

DIGITALES ARCHIV

ZBW – Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft
ZBW – Leibniz Information Centre for Economics

Book

Abschlussbericht Dialogplattform Recyclingrohstoffe :
Handlungsoptionen zur Stärkung des Beitrags von Recyclingrohstoffen
für die Versorgungssicherheit mit Metallen und Industriemineralen

Provided in Cooperation with:

DERA - Deutsche Rohstoffagentur in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
(BGR), Berlin

Reference: (2023). Abschlussbericht Dialogplattform Recyclingrohstoffe : Handlungsoptionen zur Stärkung des Beitrags von Recyclingrohstoffen für die Versorgungssicherheit mit Metallen und Industriemineralen. Datenstand: August 2023. Berlin : Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).

https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-58.pdf?__blob=publicationFile&v=2.

doi:10.25928/b4kf-gr94.

This Version is available at:

<http://hdl.handle.net/11159/631113>

Kontakt/Contact

ZBW – Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft/Leibniz Information Centre for Economics
Düsternbrooker Weg 120
24105 Kiel (Germany)
E-Mail: [rights\[at\]zbw.eu](mailto:rights[at]zbw.eu)
<https://www.zbw.eu/>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Dieses Dokument darf zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen. Sofern für das Dokument eine Open-Content-Lizenz verwendet wurde, so gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

<https://savearchive.zbw.eu/termsfuse>

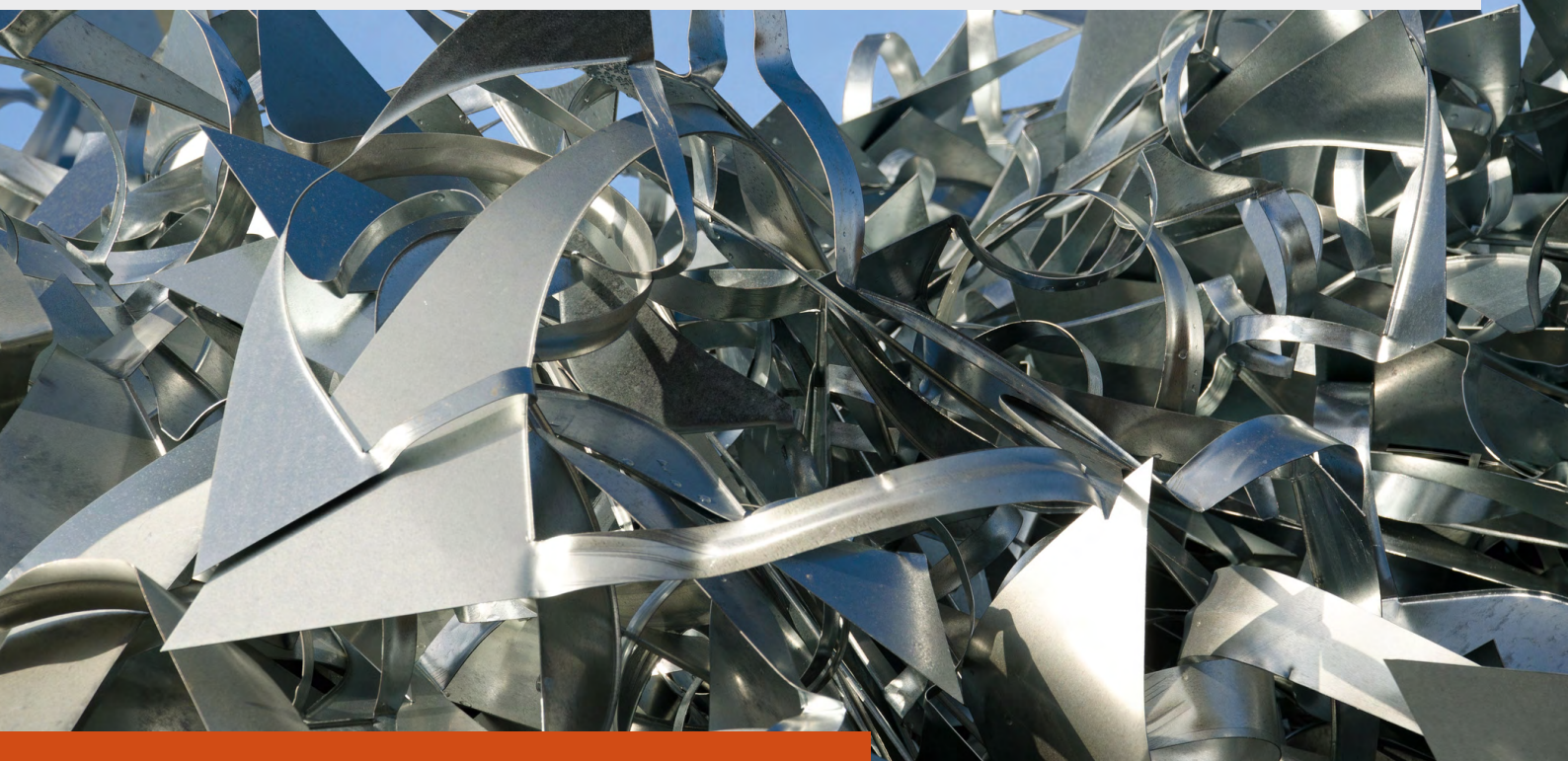
Terms of use:

This document may be saved and copied for your personal and scholarly purposes. You are not to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public. If the document is made available under a Creative Commons Licence you may exercise further usage rights as specified in the licence.

58 DERA Rohstoffinformationen

Abschlussbericht Dialogplattform Recyclingrohstoffe

*Handlungsoptionen zur Stärkung des Beitrags
von Recyclingrohstoffen für die Versorgungssicherheit
mit Metallen und Industriemineralen*



Impressum

Herausgeberin:

Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Wilhelmstraße 25–30
13593 Berlin

Mitherausgeberin:

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

Projektkoordination:

Bookhagen B., Mähltitz P., von Wittken R., Akinci S.

Kontakt:

Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Wilhelmstraße 25–30
13593 Berlin
Tel.: +49 30 36993 226
www.deutsche-rohstoffagentur.de
recycling@bgr.de

Bildnachweise: © Petair/stock.Adobe.com

Layout: deckermedia GbR, Rostock

Zitierhinweis: DERA – Deutsche Rohstoffagentur in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2023): Abschlussbericht der Dialogplattform Recyclingrohstoffe. – DERA Rohstoffinformationen 58: 243 S., Berlin.

Datenstand: August 2023

ISBN Druckversion: 978-3-948532-81-9

ISBN PDF: 978-3-948532-80-2

ISSN: 2193-5319

doi: 10.25928/b4kf-qr94

Abschlussbericht Dialogplattform Recyclingrohstoffe

Handlungsoptionen zur Stärkung des Beitrags von
Recyclingrohstoffen für die Versorgungssicherheit
mit Metallen und Industriemineralen

Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft
und Klimaschutz (BMWK)



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

Projektkoordination

Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt
für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)



Deutsche
Rohstoffagentur

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften



DEUTSCHE AKADEMIE DER
TECHNIKWISSENSCHAFTEN

Projektseite

Geschäftsstelle der Dialogplattform Recyclingrohstoffe (Koordination und Redaktion)

Dr. Britta Bookhagen, Leiterin Arbeitsbereich Recyclingrohstoffe, Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

Dr.-Ing. Paul M. Mähltz, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Arbeitsbereich Recyclingrohstoffe, Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

Dr. Reinhard von Wittken, Wissenschaftlicher Referent, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

Seda Akinci, Wissenschaftliche Referentin, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

Dr. Ulrich Glotzbach, Leiter Energie, Ressourcen & Nachhaltigkeit, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

Arbeitskreis Metalle

Leitung Arbeitskreis (AK)

Franziska Erdle, Hauptgeschäftsführerin, Wirtschaftsvereinigung Metalle e. V., unter Mitarbeit von: Rainer Buchholz, Leiter Kreislaufwirtschaft, Wirtschaftsvereinigung Metalle e. V.

Prof. Dr.-Ing. Martin Faulstich, Lehrstuhlinhaber Ressourcen- und Energiesysteme, Technische Universität Dortmund/Vorstand INZIN Institut, Düsseldorf

Leitungen Unterarbeitskreise (UAK)

UAK Aluminium

Jörg H. Schäfer, Referent Recycling und Nachhaltigkeit, Aluminium Deutschland e. V.

PD Dr. Simone Raatz, Administrative Leiterin, Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechologie, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf

UAK Eisen und Stahl

Gerhard Endemann, Leiter Nachhaltigkeit, Wirtschaftsvereinigung Stahl

Prof. Dr. Rüdiger Deike, Lehrstuhlinhaber Metallurgie und Umformtechnik, Universität Duisburg-Essen

UAK Kupfer

Michael Sander, Geschäftsführer, Kupferverband e. V.

Dr. Antonia Loibl, Projektleiterin Materialflussanalyse im Geschäftsfeld Rohstoffe, Competence Center Nachhaltigkeit und Infrastruktursysteme, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

UAK Technologiemetalle

Dr. Markus Zumdick, Director HSEQ/RSCM/Product Stewardship Tungsten Powders, H.C. Starck Tungsten GmbH

Prof. Dr. Christoph Helbig, Professor für Ökologische Ressourcentechnologie, Universität Bayreuth

Unter Mitarbeit von:

Dr. Asja Mrotzek-Blöß, Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Institut für Aufbereitung, Recycling und Kreislaufwirtschaftssysteme, Technische Universität Clausthal

Dr. Martin Tauber, European Representative, Vorsitzender International Magnesium Association, Präsident CRM Alliance

Frank Neumann, Geschäftsführer Initiative Zink in der WVMetalle Service GmbH

Arbeitskreis Industriemineralien

Leitung Arbeitskreis (AK)

Prof. Dr. Liselotte Schebek, Lehrstuhlinhaberin, Fachgebiet Stoffstrommanagement und Ressourcenwirtschaft, Institut IWAR, TU Darmstadt

Berthold Heuser, Prokurist, REMEX GmbH

Leitungen Unterarbeitskreise (UAK)
UAK Baurohstoffe

Dr. Berthold Schäfer, Geschäftsführer Technik, Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e. V.¹

UAK Keramische Rohstoffe
(Feuerfestkeramik)

Dr. Elke Steinle, Leiterin Umweltschutz/Arbeitsschutz/Energie, Deutsche Feuerfest-Industrie e. V.

Prof. Dr. Olaf Krause, Prodekan, Werkstofftechnik Glas und Keramik, Hochschule Koblenz

UAK Gips

Dipl.-Ing. Holger Ortleb, Geschäftsführer, Bundesverband der Gipsindustrie e. V.

Prof. Dr. Ariane Ruff, Professur Urbane Ressourcen, Leiterin Thüringer Innovationszentrum für Wertstoffe, Hochschule Nordhausen

UAK Industrielle Reststoffe
und Nebenprodukte

Thomas Reiche, Geschäftsführer, FEhS – Institut für Baustoff-Forschung e. V.

Dr. Christian Adam, Fachbereichsleiter Thermochemische Reststoffbehandlung und Wertstoffrückgewinnung, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

Externe Gutachterinnen und Gutachter

Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Helmut Antrekowitsch, Lehrstuhlinhaber für Nichteisenmetallurgie, Montanuniversität Leoben

Dr. Matthias Buchert, Bereichsleiter Ressourcen & Mobilität, Öko-Institut e. V.

Klaus Dosch, Geschäftsführender Gesellschafter der ResScore GmbH, Assoziierter Partner der Faktor X Agentur der Entwicklungsgesellschaft indeland GmbH

Prof. Dr.-Ing. Sabine Flamme, Fachbereichsleiterin Bauingenieurwesen, Leiterin der IWARU-Arbeitsgruppe Ressourcen, Fachhochschule Münster

Prof. Dr. Kathrin Greiff, Institutsleiterin für Anthropogene Stoffkreisläufe, RWTH Aachen

Prof. Dr. Jur. Helmut Maurer, Rechtsanwalt, ehemals Senior Legal Expert der Europäischen Kommission DG ENV.B2

Dr. Claas Oehlmann, Geschäftsführer BDI-Initiative Circular Economy Umwelt, Technik und Nachhaltigkeit, Industrie-Förderung mbH

Prof. Dr.-Ing. Vera Susanne Rotter, Fachgebiet Kreislaufwirtschaft und Recyclingtechnologie, Technische Universität Berlin

Prof. Dr. Thomas Schomerus, Professur für Öffentliches Recht, insbesondere Energie- und Umweltrecht, Leuphana Universität Lüneburg

Prof. Dr. Daniel Vollprecht, Lehrstuhlinhaber, Resource and Chemical Engineering, Institut Materials Resource Management, Universität Augsburg

Projektlaufzeit

Juni 2021 – September 2023

Die Dialogplattform Recyclingrohstoffe wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) beauftragt und mit Mitteln der Deutschen Rohstoffagentur (DERA) in der BGR finanziert.

Die Inhalte dieser Veröffentlichung wurden durch die Leitungen der Arbeits- und Unterarbeitskreise in Abstimmung mit den Teilnehmenden der Dialogplattform erarbeitet. Die fachliche Verantwortung für den Abschlussbericht liegt bei der Geschäftsstelle.

¹ Herr Prof. Dr. Hermann Wotruba (Lehr- und Forschungsgebiet Aufbereitung mineralischer Rohstoffe, RWTH Aachen) begleitete den UAK als wissenschaftlicher Co-Leiter bis zu seinem Tod im Februar 2023. Kommissarisch wurde die wissenschaftliche Co-Leitung fortan durch Frau Prof. Schebek, AK-Leitung Industriemineralien, mitübernommen.

Inhaltsverzeichnis

Projektseite	3
Abbildungsverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	9
Abkürzungsverzeichnis	10
Zusammenfassung	11
1. Einleitung	13
1.1. Einordnung der Dialogplattform Recyclingrohstoffe	14
1.2. Organisatorischer Aufbau der Dialogplattform Recyclingrohstoffe	15
1.3. Inhaltliche Strukturierung der Dialogplattform Recyclingrohstoffe	18
2. Recycling von Metallen	21
2.1. Auswahl der Metalle (Stoffströme)	22
2.2. Steckbrief – Aluminium	26
2.2.1. Beschreibung relevanter Stoffströme, Wertschöpfungsketten und Anwendungskontexte	27
2.2.2. Barrieren im Recycling	33
2.2.3. Handlungsoptionen	35
2.2.4. Machbarkeit und Zielkonflikte	39
2.2.5. Nächste Schritte	48
2.3. Steckbrief – Eisen und Stahl	50
2.3.1. Beschreibung relevanter Stoffströme, Wertschöpfungsketten und Anwendungskontexte	51
2.3.2. Barrieren im Recycling	55
2.3.3. Handlungsoptionen	60
2.3.4. Machbarkeit und Zielkonflikte	64
2.3.5. Nächste Schritte	73
2.4. Steckbrief – Kupfer	75
2.4.1. Beschreibung relevanter Stoffströme, Wertschöpfungsketten und Anwendungskontexte	76
2.4.2. Barrieren im Recycling	79
2.4.3. Handlungsoptionen	81
2.4.4. Machbarkeit und Zielkonflikte	88
2.4.5. Nächste Schritte	92
2.5. Steckbrief – Technologiemetalle	94
2.5.1. Beschreibung relevanter Stoffströme, Wertschöpfungsketten und Anwendungskontexte	96

2.5.2. Barrieren im Recycling	100
2.5.3. Handlungsoptionen	104
2.5.4. Machbarkeit und Zielkonflikte	110
2.5.5. Nächste Schritte	119
2.6. Handlungsfelder für Metalle	120
2.6.1. Übergreifende Handlungsfelder	120
2.6.2. Kontroverse Diskussionsthemen	121
2.7. Fazit für das Recycling von Metallen	122

3. Recycling von Industriemineralen 123

3.1. Auswahl der Industriemineralie (Stoffströme)	126
3.2. Steckbrief – Baurohstoffe	129
3.2.1. Beschreibung relevanter Stoffströme, Wertschöpfungsketten und Anwendungskontexte	130
3.2.2. Barrieren im Recycling	136
3.2.3. Handlungsoptionen	137
3.2.4. Machbarkeit und Zielkonflikte	143
3.2.5. Nächste Schritte	153
3.3. Steckbrief – Gips	158
3.3.1. Beschreibung relevanter Stoffströme, Wertschöpfungsketten und Anwendungskontexte	159
3.3.2. Barrieren im Recycling	165
3.3.3. Handlungsoptionen	169
3.3.4. Machbarkeit und Zielkonflikte	173
3.3.5. Nächste Schritte	179
3.4. Steckbrief – Keramische Rohstoffe (Feuerfestkeramik)	180
3.4.1. Beschreibung relevanter Stoffströme, Wertschöpfungsketten und Anwendungskontexte	181
3.4.2. Barrieren im Recycling	184
3.4.3. Handlungsoptionen	186
3.4.4. Machbarkeit und Zielkonflikte	188
3.4.5. Nächste Schritte	190
3.5. Steckbrief – Industrielle Reststoffe und Nebenprodukte	192
3.5.1. Beschreibung relevanter Stoffströme, Wertschöpfungsketten und Anwendungskontexte	193
3.5.2. Barrieren für das Recycling	200
3.5.3. Handlungsoptionen	204
3.5.4. Machbarkeit und Zielkonflikte	207
3.5.5. Nächste Schritte	211
3.6. Handlungsfelder für Industriemineralie	212
3.6.1. Übergreifende Handlungsfelder	212
3.6.2. Kontroverse Diskussionsthemen	213
3.7. Fazit für das Recycling von Industriemineralen	214

4. Fazit zur Dialogplattform Recyclingrohstoffe 216

5. Literaturverzeichnis 217

Anhang	233
Glossar	234
Existierende und flankierende Initiativen und Vorhaben	238
Bewertung der Machbarkeit	242

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Übergreifende Handlungsfelder	12
Abb. 2:	Konzeptioneller Aufbau der Dialogplattform Recyclingrohstoffe	16
Abb. 3:	Organisation und Ablauf der Dialogplattform Recyclingrohstoffe	17
Abb. 4:	Grundlegende Referenzgrafik	19
Abb. 5:	Zielbild der Dialogplattform Recyclingrohstoffe	20
Abb. 6:	Anteil sekundärer Rohstoffe an der Raffinade/Rohstahlproduktion in Deutschland	22
Abb. 7:	Referenzgrafik Stoffstrom Aluminium	28
Abb. 8:	Ein globales Stoffstrommodell für Aluminium	28
Abb. 9:	Grafik zu Massenbilanzdifferenzen gemeldeter Daten und Lagerbestände	30
Abb. 10:	Prognose des Aluminiumbedarfs bis 2050 und dessen Deckung durch Primär- und Sekundär-Aluminium	30
Abb. 11:	Absatzmärkte für Aluminiumprodukte in Deutschland	31
Abb. 12:	Berechnete Massenströme in der Aluminiumproduktion und Hauptaus- wirkungen auf die Umwelt	32
Abb. 13:	Referenzgrafik Stoffstrom Eisen und Stahl	53
Abb. 14:	Referenzgrafik Stoffstrom Kupfer	77
Abb. 15:	Unter „Technologiemetalle“ genannte Metallauswahl	96
Abb. 16:	Referenzgrafik Stoffstrom Technologiemetalle	98
Abb. 17:	Übergreifende Handlungsfelder für das Metallrecycling	121
Abb. 18:	Genutzte Entnahme nicht-nachwachsender Rohstoffe in Deutschland	123
Abb. 19:	Gewinnung und Nachfrage nach Steine-Erden-Rohstoffen in Deutschland	124
Abb. 20:	Anteil von Recyclingmaterialien bei Baurohstoffen (Substitutionsquote)	125
Abb. 21:	Aktuelle (2016 – 2020) und zukünftige Gipsbereitstellung (ab 2025 – 2040)	125
Abb. 22:	Stoffströme der Schlacken und Hüttensande aus der Eisen- und Stahl- erzeugung in Deutschland 2015	126
Abb. 23:	Referenzgrafik Stoffstrom Baurohstoffe: Beispiel Beton	132
Abb. 24:	Referenzgrafik Stoffstrom Gips	163
Abb. 25:	Vom Gipsabfall zum RC-Gips	163
Abb. 26:	Recyclingfähiger Anteil von Gipsplatten-Abfällen	164
Abb. 27:	Einteilung feuerfester Werkstoffe	181
Abb. 28:	Verbrauch von feuerfesten Werkstoffen nach Abnehmer-Industrien	183
Abb. 29:	Anteil einer möglichen Rezyklierbarkeit von feuerfesten Produkten nach der Anwendung	184
Abb. 30:	Grober Ablauf des Recyclings von Feuerfest-Ausbrüchen	184
Abb. 31:	Referenzgrafik Stoffstrom Industrielle Reststoffe und Nebenprodukte	194
Abb. 32:	Übergreifende Handlungsfelder für das Recycling von Industriemineralen	212

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Jährlich anfallende Menge der ausgewählten Stoffströme für das Referenz-	
	jahr 2021 in Deutschland	24
Tab. 2:	Überblick Stoffstrom Aluminium (Referenzrahmen Deutschland 2021)	27
Tab. 3:	Mittlere Gewichtsanteile der Legierungselemente für ausgewählte Aluminium-	
	legierungen	29
Tab. 4:	Überblick Stoffstrom Eisen und Stahl (Referenzrahmen Deutschland 2021)	51
Tab. 5:	Überblick Stoffstrom Kupfer (Referenzrahmen Deutschland 2021)	76
Tab. 6:	Überblick Stoffstrom Technologiemetalle (Referenzrahmen Deutschland 2021)	95
Tab. 7:	Jährlich anfallende Menge der ausgewählten Stoffströme des AK Industrie-	
	minerale in Deutschland	127
Tab. 8:	Überblick Stoffstrom Baurohstoffe (Referenzrahmen Deutschland 2020)	130
Tab. 9:	Überblick Stoffstrom Gips (Referenzrahmen Deutschland 2020)	159
Tab. 10:	Überblick Stoffstrom Feuerfestkeramik (Referenzrahmen Deutschland 2020)	181
Tab. 11:	Überblick Stoffstrom Industrielle Reststoffe und Nebenprodukte	
	(Referenzrahmen Deutschland)	193
Tab. 12:	Enabler der Kreislaufwirtschaft für industrielle Nebenprodukte und Reststoffe	206
Tab. 13:	Faktoren zur Bewertung der Machbarkeit und Identifikation möglicher	
	Zielkonflikte	242

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
AbfRRL	Abfallrahmenrichtlinie (Abfallrahmenrichtlinie 2008)
AK	Arbeitskreis
AVV	Abfallverzeichnis-Verordnung mit Abfallschlüsselnummern (AVV 2020)
BBergG	Bundesbergbaugesetz
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BMA	Bundesministerium für Arbeit und Soziales
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
CLP	Europäische GHS Verordnung (EG) Nr. 1272/2008, genannt CLP-Verordnung (Classification, Labelling and Packaging) (CLP-Verordnung 2008)
DepV	Deponieverordnung
DPR	Dialogplattform Recyclingrohstoffe
EAG	Elektroaltgerät
EBV	Ersatzbaustoffverordnung
EHS	Eisenhüttenschlacken
EPR	Erweiterte Produktverantwortung
GewAbfV	Gewerbeabfallverordnung
HMVA	Hausmüllverbrennungsasche
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
LkSG	Lieferkettensorgfaltsgesetz
MEB	Mineralischer Ersatzbaustoff
NE	Nicht-Eisen(-Metalle)
OEM	Original Equipment Manufacturer (Originalausrüstungshersteller oder Erstausrüster).
REA-Gips	Rauchgasentschwefelungsanlagen-Gips
REACH	„Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals“ (Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe)
RoHS	„Restriction of certain Hazardous Substances“ (Beschränkung einzelner gefährlicher Stoffe)
TOC	Total Organic Carbon (gesamter organischer Kohlenstoff)
TRGS 505	Technische Regel für Gefahrstoffe Blei
UAK	Unterarbeitskreis
VVA	Verordnung 1013/2006/EG über die Verbringung von Abfällen (VVA 2006)

Zusammenfassung

Der Industriestandort Deutschland ist auf eine sichere und nachhaltige Versorgung mit mineralischen Rohstoffen angewiesen. Hierbei wird das Recycling von Rohstoffen als weiteres Standbein der Versorgung neben der heimischen Rohstoffgewinnung und dem Import von Rohstoffen künftig eine immer wichtigere Rolle spielen. In diesem Zusammenhang veröffentlichte das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) im Januar 2023 das Eckpunktepapier „Wege zu einer nachhaltigen und resilienten Rohstoffversorgung“ (BMWK 2023) und unterstrich darin die strategische Bedeutung einer engen Verzahnung von Kreislaufwirtschafts- und Rohstoffstrategie.

Die Dialogplattform Recyclingrohstoffe wurde im Rahmen der Deutschen Rohstoffstrategie 2020 mit dem Ziel beauftragt, Maßnahmen zu erarbeiten, die den Beitrag von Recyclingrohstoffen (Sekundärrohstoffen) für die Versorgungssicherheit von Metallen und Industriemineralen stärken. Hierzu wurden in einem Dialogprozess mit über 380 Vertreterinnen und Vertretern aus Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung sowie Zivilgesellschaft über einen Zeitraum von zwei Jahren in acht Unterarbeitskreisen konkrete Handlungsoptionen entwickelt. Der inhaltliche Zuschnitt der Unterarbeitskreise orientierte sich an spezifischen Stoffströmen, die zum Beispiel aufgrund ihrer Mengenrelevanz, Kritikalität oder ihres Beitrags zu Treibhausgasemissionen von besonderer Relevanz sind und stoffstromspezifische Anforderungen an das Recycling stellen. Darüber hinaus spielte die in den Unterarbeitskreisen vorhandene Expertise der Teilnehmenden eine Rolle beim finalen Zuschnitt der Themen.

Die Ergebnisse aus den Unterarbeitskreisen bilden den inhaltlichen Kern des vollzogenen Dialogprozesses und werden in Steckbriefen beschrieben. So liegen für den Arbeitskreis Metalle detaillierte Steckbriefe für die Stoffströme Aluminium, Eisen und Stahl, Kupfer sowie Technologiemetalle vor. Der Arbeitskreis Industriemineralien umfasst detaillierte Steckbriefe für die Stoffströme Baurohstoffe, Gips, Keramische Rohstoffe (Feuerfestkeramik) sowie Industrielle Reststoffe und Nebenprodukte.

Insgesamt wurden über die gesamte Projektlaufzeit 94 stoffstromspezifische Handlungsoptionen in den verschiedenen Unterarbeitskreisen erarbeitet, die auf einer systematischen Analyse bestehender Barrieren basieren. Alle Handlungsoptionen für die spezifischen Stoffströme finden sich im jeweiligen Steckbrief. Auf Ebene der beiden Arbeitskreise Metalle und Industriemineralien wurden zudem neun stoffstromübergreifende Handlungsfelder aggregiert. Weitere Themenbereiche, die einem verbesserten Recycling potenziell zuträglich sind, zu denen jedoch kontroverse Diskussionen unter den Teilnehmenden stattfanden, werden in diesem Bericht transparent dargelegt. Ferner ist zu beachten, dass alle übergreifenden Handlungsfelder einen direkten Recyclingbezug aufweisen. Weiter gefasste wirtschaftspolitische Instrumente, zum Beispiel aus dem Bereich der Klimapolitik, die ebenfalls einen förderlichen Effekt auf ein verstärktes Recycling haben können, wie eine CO₂-Bepreisung oder ein Emissionshandel, sind nicht vertiefend in der Dialogarbeit aufgegriffen worden. Nachfolgend sind die übergreifenden Handlungsfelder der beiden Arbeitskreise kurz zusammengefasst, wobei die Relevanz der genannten Themen zwischen den Unterarbeitskreisen zum Teil variiert.

Die ausführlichen Steckbriefe der acht stoffstromspezifischen Unterarbeitskreise umfassen weitere Handlungsoptionen und betten diese jeweils in die Ausgangslage des Status quo und die daraus resultierenden Barrieren für das Recycling ein. Des Weiteren umfassen die Steckbriefe eine differen-

zierte Beurteilung der Machbarkeit sowie möglicher Zielkonflikte in der Umsetzung der jeweiligen Handlungsoptionen. Diese reflektierte Betrachtung der vorgeschlagenen Handlungsoptionen stellt einen zentralen Mehrwert der Dialogarbeit dar, da den Lesenden hierdurch ein umfassenderes Verständnis der Vor- und gegebenenfalls auch Nachteile ermöglicht wird.



Abb. 1: Übergreifende Handlungsfelder (eigene Abbildung)

1. Einleitung

Die Bundesregierung hat in ihrer Rohstoffstrategie 2020 (Bundesregierung 2020) mit Maßnahme 13 festgelegt, den Beitrag von Sekundärrohstoffen¹ (Recyclingrohstoffen) für die Versorgungssicherheit Deutschlands mit mineralischen Rohstoffen zu stärken. Das Recycling stellt neben der Rohstoffgewinnung aus heimischem Bergbau und dem Rohstoffimport eine wichtige Säule in der nationalen Rohstoffversorgung dar. Um mit den Akteuren aus Wirtschaft, Wissenschaft, Verwaltung und Zivilgesellschaft entlang der gesamten Wertschöpfungskette in den Bereichen Metalle und Industriemineralien zu den Möglichkeiten einer gezielten Stärkung des Recyclings in den Dialog zu treten, wurde mit der Dialogplattform Recyclingrohstoffe ein entsprechendes Austauschformat geschaffen. Übergeordnetes Ziel des Dialogprozesses war es, gemeinsam mit den Teilnehmenden Handlungsoptionen zu erarbeiten, die Hürden zur Schließung von Rohstoffkreisläufen abzubauen und den Beitrag der Sekundärrohstoffe zur Rohstoffversorgung und zum Klimaschutz zukünftig weiter zu erhöhen. Vor dem Hintergrund dieser Zielstellung beauftragte das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) die Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) mit der Durchführung dieses Dialoges. Gemeinsam mit acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften wurde im Zeitraum Juni 2021 bis Juni 2023 der Dialogprozess koordiniert, dessen Ergebnisse mit diesem Abschlussbericht nun vorliegen. Insgesamt wurden im Zeitraum der Durchführung des Dialogprozesses 32 Arbeitsitzungen durchgeführt, wobei in Summe über 380 Personen am Dialog teilnahmen.

Während der Durchführung des Dialogprozesses erfuhr das Thema einer sicheren und nachhaltigen Versorgung mit Rohstoffen aufgrund der

Corona-Pandemie und des russischen Angriffskrieges auf die Ukraine zunehmende Aufmerksamkeit und Relevanz. So wurde vor dem Hintergrund verstärkter Instabilitäten in globalen Lieferketten eine nationale beziehungsweise europäische Stärkung der Versorgungssicherheit zu einem entscheidenden Faktor bei der Ausgestaltung von Deutschlands wirtschaftlicher Resilienz und internationaler Wettbewerbsfähigkeit. Zudem rückten die Potenziale des Recyclings zur Erreichung von Klimaneutralität verstärkt in den Mittelpunkt der Betrachtung. Zum einen ist das Recycling von Materialien oftmals weniger energieintensiv als deren Primärerzeugung, zum anderen werden die Bedarfe an bestimmten mineralischen Rohstoffen im Rahmen der Transformation von fossilen hin zu treibhausgasneutralen Technologien in Zukunft weiter steigen (acatech et al. 2017, DERA 2021). In diesem Zusammenhang veröffentlichte das BMWK im Januar 2023 das Eckpunktepapier „Wege zu einer nachhaltigen und resilienten Rohstoffversorgung“ (BMWK 2023) und unterstrich darin die strategische Bedeutung einer engen Verzahnung von Kreislaufwirtschafts- und Rohstoffstrategie.

Recycling wird künftig gerade auch mit Blick auf die stetig anwachsenden anthropogenen Lager und damit verbundenen Recyclingpotenziale einen noch größeren Beitrag für die Rohstoffversorgung der deutschen Industrie leisten und kann zugleich einen wichtigen Beitrag für den Klimaschutz erbringen. Ein verantwortungsvoller und intelligenter Einsatz von Rohstoffen kann die Umwelt schonen und Treibhausgas-Emissionen reduzieren. Unternehmen können als innovative Vorreiter auch einen wertvollen Beitrag zur Sicherung Deutschlands künftiger Rohstoffversorgung leisten und neben dem technischen Innovationssprung die unternehmerische Wettbewerbsfähigkeit stärken.

¹ Die beiden Begrifflichkeiten Sekundärrohstoffe und Recyclingrohstoffe werden im folgenden Text synonym verwendet. Insbesondere auf EU-Ebene und in Anlehnung an die englische Verwendung wird erster Begriff verwendet. Aufgrund seiner positiven Konnotation wird hier jedoch der Begriff Recyclingrohstoffe bevorzugt, da „Sekundär“ oft mit einer minderwertigen, weil zweitrangigen Bedeutung verbunden wird.

Der vorliegende Abschlussbericht ist eine Zusammenführung der Ergebnisse aus dem durchgeführten Dialogprozess und mündet in der Formulierung stoffstromspezifischer stoffstromspezifischer Handlungsoptionen sowie stoffstromübergreifender Handlungsfelder Handlungsoptionen für eine Stärkung des Recyclings im Bereich Metalle und Industriemineralien. Dabei wurden die Handlungsoptionen für spezifische Stoffströme inhaltlich aus einer Analyse des Status quo und der Identifikation bestehender Barrieren für das Recycling im Wertschöpfungskreislauf abgeleitet. Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträgern in Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung soll damit ein systematischer Überblick über die Potenziale des Recyclings gegeben werden und konkrete Lösungsansätze sollen mit ihren möglichen Implikationen transparent dargestellt werden.

Im Folgenden wird zunächst eine kurze inhaltliche und organisatorische Einbettung des Dialogprozesses vorgenommen, bevor in Kapitel 2 und 3 die übergreifenden Ergebnisse der beiden Arbeitskreise Metalle und Industriemineralien vorgestellt werden. Dabei setzen sich die beiden Kapitel inhaltlich aus den Ergebnissen der stoffstromspezifischen Unterarbeitskreise zusammen, deren jeweiligen Ergebnisse als Steckbriefe in Unterkapiteln vorgestellt werden. Übergreifende Handlungsfelder und Themen werden darüber hinausgehend für jeden der beiden Arbeitskreise nochmals zusammengefasst. Der Bericht schließt mit einem kurzen Fazit, das den vollzogenen Dialogprozess reflektiert und Möglichkeiten zur Fortführung des begonnenen Austauschs beschreibt.

1.1 Einordnung der Dialogplattform Recyclingrohstoffe

Die Ergebnisse der Dialogplattform Recyclingrohstoffe können auf europäischer Ebene in die Bestrebungen im Rahmen des European Green Deal eingebettet werden, die Wirtschaft

innerhalb der Europäischen Union für eine klimaneutrale und ressourcenschonende Zukunft umzugestalten (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2019). So spielen Maßnahmen einer Circular Economy, wie sie sich im zweiten Circular Economy Action Plan der Europäischen Kommission von 2020 manifestieren (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2020a), eine zentrale Rolle für das Erreichen des Ziels der Treibhausgasneutralität bis 2050 und stehen auch mit weiteren positiven Umweltwirkungen, wie zum Beispiel einem reduzierten Flächenverbrauch im Rahmen der Primärrohstoffgewinnung, in Verbindung. Zudem setzt der Vorschlag der EU-Kommission für eine europäische Verordnung zu kritischen Rohstoffen (CRMA 2023) für die Gewinnung von einigen strategischen und kritischen Rohstoffen aus primären Quellen in Europa ehrgeizige Ziele. Darüber hinaus soll das europäische Recycling als wichtige Säule für die Rohstoffversorgung der Wirtschaft ausgebaut werden.

Zirkuläres Wirtschaften im Sinne einer Circular Economy umfasst Maßnahmen von der Vermeidung und Wiederverwendung über die Reparatur und Wiederherstellung bis hin zu ressourceneffizienten Ansätzen einer Sharing Economy und betont das innovative Potenzial neuer Geschäftsmodelle entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Damit geht die Betrachtungsebene einer Circular Economy insgesamt deutlich über die inhaltliche Verwendung des deutschen Begriffs einer Kreislaufwirtschaft hinaus, die sich aufgrund ihres historisch gewachsenen, engen Fokus auf ein effizientes Recycling und damit verbundene End-of-Life-Lösungen auch als „kreislaforientierte Abfallwirtschaft“ beschreiben lässt (SRU 2020; CEID 2021). Innerhalb der Circular Economy ist das Recycling eine Schlüsselkomponente, da es als Prozess die Kreislaufführung wertvoller Ressourcen aus Komponenten und Produkten ermöglicht und so den Bedarf an neuer Produktion reduzieren kann. Auf diese Schlüsselkomponente wurde die inhaltliche Arbeit der Dialogplattform Recyclingrohstoffe ihrem Mandat folgend fokussiert. Damit standen andere Maßnahmen einer Circular Economy (KrWG 2012) nicht im Vordergrund der Diskussionen.

Somit gilt es mit Blick auf die entwickelten Ergebnisse der Dialogplattform Recyclingrohstoffe zu beachten, dass Recycling zwar ein zentraler Bestandteil einer zirkulären Wirtschaft ist, jedoch immer erst am Ende des Produktlebens in Betracht gezogen werden sollte, wenn es keine anderen Alternativen zur Vermeidung, Wiederverwendung oder Reparatur mehr gibt. Insbesondere die derzeit laufenden Diskussionen auf EU-Ebene zu einer an Kriterien der Nachhaltigkeit und Circular Economy ausgerichteten Produktpolitik bieten hier wichtige Impulse und ermöglichen eine integrierte Betrachtung von Produkt-, Klima- und Abfallpolitik.

1.2 Organisatorischer Aufbau der Dialogplattform Recyclingrohstoffe

Aufbau der Dialogplattform

Die Geschäftsstelle der Dialogplattform Recyclingrohstoffe wurde von der DERA in der BGR gemeinsam mit acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften koordiniert.

Der Fokus der Dialogplattform Recyclingrohstoffe lag auf metallischen Rohstoffen und Industriemineralen, zu denen jeweils ein übergreifender Arbeitskreis (AK) gebildet wurde. Diese beiden Arbeitskreise wurden von jeweils vier Unterarbeitskreisen (UAK) getragen, welche stoffstromspezifische Fragestellungen und Problemfelder diskutierten. Für den Arbeitskreis Metalle wurden Unterarbeitskreise für die Stoffströme Aluminium, Eisen und Stahl, Kupfer und Technologiemetalle gebildet. Analog dazu bildeten die Stoffströme Baurohstoffe, Gips, Keramische Rohstoffe (Feuerfestkeramik) sowie Industrielle Reststoffe und Nebenprodukte die Unterarbeitskreise für den Arbeitskreis Industriemineralien.

Für die Leitung der AKs und UAKs wurde jeweils eine Doppelspitze von Expertinnen und Experten aus Industrie und Wissenschaft vom BMWK ernannt, um die Sichtweisen der Industrie und der Wissenschaft ausgewogen miteinander zu

verbinden. Als offizielle Leitung der AKs und UAKs verantworteten sie zum einen die inhaltliche Moderation in den Arbeitsgruppensitzungen, zum anderen die inhaltliche Schwerpunktsetzung und Darstellung der Arbeitsergebnisse in den jeweiligen Steckbriefen. Dieser Prozess wurde seitens der Geschäftsstelle unterstützt und begleitet.

Um die Ergebnisse aus den AKs und UAKs zu reflektieren und weitere Akteursgruppen in den Dialog miteinzubeziehen, wurden zwei Veranstaltungen im Format eines „Runden Tisches“ durchgeführt. Bei diesen Gelegenheiten wurden unter Beteiligung des BMWK die Zwischenergebnisse der verschiedenen UAKs jeweils mit Vertreterinnen und Vertretern aus Ministerien und Behörden sowie mit Umweltverbänden und NGOs diskutiert und die Möglichkeit zum Austausch gegeben. Ein weiteres Instrument der Qualitätskontrolle war ein Gutachter-Prozess, bei dem nach Abschluss des Dialogprozesses externe Gutachterinnen und Gutachter, die nicht Teil des Dialogprozesses waren, um eine inhaltliche Überprüfung der Ergebnisse gebeten wurden. Abbildung 2 fasst den Aufbau der Dialogplattform Recyclingrohstoffe nochmals im Überblick zusammen.

Die Teilnahme an der Dialogplattform Recyclingrohstoffe stand allen Interessierten jederzeit offen und wurde durch Bekanntmachung und persönliche Einladungen über Netzwerke und Social Media wie LinkedIn beworben. Der formelle Dialogprozess begann mit der Auftaktveranstaltung am 21. Juni 2021 unter Einbindung von BMWK, BMUV und einer Vertreterin der Europäischen Union (DG GROW). Auf der Webseite www.recyclingrohstoffe-dialog.de wurden alle 32 Arbeitssitzungen öffentlich angekündigt. Die größtenteils virtuelle Durchführung der Arbeitssitzungen bot eine besonders niederschwellige Möglichkeit zur Teilnahme.

Durchführung des Dialogprozesses

Ausgangspunkt der inhaltlichen Diskussionen war die Arbeit in den insgesamt acht Unterarbeitskreisen. So wurden zunächst immer erst auf Ebene konkreter Stoffströme Ergebnisse



Abb. 2: Konzeptioneller Aufbau der Dialogplattform Recyclingrohstoffe

entwickelt, die dann auf übergeordneter Ebene des jeweiligen Arbeitskreises vorgestellt und zusammengefasst wurden (siehe Abbildung 3). Dieses Vorgehen resultierte aus dem Auftrag an die Dialogplattform Recyclingrohstoffe, möglichst konkrete, das heißt stoffstromspezifische, Barrieren und Lösungsansätze zu identifizieren beziehungsweise auszuarbeiten.

Die betrachteten Stoffströme im Rahmen der Dialogplattform Recyclingrohstoffe wurden insbesondere aufgrund der folgenden Aspekte ausgewählt: wirtschaftliche Relevanz, Mengenrelevanz, Versorgungssicherheit, potenzielle Beiträge für Klimaschutz und sonstige ökologisch-soziale Aspekte. Dabei wurden die Themen durch Umfragen unter den Teilnehmenden identifiziert und ausgewählt. Existierende und flankierende Initiativen, Projekte, Gesetzesvorhaben und Expertisen wurden im Rahmen der Dialoge sowohl durch Impulsvorträge als auch durch die Teilnehmenden selbst mit eingebracht. Themen, welche an anderer Stelle unter der gleichen oder ähnlichen Zielstellung bereits diskutiert wurden, wurden selbst nicht weiter vertieft und mit Verweis auf die erwähnten Vorhaben von der weiteren Betrachtung im Dialog-

prozess ausgeschlossen oder nur am Rande besprochen. Im Kapitel 5.3 findet sich eine beispielhafte Zusammenstellung existierender Initiativen, Vorhaben und Projekte, welche übergreifend oder für Metalle und Industrieminerale im Einzelnen eine hohe thematische Relevanz haben.

Nach Festlegung der UAKs wurden in einem ersten Schritt je UAK Barrieren identifiziert, welche einer Stärkung des Recyclings im Wege stehen. Dafür wurden die Teilnehmenden in Form einer Umfrage ergebnisoffen befragt, wobei ein stoffstromübergreifender Bezugsrahmen (siehe Referenzgrafik in Abbildung 4) zur Strukturierung der Diskussionen diente. Der vielfältige Input seitens der Teilnehmenden wurde anschließend durch die Geschäftsstelle und die UAK-Leitung zusammengefasst und anhand abgestimmter thematischer Dimensionen strukturiert. Die Ergebnisse wurden UAK-übergreifend im AK diskutiert und anschließend als Vorversion stoffstromspezifischer Steckbriefe an die UAK-Teilnehmenden mit der Möglichkeit zur Kommentierung zirkuliert.

In einem zweiten Schritt dienten die identifizierten Barrieren je UAK als Grundlage für die Einreichung möglicher vorläufiger Lösungsansätze („Enabler“) seitens der Teilnehmenden. Die zahlreichen Einreichungen wurden durch die jeweilige UAK-Leitung sodann unter Maßgabe der zwei zentralen Zielkriterien „Treibhausgas-Einsparpotenziale“ und „Beitrag zur Versorgungssicherheit“ zusammengefasst und priorisiert. Nach Diskussion im AK wurden die Ergebnisse als Zwischenstand des Steckbriefes erneut den Teilnehmenden zur Kommentierung übergeben. Dieser Zwischenstand der Steckbriefe bildete die Grundlage für die Diskussionen der beiden Runden Tische.

In einem dritten Schritt wurden die entwickelten Lösungsansätze schließlich durch eine weitere Umfrage unter den Teilnehmenden einer strukturierten Bewertung hinsichtlich ihrer Machbarkeit und möglicher Zielkonflikte unterzogen.

Die Ergebnisse wurden im UAK diskutiert, durch die UAK-Leitung finalisiert und um ein den UAK-Steckbrief abschließendes Fazit ergänzt, und ein letztes Mal in die Kommentierung an die Teilnehmenden gegeben. Die finalisierten Steckbriefe wurden schließlich in einen zusammenfassenden Abschlussbericht integriert, der neben den acht UAK-Steckbriefen auch übergreifende Kapitel auf Ebene der beiden Arbeitskreise umfasst, die durch die AK-Leitung inhaltlich ausgestaltet wurden. Die Handlungsoptionen der UAKs wurden dabei zu übergreifenden Handlungsfeldern für die Bereiche Metalle und Industrieminerale zusammengefasst. Nach Beendigung der internen Diskussionen aus Teilnehmenden, UAK- und AK-Leitungen wurden alle Steckbriefe der UAK sowie die übergreifenden Kapitel an ausgewählte externe Gutachterinnen und Gutachter weitergegeben. Eingehendes Feedback wurde in Abstimmung mit den verantwortlichen (U)AK-Leitungen berücksichtigt.



Abb. 3: Organisation und Ablauf der Durchführung der Dialogplattform Recyclingrohstoffe

1.3 Inhaltliche Strukturierung der Dialogplattform Recyclingrohstoffe

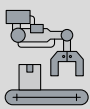
Die Diskussionen im Rahmen des breit angelegten Dialogprozesses in acht UAKs sollten es den Teilnehmenden ermöglichen, konkrete stoffstromspezifische Handlungsoptionen zu erarbeiten. Dabei galt es, die Diskussionen über die verschiedenen UAKs hinweg, soweit wie möglich, zu harmonisieren, um für eine gewisse Vergleichbarkeit zwischen den Ergebnissen zu sorgen, gleichzeitig jedoch auch eine gewisse Flexibilität in der inhaltlichen Ausgestaltung zu ermöglichen. Daher wurden seitens der Geschäftsstelle und der AK-Leitung einige inhaltliche Strukturierungselemente vorgegeben, die

in den UAKs als Orientierungsrahmen dienten und in die Ausführungen der stoffstromspezifischen Steckbriefe einfließen. Im Folgenden werden diese inhaltlichen Strukturierungselemente kurz erläutert.

Dimensionen

Eine Untergliederung der Diskussionen über Barrieren und Lösungsansätze erfolgte anhand von fünf „Dimensionen“. Die Auswahl der Dimensionen beruht auf der initialen Abfrage und anschließenden induktiven Gruppierung der Barrieren über alle UAKs hinweg. Demnach lassen sich die meisten Barrieren und Lösungsansätze den Dimensionen Regulatorik, Technologie und Prozesse, Infrastruktur und Logistik, Anreize und Förderung sowie Daten und Digitalisierung zuordnen. Es folgt eine kurze Beschreibung der abgeleiteten Dimensionen:

Thematische Dimensionen

	Regulatorik umfasst alle Themen der Gesetzgebung und des rechtlichen Rahmens beispielsweise Genehmigungsverfahren, Normierungen, Gesetze/Regulierungen und Verordnungen auf europäischer und nationaler Ebene wie das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG 2012), die Abfallverbringungsverordnung (VVA 2006) oder das Elektroaltgerätegesetz (ElektroG 2015). Neben bestehenden Regelwerken kann hierbei auch auf laufende Gesetzgebungsprozesse und politische Initiativen (zum Beispiel im Rahmen des Europäischen Green Deal) Bezug genommen werden.
	Technologie und Prozesse beschreibt alle verfahrenstechnischen und technologischen Aspekte wie beispielsweise Sortier-, Trenn- und Aufbereitungsverfahren sowie Prozesse des Recyclings.
	Infrastruktur und Logistik umfasst alle Themen, die für die Sammlung und den Transport von Stoffströmen notwendig sind. Darunter fallen unter anderem Sammlungsmöglichkeiten (Wertstoffhöfe, Einzelhandel, Postversand etc.) sowie Beförderungsmittel (Bahn, Lkw etc.) als auch deren Koordination und Realisierung.
	Anreize und Förderung schließt finanzielle und motivierende Anreize für die einzelnen Akteursgruppen sowie die Förderung von Aus- und Weiterbildung, Anschubfinanzierung und Ähnliches ein.
	Daten und Digitalisierung umfasst die Themen der Datenerhebung, -weitergabe, -management sowie -verarbeitung. Unter Digitalisierung werden alle Methoden und damit verbundene Prozesse verstanden, die analoge Prozesse digitalisieren und mögliche Auswirkungen von Maßnahmen datengestützt modellieren können.

Stoffstromübergreifender Bezugsrahmen

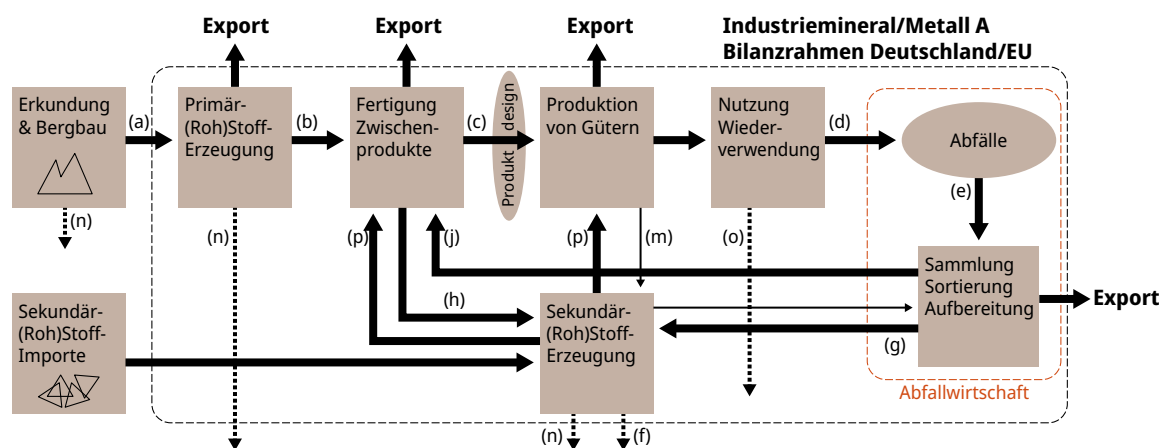
Die technischen Prozesse, Stoffströme und Akteure unterscheiden sich zwischen den UAKs zum Teil stark. Für den Dialog wurde ein gemeinsamer Bezugsrahmen festgelegt (Abbildung 4), um Diskussionen hinsichtlich technischer Prozesse, Stoffströme und Akteure zu strukturieren und eine systemische Betrachtung von Recyclingpotenzialen entlang der Wertschöpfungskette zu ermöglichen. So diene der Bezugsrahmen dazu, Stoffströme, Prozesse, Barrieren und Lösungsansätze („Enabler“), rechtliche Geltungsbereiche sowie mögliche Zielkonflikte in der Wertschöpfungskette zu verorten. Als Betrachtungsrahmen wurde dabei Deutschland festgesetzt. Der Bezugsrahmen wurde in Anlehnung an die von UNEP 2011 konzeptionierte Materialflussanalyse erstellt (UNEP 2011), um den Stoffstrom, Begrifflichkeiten sowie gegebenenfalls Recyclingindikatoren übersichtlich darzustellen. Diese vereinfachte Darstellung trifft nicht immer auf einzelne Stoffströme im Detail zu, ist aber als generelle Übersicht hilfreich. Eine individuelle Abwandlung dieses Bezugs-

rahmens zur Strukturierung der Diskussionen in den Unterarbeitskreisen konnte daher nach Bedarf vorgenommen werden.

Allgemeines Zielbild

Auftrag der Dialogplattform Recyclingrohstoffe war es, konkrete Handlungsoptionen zu erarbeiten, die den Beitrag von Recyclingrohstoffen für die Versorgungssicherheit mit Rohstoffen und zum Klimaschutz stärkt. Um den Diskussionen in der Dialogplattform einen konzeptionellen Rahmen zu geben und zu konkreten Handlungsoptionen zu kommen, die gleichzeitig die Vielfalt multipler Zielstellungen im Recycling berücksichtigen, wurde gemeinsam mit der Leitung der AKs ein Zielbild entwickelt. Es diene als Orientierungsrahmen, innerhalb dessen die UAKs jeweils stoffstromspezifische Schwerpunkte setzen konnten.

Als kontextgebende Ziele des Recyclings wurden sowohl die Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit als auch die Verminderung negativer sozial-ökologischer Auswirkungen formuliert.



(a)	Primärrohstoffeinsatz	(h)	Nebenprodukte und Abfälle aus Fertigung
(b)	veredelter Primär(roh)stoff	(j)	aufbereitete Abfälle für die Fertigung
(c)	Zwischenprodukte	(m)	Abfälle in der Produktion
(d)	End-of-Life (EoL) Produkte und Materialien	(n)	Bergbauabfälle und Schlacken
(e)	Abfall, gesammelt fürs Recycling	(o)	Dissipation in der Nutzungsphase
(f)	Abfall separiert für nicht-funktionales Recycling	(p)	Recyclingrohstoffe in der Fertigung und Produktion
(g)	aufbereitete Abfälle für Recycling		

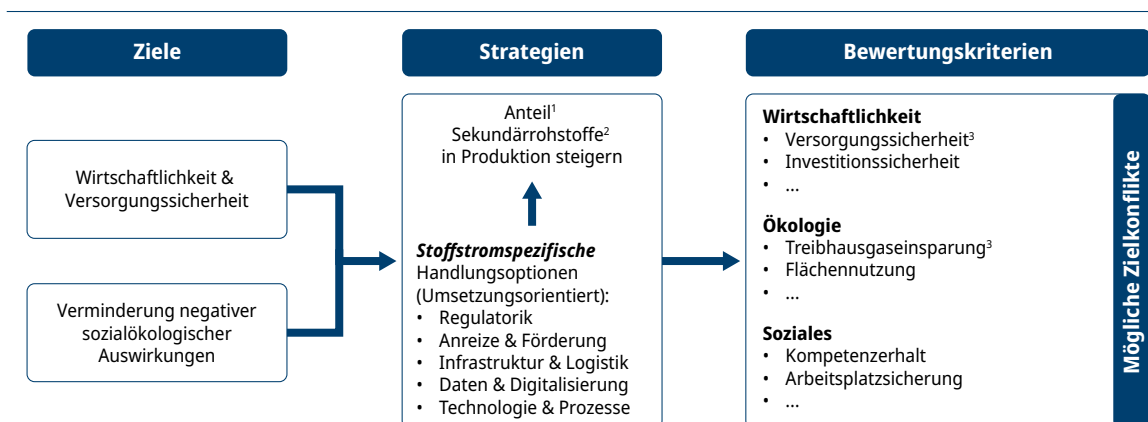
Abb. 4: Grundlegende Referenzgrafik in Anlehnung an UNEP (2011)

Im Mittelpunkt hierbei stand insbesondere die Relevanz des Recyclings für den Klimaschutz (siehe Bewertungskriterien in Abbildung 5). Während der Aspekt der Wirtschaftlichkeit vor allem auf die betriebliche Ebene zielte, gewann der Aspekt der Versorgungssicherheit als volkswirtschaftliche Zielgröße insbesondere vor dem Hintergrund zunehmender Instabilitäten von Lieferketten im Zuge aktueller Krisen und Konflikte (Corona-Pandemie, Ukrainekrieg) nochmals zusätzlich an Bedeutung. Sowohl den Kriterien „Versorgungssicherheit“ als auch „Treibhausgas-Einsparung“ wurden eine besondere Bedeutung zugesprochen, weshalb diese bei der Synthese und Priorisierung entwickelter Handlungsoptionen auch eine zentrale Rolle spielten (siehe auch Abbildung 3).

Mit dieser allgemeinen Zielstruktur sollten in den einzelnen UAKs entlang verschiedener inhaltlicher Dimensionen stoffstromspezifische und umsetzungsnahe Handlungsoptionen entwickelt werden, mit der zugrunde liegenden Strategie, den Anteil von Recyclingrohstoffen in der Produktion zu steigern. Da diese Formulierung jedoch eine Steigerung der Substitutionsquote impliziert, kam es insbesondere bei Stoffgruppen, die im Zuge aktueller Transformationsprozesse in ihrer absoluten Menge verstärkt nachgefragt werden (zum Beispiel Kupfer im Rahmen der Energiewende), zu Diskussio-

nen über die Umsetzbarkeit dieser Forderung (Erfüllung möglicher Rezyklateinsatzquoten). Ebenfalls sollte die Erfüllung dieser übergeordneten Zielstellung insbesondere durch eine Schließung von Stoffkreisläufen auf nationaler und europäischer Ebene, das heißt durch einen effektiven Ausbau der Recyclingkapazitäten vor Ort, erzielt werden. Auch dieses Ziel wurde jedoch insbesondere mit Verweis auf die Bedeutung des internationalen Handels mit Schrotten in einzelnen UAKs zum Teil relativiert.

Schließlich wurden für jede Dimension der Nachhaltigkeit (Wirtschaft, Ökologie, Soziales) nochmals spezifischere Bewertungskriterien vorgeschlagen, die in den UAKs diskutiert und ergänzt wurden. Auf ihrer Grundlage wurde eine differenzierte Diskussion über mögliche  Zielkonflikte und die  Machbarkeit der vorgeschlagenen Handlungsoptionen geführt. In Anlehnung an POTRYKUS et al. (2021) wurde die Bewertung der Machbarkeit weiter operationalisiert und umfasst die Faktoren: rechtliche, informatorische und organisatorische, technische, ökologische sowie sozio-ökonomische Machbarkeit (vgl. Tabelle 13 in Kapitel 5.4). In der praktischen Anwendung half das entwickelte Zielbild somit insbesondere dabei, mögliche Zielkonflikte und Umsetzungshürden zu identifizieren und in den Diskussionen transparent zu machen.



¹ Impliziert Steigerung der Substitutionsquote als Verhältnis von eingesetzten Sekundärrohstoffen zum insgesamt genutzten Materialaufwand (UBA, 2019c).

² Durch Kreislaufschließung auf nationaler/europäischer Ebene gewonnen.

³ Wurden als besonders bedeutsame Zielkriterien festgelegt und dienten zur Synthese/Priorisierung entwickelter Lösungsoptionen.

Abb. 5: Zielbild der Dialogplattform Recyclingrohstoffe

2. Recycling von Metallen

Zahlreiche aktuelle Studien belegen eine kontinuierlich steigende Nachfrage nach Metallen, beispielsweise für die Energie- und Mobilitätswende sowie für die Digitalisierung und Dekarbonisierung (GREGOIR & VAN ACKER 2022; DERA 2021). Metalle sind für einen innovativen deutschen Wirtschafts- und Industriestandort unverzichtbar. Der primäre Metallerzbergbau findet in Deutschland fast nicht mehr statt, somit ist Deutschland derzeit zu fast 100 % auf den Import von Erzen und Konzentraten angewiesen (BGR 2022) (siehe auch Tabelle 1). Damit wird auch die Bedeutung des Metallrecyclings weiter zunehmen. Der Vorschlag der EU-Kommission für eine europäische Verordnung zu kritischen Rohstoffen (CRMA) setzt nicht nur für die Gewinnung von einigen strategischen und kritischen Rohstoffen aus primären Quellen in Europa ehrgeizige Ziele – bis 2030 sollen 10 % des EU-Bedarfs durch europäischen Bergbau und 40 % durch lokale europäische Verarbeitung gedeckt werden –, auch soll das europäische Metallrecycling als wichtige Säule für die Rohstoffversorgung der Wirtschaft ausgebaut werden. So soll die Recyclingkapazität der Union auf mindestens 20 % des jährlichen Verbrauchs kritischer/strategischer Rohstoffe in der Europäischen Union steigen (CRMA 2023).

Beispielsweise fordert die EU-Kommission in ihrem Green Deal, dass ein großer Teil der politisch geforderten Treibhausgaseinsparungen durch verstärkte oder neue Maßnahmen in der Kreislaufwirtschaft erreicht werden sollen. Metallrecycling spart im Vergleich zur Metallgewinnung aus Erzen bei den meisten Metallen viel Energie ein, bei Aluminium sind es zum Beispiel 95 % (EuRIC AISBL 2020). Metallrecycling ist damit ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz – in Deutschland werden dadurch nach Berechnungen des Öko-Instituts ca. 7 Millionen Tonnen CO₂ jährlich eingespart (BUCHERT et al. 2016). Zudem kann das Recycling von Metallen als wichtiges weiteres Standbein der Versorgung die Importabhängigkeit Deutschlands perspektivisch

reduzieren und Preisvolatilitäten abmildern, insbesondere in Zeiten gestörter Lieferketten und gestiegener Unsicherheiten in politisch instabilen Lieferländern.

Viele Metalle im Gebrauch haben bereits mehrere Recycling-Kreisläufe hinter sich, denn Metalle bergen (bis auf einige Legierungen) aufgrund ihrer Beschaffenheit zumindest das theoretische Potenzial einer nahezu vollständigen Schließung von Stoffkreisläufen ohne Qualitätsverlust. In der Realität werden die Grenzen des Recyclings jedoch durch ökonomische und ökologische Faktoren sowie reale Verluste in der Wertschöpfungskette definiert. Metallrecycling insbesondere komplexer Verbundwerkstoffe findet daher nicht vollständig statt, kann aber der Primärgewinnung vergleichbare Qualitäten mit gewissen Mengenverlusten erzeugen. Für eine moderne Kreislaufwirtschaft ist das Metallrecycling ein etabliertes und unverzichtbares Element nachhaltiger Klima- und Wirtschaftspolitik. Dafür braucht die Primärgewinnung, aber auch das Metallrecycling einen schlüssigen politischen Rahmen. Vor allem die aktuell hohen Preise für Gas und Strom sind unter den derzeitigen Rahmenbedingungen kontraproduktiv für einen weiteren Ausbau der Recyclingindustrie, sofern nicht durch systematische Einpreisung externer Kosten für ein global gemeinsames Level-Playing-Field gesorgt wird.

Bereits heute wird ein erheblicher Anteil der in Deutschland hergestellten Metalle aus sekundären Rohstoffen erzeugt (siehe Abbildung 6), bei Stahl sowie NE-Basismetallen wie Aluminium, Kupfer, Zink und Blei liegt der Wert bei rund 50 % (WVMETALLE et al. 2021). Dennoch sind hier noch große Recyclingpotenziale zu heben, insbesondere aufgrund der Einsatzmengen. Besonders bei den Spezial- und Technologiemetallen, welche zukünftig in erheblich steigenden Mengen für Schlüsseltechnologien eingesetzt werden, gibt es noch viel Potenzial, da hier der Anteil von Recyclingrohstoffen in der Produk-

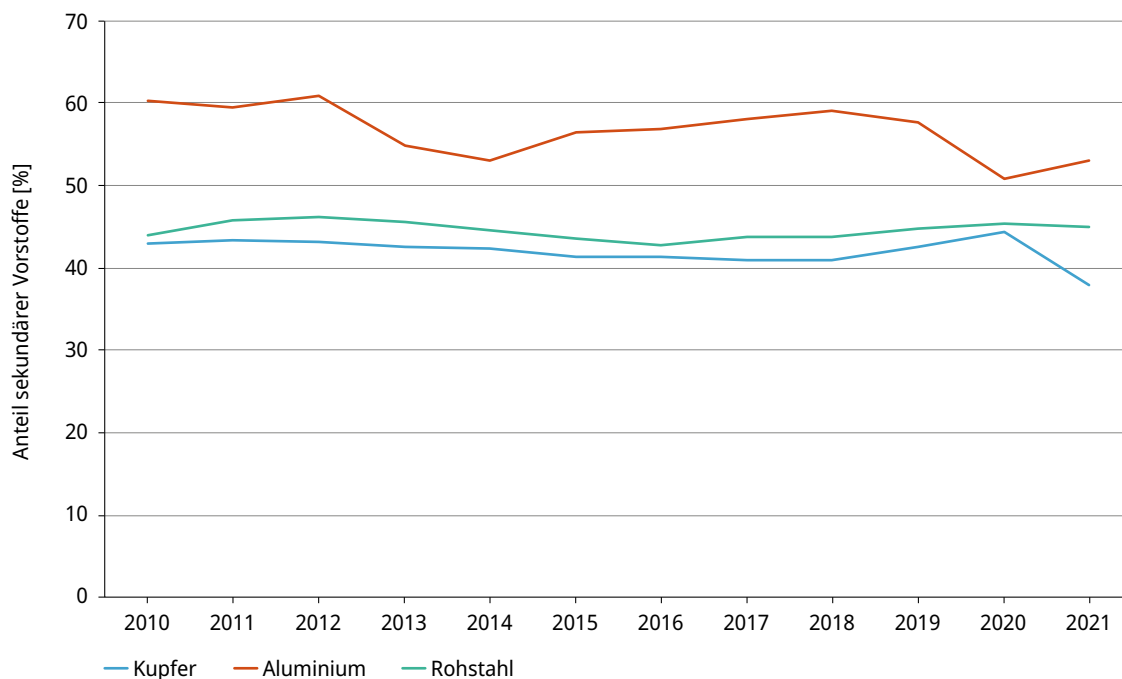


Abb. 6: Anteil sekundärer Rohstoffe an der Raffinade/Rohstahlproduktion in Deutschland (BGR 2022). Bei Aluminium geht nur die Menge an Aluminium in die prozentuale Berechnung ein, die über die Refiner wiederverwertet wird – Remelting ist nicht berücksichtigt

tion oft unter einem Prozent liegt. Ferner wird eine Optimierung des Recyclings auch mit Blick auf die Qualitäten und eine damit einhergehende stärkere Substitution von Primärrohstoffen derzeit diskutiert, die jedoch durch vielfältige technologische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen bestimmt wird.

