natur gewonnen werden. Hingegen werden Sekundärrohstoffe aus Abfällen oder Produktionsrückständen gewonnen (Umweltbundesamt 2012)

4. Auswirkungen der Ressourceneffizienzpolitik auf die Inanspruchnahme von Wasser

Spiegelbildlich zum vorangegangenen Kapitel bildet im folgenden Kapitel die Frage den Ausgangspunkt, welche Auswirkungen die verschiedenen in ProgRes aufgeführten Ansätze zur Steigerung der Ressourceneffizienz auf die Inanspruchnahme von Wasser haben. Der Begriff Wasserinanspruchnahme umfasst – wie in Kapitel 2 dargestellt – sowohl die Nutzung von Wasser für häusliche und Produktionszwecke als auch Effekte auf den ökologischen Zustand der Gewässer (Wasser als Senke, *degradative Wassernutzung*)

Die absolute Verringerung der Rohstoffnutzung und der damit einhergehenden Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und die Gesundheit von Menschen ist ein zentrales Ziel der Ressourceneffizienzpolitik (Jacob u. a. 2013; Deutsche Bundesregierung 2012b, 2012a). Mit der Nutzung von Rohstoffen sind in der Regel negative Auswirkungen auf Energieträger und die Ressourcen Wasser, Boden, Fläche, Biodiversität und Atmosphäre verbunden. Insgesamt gilt: Wird weniger Primärmaterial genutzt oder wird Primärmaterial durch Sekundärmaterial ersetzt, verringern sich die Wasserinanspruchnahme und damit auch die ökologischen Folgeeffekte. Die im Folgenden beschriebenen positiven Wirkungen von Materialeinsparungen auf die Ressource Wasser gelten jedoch nur, wenn auch die Nachfrage nach Rohstoffen zurückgeht oder durch die Kreislaufführung von Material gesenkt wird. Sofern vermehrt biotische Rohstoffe für Substitutionszwecke genutzt werden und dadurch die Nachfrage nach Biomasse steigt, kann es durchaus zu negativen Effekten auf die Verfügbarkeit und Qualität von Wasser (und anderen Ressourcen) kommen.

Bei der Wassernutzung ist jedoch nicht die absolute Menge relevant; vielmehr bestimmt das Verhältnis von lokalem Wasserdargebot zur Wasserinanspruchnahme vor Ort die ökologischen und sozialen Folgewirkungen (Pfister u. a. 2009). Die Wasserinanspruchnahme in Gebieten mit einem ausreichenden Angebot ist anders zu bewerten als die Wasserinanspruchnahme in Regionen, in denen Wasser knapp ist. Deshalb sind nicht nur internationale, sondern selbst regionale Verlagerungseffekte bei der Rohstoffgewinnung für die Folgewirkungen auf die Wasserinanspruchnahme relevant.

Im Folgenden werden vier zentrale Ansätze einer Ressourceneffizienzpolitik (vgl. Deutsche Bundesregierung 2012a) hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Wasserinanspruchnahme untersucht: Neben dem Ziel die den Rohstoffverbrauch und die Umweltauswirkungen aus der Rohstoffgewinnung zu vermeiden sind dies Effizienzverbesserungen in der Produktion (inklusive ressourceneffizienter Produkte und Dienstleistungen), die Förderung eines ressourcenleichten Konsums sowie der Ausbau der Abfall- und Kreislaufwirtschaft.

4.1. Ziel: Reduktion des Rohstoffverbrauchs

Die Gewinnung abiotischer Rohstoffe ist mit Eingriffen in die Umwelt verbunden. In diesem Kapitel werden die Effekte der Rohstoffgewinnung auf die Inanspruchnahme von Wasser diskutiert. Da es sich bei der Reduktion des Rohstoffverbrauchs um ein Kernziel der Ressourcen- und Nachhaltigkeitspolitik³⁰ handelt, auf die sich alle ressourcenpolitischen Ansätze beziehen, werden hier keine spezifischen Instrumente diskutiert.

Die Gewinnung von Rohstoffen ist in der Regel mit Flächeninanspruchnahme, Veränderungen des Bodengefüges und in Folge mit dem Verlust der Filterfunktion des Bodens für die Grundwasserbildung verbunden. Zudem sind für Abbauvorhaben häufig auch Eingriffe in Grundwasserkörper nötig. Daraus ergeben sich primär Auswirkungen auf die Qualität von Gewässern (*off-stream degradative Nutzung*). Bei der Aufbereitung vor allem von Erzen werden wassergefährdende Stoffe eingesetzt, die in Gewässer gelangen können. Im **Inland** ist vor allem die Gewinnung von Baumineralien von Bedeutung (vgl. Abbildung 6). Bei deren Abbau werden Bodenschichten abgetragen und das Bodengefüge verändert, so dass die Filterfunktion des Bodens für das Grundwasser beeinträchtigt wird (Peckenham u. a. 2008, 1105). Kiese und Schotter sind häufig Grundwasserleiter. In diesen Fällen muss während des Abbaus der Grundwasserspiegel abgesenkt werden. Auch im Braunkohletagebau sind weiträumige Absenkungen des Grundwasserspiegels die Regel. Durch diese Sümpfungen werden Grundwasserverhältnisse über den eigentlichen Tagebaubereich hinaus verändert. Solche Eingriffe in den mengenmäßigen Zustand eines Grundwasserkörpers können sich auf die ökologische Qualität der mit diesem Grundwasserkörper verbundenen Oberflächengewässer und Landökosysteme auswirken (vgl. WRRL (20) und Anhang V 2.1 *Mengenmäßiger Zustand des Grundwassers*; dies entspricht der Nutzungsart: *off-stream degradative Nutzung*). Exemplarisch für Tagebauaktivitäten – nicht nur bei der Gewinnung von Braunkohle – weist der Umweltbericht zu den Braunkohleplänen Welzow-Süd die folgenden möglichen Auswirkungen auf das Grundwasser auf (Gemeinsame Landesplanungsabteilung der Länder Berlin-Brandenburg/Regionaler Planungsverband Oberlausitz-Niederschlesien 2013, 190–201):

- Die Vermischung der gewachsenen Bodenschichten zu einem inhomogenen Kippenmaterial verändert die Abflussbedingungen des Grundwassers grundlegend.
- Durch die Absenkung des Grundwasserspiegels kommt es zu einer Belüftung der entwässerten geologischen Schichten und des bewegten Materials. Die Oxidation der darin enthaltenen Eisensulfide (Pyritverwitterung) führt zur Freisetzung von Eisen und zur Bildung von Schwefelsäure. Dementsprechend weisen bergbaubeeinflusste Wässer generell höhere Stoffkonzentrationen und Azidität auf als bergbauunbeeinflusste Wässer (Grundwasserforschungsinstitut Dresden 2013, 9). Tagebaurestlöcher füllen sich in der Folge häufig mit saurem, sulfat- und metallhaltigem Wasser, sogenannten sauren Grubenwässern

³⁰ „Die Verringerung des Rohstoff- und Materialverbrauchs gehört zu den zentralen Herausforderungen einer nachhaltigen Gesellschaft im 21. Jahrhundert“ Nationale Nachhaltigkeitsstrategie, Fortschrittsbericht 2012, Seite 139; ProgRes: 10

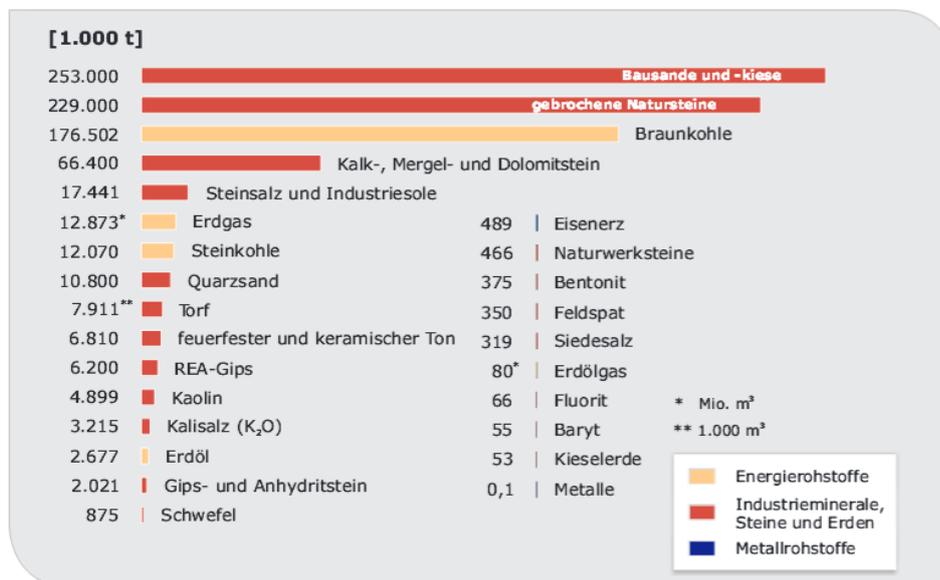
(Acid mining drainage). Durch den Grundwasserwiederanstieg können Altlasten aus dem Bergbau in den Einflussbereich des Grundwassers gelangen.

- Aus der Veränderung des Grundwasserspiegels können Fließrichtungsänderungen von Grundwasserkörpern resultieren und dadurch bislang unbelastete Regionen durch kontaminiertes Grundwasser verschmutzt werden (vertikale und horizontale Schadstoffverfrachtung)

Die Wasserentnahme aus der Natur für die Produktionsbereiche *Kohle* bzw. *Erze, Steine, Erden, Sonstiger Bergbau* beziffert das Statistische Bundesamt im Jahr 2010 auf 1.208 Millionen m³ bzw. 353 Millionen m³ (Statistisches Bundesamt 2013b, 34). Dieses Wasser wird nicht für produktive Zwecke genutzt, sondern an anderer Stelle wieder in den Boden oder in Gewässer eingeleitet, so dass es in den betroffenen Bächen und Flüssen zu veränderten Abflussraten kommen kann. Nach Beendigung des Abbaus kann in Restlöchern das Grundwasser ungeschützt an die Oberfläche treten und wassergefährdende Stoffe direkt in Grundwasserschichten gelangen (Peckenham u. a. 2008) (*in-stream degradative Nutzung*).

Eine Verringerung des Abbaus von Baustoffen würde c.p. auch zu einer Verringerung der Wasserinanspruchnahme führen, Eingriffe in Grundwasserkörper vermeiden helfen und die Filterfunktion des Bodens für die Neubildung von Grundwasser erhalten. Um die Filterfunktion des Bodens zu erhalten, hat Schweden im Jahr 1996 eine Steuer auf Kies eingeführt (Söderholm 2011).

Abbildung 6: Rohstoffproduktion in Deutschland im Jahr 2011.



Quelle: Deutsche Rohstoffagentur 2012, 21.

