

TEXTE

32/2021

Handlungsfelder zur Steigerung der Ressourceneffizienz

Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen

TEXTE 32/2021

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3716 32 101 0
FB000401/2

Handlungsfelder zur Steigerung der Ressourceneffizienz

Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen

von

Klaus Jacob, Rafael Postpischil, Lisa Graaf, Maximilian Ramezani
Forschungszentrum für Umweltpolitik, Freie Universität Berlin,
Berlin

Katrin Ostertag, Matthias Pfaff
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI,
Karlsruhe

Lena Reuster, Florian Zerzawy
Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft, Berlin

Unter Mitarbeit von

Dr. Simon Glöser-Chahoud
Karlsruher Institut für Technologie KIT, Karlsruhe

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

[t/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

Freie Universität Berlin / Forschungszentrum für Umweltpolitik
Innstraße 22
14195 Berlin

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe

Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft
Schwedenstraße 15a
13357 Berlin

Abschlussdatum:

August 2019

Fachliche Begleitung:

Fachgebiet I 1.4 Wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Umweltfragen, nachhaltiger Konsum
Dr. Michael Golde

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, März 2021

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Handlungsfelder zur Steigerung der Ressourceneffizienz – Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen

Im Rahmen des Projekts „Politiksznarien ProgRes – Analyse und Bewertung von Politikmaßnahmen und ökonomischen Instrumenten des Ressourcenschutzes für die Weiterentwicklung von ProgRes“ werden in diesem Teilbericht anhand einer umfassenden Literaturstudie 18 Handlungsfelder identifiziert, die Potenziale für eine Steigerung der Ressourceneffizienz bieten. Dabei werden zur Orientierung die im Ressourceneffizienzprogramm der Bundesregierung (ProgRes) gewählten Oberthemen herangezogen, wie bspw. „nachhaltige Rohstoffversorgung sichern“. Von den 18 identifizierten Handlungsfeldern ausgehend wurden sechs priorisiert, bei denen es relevante Hemmnisse gibt, die mit ökonomischen Anreizen adressiert werden könnten. Hemmnisse beziehen sich dabei vor allem auf ökonomische und regulatorische, aber auch auf technologische und informatorische Hürden. Für die so ausgewählten sechs Handlungsfelder wurden im weiteren Verlauf des Forschungsprojektes entsprechende ökonomische Politikinstrumente konzipiert und vertieft analysiert.

Die Analyse zeigt im Kern, dass zwei Haupthemmnisse für Ressourceneffizienz bestehen: (1) Die Möglichkeiten zur Externalisierung von Kosten bei ressourcenintensiven Produkten und umgekehrt fehlende Preissignale für ressourceneffiziente Alternativen und (2) Informationsdefizite entlang der Wertschöpfungsketten.

Die Analyse zeigt weiterhin, dass technische Lösungen sowie ressourceneffiziente Praktiken in vielen Bereichen bereits verfügbar sind. Eine ambitionierte Ressourcenpolitik müsste daher vermehrt die Nachfrage nach RE Alternativen in der Breite fördern und entsprechende Hemmnisse adressieren. Ökonomische Politikinstrumente könnten dazu an zwei zentralen Stellen ansetzen. Einerseits initiieren sie Suchprozesse, die Informationsdefizite abbauen helfen und andererseits setzen sie Preissignale zu Gunsten von RE Produkten und Praktiken.

Abstract: Fields of Action to increase resource efficiency – Potentials, Barriers and Measures

Within the research project “Policy Scenarios ProgRes – Analysis and Assessment of Policy Measures and Economic Instruments of Resourceprotection for the advancement of ProgRes” this report identifies 18 fields of action based on a comprehensive literature study, which hold potentials for improving resource efficiency. For guidance, the main themes of the federal Resource Efficiency Programme (ProgRes) are employed, such as “Securing a sustainable raw material Supply“. Based upon the identified 18 fields for action, six were prioritized further, depending on whether relevant barriers exist, which can be addressed by economic incentives. Barriers are considered in economic and regulatory, but also technological and informational terms. For the six prioritized fields of action, economic policy instruments will be designed and assessed in depth in the further course of the research project.

In essence, the analysis in this report shows two main obstacles for increasing resource efficiency: lacking price signals for resource efficient alternatives and informational deficits along value chains.

Technical solutions as well as resource efficient practices are well developed in many sectors. Ambitious resource policy should therefore support broader demand for resource efficient alternatives. Economic policy instruments could hereby play a twofold role: Firstly, they initiate search processes, which help reducing information deficits. Secondly, respective price signals incentivize resource efficient products and practices.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	7
Abbildungsverzeichnis.....	9
Tabellenverzeichnis	11
Zusammenfassung.....	12
Summary	16
Abkürzungsverzeichnis	19
1 Hintergrund, Ziele und Gegenstand des Berichts	20
2 Definitionen zur Bewertung der Effizienzpotenziale, Hemmnisse und Maßnahmen der Handlungsfelder	22
2.1 Arten von Effizienz.....	22
2.2 Hemmnisse	22
2.3 Maßnahmen	25
3 Untersuchungsfokus und sektorübergreifende empirische Befunde zu Ressourceneffizienzpotentialen	26
4 Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen der Handlungsfelder	31
4.1 Nachhaltige Rohstoffversorgung sichern	31
4.1.1 Handlungsfeld 1 Bergbau in Deutschland.....	31
4.1.2 Handlungsfeld 2 Rohstoffgewinnung für Baustoffe in Deutschland	33
4.1.3 Handlungsfeld 3 Bergbau im Ausland.....	35
4.1.4 Handlungsfeld 4 Nutzung nichtfossiler Kohlenstoffquellen: biotische Rohstoffe und CO ₂ als Rohstoff.....	38
4.2 Ressourceneffizienz in der Produktion steigern.....	41
4.2.1 Handlungsfeld 5 Bereitstellung von Informationen entlang der Wertschöpfungskette ..	41
4.2.2 Handlungsfeld 6 Betriebliches Ressourcenmanagement	43
4.2.3 Handlungsfeld 7 RE Fertigungsverfahren wie Leichtbau	46
4.3 Produkte und Konsum ressourcenschonender gestalten	49
4.3.1 Handlungsfeld 8 RE in der Produktgestaltung	49
4.3.2 Handlungsfeld 9 RE im Handel (Produktangebot & -auswahl).....	54
4.3.3 Handlungsfeld 10 Reparatur, Refurbishing, Gebrauchtwaren (ohne IKT).....	56
4.3.4 Handlungsfeld 11 Teilen & Tauschen	60
4.4 Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft ausbauen	62
4.4.1 Handlungsfeld 12 (Kunststoff-) Verpackungen.....	62
4.4.2 Handlungsfeld 13 Rücknahme und Rückgabe v. a. von WEEE.....	66
4.4.3 Handlungsfeld 14 Phosphorrecycling und effiziente Verwendung	68

4.5	Nachhaltiges Bauen und Nachhaltige Stadtentwicklung	69
4.5.1	Handlungsfeld 15 Ressourceneffizienz im Bauwesen	69
4.5.2	Handlungsfeld 16 Stadtplanung und Infrastrukturen.....	73
4.6	Ressourceneffiziente IKT	75
4.6.1	Handlungsfeld 17 Verlängerung der Nutzungsdauer IKT Geräte	75
4.6.2	Handlungsfeld 18 RE Zukunftstechnologien und -praktiken: Elektromobilität und Industrie 4.0	78
5	Priorisierung der Handlungsfelder für die weitere Analyse und Fazit	81
6	Quellenverzeichnis	84

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fokus der hier durchgeführten Potenzialanalyse	26
Abbildung 2: Angaben zum Materialeinsparpotenzial in der Produktion bei Nutzung der heute verfügbaren technischen Möglichkeiten ..	27
Abbildung 3: Zusammensetzung des Materialverbrauchs (RMC) pro Kopf in Deutschland.....	29
Abbildung 4: Anzahl der ausgewerteten Literaturquellen nach Handlungsfeldern	30
Abbildung 5: In Deutschland gewonnene Rohstoffe.....	31
Abbildung 6: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 1.....	32
Abbildung 7: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 2.....	34
Abbildung 8: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 3.....	36
Abbildung 9: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 4.....	39
Abbildung 10: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 5.....	41
Abbildung 11: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 6.....	44
Abbildung 12: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 7.....	46
Abbildung 13: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 8.....	50
Abbildung 14: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 9.....	55
Abbildung 15: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 10.....	57
Abbildung 16: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 11.....	61
Abbildung 17: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 12.....	62
Abbildung 18: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 13.....	67
Abbildung 19: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 14.....	68
Abbildung 20: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 15, Fokus Baustoffrecycling.....	70
Abbildung 21: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 15, Fokus alternative Baustoffe	70
Abbildung 22: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 16.....	74

Abbildung 23: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 17	75
Abbildung 24: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 18.....	79

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Priorisierung Handlungsfelder	14
Tabelle 2: Innovationspotenziale nach Materialklassen	48
Tabelle 3: Priorisierung Handlungsfelder	82

Zusammenfassung

In dem Projekt „Politiksznarien ProgRess – Analyse und Bewertung von Politikmaßnahmen und ökonomischen Instrumenten des Ressourcenschutzes für die Weiterentwicklung von ProgRess“ untersuchen das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI), das Forschungszentrum für Umweltpolitik der Freien Universität Berlin (FFU) sowie das Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft (FÖS) Optionen für ökonomische Instrumente der Ressourcenpolitik.

Das bisherige ressourcenpolitische Instrumentarium in Deutschland zielt vor allem auf Förderung von ressourceneffizienten Innovationen und deren Verbreitung ab, etwa durch Beratungsprogramme. Marktbasierte Instrumente, die durch Preissignale Anreize für sparsameren Materialverbrauch setzen oder ordnungsrechtliche Instrumente etwa bei der Anlagenzulassung oder der Beschränkung des Marktzugangs für ineffiziente Produkte, werden dagegen kaum genutzt. Zum Einsatz kommen sie allenfalls im Hinblick auf Abfallvermeidung oder -behandlung sowie der Energieerzeugung und -verbrauch, nicht jedoch, um den Input anderer (Primär-)Materialien wirksam zu reduzieren.

In dem Projekt wird die Evidenz zu den Vor- und Nachteilen von marktbasieren Instrumenten der Ressourcenpolitik umfassend aufgearbeitet. Das Ziel ist es, die politischen Akteure bei der Umsetzung und Weiterentwicklung des deutschen Ressourceneffizienzprogramms (ProgRess) zu den Wirkungen marktbasierter Instrumente zu informieren und ihre Entscheidungen dadurch zu unterstützen.

Dazu werden im ersten Arbeitspaket, welches dieser Teilbericht abbildet, anhand einer ersten Literaturstudie 18 Handlungsfelder identifiziert, die Potenziale für eine Steigerung der Ressourceneffizienz bieten und bei denen eine Nutzung von ökonomischen Instrumenten besonders sinnvoll erscheint. Der Zuschnitt der Handlungsfelder umfasst sowohl aus der Sicht der Ressourceneffizienzstrategie relevante Ressourcen bzw. Wertschöpfungsstufen als auch sinnvoll miteinander verknüpfte Maßnahmen (statt nur Einzelmaßnahmen), die einen relevanten Beitrag zur Verbesserung der Ressourceneffizienz leisten können. Für den Zuschnitt von Handlungsfeldern werden zur Orientierung die in ProgRess II gewählten Oberthemen herangezogen. Diese betreffen folgende Bereich aus ProgRess: Nachhaltige Rohstoffversorgung sichern, Ressourceneffizienz in der Produktion steigern, Produkte und Konsum ressourcenschonender gestalten, Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft ausbauen, Nachhaltiges Bauen und Nachhaltige Stadtentwicklung sowie Ressourceneffiziente Informations- und Kommunikationstechnologie. Innerhalb dieser Felder wurden Maßnahmenbündel identifiziert, um Ressourceneffizienzpotentiale zu heben. Die 18 identifizierten Handlungsfelder umfassen:

1. Handlungsfeld: Bergbau in Deutschland
2. Handlungsfeld: Rohstoffgewinnung für Baustoffe in Deutschland
3. Handlungsfeld: Bergbau im Ausland
4. Handlungsfeld: Nutzung biotischer Rohstoffe und CO₂ als Rohstoff
5. Handlungsfeld: Bereitstellung von Informationen entlang der Wertschöpfungskette
6. Handlungsfeld: Betriebliches Ressourcenmanagement
7. Handlungsfeld: ressourceneffiziente Fertigungsverfahren wie Leichtbau
8. Handlungsfeld: Ressourceneffizienz in der Produktgestaltung
9. Handlungsfeld: Ressourceneffizienz im Handel (Produktangebot & -auswahl)
10. Handlungsfeld: Reparatur, Refurbishing, Gebrauchsgüter (ohne IKT)
11. Handlungsfeld: Teilen & Tauschen
12. Handlungsfeld: (Kunststoff)Verpackungen
13. Handlungsfeld: Rücknahme und Rückgabe v. a. von WEEE

14. Handlungsfeld: Phosphorrecycling und effiziente Verwendung
15. Handlungsfeld: Ressourceneffizienz im Bauwesen
16. Handlungsfeld: Stadtplanung und Infrastrukturen
17. Handlungsfeld: Verlängerung der Nutzungsdauer IKT Geräte
18. Handlungsfeld: ressourceneffiziente Zukunftstechnologien und -praktiken: Elektromobilität und Industrie 4.0

Für alle Handlungsfelder werden auf Grundlage einer umfassenden Literaturstudie die Ressourceneffizienzpotenziale, mögliche Maßnahmen zur Hebung dieser Potentiale und Hemmnisse bewertet. Maßnahmen im Sinne des Berichts sind also Praktiken, die von bspw. Unternehmen und privaten Haushalten ergriffen werden (könnten). Davon zu unterscheiden sind politische Instrumente, welche der Staat ergreifen kann, um solche Maßnahmen anzustoßen. Bei der Analyse von Maßnahmen betrachten wir alle Akteure entlang der Wertschöpfungsstufen und beziehen auch internationale Wertschöpfungsketten mit ein. Hemmnisse beziehen sich dabei vor allem auf ökonomische und regulatorische, aber auch auf technologische und informatorische Hürden. Dieses Scoping ist als breiter Überblick zu verstehen, im Detail ließe sich jedes Handlungsfeld weiter vertieft untersuchen.

Dabei werden zwei Haupthemmnisse für Ressourceneffizienz identifiziert. Erstens fehlt vielfach ein Preissignal, welches ressourceneffiziente Entscheidungen begünstigt: ressourcenintensive Güter bzw. Praktiken sind häufig preisgünstiger, weil Umweltkosten der Extraktion, des Transports, der Herstellung (insbesondere auch Energie), aber auch der Umweltnutzen von Arbeit (bspw. bei Reparatur) in den Preisen nicht berücksichtigt sind. Dadurch werden falsche bzw. keine Signale für RE Entscheidungen gegeben. Zweitens hemmen vielfach fehlende Informationen entlang der Wertschöpfungsketten die Begünstigung von und/oder Entscheidung für ressourceneffiziente Alternativen. Es ist zu beachten, dass Präferenzen nicht alleine an den Preisen orientiert sind oder der Nutzen monetär bewertbar ist. Produkte werden bspw. auch zur sozialen Differenzierung gekauft. Im Vordergrund der Begründung ökonomischer Instrumente stehen allerdings Hemmnisse, die sich aus der Externalisierung von Umweltkosten ergeben.

Von den 18 identifizierten Handlungsfeldern werden anschließend sechs priorisiert, bei denen sowohl substanzielle Ressourceneffizienzpotenziale als auch relevante Hemmnisse vorliegen, welche mit ökonomischen Anreizen adressiert werden könnten (vgl. Tabelle 1: Priorisierung Handlungsfelder).

Tabelle 1: Priorisierung Handlungsfelder

	Potenziale	Hemmnisse	Maßnahmen	Begründung
Rohstoffgewinnung				
1. Bergbau in Deutschland	●	●	●	große Umweltwirkung, Kosten sehr hoch
2. Rohstoffgewinnung für Baustoffe in Deutschland	●	●	●	Potenziale v.a. im Recycling (vgl. HF15)
3. Bergbau im Ausland	●	●	●	hohe Potenziale, geringe Kosten, begrenzter Einfluss
4. Nutzung biotischer Rohstoffe und CO2 als Rohstoff	●	●	●	hohe Potenziale (Umweltwirkung), ökon. Hemmnisse zentral
RE Produktion				
5. Bereitstellung Informationen Wertschöpfungskette	●	●	●	Potenziale v.a. durch Reparatur (HF 10)
6. Betriebliches Ressourcenmanagement	●	●	●	gutes Kosten-Nutzen Verhältnis
7. RE Fertigungsverfahren	●	●	●	v.a. Innovationsförderung nötig
RE Produkte und Konsum				
8. RE in der Produktgestaltung	●	●	●	schwierig in der Umsetzung, aber hohe Potenziale
9. RE im Handel	●	●	●	eher geringe Potenziale und schwierige Umsetzbarkeit
10. Reparatur, Refurbishing und Gebrauchtwaren	●	●	●	hohe Potenziale, geringe Kosten
11. Sharing + Tauschen	●	●	●	ambivalente Umweltwirkungen, geringe Effektivität
RE KrW				
12. (Kunststoff)Verpackungen	●	●	●	mittlere Potenziale, hohe Hemmnisse, effektive Maßnahmen
13. Rücknahme & Rückgabe	●	●	●	hohe Potenziale v.a. Elektronik, fehlende Anreize
14. Phosphorrecycling und RE Verwendung	●	●	●	Verfügbare Technologie, Regelung über KlärschlammVO
RE Bauen				
15. RE Baustoffe (Recycling & alternative Baustoffe)	●	●	●	hohe Potenziale, geringe Kosten Sekundärmaterialien
16. Stadtplanung / Infrastrukturen	●	●	●	hohe Potenziale, geringe Bedeutung ökonomischer Hemmnisse
RE IKT				
17. Verlängerung Nutzungsdauer IKT	●	●	●	hohe Potenziale, fehlende Anreize, effektive Maßnahmen
Allgemein				
18. Zukunftstechnologie und -praktiken	●	●	●	Potenziale unklar, Hemmnisse insb. fehlende Anreize

Quelle: Eigene Darstellung

Im Handlungsfeld 6 „Betriebliches Ressourcenmanagement“ wird insbesondere das positive Verhältnis der vergleichsweise geringen Kosten einer Einführung oder Förderung von Umweltmanagementsystemen und den damit erzielbaren ökologischen und ökonomischen Wirkungen als Priorisierungsgrund gewertet. Handlungsfeld 8 „RE in der Produktgestaltung“ ist gekennzeichnet durch sehr hohe Potenziale, wobei die Hemmnisse im Bereich der Informationsdefizite und fehlender ökonomischer Anreize liegen. Auch wenn die Maßnahmen kostenintensiv sein dürften und die Umsetzung voraussetzungsreich, wird eine Adressierung über ökonomische Instrumente empfohlen. Außerdem als zentral bewertet wird das Handlungsfeld 10 „Reparatur, Refurbishing, Gebrauchtwaren (ohne IKT)“, welches hohe Potenziale und eine ähnliche Hemmnis-Struktur wie Handlungsfeld 8 aufweist, aber bei der Umsetzbarkeit leichter zu bewerkstelligen erscheint. Handlungsfeld 13 „Rücknahme und Rückgabe v. a. von WEEE“ ist durch hohe Potenziale gekennzeichnet, vor allem bei ökonomischen Einsparungen in Kombination mit einer Entkopplung von negativen Umwelteffekten. Die Hemmnisse des Handlungsfelds 13 sind am stärksten bei fehlenden ökonomischen Anreizen ausgeprägt, welche über Maßnahmen, besonders im Bereich Elektronik gehoben werden könnten. Die weitreichende Flächen- und damit Ökosystemnutzung macht Handlungsfeld 15 „Ressourceneffizienz im Bauwesen“ zu einem zentralen Ansatzpunkt der Ressourcenpolitik. Hier werden große Potenziale gesehen und das Haupthemmnis fehlender ökonomischer Anreize könnte vergleichsweise kostengünstig gehoben werden – insbesondere über die Nutzung von Sekundärmaterial. Das sechste priorisierte Handlungsfeld 17 „Verlängerung der Nutzungsdauer IKT Geräte“ besitzt große Potenziale zur Bedürfniseffizienz und damit zur Entkopplung von negativen Umweltwirkungen. Unterschiedliche Maßnahmen sind verfügbar, wie bspw. auf Langlebigkeit ausgerichtetes Produktdesign, um diese Potenziale zu heben. Hemmnis sind hierbei vor allem fehlende ökonomische Anreize.

Übergreifend lässt sich aus den betrachteten Handlungsfeldern schlussfolgern, dass sowohl technische Lösungen als auch RE Praktiken in vielen Bereichen bereits weit entwickelt sind. Die Diffusion ist dabei aber ungenügend. Eine ambitionierte Ressourcenpolitik müsste nun

entsprechend die Nachfrage nach RE Alternativen in der Breite befördern und damit über die bisherige angebotsseitige Innovationspolitik hinausgehen. Dabei setzen ökonomische Instrumente an zwei zentralen Punkten an: Suchprozesse werden eingeleitet, die Informationsdefizite abbauen helfen und Preissignale zu Gunsten von RE Produkten und Praktiken werden gestärkt.

Auf Grundlage der priorisierten Handlungsfelder werden in weiteren Arbeitspaketen des Projekts Politikinstrumente erarbeitet, welche die Hemmnisse überwinden könnten. Diese sollen private Haushalte und Unternehmen unterstützen, die identifizierten Maßnahmen zu ergreifen, worüber die identifizierten Potenziale realisiert werden könnten. Die Befunde dieser weiteren Arbeitspakete werden in weiteren Teilberichten veröffentlicht.

Summary

Within the research project “Policy Scenarios ProgRes – Analysis and Assessment of Policy Measures and Economic Instruments of Resource protection for the advancement of ProgRes”, the Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research (Fraunhofer ISI), the Environmental Policy Research Centre of Freie Universität Berlin (FFU) and Green Budget Germany (FÖS) investigate potential economic instruments of resource policy.

Current instruments in German resource policy aim at supporting resource efficient (RE) innovations and their dissemination, for example by means of advisory programs and innovation funding. Market-based instruments, which incentivize material savings by price signals, or regulatory instruments, such as plant permits or limiting market access for inefficient products, are rarely used. And if so, they are prominently used in waste prevention or treatment, but not to address material inputs effectively.

The research project investigates the evidence of advantages and disadvantages around market-based instruments in resource policy. This serves to inform political actors involved in the implementation as well as advancement of the German Resource Efficiency Program (ProgRes) about the various options and effects of market-based instruments and thereby support their decisions.

Therefore, as a first step, we identified 18 fields of action (HF) based on a literature study, which hold potential for increasing resource efficiency. The supersets within ProgRes are used as orientation and the fields of action are identified in consultation with the contracting authority. These supersets, from which 18 fields of action were derived encompass: Raw Material Supply, RE Production, RE Products and Consumption, RE Circular Economy, RE Building as well as RE Information- and Communication Technology (ICT). The 18 fields of action are:

1. Raw Material Extraction in Germany
2. Building Material Extraction in Germany
3. Mining abroad
4. Use of biotic Resources and CO₂ as Resource
5. Providing Information along the Value-Chain
6. Resource Management
7. RE Manufacturing Processes such as lightweight construction
8. RE in Product Design
9. RE in Trade (Supply and Selection)
10. Repair, Refurbishing and Second-Hand-Goods (excluding ICT)
11. Sharing and Exchanging
12. (Plastic)Packaging
13. Take-back & Return of especially WEEE
14. Phosphorus Recycling and RE Usage
15. RE Building Materials (Recycling & Alternatives)
16. Urban Planning / Infrastructure
17. Increasing Durability ICT
18. Future Technology and –practices: E-Mobility and Industry 4.0

For all of these 18 fields of action, potentials, barriers and measures for increasing resource efficiency were evaluated by the means of a traffic lights methodology based on a comprehensive literature study. Measures in this case refer to practices which companies and private households could take up. These measures are distinct from political instruments, which the state can employ to influence these practices. In analyzing measures, we include all actors along value-chains, also internationally. Barriers are considered in economic and regulatory

terms, but also technological and informational. This scoping process serves to gain a broad overview. Naturally, every field of action could be investigated in further detail.

In essence, this scoping exercise revealed two main obstacles for increasing resource efficiency. Firstly, price signals favoring resource efficient decisions are often lacking. Resource intensive products and practices are often cheaper due to externalized environmental costs of for example transport and production (especially energy). In addition, environmental benefits are often externalized, too (for example of repairs). Thereby, wrong or no signals are set for RE decisions. Secondly, informational deficits along value chains in many instances hinder these decisions for RE alternatives. It should be noted that preferences are not based solely on prices and therefore cannot solely be assessed in monetary terms. Products are also purchased e.g. for social differentiation. In the foreground of the justification of economic instruments, however, are obstacles resulting from the externalization of environmental costs.

From the identified 18 fields of action, six were accorded priority on the basis of whether relevant barriers exist which can be addressed by economic incentives (see Table 1).

Table 1 Prioritized Fields of Action

	Potential	Barrier	Measures	Explanation
Raw Material Supply				
1. Raw Material Extraction in Germany	●	●	●	substantial environmental Impact, high Costs
2. Building Material Extraction in Germany	●	●	●	potential esp. Recycling (see HF15)
3. Mining abroad	●	●	●	high Potential, low Costs, limited Influence
4. Use of biotic Resources and CO2 as Resource	●	●	●	high environmental Potential, econ. Barriers crucial
RE Production				
5. Providing Information Value-Chain	●	●	●	Potential eps. for Repairs (HF 10)
6. Resource Management	●	●	●	good cost-benefit Ratio
7. RE Manufacturing Processes	●	●	●	esp. Innovation Support needed
RE Products and Consumption				
8. RE in Product Design	●	●	●	difficult Implementation, but high Potential
9. RE in Trade	●	●	●	rather low Potential and difficult Implementation
10. Repair, Refurbishing and Second-Hand-Goods	●	●	●	high Potential, low Costs
11. Sharing and Exchanging	●	●	●	ambivalent ecologic Impact, low Effectivness
RE Circular Economy				
12. (Plastic)Packaging	●	●	●	moderate Potential, high Barriers, effective Measures
13. Take-back & Return	●	●	●	high Potential, esp. Electronics, lacking Incentives
14. Phosphorus Recycling and RE Usage	●	●	●	available Technology, Regulation through KlärschlammVO
RE Building				
15. RE Building Materials (Recycling & Alternatives)	●	●	●	high Potential, low costs secondary materials
16. Urban Planning / Infrastructure	●	●	●	high Potential, rather low Relevance of economic barriers
RE IKT				
17. Increasing Durability ICT	●	●	●	high Potential, lacking Incentives, effective Measures
General				
18. Future Technology and -practices	●	●	●	unclear Potential, Barriers esp. Lacking Incentives

Source: Own Diagram

For HF 6 “Resource Management”, especially the rather low costs of implementation or support of such systems in businesses compared to the ecologic and economic impacts is decisive for the prioritization. HF 8 “RE Product Design” exhibits very high potential, as well as informational and economic barriers. Even though pertinent measures are assessed as rather costly and difficult, addressing these barriers through economic instruments can be advised. Furthermore, HF 10 “Repair, Refurbishing and Second-Hand-Goods (excluding ICT)” is prioritized, as it holds high RE potential and barriers similar to HF8, but appears easier to address. HF 13 “Take-back & Return of especially WEEE” has high potential for improvements in RE, in particular economic savings combined with a decoupling from negative environmental effects. Barriers within this HF exist mostly in form of lacking economic incentives; the most effective measures to address

these concern the market for electronic products. HF 15 “RE Building Materials (Recycling & Alternatives)” is central within resource policy due to the extensive use of land and ecosystems for extracting primary building materials. This HF holds great potential for resource efficiency, especially through the increased use of secondary material. The main barrier of lacking economic incentives could be addressed rather easily. Finally, HF 17 “Increasing Durability of ICT” was prioritized, since it is marked by high potential for meeting consumer needs in more resource efficient ways without negative environmental impacts. Various measures are at hand to realize these potentials, e.g. longer-lasting products. Also, in this case, especially economic incentives are lacking.

Overall it can be concluded that technical solutions as well as resource efficient practices are already well developed in many sectors. However, their dissemination is insufficient. Ambitious resource policy should therefore support broader demand for resource efficient alternatives, beyond the well-established supply-side support of innovations. Economic policy instruments could play a twofold role in this agenda: First, they initiate search processes, which help reducing information deficits. Second, respective price signals incentivize resource efficient products and practices.

For the six prioritized fields of action, economic policy instruments will be designed and assessed in depth in the further course of this research project and covered in subsequent reports. These economic instruments are supposed to incentivize private households and companies to take up measures which realize the identified potentials for resource efficiency.

Abkürzungsverzeichnis

bbs	Bundesverband Baustoffe - Steine und Erden
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
Destatis	Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
EMAS	Environmental Management and Audit Scheme
FMCG	Fast Moving Consumer Goods / schnelldrehende Produkte
GfK	GfK SE, Nürnberg
GVM	GVM Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH, Mainz
HF	Handlungsfeld
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
KRA	spezifischer kumulierter Rohstoffaufwand
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
NMUK	Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz
RE	Ressourceneffizienz
UBA	Umweltbundesamt
UMS	Umweltmanagementsystem
VDM	Verband Deutscher Mineralbrunnen e.V., Bonn
WEEE	Waste Electrical and Electronic Equipment / Elektrische- und Elektronikaltgeräte

1 Hintergrund, Ziele und Gegenstand des Berichts

Das Ziel dieses Berichtes ist es im Rahmen des Projekts „Politiksznarien ProgRess – Analyse und Bewertung von Politikmaßnahmen und ökonomischen Instrumenten des Ressourcenschutzes für die Weiterentwicklung von ProgRess“ solche Handlungsfelder zu identifizieren, bei denen besonders große Potenziale für eine Verbesserung der Ressourceneffizienz (RE) bestehen und für deren Realisierung relevante Hemmnisse existieren, die mit ökonomischen Anreizen adressiert werden könnten.

Die Handlungsfelder orientieren sich an den bereits im Ressourceneffizienzprogramm der Bundesregierung (ProgRess) identifizierten Oberthemen: Eine nachhaltige Rohstoffversorgung sichern, Ressourceneffizienz in der Produktion steigern, Produkte und Konsum ressourcenschonender gestalten sowie Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft ausbauen, Nachhaltiges Bauen und Nachhaltige Stadtentwicklung und schließlich Ressourceneffiziente Informations- und Kommunikationstechnik. Für diese Themen werden sinnvoll miteinander zusammenhängende Maßnahmen identifiziert, die wirtschaftliche Akteure (Unternehmen, Konsumenten, Staat als Verbraucher) ergreifen können, um Ressourcen effizienter zu nutzen.

Maßnahmen im Sinne des Berichts sind also Praktiken, die von Unternehmen oder privaten Haushalten ergriffen werden (könnten). Davon sind politische Instrumente zu unterscheiden, die der Staat ergreift, um solche Praktiken anzureizen oder vorzuschreiben. Der Staat kann jedoch auch ebenfalls Maßnahmen ergreifen, indem er selber ressourceneffizient investiert oder konsumiert. Bei der Analyse von Maßnahmen betrachten wir alle Akteure entlang der Wertschöpfungsstufen und beziehen auch internationale Wertschöpfungsketten mit ein. Unter Hemmnissen werden vor allem ökonomische und regulatorische, aber auch technologische und informatorische Hürden verstanden.

Die Effizienzpotenziale, Hemmnisse und mögliche Maßnahmen wurden in einer umfassenden Literaturanalyse von mehr als 250 Quellen identifiziert. Daraus werden 18 Handlungsfelder samt Maßnahmen abgeleitet. Auf dieser Grundlage kann schließlich eine Priorisierung und Vertiefung einzelner Felder erfolgen. Trotz der umfassenden Literaturanalyse wird im Detail nicht alle Literatur zu den einzelnen Handlungsfeldern erschöpfend erschlossen sein. An dieser Stelle geht es zunächst darum, eine gut informierte Entscheidung zu treffen, welche Handlungsfelder im Rahmen des Projekts priorisiert werden sollen. Für die ausgewählten Handlungsfelder werden im Rahmen der Konzeption und Analyse ökonomischer Instrumente vertiefende Analysen durchgeführt.

Für den Zuschnitt von Handlungsfeldern gibt es keine wissenschaftlichen Kriterien. Bei den ermittelten Handlungsfeldern handelt es sich um Vorschläge, die auch anders zugeschnitten werden können. Im Vordergrund des Interesses stehen dabei Maßnahmen, die wirtschaftlich tätige Akteure ergreifen können, um Effizienzpotentiale zu erschließen. Demgegenüber werden solche, bei denen staatliches Handeln oder Forschung im Vordergrund steht, nicht vertieft betrachtet.

Die Analyse über alle Handlungsfelder hinweg zeigt, dass zwei Haupthemmnisse für Ressourceneffizienz vorzufinden sind. Ressourcenintensiven Güter bzw. Praktiken sind häufig günstiger, beispielweise weil die Umweltkosten der Extraktion, des Transports, der Herstellung (insbesondere auch Energie) in den Preisen nicht abgebildet sind und damit die falschen bzw. keine Signale für RE geben werden. Zweitens hindern vielerorts fehlende Informationen entlang der Wertschöpfungsketten die Begünstigung von und/oder Entscheidung für ressourceneffiziente Alternativen.

Für eine ambitionierte Ressourcenpolitik bedeuten diese Hemmnisse, dass weniger eine angebotsseitige Innovationspolitik von Nöten ist als eine Politik, welche die Nachfrage nach RE

Alternativen in der Breite befördert. Auf diesem Weg setzten ökonomische Instrumente an zwei zentralen Stellen an: Suchprozesse werden initiiert, die Informationsdefizite abbauen helfen und Preissignale zu Gunsten von RE Produkten und Praktiken werden gestärkt.

2 Definitionen zur Bewertung der Effizienzpotenziale, Hemmnisse und Maßnahmen der Handlungsfelder

2.1 Arten von Effizienz

Der effizientere Umgang mit Materialien soll zu einer Schonung natürlicher Ressourcen führen und zu einer Verminderung des Eintrags von schädlichen Emissionen in Ökosysteme. Dabei können unterschiedliche Konzepte von Effizienz unterschieden werden (Werland and Jacob, 2016):

- ▶ Die **Kosteneffizienz**, d. h. die Nutzung technischer Einsparpotenziale bei der Herstellung von Gütern. Diese führen zu einer Reduktion von Materialkosten im Verhältnis zur Wertschöpfung (**ökonomische Einsparung**). Die Kosteneffizienz kann durch die Substitution von teuren durch kostengünstigere Materialien oder durch die Verringerung des Rohstoffeinsatzes verbessert werden. Grundsätzlich ist die Realisierung von solchen Einsparpotenzialen im Interesse der wirtschaftlichen Subjekte.
- ▶ Die **Entkopplung** der genutzten **Materialmenge** von negativen sozialen und ökologischen Folgewirkungen, im Sinne eines „impact decoupling“ (vgl. Fischer-Kowalski u. a., 2011). Hier geht dieselbe oder eine geringere Materialnutzung mit geringeren sozialen und ökologischen Auswirkungen einher. Im Unterschied zur Kosteneffizienz treten die sozialen und Umweltwirkungen nicht (alleine) bei den Nutzern der Materialien auf, sondern in den vor- oder nachgelagerten Wertschöpfungsstufen.
- ▶ Die **Bedürfniseffizienz**, darunter wird hier die Verminderung des Rohstoffeinsatzes für die Befriedigung eines Bedürfnisses verstanden (z. B. als MIPS - Material-Input pro Serviceeinheit). Hier werden dieselben Bedürfnisse mit anderen Technologien oder Dienstleistungen erfüllt, die dafür weniger Material benötigen als Referenztechnologien. Ein solches Konzept sieht sich wegen der Subjektivität von sowohl Bedürfnissen als auch Referenztechnologien vor einer doppelten Herausforderung. Ob eine Referenztechnologie zur effizienteren Befriedigung von Bedürfnissen vorhanden und vor allem akzeptabel ist, hängt von der jeweiligen Perspektive und Bewertung ab: Ob eine vegetarische Mahlzeit das Bedürfnis nach Ernährung erfüllt oder eine Bus- oder Fahrradfahrt das nach Mobilität, dürfte jeweils umstritten sein.

2.2 Hemmnisse

Ein kosteneffizienter Einsatz von Ressourcen ist zunächst im allgemeinen Interesse der Wirtschaftssubjekte, denn mit einer ineffizienten Nutzung oder teils auch mit schädlichen Umweltwirkungen sind Kosten verbunden, die vermieden werden können. Entsprechend wirkt auch der wirtschaftliche Wettbewerb darauf, dass Produkte mit weniger Einsatz an Ressourcen entwickelt und vermarktet werden, weil dies zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit führt: Unternehmen, die Kosten einsparen können, können ihre Produkte billiger anbieten und Marktanteile ausweiten. Diesen marktvermittelten Anreizen steht eine Reihe von Hemmnissen

gegenüber, die dazu beitragen, dass Effizienzpotenziale (insbesondere Entkopplung der Materialnutzung und Bedürfniseffizienz) nicht ausgeschöpft werden:

- **RE Technologien** sind unzureichend erschlossen
- **Informationsdefizite:** Das Wissen um Effizienzpotenziale und Umweltwirkungen der Materialnutzung ist entlang der Wertschöpfungskette verteilt. Ohne eine entsprechende Wissensbasis haben die Akteure nicht die Möglichkeit, Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz zu ergreifen, selbst wenn sie das wollen.
- **Fehlende Anreize:**
 - ▶ **Negative externe Effekte:** Die Kosten der Nutzung natürlicher Ressourcen und deren Folgewirkungen werden nicht oder nicht in vollem Umfang durch die Akteure getragen, die Materialien nutzen. Entsprechend werden diese nicht oder nicht vollumfänglich bei der Betrachtung von Kosten und Nutzen einbezogen.
 - ▶ **Spill-over Effekte:** Der Nutzen von Innovationen ist nicht alleine auf die Akteure beschränkt, die diese entwickeln und vermarkten, sondern es können Nachnutzungen auftreten von denen die ursprünglichen Akteure nicht profitieren oder der Umweltnutzen ist gesamtgesellschaftlich und nicht nur die Akteure profitieren davon. Daher bleiben die Investitionen einzelner Akteure in ressourceneffiziente Innovationen unter dem gesamtgesellschaftlich wünschenswerten Niveau.
 - ▶ **Geteilte Anreize:** Kosten und Nutzen von Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz sind auf unterschiedliche und voneinander unabhängige Akteure verteilt. Entsprechend haben die Akteure, die die Kosten tragen, keinen Anreiz, entsprechende Maßnahmen zu ergreifen.
 - ▶ **Versunkene Kosten:** Für die Herstellung von Produkten sind Investitionen in Herstellungstechnologien oder Infrastrukturen notwendig, dies umfasst nicht nur die entsprechenden Maschinenparks, sondern auch Wissen oder Qualifikationen. Wenn ein Wechsel von Technologien mit einer Entwertung dieser Investitionen einhergeht, dann liegt eine Pfadabhängigkeit vor, die Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz einschränken.
- **Etablierte Standards, gesellschaftliche Normen und Pfadabhängigkeiten:**
 - ▶ **Infrastrukturelle Hemmnisse:** Viele Produkte und deren Herstellung sind auf die Nutzung von Infrastrukturen angewiesen. Infrastrukturen sind jedoch kaum technologieoffen – eine Autobahn kann nur von Kraftfahrzeugen genutzt werden, nicht von Fahrrädern, Zügen oder Schiffen. Entsprechend können auch hier Pfadabhängigkeiten auftreten und ressourceneffiziente Maßnahmen unterbleiben. Eine besondere Form infrastruktureller Hemmnisse liegt vor, wenn der Zugang zu Infrastrukturen von deren Eigentümern begrenzt wird, um die eigenen Produkte zu bevorzugen.

- ▶ **Netzwerk-Effekte:** Eine weitere Quelle von Pfadabhängigkeiten sind Netzwerkeffekte: Wenn Technologien einen Vorteil dadurch erfahren, dass sie von vielen Akteuren genutzt werden, dann sind Neueintritte in den Markt schwer, selbst wenn sie ressourceneffizienter sind. Dies gilt auch für alternative Organisationsformen, wie bspw. Sharing-Konzepte.
- ▶ **Regulatorische Hemmnisse:** Durch die Setzung von regulatorischen Vorgaben werden bestimmte Technologien bevorzugt und ggf. mögliche Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz behindert. Auch dies kann zu Pfadabhängigkeiten führen.

2.3 Maßnahmen

Unter Maßnahmen werden in diesem Bericht Praktiken verstanden, die von wirtschaftlich handelnden Akteuren (d.h. Unternehmen, Verbraucher oder Staat als Verbraucher) unternommen werden, um die o.g. Effizienzpotenziale zu erschließen. Von Maßnahmen zu unterscheiden sind politische Instrumente, die einen Rahmen für andere Akteure setzen und diese verpflichten, anreizen oder überzeugen wollen, Maßnahmen zu ergreifen.

Maßnahmen können an verschiedenen Stellen der Materialnutzung ansetzen und entsprechend klassifiziert werden. Von Interesse sind dabei solche Maßnahmen, die Effizienzpotenziale erschließen und Hemmnisse überwinden:

Produktgestaltung: Haushalte können effizientere Produkte kaufen, Unternehmen Produkte effizienter gestalten. Dazu gehören etwa Aspekte der Reparier- oder Recyclingfähigkeit, die Verwendung von Sekundärrohstoffen oder Rohstoffen/Vorprodukten aus vergleichsweise umweltverträglicher Gewinnung/Herstellung.

Wahl von **Prozesstechnologien:** Mit effizienteren Prozesstechnologien können Produkte unter niedrigerem Materialeinsatz oder mit anderen, vergleichsweise umweltfreundlicheren Produkten hergestellt werden, ohne dass die Qualität oder die Eigenschaften der Produkte verändert wird. Dies kann die Minderung von prozessbedingten Abfällen umfassen oder auch die Substitution von Einsatzstoffen. Die Abgrenzung zu Produkttechnologien ist dabei nicht immer trennscharf.

Bereitstellung von **Informationen:** Um andere Akteure zu befähigen sich ressourceneffizienter zu verhalten, können Informationen bereitgestellt werden – etwa zu den Umweltwirkungen entlang der Wertschöpfungskette.

Forschung, Entwicklung und Demonstration: Akteure können Innovationen entwickeln, das dafür notwendige Wissen ansammeln und diese Entwicklungen erproben.

Soziale Praktiken verändern: Akteure können ihre sozialen Praktiken bei der Befriedigung von Bedürfnissen verändern (Soziale Innovationen). Im Unterschied zu der Wahl von Produkten stehen dabei nicht Technologien im Vordergrund, sondern die Interaktionen mit anderen Akteuren.

Die identifizierten Maßnahmen werden im Folgenden anhand dieser drei Kategorien bewertet:

- ▶ **Kosten:** Die Kosten einer Maßnahme werden im Vergleich mit anderen Maßnahmen und in Relation zu den zu erwartenden Nutzen bewertet.
- ▶ **Umsetzbarkeit:** Die Umsetzbarkeit zeigt auf, inwiefern die Maßnahme als politisch und administrativ gangbar erscheint.
- ▶ **Effektivität:** Die Effektivität bewertet die voraussichtliche Wirksamkeit der Maßnahme im Sinne der Zielerreichung.

3 Untersuchungsfokus und sektorübergreifende empirische Befunde zu Ressourceneffizienzpotentialen

Im Folgenden wird das Vorgehen zur Identifizierung der näher betrachteten Handlungsfelder geschildert. Zunächst wird die Fokussierung auf die ausgewählten Stoffströme begründet. Dann werden sektorübergreifende Erkenntnisse zu Ressourceneffizienzpotentialen ausgewertet. Diese münden zusammen mit Sektor-, Technologie- oder Produkt-spezifischen Studien in ein Literaturscreening, aus dessen Basis die näher untersuchten Handlungsfelder definiert wurden.