Funktionierendes Metallrecycling leistet einen erheblichen Beitrag für eine in Deutschland gelingende Transformation von einem linearen hin zu einem zirkulären Wirtschaftssystem. Gemeinsames Ziel von Politik, Wissenschaft und Wirtschaft ist, die Schließung von Metall-Stoffkreisläufen weiter voranzutreiben. Konkrete Vorschläge hierfür wurden in den UAKs Eisen und Stahl, Aluminium, Kupfer und Technologie-metalle erarbeitet.

2.1 Auswahl der Metalle (Stoffströme)

Die Auswahl der betrachteten Stoffströme und somit die thematische Festlegung der UAKs fand zunächst mit einer Vorauswahl unter Berücksichtigung der Mengen- und Klimarelevanz sowie einer möglichen Kritikalität beziehungsweise strategischen Relevanz der Rohstoffe statt. Eine Übersicht der jährlich anfallenden Mengen ist Tabelle 1 zu entnehmen. Weiterhin wurden aktuelle Problemkreise und die Komplementarität zu anderen Plattformen und Initiativen (siehe Kapitel 5.3) berücksichtigt. In Abstimmung mit den Teilnehmenden wurden die endgültigen Themenkreise festgelegt.

Unter Berücksichtigung der oben genannten Aspekte wurden für die folgende vier Stoffstromgruppen UAKs gebildet, mit dem Ziel, Potenziale für das Recycling zu identifizieren:

Aluminium: Durch das Legieren von Rohaluminium mit verschiedenen Elementen wie Magnesium (Mg), Silizium (Si), Mangan (Mn), Kupfer (Cu) oder Zink (Zn), können bestimmte Eigenschaften eingestellt werden, sodass Aluminium in den unterschiedlichsten Produkten Anwendung findet: Automobil- und Flugzeugindustrie, Verpackungsindustrie, Maschinenbau und Hochbau. Grundsätzlich wird zwischen Guss- und Knetlegierungen unterschieden, welche für das Recycling optimalerweise sortenrein erfasst werden müssen.

Eisen und Stahl: Eisen- und Stahlschrott werden in Deutschland im Wesentlichen in der Eisen- und Stahlindustrie, Eisengießereien und bei der Produktion legierter Stähle eingesetzt. Neben Eigen-, Alt- und Neuschrott sind vor allem Späne, Schleifschlämme und Weichschrotte sowie metallhaltige Filterstäube relevante Stoffströme in diesem UAK. Die Umstellung der Hochofentechnologie (BOF) auf Wasserstoff, Umstellung auf Elektrolichtbogenöfen, das Direktinduktionsverfahren sowie Eisengießereien bestimmen zukünftig den Umgang mit Schrott.

Kupfer: Aufgrund seiner hohen elektrischen und thermischen Leitfähigkeit sowie der elektromagnetischen Induktion betreffen die wichtigsten Anwendungen von Kupfer die Erzeugung, Umwandlung und den Transport von Energie in Generatoren, Transformatoren, Wärmetauschern und Kabeln. Kupfer ist ein zentraler Werkstoff für die Umsetzung der Energie- und Mobilitätswende und findet sich in vielen Produkten wieder, welche am Lebensende möglichst vollständig erfasst und dem Recycling zugeführt werden müssen.

Technologiemetalle: Der Begriff „Technologiemetalle“ ist nicht eindeutig definiert, sodass für den UAK folgende beispielhafte Auswahl getroffen wurde: Magnesium, Zink und Wolfram. Charakteristisch für Technologiemetalle sind geringere Massenströme und der Einsatz in Legierungen, Beschichtungen oder Spezialanwendungen sowie der Produktbezug (zum Beispiel Elektrogeräte, Batterien, Fahrzeuge). Da sowohl die Erfassung als auch die Gesetzgebung häu-

fig die Produktebene adressieren, wurden auch die Schnittstellen zwischen Produkten, Metallen und Recycling in den Fokus genommen.

Für diese vier UAKs sind für eine bessere Übersicht und die Mengenrelevanz im Folgenden in Tabelle 1 die Produktionszahlen und Importe/Exporte dieser Rohstoffe für Deutschland dargestellt. Auffällig ist hier die Bergbauproduktion, die derzeit so gut wie nicht mehr in Deutschland stattfindet.

Zur besseren Nachvollziehbarkeit werden Import- und Exportmengen gemäß Handelsklassifikation des Harmonized Systems (HS) angegeben und bezeichnen Material mit nicht eindeutig definiertem Metallgehalt. Die Bergbauproduktion wird hier ausschließlich für die Metallherstellung betrachtet. Beispielsweise wird Eisenerz für die Roheisenerzeugung in Deutschland ausschließlich importiert. Allerdings wurden in Deutschland 546.712 Tonnen Eisenerz mit durchschnittlich 16 % Eisengehalt abgebaut, welches als Zuschlagsstoff in der Bauindustrie sowie im Straßen- und Gleisbau verwendet wird.

Stoffstromspezifische Handlungsoptionen der Unterarbeitskreise

Die Ergebnisse aus den UAKs des AK Metalle bilden den inhaltlichen Kern des vollzogenen Dialogprozesses und werden in den folgenden Steckbriefen beschrieben. So liegen für den Arbeitskreis Metalle detaillierte Steckbriefe für die Stoffströme Aluminium, Eisen und Stahl, Kupfer sowie Technologiemetalle vor.

Alle erarbeiteten Steckbriefe folgen dem gleichen Aufbau und umfassen aufeinander aufbauende Kapitel, in denen der jeweilige Stoffstrom beschrieben, Barrieren für das Recycling identifiziert, Handlungsoptionen beschrieben, deren Machbarkeit und mögliche Zielkonflikte diskutiert und nächste Schritte in der Umsetzung skizziert werden.

Tab. 1: Jährlich anfallende Menge der ausgewählten Stoffströme für das Referenzjahr 2021 in Deutschland

Stoffströme	Menge [t]	Quelle
UAK Aluminium (Referenzjahr 2021)		
Primärrohstoffe		
Bergbauproduktion ¹	0	(BGR 2022)
Import (HS 2606; Erze und Konzentrate) ²	2.020.000	(DESTATIS 2023)
Export (HS 2606; Erze und Konzentrate) ²	34.700	(DESTATIS 2023)
Raffinadeproduktion ¹	509.000	(AD 2023)
Recyclingrohstoffe		
Import (HS 7602; Abfälle und Schrott) ²	1.040.000	(DESTATIS 2023)
Export (HS 7602; Abfälle und Schrott) ²	1.250.000	(DESTATIS 2023)
Raffinadeproduktion ¹ (nur Refiner)	565.000	(AD 2023)
UAK Eisen und Stahl (Referenzjahr 2021)		
Primärrohstoffe		
Bergbauproduktion ¹	0	(BGR 2022)
Import (HS 2601; Erze und Konzentrate) ²	39.500.000	(DESTATIS 2023)
Export (HS 2601; Erze und Konzentrate) ²	1.480.000	(DESTATIS 2023)
Raffinadeproduktion Rohstahl ^{1,3}	22.840.000	(WV STAHL 2022a)
Recyclingrohstoffe		
Import (HS 7204; Abfälle und Schrott) ²	5.030.000	(DESTATIS 2023)
Export (HS 7204; Abfälle und Schrott) ²	8.790.000	(DESTATIS 2023)
Raffinadeproduktion Rohstahl ^{1,4}	17.400.000	(WV STAHL 2022b)
UAK Kupfer (Referenzjahr 2021)		
Primärrohstoffe		
Bergbauproduktion ^{1,5}	37	(BGR 2022)
Import (HS 2603, Erze und Konzentrate) ²	1.150.000	(DESTATIS 2023)
Export (HS 2603, Erze und Konzentrate) ²	44.500	(DESTATIS 2023)
Raffinadeproduktion ¹	384.000	(ICSG 2022)
Recyclingrohstoffe		
Import (HS 7404; Abfälle und Schrott) ²	589.000	(DESTATIS 2023)
Export (HS 7404; Abfälle und Schrott) ²	464.000	(DESTATIS 2023)
Raffinadeproduktion ¹	231.000	(ICSG 2022)

¹ Angaben in Tonnen Inhalt Metall

² Material mit nicht eindeutig definiertem Metallgehalt

³ Errechnet aus Gesamtproduktion von 40 Millionen Tonnen abzüglich Stahlschroteinsatz

⁴ Stahlschroteinsatz in der Rohstahlproduktion

⁵ Als Beiprodukt der Schwerspat- und Flussspatproduktion

Stoffströme	Menge [t]	Quelle
UAK Technologiemetalle (Referenzjahr 2021)		
Magnesium		
Primärrohstoffe		
Bergbauproduktion ¹	0	(BGR 2022)
Import (HS 810411; Rohform mit Mg ≥ 99,8 %)², ⁶	24.000	(DESTATIS 2023)
Export (HS 810411; Rohform mit Mg ≥ 99,8 %)², ⁶	1.350	(DESTATIS 2023)
Raffinadeproduktion ¹	Keine Angabe	
Recyclingrohstoffe		
Import (HS 810420; Abfälle und Schrott)²	1.500	(DESTATIS 2023)
Export (HS 810420; Abfälle und Schrott)²	2.760	(DESTATIS 2023)
Raffinadeproduktion ¹	Keine Angabe	
Zink		
Primärrohstoffe		
Bergbauproduktion ¹	0	(BGR 2022)
Import (HS 2608; Erze und Konzentrate)²	353.000	(DESTATIS 2023)
Export (HS 2608; Erze und Konzentrate)²	0	(DESTATIS 2023)
Raffinadeproduktion ¹	135.000	(ILZSG 2023)
Recyclingrohstoffe		
Import (HS 7902; Abfälle und Schrott)²	7.690	(DESTATIS 2023)
Export (HS 7902; Abfälle und Schrott)²	46.500	(DESTATIS 2023)
Raffinadeproduktion ¹	29.800	(ILZSG 2023)
Wolfram		
Primärrohstoffe		
Bergbauproduktion ¹	0	(BGR 2022)
Import (HS 2611; Erze und Konzentrate)²	0	(DESTATIS 2023)
Export (HS 2611; Erze und Konzentrate)²	609	(DESTATIS 2023)
Raffinadeproduktion ¹	Keine Angabe	
Recyclingrohstoffe		
Import (HS 810197; Abfälle und Schrott)²	5.300	(DESTATIS 2023)
Export (HS 810197; Abfälle und Schrott)²	7.260	(DESTATIS 2023)
Raffinadeproduktion ¹	Keine Angabe	

¹ Angaben in Tonnen Inhalt Metall² Material mit nicht eindeutig definiertem Metallgehalt³ Errechnet aus Gesamtproduktion von 40 Millionen Tonnen abzüglich Stahlschrotteinsatz⁴ Stahlschrotteinsatz in der Rohstahlproduktion⁵ Als Beiprodukt der Schwerspat- und Flussspatproduktion⁶ HS Code unterscheidet nicht zwischen Rohform aus Primärquelle oder Recyclingrohstoff

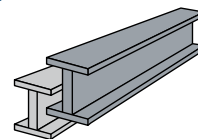
2.2 Steckbrief – Aluminium

Aluminium

Unterarbeitskreis-Leitung (Autoren):

Jörg H. Schäfer (Aluminium Deutschland e. V.)

Dr. Simone Raatz (Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf)



UAK-Übersicht



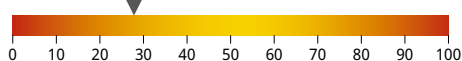
38 Beteiligte



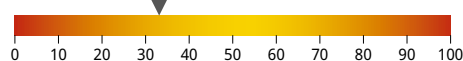
38 % Einzelunternehmen
30 % Wissenschaft
11 % Behörde
21 % Verbände
5 % Zivilgesellschaft



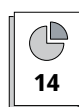
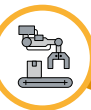
Anzahl **Barrieren**



Anzahl **Lösungsvorschläge**



Themenbereiche der identifizierten Handlungsoptionen



#1	Stoffstrominventar	#8	Recyclingorientierte Gesetzgebung
#2	Begriffsverständnis	#9	Produktdesign
#3	Sortier- und Aufbereitungsprozesse	#10	Wertstoffhöfe und Sammelstellen
#4	Ofen- und Brennertechnologien	#11	Automatisierung und Digitalisierung
#5	CO ₂ -Fußabdruck	#12	Investitionen in unabhängige Rohstoffversorgung
#6	Schrottverfügbarkeit	#13	Kooperationen in Lieferkette
#7	Recyclingziel	#14	Gesetzgebung, Standards und Verfahren

Tab. 2: Überblick Stoffstrom Aluminium (Referenzrahmen Deutschland 2021)

Stoffströme	Menge [t]	Quelle
UAK Aluminium (Referenzjahr 2021)		
Primärrohstoffe		
Bergbauproduktion ¹	0	(BGR 2022)
Import (HS 2606; Erze und Konzentrate) ²	2.020.000	(DESTATIS 2023)
Export (HS 2606; Erze und Konzentrate) ²	34.700	(DESTATIS 2023)
Raffinadeproduktion	509.000	(AD 2023)
Recyclingrohstoffe		
Import (HS 7602; Abfälle und Schrott) ²	1.040.000	(DESTATIS 2023)
Export (HS 7602; Abfälle und Schrott) ²	1.250.000	(DESTATIS 2023)
Raffinadeproduktion ¹ (nur Refiner)	565.000	(AD 2023)

¹ Angaben in Tonnen Inhalt Metall

² Material mit nicht eindeutig definiertem Metallgehalt

2.2.1 Beschreibung relevanter Stoffströme, Wertschöpfungsketten und Anwendungskontexte

Stoffströme und Anwendungskontexte

Seit Beginn der industriellen Nutzung wird versucht, Aluminium am Ende seiner Nutzung einem Recyclingprozess und damit einer Wiedernutzung zuzuführen. Aluminium birgt aufgrund seiner Beschaffenheit zumindest das theoretische Potenzial einer nahezu vollständigen Schließung von Stoffkreisläufen. In der Realität werden die Grenzen des Recyclings jedoch durch ökonomische und ökologische Faktoren sowie reale Verluste in der Wertschöpfungskette definiert. Die wirtschaftliche und ökologische Effizienz des Recyclings wird dabei unter anderem von der Produktgestaltung, der Materialbeziehungsweise Legierungsvielfalt, der geforderten Funktionalität und der Spezifikation des Rohmetalls, den tatsächlich verfügbaren Erfassungsstrukturen sowie der Effizienz des Sortier- und Trennprozesses beziehungsweise der Aufbereitungs- und Verwertungsinfrastruktur bestimmt. Abbildung 7 gibt einen schematischen Überblick über den Stoffstrom Aluminium und dessen Kreislaufführung.

Grundsätzlich gilt, dass das Recycling von Aluminium und seinen Guss- oder Knetlegierungen im Vergleich zur Primärherstellung (Rohmetall aus beispielsweise Bauxit) ökologische Auswirkungen reduziert und eine nachhaltige Produktion sichert. Daher wird inzwischen sogar vermehrt der Einsatz von Recyclingaluminium in spezifischen Produkten nachgefragt.

Rohmetall wird als raffiniertes Aluminium definiert, welches zum Beispiel in Form von Pressbolzen, Rundbarren, Masseln, aber auch flüssig gehandelt wird. Es umfasst damit sowohl Primär- als auch Sekundäraluminium (Abbildung 8).

In Deutschland gibt es derzeit keine Bergbauproduktion von Aluminium (Bauxit) und damit keinen Primärabbau. Deutschland importiert Erze und Konzentrate in Höhe von rund 2 Millionen Tonnen mit nicht bestimmten Al-Gehalten. Die Menge an Recyclingaluminium umfasste im Jahr 2021 rund 3,2 Millionen Tonnen. Diese Zahl setzt sich zusammen aus rund 565.000 Tonnen aus der Raffinadeproduktion (Refiner) und etwa 2,65 Millionen Tonnen zusätzlich durch Umschmelzen (Remelter), wie die Übersicht in Tabelle 2 zeigt.

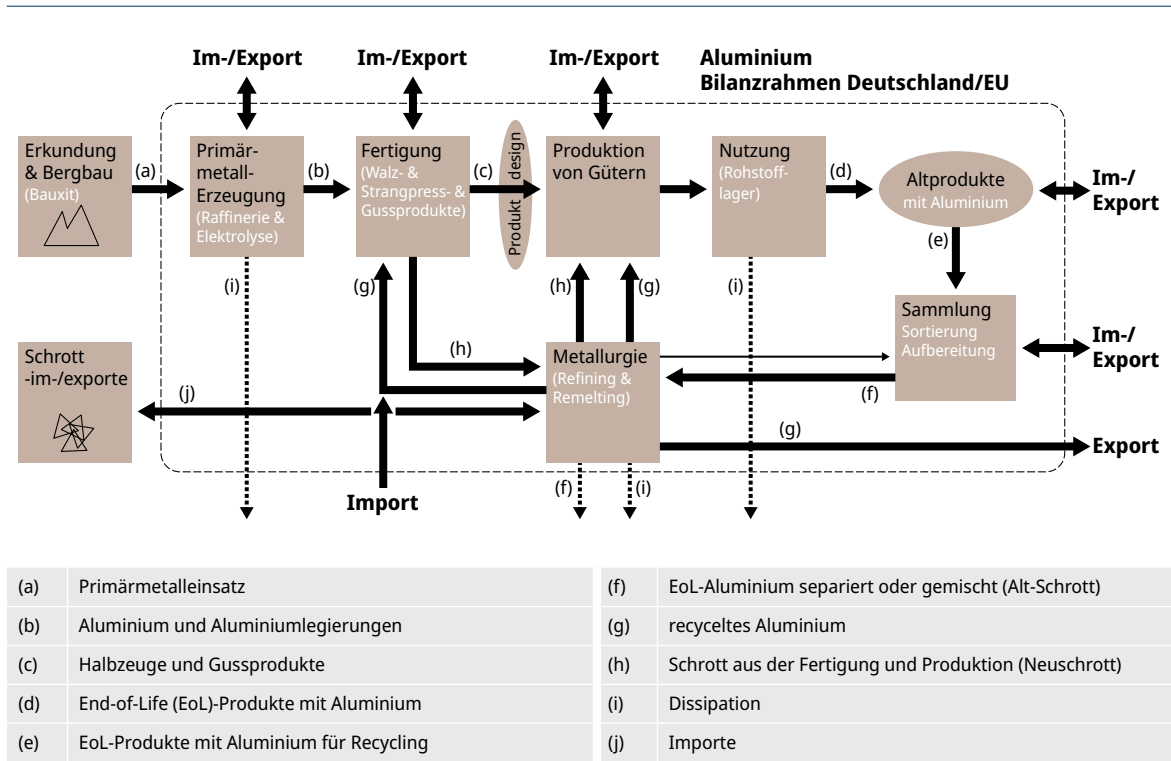


Abb. 7: Referenzgrafik Stoffstrom Aluminium in Anlehnung an UNEP (2011)

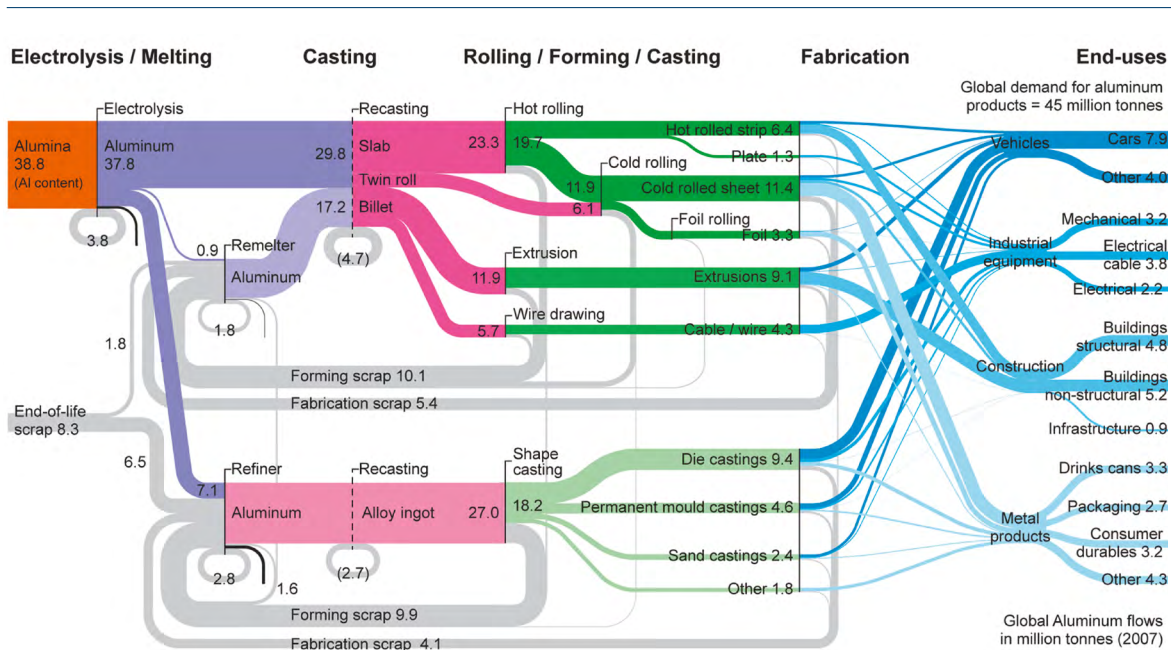


Abb. 8: Ein globales Stoffstrommodell für Aluminium für das Jahr 2007
(CULLEN & ALLWOOD 2013)

Tabelle 2 verdeutlicht die Importabhängigkeit. Zudem hat Deutschland einen ausgeprägten Außenhandel beim Halbzeug mit einem leichten Exportüberschuss. Auch auf europäischer Ebene ist eine Importabhängigkeit zu erkennen. Etwa die Hälfte des unverarbeiteten Aluminiums wird nach Europa importiert. Der europäische Außenhandel von Halbzeug zeigt einen leichten Importüberschuss und ist im Vergleich zum deutschen Außenhandel geringer. Das ist darauf zurückzuführen, dass der deutsche Außenhandel sich zu einem Großteil auf den europäischen Markt bezieht. Der europäische Außenhandel wiederum berücksichtigt lediglich den außereuropäischen Handel (RAATZ et al. 2022).

Aluminium kann im schmelzflüssigen Zustand mit verschiedenen Elementen legiert werden. Durch das Legieren können bestimmte Eigenschaften gefördert oder andere ungewünschte Eigenschaften unterdrückt werden. Aluminiumwerkstoffe eröffnen damit vielfältige Möglichkeiten in der Formgebung: Sie können gegossen, gewalzt, geschmiedet und gepresst werden. Entsprechend werden Aluminiumwerkstoffe nach ihrer Eignung zu bestimmten Fertigungsverfahren in Knet- und Gusslegierungen eingeteilt. Bei der Unterteilung wird in beiden Gruppen die Eignung zum Aushärten berücksichtigt, was wie-

derum den Anwendungsbereich definiert (GDA 2003; GDA 2004; GDA 2007).

Typische Knetlegierungen sind entsprechend der Normung der Aluminium Association (AA): 1100 für Lebensmittelverpackungen („Alu-Folie“), 1350 für elektrische Leiter, 3003 für Wärmetauscher, 3004 für Getränkedosen (wobei der Öffnungsclip meist aus der Legierung 5182 besteht), 5052 für Gasbehälter, 6063 für Fahrzeugrahmen, 7050 und 7075 für Luftfahrtanwendungen (HATAYAMA et al. 2006). Die mittlere Zusammensetzung ausgewählter Knetlegierungen ist in Tabelle 3 angegeben.

Die häufigsten Legierungselemente für Aluminium sind Magnesium, Silizium, Titan, Chrom, Mangan, Eisen, Kupfer und Zink. Weitere Legierungsmetalle können Nickel, Silber, Bor, Bismut, Gallium, Lithium, Blei, Zinn, Vanadium oder Zirkonium sein (ALUMINUM ASSOCIATION 2015). Zusätzlich gilt, dass üblicherweise jedes nicht explizit aufgeführte Element maximal zu 0,05 % enthalten sein darf und in der Summe solche Elemente nicht mehr als 0,15 % Gewichtsanteil ausmachen dürfen (ALUMINUM ASSOCIATION 2015). Eine wichtige Anwendung für Aluminiumgusslegierungen, die insgesamt höheren Gehalte an Legierungselementen enthalten, sind Motorblöcke im Fahrzeugbau (NAKAJIMA et al. 2010).

Tab. 3: Mittlere Gewichtsanteile der Legierungselemente für ausgewählte Aluminiumlegierungen in Prozentwerten (ALUMINUM ASSOCIATION 2015); Aluminium macht den auf 100 % fehlenden Massenanteil aus

Nr.	Kommentar	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
1235	Haushaltsfolie	0,65 (Si+Fe)		0,05	0,05	0,05	–	0,1	0,06
3003	Häufigste 3xxx-Legierung	0,6	0,7	0,13	1,25	–	–	0,1	–
5182	Verschluss von Aludosen	0,2	0,35	0,15	0,38	4,5	0,1	0,25	0,1
6063	Häufigste 6xxx-Legierung	0,6	0,35	0,1	0,1	0,68	0,1	0,25	0,1
1350	Leiteraluminium	0,1	0,4	0,05	0,01	–	0,01	0,05	–
3004	Behälter Aludosen	0,3	0,7	0,25	1,25	1,05	–	0,25	–
5083	Schiffbau (Platten)	0,4	0,4	0,1	0,7	4,45	0,15	0,25	0,15
6061	Zweithäufigste 6xxx-Legierung	0,6	0,7	0,28	0,15	1,0	0,21	0,25	0,15
8011	Alternative Alufolie	0,7	0,8	0,1	0,2	0,05	0,05	0,1	0,08

Schrotte bestehen demnach sowohl aus Knet- als auch Gusslegierungen und es kann auf den Sammelplätzen zu einer Vermischung der unterschiedlichen Legierungsarten kommen, falls nicht strikt auf deren Getrennthaltung geachtet wird. Es wird dabei von einem Verhältnis von 70 zu 30 % zwischen Schrotten aus Knetlegierungen und Gusslegierungen ausgegangen (RAATZ et al. 2022).

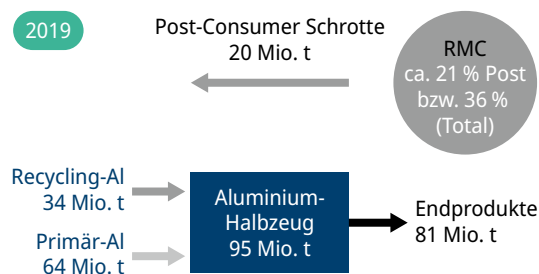


Abb. 9: Grafik zu Massenbilanzdifferenzen gemeldeter Daten und Lagerbestände (IAI 2021). RMC: Primärrohstoffnutzung für inländischen Konsum und Investitionen

Auf Basis des weltweiten Aluminiumbedarfs (Abbildung 9) lässt sich folgender Sachverhalt darlegen: Weltweit werden derzeit rund 21 % des Aluminiumbedarfs aus Alt-Schrotten (post-consumer) gedeckt, circa 36 % aus Alt- und Neuschrotten.² Durch Importe und Reduzierung der Schrottexporte nach außerhalb Europas würde sich die regionale Verfügbarkeit von Schrotten erhöhen. In Analogie führen Exporte zu einer Verknappung an Schrotten in Europa. Dabei sind Im- und Export von Schrotten zwei Seiten einer Medaille und in einer Beurteilung der Rolle des Außenhandels integriert zu betrachten. Die Erhöhung der Verfügbarkeit macht nur dann Sinn, wenn die benötigten Verarbeitungskapazitäten auch im Inland vorgehalten werden können. Ohne entsprechenden Absatz wäre auch die notwendige Wirtschaftlichkeit der heimischen Recyclingprozesse in Frage gestellt.

Laut Prognosen (Abbildung 10) kann sich die globale Verfügbarkeit von Alt-Schrotten bis 2050 quasi verdreifachen. Dagegen nimmt wegen des Marktwachstums die relative Schrottverfügbarkeit für Produkte in den nächsten Jahren nur moderat zu. Marktwachstum und lange Lebensdauer von Produkten sind ebenso Faktoren,

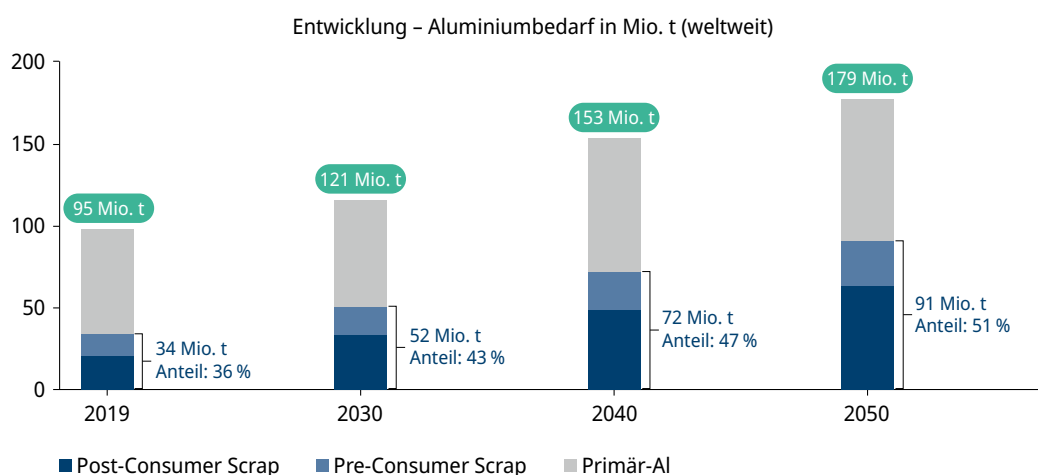


Abb. 10: Prognose des Aluminiumbedarfs bis 2050 und dessen Deckung durch Primär- und Sekundär-Aluminium (IAI 2021)

² Hinweis der Geschäftsstelle: Die Diskrepanz zwischen den Zahlen in Abbildung 2 und 3, die möglicherweise ins Auge fallen, ergeben sich aus den unterschiedlichen zeitlichen Datenrahmen, die den Abbildungen jeweils zugrunde liegen.

die die Schrottverfügbarkeit beeinflussen.³ Auf Basis der genannten Aspekte ist auch zukünftig Primäraluminium in erheblichem Umfang erforderlich, um den sich abzeichnenden Bedarf zu decken. Daher ist es wichtig, nicht nur mit dem aktuellen Stand, sondern auch mit Prognosen zu arbeiten. Wie wird sich mengenmäßig beispielsweise der Automobil- beziehungsweise Verkehrssektor entwickeln, der derzeit mit 47 % der Absatzmärkte (siehe Abbildung 11) den Großteil ausmacht? Zukünftig werden aller Voraussicht nach weniger Verbrennungsmotoren im Zuge der E-Mobilität benötigt. Stattdessen gewinnt der Leichtbau aufgrund des Gewichts der Batterien große Bedeutung in der Mobilität. Zudem dürfen Bio-Treibstoffe zukünftig bei Verbrennern eingesetzt werden. Auch die Entwicklung der Märkte für Großgeräte (Weiße Ware) und Verpackungen (unter anderem Dosen) ist mengenmäßig interessant. Eventuell vorhandene Zahlen sind anhand entsprechender Prognosen anzupassen.

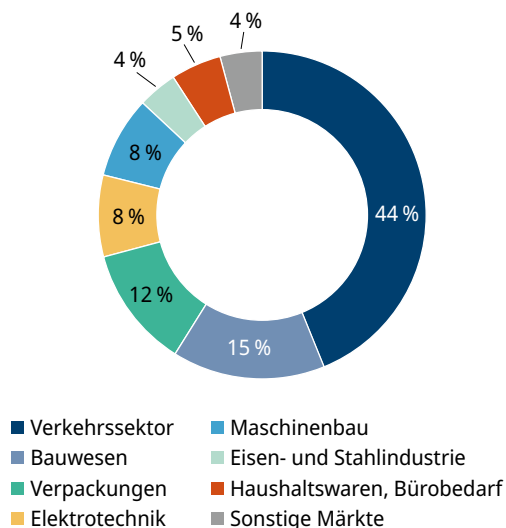


Abb. 11: Absatzmärkte für Aluminiumprodukte in Deutschland für das Jahr 2017 (BMWSB 2017)

In Deutschland ist derzeit für Aluminium der Verkehrssektor der weitaus größte Absatzmarkt. Unter den Verkehrssektor fallen Luftfahrt, Schienenverkehr, Schiffe, aber auch der Automobilsektor (mit circa 1/3 Anteil am Gesamtverkehrssektor, Aluminium Deutschland 2021). Gründe hierfür sind die Leichtigkeit gepaart mit Sicherheit, Korrosionsbeständigkeit, Steifheit und Festigkeit. In diesem Kontext gewinnen scandium-haltige Aluminiumlegierungen an Bedeutung (XINGLU CHEMICAL K.A.).

Im Hinblick auf die Schrottverfügbarkeit lassen sich unter anderem folgende Aussagen treffen: Die Lebensdauer eines Automobils liegt bei circa 15 Jahren. Das heißt, der Rücklauf an Schrotten aus diesem Bereich erfolgt jeweils nach circa 15 Jahren. Im Hinblick auf die regionale Verfügbarkeit an Schrotten aus der Automobilindustrie ist darüber hinaus von entscheidender Bedeutung, dass eine Vielzahl der Automobile nach der Herstellung als Neufahrzeug und gegebenenfalls Nutzung in Deutschland oder Europa als Gebrauchtwagen exportiert wird und somit das Aluminium nicht für das Recycling in Deutschland zur Verfügung steht (UBA 2021), wenn keine Gegenmaßnahmen, wie eine Stärkung der Verwertungsnachweise, Pfandsysteme⁴ oder Rücknahmeverpflichtungen ergriffen werden. Folglich ist es dringend erforderlich, auf den millionenfachen Abfluss von Altfahrzeugen auf Ebene der EU-Kommission aufmerksam zu machen.

Das alles hat entscheidende Konsequenzen auf die Menge der regional zur Verfügung stehenden Schrotte. Ein mittelfristiger Einfluss auf die Lebensdauer wird auch mit dem von der EU-Kommission angestrebten Leasing von Fahrzeugen (hauptsächlich wegen der Batterien) erwartet, was eine größere Nutzung innereuropäischer Fahrzeugrückläufer für das nationale Recycling wahrscheinlich werden lässt. Maßnahmen sollten daher solche Entwicklungen mitberücksichtigen (EU-RECYCLING 2018).

³ Beim Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen werden Bauanwendungen mit zwischen 25 und >= 50 Jahren Lebensdauer angegeben. Siehe unter <https://www.nachhaltigesbauen.de/austausch/nutzungsdauern-von-bauteilen/>.

⁴ Hinweis der Geschäftsstelle: Diese Aussage stellt eine „Debattenposition“ dar, das heißt zum Thema „Pfandsysteme“ gibt es in der Dialogplattform unterschiedliche Standpunkte und Sichtweisen.

Rolle des Recyclings im Bereich Aluminium

Die Bedeutung des Recyclings von Aluminium ist in Abbildung 12 zu sehen. Neben der starken Reduzierung der CO₂-Emissionen sind weitere umweltrelevante Effekte aufgezeigt.

Das Recycling von Aluminium aus den verschiedensten Quellen hat eine sehr hohe wirtschaftliche und ökologische Relevanz, da jedes zurückgewonnene Kilo Sekundäraluminium die vierfache bis fünffache Menge an Bauxit (Primärrohstoff), vor allem aber Energie und CO₂, einspart. Das Recycling von Aluminium benötigt nur 5 % der Energie, die zur erstmaligen Herstellung von Aluminium über die energieintensive Schmelzelektrolyse erforderlich ist. Zudem werden derzeit beim Recycling von Schrotten im europäischen Durchschnitt rund 0,5 Kilogramm CO₂-Äquivalente pro Kilogramm Aluminium freigesetzt, bei der Herstellung von Primäralumi-

nium rund 6,7 Kilogramm CO₂-Äquivalente pro Kilogramm Aluminium (European Aluminium 2018). In Deutschland sind die Verwertungsquoten von einmal in den Wertstoffkreislauf zurückgeführten Schrotten (über 50 % werden exportiert) relativ hoch, wie beispielsweise für Aluminium bei den Hauptanwendungen Automobil, Bau und Verpackungen mit teilweise über 90 % (BURGER et al. 2020; GESELLSCHAFT FÜR VERPACKUNGSMARKTFORSCHUNG 2021). Die EoL-Recyclingrate der Getränkedose liegt beispielsweise über 99 % (GESELLSCHAFT FÜR VERPACKUNGSMARKTFORSCHUNG 2021), da die getrennte Erfassung gut funktioniert. Diese Zahlen sind aber im Sinne der Hebung von Optimierungspotenzialen näher zu analysieren und immer zu hinterfragen, da sie keine direkten Aussagen über die Qualität des Recyclings, die chemische Zusammensetzung der Rezyklate und damit auch über deren Wiederverwendungsmöglichkeiten zulassen. Hier wäre es sehr viel interes-

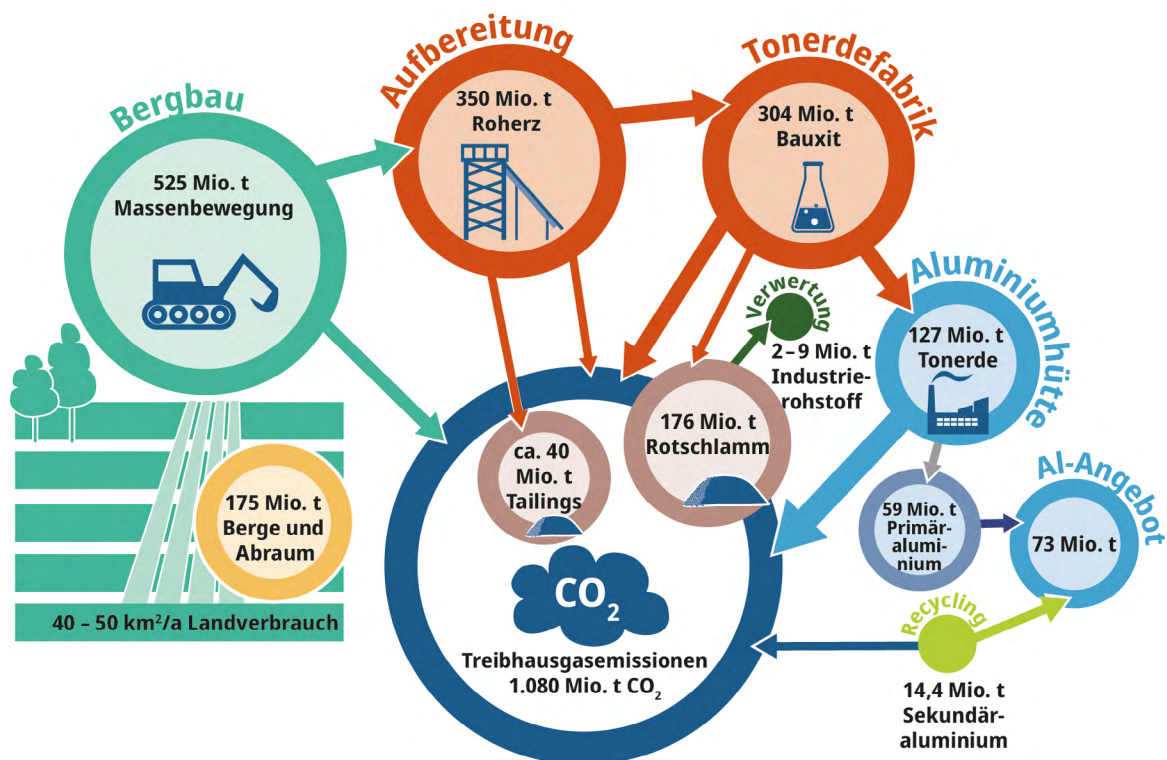


Abb. 12: Berechnete Massenströme in der Aluminiumproduktion und Hauptauswirkungen auf die Umwelt (VASTERS & FRANKEN 2020)

santer, etwas über die Rezyklateinsatzquote (EoL-RIR) zu erfahren. Darüber hinaus gibt es einen sehr großen Unterschied zwischen Verwertung und tatsächlichem Recycling. Hier wird bisher in den Veröffentlichungen von Zahlen für das Recycling nicht klar unterschieden.

Optimierungspotenziale finden sich hier über die gesamte Wertschöpfungskette, die derzeit für kaum ein Produkt tatsächlich nachvollziehbar sind. Aktuell werden die oben genannten Legierungselemente im Aluminiumrecycling-Prozess nicht gezielt extrahiert, sondern, wenn möglich, in geeigneten Ziellegierungen weiter genutzt. Je besser die Sortierung der Ausgangslegierungen hinsichtlich der gewünschten Ziellegierung ist, das heißt, je sauberer das Ausgangsmaterial ist, desto weniger sauberes Primäraluminium muss im pyrometallurgischen Prozess als „Verdünnungsmittel“ für Störelemente eingesetzt werden. Speziell für den Fahrzeugsektor wird, zum Beispiel im Autonetzwerk Catena-X, derzeit untersucht, inwieweit hier über eine bessere beziehungsweise selektivere Trennung der Altschrotte zum Beispiel hinsichtlich ihrer Legierungsart höhere Recyclingraten erreicht werden können. Aber nicht nur im Automobilbereich wird versucht, Kreisläufe stetig zu optimieren, um die Rohstoffversorgung der Produktion sicherzustellen. Insbesondere durch den steigenden Bedarf an wirtschaftsstrategischen Rohstoffen zum Beispiel für die Elektromobilität und den damit verbundenen Bedarf an Batterierohstoffen und den hierzu notwendigen Batteriekästen strebt die Automobilbranche zunehmend geschlossene Kreisläufe an, um die Versorgungssicherheit mit Rohstoffen sicherzustellen. Um den Wiedereinsatz von Sekundärrohstoffen zukünftig innerhalb der Automobilbranche zu vereinfachen, wird versucht, verstärkt weniger unterschiedliche Legierungsarten zu verbauen. Das erleichtert die nachfolgende sortenreine Trennung und erhöht den Freiheitsgrad der Einsatzmöglichkeiten für die Rezirkulation.

Die globale und europäische Aluminiumindustrie ist gefordert, die Umweltauswirkungen der Aluminiumproduktion und -nutzung weiterhin

zu reduzieren und in innovative Technologien zu investieren. Hinzu kommen Maßnahmen, um die Schrottverfügbarkeit zu erhöhen, wie verbesserte Sammel- und Sortiersysteme und geänderte Rahmenbedingungen.

Unternehmensseitige Ansätze zur Stärkung der Nachhaltigkeit basieren auf drei Säulen:

- CO₂-Fußabdruck von Primäraluminium durch nachhaltige Gewinnungsverfahren verringern,
- ressourceneffiziente Produktion und qualitativ hochwertige, reparatur- und demontagefreundliche Produkte und Anwendungen sicherstellen,
- Recyclingpotenziale unter Berücksichtigung der Rückgewinnung nicht nur des Hauptmetalls, sondern auch der Legierungselemente unter anderem durch innovative Technologieentwicklungen weiter ausbauen.

2.2.2 Barrieren im Recycling

Im Rahmen des ersten Treffens des UAK Aluminium wurden Barrieren für das Recycling aus Sicht der Teilnehmenden mündlich und schriftlich dargestellt und im Anschluss bei offensichtlichen Dopplungen weiter zusammengefasst. Eine erste Aggregation UAK-übergreifender Themenfelder fand auf Ebene gewählter „Schlagwörter“ statt. Die nachfolgende Auflistung an Themen gibt somit einen Überblick über das Meinungsbild hinsichtlich relevanter Barrieren im UAK.

Regulatorik

Schlagwort	Barriere
Grenzwerte	Niedrige Grenzwerte erschweren Verfügbarkeit von Aluminiumschrotten im Markt (zum Beispiel Pb, im Rahmen der Überarbeitung der CLP-Verordnung wird ein Grenzwert von 0,025 % Bleigehalt diskutiert; derartige Grenzwerte erschweren und behindern die Kreislaufwirtschaft)
Recyclingfähigkeit	Verbesserungsbedürftige Recyclingfähigkeit von Schrotten (zum Beispiel WEEE) sowie Materialverbunden; Legierungsvielfalt und Materialverbunde erschweren sortenreine Trennung und ein qualitativ hochwertiges Recycling
Produktdesign	Zunahme an Produkten mit nicht separierbarem Fremdstoffanteil (Geschirrschredder), nicht lösbaren Klebeverbindungen und zunehmender Materialvielfalt
Rohstoffverfügbarkeit	Aufgrund hoher Exportquoten (bis zu 60 %) (siehe Tabelle „Überblick Stoffstrom Aluminium“ am Anfang des Berichts) und fehlender Technologien für das Recycling komplex zusammengesetzter Stoffströme kommt es zur mangelnden Verfügbarkeit von Aluminiumschrotten und mangelnder Realisierung höherer Einsatzquoten
Export	Hoher Abfluss von Aluminiumschrotten durch Exporte (DE/EU)
Vollzug	Der Vollzug (Zoll) mit Blick auf WEEE und AltfahrzeugV ist nicht ausreichend
Normung/Harmonisierung	Fehlen EU-weit harmonisierter Recyclingregeln und -verfahren für Aluminiumschrotte (beispielsweise: EU-einheitliche Sammel- und Sortierraten)

Anreize und Förderung

Schlagwort	Barriere
Wirtschaftlichkeit von Technologien	Skalierung neuer Technologien/Verfahren bisher unwirtschaftlich (Trennung von Legierungselementen, Magnesium)
Energiepreise	Hohe Energiepreise (Einsatz alternativer Energieträger) erschweren sekundäre Metallerzeugung (Ofen-/Brennerentwicklung)
Annahmekriterien	Hohe Produkthanforderungen durch Abnehmer (Profilshredder)
Kooperation	Kooperationen entlang der gesamten Wertschöpfungskette fördern (zum Beispiel Design for Recycling)

Infrastruktur und Logistik

Schlagwort	Barriere
Analyse- und Sortiertechniken	Unzureichender Einsatz hochwertiger Analyse- und Sortiertechniken bei Aluminiumschrotten (Neuschrotte (pre-consumer)/Altschrotte (post-consumer)) in legierungsspezifischen Stoffströmen

Daten und Digitalisierung

Schlagwort	Barriere
Daten-verfügbarkeit	Produktdesign und fehlende Datenverfügbarkeit erschweren Disassembly von Batteriezellen
Informations-mangel/-weitergabe	Unzureichende Kenntnis über Mengen und Legierungszusammensetzungen der im Umlauf befindlichen Schrotte
	Unzureichende Kenntnis über Mengen und Legierungszusammensetzungen der im anthropogenen Lager befindlichen Aluminiummaterialien und deren Lebensdauer
	Fehlende Quantifizierung unvermeidbarer Verluste in Nutzungsphase/ Dissipation (zum Beispiel in Second Life von Batteriezellen)

Technologien und Prozesse

Schlagwort	Barriere
Produktdesign	Beschichtungen, zum Beispiel von Verkehrsschildern, können trockenmechanisch nicht gelöst werden (Geschirrhredder)
Getrennterfassung/-haltung	Verbundstoffgemisch verschiedener Materialien (zum Beispiel ausgeschäumte Rolltorsegmente, ISO-Profile) erschweren Getrennterfassung
Kompositwerkstoffe/Verbunde	Erschwerte Rückgewinnung aus Verbund verschiedener Aluminiumlegierungen (zum Beispiel Batterieboden von Elektrofahrzeugen)

2.2.3 Handlungsoptionen

Der UAK Aluminium hat nach der Diskussion der Barrieren Vorschläge entwickelt, wie diese Barrieren abgebaut werden könnten. Als wesentliche „Enabler“ werden folgende 14 Punkte adressiert.

Überblick der Enabler

#1	Inventar der Stoffströme – Transparenz
#2	Einheitliches Verständnis von Begriffen – Definitionen
#3	Innovative Prozesse – Sortieren und Aufbereiten
#4	Innovative Prozesse – Ofen- und Brenntechnologien
#5	Reflexion der Effizienz von Maßnahmen – CO ₂ -Fußabdruck – Schaffung neuer Märkte für Rezyklate

#6	Schrottverfügbarkeit – limitierender Faktor und unterschiedliche Wahrnehmung
#7	Definition des Ziels von Recycling – Nennung von Zielkonflikten
#8	Recyclingorientierte Gesetzgebung
#9	Produktdesign
#10	Investitionen in Wertstoffhöfe und Sammelstellen zur Sicherung der Rohstoffversorgung in Deutschland
#11	Unterstützung von Automatisierung und Digitalisierung von Prozessen
#12	Investitionen in unabhängige Rohstoffversorgung für die Kreislaufwirtschaft
#13	Kooperationen über die Lieferkette
#14	Gesetzgebung für eine Kreislaufwirtschaft und EU-weite Vereinheitlichung von Recyclingregeln, -standards und -verfahren

Enabler #1

Inventar der Stoffströme – Transparenz

Als Grundlage für Richtungssicherheit sind ein gutes Inventar beziehungsweise verlässliche Daten bezüglich der Darstellung der Stoffströme wichtig, da jeder Markt (bezogen auf Produkt, Werkstoff) spezifische Herausforderungen darstellt. Eine zuverlässige und umfassende Datengrundlage auf Basis fortlaufender Erhebungen zu legierungsspezifischen Stoffströmen und Rohstoffverlusten (unter anderem auch durch Export, falsche Entsorgung, mangelhafte Sortierung etc.) oder gegebenenfalls auch durch einen Produktpass über die Lieferkette hinweg trägt dazu bei, Transparenz zu schaffen und Richtungssicherheit zu gewähren. Grundlage der weiteren Arbeit sollte daher ein Screening vorliegender Daten aus bereits existierenden Initiativen und Projekten sein (BUCHERT et al. 2021; UBA 2021). Es gilt zu eruieren, ob entsprechende Daten aus der Industrie beziehungsweise deren Verbänden verfügbar sind und im Rahmen einer Materialflussanalyse transparent dargestellt werden können. Dazu ist eine Vereinheitlichung der Begriffsdefinitionen erforderlich.

Enabler #2

Einheitliches Verständnis von Begriffen – Definitionen

Es gilt, ein einheitliches Verständnis für Begriffe wie Recycling (im Unterschied zur Verwertung), Rezyklateinsatzquote, Recyclingquote (Bezugsgröße definieren), Recyclingrate, Alt-Schrotte, Produktionsschrotte, Fertigungsschrotte zu gewährleisten. Bisher gibt es hier keine klar definierten Bezugsgrößen.

Enabler #3

Innovative Prozesse – Sortieren und Aufbereiten

Um ein optimiertes Recycling zu gewährleisten, sind legierungsspezifische Stoffströme mit möglichst hoher Sortiertiefe hinsichtlich der Begleitelemente voneinander zu trennen. Dies ist mit den derzeit am Markt befindlichen Sortier- und Trennverfahren nur sehr eingeschränkt

möglich. Bei gemischten Aluminiumschrotten ist die Trennbarkeit nach Legierungen oder Legierungsgruppen also eine wichtige Stellgröße. Wichtig ist das Getrennthalten beziehungsweise Trennen (zum Beispiel von Guss- und Knetlegierungen) sowohl bei Fertigungsschrotten als auch bei gebrauchten Aluminiumprodukten (Pre- und Post-Consumer-Schrotte) im Unternehmen und auf dem Schrottplatz. Die Entwicklung von wirtschaftlichen Sortier- und Trennverfahren sowie die großtechnische Umsetzung sollten intensiv gefördert werden. In diesem Zusammenhang könnten beispielsweise binäre Einzelsortierverfahren durch mehrkanalige Mehrstufensortierung ersetzt werden. Das Aluminiumrecycling könnte unter anderem mit innovativen multimodalen In-line-Analysebeziehungsweise Sortiertechniken verbessert werden, um damit die Erkennung von Störstoffen in Echtzeit zu ermöglichen. Entsprechende Technologieentwicklungen sollten finanziell unterstützt werden.

Enabler #4

Innovative Prozesse – Ofen- und Brennertechnologien

Um sortenreine Stoffströme zu erhalten, werden neben effizienten Sortiertechnologien ebenfalls geeignete Ofen- und Brennertechnologien benötigt. Insbesondere vor dem Hintergrund der Transformation, verbunden mit der Elektrifizierung und des Einsatzes synthetischer Gase, muss gewährleistet bleiben, dass Umschmelztechnologien zur Verfügung stehen – auch für Schlacken oder Krätzen. Die Metallurgie muss auch unter neuen Rahmenbedingungen hinsichtlich der Energieversorgung Lösungen anbieten können.

Enabler #5

Reflexion der Effizienz von Maßnahmen – CO₂-Fußabdruck – Schaffung neuer Märkte für Rezyklate

Hier gilt vor allem zu klären, ob neue Technologien entwickelt werden müssen oder bestehende weiterentwickelt. Zu betrachten wäre auch, in welchen Grenzen die weitere Optimierung

von (Recycling-)Technologien technisch möglich und hinsichtlich der Reduzierung des CO₂-Fußabdrucks auch sinnvoll und wirtschaftlich machbar ist. Es geht dabei unter anderem um die Frage, welche Technologie-Entwicklungen zu welchem reproduzierbaren Ergebnis in der Metallaufbereitung führen, natürlich mit dem Blick auf Effizienz, Umweltverträglichkeit (unter anderem CO₂-Fußabdruck), Qualität und Wirtschaftlichkeit.

Enabler #6

Schrottverfügbarkeit – limitierender Faktor und unterschiedliche Wahrnehmung⁵

Es sollte weiter erörtert werden, warum teils sehr unterschiedliche Wahrnehmungen hinsichtlich eines möglichen Überangebots versus mangelnder Verfügbarkeit an Aluminiumschrotten bestehen. Zum einen beschreibt sich der Handel als „Ventil“ für ein regionales Überangebot an Aluschrotten. Zum anderen wird mit Blick auf die Festlegung fester Rezyklatanteile auf eine teils zu geringe Verfügbarkeit sowie die Frage der ökonomisch/ökologischen Sinnhaftigkeit einer vorgegebenen Aufkonzentration in bestimmten Produkten verwiesen.

Nach Zahlen des Umweltbundesamts und Destatis konnten im Jahre 2020 „nur circa 8 % der 2005 produzierten Pkws in Deutschland nach 15 Jahren Nutzung zur Verfügung“ gestellt werden, da von 5,3 Millionen produzierten Fahrzeugen aus dem Jahre 2005 lediglich 406.000 Fahrzeuge im Jahre 2020 verwertet wurden. Für die Produktion von 3,5 Millionen Fahrzeugen im Jahre 2020 wurden 573.000 Tonnen Aluminium benötigt. Aus der Verwertung von Altfahrzeugen konnten 44.200 Tonnen Aluminium dieser Produktion zugeführt werden, das heißt eine Rezyklateinsatzquote von 8 % (Annahmen: Gewicht Pkw: 2005 = 1,1 Tonnen – 2020 = 1,4 Tonnen, Anteil NE-Metalle: 2005 = 11 % – 2020 = 13 % (davon 90 % Al), Verwertungsquote 2020: 95 % – Nutzungsdauer 15 Jahre).

An dieser Stelle sollte auch festgehalten werden, dass die Produktexporte den gleichen Rohstoffexporteffekt haben wie die Abfallexporte. Schrottexporte wären nur dann mit Rohstoffverlusten gleichzusetzen, wenn für alle Schrotte hierzulande überhaupt Einsatzmöglichkeiten bestehen würden (nicht vorhandene Kapazitäten, die nicht geplant sind). Insbesondere die voranschreitende Deindustrialisierung führt zu einer rückläufigen Nachfrage im Binnenmarkt. Um diesen Abfall- und Produktexporten und damit Materialabflüssen entgegenzuwirken, arbeiten die Hersteller zunehmend an neuen kreislauforientierten Geschäftsmodellen, zum Beispiel Pfandsysteme.

Enabler #7

Definition des Ziels von Recycling – Nennung von Zielkonflikten

Das Ziel des Recyclings muss zukünftig klar definiert werden. Es macht keinen Sinn, jedes Partikel auszusortieren, wenn das die Ziellegierung im Hinblick auf die Sicherstellung der Funktionalität nicht erfordert. Dafür wäre es aber wichtig, die für die deutsche Industrie im wesentlichen benötigten Ziellegierungen zu beschreiben und diese Information für die Recyclingwirtschaft zur Verfügung zu stellen. Dabei sollten die ökologischen Aspekte zum Beispiel durch den Einsatz von Legierungselementen ebenso beachtet werden.

Enabler #8

Stärkere Berücksichtigung des Recyclings in der Gesetzgebung

Zum Teil bestehen Widersprüchlichkeiten in den Regelungen und Definitionen aus dem Abfall- versus Chemikalienrecht, die eine wirksame Umsetzung und Vergleiche innerhalb der Kreislaufwirtschaft erschweren (zum Beispiel Bleigrenzwerte oder Angaben von angeblich erreichten Recyclingquoten). Diese Zielkonflikte sollten daher klar benannt werden, um auf einen Ausgleich zwischen den Rechtsvorschriften hinzuwirken.

⁵ Hinweis der Geschäftsstelle: Aussagen zum Thema „Schrottexporte“ stellen eine „Debattenposition“ dar, das heißt, zum Thema gab es in der Dialogplattform unterschiedliche Standpunkte und Sichtweisen.

Die Vereinheitlichung von Recyclingregeln bei gleichzeitiger EU-weiter Kooperation ist wichtig. Gleiche Anforderungen an das Recycling sowie EU-weite Kooperation für das Recycling von Aluminium würden Materialverluste durch Schrottexporte (Schrott oder Altprodukte) reduzieren.

Eine EU-weite Vereinheitlichung von Recyclingregeln und -verfahren unterstützt die Sicherstellung funktionierender Recycling-Binnenmärkte und eines funktionserhaltenden Recyclings. Hierzu sollten auch technische Verwertungsstandards erarbeitet werden, die die Hochwertigkeit des Recyclings adressieren.

Enabler #9

Produktdesign

Eine der Hauptforderungen ist, bereits beim Produktdesign auf Recyclingfähigkeit zu achten. Das schließt beispielsweise die einfache Demontage ein, sodass Produkte nach ihrer Nutzungsdauer (EoL) gut in ihre Einzelteile zerlegbar sind. Dazu gehört auch, dass mittelfristig die Legierungsarten reduziert und Verbundmaterialien vermieden oder recyclingfreundlich gestaltet werden. Das vereinfacht die sortenreine Trennung und vermindert die Verluste an Begleitelementen im pyrometallurgischen Prozess. Ein Produktpass mit den nötigen Informationen für den Recycler vereinfacht das funktionserhaltende Recycling darüber hinaus. Auch die künftige ProduktdesignVO sollte das funktionserhaltende Recycling unterstützen.

Enabler #10

Investitionen in Wertstoffhöfe und Sammelstellen zur Sicherung der Rohstoffversorgung in Deutschland

Beispiel 1: Die Sammelquote von WEEE wird nach wie vor nicht erreicht. Im Gegenteil, die Quote nimmt ab und liegt aktuell bei 39 % statt den geforderten 65 %. Neben dem Handel sind Wertstoffhöfe (inklusive spezielle Boxen regionaler Entsorger) für die deutliche Verbesserung der Erfassung von Sekundärrohstoffen eine ganz wichtige Stellschraube zur Erhöhung des inländischen Rohstoffaufkommens.

Beispiel 2: Für Aluminium-Verbundmaterialien (3A Composites-Aluminiumverbundplatten) wird derzeit erst ein Rücknahmesystem aufgebaut, das künftig auf weitere europäische Länder ausgeweitet werden soll.

Auch hier könnten Wertstoffhöfe zukünftig eine größere Bedeutung hinsichtlich der verbesserten Erfassung erhalten sowie als Vorsortier- (Reparatur, Reuse) und Demontagezentren unter anderem von WEEE ausgebaut werden.

Enabler #11

Unterstützung von Automatisierung und Digitalisierung von Prozessen

Die Demontage erfolgt heute zum überwiegenden Teil händisch. Zukünftige Entwicklungen sollten daher eine automatisierte Demontage im Blick haben. Aufbereitungstechnologien sollten flexibel agieren und nach Industriestandard 4.0 (KI) ausgebaut werden.

Enabler #12

Investitionen in unabhängige Rohstoffversorgung für die Kreislaufwirtschaft

Eine von Rohstoffimporten unabhängige europäische Recyclingwirtschaft ist anzustreben. Dazu gehört eine importunabhängige, europäische Rohstoffversorgung für Aluminium, Legierungsmetalle, Energieträger, Betriebs- und Hilfsstoffe. Gegebenenfalls muss hierzu die Erstellung von Infrastrukturen und Standorten gefördert werden. Hierfür sind ausgewiesene Sammelstellen (insbesondere für WEEE, die sonst im gelben Sack oder Hausmüll landen), der Handel, die Recyclingindustrie sowie im Hinblick auf den Produktbereich auch Akteure für die Bereiche Reparatur (Werkstätte) und Reuse (Handel) gefragt. Die entsprechenden Entwicklungen bei innovativen (pyro- und hydrometallurgische) Technologien (auch Ofen und Brenner) sind ebenso einzubinden.

Enabler #13

Kooperationen über die Lieferkette

Recycling fängt bei der Auswahl der Legierungen und dem Produktdesign an und endet beim

Sammeln, Aufbereiten, Trennen und Ein- oder Umschmelzen. Beim Umschmelzen wird die Legierung, entsprechend ihrer gewünschten neuen Nutzung, meist unter Verwendung von Primärmaterial, eingestellt. Die Prozesse müssen zukünftig besser aufeinander abgestellt werden. Eine Optimierung erfordert das Zusammenspiel aller Akteure. Derartige Kooperationen sind zu fördern.

Enabler #14

Gesetzgebung für eine Kreislaufwirtschaft und EU-weite Vereinheitlichung von Recyclingregeln, -standards und -verfahren

Die Vereinheitlichung von Recyclingregeln bei gleichzeitiger EU-weiter Kooperation ist wichtig, um die derzeitigen Rohstoffverluste zu minimieren. Eine EU-weite Vereinheitlichung von Recyclingregeln und -verfahren unterstützt die Sicherstellung funktionierender Recycling-Binnenmärkte und eines funktionserhaltenden Recyclings. Aktuell bestehen innerhalb der EU jedoch erhebliche Unterschiede in der Prozessqualität des Recyclings hinsichtlich der Rückgewinnung und Qualität des Rezyklates, der Wiederverwendung, Schadstoffentfrachtung, Prozessemissionen, Sicherheits- und Umweltstandards sowie dem Vollzug der Abfallgesetzgebung. Dadurch kommt es zu Abflüssen von Abfällen in Länder mit nur freiwilliger Anwendung und weniger guten Recyclingprozessen. Wichtige Wertstoffe gehen dadurch nicht nur dem heimischen Markt, sondern prinzipiell verloren.