Kalisalze werden in Deutschland aktuell vor allem in Niedersachsen, Sachsen-Anhalt, Nordhessen und Thüringen gefördert. Die verwertbare Förderung betrug im Jahr 2013 rund 3 Mio. Tonnen K₂O, die zur Herstellung von Düngemitteln (vgl. Kap.4.4.2 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) und industriellen Anwendungen genutzt werden (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2014, 42). Zu den Folgewirkungen zählen Auswaschungen aus aktiven und inaktiven Bergbauhalden, die

zu Versalzungen von Flüssen führen (Umweltbundesamt 2014b, 3). Wegen der anhaltenden Einleitung von Salzwasser aus dem Kalibergbau in die Werra hat die EU-Kommission am 22. Juni 2012 ein Vertragsverletzungsverfahren (2012/4081) gegen die Bundesrepublik Deutschland eröffnet. Demnach habe die Bundesrepublik nicht die notwendigen Maßnahmen getroffen, um der Umsetzung der WRRL nachzukommen (Deutscher Bundestag 2012).

Werden die **globalen Auswirkungen** der inländischen stofflichen Rohstoffnutzung auf die Wasserinanspruchnahme betrachtet, sind vor allem der Abbau und die Aufbereitung von Metallen sowie der Anbau Nachwachsender Rohstoffe relevant (zu letzteren vgl. Kap 4.2.3). Der Erzbergbau und die Herstellung von Metallen haben einen großen Effekt auf die Wasserinanspruchnahme (UNEP 2014b, 31). Eine Studie im Auftrag der Volkswagen AG (Warsen u. a. 2011) kommt zu dem Ergebnis, dass während des Lebenszyklus³¹ eines VW Polo 51,7m³, eines VW Golf 62m³ und eines VW Passat 82,9m³ Süßwasser in Anspruch genommen werden. Der Untersuchung zufolge entfallen mehr als 90 Prozent der Wasserinanspruchnahme auf die Produktionsphase eines PKW, der Großteil davon auf die Rohstoffgewinnung und -aufbereitung. Der Kraftstoffverbrauch während der Nutzungsphase des Fahrzeugs spielt im Vergleich dazu eine weitaus geringere Rolle für die Wasserinanspruchnahme. Die mit den Fahrzeugen verbundene Wasserinanspruchnahme während des Lebenszyklus³¹ verteilt sich in den untersuchten Fällen auf 43 Staaten. Dabei entfielen beim VW Golf lediglich zehn Prozent der Wasserinanspruchnahme auf den Produktionsstandort Deutschland, vor allem für die Lackierung und als Kühlwasser (*off-stream degradative Nutzung*) in der Produktion. 70 Prozent entfielen – als virtuelles Wasser – zu etwa gleichen Teilen auf die Herstellung von Stahl und Eisen sowie von Polymeren, 20 Prozent auf Gold, Silber und Platingruppenmetallen (Warsen u. a. 2011).

Die Aufbereitung der Erze ist die wasserintensivste Phase der Produktion (UNEP 2013, 100). Dabei nimmt die Menge des in Anspruch genommenen Wassers mit einem sinkenden Konzentrationsgrad der Erze zu (UNEP 2014b, 31). Gegenüber den degradativen Auswirkungen von Bergbauaktivitäten auf die Qualität von Grund- und Oberflächenwasser (Mudd 2010, 112; UNEP 2013, 102) spielt der direkte Wasserverbrauch (*konsumtive Nutzung*) der Rohstoffgewinnung nur eine untergeordnete Rolle (UNEP 2013, 102). Eine Kontamination von Wasserkörpern kann durch die Nutzung, Versickerung und Einleitung gesundheits-, umwelt-, und wassergefährdender Materialien wie Cyanid oder Laugen, durch die Versickerung oder den Austritt kontaminierten Wassers aus Deponiebecken³¹, oder durch die Auswaschung von Schwermetallen aus Bergbauhalden erfolgen. Ein langfristiges Folgeproblem des Abbaus sulfidischer Erze sind die oben bereits angesprochenen sauren Grubenwässer (*acid main drainage*). Diese sauren und mit Schwermetallen belasteten Abflüsse können in Wasserkörper gelangen und deren Qualität massiv beeinträchtigen (Johnson/Hallberg 2005; UNEP 2013; Richter/Pecharová 2013). Ein weiteres Beispiel für die negativen ökologischen Auswirkungen der Rohstoffgewinnung ist Rotschlamm. Rotschlamm ist ein Abfallprodukt aus der Aluminiumproduktion und besteht hauptsächlich aus einem Gemisch aus Wasser, Natronlauge, Eisen-, Aluminium und Titanoxiden. Pro produzierter

³¹ Vgl. den Kolontár-Dammbruch in Ungarn 2010.

Tonne Aluminium fallen unterschiedlichen Angaben zufolge zwischen einer halben und drei Tonnen Rotschlamm an (Ghosh et al. 2011; Bundesministerium für Bildung und Forschung 2013, 30; Ruyters et al. 2011, 1616); weltweit etwa 90 Mio. Tonnen pro Jahr (Ruyters u. a. 2011b). Durch den Gehalt an Natronlauge, Schwermetallen und toxischen Komponenten ist Rotschlamm schädlich für Menschen, Umwelt und Gewässer; die Behandlung und Entsorgung von Rotschlamm stellt ein großes Problem dar (Bhatnagar et al. 2011a, 232). Rotschlamm wird in der Regel deponiert, häufig gelangt der alkalische und mit Schwermetallen belastete Schlamm aber auch in Gewässer oder wird direkt auf offener See verklappt (*in-stream degradative Nutzung*) (Bundesministerium für Bildung und Forschung 2013, 30; Bhatnagar et al. 2011b). Im Oktober 2010 traten in Ungarn zwischen 700.000 und einer Million Kubikmeter Rotschlamm aus der Deponie einer Aluminiumhütte aus, wodurch neun Menschen starben, weite Flächen kontaminiert und Gewässer verseucht wurden (Mayes u. a. 2011, 5147; Ruyters u. a. 2011b). Ein Forschungsprojekt zur Rückgewinnung von Rohstoffen aus Rotschlamm wird im r³-Förderprogramm des BMBF durchgeführt (Bundesministerium für Bildung und Forschung 2013, 30).

Eine verringerte Nutzung von einheimisch gewonnenen als auch von importiertem Primärmaterial würde demnach vor allem die degradative Inanspruchnahme von Wasser verringern.

Maßnahmen und Instrumente zur Reduktion des Rohstoffnutzung und ihre *direkten* Wirkungen auf die Wasserinanspruchnahme

Die Tabelle dient dem Überblick. Sie stellt Tendenzen dar. Die konkreten Wirkungen sind in hohem Maße von regionalen / lokalen Bedingungen abhängig. Grün: tendenziell Synergien; Rot: potentielle Konflikte

| Wirkung auf die Inanspruchnahme von | Wasser | | Massenmetallen (primär) | Bau-mineralien | Industrie-mineralien | Biomasse (stoffl. Nutzung) |
|-------------------------------------|----------|-----------|-------------------------|----------------|----------------------|----------------------------|
| | Qualität | Quantität | | | | |
| Maßnahmen und Ansätze | | | | | | |
| Reduktion des Rohstoffverbrauchs | | | | | | |

4.2. Ziel: Ressourceneffizienz in der Produktion und der Landwirtschaft (inkl. ressourceneffizientere Produkte)

Ein Ziel der Ressourceneffizienzpolitik ist es, Produktionsprozesse so zu gestalten, dass der Materialeinsatz pro Produkteinheit verringert wird. Die nachfolgende Tabelle verdeutlicht die Material- und Kostenreduktionspotenziale durch ressourceneffiziente Produktion in verschiedenen Branchen.

Abbildung 7: Materialeinsparpotential und Kosteneinsparung nach Branchen.

| Branchen | Umsatz (in Tsd. Euro, 2008) ^(a) | Material- kostenanteil (in Prozent) ^(a) | Durchschnittliches Einsparpotenzial (in Prozent) ^(b) | Kosteneinsparung bei x-Prozent Materialeinsparung (in Tsd. Euro, 2008) ⁽¹⁾ |
|--|--|--|---|--|
| Fahrzeugbau | 372.192.394 | 54,3% | 7,7% | 15.697.557 |
| Maschinenbau | 232.016.419 | 43,2% | 7,0% | 7.188.325 |
| Elektroindustrie, incl. MMSRO ⁽²⁾ | 199.657.870 | 38,1% | 7,1% | 5.480.698 |
| Ernährungsgewerbe | 161.228.728 | 54,7% | 5,2% | 4.600.890 |
| Chemische Industrie | 179.524.810 | 35,4% | 6,3% | 4.030.207 |
| Metallerzeugung und -bearbeitung | 116.293.992 | 55,5% | 5,9% | 3.808.173 |
| H.v. Metallerzeugnissen | 104.248.653 | 41,0% | 6,1% | 2.645.873 |
| H.v. Gummi- und Kunststoffwaren | 69.599.064 | 41,5% | 8,2% | 2.376.718 |
| Papiergewerbe | 38.581.335 | 45,7% | 4,3% | 758.928 |
| Glasgewerbe, Keramik | 39.083.179 | 32,0% | 5,5% | 689.942 |
| Textil-, Bekleidungs- und Ledergewerb | 22.581.232 | 41,6% | 6,5% | 613.259 |
| Holzgewerbe | 18.217.587 | 51,2% | 5,0% | 468.882 |
| Verlag- und Druckgewerbe | 17.951.767 | 36,7% | 7,0% | 461.521 |

Quellen: (a) Statistisches Bundesamt 2010a; (b) Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2009, Fraunhofer ISI, eigene Berechnungen.

Anmerkungen: (1) Die Berechnungen basieren auf den Angaben zu Umsatz und Materialkostenanteil (Spalte 1 und 2, Statistisches Bundesamt 2010a) sowie den Daten zum Einsparpotenzial (Spalte 3, Fraunhofer ISI 2009); (2) MMSRO: Medizin-, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik, Optik

Quelle: (Schröter u. a. 2011, 10)

*Anmerkung zu Spalte 5: die x-Prozent beziehen sich auf die Einsparpotenziale in den verschiedenen Branchen, aus der Erhebung *Modernisierung und Produktion* 2009 (Schröter u. a. 2011, 8).

Wasser wird in vielen Produktionsprozessen als Rohstoff (*off-stream konsumtive Nutzung*) oder als Prozesswasser (*off-stream degradative Nutzung*) genutzt (vgl. Kap. 3.2). Grundsätzlich gilt auch hier, dass ein geringerer Materialeinsatz auch zu einer geringeren Wasserinanspruchnahme führt und Auswirkungen auf die anderen Ressourcen vermindert.

4.2.1. Ansatz: Effizienzsteigerung in der Produktion

Unter den ProgRes-Handlungsansätze zur Steigerung der Ressourceneffizienz in der Produktion finden sich unter anderem die Förderung der Einführung umfassender Umweltmanagementsysteme, betriebliche Effizienzberatung sowie die Förderung von ressourcen- und energieeffizienten Produktions- und Verarbeitungsprozessen (Deutsche Bundesregierung 2012a)³².

Nach Angaben des Statistischen Bundesamts hat sich der Wassereinsatz für Produktionszwecke in Deutschland zwischen den Jahren 2000 und 2010 um insgesamt um 15,8 Prozent verringert

³² In ProgRes wird auch Substitution sowie die Einbeziehung von Ressourceneffizienz in Produktgestaltung und Normung unter „Ressourceneffizienz in der Produktion“ gelistet – dies wird hier weiter unten als gesonderter Ansatz besprochen.