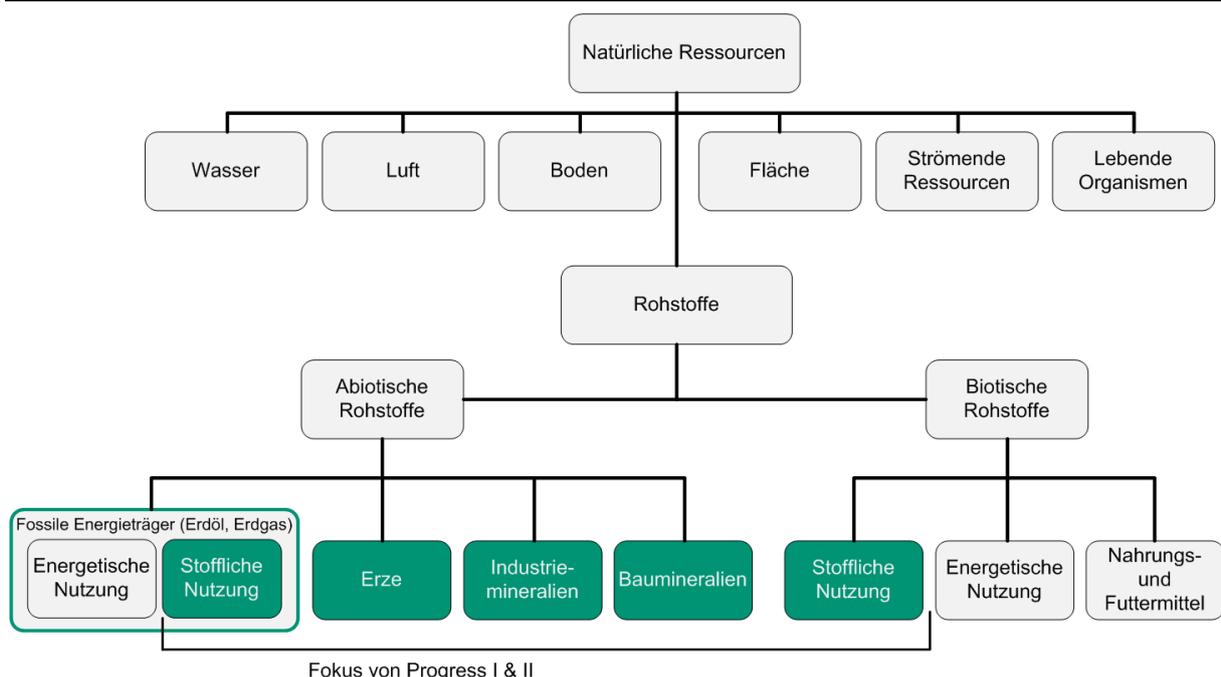
Aus der Perspektive der Ressourcenschonung steht das Anliegen im Vordergrund, dass die genutzten Stoffströme reduziert werden, bzw. dass problematische Stoffe durch möglichst umweltverträgliche Stoffe ersetzt werden. Obwohl natürliche Ressourcen weit umfangreicher zu verstehen sind als die reine Rohstoffnutzung (Abbildung 1), liegt der Fokus dieser Potentialanalyse im Bereich der Materialeffizienz, wobei bei der Betrachtung spezifischer Handlungsfelder auch die Schonung weiterer Ressourcen wie Fläche, Wasser oder Biodiversität in die Potentialanalysen einfließen. Im Indikator der Nachhaltigkeitsstrategie zur Gesamtrohstoffproduktivität sind auch Nahrungsmittel und die Gesamtheit der Energierohstoffe (Steinkohle, Braunkohle, Erdgas, Erdöl und sonstige stoffliche Energieträger) enthalten. Diese Bereiche stehen hier jedoch nicht im Vordergrund, weil sie nicht Teil von ProgRes sind.

Wie in Abbildung 1 dargestellt werden hier schwerpunktmäßig die folgenden Materialflüsse betrachtet:

1. Mineralische bzw. abiotische Rohstoffe: Erze (Eisen, Bauxit, Kupfer, weitere Erze, seltene Metalle), Baumineralien, Industriemineralien (Chemische und Düngemittelmineralien) und stoffliche Nutzung von fossilen Energieträgern
2. Biotische Rohstoffe: Stofflich genutzte Rohstoffe aus der Land- oder der Forstwirtschaft.

Die Fokussierung auf die Stoffflüsse ist nicht zuletzt durch das Anliegen der Ressourcenpolitik gerechtfertigt, durch Reduktion oder Substitution des Materialinputs Umweltentlastungen zu erzielen.

Abbildung 1: Fokus der hier durchgeführten Potenzialanalyse



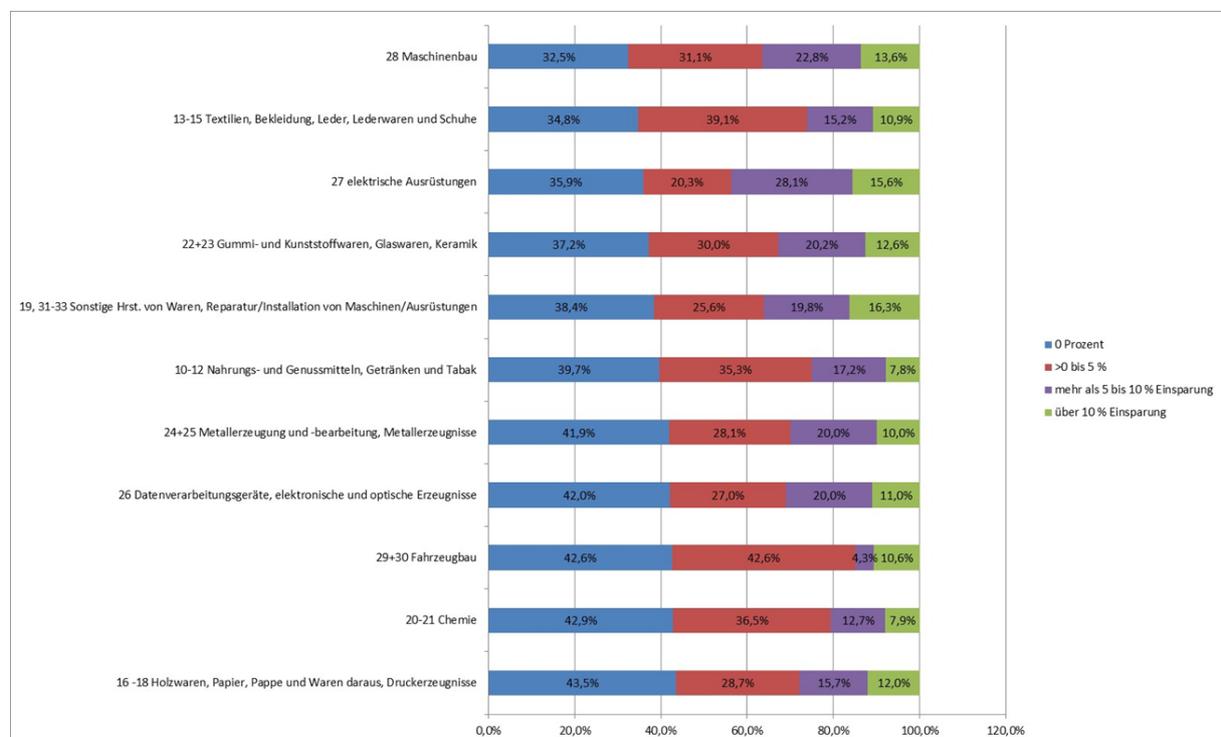
Quelle: ProgRes II (BMUB, 2016)

Zur einleitenden Identifikation und Bewertung von Potentialen der Materialeffizienz entlang der Wertschöpfung wurde zunächst eine umfangreiche Literaturanalyse durchgeführt. Hinsichtlich der betrachteten Dokumente ist in erster Linie zwischen breit angelegten Metastudien mit sektorübergreifender Perspektive und spezifischen Betrachtungen auf Branchen-, Akteurs-, Technologie- oder Produktebene zu unterscheiden.

Bezüglich der betrachteten Metastudien sind vor allem Vorläuferprojekte des UBA zu nennen (v.a. DeterRess, PolRess, RohPolRess, ÖkoRess, MaRess). Es wurden aber auch Strategiepapiere wie die Rohstoffstrategie (BMW, 2010), die Ressourceneffizienzprogramme ProgRess I+II (BMUB, 2012, 2016), Umweltgutachten des Sachverständigenrates für Umweltfragen (SRU), Berichte des Rats für Nachhaltige Entwicklung sowie breiter gefasste Studien des UN-Environmental Programmes (UNEP) oder des VDI Zentrums für Ressourceneffizienz berücksichtigt. Bei der Auswertung der spezifischen Studien wurden sehr viele unterschiedliche Quellen herangezogen, u.a. wissenschaftliche Publikationen, Projektberichte und Praxisleitfäden.

Eine wichtige sektorübergreifende Perspektive ist die auf das gesamte verarbeitende Gewerbe bzw. den Bereich der Produktion als Ganzes. Insgesamt wird in verschiedenen Studien bei konsequenter Umsetzung von Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz von Einsparpotenzialen zwischen 10 % und 40 % des gesamten Materialaufwandes im verarbeitenden Gewerbe gesprochen (NMUK, 2011; Thiede, Posselt und Herrmann, 2013; Buchert u. a., 2017), wobei diese Potenziale branchenspezifisch sehr unterschiedlich ausfallen (Dückert u. a., 2015). Dies spiegelt sich auch in den Branchenunterschieden bzgl. der Wahrnehmung von Ressourceneffizienzpotenzialen wieder (vgl. Abbildung 2).

Abbildung 2: Angaben zum Materialeinsparpotenzial in der Produktion bei Nutzung der heute verfügbaren technischen Möglichkeiten



Quelle: Erhebung Modernisierung der Produktion 2012 Fraunhofer ISI, 2018

In vielen Branchen spielen neue technologische Paradigmen – im Kontext Materialeffizienz insbesondere der Leichtbau – eine große Rolle (Thielmann u. a., 2014). Studien, die sich mit der

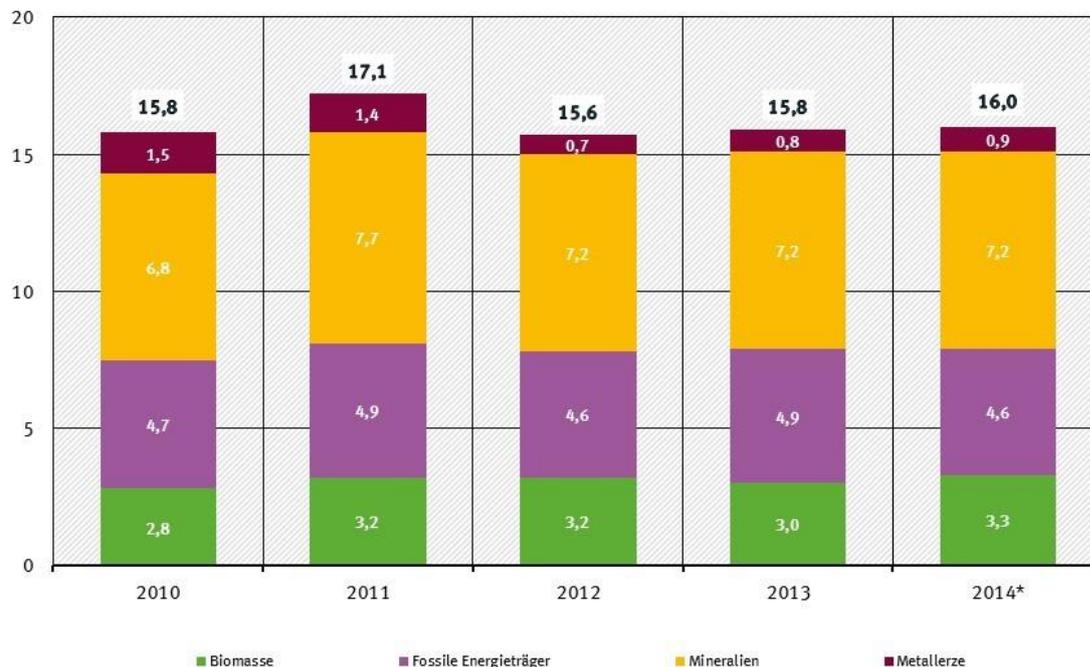
Gestaltung spezifischer Produktionsprozesse befassen, zeigen unternehmens- und branchenspezifisch sehr unterschiedlich ausgeprägte Niveaus bezüglich Ressourceneffizienz (Dückert u. a., 2015). Insgesamt ist in den Grundstoff- und Halbzeug-Herstellungsprozessen laut bisheriger Untersuchungen nur in geringerem Umfang von einer direkten Steigerung der Materialeffizienz durch verbesserte Produktionsverfahren auszugehen, da die unternehmensinterne Kostenoptimierung der Produktion (Ressourceneffizienz im Kontext der unternehmerischen Kosteneffizienz) zentrale Einsparpotenziale auf Grund ihrer Größe häufig bereits berücksichtigt (NMUK, 2011). Verbesserungspotenziale sind dagegen vor allem durch optimierte bzw. schnittstellenadaptierte vor- und nachgelagerte Prozessstufen zu erwarten. Diese geht auch häufig einher mit einer systematischeren Erfassung und Zusammenführung von Reststoffen und Rückständen aus unterschiedlichen Produktionsprozessen und Abfallströmen (Duflou u. a., 2012; Fröhling u. a., 2013), welche dann gemeinsam effizienter und vor allem wirtschaftlicher wiederverwertet werden können. So zielen die am häufigsten diskutierten Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz vor allem auf eine effizientere Verwertung von Abfallströmen, auch durch eine bessere Vernetzung verschiedener Reststoffflüsse, und somit auf eine systematische Schließung der Materialkreisläufe ab.

Auch die gezielte Verwendung von Sekundärmaterial spielt eine zentrale Rolle (Buchert u. a., 2017). Dies liegt bei Metallen und Industriemineralien insbesondere daran, dass die Gewinnung von Primärrohstoffen im Bergbau und deren Aufbereitung mit hohem Energie- und Materialaufwand sowie mit nicht zu vernachlässigende Umwelteinwirkungen verbunden sind (Giegrich u. a., 2012). So weisen Industriemetalle wie Kupfer einen sehr hohen kumulierte Rohstoffaufwand (KRA)¹ bei der Primärgewinnung auf. Es werden z. B. pro produzierter Tonne Kupfer ca. 120 t Material verarbeitet (insbesondere bei der Aufkonzentrierung der Erze sowie bei der energieintensiven Reduktion des Kupferminerals zu elementarem Metall), welche bei der ganzheitlichen Betrachtung der Ressourceneffizienz mit berücksichtigt werden müssen (Giegrich u. a., 2012). Dies geht einher mit der Tatsache, dass die Material- und Energieeinsparpotenziale bei der Primärgewinnung als recht gering eingeschätzt werden, zumal der tendenziell abnehmende Erzgehalt der technologischen Verbesserung im Bergbau entgegenwirkt und so der kumulierte Materialaufwand in Zukunft erwartungsgemäß sogar noch ansteigen wird (SRU, 2012).

Bei der Verwendung von Sekundärmaterial fällt der KRA dagegen in der Regel weit niedriger aus. Sehr hohes Potenzial zur Steigerung des KRA liegt in der Bereitstellung und Verwendung von Technologiemetallen aus Sekundärquellen. Hochpreisige Technologiemetalle, wie sie vor allem in Elektronikschrotten auftreten, stehen bislang kaum als Sekundärmaterial zur Verfügung. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass sie nur in geringen Mengen verwendet werden und Rücknahme-Systeme für Elektroaltgeräte nicht ausreichend ausgebaut sind. Dies dazu, dass die Wirtschaftlichkeit des Recyclings häufig nicht gewährleistet ist und Technologiemetalle nur in unzureichendem Maße aus Elektroschrotten zurückgewonnen werden (Goldmann, 2010; Buchert u. a., 2012; Hagelüken, 2014).

¹ Der kumulierte Rohstoffaufwand (KRA) beinhaltet alle Rohstoffaufwendungen entlang der Gewinnungsphase jedes Rohstoffes.

Abbildung 3: Zusammensetzung des Materialverbrauchs (RMC) pro Kopf in Deutschland



* 2014: vorläufige Angaben

Quelle: Destatis, 2018b

Bei Baumineralien, die hauptsächlich inländisch abgebaut werden (Steine, Kies, Sand), ist zwar der spezifische Material- und Energieaufwand der Rohstoffgewinnung niedriger, hier führt aber die schiere Menge des verwendeten Primärmaterials zu einem erheblichen Einsparpotenzial durch die gezieltere Verwertung von Sekundärmaterial aus Abrissarbeiten (Buchert u. a., 2017). Unter Ausschluss der fossilen Energieträger fallen ca. 65 % des inländischen Materialverbrauchs – gemessen am RMC – auf Baumineralien² (siehe Abbildung 3). Dieser hohe Anteil spiegelt sich auch im Gebäudebestand wider: Der Bestand an mineralischen Baustoffen in Wohngebäuden in Städten und Gemeinden wird auf über 10,5 Mrd. Tonnen geschätzt (BMW, 2010), wobei weitere 100 Mio. Tonnen an Metallen (hauptsächlich Stahl, Aluminium und Kupfer) im Gebäudebestand stecken. Für Verkehrs-, Wasser-, Energie- und Kommunikationsinfrastruktur kommen weitere 12 Mrd. Tonnen mineralischer Baustoffe und weit über 100 Mio. t Metall hinzu (Schiller u. a., 2015). Ohne Abfalldeponierung wurden im gesamten Zeitraum 1960 bis 2010 insgesamt netto ca. 42,3 Mrd. t Material im anthropogenen Lager Deutschlands akkumuliert (ebd.).

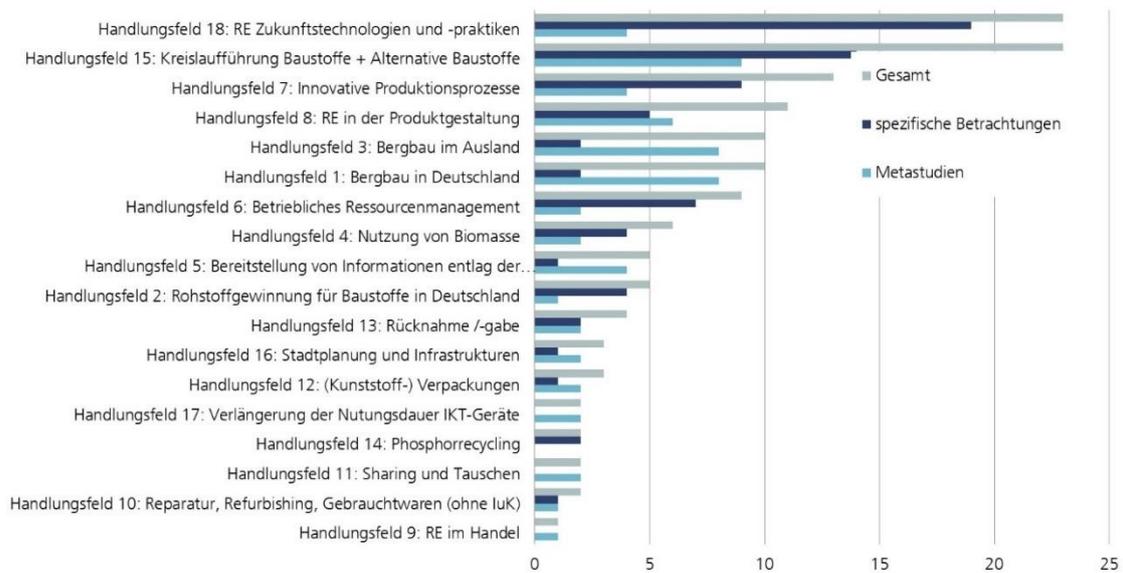
Die Synopse der Befunde aus den Metaanalysen offenbart bereits, welche groben Bereiche für die nähere Betrachtung herangezogen werden sollten: Ressourceneffizienzpotenziale bei der Rohstoffgewinnung, in der Produktion, im Gebäudebereich bzw. Bauwesen und in der verbesserten Kreislaufschließung. Zur weiteren Identifizierung von Handlungsfeldern wurde ein iteratives Vorgehen auf Basis eines breiten Literaturscreenings gewählt. Jede Quelle wurde mit den darin relevanten Handlungsfeldern beschrieben. Diese erste Version von Handlungsfeldern ergab sich also induktiv auf der Basis der in den Literaturquellen genannten Bereiche. Die Handlungsfelder wurden dann unter Berücksichtigung inhaltlicher Zusammenhänge weiter konsolidiert. So ergaben sich schließlich 18 Handlungsfelder mit einer unterschiedlichen Anzahl

² Dabei wird die naheliegende Annahme getroffen, dass ein Großteil der mineralischen Rohstoffe dem Baubereich zuzuordnen ist.

konkret dahinter liegender Quellen (vgl. Abbildung 4). Die 18 Handlungsfelder sind außerdem in größere Bereiche zusammengefasst, die die Befunde aus den Metaanalysen widerspiegeln (vgl. Kapitel 3).

Während an dieser Stelle lediglich ein grober Überblick zu empirischen Befunden bzgl. Ressourceneffizienzpotenzialen vermittelt wurde, gilt es in der folgenden Betrachtung spezifischer Handlungsfelder die verschiedenen potenziellen Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz zu definieren und die dahinterliegenden Potentiale auf eine solidere quantitative Basis zu stellen.

Abbildung 4: Anzahl der ausgewerteten Literaturquellen nach Handlungsfeldern



Quelle: Eigene Darstellung

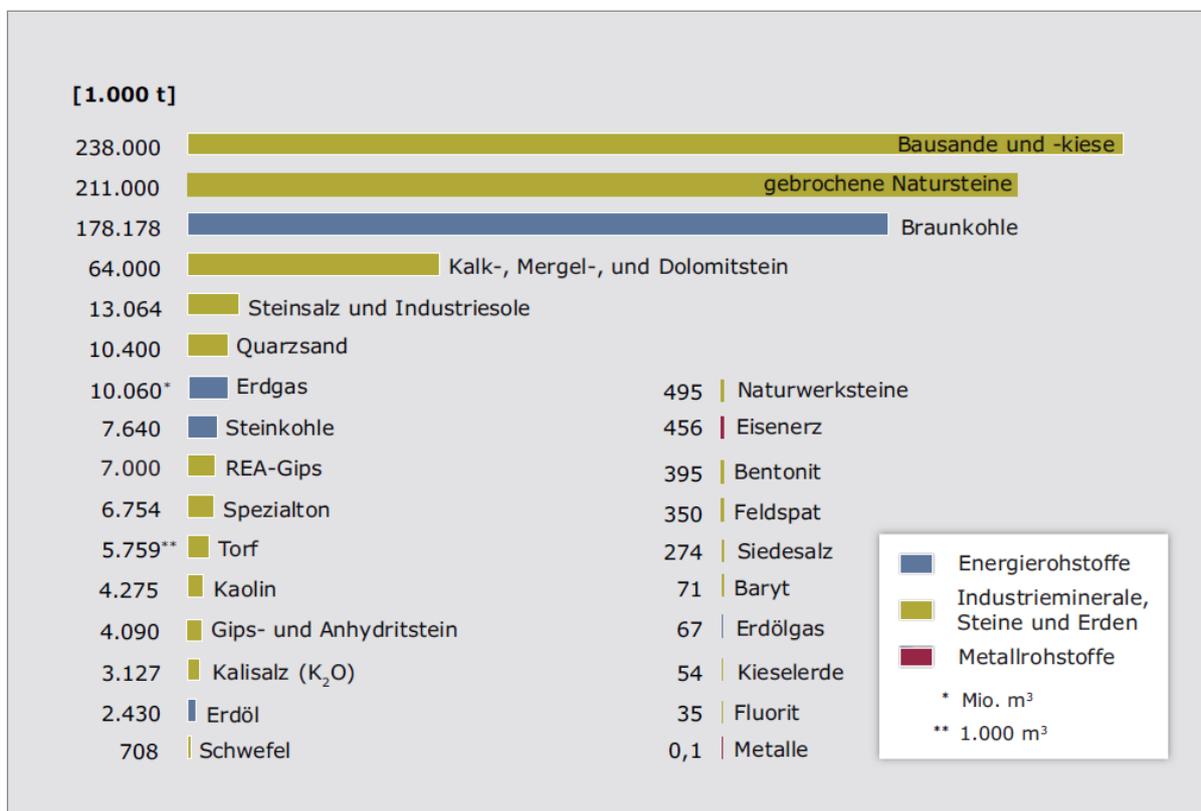
4 Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen der Handlungsfelder

4.1 Nachhaltige Rohstoffversorgung sichern

4.1.1 Handlungsfeld 1 Bergbau in Deutschland

Das Handlungsfeld Bergbau in Deutschland (siehe Abbildung 5) bezieht sich neben den separat betrachteten Baumineralien (s. Handlungsfeld 2 Rohstoffgewinnung für Baustoffe in Deutschland) auf Industriemineralien, wie z. B. Steinsalz, Kalisalz und Flussspat. Die ebenfalls bergbaulich gewonnenen Energierohstoffe Kohle, Gas und Öl fallen nicht unter Progres und werden in diesem Bericht nicht betrachtet. Ferner werden die in Deutschland verhütteten metallischen Rohstoffe nahezu ausschließlich importiert und spielen für die Potenzialanalyse des inländischen Bergbaus eine vernachlässigbare Rolle (s. Handlungsfeld 3 Bergbau im Ausland). Daher wird im Folgenden auf den Abbau von Salzen fokussiert.

Abbildung 5: In Deutschland gewonnene Rohstoffe

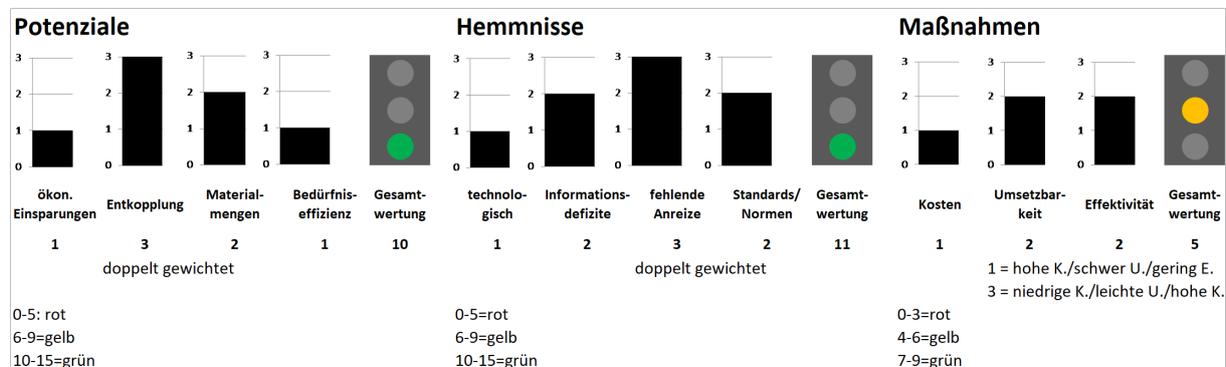


Quelle: BGR, 2015

Die beim Abbau von Salzen identifizierten Effizienzpotenziale beziehen sich weniger auf ökonomische Einsparungen durch Prozessoptimierung, sondern vielmehr auf eine Minderung der bei der Gewinnung der Rohstoffe und Lagerung des Abraums entstehenden Schadstoffeinträge in Grund- und Fließgewässer sowie Landabsenkungen. Die Art und Weise der Umwelteinträge durch den Salzbergbau ist gut bekannt. Technologien, die zum Wasserschutz beitragen, finden bereits Anwendung. Allerdings wird der Abraum über Tage gelagert und eine ökologisch wünschenswerte Nutzung als Versatz unter Tage unterbleibt aus Kostengründen, es fehlt an Anreizen für eine weitergehende Wasserreinhaltung.

Es bestehen sowohl herstellerseitig umsetzbare und tendenziell effektive Maßnahmen, um den Salzbergbau zu vertretbaren Kosten von seinen negativen Umweltwirkungen zu entkoppeln – mit ihrer Hilfe wurde bspw. in den thüringisch-hessischen Kaliwerken die Menge der salzhaltigen Abwässer halbiert (Elsner, 2016, p. 92).

Abbildung 6: Bewertung³ der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 1



Quelle: Eigene Darstellung

Potenziale im Salzbergbau

Laut Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) ist Deutschland weltweit der fünftgrößte und innerhalb der EU der drittgrößte Produzent von **Kalisalz**. Nahezu alle Kalibergwerke werden von der K+S AG betrieben. Insgesamt werden jährlich rund 3 Mio. Tonnen Kalisalz gewonnen (BGR, 2016a).

Die deutsche Salzproduktion beläuft sich auf durchschnittlich rund 16,5 Mio. t Salz, 7,4 Mio. t Steinsalz 1,7 Mio. t Siedesalz und 7,5 Mio. t Sole (VKS, 2018). Im Gegensatz zum Kalibergbau kennzeichnet sich der Markt für Steinsalz durch eine niedrigere Konzentration an Anbietern. Die Produktion findet in fünf Salzbergwerken und sechs Salinen statt. Bei der Weltproduktion von Steinsalz, inklusive Siede- und Solesalz, nimmt die Bundesrepublik den sechsten Platz ein (BGR, 2016a).

Im Salzbergbau liegen die Potenziale zur Verringerung der schädlichen Umwelteinflüsse in erster Linie darin, die Einträge von Salzlösungen in Grund- oder Fließgewässer zu vermindern. Diese ökologisch schädlichen Einträge entstehen bei nicht intendierten Leckagen von in den Boden versenkter salzhaltiger Lauge bzw. Haldenabwässern oder durch gezieltes Einleiten von salzigen Produktionsabwässern und ausgeschwemmten Salz aus den Rückstandshalden⁴ infolge von Niederschlägen (Krupp, 2011, p. 4 f.; Elsner, 2016, p. 86). Zwar ist das Salz nicht toxisch, doch die große Menge davon ist ein Risiko für Infrastrukturen wie die Trinkwasserversorgung oder Brücken und verdrängt in Süßwasser lebende Pflanzen und Tiere (Rauche, 2015; Buchert u. a., 2017).

Hemmnisse

Die Kosten der Aufhaldung von Abraum aus Salzbergwerken werden mit 1,10 EUR/Tonne geschätzt (Krupp, 2011, p. 32). Die Betriebskosten für das Einbringen einer Tonne Versatz übersteigt die Kosten zur übertägigen Lagerung und variiert je nach Lagerstätte und Verfahren. Allgemein gilt: je höher die Abbaumächtigkeit, desto niedriger sind die spezifischen Kosten beim Versetzen. Am günstigsten ist jeweils der Spülversatz mit 7 bis 15 EUR/Tonne. An zweiter Stelle folgt der Sofortversatz mit 8 bis 18 EUR/Tonne. Fest vorliegende Aufbereitungsrückstände

³ Die Bewertungen in Form der Ampeln wurden entlang der in Kapitel 2 dargelegten Kategorien vorgenommen.

⁴ Das sind Aufschüttungen der Nebenbestandteile – hauptsächlich Natriumchlorid, die bei der Aufbereitung und Herstellung von Kalisalz abgetrennt werden.

nachträglich zu verfüllen, d. h. z. B. Versatz aus Haldenmaterial, kostet 11 bis 25 EUR/Tonne (Rauche, 2015, p. 241).

Maßnahmen

Eine Schlüsselrolle bei der Wasserverunreinigung spielt das **Bergbauverfahren**. Krupp (2011) kritisiert, dass im Zuge der derzeitigen Förderpraxis des Kammer-Pfeiler-Verfahrens große Mengen an Kalisalz ungenutzt im Boden blieben. Würden anstelle der Kalisalz-Pfeiler Stützen aus Versatzmaterial genutzt, könnten die Lagerstätten erstens noch effizienter erschlossen und zweitens Rückstände, die bei einer Lagerung über Tage den Niederschlägen ausgesetzt sind, minimiert werden. Ein dritter Vorteil bestünde darin, dass Landabsenkungen in Folge des Drucks der Deckschicht auf die leeren Flöze vorgebeugt werde, was Schäden an Infrastruktur und Siedlungen sowie negative Folgen für den Grundwasserspiegel vermeiden helfe. Dabei sei allerdings zu beachten, dass bergbaufremde Versatzmaterialien wie Sonderabfälle ökologisch nachteilig sein können (Krupp, 2011, pp. 4, 51). Die Nutzbarkeit von Abraum für den Versatz ist allerdings nicht unumstritten: Der Abraum sei zu sehr aufgelockert und eigne sich aus Sicherheitsgründen nicht als Versatzmaterial alternativ zu den herkömmlichen Kammerstützpfählern (Elsner, 2016, p. 87f.). Gemessen am prozentualen Anteil sei die Menge an Sofortversatz und der Versatz von Aufbereitungsrückständen im deutschen Kalibergbau mit 23,5% im internationalen Vergleich sehr hoch – nur Russland verfüllt ausgediente Flöze in einem noch umfangreicheren Maße (Rauche, 2015, p. 237). Laut UNEP und Düngemittelindustrie sei das Verfahren eine „sichere und lang anhaltende“ Möglichkeit, Abraum zu entsorgen (Übers. d. Autors, UNEP; ifa 2001, S. 30). Dennoch beläuft sich deutschlandweit die gesamte Haldengrundfläche im Zusammenhang mit dem Kalisalzbergbau immerhin auf etwa 500 ha (Rauche, 2015, p. 256).

Eine weitere Maßnahme betrifft die Ausbeutung von Steinsalz aus den Abwässern des Kalibergbaus: Krupp zufolge gehen innerhalb der derzeitigen Praxis im Kalibergbau große (Koch-)Salzmengen über die Abwässer verloren (Krupp, 2011, p. 51). Laut BGR sei jedoch das Eindampfen der Abwässer zu dessen Rückgewinnung wirtschaftlich aufgrund hoher Energiekosten nicht darstellbar (Elsner, 2016, p. 88).

Eine letzte dem Bergbauverfahren zuzuordnende Maßnahme sind Systeme zur **Bodenabdichtung** oder zur **Abdeckung und Begrünung von Halden**, um zu vermeiden, dass sich durch Niederschläge salzhaltige Lösungen bilden bzw. diese in den Grund versickern (UNEP; ifa, 2001, p. 41; Rauche, 2015, pp. 269–273; Elsner, 2016, p. 88). Die Abdeckung und Begrünung von Halden, die nicht mehr in Betrieb sind, wird in Deutschland bereits erprobt und durchgeführt, gestaltet sich jedoch auch als langwieriger Prozess und ist aufgrund der z. T. sehr steilen Haldenhänge nicht vollumfänglich realisierbar (Jahn and Spachtholz, 2017; Werra-Weser-Anrainerkonferenz e.V., 2017; hna.de, 2018). Neue Rückstandshalden werden auf eine wasserundurchlässige Schicht gebettet, um das Versickern von Salzlösung zu verhindern. Diese effektive Maßnahme lässt sich jedoch nicht bei bestehenden Halden nachträglich treffen (Elsner, 2016, p. 88).

4.1.2 Handlungsfeld 2 Rohstoffgewinnung für Baustoffe in Deutschland

Baustoffe sind Materialien, die zur Errichtung von Bauwerken (Hochbau und Tiefbau) genutzt werden. Man kann zwischen organischen und anorganischen Baustoffen unterscheiden. An dieser Stelle geht es um die Gewinnung von Rohstoffen für Baustoffe und die damit verbundenen Umweltbelastungen, sowie Maßnahmen, um diese zu mindern. Die Reduktion des Einsatzes von Primärmaterial (u. a. durch Verwendung von Rezyklaten) wird dagegen in einem anderen Handlungsfeld behandelt (vgl. Handlungsfeld 15 Ressourceneffizienz im Bauwesen). Wichtige

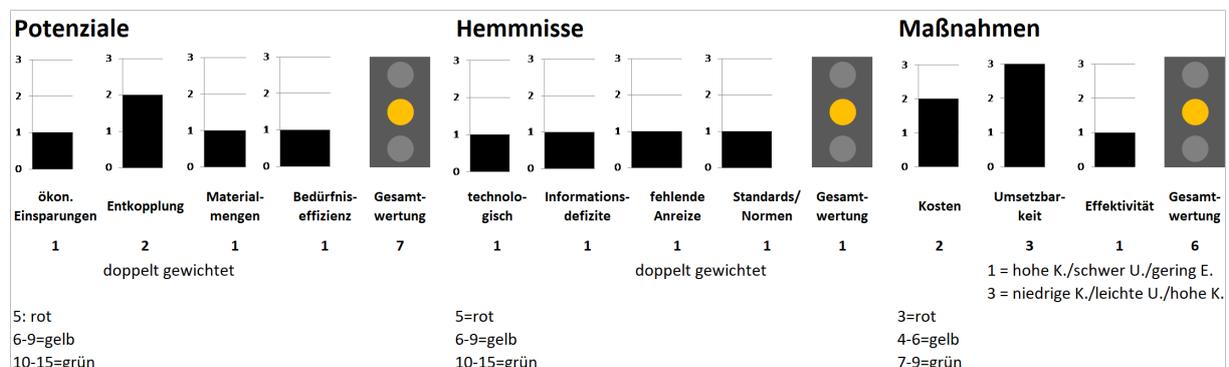
Rohstoffe, die für die Herstellung von Baustoffen genutzt werden, sind verschiedene Rohstoffe in der Gruppe der Steine und Erden, z. B. Sand, Steine, Kies, Ton etc..

Im Vordergrund der Umweltwirkungen stehen die Flächeninanspruchnahme und die Veränderungen des Landschaftsbilds. Im Rahmen von Genehmigungsverfahren gibt es insbesondere Konflikte zu Fragen des Wasser- und Naturschutzes. Im Jahr 2014 nahm der Rohstoffabbau über Tage 2549 Hektar in Anspruch. Davon entfielen rund 3,6 Hektar pro Tag auf den Abbau von Baumineralien (Buchert u. a., 2017). Dem wird von dem Verband der Baustoffindustrie allerdings entgegengehalten, dass die faktisch genutzte Fläche nur 0,003% der Fläche Deutschlands entspreche (bbs, 2016). Der größte Teil des abgebauten Kieses und Sands sowie zwei Drittel des Kalksteins wird für die Herstellung von Beton gebraucht. Der dabei ebenfalls eingesetzte Zement wird mit einem hohen Energieeinsatz und unter Freisetzung von CO₂-Emissionen produziert. Die Vorprodukte für Zement, welcher in Deutschland in einem Umfang von etwa 31,5 Mio. Tonnen hergestellt wird (Dittrich u. a., 2018, S. 79), sind Kalkstein, Ton und Mergel, die ebenfalls in zahlreichen Steinbrüchen in Deutschland gewonnen werden. Nimmt man die genehmigten Abbauflächen zu den bereits in Betrieb befindlichen hinzu, so gibt die Zementindustrie ihre Abbauflächen mit 5600 Hektar an (Buchert u. a., 2017). Neue Zementsorten wie Celitement benötigen wesentlich weniger Kalk für ihre Herstellung (Dittrich u. a., 2018).

Eine weitere Quelle der Rohstoffgewinnung ist der Abbau von Sand in der Nordsee. Nach Angaben des Bundes für Umwelt und Naturschutz Deutschland macht dieser 15 % des bundesweiten Bedarfs aus. Sein Abbau beeinträchtigt insbesondere gefährdete Arten, weshalb Umweltverbände ein Überdenken dieser Praxis fordern. (BUND, k. D.).

Insgesamt werden die Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen in diesem Handlungsfeld als moderat bewertet.

Abbildung 7: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 2



Quelle: Eigene Darstellung

Potenziale

Die in der heimischen Produktion mengenmäßig bedeutendsten Steine-und-Erden-Rohstoffe waren im Jahr 2016 Bausande und Kies (247 Mio. Tonnen), gebrochene Natursteine (218 Mio. Tonnen), Kalk-, Mergel und Dolomitsteine (53 Mio. Tonnen), Tone und Lehme (15 Mio. Tonnen) Lavasand (5,8 Mio. Tonnen) sowie Naturgips und Anhydrit (4 Mio. Tonnen) (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2016). Daneben werden insgesamt rund 100 Mio. Tonnen Recyclingmaterial genutzt (vgl. Handlungsfeld 15 Ressourceneffizienz im Bauwesen).

Potenziale zur Reduktion der Flächeninanspruchnahme der Rohstoffgewinnung bestehen vor allem in einer besseren Ausbeutung bestehender Lagerstätten. Diese werden allerdings schon stark genutzt. Denn Flächennutzungskonkurrenzen, Belange des Naturschutzes sowie Konflikte mit der lokalen Bevölkerung verhindern häufig die Genehmigung neuer Abbauflächen, so dass

ein hoher Druck besteht, die existierenden Abbauflächen bestmöglich zu nutzen (Dose and Reintjes, 2018; Weber u. a., 2018). Weitere Potenziale liegen in der Nachnutzung, wenn die Flächen wieder ihrer ursprünglichen Nutzung zugeführt würden. Dies ist aber nicht immer möglich, z. B. wenn die Bodenqualitäten nicht in den ursprünglichen Zustand versetzt werden können.

Laut Buchert u. a. (2017) werden die mengenmäßig bedeutenden Rohstoffe für Baumaterialien wegen ihres geringen spezifischen monetären Wertes bei hohem Gewicht kaum über weitere Strecken transportiert. Sie werden in über 2000 Sand- und Kieswerken und über 800 Steinbrüchen abgebaut. Aus der Perspektive der Vermeidung von energieintensiven Transporten ist die gegenwärtige, regionalisierte Wirtschaft mit Rohstoffen für Baumaterialien sinnvoll. Die Verknappung bei Neugenehmigungen führt allerdings dazu, dass die Transportdistanzen wachsen (MIRO, 2019).

Hemmnisse

Die Hemmnisse, die einer Verringerung der Flächennutzung für die primäre Rohstoffgewinnung entgegenstehen, sind vor allem geologisch-technischer Natur. Sie liegen vor allem in der Erschöpfung der Rohstoffvorräte in einer Lagerstätte und in den technisch-geologischen Grenzen der Nachnutzung.

Maßnahmen

Viele Aktivitäten zur Erhöhung der Nachhaltigkeit der Rohstoffgewinnung sind im internationalen Kontext angesiedelt. Hier geht es vor allem darum, keine Kinderarbeit im Rohstoffabbau zuzulassen und einen angemessenen Gesundheits- und Arbeitsschutz der Mitarbeiter zu gewährleisten (Kickler and Franken, 2017; Sauer and Seuring, 2017).

Vor diesem Hintergrund sind insbesondere solche Maßnahmen von Interesse, die auf eine **Reduktion des Rohstoffabbaus**, um auf diese Weise den Flächenverbrauch, aber auch negative Auswirkungen auf Artenschutz und Gewässer zu reduzieren. Dazu tragen Maßnahmen bei, die die Nachfrage vermindern oder die den Einsatz auch minderwertigeren Materials möglich machen. Diese Maßnahmen werden im Handlungsfeld 15 dargestellt.