Mögliche Lösungsansätze zur Vereinheitlichung von Recyclingregeln, -standards und -verfahren umfassen klare Definitionen und die Kontrolle von Vorgaben, aber auch den Abbau von Bürokratie und keine unrealistischen Forderungen hinsichtlich der Einhaltung von Grenzwerten für Begleitelemente oder Verunreinigungen in Legierungen. Als Negativbeispiel wurden die derzeit diskutierten Bleigrenzwerte im Rahmen der Überarbeitung der CLP-Verordnung genannt. Es ist darauf zu achten, dass der gesamte Wertstoffkreislauf in der EU vorhanden bleibt. Exporte dürfen nur in ausländische Recycling-

anlagen erfolgen, die mit Europa vergleichbare Umwelt- und Verwertungsstandards haben. Die Rohstoffkette sollte nicht unterbrochen werden. Entsprechende Regularien und Bestimmungen könnten in der (neuen) ÖkodesignVO festgehalten werden.

2.2.4 Machbarkeit und Zielkonflikte

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Diskussionen zur Machbarkeit dargestellt, in welchen die erarbeiteten Lösungsansätze/Enabler unter den Aspekten rechtlicher, informatorischer/organisatorischer, technischer, ökologischer und sozio-ökologischer Machbarkeit betrachtet wurden. Die aufgeführten Themen stellen damit die (subjektiven) Sichtweisen der Teilnehmenden dar. Zielkonflikte, bei denen zwei oder mehrere der oben genannten Aspekte im Widerspruch zueinander stehen, wurden (sofern vorhanden) herausgearbeitet und separat aufgeführt.

Enabler #1

Inventar der Stoffströme – Transparenz

Machbarkeit

Die überwiegende Mehrheit der Teilnehmenden ist davon überzeugt, dass Transparenz bei den Prozessen der Stoffströme geschaffen werden kann.

Größere Hürden für mehr Transparenz werden vor allem im informatorisch-organisatorischen und rechtlichen Bereich erwartet, zum Teil aber auch im technischen Bereich gesehen. Es sind vor allem folgende Aspekte, die nach Meinung der Teilnehmenden eine Umsetzung behindern oder erschweren:

- Die ressortübergreifende Zusammenarbeit in den Ministerien ist aufwendig und wird nur selten forciert. Neben Gesetzen zur Verbesserung der Transparenz von Stoffströmen bedarf es dringend auch einer Stärkung des Vollzugs. Der fehlende Vollzug zeigt sich bei-

spielsweise im Bereich illegaler Exporte bei Altfahrzeugen und Elektroaltgeräten.

- Es ist noch nicht geklärt, wer Zugang zu den gesammelten Daten erhalten soll und in welchem Umfang die Daten den zugelassenen Akteursgruppen dann bereitgestellt werden sollen. Das ist zum Beispiel wichtig, wenn man über den Produktpass spricht und hier zukünftig Daten abrufen möchte. Es empfiehlt sich, dass unabhängige Behörden beziehungsweise Organisationen und Institutionen die Aufgabe übernehmen, Daten möglichst unbürokratisch und in digitalisierter Form zu erheben, aufzubereiten und in aggregierter (anonymisierter) Form zu veröffentlichen. Voraussetzung für diese Aufgabe ist, dass Unternehmen ebenso Verantwortung übernehmen, indem sie die entsprechenden Daten zur Verfügung stellen. Momentan gibt es nur wenig Bereitschaft, unternehmenseigene Daten zur Verfügung zu stellen, da sie oftmals die Essenz des Unternehmenserfolgs ausmachen. Darüber hinaus verhindern auch mögliche Verstöße gegen Compliance-Regularien und Fragen der Geheimhaltung ein Daten-Sharing.
- Für eine erfolgreiche Datenerfassung ist jedoch eine Zusammenarbeit aller relevanten Akteure entscheidend. Es ist erforderlich, eine zuverlässige und umfassende Datengrundlage auf Basis fortlaufender Erhebungen zu legierungsspezifischen Stoffströmen und Rohstoffverlusten zu schaffen. So sind Schwachstellen zu identifizieren sowie wichtige Angaben wie Menge, Zusammensetzung, Nachfrage, Grenzwerte, Quoten und Zielwerte zu ermitteln. Für fundierte Entscheidungen relevanter Akteure der Wissenschaft, Politik und Recyclingwirtschaft sind Stoffströme aus Demontage, Sortierung und Recycling standardisiert und fortlaufend zu ermitteln, zu dokumentieren und zu berichten.
- Aktuell gibt es zum Beispiel kaum Daten zu den Legierungszusammensetzungen der Stoffströme. Es besteht dringender Bedarf,

dass Daten aus der Wissenschaft durch Industriedaten ergänzt werden. Ein Screening vorliegender Daten aus wissenschaftlichen Projekten oder frei zugänglichen Statistiken reicht allein nicht aus. Die Daten, zum Beispiel zur Legierungszusammensetzung der Schrotte, sollten bei den Herstellern, Händlern, Schrottaufbereitern und Recyclern systematisch erhoben werden.

- Mit dem wichtigen Thema Datensammlung und -sharing werden auch immer häufiger die sogenannten digitalen Produkt- und Materialpässe in die Diskussion eingebracht. Teilnehmende sehen im Hinblick auf diese digitalen Pässe, ob auf Produkt- oder Materialebene, sowohl Vorteile als auch Nachteile: Als Vorteil wird festgehalten, dass digitale Produkt- und Materialpässe das Potenzial besitzen, den B2B-Austausch von Rohstoffen zu unterstützen. Ebenso als positiv gesehen wird an digitalen Produkt- und Materialpässen, mit denen häufig Datenplattformen einhergehen, dass sie die wesentlichen Produkt- und Materialinformationen zur Verfügung stellen, die für eine deutlich verbesserte Kreislaufführung von Stoffströmen benötigt wird. Dem entgegen steht die Skepsis, dass eine umfassende Einsatzmöglichkeit von digitalen Produktpässen wirklich realisierbar ist. In wenigen Teilbereichen wie etwa einem digitalen Batteriepass wird dieses Potenzial von den Teilnehmenden zwar gesehen, nicht jedoch für Metalle in der gesamten Breite. Zudem wird nicht davon ausgegangen, dass man durch einen digitalen Pass alle Daten zu einem Produkt oder einem Material zusammentragen kann. Bisher gibt es noch kein überzeugendes Konzept, wie ein Produktpass zum Beispiel im Bereich von Aluminiumprodukten erstellt werden kann. Darüber hinaus ist es notwendig, die Anforderungen an einen Produktpass näher zu spezifizieren. Dabei sollte der Fokus der Anforderungen auf Stoffinformationen liegen, nicht auf Recyclingvorgaben. Außerdem sollen Demontagepläne Teil eines Material- oder Produktpasses sein, damit ein qualitativ hochwertiges Recycling sichergestellt werden kann. Auch ein Mate-

rial- oder Produktpass ist auf die Bereitschaft von Unternehmen angewiesen, Daten und Material-/Produktinformationen bereitzustellen. Diese Forderungen sollten Teil eines delegierten Rechtsakts der EU-Kommission basierend auf der neuen Ökodesign-VO sein.

- Die Teilnehmenden halten fest, dass kleine und mittlere Unternehmen (KMU) als Motor von Innovation und essenzielle Stütze der deutschen Wirtschaft durch die Anforderungen eines Produkt- oder Materialpasses nicht überfordert und Innovationen nicht gehemmt werden dürfen. Das Nachrüsten von Technik, Informationssystemen, IT, Handscannern, Druckern etc. kann besonders KMU vor große organisatorische und finanzielle Hürden stellen. KMU sollten mit entsprechenden Fördermaßnahmen unterstützt werden.
- Schwierigkeiten, ein Monitoring für falsche beziehungsweise mangelhafte Entsorgung beim Export zu etablieren. Hierfür ist ein stoffstromspezifisches Vorgehen notwendig. Grundlage muss auch hier eine gute Datenlage sein. Die Exporte zu dokumentieren funktioniert (Eurostat, Zollstatistik, Destatis), aber ein Monitoring von falscher Entsorgung oder mangelhafter Sortierung wird von den UAK-Teilnehmenden als nur schwer umsetzbar eingestuft.
- Illegale Exporte müssen quantifiziert und reguläre Exportzahlen umfassender als bisher erhoben werden, um der unzureichenden Kenntnis über Mengen und Legierungszusammensetzung der im Umlauf befindlichen Schrotte zu begegnen.

⊗ Zielkonflikte

- Ein möglicher Zielkonflikt ergibt sich mit Blick auf den Schutz von Wettbewerbsvorteilen gegenüber der Bereitschaft, Unternehmensdaten freizugeben.
- Es wird befürchtet, dass die Kosten, die mit der Sicherstellung einer höheren Transparenz einhergehen, für die betroffenen

Akteure und Unternehmen sehr hoch sein werden und sie dabei gleichzeitig dem Druck ausgesetzt sind, ihre Gewinnvorgaben auch weiterhin zu erzielen. Auf EU-Ebene sind Audits im Rahmen der EU-Abfallverbringungsverordnung geplant.

Enabler #2

Einheitliches Verständnis von Begriffen – Definitionen

✓ Machbarkeit

- Die überwiegende Mehrheit der Teilnehmenden stimmt darin überein, dass es notwendig ist, ein gemeinsames und allen voran einheitliches Begriffsverständnis im Themenfeld Recycling zu schaffen.
- Die heterogenen und unklaren Definitionen von Recycling und Qualität stehen der Motivation, funktionserhaltend zu recyceln, entgegen.
- Wichtig ist ebenfalls, die Begriffe des „Zwecks“ und des „ursprünglichen Zwecks“, zum Beispiel in der AbfallRRL, dem KrWG, der AltfahrzeugRL, klar zu definieren. Es ist deutlich zu machen, welches Einsatzspektrum Rezyklate zukünftig haben werden und in welchen Produkten sie sich zu welchem Anteil wiederfinden sollen.

⊗ Zielkonflikte

- Hohe Kosten für betroffene Akteure und Unternehmen und Druck, Gewinnvorgaben auch weiterhin zu erzielen.

Enabler #3

Innovative Prozesse – Sortieren und Aufbereiten

✓ Machbarkeit

Die Mehrheit der Teilnehmenden geht von der Machbarkeit des Enablers aus. Bedenken, dass eine Machbarkeit schwierig sein wird, finden sich vor allem in den informatorisch-organisatorischen, technischen und sozial-ökonomischen

Dimensionen wieder. Das zeigt sich besonders an den folgenden Aspekten:

- Darüber hinaus bleibt die höhere Attraktivität (günstigerer) Primärrohstoffe oftmals bestehen, was wiederum dazu führt, dass Abnehmer nicht bereit sind, sortierte Legierungen auch wirklich einzusetzen.
- Die hohe Komplexität der Produkte erschwert das Recycling zusätzlich, da die hohe Anzahl an Legierungen zu stark heterogenen Schrotten führen (Entropie-Problem) und der Sortier- und Aufbereitungsaufwand enorm steigt. Um die Effizienz des Recyclings weiter zu optimieren, sind aber legierungsspezifische Stoffströme mit möglichst hoher Sortiertiefe hinsichtlich der Begleitelemente erforderlich. Die sich heute am Markt befindlichen Sortier- und Trennverfahren sind diesbezüglich weiterzuentwickeln. Technologie-Innovationen bedürfen enger Kooperation zwischen Wissenschaft und Sensorentwicklung.
- Binäre Einzelsortierverfahren sollten durch mehrkanalige Mehrstufensortierung ersetzt werden. An die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie Sensorentwicklerinnen und -entwickler wird appelliert, das Metallrecycling unter anderem mit innovativen multimodalen In-line-Analyse- beziehungsweise Sortiertechniken zu verbessern, um damit die Erkennung von Störstoffen in Echtzeit zu ermöglichen. Entsprechende Technologieentwicklungen sollten finanziell unterstützt werden.
- Die Sicherstellung der Planbarkeit von Investitionen und Betriebskosten muss durch entsprechende politische Rahmenbedingungen erfolgen. Denn die Weiterentwicklung der technischen Verfahren braucht die entsprechende Nachfrage. Bei gemischten Aluminiumschrotten ist die Trennbarkeit nach Legierungen oder Legierungsgruppen eine wichtige Stellgröße, doch bisher wurden die Alu-Knet- und Gusslegierungen nur teilweise voneinander getrennt, weil keine entsprechende Nachfrage gegeben war.

- Fehlende Wirtschaftlichkeit von Technologien: Eine Trennung von Legierungselementen mittels LIBS-Technologie ist möglich, aber nicht immer wirtschaftlich, daher sind Fördermaßnahmen für F&E erforderlich.
- Es gibt keine definierten Abnehmermärkte für Legierungselemente aus der Trennung beziehungsweise deren Mischprodukten.
- Hohe Investitionskosten in unterschiedliche Anlagentypen.

⊗ Zielkonflikte

- Die Teilnehmenden des UAK sehen keine Zielkonflikte in Bezug auf diesen Enabler.

Enabler #4

Innovative Prozesse – Ofen- und Brenner-technologien

☑ Machbarkeit

Die Machbarkeit dieses Enablers wird von zwei Einschätzungen geprägt: Ein Teil der Teilnehmenden ist von einer guten Machbarkeit des Enablers überzeugt, ein anderer Teil der Teilnehmenden kann noch keine abschließende Einschätzung abgeben. Bedenken wurden mit Blick auf die folgenden Aspekte geäußert:

- Energieintensive Prozesse (pyrometallurgische Prozesse) sind perspektivisch nur durch Nutzung von Strom und Wasserstoff sowie synthetischen Gasen aus erneuerbaren Energien oder Bio-Brennstoffen sinnvoll, damit sie auch zur Reduzierung des CO₂-Fußabdrucks beitragen. Dabei sollten die erforderlichen Temperaturen für die Schmelzvorgänge mit einer intelligenten Nutzung von erneuerbaren Energien erzielt werden. Derzeit sind diese Technologien jedoch noch nicht voll ausgeprägt. Es werden darüber hinaus auch Speichertechnologien benötigt sowie eine Weiterentwicklung „Grüner“ Wasserstofftechnologien. Bisher fehlt es an der notwendigen Infrastruktur und den benötigten Mengen an grünem Wasserstoff.

- Es besteht weiterer Forschungsbedarf, geeignete Verfahren beziehungsweise Ofen- und Brennertechnologien zu entwickeln. Alternativ kann die Übertragbarkeit vorhandener Technologien geprüft werden.
- Zu hohe Kosten für die betroffenen Akteure.
- ⊗ **Zielkonflikte**
 - Die Teilnehmenden des UAK sehen keine Zielkonflikte in Bezug auf diesen Enabler.
- Die technische Machbarkeit und die Schaffung neuer Märkte bedingen sich gegenseitig: Bietet man schlechte Produkte an, finden sich wenige Abnehmer. Bietet man gute Produkte/Rezyklate an, gibt es jedoch keine Abnehmer für bestimmte Konzentrate/Primärrohstoffe.
- Es fehlt immer noch an einer einheitlichen Berechnungsgrundlage beziehungsweise Anwendung/Interpretation der vorhandenen Grundlagen, die eine Vergleichbarkeit ermöglicht.

Enabler #5

Reflexion der Effizienz von Maßnahmen – CO₂-Fußabdruck – Schaffung neuer Märkte für Rezyklate

✓ *Machbarkeit*

Die Beurteilung der Machbarkeit dieses Enablers fällt unterschiedlich aus. Die große Mehrheit aller Teilnehmenden schätzt die Machbarkeit entweder als gut ein oder kann keine abschließende Einschätzung abgeben. Ein Drittel der Teilnehmenden betrachtet die Machbarkeit als umsetzbar, allerdings mit einigen Hürden und Hindernisse verbunden, die durch folgende Aspekte widerspiegelt werden:

- In der Definition von Legierungen besteht eine Grauzone in der Zusammensetzung (ASI-Definition von 10 %), die eine Umsetzung behindern könnte.
- Es kann nicht mit „Grünem Storm“ geplant werden, denn unter anderem ist die Verfügbarkeit nicht gegeben. Wenig Planbarkeit besteht im Hinblick auf indirekte Treibhausgasemissionen aus eingekaufter Energie (Scope 2) sowie alle anderen indirekten Emissionen, die durch die Aktivitäten eines Unternehmens in seiner Wertschöpfungskette entstehen (Scope 3).
- Es wird erwartet, dass es keine technologischen Sprünge im Recyclingbereich geben wird, sondern vielmehr eine Weiterentwicklung (technologische Evolution).

⊗ *Zielkonflikte*

- Die Teilnehmenden des UAK sehen keine Zielkonflikte in Bezug auf diesen Enabler.

Enabler #6

Schrottverfügbarkeit – limitierender Faktor und unterschiedliche Wahrnehmung

✓ *Machbarkeit*

Die Verfügbarkeit von Schrotten fürs Recycling bestimmt das Produktionsvolumen von Recyclingaluminium. Der Schrottanfall hängt von Faktoren ab wie „Anfall Menge an Schrotten aus Anwendungen“, Schrottimporte und -exporte. Da Maßnahmen in diesem Spannungsfeld auch im Hinblick auf eine Erhöhung des Schrottvolumens nur bedingt einschätzbar sind, wird die Machbarkeit dieses Enablers durch die Teilnehmenden mit einem „nicht beurteilbar“ versehen. Dieses Meinungsbild spiegelt wider, dass es sich hierbei um ein Spannungsfeld möglicher Maßnahmen handelt und eine teils unterschiedliche Wahrnehmung hinsichtlich der Verfügbarkeit an Aluminiumschrotten besteht. Zusätzlich wird festgehalten, dass dieses Thema im Kontext aller hier im Bericht aufgeführten Inhalte zum Thema Export steht.

⊗ *Zielkonflikte*

- Festschreibung hoher Rezyklateinsatzquoten sind zu hinterfragen und können zum Teil auch kontraproduktiv sein. Zum Beispiel stehen nicht ausreichend Schrotte zur Verfügung und diverse Effekte durch längere

Transportentfernungen zur Lenkung von Stoffströmen können zu gegenteiligen ökologischen Effekten führen.

Enabler #7

Definition des Ziels von Recycling – Nennung von Zielkonflikten

✓ *Machbarkeit*

Während ein Teil der Teilnehmenden von einer guten Machbarkeit des Enablers überzeugt ist, kann ein anderer Teil dazu noch keine abschließende Einschätzung abgeben.

- Die Zielstellungen an das Recycling sind grundsätzlich nicht verallgemeinerbar und an die spezifischen Kundenanforderungen auszurichten: Der Begriff Recycling muss daher differenziert betrachtet werden. Die Aufbereitungstiefe ist kundenanforderungsspezifisch zu definieren.
- Um zukünftig mehr Recycling zu ermöglichen, ist eine entsprechende Aufbereitungstiefe notwendig. Es muss überlegt werden, wie dazu zukünftig investiert werden soll und wie Investitionen gefördert werden (können).

✗ *Zielkonflikte*

- Anforderungen an Schadstoffgehalte versus Recycling: Die rechtlichen Anforderungen an die „Schadstoff“-Gehalte von Materialien (zum Beispiel Anforderungen an Bleigehalte in der ELV, RoHS ...) sind heute schon hoch und werden perspektivisch weiter verschärft. Neue Einstufungen von Materialien in der CLP-Verordnung sind abzusehen, die den Einsatz dieser Materialien in Produkten erheblich einschränken werden.
- Legierungselemente sind essenziell für Produkteigenschaften (Verarbeitung, Korrosion, Sicherheit, etc.), können sich aber gegebenenfalls auch negativ auf den CO₂-Footprint auswirken. Deshalb sollten solche Zielstellungen die eigentlichen Nutzungszwecke der Legierungen mitberücksichtigen.

Enabler #8

Stärkere Berücksichtigung des Recyclings in der Gesetzgebung

✓ *Machbarkeit*

Die Machbarkeit einer recyclingorientierten Gesetzgebung wird mit großer Mehrheit als gut bis sehr gut beurteilt. Dennoch werden zahlreiche Aspekte genannt, die den Umsetzungsprozess aufwendig und womöglich komplex gestalten werden:

- Die Schaffung eines Level-Playing-Fields ist nur durch Vorgaben auf Ebene der Europäischen Union möglich. Erst dann kann eine nachgestaltete, nationale Ausgestaltung eines Level-Playing-Fields angegangen werden.
- Unterschiedliche Standards und Verständnisse von Mitgliedsstaaten hinsichtlich europäischer Vorgaben: Trotz gemeinsamer europäischer Vorgaben sind die Standards und das Verständnis der einzelnen Mitgliedsstaaten sehr unterschiedlich ausgeprägt. Die einen setzen EU-Vorgaben strikt um und andere Länder orientieren sich lediglich daran (BVT-Merkblätter und Quoten).
- Die Erarbeitung technischer Verwertungsstandards ist unbedingt notwendig, um ein harmonisiertes, hochwertiges Recycling innerhalb Deutschlands und der Europäischen Union zu gewährleisten.
- Bisher ist die (technische) Kontrolle von EU-Import unzureichend. Oftmals werden Abfälle in Zusammensetzungen angeliefert, die unbekannt sind, weil zum Beispiel über das Internet Waren importiert werden, die jeglicher technischen Kontrolle durch die Europäische Union entzogen sind. Hier gilt es anzusetzen, um das Recycling zu verbessern und die Inverkehrbringer in den Prozess mit einzubinden. Zum Beispiel stellt der wenig kontrollierte Import von Elektro- und Elektronikaltgeräten über den Internethandel hinsichtlich Recyclingfähigkeit (Chemikalienrecht) ein noch weitgehend ungelöstes Problem.

lem dar. Auch ein Produktpass könnte hierbei hilfreich sein.

- Kommt es zum Import von Produkten ohne dieselben Standards, kann dies einen Wettbewerbsnachteil darstellen.

⊗ Zielkonflikte

- Schadstoffentfrachtung versus Recycling: Die Einstufung von Stoffen im Chemikalienrecht erfolgt nach toxikologischen Kriterien. Die Recyclingfähigkeit ist davon zunächst unabhängig, sodass diese keinen Einfluss auf die Grenzwerte hat. Sind für bestimmte Produkte keine Alternativen vorhanden, so werden Ausnahmen erteilt (beispielsweise Bleigehalt in Messinglegierungen in der RoHS). Die Aufrechterhaltung eines Dialogs zwischen Abfall- versus Chemikalienrecht ist sinnvoll.
- Konkurrierende Gesetzgebung zwischen Abfall- und Chemikalienrecht: Durch die konkurrierende Gesetzgebung zwischen Abfallrecht und Chemikalienrecht kommt es zu zahlreichen Zielkonflikten. Teilweise verhindern immer niedrigere Grenzwerte die Nutzung von Sekundärrohstoffen im Produktionsprozess, andererseits wird auch das Recycling verhindert, wenn bestimmte Rohstoffe ausgeschleust statt aufbereitet werden sollen, weil bestimmte Stoffkonzentrationen zu hoch sind.

Enabler #9 Produktdesign

✓ Machbarkeit

Ein Design for Recycling wird von den meisten UAK-Teilnehmenden als gut machbar befunden, wobei jedoch einige Hürden genannt werden. So werden Hindernisse bei der informatorischen und organisatorischen Machbarkeit sowie auch in den rechtlichen, technischen und sozial-ökonomischen Bereichen identifiziert:

- Für das Gelingen eines Design for Recycling ist unabdingbar, dass das Zusammenspiel in der Lieferkette stattfindet.

- Darüber hinaus ist es erforderlich, den Begriff „funktionserhaltendes Recycling“ zu definieren, um Orientierung für alle Nutzenden zu bieten und so falsche Interpretationen zu verhindern. Das Potenzial, funktionserhaltendes Recycling zu nutzen, kann durch einen (digitalen) Produktpass mit den nötigen Informationen für die Recycler einfacher nutzbar gemacht werden.

- Verbundwerkstoffe sind nur schwer recycelbar: Es gibt beispielsweise Verbundwerkstoffe mit speziellen Eigenschaften. Diese recyclingfähig zu gestalten, ist technisch nicht einfach umzusetzen, sollte aber dennoch als erklärtes Ziel festgehalten werden.

⊗ Zielkonflikte

- Seitens der Teilnehmenden wurden keine Zielkonflikte angeführt. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass Anforderungen an ein Design for Recycling widersprüchlich zu Anforderungen etwa an ein Design for Repair, Reuse oder Remanufacturing sein können.

Enabler #10 Investitionen in Wertstoffhöfe und Sammelstellen zur Sicherung der Rohstoff- versorgung in Deutschland

✓ Machbarkeit

Von der Machbarkeit dieses Enablers ist die große Mehrheit der Teilnehmenden überzeugt und es zeigt sich, dass im Falle von Wertstoffhöfen und Sammelstellen vor allem zwei Aspekte Relevanz haben.

- Zum einen ist es erforderlich, die Ursachen und Gründe für teils sehr unterschiedliche Sammelerfolge auf Wertstoffhöfen und Sammelstellen herauszuarbeiten und darauf aufbauend effizientere Sammellösungen abzuleiten. Die Sammlung ist ein zentrales Instrument zur zukünftigen Rohstoffversorgung in Deutschland. Folglich ist es wichtig, die Gründe und Ursachen für gute oder schlechte Sammlung zu kennen, um gezielt mit Investitionen unterstützen zu können.

- Zum anderen sollte (mehr) in neue Innovationen im Recycling investiert werden und generell das Verbesserungspotenzial im Recycling evaluiert werden, um Investitionstätigkeiten entsprechend ausrichten zu können.
- Es bedarf dringend der Bereitschaft beziehungsweise der Mitarbeit der Verbrauchenden, Altgeräte zu entsorgen.

⊗ Zielkonflikte

- Seitens der Teilnehmenden wurden keine Zielkonflikte angeführt.

Enabler #11

Unterstützung von Automatisierung und Digitalisierung von Prozessen

✓ Machbarkeit

Eine bessere Unterstützung bei der Automatisierung und der Digitalisierung von Prozessen wird von den UAK-Teilnehmenden zum Teil als gut machbar eingestuft, zum Teil wird angegeben, dass keine abschließende Einschätzung zur Machbarkeit abgegeben werden kann. Besonders folgende Aspekte werden genannt, die nach Meinung der Teilnehmenden eine Umsetzung behindern oder erschweren:

- Das Fehlen eines Design for Recycling und entsprechender Standardisierungen erschwert die Umsetzung von besserer Automatisierung und einer Prozess-Digitalisierung. Auch hier könnte ein Produktpass Hilfestellung leisten.
- Es wird empfohlen, dass bei der technologischen Umsetzung die Wirtschaftlichkeit mitberücksichtigt wird. Diese ist besonders im Bereich des Elektroaltgeräterecyclings essenziell.
- Auch für eine automatisierte Demontage werden zum Teil weiterhin ausgebildete Fachkräfte benötigt, die häufig jedoch nicht in ausreichender Anzahl vorhanden sind.

⊗ Zielkonflikte

- Seitens der Teilnehmenden wurden keine Zielkonflikte angeführt.

Enabler #12

Investitionen in unabhängige Rohstoffversorgung für die Kreislaufwirtschaft

✓ Machbarkeit

Im Hinblick auf die Machbarkeit von Investitionen in eine unabhängige Rohstoffversorgung für die Kreislaufwirtschaft reichen die Bewertungen der Teilnehmenden von einer positiven bis kritischen Einschätzung.

- Zu den Aspekten, welche die Umsetzung behindern oder erschweren könnten, gehört zum einen, dass internationale Wechselwirkungen wie etwa die WTO-Konformität unbedingt zu beachten sind.
- Zum anderen besteht eine (große) Abhängigkeit von Primärrohstoffen, die in der Europäischen Union nicht verfügbar, aber notwendig sind und auch in Zukunft sein werden, um die erforderlichen Qualitäten generieren zu können.
- Die Grundstoffversorgung sollte einen guten Mix von Eigenversorgung und Importvereinbarungen darstellen. Die Primärproduktion von Aluminium und Legierungselementen ist aufgrund von Faktoren wie Arbeitskosten, Stromkosten, Gesetzgebung, Globalisierung etc. aber auch Know-how aus Europa zurückgegangen. Handelsübereinkommen mit Drittländern sollten spezifische Versorgungselemente haben. Strategische Lager könnten auch ein Element der Versorgungssicherheit sein.
- Für Deutschland und Europa besteht zum Beispiel bei Magnesium eine 100-prozentige Abhängigkeit von China, was die Bedeutung von Handelsabkommen unterstreicht. Hier sind nicht nur die Unternehmen, sondern auch die Politik in der Verantwortung.

- Eine Abhängigkeit der Rohstoffversorgung von der Primärseite bleibt auch weiterhin bestehen. Kreislaufwirtschafts- und Recyclingdiskussionen bei Aluminium können nicht gänzlich ohne die Berücksichtigung von Primärrohstoffen geführt werden.
- Es ist zu hinterfragen, ob der europäische Markt genug Recyclingmaterialien/Energie zu auskömmlichen Preisen zur Verfügung stellt, um eine importunabhängige Versorgung angesichts des stark wachsenden Bedarfs in der Europäischen Union sicherzustellen.

⊗ Zielkonflikte

- Die Forderung nach Rohstoffunabhängigkeit kann den Prinzipien des freien Handels entgegenstehen. Hier bedarf es eines an den globalen Gegebenheiten ausgerichteten realistischen Vorgehens.

Enabler #13

Kooperationen über die Lieferkette

✓ Machbarkeit

Die Einschätzung der Machbarkeit zeigt ein zweigeteiltes Bild. Ein Teil der UAK-Teilnehmenden geht von einer guten Machbarkeit des Enablers aus, der andere Teil ist ebenso von der Machbarkeit überzeugt, allerdings werden dabei einige Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren könnten, gesehen:

- Die bisherige Dialogarbeit zwischen Hersteller und Recycler reicht nicht aus und sollte intensiviert werden.
- Außerdem gilt es, kartellrechtliche Fragestellungen zu klären.

⊗ Zielkonflikte

- Vielzahl an Akteuren mit ihren teils gegenläufigen wirtschaftlichen Interessen erschwert Zusammenarbeit.

Enabler #14

Gesetzgebung für eine Kreislaufwirtschaft und EU-weite Vereinheitlichung von Recyclingregeln, -standards und -verfahren

✓ Machbarkeit

Die Einschätzung zur Machbarkeit des Enablers wird von der Mehrheit trotz einiger Bedenken bezüglich möglicher Hindernisse, die im Umsetzungsprozess erwartet werden, mit einem positiven Votum belegt. Besonders kritische Einschätzungen finden sich aufgrund möglicher Zielkonflikte im rechtlichen und sozial-ökonomischen Bereich wieder. Folgende Aspekte wurden mit Blick auf die Machbarkeit des Enablers genannt:

- Auf Basis eines einheitlichen Verständnisses des Recyclingprozesses sowie der Recyclingziele wird Transparenz erreicht. Außerdem werden Verluste aller Art minimiert, indem eine übergreifende und vernetzte Optimierung des Recyclings angeregt wird. Eine Standardisierung darf dabei jedoch nicht einem effizienten, auf spezifische Anforderungen abgestimmten Recycling im Wege stehen. Ziele müssen verpflichtende Standards und technische Spezifikationen sein, die den Stand der Recyclingtechnik der gesamten Wertschöpfungskette berücksichtigen und weiterentwickeln und dabei auch Umwelt, Gesundheit, Kosten und Verfahrenseffizienz betrachten.
- Zur Vermeidung von Qualitätsverlusten müsste eine Spezialisierung einzelner Betriebe auf bestimmte Hauptmetalle realisiert werden, indem die einzelnen Metalle, Legierungen oder Elemente zu dafür spezialisierten Recyclinghöfen befördert und dort aufbereitet werden. Der Herausforderung kann entsprochen werden, indem strategisch günstig liegende Recyclingbetriebe hinsichtlich einer Spezialisierung gefördert werden und sich mit weniger spezialisierten Betrieben vernetzen.
- Legierungsbezeichnungen und -nummern wären zu standardisieren, vor allem aber EU-

weit zu harmonisieren, um die Nachvollziehbarkeit legierungsspezifischer Stoffströme zu steigern. Bestehende Bezeichnungsstandards gelten entweder national, auf europäischer Ebene oder weltweit. Ziele der Normierung sollten die Gewährleistung von Qualitätssicherung, Sicherheit und Umweltschutz sowie eine bessere Verständigung dazu zwischen Wirtschaft, Technik, Wissenschaft und Verwaltung sein.

- Die Politik signalisiert unzureichend, dass der politische Wille zu Veränderungen gegeben ist.
- Chemikalienrecht versus Recycling: Die Einstufung von Stoffen im Chemikalienrecht erfolgt unabhängig von der Recyclingfähigkeit nach toxikologischen Kriterien. Ein regelmäßiger Austausch zwischen Chemikalienrecht und Kreislaufwirtschaft ist aber aufgrund möglicher Folgen für die Recyclingwirtschaft notwendig.
- Bestehende Verarbeitungskapazitäten zur Aluminium-Aufbereitung sollten berücksichtigt werden. Bezogen auf Aluminium gibt es derzeit keine ausreichenden Verarbeitungskapazitäten, um alle in Deutschland aufbereiteten Aluminiumschrotte einzusetzen.
- Es ist damit zu rechnen, dass die Transformation des Energiesystems und der Rohstoffwirtschaft hohe Kosten verursachen wird. Maßnahmen zur finanziellen Unterstützung sollten begleitend zum Transformationsprozess frühzeitig mitangestoßen werden.

⊗ Zielkonflikte

- Der gesamte Wertstoffkreislauf sollte in der Europäischen Union vorhanden bleiben. Dabei sollten sozio-ökonomische Schäden durch Marktabstottung vermieden werden. Exporte dürfen nach Abfallrahmenrichtlinie nur in ausländische Recyclinganlagen erfolgen, die mit Europa vergleichbare Umwelt- und Verwertungsstandards haben. Der Vollzug dieser Gesetzgebung muss aber gestärkt werden.

2.2.5 Nächste Schritte

Die Bewertungen der Machbarkeiten zu den vorgestellten 14 Enablern zeigen zusammenfassend, dass die Teilnehmenden des UAK Aluminium in der Gesamtheit davon überzeugt sind, dass die möglichen Hürden, die sie bei manchen Lösungsansätzen im Falle einer Umsetzung sehen, überwunden werden können. Zukünftig kommt deshalb einem verbesserten Recycling neben der Aufrechterhaltung der Primärherstellung eine zentrale Bedeutung zu. Die zukünftige Versorgung mit Aluminium in der Bundesrepublik ist dabei unabdingbar mit den politischen Prozessen und Beschlüssen auf europäischer Ebene verbunden. Zudem gilt es weltweit, die eigene Rolle als Industrieakteur samt ihrer tiefen und komplexen Verwobenheit in globale Prozesse und Handelsbeziehungen während der notwendigen Transformation hin zu nachhaltigem, zirkulärem und ressourcenschonendem Wirtschaften zu behalten und den Weg gemeinsam zu beschreiten. Auf nationaler Ebene kann die Bundesrepublik viele wichtige Maßnahmen ergreifen, um das Recycling von Aluminium weiter zu stärken.

Kurzfristig sind die folgenden drei Lösungsansätze zu realisieren:

Die erste wichtige Handlungsoption, die **kurzfristig** gemeinsam von Politik, Industrie und Wissenschaft umgesetzt werden kann, ist die Weiterentwicklung und Förderung des Einsatzes von innovativen Trenn- und Sortiertechniken. Die derzeitigen am Markt befindlichen Sortier- und Trennverfahren sollten weiterentwickelt werden, um die legierungsspezifische Trennung von Aluminiumschrotten zu verbessern.

Die zweite **kurzfristig umsetzbare** Handlungsoption ist die Unterstützung der Transformation der pyrometallurgischen energieintensiven Prozesse. Denn so kann eine Reduzierung des CO₂-Fußabdrucks erreicht werden. Im Moment fehlt es an Technologie zur Transformation der Metallurgie – verbunden mit der Elektrifizierung und dem Einsatz synthetischer Gase.

Die dritte Handlungsoption, die **kurzfristig umgesetzt** werden kann, ist die Sicherstellung der Planbarkeit von Investitionen und Betriebskosten durch entsprechende politische Rahmenbedingungen. Eine sichere Planbarkeit ist aktuell hinsichtlich Investitionen und Betriebskosten nicht möglich.

Zudem wurden Lösungsansätze mit dem **größten positiven Einfluss** identifiziert. So sollte es von der Politik gesetzlich fest verankert werden, dass schon beim Produktdesign auf Demontage-, Reparatur- und Recyclingfreundlichkeit zu achten ist. Das schließt die einfache Demontage genauso ein wie mittelfristig Verbundmaterialien zu vermeiden oder recyclingfreundlich zu gestalten. So wäre es möglich, sortenrein zu trennen und Verluste an Begleitelementen im pyrometallurgischen Prozess zu vermindern. Im Moment kommt es auf Basis von eingeschränkter Trenn- und Zerlegbarkeit von Produkten nach ihrer Nutzungsdauer in ihre Einzelteile (EoL) noch zur Vermischung von verschiedenen Metalllegierungen, Verbundmaterialien und Kunststoffen. Das generiert Materialverluste und eine sortenreine Trennung der Stoffströme ist so nur mit hohem Aufwand möglich.

Weitere Schritte, die zur Stärkung des Recyclings von Aluminium angegangen werden sollten, können zudem weiter mit Blick auf die verschiedenen Akteursgruppen hin unterschieden werden:

Verwaltung und Politik sollten Schritte zur Förderung von Technologien und der dafür erforderlichen (digitalen) Infrastruktur ergreifen. Das beinhaltet zum einen die Etablierung von Technologie-Förderprogrammen (Sortier-, Trenn-, Brenner- und Ofentechnologien sowie Infrastruktur) sowie industrieübergreifende Förderprogramme mit lokalem und/oder regionalem Bezug. Zum anderen gilt es, relevante Rahmenbedingungen sicherzustellen. Dazu gehören die Rohstoffverfügbarkeit und der Rohstoff- und Energiebezug unter Berücksichtigung der notwendigen Volumina und der Wirtschaftlichkeit. Außerdem sollten Unterstützungsmaßnahmen auch in den Bereich Investitionen und Koopera-

tionen bei der Sammel- und Aufbereitungsinfrastruktur forciert werden.

Industrie und Wirtschaft sollten Schritte zur Etablierung von Kooperationen über die Lieferkette angehen. Sie sollten Dialogplattformen zu spezifischen Themen wie etwa Produktdesign – Verpackung, Automobil, Bau, Elektronik und erneuerbare Energien einrichten. Außerdem sollten sie Technologieforen etablieren, zum Beispiel zu Legierungstoleranzen oder pyrometallurgischen Trenntechnologien. Es sollten darüber hinaus Schritte unternommen werden, um (mehr) Förderprogramme bereitzustellen. Langfristige Kooperationen und Entwicklungen sollten begleitet werden.

Akteure aus **Wissenschaft und Forschung** sollten Schritte zur Förderung und Vereinfachung der Zusammenarbeit mit der Industrie festhalten. Einer dieser Schritte sollte sein, interdisziplinäre Forschungsprogramme zu spezifischen Themen wie dem Produktdesign, zum Beispiel im Bereich Verpackung, Automobil, Bau, Elektronik, oder Erneuerbare Energien zu etablieren und die Schaffung von Technologieforen zum Beispiel zu Legierungstoleranzen, pyrometallurgischen Trenntechnologien zu unterstützen und mitzugestalten.

Die Summe all dieser vorgestellten Handlungsoptionen könnte essenziell dazu beitragen, die Rohstoffversorgung des Industriestandorts Deutschland durch eine Stärkung des Aluminiumrecyclings für die Zukunft zu sichern. Der UAK Aluminium spricht sich daher für die Umsetzung dieser Handlungsoptionen aus.

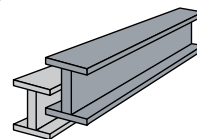
2.3 Steckbrief – Eisen und Stahl

Eisen und Stahl

Unterarbeitskreis-Leitung (Autoren):

Gerhard Endemann (Wirtschaftsvereinigung Stahl)

Prof. Dr. Rüdiger Deike (Universität Duisburg-Essen)



UAK-Übersicht



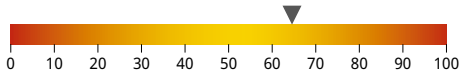
58 Beteiligte



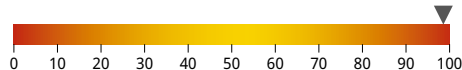
43 % Einzelunternehmen
24 % Wissenschaft
9 % Behörde
19 % Verbände
6 % Zivilgesellschaft



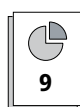
Anzahl **Barrieren**



Anzahl **Lösungsvorschläge**



Themenbereiche der identifizierten Handlungsoptionen



- #1 Europäische Rohstoffstrategie
- #2 Schrottexporte
- #3 Rechtsinterpretationen
- #4 Zielgerichtete Verordnungen
- #5 Genehmigungsverfahren

- #6 Schienengüterverkehr
- #7 Ökodesign
- #8 Schrottsortierung
- #9 Forschung & Entwicklung

Tab. 4: Überblick Stoffstrom Eisen und Stahl (Referenzrahmen Deutschland 2021)

Stoffströme	Menge [t]	Quelle
UAK Eisen und Stahl (Referenzjahr 2021)		
Primärrohstoffe		
Bergbauproduktion ¹	0	(BGR 2022)
Import (HS 2601; Erze und Konzentrate) ²	39.500.000	(DESTATIS 2023)
Export (HS 2601; Erze und Konzentrate) ²	1.480.000	(DESTATIS 2023)
Raffinadeproduktion Rohstahl ^{1,3}	22.840.000	(WV STAHL 2022b)
Recyclingrohstoffe		
Import (HS 7204; Abfälle und Schrott) ²	5.030.000	(DESTATIS 2023)
Export (HS 7204; Abfälle und Schrott) ²	8.790.000	(DESTATIS 2023)
Raffinadeproduktion Rohstahl ^{1,4}	17.400.000	(WV STAHL 2022b)

¹ Angaben in Tonnen Inhalt Metall

² Material mit nicht eindeutig definiertem Metallgehalt

³ Errechnet aus Gesamtproduktion von 40 Millionen Tonnen abzüglich Stahlschrotteinsatz

⁴ Stahlschrotteinsatz in der Rohstahlproduktion

2.3.1 Beschreibung relevanter Stoffströme, Wertschöpfungsketten und Anwendungskontexte

Stoffströme und Anwendungskontexte

Eisen- und Stahlschrott werden in Deutschland im Wesentlichen in den folgenden Industrien eingesetzt:

1. Eisen- und Stahlindustrie

Die größten Stahlschrottmengen in Deutschland werden in der Eisen- und Stahlindustrie verbraucht. Im Jahr 2021 (WV STAHL 2022a) wurden 40,24 Millionen Tonnen Rohstahl (weltweit 1.951 Millionen Tonnen) davon 70 % über die BF/BOF-Route (Hochofen (Blast Furnace) – Stahlwerk (Basic Oxygen Furnace)) und 30 % über die EAF-Route (Elektrolichtbogenofen) produziert (siehe Tabelle 4, Summe aus Raffinadeproduktion Primär- und Recyclingrohstoffe). Besonders hervorzuheben ist dabei, dass aufbereiteter Stahlschrott in beiden Herstellungsrouten Anwendung findet und dort als Recyclingrohstoff (Substitut von Primärrohstoffen) klimafreund-

lich eingesetzt und recycelt wird. Die deutsche Rohstahlproduktion basiert zu rund 45 % auf dem Einsatz von Schrott. Bei der BOF-Route wird Stahlschrott im Stahlwerk bisher in der Regel zur Kontrolle des Wärmehaushalts im Konverter eingesetzt. Das Schmelzen erfolgt dabei durch Nutzung der Wärme aus den exothermen Oxidationsreaktionen des Siliciums, Mangans und Kohlenstoffs, die auf diese Weise aus dem eingesetzten flüssigen Roheisen entfernt werden. Im EAF erfolgt dagegen bisher meist die Verwendung von Stahlschrott als bevorzugter Eisenträger.

Bei der Stahlproduktion über die BOF-Route wurden 2019 ca. 4,9 Millionen Tonnen und über die EAF-Route ca. 12,4 Millionen Tonnen Schrott eingesetzt (WV STAHL 2022c). Wie in Tabelle 1 dargestellt haben sich diese 17,3 Millionen Tonnen leicht auf 17,4 Millionen Tonnen im Jahr 2021 erhöht (WV STAHL 2022b). In der Eisen- und Stahlindustrie werden Alt-, Eigen- und Neuschrott eingesetzt. Die unterschiedlichen Schrottsorten sind in der europäischen Schrottsortenliste definiert. In Deutschland ist die Sorte 2, der schwere Stahlneuschrott die sogenannte Referenzsorte und für diese Sorte sind zum Beispiel als Höchst-

abmessungen 1,50 x 0,50 x 0,50 Meter und mindestens 3 Millimeter Stärke festgelegt.

Im Vergleich zur Eisengießereiindustrie sind die Anforderungen hinsichtlich der Abmessungen in der Eisen- und Stahlindustrie weniger streng. Hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung wird allerdings angestrebt, dass die Summe der Begleitelemente Kupfer, Zinn, Chrom, Nickel und Molybdän <0,3 % beträgt. Insbesondere Kupfer und Zinn kommen bei der Stahlproduktion eine besondere Rolle zu, da abgesehen von einigen Sondersorten diese Elemente negative Werkstoffeigenschaften zur Folge haben und während des Stahlherstellungsprozesses auch nicht mehr aus der flüssigen Stahlschmelze entfernt werden können.

2. Eisengießerei-Industrie

Im Jahr 2022 (BDGuss 2023) wurden in Deutschland 3,1 Millionen Tonnen Eisen-, Stahl- und Temperguss (89 Millionen Tonnen weltweit in 2021) produziert. Davon entfielen auf die Produktion von Gusseisen mit Lamellengraphit (GJL) 1,8 Millionen Tonnen und auf die Produktion von Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS) 1,1 Millionen Tonnen. Diese beiden Eisengussqualitäten zeichnen sich dadurch aus, dass GJL hinsichtlich der Gehalte an Begleitelementen deutlich toleranter ist als GJS. So sind zum Beispiel die Elemente Kupfer und Zinn, die in der Stahlproduktion nicht erwünscht sind, bei der Produktion von GJL sehr oft erwünscht, sodass sie den flüssigen Schmelzen bewusst zulegiert werden. Bei der Produktion von GJS werden beide Elemente nur bei ausgewählten Qualitäten eingesetzt, die vermutlich 20 – 30 % der gesamten GJS-Produktion betragen.

Flüssiges Eisen für Gusseisen mit Lamellengraphit (GJL), mit Kugelgraphit (GJS) und Vermiculargraphit (GJV) wird in Deutschland ungefähr zur Hälfte in Kupolöfen und zur Hälfte über elektrisch betriebene Induktionsöfen hergestellt. Heißwindkupolöfen haben den Vorteil, dass einfache Schrottsorten, zum Beispiel Gussbruch wie auch Schienenstücke mit größeren Abmessungen von 0,4 bis 1,5 Meter eingesetzt werden können. Bei Induktionsöfen sollte hingegen auf saubere

Einsatzstoffe ohne Anhaftungen geachtet werden, um Schlackenmengen und den Feuerfestverschleiß gering zu halten. Gleichzeitig sollten Schrotte eher kompaktere Abmessungen aufweisen, wie zum Beispiel Hackschrotte, Stanzabfälle oder Neuschrottpakete mit 40 x 40 x 60 Zentimeter. Im Mittel werden GJL und GJS mit einem Schrottanteil von ca. 90 bis 95 % hergestellt, dabei entfallen ca. 20 – 40 % auf den Eigenschrott (Kreislauf) und 50 – 75 % auf gehandelten externen Schrott. 2022 lag der Schrottverbrauch für die Produktion von ca. 3,1 Millionen Tonnen Eisen-, Stahl-, und Temperguss in Deutschland bei über 4,3 Millionen Tonnen (BDGuss 2023). Nach Berechnungen des BDG wurden im Jahr 2021 für die weltweite Produktion von 78 Millionen Tonnen Eisen-, Stahl- und Temperguss 68 Millionen Tonnen Schrott eingesetzt.

Insgesamt betrachtet basiert die Eisengießerei-Industrie damit zum größten Teil auf dem Recycling und kommt damit bei den metallischen Einsatzstoffen weitgehend geschlossenen Rohstoffkreisläufen sehr nahe. Zwar kann auch Roheisen (im Durchschnitt setzt die deutsche Gießerei-Industrie ca. 2 % Sekundär- und 6 % Primärroheisen ein) eingesetzt werden, in der Regel basiert die Produktion aber überwiegend auf den verschiedenen Stahl- und Gusschrottsorten sowie dem eigenen Kreislaufmaterial.

3. Produktion von legiertem Edelstahl

Im Jahr 2019 (ISSF 2019) wurden in Deutschland 0,4 Millionen Tonnen an Edelstahl rostfrei (stainless steel) hergestellt. Die weltweite Produktion betrug ca. 52 Millionen Tonnen. Legierter Edelstahl wird in Europa ausschließlich über die EAF-Route erzeugt und der Schrotteinsatz liegt im Mittel in der Größenordnung von 90 %. Die für RSH-Stähle (rost-, säure- und hitzebeständig) eingesetzten Schrottsorten zeichnen sich je nach Anwendung im Wesentlichen durch Chromgehalte zwischen 10 und 30 % und Nickelgehalten zwischen 2 und 40 % aus. Im Gegensatz dazu enthalten Schnellarbeitsstähle Chromgehalte in der Größenordnung von 1 bis 4 %, kein Nickel, aber dafür je nach Qualität Wolfram (6 – 18 %), Molybdän (5 – 9 %), Vanadium (2 – 4 %) und Kobalt (4 – 10 %).

Gemäß der auf die Eisen- und Stahlindustrie ergänzten Referenzgrafik (Abbildung 13) fallen Schrotte an den eingetragenen Prozessstufen entlang des Metalllebenszyklus an. Zu unterscheiden sind im Wesentlichen drei Schrottarten, welche sich durch jeweils charakteristische Merkmale auszeichnen: Eigen-, Neu- und Altschrott.

- Eigenschrott (2,3) ist der bei der Stahlerzeugung und ersten Verarbeitung in den Stahlwerken anfallende Schrott. Im weitesten Sinne gehören hierzu auch eisenhaltige Rückstände wie Bären oder die Eisenfraktion aus der Schlackenaufbereitung. Bei interner Kreislaufführung in den Werken unterliegen diese Mengen idealerweise nicht dem Abfallrecht und werden nahezu vollständig in den Kreislauf zurückgeführt. Die Zusammensetzungen solcher Schrotte und Eisenträger sind den Stahlwerken bekannt und daher auch gezielt zu recyceln. Die Besonderheiten dieser Kreisläufe sind in der Ergänzung der Referenzgrafik als zusätzliche Materialströme eingezeichnet, Abbildung 13.

- Neuschrotte (4) sind im Wesentlichen die Schrotte, die in der Weiterverarbeitung und Produktherstellung als beispielsweise Abschnitte, Stanzreste, Verschnitt etc. anfallen. Auch solche Schrotte sind bei getrennter Erfassung hoch rein und von ihrer Zusammensetzung ebenfalls meist bekannt oder gut einzuordnen.

- Altschrotte (6) entstammen dagegen in der Regel der Sammlung am Ende der Lebenszeit von Produkten. Entsprechend reichen ihre Abmessungen von großen Teilen wie Trägern, Spundwänden oder großen Maschinenteilen bis hin zu Kleinstteilen wie Nägeln und Schrauben. Stahlbauteile können mit anderen Werkstoffen festverbunden, beschichtet oder andersartig verunreinigt sein. In der Regel benötigen Altschrotte eine umfangreichere Aufbereitung zur sortenreinen Rückgewinnung als Einsatzmaterial.

Eine weitere Unterscheidung erfolgt üblicherweise über die Abmessungen der Schrotte. Je

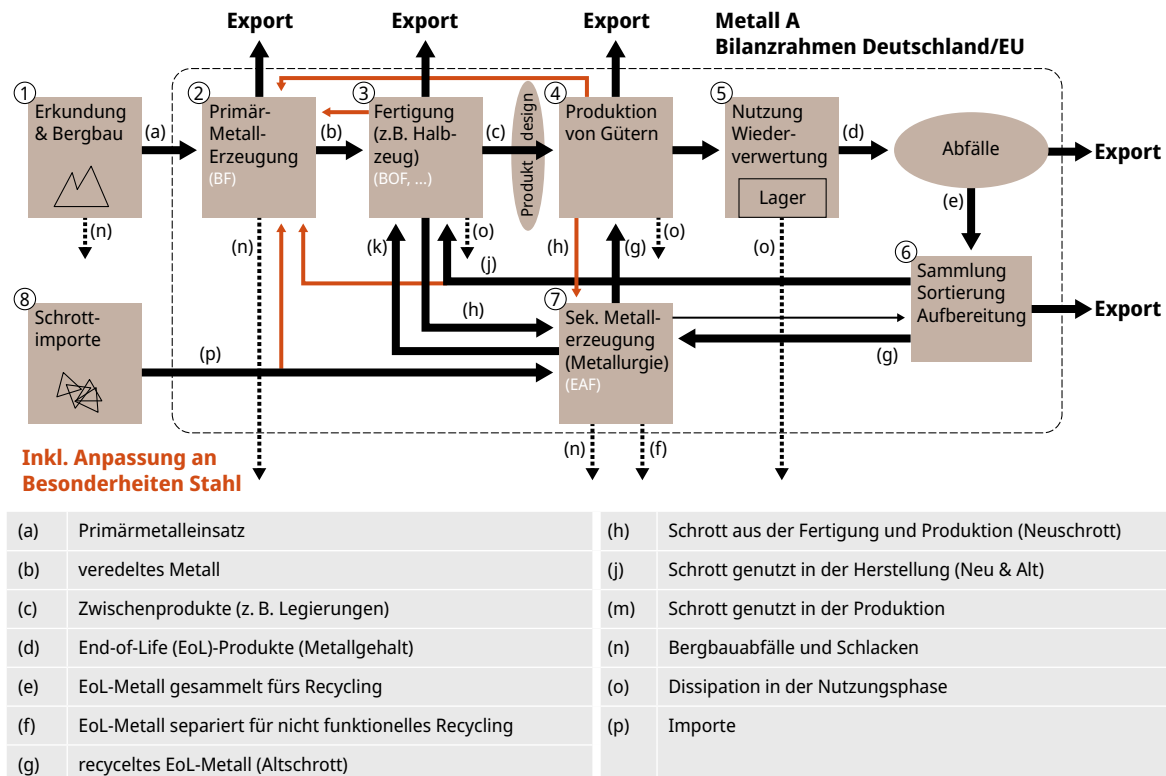


Abb. 13: Referenzgrafik Stoffstrom Eisen und Stahl in Anlehnung an UNEP (2011)

größer/gröber Schrotte sind, desto einfacher ist gegebenenfalls die Identifikation der Stahlarnten beziehungsweise sogar der Zusammensetzungen. Werden dagegen Späne oder Schleifschlämme nicht sortenrein erfasst, sind deren genauen Zusammensetzungen ohne Schmelzversuche und Analysen kaum zu bestimmen. Dennoch sind Metallspäne aus Stahl ein stahlwerkfähiger Rohstoff und machen nach Aussage der Schrottwirtschaft immerhin 10 % der zugekauften Eisen- und Stahlschrottsorten aus.

Das gilt auch für die sogenannten Weichschrotte (4). Dabei handelt es sich in der Regel um Bearbeitungsrückstände, die durch Schleifen, Honen, Läppen, Erodieren sowie eine allgemeine spanende Bearbeitung mit einem hohen Feinanteil ($< 100 \mu\text{m}$) in der Regel in Form von ölhaltigen beziehungsweise mit anderen Kühlschmierstoffen belasteten Schlämmen anfallen. Von dieser Art von Schlämmen fallen in Deutschland 150.000 – 200.000 Tonnen im Jahr an. Aufgrund der Gehalte an teuren Legierungselementen spielen hier HSS-Schlämme, die bei der Bearbeitung von Hochleistungsschnellarbeitsstahl (High-Speed Steel) anfallen, eine besondere Rolle, da sie bis zu 30 % an Legierungselementen wie Wolfram, Molybdän, Chrom, Vanadium, Kobalt und Titan aufweisen können. Aufgrund der hohen Gehalte an Wolframcarbid (80 – 95 %) und Kobalt (5 – 20 %) kommt den Schlämmen aus der Bearbeitung von Hartmetall ebenfalls eine ganz besondere Bedeutung zu. Im Rahmen des Recyclings muss aber bei allen Bearbeitungsschlämmen das Problem gelöst werden, das anhaftende Öl nach unterschiedlichen Verfahren zu entfernen.

Ergänzend zu den Schrotten sind noch metallhaltige Filterstäube (3) mit höheren Eisengehalten zu erwähnen. Bei der Stahlproduktion über die BF/BOF-Route fallen im Stahlwerk 17 – 20 Kilogramm/Tonne Filterstaub (ca. 500.000 Tonnen in 2019) an, von denen ca. $\frac{1}{4}$ auf Grobstaub und $\frac{3}{4}$ auf Feinstaub entfallen. Der Grobstaub ist überwiegend metallisch und kann als Produktionsrücklauf in den eigenen Unternehmen verarbeitet werden. Im Feinstaub liegt das Eisen in oxidiert Form (ca. 50 – 60 % Fe-Gehalt) vor

und kann aufgrund der Begleitelemente (Zink, Alkalioxide ...) nicht im eigenen Prozess verwertet werden. Dieser Staub wird in Deutschland zu einem großen Teil extern zur Herstellung von Gießereiroheisen verwertet. Bei der Stahlherstellung über die EAF-Route fallen 11 – 14 Kilogramm/Tonne Filterstaub (ca. 137.000 Tonnen im Jahr 2019) an, der bei entsprechend hohen Zinkgehalten (ca. $> 15 \%$) über den Wälzprozess zur Gewinnung von Zink recycelt werden kann.

Rolle des Recyclings im Bereich Eisen und Stahl

Für die weltweite Stahlproduktion von derzeit 1.869 Millionen Tonnen/Jahr werden etwa 630 Millionen Tonnen Schrott eingesetzt (2019) (BIR 2020). Der Green Deal, die Transformation sowie die günstigen Eigenschaften von Stahlschrott (Multi-Recycling-Fähigkeit, geringere CO_2 -Last, geringerer Verbrauch natürlicher Ressourcen) rücken eine intensivere Verwendung von Stahlschrott in den Blickpunkt.

Worldsteel geht davon aus, dass die weltweite Verfügbarkeit von „End-of-Life-scrap“ („Altschrott“) von derzeit rund 390 Millionen Tonnen (2020) auf rund 900 Millionen Tonnen, im Jahre 2050, steigen wird. Dennoch, absehbar steigt die Stahlnachfrage schneller als das verfügbare Angebot an Stahlschrott. Eine Umstellung der Industrie auf eine ausschließlich schrottbasierte Produktion wird in diesem Jahrhundert damit wahrscheinlich nicht möglich sein (PAULIUK et al. 2013).

Bezogen auf die Gesamtverfügbarkeit (Eigen, Neu- und Altschrott) erwartet worldsteel ebenfalls einen signifikanten Anstieg von derzeit etwa 670 Millionen Tonnen auf 1.350 Millionen Tonnen weltweit. Das Schrottaufkommen könnte sich demnach unter Umständen weltweit in den nächsten 30 Jahren verdoppeln. Die Universität von Cambridge geht auf Basis wissenschaftlicher Arbeiten sogar von einer noch größeren Steigerung der anfallenden Schrottmenge aus (UNIVERSITY OF CAMBRIDGE 2018).

Sofern die Rahmenbedingungen stimmen, kann das Metallrecycling einen deutlich höhe-

ren Beitrag zur deutschen Klimabilanz und zur Metallversorgung des Wirtschaftsstandorts Deutschland liefern sowie für eine größere Unabhängigkeit von Lieferländern sorgen. Entsprechend einer Studie der Boston Consulting Group im Auftrag des BDI könnte die erhöhte Substitution von Primärstahl durch Sekundärstahl in Höhe von plus 3 Millionen Tonnen im Jahr 2030 beziehungsweise plus 5 Millionen Tonnen bis 2045 (entsprechende Schrottverfügbarkeit vorausgesetzt) helfen Treibhausgase in Höhe von rund 5 Millionen Tonnen (2030) beziehungsweise 9 Millionen Tonnen (2045) CO₂-Äquivalente zu vermeiden (BOSTON CONSULTING GROUP 2021).

Nach Aussage des BDG-Bundesverbands der Deutschen Gießerei-Industrie wird die zukünftige Schrottversorgung der Gießerei-Industrie dennoch mit großer Sorge gesehen. Das liegt daran, dass im Rahmen der Transformation zur Klimaneutralität die Hochöfen in der Stahlin-

dustrie zunehmend weltweit durch Elektroöfen ersetzt werden sollen. Elektroöfen benötigen aber einen wesentlich höheren Schrottanteil zur Stahlproduktion. Da Schrott aber kein Rohstoff ist, der beliebig vermehrbar ist, sondern als reines Recyclingprodukt bei der Produktion (Neuschrotte) oder beim Abbruch bestehender Maschinen und Anlagen (Altschrott) anfällt, wird es zukünftig wachsende Bedarfe des Rohstoffes Schrott geben. Letztlich befürchtet die Gießerei-Industrie ihren sehr guten Sekundäranteil von über 90 % des Einsatzmaterials nicht mehr halten zu können. Hier gilt es Konzepte und Strategien zu entwickeln, wie auf diese Herausforderung reagiert werden kann.

2.3.2 Barrieren im Recycling

Im Folgenden findet sich eine Auflistung der durch die Teilnehmenden des UAK identifizierten Barrieren.