(Statistisches Bundesamt 2013a, vgl. auch: Kap.3.2). Die Erhöhung der Wassereffizienz im produzierenden Gewerbe resultiert aus Sicht des Statistischen Bundesamts vor allem aus dem Einsatz wassersparender Technologien und Verfahren sowie einer Mehrfach- und Kreislaufnutzung von Wasser (Statistisches Bundesamt 2013a). Eine zentrale Motivation dafür liegt in der Rückgewinnung von Rohstoffen aus dem Prozesswasser. Beispielsweise fallen bei der Verzinnung von Stahlblechen saure Spülwasser an, aus denen Zinn zurückgewonnen werden kann (Wolters u. a. 2012). Im Rahmen des BMBF-Förderprogramms r^2 wurde der Einsatz von Membrantechnik mit dem Ziel, Wertmetalle aus dem Prozesswasser zurückzugewinnen, erprobt (Woidasky u. a. 2013, 226). Bei einem Betriebsversuch in der Weißblechproduktion, bei dem das Spülwasser durch Membrantechnik mit Konzentratrückführung gereinigt und im Kreislauf geführt wurde, konnten dem r^2 -Abschlussbericht zufolge Wasserkosten von rund 10.000 Euro pro Jahr gespart und jährlich rund 7.500 kg Zinn mit einem Marktwert von ca. 150.000 Euro zurückgewonnen werden. Gleichzeitig wurden Energiekosten in Höhe von 100.000 Euro eingespart (Woidasky et al. 2013).

Die Deutsche Gesellschaft für chemische Technik und Biotechnologie (DECHEMA) argumentiert, dass die Rückgewinnung von Produktionsmaterialien aus Prozesswasser nicht nur aus Sicht des Umweltschutzes sinnvoll, sondern auch ökonomisch tragfähig sein kann. Demnach sei die Rückgewinnung von Metallen sowie von Verbindungen der Elemente Phosphor (z. B. Phosphat), Stickstoff (z.B. Ammonium oder Nitrat), Lithium und Iod potentiell interessant. Weiterhin könnten Säuren, Tenside, Lösemittel, Extraktionsmittel, Phenole, Lignine sowie Wirkstoffe der pharmazeutischen Industrie oder des Pflanzenschutzes zurückgewonnen werden (Ante u. a. 2014, 21).

4.2.2. Ansatz: Effizienzsteigerung im Bausektor

Effizienzstrategien im Bausektor umfassen die Sanierung von Bestandsgebäuden anstelle von Neubau, die verstärkte Nutzung von Sekundärmaterialien und die Substitution von Baumineralien durch nachwachsende Rohstoffe (zu letzterem vgl. Kap. 4.2.3). Derzeit werden zwar bereits nahezu alle Bauabfälle wiederverwertet, dabei kommt es aber in erheblichem Maße zu einem sogenannten *downcycling*, bei dem ein Großteil der Bauabfälle niedrigwertig, vor allem als Unterbau im Straßen- und Tiefbau genutzt wird. Derzeit werden lediglich rund 15 Prozent des Bedarfs an primärer Gesteinskörnung im Bausektor durch Recycling-Baustoffe gedeckt (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2013a).

In einer Studie, die im Auftrag des Bundesverbands Baustoffe durchgeführt wurde, werden zwei Szenarien über die zukünftige Nachfrage nach Steine-Erden-Rohstoffen bis 2030 zugrunde gelegt und das Substitutionspotenzial durch Sekundärrohstoffe untersucht. Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass die hohe Verwertungsquote bei den Baurestmassen nur noch geringfügig zu steigern sei (Schwarzkopf et al. 2013: 2). Bundesweit bestehe ein Substitutionspotential von ca. 11 Prozent (ebd.: 20). Einschränkend ist bei dieser Betrachtung zu beachten, dass die Substitutionspotentiale regional stark differenziert sind. In solchen Regionen mit negativer Bevölkerungsentwicklung, die sich durch hohe Rückbauraten von Gebäuden bei geringer Neubautätigkeit auszeichnen, ein weitaus höheres Substitutionspotential besteht (Schiller u. a. 2010, 136). Entsprechend wird die derzeitige Substitutionsquote von mineralischen Primärbaurohstoffen durch Recyclingprodukte in Nordrhein-

Westfalen mit etwa acht Prozent bezogen auf den Gesamtbedarf angegeben. Für die Zukunft sei mit keiner wesentlichen Änderung zu rechnen (Schwarzkopp/Breier 2009, 83).

Für den Bereich des Hochbaus weist eine Potentialstudie im Rahmen des Forschungsprogramms Zukunft Bau für das Jahr 2010 nur geringe Anteile von Recyclingmaterial an den Produktgruppen Beton (0,4%) und sonstige mineralische Baustoffe (6%) aus; für die Produktgruppen Ziegel, Kalksandstein und Porenbeton wird keine Nutzung von Recyclingmaterial ausgewiesen. Bis zum Jahr 2050 wird in der Studie von einer Erhöhung dieser Anteile auf 5 Prozent bei Porenbeton und Kalksandstein, 12 Prozent bei Beton, 15 Prozent bei Ziegeln und 21 Prozent bei sonstigen mineralischen Baustoffen prognostiziert (Deilmann u. a. 2014).

Der Beitrag, den das Recycling von Baustoffen leisten kann, um den Abbau von Sand, Kies und Gestein mitsamt den damit einhergehenden Folgen für die Inanspruchnahme von Wasser zu verringern hängt demnach vor allem von der regionalen demographischen Entwicklung, der lokalen Verfügbarkeit von Baustoffen und der Qualität der Recyclingmaterialien inklusive der daraus hergestellten Produkte ab (Schwarzkopp/Breier 2009, 82).

4.2.3. Ansatz: Substitution von abiotischen durch biotische Materialien

Substitution von Materialien ist eine mögliche Maßnahme zur Erhöhung der Ressourceneffizienz. Dabei können andere abiotische Primärmaterialien, Recyclingmaterial oder Biomasse eingesetzt werden. Das Recycling von Rohstoffen geht in der Regel mit einer geringeren Wasserinanspruchnahme einher als die Gewinnung und Aufbereitung primärer Rohstoffe.³³ Sofern deren Nutzung durch Recycling verringert wird, kommt es zu einer sinkenden Wasserinanspruchnahme (vgl. Kap. 4.1). In ProgRes wird u.a. in Handlungsansatz 1, 6 und 17 auf die Bedeutung der Substitution von kritischen und umweltrelevanten Rohstoffen durch andere Rohstoffe für die Ressourceneffizienz eingegangen (Deutsche Bundesregierung 2012a).

Im Jahr 2008 wurden in Deutschland 46,8 Millionen Tonnen Biomasse stofflich und 42,5 Millionen Tonnen Biomasse energetisch genutzt. Bei der stofflichen Nutzung dominiert die Nutzung von Holz mit 43,2 Millionen Tonnen (Carus u. a. 2014, 27).³⁴

Die Substitution abiotischer Rohstoffe durch Biomasse oder biobasierte neue Werkstoffe ist eine Strategie, um die Nutzung endlicher Ressourcen zu verringern. Bei der Substitution sollen kritische bzw. besonders umweltrelevante Rohstoffe durch weniger problematische Rohstoffe ersetzt werden. Beispiele sind die Substitution von Baumineralien oder Stahl durch Holz, die Substitution von erdölbasierten Dämmstoffen durch Pflanzenfasern bei der Gebäudeisolierung oder die Nutzung neuer, biobasierter Werkstoffe zur Substitution von Metallen und petrobasierten Kunststoffen (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2014, 209). Anwendungsfelder für letztere sind beispielsweise der Automobilbau oder der Bausektor (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2014, 221). Für die

³³ Dies gilt insbesondere für abiotische Materialien, aber auch für biotische Rohstoffe, bspw. beim Recycling von Papier.

³⁴ Eine aktualisierte Studie ist derzeit (März 2015) in Vorbereitung.

Herstellung biobasierter Kunststoffe und naturfaserverstärkter Kunststoffe werden vor allem Zellstoff, Stärke und Zucker, Pflanzenöle, Holzfasern und importierte Pflanzenfasern genutzt. Heimische Pflanzenfasern wie Flachs oder Hanf spielen eine untergeordnete Rolle (vgl.

Abbildung 8, auch: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2014, 223 und 226). Ein Großteil der Bestandteile wird demnach importiert, darunter auch die wasserintensive Faserpflanzen wie Kenaf und Baumwolle (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2012, 49; Carus u. a. 2014, 30).

Beim Anbau von Baumwolle ist vor allem Nutzung von Wasser zu Bewässerungszwecken relevant (blaues Wasser). Effekte könne beispielsweise die Absenkung des Grundwasserspiegels oder die übermäßige Verschmutzung von Wasserkörpern durch Düngemittel und Pestizide sein. Eine steigende Nachfrage nach Pflanzenfasern für die Substitution von abiotischen Rohstoffen kann entsprechend zu die Inanspruchnahme von blauem Wasser erhöhen (Mayer u. a. 2014, 64, vgl. auch Kap.3.2.3).

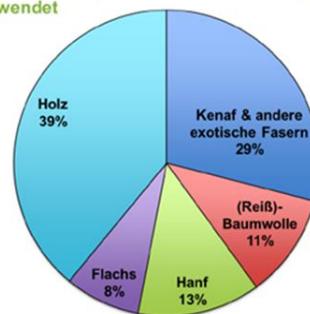
Abbildung 8: Rohstoffe für die Herstellung biobasierter Kunststoffe und naturfaserverstärkter Kunststoffe in Deutschland.

Stärke und Rizinusöl sind Hauptrohstoffe der Produktion biobasierter Kunststoffe in Deutschland



Gesamt: ca. 62.300 t/a
Abb. 103: Rohstoffbedarf zur Produktion biobasierter Kunststoffe in Deutschland 2011³⁶⁸

In Deutschland werden hauptsächlich Holz- und Importfasern zur NFK Herstellung verwendet



Gesamt: ca. 27.000 t/a
Abb. 104: Einsatz an Naturfasern für die NFK Produktion in Deutschland³⁶⁹

Quelle: (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2014, 225 und 227), Datenquelle faostat.com (Abrufdatum 6.12.2012)

Die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe weist unter Rückgriff auf Zahlen des Instituts für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe (IfBB) für das Jahr 2011 eine Produktionskapazität für biobasierte Kunststoffe von ca. 79.000 Tonnen in Deutschland aus. Diese entspricht 0,8 Prozent der Produktionskapazität der konventionellen, petrobasierten Kunststoffe (10,6 Mio. Tonnen/Jahr) (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2014, 245). Nach Angaben des GreenTech Atlas 4.0 entfielen im Jahr 2013 nur rund fünf Prozent des Volumens des Marktsegments Nachwachsende Rohstoffe auf Biokunststoffe (Bundesministerium für Umwelt Naturschutz Bau und Reaktorsicherheit 2014, 72). Demnach sind die derzeit für die Kunststoffproduktion eingesetzten Mengen an Biomasse und dementsprechend auch die Auswirkungen auf die Inanspruchnahme von Wasser als eher gering einzuschätzen. Gleichzeitig wird im GreenTech Atlas eine zunehmende Massenproduktion biobasierter Kunststoffe und, damit einhergehend, eine jahresdurchschnittliche Wachstumsrate dieses Marktsegments von 21,9 Prozent bis zum Jahr 2025 prognostiziert (Bundesministerium für Umwelt Naturschutz Bau und Reaktorsicherheit 2014, 72). Damit muss von steigenden Stoffströmen für die

Herstellung biobasierter Kunststoffe und einer entsprechenden Zunahme der Auswirkungen auf die konsumtive und degradative Inanspruchnahme von Wasser ausgegangen werden.