4.1.3 Handlungsfeld 3 Bergbau im Ausland

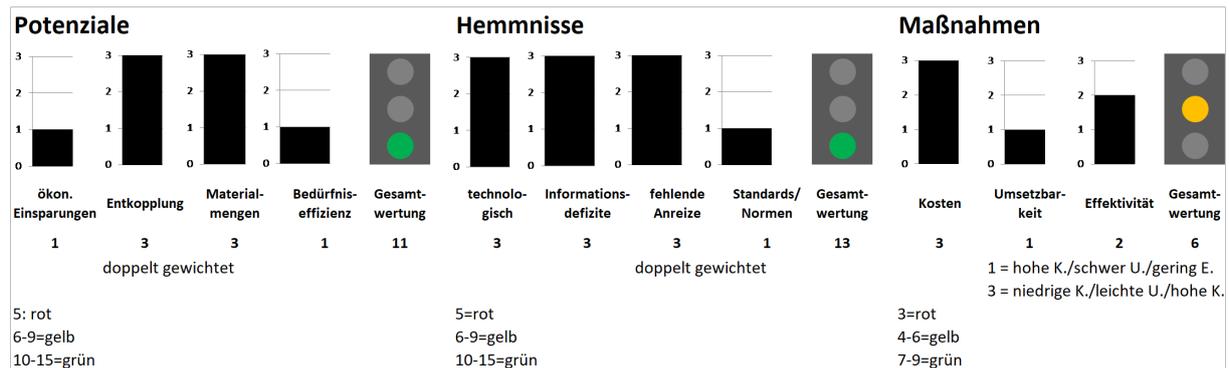
Der Bedarf an Steinen und Erden sowie Braunkohle wird in Deutschland zu einem Großteil aus heimischem Abbau gedeckt. Bei vielen weiteren in der industriellen Produktion notwendigen Rohstoffen ist Deutschland jedoch auf Importe angewiesen. Rohstoffe wie Metalle, Industriemineralien und Energierohstoffe wie Erdöl und Erdgas müssen überwiegend aus dem Ausland importiert werden. Insbesondere ist die Wirtschaft auf Rohstoffe angewiesen, die nicht oder nicht wirtschaftlich substituierbar sind. Dazu zählen beispielsweise Chrom zur Herstellung von rostfreiem Stahl, Indium zur Herstellung von Displays oder Germanium für die Herstellung von Linsen in der Infraroptik (Angerer u. a., 2009). Deutschland hat keine nennenswerten natürlichen Vorkommen an metallischen Rohstoffen wie Kupfer-, Eisen- oder Aluminiumerzen. Die Importabhängigkeit liegt hier bei 100% (Hillebrand, 2016). Gleichzeitig besteht ein durchschnittliches Auto zu 75% aus diesen drei Metallen (Kerkow, Martens and Müller, 2012).

Der Abbau von Rohstoffen im Ausland stellt somit ein zentrales Handlungsfeld zur Steigerung der Ressourcenschonung dar. Bergbau zieht oftmals den Zerfall von Landschaften, den Verlust von Ökosystemen und Verschmutzung nach sich (UNEP, 2013). Neben der ökologischen Komponente gibt es auch eine politische und soziale Dimension der Nachhaltigkeit: so stammen einige Rohstoffe aus Konfliktgebieten (BGR, 2016b).

Die hier vorgenommene Literaturanalyse der bestehenden Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen zeigt, dass es sich durchaus lohnen kann, dieses Handlungsfeld mit ökonomischen

Politikinstrumenten zu adressieren. Große Potenziale gibt es aufgrund erheblicher Mengenströme und ökologischer Folgewirkungen in diesem Handlungsfeld. Auch ökonomisch bedingte Hemmnisse spielen eine große Rolle. Die Schwierigkeit liegt in der Umsetzbarkeit der Maßnahmen. Im Folgenden werden zentrale Ausschnitte aus den Literaturstudien zu Potenzialen, Hemmnissen und Maßnahmen für Bergbau im Ausland dargestellt, auf deren Grundlage die Bewertung in Form der Ampeln getroffen wurde. Die Potenziale werden positiv bewertet sowie die theoretisch verfügbaren Maßnahmen, um die Hemmnisse zu überwinden, wohingegen die Umsetzbarkeit von Maßnahmen von Herausforderungen geprägt ist.

Abbildung 8: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 3



Quelle: Eigene Darstellung

Potenziale

Insgesamt führte Deutschland im Jahr 2015 335,3 Mio. Tonnen an Rohstoffen ein. Damit ist die Gesamtmenge an Importen im Vergleich zu den Vorjahren weiter gestiegen (BGR, 2016a). Ein Großteil (68%) dieser Importe stammt aus dem europäischen Ausland (Russland eingeschlossen). Besonders metallische Rohstoffe wie Erze, Konzentrate und Raffinademetalle stammen aus Südamerika. So folgt dieser Kontinent mit 10,9%, vor Afrika mit 7,9%. Nichtmetalle werden fast ausschließlich (95%) aus dem europäischen Raum nach Deutschland importiert. Bei Rohstoffen wie Bauxit, das als Basis für Aluminium dient, und Seltenen Erden liegt die Importquote bei über 90% (BGR, 2016a). Einer Reduktion dieser enormen Mengenströme wohnt großes Potenzial inne, die Umweltbelastung zu verringern.

Der Abbau dieser nach Deutschland importierten Rohstoffe hat oftmals starke Auswirkungen auf die Umwelt (Buchert u. a., 2017). Häufig ist der Einsatz von Chemikalien im Abbauprozess notwendig, was Umweltverschmutzung nach sich zieht. So werden Gewässer und Böden verunreinigt und die umliegenden Bevölkerungen erleiden Gesundheitsschäden, wie im Falle der Bauxitgewinnung (BBC, 2016). Ein anderes Beispiel ist der Goldabbau, der 42 % der weltweiten Quecksilberemissionen verursacht. Drei der zehn weltweit am stärksten verschmutzten Orte wurden durch Bergbau und/oder Erzverhüttung kontaminiert. Neben den lokalen Umweltschäden ist die Primärproduktion von Metallen zudem für bis zu 8% der globalen Energienutzung verantwortlich (UNEP, 2013). Die weltweite Produktion von Stahl und Zement allein verursacht Emissionen von ca. 5,7 Mrd. Tonnen CO₂-Äquivalent (Buchert u. a., 2017). Dieser CO₂-Ausstoß trägt wiederum zum Klimawandel bei.

Angesichts dieser Folgen der Produktion und Verarbeitung der im Bergbau gewonnenen Rohstoffe, und auch um den Zielen internationaler Umwelt- und Klimaschutzverträge nachzukommen, bedarf es einer Entkopplung der Umweltwirkungen von der Produktion. Dittrich u. a. (2018) zeigen auf, dass die Gesamtrohstoffproduktivität in Deutschland durch heute bereits bekannte Technologien bis 2030 um 112% gegenüber 1994 erhöht werden könnte. Die Modellierung umfasst dabei auch nach Deutschland importierte Rohstoffe.

Neben Kraftfahrzeugen benötigen insbesondere auch Elektro- und Elektronikgeräte, von Waschmaschinen bis Smartphones, große Mengen importierter Rohstoffe. So kommt eine Greenpeace-Studie zu dem Schluss, dass die Produktion der zwischen 2007 und 2017 verkauften Smartphones unter anderem 157.000 Tonnen Aluminium und 107.000 Tonnen Kupfer benötigte (Greenpeace, 2017a). Dieser Ressourcenbedarf wird dadurch verschärft, dass diese Geräte häufiger ersetzt werden – was einer Entwicklung zu höherer Bedürfniseffizienz entgegensteht (Prakash u. a., 2016a) (vgl. 8. Handlungsfeld: Ressourceneffizienz in der Produktgestaltung und 13. Handlungsfeld: Rücknahme und Rückgabe v. a. von WEEE).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Materialmengenströme sehr hoch sind, vor allem im Bereich Metalle. Gleichzeitig hat der Bergbau im Ausland ökologische und soziale Folgewirkungen in erheblichem Umfang.

Hemmnisse

Die relativ günstigen Abbau- sowie Transportkosten beim Import von Rohstoffen im Vergleich zu den Kosten zur Entwicklung ressourcenschonender Alternativen z.B. aus recycelten Rohstoffen tragen dazu bei, dass Aufwände für F&E in diesem Bereich unterbleiben. Außerdem stellen Informationsdefizite ein wesentliches Hemmnis dar, welche in mangelnder Bereitstellung aber auch Nachfrage nach entsprechenden Informationen begründet liegen. Zwar existieren mehrere unterschiedliche Zertifizierungen für Rohstoffe, um Informationen über Herkunft und Gewinnung offenzulegen – manche von ihnen adressieren auch Umweltfragen (BGR, 2013a). Diese sind aber nicht verpflichtend und entsprechend gibt es bedeutende Marktanteile von Rohstoffen, bei denen es keine umweltrelevanten Informationen gibt. Die abgedeckten Aspekte, Anforderungen und Herausgeber variieren zwischen den Zertifikaten. So wurden Zertifikate von unterschiedlichen Akteuren wie Handelsorganisationen, Unternehmen in der Lieferkette, Finanzinstitutionen oder Regierungen entwickelt. Diese Diversifikation von Zertifikaten führt dazu, dass es den Zertifizierungen an Transparenz mangelt. Unternehmen und Verbrauchern fällt es so immer schwerer nachzuvollziehen, welche Anforderungen die Zertifikate stellen und welche Nachhaltigkeitsaspekte sie abdecken. Aufgrund der Komplexität der verschiedenen Nachhaltigkeitsstandards erscheinen mehr Transparenz und bessere Informationsmechanismen notwendig (Kickler and Franken, 2017). Gleichwohl kann man auf dem Wissen aus der Entwicklung entsprechender Mechanismen aufbauen. Diese würden allerdings kaum für importierte Halbzeuge oder Fertigprodukte nutzbar sein, sondern sich auf Rohstoffe beziehen. Ein globaler Informationsmechanismus, der die Wertschöpfungsketten umfassend im Hinblick auf Umweltwirkungen adressiert ist nicht in Sicht. Allenfalls bei sozialen Aspekten (Konfliktrohstoffe, Kinderarbeit) könnte angeknüpft werden.

Die Kosten der ökologischen und sozialen Folgen, die bei der Gewinnung der Rohstoffe entstehen, werden kaum von den Bergbauunternehmen in ihren Entscheidungen berücksichtigt, denn sie fallen nicht beim Unternehmen direkt an. In der Folge solcher Externalitäten werden mehr Rohstoffe abgebaut und konsumiert als es im gesamtwirtschaftlichen Optimum der Fall wäre (Varian, 2010). In vielen exportierenden Ländern mangelt es an Regulierungen, um dieses Problem zu adressieren. So weisen viele Länder, die reich an natürlichen Ressourcen sind, ein Defizit an funktionsfähigen Institutionen auf (Keenan, 2014). Einem Unternehmen, das unilateral für die Folgen seiner Produktion aufkommt, entstehen Mehrkosten und entsprechend Wettbewerbsnachteile.

Das Handlungsfeld Bergbau im Ausland weist somit einige zentrale Hemmnisse auf, die auf ökonomischen Zusammenhängen und klassischen Marktversagen basieren. Entsprechend kann es effektiv sein, diese Barrieren politisch mit ökonomischen Instrumenten zu adressieren.

Maßnahmen

Auch wenn der Primärmaterialbedarf durch Substitution und Recycling (siehe Handlungsfelder 13 bis 15) gesenkt werden kann, wird es weiterhin Rohstoffimporte aus dem Ausland nach Deutschland geben. Deren unerwünschte Umweltwirkungen entstehen vor allem durch die zur Rohstoffgewinnung genutzten Verfahren. Folglich bestehen erhebliche Potenziale darin, die **Gewinnungsverfahren durch technologische Innovationen umweltfreundlicher zu gestalten**. Über die bereits erzielten Fortschritte hinaus, die insbesondere in der Reduktion der Treibhausgasemissionen erreicht wurden, sind hier weitere Potenziale zur Reduktion von Umweltwirkungen vorhanden (Buchert u. a., 2017).

Zudem ist denkbar, dass in der Weiterverarbeitung nur noch **Rohstoffe aus zertifiziertem Abbau** Verwendung finden. Diese Zertifizierung können sowohl die weiterverarbeitenden Unternehmen als auch die Verbraucher nachfragen. Eine Möglichkeit wäre es Zertifizierungsverfahren, die die gesamte Lieferkette und den Produktionszyklus stärker in den Blick nehmen, zu entwickeln. Alternativ könnte man darauf hinwirken, die bestehenden, weit verbreiteten Zertifikate zu erweitern. Besonders auch für Edelmetalle und -steine für die Schmuckindustrie, deren Lieferkette vom Abbau bis hin zum Verbraucher nachvollziehbar gemacht werden kann, sind Zertifizierungsprozesse besonders weit entwickelt (BGR, 2007).

Darüber hinaus könnte die **Einhaltung internationaler Standards in den Bereichen Umwelt, soziale Effekte und Transparenz erhöht** werden, indem Bergbauunternehmen diese auf internationales Drängen hin verstärkt berücksichtigen. Ein Anhaltspunkt für die durch einen umweltverträglicheren Abbau entstehenden Mehrkosten ergibt sich aus den Ausgaben für den Umweltschutz europäischer Bergbauunternehmen. Man könnte argumentieren, dass diese Ausgaben die Aufwände widerspiegeln, die notwendig sind um die europäischen Standards einzuhalten. Die Umweltausgaben werden in den Erhebungen der Europäischen Union in Bezug zu der Wertschöpfung des Sektors gesetzt (Eurostat, 2016). Europaweit variieren diese Anteile erheblich. Der höchste Wert liegt bei knapp 3% (Eurostat, 2016). Davon wären allerdings solche Umweltschutzkosten abzuziehen, die schon jetzt durch Auflagen in Herstellungsländern verursacht werden (z. B. Ausgaben für den Umweltschutz für Kupferabbau in Chile: 1,5% (OECD, 2005)). Die Mehrkosten eines umweltverträglicheren Abbaus scheinen also vergleichsweise moderat.

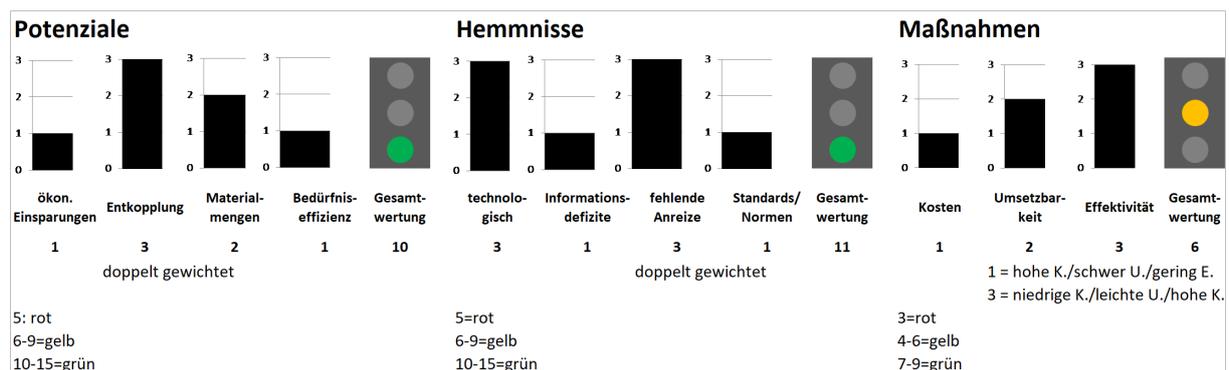
Die Schwierigkeit liegt also vielmehr in der Umsetzbarkeit der Maßnahmen. Durch den internationalen Kontext gewinnen die Maßnahmen im Vergleich zu Handlungsfeldern in stark nationalen Zusammenhängen deutlich an Komplexität. Die Verbindlichkeit und Möglichkeiten der Vollzugsüberprüfung der Maßnahmen aus deutscher Sicht sind eher eingeschränkt.

4.1.4 Handlungsfeld 4 Nutzung nichtfossiler Kohlenstoffquellen: biotische Rohstoffe und CO₂ als Rohstoff

Bei Rohstoffabbau oder Verarbeitungsprozessen, die mit hohen Umwelteinwirkungen einher gehen ist, wo technisch möglich, die Substitution durch Materialien aus biotischen Rohstoffen denkbar (Carus u. a., 2014). In der Gesamtbewertung liegen die Vorteile des Einsatzes von Biomasse in den vielseitigen Produkt-Anwendungsmöglichkeiten. Gleichwohl sind die biotischen Alternativen nicht immer kostengünstiger als herkömmliche Materialien. Die Marktdurchdringung z. B. bei biogenen Grundstoffen oder von aus der Atmosphäre zurückgewonnenem CO₂ in der chemischen Industrie wird auch dadurch gehemmt, dass die Etablierung neuer Verfahren kostenintensiv ist.

Die Potenziale im Handlungsfeld werden positiv bewertet, Hemmnisse finden sich insbesondere im Bereich der aktuellen technologischen Möglichkeiten, die Maßnahmen werden jedoch als recht beschränkt bzw. vorläufig angesehen.

Abbildung 9: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 4



Potenziale

Laut Carus u. a. (2014, 52) stelle die größte Gruppe der potenziell durch organische biogene Verbindungen ersetzbaren Produkte **organische Verbindungen aus fossilen Ressourcen** dar. Bislang werden diese organischen Verbindungen insbesondere in der chemischen Industrie genutzt: so werden 90% der in Deutschland produzierten Kunststoffe aus Erdöl gewonnen. Umgekehrt werden jedoch nur ungefähr 4% der in Deutschland verbrauchten fossilen Rohstoffe stofflich genutzt.

Biogene Stoffe wie Zucker, Stärke, Pflanzenöle oder Cellulose werden bereits für verschiedene Bio-Kunststoffe eingesetzt. Dennoch gelten die möglichen Einsatzfelder biogener Werkstoffe als noch nicht gänzlich erforscht und erprobt (Saulich, 2016). Berechnungen zufolge ließen sich bei einer Produktion von 200 Tsd. Tonnen Bio-Polyethylen 850 Tsd. Tonnen CO₂ im Vergleich zu fossil-basiertem Polyethylen einsparen (Bilsen, 2014, p. 72). Das bedeutet, neben dem technischen gibt es auch ein großes Potenzial für THG Einsparungen.

Alternativ zur Nutzung von Biomasse besteht auch die Möglichkeit, CO₂ in den Kohlenstoffwertschöpfungsketten z. B. der chemischen Industrie zu verwenden. Hier gelte es **Carbon Capture and Utilization (CCU)**-Technologien zu erforschen, und weiterzuentwickeln (Madowell u. a., 2010). Während Carbon Capture and Sequestration (CCS)-Technologien entwickelt werden, um CO₂ langfristig zu speichern, können CCU-Technologien CO₂ wieder für den industriellen Prozess aufbereiten. Allerdings ist dies bisher nur in relativ geringen Mengen möglich. Gegenwärtig werden rund 200 Mio. t/Jahr CO₂ zur Herstellung von chemischen Grundstoffen genutzt und es wird mit weiterem Wachstum gerechnet (Aresta, Dibenedetto and Angelini, 2013). Dem stehen allerdings die für die Aufspaltung des inerten CO₂ notwendigen Energieaufwände gegenüber. Allenfalls wenn große Mengen Energie aus erneuerbaren Quellen zusätzlich zur Verfügung stünden, oder es andere katalytische oder biochemische Verfahren gäbe, erscheint eine Ausweitung der bisherigen Nutzung sinnvoll (Jacob and Schulze, 2015).

Auch **mineralische und metallische Rohstoffe** kommen potentiell dafür in Frage, durch biotische Rohstoffe ersetzt zu werden. Wie groß das ökologische Potenzial einer solchen Substitution ist, kann jedoch nicht pauschal festgestellt werden, sondern muss für die jeweiligen Rohstoffe ermittelt werden. So zeigt die Studie von Carus u. a. (2014), dass für die Herstellung von biobasierten Produkten Anbaubiomasse verwendet wird (z. B. Polymilchsäure). Die Ökobilanz-Bewertung hinsichtlich ökologischer und ökonomischer Vor- und Nachteile wird hier als weitgehend ausgewogen angesehen. Bei der Verwendung von Holz als Ausgangsmaterial (Papier, Baustoff mit Kaskadennutzung), konnte sogar gezeigt werden, dass fast alle Indikatoren (z. B. Treibhausgasemissionen, Versauerung über den Lebensweg) positiv zu bewerten sind. Ausnahmen davon seien allerdings der biogene Rohstoffverbrauch und die Inanspruchnahme von Flächen (ebd.).

Im Fokus aktueller Forschungs- und Entwicklungsarbeiten stehen insbesondere Biopolymere, die aus Stärke und Zucker gewonnen werden (z. B. Polymilchsäure). Ein wichtiger Innovationstreiber sind dabei die Bioraffinerien, die sich weltweit allerdings überwiegend auf den Energie- und Kraftstoffsektor konzentrieren. Werkstoffrelevante Produkte sind zumeist nur eine zusätzliche Anwendungsoption. Einige Substanzen, wie z. B. Polymilchsäure, Bernsteinsäure und Lignin haben jedoch erhebliches technisches Anwendungspotenzial (Thielen, 2013; VDI, 2014). Viele der Verfahren zur Gewinnung von Biokunststoffen, die technisch verwendet und im Leichtbau eingesetzt werden können, sind jedoch sehr energieintensiv (VDI 2014).

Ein weiteres Einsatzfeld sind **Verbundwerkstoffe mit biogenen Materialien bzw. der Leichtbau** in der Automobilindustrie (s. Kapitel 4.2.3). Schließlich ist auch die Substitution von fossilen Grundstoffen in der Herstellung mineralischer Baustoffe möglich. Die damit verbundenen Potenziale, Maßnahmen und Hemmnisse werden im Handlungsfeld 4.5.1 zu alternativen Baustoffen diskutiert.

Einschränkend muss festgehalten werden, dass der Einsatz biogener Stoffe in Verpackungen beispielsweise von der Deutschen Umwelthilfe und des Umweltbundesamtes abgelehnt wird, da die Ökobilanz der Biokunststoffe gegenüber konventionellen nicht als Vorteilhaft bewertet wird und sich die Biokunststoffe bspw. nur unter bestimmten Bedingungen und langsam zersetzen und folglich keine Lösung für das Müllproblem darstellen (UBA, 2012; Deutsche Umwelthilfe, 2018). Problematisiert werden muss zudem die Inanspruchnahme von Flächen für den Anbau von biotischen Rohstoffen.

Hemmnisse

2008 wurden mit 46,5 Mio. Tonnen bereits 52% der nachwachsenden Rohstoffe in Deutschland stofflich genutzt. Insgesamt überwiegt die stoffliche Nutzung von Biomasse gegenüber der energetischen Nutzung leicht. Holz macht dabei den Großteil der stofflich genutzten Rohstoffe aus (Carus u. a., 2014). Angesichts der großen und möglicherweise auch steigenden Bedeutung biogener Stoffe in der Energiewende und dem Flächenbedarf für die Landwirtschaft könnte es zunehmend eine Konkurrenz zwischen der energetischen und stofflichen Nutzung bzw. Konflikte in der Landnutzung und um die Preise von Agrargütern geben (Oertel, 2007; Bardt, 2008; Hermeling and Wölfig, 2011). Ein Ansatz, um diese Konkurrenz abzumildern, besteht darin, aus Biomasse, die für energetische Zwecke angebaut wird, zunächst stofflich z. B. in Biokunststoffen zu nutzen, bevor sie letztendlich verbrannt werden (**Kaskadennutzung**) – bzw. auch werkstoffliche genutzte Biomasse kann nach Ablauf ihres stofflichen Einsatzes immer noch energetisch genutzt werden (Baur, 2010, p. 91; Institute for Bioplastics and Biocomposites, 2016, p. 40 f.).

Abgesehen vom Baubereich bzw. der Nutzung im Leichtbau können Erze und Metalle (vor allem Eisen/Stahl, Aluminium und Kupfer) nur in geringem Maße durch biotische Rohstoffe substituiert werden (Graede u. a., 2013; Carus u. a., 2014, S. 56).

Maßnahmen

Für die Weiterentwicklung von Produkten und Produktionsverfahren mit **Einsatz von biogenen Stoffen**, wäre es hilfreich, **Evaluierungswerkzeuge** zu entwickeln, **mit denen die Auswirkungen auf Klima, Umwelt und Ökosysteme sowie der Bedarf an Ressourcen über den gesamten Lebenszyklus** der jeweiligen Produkte und Technologien bilanziert werden. Um in der industriellen Verarbeitung angewendet werden zu können, müssen die Werkstoffe und ihre Herstellungsprozesse nicht nur ökologisch sinnvoll sein, sondern auch hohen Qualitätsanforderungen genügen. Daher müssen auch **Verfahren der Qualitätssicherung** und die **Entwicklung von Standards** vorangetrieben werden (VDI, 2014).

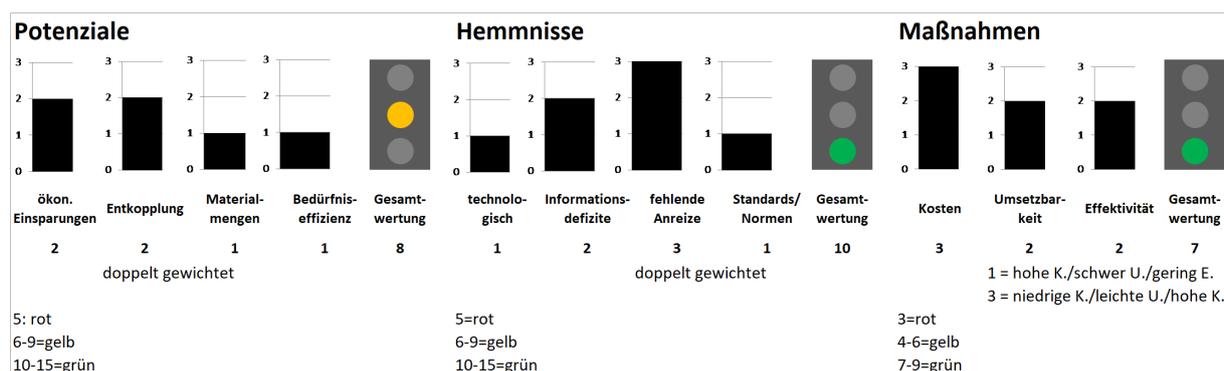
4.2 Ressourceneffizienz in der Produktion steigern

4.2.1 Handlungsfeld 5 Bereitstellung von Informationen entlang der Wertschöpfungskette

In diesem Handlungsfeld werden Informationen zu Ressourceneffizienz betrachtet, welche Marktakteure entlang der Wertschöpfungskette zu ihren Erzeugnissen bereitstellen könnten. Dies umfasst insbesondere Informationen über die ressourcen(in-)effiziente Erzeugung sowie Hersteller-Informationen, welche Reparaturen und Recycling vereinfachen. Damit weist das Handlungsfeld viele Schnittstellen zu Handlungsfeld 8 RE in der Produktgestaltung; Handlungsfeld 9 RE im Handel (Produktangebot & -auswahl); Handlungsfeld 10 Reparatur, Refurbishing, Gebrauchtwaren (ohne IKT) und Handlungsfeld 17 Verlängerung der Nutzungsdauer IKT Geräte auf.

Insgesamt zeigt dieses Handlungsfeld mäßige Potenziale, vor allem Materialmengen, die darüber eingespart werden könnten, dürften relativ gering ausfallen. Hinsichtlich der hemmenden Faktoren sind die fehlenden Anreize zentral, entsprechende Informationen bereit zu stellen. Maßnahmen ständen kostengünstig zur Verfügung, jedoch ist deren Umsetzbarkeit und Effektivität lediglich moderat einzuschätzen.

Abbildung 10: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 5



Potenziale

In einer (bisher unveröffentlichten) Selbsteinschätzung von 2012 gaben gut 11% der befragten Unternehmen aus verschiedenen Wirtschaftszweigen ihre Materialeinsparpotenzial mit über 10% an (Fraunhofer ISI, 2018). Weitere ca. 18% der befragten Unternehmen sehen Materialeinsparmöglichkeiten von mindestens 5 – maximal 10%.

Eine weitere Umfrage zeigte, dass Betriebe dann verstärkt Konzepte zur Steigerung der Materialeffizienz heranziehen, wenn sie die Kosten über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg im Blick haben (Schröter, Lerch and Jäger, 2011). Die Materialeffizienz kann dann gesteigert werden, wenn angemessene Kennzahlen-/ Informationssysteme Transparenz in Bezug auf die betrieblichen Stoffströme herstellen und sich die Unternehmen umfassend über Möglichkeiten informieren, wie die Produktionsprozesse optimiert werden können. Dies können sowohl innerbetriebliche als auch externe Beratungen sein. Zudem können laut Fraunhofer ISI Kooperationen mit Kunden, Lieferanten und auch Forschungseinrichtungen dazu beitragen, die Materialeffizienz zu steigern (Schröter, Lerch and Jäger, 2011).

Dies zeigt, dass Einiges an Potenzial für Ressourceneffizienz besteht, wenn Unternehmen sich zu den Möglichkeiten von Ressourceneffizienz informieren bzw. informiert werden. Zwar gibt es bereits viele Instrumente und Netzwerke die zum Thema Ressourceneffizienz in der Produktion

beraten (bspw. VDI ZRE oder NaRess), allerdings dominiert in der gesamtgesellschaftlichen Debatte derzeit nach wie vor das Thema Energieeffizienz. Darüber hinaus können Unternehmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz Kunden und weiterverarbeitende Gewerbe informieren, indem sie Produktinformationen (z. B. Reparaturanleitungen) zur Verfügung stellen.

Hemmnisse

Das Thema Energieverbrauch ist für Unternehmen zum Teil transparenter und leichter nachvollziehbar, zudem ist der Handlungsdruck durch die zum Teil großen Preissteigerungen größer. Weiterhin betrifft Materialverbrauch eher die Kernprozesse des Unternehmens als Energieverbrauch, was zumeist ein Hilfsprozess ist. Der Ressourcenbereich dagegen ist daher weniger transparent und zum Teil komplex, so dass das Thema bei vielen Unternehmen zunächst in den Hintergrund rückte. In einer Umfrage unter mittelständigen Unternehmen, dass einerseits das Thema Ressourceneffizienz noch nicht im Bewusstsein der meisten Unternehmen angekommen ist, aber auch keine flächendeckenden Beratungsangebote bestehen, die über die Bedeutung von Ressourceneffizienz für die Unternehmen und mögliche Förderungen zur Umsetzung von Ressourceneffizienzmaßnahmen informieren (Görlach and Zvezdov, 2010; von Wecus and Willeke, 2015). Neben dem geringen Bewusstsein für die Bedeutung von Ressourceneffizienz und den existierenden Beratungsangeboten wurde ebenfalls als Hemmnis angesehen, dass viele der existierenden Beratungsangebote vor allem technisch beraten. Andere Aspekte, wie zum Beispiel Fragen der Organisationsentwicklung würden dagegen weniger adressiert. Auch wenn die Maßnahmen zur Ressourceneffizienzsteigerung letztlich technisch umgesetzt werden müssen, sei es aber ebenso wichtig, Unternehmen aus betriebswirtschaftlicher Perspektive zu überzeugen, dass das Ausschöpfen von Ressourceneffizienzpotenzialen wirtschaftlich sinnvoll ist (Görlach and Zvezdov, 2010).

Wilts and Gries (Wilts and Gries, 2014) stellen heraus, dass bereits aus dem bestehenden Abfallrecht Vorgaben die Herstellung reparier- und demontagefreundlicher Produkte erwachsen sowie zur Weitergabe von Informationen für eine angemessene Behandlung. In der Praxis werden diese Informationspflichten in der Regel aber nur mit dem Fokus auf Schadstoffe und nicht auf ressourcenrelevante Materialien umgesetzt. Daher ist das Wissen über Produktinhaltsstoffe, sowohl in der Abfallwirtschaft als auch bei den Herstellern selbst, von relevanten Informationsdefiziten betroffen. Auch die Demontagevorgaben wurden vor allem mit Blick auf eine sichere Entsorgung erstellt, als mit dem Ziel der Separierung besonders werthaltiger Bauteile. Ökologisch positive Wirkungen der Produktverantwortung auf die Konzeption reparaturfreundlicher Produkte werden durch die herstellerunspezifische Berechnung der Entsorgungskosten geschmälert (ebd.).

Maßnahmen

Hersteller können **Spezifikationen von Materialien und (Zwischen)Produkten, Ersatzteilen und Demontagehinweisen öffentlich zugänglich machen**. Darüber würde es Unternehmen im weiteren Verlauf der Wertschöpfungskette sowie Endverbraucherinnen und -verbraucher ermöglicht, Ressourceneffizienzpotenziale zu heben. Eine häufig genutzte Möglichkeit zur Produktinformation sind außerdem Label, die unter anderem Informationen zu den Bereichen Umwelt und Soziales zur Orientierung für weiterverarbeitende Unternehmen und Verbraucherinnen und Verbraucher bereitstellen (Houe and Grabot, 2009; Stieß, Birzle-Harder and Schietinger, 2013). Die meisten dieser Kennzeichen sind im Bereich Lebens- und Genussmittel zu finden. In anderen Bereichen, wie zum Beispiel Bauen und Wohnen, existieren zwar auch Label, diese sind jedoch weit weniger verbreitet und werden als weniger erfolgreich angesehen (Konrad and Scheer, 2014). Die **Nutzung von Öko-Labels** kann außerdem wirtschaftliche Vorteile für Unternehmen haben, indem Marktanteile insbesondere in Industrieländern gewonnen werden können, wo das Umweltbewusstsein besonders hoch ist

(Houe and Grabot, 2009). Die Einführung eines Labels und der Zertifizierungsprozess können jedoch für Unternehmen auch eine Herausforderung darstellen, da es teils notwendig ist, den Lebenszyklus eines Produkts transparent zu machen. Hier bedarf es einerseits methodischer Kenntnisse zu Lebenszyklusanalysen, aber auch der entsprechenden Daten, die nicht immer für alle Produkte leicht zu beschaffen sind (ebd.).

Verbraucher nutzen Label, um sich über die Umwelteffekte eines Produktes zu informieren. Allerdings zeigen Studien, dass Label in der Regel nur einen Effekt auf Verbraucher haben, die bereits ein hohes Nachhaltigkeitsbewusstsein haben und gleichzeitig eine positive Haltung gegenüber Öko-Labels mit einem hohen Einkommen korreliert (Houe and Grabot, 2009). Am Beispiel Blauer Engel wird deutlich (welcher auch Aspekte der Ressourceneffizienz zertifiziert), dass trotz des hohen Bekanntheitsgrads, der Einfluss des Blauen Engels auf das Kaufverhalten in den letzten Jahren merklich gesunken ist (Stieß, Birzle-Harder and Schietinger, 2013). Untersuchungen zeigen auch in diesem Fall, dass die Kaufentscheidung für ein Blauer Engel Produkt von dem Umweltbewusstsein der Käufer abhängig ist (ebd.).

Der Handel dient als Schnittstelle zwischen Produzenten und Konsumenten und kann so dazu beitragen, den **Kunden im Handel Informationen über ressourceneffiziente Produkte zur Verfügung zu stellen**. Eine Maßnahme wäre, die Kennzeichnung von ressourceneffizienten Produkten z. B. hinsichtlich der zur erwartenden Lebensdauer. Das Aushandeln **einer einheitlichen Definition des Begriffes „ressourceneffizient“** wäre außerdem sinnvoll, um den Konsumenten einen einheitlichen Standard zur Bewertung eines Produktes zur Verfügung zu stellen und somit eine informierte Kaufentscheidung zu ermöglichen.

4.2.2 Handlungsfeld 6 Betriebliches Ressourcenmanagement

Betriebliches Ressourcenmanagement fördert den effizienten Umgang mit natürlichen Ressourcen und hilft gleichzeitig, Materialkosten zu sparen. Umweltmanagement ist ein Mittel, um betriebliches Ressourcenmanagement anzustoßen. Seit den 1990er Jahren werden Standards entwickelt, die Unternehmen bei der Umsetzung von Umweltmanagementsystemen (UMS) unterstützen. Sie helfen Unternehmen und Organisationen dabei, ihre Umweltleistung zu evaluieren und schlussendlich zu verbessern. Weit verbreitete UMS sind zum Beispiel die Norm ISO 14001 auf internationaler Ebene sowie auf europäischer Ebene EMAS (Environmental Management and Audit Scheme). Die EMAS-Verordnung enthält dabei die Anforderungen der ISO 14001, sodass ein EMAS-zertifiziertes Unternehmen gleichzeitig auch die ISO 14001 erfüllt. Daneben existieren weitere niedrigschwellige Umweltmanagementansätze, die meist geringere Anforderungen und Standardisierungsgrade aufweisen (Brauweiler, Zenker-Hoffmann and Will, 2015). Ein Beispiel dafür ist etwa ÖKOPROFIT, ein Kooperationsprojekt deutscher Kommunen und Unternehmen. Es setzt sich als Ziel, lokale Netzwerke für unternehmerischen Umweltschutz aufzubauen (Crönertz, 2016).

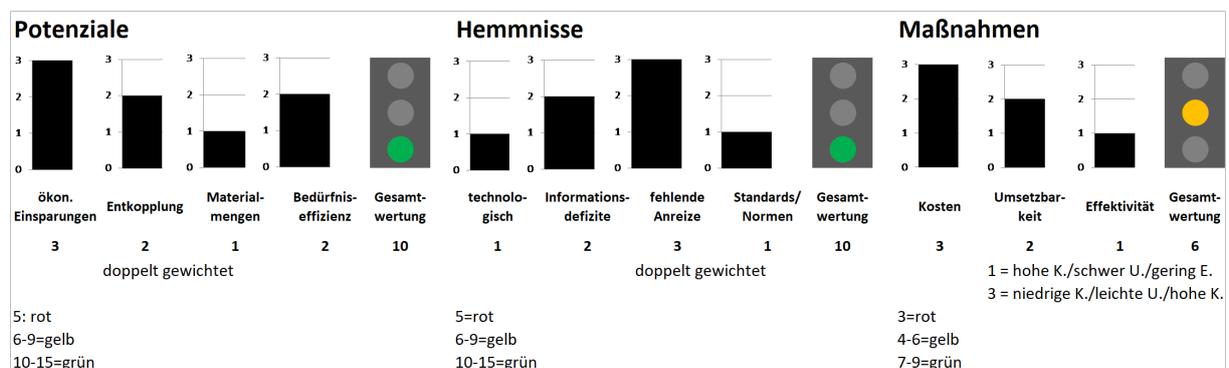
Die Einführung und Zertifizierung eines Umweltmanagementsystems beruht auf freiwilliger Basis. Dennoch sind derzeit weltweit etwa 320.000 Unternehmen und Organisationen mit ISO 14001 zertifiziert, davon 8.000 in Deutschland. Die Norm wurde im Jahr 2015 überarbeitet. Seitdem sind die teilnehmenden Organisationen dazu verpflichtet, die Umwelteinflüsse ihrer Aktivitäten und Produkte entlang des gesamten Lebenszyklus zu bewerten. Es ist jedoch nicht erforderlich, eine explizite Ökobilanzierung vorzunehmen (UBA, 2017a).

Die Zahl der EMAS-registrierten Organisationen in Deutschland liegt derzeit bei ca. 1.200, verteilt auf mehr als 2.100 Standorte. Zwischen 2005 und 2012 war die Zahl der registrierten Unternehmen rückläufig, inzwischen hat sie sich jedoch stabilisiert. Ziel der Bundesregierung ist es, diese Zahl bis 2030 deutlich zu erhöhen und 5.000 Standorte nach EMAS zu validieren (Bundesregierung, 2016).

Studien haben gezeigt, dass sowohl die rechtlichen Rahmenbedingungen als auch die Kenntnis über Umweltmanagementsystemen im Unternehmen Faktoren für die Einführung eines UMS sind. Zudem ist ein Bewusstsein für Umweltfragen innerhalb der Unternehmensleitung, in der Belegschaft sowie bei deren Kunden bedeutsam. Außerdem zeigt sich, dass die Größe des Unternehmens ein zusätzlicher Treiber ist. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass größere Unternehmen einerseits über mehr Ressourcen verfügen, den Zertifizierungsprozess zu durchlaufen. Andererseits stehen sie stärker unter öffentlicher Beobachtung (McKeiver and Gadenne, 2005).

Im Folgenden werden zentrale Aussagen aus der Literatur zu Potenzialen, Hemmnissen und Maßnahmen aus dem Bereich betriebliches Ressourcenmanagement dargestellt, auf deren Grundlage die Bewertung in Form der Ampeln getroffen wurde. Insgesamt werden Potenziale, insbesondere zu ökonomischen Einsparungen gesehen, welche allerdings mit fehlenden Anreizen und Informationsdefiziten konfrontiert sind. Verschiedene Maßnahmen ständen zur Verfügung, sind allerdings in der Umsetzbarkeit voraussetzungsreich und die Effektivität kann als eher niedrig eingeschätzt werden.

Abbildung 11: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 6



Quelle: Eigene Darstellung

Potenziale

Potenziale betrieblichen Ressourcenmanagements liegen vor allem im Bereich der Kosteneinsparungen für die Unternehmen. Die Kosten betrieblichen Ressourcenmanagements sind überschaubar, gleichzeitig werden bei Umsetzung von Materialeinsparungen auch Kosten eingespart.

Über betriebliches Ressourcenmanagement werden Materialströme identifiziert, die effizienter organisiert werden können. Die Menge des produzierten Gutes bleibt dabei gleich oder steigt weiter an. Dadurch steigt die Materialeffizienz, d. h. das Verhältnis der hergestellten Produkte zur Menge der eingesetzten Materialien.

Die Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes sehen Materialeinsparpotenziale bei der Produktion von durchschnittlich 7%. Auffällig ist hier die Variation innerhalb der Branchen: so sehen 13,6% der Maschinenbauer Einsparpotenziale von über 10%, aber nur 7,9% der Chemieunternehmen (Schröter, Lerch and Jäger, 2011). Gerade ein Fokus auf diese materialintensiven Branchen kann zu erheblichen Ressourceneinsparungen führen. Insgesamt betrachtet und im Vergleich zu anderen Handlungsfeldern ist die Materialmenge aber verhältnismäßig gering.

Einsparungen bei Materialien ermöglichen wirtschaftliche Vorteile. Im Verarbeitenden Gewerbe ist eine Senkung der Materialkosten von ca. 48,8 Mrd. Euro pro Jahr möglich (Schröter, Lerch and Jäger, 2011).

Hemmnisse

Informationsdefizite bestehen hinsichtlich der unterschiedlichen Umweltmanagementsysteme. Unternehmen ziehen oftmals ISO 14001 gegenüber EMAS vor, wenn sie ein UMS implementieren (Arqum GmbH and Infratest dimap, 2013). Gleichwohl beinhaltet die EMAS-Zertifizierung automatisch auch eine solche für ISO 14001. Dies lässt darauf schließen, dass EMAS nicht ausreichend als umfangreicheres UMS wahrgenommen wird. Diese Informationsdefizite können dazu führen, dass Unternehmen nicht ihre vollen Potenziale ausschöpfen können, indem sie ISO 14001 anstelle von EMAS einführen.

Aufgrund der fehlenden Internalisierung der externen Umweltkosten des Ressourcenverbrauchs stehen dem langfristigen Nutzen betrieblichen Ressourcenmanagements kurzfristig vergleichsweise hohe Kosten für die Umsetzung eines Umweltmanagementsystems entgegen (Shahbazi, 2015). Auch der ausgiebige Zeitaufwand oder Unsicherheiten über die Rentabilität der (Erst-)Zertifizierung können Unternehmen von einer Implementierung abhalten (Milieu and RPA, 2009).

Im Bereich betriebliches Ressourcenmanagement gibt es mit EMAS und ISO 14001 bereits erprobte Normen. Außerdem existieren weitere, niedrigschwellige UMS wie ÖKOPROIT. Das Hemmnis besteht also weniger in einem Mangel adäquater Normen als in einer wenig verbreiteten Anwendung dieser Norm.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die vorliegenden Hemmnisse vor allem ökonomischer und kommunikativer Natur sind und weniger technologischer oder praktischer Natur.

Maßnahmen

Zwei zentrale Maßnahmen seitens der Unternehmen versprechen die oben genannten Potenziale in diesem Handlungsfeld zu heben:

Unternehmen können sich **Beratungsleistungen zum Umwelt-/Ressourcenmanagement einholen**. Die Evaluation von Beratungsprogrammen im Bereich Ressourceneffizienz zeigt, dass große Kosteneinsparungen und signifikante Minderungen von Treibhausgasemissionen realisiert werden können: So ergab eine Schätzung im Vorhaben PolRes, dass mit Hilfe von Ressourceneffizienz-Beratung in 2 Jahren Investitionen in Höhe von mehr als 17 Mio. Euro in Betrieben ausgelöst und Kosteneinsparungen von rund 10 Mio. Euro pro Jahr realisiert würden (Meyer, 2015). Die erzielten Material- und Energieeinsparungen entsprechen CO₂-Äquivalenten von jährlich ca. 22.000 Tonnen. Hemmend wirken hier jedoch die kurzfristigen Kosten der Umstellung sowie fehlende Anreize.