Regulatorik

Stoffstrom	Barrieren
Altprodukte	Behördliche Auflagen fördern neue Geschäftsmodelle (Re-Use, Re-Manufacture ...) sowie Recycling nicht ausreichend und es gibt keinen Marktvorteil durch recycling-orientiertes Design
Erze (Fe, Legierungselemente)	Die Verfügbarkeit von Rohstoffen, das heißt Erze (Fe, Legierungselemente), ist geprägt von Endlichkeit, Importen, Exportverboten, oligopolistischen Anbieterstrukturen, Urban Mining etc.
Recyclingrohstoffe (Sekundärrohstoffe)	Durch Export verlassen Schrotte und andere Sekundärrohstoffe Deutschland und die EU
Recyclingrohstoffe (Sekundärrohstoffe)	Für Recyclingrohstoffe kommt es in der EU-Regulatorik (zum Beispiel Abfallverbringungsverordnung (AbfVerbV) und AbfallrahmenRL) zu abweichenden Rechtsinterpretationen und -anwendungen innerhalb der EU-Mitgliedsstaaten, so ist es beispielsweise möglich, dass ein Stoff in einem Mitgliedsstaat als Nebenprodukt anerkannt ist und in einem anderen Mitgliedsstaat als Abfall angesehen wird, der gegebenenfalls bestimmten Auflagen nach AbfVerbV unterliegt. Somit würde eine Verbringung zu Problemen führen
Reststoffe (Stahlwerkstäube, zinkhaltig)	Die Zinkrückgewinnung aus dem Filterstaub ist möglich, wird aber aktuell in der Stahlindustrie nur bei ausgewählten Stoffströmen durchgeführt, da unter anderem problematische Begleitelemente das Recycling erschweren

Regulatorik

Stoffstrom	Barriere
Schrott	Faire Wettbewerbsbedingungen bezüglich des Imports von fertigen Stahlprodukten, offener Märkte und des Funktionserhalts von Import/Export fehlen
Schrott	Offenlegung von Schrottquellen zum Nachweis der Einhaltung von Menschenrechten und Umweltbedingungen kann von Metallhändlern und Verbrauchern verlangt werden, jedoch gefährdet ein nationales Vorpreschen Deutschlands ein Level-Playing-Field
Schrott (Altschrott)	Für Schrotte (Importe und Exporte) könnte die Novelle der Abfallverbringungsverordnung wirtschaftlich wie ökologisch herausfordernd sein und so gegebenenfalls eine Barriere für den weltweiten Rohstoffhandel darstellen
Schrott (Altschrott)	Stahlwerke fordern gewisse Grenzwerte an Fremd- beziehungsweise Störstoffen für Stahlschrott (Neu- und Altschrott)
Schrott (Altschrott), Legierungselemente und Zuschlagstoffe	Es kommt zu regulatorischen Beschränkungen durch Umwelt-, Ressourcen- und Naturschutz: zum Beispiel BNatSchG, BImSchG, BbergG, Technische Anleitung Luft
Schrott (Neuschrott und Altschrott)	Genehmigungsverfahren zum Umgang und zur Aufbereitung von Neu- und Altschrotten dauern lang und sind zum Beispiel durch die Digitalisierung noch unzureichend beschleunigt
Stahlschrott	Die Übertragung von Regeln und Grenzwerten aus dem Stoffrecht in das Abfallrecht ohne explizite Risikobetrachtung führt zu strengeren Grenzwerten und Stoffverboten, welche das Recycling behindern (zum Beispiel Kobalt, Blei)
Stahlschrott	Die Verarbeitungskapazitäten für Stahlschrott innerhalb der Europäischen Union sind zu gering und verlagern sich ins EU-Ausland und Recyclingrohstoffe gehen für Deutschland verloren
Stahlschrott	Freier Handel: Schrotte müssen frei gehandelt werden können, um sowohl das Potenzial des Aufkommens als auch das der Aufbereitung optimal nutzen zu können (vereinfachte Abfallverbringung, Stoffströme müssen international gedacht werden, Marktpreis, Klimaschutz)
Stahlschrott (Weichschrotte)	Die Abfallhierarchie ist zahnlos und deren Einhaltung hängt ab von der Wirtschaftlichkeit des Weichschrott-Recyclings, dessen technischen Herausforderungen (Säuberung, Trennung) in wirtschaftlicher Konkurrenz zur Deponie stehen
Stahlschrott (Weichschrotte)	Die Vermischung und Entsorgung von verwertbaren Weichschrotten (zum Beispiel mit Gießereialtsand und Filterstäuben) macht ein Recycling sehr häufig unmöglich

Anreize und Förderung

Stoffstrom	Barriere
Altprodukte	Fehlende Recyclingfähigkeit von Produkten, Komponenten und Kompositwerkstoffen
Altprodukte	Verluste durch Dissipation und unvollständige Erfassung/Sammlung aus der Nutzungsphase
Recyclingrohstoffe (Sekundärrohstoffe)	Niedrige Nachfrage nach Recyclingprodukten
Schrott	Für eine materialelektive Sortierung von Legierungen und Schrottsorten fehlt es nicht selten am Bewusstsein an den Entfallstellen, zum Beispiel den OEMs, und an geschultem Personal in der Recyclingkette
Schrott	Die niedrigen CO ₂ -Emissionen im Vergleich zur Primärstahlerzeugung und zu Energieeinsparungen werden unzureichend verdeutlicht
Schrott (Altschrott, grobstückig, legiert)	Kapazitätsverlagerung: Stahlproduktion und -nutzung sowie Handel verschieben sich nach Asien
Schrott (Neuschrott aus Automobilindustrie, Maschinenbau)	Vielzahl von (Mikro-)Legierungselementen in neu entwickelten Stählen (zum Beispiel Mn, Cr, B ...) führen zu Problemen in Eisengießereien
Schrott (verzinkt, für Induktionsöfen)	Zinkemissionen aus Induktionsöfen können noch nicht optimal genutzt werden

Infrastruktur und Logistik

Stoffstrom	Barriere
(Zwischen-) Produkt, Schrott (Neuschrott aus Automobilindustrie, Maschinenbau)	Durch Abbau von Gleisanlagen und Verladestandorten, durch zu wenige Fahrer für den Lkw-Transport, klimabedingte Einschränkungen der Binnenschifffahrt sowie andere Hindernisse kommt es zu logistischen Herausforderungen
Recyclingrohstoffe (Sekundärrohstoffe)	Aufbereitungskapazitäten für Recyclingrohstoffe (zum Beispiel Schmelzaggregate, Drehrohrofen, Entölung ...) fehlen
Recyclingrohstoffe (Sekundärrohstoffe)	Es fehlt an Kapazitäten zum Recycling unter Einsatz alternativer Energieträger (grüner Strom, Wasserstoff)
Reststoffe (Schlämme und Pulver)	Die Sammlung in Containern und Mulden insbesondere für Weichschrotte ist eine logistische Herausforderung, häufig ineffizient, wenn ungeeignete Mulden und Container zum Einsatz kommen

Infrastruktur und Logistik

Stoffstrom	Barriere
Schrott	Fehlende Logistikkapazitäten für Schrotte erhöhen die Kosten, wodurch auch der Export immer schwieriger wird. Darüber hinaus sind die Transportkosten 2023 für Schienengütertransporte international und national um bis zu 45 % gestiegen (LEBEDEW & SCHLESINGER 2022)
Schrott	Stetig steigende Stromkosten gefährden die Wirtschaftlichkeit des Schrottrecyclings
Schrott (Neuschrott)	Die Getrennthaltung von Legierungen (bei Produktionsschrotten) ist noch nicht durchgehend optimiert
Schrott (Neuschrott)	Die legierungssortenreinen Getrennterfassungen der Neuschrotte beziehungsweise Produktionsschrotte, beispielsweise in der Automobilindustrie, sind unzureichend. Hier existiert noch ein großes Potenzial für Optimierungen
Stahlschrott	Erhöhte Transportpreise resultierend aus den fehlenden Transportkapazitäten
Stahlschrott	Es fehlt an einer Getrennterfassung von galvanisiertem Stahl, welcher bei separater Erfassung besser recycelt werden kann

Daten und Digitalisierung

Stoffstrom	Barriere
Recyclingrohstoffe (Sekundärrohstoffe)	Die Datenverfügbarkeit und Kenntnis über Mengen und Legierungszusammensetzungen der im anthropogenen Lager befindlichen Stähle und deren Lebensdauer sind unzureichend
Schrott (Altschrott)	Die Sammlung und Dokumentation von Daten hinsichtlich der Im- und Exporte von Altschrotten sind nicht (ausreichend) verfügbar

Technologien und Prozesse

Stoffstrom	Barriere
(Zwischen-) Produkt, Schrott (Neuschrott), Stahl aus der Primärlinie/Hochofenroute	Verbundstrukturen verschiedener Werkstoffe/Werkstoffgruppen (Kompositwerkstoffe) führen zu Problemen im Recycling
Briketts (für Schmelzöfen)	Bestehende Chargiermöglichkeiten für kleine Briketts sind ungeeignet und es herrschen aktuell Beschränkungen beim Briketteinsatz, da diese Materialien nicht in den Schmelzöfen gefördert werden dürfen
Gussbruch	Die chemische Zusammensetzung von Gussbruch ist wenig bekannt und weist gleichzeitig hohe Schwankungen auf
Recyclingrohstoffe (Sekundärrohstoffe)	Die Rechtsregelung in Deutschland und der Europäischen Union hat dazu geführt, dass Aufbereitungs- und Sortierkapazitäten (zum Beispiel Shredder, Sortieranlage ...) aufgegeben wurden

Technologien und Prozesse

Stoffstrom	Barriere
Reststoffe (Bearbeitungsspäne)	Der hohe Ölgehalt von Bearbeitungsspänen ist problematisch für die weitere Verwertung
Reststoffe (Pfannenbären, Rinneneisen, Separationseisen)	Für problematische (Reststoff-)Gemische aus Pfannenbären, Rinneneisen und Separationseisen (Eisen, Eisenoxiden mit mineralischen Anhaftungen) werden unter Umständen Reduktionsprozesse benötigt
Reststoffe (Schleifmittel, Beize) und Schrott (Neuschrott mit Al, F, Cl, P, S, B Gehalt)	Neuschrotte weisen Störstoffe beziehungsweise Materialien auf, welche das Recycling erschweren beziehungsweise unmöglich machen, zum Beispiel leicht entzündliche Stoffe, Schleifmittel, Beize, Störstoffe (Al, F, Cl, P, S, B) etc.
Reststoffstrom	Nicht weiter aufzubereitendes Material (Reststoffe) landet aufgrund fehlen-der Technik und Unwirtschaftlichkeit der Aufbereitung in der thermischen Verwertung
Schrott (Altschrott)	Die chemische Zusammensetzung (Cu, Sn ...) von Altschrotten ist wenig bekannt, wodurch Sortierung und Sammeltätigkeit unter Beachtung der Mengenströme stark vom Preis abhängig sind
Schrott (Altschrott)	Die Materialeigenschaften von Altschrotten (unbekannte chemische Zusam-mensetzung, unpassende Abmessungen, mineralische Verunreinigungen) erschweren das Recycling
Schrott (Altschrott), Stahlschrott	Die Trennung der Stahlschrotte von „Kontaminationen“ wie Kupfer oder Zinn ist unzureichend bis unmöglich oder wirtschaftlich nicht darstellbar
Schrott (Altschrott)	Für Altschrotte ist der Einsatz hochwertiger Analyse- und Sortiertechniken noch unzureichend, wobei es hier Optimierungspotenzial gibt
Schrott (Altschrott)	Kleinstückiger legierter Altschrott verursacht einen großen Sortieraufwand bei entsprechender Angabe der Analyse
Schrott (Altschrott)	Anforderungen für Induktionsöfen müssen erfüllt sein: Altschrott muss hier besonders kleinteilig und kompakt sein, die chemische Zusammensetzung sollte bekannt sein und darf nur wenige mineralische Verunreinigungen aufweisen
Schrott (Eigenschrott)	In Gießereien sind Lagerplätze insbesondere für Eigenschrott, der in unter-schiedlichen Qualitäten anfällt, begrenzt
Schrott (Neuschrott)	Es fehlt an Sortiertechniken, um Legierungen aus „schwierigen“ Stahlgüten zu separieren und anschließend zu recyceln
Schrott (Rücklaufschrott)	Die Verwendung von Rücklaufschrotten aus verschiedenen Quellen ist nicht ausreichend optimiert
Schrott (verzinkt, für Elektrostahl-prozess)	Die Zinkrückgewinnung aus dem Filterstaub ist möglich und wird über-wiegend mit dem Wälzprozess durchgeführt
Schrott (verzinkt, für Integrierte Stahlproduktion)	Höhere Zinkgehalte im Filterstaub (eingetragen durch verzinkte Schrotte) erzeugen Probleme bei der internen und externen Verwertung

Technologien und Prozesse

Stoffstrom	Barriere
Schrott (verzinnt, bei der Herstellung von GJL)	Die genaue Dosierung von Zinngehalten (aus verzinnem Stahl) ist schwierig, wobei Zinn in der Stahlproduktion stört und bei der Herstellung von GJL in Gießereien vorteilhaft sein kann
Stahl aus der Primärlinie/Hoch-ofenroute	Unterschiedliche Legierungen und immer komplexer zusammengesetzte Stähle machen die Erzeugung von substitutionsfähigen Sekundärmaterialien schwieriger (zum Beispiel Kupfergrenzen nicht einhaltbar)

2.3.3 Handlungsoptionen

Die Erhebungen zu Barrieren und Enablern im Rahmen des Dialogprozesses ergab sehr viele Rückmeldungen zu teils sehr unterschiedlichen Punkten. Des Weiteren zeigte sich, dass oftmals jedoch auch gleiche oder ähnliche Barrieren aus verschiedenem Blickwinkel betrachtet wurden, was dann auch zu unterschiedlichen Lösungsansätzen beziehungsweise Enablern führen kann.

Als Themen wurde die ganze Palette von der Erkundung und Bergbau, dem Urban Mining, der Primärmetallerzeugung, der Fertigung und Produktion, der Erfassung/Sammlung am Gebrauchsende, der Behandlung/Trennung/Aufbereitung und der Wiederverwendung betrachtet. In diesem Kontext wurden die Bedeutungen und Folgen unterschiedlicher Rechtsinterpretationen, der Ausgestaltung von Verordnungen sowie der Komplexität von Genehmigungsverfahren diskutiert. Eine stärkere Berücksichtigung der Wiederverwendung und des Recyclings in der Ökodesign-Verordnung sowie eine intensivere Zusammenarbeit in Forschung/Entwicklung zwischen Stahlrecycling-, Stahlunternehmen und Hochschulen zur Verbesserung des gesamten Recyclings waren weitere relevante Themen, die in dem UAK Eisen und Stahl diskutiert wurden.

Eine Schwerpunktsetzung erschien unter Berücksichtigung der breiten Palette an Barrieren zunächst schwierig, dennoch kristallisieren sich einige Schwerpunkte heraus.

Überblick der Enabler

- #1** Entwicklung einer nachhaltigen europäischen Rohstoffstrategie.
- #2** Fortbestand der Möglichkeit, Schrott außerhalb der Europäischen Union zu exportieren.
- #3** Vereinheitlichung der Rechtsinterpretationen im Abfallrecht in den Bundesländern.
- #4** Verordnungen müssen zielgerichteter werden und technische Fragen müssen im Vordergrund stehen.
- #5** Genehmigungsverfahren müssen vereinfacht, beschleunigt, effektiver und zeitlich kalkulierbarer sowie rechtssicher werden.
- #6** Stärkung der Bahn im Güterverkehr.
- #7** Stärkere Berücksichtigung der Wiederverwendung und des Recyclings in der künftigen Ökodesign-Verordnung.
- #8** Intensivere Sortierung von Schrott an den Anfallstellen.
- #9** Zusammenarbeit in Forschung/Entwicklung zwischen Stahlrecycling- und Stahlunternehmen sowie Hochschulen.

Regulatorik

Unter Berücksichtigung der politischen Entwicklung in der EU, um unter anderem den Europäischen Green Deal (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2019), den „Circular Economy“-Aktionsplan (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2020a), den Null-Schadstoff-Ak-

tionsplan (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2021) und die Initiative für nachhaltige Produkte (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2020c) umsetzen zu können, stehen kurz- und mittelfristig eine Vielzahl von Rechtsregelungen auf dem Prüfstand, werden überarbeitet oder neu geschaffen. Hier scheint nach Ansicht der Teilnehmenden der Dialogplattform ein besonderes Potenzial zur Verbesserung der Kreislaufwirtschaft im Sinne des zirkulären Wirtschaftens inklusive des Recyclings zu bestehen, wobei folgende Enabler gesehen werden.

Enabler #1

Entwicklung einer nachhaltigen europäischen Rohstoffstrategie

Die weltweite Verfügbarkeit von Rohstoffen, das heißt Erzen, Metallen, Legierungselementen, ist prinzipiell begrenzt und zum Teil durch oligopolistische Anbieterstrukturen gekennzeichnet. Vor diesem Hintergrund und durch die Verschiebung globaler Wirtschaftszentren sind Abhängigkeiten entstanden, die nur durch eine gemeinsame aufeinander abgestimmte europäische Rohstoffstrategie reduziert werden können. Recyclingrohstoffe können helfen Abhängigkeiten zu verringern, aber dazu müssen in der Europäischen Union einheitliche Rechtsinterpretationen und -anwendungen (zum Beispiel Abfallverbringungsverordnung und AbfallrahmenRL) existieren.

Enabler #2

Fortbestand der Möglichkeit, Schrott außerhalb der Europäischen Union zu exportieren

Schrott ist ein international gehandeltes Gut. Durch konjunkturelle, aber auch strukturelle Änderungen der Märkte verändern sich kontinuierlich Angebot und Nachfrage und durch offene Märkte sind vom Prinzip her ausgleichende Entwicklungen möglich. Unabhängig von der Einstufung als Abfall oder Abfall-Ende-Material muss sehr deutlich zwischen aufbereiteten und nicht aufbereiteten Stoffströmen im Export unterschieden werden. Bei entsprechenden Anforderungen erhofft die Europäische Kommission in Zielländern vergleichbare Umweltstandards zu erreichen.

Enabler #3

Vereinheitlichung der Rechtsinterpretationen im Abfallrecht in den Bundesländern

Wenn im Abfallrecht zwischen aufbereiteten und nicht aufbereiteten Stoffströmen unterschieden und dies bei der rechtlichen Entscheidungsfindung berücksichtigt werden würde, könnte das Stahl- und NE-Metallschrottrecycling noch entscheidend weiter optimiert werden. Weitere Herausforderungen sind in den Bundesländern unterschiedliche Abfalleinstufungen als gefährlich oder nicht gefährlich sowie als Abfall, Nicht-Abfall (Abfall-Ende) oder Nebenprodukt im föderalen System in Deutschland. Unter geeigneten einheitlichen Bedingungen könnten Investitionen wirtschaftlich werden, die es heute nicht sind.

Enabler #4

Verordnungen müssen zielgerichteter werden und technische Fragen müssen im Vordergrund stehen

Die Übertragung von Regeln und Grenzwerten aus dem Stoffrecht in das Abfallrecht, mit der Annahme maximal vorstellbarer Gefahrenpotenziale, die von einem Stoff ausgehen können, führt zwar zu einer einfacheren rechtlichen Behandlung, aber unter Umständen auch zu technisch nicht einhaltbaren Grenzwerten und Stoffverboten, sodass ein Recycling (zum Beispiel Kobalt, Blei) behindert oder sogar verhindert wird. Eine stärker fokussierte Beurteilung anhand technischer und naturwissenschaftlicher Sachverhalte (Risikobetrachtung) würde Investitionen in Aufbereitungs- und Recyclinganlagen fördern und damit in einem gewissen Maße die Abhängigkeit von Rohstoffimporten verringern.

Enabler #5

Genehmigungsverfahren müssen vereinfacht, beschleunigt, effektiver und zeitlich kalkulierbarer sowie rechtssicher werden

Genehmigungsverfahren zum Beispiel für neuartige Technologien, für den Neubau und Betrieb von Anlagen, für Anlagenänderungen, für Infrastrukturmaßnahmen oder auch einfach nur für Sondertransporte dauern zu lang und könnten durch entsprechende Digitalisierungs-

maßnahmen erheblich beschleunigt werden. Auf der Basis elektronischer Vergleiche könnten beispielsweise bereits bestehende mit beantragten Genehmigungen verglichen werden, dies gilt gleichermaßen hinsichtlich der anstehenden Transformation in der Stahlindustrie wie für Aufbereitungsprozesse. Insgesamt müssen die Rechtsregelungen zu Genehmigungsverfahren stärker ganzheitlich weiterentwickelt werden. Regulatorische Beschränkungen durch ein überbordendes Klein-Klein, Doppelregelungen und Wechselwirkungen müssen sowohl auf europäischer wie nationaler Ebene aufgelöst werden.

Ist die Fertigstellung einer genehmigungsbedürftigen Anlage zeitlich und hinsichtlich des Erfolgs nicht wirklich zu kalkulieren, wird eine solche Investition nicht in Angriff genommen. Sind in diesem Zusammenhang Effizienzsteigerungen möglich, werden Investitionen gefördert.

Besondere Bedeutung wird auch den Wechselwirkungen zwischen den Regelungsbereichen zugemessen. Dies gilt insbesondere auch hinsichtlich des Wechselspiels der Politikbereiche Produkt-, Kreislaufwirtschafts- und Stoffpolitik. Hervorgehoben wurde in diesem Zusammenhang die derzeit stattfindende Toxifizierung von Stoffen, zum Beispiel von Kobalt, das zukünftig beim Batterierecycling eine besondere Rolle spielen wird, das heute bereits als Legierungselement in bestimmten Stahlprodukten (zum Beispiel Hüftgelenksimplantate) seit Jahrzehnten genutzt wird und für die teilweise technisch nicht nachvollziehbare zukünftige allgemeine Grenzwerte in der Diskussion stehen, sodass ein Recycling behindert oder unmöglich gemacht werden könnte.

Verbunden wird die Thematik Regulatorik oftmals mit weiteren Regelungsbereichen. Ins Gespräch gebracht werden beispielsweise Anregungen zur Schaffung von Anreizen für eine Steigerung des zirkulären Wirtschaftens im Rahmen der Ökodesign-Verordnung (ÖkodesignVO 2022) beispielsweise durch die Erweiterung des Anwendungsbereichs auf einen Großteil der Produkte, durch Vorgaben an Haltbarkeit, Reparierbarkeit oder Kreislauffähigkeit beziehungsweise

Energie- und Ressourceneffizienz, Wiederaufarbeitung und Recycling, CO₂- und Umweltfußabdruck, Informationspflichten und digitalen Produktpass sowie gezielte Fördermaßnahmen.

Infrastruktur und Logistik

Als wesentlicher Punkt wurde auch der Schwerpunkt Infrastruktur und Logistik ermittelt. Aktuell werden von Stahlrecyclingunternehmen die existierende Eisenbahninfrastruktur, die zu geringer Anzahl betriebsnotwendiger Wagens und Anlagen (zum Beispiel Wagonverfügbarkeit oder Anschlussstellen) bis hin zu fehlenden dezentralen Reparaturbetrieben als schwerwiegende Barrieren angesehen. Vor diesem Hintergrund hat der Lkw-Transport eine existenzielle Bedeutung, wobei sich jetzt schon ein Mangel an Fahrern bemerkbar macht, der zukünftig noch zunehmen wird.

Enabler #6

Stärkung der Bahn im Güterverkehr

Im Bereich der Schrottwirtschaft müssen sehr große Massenströme flächendeckend bedient werden, sodass Transporte über Schiff und Bahn unverzichtbar sind. Die Transportlogistik der Bahn muss deutlich effizienter werden, Gleisanlagen, Verladestationen und Reparaturbetriebe müssen neu erstellt oder revitalisiert werden. Durch den Abbau dieser Einrichtungen in der Vergangenheit und die daraus resultierenden fehlenden Logistikkapazitäten für Schrotte, gibt es heute schon extreme logistische Herausforderungen, die noch dadurch zunehmen werden, dass zukünftig weniger Lkw-Fahrer zur Verfügung stehen werden.

Probleme werden auch in den auf absehbare Zeit fehlenden Infrastrukturen für die CO₂-freie Energieerzeugung auf der Basis erneuerbarer Energien gesehen, die für die Transformation der Stahlindustrie (zum Beispiel Strom und Wasserstoff) benötigt werden. Es wird auch kritisiert, dass aufgrund der politisch-rechtlichen Rahmenbedingungen Infrastrukturen für Behandlung/Trennung/Aufbereitung von Schrott

unterschiedlichster Art in den letzten zwei Jahrzehnten in der Europäischen Union verloren gegangen sind, die jetzt zukünftig unter dem Aspekt der Gewährleistung einer eigenständigen Versorgungssicherheit in Europa und Deutschland wiederaufgebaut werden müssen.

Daten und Digitalisierung

In vielen Fällen liegen keine zuverlässigen Marktdaten hinsichtlich Mengen und chemischer Zusammensetzungen vor. Neue Möglichkeiten werden noch nicht ausreichend genutzt, sind aufgrund der Massenströme zum Beispiel im Altschrottbereich in der Praxis aktuell nicht realisierbar oder sind noch nicht ausgereift. Das gilt beispielsweise auch für die SCIP-Datenbank (Substances of Concern In articles as such or in complex Products), mit der Informationen zu Erzeugnissen mit besonders besorgniserregenden Stoffen der REACH-Kandidatenliste dokumentiert werden sollen. Der Praxisnutzen war jedoch von Beginn an mehr als zweifelhaft, was sich zwischenzeitlich bestätigt hat.

Technologien und Prozesse

Forschung und Entwicklung werden sowohl in den Grundlagen als auch im Bereich der angewandten Forschung als dringend notwendig erachtet. Dies betrifft allerdings nicht nur die klassischen Bereiche zur Sortierung/Aufbereitung, Trennung und Analytik. Vielmehr wird ein großer Bedarf schon in einem frühzeitigen Ansatz beim Ökodesign für ein zirkuläres Wirtschaften gesehen, sodass durch geplante Weiter- und Wiederverwendungen sowie existierende Recyclingtechnologien und -prozesse eine effektive Abfallvermeidung erreicht wird. Darüber hinaus müssen Materialien nicht nur leicht zu identifizieren, sondern auch gut voneinander zu trennen sein. Multi-Material-Verbindungen werden aus diesem Grunde oftmals kritisch gesehen. Für die Erhöhung der Ressourceneffizienz im Urban Mining sind komplexe neue Aufbereitungstechnologien und spezielle Einschmelzaggregate notwendig.

Enabler #7

Stärkere Berücksichtigung der Wiederverwendung und des Recyclings in der künftigen Ökodesign-Verordnung

Das Produktdesign und die Auswahl (neuer) Werkstoffe berücksichtigt die Recyclingfähigkeit und Designbeiträge zu Zirkularität und Klimaschutz bisher unzureichend. Recyclingorientiertes Design muss als Marktvorteil konsequenter entwickelt werden. Dem Verbraucher muss intensiv erklärt werden, dass mit Metallen durchaus sehr weitgehend geschlossene Rohstoffkreisläufe (zum Beispiel Elektrostahl, Edelstahl Rostfrei) realisiert werden können. Bei Konsumgütern ist bereits zu beobachten, dass Recyclingfähigkeit bewusst beworben wird, sehr oft die von Kunststoffen, die aber bei Weitem nicht so gut wie die von Metallen ist (ÖkodesignVO 2022).

Enabler #8

Intensivere Sortierung von Schrott an den Anfallstellen

Die legierungssortenreine Getrennterfassung der Neuschrotte beziehungsweise der Produktionsschrotte in allen stahlverarbeitenden Sektoren (Automobilbau, Maschinenbau und so weiter) ist unzureichend, hier existiert ein hohes Optimierungspotenzial durch organisatorische Maßnahmen, mit dem Ziel einer Steigerung der Ressourceneffizienz. Altschrotte lassen sich mit modernster Aufbereitungs- und Zerkleinerungstechnik (Schredder und so weiter) so zerkleinern, dass sie anschließend mit modernen automatischen Sortiersystemen deutlich besser sortiert und in höherer Reinheit vermarktet werden könnten, sofern dies wirtschaftlich darstellbar ist.

Anreize und Förderung

Enabler #9

Zusammenarbeit in Forschung/Entwicklung zwischen Stahlrecycling- und Stahlunternehmen sowie Hochschulen

Die Datenverfügbarkeit und Kenntnis über Mengen und Legierungszusammensetzungen

der im anthropogenen Lager befindlichen Stähle und deren Lebensdauer sind unzureichend. Für ein effizientes Urban Mining sind neue, komplexere Aufbereitungstechnologien und spezielle Einschmelzaggregate notwendig, die gemeinsam entwickelt werden könnten. Neue Stähle sind unter dem Aspekt einer verbesserten Toleranz hinsichtlich variierender Gehalte an Spurenelementen zu entwickeln.

2.3.4 Machbarkeit und Zielkonflikte

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Machbarkeitsdiskussion dargestellt, in welcher die erarbeiteten Lösungsansätze unter den Aspekten rechtliche, informatorische/organisatorische, technische, ökologische und sozio-ökologische Machbarkeit betrachtet und diskutiert wurden. Die aufgeführten Themen stellen damit die (subjektiven) Sichtweisen der Teilnehmenden dar. Zielkonflikte, bei denen zwei oder mehrere der oben genannten Aspekte im Widerspruch zueinander stehen, wurden (sofern vorhanden) herausgearbeitet und separat aufgeführt.

Enabler #1

Entwicklung einer nachhaltigen europäischen Rohstoffstrategie

Machbarkeit

Die Machbarkeit einer europäischen Rohstoffstrategie wird entscheidend davon abhängen, inwieweit tatsächlich auf die EU-Gesetzgebung Einfluss genommen werden kann. Es muss eine gemeinsame europäische Datenbasis mit gleichem Verständnis über Inhalte und Umfang erarbeitet werden. Sehr starke europäische Vereinheitlichungen werden mit Markteingriffen verbunden sein, deren sozio-ökonomischen mittel- und langfristigen Folgen nur bedingt wirklich absehbar sind, das heißt, eine europäische Rohstoffstrategie muss wegen gegenseitiger internationaler Abhängigkeiten immer eine globale Perspektive berücksichtigen, wenn sie erfolgreich sein will. Eine rein europäische Pers-

pektive kann zu einem eingeschränkten Absatz und Einsatz von Recyclingrohstoffen führen.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Es muss national auf die EU-Gesetzgebung gemeinsam Einfluss genommen werden. Es bestehen vielfältige Einflussmöglichkeiten auf die EU-Kommission sowie das EU-Parlament, wobei jeder selbst die Möglichkeit hat, auf die EU-Kommission zuzugehen, was vor allem im Vorfeld von Rechtsänderungen gemacht werden sollte. Die Bundesregierung, -länder und Behörden müssen sich hier deutlich und frühzeitig positionieren, eine Unterstützung auch durch die Wirtschaft ist anzustreben.
- Die unterschiedliche Anwendung und Interpretation von Vorgaben in den EU-Ländern ist ein großes Problem. Veränderungen benötigen bisher sehr viel Zeit.
- Eine Vereinheitlichung durch Anwendung von BVT-Merkblätter in den EU-Mitgliedsstaaten ist notwendig, könnte aber herausfordernd werden. BVT-Merkblätter werden allerdings immer weiter angewendet beziehungsweise besser überwacht und auch außerhalb der Europäischen Union gelesen und angewendet.
- Etablierte und eingefahrene Prozesse zum Beispiel in der Abstimmung zwischen Rohstoffbeschaffung, Verfügbarkeit im Schrottmarkt und der Produktion müssen unter Umständen durch entsprechende Plattformen überwunden werden, was Menschen und Unternehmen zum Teil wegen fehlender Offenheit, Ängsten oder fehlendem Know-how schwerfällt.
- Sollten sich zukünftig durch eine verstärkte Nachfrage nach höherwertigen Schrottqualitäten aus der Stahlindustrie erhebliche Veränderungen auf dem Schrottmarkt ergeben, müssten Schrottqualitäten für die Gießereiindustrie in der Schrottsortenliste besser berücksichtigt werden. Insbesondere die

Herstellung von grünem Stahl und ein Verbot von Heißwindkupolöfen in der Gießereiindustrie bedeuten eine deutlich verringerte Flexibilität im Einsatz von Schrott.

- Hinsichtlich des Einsatzes von Sekundärrohstoffen und deren Aufbereitungsverfahren ist eine Technologieoffenheit unabdingbar. Es fehlt eine gemeinsame europäische, zum Teil aber auch nationale Datenbasis mit gleichem Verständnis über Inhalte und Umfang, die erarbeitet werden muss. Es existieren heute schon Schwierigkeiten, in den verschiedenen Bundesländern gewisse Daten zu erheben und diese auch konsistent zu halten. Auf EU-Ebene ist es noch schwieriger, Daten in aggregierter und anonymisierter Form zu sammeln, sodass eine Abhängigkeit von Daten aus der Stahlindustrie und dem Handel existiert. Daraus wird viel abgeleitet und geschätzt, jedoch ist vieles noch unbekannt.
 - Die Abfallstatistik ist unzureichend, da es keine getrennte Einordnung in den Abfallstatistiken gibt. Als kontraproduktiv zeigt sich hier, dass die Europäische Union in den letzten Jahren eher versucht, die Möglichkeiten der Statistik immer weiter einzuschränken, also eher abzubauen und zu verdichten. So gibt es zum Beispiel in der Gießerei-Industrie bei vielen Gussprodukten keine vernünftige Aufnahmestatistik und Gussprodukte gehen in irgendwelchen Sammelpositionen unter. Was früher statistisch gut darstellbar war, kann heute nicht mehr richtig dargestellt werden.
 - Wesentliche Gründe, warum hier bisher kaum Daten erhoben wurden, ist die Sorge der Vertraulichkeit. Die Effizienz der Stahlproduktion scheint zum Teil bei den Markteilnehmenden sehr unterschiedlich zu sein.
 - Ein möglicher Ansatz könnte sein, dass eine Behörde in anonymisierter und aggregierter Form die Daten bei den Unternehmen erfasst, um damit Compliance-Probleme zu vermeiden.
- Durch die Wechselwirkungen zwischen zum Beispiel Chemikalienrecht und Abfallrecht existiert ein Problem, wodurch das Recycling behindert wird, statt es voranzutreiben. Immer niedrigere generelle Grenzwerte – ohne Berücksichtigung der tatsächlichen Art und Weise der Anwendung (zum Beispiel Kobalt als Staub oder als Legierungselement im Stahl eines Hüftgelenkes) – verhindern einerseits das Recycling von bestimmten Sekundärrohstoffen und andererseits deren Nutzung im Produktionsprozess. Weil bestimmte Stoffe im Stoffrecht als gefährlich eingestuft werden, können sie dadurch der Wiederverwendung und -verwertung entzogen werden und es findet eine Ausschleusung von durchaus werthaltigen Elementen und Verbindungen statt. Die Folge ist dann ein vermehrter Einsatz von Primärrohstoffen. Aus Sicht der Recyclingunternehmen darf es keine Pauschalisierung bei der Einstufung von Stoffen geben, sondern es macht einen großen Unterschied und ist daher entscheidend, wie der Stoff gebunden ist.
- Ein mögliches Bestreben, alle Sekundärrohstoffe in der Europäischen Union zu halten, würde den potenziellen Absatzmarkt für Aufbereiter drastisch verkleinern, was wiederum dazu führen könnte, dass nur noch diejenigen Rohstoffe aufbereitet werden, die der hiesige Markt nachfragt. Während die anderen ökologisch wertvollen Sekundärrohstoffe nicht in den internationalen Wirtschaftskreislauf gelangen würden und damit ungenutzt blieben.
- Mit Blick auf die aktuelle Lage der verarbeitenden Industrie (Produktionskürzungen auf Basis ökonomischer Entscheidungen) zeigt sich, wie wichtig es ist, dass die Recyclingwirtschaft verschiedene außereuropäische Absatzmärkte bedienen kann. Wenn diese Märkte wegen einer „Europe first“-Politik nicht mehr bedient werden dürften, wäre der sozio-ökonomische weltweite Schaden vorprogrammiert, weil die bisherigen Abnehmer auf Primärrohstoffe umstellen müssten.

- Eine weitere Verschärfung im Rohstoffsektor kann dazu führen, dass Unternehmen sich in diesem Geschäftsfeld nicht mehr engagieren werden.
- Zur Sicherstellung einer langfristigen, nachhaltigen und erfolgreichen Recyclingrohstoffversorgung muss an der Recyclingfähigkeit von Produkten angesetzt werden (Legierungen, Verbundstoffe etc.). Andernfalls besteht die Gefahr eines stetigen Kreislaufs des Downcyclings.

⊗ Zielkonflikte

- Unterschiedliche Interpretationen und Umsetzungen von EU-Vorgaben in den Mitgliedsstaaten.
- Nicht ausreichende Technologieoffenheit beim Einsatz und der Aufbereitung von Sekundärrohstoffen.
- Trend zur Einschränkung der europäischen Abfallstatistiken trotz des Bedarfs eines weiteren Ausbaus von zum Beispiel Abfallschlüsselnummern.
- Durch Wechselwirkungen zwischen Chemikalien und Abfallrecht wird das Recycling behindert und es findet eine Ausschleusung von durchaus werthaltigen Elementen und Verbindungen aus dem Wertstoffkreislauf statt. Es gibt aber kaum andere Stoffe, die sich nachhaltiger und besser recyceln lassen als Metalle und insgesamt bei hoher Effizienz die wenigsten Probleme verursachen. Unnötige bürokratische Hindernisse sind zu vermeiden, wobei aber im Einzelfall jeweils sehr genau herauszuarbeiten ist, was überflüssig und damit verzichtbar erscheint.
- Straffe europäischen Vereinheitlichungen sind mit Markteingriffen verbunden, deren sozio-ökonomischen mittel- und langfristigen Folgen eventuell nicht wirklich absehbar sind.

Enabler #2

Fortbestand der Möglichkeit, Schrott außerhalb der Europäischen Union zu exportieren

✓ Machbarkeit

Schrottexporte außerhalb der Europäischen Union müssen weiterhin möglich sein, wobei in Drittländern Anforderungen erfüllt sein sollten, die denen der Europäischen Union entsprechen. Beim Schrottexport handelt es sich weitestgehend um aufbereitete Schrottgütern. Schrott ist ein international gehandeltes Gut und durch konjunkturelle, aber auch strukturelle Änderungen der globalen Märkte, auf die die Europäische Union zukünftig nur noch in geringem Umfang Einfluss nehmen kann, verändern sich kontinuierlich Angebot und Nachfrage und durch offene Märkte sind vom Prinzip her ausgleichende Entwicklungen möglich.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Es ist zu erörtern, ob es rechtlich möglich ist, eine verbindliche, wirkungsvolle Einstufung in Abfall/Nichtabfall oder aufbereitet/nicht-aufbereitet zu schaffen.
- Wichtig ist es, den Ansatz der KOM hinsichtlich mit der Europäischen Union vergleichbarer Anforderungen weiterzuverfolgen, wonach nur bei entsprechender Einhaltung ein Export möglich sein sollte. Idealerweise erfolgt dies unabhängig davon, ob es sich um Abfall oder Nicht-Abfall handelt, auch wenn eine rechtliche Handhabe im Wesentlichen nur bei Einstufung als Abfall besteht.
- Die Einstufung beziehungsweise Unterscheidung zwischen aufbereiteten und nicht-aufbereiteten Stoffen ist herausfordernd und schwierig. Wie und von wem sollen großen Mengen daraufhin überprüft werden, ob sie aufbereitet beziehungsweise nicht aufbereitet sind? Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass bereits heute die aktuelle statistische Datenlage nicht ausreichend ist.

- Bei Schrottexporten in Nicht-EU-Länder muss die Gefahr der Weiterverarbeitung mit geringen Umweltstandards minimiert werden. Ohne entsprechende Auflagen und Kontrollen bei der Weiterverarbeitung / Abfallbehandlung ist die Gefahr einer Weiterverarbeitung mit sehr geringen Umweltstandards ausgesprochen groß, wobei sich allerdings eine Kontrolle in Nicht-EU-Ländern als schwierig herausstellen kann.
 - Für den Export ist im Wesentlichen der Preis die entscheidende Größe und der wird in anderen Regionen der Welt und nicht in Deutschland entschieden.
- ⊗ **Zielkonflikte**
- Bei möglichen Exportbeschränkungen oder -verboten von Schrotten bestehen nur noch eingeschränkte Möglichkeiten, auf konjunkturelle und strukturelle Änderungen der globalen Märkte reagieren zu können.
 - Durch Exportbeschränkungen von zum Beispiel legierten Schrotten (höhere Vanadium-, Wolfram-, Nickelgehalte und so weiter) in der Europäischen Union müssten unter Umständen in anderen Ländern verstärkt primäre Rohstoffe eingesetzt werden.
- Da in den Bundesländern sehr viel Interpretationsmöglichkeiten auch auf kommunaler Ebene im Abfallbereich existieren, ist eine Harmonisierung kaum möglich. Es könnte sinnvoll sein, eine bundesweit einheitliche Interpretation über Empfehlungen des Bundes zu erreichen.
 - Rechtliche Grundlagen, insbesondere hinsichtlich der Einstufung als gefährlich/nicht-gefährlich sind weitgehend ausreichend vorhanden. Es ist zu klären, ob eine weitere Unterscheidung in behandelte/nicht-behandelte Abfallströme Vorteile erbringt.
 - Interpretationsmöglichkeiten für Bundesländer sind zu groß: Trotz extrem dezidierter nationaler Verordnungen wird in den einzelnen Bundesländern sehr unterschiedlich interpretiert. Eine Lösung dieser Problematik würde einen fairen Wettbewerb fördern.
 - Im Wesentlichen kommt es aufgrund des föderalen Systems in Deutschland hier auf die Bereitschaft der Bundesländer zur Zusammenarbeit und zu einheitlichen Rechtsinterpretationen an. Insbesondere der LAGA kommt hierbei eine besondere Aufgabe zu.

Enabler #3

Vereinheitlichung der Rechtsinterpretationen im Abfallrecht in den Bundesländern

✓ *Machbarkeit*

In den Bundesländern und auf kommunaler Ebene existieren sehr viel Interpretationsmöglichkeiten. Im Wesentlichen kommt es aufgrund des föderalen Systems in Deutschland hier auf die Bereitschaft der Bundesländer zur Zusammenarbeit und zu einheitlichen Rechtsinterpretationen an. Insbesondere der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) kommt hierbei eine besondere Aufgabe zu.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

⊗ *Zielkonflikte*

- Im Hinblick auf eine Rohstoffstrategie ist der Föderalismus ein Hindernis, es existiert eine große Abhängigkeit von einzelnen Genehmigungsbehörden. Es bedarf einer Harmonisierung, die sehr herausfordernd ist.

Enabler #4

Verordnungen müssen zielgerichteter werden und technische Fragen müssen im Vordergrund stehen

✓ *Machbarkeit*

Es ist notwendig, der Gefährdungsbeurteilung im Abfallrecht – gegenüber den Einstufungen im Stoffrecht – Vorrang für das Recycling einzuräumen, denn ein Stoff muss hinsichtlich seiner Gefährdung für Mensch und Umwelt unter Berücksichtigung der technischen Anwendungen

und der von ihm unter diesen Bedingungen ausgehenden Gefahren beurteilt werden. Technisch nicht einhaltbare Grenzwerte und Stoffverbote be- oder verhindern unter Umständen ein Recycling.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Es existieren eingeschränkte nationale Einflussmöglichkeiten auf die EU-Gesetzgebung.
- Es wäre notwendig, der Gefährdungsbeurteilung im Abfallrecht gegenüber den Einstufungen im Stoffrecht Vorrang für das Recycling einzuräumen. Es geht nicht darum, Menschen oder die Umwelt zu gefährden, aber der Stoff an sich muss hinsichtlich seiner Gefährdung für Mensch und Umwelt im Aufbereitungsprozess betrachtet werden und diese Auswirkungen sind zu beurteilen (explizite Risikobetrachtung). Die rechtlichen Rahmenbedingungen müssten den Recyclingprozessen eine entsprechende Flexibilität einräumen.
- Es stehen sich scheinbar unvereinbare Positionen unter dem Aspekt des Arbeits- und Umweltschutzes auf der einen Seite und des Recyclings von Wertstoffen auf der anderen Seite gegenüber. Die Wechselwirkungen zwischen Stoffrecht und Abfallrecht, infolge der Annahme maximal vorstellbarer Gefahrenpotenziale, die von einem Stoff ausgehen können, die zwar eine einfachere rechtliche Behandlung möglich machen, führen aber unter Umständen zu technisch nicht einhaltbaren Grenzwerten und Stoffverboten, sodass ein Recycling (zum Beispiel Kobalt, Blei) behindert oder unter Umständen sogar verhindert wird. Hier findet eine Stigmatisierung von bestimmten Werkstoffen und deren Recycling statt, selbst wenn potenziell toxische Elemente in Legierungen gebunden sind, sodass unter diesen Bedingungen von ihnen keine Gefahren ausgehen. Hier ist eine faktenbasierte Kommunikation ganz besonders wichtig.

- Zum Teil fehlen aber noch entsprechende Methoden (Bioverfügbarkeit) zur Gefährdungsbeurteilung beziehungsweise diese sind in der Europäischen Union noch nicht zur Toxizitätsbeurteilung zugelassen.

- Die Herausforderung besteht im Wesentlichen in der Komplexität der möglichen Wechselwirkungen von Maßnahmen mit anderen Wirkungsbereichen und den Auswirkungen in diesen Bereichen. Entsprechend können mit einer Maßnahme nicht immer alle ökologischen beziehungsweise sozio-ökonomischen Zielansprüche gleichermaßen bedient werden. Im Extremfall kann es sogar vorkommen, dass negative Effekte auftreten und nach Abwägung aller Vor- und Nachteile in Kauf genommen werden müssen.

- Ein nachhaltiges Recycling funktioniert nur dann, wenn die Wirtschaftlichkeit der Prozesse gegeben ist, das heißt, es müssen Produkte aus diesen Prozessen entstehen, die zu akzeptablen Preisen verkauft werden können. Staatliche Investitionsfördermaßnahmen für Aufbereitungs- und Recyclinganlagen können bei der Einführung einer neuen Technologie helfen, aber auf Dauer müssen die Prozesse aus sich heraus wirtschaftlich sein.

⊗ Zielkonflikte

- Es wäre notwendig, der Gefährdungsbeurteilung im Abfallrecht gegenüber den Einstufungen im Stoffrecht Vorrang für das Recycling einzuräumen.
- Wechselwirkungen zwischen Stoffrecht und Abfallrecht, infolge der Annahme maximal vorstellbarer Gefahrenpotenziale, die von einem Stoff ausgehen können, führen aber unter Umständen zu technisch nicht einhaltbaren Grenzwerten und Stoffverboten, sodass ein Recycling (zum Beispiel Kobalt, Blei) behindert oder unter Umständen sogar verhindert wird.
- Aufgrund der Komplexität der möglichen Wechselwirkungen von Maßnahmen mit

anderen Wirkungsbereichen und in andere Wirkungsbereiche hinein, können mit einer Maßnahme nicht immer alle ökologischen beziehungsweise sozio-ökonomischen Zielansprüche gleichermaßen bedient werden.

Enabler #5

Genehmigungsverfahren müssen vereinfacht, beschleunigt, effektiver und zeitlich kalkulierbarer sowie rechtssicher werden

✓ *Machbarkeit*

Genehmigungsverfahren dauern im europäischen Vergleich zu lang und könnten durch entsprechende Digitalisierungsmaßnahmen erheblich beschleunigt werden. Bürokratieabbau ist aktuell in der Praxis erfahrungsgemäß schwer umzusetzen, was allerdings in der Zukunft gelingen muss, um eine weitere sozio-ökonomische Entwicklung der Gesellschaft effektiv gestalten zu können.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Es existiert ein zu großer Interpretationsspielraum bei Genehmigungsbehörden. Genehmigungswillige sehen sich gegenüber den Genehmigungsbehörden einer gewissen Willkür ausgesetzt, da der rechtliche Interpretationsspielraum gerade bei Aufbereitern oft sehr eng ausgelegt wird. Dies ist oftmals auch eine Folge von Rechtsunsicherheiten.
- Die Komplexität und der Umfang der Genehmigungen schrecken ab, sodass bestehende Genehmigungen ungern angetastet werden. Dieser Umstand behindert technische Weiterentwicklungen, weil aufgebaute rechtliche Hürden nicht übersprungen werden können.
- Digitalisierungsmaßnahmen ersetzen keine notwendigen Prüfungen oder Beteiligungsverfahren, aber bürokratische Prozesse können durch moderne Methoden der Digitalisierung beschleunigt werden. Die notwendigen Prüfungen (zum Beispiel im Immis-

sionsschutz) sind notwendig, müssten aber beschleunigt durchgeführt werden.

- Die individuelle Interpretation und Bearbeitung, die hohe Anzahl der involvierten Behörden, Zuständigkeitsfragen sowie fehlendes spezifisches Know-how vor Ort sind oft der Grund für ineffiziente, langsame und nicht kalkulierbare Genehmigungsverfahren.
- Personelle Engpässe behindern eine schnelle Bearbeitung.
- Die bürokratischen Prozesse könnten durch eine effektive Digitalisierungsstrategie und deren konsequente Umsetzung beschleunigt werden.
- Bürgerbeteiligungen sind aus akzeptanz- und demokratiefördernden Gesichtspunkten sinnvoll, müssten aber in zu kalkulierenden Zeiträumen erfolgen, damit Investitionsentscheidungen insgesamt kalkulierbar bleiben.
- Bürgerbeteiligungsformate sollten sinnvoll und präzise eingebunden und nicht pauschal angesetzt werden.
- Durch eine effektive Bürgerbeteiligung können im Vorfeld soziale Konflikte reduziert werden.

✗ *Zielkonflikte*

- Genehmigungsaufwand versus Innovation: Bestehende Genehmigungen werden ungern angetastet und somit technische Weiterentwicklungen nicht in Angriff genommen.
- Rechtsunsicherheiten führen zu fehlender Entscheidungsbereitschaft.

Enabler #6

Stärkung der Bahn im Güterverkehr

✓ *Machbarkeit*

Der für den Bereich Eisen und Stahl wichtige Güterverkehr benötigt ein funktionierendes und von der Kapazität her passendes Schienen-

transportsystem. Die Transportlogistik der Bahn muss deutlich effizienter werden, Gleisanlagen, Verladestationen und Reparaturbetriebe müssen neu erstellt oder revitalisiert werden, was vom Prinzip her möglich ist, aber aufgrund der Investitionsversäumnisse der letzten Jahrzehnte zwangsläufig Zeit benötigt.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Grundsätzlich ist der Ausbau der Bahnlogistik rechtlich machbar, aber er wird aufgrund des enormen Investitionsstaus in der Umsetzung sehr lange dauern. Umweltverträglichkeitsprüfungen verlängern den Prozess zusätzlich. Es müssen verkehrspolitische Weichen gestellt werden, die dem notwendigen Ausbau des Schienen- und Wasserstraßennetzes, den maroden Autobahnbrücken und dem sich abzeichnenden Mangel an Lkw-Fahren den gerecht werden.
- Die rechtliche Priorisierung der Bahn verhindert innovative technologie-offene alternative Transportkonzepte auf der Straße. Der Aufwand für eventuelle Genehmigungsverfahren ist nicht einzuschätzen und unter der hohen Inflation sind die Kosten nur noch bedingt zu kalkulieren.
- Die Bereitschaft zur Nutzung der Bahn ist für den Transport großer Schrottmengen auf Seiten der Schrottlieferanten, der Metall- und Stahlrecyclingunternehmen sowie auf Seiten der Kunden gegeben. Soll der Bahnverkehr verstärkt für die Recyclingrohstoffe genutzt werden, sind entsprechende logistische Möglichkeiten (besser ausgebautes Schienennetz, genügend zur Verfügung stehende Wagons, dezentrale und schnelle Reparaturmöglichkeiten und so weiter) notwendig. So lange hier Probleme nicht gelöst sind, wird die Variante Straße immer weiter bevorzugt genutzt werden, weil sie flexibel ist.
- Es bedarf einer Kampagne, um der Politik und der Öffentlichkeit zu zeigen, dass es bei der Bahn um mehr als nur die Pünktlichkeit

von Personenzügen geht. Vor allem gibt es ökologische und ökonomische Vorteile, wenn diese professionell und konsequent umgesetzt werden.

- Es muss in Politik und Gesellschaft kommuniziert werden, dass ohne eine entsprechend nachhaltige, vor allem aber auch funktionierende und von der Kapazität her passende Logistik im großen Feld von Eisen und Stahl gar nichts gehen wird. Der funktionierende Güterverkehr ist daher eine *conditio sine qua non* für alle anderen Maßnahmen im Bereich der Logistik.
- Fehlende Anbindung: Nicht für jedes Unternehmen ist eine wirtschaftliche Bahnanbindung möglich.
- Neben dem Personalmangel, der durch den Renteneintritt der Babyboomer-Generation in den nächsten Jahren drastisch verstärkt wird, sind die Preiserhöhungen von DB Cargo von bis zu 45 % (LEBEDEW & SCHLESINGER 2022) ein großes Problem, um die Transportlogistik effizienter und klimafreundlich zu gestalten.

⊗ Zielkonflikte

- Es werden ein stringentes, strategisches und operatives Management benötigt, um die Probleme der Bahn – infolge der Versäumnisse in den letzten Jahrzehnten – in der Zukunft effektiv und effizient lösen zu können.
- Umweltverträglichkeitsprüfungen können Genehmigungen verzögern.
- Da absehbar ist, dass der Ausbau der Transportlogistik der Bahn sehr viel Zeit in Anspruch nehmen wird, müssen parallel die logistischen Bedingungen für den Lkw-Transport verbessert werden.

Enabler #7**Stärkere Berücksichtigung der Wiederverwendung und des Recyclings in der künftigen Ökodesign-Verordnung** *Machbarkeit*

Eine stärkere Berücksichtigung des Ökodesigns wäre wünschenswert. Diese hat es vor Jahrzehnten schon gegeben, als Produkte mehrheitlich repariert und nicht weggeworfen worden sind, und wird es zukünftig wieder verstärkt geben. Aber dennoch müssen Produkte am Ende des Lebenszyklus recycelt werden. Hier haben Metalle aufgrund ihrer prinzipiell guten Recyclebarkeit eine besonders hervorgehobene Rolle.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Die Berücksichtigung der Wiederverwendung ist eine unternehmensindividuelle Entscheidung und könnte durch den Druck von Verbrauchern eine stärkere Rolle bekommen.
- Direkte rechtliche Regelungen des Staates werden oftmals abgewiesen, allerdings können hier sinnvolle Anreize gegeben werden.
- Argumente gegen eine entsprechend ausgestaltete künftige Ökodesign-Verordnung können Zielkonflikte hinsichtlich der technischen Sicherheit durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen sowie deren ausreichende Verfügbarkeit in gewünschter Qualität sein. Hier muss eine Balance gefunden werden, um den Interessen auf beiden Seiten gerecht zu werden.
- Die Ökodesign-Verordnung ist nur ein Aspekt. Vielfach wird eine Wiederverwendung durch Gesetze (zum Beispiel Baurecht) oder Normung verhindert oder erschwert.
- Vielfach fehlen produktspezifische Informationen zu Bauteilen. Für die Zukunft könnte ein digitaler Produktpass oder ein digitaler Zwilling eine geeignete Lösung ermöglichen.
- Für Bauteile und Produkte, die aktuell dem anthropogenen Lager entnommen werden und jetzt wiederverwendet werden könnten, fehlen vielfach noch rechtliche Rahmenbedingungen und ein gut ausgebauter sekundärer Handel, wie er beim Pkw- und Lkw-Handel sowie in wachsendem Maße für gebrauchte und überholte (Refurbished) Handys existiert.
- Verbundstoffe und Legierungen sind in vielen Produkten ohne erheblichen Qualitätsverlust nicht zu ersetzen.
- Im Metallschrottbereich gibt es noch Potenzial zur Steigerung der Einsatzfähigkeit von Sekundärrohstoffen. Hierzu bedarf es des Bewusstseins, welches Rohstoffpotenzial überhaupt in einem Material steckt, und dann bedarf es noch des Umsetzungswillens, dieses Potenzial zu nutzen.
- Gegenwärtig wird entgegen anderen marketinggetriebenen Angaben beim Produktdesign immer noch im Wesentlichen auf die Kosten geachtet. Durch entsprechende Regularien zur Internalisierung der externen Kosten müssen die Kosten für ein erschwerteres oder unmögliches Recycling berücksichtigt werden und der Kunde muss bereit sein für einen höheren möglichen Aufwand, dafür aber mehr Nachhaltigkeit, etwas zu vergüten.
- Ein Umdenken bei Produzenten und Kunden ist erforderlich, um mehr und besseres Recycling zu ermöglichen. Saubere Schrotte sind technisch möglich, allerdings muss der damit verbundene Zusatzaufwand auch vergütet werden.
- Aspekte wie Modularität und Adaptivität können die Wiederverwendung begünstigen.
- Der Qualitätsverlust beim Verzicht auf Verbundstoffe und Legierungen kann mit einem wirtschaftlichen Schaden für Produzierende, aber auch die Kundschaft verbunden sein.

- Es bedarf der Flexibilität der Prozesse zur Bereitstellung im Markt nachgefragter Qualitäten an Recyclingrohstoffen. Hier ist darauf zu achten, dass die Prozesse so flexibel gestaltet werden, dass sie nicht in die Abhängigkeit eines bestimmten Produktes geraten. Wenn ein Recyclingmaterial ausschließlich nur in einem bestimmten Produkt eingesetzt werden kann und dieses Produkt im Markt keinen Bestand mehr hat, ist das Recyclingziel irrelevant. Die Wiederverwendung ist nicht selten mit Refurbishment verbunden. Hierfür sind in der Regel entsprechende personelle Ressourcen erforderlich, die vor dem Hintergrund eines Fachkräftemangels nicht immer zur Verfügung stehen.
- ⊗ **Zielkonflikte**
 - Derzeit sind neue Produkte in nicht wenigen Fällen kostengünstiger als gebrauchte Produkte.
 - Normung unterstützt und behindert die Wiederverwendung: Die Wiederverwendung gebrauchter Produkte, wie zum Beispiel Stahlträger im Baubereich, kann aktuell durch Normen verhindert werden.
- Im Bereich des Neuschrotts wären Initiativen an den Schrottentfallstellen sowie Vereinbarungen zwischen diesen und dem jeweiligen Schrotthandel die Basis für eine bessere, sortenreinere Schrottsortierung.
- Das Sortieren an den Entfallstellen ist oftmals an die örtlichen Gegebenheiten gebunden und organisatorisch sowie technisch nicht einfach zu ändern.
- Könnten die entstehenden Kosten durch höhere Erlöse für den sortierten Schrott überkompensiert werden, wäre damit die Wirtschaftlichkeit gegeben.
- Neben Investitionen müssten die Mitarbeitenden durch entsprechende Schulungen für die Aufgabe sensibilisiert werden.
- Einer Getrennthaltung beim Altschrott sind technische Grenzen gesetzt und eine vorgeschriebene Getrennthaltung, die nicht zu einer entsprechenden Verbesserung des Recyclings führt, ergibt keinen Sinn und sollte nicht gefordert werden.
- Das Betreiben von Aufbereitungsanlagen ist für die meisten Produzenten sehr kapital- und platzintensiv und benötigt entsprechend ausgebildete Arbeitskräfte, sodass die Maßnahmen zum Grad der Getrennthaltung unter diesen Aspekten hinsichtlich der sozio-ökonomischen Machbarkeit bewertet werden müssen. Es muss eine Vorabbeurteilung möglich sein, was machbar und unter Abwägung der ökonomischen und ökologischen Zielkonflikte nicht machbar ist.

Enabler #8

Intensivere Sortierung von Schrott an den Anfallstellen

✓ *Machbarkeit*

Eine intensivere Sortierung von Schrott an den Entfallstellen sowohl beim Altschrott als auch beim Neuschrott ist prinzipiell machbar, aber eine solche Sortierung muss nachhaltig wirtschaftlich sein.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Durch ein Getrennthaltungsgebot von Metall- und Stahlschrott von sonstigen zum Beispiel mineralischen Abfallstoffen könnte sich im Bereich des Altschrotts an den Anfallstellen das Problem in gewissen Grenzen lösen lassen.
- ⊗ **Zielkonflikte**
 - Der Investitionsaufwand für die Neugestaltung des Schrottanfalls beim Neuschrott kann in einer bestehenden Anlagenkonstruktion zu hoch sein.
 - Der erhöhte Sortieraufwand ist nicht wirtschaftlich darstellbar.

Enabler #9

Zusammenarbeit in Forschung/Entwicklung zwischen Stahlrecycling- und Stahlunternehmen sowie Hochschulen

✓ *Machbarkeit*

Die Zusammenarbeit zwischen Stahlrecycling-, Stahlunternehmen und Hochschulen kann gesteigert werden. Es existieren nationale und europäische Förderprogramme, die in Anspruch genommen werden können. Wichtig ist, dass sich Personen finden, die gemeinsam Probleme lösen und Dinge verbessern wollen.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Möglichkeiten entsprechender Kooperationen werden durch nationale und europäische Förderprogramme gefördert.
- Compliance-Anforderungen setzen der Zusammenarbeit oftmals enge Grenzen.
- Unternehmen haben für gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsprojekte mitunter kaum oder keine Ressourcen, sodass sich von daher über entsprechende Förderprogramme eine Zusammenarbeit mit Hochschulen anbietet.
- Wissenschaft und Wirtschaft sprechen oft nicht die gleiche Sprache und es bedarf der Dialogverbesserung zwischen Aufbereitern und Verarbeitern sowie der Wissenschaft, was sehr oft von bestimmten Personen abhängt, die gemeinsam etwas bewegen und entwickeln wollen.
- Schrottabnehmer, Recyclingwirtschaft und Hochschulen müssen gemeinsame Konzepte zur Steigerung der Ressourceneffizienz entwickeln.
- Recycling und Circular Economy waren lange Zeit unbeliebt: Recycling und Circular Economy sowie Rohstoffe waren als Themenfelder gerade auch außerhalb der Ingenieurwissenschaften nur wenig populär. Das sollte

sich mit der inzwischen zunehmenden Wertschätzung für diese Bereiche in der Öffentlichkeit sukzessive ändern, sollte aber durch entsprechende Förderung dieser wissenschaftlichen Cluster beschleunigt werden.

- Einfache und vor allem kostengünstige Verfahren zur Bestimmung von Legierungszusammensetzungen in größeren Massenströmen sind notwendig.
- Fragen der Internalisierung der Kosten (Modellierung von Rohstoffströmen, wie ändern die sich etc.) müssten intensiver untersucht werden, was schon begonnen wird, was aber beschleunigt angegangen werden müsste.
- Eine Forschungsförderung ist notwendig, um die fehlenden F&E Budgets in Unternehmen zu kompensieren und Hochschulforschung anzukurbeln.

✗ *Zielkonflikte*

- Es besteht eine gewisse Angst davor, dass firmeneigenes Know-how eventuell öffentlich wird.
- Compliance-Vorgaben sind zu berücksichtigen.

2.3.5 Nächste Schritte

Im Rahmen der Beratungen im UAK Eisen und Stahl sind eine Vielzahl von Barrieren identifiziert worden. Die folgenden Enabler wurden herausgearbeitet und auf ihre Machbarkeit hin im Detail diskutiert:

- Entwicklung einer nachhaltigen europäischen Rohstoffstrategie.
- Auch zukünftig müssen Schrottexporte außerhalb der Europäischen Union weiterhin möglich sein.

- Vereinheitlichung der Rechtsinterpretationen im Abfallrecht in den EU-Mitgliedsstaaten und auch in den Bundesländern.
- Verordnungen müssen zielgerichteter werden und technische Fragen im Vordergrund stehen.
- Genehmigungsverfahren müssen vereinfacht, beschleunigt, effektiver und zeitlich kalkulierbarer sowie rechtssicher werden.
- Mehr Bahn ist im Güterverkehr dringend notwendig.
- Eine stärkere Berücksichtigung der Wiederverwendung und des Recyclings in der Ökodesign-Verordnung.
- Eine intensivere Sortierung von Schrott an den Entfallstellen.
- Zusammenarbeit in Forschung/Entwicklung zwischen Stahlrecycling- und Stahlunternehmen sowie Hochschulen.

Hierbei zeigte sich eine Vielzahl von Wechselwirkungen der Enabler untereinander beziehungsweise miteinander.

Den **größten Einfluss** auf eine Verbesserung des Recyclings haben der Abbau politischer und rechtlicher Barrieren durch vereinfachte, effektive, aufeinander abgestimmte, in sich konsistente und kalkulierbare Genehmigungsverfahren im föderalen, aber auch europäischen Kontext. Auf dieser Basis muss eine europäische Rohstoffstrategie entwickelt werden, die sich hinsichtlich möglicher Gefahrenpotenziale an den tatsächlichen realen technischen Anwendungen und weniger an theoretisch möglichen Gefahrenpotenzialen aus Sicht des Stoffrechts orientiert. In diesem Zusammenhang sind nationale und europäische Datenbanken zu erstellen, mit denen Stoffflüsse tatsächlich abgebildet werden können. Des Weiteren ist es für ein funktionierendes Recycling wichtig, dass auch zukünftig Schrottexporte außerhalb der Europäischen Union möglich sind, wobei in Drittländern An-

forderungen erfüllt sein müssen, die denen der Europäischen Union entsprechen. Bei diesen Handlungsoptionen, die den größten Einfluss haben, handelt es sich sicher allerdings um langfristige Optionen.

Demgegenüber konzentrieren sich **kurzfristig umsetzbare Handlungsoptionen** auf organisatorische und technische Maßnahmen, durch die es möglich ist, anfallende Schrotte intensiver und sortenreiner zu sortieren. In diesem Zusammenhang kann auch kurzfristig die Zusammenarbeit zwischen Stahlrecycling- und Stahlunternehmen sowie Hochschulen verbessert werden.

Für eine effektive Verbesserung des Recyclings müssen vorrangig Institutionen tätig werden, denen es obliegt, rechtliche und verwaltungstechnische Vorgaben zu ändern und effektiver gestalten zu können. **Wirtschaft** und **Wissenschaft** können und wollen dabei nach bestem Wissen unterstützen. Eine Zusammenarbeit aller Stakeholder ist dringend notwendig, insbesondere mit Blick auf die praktische Anwendbarkeit.

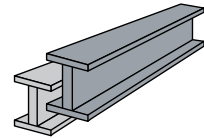
2.4 Steckbrief – Kupfer

Kupfer

Unterarbeitskreis-Leitung (Autoren):

Dr. Antonia Loibl (Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI)

Michael Sander (Kupferverband e. V.)