Ein anderer Bereich, in dem abiotische Rohstoffe durch biotische Materialien ersetzt werden, ist der Bausektor. Hier ist v.a. die Substitution von Beton und Stahl durch Holz und von abiotischen bzw. petrobasierten Dämmstoffen durch Faserpflanzen von Bedeutung (Vgl. Kap. 3.2.3).

Die Auswirkungen von Substitutionsstrategien auf die Wasserinanspruchnahme lassen sich nicht global bestimmen, sondern hängen von den betroffenen Materialien, den Anbaumethoden und der regionalen Herkunft der Materialien ab.³⁵

4.2.4. Ansatz: Verringerter Einsatz von Mineraldüngern in der Landwirtschaft

Um die Bodenfruchtbarkeit zu erhöhen werden in der landwirtschaftlichen Produktion häufig mineralische Düngemittel eingesetzt. Diese bestehen aus Verbindungen der Nährstoffe Stickstoff, Kalium und Phosphor. Mit ihrem Einsatz gehen Auswirkungen auf die Qualität von Wasser, aber auch auf die anderen natürlichen Ressourcen Boden und Fläche, Biodiversität und Atmosphäre einher. Ebenso wie in den anderen Beispielen gilt hier grundsätzlich, dass eine Verringerung des Einsatzes von Düngemitteln auch die negativen Auswirkungen auf die anderen Ressourcen verringert.

Eine Steigerung der Ressourceneffizienz in der Landwirtschaft wird vor allem unter dem Aspekt der Nutzung von Phosphor und Nitrat als Düngemittel diskutiert. Begründungen für einen effizienteren Einsatz mineralischer Düngemittel ergeben sich aus Knappheitsproblemen bei Phosphor³⁶ sowie aus Umweltwirkungen, vor allem der Eutrophierung von Gewässern und der Anreicherung von Schwermetallen im Boden (Werland u. a. 2010). Demnach hat ein effizienter Einsatz von Düngemitteln in der Landwirtschaft Synergien mit den Zielen der Wasserpolitik. Dem Bericht *European waters – current status and future challenges* der EEA zufolge sind zwischen 30 und 50 Prozent aller Gewässer in der EU durch Schadstoffe belastet, wobei die Landwirtschaft als der Hauptverursacher angeführt wird (European Environment Agency 2012, 14). Eine Überversorgung von Gewässern mit den Düngemitteln Stickstoff und Phosphat verstärkt das Wachstum von Algen und kann damit zu einem Sauerstoffmangel führen. Stickstoff wird durch Bodenmikroorganismen zu Nitrat (NO_3^-) umgewandelt, dass in das

³⁵ Während die Nutzung von Recyclingmaterial allgemein mit geringeren Auswirkungen auf die Nutzung von Fläche, Boden, Erdatmosphäre und Biodiversität einhergeht als die Nutzung von Primärmaterial, ist die Substitution von abiotischen durch biotische Rohstoffe differenzierter zu beurteilen. Aus einem zunehmenden Anbau von stofflich genutzter Biomasse können Auswirkungen auf die Flächennutzung, und damit auch auf den Boden und die Biodiversität resultieren (Weiss u. a. 2012; UNEP 2014a). Zudem sind Landnutzungsänderungen, vor allem die Umwandlung von Primärwäldern in Ackerland oder Plantagen, eine der Hauptquellen von Treibhausgasemissionen in die Atmosphäre (Dehoust u. a. 2014; Bringezu u. a. 2012; UNEP 2014a) und des Verlusts an Biodiversität. Auch hier gilt, dass die Auswirkungen spezifisch zu beurteilen sind und u.a. von den angebauten Pflanzen, den Anbaumethoden, lokalen Gegebenheiten und möglichen Problemverlagerungen abhängen. Inwieweit die verstärkte Verwendung biotischer Rohstoffe Auswirkungen auf die Nutzung von Energieträgern hat ist nicht pauschal zu klären sondern einzelfallabhängig.

³⁶ Auch wenn die statische Reichweite von Phosphat laut BGR über 300 Jahre beträgt sind Phosphate aus einigen Abbaustätten mit Schwermetallen belastet, so dass sie nicht für die Ausbringung zu Dünge Zwecken geeignet sind (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2013b).

Grundwasser gelangen kann. In der EU gilt ein Grenzwert von 50 Milligramm pro Liter; im Jahr 2009 übertraten etwa ein Viertel der Grundwasservorkommen diesen Grenzwert (Umweltbundesamt 2014c). Laut der Studie von Rockström et al. ist der globale Stickstoffkreislauf einer der kritischen Erdsystemprozess, bei denen die menschlichen Eingriffe – der Entzug von Stickstoff aus der Atmosphäre zur Herstellung von Düngemitteln und durch den Anbau von Hülsenfrüchten – den sogenannten *safe operating space* überschreiten (Rockström u. a. 2009). Inländisch geht, wie in Kapitel 4.1 bereits dargestellt, die Gewinnung von Kalisalzen, die vorwiegend für die Herstellung von Mineraldüngern genutzt werden, mit der Versalzung von Flüssen einher (Umweltbundesamt 2014b).

Maßnahmen und Instrumente zur Effizienzsteigerung und ihre *direkten* Wirkungen auf die Wasserinanspruchnahme

Die Tabelle dient dem Überblick. Sie stellt Tendenzen dar. Die konkreten Wirkungen sind in hohem Maße von regionalen / lokalen Bedingungen abhängig. Grün: tendenziell Synergien; Rot: potentielle Konflikte

| Wirkung auf die Inanspruchnahme von | Wasser | | Massenmetallen (primär) | Bau-mineralien | Industrie-mineralien | Biomasse (stoffl. Nutzung) |
|--|----------|-----------|-------------------------|----------------|----------------------|----------------------------|
| | Qualität | Quantität | | | | |
| Maßnahmen und Ansätze | | | | | | |
| Effizienzsteigerung in der Produktion | Grün | Grün | Grün | Grün | Grün | Grün |
| Effizienzsteigerungen im Baugewerbe | Grün | Grün | Grün | Grün | Grün | Grün |
| Substitution durch biotische Rohstoffe | Grün | Rot | Grün | Rot | Grün | Rot |
| Verringerter Düngemiteinsatz in der Landwirtschaft | Grün | Grün | Grün | Grün | Grün | Grün |

4.3. Ziel: Ressourceneffizienten Konsum fördern

Ein ressourceneffizienter Konsum wird in ProgRes als übergeordnetes Thema ausgewiesen, unter dem sich mehrere Handlungsansätze gruppieren lassen (Deutsche Bundesregierung, 2012a: 42). Insgesamt geht es darum, Konsumbedürfnisse mit einem möglichst geringen Ressourcenaufwand zu befriedigen. Neben der Suffizienz, d.h. dem Verzicht auf Konsum oder der Intensivierung der Nutzung von Produkten (durch gemeinschaftliche Nutzung oder die Verlängerung der Nutzungszeit), kann auch die Nutzung technischer Ressourceneffizienz-Innovationen gefördert werden.

4.3.1. Ansatz: Erhöhung der Nutzungsintensität (das Beispiel Verlängerung der Nutzungsdauer)

Zu den Maßnahmen, die einen ressourceneffizienten Konsum befördern sollen, gehören die Schaffung eines entsprechenden Bewusstseins, die Etablierung der Ressourceneffizienz als ein Kriterium für den

Handel sowie für Konsumentinnen und Konsumenten (hier z.B. auch neue Nutzungskonzepte), die Verlängerung der Nutzungsdauer von Produkten, die Einführung und Nutzung vorhandener Zertifizierungssysteme für Rohstoffe sowie die Nutzung des Instruments der öffentlichen Beschaffung (Deutsche Bundesregierung, 2012a, Handlungsansätze 8-11). Bei den erwähnten Instrumenten sind Wirkungen auf das Verhalten bzw. wie dieses sich wiederum auf die Ressourcennutzung auswirkt, schwer abzuschätzen. Grundsätzlich ist die Annahme, dass eine intensivere Nutzung von Produkten eine senkende Wirkung auf die Inanspruchnahme von Wasser hat, plausibel, weil es zu einer Reduktion der Nutzung von Primärmaterialien kommt (vgl. Kap. 4.1). Allerdings muss dies auf Basis der einzelnen konkreten Maßnahmen analysiert werden. So kann die Weiternutzung von wasserführenden Geräten wie beispielsweise Geschirrspül- oder Waschmaschinen anstelle der Anschaffung eines sparsameren Neuprodukts zu einer erhöhten direkten Inanspruchnahme von Wasser (und Energie) in der Nutzungsphase führen. Dabei ist die direkte Wassernutzung (1) vom Nutzerverhalten abhängig und (2) anders zu bewerten als die Wasserinanspruchnahme für die Gewinnung der Rohstoffe und für die Produktion eines Neugeräts. Die beiden Arten der Wasserinanspruchnahme sind nicht direkt vergleichbar, so dass bei der Bewertung der Auswirkungen auf die Wasserinanspruchnahme eine normative Abwägung getroffen werden muss.

Maßnahmen und Instrumente zur Förderung des ressourceneffizienten Konsums und ihre direkten Wirkungen auf die Wasserinanspruchnahme

Die Tabelle dient dem Überblick. Sie stellt Tendenzen dar. Die konkreten Wirkungen sind in hohem Maße von regionalen / lokalen Bedingungen abhängig. Grün: tendenziell Synergien; Rot: potentielle Konflikte

| Wirkung auf die Inanspruchnahme von | Wasser | | Massenmetallen (primär) | Bau-mineralien | Industrie-mineralien | Biomasse (stoffl. Nutzung) |
|-------------------------------------|----------|-----------|-------------------------|----------------|----------------------|----------------------------|
| | Qualität | Quantität | | | | |
| Maßnahmen und Ansätze | | | | | | |
| Erhöhung der Nutzungsintensität | Grün | Grün | Rot | Grün | Grün | Grün |

4.4. Ziel: Ressourceneffiziente Abfall- und Kreislaufwirtschaft ausbauen

Die Vermeidung von Abfall und der Ausbau der Kreislaufwirtschaft sind weitere Ansatzpunkte um den Bedarf an Primärrohstoffen zu verringern und negative Umweltwirkungen zu reduzieren. Hierfür gibt es eine Vielzahl an Gesetzen und Maßnahmen, z.B. Getrennthaltungspflichten für Abfälle, Festsetzung von Produktverantwortung im Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG 2012, Teil 3) inklusive Rücknahmeverpflichtungen für Altprodukte oder die WEEE-Richtlinie (2012/19/EU, Artikel 10). Im Bereich Abfall und Kreislaufwirtschaft sind folgende Aspekte für den Nexus von Rohstoffen und Wasser relevant:

- Die Kreislaufführung von Material durch Recycling verringert die Wasserinanspruchnahme für den Abbau von Primärrohstoffen (vgl. Kap. 4.1)

- Die Deponierung von Abfällen kann zur Kontamination von Wasserkörpern führen, z.B. wenn Sickerwässer ins Grundwasser gelangen oder es zu Auswaschungen von Schadstoffen in Oberflächengewässer kommt.
- Die Rückgewinnung von Phosphaten aus dem Abwasser kann zur Versorgungssicherheit beitragen und die Eutrophierung von Gewässern vermeiden.