Außerdem können Unternehmen zur Steigerung ihrer Ressourceneffizienz **Umweltmanagementsysteme einführen** (z. B. EMAS). Unternehmen mit Managementsystem führen mehr Ressourceneffizienzmaßnahmen durch als Unternehmen ohne jegliches Managementsystem (von Wecus, Weber and Willeke, 2017). Auswertungen zeigen, dass Managementsysteme den effizienten Umgang mit natürlichen Ressourcen (im Schwerpunkt Material, Energie und Wasser) in Unternehmen unterstützen. Mehr als jedes fünfte Unternehmen ohne Managementsystem führt keinerlei Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz durch. Dagegen werden bei lediglich vier Prozent der zertifizierten Unternehmen sowie fünf Prozent der Unternehmen mit nicht zertifizierten Systemen keine Maßnahmen umgesetzt (ebd.).

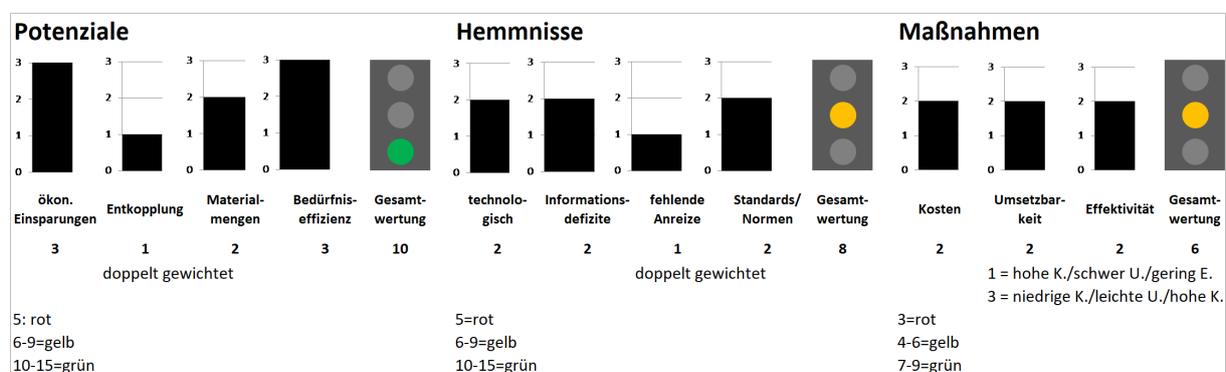
Weitere denkbare Maßnahmen wären die **Bevorzugung von Sekundärmaterialien im Einkauf**, die **Anwendung von Life-Cycle-Assessments für Produkte** oder die **Minimierung von betrieblichen Abfällen**.

4.2.3 Handlungsfeld 7 RE Fertigungsverfahren wie Leichtbau

Einleitung

Der Fokus in diesem Handlungsfeld liegt auf verbesserten Verfahren und neuen Technologien und lässt sich daher nicht ganz von Werkstoffsubstitution bspw. durch biotische Rohstoffe trennen (vgl. Handlungsfeld 4 Nutzung nichtfossiler Kohlenstoffquellen: biotische Rohstoffe und CO₂ als Rohstoff). Im Hinblick auf verbesserte Verfahren ist insbesondere der Leichtbau (an dieser Stelle exklusive Hoch- und Tiefbau) zu nennen. Ziel von Leichtbauverfahren ist es, Produkte zu entwickeln, die mit einem geringeren Werkstoffeinsatz, leichteren Werkstoffen oder einer veränderten Produktstruktur hergestellt werden, um so Gewicht einzusparen. So sollen sowohl in der Herstellung des Produkts aber auch während seiner Nutzung der Rohstoffeinsatz gesenkt sowie der Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß gesenkt werden. Den großen Potenzialen stehen technologische und regulatorische Hemmnisse sowie Informationsdefizite gegenüber. Maßnahmen sind verfügbar, allerdings mit Vorbehalten behaftet.

Abbildung 12: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 7



Quelle: Eigene Darstellung

Potenzial

Beim Leichtbau sind neben ökologischen auch wirtschaftliche Vorteile zu erwarten. Denn 40% der Produktionskosten im verarbeiteten Gewerbe werden für Materialkosten aufgebracht. Leichtere Strukturen oder die Integration verschiedener Funktionen einzelner Bauteile kann es ermöglichen, diese Kosten zu senken (VDI ZRE, 2015).

Beispielsweis im Automobilsektor spielt Leichtbau durch Carbonfaserverstärkten Kunststoff (CFK) eine große Rolle. In herkömmlichen Preformingprozessen entsteht ein Faserverschnitt von bis zu 30 % (Kaiser u. a., 2016). Eine ökobilanzielle Analyse der wichtigsten Prozessketten zur effizienten Fertigung von CFK-Bauteilen zeigt, dass die größten Potenziale zur Reduktion der Primärenergie in der Reduktion von Verschnitt (25-30%) liegen.

RE-Preforming der CFK Bauteile, bei der kein Verschnitt anfällt, ist bspw. auch durch 3D-Druck möglich. Den additiven Verfahren des 3D-Drucks werden v. a. im Leichtbau ein hohes RE-Potenzial zugesprochen (ebd., 85). Dies befindet sich allerdings erst in einem sehr frühen Entwicklungsstadium (Kaiser u. a., 2016, S. 48).

Auch die Auswahl geeigneter Fügeverfahren und deren Optimierung bieten eine Vielzahl von Möglichkeiten, Ressourceneffizienzpotenziale zu erschließen (Drechsler and Kirmes, 2016): Der Material- und Energieverbrauch, der durch die Füge-technologie verursacht wird, kann z. B. in der Automobilindustrie einen Anteil von bis zu 30 % des Gesamtenergiebedarfs einer Fertigung ausmachen (ebd.).

Schließlich birgt neben Leichtbau auch Miniaturisierung Potenziale für die Ressourceneffizienz im Maschinen- und Anlagenbau. Miniaturisierung lässt sich von der Produktion von Kraftstoffen und Farben bis hin zu Feinchemikalien und pharmazeutischen Produkten einsetzen. Um die Potenziale der Steigerung der Ressourceneffizienz im Maschinen- und Anlagenbau zu heben, bedarf es gleichwohl weiterer, fundierter Studien um die Potenziale zu analysieren, zu quantifizieren und zu vergleichen. Nur so kann das Potenzial innovativer, miniaturisierter Technologien zielgerichtet ausgeschöpft, gefördert und im Sinne eines nachhaltigen Produktentwicklungsprozesses wirksam werden (Kralisch and Weyell, 2015).

Hemmnisse

Die Entwicklung von ressourceneffizienten Fertigungsverfahren ist mit den allgemeingültigen Hemmnissen fehlender Internalisierung externer Kosten konfrontiert (Eco-Innovation Observatory, 2011). Dadurch fehlen Anreize für die Entwicklung sowie den Einsatz ressourceneffizienter Fertigungsprozesse im Vergleich zu konventionellen Materialien/Prozessen (Kristof and Hennicke, 2010b; Shahbazi, 2015; Saulich, 2016). Das Knappheitssignal für den Ressourcenverbrauch kommt bei den Unternehmen nicht an (Greenovate!Europe, 2012). Aufgrund der fehlenden Internalisierung stehen dem langfristigen Nutzen einer ressourceneffizienten Produktionstechnologie kurzfristig vergleichsweise hohe Investitionskosten für die Entwicklung und Umsetzung eines neuen Produktionsprozesses entgegen (Engelmann u. a., 2013; Shahbazi, 2015; von Wecus und Willeke, 2015; BaWü, 2016). Diese zeitliche Komponente spielt bei rendite-getriebenen Unternehmen mit kurzen Amortisationsansprüchen oftmals eine zentrale Rolle (von Wecus and Willeke, 2015). Auch die an anderen Stellen angeführten "Marktzwänge" bzw. fehlenden Märkte für effizient produzierte Produkte (POLFREE, 2014; Neeraj u. a., 2017) lassen sich auf externe Effekte und versunkene Kosten und entsprechende Pfadabhängigkeiten zurückführen.

Informationsdefizite bestehen bezüglich der Betriebssicherheit, Langlebigkeit, Zuverlässigkeit und dem Einsatz neuer RE Fertigungsverfahren und stellen somit wesentliche Hemmnisse dar (BaWü, 2016). Hinzu kommt die mangelnde Zusammenarbeit zwischen einzelnen Akteuren der Wertschöpfungskette und entsprechend Informationsdefizite entlang der Wertschöpfungskette (Greenovate!Europe, 2012). Dies kann auf geteilte Anreize zurückgeführt werden. Das heißt, wenn ein Unternehmen in der Produktherstellung Ressourceneffizienzmaßnahmen berücksichtigt, kann davon die gesamte Wertschöpfungskette profitieren. Die zusätzlichen Kosten trägt aber lediglich das eigentliche Unternehmen (POLFREE, 2014). Genauso kann die Wertschöpfungskette mit Blick auf fehlende Zulieferer für ressourceneffiziente Inputs ein Hindernis sein (ebd.). Versunkene Kosten in bestehende Produktionsprozesse blockieren die Modifizierung von Produktionsprozessen. Auch die Möglichkeit, dass konkurrierende Unternehmen von Innovationen profitieren ohne zur Entwicklung beigetragen zu haben (Spill-over Effekt) bringt Unternehmen häufig dazu zunächst abzuwarten, anstatt in neue ressourceneffiziente Technologien zu investieren (Defra, 2011). Spill-over Effekte, geteilte Anreize und Informationsdefizite spielen auch eine Rolle dabei, dass viele Unternehmen zurückhaltend sind, neuartige Verfahren einzuführen und wertschöpfungskettenübergreifende Kooperationen einzugehen (Kristof and Hennicke, 2010b; VDI-ZRE, 2011). Dieses Argument deutet darauf hin, dass u. a. durch eine fehlende Einpreisung negativer externer Kosten der Ressourcennutzung der wirtschaftliche Druck für effizientere Alternative nicht ausreichend hoch ist.

Maßnahmen

Bereits heute sind neue bzw. verbesserte Werkstoffe und deren Herstellungsprozesse die Voraussetzung für mehr als 60 % aller Produktinnovationen in Deutschland. Aber auch in Zukunft werden Materialinnovationen eine wichtige Rolle dabei spielen, umweltverträglichere

Produkte zu entwickeln, voraussichtlich insbesondere in den Bereichen Stromversorgung, Fahrzeug- sowie Flugzeugbau (VDI, 2014). **Die Forschung und Entwicklung neuer Materialien und Produktionsverfahren** ist daher eine Maßnahme, die weiter von Unternehmen vorangetrieben werden sollte, um einerseits international wettbewerbsfähig zu bleiben und andererseits umweltfreundliche Produkte und Produktionsverfahren zu entwickeln. Es ist zu erkennen, dass im Ausland (insbesondere in China und den USA) bereits in stärkerem Maße Leichtbautechniken erforscht und entwickelt werden, als es derzeit in Deutschland der Fall ist. Die Innovationspotenziale sind unterschiedlich hoch für die verschiedenen Materialklassen einzustufen (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Innovationspotenziale nach Materialklassen

Materialklassen	Innovationspotenzial	Reife	Kritische Erfolgsfaktoren
<i>Aluminium-/Legierungen</i>	Mittel	Hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Materialkosten • Verbindungstechnik • Umformbarkeit
<i>Magnesium-/Legierungen</i>	Mittel	Mittel	<ul style="list-style-type: none"> • Blechherstellung • Korrosions- und Kriechbeständigkeit
<i>Hoch-/höchstfeste Stähle</i>	Hoch	Hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Festigkeit, Duktilität, Korrosionsbeständigkeit
<i>Metallschäume</i>	Mittel	Gering	<ul style="list-style-type: none"> • Skalierbare Fertigungsfahren, • Verbindungstechnik
<i>Faserverstärkte Kunststoffe</i>	Hoch	Gering	<ul style="list-style-type: none"> • Strukturintegrität, • Skalierbarkeit und Kosten der Produktion • Design • Numerische Methoden • Recyclingfähigkeit
<i>Biopolymere</i>	Mittel	Gering	<ul style="list-style-type: none"> • Kosten, Qualität • Ökobilanz
<i>Naturfaserverstärkte Kunststoffe</i>	Hoch	Gering	<ul style="list-style-type: none"> • Großtechnische Produktion, Eigenschaften

Quelle: VDI ZRE, 2015

Jenseits dieser Materialklassen werden für Holz sowohl die Innovationspotenziale als auch deren Reife als "mittel" eingestuft.

Statistiken zeigen, dass insbesondere **metallische Leichtbaumaterialien** und **Verbundwerkstoffe** bereits im verarbeitenden Gewerbe genutzt werden: Für das Jahr 2012 liegen Zahlen aus einer Studie des Fraunhofer ISI vor, wonach **24 % der befragten Unternehmen Verfahren zur Be- und Verarbeitung von Leichtbaumaterialien einsetzen**. Bemerkenswert ist, dass 35% der befragten Groß- und 22% der kleinen und mittleren Betriebe Leichtbaumaterialien nutzen. Damit ist der Unterschied geringer als für andere neue Technologien, was darauf hindeutet, dass insbesondere auch KMU Marktchancen durch den Einsatz von Leichtbaumaterialien erwarten. Der größte Anteil bei den metallischen

Leichtbaumaterialien wird in den Branchen „Metallerzeugung und Herstellung von Metallerzeugnissen“ (37 %) und dem Fahrzeugbau (33 %) eingesetzt. Aber auch in den Bereichen Maschinenbau (31 %), Elektroindustrie (20 %) und chemischer Industrie (12 %) sind die Anteile relativ hoch. Die Be- und Verarbeitung von Verbundwerkstoffen wird vor allem im Fahrzeugbau (33 %) eingesetzt, gefolgt von der chemischen Industrie (12 %), der Elektroindustrie (9 %) und dem Maschinenbau (8 %) (Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, 2014). Leichtbau ist aktuell im deutschen Automobil- und Flugzeugbau am stärksten etabliert. Gleichwohl haben **auch andere Anwenderbranchen (z. B. die Bauwirtschaft, Windenergie, Maschinenbau) das Potenzial**, diesen Bereich des Leichtbaus weiter zu stärken (s. Kapitel 4.5.1 zum Handlungsfeld alternative Baustoffe). Insbesondere vor dem Hintergrund der internationalen Wettbewerbsfähigkeit, ist der Leichtbau als Zukunfts- und Wachstumsmärkte zu verstehen, der nicht nur ökologische Vorteile, sondern auch ökonomische durch das Einsparen von Rohstoffen und Energie erwarten lässt (VDI ZRE, 2015). Tabelle 2 zeigt auch, dass **insbesondere für die Nutzung von Kunststoffen noch große Innovationspotenziale** gesehen werden, die noch nicht ausgeschöpft werden.

4.3 Produkte und Konsum ressourcenschonender gestalten

4.3.1 Handlungsfeld 8 RE in der Produktgestaltung

Ökodesign wird als Gestaltungsansatz für Produkte verstanden, bei dem durch ein verbessertes Produktdesign – also der Prozess des Entwerfens und Konzipierens – Umweltbelastungen über den gesamten Lebenszyklus minimiert werden (UBA, 2016a). Dies kann einerseits durch weniger und/oder umweltfreundlicheren Materialeinsatz bei der Herstellung geschehen. Außerdem kann RE in der Produktgestaltung durch Langlebigkeit, Reparierbarkeit und Recyclingfähigkeit sowie ggf. auch Austausch einzelner Komponente durch neuere Versionen erreicht werden.

Entsprechend eng ist das Handlungsfeld mit anderen im Bericht dargestellten Handlungsfelder verknüpft, wie Handlungsfeld 10 Reparatur, Refurbishing, Gebrauchsgüter (ohne IKT) oder Handlungsfeld 17 Verlängerung der Nutzungsdauer IKT Geräte.

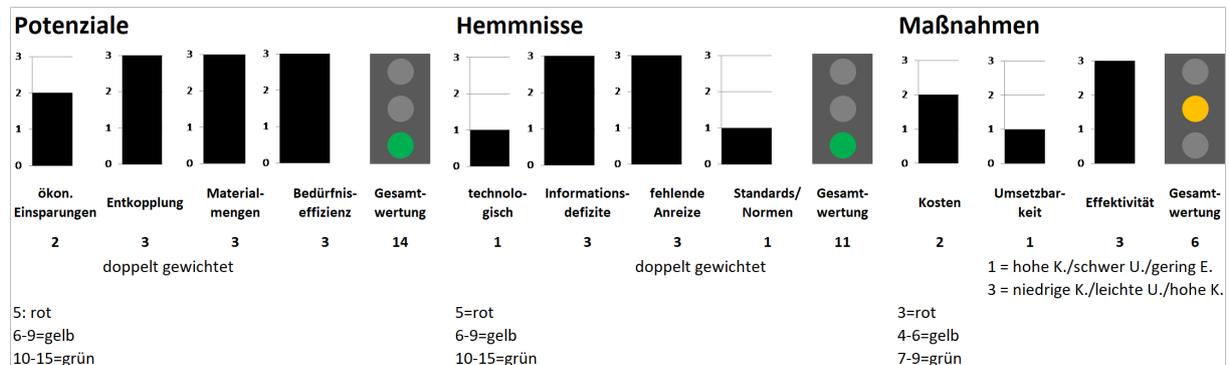
Das hier beschriebene Handlungsfeld RE in der Produktgestaltung wird nachfolgend in einem eher engeren Sinne auf Produkte bezogen. Theoretisch kann sich Produktdesign auch auf Infrastrukturen und Produktdienstleistungssysteme beziehen, wenn bspw. die gleiche Funktionalität über ganz andere Wege erreicht wird, z. B. durch Sharing- oder Leasingkonzepte. Beide Aspekte werden unter anderen Handlungsfeldern thematisiert, nämlich Handlungsfeld 11 Teilen & Tauschen und Handlungsfeld 15 Ressourceneffizienz im Bauwesen.

Mit Blick auf die Produktkategorien und Materialströme werden hier v. a. Konsumgüter beleuchtet, die durch ein entsprechendes Produktdesign potenziell länger genutzt und damit entsprechende Ressourcen geschont werden könnten. Dabei ist zu beachten, dass Geräte der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) außerdem gesondert in einem eigenen Handlungsfeld diskutiert werden (HF 17 Nutzungsdauer IKT). Sogenannte Fast Moving Consumer Goods (FMCC), d. h. Produkte des täglichen Bedarfs, die schnell verbraucht werden, wie Körperpflegeprodukte, Putz- und Reinigungsmittel etc., spielen daher bestenfalls mit Blick auf die Optimierung der Verpackung eine Rolle (siehe dazu das HF Verpackung). Entsprechend der Umweltwirkungen und Datenverfügbarkeiten, sind die hier betrachteten Produktgruppen vornehmlich Haushaltelektrogeräte, Bekleidung und Möbel.

Aus der Analyse der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen ergibt sich ein motivierendes Bild, dieses Handlungsfeld RE Produktdesign politisch zu adressieren. Das Handlungsfeld zeigt deutliche Potenziale auf allen vier Dimensionen, Hemmnisse bestehen insbesondere bei

fehlenden (monetären) Anreizen sowie Informationsdefiziten und ein Bündel an effektiven Maßnahmen steht zur Verfügung, um den Hemmnissen zu begegnen. Im Folgenden werden zentrale Ausschnitte aus den Literaturstudien zu Potenzialen, Hemmnissen und Maßnahmen für RE Produktdesign dargestellt, auf dessen Grundlage die Bewertung in Form der Ampeln getroffen wurde.

Abbildung 13: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 8



Potenziale RE Produktdesign

Hauschild u. a. (Hauschild, Wenzel and Alting, 1999) haben schon früh die Effekte von Produktdesign auf die Umweltp Performanz festgestellt. In der Literatur und anderen Publikationen wird immer wieder herausgestellt, dass 80% des Materialverbrauchs durch das Produktdesign definiert seien (Hopfenbeck and Jasch, 1995; BMU, 2015). Dies verdeutlicht die Bedeutung von RE Produktgestaltung für die Ressourcenschonung; dabei können Materialien – und damit auch Kosten für Unternehmen – gespart werden (Schmidt und Schneider, 2010; Plouffe u. a., 2011). Dies ist für Materialeinsparungen häufig der Fall, bei langlebigerem Produktdesign, Reparatur und Recyclingfreundlichkeit fallen für die Hersteller jedoch häufig höhere Kosten an.

Insgesamt werden im Handlungsfeld RE Produktdesign hohe Ressourceneffizienz-Potenziale gesehen. Insbesondere Potenziale zur Entkopplung von Produktion und Umweltwirkungen sowie zu einer ressourceneffizienteren Befriedigung von Bedürfnissen sind in allen Produktgruppen zu finden. Des Weiteren zeichnen sich auch ökonomische Einsparpotenziale ab, dadurch, dass geringere Materialmengen aufgewendet werden, wenn ressourceneffizientes Produktdesign von Anfang der Produktentwicklung an mitgedacht wird.

Mit Blick auf die genannten Produktkategorien liegen unterschiedlich differenzierte Abschätzungen bezüglich der Potenziale vor, die im Folgenden einzeln betrachtet werden.

- Weiße Ware

Prakash u. a. (2016a) zeigen, dass bei Haushaltelektrogeräten ökologische und speziell Ressourceneffizienz-Potenziale insbesondere über längere Nutzungsdauern realisiert werden können. Dies gilt obwohl die Energieeffizienzsteigerung der neuen Geräte, der höhere Herstellungsaufwand des langlebigen Produktes sowie die Nachrüstung/Reparatur des langlebigen Geräts mit Ersatzteilen (inkl. deren Herstellungsaufwand) berücksichtigt wurden (ebd., 33). Bei Waschmaschinen sind beispielweise der kumulierte Energieaufwand (KEA) sowie das Treibhauspotenzial einer kurzlebigen Waschmaschine (Lebensdauer 5 Jahre) ca. 40% höher im Vergleich zu der langlebigen Waschmaschine (Lebensdauer 20 Jahre). Gleichzeitig sind die Gesamtkosten über die Nutzungsdauer für die Endverbraucher bei der langlebigen Waschmaschine im Vergleich am niedrigsten.

Wilts (Wilts 2013) hat für Waschmaschinen geschätzt, dass eine verlängerte Lebensdauer um 10 Jahre jährlich etwa 1,33 Mio. Waschmaschinen sparen würde. Dies wäre mit einer eingesparten Masse von etwa 100.000 t/a und einem kumulierten Rohstoffaufwand von 880.000 t/a verbunden (ebd., 10). Eine verlängerte Lebensdauer wäre bspw. dadurch zu erreichen, dass die Software sich aktualisieren lässt, was wiederum im Produktdesign berücksichtigt werden muss (vgl. Maßnahmen unten).

- Textilien

Der Bereich Textilien lässt sich unterteilen in technische Textilien (Anwendung z. B. im Objekt- oder Fahrzeugbau, in der Medizin und Hygiene oder im Fahrzeugbau), Heimtextilien (z. B. Teppiche) und Bekleidungstextilien. Die Deutsche Textil- und Bekleidungsindustrie besteht laut eigener Angaben aus 1.400 Unternehmen und beschäftigt über 130.000 Menschen (UBA, 2016b). Der Fokus des Handlungsfeldes liegt hier auf den Bekleidungstextilien, da in diesem Bereich die Industrie sehr kurzlebige Produkte designed werden (Fast Fashion). Bei technischen Textilien wird hingegen eher mit Langlebigkeit als Alleinstellungsmerkmal geworben.

In einer von Greenpeace beauftragten Umfrage von September 2015 gaben mehr als die Hälfte an, ihre Oberteile, Hosen und Schuhe nach drei Jahren auszusortieren. Dabei gaben 92% der Befragten an, dass der Grund für das Ausrangieren der Verschleiß sei. Zwei von drei Befragten gaben an, dass sie sich von funktionsfähigen Kleidungsstücken trennten, weil diese nicht mehr gefallen; 40% weil die Kleidung nicht mehr der Mode entspricht (Greenpeace, 2015). Nur 21% der befragten Personen sortieren Kleider nur aus, wenn sie kaputt sind oder nicht mehr passen (ebd.). Auch bei Schuhen trägt nur etwa die Hälfte der Befragten ihre Schuhe länger als 3 Jahre (ebd.). Dieses Verhalten, einerseits seitens der Modeketten, andererseits der Verbraucher, immer schneller neue Modezyklen auf den Markt zu bringen und diese zu kaufen, wird als Fast Fashion bezeichnet (UBA, 2016b). Das UBA spricht von bis zu 12 Kollektionen, die in Modehäusern jährlich angeboten werden (ebd., 13). Verantwortlich für die Wegwerfkultur bei Kleidern ist u. a. die Reduktion der Preise (Birtwistle and Moore, 2007). Die großen Modeketten, wie H&M, Zara und TopShop verkaufen Kleidung die darauf ausgelegt ist, weniger als zehnmal getragen zu werden (McAfee, Sjoman and Dessain, 2004). Gleichzeitig expandiert die Fast Fashion Industrie sehr schnell. Alleine von 2000 – 2014 hat sich die Produktion von Bekleidungstextilien verdoppelt; der durchschnittliche Konsument kauft 60% mehr Kleidungsstücke pro Jahr und behält sie etwa halb so lang als noch vor 15 Jahre (Greenpeace, 2014).

Als eine der zentralen Umweltfolgen in Verbindung mit Fast Fashion wird die steigende Nutzung von synthetischen Materialien benannt. Polyester, welches aus fossilen Rohstoffen hergestellt wird, bedingt fast 3x so viel CO₂-Emissionen in seinem Lebenszyklus wie Baumwolle. 21,3 Millionen Tonnen Polyester wurden im Jahr 2016 genutzt, was einem Anstieg um 157 % im Vergleich zum Jahr 2000 entspricht (Greenpeace, 2017b). Polyester kann außerdem nicht gut biologisch abgebaut werden. Auch mit Baumwolle sind schwere Umweltfolgen – wie Wasserknappheit, Wasserverschmutzung, Pestizidverschmutzung – verbunden, v. a. in den Anbauregionen wie China, Pakistan, Usbekistan. Stoffe aus Leinen, ebenfalls ein natürliches Material, welches aus der Flachspflanze gewoben wird, sind deutlich haltbarer als Baumwolle, und benötigen bspw. deutlich weniger Pestizide im Vergleich zu anderen Materialien, wie Baumwolle oder Polyester; außerdem können sie in der EU angebaut werden, was beispielsweise auch Transportemissionen senken könnte (Carus u. a., 2008). Die Nutzung der jeweils umweltfreundlicheren Materialien in der Herstellung würde die negativen Umweltwirkungen entsprechend deutlich senken (vgl. Maßnahmen unten).

In der Literatur werden v. a. im Design für Langlebigkeit Potenziale gesehen: Die Verlängerung der Nutzungsdauer von Kleidung reduziert alle Umweltfolgen auf einmal. Alleine die Nutzungsdauerverlängerung von einem auf zwei Jahre würde die Emissionen um 24%

reduzieren (Carbon Trust, 2011). Das Gleiche gilt für Second-Hand Kleidung: für jedes Kilogramm Primärbaumwolle, welches durch Sekundärkleidung ersetzt wird, werden ca. 65 kWh oder 90 kWh für Polyester eingespart (Lu and Hamouda, 2014).

Deutschland sammelt im Vergleich zu anderen Ländern fast drei Viertel aller genutzten Kleider, wobei die Hälfte weitergenutzt und ein Viertel recycelt wird. In anderen Ländern sind die Sammelraten deutlich niedriger: in den USA 15%, Japan 12 % und 10% in China (McKinsey & Company, 2016). In Frankreich werden ähnlich gute Sammelquoten gemessen: 60% der Textilien werden entweder im Familien- und Freundeskreis weitergegeben, oder an spezialisierte Organisationen (Demailly and Novel, 2014) (siehe auch HF 10 Wiederverwertung, Reparatur). Einige Marken haben begonnen, Bekleidung und Schuhe wieder zurück zu nehmen, bspw. H&M und Patagonia (letztere bietet auch einen Reparaturservice an sowie Second-Hand Kleider (vgl. Handlungsfeld 10 Reparatur, Refurbishing, Gebrauchtwaren (ohne IKT)), wobei dies nicht notwendigerweise zum Schließen von Kreisläufen genutzt wird (Armstrong u. a., 2015). Um eine lange Nutzungsdauer zu ermöglichen, ist es nötig, dass Bekleidungstextilien auch auf Langlebigkeit gestaltet werden (vgl. Maßnahmen unten).

Das Recycling (RC) von Fasern, insbesondere anwendbar bei Kunstfasern wie Polyester, bürgt laut Herstellerangabe beträchtliche Ressourceneffizienz-Potenziale. So werden von Patagonia Recycling-T-Shirts aus 50% RC Polyester und 50% RC Stoffreste hergestellt – für ein Shirt seien das 4,8 Plastikflaschen und 118g Stoffreste – wodurch 238 l Wasser im Vergleich zu konventionellen Shirts eingespart werden kann (Patagonia, 2018). Auch Vaude vertreibt T-Shirts anteilig aus RC Polyester aus RC PET Flaschen und Resten aus der Polyesterfaserproduktion. Es gibt keine Herstellerangabe zu genauen Prozentanteilen bei einzelnen Shirts, aber Vaude gibt an, das T-Shirt spare 50% Energie und CO₂ (Vaude, 2018). In der wissenschaftlichen Debatte ist der ökologische Gesamtnutzen von Textil-Recycling mitunter umstritten (Frey, 2010; Wahnbaeck, 2017).

- Möbel

Jährlich fallen in Deutschland sieben Millionen Tonnen Müll in Form von Möbeln an. Davon gelangen 90% auf der Müllverbrennungsanlage und nur 10% werden wiederverwertet (Dehoust u. a., 2013) (vgl. auch Handlungsfeld 10 Reparatur, Refurbishing, Gebrauchtwaren (ohne IKT)). Für Großbritannien werden 60% der entsorgten Möbel als wiederverwertbar eingestuft (Cooper 2016, 404). Eine Studie, die die Umweltwirkungen von Möbeln und Geräten anhand einer LCA berechnete, kommt zu dem Ergebnis, dass 30% der THG-Emissionen eines Niedrigenergiehauses auf Möbel und Geräte zurück zu führen sind (Hoxha and Jusselme, 2017). Zu der Frage welche Materialmengen in Möbeln allgemein eingesetzt werden, finden sich keine Daten. Insgesamt handelt es sich um eine sehr heterogene Produktgruppen mit unterschiedlichen Anwendungsfällen (z. B. Küchenmöbel, Büromöbel, Schulmöbel, Kindermöbel, Gartenmöbel), bei der unterschiedlichste Materialien zur Anwendung kommen (v. a. Holz, Kunststoff, Metall), häufig auch komplex zusammengesetzt (Brommer u. a., 2015).

Für Polstermöbel sind Berechnungen vorhanden: so setzt sich ein Standard-Polstermöbel aus ca. 70% Holzrahmen, 5% Stahlfedern, 20% Polyurethan-Schaumfüllung, 3 % Polyesterwatte und 2% Bezug zusammen (Dehoust u. a., 2013). Berücksichtigung bestimmter Design-Kriterien bei Möbeln, wie beispielsweise Reparierbarkeit von Gebrauchtteilen (Polsterbezug etc.) oder Austauschmöglichkeiten von modischen Elementen, und eine damit verbundene, angenommene längere Nutzungsdauer um 10%, würde schätzungsweise dazu führen, dass ca. 200.000 Polstermöbel weniger auf den Markt gebracht werden würden⁵ (vgl. Öko-Design Kit

⁵ Es wird grob davon ausgegangen, dass jährlich ca. 10. Mio. Polstermöbel auf den Markt gebracht werden, auch wenn belastbare Marktstatistiken fehlen (Öko-Design Kit)

herausgegeben von BMUB/UBA⁶). Dies würde jährlich eine Ersparnis von 0,3 Mio. GJ Primärenergie und 10.000 t CO₂-Äquivalente bringen (ebd.). Positive Effekte werden auch bei der Entsorgung vermutet: so könnten bspw. die Holzrahmen der Sofas stofflich weiterverwertet werden (ebd.). Bei der Abschätzung wird davon ausgegangen, dass die ressourceneffizient designte Variante durch eine durchdachtere und aufwendigere Fertigung möglich sei und keine zusätzlichen Ressourcen eingesetzt werden müssen (ebd.). Ob und wenn ja welche finanziellen Effekte RE Design bei Polstermöbel für die Unternehmen hat, wird in der Literatur nicht diskutiert.

Hemmnisse

Bei den Hemmnissen wird v. a. auf ökonomische Hemmnisse abgestellt. In der Literatur finden sich darüber hinaus auch weitere Hemmnisse, die eher auf unternehmensinterne Strategien und Prozesse abzielen, wie fehlender Einsatz der Unternehmensleitung mit Blick auf umweltspezifische Anliegen, mangelnde funktionsübergreifende Integration von Umweltwissen im Unternehmen etc. (Graulich u. a., 2017).

Mit Blick auf die ökonomischen Hemmnisse lassen sich im Handlungsfeld RE Produktdesign über alle Produktgruppen hinweg die folgenden Hemmnisse festhalten. So kann die Umgestaltung des Produktdesigns eine Umstrukturierung des Geschäftsmodells erforderlich machen, bspw. auf Product-As-a-Service Angebote oder Rücknahme plus Refabrikation. Hier hemmen häufig versunkene Kosten und lock-in Effekte (Europäische Kommission, 2013). Außerdem sorgt die mangelnde Internalisierung externer Kosten dafür, dass durch die fehlende Preiskomponente – RE Produkte & Materialien sind bislang meist noch vergleichsweise teurer – ressourcenoptimierte Produkte von Kundinnen und Kunden nicht nachgefragt werden bzw. der Wettbewerbspreis der Produkte nicht gehalten werden kann (Erhardt und Pastewski, 2010; Europäische Kommission, 2013; Gröger u. a., 2013; BIFA, 2014; Shahbazi, 2015). Es bestehen oftmals auch Informationsdefizite, die auf einen mangelnden Austausch innerhalb einer Unternehmensbranche zurückzuführen sind, weil einzelne Akteure Spill-over-Effekte vermeiden wollen. Dazu kommt fehlendes Wissen mit Blick auf neue Materialien bspw. auf nachwachsende Rohstoffe oder Substitutionsmöglichkeiten (Ries, 2001; Ny u. a., 2008; Gröger u. a., 2013; Kachler, 2013; Schimmelpfeng und Lück, 2013). Spill-over Effekte, geteilte Anreize und Informationsdefizite spielen außerdem eine Rolle, warum viele Unternehmen sich scheuen neuartige Verfahren einzuführen und wertschöpfungskettenübergreifende Kooperationen einzugehen (Erhardt and Pastewski, 2010).

Die technologischen Hemmnisse werden als überwindbar eingeschätzt. Informationsdefizite über bspw. mögliche Alternativen oder Auswirkungen von RE Produkten sowie fehlende Anreize (herkömmliche Produkte sind i.d.R. günstiger) werden hingegen als starke Hemmnisse angesehen. Sie bergen aber auch ein hohes Potenzial, dass diese Hemmnisse beseitigt werden können, wenn vor allem entsprechende ökonomische Anreize gesetzt werden. Bei Standards und Normen werden die Hemmnisse als recht leicht überwindbar eingeschätzt.

Maßnahmen

Die Maßnahmen werden über alle dargestellten Produktgruppen (Elektrohaushaltgeräte, IKT, Kleidung und Möbel) hinweg dargestellt. Daher finden sich die Spezifizierungen, bspw. welcher Rohstoff eine ressourceneffizientere Alternative darstellt, in den jeweiligen Abschnitten oben.

Als Grund, warum Hersteller RE Produkte designen wird in der Literatur v. a. auf Kosten- und Wettbewerbsvorteile verwiesen (Graulich u. a., 2017). Von großer Bedeutung scheint aber auch

⁶ <https://www.ecodesignkit.de/impressum/>

die Minderung etwaiger Geschäfts- und Reputationsrisiken zu sein (Plouffe u. a., 2011; Kachler, 2013; Graulich u. a., 2017).

Um die Ressourceneffizienz von Produkten zu erhöhen, können Unternehmen verstärkt **umweltfreundliche Materialien im Produktdesign nutzen**, z. B. nachwachsende Rohstoffe, Sekundärrohstoffe oder umweltfreundlichere Substitute (bspw. Leinen statt Baumwolle am Beispiel Textilien).

Außerdem können Hersteller **bereits beim Design ihrer Produkte auf die Reparierbarkeit und recyclingfreundliche Demontage achten**. Zentral ist in der Literatur der Fokus auf Reparaturfähigkeit und Demontage (Hauschild, Jeswiet und Alting, 2005; Gröger u. a., 2013; BMU, 2015; Prakash u. a., 2016a).

Unternehmen können darüber hinaus die **Produktlebensdauer als Differenzierungsmerkmal nutzen**. Um RE Produktdesign zu erreichen, wird argumentiert, dass eine optimale Lebenszeit schon früh im Designprozess festgelegt werden sollte (Kara u. a., 2008; Prakash u. a., 2016a).

Auf Seiten der Konsumentinnen und Konsumenten könnten **RE Produkte verstärkt nachgefragt** werden, um die RE-Potenziale in den einzelnen Produktgruppen zu heben. Die Rolle des Handels wird in einem eigenen Handlungsfeld diskutiert, siehe das folgende Handlungsfeld 9 RE im Handel (Produktangebot & -auswahl).

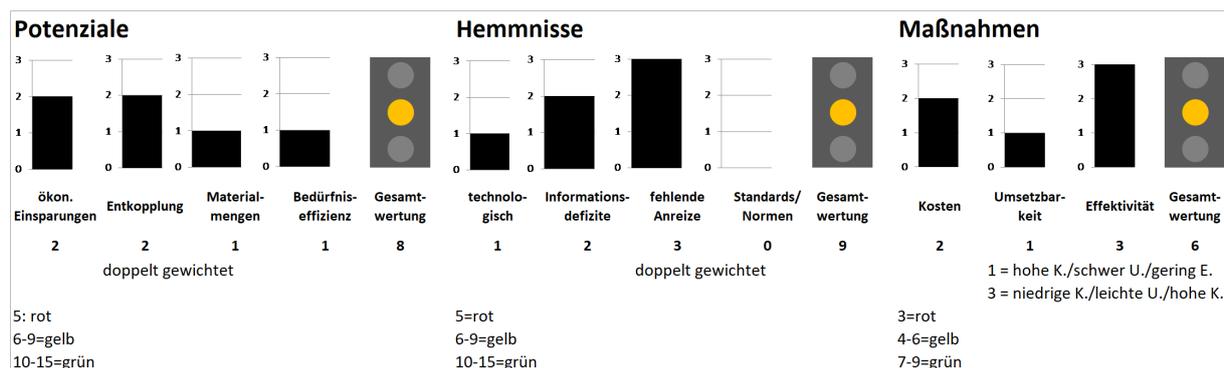
Die genannten Maßnahmen sind zunächst mit Kosten verbunden. Die Hersteller müssen investieren, um Produktionsprozesse umzustellen. Auch sind häufig die umweltfreundlicheren Materialien teurer als die herkömmlichen (siehe auch unter Hemmnisse). Auch für die Konsumentinnen und Konsumenten bedeutet zunächst der Erwerb des ressourcenfreundlicheren Produkts vermutlich höhere Kosten. Gleichzeitig können in einigen Fällen aber auch (Material-)kosten gespart werden und Konsumentinnen und Konsumenten können durch eine längere Lebensdauer der genannten Produkte letztlich deutliche finanzielle Einsparungen erzielen (Prakash u. a., 2016a). Es ist also davon auszugehen, dass vor allem in der Umstellungsphase erhöhte Kosten auf die Unternehmen zukommen. Die Umsetzbarkeit wird als vergleichsweise leicht bewertet. Die Effektivität der genannten Maßnahmen wird in der Gesamtschau als hoch eingeschätzt, da durch das Produktdesign die weiteren Stufen der Wertschöpfungskette zentral mitgestaltet werden können.

4.3.2 Handlungsfeld 9 RE im Handel (Produktangebot & -auswahl)

Das Handlungsfeld 9 Ressourceneffizienz im Handel bezieht sich auf die Auswahl von Produkten, welche im Einzelhandel angeboten werden sowie die Art und Weise, wie diese angeboten werden. Von zentraler Bedeutung ist dabei beispielweise, welche Produkte an den leicht erreichbaren Orten platziert werden (Nudging) und welche Informationen zu den Produkten bereitgestellt werden. Dabei bestehen enge Verknüpfungen zum Handlungsfeld 5 Bereitstellung von Informationen entlang der Wertschöpfungskette und zum Handlungsfeld 12 (Kunststoff-) Verpackungen. Mit Blick auf den Einzelhandel sind auch Lebensmittelabfälle ein wesentlicher Umweltaspekt, welcher aber nicht im Gegenstandsbereich von ProgRes liegt und daher hier nicht weiter behandelt wird.

Die Analyse der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen zeigt ein durchwachsenes Bild: Zwar bestehen Potenziale für Ressourceneffizienz, diese werden aber insbesondere durch fehlende (ökonomische) Anreize für Endverbraucher gehemmt, welche sich nur schwerlich durch den Einzelhandel überwinden lassen.

Abbildung 14: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 9



Quelle: Eigene Darstellung

Potenziale

Der Einzelhandel ist mit rund 500 Mrd. Euro der drittgrößte Wirtschaftszweig in Deutschland gemessen am Jahresumsatz (HDE, 2015, 2018). Rund ein Viertel (124 Mrd. €) des Umsatzes wurde im Jahr 2014 mit sogenannten Fast Moving Consumer Goods (FMCG) erzielt, d. h. Produkte des täglichen Gebrauchs, wie Lebensmittel, Pflegeprodukte und Reinigungsmittel (Changing Markets, Wuppertal Institut and Rank a Brand, 2016). Diese Produkte haben einen vergleichsweise hohen Anteil am Ressourcenverbrauch: So machen FMCG 37% des Materialverbrauchs in deutschen Haushalten aus (DUH, 2016).

Durch den Austausch von ressourcenineffizienten Produkten durch effizientere Produkte und Verpackungsmaterial könnte der Handel 20% der Rohstoffe einsparen (DUH, 2017). Bisher hat noch keine der deutschen Supermarktketten ein ganzheitliches Konzept entwickelt, sein Warenangebot ressourceneffizient zu gestalten (SumOfUs, 2016, p. 22). Eine erste Initiative in Großbritannien, bei der sich 53 Produzenten und Händler zusammengeschlossen haben, um den Ressourcenverbrauch durch freiwillige Selbstverpflichtung zu reduzieren und nach eigenen Angaben innerhalb von 2 Jahren Abfall um 1,7 Mio. Tonnen reduziert konnten (WRAP, 2017), weist jedoch darauf hin, dass das Thema in der Branche durchaus präsent ist.

In Deutschland kommen auf 1 Mio. Einwohner 25 Supermärkte mit einer Verkaufsfläche von mehr als 2.500m², 70 Supermärkte mit einer Verkaufsfläche von 1.000-2.500m² und 242 Supermärkte mit einer Verkaufsfläche von 400-1.000m² (Statista, 2016). Hinzu kommen außerdem gerade in Großstädten kleine Kiez-Supermärkte und Kioske, auf dem Land Dorfläden, sowie Drogeriemärkte, Tankstellenshops und natürlich der Online Versandhandel. Diese bieten also theoretisch reichlich Anschlusspunkte für Ressourceneffizienzmaßnahmen.