UAK-Übersicht



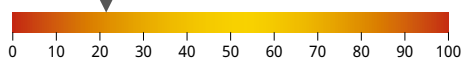
39 Beteiligte



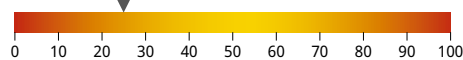
32 % Einzelunternehmen
33 % Wissenschaft
13 % Behörde
17 % Verbände
5 % Zivilgesellschaft



Anzahl **Barrieren**



Anzahl **Lösungsvorschläge**



Themenbereiche der identifizierten Handlungsoptionen



#1	Grenzwerte und Auflagen	#8	Kupferverluste an den Stahlkreislauf
#2	Recyclingstandards	#9	Anreize zur Altproduktsammlung
#3	Vollzug	#10	Recyclingkapazitäten und -technologien
#4	Design for Recycling	#11	Datenerhebung
#5	Schrottexportregelung	#12	Produktpass
#6	Sortier- und Trenntechnologien	#13	Sortierung
#7	Recyclingtechnologien		

Tab. 5: Überblick Stoffstrom Kupfer (Referenzrahmen Deutschland 2021)

Stoffströme	Menge [t]	Quelle
UAK Kupfer (Referenzjahr 2021)		
Primärrohstoffe		
Bergbauproduktion ^{1, 2}	37	(BGR 2022)
Import (HS 2603, Erze und Konzentrate) ³	1.150.000	(DESTATIS 2023)
Export (HS 2603, Erze und Konzentrate) ³	44.500	(DESTATIS 2023)
Raffinadeproduktion ¹	384.000	(ICSG 2022)
Recyclingrohstoffe		
Import (HS 7404; Abfälle und Schrott) ³	589.000	(DESTATIS 2023)
Export (HS 7404; Abfälle und Schrott) ³	464.000	(DESTATIS 2023)
Raffinadeproduktion ¹	231.000	(ICSG 2022)

¹ Angaben in Tonnen Inhalt Metall

² Als Beiprodukt der Schwerspat- und Flussspatproduktion

³ Material mit nicht eindeutig definiertem Metallgehalt

2.4.1 Beschreibung relevanter Stoffströme, Wertschöpfungsketten und Anwendungskontexte

Stoffströme und Anwendungskontexte

Primärabbau von Kupfer findet in Deutschland derzeit nicht statt. Kupfer findet in Form von Erz-Konzentraten (a in Referenzgrafik Abbildung 14), Blisterkupfer, Rohkupfer und Kathoden Eingang sowohl in den Raum der Europäischen Union als auch der Bundesrepublik Deutschland. Konzentrate werden zumeist aus Lateinamerika importiert (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2020d; UNITED NATIONS COMTRADE 2022). Der Abbau von Erzen und die Erzeugung von Konzentraten innerhalb der Europäischen Union, hauptsächlich in Polen, aber auch Spanien, Bulgarien und Schweden, hat mit circa 900 Kilotonnen Kupfer pro Jahr einen Anteil von etwa einem Drittel der erzeugten 2.700 Kilotonnen Kupferkathoden innerhalb der Europäischen Union (COMISIÓN CHILENA DEL COBRE 2021).

In Deutschland stark vertreten sind die weiteren Schritte der Wertschöpfungskette. Sowohl pyro-

metallurgische und elektrolytische Raffination als auch die Halbzeugherstellung sind traditionell und bis heute etabliert. Die deutsche Industrie nimmt hier in Europa, aber auch global eine starke Stellung ein. Bei der Primärkupfererzeugung werden die Konzentrate in Kupferhütten zunächst zu Anoden und diese dann in Elektrolyseprozessen in hochreine Kupferkathoden umgewandelt. Schon in dem Prozess zur Anodenproduktion kommen Kupferschrotte als Kühlschrotte in den Schmelzprozessen zum Einsatz. Darüber hinaus gibt es Kathodenproduktion, die neben den Konzentraten teilweise oder sogar komplett auf Schrott als Ausgangsmaterial setzt. Die produzierten primären, sekundären und gemischten Kupferkathoden unterliegen wie importierte Kathoden alle den gleichen Qualitätsstandards und sind als veredeltes Metall (b) die Ausgangsprodukte für die weitere Wertschöpfungskette (LANGNER 2011).

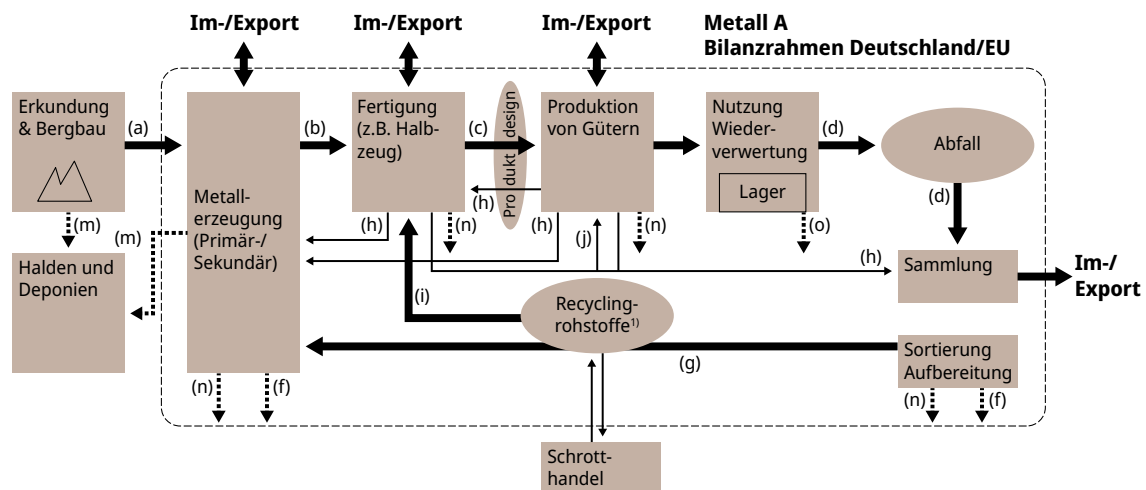
In den nachfolgenden Prozessschritten zur Erzeugung von Zwischenprodukten (c) werden die Kathoden als Ausgangsprodukte wieder eingeschmolzen, um sie zum Teil zu legieren, in kontinuierlichen oder halbkontinuierlichen Strangguss- und Walzprozessen zu Halbzeugen zu verarbeiten oder zu Gussprodukten zu vergie-

ßen (LANGNER 2011). Dabei kann erneut Schrott beigemischt werden. Wegen der hohen Qualitätsanforderungen wird sehr sauberer Schrott für das Umschmelzen in neue Produkte benötigt. Meist wird Neuschrott (h) oder Kabelschrott verwendet. In der Europäischen Union sind circa ein Drittel der erzeugten Zwischenprodukte Legierungsprodukte, demzufolge zweidrittel Reinkupferprodukte. 90 % der hergestellten Produkte sind Halbzeuge in Form von Blechen, Bändern, Stangen, Rohren oder Drähten und die restlichen circa 10 % sind Gussprodukte (Zwischen- und Endprodukte). Ebenso aus der Schmelze erzeugte Kupferpulver und Granulate sind Zwischenprodukte (c), die Ausgangsmaterialien zum einen für die Additiven Fertigungsverfahren, zum anderen für die Chemische und Pharma-Industrie (unter anderem Agrar-Chemie) sind. Die Stoffströme, die zum Beispiel als Biozide in der Agrarwirtschaft oder auf andere Art in die Natur freigesetzt werden, finden Eingang in biologische Kreisläufe und gehen dabei für die anthropogene Kreislaufwirtschaft ver-

loren (Dissipation in der Nutzungsphase (o)). In Bezug auf die Gesamtmenge an Zwischenprodukten ist ihr Anteil jedoch gering (SOULIER M. et al. 2018).

In diesen ersten Prozessen der Wertschöpfungskette fallen bereits Anfahr- und Produktionsschrotte (Neuschrotte (h)) an, die entweder direkt in die vorgelagerten Schmelzprozesse zurückfließen oder an anderen Stellen des Werkstoffkreislaufsystems Verwendung finden. Zudem werden Neuschrotte (h) aus nachgelagerten Prozessschritten zum Teil bereits in diesen Schmelzprozessen eingesetzt.

Die Zwischenprodukte finden nach einer Um- und Verarbeitung sowie Montage ihren Einsatz als Bauteile in den Gütern und Produkten. Auch in diesen Um- und Verarbeitungsprozessen fallen Neuschrotte (h) an, die in die vorgelagerten Erzeugungsprozesse bis zu den Zwischenprodukten zurückfließen.



(a)	Kupferkonzentrat	(g)	gesamelter und aufbereiteter Schrott für das metallurgische Recycling
(b)	Kupferkathoden	(h)	Schrott aus der Fertigung und Produktion (Neuschrott)
(c)	Halbzeuge (z. B. Legierungen)	(i)	in der Fertigung eingeschmolzener Kupferschrott
(d)	End-of-Life (EoL) Produkte	(j)	Kupferschrott genutzt in der Produktion
(e)	Kupferschrotte gesammelt fürs Recycling	(m)	Schlacken, Aschen, Bergbaurestoffe
(f)	Kupfer separiert für nicht funktionelles Recycling	(n)	Dissipation/permanente Verluste

Abb. 14: Referenzgrafik Stoffstrom Kupfer in Anlehnung an UNEP (2011)

Nach der Nutzungsphase schließt sich die Abfall- und Recyclingwirtschaft an. Der Kupferanteil beziehungsweise der Anteil der Kupferlegierung der Güter oder Produkte (d) kann als Recyclingrohstoff (g) über Sammlung, Sortierung und Aufbereitung sowie Sekundärmetallerzeugung wieder zur Erzeugung von Kupferkathoden (g) beziehungsweise Fertigung oder Produktion von Halbzeugen (i) und Gütern (j) eingesetzt werden. Dabei kann Sekundärmaterial je nach Qualität an unterschiedlichen Stellen der Wertschöpfungskette den primären Stoffflüssen wieder zugeführt werden. In Raffination, Elektrolyse und Halbzeugfertigung wird Sekundärmaterial verarbeitet und bleibt damit dem Rohstoffkreislauf erhalten. Elementar für die erfolgreiche Kreislaufführung sind die möglichst umfassende Sammlung, eine Sortierung mit einem sinnvollen Verhältnis von Arbeitsaufwand, Reinheit und Materialverlust sowie ein effizienter metallurgischer Recyclingprozess. Güter oder deren Kupferanteile, die nach Ende der Lebensdauer auf Deponien landen beziehungsweise nicht aufbereitet werden, gehen dem Kreislauf zumindest vorerst verloren. Besonders relevant für Kupferrecycling sind Bauabfälle sowie Elektronikaltgeräte aus dem Industrie- wie aus dem Konsumbereich, aber auch Altfahrzeuge spielen eine größere Rolle. Neben diesen Altschrotten entstehen Neuschrotte innerhalb der Produktionsprozesse der Industrie aus Effizienzgründen in möglichst geringem Ausmaß. Die Kupferindustrie selbst handhabt dabei lediglich den letzten Schritt des Wiedereinsatzes in ihren Prozessen und ist für die vorausgehenden Schritte auf Kooperation angewiesen.

Rolle des Recyclings im Bereich Kupfer

Die wichtigste Verwendung von Kupfer ist aufgrund der hohen elektrischen und thermischen Leitfähigkeit sowie der elektromagnetischen Induktion die Erzeugung, Umwandlung und der Transport von Energie in Generatoren, Transformatoren, Wärmetauschern und Kabeln. Somit ist Kupfer der zentrale Werkstoff für die Umsetzung der Energie- und Mobilitätswende. Die Anwendungen reichen zudem aber auch bis

zu kleinen Leitern und Leiterplatten in elektronischen Konsumgütern. Zu den größten Bereichen Infrastruktur und Konsumgüter kommen Industriemaschinen und der Transportsektor sowie Gebäude mit Rohrleitungen und sonstige architektonische Anwendungen. Entsprechend dieser Anwendungen sind die größten Stoffströme im Sinne von Recyclingpotenzialen in diesen Sektoren zu finden (ICA/IWCC 2022; EUROPÄISCHE KOMMISSION 2020d).

Der Bedarf an Kupferwerkstoffen wird in der nahen Zukunft in der Europäischen Union und damit auch in der Bundesrepublik durch die Aufgabenstellung des European Green Deals hinsichtlich einer Mobilitäts- und Energiewende stetig steigen (GREGOIR & VAN ACKER 2022; DERA 2021). Da aber bei der Verwendung eines Großteils von Kupferprodukten in Gütern, Produkten und Gebäuden von einer Lebensdauer von 10 bis > 60 Jahren beziehungsweise im Durchschnitt 35 Jahren auszugehen ist, wird deutlich, dass die Verfügbarkeit von Sekundärrohstoffen aus End-of-Life-Produkten auch in den kommenden Jahrzehnten begrenzt sein wird und daher auch weiterhin ein erheblicher Anteil des Bedarfes aus Primärrohstoffen zu decken ist (SOULIER M. et al. 2018). Die möglichst nachhaltige Gestaltung des Bergbaus sollte daher neben effizienten Recyclingstrukturen immer mitgedacht und angestrebt werden.

Kupfer ist ein Metall, das sich grundsätzlich unbegrenzt häufig ohne Qualitätsverlust und im Idealfall mit minimalem Materialverlust (jeder technische Prozess geht mit Verlusten einher, seien sie noch so minimal) recyceln lässt (LANGNER 2011; LOSSIN 2000). Auch wenn im Detail unterschiedliche Prozesse je nach Produktkategorien, Schrottqualitäten und Einspeisungsstufe im Zyklus existieren, lassen sich zwei generelle Recyclingrouten unterscheiden. Qualitativ hochwertige Schrotte können in der Halbzeugherstellung eingesetzt und direkt zu neuen Produkten umgeschmolzen werden. Durch den geringen Aufwand ist dieser Recyclingweg sehr energie- und kosteneffizient und mit geringen Umweltwirkungen verknüpft. Eingesetzt werden meist Neuschrotte, Kabelschrotte und auch

sauber getrennte Legierungsschrotte. Die Möglichkeiten der Aufreinigung sind auf diesem Weg jedoch begrenzt, was aber zur Notwendigkeit der Deckung des erhöhten Gesamtbedarfs an Kupferwerkstoffen mit Primärmaterial passt. Stärker verunreinigte Schrotte gehen je nach Bedarf durch Schritte der Raffination und Elektrolyse, wodurch Kupfer der Qualität von Primärmaterial sowie viele Nebenbestandteile wie Edelmetalle wiedergewonnen werden können. Diese Kombination aus energieeffizientem Einschmelzen von Kupferschrotten und der vollen Raffination zu neuwertigem Kupfer höchster Qualität bildet ein gut ausgebautes Recyclingsystem mit unbegrenzter Rückführbarkeit des Materials ohne Qualitäts- und Quantitätsverluste (LOSSIN 2000).

Mengenmäßig ist der Anteil an sekundärem Input in der deutschen Kathodenproduktion in den letzten zehn Jahren sehr konstant um die

40 % gewesen. Für 2021 schätzt die International Copper Study Group ICSG diese Recyclinginputrate auf 38 %. In absoluten Zahlen bedeutet dies eine sekundäre Raffinadeproduktion von 231 Kilotonnen bei einer Gesamtproduktion von 615 Kilotonnen Raffinadekupfer in Deutschland im Jahr 2021 (siehe Tabelle 5). Damit liegt Deutschland deutlich über dem globalen Durchschnitt, der als Zehnjahresdurchschnitt bis 2018 bei 14 % Sekundärinput zur Raffinadeproduktion liegt (ICSG 2022). Nimmt man den erheblichen Anteil an Recycling durch Direkteinschmelzung von Schrotten in der Halbzeugfertigung hinzu, liegt die globale Recyclinginputrate 2009 – 2018 im Durchschnitt bei 32 % (ICSG 2022).

2.4.2 Barrieren im Recycling

Im Folgenden sind die genannten Barrieren entlang der festgelegten Dimensionen aufgeführt.

Regulatorik

Schlagwort	Barriere
Produktdesign	Die Sortierung und Aufbereitung von „End of Life“-Schrotten wird durch die steigende Komplexität von Produktaufbau und Materialzusammensetzung (zum Beispiel Miniaturisierung) erschwert
Chemisierung des Abfallrechts	Die Regulation des Bleigehalts von Produkten gefährdet die Verwendbarkeit von Schrotten in der Direkteinschmelzung (insbesondere von Messing) und bedingt einen hohen Aufwand über die Sekundärverhüttung
Vollzug	Der Vollzug bei der Abfallverbringung von WEEE (Zoll) ist nicht ausreichend
Abfallverbringung und Handel	Für Kupferschrotte gibt es regulatorische Hindernisse im internationalen Handel (Export, Abfallverbringung)
Chemikalienrecht (strengere Grenzwerte)	Strenge Grenzwerte im Chemikalienrecht erschweren Recycling von Kupferschrotten
Recyclingstandards	Die Recyclingstandards für WEEE (CENELEC EN 50625) und Behandlungsanforderungen sind europaweit noch nicht ausreichend harmonisiert
Verwertungsaufgaben/-quoten	Zunehmende Auflagen (Grenzwerte) für die Verwertung von Schlacken aus dem Recycling erhöhen den Energieaufwand zur Behandlung und erschweren die Rentabilität

Anreize und Förderung

Schlagwort	Barriere
Sammlung	Es fehlen Anreize zur verbesserten Sammlung von WEEE/Batterien und die Aufbereitung ist bisher zu wenig am (metallischen) Rohstoffgehalt ausgerichtet (und die zu erreichende Mengenquote zu stark an Massenrohstoffen)
Verarbeitungs-kapazitäten	Zu geringe Kapazitäten für den Einsatz von Kupferschrotten in der Sekundärmetallproduktion
Aufbereitungs-verfahren/-kapazitäten	Recyclingverfahren für Kupferrückgewinnung aus Bergbauabfällen sind noch nicht großtechnisch realisiert und/oder bisher unwirtschaftlich
Getrennt-erfassung/-haltung	Die Getrennterfassung und Aufbereitung von Messing-/Kupferlegierungsschrotten ist unzureichend und bedingt energieaufwendiges Recycling (Kupferraffination)
Level-Playing-Field	Recycling in Deutschland ist im Vergleich zu Schrottexport nicht attraktiv genug (insbesondere für minderwertigere Fraktionen)

Infrastruktur und Logistik

Schlagwort	Barriere
Technologie-umsetzung und -weiter-entwicklung	Sinnvolle Balance zwischen Sortiertiefe, Materialverlusten und steigendem Logistikbedarf ist für die neuen computerbasierten Sortiertechnologien ungeklärt. Eine deutlich stärkere Sortierung und dadurch vermehrte Gewinnung hochwertiger Fraktionen aus Altschrotten ist denkbar, verursacht aber Zielkonflikte

Daten und Digitalisierung

Schlagwort	Barriere
Daten-verfügbarkeit	Fehlende Quantifizierung von bisher ungenutzten Rückgewinnungspotenzialen aus Schlacken der Cu-Verhüttung
	Fehlende Quantifizierung unvermeidbarer Verluste in Nutzungsphase bei (Zwischen-)Produkten (Dissipation)
	Keine zuverlässigen Mengen und Konzentrationsangaben bei WEEE für den deutschen Markt
Informations-mangel/-weiter-gabe	Bei den (heterogenen) Input- und Outputströmen von Aufbereitungsanlagen mangelt es an Informationen über Zusammensetzung, enthaltene Wertmetalle etc.

Technologien und Prozesse

Schlagwort	Barriere
Rohstoff-verfügbarkeit	Zunehmende Komplexität des verfügbaren Schrotts durch die steigende Bedeutung von Altschrotten: Durch Effizienzsteigerungen in Produktionsprozessen wuchs das Neuschrottaufkommen in den letzten Jahren langsamer im Vergleich zur Güterproduktion, während mehr und mehr Altschrotte generiert wurden und werden. Neuschrotte werden zudem bereits umfassend verwertet und bieten kaum Möglichkeiten zur weiteren Steigerung des Recyclings
Verluste in andere Stoffkreisläufe	Im Sortierprozess geht kontinuierlich Kupfer an den Stahlschrottstrom verloren. Dieses verursacht einen irreversiblen Kupfereintrag in den Stahlkreislauf und bedeutet durch dessen immense Größe eine relevante Verlustmenge für den Kupferkreislauf

2.4.3 Handlungsoptionen

Überblick der Enabler

#1	Praxistaugliche und einheitliche Grenzwerte und Auflagen für die Recyclingindustrie
#2	Vereinheitlichung der Recyclingstandards für WEEE in der Europäischen Union
#3	Stärkung des Vollzugs bestehender und künftiger Regelungen
#4	Vorgaben zum Design for Recycling
#5	Steuerung und Regelung von Schrottexporten
#6	Investitionen in F&E von Sortier- und Trenntechnologien
#7	Entwicklung von neuen Recyclingtechnologien in der Sekundärrefinanzierung
#8	Verminderung von Kupferverlusten an den Stahlkreislauf
#9	Schaffung von Anreizen zur Verbesserung der Sammlung von Elektro- und Elektronikaltgeräten sowie Batterien
#10	Erweiterung von Recyclingkapazitäten und -technologien in Deutschland und Europa

#11 Datenerhebung Kupfernutzung in Deutschland

#12 Einführung eines Produktpasses

#13 Verbesserung der Sortierung von Elektro- und Elektronikaltgeräten sowie Batterien

Regulatorik

Enabler #1

Praxistaugliche und einheitliche Grenzwerte und Auflagen für die Recyclingindustrie

Die zunehmenden rechtlichen Einschränkungen und Auflagen, die bei der Behandlung von Recyclingströmen zu beachten sind, stellen Hürden für die Durchführung der entsprechenden Prozesse dar. Hierzu gehören beispielsweise das Chemikalienrecht sowie das Abfallverbringungsrecht.

Barrieren für Transport und Verwertung gefährden die betriebswirtschaftliche Rentabilität des Recyclings. Neben anderen Aspekten muss die Gestaltung dieser Auflagen bedacht werden, wenn es um die Auslotung eines „Level-Playing-Field“, also die Konkurrenzfähigkeit des Recyclings in Deutschland auf internationaler Ebene geht. Zumindest innerhalb von Europa sollte hier eine Harmonisierung der Auflagen angestrebt werden, um die Barriere eines zu kom-

plexen Regulierungsflickenteppichs abzubauen und für einen fairen Wettbewerb zu sorgen. Im Bereich des metallurgischen Kupferrecyclings gibt es durch BREF/BAT europaweit einen klaren Standard. Gerade im Bereich der Einstufung von Abfällen und nachfolgenden Regelungen zu Transport und Verwendung ist die Lage auch innerhalb der Europäischen Union komplex (Beispiel: Einstufung von Altkabeln als gefährlicher Abfall in Österreich erschwert massiv die Zuführung zum Recyclingprozess in Bayern).

Trotz einer höheren Komplexität wäre ein stoffstromspezifischer Ansatz bei der Regulierung der Abfall- und Abfallverbringungsgesetzgebung hier zielführender.

Bei der Festlegung von Grenzwerten für Recyclingprodukte in Form von Legierungen muss der Zielkonflikt zwischen Schadstoffentfrachtung und Rohstoffrückgewinnung bewusst mitgedacht werden. Eine Entfernung von Begleitelementen im Sekundärprodukt könnte zu einem aufwendigeren und darum meist energieintensiveren Recyclingprozess führen, der unter Umständen mit höheren Materialverlusten einhergeht oder durch höhere Kosten weniger Verbreitung findet. Der Risikoansatz (bezogen auf den behandelten Stoffstrom) ist daher dem Gefährdungsansatz (bezogen auf den betrachteten Schadstoff) bei der Bewertung von nötigen Grenzwerten vorzuziehen. Grenzwerte sollten grundsätzlich festgesetzt oder verschärft werden, wo auch ein tatsächliches Risiko durch Schadstoffe besteht, nicht wo sie zwar vorhanden sind, aber kein Risiko darstellen. Aus juristischer Sicht bestehen jedoch Schwierigkeiten. Aus Gründen des Vorsorgegedankens ist es nicht immer möglich, alle denkbaren Risikolagen vorab bereits abstrakt zu beschreiben. Im Kupferrecycling ist die Verschärfung von Grenzwerten derzeit durch die chemikalienrechtliche Einstufung von Blei innerhalb der Europäischen Union ein Thema. Aber auch die anziehenden Grenzwerte im Bereich der Schlackenaufbereitung spielen für das Kupferrecycling eine Rolle. Ersteres hat das Potenzial, die Möglichkeiten des Recyclings vor allem von Messing durch energiesparendes Direkteinschmelzen einzu-

schränken. Zweiteres erhöht den Energie- und Kostenaufwand, um Schlacken einer weiteren Verwendung zuzuführen, und verkleinert die Wirtschaftlichkeit von Recyclingverfahren. Nur solange die Schlacken als Nebenprodukt eine Verwendung finden können, kann Kupferrecycling sinnvoll betrieben werden. Immer strengere Reglementierung in Bezug auf enthaltene Begleitelemente und ihre zugelassenen Mengen stellen dies zunehmend in Frage.

Enabler #2

Vereinheitlichung der Recyclingstandards für WEEE in der Europäischen Union

Der deutsche Sonderweg zur Regelung des Umgangs mit Elektroaltgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz, siehe auch Fallstudie zu Weißer Ware in (SCHOMERUS et al. 2023)) sollte beendet und stattdessen eine EU-weit einheitliche Regelung unterstützt werden. Mit der nächsten WEEE-Novelle sollten die im Auftrag der EU-Kommission erarbeiteten und verabschiedeten Normen (Normenreihe EN 50625) als verbindliche Mindeststandards für das Recycling von Elektroaltgeräten aufgenommen werden. Art. 8 Abs. 4 der WEEE-Richtlinie lässt diese Möglichkeit ausdrücklich zu. Wichtig ist, die Standards Technologie-offen zu formulieren, um Flexibilität für die Akteure bei gleichzeitig hohen Standards zu ermöglichen.

Enabler #3

Stärkung des Vollzugs bestehender und künftiger Regelungen

Es gibt bereits einige starke Regelungen (Basler Übereinkommen, WEEE-Richtlinie), die jedoch nur unzureichend durchgesetzt werden und daher nicht ihre vorgesehene Wirkung entfalten. Regelungen müssen mit einem Konzept des Vollzugs hinterlegt werden. Die für den Vollzug verantwortlichen Institutionen müssen mit entsprechenden Mitteln, finanziell und personell, ausgestattet werden.

So ist der Vollzug durch den Zoll bei der Abfallverbringungsverordnung für WEEE nicht ausreichend. Illegale Exporte müssen stärker verhin-

dert werden. Hierfür braucht es eine merkliche Aufstockung für ausreichendes und gut ausgebildetes Personal zur großflächigen Überprüfung von Handelsströmen. Der Zoll kann zusätzlich durch entsprechende Dokumentation durch die Exporteure unterstützt werden. Anhang VI der WEEE-Richtlinie schreibt seit Jahren unter anderem die Beilegung von Funktionstests für gebrauchte Altgeräte vor. Der Zoll sollte ertüchtigt und verpflichtet werden, bei den Export-Kontrollen Anhang VI verbindlich zu beachten.

Bei EU-weit einheitlicher Regelung könnten Kontrollen möglicherweise an die EU-Außengrenzen verlegt werden, wodurch sich der Gesamtaufwand für Kontrollen für die Europäische Union reduziert.

Enabler #4

Vorgaben zum Design for Recycling

Die Europäische Union ist in diesem Bereich bereits erfolgreich aktiv und legte 2022 innerhalb der „Sustainable Product Initiative (SPI)“ (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2022a) des „Circular Action Plan (CEAP)“ (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2020b) die „Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR)“ als Überarbeitung und Erweiterung der bisherigen Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EC auch für nicht-energieverbrauchsrelevante Produkte vor. Diese Politik sollte von Deutschland unterstützt und weitergeführt werden. Wichtig ist hierbei, die Richtlinien auf eine Basis von ganzheitlichen Bewertungsmethoden zu stellen, um den tatsächlichen Fortschritt durch Designentwicklung zu überprüfen und Zielkonflikte zu vermeiden. Die bevorzugte Berücksichtigung von Sekundärmaterialien bei Ausschreibungen durch die öffentliche Hand im Produkt- und Baubereich ist dabei ein Fördermittel mit Signalwirkung und Vorbildfunktion. Es handelt sich in diesen Beispielen um wichtige, aber erst sehr langfristig wirksame Herangehensweisen. Die Mehrheit der kupferhaltigen Produkte hat eine Lebensdauer von zehn bis 60

Jahren. Ein auf Recyclingfähigkeit ausgelegtes Produktdesign ab heute wirkt sich daher frühestens in zehn Jahren signifikant auf die Recyclingströme aus.

Darüber hinaus müssen Produktdesignern die Herausforderungen und Notwendigkeit klar vermittelt werden. Ökodesignwissen muss deutlich stärker in Ausbildungen und Studium integriert werden.

Enabler #5

Steuerung und Regelung von Schrottexporten⁶

Über die Bewertung der derzeitigen Regelungen und eine Gestaltung zukünftiger Gesetzgebung gab es in den bisherigen Diskussionen unterschiedliche Meinungen und Einschätzungen. So wurde von einem Teil der Teilnehmenden für eine Unterscheidung zwischen behandelten und unbehandelten Abfallströmen, aber auch zwischen unterschiedlichen Materialien (beispielsweise Metalle und Kunststoffe) beim Vollzug der Abfallverbringung und in der Reglementierung des Handels plädiert. Andere hielten eine solche weitere Spezifizierung und auch den Ruf nach einer Neudefinition zwischen Produkt und Abfall nicht für nötig, dafür aber eine klare Definition von Begriffen wie Qualität in der Ausgestaltung der Regelung.

Generell kann jedoch gesagt werden, dass Handel und Recycling zusammengedacht werden sollten, da es in der Verantwortung des Handels liegt (Sekundär-)Material zum Einsatzort zu bringen und abfließen zu lassen. Dadurch bedingt und beeinflusst der Handel elementar die Verfügbarkeiten der Kupferwerkstoffe. Die deutsche Handelsbilanz von Kupferschrotten ist in den letzten Jahren positiv gewesen. Es wurden mehr Schrotte importiert als exportiert. Die Importe lagen 2018 – 2022 bei 550 – 600 Kilotonnen, die Exporte bei 380 – 460 Kilotonnen (UNITED NATIONS COMTRADE 2023). Schrottimporte sind somit eine wichtige Kupferquelle für

⁶ Hinweis der Geschäftsstelle: Aussagen und Annahmen zum Thema „Schrottexporte/internationaler Handel/Versorgungssicherheit“ stellen eine „Debatteposition“ dar, das heißt zum Thema gibt es in der Dialogplattform derzeit unterschiedliche Standpunkte und Sichtweisen.

Deutschland. Des Weiteren ist ein Export von Schrotten nicht unbedingt als negativ zu bewerten. Der Handel kann für den Ausgleich der konjunkturellen Nachfrage von entscheidender Bedeutung sein. Der Kupferkreislauf besteht aus einem global agierenden Netzwerk an Akteuren. Schwerpunkte und Spezialisierung in bestimmten Regionen können aus Nachhaltigkeitsperspektive und Ressourcenerhalt sinnvoll sein. Auch fehlende Kapazitäten im Recycling können Exporte begründen. Langfristig sollten hier jedoch Anreize zur Erhöhung der Prozesskapazitäten und für den Verbleib von bisher exportierten Schrotten in Deutschland gesetzt werden. Denn aus Sicht der Versorgungssicherheit handelt es sich um einen Abfluss von wertvollen Ressourcen aus Deutschland (vergleiche Tabelle am Anfang des Kapitels). Zudem ist der Nachweis des Recyclings von exportierten Gütern im Ausland nicht immer gegeben.

Auch dies ist ein Grund, um Recyclingbestrebungen und Handelspolitik zusammen zu denken. Eine Möglichkeit der Gestaltung wäre die Schaffung eines „Level-Playing-Fields“. Den Recyclingakteuren ist hierbei besonders wichtig, dass sie wirtschaftlich unter vergleichbaren Bedingungen arbeiten wie ihre Konkurrenz aus dem Ausland. Hohe Umwelt- und Sozialstandards, aber auch Qualitätsanforderungen in Deutschland sind eine Errungenschaft, dennoch können sie im internationalen Vergleich zum Nachteil werden. Durch bewusste Gegenmaßnahmen – wie Kaufanreize durch entsprechende Zertifikate, festgesetzte Umweltstandards für Produkte in der öffentlichen Beschaffung oder gesetzliche Regelungen zum Beispiel zum Nachweis eines tatsächlichen und zudem hochwertigen Recyclings bei Schrottexporten – kann ein Ausgleich und damit ein fairer Konkurrenzkampf um Recyclingströme, das sogenannte „Level-Playing-Field“ geschaffen werden. Handel wäre hier weiterhin möglich oder sogar gewünscht, wenn in den Zielländern nachweisbar Recycling unter vergleichbaren Umwelt- und Sozialstandard wie in Europa stattfindet. Dies stärkt deutsche Recyclingakteure und verhindert gegebenenfalls einen Abfluss von Rohstoffen.

Technologie und Prozesse

Durch Trends wie Digitalisierung und Elektrifizierung, aber auch Miniaturisierung und Entwicklung immer neuer spezialisierter Legierungen und Materialverbunde werden Produkte zunehmend komplexer, was sich auch auf die Altschrottströme und ihre stoffliche Zusammensetzung überträgt. Zudem werden sich die Altschrottströme durch den massiven technologischen Wandel durch beispielsweise Energie- und Mobilitätswende verändern. Es bedarf daher einer kontinuierlichen Investition in die Entwicklung neuer und in die Verbesserung bestehender Sortier- und Recyclingtechnologien und -verfahren. Der Nutzung neuartiger Technologien, aber auch der Weiterentwicklung von mechanischen Verfahren werden dabei hohe Potenziale zugeschrieben.

Enabler #6

Investitionen in F&E von Sortier- und Trenntechnologien

Gerade im Bereich der Sortierung und Trennung hat es in den letzten Jahren mit der Entwicklung von computerbasierten indirekten Verfahren (beispielsweise sensorgestützte Verfahren) deutliche technologische Fortschritte gegeben, die für Kupfer jedoch noch deutlich weniger weit entwickelt und erprobt sind als für Stahl und Aluminium (LOIBL & TERCERO ESPINOZA 2021). Eine deutlich weitergehende Sortierung im Bereich der Legierungsgruppen oder gar spezifischer Legierungen steht als Möglichkeit im Raum. Durch hohe Sortiertiefe und große Reinheit könnten so mehr Altschrotte den aufwendigeren Raffinationsprozess weitgehend umgehen und kosten- sowie energiesparend direkt in neue Halbzeuge dieser Legierung(sgruppe) umgeschmolzen werden. Dies ist mit den derzeit am Markt befindlichen Sortier- und Trennverfahren nur eingeschränkt möglich. Eine weitergehende Sortierung geht jedoch auch mit einer Diversifizierung von Materialströmen, also einer Steigerung des Aufwandes für Sortierung, Trennung und Transport sowie von Materialverlusten einher. Die Überprüfung der Machbarkeit und Abwägung der Sinnhaftig-

keit einer stärkeren Sortierung von Legierungen steht für Kupfer jedoch noch aus. Sie sollte einschließlich einer ganzheitlichen Bewertung von der Forschung angegangen werden. Hierzu bedarf es Forschungsförderung mit entsprechenden Schwerpunkten.

Enabler #7

Entwicklung von neuen Recycling-technologien in der Sekundärraffination

Im Bereich des metallurgischen Recyclingprozesses muss eine Vielfalt sich zudem verändern: der Begleit- und Legierungselemente (wie Pb, Bi, Te) im Blick behalten werden und müssen Verfahren entsprechend in Sachen Mengensteuerung oder Separation in Schmelze oder Elektrolyse angepasst werden. Zu den sich verändernden Stoffströmen, beispielsweise den über neue Sortiertechnologien sortenrein erzielten, gehören auch geeignete Ofen- oder Brenntechnologien sowie metallurgische Prozesse. Entsprechend muss auch in diesen Bereichen kontinuierlich weiterentwickelt werden. Insbesondere vor dem Hintergrund von Transformationen zur CO₂-Reduktion muss gewährleistet bleiben, dass geeignete Umschmelztechnologien zur Verfügung stehen. Die Metallurgie muss auch unter neuen Rahmenbedingungen der Energieversorgung technisch und wirtschaftlich einsetzbar sein. Hierzu bedarf es entsprechender Forschungsprogramme und einer Intensivierung der Zusammenarbeit der F+E-Bereiche der Unternehmen mit den Hochschulen zur Entwicklung und Optimierung von Prozessen.

Grundlegender noch als entsprechende Forschungsförderung muss zusätzlich auch die für eine solche Forschung nötige Kompetenzbasis in Deutschland sichergestellt werden. Es gibt nur wenige relevant ausgerichtete und ausgestattete Forschungsstätten und Professuren. Für das Etablieren beziehungsweise Erhalten einer fortschrittlichen und wettbewerbsfähigen Recyclinginfrastruktur in Deutschland ist gut ausgebildetes Personal aus den Bereichen der Aufbereitungs- und Verfahrenstechnik sowie Metallurgie jedoch unabdingbar.

Enabler #8

Verminderung von Kupferverlusten an den Stahlkreislauf

Im Sortierprozess der verschiedenen Metallfraktionen gehen kontinuierlich kleine Mengen Kupfer mit der Stahlfraktion in den falschen Kreislauf verloren. Im Stahlkreislauf ist das Kupfer nicht abzutrennen und reichert sich an, gleichzeitig sind die Verluste durch die Größe des Stahlkreislaufes in ihrer Menge relevant für Kupfer. Zur Bearbeitung des Themas müssen die Akteure der zwei Industrien zusammengebracht werden. Darüber hinaus sind zwei Ansätze denkbar:

Die Sortierleistung kann erhöht werden, sodass die Verlustmenge geringer wird. Dieser Mehraufwand im Sortierprozess muss für die Akteure attraktiv gemacht und belohnt werden.

Außerdem könnten gezielte Anpassungen im Produktdesign angestrebt werden, um Materialvermischung zu vermeiden und die Trennung zwischen Kupfer und Stahl zu vereinfachen. So könnte mit bestehender Sortiertechnologie und derzeitigem Aufwandslevel eine erhöhte Sortierleistung erzielt werden.

Anreize & Förderung

Enabler #9

Schaffung von Anreizen zur Verbesserung der Sammlung von Elektro- und Elektronikaltgeräten sowie Batterien

Für eine möglichst weitreichende Sammlung von Elektro- und Elektronikaltgeräten sowie Batterien braucht es die Mithilfe der Endverbraucherinnen und -verbraucher. Sie entscheiden durch ihr Entsorgungsverhalten, ob die Geräte einer spezifischen Aufbereitung oder der grauen Tonne und dadurch unspezifischen und mit hohen Materialverlusten behafteten Verfahren zugeführt werden. Es bedarf daher einer Erhöhung des Bewusstseins für diese Zusammenhänge und die Wichtigkeit der richtigen Entsorgung in der Bevölkerung durch entsprechende Öffentlichkeits- und Bildungsarbeit. Des Weiteren unterstützt eine umfangreiche Sammel-

infrastruktur die Umsetzung des richtigen Verhaltens. Durch die Setzung zusätzlicher Anreize für richtige Entsorgung beispielsweise durch die Schaffung von Pfand- und Tauschsystemen für Elektro- und Elektronikaltgeräte sowie Batterien könnte die Nutzung der bereits vorhandenen Infrastruktur von Sammelstellen und Wertstoffhöfen verbessert werden. Dazu können sowohl die vorhandenen Sammelstellen genutzt werden und kann in eine sinnvolle Erweiterung von Sammelstellen und Wertstoffhöfe investiert werden. Weitergehende Anpassungen der Sammelprozesse und -verordnungen auf Bundes- und EU-Ebene sind anzustreben.

Enabler #10

Erweiterung von Recyclingkapazitäten und -technologien in Deutschland und Europa

Eine Erhöhung der Kapazitäten in Deutschland und dem EU-Raum für die Aufbereitung und Erzeugung von Sekundärrohstoffen sowie beschleunigte und vereinfachte Genehmigungsverfahren sind notwendig, um die Erzeugung von Sekundärrohstoffen im EU-Gebiet zu ermöglichen. Dazu bedarf es einer staatlichen Förderung oder der Setzung expliziter Anreize für Investitionen zum Ausbau der Kapazitäten und Recyclinginfrastrukturen.

Dabei ist der Ausbau inländischer Recyclingtechnologien nicht allein als technische Frage zu sehen, sondern sollte vor allem auch als eine wirtschaftliche Frage betrachtet werden, da es für den Einsatz der Recyclingtechnologien kompetenter Betreiber bedarf, die in der Lage sind, die Anlagen auch wirtschaftlich zu betreiben.

Auch die Anerkennung der energetischen, klima- und ressourcenpolitischen sowie ökologischen Vorteile von Recycling in Deutschland oder der Europäischen Union (zum Beispiel durch Ausnahmen oder Belohnungen in der Klima- oder Energiegesetzgebung) sowie die Unterstützung einer gezielten Vermarktung dieser Vorteile (zum Beispiel durch Zertifizierungsmöglichkeiten oder Label) könnten Anreize zur Steigerung von Kapazitäten setzen.

Daten und Digitalisierung

Enabler #11

Datenerhebung Kupfernutzung in Deutschland

Probleme der Datenverfügbarkeit wurden insbesondere für die Nutzungsphase identifiziert. Da weder eine Quantifizierung der Produkte in Nutzung noch der Menge an Produkten, die die Nutzungsphase pro Jahr verlassen, in Bezug auf Deutschland existiert, fehlen Informationen über die Verfügbarkeit und Zusammensetzung von Schrotten. Eine solche Quantifizierung wäre nötig, um erfolgreich etablierte Recyclingströme zu identifizieren und bisher unzureichende oder ungenutzte Potenziale herauszuarbeiten. Bestehende Daten im Bereich Kreislaufwirtschaft, aber auch angrenzend in der Ökobilanzierung sind oft fehlerhaft oder veraltet. Die Datengrundlage sollte daher erneuert und ergänzt werden, um eine verlässliche Basis für Entscheidungen zu schaffen. Circa 80 % des Kupfers, das jemals produziert wurde, ist immer noch im Kreislauf. Um dieses große Lager möglichst effizient zu nutzen, müssten derzeitige wie zukünftig zu erwartende EoL-Ströme analysiert und beschrieben werden, sodass eine gezielte Anpassung und Vorbereitung des Recyclingsystems kontinuierlich vorgenommen werden kann. Zu einer quantitativen Analyse der Nutzungsphase gehört dabei auch, die Menge an unvermeidbarer Dissipation von Kupfer während der Nutzung zu erarbeiten, um sich einem realistisch erreichbarem Maximalpotenzial für das Kupferrecycling anzunähern. Was die Zusammensetzung von Schrottströmen angeht, so kann diese auf Ebene der großen Stoffströme, aber auch für einzelne Produkte betrachtet und quantifiziert werden.

Eine solche Datenerhebung kann entweder durch einen Auftrag an die entsprechenden staatlichen Institutionen oder eine passende Forschungsförderung umgesetzt werden. Da ein kontinuierliches Monitoring einer Erhebung in größeren Abständen vorzuziehen ist, sind feste Institutionen wie beispielsweise DERA/BGR vorzuziehen. Der im nächsten Abschnitt diskutierte Produktpass könnte bei entsprechender Aus-

gestaltung die nötige Datengrundlage (Art und Zusammensetzung der Produkte, die verkauft werden, sowie der EoL-Produkte, die gesammelt werden) liefern, die dann entsprechend analysiert und in den Kontext gebracht werden muss.

Enabler #12

Einführung eines Produktpasses

Die Einführung eines Produktpasses ist seit längerem in der Diskussion, jedoch bisher nicht umgesetzt. Aktuell ist er für Elektronik, Batterien sowie eine weitere noch zu bestimmende Produktgruppe Teil des Vorschlags der EU-Kommission zur „Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR)“ (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2022a). Die fortschreitende Digitalisierung bietet neue Möglichkeiten in der technischen Umsetzung. Bei der Einführung des Produktpasses ist es entscheidend, dass kupferhaltige Produktgruppen Bestandteil des Arbeitsprogramms für die delegierten Rechtsakte werden.

Ein Produktpass soll Informationen zu Materialzusammensetzung und Produktaufbau von den Herstellern sammeln und den entsprechenden Akteuren für eine passgenaue Demontage, Sortierung und schließlich das Recycling zur Verfügung stehen. Er wirkt so der steigenden Produktkomplexität (beispielsweise Elektrogeräte) entgegen. Durch die bessere Informationslage bleibt möglicherweise auch für geringe oder heterogen verteilte Kupferanteile die Rezyklierbarkeit erhalten oder wird erst ermöglicht. Zudem könnte die Rückgewinnung von Nebenprodukten steigen oder der Umgang mit Stör- oder Schadstoffen erleichtert werden.

Außer für gezielte Anpassungen und Verbesserungen im Recyclingprozess könnte ein solcher Produktpass auch genutzt werden, um Transparenz in der Produktzusammensetzung (Beispiel Recyclinganteil) und Recyclingfähigkeit für Endkundinnen und -kunden herzustellen. Die nötige Transparenz, Datengrundlage und einheitliche Methodik für eine Darstellung der Recyclingfähigkeit existiert derzeit nicht und müsste entwickelt werden. Derartige Informationen ermöglichen es Kundinnen und Kunden

jedoch, solche Aspekte in ihre Kaufentscheidungen einzubeziehen, und setzt entsprechend Anreize für Unternehmen, Rezyklateinsatz und Rezyklierbarkeit ihrer Produkte zu steigern.

Des Weiteren könnte eine gute Datenlage zur Produktzusammensetzung auf nationaler Ebene genutzt werden, um Wissen und Verständnis von Stoffströmen in Deutschland deutlich zu verbessern. Gerade auf Ebene der Endprodukte ist aufgrund der Vielfalt an Produkten und sogar Produktgruppen die Verfügbarkeit von Daten zu Produktion, Nutzung (inklusive Nutzungsdauer) und Lebensende gering, für eine Quantifizierung des Urban Mining jedoch unabdingbar.

Infrastruktur und Logistik

Enabler #13

Verbesserung der Sortierung von Elektro- und Elektronikaltgeräten sowie Batterien

Eine stärkere Ausrichtung der Sortierung nach Rohstoffgehalten, Zusammensetzungen und technischen Aspekten ist unabdingbar (siehe auch aktuelle Fallstudie zu Weißer Ware in (SCHOMERUS et al. 2023)).

Eine intensivere Sortierung von Schrotten nach Qualitäten dort, wo sie entstehen, zum Beispiel in der Industrie oder in der sonstigen Weiterverarbeitung ist anzustreben. Die legierungssortenreine Getrennterfassung der Neuschrotte beziehungsweise Produktionsschrotte in allen verarbeitenden Sektoren hat noch weiteres Optimierungspotenzial mit dem Ziel einer Steigerung der Ressourceneffizienz. Für eine materialelektive Sortierung von unterschiedlichen Schrottsorten, Metallen und Legierungen bieten Weiterentwicklungen von Sortier- und Analysetechniken, Personalschulungen zusätzliche Potenziale.

Die Erweiterung beziehungsweise Anpassung von Klassifikationen, Abfallschlüsselnummern und Sammelkategorien für Elektroaltgeräte/für Produkte, um Datenerfassung und -verfügbarkeit zu verbessern, sollte diese Maßnahmen begleiten.

2.4.4 Machbarkeit und Zielkonflikte

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Machbarkeitsdiskussion dargestellt, in welcher die erarbeiteten Lösungsansätze unter den Aspekten rechtliche, informatorische/organisatorische, technische, ökologische und sozio-ökologische Machbarkeit betrachtet und diskutiert wurden. Zielkonflikte, bei denen zwei oder mehrere der oben genannten Aspekte im Widerspruch zueinander stehen, wurden (sofern vorhanden) herausgearbeitet und separat aufgeführt.

Enabler #1

Praxistaugliche und einheitliche Grenzwerte und Auflagen für die Recyclingindustrie

✔ *Machbarkeit*

Insgesamt wird die Umsetzbarkeit dieses Enablers in allen Teilkategorien als gut bis mittel bewertet. Aspekte, welche die Umsetzung dennoch behindern oder erschweren, sind vor allem auf der rechtlichen Seite zu finden: die hohe Komplexität von bestehenden rechtlichen Auflagen für die Behandlung und Verwertung der Recyclingströme sowie deren Transport; der notwendige Bürokratieabbau auf europäischer Ebene (beispielsweise die aufwendige Dokumentation bei Transport von als gefährlich eingestuften Schrotten insbesondere über Landesgrenzen); die Dominanz der toxikologischen Beurteilung bei Nicht-Betrachtung des tatsächlichen Risikos im Chemikalienrecht wie beim Bleigehalt und der anhaltende politische Trend zu immer komplexeren, strengeren Grenzwerten und Reglementierungen. Zudem ist aus ökologischer und ökonomischer Sicht die Ausschleusung beziehungsweise Entfernung von Legierungselementen sehr aufwendig und anwendungsfallbezogen zu betrachten.

✘ *Zielkonflikte*

- Die Vereinfachung und mögliche Reduzierung von Auflagen mit dem Ziel der Förderung des Sekundärkreislaufs darf nicht zu einer faktischen Reduzierung der Schutzwir-

kung auf Menschen und Umwelt beziehungsweise zur Erhöhung des tatsächlichen Risikos führen.

- Die weitere Entwicklung zu regulatorischen und rechtlichen Auflagen steht in direktem Konflikt zu den hier angesprochenen Enabler-Ansätzen.
- Der Energieaufwand durch zusätzliche Trenn- und Aufbereitungsverfahren und die stets weitgehendere Entfernung von kritischen Legierungselementen steht im Konflikt mit angestrebten Energie- beziehungsweise CO₂-Zielen, aber auch der ökonomischen Sinnhaftigkeit des Recyclings.

Enabler #2

Vereinheitlichung der Recyclingstandards für WEEE in der EU

✔ *Machbarkeit*

Die Umsetzbarkeit dieses Enablers wird als sehr gut bewertet. Die Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind auf rechtlicher Ebene vor allem die Komplexität der deutschen Vorgaben und Regelungen im Vergleich zu den europäischen. Hier muss der deutsche Verordnungsgeber einbezogen, aber gleichzeitig auch von einer Vereinheitlichung und unter Umständen dabei Vereinfachung auf europäischer Ebene überzeugt werden. Aus technischer Sicht stellt die Vielfalt der Produkte eine Hürde dar. Der Umgang mit dieser Produktvielfalt wird zusätzlich durch den hohen Importanteil bei Elektro- und Elektronikgeräten erschwert, was zu Problemen wie unbekannten Schadstoffgehalten führen kann. Produktseitig wird dies durch den Europäischen Produktpass adressiert werden, der klare Standards setzen soll. Auf Seiten der Recyclingverfahren kann hier über einheitliche Standards weiterer Fortschritt erreicht werden.

✘ *Zielkonflikte*

- Es wurden keine Zielkonflikte identifiziert.

Enabler #3

Stärkung des Vollzugs bestehender und künftiger Regelungen

✔ *Machbarkeit*

Zusammenfassend wurde die Machbarkeit dieses Enablers als überwiegend gut eingeschätzt. Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem die Tatsache, dass die Maßnahmen kostenintensiv sind. Dies könnte durch Vereinheitlichung innerhalb der Europäischen Union und gemeinsamen Vollzug minimiert werden, was allerdings einen politischen und organisatorischen Aufwand erfordert. Eine zusätzliche positive Kopplung besteht mit Enabler #12 zur Einführung eines Produktpasses. Nach der neuen ÖkodesignVO sollen Produktpässe mit dem sogenannten Information and Communication System for Market Surveillance (ICSMS) verknüpft werden. Dies birgt die Chance, dass durch Zollbehörden illegale Verbringung durch die Etablierung eines automatisierten Kontrollsystems für Ein- und Ausfuhren auf Basis der geplanten Verknüpfung besser unterbunden werden kann.

✘ *Zielkonflikte*

- Ein starker Vollzug bedeutet einen hohen personellen und organisatorischen Aufwand mit entsprechenden Kosten. Der ökonomische und ökologische Gewinn beispielsweise durch Reduktion von illegalen WEEE/ELV-Exporten und entsprechender Vergrößerung des inländischen Recyclingpotenzials muss sich die Waage halten mit höheren Vollzugskosten.
- Potenziell bestehen Interessenkonflikte zwischen der vorgeschlagenen Vereinfachung durch EU-weite Regelung und Kontrollen mit deutschen Recycling-/Rohstoffinteressen.

Enabler #4

Vorgaben zum Design for Recycling

✔ *Machbarkeit*

Insgesamt wurde über alle Dimensionen hinweg eine sehr gute Umsetzbarkeit des Enablers

angenommen. Die Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem die Tatsache, dass die Wirksamkeit einer Umsetzung aufgrund der langen Lebensdauer der Produkte erst nach langen Zeiträumen (10 – 20 Jahre) sichtbar und überprüfbar wird. Die ganzheitliche Bewertung der Maßnahme ist somit sehr schwer messbar und wird weiter erschwert durch eine Vielzahl von Zielkonflikten bei Betrachtung des gesamten Produktlebenszyklus (beispielsweise Rezyklierbarkeit, Ressourceneffizienz, Langlebigkeit etc.). Die Funktion des Produktes und damit dessen Marktfähigkeit darf nicht durch das recyclingfähige Design eingeschränkt werden. Der Enabler muss außerdem mit entsprechender Ausbildung in vielen Berufsfeldern einhergehen, da die Umsetzung entsprechende Kenntnisse über Recycling, Rezyklierbarkeit und Umweltbewertung in den Design- und Produktionsphasen des Lebenszyklus benötigt.

✘ *Zielkonflikte*

- Recyclingfähiges Design darf nicht im Konflikt mit der Funktion und damit der Verkaufsfähigkeit des Produktes stehen.
- Die anhaltenden Trends der Funktions- und auch Ressourceneffizienz (zum Beispiel bei Miniaturisierung, Materialsubstitution, Hochleistungsmaterialien), auch im Zusammenhang mit Energie- und CO₂-Effizienz, können im Konflikt mit recyclingfähigen und reparierbaren Konstruktionen stehen. Angestrebte Reparierbarkeit und lange Lebensdauer sorgen für eine spätere Verfügbarkeit der Werkstoffe im Sekundärrohstoffmarkt.

Enabler #5

Steuerung und Regelung von Schrottexporten

✔ *Machbarkeit*

Generell wird die Umsetzbarkeit dieses Enablers als mittel bewertet. Rechtliche Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem die lange Dauer für die Änderungen von internationalen Regelungen, die nur im

Konsens geändert werden können. Die Regeln haben möglicherweise zu starke Markteingriffe zur Folge, die gegen das Prinzip des Level-Playing-Field verstoßen, und führen, als Reaktion bisheriger Empfängerländer, gegebenenfalls zum Verlust von Marktzugängen außerhalb Europas. Zudem können fehlende Kapazitäten gegen eine zeitnahe Sekundärrohstoffherzeugung innerhalb der Europäischen Union sprechen.

⊗ Zielkonflikte

- Die Verhinderung von Exporten steht im Konflikt mit dem Freihandelsprinzip.
- Die Sicherstellung der Kupfer-Rückgewinnung aus Mengen, für die in Deutschland keine Kapazität oder ökonomisch sinnvolle Recyclingmöglichkeit besteht, durch Export zu Recyclern im Ausland steht unter Umständen im Konflikt mit der Gewährleistung vergleichbarer Umwelt- und Arbeitsschutzstandards beziehungsweise geht einher mit der Verlagerung von ökologischen und sozialen Lasten auf Drittstaaten.

Enabler #6

Investitionen in F&E von Sortier- und Trenntechnologien

✓ Machbarkeit

Die Machbarkeit dieses Enablers wird über alle Kategorien hinweg als sehr gut bewertet. Viele neue Technologien sind bereits am Markt erhältlich oder befinden sich schon in Entwicklung. Aspekte, welche den Einsatz dieser Technologien bisher behindern oder erschweren, sind vor allem ökonomischer Natur. Die Anschaffungs- und Betriebskosten der neuen Aufbereitungstechnologien sind derzeit noch sehr hoch und daher nur bei hohem Materialdurchsatz und werthaltigen Materialien lohnenswert. Die Wirtschaftlichkeit hängt außerdem von der Marktlage für Rohstoffe und Produkte ab. Für entsprechende Investitionen muss diese günstig und stabil sein. Ob die neuen Technologien technisch so weit vorwärtsgebracht werden können, dass die Qualität und Menge der erhaltenen Fraktionen den Aufwand ökonomisch,

aber auch ökologisch rechtfertigen, ist fraglich. Alle diese Punkte sind letztlich jedoch keine Hürden der Umsetzbarkeit des Enablers, sondern Hürden für den Erfolg der anvisierten Forschung, die dem üblichen Risiko von F&E-Investitionen entsprechen, sodass es hierzu noch weiterer Forschung und Entwicklung bedarf, um eine Weiterentwicklung zu vollziehen. Die Entwicklung ist letztendlich von der Qualität beziehungsweise Sortenreinheit der Sortierprodukte und den Kosten beziehungsweise der Wirtschaftlichkeit der Prozesse abhängig.

⊗ Zielkonflikte

- Hoher (energetischer und logistischer) Aufwand von Sortier- und Trennprozessen und deren Energie- und CO₂-Bilanz stehen im Konflikt mit dem ökonomischen und ökologischen Nutzen der höheren Sortenreinheit.

Enabler #7

Entwicklung von neuen Recyclingtechnologien in der Sekundärrefinanzierung

✓ Machbarkeit

Die Umsetzbarkeit wird Kategorie-übergreifend als gut bewertet. Wie für Enabler #6 bereits beschrieben, gibt es keine Hindernisse in der eigentlichen Entwicklung von neuen Prozessen, sondern Hürden für den erfolgreichen Einsatz neuer entwickelter Technologien, wie im Forschungskontext üblich. Aspekte, welche den industriellen Einsatz neu entwickelter Verfahren behindern oder erschweren, sind zum Beispiel, dass im Einzelfall sehr herausfordernde Verfahrensänderungen/Prozessänderungen in bestehenden Anlagen beziehungsweise komplett neue Anlagen und Verfahrenstechniken zum Teil in großtechnischen Lösungen mit entsprechendem Kompetenzaufbau entwickelt werden müssen. Verfahrensoffenheit ist nicht immer gegeben im industriellen Kontext. Zudem sind solche Änderungen unter Umständen mit großem Genehmigungsaufwand (BImSchG, Abfallrecht) verbunden. Auch die soziale Akzeptanz ist ein Problem für die Einführung von neuen Recyclinganlagen oder den Umbau von bestehenden Anlagen in Deutschland.

⊗ **Zielkonflikte**

- Möglicher hoher, zusätzlicher (energetischer) Aufwand der Prozesse und deren Energie- und CO₂-Bilanz stehen im Konflikt mit dem Nutzen, der Steigerung von Menge und/oder Qualität der Sekundärprodukte.

Enabler #8

Verminderung von Kupferverlusten an den Stahlkreislauf

✓ **Machbarkeit**

Die Machbarkeit des Enablers wird über alle Kategorien hinweg als gut bewertet. Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem technischer Natur. Gebundenes Kupfer kann im Stahlkreislauf nicht abgetrennt werden und somit muss mit entsprechendem Produktdesign und verbesserter Sortierung gearbeitet werden. Für die Sortierung mit entsprechender Trennschärfe und hohem Aufwand ist aber derzeit die Wirtschaftlichkeit unter Umständen nicht gegeben.

⊗ **Zielkonflikte**

- Erneut muss hier der Zielkonflikt zwischen verbesserter Rückgewinnung von Kupfer und ökonomischer wie ökologischer Sinnhaftigkeit erwähnt werden. Möglicher hoher, zusätzlicher (energetischer) Aufwand der Prozesse und deren Energie- und CO₂-Bilanz stehen im Wettbewerb mit dem Nutzen beziehungsweise Gewinn der Sekundärprodukte.

Enabler #9

Schaffung von Anreizen zur Verbesserung der Sammlung von Elektro- und Elektronikaltgeräten sowie Batterien

✓ **Machbarkeit**

Zusammenfassend über die Teilkategorien hinweg wird die Machbarkeit als mittel bis gut eingeschätzt. Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem die Abhängigkeit vom Entsorgungsverhalten der Endverbraucherinnen und -verbraucher, das gegebenenfalls mit Maßnahmen wie Pfandsys-

temen oder anderen Anreizen und Informationen beeinflusst werden muss. Hier spielen die Bequemlichkeit für die Verbraucherinnen und Verbraucher, aber auch Erziehung/Bildung/Bewusstsein zur Abfallbehandlung eine wichtige Rolle. Die zusätzlichen Kosten sind überschaubar, wenn vorhandene Infrastruktur genutzt werden kann, steigen jedoch deutlich an, wenn für neue Systeme ein nicht unerheblicher Zusatzaufwand betrieben werden muss (wie bruchfreie Sammlung von Bildschirmen). Hier wäre die Erhöhung der Umsetzungsquote der bestehenden Regelung (Rücknahme von Altgeräten durch die großen Verkäufer) ein wichtiger Zwischenschritt.

⊗ **Zielkonflikte**

- Es wurden keine Zielkonflikte identifiziert.

Enabler #10

Erweiterung von Recyclingkapazitäten und -technologien in Deutschland und Europa

✓ **Machbarkeit**

Die Machbarkeit des Enablers wurde über die verschiedenen Dimensionen hinweg als gut bewertet. Rechtliche Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem der hohe Entwicklungs- und Genehmigungsaufwand, der eine enorme Hürde bei Errichtungen und Erweiterungen vor Recycling-Standorten darstellt. Auch die Akzeptanz solcher Anlagen in der Bevölkerung ist ein Hemmnis für den Ausbau. Beides zusammen stellt für die Unternehmen dann eine hohe ökonomische Hürde dar.

⊗ **Zielkonflikte**

- Die Erweiterung von Recyclinganlagen in Deutschland oder Europa steht in Konkurrenz mit Investitionen der Unternehmen im Ausland. Das aktuelle Recyclingniveau von Kupfer ist hier schon vergleichsweise hoch, ein weiterer Ausbau ist daher technisch (komplexere Schrotte), ökonomisch (höherer Aufwand), regulatorisch (langwierige Genehmigung) und sozio-ökonomisch (fehlende Akzeptanz) herausfordernd. In anderen Ländern, momentan beispielsweise den USA, gibt es dagegen noch Potenziale für das Recycling attraktiver Schrotte.

Enabler #11

Datenerhebung Kupfernutzung in Deutschland

✔ *Machbarkeit*

Die Machbarkeit des Enablers wird als mittel bis gut bewertet. Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem die lange Nutzungsdauer von Kupfer und die dadurch erst spät eintretende nutzbare Verfügbarkeit der Erhebungen sowie der große Aufwand und die hohen Kosten. Erhoben werden können Daten zu den Produkten, die momentan ins Recyclingsystem kommen, die momentan in Nutzung sind oder die momentan produziert werden. Die Recycler beschäftigen sich mit der aktuellen Lage. Daten zu den kommenden Schrottströmen könnten für die Planung sinnvoll sein. Ob die momentan genutzten und produzierten Produkte jedoch in erwarteter Form in Jahren/Jahrzehnten ins Recycling kommen, ist unklar, was eine gewisse Skepsis gegenüber diesen Daten begründet. Letztlich entspricht dieses Risiko jedoch den normalen Einschränkungen einer Zukunftsprognose. Zudem muss die Erhebung auch für importierte Produkte erfolgen, was die Umsetzung noch schwerer macht.

⊗ *Zielkonflikte*

- Der hohe Aufwand der Erhebungen steht im Konflikt mit der Frage nach der Akzeptanz der Daten bei deren Nutzern. Bisher vorhandene Daten zu Materialflüssen haben diese Akzeptanz ihrer Nutzer. Neue müssen sich diese erst erwerben.

Enabler #12

Einführung eines Produktpasses

✔ *Machbarkeit*

Die Umsetzbarkeit eines Produktpasses wird als noch schwierig beurteilbar, jedoch grundsätzlich als gut eingeschätzt. Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem die Festlegung der Methodiken zur Darstellung der Zusammensetzungen, der Rezyklierfähigkeit und des Recyclinganteils des

Produktes sowie die daraus resultierende Skepsis über die Vorgaben des Produktpasses. Die Umsetzung und Verlässlichkeit bei Importprodukten treten hier als weitere Erschwernis der Machbarkeit auf.

Die Höhe des ausgewiesenen Recyclinganteils ist letztlich der vorhandene Anteil an Sekundärrohstoffen (maximal möglichen Anteil) und kann als reine Prozentangabe irreführend wirken, allerdings extrem fördernd für die Nachfrage an Sekundärrohstoffen.

Entsprechende Sammlung und Umsetzung der Daten soll durch staatliche Stellen erfolgen.

⊗ *Zielkonflikte*

- Es besteht ein grundsätzlicher Zielkonflikt zwischen der weitreichenden Offenlegung von Materialinhalten und -zusammensetzungen der Produkte gegenüber dem Geheimhaltungsbedürfnis der produzierenden Unternehmen.

Enabler #13

Verbesserung der Sortierung von Elektro- und Elektronikgeräten sowie Batterien

✔ *Machbarkeit*

Die Machbarkeit des Enablers wird als gut über die verschiedenen Teilkategorien hinweg bewertet.

⊗ *Zielkonflikte*

- Es wurden keine Zielkonflikte identifiziert.