4.4.1. Ansatz: Förderung der Kreislaufführung von Material

Die Nutzung von Sekundärmetallen hat positive Auswirkungen auf die Inanspruchnahme von Wasser und auf die Nutzung von Primärmaterial. Angaben von Waste Online zufolge benötigt das Recycling von Stahl 40 Prozent weniger Wasser als die Gewinnung der gleichen Menge Stahl aus Erzen, gleichzeitig wird die Wasserverschmutzung um 76 Prozent verringert. Pro Tonne Stahl werden zudem 1,5 Tonnen Erze eingespart (Waste Online 2005). Sofern Sand, Kies und Steine durch Bauabfälle ersetzt werden, resultiert daraus – bei gleichbleibender Nachfrage – ein verringerter Abbau von Sand und Kies. Dadurch werden potentielle Eingriffe in den Boden und das Grundwasser vermieden. Allerdings sind der Substitution Grenzen gesetzt, die vor allem aus der regionalen Verfügbarkeit geeigneter Bauabfälle resultiert (Kap.4.2.2).

Mit der Deponierung von Abfällen werden nicht nur Rohstoffe aus dem Kreislauf entzogen, sondern es gehen von Sickerwässern auch Gefährdungen für Wasserkörper aus (Landesamt für Natur Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen 2010; Laner u. a. 2010). Zu den Maßnahmen, die die Deponierung von Abfällen verringern sollen, zählen beispielsweise das Verbot, unbehandelte organische Abfälle (wie z.B. Siedlungsabfälle) abzulagern oder die Einführung von Gebührensystemen für die Abfallentsorgung bzw. -deponierung. Für die technische Ausrüstung und den Betrieb von Deponien ist die Deponieverordnung einschlägig (DepV). In Deutschland ist eine Neuanlage von Deponien ohne Anlagen zur Sickerwassererfassung nicht zulässig. Altdeponien müssen entsprechend nachgerüstet oder stillgelegt werden. Durch die Vermeidung der Deponierung von Abfällen und durch technische Maßnahmen zur Sicherung von Deponien gegen den Austritt von Sickerwasser soll (auch) die degradative Inanspruchnahme von Wasser verringert werden. Sofern die Maßnahmen zur Vermeidung von Deponierung zu einem verstärkten Recycling führen, sind weitere positive Effekte auf die Wasserqualität zu erwarten (vgl. Kap. 4.4.1).

4.4.2. Ansatz: Förderung der Phosphor-Rückgewinnung aus Abwasser

Die Rückgewinnung von Phosphor aus Abwasser bzw. Klärschlamm kann einen Beitrag dazu leisten, die Eutrophierung von Gewässern zu vermeiden und das Versorgungsrisiko zu mindern. Allerdings wird nur ein geringer Anteil der Phosphorflüsse in der kommunalen und industriellen Abwasserbehandlung erfasst. Der weitaus größte Stoffstrom, und damit auch das größte Belastungspotential für Wasserkörper, resultiert aus dem Einsatz von Mineral- und Wirtschaftsdüngern in der Landwirtschaft (Abbildung 9, vgl. Kap. 4.2.4).

Abbildung 9: relevante Stoffströme für das P-Recycling (Zahlen aus dem Verbundprojekt PhoBe)

| Stoffstrom | Geschätzte P-Mengen [Mg/a] | Derzeitige Verwertung | Rückgewinnungsgebot sinnvoll |
|---|----------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Kommunale Abwässer (Zulauf) | 54.000 | nein | ja |
| Kommunaler Klärschlamm | 50.000 | teilweise | ja |
| Industrielle Abwässer (Zulauf) | 15.000 | nein | eventuell |
| Wirtschaftsdünger | 444.000 | ja | eventuell |
| Gärrückstände | 125.000 | teilweise | eventuell |
| Komposte | k. A. | ja | nein |
| Rückstände aus biol. Behandlung von Hausmüll | k. A. | nein | eventuell |
| Tierische Nebenprodukte (Kategorie 1-3, ohne Tierfette) | 20.000 | teilweise | ja |
| Ehemalige Klärschlammdeponien | k. A. | nein | Untersuchungsbedarf |

Quelle: (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall 2012, 23)

Insofern weist die Phosphor-Rückgewinnung aus Abwässern ein (begrenzt) Potential auf, um aus rohstoffpolitischer Sicht die Importabhängigkeit zu verringern und gleichzeitig die Inanspruchnahme von Wasser zu verringern. Da der größte Phosphor-Stoffstrom, die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern in der Landwirtschaft, nicht erfasst wird, sind positive Folgen auf die Wasserqualität nur eingeschränkt zu erwarten.

Maßnahmen und Instrumente zur Förderung des ressourceneffizienten Konsums und ihre direkten Wirkungen auf die Wasserinanspruchnahme

Die Tabelle dient dem Überblick. Sie stellt Tendenzen dar. Die konkreten Wirkungen sind in hohem Maße von regionalen / lokalen Bedingungen abhängig. Grün: tendenziell Synergien; Rot: potentielle Konflikte

| Wirkung auf die Inanspruchnahme von | Wasser | | Massenmetallen (primär) | Bau-mineralien | Industrie-mineralien | Biomasse (stoffl. Nutzung) |
|-------------------------------------|----------|-----------|-------------------------|----------------|----------------------|----------------------------|
| | Qualität | Quantität | | | | |
| Maßnahmen und Ansätze | | | | | | |
| Kreislaufführung von Material | | | | | | |
| P-Rückgewinnung | | | | | | |

4.5. Zwischenfazit Kapitel 4: Auswirkungen der Ressourceneffizienzpolitik auf die Inanspruchnahme von Wasser

Die Analyse im vorangegangenen Kapitel hat gezeigt, dass ressourcenpolitische Ansätze grundsätzlich positiv auf die Inanspruchnahme von Wasser wirken. Die synergetische Wirkung ergibt sich daraus, dass

die Nutzung von abiotischen und biotischen Rohstoffen generell mit der Inanspruchnahme von Wasser verbunden ist. Dabei sind vor allem die Folgen der Rohstoffgewinnung und des Düngemiteleinsatzes in der Landwirtschaft im In- und Ausland besonders relevant. Sofern durch ressourcenpolitische Ansätze der Abbau von Rohstoffen und/oder die Ausbringung von Mineraldüngern verringert werden, werden negative Effekte auf die Wasserqualität vermieden. Bei der Bewertung ist es wichtig, die einzelnen Arten der Wasserinanspruchnahme zu unterscheiden und die regionale Verlagerung der Wassernutzung zu beachten.

Im Inland sind vor allem die Gewinnung von Baustoffen (und über die ProgRess-Ressourcen hinausgehend auch der Abbau von Braunkohle) relevant. Damit einher gehen teilweise weiträumige Eingriffe in Grundwasserkörper wie die Absenkung des Grundwasserspiegels und die Verschmutzung des Grundwassers. Zudem wird durch die Bewegung und Durchmischung von Erdmaterial die Filterfunktion des Bodens für das Grundwasser verringert.

Aus einer Wasser-Perspektive potentiell problematisch ist die verstärkte Nutzung biotischer Materialien im Rahmen einer Substitutionsstrategie. Viele biobasierte Kunststoffe basieren auf wasserintensiven Faserpflanzen wie Baumwolle. Auch wenn das derzeitige Aufkommen von biobasierten Kunststoffen noch gering ist, könnten mit einer verstärkten Nutzung solcher Werkstoffe zunehmende virtuelle Wasserimporte (v.a. „blaues Wasser“) aus wasserarmen Regionen einhergehen.

Weiterhin hat sich gezeigt, dass eine effektive Abwasserbehandlung nicht nur den ökologischen Zustand von Gewässern verbessern, sondern auch als eine Rohstoffquelle dienen kann.

5. Fazit

Im vorliegenden Nexus-Papier wurden die Wechselwirkungen zwischen der Ressourceneffizienzpolitik und der Wasserpolitik diskutiert. Ziel ist es somit, sowohl die potenziellen Synergien als auch die Konflikte zwischen beiden Politikfeldern zu identifizieren. Der Fokus der Analyse liegt auf den jeweiligen Auswirkungen, die durch bestimmte Maßnahmen und Politikansätze in einem der Politikfelder auf die verschiedenen Ressourcentypen entsteht. Methodisch wird bei der Analyse eine Wirkungskettenanalyse zugrunde gelegt. Dabei wird von den Zielen des Politikfelds ausgegangen, die entsprechenden Ansätze/Maßnahmen beschrieben, die daraus resultierenden Verhaltensänderung der Adressaten sowie die direkten Effekte auf die Nutzung einer Ressource. Auch können die indirekten Effekte auf die Nutzung weiterer Ressourcen beschrieben werden. In der vorliegenden Analyse wird vor allem – ausgehend von dem in ProgRess zugrunde gelegten Ressourcenbegriff – auf die direkten Auswirkungen auf abiotische, nicht-energetische Ressourcen sowie die Inanspruchnahme von Wasser geschaut.

Bei der Wasserinanspruchnahme gilt grundsätzlich, dass ihre Auswirkungen stark von der Art der Wassernutzung sowie der Region, in der sie stattfindet, abhängen. Während in Deutschland Wasser nur in wenigen Regionen knapp ist, stellt die Wasserverfügbarkeit auf internationaler Ebene ein massives Problem dar. Bei der Bewertung der Auswirkungen konkreter Maßnahmen auf die Inanspruchnahme von Wasser ist dieser räumliche Aspekt demnach stets mitzudenken. Da die Wasserverfügbarkeit regional und sogar lokal stark variiert, sind hier entsprechend nur Tendenzaussagen möglich.

Ausgehend von der **Wirkrichtung der Wasserpolitik** (Effekte der Wasserpolitik auf die Inanspruchnahme der ProgRess-Ressourcen) lassen sich sowohl Synergien als auch Konflikte mit der Ressourceneffizienzpolitik identifizieren. Mit der Einhaltung von Grenzwerten (Wasserqualität), Maßnahmen zur Reduktion des Wasserbedarf (Wasserquantität), den (technischen) Maßnahmen für den Hochwasserschutz sowie mit der sich verändernden Bevölkerungsstruktur geht ein Bedarf an Sanierung, Modernisierung sowie Anpassung der Wasserinfrastruktur einher. Es entsteht somit ein Konflikt mit den Zielen der Ressourceneffizienzpolitik, da diese Maßnahmen einen erhöhten Bedarf an Baustoffen mit sich bringen. Allerdings liegen kaum Daten dazu vor, in welcher Größenordnung sich der zusätzliche Materialbedarf bewegt. Weitere Studien sind hier notwendig.

Aus der Verpflichtung zur Einhaltung von Qualitäts-Grenzwerten ergibt sich aber zugleich auch eine Synergie zwischen Wasserpolitik und Ressourceneffizienzpolitik: zunehmend werden Rohstoffen bei der Wasseraufbereitung zurückgewonnen, was den Bedarf an Primärrohstoffen senkt.