Hemmnisse

Generell ist der Handel mit dem Hemmnis konfrontiert, von ressourcenineffizienten Produkten nur insoweit zu profitieren, wie Verbraucher bereit sind dafür zusätzlich zu zahlen. Auch mögliche Imagegewinne müssen sich letztlich in Gewinne übersetzen lassen. Angesichts der gegenwärtig fehlenden Internalisierung externer (Umwelt-) Kosten (Eco-Innovation Observatory, 2011), besteht in den meisten Fällen ein deutlicher Preisunterschied zwischen konventionellen und ressourcenineffizienten Gütern. Dadurch kann der Handel nur in begrenztem Maße den Absatz von ressourcenineffizienten Produkten fördern.

Angesichts (vermeintlicher) vielfältiger Konsumentenpräferenzen sehen sich viele Händler außerdem gezwungen ein möglichst vielfältiges Warenangebot zu bieten (Scholl and Herr, 2014). Das Produktsortiment wird breit bestückt, mit konventionellen Produkten aber zunehmend auch mit RE Alternativen. Jedoch wird oftmals mehr Ware bestellt, als tatsächlich verkauft werden kann, um die gesamte Produktpalette jeder Zeit vorhalten zu können. Damit

soll verhindert werden, dass Kunden zur meist in direkter Umgebung liegender Konkurrenz wechseln, sollten sie das Produkt ihrer Wahl einmal nicht finden. Diese Praktiken stehen einem ressourcenschonenden Umgang entgegen, jedoch bieten RE Alternativen häufig keine ökonomischen Vorteile für die Konsumenten und entsprechend auch nicht für den Handel.

Maßnahmen

Für Supermärkte, die sich in dem eng umkämpften Markt durchsetzen und von der Konkurrenz absetzen wollen, könnte es eine sinnvolle Strategie sein, ihre Kunden bei der Entscheidung zu nachhaltigerem Konsum zu unterstützen. Dazu könnten sie folgende drei Maßnahmen ergreifen.

(Monetäre) Anreize für Endverbraucher schaffen: Monetäre Anreize für den Kauf von ressourceneffizienteren Produkten lassen sich, neben simplen Preisnachlässen, zum Beispiel wie in der Regional-Kampagne von Rewe setzen: Kunden, die am Treuepunkteprogramm „Payback“ teilnehmen erhielten beim Kauf der Rewe-Regional Produkte für einen bestimmten Aktionszeitraum die 10-fache Punktzahl auf ihr Punktekonto gutgeschrieben. Außerdem können Rückgaben oder Rücksendungen zu reduzierten Preisen angeboten werden (wie bspw. in der IKEA Fundgrube). Dies unterbleibt bisher bei vielen Herstellern von Luxusmarken, die durch Preisnachlässe einen Verlust des Markenwerts befürchten (Onlinehändler News, 2018).

Ressourceneffizienz bei der Sortimentsgestaltung: Der Handel hat eine „Gate Keeper“ Funktion zwischen den Produzenten und den Konsumenten (Scholl and Herr, 2014). Er kann durch die Auswahl seines Produktangebotes das Warenangebot der Produzenten beeinflussen (Changing Markets, Wuppertal Institut and Rank a Brand, 2016). Häufig kritisieren Verbraucherschützer die Marktkonzentration im Bereich des deutschen Lebensmitteleinzelhandels auf fünf Handelsketten (Edeka, Metro, Rewe, Aldi, Lidl) die 90% des Lebensmittelmarktes bedienen und im Falle der Metrogruppe mit Mediamarkt und Saturn auch zwei der größten Elektronikhandelsketten beinhalten (Supermarktmacht, 2017). Auch der Drogeriemarkt konzentriert sich in Deutschland seit der Insolvenz Schleckers auf die drei Marktführer dm, Rossmann und Müller (DUH, 2016). Dieser Umstand ermöglicht es dem Handel bei ihren Lieferanten auf gewisse Standards hinzuwirken. Es stünde also im Rahmen ihrer Möglichkeiten Produzenten dazu zu bewegen, vermehrt ressourceneffiziente Produkte anzubieten, in dem sie ihr Warensortiment gezielt mit ressourceneffizienten Produkten bestücken und andere auslisten. Darüber hinaus könnte die Praxis der ständigen Verfügbarkeit der gesamten Produktpalette überdacht werden.

Persuasive Ansätze: Viele Konsumenten greifen aus Gewohnheit, aus Unwissenheit, aus einem Markenbewusstsein heraus zu Produkten, die der Umwelt schaden, auch wenn ein nachhaltigeres Produkt Teil des Warenangebotes ist. Daher kann der Handel Anreize setzen, um den Konsumenten auf ressourcenschonendere Produkte aufmerksam zu machen und dazu zu motivieren sich für diese zu entscheiden. So können ressourceneffiziente Produkte attraktiv platzieren werden (Nudging) (Scholl and Herr, 2014). Des Weiteren kann der Handel Informationen zur Ressourceneffizienz der Produkte bereitstellen bzw. auch bei den Produzenten einfordern. Hier können bspw. die Kosten für die Konsumentinnen und Konsumenten über die gesamte Nutzungsdauer hinweg kommuniziert werden, welche häufig günstiger sind als bei nicht ressourceneffizienten (bspw. kurzlebigen) Produkten (Prakash u. a., 2016a).

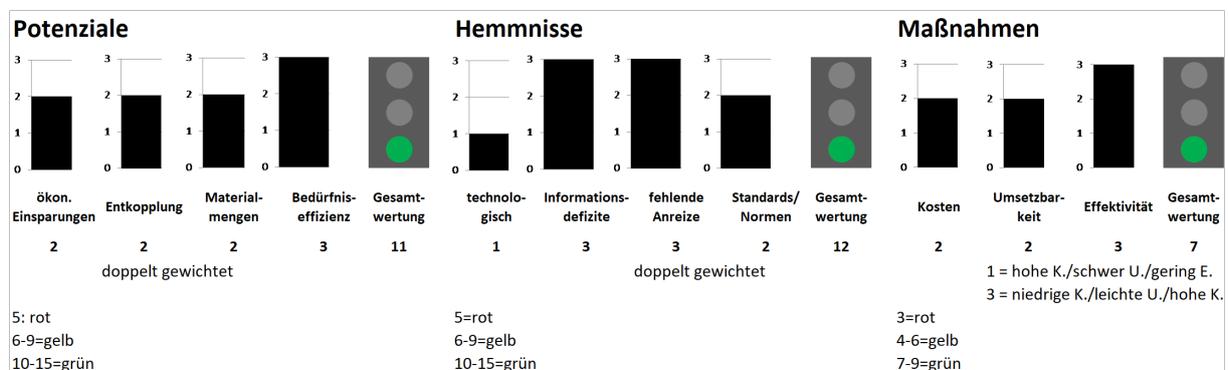
4.3.3 Handlungsfeld 10 Reparatur, Refurbishing, Gebrauchtwaren (ohne IKT)

Das Handlungsfeld umfasst Reparaturen, die von Dritten an Konsumgütern erbracht werden, sowie privat erbrachte Reparaturdienstleistungen (z. B. Repaircafés). Bei der Reparatur kann unterschieden werden zwischen Herstellerreparatur, d. h. das Gerät wird an den Hersteller zurückgegeben, und Reparaturleistungen, v. a. nach Ablauf der Garantie, die von unabhängigen

Reparaturbetrieben durchgeführt werden (Runder Tisch Reparatur, 2015). Außerdem gibt es mittlerweile über 200 Repair Cafés in Deutschland, d. h. Treffpunkte, an denen auf freiwilliger Basis Reparaturen gemeinschaftlich durchgeführt werden (Milbradt, 2015), weltweit sind es rund 1.600 Repair Cafés (Repair Cafe, 2017). Da Geräte der Informations- und Kommunikationstechnologie in einem eigenen Handlungsfeld diskutiert werden (Handlungsfeld 17 Verlängerung der Nutzungsdauer IKT Geräte), sind sie nachfolgend ausgeklammert. Ähnlich wie bei Handlungsfeld 8 RE in der Produktgestaltung, liegt der Fokus auf Konsumgütern, die potenziell deutlich länger genutzt werden könnten, wenn sie second-hand weiterverwendet oder nach einem Defekt repariert würden, wodurch sie beträchtliche Potenziale zur Ressourcenschonung beinhalten. Bei ausreichend teuren Produkten, wie bspw. Autos, ist die Wiederverwendung unproblematisch: fast 70% werden Second-Hand weiterverkauft (Demilly and Novel, 2014). Fokus im Handlungsfeld 10 ist die Wiederverwendung des ganzen Produktes – daneben gibt es auch component reuse, remanufacturing, usw. (Cooper und Gutowski, 2017), was hier nicht betrachtet wird. Entsprechend des Fokus auf Konsumgüter bestehen große Überschneidungen zum Handlungsfeld 8 RE in der Produktgestaltung und Handlungsfeld 5 Bereitstellung von Informationen entlang der Wertschöpfungskette. Um Reparaturen zu ermöglichen, muss die Reparierbarkeit u. a. im Produktdesign bereits berücksichtigt werden. Und nur wenn die Informationen darüber auch verfügbar gemacht werden, können Reparaturen preisgünstig durchgeführt werden.

Das Handlungsfeld bietet insgesamt große Potenziale, insbesondere bei der Bedürfniseffizienz. Hemmnisse sind vor allem Informationsdefizite und fehlende monetäre Anreize. Geeignete Effektive Maßnahmen ständen theoretisch zur Verfügung, sowohl auf der Seite der Unternehmen, des Handels sowie bei den Konsumentinnen und Konsumenten.

Abbildung 15: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 10



Quelle: Eigene Darstellung

Potenziale

Die Verlängerung der Lebensdauer von Produkten wird als zentrale Maßnahme genannt, um Materialien zu sparen und Ressourcen zu schonen (Prakash u. a., 2016a; Cooper und Gutowski, 2017). Der tatsächliche Beitrag zur Ressourcenschonung bei der Wiederverwendung hängt von mehreren Faktoren ab: Entfernung und Transportstruktur, Nutzerverhalten (z. B. Rebound), Produktart (u. a. Umweltbelastung in der Nutzungsphase) (Scholl u. a., 2013, S. 19). Zu den einzelnen Produktgruppen werden die in der Literatur gefundenen Potenziale separat dargestellt, wobei Überschneidungen mit Handlungsfeld 8 RE in der Produktgestaltung bestehen.

- Kleider

Wie in Handlungsfeld 8 RE in der Produktgestaltung bereits dargestellt, reduziert die Verlängerung der Nutzungsdauer von Kleidung alle Umweltfolgen auf einmal, die durch die Produktion von Bekleidungstextilien entstehen. Würde die Nutzungsdauer von einem Jahr auf zwei Jahre verlängert, würden 24% weniger Emissionen emittiert (Carbon Trust, 2011); bei Second-Hand Kleidung wurde berechnet, dass für jedes Kilogramm Primärbaumwolle, welches durch gebrauchte Kleidung ersetzt wird ca. 65 kWh eingespart werden können, im Fall von Polyester sogar 90 kWh Strom (Lu and Hamouda, 2014). Auch bspw. der Einsatz von Pestiziden und fossilen Rohstoffen würde sich reduzieren, wenn man davon ausgeht, dass durch die längere Nutzungsdauer insgesamt weniger Kleidung produziert würden.

- Möbel

Bei Möbeln (vgl. auch hier Handlungsfeld 8 RE in der Produktgestaltung) werden in Deutschland von den jährlich sieben Mio. Tonnen Müll in Form von Möbeln nur 10% wiederverwendet (Dehoust 2013, 346). Für Großbritannien werden 60% der entsorgten Möbel als wiederverwertbar eingestuft (Cooper 2016, 404).

- Haushaltsgeräte

Immer wieder wird darauf verwiesen, dass nur solche Geräte zur Wiederverwendung genutzt werden sollen, bei denen die Einsparungen durch längere Lebensdauer die Mehraufwendungen durch höheren Energieverbrauch überschreiten (Prakash u. a., 2016a). In diesem Zusammenhang wird der energieeffiziente Kühlschrank genannt, welcher während seiner Lebenszeit deutlich weniger Energie verbraucht und von daher der Neukauf sogar vorzuziehen sei. Bei vielen Haushaltsgroß- und Kleingeräten entsteht allerdings ein Großteil der negativen Umweltwirkungen durch Ressourceninanspruchnahme bei der Herstellung. Die Zahl der Haushaltsgroßgeräte, die wegen eines Defektes schon innerhalb der ersten fünf Jahre ersetzt wurden, ist laut Prakash u. a. (2016) zwischen 2004 und 2012 von 3,5 Prozent auf 8,3 Prozent gestiegen. Außerdem zeigt die Studie, dass bei langlebigen Haushaltgeräten die Kosten für Endkonsumentinnen und -konsumenten über die gesamte Nutzungszeit hinweg niedriger ausfallen als bei kurzlebigeren und im Einkauf billigeren Geräten.

In Repair Cafés werden etwa 70 % der Geräte und Produkte, die von den Besuchern der Repair Cafés mitgebracht werden, auch tatsächlich repariert (Dehoust u. a. 2013). Es kann also davon ausgegangen werden, dass dies zu einer Verlängerung der Lebensdauer von Geräten führt und entsprechend zur Ressourcenschonung beiträgt.

Deloitte (2016) berechnen in verschiedenen Szenarien die Auswirkungen einer erhöhten Reparaturfähigkeit von Produkten (Wasch-, Spül-, Kaffeemaschinen und Staubsauger). Als Instrument wurde u. a. die verpflichtende Bereithaltung von Ersatzteilen simuliert. Mit Blick auf die Gesamtmaterialmenge, die für die Produktion der Geräte und Ersatzteile benötigt wird, hat die Verbesserung der Reparaturfähigkeit positive ökologische Effekte. Gründe dafür sind der Rückgang des Verkaufs von Neugeräten. Die benötigten Mengen für die Produktion der Ersatzteile sind deutlich geringer (Deloitte 2016, 64). Insgesamt wird mit Blick auf die Umweltwirkungen festgehalten, dass positive Effekte auf die Ressourcennutzung entstehen, marginal positive Effekte auf Energienutzung und Abfall und negative oder neutrale Effekte mit Blick auf Wassernutzung. Bei THG-Emissionen fallen die Effekte sehr unterschiedlich aus: Bei großen (ressourcenaufwendigen) Geräten entstehen THG Einsparungen, bei kleinen Geräten eher nicht.

Häufig werden in der Debatte um eine Stärkung der Reparatur auch die positiven sozialen und wirtschaftlichen Effekte genannt. Neben einem Gemeinschaftsgefühl und der Aufwertung von Fähigkeiten, die sonst gesellschaftlich eher weniger geschätzt werden, welche bspw. in Repair Cafés entstehen können, wird auch darauf verwiesen, dass durch eine Stärkung der Reparatur in vielen Wirtschaftsbereichen qualifizierte Arbeitsplätze entstehen (Runder Tisch Reparatur, 2015; Duvall, McIntyre and Opsomer, 2016; Europäisches Parlament, 2017). Schätzungen für Deutschland gehen davon aus, dass der Bereich Reparatur weit mehr als 100.000 Arbeitsplätze bietet. Die Organisation RReuse kommt in einem Bericht zu dem Ergebnis, dass für 10.000 Tonnen Material, welches einer Wiederverwendung zugeführt wird, 800 Arbeitsplätze entstehen (RReuse, 2015).

In der Szenario-Berechnung von Deloitte bezüglich der Auswirkungen einer verstärkten Reparaturfähigkeit wurden u. a. ökonomische Aspekte berücksichtigt. So wurde berechnet, dass eine erhöhte Reparaturfähigkeit negative Auswirkungen auf Hersteller hat, da der Verkauf von neuen Produkten zurückgeht (2016, 69). Dieser Rückgang würde nur teilweise durch die erhöhte Produktion an Ersatzteilen aufgefangen (ebd.). Allerdings wäre dieser Rückgang nur marginal und würde sich über einen langen Zeitraum erstrecken. Er würde sich v. a. auf Produzenten außerhalb der EU beschränken. Weitere Kosten entstehen laut der berechneten Szenarios für die Hersteller auf Grund der Notwendigkeit, Lagerräume für die Ersatzteile bereit zu halten (ebd.). Auch Abfallbehandlungsanlagen würden laut Deloitte (2016) einen geringen Rückgang erfahren (Annex II, Abbildung 16). Gleichzeitig würden sie auch von einer erhöhten Reinheit des Materials profitieren. Mit Blick auf alle Sektoren kann ein geringer Rückgang erwartet werden; allerdings kann auch davon ausgegangen werden, dass die Konsumenten ihre Ersparnisse (durch Reparatur) anderweitig ausgeben werden. Zudem sei ein Hauptteil der Verluste außerhalb der EU auszumachen. Daher kommt Deloitte zu dem Schluss, dass die sektoralen Auswirkungen neutral ausfallen (ebd., 71).

Mit Blick auf Arbeitsplätze berechnet Deloitte, dass der Rückgang im Bereich Herstellung gering ausfällt. Im Reparatursektor wird hingegen eine starke Zunahme an Arbeitsplätzen berechnet (zw. 400-1.500 für Waschmaschinen zu 3.000-12.000 für Spülmaschinen). Diese Zunahme wird ausschließlich auf lokale Arbeitsplätze und im Bereich KMU bzw. soziale Unternehmen stattfinden (Deloitte 2016, 74). Der Einzelhandel wird vermutlich auch in-house Reparaturdienstleistungen anbieten, womit teilweise auch die o. g. Arbeitsplatzverluste kompensiert werden (ebd.).

Anhand dieser Beispiele wird deutlich, dass im Handlungsfeld 10 Reparatur, Refurbishing, Gebrauchsgüter (ohne IKT) tendenziell große Potenziale für Ressourceneffizienz auf allen vier Dimensionen gegeben sind.

Hemmnisse

Cooper und Gutowski (2017) unterscheiden bei den Hemmnissen zwischen physischen Faktoren (wie Bruch, Abnutzung, veraltete Technologie, nicht-Kompatibilität zwischen alten Komponenten und neuem Design oder nicht-zurückgewinnbaren Komponenten) sowie Business Faktoren (z. B. Gesetzgebung wodurch alte Produkte bspw. aus Gesundheitsaspekten lieber entsorgt werden, billige Importe oder teure Arbeit, Steuerpolitiken, die Abriss und Neubau befördern, statt Refurbishment und Moden) (ebd.).

Ein Hemmnis sind die zusätzlichen Arbeitskosten, welche durch eine längere Lebensdauer von Produkten entstehen. Dazu gehört bspw. die Erarbeitung eines langlebigeren Designs oder die Reparatur von Produkten (Ekins u. a., 2016). Oftmals liegen diese Arbeitsmehrkosten der Reparatur über den Ressourcenmehrkosten der Substitution durch ein Neuprodukt (Prakash u. a., 2016a). Bei vollständiger Internalisierung der externen Kosten des Ressourcenverbrauchs könnte sich dieses Verhältnis jedoch in vielen Fällen umkehren.

Hemmnisse für eine Reparatur liegen außerdem darin, dass die Hersteller innerhalb der Gewährleistungsfrist selbst entscheiden können, ob sie reparieren oder das Gerät lieber umtauschen. Häufig ist der Austausch von Produkten die kostengünstigere Variante, u. a. deshalb, weil kein reparaturfreundliches Design vorliegt (vgl. hierzu Handlungsfeld 8 RE in der Produktgestaltung).

Bei herstellerunabhängigen Reparaturbetrieben ist ein Hemmnis, dass Informationen bzw. die Ersatzteile selbst schwer zu erhalten sind – entsprechend keine Reparaturleistung erbracht werden kann oder diese teurer ausfällt (vgl. Handlungsfeld 5 Bereitstellung von Informationen entlang der Wertschöpfungskette. Eine bewusste Entscheidung für Konsumenten zum Kauf reparaturfreundlicher Produkte ist außerdem dadurch erschwert, dass keine Kennzeichnung zu Reparaturfähigkeit von Produkten vorliegt.

Allerdings stellt Dehoust (2013) fest, dass ein großes Hemmnis auch in der Unsicherheit bezüglich der Qualität von reparierten Geräte liegt. Insgesamt kann nur eine geringe Aufmerksamkeit für / Interesse an Gebrauchtwaren beim Konsumenten festgestellt werden. Bezüglich der Zahlungsbereitschaft für Reparatur wird in der Literatur davon ausgegangen, dass wenn bei einer Reparatur der Preis ca. 70% des Neupreises oder darüber beträgt, die Bereitschaft für Reparatur nicht mehr gegeben ist (Cooper 2016).

Bei der Wiederverwertung von Produkten ist aus ökologischer Sicht wichtig zu berücksichtigen, dass Rebound-Effekte auftreten können (Cooper and Gutowski, 2017). Günstigere gebrauchte Produkte ermöglichen es Konsumenten Produkte zu besitzen, welche sie sich sonst nicht leisten könnten. Dies ist aus sozialer Sicht sicher vorteilhaft, kann ökologisch langfristig aber nachteilig sein: Obwohl zu Beginn das Abfallaufkommen entsprechender Produkte reduziert wird, kann die Wieder- und Weiterverwendung zusätzlichen Konsum ermöglichen, da entweder bisher unerschwingliche Produkte besessen werden können, was neue Bedürfnisse in der Zukunft generieren kann, oder freiwerdendes Budget anderweitig ausgegeben wird. Entsprechende (indirekte) Reboundeffekte müssen an anderer Stelle näher untersucht werden.

Maßnahmen

Als Maßnahmen, um Reparatur zu fördern, lassen sich seitens der Unternehmen die **Herstellung und Bereithaltung von Ersatzteilen** und das Wiederaufbereiten alter (eigener) Produkte (= **Refurbishment**) nennen. Darüber hinaus können Hersteller verstärkt **Reparaturdienstleistungen (statt neuer Produkte) anbieten**. Auch **Drittanbieter** können Ersatzteile herstellen und Reparaturdienstleistungen anbieten. Der Handel könnte verstärkt und gut sichtbar **Gebrauchtwaren im Produktsortiment anbieten**. Konsumenten könnten verstärkt **Gebrauchtwaren nachfragen / reparieren**. Dies wären effektive Maßnahmen, um Ressourceneffizienz im Bereich Reparatur zu steigern. Dennoch sollten mögliche Rebound Effekte durch neuen zusätzlichen Konsum mit betrachtet werden.

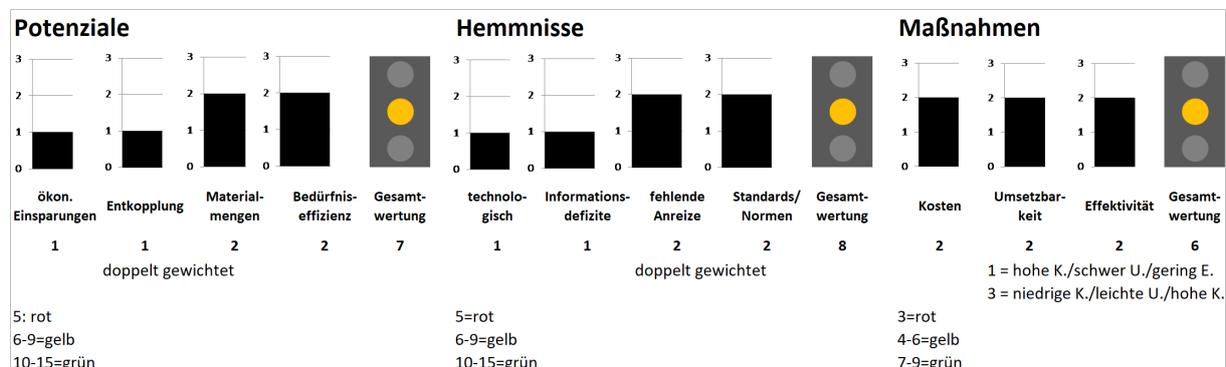
4.3.4 Handlungsfeld 11 Teilen & Tauschen

In diesem Handlungsfeld liegt der Fokus auf den Konsumentinnen und Konsumenten und den Arten der Bedürfnisbefriedigung. Die Ressourceninanspruchnahme kann dadurch reduziert werden, dass verstärkt Produkte geteilt, getauscht, geliehen bzw. auch auf bestimmte Produkte und Dienstleistungen verzichtet wird.

In diesem Zusammenhang werden insbesondere die Maßnahmen Teilen, Tauschen, Leihen bspw. von Autos, Waschmaschinen, Kleidungsstücken und Werkzeugen als soziale Innovationen diskutiert, die dazu führen, dass Bedürfnisse auf eine andere Art und Weise – im Idealfall ressourcenschonender – befriedigt werden. Diese Praktiken können jedoch z. B. auch mit Komforteinbußen einhergehen und damit weniger attraktiv für die Nutzerinnen und Nutzer sein bzw. Umgewöhnungen erfordern. Schließlich besteht auch das Risiko für Reboundeffekte über

bspw. Mehrkonsum durch freiwerdendes Einkommen. Deshalb wird dem Handlungsfeld in der Gesamtbewertung eine mittelhohe Bedeutung beigemessen.

Abbildung 16: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 11



Quelle: Eigene Darstellung

Potenziale

Würde das Tauschverhalten so intensiviert, dass die geteilten Produkte von doppelt so vielen Personen genutzt würden als zuvor und gesetzt den Fall, dass Produkte genutzt werden, die eine um ein Drittel längere Lebenszeit verfügen, könnten die Haushalte durch Sharing 7% ihrer Gesamtausgaben einsparen (Demailly and Novel, 2014, p. 14).

Sharing und Leasing-Konzepte zeichnen sich allgemein dadurch aus, dass bei gleichem Nutzen für die Verbraucherinnen und Verbraucher Produkte besser ausgelastet werden (Scholl u. a., 2013, S. 9). Demailly und Novel (2014) zufolge sind kurzzeitiges Leihen oder Mieten bislang jedoch noch unterentwickelte Praktiken, sieht man vom Bereich der Mobilität ab. Allerdings verfügen sie über ein großes Ressourceneinsparpotenzial – vor allem in Städten. Ein wichtiger Treiber hierfür wird in digitalen Plattformen gesehen (Scholl u. a., 2013, p. 1; Demailly and Novel, 2014, p. 15). Es wird erwartet, dass durch die Verschiebung vom Verkauf von Produkten hin zum Mieten und Leasen („Nutzen statt Besitzen“) die negativen Umweltwirkungen durchschnittlich um 20 bis 50% reduziert werden können (Tukker, 2004; Scholl u. a., 2013, S. 2). Würden alle tauschbaren Güter wie Kleidungsstücke, Autos, Möbel, Fernseher, Telefon, Spielzeug, Sportequipment, Werkzeuge getauscht, könnte der Haushaltsmüll um 10% reduziert werden (Demailly and Novel, 2014, p. 12f.).

Bei der Umweltbilanz von Sharing und Leasing geht es aber nicht nur um die Quantität der Produkte (weniger Produkte, weil geteilte Produkte), sondern v. a. auch um die Qualität. Bei Sharing Modellen sollten Güter mit der längsten Lebensdauer priorisiert werden (vgl. auch Handlungsfeld 10 Reparatur, Refurbishing, Gebrauchsgüter (ohne IKT) sowie Handlungsfeld 17 Verlängerung der Nutzungsdauer IKT Geräte). Darüber kann die beschleunigte Abnutzung durch die erhöhte Nutzung kompensiert werden. Dies müsste insbesondere bei gewerblichen Sharing Angeboten durch die Unternehmen forciert werden (Tukker, 2004; Demailly and Novel, 2014, p. 22).

Hemmnisse

Als ein Hemmnis für eine Ausweitung von Teilen & Tauschen wird in der Literatur genannt, dass mit einem suffizienteren Konsumverhalten Angst vor Zeit-, Freiheits-, Komfort-, Status- oder Gewohnheitsverlusten verbunden wäre (Lukas, 2015; Speck, 2016). Ein weiteres Hemmnis sei, dass die bestehenden Infrastrukturen und Dienstleistungen in den Industrieländern dazu führen, dass selbst bei Geringverdienern der Ressourcenverbrauch höher ist, als es nachhaltig wäre (Laakso and Lettenmeier, 2016). Daher sind nicht nur Änderungen im individuellen Verhalten ausreichend, sondern es müssen auch systemische Reformen erfolgen (Laakso and

Lettenmeier, 2016). Die größte Barriere bestehe in der auf Wachstum und Konsum orientierten Gesellschaft selbst (Speck, 2016).

Das Teilen, Tauschen und Leihen kann auch dazu führen, dass die Nutzerinnen und Nutzer dazu übergehen, das Produkt für sich selbst anzuschaffen. Ferner können es niedrige Leihkosten im Vergleich zu hohen Anschaffungskosten den Nutzerinnen und Nutzer ermöglichen, zusätzlich zu konsumieren – sei es direkt durch die Nutzung des Sharing-Angebots (eine Person, die zunächst kein Auto verfügt, kann nun eines fahren) oder indirekt (die günstigere Befriedigung des Mobilitätsbedürfnisses ermöglicht einer Person Konsumausgaben in anderen Bereichen zu tätigen) (Vogelpohl and Simons, 2015, p. 15 f.; Speck, 2016, p. 17). Treten solche Wachstums- oder Rebound-Effekte auf, kann der ökologische Nutzen vermindert oder sogar umgekehrt werden (Vogelpohl and Simons, 2015, p. 16).

Maßnahmen

Die Maßnahmen für Privatpersonen umfassen ein **verstärktes Nutzen und Nachfragen sowie ggf. non-kommerzielles initiieren von Sharing und Tausch** angeboten. Unternehmen können **Sharing und ggf. auch Tausch Angebote vermehrt auf den Markt** bringen.

4.4 Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft ausbauen

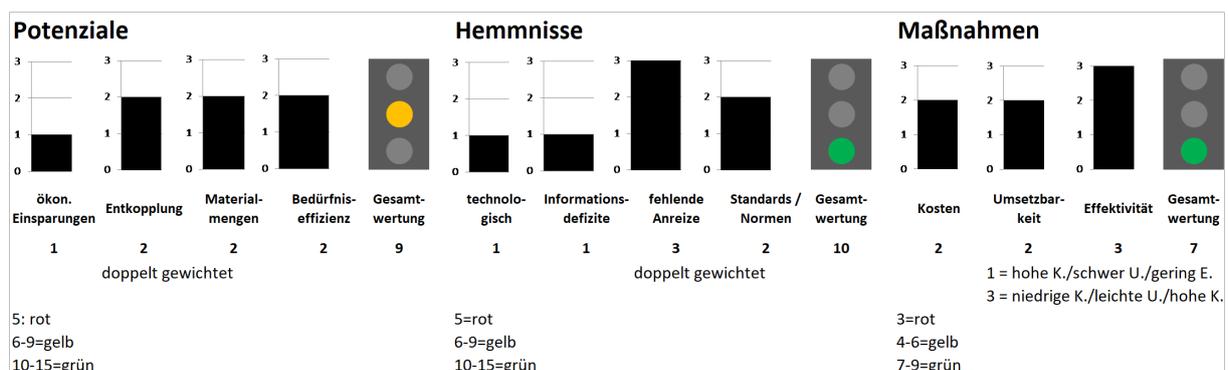
4.4.1 Handlungsfeld 12 (Kunststoff-) Verpackungen

Zwar wird im Durchschnitt 69,3% des Verpackungsmülls stofflich verwertet, dennoch liegt die stoffliche Recyclingquote bei Kunststoffverpackungen seit 2009 lediglich bei etwa 50% (UBA, 2017b, 2018b). So ist es nötig, dass permanent neue Rohstoffe zur Produktion von Verpackungsmaterialien in den Kreislauf eingeführt werden.

Neben dem so verursachten Rohstoffverbrauch von zum Teil endlichen Ressourcen, führt die nicht fachgerechte Entsorgung zu einer Verschmutzung der Umwelt. So gelangen weltweit ca. 32% der Plastikverpackungen unkontrolliert in die Umwelt mit zum Teil verheerenden Folgen für Lebewesen, die die Plastikpartikel aufnehmen (Bergmann, Tekman and Gutow, 2017; WWF, 2017). Über den Verzehr bspw. von Speisefisch gerät das Plastik ferner in die Nahrung von Menschen (ebd.). Insbesondere aufgrund der Möglichkeit, mit Anreizen gegenzusteuern und aufgrund der hohen Effektivität von Abfallvermeidungsmaßnahmen, wird diesem Handlungsfeld eine hohe Bedeutung beigemessen.

Im Folgenden werden die Produkte aufgelistet, bei denen Produzenten, Handel sowie Kundinnen und Kunden eine Reduktion des Ressourcenverbrauchs durch vergleichsweise geringe Verhaltensänderungen erreichen können.

Abbildung 17: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 12



Quelle: Eigene Darstellung

Potenziale

Im Jahr 2015 wurden in Deutschland 18,15 Mio. Tonnen Verpackungsmaterial entsorgt, davon mehr als 3 Mio. Tonnen Kunststoffverpackungen (Schüler, 2017, p. 40). Die privaten Endverbraucher kamen mit 8,46 Mio. Tonnen für fast die Hälfte des Verpackungsmülls auf, was einer Steigerung von fast 1,5 Mio. Tonnen im Vergleich zum Jahr 1995 entspricht (ebd.).

- Getränkeverpackungen

Einer der Gründe für die Zunahme von Plastikverpackungen ist der steigende Verbrauch von Kunststoffflaschen. In erster Linie trifft dies auf den Getränke-Bereich zu (Schüler, 2017, p. 46). Viele Supermärkte bieten keine Glasflaschen mehr an und immer häufiger werden Mehrwegflaschen durch Einwegflaschen ersetzt. So werden für die 17 Mrd. pro Jahr in Deutschland verbrauchten Einwegplastikflaschen mehr als 500.000 Tonnen Kunststoff benötigt (DUH, 2017, p. 4). Hinzu kommen ein seit Jahren steigender Konsum von Getränken in Dosen: so kauften die Deutschen im Jahr 2016 2,5 Mrd. Getränkedosen, ein Plus von über 20% im Vergleich zum Vorjahr (BCME, 2017).

Im Jahr 2016 wurden in Deutschland 14.747 Mio. Liter Mineralwasser in Flaschen (davon 47,9% PET-Einweg, 23,4% Glas-Mehrweg, 19,3% PET-Mehrweg, 9,4% sonstiges) verkauft (VDM, 2017). Da die Trinkwasserqualität in Deutschland flächendeckend gut bis sehr gut ist (UBA, 2018a), könnten ein Großteil dieser Getränkeverpackungen durch den Konsum von Leitungswasser vermieden werden.

Andere Getränke sollten in Mehrwegflaschen ver- und gekauft werden, um die Rohstoffe möglichst lange zu nutzen. Hier sind zum einen Produzenten und Händler gefragt, die Getränke in Mehrwegflaschen zum gleichen Preis wie in Einwegflaschen anzubieten. Problematisch ist, dass die Discounter mittlerweile fast ausschließlich Einweggebinde im Sortiment führen. Wo es möglich ist, sollten sich zum anderen die Kunden bewusst für die ressourcenschonende Alternative entscheiden. Hierdurch könnten bis zu 70% der Materialien und 40% der CO₂-Emissionen eingespart werden (DUH, 2017, pp. 4 f., 9 ff.).

- Kaffee

Die Deutschen konsumieren pro Person am Tag durchschnittlich 0,41 Liter Kaffee am Tag (Statistisches Bundesamt, 2008). 61% des konsumierten Kaffees wird als Filterkaffee aufgebraut, doch die Zahl der mit Padmaschinen (9,9%) und Kapselmaschinen (3%) zubereiteten Kaffees steigt stetig (Brandeins, 2015, p. 30). Letztere stellen ein ökologisches Problem dar, da die Kapseln aus Aluminium bestehen und somit mit großem Ressourcenverbrauch einhergehen. 2012 verbrauchten die Deutschen 2 Mrd. Kaffee kapseln (ÖKO-TEST, 2014), Tendenz steigend. Nur ein Teil der Ressourcen findet über Recycling den Weg zurück in den Rohstoffkreislauf.

- Heißgetränkebecher

Neben der Art der Zubereitung hat sich auch der Kaffee konsum in Deutschland in den letzten Jahren stark verändert. Nicht nur, dass der Filterkaffee durch Cappuccino, Espresso, Latte Macchiato und Co. ergänzt wurde – Kaffee produkte werden auch immer häufiger unterwegs konsumiert. Dies ging mit einem Anstieg von Verpackungsmüll einher. In Deutschland werden im Jahr rund 6,4 Mrd. „To-Go-Becher“, inkl. Plastikdeckel verbraucht (Verbraucherzentrale Hamburg, 2016). Nur ein Bruchteil davon finden den Weg zurück in den Rohstoffkreislauf, da die Becher aus Pappe und Polyethylen nur schwer getrennt und recycelt werden können und da viele „To-Go-Becher“ nicht sachgerecht in der Wertstofftonne entsorgt werden, sondern unterwegs in Reststoffbehälter geschmissen werden (Verbraucherzentrale NRW, 2017).

Der DUH zufolge könnte ein System aus Mehrwegbechern im Vergleich zu Einweg-Pappbechern jährlich 87.000 Tonnen CO₂-Emissionen, 1,2 Milliarden Liter Wasser, 280 Millionen kWh Strom und 64.000 Tonnen Holz sowie 11.000 Tonnen Kunststoff einsparen bzw. 40.000 Tonnen Müll vermeiden.

- Lebensmittel

Ein weiterer Grund für den steigenden Verbrauch von Verpackungsmaterialien ist der „Trend zu vorverpackter Thekenware i.d.R. in Dickfolien (Cabrio-Theke) statt Bedienungsware in Dünndfolien“ (Schüler, 2017, p. 46), hiermit einhergehend auch der Trend zu bereits geschnittener und portionierter Ware. Dies liegt zum einen an der Zunahme von Ein- und Zweipersonenhaushalten, zum anderen daran, dass weniger Personen ihr Essen frisch zubereiten, sondern häufiger zu Fertigprodukten (ebd.) und Einweggeschirr greifen (Münch and Jacob, 2014, p. 14). Die Haushalte in Deutschland werden immer kleiner. Der am häufigsten vorkommende Haushaltstyp ist mittlerweile mit 37,2% der Haushalte der Ein-Personenhaushalt, gefolgt von Zweipersonenhaushalten, die 33,2% der Haushalte repräsentieren (Destatis, 2014b). Auch andere gesellschaftliche Veränderungen, wie die steigende Erwerbstätigkeit von Frauen (Destatis, 2014a) und somit der Rückzug der „klassischen Hausfrau“ führten zu einem veränderten Konsum von Lebensmitteln. Immer mehr verarbeitete, portionierte und abgepackte Produkte werden produziert und erworben, was mit einem Anstieg von Verpackungsmüll einhergeht (Schüler, 2017).

Zwar können kleine Verkaufseinheiten das ebenfalls sehr hohe Aufkommen von Lebensmittelabfällen in Privathaushalten reduzieren, jedoch kann vorausschauender Konsum Lebensmittelabfälle verringern, ohne dass es mit gesteigertem Verbrauch von Verpackungsmaterialien einhergehen muss. Durch den Konsum von mehr frischen, unverpackten Produkten kann Verpackungsmüll verringert werden. Durch vorausschauende Planung der Einkäufe, Weiterverarbeitung von Essensresten und das Einkochen oder Einfrieren von Lebensmitteln können größere Verkaufseinheiten erworben werden und somit die Verpackungsmenge reduziert werden. Jedoch müsste insbesondere beim Einkochen und Einfrieren der Energieverbrauch gegengerechnet werden.

Doch auch Lebensmittelhändler und Produzenten können ihren Teil zur Reduktion von Verpackungsabfall beitragen: Während Frischwaren wie Obst und Gemüse früher unverpackt erhältlich waren und von den Kunden in Papier- oder dünne Tüten aus Plastikfolie gefüllt wurden, sind heute 63% des Obstes und Gemüses in Supermärkten in Plastiktüten, Schalen Netzen und Folien verpackt (DUH, 2017, p. 10). Besonders häufig ist dies bei Bioprodukten der Fall, um eine Verwechslung mit Produkten aus konventionellem Anbau zu vermeiden. Die Supermarktkette Rewe testete Anfang 2017 für einige Wochen in 800 Rewe- und Pennymärkten eine Methode, bei der mit einem Laser das Bio-Logo in die Schale von Obst und Gemüse geprägt wurde, wodurch Plastikverpackungen obsolet wurden. Ergebnisse, wieviel Plastik hierdurch eingespart werden konnte stehen noch aus (DUH, 2017, p. 10; REWE, 2017).

Auch der Trend zu aufwändigeren Verpackungen durch Produzenten und Händler, sowie Verpackungen, deren Größe des eigentlichen Produktes bei weitem überschreiten tragen zum steigenden Verpackungsmüllaufkommen bei. Verpackungen werden hier auch immer häufiger als Werbeträger genutzt, die in Selbstbedienungshandel das nicht mehr mögliche Verkaufsgespräch ersetzen (Schüler, 2017, pp. 46, 70, 96), mit dem man sich von der Konkurrenz abhebt und den Kunden zum Kauf animiert. Dies führt dazu, dass Packungen größer werden als nötig, um viele Informationen darauf unterzubekommen. Die Verbraucherzentralen veröffentlichen regelmäßig Listen mit Produkten, deren Verpackung unsinnig ist oder zu viele Ressourcen verschwendet (Verbraucherzentrale NRW, 2016). Eine Reduktion von

Verpackungen auf das für den Schutz des Produktes tatsächlich nötige Maß würde zu einer deutlichen Reduktion von Verpackungsabfällen führen (s. Kapitel 4.3.1).

In immer mehr Städten haben in den letzten Jahren Läden eröffnet, die unverpackte Lebensmittel vertreiben, die der Kunde in mitgebrachten Gefäßen oder Taschen abpacken kann. Jedoch liegen die Preise in diesen Geschäften häufig deutlich über denen in Supermärkten, was das Warenangebot für Teile der Bevölkerung unerschwinglich macht (Tagesspiegel, 2014). Verpackungsfreie Supermärkte, bei denen die Kunden Behältnisse mitbringen, um die Waren mitzunehmen, könnte Verpackungen um 70% reduzieren (Defra, 2009).

- Versandhandel

Mehr und mehr Konsumentinnen und Konsumenten nutzen den Online Versandhandel, um auch ihre Waren des täglichen Bedarfs zu erwerben. Dies führe zu einem erhöhten Aufkommen von Verpackungsabfall, da zusätzlich zur Primärverpackung weitere Versandverpackungen eingesetzt werden, deren Gewicht höher seien als die Versandverpackungen im Einzelhandel (pro Verkaufseinheit) und dies nicht durch den Wegfall von Tragetaschen kompensiert werde (GVM, 2017; UBA, 2017b).

Der Verpackungsverbrauch privater Endverbraucher erreichte 2015 mit über 8,45 Mio. Tonnen seinen Höchststand. Seit der Rezession 2009 nahm der private Endverbrauch von Verpackungen wieder kontinuierlich zu. Im Vergleich zu 2009 stieg der private Endverbrauch bis 2015 um 15,3 % bzw. 1,12 Mio. Tonnen (Schüler, 2017, p. 41 ff.).

Maßnahmen

Privatpersonen könnten vermehrt **Leitungswasser trinken**, um das Verpackungsaufkommen zu reduzieren. Wassersprudler ermöglichen das Zusetzen von Kohlensäure zuhause, sodass der Kauf von abgefülltem Mineralwasser nur noch in Ausnahmefällen nötig ist. Des Weiteren können **Mehrwegflaschen** bevorzugt gekauft werden. Außerdem können bspw. Filterkaffeemaschinen oder Kaffee(voll)automaten genutzt werden, um die **Nutzung von Plastikverpackungen und Aluminium für Kaffeeprodukte zu minimieren**. Bei Heißgetränken außer Haus könnte ein Thermobehälter bzw. **Mehrwegbecher** mitgeführt werden. Durch **vorausschauenden Konsum** können Lebensmittelabfälle verringert werden ohne dass es mit gesteigertem Verbrauch von Verpackungsmaterialien durch kleine Portionsgrößen einhergehen muss. Durch den Konsum von mehr frischen, **unverpackten Produkten** kann Verpackungsmüll deutlich verringert werden.