2.4.5 Nächste Schritte

Aus der Arbeit des UAK Kupfer haben sich vor allem die Vorgaben zum Design for Recycling als **von Verwaltung und Politik kurzfristig umsetzbar** herausgearbeitet. Dabei ist die Linie der Europäischen Union, mit der Sustainable Product Initiative die Ökodesign-Richtlinie auf nicht-energierelevante Produkte auszuweiten und hierdurch die Kreislaufwirtschaft zu unterstützen, konsequent weiterzuführen. Zudem

ist der Fortschritt dieser Maßnahmen auf Basis ganzheitlicher Bewertungsmethoden zu überprüfen. Aufgabe von Bildungseinrichtungen, Hochschulen und Universitäten ist in diesem Zusammenhang die weitreichende Verbreitung von Ökodesignwissen in Ausbildungen und Studium aller relevanten Berufsgruppen.

Als vorläufiger Lösungsansatz mit dem **größten positiven Einfluss** wird das Konzept des konsequenten Vollzugs der Gesetzgebung gesehen. Dies gilt insbesondere für den Bereich Elektro- und Elektronikaltgeräte mit Basler Übereinkommen und WEEE-Richtlinie, aber beispielsweise auch für die Abfallverbringungsverordnung. Dazu soll eine ausreichende Aufstockung gut ausgebildeten Personals beim Zoll erfolgen. Vorgeschlagen wird dabei eine EU-weit einheitliche Regelung, um mit großflächigen Überprüfungen an den EU-Außengrenzen aufwandsminimiert illegale Exporte zu verhindern und gleichzeitig ein Level-Playing-Field in der Europäischen Union zu schaffen. Zudem soll eine Unterstützung des Zolls durch eine Dokumentation der Exporteure, zum Beispiel durch Beilegen von Funktionstests, erfolgen.

Die Hinarbeit auf ein Level-Playing-Field zumindest in der Europäischen Union und möglichst über die EU-Grenzen hinaus wird über viele Teilbereiche hinweg als wichtige Aufgabe für **Verwaltung und Politik** gesehen, um die Arbeit der Recyclingindustrie effektiv zu unterstützen. Genannt wurden in den vorhergehenden zwei Punkten schon die gemeinsame europäische Linie für das Design for Recycling im Rahmen der Sustainable Product Initiative beziehungsweise der Ökodesign-Richtlinie sowie ein mögliches EU-weit gemeinsames Vorgehen für einen effizienten und effektiven Vollzug der Gesetzgebungen. Ferner sind Recyclingstandards, die momentan sehr umfangreiche und detaillierte Vorgaben enthalten, zu vereinfachen und vereinheitlichen. Ebenso soll von dieser Seite aus auf eine Ausweisung des Recyclinganteils am Produkt und einer stärkeren Berücksichtigung bei Ausschreibungen der öffentlichen Hand hingewirkt werden, um Anreize für den Einsatz von Sekundärrohstoffen zu schaffen.

Gemeinsam mit Verwaltung und Politik sollten **Industrie und Wirtschaft** auf die Erweiterung und Förderung von Recyclingkapazitäten und -technologien in Deutschland und Europa drängen. Im globalen Vergleich bewegen wir uns auf hohem Niveau. Für eine weitere Erhöhung des Sekundärbeitrags braucht es jedoch einen Ausbau der Recyclinginfrastruktur. Hierfür müssen zusammen Rahmenbedingungen wie Planungssicherheit, Genehmigungsaufwand und gesellschaftliche Akzeptanz geschaffen werden, die die hohen Investitionen in Erweiterung oder Neubau von Recyclinganlagen in Deutschland und Europa ermöglichen und lohnenswert machen.

Als weiteren wichtigen Punkt zur Umsetzung durch die **Industrie und Wirtschaft** ist die Verminderung von Kupferverlusten an den Stahlkreislauf zu nennen. Dies muss in Kooperation von Kupfer- und Stahlindustrie angegangen werden. Um neue, verbesserte Lösungen für den Stahl- und Kupferkreislauf zu entwickeln, müssen alle Schritte der Wertschöpfungskette in den Blick genommen und das Problem so neu gedacht werden. Mögliche Ansatzpunkte wären besser trennbare Materialien durch innovatives Produktdesign oder der Einsatz neuer Technologien im Sortier- und Trennprozess.

Im Bereich von **Wissenschaft und Forschung** braucht es Investitionen in die Forschung und Entwicklung der Anpassung, Weiterentwicklung und Neuentwicklung von Sortier- und Trenntechnologien für Kupfer. Dabei sind die Sinnhaftigkeit von mehr Sortiertiefe für Kupfer durch eine ganzheitliche Bewertung ebenso zu prüfen wie die Potenziale einer Kostenreduktion der neuen Aufbereitungstechnologien. Allgemein braucht es unbedingt eine größere Aufmerksamkeit der Recyclingthemen in Forschung und vor allem in der Lehre an deutschen Hochschulen. Die Ausbildung in den Bereichen Metallurgie, Verfahrens- und Prozesstechnik ist in den letzten Jahrzehnten deutlich zurückgegangen, was ein Problem für die Recyclingindustrie darstellt.

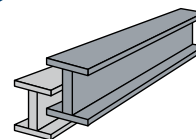
2.5 Steckbrief – Technologiemetalle

Technologiemetalle

Unterarbeitskreis-Leitung (Autoren¹):

Dr. Markus Zumdick (H.C. Starck Tungsten GmbH)

Prof. Dr. Christoph Helbig (Universität Bayreuth)



UAK-Übersicht



44 Beteiligte



32 % Einzelunternehmen
30 % Wissenschaft
12 % Behörde
20 % Verbände
8 % Zivilgesellschaft



Anzahl **Barrieren**

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

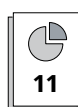


Anzahl **Lösungsvorschläge**

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100



Themenbereiche der identifizierten Handlungsoptionen



#1 Export und Vollzug

#2 Rücknahmemöglichkeiten

#3 Recyclingkapazitäten

#4 Hersteller- bzw. Produktverantwortung

#5 Separations- und Recycling-Anforderungen

#6 Forschung & Entwicklung

#7 Klassifikationen

#8 Überprüfung Gesetzesvorgaben und Normen

#9 Industriepolitik

#10 Konkurrenzfähigkeit

#11 Stoffverbote

¹ Unter Mitarbeit von Dr. Asja Mrotzek-Blöß (Technische Universität Clausthal), Dr. Martin Tauber (International Magnesium Association, CRM Alliance), Frank Neumann (Initiative Zink in WVMetalle Service GmbH)

Tab. 6: Überblick Stoffstrom Technologiemetalle (Referenzrahmen Deutschland 2021)

Stoffströme	Menge [t]	Quelle
UAK Technologiemetalle (Referenzjahr 2021)		
Magnesium		
Primärrohstoffe		
Bergbauproduktion ¹	0	(BGR 2022)
Import (HS 810411; Rohform mit Mg ≥ 99,8 %) ^{2, 3}	24.000	(DESTATIS 2023)
Export (HS 810411; Rohform mit Mg ≥ 99,8 %) ^{2, 3}	1.350	(DESTATIS 2023)
Raffinadeproduktion ¹	Keine Angabe	
Recyclingrohstoffe		
Import (HS 810420; Abfälle und Schrott) ²	1.500	(DESTATIS 2023)
Export (HS 810420; Abfälle und Schrott) ²	2.760	(DESTATIS 2023)
Raffinadeproduktion ¹	Keine Angabe	
Zink		
Primärrohstoffe		
Bergbauproduktion ¹	0	(BGR 2022)
Import (HS 2608; Erze und Konzentrate) ²	353.000	(DESTATIS 2023)
Export (HS 2608; Erze und Konzentrate) ²	0	(DESTATIS 2023)
Raffinadeproduktion ¹	135.000	(ILZSG 2023)
Recyclingrohstoffe		
Import (HS 7902; Abfälle und Schrott) ²	7.690	(DESTATIS 2023)
Export (HS 7902; Abfälle und Schrott) ²	46.500	(DESTATIS 2023)
Raffinadeproduktion ¹	29.800	(ILZSG 2023)
Wolfram		
Primärrohstoffe		
Bergbauproduktion ¹	0	(BGR 2022)
Import (HS 2611; Erze und Konzentrate) ²	0	(DESTATIS 2023)
Export (HS 2611; Erze und Konzentrate) ²	609	(DESTATIS 2023)
Raffinadeproduktion ¹	Keine Angabe	
Recyclingrohstoffe		
Import (HS 810197; Abfälle und Schrott) ²	5.300	(DESTATIS 2023)
Export (HS 810197; Abfälle und Schrott) ²	7.260	(DESTATIS 2023)
Raffinadeproduktion ¹	Keine Angabe	

¹ Angaben in Tonnen Inhalt Metall

² Material mit nicht eindeutig definiertem Metallgehalt

³ HS Code unterscheidet nicht zwischen Rohform aus Primärquelle oder Recyclingrohstoff

2.5.1 Beschreibung relevanter Stoffströme, Wertschöpfungsketten und Anwendungskontexte

Stoffströme und Anwendungskontexte

Der Betrachtungsrahmen des UAK Technologiemetalle war zunächst unbestimmt, da die zu betrachtenden Technologiemetalle nicht vorab festgelegt worden sind und der Begriff „Technologiemetalle“ nicht eindeutig definiert ist. Die folgende Abbildung 15 zeigt die im Kick-off-Treffen von den Teilnehmenden benannten Technologiemetalle, die nach Auffassung der Teilnehmenden für eine weitere Diskussion im Rahmen der Dialogplattform von Interesse sein könnten.

In der nachfolgenden Barrierenumfrage (siehe auch Referenzgrafik Abbildung 16) wurden für verschiedene Metalle jedoch keine weiteren Rückmeldungen gegeben, sodass eine Fokussierung auf diejenigen Metalle angeregt wurde, zu denen in der Gruppe entsprechend Rückmeldungen erfolgten. Die Ergebnisse der Umfrage wurden zunächst wie folgt geclustert:

- Produktbezogene Rückmeldungen, das heißt, die Metalle können bestimmten Produktgruppen (Batterien, Elektro- und Elektronikgeräte, Fahrzeuge), die diese Metalle enthalten, zugeordnet werden.
- Metall- und produktbezogene Rückmeldungen enthalten zusätzlich zu den Produktgruppen-Zuordnungen auch Anmerkungen zum Recycling des Metalls an sich.
- Metalle, welche einen Bezug zu anderen UAKs aufweisen, wodurch es zu thematischen Überschneidungen kommen kann.

Auf Grundlage der Umfrage sowie der im UAK vertretenen Expertise wurden für die Impulsvorträge im anschließenden zweiten UAK-Treffen beispielhaft die Technologiemetalle Magnesium, Zink und Wolfram ausgewählt. Die Reaktionen der UAK-Teilnehmenden zeigten, dass viele der in den Vorträgen vorgestellten Beispiele auch auf andere Technologiemetalle angewendet werden können. Es wurde entschieden, die drei Metalle Mg, Zn und W daher für die weitere Arbeit im UAK und diesen Bericht als Beispiele beizubehalten, um die Ergebnisse und Vorschläge „greifbarer“ zu machen. Es soll-

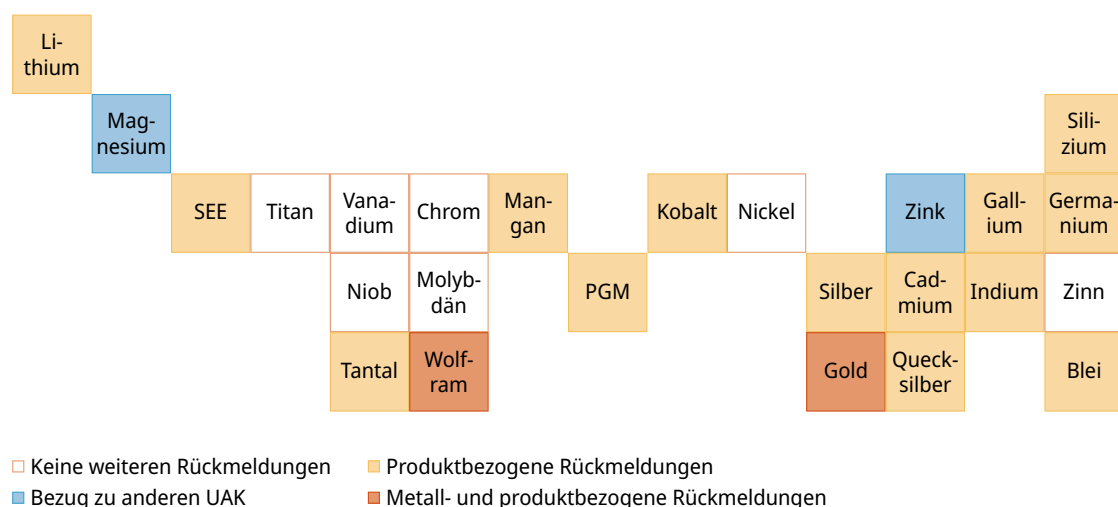


Abb. 15: Unter „Technologiemetalle“ genannte Metallauswahl. Die Einfärbung der Kacheln spiegelt wider, ob es bei der Barrierenumfrage keine, produktbezogene oder metall- und produktbezogene Rückmeldungen gab oder ob ein Bezug zu anderen UAKs gegeben ist (eigene Abbildung)

te angemerkt werden, dass Mg und W, wie viele andere der genannten Technologiemetalle, von der Europäischen Union als „Critical Raw Materials“ geführt werden.

Da die meisten Rückmeldungen einen Produktbezug aufwiesen und Regelungspolitik häufig die Produktebene adressiert, wurden in diesem Unterarbeitskreis somit auch die Schnittstellen zwischen Produkten, Metallen und Recycling in den Fokus genommen.

Fallbeispiel Magnesium

Magnesium wird überwiegend in Mg-(Druck-)Gusslegierungen (33 % weltweiter Marktanteil) und Al-Legierungen (35 % weltweiter Marktanteil) eingesetzt. Hauptanwendungsgebiete dieser Legierungen sind die Automobilindustrie, die Kommunikationstechnik, Verpackungen und die Bauindustrie. Des Weiteren wird Magnesium bei der thermischen Reduktion von Metallen (13 %), der Entschwefelung von Roheisen und Stahl (10 %) und der Gusseisenindustrie (5 %) eingesetzt. Magnesium ist ein kritischer Rohstoff nach Einstufung der Europäischen Union. Chinas Anteil am globalen (primären) Magnesium-Markt ist von 40 % im Jahr 2000 auf 82 % im Jahr 2021 gestiegen. In der Europäischen Union gibt es keine primäre Magnesiumproduktion, sodass die Europäische Union zu 100 % von Importen (rund 200.000 Tonnen pro Jahr) abhängig ist, bei einem Jahresbedarf von rund 190.000 Tonnen. Dies umfasst sämtliche Magnesiumprodukte (Reinmagnesium, Mg-Legierungen, Mg-Pulver sowie Mg-Endprodukte). Weitere Magnesium-Quellen stammen aus dem funktionalen Recycling (63.300 Tonnen) von Mg-EoL-Schrotten, Mg-Neuschrotten oder Al-Legierungen und dem Abbau von Mg-Lagerbeständen in der Europäischen Union (2.800 Tonnen) (TAUBER 2022).

Fallbeispiel Zink

Ungefähr 60 % des gesamten produzierten Zinks werden für den Korrosionsschutz von Stahl („Verzinken“) verwendet, welches das

wichtigste Metall für die Umsetzung von Infrastrukturprojekten ist. Weitere Anwendungsfelder sind die Anwendung von gewalztem Zink für Dach- und Fassadenanwendungen, der Zinkdruckguss, Messing und Bronze, weitere Zinklegierungen und -pulver für die Batterietechnik und Zinkverbindungen für Ernährung, Futtermittel, Pharmazie und Düngemittel. Das Ergebnis einer Fraunhofer ISI Studie im Auftrag der International Zinc Association (IZA) zeigt, dass die Gesamtmenge von Zink für die Herstellung von Erstgebrauchsgütern steigen wird. Danach wird ein Anstieg von 17,5 Millionen Tonnen (2019) auf 28 Millionen Tonnen (2050) erwartet. Circa 2,8 Millionen Tonnen Zink werden zukünftig pro Jahr global allein im Energiespeichermarkt erwartet. Aufgrund langer Lebensdauern von Zinkanwendungen (im Bausektor bis zu 100 Jahre) wird sich der In-use-Stock bis 2050 auf rund 490 Millionen Tonnen verdoppeln (NEUMANN 2022).

Fallbeispiel Wolfram

Wolfram hat eine breite Palette von Anwendungen. Als Wolframcarbid (WC) oder Mischwolframcarbid (Gemisch aus W₂C und WC) wird es beispielsweise im Bereich der Schneidwerkzeuge, der Bergbaubohrer, der Öl- und Gasexploration oder als Verschleißteil verwendet. Es wird auch in Stählen und Superlegierungen oder als Metall unter anderem in der Elektronikindustrie, der Medizintechnik oder in Beleuchtungskörpern verwendet. Wolframchemikalien werden zum Beispiel in Katalysatoren eingesetzt. Gemäß dem ITIA Newsletter 2018_05 (ZEILER et al. 2018) verteilt sich Wolfram, wie nachfolgend aufgeführt, auf die verschiedenen Anwendungsbereiche: Transport (Automobil, Luftfahrt etc.) 34 %; Bergbau und Bauwesen 21 %; industrielle Verwendung 11 %; Energiesektor 10 %; Verteidigung 8 %, übrige Anwendungen 14 %.

Im Jahr 2019 belief sich die Primärproduktion von Wolfram weltweit auf 83.800 Tonnen (USGS 2021). Der mit Abstand größte Wolframproduzent ist China. Mehr als 80 % des weltweit produzierten Wolframs wurden dort gewonnen.

Weitere wichtige Abbauländer waren Vietnam, Russland, Bolivien, Österreich, Ruanda, Nordkorea, Portugal, Spanien und die Mongolei. China verfügt mit fast 60 % auch über die größten bekannten Reserven weltweit. Aufgrund dieser Situation, die sich seit vielen Jahren kaum verändert hat, wurde Wolfram bereits 2010 von der Europäischen Union als einer der 14 kritischen Rohstoffe eingestuft (LIEDTKE & SCHMIDT 2014). Diese Einstufung besteht ununterbrochen bis heute fort.

Allgemeine Anmerkungen

Die Diskussionen im UAK Technologiemetalle zeigten, dass einige Aspekte der Wertschöpfungskette (vgl. Abbildung 16) vergleichbar für die meisten Technologiemetalle sind:

- Die Wertschöpfungskette ist international.

- Hohe Importabhängigkeit der Primärrohstoffe (a)
- Primär-Metallerzeugung überwiegend außerhalb von Deutschland (b)
- Export von Recyclingrohstoffen hat Auswirkungen auf die Verfügbarkeit.
- Kreisläufe für Produktionsabfälle und anforderungsgerechte Schrotte funktionieren, in der Regel mit langjährigen Erfahrungen. Diese Kreisläufe sind optimiert.
- Recyclingrohstoffe aus gemischten Schrotten oder Verbundprodukten sind (noch) nicht für ein Recycling optimiert (g).
- Technologische Verbundprodukte (zum Beispiel Elektronik) und Produkte zur Umsetzung der Energiewende enthalten viele

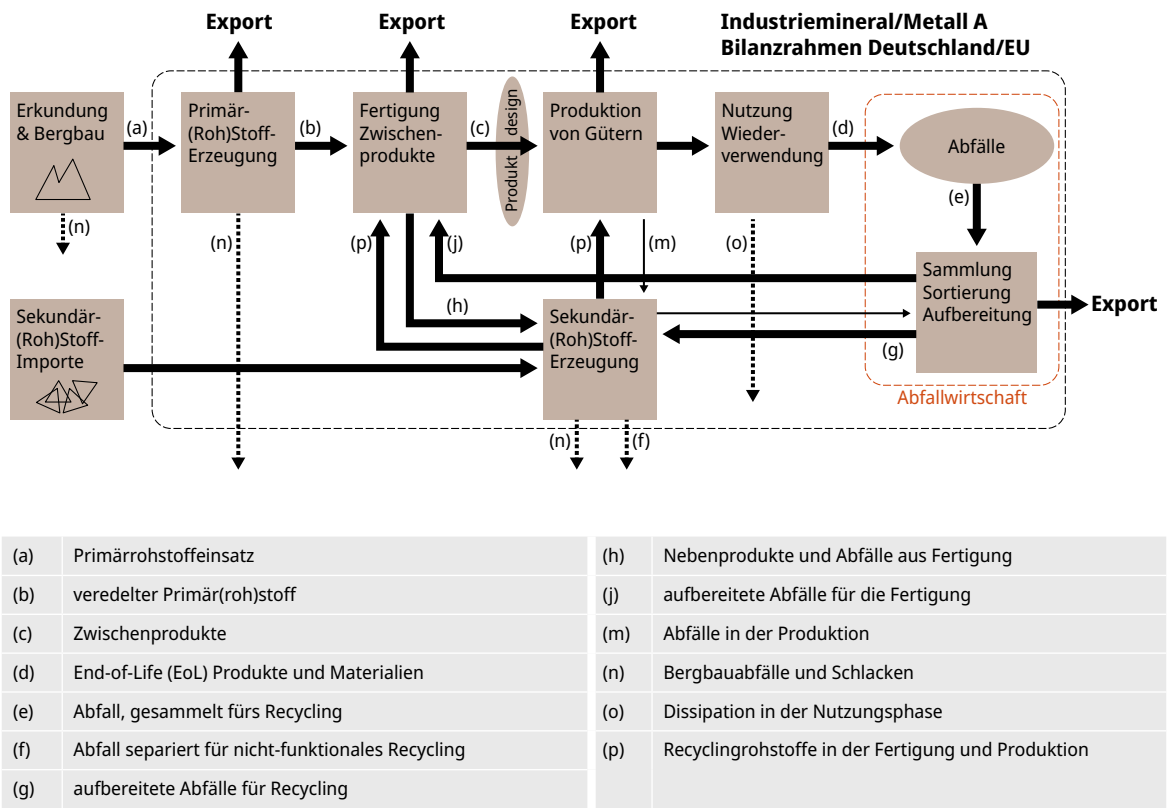


Abb. 16: Referenzgrafik Stoffstrom Technologiemetalle in Anlehnung an UNEP (2011)

unterschiedliche Technologiemetalle, teilweise in sehr geringen Anteilen (geringer ökonomischer Anreiz für das Recycling).

- Der Einsatz der Technologiemetalle ist entscheidend für die Funktionalität von Produkten (c).
- Die Koppelproduktion von Technologiemetallen deckelt das Angebot dieser Metalle (a), (b).
- Angewendete Recyclingtechnologien sind heute so optimiert, dass
 - ▶ aus Recyclingrohstoffen hergestellte Produkte die gleiche Qualität aufweisen wie Produkte, die aus Primärrohstoffen hergestellt werden.
 - ▶ Metalle ohne diesen Qualitätsverlust beliebig häufig recycelt werden können. Eine Zunahme an Verunreinigungen durch mehrmaliges Recycling kann bei Technologiemetallen nicht beobachtet werden.

Rolle des Recyclings im Bereich Technologiemetalle

Fallbeispiel Magnesium

Das funktionale Recycling von Magnesium deckt rund 30 % des Magnesiumbedarfs der EU, wobei über 80 % hiervon aus dem Recycling von Neuschrotten stammen. Fast 30.000 Tonnen gehen durch nicht-funktionales Recycling (Refining von EoL-Al-Legierungen, Schlacke aus der Entschwefelung) dem Magnesium-Markt verloren. 35.000 Tonnen werden deponiert (NELL et al. 2017). Künftige Potenziale liegen in einer besseren Trennung bei den legierten Metallen: Hierfür fehlt es an wirtschaftlich machbaren Lösungen im Bereich der Sortierung, die qualitativ anforderungsgerechte Schrottfractionen für ein funktionales Recycling zur Verfügung stellen können (TAUBER 2022).

Fallbeispiel Zink

Zink wird in vielen Anwendungen im Kreislauf geführt. Anwendungen in Düngemittel, Pharmazie, Kosmetik, Sonnenschutz, Futtermittel, Reifen erlauben kein direktes Recycling. Hier besteht jedoch ein natürlicher Kreislauf (Düngemittel, Nahrung, Klärwerk, Düngemittel ...). Die EoL-Recyclingrate von Zink betrug 2019 bei globaler Betrachtung 45 % (INITIATIVE ZINK 2023), für Europa ergibt sich nach Studie der KU Leuven eine EoL-Recyclingrate von 60 % (GREGOIR et al. 2022). Die EoL-Recyclingrate könnte bei erheblichen Verbesserungen beim Sammeln, Sortieren und einer Steigerung des Recyclings minderwertiger Industrieabfälle auf globaler Ebene auf 52 % bis im Jahr 2050 steigen. Potenziale liegen unter anderem in der Steigerung der Sammelraten von Zinkprodukten, insbesondere in Bezug auf Zinkdruckguss, einer verbesserten Sortierung und der Vermeidung von Mengenverlusten durch Export oder Deponierung niedrigkonzentrierte Stäube und Aschen (NEUMANN 2022).

Fallbeispiel Wolfram

Die Recyclingrate von Wolfram liegt über dem Richtwert von > 25 % (2016 waren es 35 %, davon circa drei Viertel EoL-Recycling (ZEILER et al. 2018), der laut einem UNEP-Bericht nur von einem Drittel der 60 untersuchten Metalle erreicht wird (UNEP 2011). In der Vergangenheit wurde eine Vielzahl von Wolfram-Recyclingtechnologien entwickelt, die heute weltweit für das industrielle Recycling eingesetzt werden, darunter das direkte Recycling, das chemische (indirekte) Recycling und die Schmelzmetallurgie.

Unter Nutzung dieser Methoden werden heute in Europa und Nordamerika Recyclingquoten erzielt, die weit über dem Durchschnitt liegen. Nicht selten werden > 50 % erreicht, einzelne Unternehmen liegen bei über 70 % Recyclingrohstoff in ihrer Produktion. Da auf dem Schrottmarkt die Unternehmen in der Europäischen Union und den USA zunehmend in Konkurrenz zu denen in China stehen, haben „closed loop“-

Prozesse, in denen Kundinnen und Kunden den Schmelzbetrieben ihre Schrotte oder zurückgenommene Produkte direkt zur Verfügung stellen, eine hohe Bedeutung.

Allgemeine Anmerkungen

Die Verwendung von Technologiemetallen in Produkten und Komponenten bedingt oftmals gemeinsame Erfassungs- und Behandlungsschritte, sodass das integrierte mehrstufige Recyclingverfahren mit Rückgewinnung verschiedener Metalle (Multi-Metall-Recycling) Anwendung findet. Die folgenden Anmerkungen stammen aus den Diskussionen der UAK-Mitglieder zum Multi-Metall-Recycling (HAGELÜKEN 2022) und sind relevant für die Verbesserung des Recyclings:

- Schwierige Zugänglichkeit von relevanten Komponenten oder Materialien in Produkten
- Thermodynamische Grenzen beim Recycling schwieriger Metallkombinationen oder geringer Metallanteile
- Die Recyclingrate von elektronischen Produkten ist aufgrund geringer Sammelraten von

Altgeräten gering. Da sich die Recyclingrate durch Multiplikation der Effizienzen entlang der Wertschöpfungskette ergibt, sorgt eine schlechte Rate am Anfang der Kette für eine erhebliche Erniedrigung der Gesamtquote. Auch wenn die Recycling-Prozesseffizienzen für einzelne Metalle hoch sind ergeben sich insgesamt niedrige Recyclingraten, welche durchaus über 50 % liegen können.

- Die Kreislaufführung bei Konsumgütern/-produkten ist zu optimieren.
- Bei sortenreinen Schrotten/Neuschrotten etc. wird bereits eine hohe Kreislaufführung erreicht.

2.5.2 Barrieren im Recycling

Im Folgenden sind die genannten Barrieren entlang der festgelegten Dimensionen aufgeführt. Die Barrieren wurden zudem auf (Technologie-) Metall-, Produkt(P)- oder Komponenten(K)-Ebene zugeordnet. Die nachfolgende Auflistung an Themen gibt einen Überblick über das Meinungsbild hinsichtlich relevanter Barrieren im Unterarbeitskreis.

Regulatorik

Stoffstrom	K/P	Barrieren
Altbatterien	P	Zerstörungsfreie Entnehmbarkeit von Komponenten aus Produkten ist nicht gesichert (zum Beispiel von Batterien aus Produkten beziehungsweise Zellen aus Akkupacks)
Altbatterien	P	Fehlende Kennzeichnungsvorgaben und Informationsdefizite über Wertstoffgehalte in Altprodukten, Elektroaltgeräte-Behandlungsfractionen, die insbesondere Sortierer und Recycler benötigen
Altbatterien	P	Wirtschaftlichkeit der Recyclingprozesse ist gefährdet durch Kostenvorteile in anderen Ländern, da auch weitere Kosten eingepreist werden (Emissionsschutz, Gewährleistung der Sicherheitsanforderungen für Sammel-, Sortier- und Recyclingprozesse, Umgang mit schadstoffhaltigen, gefährlichen Zwischenprodukten beziehungsweise Schadstoffen)
Altbatterien	P	Ein ökonomisches Level-Playing-Field existiert nicht, da Primärrohstoffpreise zu gering sind und teilweise die Marktpreise nicht alle Umweltkosten einpreisen

Regulatorik

Stoffstrom	K/P	Barriere
Altbatterien	P	Fehlende Verbote für „problematische“ Produkte und Werkstoffe (beispielsweise Blei ¹ , NiCd-Batterien)
Altbatterien	P	Downcycling ² ist gesetzlich möglich durch undifferenzierte Recycling-Definition (zum Beispiel Verwertung von Metallen in Schlacke)
Elektro-altgeräte	P	Für die Altgeräteerfassung (von zum Beispiel Elektroaltgeräten) gibt es weder eine Quotenverantwortung für die Sammelquote noch eine Finanzierungsbeteiligungspflicht der Gerätehersteller für die Erfassung
Nd-Magneten	K	Fehlende rechtliche Forderung zur Separation von Produkten, Komponenten und Materialien
Nd-Magneten	K	Eine Zwischenlagerung von Recyclingmaterial, bis ausreichend Recyclingkapazität verfügbar ist, wird erschwert aufgrund von Vorgaben der DepV
Katalysatoren	K	Für werthaltige Bestandteile kommt es zu illegalen Sammlungs- und Recyclingaktivitäten sowie Handel (beispielsweise Lieferkettenverantwortung: fehlende Herkunftstransparenz von Alt-Katalysatoren)
Leiterplatten	K	Für die Altgeräteerfassung (von zum Beispiel Elektroaltgeräten) gibt es weder eine Quotenverantwortung für die Sammelquote noch eine Finanzierungsbeteiligungspflicht der Gerätehersteller für die Erfassung
Technologie-metalle		Hohe Energiepreise sorgen in der Praxis dafür, dass Metallschrotte zur Wiederverwertung in ausländische Märkte fließen und teuer zurückgekauft werden müssen
Technologie-metalle		Verschiebeproblematik von Recyclingmaterial: Durch Vorgabe eines Recycled Content in bestimmten Produkten (beispielweise Batterien) reduziert sich die Verfügbarkeit von Recyclingmaterial für andere Anwendungsgebiete
Schrotte		Durch den Export von Metallschrotten verringert sich die Schrottverfügbarkeit, sofern keine bessere Kontrolle erfolgt, wohin die Exporte gehen und unter welchen Bedingungen beim Importeur recycelt wird
Technologie-metalle		Mögliche negative Beeinflussung durch die geplante EU-Verordnungen zur Wertschöpfungskette
Technologie-metalle		Die Einstufungsfrage als SVHC REACH und damit einhergehend die Einstufung als Störfallbetrieb für Batteriebrecher und Transporteinschränkungen (REACH, TRGS 505) sind hinderlich
Technologie-metalle		Starke regulatorische Einschränkungen behindern das Recycling: Dodd-Frank-Act; OECD-Richtlinie und EU-Verordnung zu Konfliktrohstoffen; Defense Federal Acquisition Regulation Supplement; Lieferkettensorgfaltsgesetz (hier insbesondere: keine Berücksichtigung von Industrieinitiativen, Schrotte sind im Scope)
Technologie-metalle		Bezüglich Recyclingrohstoffen (und Primärrohstoffen) steht Deutschland (und Europa) in Konkurrenz mit Asien und China

¹ Hinweis der Geschäftsstelle: Diese Aussage stellt eine „Debattenposition“ dar, das heißt, zum Thema „Stoff- und Produktverbote“ gibt es in der Dialogplattform unterschiedliche Standpunkte und Sichtweisen.

² Hinweis der Geschäftsstelle: zum Thema „Downcycling“ gibt es in der Dialogplattform unterschiedliche Standpunkte und Sichtweisen

Anreize und Förderung

Stoffstrom	K/P	Barriere
Altbatterien	P	Fachkräftemangel: Künftig ist mit einem besonders hohen Fachkräftemangel im Vergleich zu anderen (Wachstums-)Branchen zu rechnen, insbesondere für Repair und Ökodesign
Altbatterien	P	Bewusstsein: Konsumenten und Produzenten haben Vorurteile gegenüber Rezyklaten
Altbatterien	P	Technologieumsetzung und -weiterentwicklung: Neue und effiziente Recyclingtechnologien kommen zu langsam in die großtechnische Realisierung und Prozesse mit hoher Recyclingeffizienz und fortschrittlichen „Besten Verfügbaren Technologien“ werden zu langsam EU-weit verbreitet
Elektroaltgeräte	P	Finanzierungsverantwortung: Wirtschaftlichkeit vom Recycling hängt vom Recyclingtreiber (ökonomische Treiber) ab, bei dessen Abwesenheit (durch zum Beispiel Substitution) der gesamte Prozess nicht mehr tragfähig ist (= Finanzierungsverantwortung des Recyclings)
Abfälle aus dem Gesundheitswesen	P	Getrennterfassung/-haltung: Für kleinere Mengenströme fehlt eine Getrenntsammlung von Abfällen, zum Beispiel aus dem Gesundheitswesen: Einmalprodukte wie Scheren, Pinzetten und so weiter, Single-Use-Endoskope oder Elektrowerkzeuge, Explantate
Nd-Magneten	K	Separation: Die Separierung von Komponenten und Materialien (zum Beispiel Nd-Magneten) ist nicht wirtschaftlich und verhindert daher ein Recycling
Leiterplatten	K	Trennbarkeit: Für eine Separation von Komponenten (zum Beispiel einfache Leiterplatten; Fahrzeugelektronik) vor einer mechanischen Zerkleinerung ist der ökonomische Treiber oft nicht ausreichend
Technologiemetalle		Preisschwankungen: Schwankende Preise bei gleichbleibendem Qualitätsanspruch stellen für Recyclingrohstoffe von Technologiemetallen eine Herausforderung dar, weil im Gegensatz zur Primärrohstoffproduktion Recyclingrohstoffe bei geringen Preisen nicht auf dem Markt angeboten werden
Technologiemetalle		Exit-Strategie: Fehlende Strategie für Legacy-Materialien (zurückgehende, aber noch lange im Gebrauch befindliche Stoffströme/Produkte) als Quelle für neue Anwendungen

Infrastruktur und Logistik

Stoffstrom	K/P	Barriere
Technologiemetalle		Sammlung: Die Versorgungssicherheit mit Technologiemetallen ist beeinträchtigt, da Materialanfall häufig nur in kleinen Mengen und vergesellschaftet mit anderen Elementen (zudem sind die Vorräte häufig in China und daher auch von geostrategischer Bedeutung)

Daten & Digitalisierung

Stoffstrom	K/P	Barriere
Altbatterien	P	Es fehlt ein Monitoring und die Weitergabe von Informationen an die Akteure der Branche bei sicherheitsrelevanten Produkten zur Reduktion des regulatorischen Aufwands
Nd-Magneten	K	Fehlende Information über Vorkommen in Produkten und Komponenten (beispielsweise Nd-Magnete)
Leiterplatten	K	Fehlende Kennzeichnungsvorgaben und Informationsdefizite über Wertstoffgehalte in Altprodukten, Elektroaltgeräte-Behandlungsfractionen, die insbesondere Sortierer und Recycler benötigen (Anmerkung der UAK-Leitung: Ein digitaler Produktpass ist im Entwurf der neuen Ökodesign-VO vorgesehen)

Technologien und Prozesse

Stoffstrom	K/P	Barriere
übergreifend	P	Abfallaufkommen: Unsicherheiten über die Dynamik und das zukünftige (zeitversetzte) Aufkommen von Altprodukten und Abfällen erschweren Anpassung von Recyclingaktivitäten
Altbatterien	P	Produktionskapazitäten: Durch einen schnellen Aufbau von Produktionskapazitäten fallen kurzfristig verstärkt Produktionsabfälle an, welche zu einem (temporären) Kapazitätsmangel beim Recycling führen können
Leiterplatten	K	Trennbarkeit: Für eine Separation von Komponenten (zum Beispiel Leiterplatten; Fahrzeugelektronik) vor einer mechanischen Zerkleinerung ist der ökonomische Treiber oft nicht ausreichend
Leiterplatten	K	Dissipation: Nach mechanischer Zerkleinerung gibt es je nach Aufbereitung dissipative Verluste (zum Beispiel von Gold)
Nd-Magneten	K	Trennbarkeit: Recyclingprozesse wie die Verpackungssortierung und -behandlung sowie Schredderanlagen (und Ähnliches) sind nicht auf die Separation von (werthaltigen) Komponenten, wie beispielsweise Nd-Magneten, ausgerichtet
Gichtgas-schlämme aus der Stahlproduktion		Trennbarkeit: Es fehlt an entsprechenden Verfahren zur Extraktion von Materialien (zum Beispiel Zinkanteil aus Gichtgasschlamm), wodurch diese in der Regel deponiert werden
Technologie-metalle		Dissipation: Dissipative Verwendung von Technologiemetallen in Endprodukten, wie beispielsweise Germanium, führt zur Entropie-Problematik und zeigt die Grenzen des Recyclings aus EoL-Produkten auf
Aluminium-schrott		Trennbarkeit: Fehlende Trennungsmöglichkeit von Al, Mg und anderen Legierungselementen

2.5.3 Handlungsoptionen

Schwerpunktsetzung

Basierend auf den Rückmeldungen der Barrierenumfrage wurden mögliche Barrieren zunächst entlang der Wertschöpfungskette anhand von drei ausgewählten Metallen (Zink, Magnesium, Wolfram) und dem Anwendungsfall des Multi-Metall-Recyclings betrachtet.

In der Diskussion stellte sich heraus, dass nicht alle Barrieren „nur“ auf der reinen Metallebene betrachtet werden können. Viele Hemmnisse sind mit der Gestaltung von Produkten oder Werkstoffen verbunden oder betreffen den regulatorischen Rahmen.

Auf der Ebene der Regulatorik gibt es gerade im Abfallrecht eine produktbezogene Gesetzgebung (zum Beispiel EU-Elektroaltgeräte-Richtlinie, EU-Batterieverordnung) und keine Metallgesetzgebung. Dies sieht im Bereich der Rohstoffgewinnung allerdings anders aus, da hier die Rohstoffe direkt adressiert werden. Neben der Regulatorik finden sich auch produktbezogene Hemmnisse im Bereich der Infrastruktur/Logistik (zum Beispiel Erfassung und Sammlung von Elektrogeräten) oder Möbel (beispielsweise Metallbeschläge), Technologien/Prozesse (zum Beispiel Trennung von Verbundwerkstoffen) und Daten/Digitalisierung (zum Beispiel Produktpass). Daher ist es, für eine bessere Diskussionsgrundlage sinnvoll, die Barrieren in einem Mehrebenen-System zuzuordnen:

1. Produkt-/Komponenten/-Anwendungsebene,
2. Technologie-/Metallebene

Weitere Schwerpunkte bei der Entwicklung von Handlungsoptionen lagen zum Beispiel bei den folgenden Themen:

- (Recycling-)Rohstoffverfügbarkeit: Hier werden sowohl die Dimensionen der Infrastruktur/Logistik (Erfassung/Sammlung), der Technologien/Prozesse (Trennbarkeit,

Sortiermethoden) als auch der Regulatorik (Export, Anforderungen an die Sammlung etc.) und der Daten/Digitalisierung adressiert. Die Enabler sollten somit auch hinsichtlich der unterschiedlichen Teilfragestellungen diskutiert werden und weisen unterschiedliche Umsetzungspotenziale auf (reine Tatsachenfeststellungen, Empfehlungen, Aufzeigen von Forschungsbedarfen ...).

- Level-Playing-Field: Die Schaffung eines Level-Playing-Field betrifft ökonomische, ökologische, aber auch regulatorische Themengebiete: Anforderungen an Primär- und Recyclingrohstoffe, Aufwendungen für Umweltanforderungen, Preisschwankungen. Wichtig beim Level-Playing-Field ist, dass nicht in Deutschland Umwelt-, Sicherheitsanforderungen etc. heruntergesetzt werden, sondern in anderen Ländern ähnliche Vorkehrungen etabliert werden. Neue regulatorische Anforderungen zum Beispiel an Recyclingrohstoffe sollten bereits vorhandene Berichtspflichten berücksichtigen.
- Konkurrenzsituation insbesondere zu den asiatischen Ländern auf dem Schrottmarkt. Zusammenwirken zwischen Recycling, Sortierung und Produktgestaltung: Die metallurgischen Recyclingprozesse stehen am Ende der Wertschöpfungskette und „müssen“ mit den Stoffströmen arbeiten, die den Recyclern angedient werden. Anforderungen des Recyclings werden bei der Produktgestaltung, aber auch bei der Sammlung (zum Beispiel sortenreine Erfassung oder Sammelgruppen bei Elektroaltgeräten) nicht ausreichend/zielführend berücksichtigt. In der Sortierung gibt es noch Optimierungsbedarf.

Überblick der Enabler

#1	Export mit Auflagen versehen/Stärkung des Vollzugs
#2	Verbesserung beziehungsweise Anpassung der Rücknahmemöglichkeiten
#3	Ausbau (inländischer) Recyclingkapazitäten
#4	Ausweitung der Hersteller- beziehungsweise Produktverantwortung
#5	Rechtlich verbindliche Separations- und Recycling-Anforderungen
#6	Forschung und Entwicklung fördern/ fachlichen Austausch fördern
#7	Erweiterung beziehungsweise Anpassung von Klassifikationen
#8	Überprüfung existierender Gesetzesvorgaben/aktive Einbindung der Industrie bei Gesetzesvorgaben und Normen
#9	Aktive Industriepolitik etablieren
#10	Konkurrenzfähigkeit von Recyclingrohstoffen verbessern
#11	Stoffverbote prüfen

Enabler #1

Export mit Auflagen versehen/Stärkung des Vollzugs

Deutschland und Europa stehen bezüglich der Recycling- und Primärrohstoffe sowie der Altgeräte und Schrotte in Konkurrenz mit Unternehmen in außereuropäischen Ländern, insbesondere mit asiatischen Ländern wie China. Durch den Export von Metallschrotten verringert sich die Schrottverfügbarkeit in Deutschland und Europa, sofern es keine bessere Kontrolle gibt, wohin die Exporte gehen und unter welchen Bedingungen im außereuropäischen Ausland recycelt wird. Bisher wird die europäische Verordnung über die Verbringung von Abfällen nur unzureichend durch Behörden durchgesetzt. Die Stärkung dieses Vollzuges und eine optimierte Exportkontrolle verbessern die Verfügbarkeit von Recyclingrohstoffen und stellen damit einen wichtigen Enabler dar, denn ohne dass man der

Schrotte habhaft wird, kann kein auch noch so effizienter Recyclingprozess durchlaufen werden.

- Verbindliche Vorgaben für Schrottexporte in der neuen EU-Abfallverbringungs-VO, unter anderem Exportmöglichkeit nur dann, wenn ähnliche Umwelt- und Sozialstandards in den Empfangsländern außerhalb der EU existieren.
- Eine Verteuerung des Exports (Zölle) von Altgeräten und Schrotten, welche die in diesem Bericht behandelten Technologiemetalle enthalten, kann diese unattraktiv machen und die Sekundärrohstoffverfügbarkeit in Europa verbessern.
- Kontrollfunktion des Zolls stärken.
- Verbesserung des Vollzugs gegen Akteure, die zum Beispiel unrechtmäßig Autokatalysatoren aus Fahrzeugen ausbauen und den Umfang der illegalen Aktivitäten insgesamt reduzieren.

Enabler #2

Verbesserung beziehungsweise Anpassung der Rücknahmemöglichkeiten

Fehlende gesetzliche Sammelvorgaben für Abfälle bedingen eine geringe Sammelmenge. Die statistisch erfasste Sammelmenge wird weiter reduziert durch illegale Sammlungs- und Recyclingaktivitäten sowie Handel von und mit werthaltigen Bestandteilen. Rückgabemöglichkeiten (aus Produktnutzersicht) niederschwellig und lohnend zu gestalten, ist dabei genauso wichtig wie Rücknahmesysteme (aus Produktherstellersicht) stoffstromspezifisch und verpflichtend auszugestalten. Beides zusammen ist ein ebenso wichtiger Enabler, um die verfügbare Schrottmenge und deren Qualität zu erhöhen.

- **Niederschwellige Erfassungssysteme** für die Bürgerinnen und Bürger über den Wertstoffhof hinaus schaffen. Rückgabebonus für Verbraucherinnen und Verbraucher.

- **Steigerung der Rezyklat-Qualitäten** durch Erfassung/Sortierung reinerer Schrotte und (legierungsspezifische) Sortierung. Funktion der Wertstoffhöfe und vergleichbarer Rücknahmestellen mit dem Ziel einer besseren Vortrennung ändern.
- Rücknahmeverpflichtung für Hersteller, gegebenenfalls begleitet durch ein Pfandsystem.
- Anspruch auf kostenlose Rücknahme von Altfahrzeugen könnte entfallen, wenn wichtige Fahrzeugteile wie der Katalysator fehlen.

Enabler #3

Ausbau (inländischer) Recyclingkapazitäten

Die Wirtschaftlichkeit von Recyclingprozessen in Deutschland und Europa ist insbesondere im Vergleich zu außereuropäischen Ländern gefährdet. Neben den Kosten für den Recyclingprozess an sich entstehen zum Beispiel durch Auflagen des Emissionsschutzes, Gewährleistung der Sicherheitsanforderungen für Sammel-, Sortier- und Recyclingprozesse, Umgang mit schadstoffhaltigen und gefährlichen Zwischenprodukten beziehungsweise Schadstoffen zusätzliche Kosten. Diese können nicht immer an die Kundinnen und Kunden weitergegeben werden. Bei einigen Produkten (zum Beispiel Altbatterien) gibt es zusätzlich Unsicherheiten über das zukünftige Aufkommen von Altprodukten und Abfällen, welche die Anpassung von Recyclingaktivitäten erschweren. Dies führt insgesamt zu knappen oder stoffstromspezifisch sogar zu nicht ausreichenden Recyclingkapazitäten. Eine Unterstützung des Ausbaus der Kapazitäten durch bessere Wirtschaftlichkeit oder der Überprüfung von Auflagen kann diese Engpässe als Enabler adressieren.

- Förderung eines **Auf- und Ausbaus von Recyclinginfrastrukturen/-kapazitäten und Rohstoffmärkten** für Technologiemetalle innerhalb von Europa und Deutschland.
- Ausbau der inländischen Recyclingtechnologien, sodass (sorten-)reine hochwertige

Metallschrotte produziert werden können, die im Inland die Nachfrage nach Qualitätsrohstoffen decken. Dies sollte forciert werden durch die Einführung von anspruchsvollen (materialspezifischen) qualitativen Recyclinganforderungen zur Erweiterung der bisherigen rein quantitativen Recyclingquoten. Auch die Formulierung von Rezyklatstandards ist hierfür hilfreich.

- Der Ausbau inländischer Recyclingtechnologien kann nicht nur als technische Frage behandelt werden, sondern sollte dringend auch als eine reine wirtschaftliche Frage betrachtet werden: Für den Einsatz der Recyclingtechnologien bedarf es auch der entsprechenden Wirtschaftsakteure, um die Anlagen betreiben zu können. Zudem besteht noch vor dem Ausbau von Recyclingtechnologien die Notwendigkeit, die Sammelkategorien bei Rücknahmestellen (zum Beispiel auf Wertstoffhöfen) neu zu denken.

Enabler #4

Ausweitung der Hersteller- bzw.

Produktverantwortung

Für die Altgeräteerfassung (von zum Beispiel Elektroaltgeräten) gibt es bisher weder eine Quotenverantwortung für die Sammelquote noch eine Finanzierungsbeteiligungspflicht der Gerätehersteller für die Erfassung. Zudem ist bisher für eine Separation von Komponenten vor einer mechanischen Zerkleinerung (zum Beispiel einfache Leiterplatten; Fahrzeugelektronik) der ökonomische Treiber oft nicht ausreichend, beziehungsweise die zerstörungsfreie Entnehmbarkeit von Komponenten aus Produkten nicht gesichert. An dieser Stelle Hersteller in die Verantwortung zu nehmen, stellt einen Enabler für eine erhöhte Schrottverfügbarkeit und eine höhere Qualität der Recyclingrohstoffe dar. (Siehe hierzu ebenfalls (SANDER et al. 2019b)).

- **Erweiterte Regelungen zur Produktverantwortung** in das ElektroG (ELEKTROG 2015) integrieren und dabei finanzielle Anreizmodelle zur kommunalen Elektroaltgerätesammlung voranbringen.

- Herstellerverantwortung, rechtzeitig Recyclingverfahren zu entwickeln und großtechnisch umzusetzen.
- Stärkung der finanziellen Herstellerverantwortung, siehe Art. 8a Abs. 4 AbfRRL.
- **Recyclingquoten** und Förderung des Ausbaus der Recyclingkapazitäten.
- Rechtliche **Separations- und Recyclingvorgaben** ergänzt um **Rezyklateinsatz-Anforderungen**.

Enabler #5

Rechtlich verbindliche Separations- und Recyclinganforderungen

Eine zerstörungsfreie Entnehmbarkeit von Komponenten aus Produkten ist bisher nicht gesichert. Für kleinere Mengenströme fehlt außerdem eine Getrenntsammlung von Abfällen, zum Beispiel für Einmalprodukte aus dem Gesundheitswesen: Einmalprodukte wie Scheren, Pinzetten und so weiter, Single-Use-Endoskope oder Elektrowerkzeuge. Eine ganze Gruppe von Enablern lässt sich hinsichtlich der Verpflichtung zur Einhaltung von Recyclingquoten (zielt auf Abfälle) und Rezyklateinsatzquoten (zielt auf Rohstoffe) sowie Separationsverpflichtung formulieren. Diese zielen alle darauf ab, auftretende Schrottmengen tatsächlich zu recyceln, in hochwertige Rezyklate umzuwandeln und dann auch in Produkten aus Recyclingrohstoffen zu verwenden.

- Einführung/Ausbau von **materialspezifischen Recyclinganforderungen (Push-Instrument)**, ergänzt um passende **Rezyklateinsatzquoten (Pull-Instrument)**, welche die Nachfrage nach Rezyklaten steigern und damit gegebenenfalls auch die Preise, sowie konkrete und vollziehbare „Design for Recycling“-Anforderungen, um langfristig eine wirtschaftlichere Zerlegung und Recycling zu ermöglichen.
- **Für Nd-Magneten aus Elektrogeräten:** Möglich wäre eine Behandlungsanforderung für Elektroaltgeräte in der EAG-BehandV (EAG-BEHANDV 2021) oder in der WEEE-Richtlinie: Separation SE-haltiger Magneten mindestens aus Linearmotoren von Festplatten und aus Motoren von Pedelecs als separater Stoffstrom und Zuführung zu einem Verwertungsverfahren.

Enabler #6

Forschung und Entwicklung fördern/fachlichen Austausch fördern

Als Barriere für Recycling wurde die bisherige Datenverfügbarkeit identifiziert. So gibt es bisher keine Kennzeichnungsvorgaben und dadurch Informationsdefizite über Wertstoffgehalte beziehungsweise Komponenten in Altprodukten und Elektroaltgeräte-Behandlungsfractionen. Insbesondere Sortierer und Recycler benötigen diese Informationen. Ohne diese Informationen kommen neue und effiziente Recyclingtechnologien zu langsam in die großtechnische Realisierung und Prozesse mit hoher Recyclingeffizienz (Beste Verfügbare Technologie) werden zu langsam EU-weit verbreitet. Die Förderung des fachlichen Austausches sowie der Forschung und Entwicklung stellt daher einen Enabler dar, um aus den vorhandenen gesammelten Schrotten möglichst viele und möglichst hochqualitative Recyclingrohstoffe zurückzugewinnen. Ein Forschungs- und Entwicklungspfad betrifft verbesserte Trennungsmöglichkeiten von Legierungselementen. Derzeit sind Recyclingprozesse wie die Verpackungssortierung und -behandlung sowie Schredderanlagen, noch nicht auf die Separation von werthaltigen Komponenten, wie beispielsweise Nd-Magneten, ausgerichtet. Es fehlt zudem an entsprechenden Verfahren zur Extraktion mancher Materialien (zum Beispiel Zinkanteil aus Gichtgasschlamm), wodurch diese in der Regel deponiert werden. Dies ermöglicht dann außerdem dissipative Verluste nach einer mechanischen Zerkleinerung (zum Beispiel von Gold) oder durch dissipative Verwendung von Technologiemetallen in Endprodukten, wie beispielsweise Germanium, auf das thermodynamisch minimal mögliche Maß zu reduzieren.

- **Bessere und höhere Förderung** zu neuen und effizienten Recyclingtechnologien im Vergleich zu Projekten, bei denen es um Technologien für die Verarbeitung von Primärrohstoffen geht, **vor allem dort, wo ein Verbrauchsvorteil zu erwarten ist**. Eine konzertierte Förderung von Technologie-Entwicklungen durch Industrie und Wissenschaft, durch Schaffung weiterer Kompetenzzentren mittels mittel- bis langfristiger Finanzierung durch Wirtschaft und öffentliche Hand.
- **Förderung von F&E-Projekten zur besseren Trennung und Sortierung von Schrotten**, dadurch auch eine Vermeidung des Downcyclings. Nutzung **legierungsspezifischer Detektions- und Sortierverfahren** zur Gewinnung reiner Legierungen, die dann möglichst definiert so recycelt werden in Anwendungen, die genau die enthaltenen Legierungselemente benötigen. Nutzung und Entwicklung von **verbesserten thermodynamischen Prozessen** zur Kondensation von Metallen aus Legierungen oder Ausbau der Kapazitäten. Für die Ausleitung von Blei aus Zinklegierungen existiert in Europa aktuell lediglich eine Anlage.
- **Förderung von Pilotprojekten** und deren **Skalierung** bis zur großtechnischen Umsetzung.
- **Gemeinsame Projekte** von Al-Recyclern, Maschinenherstellern, Mg-Abnehmern, um Magnesiumverlust in folgenden Produktfraktionen sowohl für die Weiterverarbeitung in Aluminium als auch in der Magnesiumindustrie zu minimieren.
- **Bündelungsworkshops und Kooperationen zum fachlichen Austausch** zwischen Behandlern, Recyclern und Herstellern, zum Beispiel durch Weiterführung einer Dialogplattform mit spezifischen Beispielen.

Enabler #7

Erweiterung beziehungsweise Anpassung von Klassifikationen

Wann immer es fehlende gesetzliche Sammelvorgaben gibt, bewirkt dies auch eine geringe Sammelmenge. Voraussetzung für Sammelvorgaben sind jedoch wirksame und handhabbare Klassifikationen. Die Erweiterung und Anpassung bestehender Klassifikationen bei Abfallschlüsseln und Schrottsorten sind ein Enabler für die verbesserte statistische Erfassung, die wiederum Datenbasis ist für die Verbesserung von Technologien und eine zielgenaue Regulatorik.

- **Erweiterung der Abfallschlüsselnummer 1600xx für Lithiumbatterien**, um die statistische Transparenz zu erhöhen.
- **Sammelkategorien auf Recycling anpassen**, um Datenerfassung und -verfügbarkeit zu verbessern, auch wenn es zu Logistikproblemen führt.
- **Zusätzliche Sammelkategorie** für Elektroaltgeräte/für Produkte mit höheren Gehalten an Technologiemetallen etablieren.

Enabler #8

Überprüfung existierender Gesetzesvorgaben/aktive Einbindung der Industrie bei Gesetzesvorgaben und Normen

Derzeit gibt es starke regulatorische Einschränkungen, die das Recycling erschweren können, wie zum Beispiel Dodd-Frank-Act, OECD-Richtlinie und EU-Verordnung zu Konfliktrohstoffen, Defense Federal Acquisition Regulation Supplement (DFARS), Lieferkettensorgfaltsgesetz (LkSG) und die Datenvernichtungsnorm. Industrieinitiativen sollten eine stärkere Berücksichtigung erfahren. Auf EU-Ebene ist außerdem geplant, die Sorgfaltspflicht für die Lieferkette auf die gesamte Wertschöpfungskette, und damit auch auf Abfallströme, zu erweitern. Die Einstufungsfrage als Substance of Very High Concern in REACH und damit einhergehend die Einstufung als Störfallbetrieb für Batteriebrecher und Transporteinschränkungen (REACH, TRGS 505) sind ebenfalls derzeit hinderlich für das Recycling. Hier kann

die aktive Einbindung der Industrie bei Gesetzesvorhaben und Normen einen Enabler darstellen, um ungewünschte Nebeneffekte auf die Verfügbarkeit und Qualität von Recyclingrohstoffen auszuschließen oder zumindest zu minimieren. Diese Einbindung bietet auch die Möglichkeit der anwendungsspezifisch differenzierten Definition des Recyclingbegriffs, da bisher durch eine undifferenzierte Recyclingdefinition auch Phänomene des Downcyclings gesetzlich möglich und derzeit nicht bewertet werden.

- Die Datenvernichtungsnorm DIN 66399 sollte überarbeitet werden, um die Rückgewinnung kritischer Rohstoffe wie Neodym aus Festplatten zu ermöglichen.
- Schrotte aus dem Scope des LkSG und der geplanten EU-Verordnung zur Wertschöpfungskette nehmen beziehungsweise auf „kritische“ Schrotte einschränken.
- Eine bessere und breitere Einbeziehung der Industrie in künftige Gesetzesvorhaben.
- Regulatorische Schlupflöcher schließen, welche Abfallverwertung als Recycling deklarieren lassen. Stetige Prüfung der Regulatorien mit einer höheren Dynamik sowie Re-Kategorisierung von Abfallströmen zu Recyclingrohstoffen.

Enabler #9

Aktive Industriepolitik etablieren

Deutschland und Europa stehen bezüglich der Recycling- und Primärrohstoffe in Konkurrenz mit Unternehmen in außereuropäischen Ländern, insbesondere mit asiatischen Ländern wie China. Durch den Export von Metallschrotten verringert sich die Schrottverfügbarkeit in Deutschland und Europa. Derzeit wird eine Zwischenlagerung von Recyclingmaterial, zum Beispiel bis ausreichend Recyclingkapazität verfügbar ist, aufgrund von Vorgaben der Deponieverordnung erschwert (eine Lagerdauer von > 1 Jahr ist unter Umständen genehmigungsbedürftig). Weiterhin fehlen rechtliche Forderungen zur Separation von Produkten, Komponenten und Materialien.

Hier stellt eine aktive nationale und europäische Industriepolitik mit dem Ziel der Sicherung der Versorgung und Qualität von Recyclingrohstoffen und dem Schließen von Stoffkreisläufen zur Verminderung schädlicher Umweltauswirkungen insgesamt einen Enabler dar.

- Aktive Industriepolitik, um **Kapazitäten** für zukünftige/erwartbare Recyclingrohstofftypen **rechtzeitig aufzubauen**.
- **Industriepolitik flankierend etablieren**, um Ansiedlung und Etablierung der Industrien zu ermöglichen.
- Den heimischen Markt (DE/EU) durch eine aktive Industriepolitik zu Rohstoffen gestalten – zur **Unterstützung der verarbeitenden Industrie**.

Enabler #10

Konkurrenzfähigkeit von Recyclingrohstoffen verbessern

Derzeit besteht für Recyclingrohstoffe kein ökonomisches Level-Playing-Field, da Primärrohstoffpreise insgesamt zu niedrig sind und die Marktpreise nicht alle Umweltkosten einpreisen.

Eine zerstörungsfreie Entnehmbarkeit von Komponenten aus Produkten ist ebenfalls nicht gesichert. Zudem gibt es fehlende Kennzeichnungsvorgaben und Informationsdefizite über Wertstoffgehalte beziehungsweise Komponenten in Altprodukten, Elektroaltgeräte-Behandlungsfractionen, die insbesondere Sortierer und Recycler benötigen. Die Schaffung von fairen, die Umweltkosten einpreisenden, globalen Wettbewerbsbedingungen für Recycling- und Primärrohstoffe stellt daher einen Enabler dar, zu dem auch das Schaffen von Transparenz, Datenaustausch, Anreizsystemen und wirksamer Regulatorik gehören.

- **Recycling wirtschaftlicher machen:** Demontage kann durch Design for Recycling und **Kennzeichnung/Demontageinformation/Produktpass** erleichtert werden. Die Entsorgungslogistik kann durch Bündelung mit

anderen, ähnlichen Abfallströmen effizienter werden. Die Einführung/Optimierung von Recycling-Warenwirtschaftssystemen im Betrieb.

- **Anreize durch die öffentliche Hand**, die eine **Präferenz für Recycling-** und Primärrohstoffe entwickeln sollte, die innerhalb der Europäischen Union produziert und auch aus EU-internen Quellen und Quellen aus zertifiziert verantwortungsvoller/nachhaltiger Gewinnung und Verarbeitung stammen.
- **Erleichterungen für Recyclingrohstoffe durch ökonomische Instrumente** einführen, anstatt neue Belastungen für Primärrohstoffe. Beispiele: verringerter Steuersatz bis zum Ende der Recyclingkette/Preisvorteile für innerhalb der Europäischen Union produzierte Recyclingrohstoffe.
- **Einführen eines Vorrangprinzips**, sodass Primärrohstoffe nur dann einzusetzen sind, wenn tatsächlich keine Recyclingrohstoffe mehr auf dem Markt sind.

Enabler #11

Stoffverbote prüfen

Es existieren derzeit verschiedene Verbote, wie zum Beispiel in RoHS und REACH Annex, die auf Gesundheits- und Umweltschutz oder Produktsicherheit abzielen, die jedoch für das Recycling direkt (über Einsatzverbote für Rezyklate) oder indirekt (durch angepasste Verfahrenstechnik und Marktbedingungen) Hindernisse darstellen. Gleichzeitig erscheinen aus Sicht des Schutzes mineralischer Ressourcen bestimmte Anwendungen mit geringer Wertigkeit und schlechter Recyclingfähigkeit verbotswürdig. Es stellt daher einen Enabler dar, sowohl existierende als auch mögliche neue Stoffverbote regelmäßig insbesondere unter Berücksichtigungen ihrer Auswirkungen auf Recyclingrohstoffe zu überprüfen.

- Zur Vermeidung von Doppelregulierungen: Angleich der Bleiverbote in RoHS und Altfahrzeugverordnung mit neuen Vorgaben wie zum Beispiel der neuen EU-Batterieverordnung.

- **Verbot/Substitution von Technologiemetallen in Einwegverpackungen**, auf deren Separierung die Techniken zur Sortierung und Verwertung von Verpackungsabfällen nicht ausgerichtet werden können.

2.5.4 Machbarkeit und Zielkonflikte

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Machbarkeitsdiskussion dargestellt, in welcher die erarbeiteten Lösungsansätze unter den Aspekten rechtliche, informatorische/organisatorische, technische, ökologische und sozio-ökologische Machbarkeit betrachtet und diskutiert wurden. Die unten dargelegten Punkte stellen somit die verschiedenen Sichtweisen der Teilnehmenden dar. Zielkonflikte, bei denen zwei oder mehrere der oben genannten Aspekte im Widerspruch zueinanderstehen, wurden (sofern vorhanden) herausgearbeitet und separat aufgeführt.