Die Frage nach den Wechselwirkungen aus der **Wirkrichtung Ressourceneffizienzpolitik** (Effekte einer Ressourceneffizienzpolitik auf die Inanspruchnahme von Wasser) zeigt, dass hier fast ausschließlich Synergien zwischen beiden Politikfeldern bestehen: Die Gewinnung, Verarbeitung und Nutzung abiotischer und biotischer Ressourcen geht grundsätzlich mit Wasserinanspruchnahme (sowohl konsumtiv als auch degradativ) einher. Demnach bedeutet eine effizientere Ressourcennutzung auch geringere quantitative und qualitative Belastungen der Gewässer. Zudem ist die Rückgewinnung von Rohstoffen wie Phosphor oder Metallen aus Ab- und Prozesswasserströmen synergetisch mit dem wasserpolitischen Ziel, einen guten ökologischen Zustand der Gewässer zu erreichen.

Ein wichtiger Befund der Analyse ist, dass die Wasserinanspruchnahme, die mit der Nutzung von Rohstoffen verbunden ist, weitestgehend aus Deutschland ausgelagert ist. Hier sind Strategien zu entwickeln, mit denen der Verlagerung der Rohstoffgewinnung und ihrer negativen Folgewirkungen entgegengesteuert werden kann – dies ist auch im Zuge der globalen Verantwortung, die auch in der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie betont wird, dringend geboten. Im Inland sind vor allem Eingriffe in Grundwasserkörper beim Abbau von Sand und Kies – und über die ProgResS-Ressourcen hinausgehend vor allem bei der Gewinnung von Braunkohle – relevant.

Die Landwirtschaft hat sich in beiden Wirkrichtungen als zentrales Handlungsfeld ergeben: Die Analyse hat gezeigt, dass die Landwirtschaft eine zentrale Stellschraube für die Erreichung der wasserpolitischen Ziele darstellt. National ist die Landwirtschaft vor allem mit Blick auf den Eintrag von Düngemitteln, Nährstoffen und Giftstoffen (z.B. Pflanzenschutzmittel), d.h. die Wasserqualität, zentral. International spielt international die Landwirtschaft eine große Rolle sowohl für die konsumtive als auch degradative Nutzung von Wasser. Eine deutliche Reduktion der Schadstoffeinträge ist nötig, um die bestehenden Wasserqualitätsziele zu erreichen. Eine verminderter Einsatz von Mineraldüngern in der Landwirtschaft (sowohl national als auch international) bzw. die Ausbreitung des ökologischen Landbaus, der auf mineralische Düngemittel und den Einsatz von Pestiziden verzichtet, würde zudem zur Schonung der Phosphorreserven beitragen und positive Effekte auf die Ressourcen Boden, Atmosphäre und Biodiversität mit sich bringen.

Die ressourcenpolitische Strategie, endliche abiotische Rohstoffe durch biotische Materialien zu ersetzen, steigert potenziell die Wasserinanspruchnahme, sofern für die Herstellung biobasierter Materialien importierte Faserpflanzen genutzt werden. Dies ist besonders problematisch, weil diese Pflanzen häufig aus Regionen stammen, in denen ohnehin bereits Wasserknappheit herrscht. Der Anteil biobasierter Werkstoffe an der gesamten Rohstoffnutzung ist zwar derzeit noch gering, dieses Segment wird aber als grüner Wachstumsmarkt ausgewiesen. Bei der Substitution endlicher abiotischer Materialien durch biobasierte Rohstoffe als ressourcenpolitischer Strategie muss den Effekten auf die konsumtive und degradative Inanspruchnahme von Wasser verstärkt Rechnung getragen werden.

Literatur

- Ante, Angela/Behrendt, Joachim/Bennemann, Helmut/Blöcher, Christoph/u. a.*, 2014: Trends und Perspektiven in der industriellen Wassertechnik. Rohwasser – Prozess – Abwasser, Positionspapier der ProcessNetFachgruppe Produktionsintegrierte Wasserund Abwassertechnik; DECHEMA e.V.
- Baumgarten, Corinna/Christiansen, Eike/Naumann, Stephan/Penn-Bressel, Gertrude/u. a.*, 2011: Hochwasser verstehen, erkennen, handeln!, Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.
- Bayart, Jean-Baptiste/Bulle, Cécile/Deschênes, Louise/Margni, Manuele/u. a.*, 2010: A framework for assessing off-stream freshwater use in LCA, in: The International Journal of Life Cycle Assessment 15, 439–453.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt*, 2013: Technik der kommunalen Kläranlagen in Bayern Verfahren der biologischen Abwasserreinigung,.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt*, 2014: Deiche und Hochwasserschutzwände, abrufbar unter: http://www.lfu.bayern.de/wasser/hw_schutz_technisch/deiche/index.htm.
- BDEW*, 2013: Eckdaten zur Abwasserentsorgung in Deutschland 2010 2. Länge des Kanalnetzes 1. Bevölkerung / Anschlussgrad 3. Jahresabwassermenge (Amtliche Daten, erschienen August/Oktober 2013, wenn nicht anders angegeben),.
- Bender, Michael*, 2014: Wasserdienstleistungen und Wasserpreise in Deutschland vor dem Hintergrund des Artikel 9 Wasserrahmenrichtlinie, in: Wasser: Umwelt und Ressourcenkosten. EU-Umweltbüro, 12–14.
- Bhatnagar, Amit/Vilar, Vítor J P/Botelho, Cidália M S/Boaventura, Rui A R*, 2011a: A review of the use of red mud as adsorbent for the removal of toxic pollutants from water and wastewater., in: Environmental technology 32, 231–49, abrufbar unter: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21780692>, letzter Zugriff am 17.12.2014.
- Bhatnagar, Amit/Vilar, Vítor J P/Botelho, Cidália M S/Boaventura, Rui A R*, 2011b: A review of the use of red mud as adsorbent for the removal of toxic pollutants from water and wastewater., in: Environmental technology 32, 231–49.
- BMUB*, 2013: Maßnahmen, Gesetze, Internationale Zusammenarbeit zum HochwasserschutzNo Title, abrufbar unter: <http://www.bmub.bund.de/themen/wasser-abfall-boden/binnengewasser/hochwasser/hochwasserschutz-massnahmen-gesetzgebung-zustaendigkeiten/>.
- BMUB*, 2014: UN-Gewässer-Konvention tritt in Kraft, in: Pressemitteilung, Nr. 135/14 | Berlin, 15.08.2014.
- BMZ*, 2006: Sektorkonzept Wasser. BMZ Konzept 143, Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung.

- Bringezu, Stefan/O'Brien, Meghan/Schütz, Helmut*, 2012: Beyond biofuels: Assessing global land use for domestic consumption of biomass, in: Land Use Policy 29, 224–232, abrufbar unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0264837711000640>, letzter Zugriff am 13.5.2014.
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe*, 2013a: Deutschland – Rohstoffsituation 2012, Hannover, abrufbar unter: http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/Rohsit-2012.pdf;jsessionid=48F809EF6962DCE7319588B80FF203C8.1_cid324?__blob=publicationFile&v=7.
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe*, 2013b: Phosphat. Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit, Hannover.
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe*, 2014: Deutschland – Rohstoffsituation 2013, Hannover.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung*, 2013: r3 – Strategische Metalle und Mineralien. Innovative Technologien für Ressourceneffizienz, Bonn, abrufbar unter: http://www.bmbf.de/pub/r3_strategische_metalle_mineralien_broschuere.pdf.
- Bundesministerium für Umwelt Naturschutz Bau und Reaktorsicherheit*, 2014: GreenTech made in Germany 4.0. Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland, Berlin, abrufbar unter: www.bmub.bund.de, www.greentech-made-in-germany.de.
- Bundestagsdrucksache 17/8675*, 2012: Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Dorothea Steiner, Nicole Maisch, Oliver Krischer, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN – Drucksache 17/8517 –, in: 14. 02. 2012.
- Bundestagsdrucksache 18/2085*, 2014: Bericht des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung (18. Ausschuss) gemäß § 56a der Geschäftsordnung. Technikfolgenabschätzung (TA) - Herausforderungen einer nachhaltigen Wasserwirtschaft, in: 10.07.2014.
- Bundestagsdrucksache 18/938*, 2014: Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Jan Korte, Katrin Kunert, Dr. Dietmar Bartsch, weiterer Abgeordneter und der Fraktion DIE LINKE.
- Carus, Michael/Raschka, Achim/Fehrenbach, Horst/Rettenmaier, Nils/u. a.*, 2014: Ökologische Innovationspolitik – Mehr Ressourceneffizienz und Klimaschutz durch nachhaltige stoffliche Nutzungen von Biomasse - Langfassung, UBA-Texte | 01/2014, Dessau-Roßlau.
- Dehoust, Günter/Harthan, Ralph O. ./Stahl, Hartmut/Hermann, Hauke/u. a.*, 2014: Beitrag der Kreislaufwirtschaft zur Energiewende. Klimaschutzpotenziale auch unter geänderten Rahmenbedingungen optimal nutzen,.
- Deilmann, Clemens/Krauß, Norbert/Gruhler, Karin/Reichenbach, Jan*, 2014: Endbericht - Erschließung der Ressourceneffizienzpotenziale im Bereich der Kreislaufwirtschaft Bau, abrufbar unter:

http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/downloads/Endbericht_Ressource_Abfall_Hochbau.pdf.

Deutsche Bundesregierung, 2012a: Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess). Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Beschluss des Bundeskabinetts vom 29.2.2012. *Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit* (Hrsg.), Berlin.

Deutsche Bundesregierung, 2012b: Nationale Nachhaltigkeitsstrategie: Fortschrittsbericht 2012, Berlin: Bundesregierung.

Deutsche Rohstoffagentur, 2012: Deutschland - Rohstoffsituation 2011, Berlin, abrufbar unter: www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-13.pdf.

Deutscher Bundestag, 2012: Bundestags-Drucksache 17/10796: Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Nicole Maisch, Dorothea Steiner, Daniela Wagner, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN: EU-Vertragsverletzungsverfahren gegen Deutsc.

DNR EU Koordination, 2011: Kommission rügt deutsche Wasserpolitik, abrufbar unter: <http://www.eu-koordination.de/umweltnews/news/wasser-meere/1078>.

EU KOM, 2014: Öffentliche Konsultation zu Politikoptionen für eine optimale Wiederverwendung von Wasser in der EU, Europäische Kommission.

EU KOM Vertretung in Deutschland, 2014: Nitratbelastung im Grundwasser: Kommission fordert Deutschland zum Handeln auf, in: 10.07.2014, abrufbar unter: http://ec.europa.eu/deutschland/press/pr_releases/12542_de.htm.

European Environment Agency, 2012: European waters — current status and future challenges. Synthesis, Copenhagen.

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 2012: Pflanzen für Industrie und Energie, Gülzow.

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 2014: Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow, abrufbar unter: <http://fnr.de/marktanalyse/marktanalyse.pdf>.

Ferretti, Johanna/Guske, Anna Lena/Jacob, Klaus/Quitow, Rainer, 2012: Trade and the environment. Framework and methods for impact assessment., Berlin.

Flachmann, Christine/Mayer, Helmut/Manzel, Kerstin, 2012: Wasserfußabdruck von Ernährungsgütern in Deutschland, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2012.