Damit Kundinnen und Kunden im Onlinehandel ein Produkt nicht in verschiedenen Größen und Farben bestellen, um dann einen Großteil wieder zurück zu senden, können sie sich nach Möglichkeit dazu entscheiden, das gewünschte oder ein ähnliches **Produkt in einem Geschäft in der Nähe zu erwerben**. Ist eine Versandbestellung unumgänglich, kann das anfallende **Verpackungsmaterial** möglicherweise **weiterverwendet** werden, statt direkt entsorgt zu werden.

Produzenten und der Handel können vermehrt **auf unverpackte Produkte, passgenauere Verpackungen** sowie **Mehrwegverpackungen** setzen und **größere Portionsmengen** bei haltbareren Produkten anbieten sowie **diese konsequent preislich attraktiver** gegenüber kleinen Mengen anbieten. So hat beispielsweise das Studierendenwerk Berlin einen Rabatt von 5 Cent auf Kaffees eingeführt, die in den eigenen mitgebrachten Mehrwegbecher gefüllt werden, während für die Nutzung von Einwegbechern eine Gebühr von inzwischen 40 Cent erhoben wird (Studierendenwerk Berlin, 2018). Auch ein dezentrales Tauschsystem, wie es zunächst als Pilotprojekt in Freiburg und später auch in anderen Großstädten Deutschlands etabliert wurde und welches es Kunden ermöglicht, einen gegen Pfand erworbenen Mehrwegbecher an anderer

Stelle wieder abzugeben, kann einen Lösungsansatz darstellen (Deutschlandfunk, 2016). Jedoch stoßen derzeit diese Rücknahmesysteme noch schnell an ihre Grenzen, da sie zum einen nur eine begrenzte Anzahl an Rücknahmestationen haben und zum anderen meist auf einzelne Städte begrenzt sind und Fernreisende somit ausschließt. Diese Lücke könnte aber zum Beispiel zumindest zum Teil durch die Bäckereiketten geschlossen werden, die landesweit an den meisten Bahnhöfen und in den meisten Innenstädten anzufinden sind.

4.4.2 Handlungsfeld 13 Rücknahme und Rückgabe v. a. von WEEE

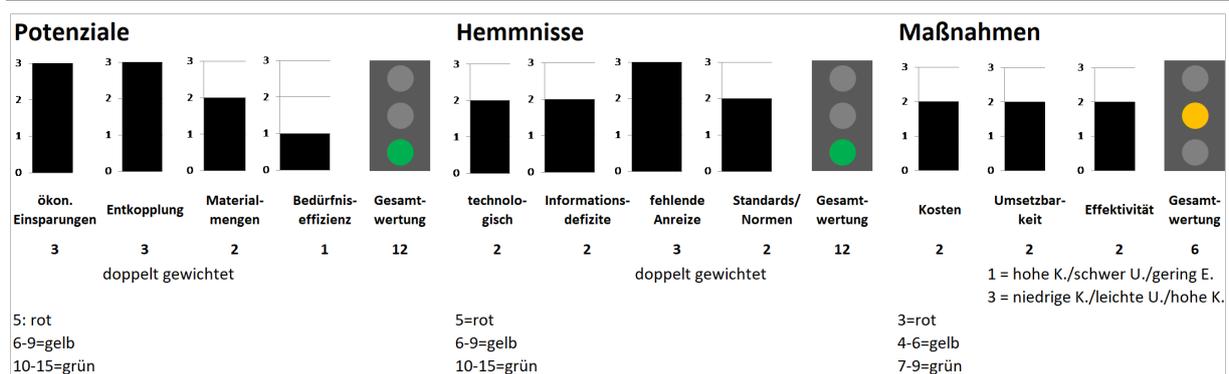
Was mit Produkten am Ende ihrer Nutzungsdauer geschieht, entscheidet maßgeblich darüber, ob und auf welcher Ebene eine Kreislaufschließung stattfindet. Ziel ist nach KrWG eine Kreislaufschließung auf möglichst hoher Ebene und die Einhaltung der Abfallhierarchie (s. KrWG, §6). An oberste Stelle steht die Vermeidung von Abfall. Dies wird in den Handlungsfeldern 10 und 17 mit Fokus auf Reparatur und Nutzungsdauerverlängerung behandelt. Ist aber die erste Nutzungsphase – aus welchen Gründen auch immer – beendet, d. h. will der (Erst-) Eigentümer das Gerät nicht weiter nutzen, sollte sich eine Vorbereitung zur Wiederverwendung (Refurbishment) oder zumindest eine qualitativ hochwertige stoffliche Verwertung anschließen. Die Art, wie die Rücknahme / -gabe von Produkten erfolgt, entscheidet mit darüber, welche Möglichkeiten im Anschluss für die Kreislaufschließung bestehen. Um eine Vorbereitung zur Wiederverwendung zu ermöglichen, müssen Produkte bspw. zerstörungsfrei gesammelt werden, für das Recycling ist die Getrennthaltung bestimmter Stoffströme entscheidend.

Während dies generell für alle Produktgruppen gilt, werden hier – auch in Abgrenzung zu den Handlungsfeldern 10 und 17 – insbesondere Elektro- und Elektronikaltgeräte betrachtet. Durch die WEEE-II-Richtlinie der EU und ihre nationale Umsetzung in Form des Elektro- und Elektronikgerätegesetzes (ElektroG) sind bereits u. a. Rücknahmepflichten, Rücknahmequoten und Zielwerte für die gesammelten Mengen an Altgeräten festgelegt. Ab dem Jahr 2016 müssen 45 % und ab dem Jahr 2019 65 % des Durchschnittsgewichts der in den drei Vorjahren in Verkehr gebrachten Elektro- und Elektronikgeräte gesammelt werden. Deutschland hat dieses Ziel 2016 mit 44,95 % geringfügig unterschritten⁷ und muss bis 2019 auf eine deutliche Steigerung hinwirken.

In der Analyse der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen erweist sich das Handlungsfeld als vielversprechend. Das Handlungsfeld zeigt deutliche Potenziale insbesondere bei ökonomischen Einsparungen und der Entkopplung; Hemmnisse bestehen insbesondere bei fehlenden (monetären) Anreizen für Rücknahmen und -gaben und ein Bündel an effektiven Maßnahmen steht zur Verfügung, um den Hemmnissen zu begegnen. Im Folgenden werden zentrale Ausschnitte aus den Literaturstudien zu Potenzialen, Hemmnissen und Maßnahmen für die Rücknahme und Rückgabe von Elektro- und Elektronikaltgeräten dargestellt, auf deren Grundlage die Bewertung in Form der Ampeln getroffen wurde.

⁷ siehe Daten zu Elektro- und Elektronikgeräten des Umweltbundesamts: [Link](#)

Abbildung 18: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 13



Quelle: Eigene Darstellung

Potenziale

Die Sammelquote bestimmter obsoleter Produkte ist verhältnismäßig niedrig. Vor allem bei Elektro- und Elektronikgeräten (EAG) kommt es zu hohen Sammelverlusten: die Sammelquote liegt hier unter 50 % (s. oben). Ein Grund dafür ist die unsachgemäße Entsorgung über den Hausmüll (Sander u. a., 2019). Insbesondere Elektronikkleingeräte wie Smartphones, Tablets oder Laptops werden aber auch über lange Zeiträume in Haushalten „gehörtet“, ohne dass eine wirkliche Aussicht darauf besteht, dass der Eigentümer sie weiter nutzt (Sabbaghi u. a., 2015). Für eine (Vorbereitung zur) Wiederverwendung durch andere Nutzer ist aber eine zeitnahe Rückführung in den Wirtschaftskreislauf erforderlich, da die Geräte sonst an Attraktivität verlieren. Die Anzahl der in Deutschland gehörteten, funktionstüchtigen aber ungenutzten Mobiltelefone (Handys und Smartphones) wird auf über 120 Mio. Stück geschätzt⁸. Hinzu kommen weitere Kleinelektronikgeräte wie Kameras, Musikabspielgeräte, Tablets etc.

Gleichzeitig enthalten diese Geräte eine hohe Anzahl an wertvollen Technometallen. In der Masse der Geräte summieren sich die auf eine beträchtliche Menge: in einer Tonne Handys sind zum Beispiel etwa 250 Gramm Gold enthalten, dagegen enthält eine Tonne Golderz nur etwa fünf Gramm Gold. Notebooks und Smartphones sind bspw. wertvolle Lager von Kobalt und Edelmetallen wie Gold, Silber und Palladium (Buchert *et al.*, 2012). Die Zusammensetzung spiegelt sich auch im hohen kumulierten Rohstoffaufwand dieser Geräte wider: So wird z.B. davon ausgegangen, dass für die Herstellung eines herkömmlichen Laptops ca. 900 kg Material direkt verarbeitet werden muss (Giegrich u. a., 2012). Hier liegen die Potenziale v. a. in der Reduktion der mit dem Abbau der notwendigen Rohstoffe verbundenen negativen ökologischen und sozialen Effekte.

Hemmnisse

Es existieren bereits verschiedene – gesetzliche und freiwillige – Angebote der Rücknahme (z. B. über den Handel oder über Nicht-Regierungsorganisationen⁹). Aus der Sicht des einzelnen Besitzers eines EAG ist aber der Wert eines einzelnen Geräts gering und lässt sich in der Regel nicht in Geld Erlösen. Dagegen bereitet die ökologisch sinnvolle Rückgabe einen gewissen Mehraufwand. Monetäre Anreize zur Rückgabe fehlen bisher weitgehend. Darüber hinaus mangelt es an Wahrnehmung für formale Rücknahmesysteme (Geyer and Doctori Blass, 2010). Auch die Option, das Gerät zu einem späteren Zeitpunkt eventuell doch noch einmal zu nutzen, hindert die Konsumenten an einer zeitnahen Rückgabe (Haws u. a., 2012).

So wie die Rücknahme nach WEEE II bzw. ElektroG derzeit organisiert ist, werden außerdem viele Produktgruppen vermischt (Neubauer, 2018). Die Erfassung ist nicht für hochwertiges

⁸ Schätzung basiert auf Bitkom (Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V.): [Link](#)

⁹ S. z. B. die Handy-Sammelaktion der Zoologischen Gesellschaft Frankfurt: <https://naturschutzbotschafter.fzs.org/de/handy-aktion/> (Letzter Abruf: 06.11.2018)

Recycling kleiner Mengen optimiert. Das Getrennthalten der Produktgruppen würde zusätzlichen Aufwand in der Sammellogistik bedeuten.

Teilweise führt der Wert der Altgeräte dazu, dass sie außerhalb Deutschlands, zum Beispiel in Ländern Afrikas wie Nigeria, weiter genutzt werden (second life) (Sander and Schilling, 2010). Dies kann aus ökologischer Sicht durchaus sinnvoll sein. Allerdings sind die Warenströme schwer von illegalen (Abfall-) Exporten von Altgeräten zu unterscheiden (UBA, 2010b).

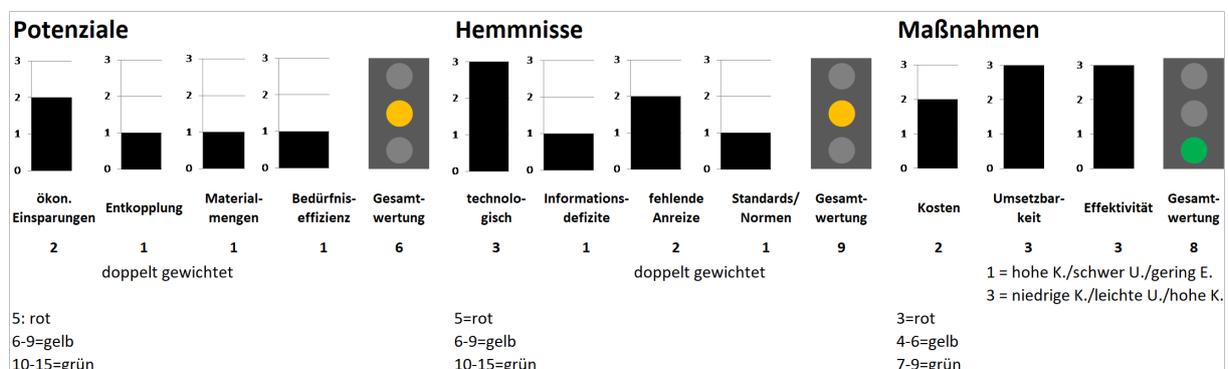
Maßnahmen

Die Maßnahmen in diesem Handlungsfeld liegen vor allem im organisatorischen und logistischen Bereich. Es müssten unkomplizierte und **für Refurbishment und Recyclingverfahren optimierte Rücknahmesysteme** etabliert werden, um die Sammelverluste zu reduzieren und um eine noch effizientere Verwertung von Sekundärrohstoffen – insbesondere Technologiemetalle, aber auch Kunststoffe – zu ermöglichen. Dafür kann es nötig sein, bei der **Rücknahme nach Produktgruppen zu unterscheiden**, um sie spezifischen Verwertungsrouten und entsprechenden Vorbehandlungen (z. B. manuelle Demontage) zuführen zu können.

4.4.3 Handlungsfeld 14 Phosphorrecycling und effiziente Verwendung

Phosphate sind zusammen mit Kalium und Stickstoff wichtige Nährstoffe in der Landwirtschaft, denn Phosphor ist essentiell für das Pflanzenwachstum und gilt als nicht substituierbar (BGR, 2013b). Gleichzeitig stellen die hohen vom Menschen verursachten Phosphoreinträge in die Umwelt ein Risiko für Seen und Meere dar, denn kippen Gewässer infolge der Überdüngung, hat das schwerwiegende Folgen für die Biodiversität und die Wasserqualität (Rockström u. a., 2009; UBA, 2010a). Die zentrale in diesem Bericht betrachtete Maßnahme zum Gewässerschutz und zum Beitrag für die Versorgungssicherheit stellt das Recycling von Phosphor aus Klärschlammasche dar. Diese laut Umweltbundesamt bislang noch wenig angewandte Methode gilt als machbar und effektiv. Dank der Verbrennung des Klärschlammes können ungewollte Rückstände aus Kosmetika und Arzneien – anders als im bisherigen Verfahren, bei dem Teile des Klärschlammes direkt genutzt werden – beseitigt werden. Ein noch zu lösendes Hemmnis beim Phosphorrecycling aus Klärschlammaschen sei die Verunreinigung mit Schwermetallen (Krüger and Adsam, 2014). Eine wichtige Akteursgruppe sind auch die landwirtschaftlichen Betriebe: Sie können Düngemittel bedarfsorientierter einsetzen und somit die Umwelteinträge verringern bzw. auf Wirtschaftsdünger umstellen.

Abbildung 19: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 14



Quelle: Eigene Darstellung

Potenziale

Phosphate finden vor allem in der **Düngemittelindustrie** Anwendung, auf die **83 % der Nachfrage** zurückzuführen ist. Die importierte Materialmenge betrug im Jahr 2013 etwa **85**

Tsd. Tonnen (BGR, 2014). Da die EU weitestgehend auf Phosphor-Importe aus wenigen Anbieter-Staaten angewiesen ist (ebd.) und die Reserven, die für einen Abbau zugänglich sind, in verschiedenen Szenarien mit nur 50 bis 200 Jahren angegeben werden (Ulrich, 2013), werden Phosphate **als kritischer Rohstoff** eingestuft (Mathieux u. a., 2017, S. 13). Mithilfe von **Phosphorrecycling aus Klärschlamm** ließen sich Krüger und Adam (2014) zufolge potentiell **19 Tsd. Tonnen Phosphor jährlich** zurückgewinnen, wovon ein Drittel direkt als Dünger wiedereingesetzt werden könnte – zur weiteren Ausschöpfung dieses Recyclingpotenzials müsste das im Klärschlamm vorliegende Phosphor noch besser von Schwermetallen gereinigt werden (Krüger and Adsam, 2014).

Im Jahr 2010 flossen **780 Tonnen Phosphor** allein über die deutschen Flüsse Trave, Peene, Warnow und Schwentine in die Ostsee. Darüber hinaus tragen auch die Phosphoreinträge aus der Oder zur Überdüngung und damit zur Verschlechterung der Wasserqualität in der Ostsee bei (UBA, 2014). Zum Teil lassen sich die Einleitungen auf Überdüngung in der Landwirtschaft zurückführen (ebd.). Die Produktivität lässt sich auf diese Weise nicht weiter steigern, sodass ein bedarfsorientierterer Düngemiteleinsatz bedürfniseffizient wäre.

Maßnahmen

Um eine Überdüngung der Gewässer und somit das Erreichen von Kippunkten (Eutrophierung) zu vermeiden und um Klärschlammreste effizient als heimische Rohstoffquelle zu nutzen, kann noch stärker das Verfahren des Phosphorrecyclings aus Klärschlammasche zum Einsatz gebracht werden. Die Technologie gilt als bekannt aber noch nicht als flächendeckend verfügbar (Ecoprog, 2017). Das BMBF schätzt ein, dass es weitere **großtechnische Anlagen zur Demonstration der Phosphorrückgewinnung** aus Klärschlamm brauche (BMBF, 2018). Weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht darin, Verfahren zu entwickeln, um zurückgewonnenes Phosphor von Schwermetallverunreinigungen zu trennen.

Ein weiterer Ansatzpunkt sind **landwirtschaftliche Betriebe**: Laut Umweltbundesamt ließe sich durch ein besseres Abstimmen des Düngemiteleinsatzes auf die örtlichen Bodengegebenheiten **bedarfsorientierter düngen**. Des Weiteren ließe sich der Mineralienbedarf alternativ zu Industriedünger auch durch Wirtschaftsdünger befriedigen (UBA, 2015). Dies würde auch dazu beitragen, die lokale Kreislaufwirtschaft zu fördern.

4.5 Nachhaltiges Bauen und Nachhaltige Stadtentwicklung

4.5.1 Handlungsfeld 15 Ressourceneffizienz im Bauwesen

Mit über 500 Mio. t Materialinput im Jahr ist der Bausektor hinsichtlich des kumulierten Materialaufwands der ressourcenintensivste Wirtschaftsbereich in Deutschland. Für den Ressourcenschutz bildet dieser Bereich daher einen zentralen Handlungsschwerpunkt. Wie im Handlungsfeld 2 (Rohstoffgewinnung für Baustoffe in Deutschland) bereits dargestellt wurde, machen Baumineralien mit über 500 Mio. Tonnen pro Jahr den mit Abstand größten Anteil der in Deutschland abgebauten Rohstoffe aus. Ihr Abbau ist mit erheblichen Eingriffen in natürliche Ökosysteme und mit erheblichem Landverbrauch verbunden. Außerdem dominiert das Bauwesen das Abfallaufkommen in Deutschland deutlich. Im Jahr 2016 beliefen sich die Bau- und Abbruchabfälle auf 223 Mt; bei einem gesamten Abfallaufkommen von 412 Mt im gleichen Jahr macht das über die Hälfte aus (Destatis, 2018a). Der weitaus überwiegende Teil sind mineralische Bauabfälle, im Jahr 2014 bspw. 202 Mt (Bau, 2017).

Das Handlungsfeld Ressourceneffizienz im Bauwesen konzentriert sich vor diesem Hintergrund auf die Reduktion des Einsatzes primärer mineralischer Baustoffe. Dafür werden zwei Ansätze näher betrachtet: zum einen das Recycling mineralischer Baustoffe und ihre Wiederverwendung im Hoch- und Tiefbau, zum anderen der Ersatz mineralischer Baustoffe durch alternative

Baustoffe, die ökologisch vorteilhaft sind. Hier wird insbesondere der Holzbau diskutiert. Beide Ansätze wurden getrennt einer Ampelbewertung unterzogen.

Aus der Analyse der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen ergeben sich klare Hinweise, dass dieses Handlungsfeld RE im Bauwesen politisch adressiert werden sollte. Das Handlungsfeld zeigt deutliche Potenziale auf allen vier Dimensionen. Hemmnisse bestehen insbesondere bei fehlenden (monetären) Anreizen und ein Bündel an effektiven Maßnahmen steht zur Verfügung, um den Hemmnissen zu begegnen. Im Folgenden werden zentrale Ausschnitte aus den Literaturstudien zu Potenzialen, Hemmnissen und Maßnahmen für RE im Bauwesen dargestellt, auf deren Grundlage die Bewertung in Form der Ampeln getroffen wurde.

Abbildung 20: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 15, Fokus Baustoffrecycling

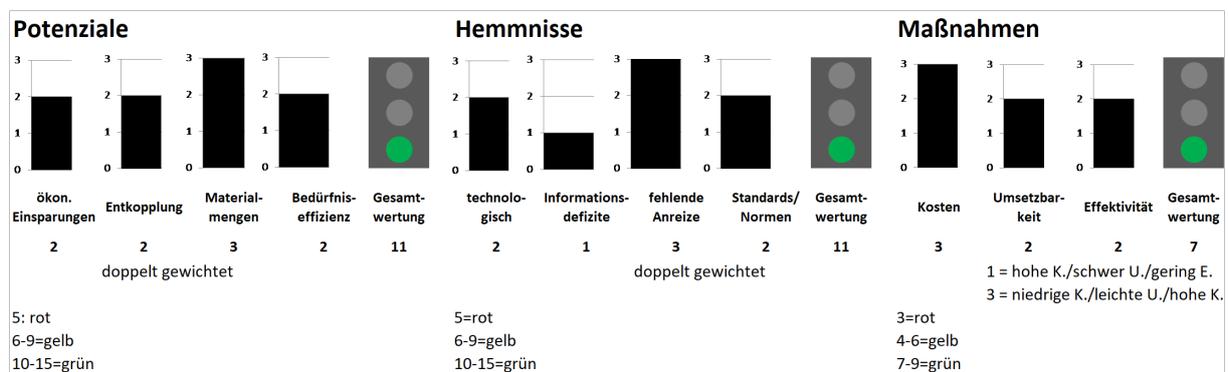
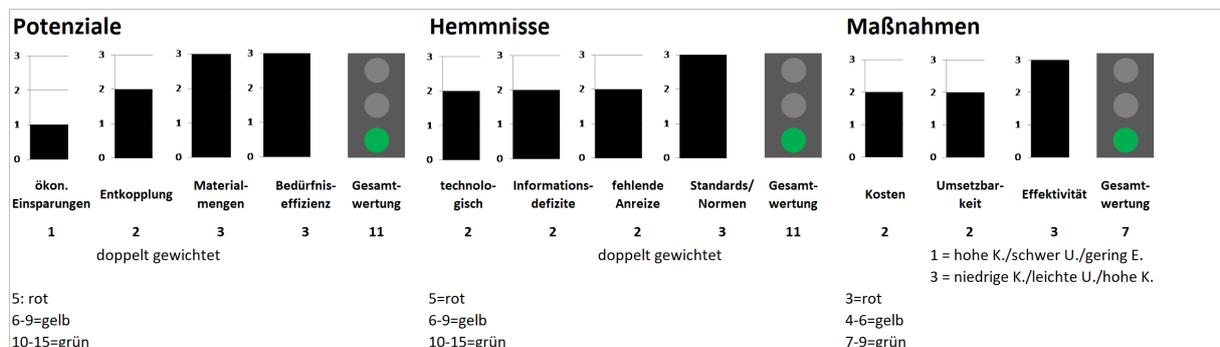


Abbildung 21: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 15, Fokus alternative Baustoffe



Potenziale

Blickt man auf das Baustoffrecycling, lag zwar lag die Verwertungsquote bei mineralischen Bau- und Abbruchabfällen im Jahr 2012 bei ca. 90 %, aber mit 13 % wird nur ein kleiner Bruchteil der Abbruchabfälle zur gezielten Ersetzung des Primärmaterials genutzt (Gandenberger u. a., 2017). Noch geringer ist der Anteil beim hochwertigem Recycling bzw. der hochwertigen Wiederverwendung in Form von Recyclingbeton (RC-Beton), der bei nur 0,4 % liegt (Deilmann u. a., 2014; Buchert u. a., 2017). Für die Schweiz wird (Stand 2013) dagegen 7 % der Betonachfrage durch RC-Beton¹⁰ gedeckt (Buchert u. a., 2017). Insgesamt wird das Potential

¹⁰ Laut SN EN 206-1:2000 ist RC-Beton als Beton definiert, dessen Gehalt an Gesteinskörnung zu mindestens 25 % aus Betongranulat und/oder Mischabbruchgranulat besteht.

zur Einsparung von Primärbaustoffen durch hochwertiges Recycling auf ca. 11 Mio. Tonnen pro Jahr geschätzt (Schiller u. a., 2010).

Ökobilanziell betrachtet schneidet der RC-Beton vor allem beim Flächenverbrauch deutlich besser ab als Frischbeton, in fast allen anderen Wirkungskategorien wird er ähnlich bis leicht günstiger bewertet. Bei den THG-Emissionen wird der geringe Unterschied damit erklärt, dass es mehr Bindemittel bei der Herstellung von RC-Beton bedarf als bei natürlicher Gesteinskörnung (Bergmann u. a. 2015). Die Transportdistanz spielt bei der ökologischen wie auch der ökonomischen Bewertung eine wichtige Rolle. Insgesamt wird RC-Beton im Tiefbau als geeignet angesehen; die RE-Potenziale würden aber noch wenig ausgeschöpft. Vor allem aber im Hochbau findet die Verwendung von RC-Baustoffen kaum statt (ebd).

Unter RC-Beton werden bisher Betone verstanden, in denen ein Teil der Gesteinskörnung durch Sekundärmaterial ersetzt wird. In jüngster Zeit wird aber mit der „Smart Liberator“-Technologie in den Niederlanden nicht nur Gesteinskörnung, sondern auch Zement wiedergewonnen. Dies ist möglich, da immer ein gewisser Überschuss an Zement in Beton vorkommt, d. h. der Zement nicht zu 100 Prozent mit Wasser gebunden wird. Dieser Rest Zement wird mit der Smart Liberator Technologie wiedergewonnen¹¹. Neuhoff u.a. (2017) zitieren ein Patent, nachdem es möglich ist, diesen überschüssigen Zement im Beton von vornherein zu vermeiden, d. h. Beton mit nur 50 % des bisherigen Einsatzes von Zement herzustellen. Potenziale liegen außerdem in der Verwendung neuerer Zementsorten, deren Herstellung mit weniger CO₂-Emissionen verbunden ist (Dittrich u. a., 2018). Bedeutende (aber bisher nicht quantifizierte) Potentiale werden außerdem im passgenauen Zuschnitt von Betonelementen gesehen, der eine Überdimensionierung vermeidet (Neuhoff u. a., 2015).

Weitere Potenziale bestehen im Bereich alternativer Baustoffe und Bauweisen. Im Bauwesen wird auch Leichtbau genutzt, bspw. bei bestimmten Fassadenkonstruktion oder bei mobilen temporären Bauwerken (Thielmann u. a., 2014). Die Potenziale des Leichtbaus hängen stark vom Einsatzgebiet ab. Bei der Nutzung von Gradientenbeton in Geschossdecken ergibt sich bspw. eine Masseneinsparung von rund 30 % gegenüber der konventionellen Betondecke unter Einhaltung der gleichen statischen Erfordernisse (Baumann u. a., 2018). In Szenarien, die die gängige Bauweise mit einer Umstellung auf Holzleichtbauweisen ersetzen, wurde berechnet, dass die Massenströme an Baumaterial um bis zu 50% reduziert werden können (Thielmann u. a., 2007).

Weil Holz Kohlenstoff speichert und im Fall der Verwendung im Bauwesen auch langjährig bindet, wird aus der Klimaschutzperspektive die Nutzung von Holz im Baubereich empfohlen (Bauhaus u. a., 2017). Was die Vorteilhaftigkeit bzgl. weiterer Umweltwirkungen wie bspw. die Flächennutzung angeht, liegen keine Daten vor (Werland u. a., 2014). Mit Blick auf das Klimaschutzpotenzial gibt es Szenarien, die eine veränderte Holznutzung im Neubau von Ein- und Zweifamilienhäusern und Mehrfamilienhäusern bis 2030 betrachten. Wird statt eines mineralischen Gebäudes ein Gebäude mit vorwiegend Holzkonstruktion¹² gebaut, lassen sich die THG-Emissionen um 35-56 % (EZFH) bzw. 9 - 48 % (MFH) reduzieren. Die Herstellungs- und Entsorgungsphase des Gebäudes ist bei den angegebenen Werten berücksichtigt (Hafner u. a., 2017). Die Holzbauquote bei Wohngebäuden ist in den letzten Jahren gestiegen und liegt aktuell bundesweit bei 17,7 % (Stand 2017) (Holzbau Deutschland, 2018), mit regionalen Spitzenwerten in Baden-Württemberg von 26 % (Hafner u. a., 2017). Würde diese Quote nach schwedischem Vorbild auf 55 % (EZFM) und 15 % (MFH) erhöht, könnten über 15 % der

¹¹ <https://freement.nl/smart-liberator/> (letzter Aufruf: 05.11.2018)

¹² Ein Gebäude wird als Holzgebäude klassifiziert (im Vgl. zu mineralischem Gebäude) wenn die Konstruktion (also Fundamentplatte, Außenwände, Innenwände, Decken, Dach, Balkone) aus Holz sind (ebd.).

insgesamt für die prognostizierte Errichtung der Wohngebäude anfallenden THG-Emissionen eingespart werden (Hafner u. a., 2017).

Hemmnisse

Konventionelle Materialien sind aufgrund fehlender Internalisierung externer Kosten oft günstiger als umweltverträgliche Materialien (Eco-Innovation Observatory, 2011). Auch Informationsdefizite, Defizite in der Ausbildung und regulatorische Hemmnisse durch fehlende (oder zu festgelegte) Standards werden hier als relevante Hemmnisse in der Literatur angeführt (ebd). Weitere Barrieren für den Einsatz von RC-Material sind, dass Recyclingmaterial für viele Anwendungen (z.B. Spannbeton) nicht zulässig ist und der selektive Abriss von Gebäuden und Infrastrukturen, der eine Vorbedingung für das hochwertige Recycling darstellt, mit zusätzlichen Kosten verbunden ist. Bestehende Förderprogramme für Bau und Sanierung (bspw. KfW) beziehen sich meist nur auf Energieeinsparungen in der Nutzungsphase – die gesamte Energiebilanz wird nicht beachtet.

Laut dem Abschlussbericht aus dem Projekt DeteRess finden bereits neue Zementsorten in Entwicklung. Bei Kalk-sparenden Zementherstellungsprozessen wie Celitement stehen noch werkstofftechnische Prüfungen aus, sodass eine tiefe Marktdurchdringung noch nicht gegeben ist. Die neuen Zementsorten kämpfen u. a. damit, dass sie bisher nicht die gleiche Funktionalität erfüllen und sich z. B. bzgl. Langlebigkeit erst noch beweisen müssen. Durchbrüche in den Märkten scheitern bisher auch an mangelnden Preisvorteilen (Neuhoff u. a., 2015). Ein weiteres Hemmnis kann in den Standards gesehen werden: Die in den DIN 1045-1 angegebenen Sicherheitsbeiwerte für die Festigkeit von Beton beruhen auf Erhebungen aus dem Jahr 1969. Inzwischen haben sich jedoch die Betonqualitäten verbessert und ermöglichten einen geringeren Materialeinsatz (Dittrich u. a., 2018).

Ein limitierender Faktor für die Nutzung von RC-Materialien im Baubereich ist, dass geeignetes Abbruch- und Sekundärmaterial vor Ort zur Verfügung stehen muss. Durch die gegensätzlichen demographischen Entwicklungen (Stadt-Land; West-Ost) ist dies nicht immer der Fall (Schiller u. a., 2010), in urbanen Gegenden kann dagegen die Transportentfernung für RC-Materialien sprechen (VDI-ZRE, no date). In der Literatur gibt es weitere Hinweise darauf, dass das Angebot an Stoffströmen, aus denen mineralische Sekundärbaustoffe gewonnen werden können, beschränkt ist und zudem nicht primär von der Nachfrage nach Sekundärbaustoffen abhängt, sondern z. B. von Abbruchaktivitäten oder von der Zukunft bestimmter Industriezweige im Kontext der Energiewende. Vor diesem Hintergrund wird zum Beispiel bei Nebenprodukten aus fossilen Kraftwerken (z. B. REA-Gips) oder aus der Eisen- und Stahlindustrie (z. B. Hüttensand), die als Sekundärrohstoffe in Bauprodukten zum Einsatz kommen, geschätzt, dass ihre relative Bedeutung eher sinkt (Bundesverband Steine und Erden, 2016). Aber auch wenn das Volumen der Ausgangs-Stoffströme begrenzt ist, lassen die niedrigen Recycling-Quoten (s. oben) noch Potenzial zur Gewinnung von Sekundärbaustoffen vermuten.

Der wachsenden Bedeutung von Holz im Bauwesen steht die energetische Nutzung gegenüber, die auf verschiedene Weise gefördert wird. Diese Nutzungskonkurrenz kann zu Versorgungslücken bei Holz führen, die bspw. das Deutschen BiomasseForschungsZentrum mit etwa 30 Mio, m³ Holz jährlich angibt (Ponitka, Lenz and Thrän, 2011). Seither hat sich allerdings die Förderlandschaft für die energetische Nutzung von Holz zu Gunsten anderer Nutzungsarten bzw. der Kaskadennutzung geändert (u.a. Novelle des EEG), so dass die Nutzungskonkurrenzen sich etwas entschärfen (Ludwig, Purkus Nadine and Gawel, 2017).

Maßnahmen

Für die Erschließung der Potenziale steht eine Reihe von Maßnahmen bereits heute zur Verfügung. Zu den zentralen Maßnahmen gehört der **verstärkte Einsatz von RC-Beton, vor allem im Hochbau**. Dazu müssen sowohl die Baufirmen als auch die Bauherren tätig werden.

Damit diese Maßnahme gelingen kann, muss das **Angebot an qualitativ hochwertigen sekundären Baustoffen gesteigert** werden. Die verstärkte Rückgewinnung hochwertiger mineralischer Baustoffe (auch Zement) aus Betonbruch erfordert **passende Abbruchmethoden**, die Stoffströme getrennt halten.

Ein vielversprechender Ansatz für die Verminderung der Nachfrage nach Primärbaustoffen ist eine **Verminderung des Einsatzes von Beton**, um den Bedarf an Rohstoffen und die damit verbundenen Umweltwirkungen zu reduzieren. Um beispielsweise den Materialverbrauch von Beton zu senken, wäre es dank der verbesserten Festigkeiten von industriell gefertigten Betonprodukten möglich, **geringere Sicherheitsmargen bei der Dimensionierung von Betonbauteilen und -konstruktionen** anzulegen (Dittrich u. a., 2018).

Durch den **Einsatz von Leichtbaumethoden** – sowohl beim Bauen mit mineralischen Baustoffen als auch im Holzbau – und durch die **Reduzierung von Überdimensionierung bei Betonteilen** können **Effizienzgewinne** erzielt werden. Schließlich kann der **Umstieg auf Holzbauweise** einen bedeutenden Beitrag zur Ressourcenschonung leisten.

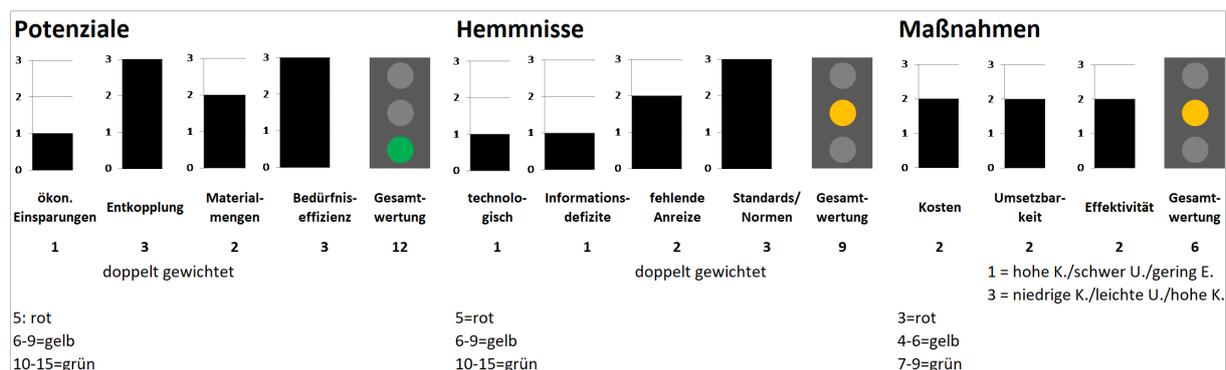
Die Eignung der Maßnahmen ist kontextspezifisch und hängt zum Beispiel von der regionalen Verfügbarkeit der sekundären bzw. alternativen Baustoffe ab. Weitere Maßnahmen befinden sich noch in Entwicklung, z. B. der Einsatz CO₂-ärmerer Zementsorten (s. oben) oder die elektrodynamische Fragmentierung von Altbeton zur Rückgewinnung von Gesteinskörnung in Primärqualität (Gehring u. a., 2015).

4.5.2 Handlungsfeld 16 Stadtplanung und Infrastrukturen

In ProgRes II richtet sich der Blick zu ressourceneffizienter Stadt- und Infrastrukturplanung vor allem auf ressourcenschonende Quartiersentwicklung, mit Hauptfokus ressourceneffizientes Bauen, und Infrastrukturerneuerung bei Abwasserkanälen. Des Weiteren wird das RE Potenzial kompakt-urbaner und nutzungsgemischter Stadtstrukturen hervorgehoben und darauf verwiesen, dass Stadtentwicklungspläne unter Berücksichtigung von Ressourcenschonung entwickelt werden sollen. Damit weist Handlungsfeld 16 viele Schnittstellen zu folgenden Handlungsfeldern auf: Handlungsfeld 1 Bergbau in Deutschland, Handlungsfeld 2 Rohstoffgewinnung für Baustoffe in Deutschland, Handlungsfeld 3 Bergbau im Ausland, Handlungsfeld 4 Nutzung nichtfossiler Kohlenstoffquellen: biotische Rohstoffe und CO₂ als Rohstoff und Handlungsfeld 15 Ressourceneffizienz im Bauwesen.

Insgesamt zeichnet sich das Handlungsfeld durch größere Potenziale, insbesondere im Bereich Entkopplung der Umweltwirkung und Bedürfniseffizienz aus. Dem gegenüber sind substanzielle Hemmnisse vorhanden, insbesondere rechtliche (Bau)Vorgaben, welche die Wirtschaftlichkeit ressourceneffizientere Verdichtung erschweren. Die Maßnahmen sind entsprechend nur moderat zu bewerten in ihrem Potenzial, die Hemmnisse zu überwinden, um die Potenziale zu heben.

Abbildung 22: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 16



Potenziale

Neben den Potenzialen RE Baumaterial (vgl. hierzu Handlungsfeld 15 „Ressourceneffizienz im Bauwesen“ und Handlungsfeld 2 „Rohstoffgewinnung für Baustoffe in Deutschland“) bei der Instandhaltung der Abwassersysteme zu verwenden bieten bspw. Verdichtung im Städtebau und dezentrale Wasserver- und -entsorgung in ländlichen Gebieten RE Potenziale.

Laut einer Studie des BBSR (2016) zur Aufstockung von Dachstühlen als Alternative zu Neubauten bieten vor allem die Wohnungsbestände der 1950er- bis 1970er-Jahre gute Voraussetzungen für den Ausbau, weil diese ohnehin einen großen Sanierungsbedarf aufweisen. Im Zuge der anstehenden Modernisierung können Dachausbaumöglichkeiten geprüft werden. Knapp 40 Prozent des Wohngebäudebestandes in der Bundesrepublik entfallen auf diese Gebäudegeneration. Gegenwärtig entfallen lediglich rund zehn Prozent an allen fertiggestellten Wohnungen in Deutschland auf Baumaßnahmen im Bestand.

Eine dezentrale Versorgung mit Abwasser in ländlichen Gebieten mit abnehmender Bevölkerungszahl kann den höheren Kosten für die Abwasserinfrastruktur pro Kopf entgegenwirken (Graaf, Werland and Jacob, 2015). Durch eine Dezentralisierung könnte zusätzliches Trinkwasser gespart werden, welches häufig für den Transport von menschlichen Exkrementen genutzt wird, wenn das Abwasseraufkommen gering ausfällt (De Wever, 2010). Im Maßnahmenkatalog der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), welcher der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie auf Länderebene dient, ist der Neubau und Umrüstung von Kleinkläranlagen als eine Maßnahme zur Verbesserung der dezentralen Abwasserentsorgung vorgesehen (LAWA, 2013).

Hemmnisse

Bei der Verdichtung über Aufstockung bilden insbesondere die rechtliche Anforderungen der Länder und Kommunen, wie etwa die Stellplatzpflicht oder die Pflicht, einen Aufzug einzubauen, regulatorische Hemmnisse bzw. maßgebliche Kostentreiber (BBSR, 2016). Diese Hemmnisse schmälern das RE Potenzial, da viele Vorhaben aus wirtschaftlichen Erwägungen nicht realisiert werden können.

Die Kostenentlastung durch eine Dezentralisierung der Abwassersysteme wird als eher gering eingeschätzt und dies auch nur für Gebiete, in denen das Kanalsystem ohnehin sanierungsbedürftig ist (Schiller, 2010).

Maßnahmen

Privatpersonen und Herstellerfirmen könnten bspw. **Verdichtung im Städtebau** und **dezentrale Ver- und Entsorgung (Beispiel Abwassersystem)** in ländlichen Gebieten einfordern bzw. vermehrt Produkte und Dienstleistungen dafür anbieten als Maßnahmen zur

Steigerung der Ressourceneffizienz im Handlungsfeld Stadtplanung und Infrastrukturen. Jedoch ist insbesondere dieses Handlungsfeld stark von politischen Rahmenseetzungen abhängig.

4.6 Ressourceneffiziente IKT

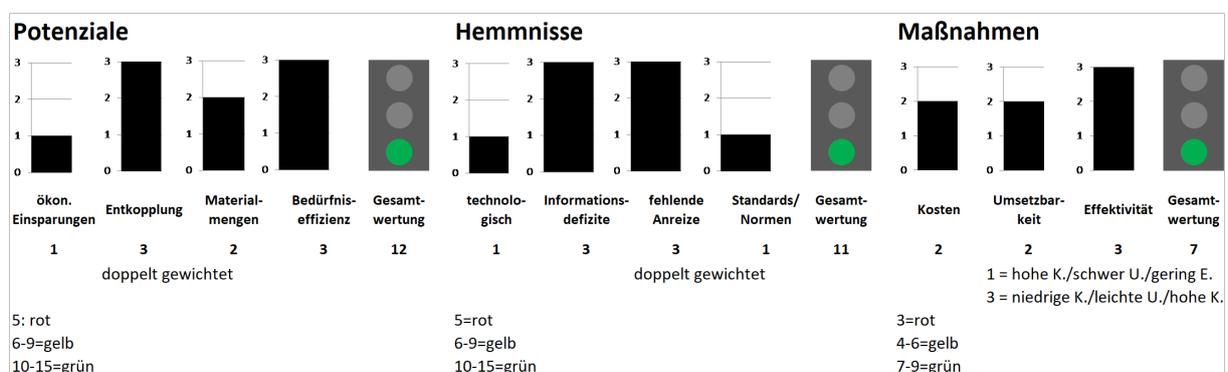
4.6.1 Handlungsfeld 17 Verlängerung der Nutzungsdauer IKT Geräte

Der Sektor IKT ist definiert als „alle Einrichtungen, die zwischen Menschen eine Übertragung von Informationen und deren Austausch in digitalisierter Form und auf elektronischem Wege ermöglichen“ (Statistisches Bundesamt, 2003). Generell umfasst IKT damit die drei Wirtschaftszweige: Warenproduktion, Dienstleistungen mit IKT-relevanten Waren und IKT-Dienstleistungen. Mit Blick auf Ressourceneffizienz steht für dieses Handlungsfeld die IKT Warenproduktion mit den zugehörigen Materialströmen im Vordergrund, wobei in diesem Handlungsfeld der B2C Bereich betrachtet wird. Dabei liegt der Fokus vor allem im Bereich der Technologiemetalle, wie beispielweise Indium, Gallium oder Seltene Erden, da von ihnen die schwerwiegendsten Umweltwirkungen ausgehen (Kristof and Hennicke, 2010a). Maßnahmen zur Verlängerung der Nutzungsdauer von IKT setzen vornehmlich bei den zwei Akteursgruppen Konsumentinnen und Konsumenten sowie verarbeitendes Gewerbe an, jedoch werden auch Maßnahmen im Handel (bspw. Leasingmodelle mit langen Nutzungszeiten) beleuchtet.