Enabler #1

Export mit Auflagen versehen/Stärkung des Vollzugs

✓ *Machbarkeit*

Die Umsetzung des Enablers ist vor allem im Hinblick auf das Zusammenspiel mit der Europäischen Union zu sehen. Einige Teilnehmende des UAK sind der Auffassung, dass die EU-Regularien bereits heute ausreichend sind, andere sehen erheblichen Verbesserungsbedarf, insbesondere in Anhang 6 der Elektro- und Elektronikaltgeräte-Richtlinie. Besonders kritisch wird die Machbarkeit des Enablers im sozio-ökonomischen Bereich gesehen. Eine Einschränkung des Exports kann mit ökonomischen Nachteilen vor allem für Behandlungsanlagen einhergehen, wenn durch Wettbewerbsbeschränkungen schlechtere Preise erzielt werden. Hier ist es wichtig, zwischen behandelten und unbehandelten Schrotten zu unterscheiden, um eine optimale Wertschöpfung sicherzustellen.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- **Nationaler Einfluss auf EU-Gesetzgebung:** Die rechtliche Machbarkeit ist auf EU-Ebene im Rahmen der Abfallverbringungsverordnung (VVA) vorzunehmen. Der Bund (BMWK) müsste sich einsetzen in der Abstimmung, um ein Level-Playing-Field, das heißt, die Europäische Union stellt sich dem Wettbewerb, aber zu gleichen Umwelt- und Sozialstandards („equivalent conditions“). Zudem müsste der Vollzug intern in Deutschland verbessert werden: Aufstockung des Personals und der technischen Ausrüstung, um illegalen Export zu verhindern. Neben Personal braucht es besonders die technische Weiterentwicklung, um das Tracing und Tracking zu verbessern.
- **Konkurrierende Gesetzgebung:** Exportauflagen müssen mit EU-Recht, WTO-Regeln, Freihandelsabkommen und Basel-Konvention in Einklang gebracht werden. Laut WTO sind Abfälle auch Waren, das heißt, Handelseinschränkungen dürfen nur aus ökologischen Gründen ermöglicht werden. Eine Verankerung wäre in der Produktgesetzgebung möglich, zum Beispiel ist in Anhang 6 der EAG-Richtlinie festgeschrieben, ob es Abfall oder Produkt ist. Das vereinfacht es für Zöllner anhand einer Liste. Es ist jedoch zu vermeiden, dass eine bessere Überwachung durch die Behörden mit einer zunehmenden Bürokratie einhergeht.
- **Technologiemetall-Gehalt ist unklar:** Technologiemetall-Gehalt bei Altprodukten ist oftmals unklar, daher wäre auch die konkrete Deklaration von Exportauflagen potenziell lückenhaft. Gegebenenfalls könnte der Exporteur die Analysen übernehmen und angeben, was mit Material passiert. In der Verbringung über die Verbringung von Abfällen (VVA) ist geplant, dass Nicht-OECD Länder sich bei der Europäischen Union bewerben, um Abfälle zu bekommen. Europa ist Spitzenreiter beim Recycling von Technologiemetallen und es gibt außerhalb der Europäischen Union kaum oder keine Äquivalente. Daher müssen Technologiemetalle in der Europäischen Union gehalten werden. Folglich müsste jede Anlage im Ausland den Nachweis des ordnungsgemäßen Recyclings und Audits erbringen.
- **Eine Überbelastung der Industrie ist zu vermeiden,** um das Recycling nicht zu schwächen. Es muss ein Kompromiss darüber gefunden werden, wo das Recycling den größten Nutzen stiftet und wer welche Rolle übernimmt, um die Industrie nicht zu stark zu belasten.
- **Unzureichende Statistik:** Die heute praktizierte statistische Erfassung von Reststoffen und Schrotten im Metallbereich lässt keinen Rückschluss auf die tatsächlichen Recyclingrohstoffe und Wege zu. Auf der Basis wird eine ökonomische Bewertung zur Errichtung einer Anlage für Recyclingunternehmen gehemmt. Eine grobe Abschätzung wäre möglich, da nicht immer 100 % der Daten benötigt werden. Projekte zur Steigerung der Datenverfügbarkeit, wie die KartAL-Projekte des Umweltbundesamtes, sind notwendig. Umfangreiche Statistiken einzelner Institutionen könnten mehr Informationen bieten, wären diese miteinander verknüpft, zum Beispiel registriert das Kraftfahrtbundesamt Löschungen, aber ist nicht verbunden mit den Autoverwertern.
- **Wirtschaftlichkeit:** Unterscheidung zwischen Betriebswirtschaftlichkeit und Volkswirtschaftlichkeit. Volkswirtschaftliche Vorteile entstehen, wenn die Technologiemetalle in Europa behalten werden (CO₂-Bilanz und Versorgungssicherheit). Die Lücke zwischen volkswirtschaftlicher und betriebswirtschaftlicher Wirtschaftlichkeit muss geschlossen werden, zum Beispiel über CO₂Zertifikate.
- **Unnötige Hindernisse für europäische Wertschöpfung vermeiden:** Bei einem Beibehalt der bisherigen Regelungen (oder sogar Erleichterungen) innerhalb der Europäischen Union und einer Verschärfung der

Regeln mit dem außereuropäischen Ausland halten sich die organisatorischen Hürden in Grenzen. Bei einer generellen Verschärfung der grenzüberschreitenden Transportregeln wird die Machbarkeit als schwierig angesehen, da damit unnötige Hindernisse einer europäischen Wertschöpfung geschaffen werden. Eine Unterscheidung von intra-EU und extra-EU Stoffströmen sollte vorgenommen werden, sodass innerhalb der Europäischen Union die Auflagen gering sind und es Erleichterungen („fast track“ und „pre-authorized facilities“) gibt.

- Verlagerung des Recyclings ins Inland verbunden mit Hürden: Eine Verlagerung des Recyclings aus dem Ausland nach Deutschland erfordert immense Investitionen und unternehmerisches Interesse. Diese Verlagerung bietet einerseits Potenzial für Innovationen im Bereich des Recyclings, wird jedoch durch die Verfügbarkeit von Fachkräften gehemmt. Die ökonomischen Zusammenhänge des aktuellen deutschen Strommarktes machen zudem ein Recycling von energieintensiven Stoffen unwirtschaftlich. Wesentlich sind die Energie-Preise in der EU! Die Wirtschaftlichkeit ist Voraussetzung zur Aufrechterhaltung und Investitionssicherheit für Recycling.

⊗ Zielkonflikte

- Beeinträchtigung der Marktposition der Behandlungsanlagen: Wenn der Export von Metallschrotten eingeschränkt wird, führt die Wettbewerbsbeschränkung zu schlechteren Verkaufspreisen im Schutzgebiet. Das beeinträchtigt die Marktposition der Behandlungsanlagen. Auch hier muss wieder unterschieden werden, da ein gesteigerter Aufwand auch immer mit ökonomischen Nachteilen einhergehen wird. Exportauflagen führen unter Umständen zu ökonomischer Schlechterstellung einzelner Stakeholder, die dafür Entschädigung oder Nachteilsausgleich erwarten.
- Beispiel: Mit Zöllen auf Schrotten wird der Preis reduziert und somit das innereuropäische Recycling unwirtschaftlicher. Eine

Unterscheidung zwischen unbehandelten und behandelten Stoffströmen, zum Beispiel bei Altfahrzeugen, ist anzuwenden.

Enabler #2

Verbesserung beziehungsweise Anpassung der Rücknahmemöglichkeiten

✓ Machbarkeit

Zur Umsetzung des Enablers muss aus Sicht einiger Teilnehmenden noch geklärt werden, auf welchem Weg die Schrotte von Verbraucherinnen und Verbrauchern zum Recycler kommen. Hier ist die Hürde für die Verbrauchenden sehr niedrig anzusetzen. Zudem benötigt es eine zusätzliche, in der Regel finanzielle Motivation der Endverbraucherin/des Endverbrauchers. So werden bei einigen Metallen teilweise bis zu 50 % des Restwertes erzielt. Über „Pfandsysteme“ oder ähnliche Rücknahmesysteme ist zu diskutieren. Rücknahme- oder Sammelquoten sollten mit Augenmaß ermittelt und vorgegeben werden. So werden die im Bereich Elektroschrott angestrebten 65 % nicht erreicht – nach Überzeugung des UAK aufgrund mangelnder Anreize.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Festlegung und Ahndung schwierig: Die Definition von Sammelmengen ist schwierig, da die Bezugsgrößen (verkaufte Mengen und Nutzungsdauer) festgelegt werden müssen, damit die Quoten auch erfüllbar sind. Die Ahndung auf Verbraucherebene bei Nichtbeachtung ist ungeklärt.
- „Rückgabebonus“ oder „Pfandsystem“: Es wäre ein Weg für Altgeräte, ein „Rückgabebonus“ oder „Pfandsystem“ einzuführen. Wenn sich die Rückgabe von Geräten wirtschaftlich für Verbraucherinnen und Verbraucher lohnt, werden sie aktiv. Im Bereich der Metalle wird das bereits seit Jahrzehnten praktiziert – Schrotte und Reststoffe haben einen lukrativen Restwert und werden selbstständig an den Altmetallhandel geliefert (ganz ohne rechtliche Vorgaben). Ein Pfandsystem ist

nicht immer sinnvoll, aber für einige Produkte sind Pfandsysteme vorteilhaft, zum Beispiel für Handys.

- Vollzug fehlt: Organisiert und informiert wird, allerdings fehlt es am Vollzug.
- Metalle zusammenhalten, zum Beispiel Batteriemetalle: Eine pauschale Aussage zur „Erfassung/Sortierung reinerer Schrotte und (legierungsspezifische) Sortierung“ ist schwierig, da es auch außerhalb legierungsspezifischer Gründe sinnvoll sein kann, bestimmte Metalle zusammen zu halten. Speziell das Beispiel der Batteriemetalle Nickel, Kobalt und Mangan unterstreicht das.
- Handel muss mit der Lieferkette die Rücknahme organisieren: Zustimmung, dass Rückgabe und Zuführung in den Recyclingprozess für die Verbraucherinnen und Verbraucher so einfach und unkompliziert wie möglich und kostenfrei sein muss. Die Rücknahme sollte in jedem Fachgeschäft (zum Beispiel Elektrohandel oder Autohaus) problemlos möglich sein, alles Weitere muss dann der Handel mit seiner Lieferkette organisieren.
- Die Kosten für ordnungsgemäßes Verhalten übersteigen die Umweltmotivation.
- Es hat den Anschein, dass unsere Gesellschaft zu bequem ist, ihre zum Beispiel alten Elektrogeräte zu einem Wertstoffhof zu bringen (unpassende Öffnungszeiten, lange Wartezeiten etc.). Die Mülltonne oder auch die Wertstofftonne ist für viele der bequemere Weg.

✗ Zielkonflikte

- Nutzungsdauer versus frühe Rückgabe: Vorgaben zur schnellen und einfachen Rückgabe sollen nicht dazu führen, dass Produkte kürzer als ökologisch sinnvoll genutzt werden.
- Rückgabesysteme versus Kosten: Aufwendige Rückgabesysteme sind zwar praktisch, erzeugen aber Kosten, die ebenfalls getragen werden müssen.

Enabler #3

Ausbau (inländischer) Recyclingkapazitäten

✔ Machbarkeit

Der Ausbau der inländischen Recyclingkapazität ist vor allem aus geostrategischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten sinnvoll, um die Verfügbarkeit günstiger Rohstoffquellen zu sichern, da die ausländischen Wettbewerber (gerade in China) staatlich gefördert werden. Beim Ausbau des inländischen Recyclings dürfen aber chemikalienrechtliche, arbeitsschutz- und verbraucherschutzrechtliche Schutzvorschriften auf keinen Fall ausgehöhlt werden, indem auf die regulatorischen Vorgaben (REACH, Immissionsschutz etc.) verzichtet wird. Durch solche Schutzvorschriften entstehende Mehrkosten sollten stattdessen durch staatliche Zuschüsse ausgeglichen werden.

Außerdem muss die Akzeptanz von Recyclingwerkstoffen verbessert werden. So könnte auch durch Standards die Wahrnehmung gestärkt werden, dass Recycling- und Primärrohstoffe gleichwertig sind.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Kompensation der Mehrkosten: Der Ausbau der inländischen Recyclingkapazität ist vor allem aus geostrategischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten sinnvoll, um die Verfügbarkeit günstiger Rohstoffquellen zu sichern, da die ausländischen Wettbewerber gegebenenfalls subventioniert werden. Beim Ausbau des inländischen Recyclings dürfen aber chemikalienrechtliche, arbeitsschutz- und verbraucherschutzrechtliche Schutzvorschriften auf keinen Fall ausgehöhlt werden, indem auf die regulatorischen Vorgaben (REACH, Immissionsschutz etc.) verzichtet wird. Durch solche Schutzvorschriften entstehende Mehrkosten sollten stattdessen durch staatliche Zuschüsse ausgeglichen werden, nicht aber durch ein Absenken der Standards (Level-Playing-Field). Über Investitionshilfen des Staates im Sinne von Investitionszuschüssen, zum Beispiel über zinsgünstige Kredite

nach Prüfung oder vorgelagerte Recyclinggebühr, die vom Staat eingesammelt und für den Ausbau der Recyclinginfrastruktur verwendet wird.

- Geringe Flexibilität nach Genehmigung: Genehmigungen beziehen sich auf einen festgelegten Bereich von AVVs. Für begründete Änderungen oder Ergänzungen existiert wenig Flexibilität.
- Bürgschaften/Versicherungen erschweren die Akzeptanz und Motivation der Unternehmensleitung: Die Absicherung der entsprechenden Lagerflächen durch Bürgschaften/Versicherungen erschwert die Akzeptanz und Motivation der Unternehmensleitung zum Engagement, selbst wenn man sich einer öffentlichen Anhörung stellen würde.
- Regulatorisch sehr hoher Aufwand: Das Beispiel Bleibatterie verdeutlicht den regulatorischen Wahnsinn der aktuellen rechtlichen Einstufungen. Dies ist weder nachvollziehbar noch förderlich beim Ausbau von Recyclingquoten. Aktuell hat Blei noch die höchste Recyclingquote aller NE-Metalle. Hier kann man sich anschauen, wie Kreislaufwirtschaft im Metallrecycling auf Prozessebene funktionieren kann.
- Wirtschaftsakteure fehlen: Aufgrund des wirtschaftlichen Umfeldes (Energiekosten, Personalknappheit) fehlen die Wirtschaftsakteure beziehungsweise die Motivation ist gering, ein solches Unternehmen zu betreiben. Entlang der Prozesskette ist zu unterscheiden, welche Qualifikationen des Personals notwendig sind. Am Anfang der Kette braucht es Personen, die sich ausbilden lassen (wollen).
- Europäische Zusammenarbeit: national gegebenenfalls zu kleine Recyclingmengen, um wirtschaftlich arbeiten zu können. Zumindest sollte europäische Zusammenarbeit gleich bewertet werden.
- Förderung notwendig: Recycling in Deutschland kann aufgrund von hohen Energie- und

Personalkosten teurer sein als im Ausland, was gegebenenfalls durch Fördermaßnahmen ausgeglichen werden sollte.

- Wirtschaftliches Umfeld schlecht: Aufgrund des wirtschaftlichen Umfeldes (Energiekosten, Fachkräftemangel) gibt es keine Start-up-Mentalität in der jüngeren Generation.
- Immissionsschutz: Recyclinganlagen verursachen Immissionen. Immissionsschutz muss mit Augenmaß gewährleistet werden.

⊗ Zielkonflikte

- Konsequenzen des Ausbaus müssen akzeptiert werden: Recycling wird in der Breite der Gesellschaft befürwortet, jedoch steht dem oft die Devise NIMBY (not in my backyard) oder BANANA (Built Absolutely Nothing Anywhere Near Anyone) entgegen. Der Ausbau inländischer Recyclingkapazität kommt mit Konsequenzen wie beispielsweise einer anderen Form von Deponiebelastung, optischer Störungen durch Produktionsgebäude oder zusätzlichen Bedarfs an Lagerflächen einher.

Enabler #4

Ausweitung der Hersteller- bzw. Produktverantwortung

✔ Machbarkeit

Die Machbarkeit des Enablers wird von den Teilnehmenden des UAK durchweg positiv gesehen. Ein Zielkonflikt betrifft insbesondere die Hersteller von Produkten, welche durch die erweiterte Produktverantwortung (EPR) einen höheren, auch finanziellen Aufwand erwarten und daher entsprechend Widerstand leisten (werden). Es muss berücksichtigt werden, dass die EPR im europäischen oder besser globalen Kontext gesehen werden muss.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Nationale Einflussmöglichkeiten auf EU-Gesetze: Dies betrifft im Wesentlichen europäische Regelungen.
- Hoher Aufwand für Hersteller: Die angesprochenen Punkte verlangen von den Herstellern einen deutlich höheren Aufwand, der, obwohl sehr sinnvoll, mit ziemlicher Sicherheit auf deren Widerstand treffen wird.
- Eine Regelung müsste über die Europäische Union hinausgehen, um die großen OEMs zu adressieren und zum Umdenken zu bringen. Die erweiterte Produktverantwortung (EPR) fängt bereits beim Design an. Eine Trendumkehr in der Gesetzgebung ist zu bemerken, da neue Ökodesign-VO und neue Verpackungsverordnung die Hersteller bereits stärker verpflichten sollen. Die derzeitige EPR funktioniert nicht ausreichend, da Hersteller für das Recycling aufkommen müssen und bei weniger gesammelter Menge auch weniger Kosten haben.
- Definitionen ausstehend: Begrifflichkeiten müssen auch juristisch noch ausgearbeitet und geklärt werden, bevor konkrete Quoten oder Pflichten festgesetzt werden können.
- Hoher Aufwand der Wirtschaft: Die geforderten Maßnahmen sind zwar für sich genommen sinnvoll, verlangen aber von der Wirtschaft einen deutlich höheren Aufwand. Es wird bezweifelt, ob hierzu die Bereitschaft vorhanden ist.
- Überwachung problematisch: Verantwortlichkeit der Überwachung unklar, ob SE-Magnete aus Festplatten ausgebaut werden.
- Design for Recycling: Es braucht eine Incentivierung im „Design for Recycling“, aktuell ist an vielen Stellen sinnvolles Recycling gerade von zwar wertmäßig interessanten Elementen, die aber volumenmäßig eher zweitrangig sind, nicht möglich.

⊗ Zielkonflikte

- Langlebigkeit metallischer Produkte versus Produktverantwortung: Ein zu starkes Vertrauen auf die Wirkung der EPR-Maßnahmen kann ins Leere laufen, wenn die Produktnutzungsdauer sehr lang ist und der ursprüngliche Hersteller als Unternehmen nicht mehr existiert oder der Hersteller keine bessere Alternative zu Recycling-Unternehmen darstellt.

Enabler #5

Rechtlich verbindliche Separations- und Recyclinganforderungen

✓ Machbarkeit

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Nationale Einflussmöglichkeit auf EU-Gesetze: Auch hier gilt, dass dies im Wesentlichen in die Kompetenz der Europäischen Union fällt und von daher eine Realisierung kritisch gesehen werden muss.
- Ökologisches Optimum berücksichtigen: Für alle Recyclingsysteme existiert ein theoretisches ökologisches Optimum (unter 100 %) des Recyclings aufgrund steigenden Energiebedarfs und Sortier- und Trennaufwandes. Vorgaben dürfen nicht darüber hinaus gehen.

- Wert der Stoffe muss erhöht werden: Teure Separationsauflagen sorgen dafür, dass mehr Abfälle unser Land verlassen. Das kann nicht der Weg sein, sondern der Wert der separierten Stoffe muss erhöht werden: durch Rezyklateinsatzquoten, staatliche Zuschüsse aus Prämien für die Risikovorsorge oder den Aufbau von Lagern, die aus Recyclingrohstoffen gefüllt werden.
- Kostenzunahme: Recyclingvorgaben werden Kosten nach oben treiben, was erwartbaren Widerstand verschiedener Stakeholder hervorrufen wird.
- Unnötige Pull-Instrumente: Verbindliche Rezyklateinsatzquoten (Pull-Instrumente) erhöhen die Nachfrage nach Technologiemetallen über die vom Markt ausgelöste Nachfrage hinaus. Zwar soll der hier vorgestellte Enabler auch beziehungsweise vor allem das Angebot an Recyclingrohstoffen erhöhen, es ist aber fraglich, ob es über die Marktnachfrage hinaus weiterer Pull-Instrumente bedarf.

⊗ Zielkonflikte

- Rezyklateinsatzquoten versus Abfallhierarchie: Einsatzquoten würden zu einer Unterwanderung der Abfallhierarchie durch Erfüllung von Recyclingquoten führen. Der Druck zum Einsatz von Rezyklaten könnte unnötig schnelles Recycling fördern (anstatt einer Wiederverwendung). Technologiemetalle sind ein wachsender Markt, daher müssten mehr Metalle recycelt werden, die aber nicht vorrätig sind. Im wachsenden Markt sind Rezyklateinsatzquoten nicht funktional. Eine Erhöhung der Nachfrage ist bei bestehender hoher Nachfrage nach Technologiemetallen unnötig. Eine bessere Steuerungswirkung könnte über EoL-Recyclingquoten erreicht werden.
- Lagerhaltung versus Preisvolatilität: Der Aufbau von strategischen Lagern ist wirtschaftlich schlecht darstellbar aufgrund der hohen Volatilität der Stoffe. Zudem müssen auf gelagerte Mengen Steuern gezahlt werden.

Das heißt, volle Lager am Jahresende wären nicht gewollt.

- Design for Recycling/Disassembly versus Ökodesign über den gesamten Lebenszyklus: „Design for Recycling“- oder „Design for Disassembly“-Ansätze sollen weder die Abfallhierarchie untergraben noch zu höheren Umweltauswirkungen über den gesamten Lebenszyklus führen.

Enabler #6

Forschung und Entwicklung fördern/fachlichen Austausch fördern

✓ Machbarkeit

Der Machbarkeit dieses Enablers steht im Moment die Idee des BMWK gegenüber, die die Grundlagenforschung vor Markteinführung reduzieren möchte. Gleichwohl sollte die Förderung stärker ergebnis- und anwendungsorientiert, inklusive einer genauen Analyse der ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Folgewirkungen einer Maßnahme und einer neuen Technologie, sein.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Implementation der Projektergebnisse forcieren: Staatliche Forschungsförderung sollte stärker ergebnis- und anwendungsorientiert gestaltet werden. Die Implementation der erfolgreichen Projektergebnisse sollte zudem verstärkt weitergefördert werden. Ein möglicher Vorschlag: die Projektträger könnten eine Sicherheit der Fördersumme einbehalten, bis der Erfolg des Projektziels nachgewiesen wird (Verifizierung/Falsifizierung).

⊗ Zielkonflikte

- Einsparungen versus Grundlagenforschung: Die finanzielle Förderung der Grundlagenforschung vor Markteinführung (zum Beispiel AIF) wird in Frage gestellt.

- Förderung vieler kleiner Vorhaben versus Großprojekte: Gezielter Technologieaufbau mit entsprechend hoher Förderung kann gegebenenfalls mehr bewirken als viele kleine geförderte Grundlagenforschungsprojekte.

Enabler #7

Erweiterung beziehungsweise Anpassung von Klassifikationen

Machbarkeit

Mit einer Detaillierung der Sammelschlüssel für Reststoffe, Rezyklate, sollte ebenfalls eine Detaillierung der Codes für Rohstoffe einhergehen. Vielfach werden Stoffe unter Sammelnummern geführt, welche keinen Rückschluss auf die tatsächlich eingesetzten Stoffmengen erlauben.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Detaillierung weiterer Rohstoff-Codes: Mit einer Detaillierung der Sammelschlüssel für Reststoffe und Rezyklate sollte ebenfalls eine Detaillierung der Codes für Rohstoffe einhergehen. Vielfach werden Stoffe unter Sammelnummern geführt, welche keinen Rückschluss auf die tatsächlich eingesetzten Stoffmengen erlauben. Eine Detaillierung der HS-Codes und Abfallschlüssel könnte über das BMUV oder BMWK eingespeist und an die Europäische Union weitergeben werden.

Zielkonflikte

- Aufwand für Detaillierung versus handhabbare Zollkontrollen: So sehr detailliertere Statistiken auch helfen würden, Stoffströme im Handel nachzuvollziehen, so müssen die Angaben gleichzeitig auch kontrollierbar durch die Systeme und das Personal des Zolls bleiben.

Enabler #8

Überprüfung existierender Gesetzesvorgaben/aktive Einbindung der Industrie bei Gesetzesvorgaben und Normen

Machbarkeit

Die Teilnehmenden des UAK sind sich einig, dass eine Aufrechterhaltung des derzeitigen Schutzniveaus für Arbeitnehmende, Umwelt und Verbraucherinnen und Verbraucher erhalten werden muss. Es ist jedoch zu beobachten, dass durch die aktuelle Gesetzgebung der verwaltungstechnische und organisatorische Aufwand für den Bezug von Recyclingrohstoffen dem für Primärrohstoffe gleichkommt und damit die Attraktivität eines Einsatzes von Recyclingrohstoffen negativ beeinträchtigt wird. Teilweise kommt es dabei zu einem Doppelaufwand, wenn bereits in der Lieferkette überwachte Rohstoffe ein zweites Mal kontrolliert werden müssen.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Nationale Einflussmöglichkeit auf EU-Gesetze: Die rechtliche Machbarkeit ist zwar grundsätzlich gegeben, aber auch hier gilt, dass ein Großteil auf EU-Ebene entschieden werden muss.

Zielkonflikte

- Level-Playing-Field schaffen versus Vorreiterrolle: Sinnvolle und wünschenswerte Regulierungen oder Standardisierungen können entweder als Vorreiter eingebracht werden, dann wird aber das Level-Playing-Field verlassen, oder es kann ein Level-Playing-Field angestrebt werden, was gegebenenfalls mehr Zeit zur Umsetzung benötigt.

Enabler #9

Aktive Industriepolitik etablieren

Machbarkeit

Eine aktive Industriepolitik muss unter geostrategischen Gesichtspunkten stattfinden, um ein Level-Playing-Field auf globaler Ebene sicherzu-

stellen. So sind heute zum Teil sogar auf EU-Ebene die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen nicht einheitlich, was zu einer Verzerrung des Wettbewerbs führt.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Energiemarkt führt zur De-Industrialisierung: Aufgrund der aktuellen Situation am Energiemarkt und der Diskussion zu Preisdeckelungen findet momentan eher eine De-Industrialisierung statt. Firmen reduzieren ihre Aktivitäten beziehungsweise es entsteht der Trend, industrielle Aktivitäten, wenn energieintensiv, nicht mehr in Deutschland zu platzieren. Es muss dabei die gesamte Wertschöpfung betrachtet werden, das heißt, auch die Primärproduktion muss in Deutschland und der Europäischen Union gehalten werden.

⊗ Zielkonflikte

- Wettbewerbsrecht versus Industrieförderung: Eine aktive Industriepolitik kann auch innerhalb des gemeinsamen Wirtschaftsraums zu Wettbewerbsverzerrungen führen, die vermieden oder ausgeglichen werden sollten.
- Subventionen versus öffentliche Haushalte: Wenn die aktive Industriepolitik mit Subventionen einzelner Sektoren oder Wirtschaftsaktivitäten einhergeht, müssen diese immer in den öffentlichen Haushalten gut begründet werden.

Enabler #10

Konkurrenzfähigkeit von Recyclingrohstoffen verbessern

✓ Machbarkeit

Derzeit geben die Preise am Markt Anreize für den Primärrohstoffabbau (orientieren sich am Bergbau). Dies kann durch eine faire Einpreisung, zum Beispiel des Carbon Footprints bei Rohstoffen, geändert werden. Ein weiterer Hebel sind Anreize zur bevorzugten Beschaffung

von Produkten aus Recyclingwerkstoffen oder gar ein verringerter Steuersatz bis zum Ende der Recyclingkette und Preisvorteile für innerhalb der Europäischen Union produzierte Recyclingrohstoffe. Diese müssen jedoch auch auf EU-Ebene durchgesetzt werden.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Nationale Einflussmöglichkeiten auf EU-Gesetzgebung: Auch die hier aufgeführten Vorschläge wenden sich zu einem großen Teil an die EU. So sind Anreize zur bevorzugten Beschaffung von Produkten aus Recyclingwerkstoffen oder gar ein verringerter Steuersatz bis zum Ende der Recyclingkette und Preisvorteile für innerhalb der Europäischen Union produzierte Recyclingrohstoffe nicht so einfach realisierbar.
- Preisgestaltung ändern: „low carb“-Metalle, welche wenig CO₂-Belastung durch Recycling verursachen, werden bei Zink beispielsweise für einen höheren Preis angeboten.
- Rezyklatanteil nicht dokumentiert: Aktuell existiert kein System, welches für ein Produkt nachweisen lässt, welcher Gehalt an Rezyklat eingebracht worden ist. Lösung wäre über einen (digitalen) Produktpass möglich. Der Aufbau eines Nachweissystems (im Baubereich über EPDs realisiert) wäre notwendig. Neben dem Produktpass könnten diese Informationen gegebenenfalls bilanziell gelöst werden (Bilanzierung von Recycling- und Primärproduktion).
- Ökologischer Vorteil von Recyclingrohstoffen durch Ökobilanz absichern: Bei der Nutzung von Recyclingrohstoffen sollte nicht verpasst werden, die Ökobilanz zu betrachten, um zu vermeiden, dass ein Recyclingrohstoff gegebenenfalls eine schlechtere Umweltbilanz aufweist als ein Primärrohstoff (immer betrachtet über die gesamte Lieferkette).

⊗ Zielkonflikte

- Bergbauunternehmen versus Recycler: Bergbauunternehmen könnten sich wettbewerbsrechtlich durch Maßnahmen zur Verbesserung der Marktsituation von Recyclingrohstoffen benachteiligt sehen.

Enabler #11

Stoffverbote prüfen

✓ Machbarkeit

Bezüglich dieses Enablers muss berücksichtigt werden, dass Stoffverbote, wie zum Beispiel beim Blei, zum Verschwinden geeigneter Recyclingrouten für Sammlermetalle führen können, was wiederum das Recycling anderer Metalle erschwert.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Nationale Einflussmöglichkeiten auf EU-Gesetze: Die aufgeführten Beispiele bedürften zwar mit Sicherheit der gesetzlichen Anpassung/Optimierung hinsichtlich eines vernünftigen Recyclings, aber dieses bedarf einer Aktion auf EU-Ebene, deren Erfolgswahrscheinlichkeit als sehr gering beurteilt wird.
- Verbote vermeiden: Verbote müssen immer gut begründet werden, gegebenenfalls sind mildere Mittel möglich.
- Anwendbarkeit auf Importprodukte: Die Durchsetzung bei Importprodukten dürfte schwierig werden, da Online-Lieferdienste (Amazon, Alibaba) alles in jeden Haushalt liefern.
- Aufwand der Identifikation: extremer Aufwand für die Identifizierung potenziell problematischer Inhaltsstoffe von Technologiemetallen in verschiedensten Produktgruppen.
- Vollzug muss sichergestellt werden.

- Ungewollter Einfluss auf andere Recyclingrouten: Stoffverbote können, Beispiel Blei, zum Verschwinden geeigneter Recyclingrouten für Sammlermetalle führen, was wiederum das Recycling anderer Metalle erschwert.

⊗ Zielkonflikte

- Umweltrecht versus Kreislaufwirtschaftsgesetz: Es mag aus Gesundheits- und Umweltschutzgründen erstrebenswert sein, gewisse Stoffe nicht weiter zu recyceln, aber für die Kreislaufwirtschaft sind alle Stoffe für das Recycling gewollt.

2.5.5 Nächste Schritte

Aus den Ergebnissen des UAK Technologiemetalle lässt sich als **kurzfristig umsetzbare Maßnahme** die weitere Förderung der Forschung und Entwicklung sowie der fachliche Austausch im Bereich der Recyclingrohstoffe identifizieren. Bündelungsworkshops und Kooperationen zum fachlichen Austausch, organisiert durch Institutionen wie die Deutsche Rohstoffagentur, sind geeignet, gemeinsame wie auch konkurrierende Interessen zu diskutieren und darauf aufbauende Maßnahmen einzuleiten. Die Förderung innovativer, effizienter Sortier-, Trenn- und Recyclingtechnologien durch EU, Bund, Länder und Stiftungen sollte intensiviert werden, mit einem besonderen Fokus auf die Förderung von Pilotprojekten und deren Skalierung bis zur großtechnischen Umsetzung. Dieser Forschungsbereich schließt zum Beispiel verbesserte Detektionsverfahren zur Unterscheidung von Legierungen und verbesserte thermodynamische Prozesse zur Separation von Metallen ein.

Einen **großen positiven Einfluss** verspricht sich der UAK Technologiemetalle davon, wenn es gelänge, den Abfluss wertstoffreicher Schrotte durch Exporte zu verringern, zum Beispiel durch Auflagen, Verteuerungen mithilfe von Zöllen oder durch eine Stärkung des Vollzugs bestehender Vorgaben. Hier sind insbesondere die Europäische Union und der Bund gefragt:

Durch Vorgaben für Schrottexporte in der EU-Abfallverbringungsverordnung, zum Beispiel über eine Exporterlaubnis nur in Länder mit vergleichbaren Umwelt- und Sozialstandards wie die EU, ließe sich ein Wertstoffverlust für die Europäische Union eindämmen. Der Zoll hat eine Kontrollfunktion und muss technisch und personell so ausgestattet sein, dass bestehende wie auch zukünftige Vorgaben zum Schrotthandel kontrolliert und eingehalten werden können.

Für die verschiedenen Akteure im Bereich Recyclingrohstoffe von Technologiemetallen ergeben sich unterschiedliche Empfehlungen für die nächsten Schritte.

Verwaltung und Politik müssen Recyclern und den Unternehmen, die Recyclingrohstoffe einsetzen, durch eine aktive Industriepolitik die Möglichkeiten geben, wieder oder weiterhin in Europa Recycling durchführen zu können. Das schließt den Abbau von Hemmnissen, den Vollzug bestehender Gesetze und die Förderung von Industrieprojekten mit ein.

Industrie und Wirtschaft, insbesondere Produkthersteller, müssen ein verstärktes Design for Recycling und Design for Disassembly umsetzen, auch unter Einsatz von digitalen Produktpässen und erweiterter Herstellerverantwortung. Wertstoffhöfe und andere Rücknahmestellen hingegen müssen eine einfache Abgabe von Altgeräten und Abfällen ermöglichen und gute Sortierung von Abfallströmen bestmöglich vorbereiten.

Wissenschaft und Forschung sollten stärker die Skalierung von Trenn- und Sortierverfahren

und umweltschonender Produktgestaltung in Forschungsprojekten gemeinsam mit den Unternehmen unterstützen.

Die **Zivilgesellschaft** kann die Verfügbarkeit von Recyclingrohstoffen und das Einhalten der Abfallhierarchie unterstützen, indem sie aktiv an der Etablierung einer Kreislaufwirtschaft teilnimmt, insbesondere durch ein individuelles Hinwirken auf lange Produktnutzungszeiträume, um den Rohstoffbedarf insgesamt zu senken und durch Sorgfalt bei der Produktrückgabe nach der Nutzungsphase.

2.6 Handlungsfelder für Metalle

Auf Ebene des AK Metalle haben sich aus den Diskussionen der einzelnen UAKs übergreifende Handlungsfelder ergeben, die nachfolgend vorgestellt werden. Außerdem wurden einige Themen sowohl innerhalb als auch zwischen den UAKs kontrovers diskutiert und werden unten stehend transparent dargelegt. Ein abschließendes Fazit zu den inhaltlichen Diskussionen auf AK-Ebene findet sich am Ende dieses Kapitels.

2.6.1 Übergreifende Handlungsfelder

Bei den folgenden übergreifenden Handlungsfeldern (siehe Abbildung 17) wurde angenommen, dass sie geeignet sind, nicht nur das Recycling der untersuchten Metalle zu fördern, sondern insgesamt das Recycling aller Metalle. Diese übergreifenden vier Handlungsfelder können wie folgt zusammengefasst werden:

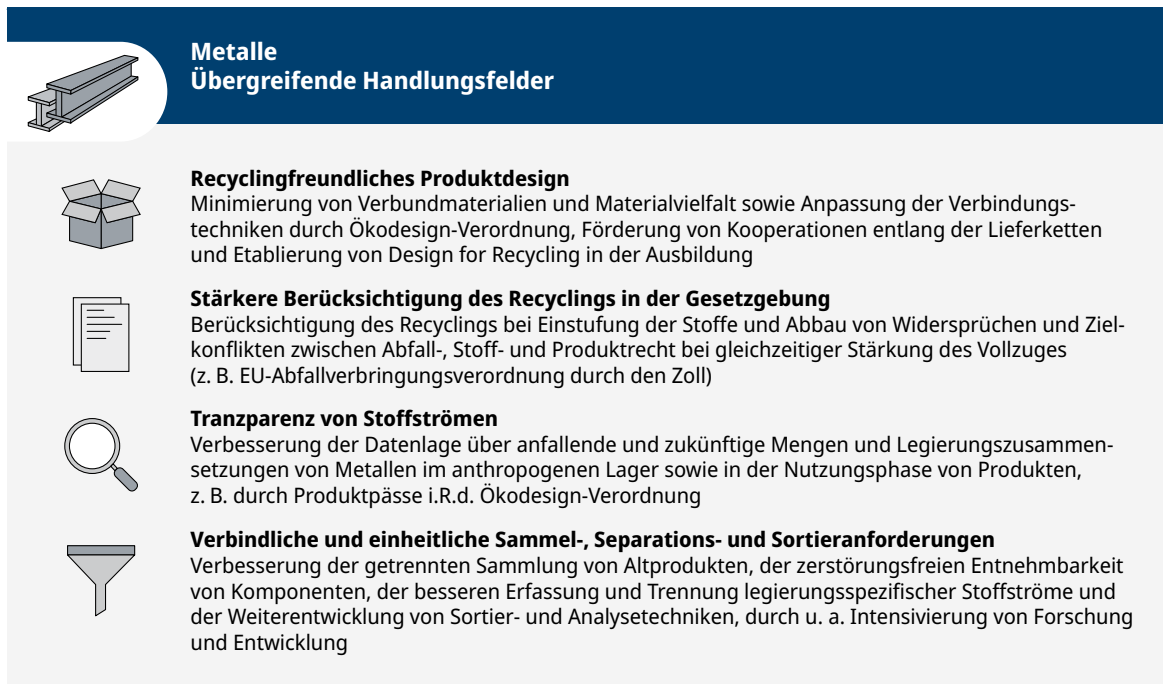


Abb. 17: Übergreifende Handlungsfelder für das Metallrecycling

2.6.2 Kontroverse Diskussionsthemen

Bei der Diskussion der übergreifenden Handlungsfelder haben sich einige Themen als kontrovers herausgestellt, das heißt, die Lösungsansätze wurden für einzelne Stoffströme als sinnvoll und für andere als wenig zielführend betrachtet oder innerhalb eines UAK sind die Sichtweisen (einzelner Akteure) auf das Thema unterschiedlich. Für die folgenden kontroversen Diskussionsthemen wurde kein übergreifender Konsens gefunden und damit sind diese Themen nicht in die Handlungsempfehlungen eingeflossen. Dies trifft für folgende Themen zu, die mit den verschiedenen Positionen nachfolgend aufgeführt sind, um einen transparenten Überblick über die verschiedenen Sichtweisen und Positionen zu geben:

1. **Metallschrottexporte:** Ursachen, Wirkungen und Lösungsansätze

Die Wertschöpfungsketten sind global, das heißt, der Handel mit Produkten als auch mit Schrotten erfolgt weltweit. Einerseits wird die Erhöhung der Schrottverfügbarkeit und Stär-

kung des Ausbaus der Recyclingwirtschaft in Deutschland durch Exportbeschränkungen als notwendig für unter anderem eine bessere Versorgungssicherheit mit Recyclingrohstoffen angesehen. Andererseits wäre im Sinne eines freien Handels sowohl der Import als auch Export von Schrotten zu ermöglichen zum Beispiel als natürliches Ventil für ein regionales Über- als auch Unterangebot an Schrotten. Grundsatz ist hierbei stets die Einhaltung europäischer Umwelt- und Gesundheitsstandards im Exportland.

Es bestanden unterschiedliche Wahrnehmungen bezüglich der Schrott- und Verarbeitungs-Verfügbarkeit. Zudem können das Angebot und die zur Verfügung stehenden Verarbeitungskapazitäten sind je nach Schrott-Spezifikation teils sehr unterschiedlich sein. Von einigen Teilnehmenden wurde von einem Schrott-Überangebot gesprochen. Andere Teilnehmende nahmen eine teils zu geringe Verfügbarkeit von Schrotten wahr, insbesondere vor dem Hintergrund der Festlegung fester Rezyklatanteile, die die Schrotnachfrage weiter nach oben treiben würde.

2. Stoff- und Produktverbote: Behinderung oder Förderung des Recyclings?

Auch hier gab es unterschiedliche Wahrnehmungen. Vor allem im europäischen Stoff- und Chemikalienrecht existieren derzeit verschiedene Stoffverbote, die auf verbesserten Gesundheits- und Umweltschutz, höhere Produktsicherheit oder die Ausschleusung von Schadstoffen aus Materialkreisläufen abzielen, die jedoch für das Recycling direkt (über Einsatzverbote für Rezyklate) oder indirekt (durch angepasste Verfahrenstechnik und Marktbedingungen) Hindernisse darstellen.

2.7 Fazit für das Recycling von Metallen

Metalle sind für einen innovativen deutschen Wirtschafts- und Industriestandort unverzichtbar. Der primäre Metallerzbergbau findet in Deutschland fast nicht mehr statt, somit sind derzeit die beiden Standbeine der Rohstoffversorgung der Import und das Metallrecycling.

Die Massenmetalle Eisen und Stahl, Kupfer sowie Aluminium enthalten trotz Nachfragesteigerungen bereits circa 50 % an Recyclingrohstoffen in der Produktion (Neu- und Altschrotte, Recycling Input Rate). Im Vergleich dazu haben jedoch die ausgewählten Technologiemetalle noch geringere Rezyklatanteile, etliche weitere Technologiemetalle sogar nur im einstelligen Prozentbereich oder sie werden noch gar nicht zurückgewonnen. Die Anteile an Recyclingrohstoffen in der Produktion und den Produkten können und müssen zweifelsohne noch weiter gesteigert werden.

Viele Metalle im Gebrauch haben bereits mehrere Recycling-Kreisläufe hinter sich, denn Metalle bergen (bis auf einige Legierungen) aufgrund ihrer Beschaffenheit das theoretische Potenzial einer nahezu vollständigen Schließung von Stoffkreisläufen ohne Qualitätsverlust. In der Realität werden die Grenzen des Recyclings durch ökonomische und ökologische Faktoren sowie reale Verluste in der Wertschöpfungskette (zum Beispiel bei Sammlung, Sortierung, Aufbereitung, Schmelzprozess) definiert. Weiter-

re Verluste können durch Dissipation oder Bindung in Schlacken, (Untertage-)Deponien und so weiter entstehen. Es ist also verstärkt dafür Sorge zu tragen, dass sämtliche Metalle, welche genutzt werden, nicht verloren gehen, dem Recycling zur Verfügung stehen und möglichst verlustarm in Kreisläufen genutzt werden.

Auch wenn ein stoffstromspezifischer Ansatz gewählt wurde, sind viele der identifizierten Barrieren und Handlungsfelder metallübergreifend genannt worden. Als übergreifende Handlungsfelder wurden identifiziert:

- recyclingfreundliches Produktdesign,
- Recycling in Gesetzgebung stärker berücksichtigen,
- Transparenz von Stoffströmen,
- verbindliche und einheitliche Sammel-, Separations- und Sortieranforderungen.

Für die Metallrecyclingwirtschaft in Deutschland und Europa werden Metallschrotte benötigt. Weltweite Wertschöpfungsketten in der Produktion führen auch zu weltweiten Wertschöpfungsketten in der Recyclingwirtschaft. Das Thema Schrottexporte ebenso wie das Thema Stoff- und Produktverbote wurde im Rahmen der Dialogplattform bis zum Schluss weiterhin kontrovers diskutiert.

Metallrecycling leistet einen bedeutenden Beitrag zum Klimaschutz, der im derzeitigen Klimaschutzgesetz noch nicht angemessen abgebildet wird. Die Energiewende benötigt im hohen und steigenden Maße Metalle, die langfristig verstärkt durch Recycling bereitgestellt werden. Dennoch kann Recycling den Metallbedarf nicht decken, daher sollten primäre und sekundäre Metallverarbeitung gemeinsam gedacht werden. Die nachhaltige Transformation der Wirtschaft erfordert also sowohl eine Energiewende als auch eine Rohstoffwende.

Eine Stärkung des Recyclingstandortes Deutschland und der damit einhergehenden Schaffung notwendiger Rahmenbedingungen, wie dem Erhalt und Ausbau der metallverarbeitenden Infrastruktur, kann mit Berücksichtigung der erarbeiteten Handlungsoptionen Rechnung getragen werden.

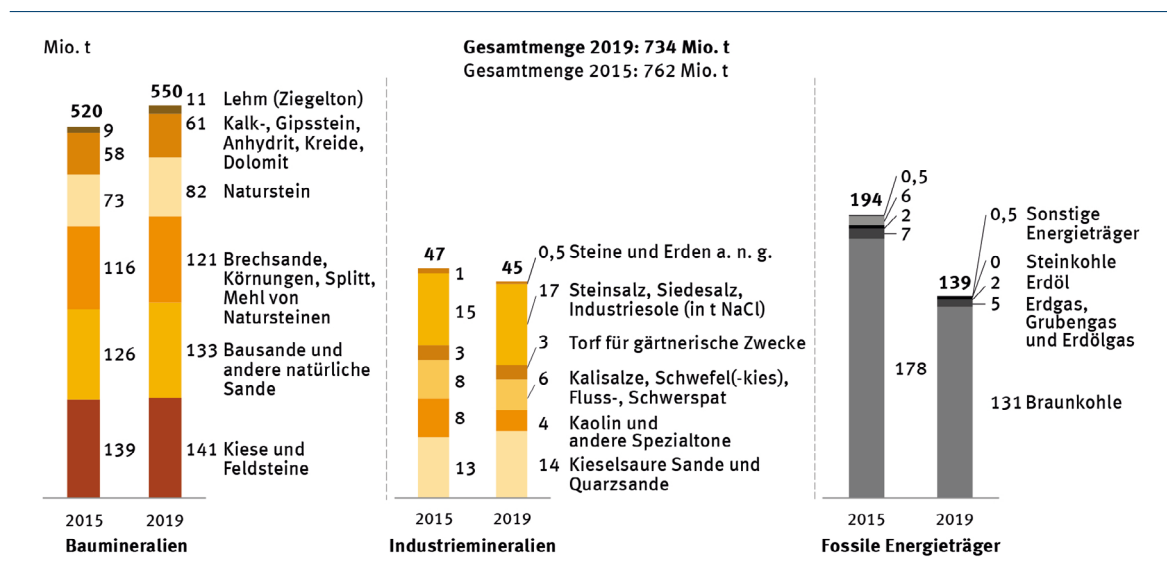
3. Recycling von Industriemineralen

In der Dialogplattform Recyclingrohstoffe wurde der Begriff „Industriemineralen“ als Titel beziehungsweise Oberbegriff gewählt, um die Stoffströme der Industriemineralen, Baurohstoffe, Industriellen Reststoffe und Nebenprodukte sowie die Keramischen Rohstoffe (Feuerfestkeramik) zusammenzufassen. Der Begriff beinhaltet auch die Steine und Erden-Rohstoffe und fasst somit die ebenfalls geläufige Verwendung der „Bau- und Industriemineralen“ zusammen, wie sie in Abbildung 18 verwendet werden.

Industriemineralen haben eine große Bedeutung sowohl für den Baubereich, in dem sie die mengenmäßig bedeutsamste Gruppe der Rohstoffe und Materialien darstellen, als auch in industriellen Anwendungen. Charakteristika der Industriemineralen (auch im Unterschied zu den Metallen) sind die folgenden: Sie haben eine hohe Mengenrelevanz, sowohl hinsichtlich der Entnahme von Primärmaterialien mit dem damit verbundenen Flächen- und Transportaufwand

als auch im Abfallbereich hinsichtlich ihres Verbrauchs von Deponievolumen. Da Baurohstoffe, wie Steine und Erden, Sand und Kies, vorwiegend inländisch gefördert werden, sind gerade in den dicht besiedelten Metropolregionen Deutschlands Flächenkonkurrenzen und Auswirkungen auf ökologisch wertvolle Standorte oder den Wasserkreislauf ein relevanter Aspekt, auch im Hinblick auf die zukünftige Versorgungssicherheit. Zu berücksichtigen ist ferner, dass sie in vielen Anwendungen nicht einfach durch andere Materialien substituierbar sind, so zum Beispiel im Straßen- und Tiefbau oder in industriellen Anwendungen wie Feuerfestminerale.

Viele Industriemineralen gehen im Zuge des Herstellungsprozesses eines Produkts dauerhaft neue chemische Verbindungen ein und bilden neue Minerale und Mineralgemenge, die andere Eigenschaften als der Ursprungsrohstoff aufweisen. So wird zum Beispiel Ton zu Ziegeln gebrannt, aus denen jedoch kein Ton wieder-



Zur deutlicheren Visualisierung der Einzelkategorien ist die Höhe der drei Säulenpaare nicht proportional zueinander.
Daten basieren auf revidierter Version des Gesamtwirtschaftlichen Materialkontos vom November 2021.
Direkte Vergleichbarkeit zu Ressourcenberichten 2016 (UBA, 2016 a) und 2018 (UBA, 2018) nicht gegeben.

Abb. 18: Genutzte Entnahme nicht-nachwachsender Rohstoffe in Deutschland, 2015 und 2019
(LUTTER et al. 2023), basierend auf Zahlen der Datenbank Destatis des Statistischen Bundesamts)

hergestellt werden kann. Häufig lassen sich jedoch die aus ihnen hergestellten Produkte als Substitute für primäre Rohstoffe wieder in den Wirtschaftskreislauf einbringen (BGR 2022).

Gemäß einer Prognose des Bundesverbands Baustoffe – Steine und Erden e. V. (BBS 2022a) wird der Bedarf an Industriemineralen für die nächsten Jahre in gleichbleibender oder sogar etwas steigender Menge erwartet, wobei ein bestimmender Faktor die Bautätigkeit in Hochbau und Tiefbau ist, die durch den Bedarf im Wohnungsbau sowie in der Infrastruktur getrieben wird (Abbildung 19). Weitere Effekte, die auf derartige Prognosen einen Einfluss haben können, jedoch selbst nur schwer quantifizierbar sind, umfassen mögliche transformative Entwicklungen im Baubereich wie zum Beispiel die Umnutzung, den Leichtbau oder den verstärkten Einsatz von Holz.

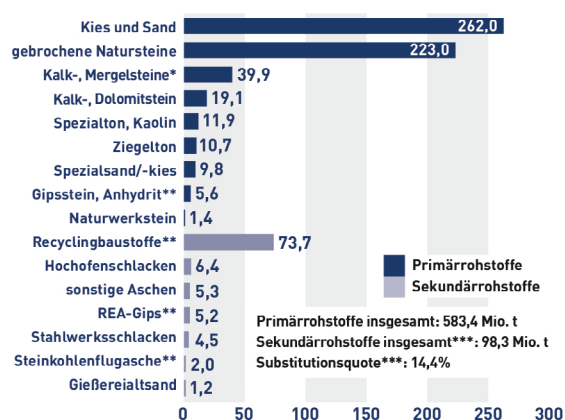
Die heutigen Abschätzungen zum Anteil von Recyclingmaterialien im Baubereich gehen jedoch eher nach unten, da bei steigender Nachfrage bislang eher mit gleichbleibenden Mengen an Recyclingmaterial gerechnet wird (Abbildung 20). Grund hierfür ist insbesondere, dass Recy-

clingmaterialien in bestehenden Anwendungen (zum Beispiel Gebäuden) gebunden sind und daher nur mit Zeitverzug nutzbar gemacht werden können.

Umso wichtiger sind hier Anstrengungen, zusätzliche Mengen an potenziell verfügbarem Recyclingmaterial in den Markt zu bringen. Als ein Sonderfall ist auf den Stoffstrom Gips zu verweisen. Hier wird der Bedarf gegenwärtig zu einem erheblichen Anteil aus Rauchgasentschwefelungsanlagen-Gips (REA-Gips) gedeckt, der mit Stilllegung der Kohlekraftwerke nicht mehr zur Verfügung stehen wird (Abbildung 21). Gerade hier stellt sich die Frage, mit welchen Maßnahmen die Funktionalität von gips-haltigen Baustoffen generiert werden kann und welche Rolle alternative Bauweisen, Substitute oder Stoffströme aus dem Recycling von Gipsabfällen spielen.

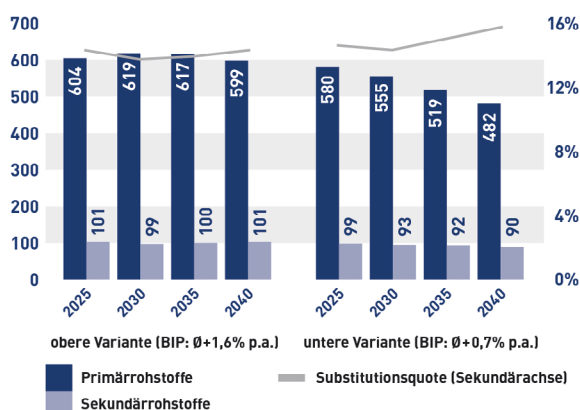
Eine ähnliche und damit auch kritische Verschiebung von Stoffströmen im Zuge der Dekarbonisierung der Industrie liegt im Bereich der Hochofenschlacke vor, die in Form von Hüttensand und sonstigen Hochofenschlacken derzeit noch in die Zementherstellung eingehen (Abbildung

Rohstoffe der Baustoff-Steine-Erden-Industrie in Deutschland (in Mio. Tonnen, 2020)



Anmerkungen: * für die Zementherstellung, ** Werte aus 2019, *** vorläufige Werte. Quelle: bbs

Nachfrage nach primären Steine-Erden-Rohstoffen und Aufkommen an Sekundärrohstoffen bis 2040 (in Mio. t)



Quelle: DIW/SST-Studie „Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine-Erden-Industrie bis 2040 in Deutschland“ (2022)

Abb. 19: Gewinnung und Nachfrage nach Steine-Erden-Rohstoffen in Deutschland (BBS 2022a; BBS 2022b)

22). Im Zuge der angestrebten Transformation der Stahl- und Eisenproduktion hin zur Direktreduktion mit Wasserstoff und einer schrottbasierten Elektrostahlproduktion werden diese Stoffströme aus dem „klassischen“ Hochofenprozess perspektivisch nicht mehr zu Verfügung stehen.

Im Falle von Baumaterialien ist generell auf die große Rolle des Rückbaus hinzuweisen: Pro-

duktdesign, Rückbautechniken und Möglichkeiten des Bauens im Bestand bestimmen die Materialmenge, den Materialmix der Abfälle und damit die Qualität des Inputs in Recyclingverfahren. Inwieweit die im anthropogenen Lager der bereits gebauten Infrastruktur enthaltenen Materialien tatsächlich in das Recycling gelangen, wird daher ganz wesentlich durch die Rückbautechnik bestimmt.

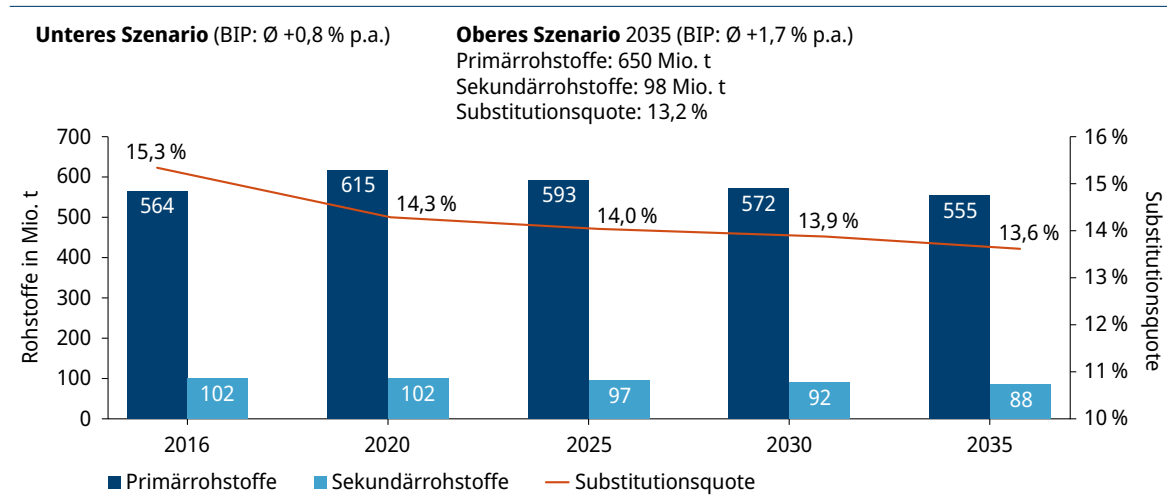


Abb. 20: Anteil von Recyclingmaterialien bei Baurohstoffen (Substitutionsquote) (BBS 2019)

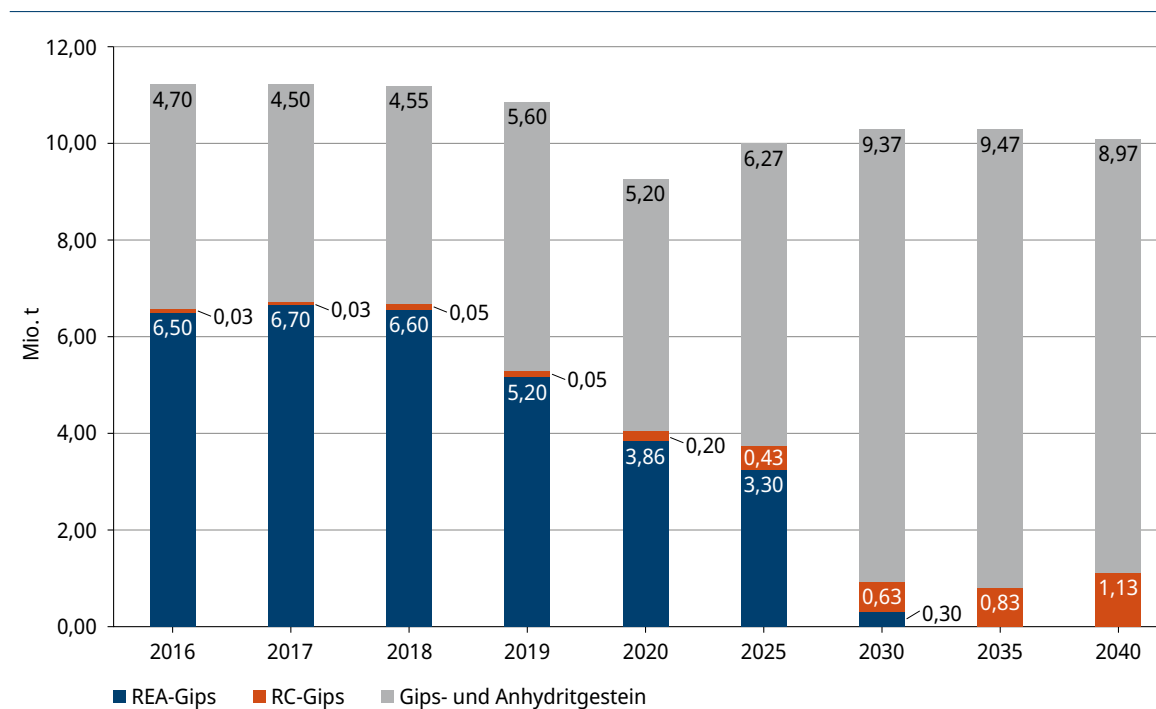


Abb. 21: Aktuelle (2016 – 2020) und zukünftige Gipsbereitstellung (ab 2025 – 2040), (RUFF 2022)

Im Unterschied zu Metallen ist die Thematik Klimarelevanz für Industriemineralien differenzierter zu betrachten: für die Emission von Treibhausgasen sind insbesondere die Herstellungsprozesse in der Zementproduktion sowie das Brennen von Kalk relevant. Der Beitrag anderer Stoffströme außerhalb der Zementproduktion und des Kalkbrennens ist vergleichsweise gering. In der Zementproduktion bestehen noch große Potenziale der Einsparung von Treibhausgasen, da das Recycling bislang nur in Form der Nutzung als Gesteinskörnungen erfolgt und daher keine Substitution der Zementherstellung mit Einsparung der dort freigesetzten prozessspezifischen Emissionen erfolgt. Für Industriemineralien ist auch die Problematik der Kritikalität auf einzelne spezifische Stoffströme beschränkt, die aus dem Ausland bezogen werden.

3.1 Auswahl der Industriemineralien (Stoffströme)

Die Auswahl der betrachteten Stoffströme und somit die thematische Festlegung der UAKs fand zunächst mit einer Vorauswahl unter Berücksichtigung der Mengen- und Klimarelevanz sowie einer möglichen Kritikalität beziehungsweise strategischen Relevanz der Rohstoffe statt. Eine Übersicht der jährlich anfallenden Mengen ist Tabelle 7 zu entnehmen. Weiterhin wurden aktuelle Problemkreise und die Komplementarität zu anderen Plattformen und Initiativen (siehe Kapitel 5.3) berücksichtigt. In Abstimmung mit den Teilnehmenden wurden die endgültigen Themenkreise festgelegt.

Unter Berücksichtigung der oben genannten Aspekte ergaben sich die folgenden vier stoffstromspezifischen Unterarbeitskreise:

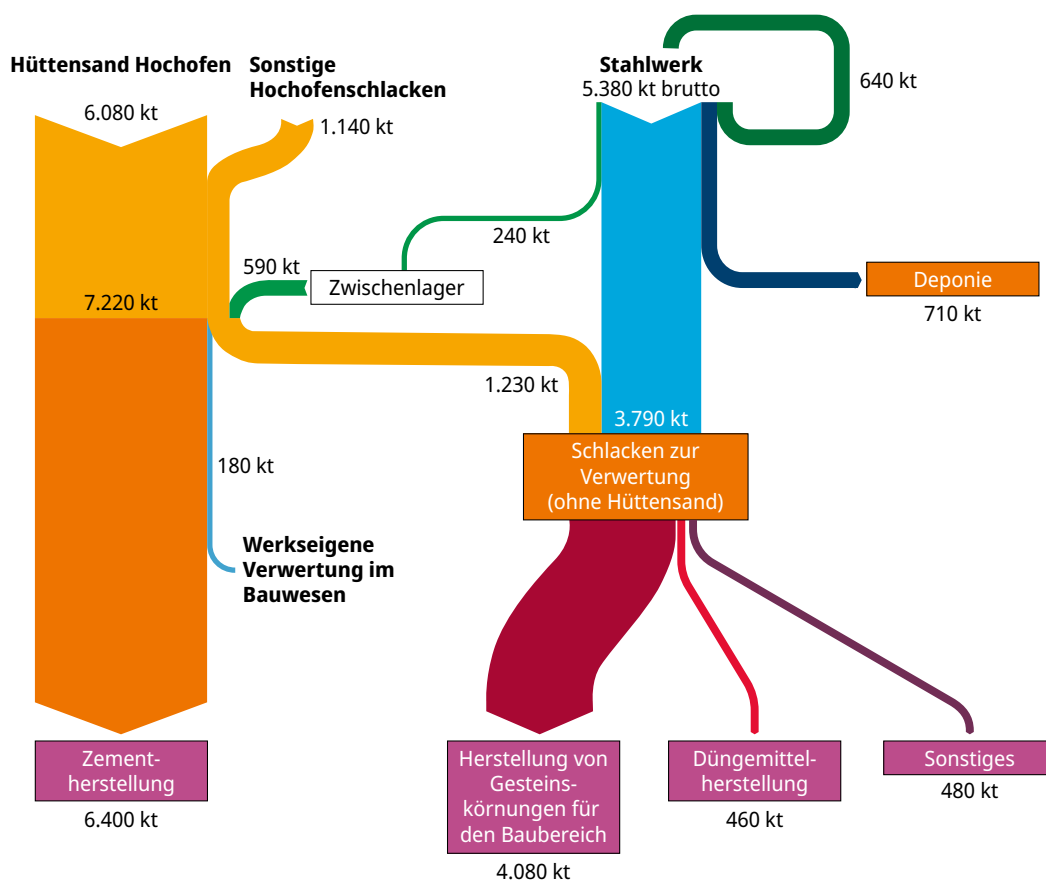


Abb. 22: Stoffströme der Schlacken und Hüttensande aus der Eisen- und Stahlerzeugung in Deutschland 2015 (UBA 2019b)

Baurohstoffe: Der UAK Baurohstoffe befasst sich in Abgrenzung zu den weiteren UAKs des AK Industriemineralen ausschließlich mit nicht gefährlichen mineralischen Bau- und Abbruchabfällen. Der Fokus der Betrachtungen liegt damit auf den Stoffströmen Bauschutt (Beton, Ziegel, Fliesen, Keramik und Gemische aus Mauerwerk, Putzen etc.), Straßenaufbruch sowie Boden und Steine. Nicht berücksichtigt werden Bauabfälle auf Gipsbasis, die im UAK Gips behandelt werden.