Gemeinsame Landesplanungsabteilung der Länder Berlin-Brandenburg/Regionaler Planungsverband Oberlausitz-Niederschlesien, 2013: Umweltbericht zu den Braunkohlenplänen „Tagebau Welzow-Süd, Weiterführung in den räumlichen Teilabschnitt II und Änderung im Teilabschnitt I“ (brandenburgischer Teil und sächsischer Teil), abrufbar unter: <http://gl.berlin->

brandenburg.de/imperia/md/content/bb-gl/braunkohle/welzow-suedtaii/bkp_wsii_2_e_umweltbericht.pdf.

Ghosh, Indrani/Guha, Saumyen/Balasubramaniam, R/Kumar, A V Ramesh, 2011: Leaching of metals from fresh and sintered red mud., in: Journal of hazardous materials 185, 662–8, abrufbar unter: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21035262>, letzter Zugriff am 25.11.2014.

Grundwasserforschungsinstitut Dresden, 2013: Gutachten: Bewertung des Bergbauvorhabens Weiterführung des Tagebaus Welzow-Süd aus dem Räumlichen Teilabschnitt I (TA I) in den TA II – in Bezug auf die Vereinbarkeit mit den Zielen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie hinsichtlich der betroffenen Gru, Dresden, abrufbar unter: http://gl.berlin-brandenburg.de/imperia/md/content/bb-gl/braunkohle/welzow-suedtaii/wassergutachten1und2/gutachtenwasser_gfi.pdf.

Grüne Liga, 2011: Die ökonomischen Instrumente der Wasserrahmenrichtlinie als Chance für den Gewässerschutz. Defizite und Handlungsbedarf im ersten Bewirtschaftungszeitraum, Positionspapier der GRÜNEN LIGA e.V. zu den deutschen Flussgebietsbewirtschaftungsplänen.

Grüne Liga, 2014: Flussauen zurückgewinnen – natürlichen Wasserrückhalt verbessern! Position zur Erarbeitung eines Nationalen Hochwasserschutzprogramms,.

Guske, Anna-Lena, 2013: Kohärenzprüfung: Wirkungsketten, Kreuztabelle, iModeler (Projektpräsentation), in: Berlin.

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 2011: Technischer Hochwasserschutz, abrufbar unter: <http://www.hlug.de/start/wasser/hochwasser/bausteine-des-hochwasserschutz/technischer-hochwasserschutz.html>.

Hillenbrand, Thomas/Niederste-Hollenberg, Jutta/Menger-Krug, Eve/Klug, Stefan/u. a., 2010: Demografischer Wandel als Herausforderung für die Sicherung und Entwicklung einer kosten- und ressourceneffizienten Abwasserinfrastruktur, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung & Institut für Infrastruktur und Ressourcenmanagement (IIRM), Universität Leipzig.

Hoeckstra, A. Y., 2013: The Water Footprint of Modern Consumer Society, Routledge.

Jacob, Klaus/Werland, Stefan/Münch, Lisa, 2013: Analyse der Debatten der Ressourceneffizienzpolitik in Deutschland: Erwartungen, Positionen und Konflikte der Ressourcenpolitik., Debattenanalyse im Projekt Ressourcenpolitik: Analyse der ressourcenpolitischen Debatte und Entwicklung von Politikoptionen (PolRess). www.ressourcenpolitik.de.

Johnson, D Barrie/Hallberg, Kevin B, 2005: Acid mine drainage remediation options: a review., in: The Science of the total environment 338, 3–14, abrufbar unter: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15680622>, letzter Zugriff am 10.7.2014.

KrWG, 2012: KrWG - Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen, abrufbar unter: <http://www.gesetze-im-internet.de/krwg/>.

- Kuhlicke, Christian/Meyer, Volker/Schwarze, Reimund/Scholz, Mathias*, 2013: Ein 100%iger Hochwasserschutz ist nicht möglich – Wir brauchen vier Säulen einer nachhaltigen Hochwasservorsorge. Standpunkt vom 18. Juni 2013, UFZ, abrufbar unter: <http://www.ufz.de/index.php?de=31794>.
- Kurmutz, Uwe/Gude, Martin/Maercker, Jakob/Knopf, Daniel/u. a.*, 2012: Handbuch Klimawandelgerechte Stadtentwicklung für Jena, Schriften zur Stadtentwicklung No 3 - ExWoSt-Modellprojekt: Jenaer Klimaanpassungsstrategie JenKAS.
- Landesamt für Natur Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen*, 2010: Beschaffenheit von Deponiesickerwasser in Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen, abrufbar unter: <http://opus.kobv.de/zlb/volltexte/2011/11150/pdf/fabe24.pdf>.
- Laner, D./Fellner, J./Brunner, P. H.*, 2010: Die Umweltverträglichkeit von Deponieemissionen unter dem Aspekt der Nachsorgedauer, in: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 62, 131–140, abrufbar unter: <http://link.springer.com/10.1007/s00506-010-0199-9>, letzter Zugriff am 12.12.2014.
- LAWA, 2013: Kleingruppe „Fortschreibung LAWA-Maßnahmenkatalog“, ANLAGE Fortschreibung LAWA-Maßnahmenkatalog (WRRL, HWRMRL) beschlossen auf der 146. LAWA-VV am 26. / 27. September 2013 in Tangermünde. LAWA-Arbeitsprogramm Flussgebietsbewirtschaftung Produktdatenblatt WRRL-2.3.3.
- LAWA, 2014a: Nationales Hochwasserschutzprogramm. Kriterien und Bewertungsmaßstäbe für die Identifikation und Priorisierung von wirksamen Maßnahmen sowie ein Vorschlag für die Liste der prioritären Maßnahmen zur Verbesserung des präventiven Hochwasserschutzes, beschlossen auf der Umweltministerkonferenz am 24. Oktober 2014 in Heidelberg.
- LAWA, 2014b: NHWSP - Liste prioritärer Maßnahmen zur Verbesserung des präventiven Hochwasserschutzes,.
- Mayer, Helmut/Flachmann, Christine/Wachowiak, Marta/Fehrentz, Petra*, 2014: Nachhaltiger Konsum: Entwicklung eines deutschen Indikatorensatzes als Beitrag zu einer thematischen Erweiterung der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie, Dessau-Roßlau, Februar 2014. UBA-Texte 17/2014.
- Mayes, William M/Jarvis, Adam P/Burke, Ian T/Walton, Melanie/u. a.*, 2011: Dispersal and attenuation of trace contaminants downstream of the Ajka bauxite residue (red mud) depository failure, Hungary., in: Environmental science & technology 45, 5147–55, abrufbar unter: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21591764>, letzter Zugriff am 17.12.2014.
- Mehl, Dietmar/Scholz, Mathias/Schulz-Zunkel, Christiane/Kasperidus, Hans Dieter/u. a.*, 2013: Analyse und Bewertung von Ökosystemfunktionen und -leistungen großer Flussauen, in: Korrespondenz Wasserwirtschaft 6, 493–499.
- Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Sachsen-Anhalt*, 2014a: Deichsanierung in Sachsen-Anhalt, abrufbar unter: <http://www.mlu.sachsen-anhalt.de/mlu-themenbereiche/wasser/hochwasserschutz/deichsanierung>.

- Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Sachsen-Anhalt*, 2014b: Drei Säulen des Hochwasserschutzes, abrufbar unter: <http://www.mlu.sachsen-anhalt.de/stichworte-a-z/hochwasser/3-saeulen-des-hochwasserschutzes/>.
- Mudd, Gavin M.*, 2010: The Environmental sustainability of mining in Australia: key mega-trends and looming constraints, in: *Resources Policy* 35, 98–115, abrufbar unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301420709000531>, letzter Zugriff am 15.7.2014.
- Neumüller, Jürgen*, 2000: Wirksamkeit von Grundwasserabgaben für den Grundwasserschutz - Am Beispiel des Bundeslandes Hessen, Darmstadt : Bibliothek des Instituts WAR.
- Owens, J.W.*, 2001: Water resources in life-cycle impact assessment: considerations in choosing category indicators, in: *Journal of Industrial Ecology* 5, 37–54.
- Peckenham, John M./Thornton, Teresa/Whalen, Bill*, 2008: Sand and gravel mining: effects on ground water resources in Hancock county, Maine, USA, in: *Environmental Geology* 56, 1103–1114, abrufbar unter: <http://link.springer.com/10.1007/s00254-008-1210-7>, letzter Zugriff am 25.11.2014.
- Pfister, Stephan/Koehler, Annette/Hellweg, Stefanie*, 2009: Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA, in: *Environmental Science & Technology* 43, 4098–4104, abrufbar unter: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es802423e>, letzter Zugriff am 12.8.2014.
- Reimer, Franz*, 2013: Effiziente Wassernutzung durch Wasserentnahmeentgelte?, in: *LKRZ - Zeitschrift für Landes- und Kommunalrecht Hessen / Rheinland-Pfalz / Saarland* 11, 445–488.
- Richter, Pavel/Pecharová, Emilie*, 2013: Effects of mining activities on river water quality., in: *Polish Journal of Environmental Studies* 22, 1269–1276.
- Rockström, J./Steffen, Will/Noone, Kevin/Persson, Åsa/u. a.*, 2009: A safe operating space for humanity, in: *Nature* 461, 472–475.
- Ruyters, Stefan/Mertens, Jelle/Vassilieva, Elvira/Dehandschutter, Boris/u. a.*, 2011a: The red mud accident in ajka (hungary): plant toxicity and trace metal bioavailability in red mud contaminated soil., in: *Environmental science & technology* 45, 1616–22, abrufbar unter: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21204523>, letzter Zugriff am 17.12.2014.
- Ruyters, Stefan/Mertens, Jelle/Vassilieva, Elvira/Dehandschutter, Boris/u. a.*, 2011b: The red mud accident in ajka (hungary): plant toxicity and trace metal bioavailability in red mud contaminated soil., in: *Environmental science & technology* 45, 1616–22.
- Sartorius, Christian/Hillenbrand, Thomas*, 2008: Ausbreitung dezentraler Ansätze der Abwasserbehandlung und des Regenwassermanagements im Elbegebiet, in: *KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall* 55.
- Schiller, Georg*, 2010: Kostenbewertung der Anpassung zentraler Abwasserentsorgungssysteme bei Bevölkerungsrückgang, Leibniz Institut für ökologische Raumentwicklung: IÖR Schriften Band 51.