Geräte der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) bieten weitreichende Potenziale für eine effizientere Ressourcennutzung da besonders die Herstellung von IKT Produkten umfangreichen Stoffströme benötigt (Bienge u. a., 2010; Prakash u. a., 2016a; Buchert u. a., 2017; Digitaleurope, 2017). Dabei steht insbesondere die Verlängerung der Nutzungsdauer zentral, welche mit Reparierbarkeit und Austauschbarkeit einzelner Bestandteile durch leistungsfähigere Komponenten einhergeht. Das Handlungsfeld ist außerdem gekennzeichnet durch beträchtliche Informationsdefizite sowie fehlende (insbesondere monetäre) Anreize für ressourceneffizientere Produkte und deren längerer Nutzung. Verschieden Maßnahmen stünden bereit, um diese Hemmnisse zu überwinden.

Aus diesem Grund wird, dem Beispiel ProgResS folgend, IKT im diesem Handlungsfeld gesondert betrachtet. Es bestehen jedoch vielfältige Schnittstellen zu anderen Feldern, beispielweise Handlungsfeld 8 „RE in der Produktgestaltung“, Handlungsfeld 10 „Reparatur, Refurbishing, Gebrauchsgüter (ohne IKT)“ sowie Handlungsfeld 13 „Rücknahme und Rückgabe v. a. von WEEE“. Die in den anderen Bereichen betrachteten Aspekte wie Produktdesign, Reparatur oder Aufarbeitung, werden im Folgenden entsprechend ihrer Relevanz für die verlängerte Nutzung von IKT berücksichtigt.

Abbildung 23: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 17



Quelle: Eigene Darstellung

Potenziale

In Deutschland gibt es eine Rücknahmepflicht bei Elektrogeräten, so dass die Materialien recycelt werden können. In diesem Handlungsfeld geht es aber um die Wieder- und Weiterverwendung der IKT-Produkte, wodurch die Lebensdauer verlängert wird.

In vielen Studien wurde gezeigt, dass die Verlängerung der Produktlebensdauer aus ökologischer Sicht die wichtigste Stellschraube für Ressourceneffizienz darstellt (Dehoust u. a., 2013; Prakash u. a., 2016a; Wilts u. a., 2016; Buchert u. a., 2017). Dies gilt auch wenn neben der Energieeffizienzsteigerung der neuen Geräte und dem höheren Herstellungsaufwand des langlebigen Produktes auch die Nachrüstung / Reparatur des langlebigen Geräts mit Ersatzteilen in die Berechnung mit aufgenommen wird.

Die Verlängerung der Lebensdauer – entweder durch längere Erstnutzung oder durch Aufarbeitung – ist aus Umweltsicht einem Recycling vorzuziehen (Dehoust et al 2013, 54). Durch eine lange Nutzungsdauer können Ressourcen, die in der Produktionsphase genutzt werden, gespart werden, da (theoretisch) weniger Produkte angefertigt werden müssen (Dehoust u. a., 2013; Prakash u. a., 2016a; Wilts u. a., 2016; Buchert u. a., 2017).

Die wirtschaftlichen Potenziale der Wiederverwertung sind, anders als bei Recycling, bislang weniger gut erforscht (Wilts u. a. 2016). Deutlich wird aus den vorhandenen Studien, dass positive Effekte zu erwarten sind, diese aber produkt- und kontextspezifisch sind (James, 2011; Bakker u. a., 2014).

In einer Studie zu Dänemark wurden die Potenziale von Wiederverwertung bzw. -verkauf abgeschätzt (Parajuly and Wenzel, 2017). Anteilig am eingesammelten Haushalts-WEEE konnten 22% voll funktionstüchtige Produkte bei Kleingeräten und 7% bei Monitoren pro Container festgestellt werden – was bei Wiederverkauf knapp 250 EUR pro Container Haushalts-WEEE bedeutet (ebd.). Entsprechend hoch schätzen sie die finanziellen Potenziale eines Systems ein, welches statt der Rücknahme des Materials (wie derzeit bei WEEE) stärker auf die Weiternutzung abstellt (ebd.).

Eine weitere Art der Weiter- und Wiederverwendung ist das Refurbishing, wobei bspw. ein gebrauchtes Notebook vom Hersteller, Händler oder einem Service-Betrieb technisch geprüft, gereinigt und ggf. Instand gesetzt wird. Beispielsweise wird der Lüfter gereinigt oder abgenutzter Eingabegeräte ausgetauscht; teure Reparaturen werden in der Regel nicht durchgeführt und auch technisch werden die Notebooks nicht aufgerüstet. Gebräuchlich ist Aufarbeitung bei Business Geräten und v. a. im Business-to-Business Bereich, da diese in der Regel eine langlebigere Konstruktion und höhere Stückzahlen der Großkunden aufweisen. Aus Umweltsicht ist Refurbishment Aufarbeitung sehr vorteilhaft (van Weelden, Mugge and Bakker, 2016). In einer Mehrheit der untersuchten Fälle konnte auch die absolute Energienutzung reduziert werden (ebd.). Wang und Hazen (Wang and Hazen, 2016) fassen die Vorteile von auf- und umgearbeiteten Produkten im Vergleich zu neuen Produkten zusammen: “up to 70% less raw materials required to produce; up to 80% less emissions to produce; up to 60% less energy required to produce; up to 50% less total production costs; and lower prices for consumers” (ebd., 460).

Bei Laptops führt eine Verlängerung der Lebensdauer von fünf auf sieben Jahre beispielweise zu Einsparungen von jährlich 2,5 Mio. Geräten unter der Annahme, dass sich die Menge der neu zu produzierenden Laptops um 2/7 verringert. Das entspricht einer eingesparten Masse von Laptops in Höhe von etwa 6.900 Tonnen pro Jahr, bzw. 1,9 Mio. Tonnen jährlich an kumulierten Rohstoffverbrauch (Dehoust u. a., 2013). Bei Laptops wird auch deutlich, dass der Rohstoffinput bei der Herstellung sehr hoch ist (nämlich 270-mal so groß wie das Produkt), was durch höhere Energieeffizienz nicht kompensiert werden kann.

Die Nutzungsdauer von Tintendruckern beträgt aktuell vier Jahre, von Laserdruckern sechs Jahre. Durch die Verlängerung der Lebensdauer um ein Jahr und bei gleicher Druckerichte kann durch die jährliche Reduktion der jeweils produzierten Drucker ein kumulierter Rohstoffbedarf von knapp 91.000 Tonnen bei Tintenstrahldruckern und von 237 Tonnen bei Laserstrahldrucker pro Jahr eingespart werden (Dehoust u. a., 2013).

In der Literatur zeigt sich aber auch, dass ökonomische Gründe für Aufarbeitung sprechen (van Weelden, Mugge and Bakker, 2016). So kann die Einführung eines umgearbeiteten Produktes zu einer Steigerung der Anzahl aller neuen verkauften Produkte des Unternehmens führen, da diese aufgrund insgesamt gewachsener Umsätze günstiger angeboten werden können (sog. negative effective cannibalization) (Ovchinnikov, Blass and Raz, 2014). Die absolute Energienutzung der Unternehmen stieg entsprechend an, da mehr Produkte hergestellt wurden, allerdings sank die relative Energienutzung pro Stück – ein positiver relativer Umwelteffekt – je Einheit und Dollar (ebd.).

Hemmnisse

Hemmnisse für eine längere Nutzungsdauer von IKT Geräten umfassen vier Formen von Obsoleszenz: werkstoffliche, funktionale, psychologische und ökonomische Obsoleszenz (Prakash u. a., 2016b). Die medial häufig diskutierte „geplante Obsoleszenz“ im Sinne einer Designmanipulation konnte wissenschaftlich nicht nachgewiesen werden (ebd.). Die werkstoffliche und funktionale Obsoleszenz umfasst, dass Komponenten oder Bauteile ausfallen, aus mangelnder mechanischer und elektronischer Robustheit oder aufgrund einer geänderten Software oder Standardisierungslandschaft (z. B. neue Formate, Funktionen oder Übertragungsstandards) (Prakash u. a., 2016b). Die psychologische Obsoleszenz beschreibt Faktoren wie den Wunsch nach Neuem, Moden und Statussymbolen während die ökonomische Obsoleszenz das Verhältnis der Kosten für die Reparaturen im Gegensatz zu den Kaufpreisen der neuen Alternative betrachtet. All diese Obsoleszenzformen wirken zusammen, wenn IKT Geräte, bspw. Smartphones oder Notebooks, ersetzt werden. Bei Smartphones wird die psychologische Obsoleszenz als besonders zentral angesehen: Bei einer Befragung der GfK gaben 68 % an, das Handy innerhalb von drei Jahren zu wechseln; 40% weil sie ein noch besseres Gerät haben wollten; 28% weil sie durch den Vertrag regelmäßig ein neues Gerät bekommen (Prakash u. a., 2016b). Eine Befragung der Stiftung Warentest zeigt, dass sogar 42% der Nutzer und Nutzerinnen in Deutschland ihr Mobiltelefon innerhalb von zwei Jahren austauschen.

Außerdem hemmt ein asymmetrisches Informationsverhältnis zwischen Industrie und Konsumentinnen und Konsumenten die längere Nutzungsdauer. Die Industrie plant die Produktlebensdauer nach Belastung, technologischem Wandel und Moden. Dabei fehlt allerdings die Transparenz für Konsumentinnen und Konsumenten, welche Lebensdauer erwartet werden kann (Prakash u. a., 2016b). Auch wenn eine künstliche Beschränkung der Geräte nicht nachgewiesen werden kann, wird die „gewünschte“ Lebensdauer von der Industrie durchaus kalkuliert, diese aber in den meisten Fällen nicht transparent gemacht.

Insbesondere beim Refurbishment stellen die niedrige Akzeptanz der Kunden v. a. durch fehlende Vertrautheit und ein negatives Image zu aufgearbeiteten Produkten Hürden dar (van Weelden, Mugge and Bakker, 2016).

Für viele dieser Hemmnisse ständen Maßnahmen für Marktakteure zur Verfügung, wodurch die Hemmnisse reduziert werden könnten. Diese werden im folgenden Abschnitt beschrieben.

Maßnahmen

Eine zentrale Maßnahme zur Verlängerung der Nutzungsdauer von IKT Geräten wäre ein **Produktdesign**, welches **an Langlebigkeit ausgerichtet** ist und diese aktiv als Differenzierungsmerkmal bewirbt. Dies umfasst die zu erwartende lange Lebensdauer, die damit

(häufig) verbundenen geringeren Kosten für Konsumierende über die gesamte Lebensdauer sowie die Reparaturfähigkeit.

Ersatzteile sollten **kostengünstig längst möglich vorgehalten** werden, auch von alternativen Herstellern. Hier ist außerdem die Versorgung mit kompatiblen **Softwareupdates** für einen möglichst langen Zeitraum sicherzustellen. In diesem Rahmen sind auch Reparaturinformationen bereitzustellen (vgl. Handlungsfeld 5 Bereitstellung von Informationen entlang der Wertschöpfungskette).

Darüber hinaus könnte **Refurbishing** stärker **angeboten und beworben** werden.

Außerdem könnten **alternative Servicemodelle** der Hersteller für eine Lebens- und Nutzungsdauerverlängerung verstärkt angeboten werden, bspw. Leasing-Modelle (als eigentumsersetzende Nutzungsstrategie), Rückkaufvereinbarung oder Nachsorgebehandlung als Dienstleistung (Prakash u. a., 2016b).

Die **Konsumentinnen und Konsumenten** könnten langlebige oder generalüberholte Produkte sowie alternative Servicemodelle entsprechen **stärker nachfragen**.

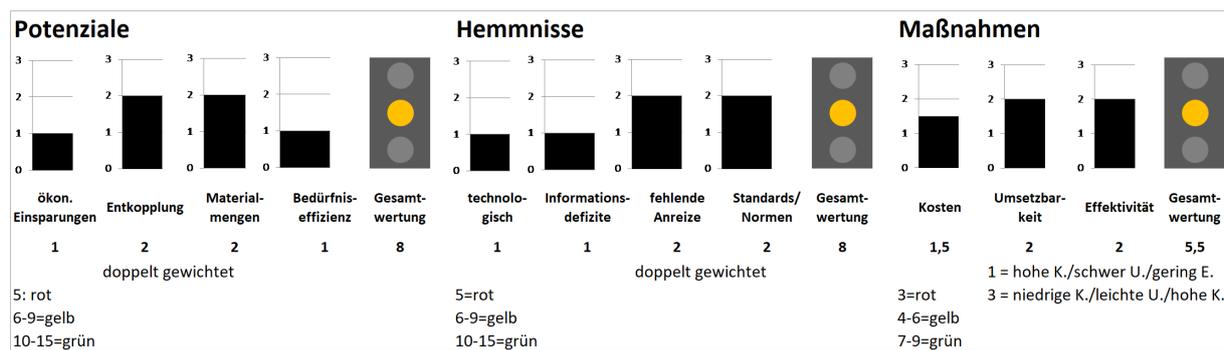
Eine Mischung dieser Maßnahmen könnte viele Hemmnisse für eine längere Nutzungsdauer von IKT Produkten effektiv überwinden. Die Umsetzbarkeit dürfte an einigen Stellen jedoch voraussetzungsvoll sein: So bedarf es insbesondere einer veränderten Kostenstruktur, welche die ökologischen Vorteile einer längeren Nutzungsdauer monetär abbildet, sowohl für Unternehmen als auch für Konsumentinnen und Konsumenten.

4.6.2 Handlungsfeld 18 RE Zukunftstechnologien und -praktiken: Elektromobilität und Industrie 4.0

Die hier betrachteten Zukunftstechnologien umfassen im Bereich Verkehr die Elektromobilität sowie Industrie 4.0 in der Produktion. Diese und weitere Zukunftstechnologien befinden sich momentan noch in der Marktdurchdringungs- und Entwicklungsphase. Aufgrund ihrer Dynamik kann ihnen eine große Bedeutung für die künftige Ressourcenpolitik zugerechnet werden. Um nicht im Nachhinein Maßnahmen ergreifen zu müssen, um negativen Umweltwirkungen bspw. infolge eines hohen Primärmaterial-Bedarfs entgegenzusteuern, können die Unternehmen vorsorgliche Maßnahmen ergreifen, um die Umwelt- und Sozialstandards einzuhalten. Außerdem zeichnen sich bereits Lösungen ab, wie sich bspw. das Aufkommen an Altbatterien minimieren lässt.

Die konkreten Potentiale werden sehr stark davon bestimmt, wie sich die Zukunftstechnologien konkret entwickeln und eingesetzt werden. Wahrscheinlich liegen die Einsparpotentiale insbesondere darin, Sekundärstoffe zu verwenden sowie die Geräte-Nutzungsdauer zu verlängern. Am Beispiel der Second-Life-Batterien zeigt sich, dass sich so neue Erwerbsmöglichkeiten aus vermeintlich ausgedienten Produkten erschließen lassen.

Abbildung 24: Bewertung der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen im Handlungsfeld 18



ELEKTROMOBILITÄT

Potenziale

Sowohl bei einer weiter wie bisherigen aber auch bei einer beschleunigten Marktentwicklung von elektrisch betriebenen Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeugen wird davon ausgegangen, dass der globale Bedarf an Lithium, Kobalt, Nickel, Grafit und Platin steigt. Im Fall von Lithium wird bis 2050 sogar eine Nachfrage erwartet, die die heutigen weltweiten Produktionsmengen um ein Mehrfaches übersteigt (Marscheider-Weidemann u. a., 2016, S. 146; Öko-Institut, 2017).

Maßnahmen

Eine Maßnahme zur Minderung des Bedarfs an Primärmetallen ist das **Altbatterie-Recycling**. Dieses kommt bereits heute in Blei-Säure-Batterien zum Tragen, muss allerdings noch bei Lithium-Ionen-Batterien etabliert werden (Fischhaber u. a., 2016; Öko-Institut, 2017).

Alternativ zum Recycling lassen sich ausgediente Fahrzeugbatterien in stationären Anwendungen als so genannte **2nd Life-Batterie** nutzen. Durch diese Praxis lassen sich die verwendeten Stoffe effizienter nutzen bzw. die Einsatzdauer der Batterien wird gesteigert. Theoretisch wäre dieser Einsatz in Haushalten möglich und könnte dabei unterstützen, auf dem Dach generierten Strom aus Photovoltaik-Anlagen zu speichern. Praktisch wird dieses Potenzial noch kaum genutzt, stattdessen gibt es jedoch bereits einzelne Demonstrationsanlagen, bei denen Second-Life Batterien als größerer Energiespeicher gekoppelt werden, um am Regelleistungsmarkt teilzunehmen. Auf diese Weise werden Lithiumbatterien auch ökonomisch effizient eingesetzt, weil sie im stationären Betrieb Einkünfte erzeugen. Die beteiligten Akteure sind neben den für die Entsorgung von Altbatterien verantwortlichen Automobilunternehmen, klassische Energieversorgungsunternehmen sowie Start-up-Firmen (Fischhaber u. a., 2016; Schröder, 2016).

INDUSTRIE 4.0

Potenziale

Die umfangreiche technologische Verschmelzung der „physikalischen mit der virtuellen Welt“ in der Energieversorgung (smart grids), in der Produktion (Industrie 4.0) (acatech, 2013) aber auch in vielen weiteren Bereichen verspricht Einsparungen beim Energie- und Materialverbrauch. Wie groß das Potenzial für den Ressourcenschutz ist, lässt sich gegenwärtig nicht beziffern. So wird in zwei Sekundärquellen (Plass, 2015, p. 5; VDI, 2017, p. 13) die Einschätzung zitiert, wonach sich durch Industrie 4.0 der Ressourcenverbrauch in der Produktion um 50 % senken ließe. In der auf die Bezug genommene Studie (Kagermann u. a., 2013) wird jedoch vielmehr empfohlen, weitere Evidenz für die Ressourcenschonungseffekte in der Produktfertigung zu sammeln (2013, p. 67). Das VDI ZRE analysiert, dass das Potenzial für

Ressourcenschonung im Detail darin liegt, dass Unternehmen dank Industrie 4.0 neben dem Strom- und Materialverbrauch Abfälle vermindern, Transporte und Ausschuss reduzieren sowie den Bedarf an Lagerraum reduzieren können. Zudem wird erwartet, dass in der Nutzungsphase von vernetzten Produkten frühzeitig erkannt werden kann, wann sie nicht mehr optimal funktionieren und einer Wartung oder Reparatur bedürfen. Auf diese Weise ließe sich letztendlich auch die Produkt-Lebensdauer und damit auch die Ressourceneffizienz steigern (VDI, 2017, p. 13 f.). Die Einsparungen in der Produktion bei den in der Studie untersuchten Stellvertreter-Unternehmen beliefen sich auf bis zu 25 % (VDI, 2017, p. 188).

Gleichzeitig ist es unstrittig, dass die umfangreiche Steuerung der industriellen Produktion über Internet, mobile Computer und Cloud Computing eine digitale Infrastruktur bestehend aus einer Reihe von Komponenten wie z. B. RFID-Tags, Sensoren, Mikroprozessoren und Displays voraussetzt (Marscheider-Weidemann u. a., 2016, S. 232; VDI, 2017, S. 188). Der zukünftige gestiegene Materialbedarf hänge davon ab, welche Bauteile konkret eingesetzt werden bzw. wie sich Industrie 4.0 letztendlich durchsetze. Extrapoliere man die Marktdurchdringung von Sensoren, müsse man im Jahr 2035 von einem verzwanzigfachen Umsatz im Vergleich zu 2014 ausgehen. Insgesamt wird beim Rohstoffmonitoring des BGR erwartet, dass Industrie 4.0 einen „intensiven Rohstoffbedarf“ mit sich bringt (Marscheider-Weidemann u. a., 2016, S. 233, 290).

Maßnahmen

Das frühe Stadium der Innovationsentwicklung führt dazu, dass noch unklar ist, welche Maßnahmen zu einer Steigerung der Ressourceneffizienz beitragen könnten. Die bedarfsgerechte Produktion, die Nutzung von Sensoren, die Verknüpfung von Materialien, Produkten und Daten über globale Lieferketten hinweg und ggf. auch AI bei Herstellung von Gütern sind potentielle Ansatzpunkte. Hier sind begleitende vertiefte Untersuchungen notwendig.

5 Priorisierung der Handlungsfelder für die weitere Analyse und Fazit

Aus dem umfangreichen Scoping von über 250 Quellen wurden für alle Handlungsfelder Bewertungen der Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen anhand von Ampelbewertungen vorgenommen. Dieses Scoping ist als breiter Überblick zu verstehen, im Detail ließe sich jedes Handlungsfeld weiter vertieft untersuchen. Dies war jedoch nicht Gegenstand des vorliegenden Arbeitspaketes.

In der Analyse der Handlungsfelder wurden zwei Haupthemmnisse für Ressourceneffizienz identifiziert. Erstens besteht häufig kein Preissignal, welches ressourceneffiziente Entscheidungen begünstigt: ressourcenintensive Gütern bzw. Praktiken sind häufig preisgünstiger, zum Beispiel, weil Umweltkosten der Extraktion, des Transports, der Herstellung (insbesondere auch Energie), aber auch der Umweltnutzen von Arbeit (bspw. bei Reparatur) in den Preisen nicht berücksichtigt sind und damit die falschen bzw. keine Signale für RE Entscheidungen geben werden. Zweitens hemmen häufig fehlende Informationen entlang der Wertschöpfungsketten die Begünstigung von und/oder Entscheidung für ressourceneffiziente Alternativen. Es ist zu erwähnen, dass Präferenzen nicht ausschließlich an Preisen ausgerichtet sind oder jeder Nutzen monetär bewertet werden kann. Produkte werden bspw. auch aus Gründen sozialen Differenzierung gekauft. Zur Begründung ökonomischer Instrumente stehen allerdings Hemmnisse im Vordergrund, die sich aus der Externalisierung von Umweltkosten ergeben.

Aus den betrachteten Handlungsfelder lässt sich schlussfolgern, dass sowohl technische Lösungen als auch RE Praktiken in vielen Bereichen bereits gut entwickelt sind, die Diffusion aber ungenügend. Für eine ambitionierte Ressourcenpolitik bedeutet dies, dass weniger eine angebotsseitige Innovationspolitik notwendig ist, als eine Politik welche die Nachfrage nach RE Alternativen in der Breite befördert. Auf diesem Weg setzten ökonomische Instrumente an zwei zentralen Punkten an: Suchprozesse werden initiiert, die Informationsdefizite abbauen helfen und Preissignale zu Gunsten von RE Produkten und Praktiken werden gestärkt.

Aus den betrachteten 18 Handlungsfeldern wurden durch die Priorisierung in Form der Ampeln, sowie in Zusammenarbeit mit den Auftraggebern folgende sechs Handlungsfelder zur weiteren Vertiefung ausgewählt (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 3: Priorisierung Handlungsfelder

	Potenziale	Hemmnisse	Maßnahmen	Begründung
Rohstoffgewinnung				
1. Bergbau in Deutschland	●	●	●	große Umweltwirkung, Kosten sehr hoch
2. Rohstoffgewinnung für Baustoffe in Deutschland	●	●	●	Potenziale v.a. im Recycling (vgl. HF15)
3. Bergbau im Ausland	●	●	●	hohe Potenziale, geringe Kosten, begrenzter Einfluss
4. Nutzung biotischer Rohstoffe und CO2 als Rohstoff	●	●	●	hohe Potenziale (Umweltwirkung), ökon. Hemmnisse zentral
RE Produktion				
5. Bereitstellung Informationen Wertschöpfungskette	●	●	●	Potenziale v.a. durch Reparatur (HF 10)
6. Betriebliches Ressourcenmanagement	●	●	●	gutes Kosten-Nutzen Verhältnis
7. RE Fertigungsverfahren	●	●	●	v.a. Innovationsförderung nötig
RE Produkte und Konsum				
8. RE in der Produktgestaltung	●	●	●	schwierig in der Umsetzung, aber hohe Potenziale
9. RE im Handel	●	●	●	eher geringe Potenziale und schwierige Umsetzbarkeit
10. Reparatur, Refurbishing und Gebrauchtwaren	●	●	●	hohe Potenziale, geringe Kosten
11. Sharing + Tauschen	●	●	●	ambivalente Umweltwirkungen, geringe Effektivität
RE KrW				
12. (Kunststoff)Verpackungen	●	●	●	mittlere Potenziale, hohe Hemmnisse, effektive Maßnahmen
13. Rücknahme & Rückgabe	●	●	●	hohe Potenziale v.a. Elektronik, fehlende Anreize
14. Phosphorrecycling und RE Verwendung	●	●	●	Verfügbare Technologie, Regelung über KlärschlammVO
RE Bauen				
15. RE Baustoffe (Recycling & alternative Baustoffe)	●	●	●	hohe Potenziale, geringe Kosten Sekundärmaterialien
16. Stadtplanung / Infrastrukturen	●	●	●	hohe Potenziale, geringe Bedeutung ökonomischer Hemmnisse
RE IKT				
17. Verlängerung Nutzungsdauer IKT	●	●	●	hohe Potenziale, fehlende Anreize, effektive Maßnahmen
Allgemein				
18. Zukunftstechnologie und -praktiken	●	●	●	Potenziale unklar, Hemmnisse insb. fehlende Anreize

Quelle: Eigene Darstellung

Für das Handlungsfeld 6 Betriebliches Ressourcenmanagement wurde insbesondere das positive Verhältnis der vergleichsweise geringen Kosten einer Einführung oder Förderung von Umweltmanagementsystemen und den damit erzielbaren ökologischen und ökonomischen Wirkungen als Priorisierungsgrund gewertet. Handlungsfeld 8 RE in der Produktgestaltung ist gekennzeichnet durch sehr hohe Potenziale und die Hemmnisse liegen deutlich im Bereich der Informationsdefizite und fehlenden ökonomischen Anreize. Auch wenn die Maßnahmen mit substanziellen Kosten verbunden sind und die Umsetzung voraussetzungsreich, wird eine Adressierung über politische Instrumente empfohlen. Gleichermaßen relevant ist das Handlungsfeld 10 Reparatur, Refurbishing, Gebrauchtwaren (ohne IKT), welches hohe Potenziale und eine ähnliche Hemmnis-Struktur wie Handlungsfeld 8 aufweist, aber bei der Umsetzbarkeit leichter zu bewerkstelligen sein dürfte. Handlungsfeld 8 RE in der Produktgestaltung ist gekennzeichnet durch hohe Potenziale, insbesondere bei ökonomischen Einsparungen in Kombination mit einer Entkopplung von negativen Umwelteffekten. Die Hemmnisse des HF 13 finden sich am stärksten bei fehlenden ökonomischen Anreizen, welche über Maßnahmen, besonders im Bereich Elektronik gehoben werden könnten. Die umfangreiche Land- und damit Ökosystemnutzung macht Handlungsfeld 15 Ressourceneffizienz im Bauwesen zu einem zentralen Ansatzpunkt der Ressourcenpolitik. Hier bestehen große Potenziale und das Haupthemmnis fehlender ökonomischer Anreize könnte vergleichsweise kostengünstig gehoben werden – insbesondere über die Nutzung von Sekundärmaterial. Das sechste priorisierte Handlungsfeld 17 Verlängerung der Nutzungsdauer IKT Geräte birgt große Potenziale zur Bedürfniseffizienz und damit zur Entkopplung von negativen Umweltwirkungen. Verschiedene Maßnahmen, wie bspw. auf Langlebigkeit ausgerichtete Produktdesign, stünden zur Verfügung, um diese Potenziale zu heben, werden aber vor allem durch fehlende ökonomische Anreize gehemmt.

Einige der Handlungsfelder wurden mit zwei positiven und einer neutralen Ampelbewertung priorisiert und andere mit entsprechender Ampelbewertung nicht. Dies liegt in den

Detailauswertungen der verfügbaren Literatur begründet sowie in den Rücksprachen mit den Auftraggebern.

Auf Grundlage dieser priorisierten Handlungsfelder werden im nächsten Arbeitspaket des Projekts Politikinstrumente erarbeitet, welche die Hemmnisse überwinden könnten. Diese sollen private Haushalte und Unternehmen unterstützen, die identifizierten Maßnahmen zu ergreifen, worüber die identifizierten Potenziale realisiert werden könnten.

Abschließend lässt sich festhalten, dass die gewählte Scoping-Methode sich als vorteilhaft erwiesen hat, um aus der Gesamtheit an denkbaren Handlungsansätzen für Politik lohnenswerte Ansatzpunkte herauszuarbeiten. Dabei ist zu betonen, dass im Rahmen der breiten Untersuchung keine tiefgreifenden Abschätzungen durchgeführt werden sollten und konnten. Die Näherungsweise über Potenziale, Hemmnisse und Maßnahmen hat sich als ertragreich erwiesen, systematisch Literatur zu untersuchen und Ansatzpunkte für Politikinstrumente herauszustellen. Des Öfteren wurde jedoch deutlich, dass eine klar getrennte Betrachtung der Potenziale, Maßnahmen und Hemmnisse von möglichen Politikinstrumenten teils nicht zu halten war.

6 Quellenverzeichnis

acatech (2013) Cyber-Physical Systems. Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion. Available at: www.acatech.de.

Angerer, G., Marscheider-Weidemann, F., Lüllmann, A., Erdmann, L., Scharp, M., Handke, V. and Marwede, M. (2009) Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Available at: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccn/2009/Schlussbericht_lang_20090515.pdf.

Aresta, M., Dibenedetto, A. and Angelini, A. (2013) 'The changing paradigm in CO2 utilization', *Journal of CO2 Utilization*. Elsevier, 3, pp. 65–73.

Armstrong, C. M., Niinimäki, K., Kujala, S., Karell, E. and Lang, C. (2015) 'Sustainable product-service systems for clothing: exploring consumer perceptions of consumption alternatives in Finland', *Journal of Cleaner production*. Elsevier, 97, pp. 30–39.

Arqum GmbH and Infratest dimap (2013) EMAS in Deutschland - Evaluierung 2012. Available at: www.emas.de.

Bakker, C., Wang, F., Huisman, J. and den Hollander, M. (2014) 'Products that go round: exploring product life extension through design', *Journal of Cleaner Production*, 69(214), pp. 10–16. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652614000419>.

Bardt, H. (2008) 'Entwicklungen und Nutzungskonkurrenz bei der Verwendung von Biomasse in Deutschland'. Available at: <http://dx.http://hdl.handle.net/10419/156944www.econstor.eu>.

Bau, K. (2017) Mineralische Bauabfälle Monitoring 2014. Edited by B. B.-S. und E. e. V. Berlin. Available at: https://www.baustoffindustrie.de/fileadmin/user_upload/bbs/Dateien/Downloadarchiv/Umwelt/Monitoring-2014.pdf.

Bauhus, J., Rock, J., Spellmann, H., Dieter, M., Friederike, L., Richter, K., Bolte, A., Rüter, S., Bösch, M. and Entenmann, S. (2017) 'Beiträge der Forst- und Holzwirtschaft zum Klimaschutz', *AFZ -Der Wald: Allgemeine Forstzeitschrift für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge*, (3), pp. 10–14.

Baumann, M., Haase, W., Eisenbarth, C., Freitag, C., Graf Rafael, R., Schmeer, D. and Sternberg, P. L. (2018) Leichtbau im Bauwesen. Stuttgart.

Baur, F. (2010) Effiziente Nutzung von Biomasse - Reststoffe, Nutzungskonkurrenz und Kaskadennutzung. Available at: http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2010-2/th2010_12_01.pdf.

BaWü (2016) Landestrategie Ressourceneffizienz Baden-Württemberg. Available at: https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/6_Wirtschaft/Ressourceneffizienz_und_Umwelttechnik/16030_1_Landestrategie_Ressourceneffizienz.pdf.

BBC (2016) 'Bauxite in Malaysia: The environmental cost of mining'. Available at: <https://www.bbc.com/news/world-asia-35340528>.

bbs (2016) bbs-Zahlenspiegel 2016. Struktur- und Konjunkturdaten der Baustoff-, Steine- und Erden-Industrie. Berlin. Available at: https://www.baustoffindustrie.de/fileadmin/user_upload/bbs/Dateien/Downloadarchiv/Konjunktur/2016-06-17_BBS_Zahlenspiegel_ONLINE.pdf.

BBSR (2016) Potenziale und Rahmenbedingungen von Dachaufstockungen und Dachausbauten. Available at: <http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2016/bbsr-online-08-2016-dl.pdf?blob=publicationFile&v=3>.

BCME (2017) Rekordjahr 2016: Mehr als 2,5 Milliarden konsumierte Getränkedosen in Deutschland. Available at: <http://www.bcme-deutschland.de/website/wp->

[content/uploads/2017/05/Metal-Packaging-Europe Getränkedose Absatzrekord 2016 - Deutschland 16.05.2017.pdf](#).

Bergmann, M., Tekman, M. B. and Gutow, L. (2017) 'Marine litter: Sea change for plastic pollution', *Nature*. Nature Publishing Group, 544(297). Available at: <https://www.nature.com/articles/544297a>.

Bergmann, T., Bleher, D. and Jenseits, W. (2015) Ressourceneffizienzpotenziale im Tiefbau. Edited by V. D. I. Z. Ressourceneffizienz. Öko-Institut e.V.

BGR (2007) 'Zertifizierte Handelsketten im Bereich mineralischer Rohstoffe'.

BGR (2013a) 'Certifying Natural Resources - a Comparative Study on Best Practice and Future Scenarios for the Certification of Trading Chains in Mineral Production'.

BGR (2013b) Phosphat Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit. Available at: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Zusammenarbeit/TechnZusammenarbeit/Politikberatung_SV_MER/Downloads/phosphat.pdf? blob=publicationFile&v=4.

BGR (2014) Rohstoffwirtschaftliche Steckbriefe Phosphat. Available at: http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/rohstoffsteckbrief_phosphat2014.pdf? blob=publicationFile&v=2.

BGR (2015) Deutschland - Rohstoffsituation 2014. Available at: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/Rohsit-2014.pdf? blob=publicationFile&v=3.

BGR (2016a) Deutschland - Rohstoffsituation 2015. Available at: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/Rohsit-2015.pdf;jsessionid=557BE3FC05A8056CC7AFED5D5BF2EE12.1_cid321? blob=publicationFile&v=3.

BGR (2016b) Sorgfaltspflicht in der Lieferkette mineralischer Rohstoffe aus Konfliktgebieten. Available at: https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/Vortrag_zertifizierung_lieferkette.pdf? blob=publicationFile&v=3.

Biengen, K., Kennedy, K., Kristof, K. and von Giebler, J. (2010) 'Spezifische Politikansätze zur Ressourceneffizienzsteigerung von IuK-Produkten'.

BIFA (2014) Materialeffizienz und versorgungskritische Materialien in der produzierenden Wirtschaft Bayerns. Available at: http://www.bifa.de/fileadmin/std_project/content_data/Publikationen/Weitere_Publikationen/Materialeffizienz_in_Bayern_Broschuere_bifa.pdf.

Bilsen, V. u. a. (2014) Cases of implementing resource efficient policies by the EU industry. Available at: www.ideaconsult.be.

Birtwistle, G. and Moore, C. M. (2007) 'Fashion clothing-where does it all end up?', *International Journal of Retail & Distribution Management*. Emerald Group Publishing Limited, 35(3), pp. 210-216.

BMBF (2018) Regionales Phosphor-Recycling, *Bekanntmachung*. Available at: <https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-1648.html>.

BMU (2015) Welchen Einfluss haben Gestaltung und Konzept auf die Ökobilanz von Produkten? | Umwelt im Unterricht: Materialien und Service für Lehrkräfte – BMUB-Bildungsservice | Umwelt im Unterricht. Available at: <https://www.umwelt-im-unterricht.de/hintergrund/welchen-einfluss-haben-gestaltung-und-konzept-auf-die-oekobilanz-von-produkten/>.

BMUB (2012) Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes). Programm zur nachhaltigen

Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Beschluss des Bundeskabinetts vom 29.2.2012. Edited by Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin. Available at:

https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/progress_broschuere_de_bf.pdf.

BMUB (2016) Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II (ProgRess). Available at:

http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/progress_ii_broschuere_bf.pdf.

BMWi (2010) Rohstoffstrategie der Bundesregierung. Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nicht-energetischen mineralischen Rohstoffen. Available at: www.bmwi.de.

Brandeins (2015) Kaffee in Zahlen. Hamburg. Available at: <https://kaffee.brandeins.de/>.

Brauweiler, J., Zenker-Hoffmann, A. and Will, M. (2015) Umweltmanagementsysteme nach ISO 14001, *Umweltmanagementsysteme nach ISO 14001*. Wiesbaden: Springer.

Brommer, D.-B. E., Manhart, D. G. A., Stratmann, D.-B. B. and Teufel, J. (2015) 'Bewertung ausgesuchter Warengruppen nach ökologischen und sozialen Kriterien für den Landschaftsverband Rheinland'. Available at:

http://www.lvr.de/media/wwwlvrde/derlvr/organisation/umweltengagement/dokumente_31/nachhaltigkeit_1/nachhaltigereinkauf_1/Labelgutachten_2015.pdf.

Buchert, M., Bulach, W., Degreif, S., Hermann, A., Hünecke, K., Mottschall, M., Schleicher, T., Stahl, H. and Ustohalova, V. (2017) Deutschland 2049 - Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft. Available at:

https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Abschlussbericht_D2049.pdf.

Buchert, M., Manhart, A., Bleher, D. and Pingel, D. (2012) Recycling kritischer Rohstoffe aus Elektronik-Altgeräten. Edited by U. und V. N.-W. Landesamt für Natur. Recklinghausen: LANUV. Available at: <http://docplayer.org/9798911-Recycling-kritischer-rohstoffe-aus-elektronik-altgeraeten-lanuv-fachbericht-38.html>.

BUND (no date) Sand- und Kiesabbau: Mit den Sandbänken sterben auch die Tiere. Available at: <https://www.bund.net/meere/belastungen/sand-und-kiesabbau/>.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2016) Deutschland – Rohstoffsituation 2016. Available at: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/rohsit-2016.pdf?__blob=publicationFile&v=4.

Bundesregierung (2016) 'Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung'.

Bundesverband Steine und Erden (2016) Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine- und Erden-Industrie bis 2035 in Deutschland. Edited by B. B.-S. und E. e. V. Berlin.

Carbon Trust (2011) 'International Carbon Flows - Clothing', pp. 1–16. Available at:

<http://www.carbontrust.co.uk/policy-legislation/international-carbon-flows/global-flows/pages/uk.aspx>.

Carus, M., Gahle, C., Pendarovski, C., Vogt, D., Ortmann, S., Grotenhermen, F., Breuer, T., Schmidt, C., Müssig, J. and Steger, J. (2008) 'Studie zur Markt- und Konkurrenzsituation bei Naturfasern und Naturfaser-Werkstoffen (Deutschland und EU)'.

Carus, M., Raschka, A., Fehrenbach, H., Rettenmaier, N., Dammer, L., Köppen, S., Thöne, M., Dobroschke, S., Diekmann, L., Hermann, A., Hennenberg, K., Essel, R., Stephan Piotrowski, A. D., Keller, H., Kauertz, B., Gärtner, S. and Reinhardt, J. (2014) Ökologische Innovationspolitik – Mehr Ressourceneffizienz und Klimaschutz durch nachhaltige stoffliche Nutzungen von Biomasse - Langfassung. UBA-Texte | 01/2014, Dessau-Roßlau. Available at: https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/Oekologische_Innovationspolitik_Langfassung_Deutsch.pdf.

Changing Markets, Wuppertal Institut and Rank a Brand (2016) die Vorteile einer Strategie zu weniger Ressourcenverbrauch in deutschen Supermärkten Cutting the Crap. Available at: www.rankabrand.de.

Cooper, D. and Gutowski, T. (2017) 'The environmental impacts of reuse: a review', *Journal of Industrial Ecology*. Wiley Online Library, 21(1), pp. 38–56.

Cooper, T. (2016) Longer Lasting Products Edited by Alternatives to the Throwaway Society.

Crönertz, O. (2016) 'ÖKOPROFIT - Umweltschutz mit Gewinn', in *Ethik im Mittelstand*.

Wiesbaden: Springer Gabler, pp. 301–316.

Defra (2009) Making the most of packaging. A strategy for a low-carbon economy. London. Available at: www.defra.gov.uk.

Defra (2011) The Future Benefits of Business Resource Efficiency. Available at: <http://randd.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=More&Location=None&Completed=2&ProjectID=16943>.

Dehoust, G., Jepsen, D., Knappe, F. and Wilts, H. (2013) 'Inhaltliche Umsetzung von Art. 29 der Richtlinie 2008/98/EG: wissenschaftlich-technische Grundlagen für ein bundesweites Abfallvermeidungsprogramm'. Available at: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/texte_38_2_013_abfallvermeidungsprogramm_krause_bf_0_0.pdf.

Deilmann, C., Krauß, N., Gruhler, K. and Reichenbach, J. (2014) Sensitivitätsstudie zum Kreislaufwirtschaftspotenzial im Hochbau, *Endbericht*. (Forschungsprogramm Zukunft Bau). Available at:

https://www.ioer.de/fileadmin/internet/IOER_Projekte/PDF/FB_E/Endbericht_REP.pdf.

Deloitte (2016) Study on socioeconomic impacts of increased reparability of increased reparability - EU Law and Publications. Available at: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/c6865b39-2628-11e6-86d0-01aa75ed71a1/language-en>.

Demaily, D. and Novel, A.-S. (2014) The sharing economy: make it sustainable. Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/0437/a9c58d75f6609b5ee60c5a5639fabfb86f.pdf>.

Destatis (2014a) Erwerbstätigkeit von Frauen in Deutschland deutlich über EU-Durchschnitt, *Pressemitteilung*. Available at:

https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2014/03/PD14_082_132pdf.pdf?__blob=publicationFile.

Destatis (2014b) Mehr als ein Drittel der Haushalte in Deutschland sind Singlehaushalte, *Pressemitteilung*. Available at:

https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2014/05/PD14_185_122.html.

Destatis (2018a) Abfallbilanz 2016. Wiesbaden T4 - (Abfallaufkommen/-verbleib, Abfallintensität, Abfallaufkommen nach Wirtschaftszweigen) U6 -

https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltstatistischeErhebungen/Abfallwirtschaft/AbfallbilanzXLSX_5321001.xlsx?__blob=publication.

Destatis (2018b) Publikation - Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Inlandsprodukt - VGR des Bundes - Input-Output-Rechnung - Statistisches Bundesamt (Destatis). Available at:

<https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/VolkswirtschaftlicheGesamtrechnungen/InputOutputRechnung/VGRInputOutputRechnung.html>.

Deutsche Umwelthilfe (2018) Bioplastik-Mythen und Fakten. Available at:

https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Kreislaufwirtschaft/Verpackungen/180220_DUH_Infopapier_Bioplastik_de_eng.pdf.

Deutschlandfunk (2016) 'Pfandsystem für Kaffeebecher in Freiburg - Schluss mit "Müll-to-

go"’, 22 November. Available at: https://www.deutschlandfunk.de/pfandsystem-fuer-kaffeebecher-in-freiburg-schluss-mit-muell.697.de.html?dram:article_id=372043.

Digitaleurope (2017) The contribution of the Digital Industry to repair, remanufacturing and refurbishment in a Circular Economy. Available at: http://www.digitaleurope.org/DesktopModules/Bring2mind/DMX/Download.aspx?Command=Core_Download&EntryId=2397&language=en-US&PortalId=0&TabId=353.