- Schiller, Georg/Deilmann, Clemens/Gruhler, Karin/Röhm, Patric*, 2010: Ermittlung von Ressourcenschonungspotenzialen bei der Verwertung von Bauabfällen und Erarbeitung von Empfehlungen zu deren Nutzung, Dessau-Roßlau, abrufbar unter:
<http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4040.pdf>.
- Schröter, Marcus/Lerch, Christian/Jäger, Angela*, 2011: Materialeffizienz in der Produktion: Einsparpotenziale und Verbreitung von Konzepten zur Materialeinsparung im Verarbeitenden Gewerbe, Karlsruhe, abrufbar unter:
<http://www.demea.de/service/publikationen/20111207endberichtmaterialeffizienzinderproduktion.pdf>.
- Schwarzkopp, Fritz/Breier, S.*, 2009: Recyclinggutachten NRW Substitution von Primärbaurohstoffen durch Recyclingbaustoffe in Nordrhein-Westfalen, abrufbar unter: http://gruene-regionalrat-duesseldorf.de/fileadmin/user_upload/verbaende/rr_duesseldorf/Dokumente/Themen/MWME_NRW_Recyclinggutachten.pdf.
- Schwarzkopp, Fritz/Drescher, Jochen/Gornig, Martin/Blazejczak, Jürgen*, 2013: Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine-und-Erden-Industrie bis 2030 in Deutschland,.
- Söderholm, Patrik*, 2011: Taxing virgin natural resources: Lessons from aggregates taxation in Europe, in: Resources, Conservation and Recycling 55, 911–922, abrufbar unter:
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344911000942>, letzter Zugriff am 26.11.2014.
- Statistisches Bundesamt*, 2013a: Umweltnutzung und Wirtschaft. Bericht zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 2013., Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt*, 2013b: Umweltnutzung und Wirtschaft. Tabellen zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen Teil 4: Rohstoffe, Wassereinsatz, Abwasser, Abfall. Ausgabe 2013, Wiesbaden, abrufbar unter:
https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/Querschnitt/UmweltnutzungundWirtschaftTabelle5850007137006Teil_4.pdf.
- Stiefel, Rolf*, 2014: Abwasserrecycling und Regenwassernutzung. Wertstoff- und Energierückgewinnung in der betrieblichen Wasserwirtschaft, Springer Verlag.
- UBA*, 2014: Wasser bewirtschaften: ökonomische Fragen, in: 15.10.2014, abrufbar unter:
<http://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/wasser-bewirtschaften/oekonomische-fragen>.
- Umweltbundesamt*, 2009a: Hintergrundpapier zu einer multimedialen Stickstoffemissionsminderungsstrategie, Dessau-Roßlau.
- Umweltbundesamt*, 2009b: Integrierte Strategie zur Minderung von Stickstoffemissionen, Dessau-Roßlau.
- Umweltbundesamt*, 2012: Glossar UBA - Ressourcenschonung, abrufbar unter:
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4242.pdf>, letzter Zugriff am 29.1.2012.
- Umweltbundesamt*, 2013: Wassernutzung in einzelnen Produktionsbereichen, abrufbar unter:
<http://www.umweltbundesamt.de/daten/industrie/wassereinsatz-des-verarbeitenden-gewerbes>.

- Umweltbundesamt*, 2014a: Versalzung von Werra und Weser Beseitigung der Abwässer aus der Kaliproduktion mittels „Eindampfungslösung“, Dessau-Roßlau, abrufbar unter: http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/versalzung_von_werra_und_weser_-_beseitigung_der_abwaesser_aus_der_kaliproduktion_mittels_eindampfungsloesung_stellungnahme_0.pdf.
- Umweltbundesamt*, 2014b: Versalzung von Werra und Weser Beseitigung der Abwässer aus der Kaliproduktion mittels „Eindampfungslösung“, Dessau-Roßlau.
- Umweltbundesamt*, 2014c: Wasserwirtschaft in Deutschland. Teil 1: Grundlagen,.
- Umweltministerkonferenz*, 1999: 53. Umweltministerkonferenz am 27./28. Oktober 1999 in Augsburg - Ergebnisniederschrift,.
- Umweltministerkonferenz*, 2013: Sonderumweltministerkonferenz Hochwasser am 2. September 2013 in Berlin. Beschluss,.
- UNEP*, 2012: Measuring water use in a Green Economy. A Report of the Working Group on Water Efficiency to the International Resource Panel, Nairobi, abrufbar unter: http://www.unep.org/resourcepanel/Portals/24102/Measuring_Water.pdf.
- UNEP*, 2013: Environmental Risks and Challenges of Anthropogenic Metals Flows and Cycles. A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel. *van der Voet, Ester/Salminen, Reijo/Eckelman, Matthew/Mudd, Gavin/u. a.* (Hrsg.),.
- UNEP*, 2014a: Assessing Global Land Use: Balancing Consumption with Sustainable Supply. A Report of the Working Group on Land and Soils of the International Resource Panel. Bringezu S., Schütz H., Pengue W., O'Brien M., Garcia F., Sims R., Howarth R., Kauppi L., Swilli *International Resource Panel Working Group on Land and Soil* (Hrsg.), abrufbar unter: http://www.unep.org/resourcepanel/Portals/24102/PDFs/Full_Report-Assessing_Global_Land_UseEnglish_%28PDF%29.pdf.
- UNEP*, 2014b: Decoupling 2: technologies, opportunities and policy options. A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel, Nairobi.
- Vereinigung Deutscher Gewässerschutz*, o. J.: Virtuelles Wasser, abrufbar unter: http://virtuelles-wasser.de/virtuelles_wasser.html, letzter Zugriff am 26.3.2015.
- Warsen, Jens/Berger, Markus/Krinke, Stephan*, 2011: Water consumption throughout a car ' s life cycle, abrufbar unter: http://www.lcm2011.org/papers.html?file=tl_files/pdf/paper/1_Session_LCM_and_Water_Footprint/2_Warsen-Water_consumption_throughout_a_car_s_life_cycle-657_b.pdf.
- Waste Online*, 2005: Metals - aluminium and steel recycling, abrufbar unter: <https://dl.dropboxusercontent.com/u/21130258/resources/InformationSheets/metals.htm>.
- Weiss, Martin/Haufe, Juliane/Carus, Michael/Brandão, Miguel/u. a.*, 2012: A Review of the Environmental Impacts of Biobased Materials, in: *Journal of Industrial Ecology* 16, S169–S181,

abrufbar unter: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1530-9290.2012.00468.x>, letzter Zugriff am 28.7.2014.

- Werland, Stefan/Bleischwitz, Raimund/Jacob, Klaus/Raecke, Florian/u. a.*, 2010: Elemente einer Ressourcenpolitik für ein nachhaltiges Phosphormanagement und eine Reduktion der Phosphorimporte, Paper zu Arbeitspaket 3 des Projekts „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes).
- Werland, Stefan/Graaf, Lisa/Jacob, Klaus/Bringezu, Stefan/u. a.*, 2014: Nexus Ressourceneffizienz und Energiewende. Eine Analyse der Wechselwirkungen, Berlin.
- De Wever, Heleen*, 2010: Interaction of the Water Cycle with Energy, Material Resources, Greenhouse Gas Production, and Land Use, in: *Graedel, Thomas E./Van der Voet, Ester* (Hrsg.), *Linkages of Sustainability*. Cambridge, Massachusetts, London, England: MIT Press, 243–265.
- Wissenschaftliche Beiräte für Agrarpolitik (WBA) und für Düngungsfragen (WBD)/SRU*, 2013: Kurzstellungnahme Novellierung der Düngeverordnung: Nährstoffüberschüsse wirksam begrenzen,.
- Woidasky, Jörg/Ostertag, Katrin/Stier, Christian*, 2013: Innovative Technologien für Ressourceneffizienz in rohstoffintensiven Produktionsprozessen, Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Wolff, Franziska/Heyen, Dirk Arne/Jacob, Klaus/Guske, Anna-Lena*, 2013: Zwischenbericht zum Vorhaben „Kohärenzprüfung umweltpolitischer Ziele und Maßnahmen für Zwecke der Umweltberichterstattung“ (unveröffentlicht), Berlin.
- Wolters, Ralf/Bettermann, Ines/Rösler, Hans-Werner/Thomas, Rainer*, 2012: Kreislaufschließung von Metallen und Spülwasser in der Weißblechproduktion, in: *Chemie Ingenieur Technik* 84, 1725–1732, abrufbar unter: <http://doi.wiley.com/10.1002/cite.201200059>, letzter Zugriff am 25.11.2014.
- WWAP (United Nations World Water Assessment Programme)*, 2014: The United Nations World Water Development Report 2014: Water and Energy,.
- WWF*, 2009: Der Wasser-Fußabdruck Deutschlands, World Wide Fund for Nature (WWF).

Anhang:

Methodik

Für die Analyse der Schnittstellen und der Kohärenz von Wasser- und Ressourcenpolitik wird die Methode der Wirkungskettenanalyse verwendet (Ferretti u. a. 2012; Wolff u. a. 2013; Guske 2013). Diese Systematik wurde bereits für den Nexus Ressourceneffizienz und Energiewende erprobt (Werland u. a. 2014). Dabei werden für beide Handlungsfelder zunächst die verfolgten Ziele und die zentralen Instrumente zu deren Erreichung identifiziert. Diese Instrumente sollen Verhaltensänderungen bei den Adressaten auslösen, wie beispielsweise eine Veränderung der Nachfrage nach Produkten, eine Änderung von Produktionsprozessen oder die Aufnahme bestimmter Forschungstätigkeiten. Die Untersuchung geht davon aus, dass die Instrumente zu tatsächlichen Verhaltensänderungen führen. Die Verhaltensänderungen können nun daraufhin untersucht werden, welche Auswirkungen sie auf die Ressourcennutzung haben und inwiefern dadurch Ziele des anderen Handlungsfeldes berührt werden. Bei der Analyse der Kohärenz wird somit die gesamte Wirkungskette von den Zielen über die Instrumente bis zu Verhaltensänderungen und deren Wirkungen auf natürliche Ressourcen betrachtet, um Zielkonflikte oder Synergien zu identifizieren.

Generische Wirkungskette:

Ziel Handlungsfeld X > Maßnahme/Instrument zur Zielerreichung > *wirkt auf Verhalten* > Verhaltensänderung > Auswirkung auf unterschiedliche Ressourcentypen

Eine solche Betrachtung betrifft zunächst nur die direkten Effekte. Im Zusammenhang der hier betrachteten Ressourcen sind aber auch indirekte Wirkungen und Rückkopplungen denkbar oder gar wahrscheinlich.

Indirekte Wirkungsketten lassen sich hypothetisch in großer Zahl und mit langen Ketten konstruieren. Die Herausforderung besteht darin, aus der Vielzahl die relevanten Wirkungsbeziehungen zu identifizieren und vertieft zu untersuchen. Dies erfolgte in der vorliegenden Studie auf Basis einer umfassenden Literaturstudie und der Expertise der an der Studie beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass es weitere indirekte Wirkungen geben kann, die bisher in der Literatur noch nicht als relevant thematisiert worden sind oder die erst dann sichtbar werden, wenn Skaleneffekte eintreten.

Abbildung 10: Schematische Darstellung einer Wirkungskette



Quelle: eigene Darstellung

Die Verknüpfung der Handlungsfelder Wasserpolitik und Ressourceneffizienzpolitik erfolgt über die jeweils direkt adressierten und indirekt betroffenen Ressourcen. Die Ausprägungen der Wirkungszusammenhänge und die zugrunde liegenden Verhaltensweisen (Prozesse) werden in den folgenden Kapiteln spezifiziert. Dabei werden die Wirkungen qualitativ beschrieben. In den Fällen, in denen konkrete, mit Zahlen unterlegte Beispiele oder wissenschaftliche Untersuchungen vorhanden sind, werden diese angeführt. Im Rahmen dieses Nexus-Papiers konnte keine extensive Erhebung durchgeführt werden, daher sind die präsentierten Daten notwendigerweise selektiv und dienen der Veranschaulichung.