Dittrich, M., Kämper, C., Ludmann, S., Ewers, B., Giegrich, J., Sartorius, C., Hummen, T., Marscheider-Weidemann, F. and Schoer, K. (2018) Strukturelle und produktionstechnische Determinanten der Ressourceneffizienz: Untersuchung von Pfadabhängigkeiten, strukturellen Effekten und technischen Potenzialen auf die zukünftige Entwicklung der Rohstoff-produktivität (DeteRes). Available at: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-04-11_texte_29-2018_deteress.pdf.

Dose, N. and Reintjes, M. (2018) Die Zukunft der Kies- und Sandindustrie im Planungsbezirk Düsseldorf vor dem Hintergrund einer möglichen Fortschreibung des Regionalplans Düsseldorf. Available at: https://www.uni-due.de/imperia/md/content/soziologie/dose_risp_rohstoffverband.pdf.

Drechsler, K. and Kirmes, S. (2016) Ressourceneffizienz der Fügeverfahren. Available at: www.ressource-deutschland.de.

Dückert, E., Schäfer, L., Schneider, R. and Wahren, S. (2015) Analytische Untersuchung zur Ressourceneffizienz im verarbeitenden Gewerbe. Edited by V. D. I. Z. Ressourceneffizienz. Berlin. Available at: https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/studien/VDI-ZRE_Analytische_Untersuchung_zur_Ressourceneffizienz_im_verarbeitenden_Gewerbe.pdf.

Duflou, J. R., Sutherland, J. W., Dornfeld, D., Herrmann, C., Jeswiet, J., Kara, S., Hauschild, M. and Kellens, K. (2012) ‘Towards energy and resource efficient manufacturing: A processes and systems approach’, *CIRP Annals*. Elsevier, 61(2), pp. 587–609. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850612002016>.

DUH (2016) Weniger ist mehr: Ressourceneffizienz im europäischen Drogeriehandel. Available at: http://www.duh.de/uploads/media/160805_Deutsche_Umwelthilfe_Ressourceneffizienz_im_europäischen_Drogeriehandel_01.pdf

DUH (2017) Schluss mit dem Müll: Ressourcenschutz in Supermärkten und Drogerien. Available at: http://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Kreislaufwirtschaft/Verpackungen/170413_DUH_Hintergrundpapier_Ressourcenschutz_in_Supermaerkten_und_Drogerien.pdf.

Duvall, L., McIntyre, K. and Opsomer, T. (2016) EMPOWERING REPAIR. Available at: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/ce100/Empowering-Repair-Co-Project.pdf>.

Eco-Innovation Observatory (2011) The Eco-Innovation Challenge; Pathways to a resource efficient Europe. Available at: http://www.eco-innovation.eu/media/ECO_report_2011.pdf.

Ecoprog (2017) ‘Großer Bedarf in der Monoverbrennung von Klärschlamm’, *RECYCLING magazin*, 17 May. Available at: <https://www.recyclingmagazin.de/2017/05/17/grosser-bedarf-in-der-monoverbrennung-von-klaerschlamm/>.

Ekins, P., Hughes, N., Brigenzu, S., Arden Clark, C., Fischer-Kowalski, M., Graedel, T., Hajer, M., Hashimoto, S., Hatfield-Dodds, S. and Havlik, P. (2016) ‘Resource efficiency: Potential and economic implications’. Report of the International Resource Panel, United Nations Environment Program (UNEP), Paris. Available at:

https://www.resourcepanel.org/sites/default/files/documents/document/media/resource_efficiency_report_march_2017_web_res.pdf.

Elsner, H. (2016) Salze in Deutschland. Available at:
https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/studie_salz_2016.pdf?blob=publicationFile&v=10.

Engelmann, T., Liedtke, C., Rohn, H. and Bowry, J. (2013) 'Nachhaltiges Wirtschaften im Mittelstand : Möglichkeiten zur Steigerung der Ressourceneffizienz in kleinen und mittleren Unternehmen', *WISO Diskurs*. Available at: <http://library.fes.de/pdf-files/wiso/10079.pdf>.

Erhardt, R. and Pastewski, N. (2010) 'Relevanz der Ressourceneffizienz für Unternehmen des produzierenden Gewerbes', *Stuttgart*, pp. 17–18.

Europäische Kommission (2013) The opportunities to business of improving resource efficiency. Available at:
http://ec.europa.eu/environment/enveco/resource_efficiency/pdf/report_opportunities.pdf.

Europäisches Parlament (2017) BERICHT über das Thema „Längere Lebensdauer für Produkte: Vorteile für Verbraucher und Unternehmen“. Available at:
<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONSGML+REPORT+A8-2017-0214+0+DOC+PDF+V0//DE>.

Eurostat (2016) 'Environmental protection expenditure - % of output'.

Fischer-Kowalski, M., von Weizsäcker, E. U., Ren, Y., Moriguchi, Y., Crane, W., Krausmann, F., Eisenmenger, N., Giljum, S., Hennicke, P., Kemp, R., Romoreo Lankao, P. and Manalang, A. B. S. (2011) Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth. A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel. Paris.

Fischhaber, S., Regett, A., Schuster, S. and Hesse, H. (2016) Second-Life-Konzepte für Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen.

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (2014) Leichtbau - Trends und Zukunftsmärkte und deren Bedeutung für Baden-Württemberg. Available at:
https://www.leichtbau-bw.de/fileadmin/user_upload/PDF/RZ_LeichtbauBW_Studie_Trends_Zukunftsmarkte_Web.pdf.

Fraunhofer ISI (2018) 'Erhebung Modernisierung der Produktion 2012'.

Frey, C. (2010) Der Anorak, der eine Plastikflasche war. Available at:
<http://www.ulrikemayer.de/files/stilkolumne2010-01-11.pdf>.

Fröhling, M., Schwaderer, F., Bartusch, H. and Schultmann, F. (2013) 'A Material Flow-based Approach to Enhance Resource Efficiency in Production and Recycling Networks', *Journal of Industrial Ecology*. Wiley/Blackwell (10.1111), 17(1), pp. 5–19. Available at:
<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1530-9290.2012.00502.x>.

Gandenberger, C., Hermann, A., Rüttinger, L. and Scholl, C. (2017) Entwicklung von Politikempfehlungen für die Weiterentwicklung und Ausgestaltung von strategischen Ansätzen einer nachhaltigen und effizienten Rohstoffgewinnung und -nutzung. Edited by F.-I. für S. I. ISI. Öko-Institut e.V. Available at:
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-11-03_texte_98-2017_rohpolress.pdf.

Gehring, F., Albrecht, S., Homolka, S., Leistner, P., Thome, V. and Seifert, S. (2015) 'Aus Altbeton wird Beton - ein innovativer Recyclingansatz', *Bauphysik*, 37(5), pp. 296–300.

Geyer, R. and Doctori Blass, V. (2010) 'The economics of cell phone reuse and recycling', *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47(5–8), pp. 515–525.

Giegrich, J., Liebich, A., Lauwigi, C. and Reinhardt, J. (2012) Indikatoren / Kennzahlen für den Rohstoffverbrauch im Rahmen der Nachhaltigkeitsdiskussion. Edited by Umweltbundesamt.

1/2012. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau: ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH.

Goldmann, D. (2010) 'Recycling als Beitrag zur Rohstoffsicherung - neue strukturelle und technologische Herausforderungen', *Chemie Ingenieur Technik*, 82(11), pp. 1851–1860. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/cite.201000109>.

Görlach, S. and Zvezdov, D. (2010) 'Ressourceneffizienz in der Praxis: Zur Anreizsituation aus Sicht von Unternehmen und Intermediären', *uwf UmweltWirtschaftsForum*. Springer, 18(3–4), pp. 189–195.

Graaf, L., Werland, S. and Jacob, K. (2015) Nexus Ressourceneffizienz und Wasser Eine Analyse der Wechselwirkungen. Berlin. Available at: https://refubium.fu-berlin.de/bitstream/handle/fub188/19966/Nexus_RE-Wasser.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Graede, T. E., Harper, E. M., Nassar, N. T. and Reck, B. K. (2013) 'On the materials basis of modern society', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. Available at: <http://www.pnas.org/content/early/2013/11/27/1312752110.full.pdf+html>.

Graulich, K., Brunn, C., Prieß, R., Quack, D., Scherf, C.-S. and Wolff, F. (2017) Ökologisches Design als Qualitätskriterium in Unternehmen stärken. Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/oekologisches-design-als-qualitaetskriterium-in>.

Greenovate!Europe (2012) Guide to resource efficiency in manufacturing. Experience from improving resource efficiency in manufacturing companies. Available at: https://greenovate-europe.eu/wp-content/uploads/2020/06/Guide-to-resource-efficient-manufacturing_Remake.pdf

Greenpeace (2014) Timeout for Fast Fashion. Available at: <https://www.greenpeace.org/archive-international/Global/international/briefings/toxics/2016/Fact-Sheet-Timeout-for-fast-fashion.pdf>.

Greenpeace (2015) Wegwerfware Kleidung | Greenpeace Zusammenfassung der Ergebnisse einer repräsentativen Greenpeace-Umfrage zu Kaufverhalten, Tragedauer und der Entsorgung von Mode. Available at: <https://www.greenpeace.de/presse/publikationen/wegwerfware-kleidung>.

Greenpeace (2017a) 10 Jahre Smartphone Die globalen Umweltfolgen von 7 Milliarden Mobiltelefonen. Available at: https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/s01981_greenpeace_report_10_jahre_smartphone.pdf.

Greenpeace (2017b) Konsumkollaps durch Fast Fashion. Available at: https://greenwire.greenpeace.de/system/files/2019-04/s01951_greenpeace_report_konsumkollaps_fast_fashion.pdf.

Gröger, J., Quack, D., Grieshammer, R. and Gattermann, M. (2013) 'TOP 100–Umweltzeichen für klimarelevante Produkte', *Endbericht, Freiburg*.

GVM (2017) Verbrauch von Papier/Pappe/Kartonagen-Verpackungen im Distanzhandel. Available at: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/8_abb_verbrauch_ppk-verpack-versandhandel_2017-10-19.png.

Hafner, A., Rüter, S., Ebert, S., Schäfer, S., König, H., Cristofaro, L. de, Diederichs, S. and Kleinhenz, M. (2017) Treibhausgasbilanzierung von Holzgebäuden. Bochum: Ruhr-Universität.

Hagelüken, C. (2014) 'Technologiemetalle – Systemische Voraussetzungen entlang der Recyclingkette', in *Strategische Rohstoffe — Risikovorsorge*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 161–172. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-39704->

2.11.

Hauschild, M., Jeswiet, J. and Alting, L. (2005) 'From life cycle assessment to sustainable production: status and perspectives', *CIRP Annals-Manufacturing Technology*. Elsevier, 54(2), pp. 1–21.

Hauschild, M., Wenzel, H. and Alting, L. (1999) 'Life Cycle Design—a Route to the Sustainable Industrial Cultur?', *CIRP Annals-Manufacturing Technology*. Elsevier, 48(1), pp. 393–396.

Haws, K. L., Naylor, R. W., Coulter, R. A. and Bearden, W. O. (2012) 'Keeping it all without being buried alive', *Journal of Consumer Psychology*, 22(2), pp. 224–236.

HDE (2015) Branchenreport Einzelhandel Der Handel als Wirtschaftsfaktor 1 6 %. Available at: https://www.einzelhandel.de/images/publikationen/Branchenreport-Wirtschaftsfaktor-Handel_2016.pdf.

HDE (2018) Handelsverband Deutschland (HDE) - Umsatzentwicklung im Einzelhandel. Available at: <https://www.einzelhandel.de/presse/zahlenfaktengrafiken/1022-konjunktur/1892-umsatzentwicklungimeinzelhandel>.

Hermeling, C. and Wölfing, N. (2011) *Energiepolitische Aspekte der Bioenergienutzung: Nutzungskonkurrenz, Klimaschutz, politische Förderung*. Mannheim. Available at: <http://bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Studien/energiepolitische-aspekte-bioenergienutzung-endbericht.property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>.

Hillebrand, E. (2016) *Branchenanalyse Rohstoffindustrie*. Available at: https://www.boeckler.de/pdf/p_study_hbs_315.pdf.

hna.de (2018) 'K+S: Abdeckung der Kali-Abraum-Halden im Werratal dauert bis 2075', 6 February. Available at: <https://www.hna.de/lokales/rotenburg-bebra/k-s-abdeckung-kali-abraum-halden-im-werratal-dauert-bis-2075-9587949.html>.

Holzbau Deutschland (2018) Lagebericht 2018. Available at: https://www.holzbau-deutschland.de/fileadmin/user_upload/eingebundene_Downloads/Lagebericht_2018.pdf.

Hopfenbeck, W. and Jasch, C. (1995) *Öko-Design: umweltorientierte Produktpolitik*. Verlag Moderne Industrie.

Houe, R. and Grabot, B. (2009) 'Assessing the compliance of a product with an eco-label: From standards to constraints', *International Journal of Production Economics*. Elsevier, 121(1), pp. 21–38.

Hoxha, E. and Jusselme, T. (2017) 'On the necessity of improving the environmental impacts of furniture and appliances in net-zero energy buildings', *Science of The Total Environment*. Elsevier, 596, pp. 405–416.

Institute for Bioplastics and Biocomposites (2016) *Biopolymers facts and statistics*. Available at: https://www.ifbb-hannover.de/files/IfBB/downloads/faltblaetter_broschueren/Biopolymers-Facts-Statistics_2016.pdf.

Jacob, K. and Schulze, F. (2015) 'Eine Umlage für CO₂-basierte Chemiegrundstoffe: Ausgestaltung eines Förderinstruments zur Substitution von Erdöl durch Kohlendioxid-Nutzung-Förderung von CO₂-basierten Chemiegrundstoffen'. Available at: <https://refubium.fu-berlin.de/bitstream/handle/fub188/19755/KAx24xCO2Umlage.pdf?sequence=1>.

Jahn, G. and Spachtholz, F. X. (2017) *Rekultivierung von Kalirückstandshalden unter Verwendung mineralischer Abfälle in Niedersachsen Deponien Rekultivierung von Kalirückstandshalden unter Verwendung mineralischer Abfälle in Niedersachsen*. Available at: <http://www.ks-entsorgung.com/de/data/pdf/rekultivierung-von-Kalirueckstandshalden.pdf>.

James, K. (2011) 'A methodology for quantifying the environmental and economic impacts of re-use', *Final report for the WRAP's project SAP134*. Available on-line at: <http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Final%20Reuse%20Method.pdf> (Accessed 3.12.

2014).

Kachler, T. V. (2013) Erfolgreiches Management grüner Entwicklungsprojekte. Springer-Verlag.

Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J., Hellinger, A., Stumpf, M. A. V., Treugut, L., Blasco, J. and Galloway, H. (2013) Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Available at: https://www.bmbf.de/files/Umsetzungsempfehlungen_Industrie4_0.pdf.

Kaiser, O. S., Krauss, O., Seitz, H. and Kirmes, S. (2016) Ressourceneffizienz im Leichtbau. Available at: https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/kurzanalysen/Kurzanalyse_17_Ressourceneffizienz_im_Leichtbau.pdf.

Kara, S., Manmek, S., Kaebnick, H. and Ibbotson, S. (2008) 'Assessment of products for optimal lifetime', *CIRP Annals-Manufacturing Technology*. Elsevier, 57(1), pp. 1–4.

Keenan (2014) 'International Institutions and the Resource Curse', *Penn State Journal of Law & International Affairs*, Volume 3(Issue I 3:1).

Kerkow, U., Martens, J. and Müller, A. (2012) 'Vom Erz zum Auto - Abbaubedingungen und Lieferketten im Rohstoffsektor und die Verantwortung der deutschen Automobilindustrie'.

Kickler, K. and Franken, G. (2017) Sustainability Schemes for Mineral Resources: A Comparative Overview. Available at: https://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/Sustainability_Schemes_for_Mineral_Resources.pdf?blob=publicationFile&v=6.

Konrad, W. and Scheer, D. (2014) 'Grenzen und Möglichkeiten der Verbraucher-information durch Produktkennzeichnung'. Download vom.

Kralisch, D. and Weyell, P. (2015) Ressourceneffizienz im Maschinen- und Anlagenbau – Potenziale der Miniaturisierung. Available at: https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/kurzanalysen/VDI-ZRE_Kurzanalyse-14_Miniaturisierung.pdf.

Kristof, K. and Hennicke, P. (2010a) 'Endbericht des Projekts "Materialeffizienz und Ressourcenschonung"', p. 391. Available at: <http://ressourcen.wupperinst.org/downloads/index.html>.

Kristof, K. and Hennicke, P. (2010b) Final Report on the Material Efficiency and Resource Conservation (MaRess) Project.

Krüger, O. and Adsam, C. (2014) Monitoring von Klärschlammmonverbrennungsaschen hinsichtlich ihrer Zusammensetzung zur Ermittlung ihrer Rohstoffrückgewinnungspotentiale und zur Erstellung von Referenzmaterial für die Überwachungsanalytik. Dessau-Roßlau. Available at:

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_49_2015_monitoring_von_klaerschlammverbrennungsaschen.pdf.

Krupp, R. (2011) Alternative Produktions-, Aufbereitungs- und Entsorgungsverfahren im Thüringisch-Hessischen Kalirevier. Available at: https://www.die-linke-thl.de/fileadmin/lv/dokumente/presse/sonstiges/Krupp_Gutachten_nachhaltiger_Kalibergbau.pdf.

Laakso, S. and Lettenmeier, M. (2016) 'Household-level transition methodology towards sustainability material footprints', *Journal of Cleaner Production*, 132(20). Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615002267>.

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.

- Lu, J. J. and Hamouda, H. (2014) 'Current status of fiber waste recycling and its future', in *Advanced Materials Research*. Trans Tech Publ, pp. 122–131.
- Ludwig, G., Purkus Nadine, A. and Gawel, E. (2017) 'Bauen mit Holz als Beitrag zum Klima- und Ressourcenschutz', *Die öffentliche Verwaltung*, (23), pp. 985–996.
- Lukas, M. (2015) 'Suffiziente Haushalte - Illusion oder Möglichkeit?', *NachhaltigkeitsManagementForum*, 23(1-2). Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00550-015-0348-5>.
- acdowell, N., Florin, N., Buchard, A., Hallett, J., Galindo, A., Jackson, G., Adjiman, C. S., Williams, C. K., Shah, N. and Fennell, P. (2010) 'An overview of CO2 capture technologies', *The Royal Society of Chemistry*. Available at: www.rsc.org/ees.
- Marscheider-Weidemann, F., Langkau, S., Hummen, T., Erdmann, L. and Espinoza, L. (2016) 'Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2016', *DERA Rohstoffinformationen*, (28), p. 353. Available at: www.deutsche-rohstoffagentur.de.
- Mathieux, F., Ardente, F., Bobba, S., Nuss, P., Blengini, G. A., Dias, P. A., Blagoeva, D., Torres De Matos, C., Wittmer, D., Pavel, C., Hamor, T., Saveyn, H., Gawlik, B., Orveillon, G., Huygens, D., Garbarino, E., Tzimas, E., Bouraoui, F. and Solar, S. (2017) Critical raw materials and the circular economy. Available at: http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC108710/jrc108710-pdf-21-12-2017_final.pdf.
- McAfee, A., Sjoman, A. and Dessain, V. (2004) Zara: IT for Fast Fashion.
- McKeiver, C. and Gadenne, D. (2005) 'Environmental Management Systems in Small and Medium Businesses', *International Small Business Journal*, Vol 23(Issue 5), p. S-513-537.
- McKinsey & Company (2016) Style that's sustainable: A new fast-fashion formula | McKinsey & Company. Available at: <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability-and-resource-productivity/our-insights/style-thats-sustainable-a-new-fast-fashion-formula?cid=sustainability-eml-alt-mip-mck-oth-1610>.
- Meyer, M. (2015) 'Simulationsergebnisse: Entwicklung der Rohstoffnutzung in Deutschland unter verschiedenen Rahmenbedingungen sowie Betrachtung der ökonomischen und ökologischen Effekte ausgewählter Handlungsansätze'. Available at: http://www.diss.fu-berlin.de/docs/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDOCs_derivate_00000005888/Arbeitspapier_3.4_Simulationsergebnisse.pdf.
- Milbradt, F. (2015) Deutschlandkarte: Repair-Cafés | ZEITmagazin. Available at: <https://www.zeit.de/zeit-magazin/2015/21/repair-cafe-selbsthilfewerkstatt-deutschlandkarte>.
- Milieu and RPA (2009) Study on the Costs and Benefits of EMAS to Registered Organisations. Available at: <http://www.rpaltd.co.uk>.
- MIRO (2019) Gesteinsperspektiven 6/2019.
- Münch, L. and Jacob, K. (2014) Ressourcenrelevante Subventionen - Ein Überblick. Berlin. Available at: https://refubium.fu-berlin.de/bitstream/handle/fub188/20022/PolRessxAP2_Kurzanalysex6-RessourcenrelevantexSubventionen_ffu.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Neeraj, Bhanot, S.G., P. Venkateswara, R. and Deshmukh (2017) 'An integrated approach for analysing the enablers and barriers of sustainable manufacturing', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier, 142, pp. 4412–4439. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616319758?via%3Dihub>.
- Neubauer, A. (2018) 'Neue Regeln und Bestimmungen', *ReSource*, (3), pp. 28–34.
- Neuhoff, K., Ancygier, A., Ponsard, J.-P., Quirion, P., Sabio, N., Sartor, O., Sato, M. and Schopp, A. (2015) Modernization and innovation in the materials sector.

Neuhoff, K., Chiappinelli, O., Baron, R., Barrett, J., Bukowski, M., Duscha, V., Fleiter, T., Haussner, M., Ismer, R., Kok, R., Nemt, G. F., Pollitt, H., Richstein, J., Vakhitova, T., Wyns, T. and Zetterberg, L. (2017) Innovation an use policies requires to realize investment and emission reductions in the materials sector.

NMUK (2011) Abschlussbericht des Arbeitskreises „Energie- und Ressourceneffizienz“. Edited by N. M. für U. und Klimaschutz. Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz. Available at: http://www.mu.niedersachsen.de/download/62956/Abschlussbericht_Energie-und_Ressourceneffizienz_Dez._2011_.pdf.

Ny, H., Hallstedt, S., Robèrt, K. and Broman, G. (2008) 'Introducing templates for sustainable product development', *Journal of Industrial Ecology*. Wiley Online Library, 12(4), pp. 600–623.

OECD (2005) Environmental Performance Reviews - Chile. Available at: <http://www.oecd.org/env/country-reviews/environmentalperformancereviewschile2005-oecdpraiseschileenvironmentalprogressbut.htm>.

Oertel, D. (2007) Industrielle stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Available at: <https://www.tab-beim-bundestag.de/de/pdf/publikationen/berichte/TAB-Arbeitsbericht-ab114.pdf>.

Öko-Institut (2017) Strategien für die nachhaltige Rohstoffversorgung der Elektromobilität. Synthesepapier zum Rohstoffbedarf für Batterien und Brennstoffzellen. Available at: www.agora-verkehrswende.de.

ÖKO-TEST (2014) 15 Kaffeekapseln im Test. Available at: https://www.oekotest.de/essen-trinken/15-Kaffeekapseln-im-Test_104980_1.html.

Onlinehändler News (2018) Burberry will unverkaufte Ware nicht mehr verbrennen. Available at: <https://www.onlinehaendler-news.de/e-commerce-trends/internationales/32382-burberry-unverkaufte-ware-nicht-mehr-verbrennen>.

Ovchinnikov, A., Blass, V. and Raz, G. (2014) 'Economic and environmental assessment of remanufacturing strategies for product+ service firms', *Production and Operations Management*. Wiley Online Library, 23(5), pp. 744–761.

Parajuly, K. and Wenzel, H. (2017) 'Potential for circular economy in household WEEE management', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier, 151, pp. 272–285.

Patagonia (2018) Patagonia Men's P-6 Logo Responsibili-Tee®. Available at: http://eu.patagonia.com/de/de/product/mens-p-6-logo-responsibili-tee/39174.html?dwvar_39174_color=PTPL&cgid=root#q=P-6%2BLogo%2BResponsibili-Tee&lang=de_DE&start=1.

Plass, C. (2015) Industrie 4.0 als Chance begreifen. Available at: https://www.unity.de/fileadmin/Insights/OPPORTUNITY/OPPORTUNITY_Industrie_4.0_als_Chance_begreifen.pdf.

Plouffe, S., Lanoie, P., Berneman, C. and Vernier, M.-F. (2011) 'Economic benefits tied to ecodesign', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier, 19(6–7), pp. 573–579.

POLFREE (2014) Business barriers to the uptake of resource efficiency measures. Available at: https://www.researchgate.net/publication/263372688_Business_barriers_to_the_uptake_of_resource_efficiency_measures.

Ponitka, J., Lenz, V. and Thrän, D. (2011) Energetische Holznutzung. Aktuelle Entwicklungen vor dem Hintergrund von Klima- und Ressourcenschutz, *Forschungsreport 1/2011*. Forschungsreport 1/2011. Leipzig.

Prakash, S., Dehoust, G., Gsell, M., Schleicher, T. and Stamminger, R. (2016a) Einfluss der Nutzungsdauer von Produkten auf ihre Umweltwirkung: Schaffung einer Informationsgrundlage und Entwicklung von Strategien gegen "Obsoleszenz, *Dessau-Roßlau: UBA Texte*. Available at: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_11_2

016 einfluss der nutzungsdauer von produkten obsoleszenz.pdf.

Prakash, S., Dehoust, G., Gsell, M., Schleicher, T. and Stamminger, R. (2016b) 'Einfluss der Nutzungsdauer von Produkten auf ihre Umweltwirkung: Schaffung einer Informationsgrundlage und Entwicklung von Strategien gegen „Obsoleszenz“', *Dessau-Roßlau: UBA Texte*, 11, p. 2016.

Rauche, H. (2015) Die Kaliindustrie im 21. Jahrhundert. Stand der Technik bei der Rohstoffgewinnung und der Rohstoffaufbereitung sowie bei der Entsorgung der dabei anfallenden Rückstände. Springer-V. Berlin, Heidelberg. Available at: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-662-46834-0.pdf>.

Repair Cafe (2017) Ein Repair Café besuchen - Repair Café (DE). Available at: <https://repaircafe.org/de/besuchen/>.

REWE (2017) REWE Group ersetzt Plastikverpackungen bei Obst & Gemüse durch Laser-Logo. Available at: <https://www.rewe-group.com/de/newsroom/pressemitteilungen/1577-rewe-group-ersetzt-plastikverpackungen-bei-obst-und-gemuese-durch-laser-logo>.

Ries, G. (2001) Umweltkompetenzen und Wissensmanagement für eine proaktive Produktentwicklung: Konzepte und Fallstudie in einem Grossunternehmen im Bausektor. vdf Hochschulverlag AG.

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., Wit, C. A. de, Hughes, T., Leeuw, S. van der, Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R. W., Fabry, V. J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. and Foley, J. A. (2009) 'A safe operating space for humanity', *Nature*, 461, pp. 472–475.

RReuse (2015) Briefing on job creation potential in the re-use sector. Available at: <http://www.rreuse.org/wp-content/uploads/Final-briefing-on-reuse-jobs-website-2.pdf>.

Runder Tisch Reparatur (2015) Stärkung der Reparatur: Senkung des Ressourcenverbrauchs und lokale Wirtschaftsförderung. Forderungen und Diskussionspapier des Runden Tisches Reparatur. Available at: https://runder-tisch-reparatur.de/wp-content/uploads/2015/11/Positionspapier_RunderTisch.pdf.

Sabbaghi, M., Esmaeilian, B., Raihanian Mashhadi, A., Behdad, S. and Cade, W. (2015) 'An investigation of used electronics return flows', *Waste management*, 36, pp. 305–315.

Sander, K., Marscheder-Weidemann, F., Wilts, H., Hobohm, J., Hartfeil, T., Schöps, D. and Heymann, R. (2019) Abfallwirtschaftliche Produkverantwortung unter Ressourcenschutzaspekten (RePro), *Texte*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Sander, K. and Schilling, S. (2010) Optimierung der Steuerung und Kontrolle grenzüberschreitender Stoffströme bei Elektroaltgeräten / Elektroschrott. 11/2010. Dessau-Roßlau.

Sauer, P. and Seuring, S. (2017) Sustainable supply chain management for minerals.

Saulich, K. (2016) Ressourceneffizienz biobasierter Materialien im verarbeitenden Gewerbe. Available at: https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/kurzanalysen/2016-Kurzanalyse-VDI-ZRE-15_Biobasierte-Rohstoffe_Webversion_mit_Links_01.pdf.

Schiller, G. (2010) Kostenbewertung der Anpassung zentraler Abwasserentsorgungssysteme bei Bevölkerungsrückgang. Leibnitz Institut für ökologische Raumentwicklung: IÖR Schriften Band 51.

Schiller, G., Deilmann, C., Gruhler, K. and Röhm, P. (2010) Ermittlung von Ressourcenschonungspotenzialen bei der Verwertung von Bauabfällen und Erarbeitung von Empfehlungen zu deren Nutzung. 56/2010. Dessau-Roßlau. Available at: <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4040.pdf>.

- Schiller, G., Ortlepp, R., Krauß, N., Steger, S., Schütz, H., Acosta Fernández, J., Reichenbach, J., Wagner, J., Baumann, J., Norbert, K., Sören, S., Helmut, S., Fernández, J. A., Jan, R., Jörg, W. and Janett, B. (2015) Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft. Dessau-Roßlau. Available at: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_83_2015_kartierung_des_anthropogenen_lagers.pdf.
- Schimmelpfeng, L. and Lück, P. (2013) Ökologische Produktgestaltung: Stoffstromanalysen und Ökobilanzen als Instrumente der Beurteilung. Springer-Verlag.
- Schmidt, M. and Schneider, M. (2010) 'Kosteneinsparungen durch Ressourceneffizienz in produzierenden Unternehmen', *uwf UmweltWirtschaftsForum*. Springer, 18(3-4), pp. 153-164.
- Scholl, G., Gossen, M., Grubbe, M. and Brumbauer, T. (2013) Alternative Nutzungskonzepte – Sharing, Leasing und Wiederverwendung. Vertiefungsanalyse 1 im Projekt Ressourcenpolitik: Analyse der ressourcenpolitischen Debatte und Entwicklung von Politikoptionen (PoLRes). Available at: http://edocs.fu-berlin.de/docs/servlets/MCRFileNodeServlet/FUODOCS_derivate_00000003550/PoLRes_AP2-Vertiefungsanalyse_alternativexNutzungskonzepte_FINAL.pdf.
- Scholl, G. and Herr, J. (2014) 'Nachhaltigkeit und Ressourcenschutz in Handelsunternehmen', Available at: https://www.ioew.de/publikation/nachhaltigkeit_und_ressourcenschutz_in_handelsunternehmen.
- Schröder, A. (2016) 'Projekt „Second-Life-Battery“ - Altbatterien - zu wertvoll für die Tonne', *Deutschlandfunk*, 22 September. Available at: https://www.deutschlandfunk.de/projekt-second-life-battery-altbatterien-zu-wertvoll-fuer.697.de.html?dram:article_id=366553.
- Schröter, M., Lerch, C. and Jäger, A. (2011) Materialeffizienz in der Produktion: Einsparpotenziale und Verbreitung von Konzepten zur Materialeinsparung im Verarbeitenden Gewerbe. Karlsruhe. Available at: <http://www.demea.de/service/publikationen/20111207endberichtmaterialeffizienzinderproduktion.pdf>.
- Schüler, K. (2017) Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2015. Dessau-Roßlau. Available at: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-11-29_texte_106-2017_verpackungsabfaelle-2015.pdf.
- Shahbazi, S. (2015) 'Material efficiency management in manufacturing'. Mälardalen University.
- Speck, M. (2016) Konsum und Suffizienz. Eine empirische Untersuchung privater Haushalte in Deutschland. Wiesbaden: Springer VS.
- SRU (2012) Umweltgutachten 2012: Verantwortung in einer begrenzten Welt. Sachverständigenrat für Umweltfragen.
- Statista (2016) Filialdichte im Lebensmitteleinzelhandel in Europa nach Ländern 2015 | Statistik. Available at: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/199419/umfrage/anzahl-der-filialen-im-lebensmitteleinhandel-in-europa/>.
- Statistisches Bundesamt (2003) 'IKT in Deutschland'. Available at: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/EinkommenKonsumLebensbedingung/en/Querschnitt/Informationsgesellschaft1030701039004.pdf?__blob=publicationFile.
- Statistisches Bundesamt (2008) Pro-Kopf-Verbrauch von Getränken am Tag in Deutschland nach Art. Available at: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/76145/umfrage/getraenke---pro-kopf-verbrauch-in-litern-am-tag-in-deutschland/>.
- Stieß, I., Birzle-Harder, B. and Schietinger, E. (2013) 'Der Blaue Engel – ein Klassiker mit Potenzial', *Eine Empirische Studie zu Verbraucherakzeptanz und Marktdurchdringung des*

Umweltzeichens; Institute for Social-Ecological Research: Frankfurt am Main, Germany.

Studierendenwerk Berlin (2018) Unsere Philosophie: Coffee ToStay. Available at: <https://www.stw.berlin/mensen/themen/coffee-to-stay.html>.

SumOfUs (2016) Cutting the Crap: die Vorteile einer Strategie zu weniger Ressourcenverbrauch in deutschen Supermärkten. Available at: <https://s3.amazonaws.com/s3.sumofus.org/images/CUTTING-THE-CRAP-DEUTSCH.pdf>.

Supermarktmacht (2017) Supermarktmacht - Den Missbrauch von Einkaufsmacht aufdecken und begrenzen. Available at: <http://www.supermarktmacht.de/>.

Tagesspiegel (2014) 'Testkauf bei "Original unverpackt" in Kreuzberg: Kein Kleckern, kein Fleisch und jede Menge Müsli', 25 September. Available at: <https://www.tagesspiegel.de/berlin/bezirke/friedrichshain-kreuzberg/testkauf-bei-original-unverpackt-in-kreuzberg-kein-kleckern-kein-fleisch-und-jede-menge-muesli/10732530.html>.

Thiede, S., Posselt, G. and Herrmann, C. (2013) 'SME appropriate concept for continuously improving the energy and resource efficiency in manufacturing companies', *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. Elsevier, 6(3), pp. 204–211. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1755581713000084>.

Thielen, M. (2013) Biokunststoffe - Pflanzen, Rohstoffe, Produkte. Available at: <https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/b/r/brosch.biokunststoffe-web-v01.pdf>.

Thielmann, A., Meister, M., Sauer, A., Lerch, C., Jäger, A., Zanker, C., Wich, Y., Ardilio, A., Keckl, C., Kuppinger, J., Henning, F., Schneider, M., Birenbaum, C., Stroka, M., Fleischer, J., Lanza, G., Baumann, F., Kopf, R., Krämer, A. and Wagner, H. (2014) Leichtbau - Trends und Zukunftsmärkte und deren Bedeutung für Baden-Württemberg. Stuttgart: Leichtbau BW GmbH. Available at: <http://fachliteratur.isi.fraunhofer.de/isipubl-intern/LeichtbauBW-Studie-Trends-Zukunftsmaerkte.pdf>.

Tichelmann, K., Merl, A., Pfau, J., Pfeiffer-Ruby, M. and Winter, W. (2007) Schwerpunkt Nachhaltigkeit Eigenschaften und Potentiale des Leichtbaus.

Tukker, A. (2004) 'Eight types of product service system: Eight ways to sustainability? Experiences from SUSPRONET', *Business Strategy and the Environment*, 13. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/bse.414>.

UBA (2010a) Eutrophierung. Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/gewaesser/meere/nutzung-belastungen/eutrophierung>.

UBA (2010b) Export von Elektroaltgeräten, *Hintergrundpapier*.

UBA (2012) Biokunststoffe nicht besser, *Pressemitteilung*. Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/biokunststoffe-nicht-besser>.

UBA (2014) Eutrophierung der Ostsee. Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/ostsee/eutrophierung-der-ostsee#textpart-1>.

UBA (2015) Schonung von Phosphor-Ressourcen aus Sicht einer nachhaltigen Bodennutzung und des Bodenschutzes. Available at: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/schonung_von_phosphor-ressourcen_aus_sicht_einer_nachhaltigen_bodennutzung_und_des_bodenschutzes.pdf.

UBA (2016a) Ökodesign. Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaftskonsum/produkte/oekodesign/oekodesign-richtlinie-einfuehrung>.

UBA (2016b) Schwerpunkte 2016: Der Preis der Schönheit, Geld und Umwelt, Nachhaltiger

Konsum. Available at:

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/publikationen/sp2016_w eb.pdf.

UBA (2017a) ISO 14001 - Umweltmanagementsystemnorm | Umweltbundesamt. Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/wirtschaft-umwelt/umwelt-energiemanagement/iso-14001-umweltmanagementsystemnorm>.

UBA (2017b) Verpackungsabfälle. Available at:

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewahlter-abfallarten/verpackungsabfaelle#textpart-1>.

UBA (2018a) Qualität des Trinkwassers aus zentralen Versorgungsanlagen. Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/wasserwirtschaft/qualitaet-des-trinkwassers-aus-zentralen#textpart-1>.

UBA (2018b) Weltrecyclingtag: Wieviel recyceln wir wirklich? Available at:

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/weltrecyclingtag-wieviel-recyceln-wir-wirklich>.

Ulrich, A. E. (2013) Peak Phosphorus: Opportunity in the making. ETH. Available at:

<https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/75421>.

UNEP; ifa (2001) Environmental Aspects of Phosphate and Potash Mining. Available at:

<http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8071/-Environmental%20Aspects%20of%20Phosphate%20and%20Potash%20Mining-20011385.pdf>.

UNEP (2013) 'Environmental Risks and Challenges of Anthropocentric Metals Flows and Cycles'.

Varian, H. R. (2010) Intermediate Microeconomics: A Modern Approach. 8th edn. New York / London: Norton & Company.

Vaude (2018) Women's Hallett Shirt II | Polyester-Recycling | VAUDE. Available at:

<https://www.vaude.com/de-DE/Produkte/Eco-Materialien/Polyester-Recycling/Women-s-Hallett-Shirt-II?number=409555220340>.

VDI-ZRE (2011) Konsultation zum Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa. Entwurf für eine zusammengefasste Kurzantwort in Textform des VDI ZRE. Verein Deutscher Ingenieure - Zentrum Ressourceneffizienz; 2.4.2011.

VDI-ZRE (no date) Recyclingbeton. Available at: <https://www.ressource-deutschland.de/themen/bauwesen/recyclingbeton/>.

VDI (2014) Werkstoffinnovationen für nachhaltige Mobilität und Energieversorgung. Available at: https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur/dps_bilder/SK/Homepage_-_quadrat/VDI-Studie_Werkstoffinnovationen.pdf.

VDI (2017) Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 - Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes. Available at: www.ressource-deutschland.de.

VDI ZRE (2015) Bestandsaufnahme Leichtbau in Deutschland. Available at:

https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/bestandsaufnahme-leichtbau-in-deutschland.pdf?__blob=publicationFile&v=5.

VDM (2017) Branchendaten 2016. Available at: www.vdm-bonn.de.

Verbraucherzentrale Hamburg (2016) Der Becher soll gehen. Available at:

<https://www.vzhh.de/themen/umwelt-nachhaltigkeit/der-becher-soll-gehen>.

Verbraucherzentrale NRW (2016) Aktion Verpackungsärger anlässlich der Europäischen Woche der Abfallvermeidung 2016. Available at: <http://www.verbraucherzentrale.nrw/umwelt>.

Verbraucherzentrale NRW (2017) Coffee to go: Einweg-Becher vermeiden. Available at:

<https://www.verbraucherzentrale.nrw/wissen/umwelt-haushalt/abfall/coffee-to-go-einwegbecher-vermeiden-12332>.

VKS (2018) Verband der Kali- und Salzindustrie e.V. Available at: <https://www.vks-kalisalz.de/salz/produktionszahlen/>.

Vogelpohl, T. and Simons, A. (2015) Kontroversen ums Teilen. Ein Überblick über das online gestützte Peer-to-Peer Sharing als gesellschaftliche Innovation und eingehende allgemeine und spezifische Kontroversen. Berlin. Available at: https://www.peer-sharing.de/data/peersharing/user_upload/Dateien/PeerSharing_Arbeitsbericht_2.pdf.

Wahnbaeck, C. (2017) Recycling: Kleidung aus Plastikschrott - lohnt sich das? - SPIEGEL ONLINE. Available at: <http://www.spiegel.de/wirtschaft/unternehmen/recycling-kleidung-aus-plastikschrott-lohnt-sich-das-a-1150843.html>.

Wang, Y. and Hazen, B. T. (2016) 'Consumer product knowledge and intention to purchase remanufactured products', *International Journal of Production Economics*. Elsevier, 181, pp. 460–469.

Weber, F., Kühne, O., Jenal, C., Aschenbrand, E. and Artuković, A. (2018) Sand im Getriebe. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-658-21526-2>.

von Wecus, A., Weber, M. and Willeke, K. (2017) 'Managementsysteme und das Management natürlicher Ressourcen'. Available at: https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/studien/VDI_ZRE_Studie_Managementsysteme_und_das_Management_naturlicher_Ressourcen.pdf.

von Wecus, A. and Willeke, K. (2015) Status quo der Ressourceneffizienz im Mittelstand. Available at: https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/studien/Studie_VDI_ZRE_Status_quo_Ressourceneffizienz_2015.pdf.

van Weelden, E., Mugge, R. and Bakker, C. (2016) 'Paving the way towards circular consumption: exploring consumer acceptance of refurbished mobile phones in the Dutch market', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier, 113, pp. 743–754.

Werland, S., Graaf, L., Jacob, K., Bringezu, S., Bahn-Walkowiak, B., Hirschnitz-Garbers, M., Schulze, F. and Meyer, M. (2014) Nexus Ressourceneffizienz und Energiewende. Eine Analyse der Wechselwirkungen. Berlin.

Werland, S. and Jacob, K. (2016) 'Ressourcenpolitische Handlungsansätze: Analyse zentraler Begriffe der Ressourcenpolitik'. Available at: http://www.mu.niedersachsen.de/download/62956/Abschlussbericht_Energie_und_Ressourceneffizienz_Dez._2011_.pdf.

Werra-Weser-Anrainerkonferenz e.V. (2017) Faktencheck Abdeckung der Rückstandshalden. Available at: <http://www.cellesche-zeitung.de/S5251274/Absacker-naehren-Zweifel-an-Kaliberg-Begrueung>.

De Wever, H. (2010) 'Interaction of the Water Cycle with Energy, Material Resources, Greenhouse Gas Production, and Land Use', in Graedel, T. E. and Van der Voet, E. (eds) *Linkages of Sustainability*. Cambridge, Massachusetts, London, England: MIT Press, pp. 243–265.

Wilts, H. (2013) 'Kurzanalyse 5: Ausweitung der Produzentenverantwortung mit Fokus auf Rücknahmeverpflichtungen'.

Wilts, H. and Gries, N. von (2014) 'Kurzanalyse: Herstellerverantwortung und Informationspflichten über die Lieferkette'.

Wilts, H., Schäfer, L., Saurat, M., Acosta Fernandez, J., Bahn-Walkowiak, B., Hillerns, L. and Galinski, L. (2016) Benefits of resource efficiency in Germany. Available at: https://wupperinst.org/uploads/tx_wupperinst/Benefits_Resource_Efficiency.pdf.

WRAP (2017) The Courtauld Commitment 2025 | WRAP UK. Available at: <http://www.wrap.org.uk/content/courtauld-commitment-2025>.

WWF (2017) Das kann kein Meer mehr schlucken: Unsere Ozeane versinken im Plastikmüll.
Available at: <https://www.wwf.de/themen-projekte/meere-kuesten/plastik/unsere-ozeane-versinken-im-plastikmuell/>.