Gips: Der UAK Gips fokussiert sich auf Gips aus dem Recycling. Naturgipse, synthetische Gipse und „Sekundärgipse“ (Gipse, die im Rahmen chemisch-industrieller Prozesse entstehen, wie zum Beispiel REA-, Phosphor- oder Lithiumgips) werden), thematisch nur tangiert und bedürfen einer gesonderten Betrachtung.

Keramische Rohstoffe: Der UAK Keramische Rohstoffe fokussiert sich auf Feuerfestkeramiken. Baukeramiken etc. werden im UAK Baurohstoffe behandelt. Zudem wird der weitere Fokus auf feuerfeste Abfälle aus der Stahlindustrie gelegt, da dort rund 60 – 65 % der feuerfesten Produkte verwendet werden. Auch bei einer ausschließlichen Betrachtung der feuerfesten Abfälle, die in der Stahlindustrie generiert werden, kann man nicht nur von einem Stoffstrom sprechen, da die verwendeten feuerfesten Produkte, je nach Anwendung, auf einer unterschiedlichen Rohstoffbasis beruhen.

Industrielle Reststoffe und Nebenprodukte: Der UAK befasst sich mit den aus industriellen Prozessen erzeugten Reststoffen oder Nebenprodukten. Zu beachten ist bei einigen der industriellen Nebenproduktstoffströme die teilweise unterschiedliche Zielsetzung im Hinblick auf deren Nutzung. Dabei geht es zum einen um die (Rück-)Gewinnung möglichst großer Anteile der metallischen Fraktionen und zum anderen um die möglichst vollständige Nutzung der mineralischen Fraktionen. Genauer betrachtet wurden Eisenhüttenschlacken (EHS), Metallhüttenschlacken (Nicht-Eisen-Schlacken), Hausmüllverbrennungsaschen (HMVA) und Rot-schlamm.

Für diese vier UAKs sind für eine bessere Übersicht und die Mengenrelevanz im Folgenden in Tabelle 7 die Produktionszahlen und Importe/Exporte dieser Rohstoffe für Deutschland dargestellt. Im Gegensatz zu den Metallrohstoffen ist hier Bergbauproduktion in Deutschland vorhanden und die Importe/Exporte spielen eine geringere Rolle.

Die Ergebnisse aus den UAKs des AK Industriemineralen bilden den inhaltlichen Kern des vollzogenen Dialogprozesses und werden in den folgenden Steckbriefen beschrieben. So liegen für den AK Industriemineralen detaillierte Steckbriefe für die Stoffströme Baurohstoffe, Gips, Keramische Rohstoffe (Feuerfestkeramik) sowie Industrielle Reststoffe und Nebenprodukte vor.

Tab. 7: Jährlich anfallende Menge der ausgewählten Stoffströme des AK Industriemineralen in Deutschland

Stoffströme	Menge [t]	Quelle
UAK Baurohstoffe (Referenzjahr 2020)		
Mineralische Bauabfälle, davon	220.600.000	(KWB 2023b)
Boden und Steine	129.200.000	(KWB 2023b)
Bauschutt	60.000.000	(KWB 2023b)
Straßenaufbruch	16.900.000	(KWB 2023b)
Baustellenabfälle	13.800.000	(KWB 2023b)
Bauabfälle auf Gipsbasis	741.000	(KWB 2023b)

Stoffströme	Menge [t]	Quelle
UAK Gips (Referenzjahr 2020)		
Primärrohstoffe		
Bergbauproduktion/Primärrohstofferzeugung	5.200.000	(BGR 2022)
Import	197.000	(BGR 2022)
Export	752.000	(BGR 2022)
Recyclingrohstoffe		
Bauabfälle auf Gipsbasis, davon ca. 50 % recyclingfähig	741.000	(DESTATIS 2023)
Import	Nicht erfasst	
Export	Nicht erfasst	
RC-Gips (aus Bauabfällen auf Gipsbasis)	63.000	(BGR 2022)
REA-Gips	3.860.000	(BGR 2022)
UAK Feuerfestkeramik (Referenzjahr 2020)		
... aus metallurg. Prozessen Kohlenstoffbasis (AVV 161101*)	11.700	(DESTATIS 2023)
... aus metallurg. Prozessen Kohlenstoffbasis (AVV 161102)	1.900	(DESTATIS 2023)
... aus metallurg. Prozessen (AVV 161103*)	60.000	(DESTATIS 2023)
... aus metallurg. Prozessen (AVV 161104)	462.900	(DESTATIS 2023)
... aus nichtmetallurg. Prozessen (AVV 161105*)	16.200	(DESTATIS 2023)
... aus nichtmetallurg. Prozessen (AVV 161106)	51.800	(DESTATIS 2023)
UAK Industrielle Reststoffe und Nebenprodukte		
Industrielle Nebenprodukte gesamt (2020), davon	45.000.000	(MERKEL & REICHE 2020)
Eisenhüttenschlacken (2021)	12.500.000	(FEHS 2022)
Rückstände der Rauchgasreinigung der Stahlproduktion (2021)	~1.600.000	Hochrechnung ¹
Kupferschlacke (2021)	1.000.000	(AURUBIS AG 2022)
Hausmüllverbrennungsasche (aufbereitete HMVA, 2022)	4.700.000	(ITAD & IGAM 2022)
Rotschlamm (AOS-Stade, 2022)	900.000	(AOS-STADE 2022)
Sonstige Nebenprodukte (v. a. Kraftwerksrückstände)	24.300.000	(MERKEL & REICHE 2020)

¹ Hochrechnung: 40 Millionen Tonnen pro Jahr Rohstahl · 40 Kilogramm pro Tonne Rückstände

* Gefährlicher Abfall

Alle erarbeiteten Steckbriefe folgen dem gleichen Aufbau und umfassen aufeinander aufbauende Kapitel, in denen der jeweilige Stoffstrom beschrieben, Barrieren für das Recycling identifiziert, Handlungsoptionen beschrieben, deren Machbarkeit und mögliche Zielkonflikte

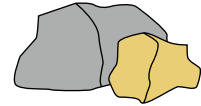
diskutiert und nächste Schritte in der Umsetzung skizziert werden.

3.2 Steckbrief – Baurohstoffe

Baurohstoffe

Unterarbeitskreis-Leitung (Autoren):

Prof. Dr. Hermann Wotruba (Lehr- und Forschungsgebiet Aufbereitung mineralischer Rohstoffe RWTH Aachen)¹⁾



UAK-Übersicht



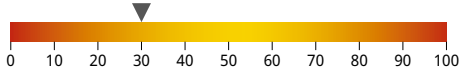
58 Beteiligte



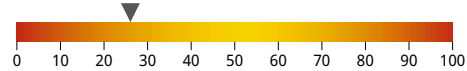
25 % Einzelunternehmen
30 % Wissenschaft
13 % Behörde
25 % Verbände
7 % Zivilgesellschaft



Anzahl **Barrieren**



Anzahl **Lösungsvorschläge**



Themenbereiche der identifizierten Handlungsoptionen



#1	Getrennthaltung	#9	Regelungen und Normen
#2	Ende der Abfalleigenschaft	#10	Rezyklateinsatzquoten
#3	Asbest	#11	Anreize
#4	Mantelverordnung	#12	Ausschreibungen
#5	Selektiver Rückbau	#13	Baukonstruktion und Produktdesign
#6	Aufbereitungstechnik	#14	Informationen in Wertschöpfungskette
#7	Pflichten	#15	Klimaschutzaspekte
#8	Statistik	#16	Forschung und Umsetzung

¹⁾ Herr Prof. Dr. Hermann Wotruba begleitete den UAK als wissenschaftlicher Co-Leiter bis zu seinem Tod im Feb. 2023. Kommissarisch wurde die wissenschaftliche Co-Leitung fortan durch Frau Prof. Schebek, AK-Leitung Industriemineralien, mitübernommen.

Tab. 8: Überblick Stoffstrom Baurohstoffe (Referenzrahmen Deutschland 2020)

Stoffströme	Menge [t]	Quelle
UAK Baurohstoffe (Referenzjahr 2020)		
Mineralische Bauabfälle, davon	220.600.000	(KWB 2023b)
Boden und Steine	129.200.000	(KWB 2023b)
Bauschutt	60.000.000	(KWB 2023b)
Straßenaufbruch	16.900.000	(KWB 2023b)
Baustellenabfälle	13.800.000	(KWB 2023b)
Bauabfälle auf Gipsbasis	741.000	(KWB 2023b)

3.2.1 Beschreibung relevanter Stoffströme, Wertschöpfungsketten und Anwendungskontexte

Der UAK Baurohstoffe befasst sich in Abgrenzung zu den weiteren Unterarbeitskreisen des AK Industriemineralien ausschließlich mit nicht gefährlichen mineralischen Bau- und Abbruchabfällen. Der Fokus der Betrachtungen liegt damit auf den Stoffströmen Bauschutt (beinhaltet Beton, Ziegel, Fliesen, Keramik und Gemische aus Mauerwerk, Putzen etc.), Straßenaufbruch sowie Boden und Steine. Nicht berücksichtigt werden Bauabfälle auf Gipsbasis, die im UAK Gips behandelt werden.

Stoffströme und Anwendungskontexte

Stoffströme und Verwertungswege

Der Anfall mineralischer Bau- und Abbruchabfälle wird vom Statistischen Bundesamt (Destatis) regelmäßig in Berichten zur Abfallentsorgung und zur Abfallbilanz erfasst (Siehe Bereich Publikation „Abfallentsorgung“ (Destatis 2023)). Die Initiative Kreislaufwirtschaft Bau (KWB 2023a) veröffentlicht auf dieser Datenbasis im Zweijahres-Turnus Monitoring-Berichte zum Aufkommen und Verbleib mineralischer Bau- und Abbruchabfälle (Siehe beispielsweise den aktuellsten Bericht (KWB 2023b)). Darin enthalten ist auch eine Langzeitstatistik über

einen Betrachtungszeitraum von inzwischen 26 Jahren. Die hier genannten Durchschnittsdaten stellen die Mittelwerte der in den 13 Monitoring-Berichten der Initiative Kreislaufwirtschaft Bau ausgewiesenen Einzeldaten dar. Im langjährigen Durchschnitt fallen in Deutschland jährlich rund 200 Millionen Tonnen nicht gefährliche mineralische Bau- und Abbruchabfälle an, die sich aus verschiedenen Abfallfraktionen zusammensetzen. Durch den Aushub von Baugruben und weitere Vorbereitungsmaßnahmen des Baugrundes fallen jährlich etwa 125 Millionen Tonnen der Fraktion „Boden und Steine“ an. Durch den Rückbau von Bauwerken fallen jährlich rund 56 Millionen Tonnen der Fraktion „Bauschutt“ an. Baumaßnahmen an der Verkehrsinfrastruktur führen zu einem Aufkommen von jährlich 16 Millionen Tonnen der Fraktion „Straßenaufbruch“. Die Fraktion „Baustellenabfälle“ bezeichnet Abfälle, die bei der Erstellung von Bauwerken anfallen. Davon sind durchschnittlich rund 3 Millionen Tonnen mineralisch (KWB 2023a).

Die Fraktion „Boden und Steine“ besteht aus Bodenmaterial mit einem durchschnittlich zehnprozentigen Anteil an Steinen. Die Fraktion wird heute im Regelfall direkt, das heißt ohne Aufbereitung, einer Verwertung zugeführt. Die Verwertung erfolgt überwiegend im Rahmen der Verfüllung von Abgrabungen (rund 90 Millionen Tonnen/Jahr) und in Maßnahmen des Erd-, Tief-, Straßen- und Landschaftsbaus (rund 12 Millionen Tonnen/Jahr). Insgesamt werden 86 % der

Fraktion „Boden und Steine“ einer umweltgerechten Verwertung im Bereich bodenähnlicher Anwendungen zugeführt (KWB 2023a).

Die Fraktionen „Bauschutt“, „Straßenaufbruch“ und „Baustellenabfälle“ bestehen aus körnigen mineralischen Bau- und Abbruchabfällen. Die körnigen Fraktionen werden, soweit sie nicht direkt verwertet werden können, einer Recyclinganlage zugeführt, die daraus Recyclingbaustoffe⁷ herstellt. Die Recyclingquote, das heißt der Anteil der jeweiligen Abfallfraktion, der vor der Verwertung zunächst einer Recyclinganlage zur Aufbereitung zugeführt wird, liegt für die Fraktion „Bauschutt“ bei rund 78 %, für die Fraktion „Straßenaufbruch“ bei rund 93 %. Im Durchschnitt werden jährlich etwa 71 Millionen Tonnen Recyclingbaustoffe produziert. Die Verwendungsmöglichkeiten der Recyclingbaustoffe hängen von ihren bautechnischen und umweltrelevanten Eigenschaften sowie ihrer stofflichen Zusammensetzung ab. Neben den Ausgangsqualitäten werden die Eigenschaften maßgeblich von der Verfahrensweise beim Abbruch beziehungsweise Rückbau, der Getrennthaltung der Fraktionen und der eingesetzten Aufbereitungstechnik bestimmt. Im Durchschnitt werden rund 50 % der Recyclingbaustoffe im Straßenbau, 23 % im Erdbau, 22 % in der Asphalt- und Betonherstellung und 5 % im Deponiebau eingesetzt (KWB 2023a).

Die Verwertungsquote bezeichnet den Anteil der insgesamt angefallenen nicht gefährlichen mineralischen Bau- und Abbruchabfälle, der einer umweltgerechten Verwertung zugeführt wird. Im Durchschnitt werden knapp 90 % der anfallenden 200 Millionen Tonnen mineralischen Bau- und Abbruchabfälle verwertet. In einzelnen Fraktionen liegt die Verwertungsquote sogar darüber. So beträgt die Verwertungsquote der Fraktion „Bauschutt“ heute knapp 94 % und die Verwertungsquote der Fraktion „Straßenaufbruch“ über 97 % (KWB 2023a).

Durch die Verwertung körniger mineralischer Bau- und Abbruchabfälle im Erd-, Tief-, Straßen-

und Landschaftsbau werden primäre Gesteinskörnungen substituiert. Die Substitutionsquote beschreibt den Umfang des Ersatzes primärer Gesteinskörnungen durch Recyclingbaustoffe und bezieht sich entsprechend auf den Gesamtbedarf an Gesteinskörnungen in Deutschland, der bei rund 580 Millionen Tonnen/Jahr liegt. Im langjährigen Durchschnitt beträgt die Substitutionsquote durch Recyclingbaustoffe rund 13 %. Eine Erhöhung der Substitutionsquote ist möglich, wenn mehr Bauwerke rückgebaut werden, wodurch sich das Aufkommen an mineralischen Bau- und Abbruchabfällen erhöht, wenn durch weitergehende Aufbereitung mehr Recyclingbaustoffe aus den anfallenden mineralischen Bau- und Abbruchabfällen gewonnen werden oder wenn der Gesamtbedarf an Gesteinskörnungen für Baumaßnahmen reduziert wird (BBS 2022c).

Soweit Schadstoffbelastungen, Verunreinigungen, komplexe Materialmischungen oder andere Faktoren eine Verwertung der mineralischen Bau- und Abbruchabfälle nicht zulassen, erfolgt die Deponierung. Durchschnittlich werden jährlich rund 21 Millionen Tonnen nicht gefährliche mineralische Bau- und Abbruchabfälle, davon knapp 18 Millionen Tonnen der Fraktion „Boden und Steine“, deponiert (KWB 2023b).

Wertschöpfungskette

Mineralische Bau- und Abbruchabfälle fallen bei praktisch jeder Baumaßnahme an. Im Regelfall ist das ausführende Bauunternehmen der Abfallerzeuger und organisiert die Entsorgung. Je nach Beschaffenheit und Qualität der mineralischen Bau- und Abbruchabfälle bestehen entweder direkte Verwertungsmöglichkeiten, zum Beispiel im Rahmen der Verfüllung von Abgrabungen, oder die Abfälle werden einer Recyclinganlage, einer Bodenbehandlungsanlage oder einer Deponie angedient. Der Abfallerzeuger stuft die Abfälle mit Abfallschlüsselnummern ein und ist gehalten, Abfälle sortenrein zu halten (§ 8 GewAbfV 2017). Die Recycling- beziehungsweise Bodenbehandlungsanlagen bereiten die mineralischen Bau- und Abbruchabfälle

⁷ Der Begriff „Recyclingbaustoffe“ beschreibt die Ausgangsströme nach einem Recyclingprozess.

zu einsatz- und verkaufsfähigen Recyclingbaustoffen und -gemischen auf. In der Regel produzieren Recyclinganlagen Baustoffe für den Erd-, Tief-, Straßen- und Landschaftsbau. Dies bietet den Anlagen die Möglichkeit, die erforderlichen Baustoffqualitäten unter Einsatz aller ihnen zur Verfügung stehenden Ausgangsmaterialien herzustellen. In einigen Fällen produzieren Recyclinganlagen bereits Recyclingbaustoffe für die Herstellung von Bauprodukten wie Beton. Recyclingbaustoffe sind im Regelfall güteüberwacht und qualitätsgesichert (§ 10 GewAbfV 2017; § 11 GewAbfV 2017).

Die Gewinnungs-, Produktions-, Aufbereitungs- und Wiederverwendungsstufen im Materialzyklus können schematisch am Stoffkreislauf zum Beispiel des Betons dargestellt werden (Abbildung 23). Beginnend mit der bergbaulichen Gewinnung von unter anderem Naturstein, Sand, Kies oder Kalkstein sowie unter Nutzung industrieller Nebenprodukte wie Flugasche oder Hüttensand werden sowohl Zwischenprodukte wie Zement als auch der Beton selbst hergestellt. Am Ende der Nutzungsphase des Betons in Bauwerken des Hoch- und Tiefbaus werden die mineralischen Bauabfälle einer Recyclinganlage zugeführt, die daraus Recyclingbaustoffe herstellt. Die aufbereiteten Sekundärstoffe⁸ können – je nach Art und Qualität – erneut in den

verschiedenen Produktionsstufen der Zement- und Betonherstellung eingesetzt werden. Darüber hinaus ist in einigen Fällen – wiederum abhängig von Art und Qualität – auch eine direkte Wiederverwendung im Hoch- oder Tiefbau ohne Aufbereitung möglich. Eine direkte Wiederverwendung im Hochbau stellt beispielsweise die erneute Nutzung ganzer Bauteile, zum Beispiel von Betonfertigteilen, dar. In jeder Stufe des Lebenszyklus besteht die Möglichkeit, Materialien beziehungsweise Zwischen- und Endprodukte im Rahmen der Verfüllung von Abgrabungen zu nutzen oder aus dem Stoffkreislauf auszuschleusen und auf Deponien zu beseitigen. Das Ausschleusen kann zum Beispiel aufgrund eines zu hohen Anteils an Fremdbestandteilen oder aufgrund unzulässiger Schadstoffbelastungen, zum Beispiel durch Asbestbestandteile, erforderlich werden (REUTER et al. 2013).

Rolle des Recyclings im Bereich Baurohstoffe

Circular Economy

Mit der „Circular Economy“-Strategie soll die lineare Wirtschaft, bei der Produkte am Ende des Lebenszyklus beseitigt werden, zu einer Kreislaufwirtschaft umgebaut werden, bei der Produkte am Lebensende wiederverwendet oder

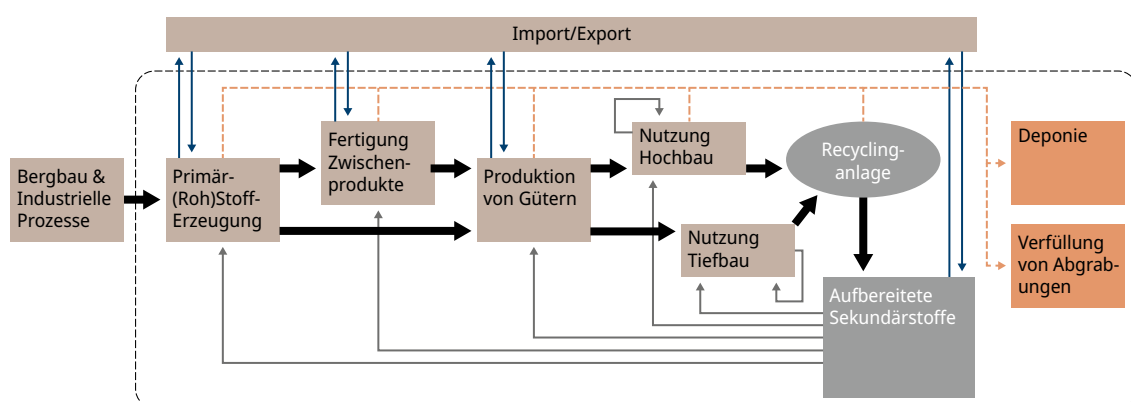


Abb. 23: Referenzgrafik Stoffstrom Baurohstoffe: Beispiel Beton in Anlehnung an UNEP (2011)

⁸ Der Begriff „Sekundärstoffe“ beschreibt alle Stoffe, die keine Primärstoffe sind und verwendet werden können, ohne dass zuvor zwingend ein Recyclingprozess durchlaufen worden ist.

nach Aufbereitung als Substitute für Primärmaterialien erneut eingesetzt werden. Dieses Konzept ist im Bausektor beim Umgang mit mineralischen Bau- und Abbruchabfällen – wie zuvor beschrieben – seit Jahren etabliert. Mineralische Bau- und Abbruchabfälle werden heute zu 90 % einer umweltgerechten Verwertung zugeführt und substituieren bei einer Verwendung im Erd-, Tief-, Straßen- und Landschaftsbau dadurch ansonsten erforderliche Primärrohstoffe (KWB 2023b).

Dennoch steht auch der Bausektor im Fokus der „Circular Economy“-Diskussionen. Mit Verweis auf die Abfallhierarchie wird aus der „Circular Economy“-Strategie die Zielsetzung abgeleitet, mineralische Bau- und Abbruchabfälle möglichst „hochwertig“ zu verwerten. Dabei wird die Verwertung mineralischer Bau- und Abbruchabfälle im Erd-, Tief-, Straßen- und Landschaftsbau oftmals als „Downcycling“ angesehen, weil die aus dem Hochbau stammenden Abfälle im Tiefbau eingesetzt werden. Beworben wird das „Upcycling“, bei dem aufbereitete mineralische Bau- und Abbruchabfälle zur Herstellung neuer Produkte, wie Beton, genutzt werden sollen, die dann wieder im Hochbau eingesetzt werden.

Diese Zielvorstellung bedarf aus Sicht des UAK Baurohstoffe mehrerer Klarstellungen:

- Die heutige Verwertung mineralischer Bau- und Abbruchabfälle im Erd-, Tief-, Straßen- und Landschaftsbau entspricht der dritten Stufe der Abfallhierarchie. Die aufbereiteten mineralischen Bau- und Abbruchabfälle sind nach öffentlich-rechtlichen Vorgaben zusammengesetzte Baustoffe, die zahlreiche Qualitätskriterien erfüllen müssen und im Regelfall einer Güteüberwachung unterliegen. Daher sollte der Begriff des Downcyclings im Einzelfall kritisch hinterfragt werden, da für eine normative Beurteilung entscheidend ist, in welchem Ausmaß ein Recyclingbaustoff bestimmte Primärmaterialien ersetzt.⁹
- Eine Umlenkung geeigneter Recyclingbaustoffe aus dem Erd-, Tief-, Straßen- und Landschaftsbau in die Herstellung neuer Produkte entspricht ebenfalls einer Verwertung in der dritten Stufe der Abfallhierarchie und stellt daher kein „Upcycling“ dar.
- Durch die Umlenkung von Stoffströmen aus dem Erd-, Tief-, Straßen- und Landschaftsbau in die Herstellung neuer Produkte können keine Primärrohstoffe eingespart werden. Denn die dem Erd-, Tief-, Straßen- und Landschaftsbau entzogenen Stoffströme müssen nun dort durch die Primärrohstoffe ersetzt werden, die bisher in der Herstellung neuer Produkte eingesetzt wurden.
- In der heutigen Situation ist die Verfüllung von Abgrabungen in der Regel Teil der Betriebsgenehmigung für den Lagerstättenabbau und damit eine rechtliche Verpflichtung der Unternehmen. Durch die in Kraft tretende Mantelverordnung werden die Anforderungen an die Qualität des Verfüllmaterials zukünftig steigen, sodass mittelfristig die Massenströme in die Verfüllung von Abgrabungen abnehmen werden. Werden Lagerstätten nach dem Abbau jedoch nicht verfüllt, kann die ursprüngliche Nutzung der Flächen, zum Beispiel für die Landwirtschaft, nicht mehr erreicht werden. Dies kann dazu führen, dass Grundbesitzer ihre Flächen für den temporären Abbau nicht mehr zur Verfügung stellen, wodurch die heimische Rohstoffsicherung insgesamt weiter erschwert würde.

Der UAK Baurohstoffe hat zusammenfassend festgestellt, dass die Umlenkung von Stoffströmen kein Selbstzweck sein darf. Vielmehr müssen Stoffstromumlenkungen mit nachvollziehbaren Vorteilen für den Ressourcenschutz, den Klimaschutz und weiteren positiven Aspekten der Nachhaltigkeit einhergehen. Ein entsprechender Bewertungsmaßstab fehlt bisher allerdings.

⁹ Hinweis der Geschäftsstelle: Aussagen zum Thema „Downcycling“ stellen eine „Debattenposition“ dar, das heißt zum Thema gibt es in der Dialogplattform unterschiedliche Standpunkte und Sichtweisen.

Rechtsrahmen

Die Verwertung mineralischer Bau- und Abbruchabfälle erfolgt bisher überwiegend auf Basis von Ländererlassen, die der LAGA M20 (LAGA 2003) entsprechen oder daran angelehnt sind (LAGA 2023). Zur Herstellung mineralischer Baustoffe, die im Erd-, Tief-, Straßen- und Landschaftsbau eingesetzt werden, gibt es Vorgaben durch Technische Lieferbedingungen, zum Beispiel die TL-Gestein-StB, die die Technischen Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau beschreibt (FGSV 2018) oder die neue TL-BuB für Bodenmaterialien und Baustoffe für den Erdbau im Straßenbau, die bereits auf die Materialklassen der Mantelverordnung abstellt (FGSV 2023). Soweit mineralische Bau- und Abbruchabfälle in der Herstellung neuer Produkte eingesetzt werden sollen, gelten neben den Regelungen des Abfallrechts ergänzend unter anderem auch die Regelungen des Produkt-, des Chemikalien- und des Baurechts. Die grundsätzlichen Anforderungen sind unter anderem in der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen vom Deutschen Institut für Bautechnik niedergelegt (DIBT 2023).

Der Rechtsrahmen für die Verwertung mineralischer Bau- und Abbruchabfälle befindet sich aktuell im Umbruch. Mit der im August 2023 in Kraft tretenden Mantelverordnung wird die Bundesbodenschutzverordnung novelliert, die dann – ausgenommen einer Länderöffnungsklausel – unter anderem einen bundeseinheitlichen Rahmen für die Verfüllung von Abgrabungen setzt. An die Qualität des Verfüllmaterials – aber auch anderer bodenähnlicher Anwendungen – werden mit der Mantelverordnung zukünftig strengere Anforderungen gestellt als heute. Bestehende Betriebsgenehmigungen sind nach spätestens acht Jahren darauf anzupassen. Es besteht die Möglichkeit, dass mittelfristig die Massenströme in die Verfüllung von Abgrabungen erheblich abnehmen werden. Auch wenn belastbare Abschätzungen derzeit kaum möglich sind, würde eine Reduktion der Verfüllmengen um 50 % dazu führen, dass bis zu 50 Millionen Tonnen mineralischer Bau- und Abbruchabfälle zukünftig neuen Verwertungswegen zugeführt werden müssen (KWB 2023b).

Gleichzeitig beabsichtigt die EU-Kommission, die Bauprodukte-Verordnung zu revidieren, um unter anderem „Circular Economy“-Ansätze im Produktrecht zu verankern. Die Verordnung soll daher zukünftig auch den Rechtsrahmen für die Wiederverwendung von Bauprodukten sowie den Einsatz von Recyclingbaustoffen bei der Herstellung von Bauprodukten bilden (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2022b).

Eine weitere Änderung zeichnet sich im Umgang mit der Fraktion „Bauschutt“ ab, die im Wesentlichen aus Betonbruch und Gemischen aus Beton, Ziegeln, Fliesen, Keramik und mineralischen Wandbaustoffen, wie Mauerwerk und Putzen, besteht. Bis Herbst 1993 wurden unter anderem Putze, Spachtelmassen, aber auch Abstandshalter für die Betonbewehrung teilweise unter Einsatz von Asbestfasern hergestellt und in Verkehr gebracht. Entsprechend kann die Fraktion „Bauschutt“ heute geringfügig durch asbesthaltige Bestandteile verunreinigt sein. Die LAGA hat mit der Mitteilung 23 (LAGA 2022) ein Ablaufschema erarbeitet, wie potenziell asbestbelastete Bestandteile noch im Bauwerk festgestellt, selektiv entnommen und beseitigt werden können (LAGA 2022). Dennoch sind geringfügige Verunreinigungen der Fraktion „Bauschutt“ nicht auszuschließen. Da die asbesthaltigen Bestandteile aus dem Stoffkreislauf ausgeschleust werden müssen, eine Aufbereitungstechnik zur Separierung bisher aber nicht existiert, sieht die LAGA M23 eine vorsorgebedingte Ausschleusung asbestverdächtigen Materials vor. Eine grobe Abschätzung als Worst-Case-Szenario geht von rund 20–30 Millionen Tonnen Bauabfällen, insbesondere Betonbruch, aus, die zukünftig zusätzlich auf Deponien beseitigt werden müssten (NATIONALER ASBESTDIALOG 2020).

Potenziale

Die Umsetzung von „Circular Economy“-Strategien sowie Änderungen des Rechtsrahmens werden dazu führen, dass mineralische Bau- und Abbruchabfälle aus den heutigen Verwertungswegen in teilweise neue Anwendungsbeiche umgelenkt werden.

Bei Bodenmaterial sind zunächst keine neuen Verwertungsoptionen absehbar. Bodenmaterial kann aus der Verfüllung von Abgrabungen in andere Maßnahmen des Erd-, Tief-, Straßen- und Landschaftsbaus umgelenkt werden. Eine zukünftig konsequente Aufbereitung von Bodenmaterial kann jedoch dazu beitragen, den Anteil der im Bodenmaterial enthaltenen Steine zu extrahieren und einer Verwertung als Recyclingbaustoff zur Substitution primärer Gesteinskörnung zuzuführen (Mantelverordnung 2021).

Recyclingbaustoffe können zukünftig vermehrt in der Herstellung von Bauprodukten eingesetzt werden. Grundsätzlich können viele mineralische Bauprodukte unter anteiliger Verwendung von Recyclingbaustoffen definierter Zusammensetzung hergestellt werden. Eine wesentliche Voraussetzung dafür ist in der Regel, dass die Recyclingbaustoffe weitgehend sortenrein sind, das heißt möglichst frei von Anhaftungen fremder Bestandteile. Diese Voraussetzung kann durch einen selektiven Rückbauprozess unterstützt, letztlich aber nur durch konsequente Aufbereitung, eine Optimierung des Recyclingprozesses und technische Verbesserungen der Aufbereitungsanlagen erreicht werden. Für den Einsatz von Recyclingbaustoffen in der Herstellung neuer Bauprodukte ist neben der Qualität zudem entscheidend, dass die Recyclingbaustoffe auch quantitativ in ausreichender Menge zur Verfügung stehen. Einerseits sind die Recyclinganlagen auf ausreichenden Materialeingang angewiesen, um wirtschaftlich agieren zu können, andererseits sind die Abnehmer auf eine kontinuierliche Belieferung mit Recyclingbaustoffen gleicher Qualität für ihre Produktionsprozesse angewiesen. Die Technik der Recyclinganlagen muss gegebenenfalls angepasst und verbessert werden, um den im Einzelfall höheren Anforderungen an die Recyclingbaustoffe gerecht zu werden. Eine konsequente Getrennthaltung mineralischer Bau- und Abbruchabfälle, die bereits sortenrein an einer Recyclinganlage angeliefert werden, vereinfacht den Aufbereitungsaufwand.

Für die im Recyclingprozess anfallenden Betonbrechsande und Teile des Mauerwerkbrechsandes

zeichnen sich künftige Einsatzmöglichkeiten im Bereich der Zement- und Bindemittelherstellung sowie der Produktion von Beton, leichten Gesteinskörnungen und Mauersteinen ab. Für die Sandfraktion der Vorabsiebung müssen neue Verwertungsmöglichkeiten bei der Herstellung von Bauprodukten dagegen erst noch entwickelt werden. Zusätzliche Verwertungsoptionen sind auch deshalb erforderlich, weil die Verwertung dieser Sande im Straßen- und Tiefbau in einigen Regionen Deutschlands inzwischen an Grenzen stößt.

Heute werden rund 21 Millionen Tonnen nicht gefährliche mineralische Bau- und Abbruchabfälle auf Deponien beseitigt (KWB 2023a). Der Beseitigungsanteil könnte deutlich ansteigen, wenn die perspektivisch dargestellten Stoffstromumlenkungen durch das Inkrafttreten der Mantelverordnung und die Asbestproblematik stattfinden würden. Insofern muss geprüft werden, ob das heute deponierte Material (überwiegend Bodenmaterial) nicht doch durch eine weitergehende Aufbereitung, zum Beispiel Waschverfahren, einer Verwertung zugänglich gemacht werden kann. Zudem wäre es erforderlich, rechtssichere Regelungen zu geringfügig asbestbelasteten mineralischen Bau- und Abbruchabfällen zu schaffen, um zukünftig nicht größere Anteile der Fraktion „Bauschutt“ aus dem Stoffkreislauf ausschleusen zu müssen (KWB 2023a; DESTATIS 2023). Die LAGA M23 skizziert ein mögliches Vorgehen, stellt aber nur eine interne Verwaltungsvorschrift dar. Für eine rechtssichere Regelung bedarf es einer bundeseinheitlichen Verordnung, zum Beispiel durch eine entsprechende Regelung in der geplanten Verordnung zum Ende der Abfalleigenschaft oder eine eigenständige Verordnung.

Würden die skizzierten Stoffstromverschiebungen tatsächlich eintreten, könnte sich in einer sehr groben Abschätzung, die auf Basis der KWB-, der Destatis- und der bbs-Rohstoffberichte abgeleitet wurde, folgendes Bild ergeben:

- a) Die Fraktion „Boden und Steine“ würde aufbereitet, um den Anteil „Steine“ zu extrahieren. Dadurch könnten gegebenenfalls bis zu

15 Millionen Tonnen Recyclingbaustoffe zusätzlich gewonnen werden.

- b) Der Stoffstrom zur Verfüllung von Abgrabungen würde halbiert, wodurch bis zu 50 Millionen Tonnen Material umgelenkt werden müssten. Durch Aufbereitung könnten aus dem bisherigen Verfüllmaterial rund 7 Millionen Tonnen Steine beziehungsweise Recyclingbaustoffe gewonnen werden. Das verbleibende Bodenmaterial würde im Erd-, Tief-, Straßen- und Landschaftsbau eingesetzt werden.
- c) Die Fraktion „Bauschutt“ müsste aufgrund geringfügiger asbesthaltiger Bestandteile zu großen Teilen deponiert werden. Dadurch bestünde die Gefahr, dass bis zu 25 Millionen Tonnen Bauschutt aus dem Stoffkreislauf ausgeschleust werden müssten. Deponien stünden dafür bisher nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung.
- d) Die heute deponierten mineralischen Bau- und Abbruchabfälle würden aufbereitet, um mögliche Verwertungsoptionen konsequent zu nutzen. Der Deponieanteil könnte dadurch gegebenenfalls um 5 Millionen Tonnen reduziert werden.
- e) Durch die zukünftige Aufbereitung praktisch aller mineralischen Bau- und Abbruchabfälle würden mehr Feinanteile anfallen, für die es bisher nur sehr eingeschränkte Verwertungsoptionen gibt. Der zu deponierende Massenstrom könnte dadurch erheblich ansteigen.

In der Gesamtbetrachtung würden der Recyclingaufwand und der Deponierungsanteil zukünftig ansteigen. Für die Verwertung von Recyclingbaustoffen in der Herstellung neuer Bauprodukte stünde dagegen deutlich mehr Material zur Verfügung. Es wird zu prüfen sein, ob diese Veränderungen nachhaltig sind, ökologische Vorteile bieten, die Schonung primärer Rohstoffe unterstützen und ökonomisch darstellbar sind. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass durch eine Beschränkung der Verfüllung

von Abgrabungen gegebenenfalls die Versorgung mit heimischen Rohstoffen zusätzlich erschwert wird, wenn Grundstückseigentümer ihre Flächen nicht mehr nur temporär zur Verfügung stellen sollen.

3.2.2 Barrieren im Recycling

Den skizzierten Stoffstromumlenkungen stehen zahlreiche Barrieren entgegen, die durch die UAK-Leitung zu folgenden Themen zusammengefasst wurden:

- Mangelnde Akzeptanz von Recyclingbaustoffen und Bauprodukten, die Recyclingbaustoffe enthalten – unter anderem aufgrund fehlender Regelungen zum Ende der Abfalleigenschaft, idealerweise direkt nach dem Aufbereitungsprozess
- Öffentliche Ausschreibungen, die Primärbaustoffe bevorzugen und Recyclingbaustoffe teilweise explizit ausschließen
- Erhöhter Prüf-, Nachweis- und Dokumentationsaufwand, wenn Recyclingbaustoffe statt Primärbaustoffe eingesetzt werden
- Weiter erhöhter Prüf-, Nachweis- und Dokumentationsaufwand, wenn Recyclingbaustoffe in der Herstellung neuer Bauprodukte eingesetzt werden
- Unterschiedliche Prüf- und Nachweisanforderungen für Recyclingbaustoffe, die im Erd-, Tief-, Straßen- und Landschaftsbau beziehungsweise in der Herstellung neuer Bauprodukte eingesetzt werden – unter anderem aufgrund bauaufsichtlicher Vorgaben. Eine Umlenkung von Recyclingbaustoffen in andere Verwertungen ist damit heute nicht ohne Weiteres möglich
- Keine Anreize für den Verwender zur Verwertung von Recyclingbaustoffen – insbesondere nicht im Bereich der Herstellung neuer Bauprodukte

- Regional ungleichmäßiger Anfall mineralischer Bau- und Abbruchabfälle in Menge und Qualität. Insbesondere für eine Verwertung in der Herstellung neuer Bauprodukte ist eine kontinuierliche Versorgung in ausreichender Menge bei gleichbleibender Qualität jedoch Voraussetzung
- Unsicherheiten bei der Frage einer dauerhaft umweltgerechten Verwertung aufgrund häufig geänderter und verschärfter Umweltregelungen. Damit einher geht die Haftungsfrage für Recyclingbaustoffe
- Einsatz teilweise technisch nicht ausreichender Recyclingtechnologien. Fortschrittliche Aufbereitungsverfahren, zum Beispiel sensorgestützte Verfahren, sind wenig verbreitet und führen daher zu höheren Transportaufwendungen
- Selektiver Rückbau kann die Sortenreinheit mineralischer Bau- und Abbruchabfälle steigern und Aufbereitungsanlagen entlasten, ist aber rechtlich nicht konsequent verankert
- Der noch ungeklärte Umgang mit geringfügigen Asbestbelastungen verhindert den Einsatz von Recyclingbaustoffen in der Herstellung neuer Bauprodukte
- Keine eingeführten beziehungsweise allgemein anerkannten Methoden zur übergreifenden Bestimmung der Nachhaltigkeit beim Umgang mit Stoffströmen und bei Stoffstromumlenkungen

Eine detaillierte Liste der im UAK Baurohstoffe diskutierten Barrieren kann separat zur Verfügung gestellt werden.

3.2.3 Handlungsoptionen

Der UAK Baurohstoffe hat nach der Diskussion der Barrieren Vorschläge entwickelt, wie diese Barrieren abgebaut werden könnten. Als wesentliche „Enabler“ für mehr Circular Economy im Bausektor werden folgende Punkte adressiert:

Überblick der Enabler

#1	Konsequente Getrennthaltung sortenreiner Abfallströme
#2	Ende der Abfalleigenschaft
#3	Asbestthematik
#4	Mantelverordnung
#5	Selektiver Rückbau
#6	Verbesserung der Aufbereitungstechnik
#7	Prüf-, Nachweis- und Dokumentationspflichten
#8	Verbesserung der Statistik
#9	Gesetzliche Regelungen und Normung
#10	Rezyklateinsatzquoten für die Produktherstellung
#11	Anreize
#12	Ausschreibungen
#13	Recyclinggerechte Baukonstruktionen und Produktdesign
#14	Informationen in der Wertschöpfungskette
#15	Klimaschutzaspekte
#16	Förderung von Forschung und Umsetzung

Enabler #1

Konsequente Getrennthaltung sortenreiner Abfallströme (Regulatorik)

Sortenrein angelieferte mineralische Bau- und Abbruchabfälle sollten am Ende des Recyclingprozesses sortenrein auf einem Angebotsmarkt zur Verfügung gestellt werden. Insbesondere sortenreine Betonabfälle (AVV 170101) könnten der Zement- und Betonindustrie zur Verfügung gestellt werden, um wieder in den entsprechenden Herstellungsprozessen eingesetzt zu werden. Jährlich fallen rund 24 Millionen Tonnen reiner Betonbruch an, der heute in Recyclinganlagen eingesetzt wird, um Baustoffe für den Erd-, Tief-, Straßen- und Landschaftsbau herzustellen. Damit stehen bis auf einen geringen Anteil die Recyclinggesteinskörnungen und der Betonbrechsand aktuell nicht für einen Wieder-

einsatz in der Zement- oder Betonproduktion zur Verfügung. Würden aber die sortenreinen Betonfraktionen am Ende des Recyclingprozesses als „RC-Gesteinskörnung für die Betonherstellung (Sekundärabfallschlüssel AVV 191209-03)“ deklariert, könnte sich ein entsprechender Angebotsmarkt entwickeln, der industriellen Abnehmern den Zugriff auf die Sekundärrohstoffe ermöglichen würde. Die Nachfrage nach Beton mit Recyclinggesteinskörnung (R-Beton), der im Bereich der mineralischen Bauprodukte das mit Abstand größte Substitutionspotenzial aufweist, wird bereits durch entsprechende Ausschreibungs- und Vergabebedingungen öffentlicher Stellen forciert (Beispiel: Berlin). Letztlich könnte auch durch eine Regelung im Abfallrecht sichergestellt werden, dass sortenrein angelieferte Abfallströme von der Recyclinganlage auch sortenrein für eine weitere Verwendung zur Verfügung gestellt werden. Dieser Aspekt betrifft gleichermaßen alle mineralischen Bau- und Abbruchabfälle, die bereits heute über eigene Abfallschlüsselnummern erfasst werden. Um den Anfall von Bauschuttgemischen zu reduzieren, sollten zudem weitere Abfallschlüsselnummern, zum Beispiel für Kalksandstein und Porenbeton, eingeführt werden.

Enabler #2

Ende der Abfalleigenschaft (Regulatorik)

Die Akzeptanz von Recyclingbaustoffen kann verbessert und der Umgang mit ihnen erleichtert werden, wenn Recyclingbaustoffe am Ende des Aufbereitungsprozesses ihre Abfalleigenschaft verlieren und den Produktstatus erhalten. Voraussetzung für den Produktstatus ist unter anderem, dass sowohl die umwelt- als auch die bautechnischen Aspekte der Recyclingbaustoffe positiv geprüft werden. Eine gesetzliche Regelung könnte aus einer Verordnung zum „Abfallende“ bestehen, die gegebenenfalls durch Normen untersetzt wird. Ziel der Rechtsregelung sollte es sein, bereits am Ende des Recyclingprozesses „Produkte“ anbieten zu können, die ohne weitere Hürden und Auflagen als Substitute für Primärstoffe in verschiedensten Verwendungen eingesetzt werden können. Insofern ist zu begrüßen, dass das Bundesum-

weltministerium (BMUV) angekündigt hat, eine Verordnung zum Ende der Abfalleigenschaft zu erarbeiten. Ein erster Entwurf soll Anfang 2024 veröffentlicht werden.

Enabler #3

Asbestthematik (Regulatorik; Technologien und Prozesse)

Die mögliche geringfügige Belastung mineralischer Bauabfälle mit Asbestfasern, zum Beispiel aus Putzen, Spachtelmassen oder Abstandshaltern für die Betonbewehrung, kann dazu führen, dass große Mengen hochwertiger Abfälle (wie reiner Betonbruch) aus dem Stoffkreislauf ausgeschleust werden müssen. Derzeit gibt es keine technische Lösung, geringfügig belastete Bestandteile im Rahmen des Aufbereitungsprozesses aus der Gesamtheit der mineralischen Bau- und Abbruchabfälle zu extrahieren. Mit der LAGA Mitteilung 23 (LAGA M23) (LAGA 2022) haben die Länder nun eine Vorgehensweise beschrieben, wie zukünftig mit asbestverdächtigen Materialien umgegangen werden sollte. Das Konzept setzt maßgeblich auf Vorkundung und die Separierung bereits beim Rückbau. Wesentlich ist, dass Recyclingbaustoffe am Ende des Aufbereitungsprozesses rechtssicher als „asbestfrei“ eingestuft und deklariert werden können, denn nur so dürfen sie wieder in Verkehr gebracht werden. Hierzu bedarf es insbesondere der Festlegung eines Prüfverfahrens mit einem Beurteilungswert, bei dessen Unterschreitung die „Asbestfreiheit“ festgestellt wird. Die LAGA M23 sieht ein solches Prozedere zwar vor, allerdings ohne die erforderliche Rechtsverbindlichkeit. Der Bundesgesetzgeber sollte daher auf Basis der LAGA M23 einen bundeseinheitlichen Rechtsrahmen entwickeln und dabei das Kriterium „asbestfrei“ als verpflichtenden Bestandteil der Materialdeklaration festlegen. Darüber hinaus besteht bei der Asbestthematik der Bedarf an der Entwicklung neuer Technologien, die es ermöglichen, die geringfügigen Schadstoffbelastungen aus dem aufzubereitenden Abfallstrom zu extrahieren. Nur mit entsprechender Technik kann die unnötige Ausschleusung großer Mengen verdächtiger Abfallströme vermieden werden.

Enabler #4**Mantelverordnung** (Regulatorik)

Ab August 2023 werden durch die Mantelverordnung bundeseinheitliche Rahmenbedingungen für die Entsorgung von Ersatzbaustoffen und Böden geschaffen. Die Mantelverordnung wird dazu führen, dass praktisch alle mineralischen Bau- und Abbruchabfälle geprüft und so eingestuft werden, dass sie in Verwertungen des Erd-, Tief-, Straßen- und Landschaftsbaus eingesetzt werden können. Es wird allerdings nicht möglich sein, die gemäß Ersatzbaustoffverordnung als RC-1 bis RC-3 eingestuften Recyclingbaustoffe unmittelbar zum Beispiel in der Betonproduktion einzusetzen, da die Materialeinstufung allein auf Umweltanforderungen beruht. Um die Verwertung von Recyclingbaustoffen in der Produktion neuer Bauprodukte, wie Beton, zu ermöglichen, ist zusätzlich die Berücksichtigung bauaufsichtlicher Anforderungen erforderlich.

Mit der Mantelverordnung wird auch der Rechtsrahmen für die Verfüllung von Abgrabungen neu ausgestaltet. Die Mantelverordnung zielt darauf ab, die Verfüllung von Abgrabungen zu reduzieren. Sollen große Teile des Verfüllmaterials zukünftig umgelenkt werden, besteht ein erheblicher Bedarf an Bodenaufbereitungsanlagen, um die Abfallfraktion für andere Verwertungswege zunächst aufzubereiten. Durch die Aufbereitung ergibt sich die Möglichkeit, den im Bodenmaterial enthaltenen Anteil an Steinen zu extrahieren und als Recyclingbaustoff zu verwerten. Die Substitution primärer Gesteinskörnungen durch Recyclingbaustoffe kann dadurch insgesamt gesteigert werden.

Enabler #5**Selektiver Rückbau** (Regulatorik; Technologien und Prozesse)

Die Sortenreinheit mineralischer Bau- und Abbruchabfälle kann gesteigert werden, indem der selektive Rückbau von Bauwerken verpflichtend und die Einhaltung der Verpflichtung durch die Behörden entsprechend kontrolliert wird. (Siehe ergänzend auch **Enabler #13**: Recyclinggerechte Baukonstruktionen und Produktdesign.)

Enabler #6**Verbesserung der Aufbereitungstechnik**

(Infrastruktur und Logistik; Technologien und Prozesse)

Zur Aufbereitung mineralischer Bau- und Abbruchabfälle werden heute in der Regel recht einfache Trenn-, Sortier- und Brechtechniken eingesetzt, wobei in stationären Anlagen meist qualifiziertere Prozesse als in mobilen Recyclinganlagen zur Anwendung kommen. Eine Verbesserung der Aufbereitungstechnik kann dazu beitragen, Gemische besser in sortenreine Fraktionen aufzutrennen und so die Verwendbarkeit der Recyclingbaustoffe insgesamt zu steigern. Zudem kann eine qualifiziertere Aufbereitung dazu beitragen, Schadstoffanteile besser zu separieren, sodass im Ergebnis mehr verwertbares Material entsteht und gleichzeitig der Deponierungsanteil reduziert wird. Eine höhere Sortenreinheit und Materialqualität unterstützt zudem die Anerkennung von Recyclingbaustoffen als Produkt. Durch spezielle Aufbereitungs- und Behandlungsverfahren für zement- und kalkhaltige Abfälle können zudem Klimaschutzpotenziale erschlossen werden (Siehe ergänzend auch **Enabler #15**: Klimaschutzaspekte.).

Enabler #7**Prüf-, Nachweis- und Dokumentationspflichten** (Regulatorik)

Während der Einsatz von Primärrohstoffen mit keinem besonderen Prüf-, Nachweis- und Dokumentationsaufwand verbunden ist, werden an die Verwertung von Recyclingbaustoffen umfangreiche Prüf-, Nachweis- und Dokumentationsanforderungen gestellt. Eine einfache Möglichkeit der Akzeptanzsteigerung besteht mit **Enabler #2**: der Erteilung des Produktstatus. Für Verwender ergäbe sich daraus die Erleichterung, dass keine weiteren Prüf-, Nachweis- und Dokumentationspflichten beim Einsatz von Recyclingbaustoffen zu beachten sind.

Enabler #8**Verbesserung der Statistik** (Regulatorik)

Während das Abfallaufkommen statistisch gut erfasst ist, ist die Erfassung der Ausgangsströ-

me von Recyclinganlagen weitgehend unbekannt. Hier kann der Gesetzgeber nachbessern und auf konsequente Umsetzung bestehender Regelungen hinwirken. Letztlich muss kontrolliert werden, dass die Recyclinganlage jede Tonne Ausgangsmaterial einem 19er-Abfallschlüssel (Sekundärabfallschlüssel) zuordnet, der die Verwendung des Materials beschreibt. Soweit das Ende der Abfalleigenschaft erreicht wird (siehe **Enabler #2**), ist der Verwendungszweck anzugeben, wofür gegebenenfalls eine gesonderte Systematik zu schaffen ist. Ein Leitfaden des Statistischen Bundesamtes zur Deklaration von Recyclingbaustoffen am Ende des Recyclingprozesses kann die Verbesserung der Statistik unterstützen.

Enabler #9

Gesetzliche Regelungen und Normung (Regulatorik)

Während der Einsatz von Recyclinggesteinskörnungen im Beton durch umweltrechtliche, bauaufsichtliche und normative Regelungen vollständig geregelt ist, bestehen entsprechende Regelungen für andere Stoffströme (wie Ziegel, Kalksandstein oder Porenbeton) und Verwertungswege im Produktbereich bisher nur eingeschränkt oder noch gar nicht. Es bedarf entsprechender rechtlicher Regelungen und ergänzender Normen, um den Einsatz von Recyclingbaustoffen in der Herstellung neuer Bauprodukte zu unterstützen. So hat die EU-Kommission im Rahmen eines Entwurfs zur Revision der Bauprodukte-Verordnung bereits die Weichen gestellt, sogenannte „gebrauchte Produkte“ in den Geltungsbereich der Verordnung einzubeziehen. Die DIN-Normungsroadmap Circular Economy (DIN 2023) zielt ebenfalls darauf ab, Produktnormen um Aspekte des Einsatzes von Sekundärstoffen zu ergänzen.

Enabler #10

Rezyklateinsatzquoten für die Produktherstellung

(Infrastruktur und Logistik; Digitalisierung)

Mineralische Bau- und Abbruchabfälle fallen flächendeckend weder in qualitativer noch

quantitativer Hinsicht gleichmäßig an. Insofern könnten bundesweite Rezyklateinsatzquoten für die Produktherstellung zu erheblichen Problemen führen, wenn diese in Regionen zu erfüllen wären, in denen nicht ausreichend geeignete mineralische Bau- und Abbruchabfälle anfallen. Regionale Einsatzquoten könnten hier zielführender sein. So fallen in Ballungsräumen in der Regel genügend geeignete mineralische Bau- und Abbruchabfälle an, um mögliche Rezyklateinsatzquoten erfüllen zu können. Auch ein Pooling von Abfallströmen gleicher Art beziehungsweise für dieselbe Verwendung ist in Ballungsräumen einfacher möglich. Digitale Marktplätze können dabei nicht nur das Pooling unterstützen, sondern auch das Angebot für Verwender transparenter machen. Ein transparenter Angebotsmarkt erleichtert dem Verwender die Entscheidung, Recyclingbaustoffe einzusetzen, wenn diese in benötigter Quantität und Qualität regional zur Verfügung stehen.

Enabler #11

Anreize (Anreize und Förderung)

Aufwendig aufbereitete und qualitätsgesicherte Recyclingbaustoffe sind in der Regel nicht kostengünstiger als Primärrohstoffe. Je nach Aufbereitungsaufwand und Logistik können sie sogar teurer als Primärrohstoffe sein. Verschiedentlich werden daher Primärrohstoff-, Baustoff- oder Deponiesteuern gefordert, um Recyclingbaustoffe ökonomisch günstiger zu stellen. Die Lenkungswirkung dieser Steuern ist allerdings umstritten, wie das Institut der Deutschen Wirtschaft in einer Analyse Ende 2021 festgestellt hat (Janssen 2022). Danach wird eine ökologische Lenkungswirkung unter anderem aufgrund des bedarfsdeckenden Charakters der Steine-Erden-Gewinnung verfehlt. Eine rein fiskalische Verteuerung des Bauens würde dagegen wichtige politische Ziele der Bundesregierung, wie die Schaffung bezahlbaren Wohnraums, konterkarieren.

Um wirtschaftliche Anreize für den Einsatz von Recyclingbaustoffen zu etablieren, setzt die Bundesregierung mit dem Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG) (BMWSB 2023)

seit Kurzem auf eine finanzielle Förderung, die an die Erfüllung einer Nachhaltigkeitsklasse gekoppelt ist. Im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertung werden Recyclingbaustoffe vorteilhaft bewertet, sodass die Erreichung der Nachhaltigkeitsklasse und damit der Erhalt der Fördermittel begünstigt werden (BMWSB 2022b). Bisher sind die Nachhaltigkeitsbewertungssysteme allerdings sehr komplex und konnten sich daher in der Breite noch nicht durchsetzen. Durch Vereinfachungen der Bewertungssysteme könnte gegengesteuert und die Nachhaltigkeit beim Bauen in die Breite der Gesellschaft gebracht werden. Dies wäre allein deshalb vorteilhaft, weil es mit solchen Systemen möglich ist, die sich teilweise widersprechenden Bauwerksanforderungen in Bezug auf Ressourcen, Klima, Dauerhaftigkeit, Bezahlbarkeit, Rückbaubarkeit und so weiter optimal auszustatuen. Zudem setzen Nachhaltigkeitsbewertungen voraus, dass Materialdaten zusammengetragen werden, die zum Beispiel für einen Digitalen Gebäudepass genutzt werden können.

Enabler #12

Ausschreibungen (Regulatorik)

Bei öffentlichen Baumaßnahmen werden in der Regel die einzusetzenden Materialien/Baustoffe durch die Behörde im Rahmen der Ausschreibung vorgegeben. Noch zu oft wird dabei der Einsatz von Recyclingbaustoffen begrenzt oder sogar ausgeschlossen. Aufgrund der Vorbildfunktion der öffentlichen Hand wären dagegen Ausschreibungen pro Recyclingbaustoff wünschenswert. Ein Lösungsansatz wäre es, Ausschreibungen grundsätzlich produkt- und technologieoffen zu gestalten. Die damit verbundene Signalwirkung würde auch die Akzeptanz von Recyclingbaustoffen steigern. Sofern Recyclingbaustoffe das Ende der Abfalleigenschaft erreicht haben, entfällt zudem der bisher hemmende Mehraufwand gegenüber Primärbaustoffen. Die mit öffentlichen Ausschreibungen in Zusammenhang stehenden Regelwerke, wie die VOB, sind insofern anzupassen, als dass Recyclingbaustoffe grundsätzlich Berücksichtigung finden müssen.

Enabler #13

Recyclinggerechte Baukonstruktionen und Produktdesign (Daten und Digitalisierung; Prozesse und Technologien)

Um die Wiederverwendung von Bauteilen und Bauprodukten zukünftig zu erleichtern, muss das baugesetzliche Regelwerk überprüft und gegebenenfalls in Bezug auf recyclinggerechte Konstruktionen angepasst werden. Heutige Konstruktionen lassen sich im Regelfall nicht wieder in Einzelteile zerlegen, da insbesondere die Verbindungen zwischen Bauteilen nicht darauf ausgerichtet sind. Durch konstruktive Anpassungen muss zukünftig sichergestellt werden, dass Bauwerke zumindest in Teilen beschädigungsfrei rückgebaut werden können und so die Wiederverwendung auch konstruktiver Bauteile möglich wird. Die digitale Dokumentation von Bauwerken kann die Wiederverwendung unterstützen, wenn sie unter anderem Daten zum Ein- und Ausbau von Bauteilen sowie zu Verbindungstechniken und -elementen enthält. Durch ein Produktdesign, das auf komplizierte Materialmischungen verzichtet und die Rückgewinnung möglichst sortenreiner Ausgangsstoffe begünstigt, kann das recyclinggerechte Bauen zusätzlich unterstützt werden.

Enabler #14

Informationen in der Wertschöpfungskette (Daten und Digitalisierung)

Die Anforderungen an die Verfügbarkeit von Produkt-, Bauteil- und Bauwerksinformationen steigen erheblich, wenn die Themen des selektiven Rückbaus, der Wiederverwendung, der Recyclingfähigkeit und der Anerkennung aufbereiteter Recyclingbaustoffe als Produkt adressiert werden. Die Digitalisierung kann dazu beitragen, die erforderlichen Informationen innerhalb der Lieferkette und über den Lebenszyklus zur Verfügung zu stellen. Auf Produktebene wird derzeit der Digitale Produktpass gesetzlich verankert, auf Bauwerksebene wird der Digitale Gebäudepass diskutiert. Im Rahmen eines Nachhaltigkeitsbewertungssystems könnten diese Informationen gebündelt und gemeinsam aufbereitet werden. Um allen Beteiligten einen einfachen Zugang zu entsprechenden Informa-

tionen zu geben, kann das Konzept Open-BIM dienen, mit dem die benötigten Datenschnittstellen definiert werden. Was bisher allerdings fehlt, ist eine Abstimmung innerhalb der Wertschöpfungskette, welche konkreten Informationen tatsächlich zielführend sind und benötigt werden. Darüber hinaus ist unter anderem zu klären, wer welche Informationen bereitstellt, wer die Daten wie zum Beispiel auch bei Umbauten, Instandhaltungen und Sanierungen pflegt und wer Zugriff auf die Daten erhalten soll.

Enabler #15

Klimaschutzaspekte

Bereits der heutige Umgang mit mineralischen Bau- und Abbruchabfällen trägt dazu bei, die CO₂-Emissionen im Bereich der Kreislauf- und Abfallwirtschaft gering zu halten. Kann zukünftig die zu deponierende und zu verfüllende Menge reduziert werden, könnten sich weitere CO₂-Minderungen ergeben. Allerdings besteht auch die Gefahr, dass diese Minderungen durch intensiveres Recycling und längere Transportwege aufgezehrt beziehungsweise sogar überkompensiert werden. Letztlich können Klimaschutzaspekte durch einen geänderten Umgang mit mineralischen Bau- und Abbruchabfällen nur im konkreten Einzelfall ermittelt werden. Übergreifende ökobilanzielle Abschätzungen haben ergeben, dass die durch die Prozesse der mineralischen Kreislaufwirtschaft insgesamt möglichen weiteren CO₂-Minderungen eher gering sind und das Klimaschutzpotenzial der Circular Economy in diesem Bereich regelmäßig überschätzt wird. Entsprechende Ergebnisse finden sich auch im UBA-Bericht „Ermittlung der Klimaschutzpotenziale in der Kreislaufwirtschaft für Deutschland und die EU“, der im Juni 2023 veröffentlicht wurde (UBA 2023a).

Unberücksichtigt ist dabei allerdings ein Effekt, der erhebliches Klimaschutzpotenzial in sich birgt: die Rekarbonatisierung. Kalk- und zementhaltige Materialien, zum Beispiel Beton, Kalksandstein oder Porenbeton, haben die Eigenschaft, CO₂ aus der Atmosphäre aufnehmen zu können. So nimmt ein durchschnittlicher Beton im Laufe seiner Nutzung im Mittel rund

30 Kilogramm CO₂ je Kubikmeter durch natürliche Karbonatisierung wieder auf. Es verbleibt ein weiteres CO₂-Aufnahmepotenzial von etwa 120 Kilogramm je Kubikmeter Beton, das durch aktive Rekarbonatisierung gehoben werden kann. Hierbei wird die CO₂-Aufnahme durch die Zerkleinerung der Materialien und die dadurch entstehende größere Oberfläche sowie durch Einstellung geeigneter Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen beschleunigt. Obwohl in diesem Bereich noch Forschungsbedarf besteht, belegen erste Pilotprojekte, dass die Klimaschutzpotenziale durch Rekarbonatisierung sehr groß sind und vergleichsweise einfach gehoben werden können. Bezogen auf ein Abfallaufkommen von 40 Millionen Tonnen kalk- und zementhaltiger Bauabfälle könnte sich daraus ein Minderungseffekt von rund 2,5 Millionen Tonnen CO₂ jährlich ergeben, was etwa 30 % der Gesamtemissionen der nationalen Kreislauf- und Abfallwirtschaft entspricht (BMWK 2022). Um dieses Potenzial zu heben, müssen einerseits die Aufbereitungsverfahren in den Recyclinganlagen angepasst und andererseits die erforderlichen Rahmen- und Prozessbedingungen für die externe CO₂-Aufnahme in den Produktionsbetrieben geschaffen werden. Recyclingbaustoffe, die zuvor CO₂ aufgenommen haben, dienen als CO₂-Senke und können gleichermaßen zur Herstellung neuer Produkte eingesetzt werden.

Ein erhebliches Klimaschutzpotenzial liegt auch im Bereich der Betonbrechsande und bestimmter Mauerwerksbrechsande, wenn diese als Klinkersubstitute oder als Rohmehlersatz in der Zementherstellung eingesetzt werden. Erste Untersuchungen zeigen, dass bei der Zementherstellung bis zu 18 % des Klinkers durch Betonbrechsand substituiert werden können, wodurch die Prozessemissionen dieses Klinkeranteils entfallen und sich die CO₂-Emissionen des Zements entsprechend reduzieren (VDZ 2022).

Um das maximale Klimaschutzpotenzial zu heben, sollten die mineralischen Bauabfälle jeweils dort eingesetzt werden, wo sie den größten Beitrag zum Klimaschutz leisten können. Dies setzt eine gezielte Aufbereitung und eine

konsequente Bereitstellung der Materialien für die klimarelevanteste Verwendung voraus.

Klimaschutzpotenziale bestehen auch in der Wiederverwendung ganzer Bauteile. Allerdings ist dieses Potenzial heute kaum zu erschließen, da die Konstruktionen bestehender Bauwerke einen zerstörungsfreien Rückbau als Voraussetzung für eine Wiederverwendung nur in seltenen Ausnahmefällen ermöglichen. Der bestehende Bauwerksbestand wird daher beim Rückbau auch in den nächsten Jahrzehnten vorrangig dem Recycling zugeführt werden. Eine zügige Umstellung der Konstruktionsprinzipien von Bauwerken, die die Wiederverwendung begünstigen (siehe **Enabler #13**), würde dieses Klimaschutzpotenzial zumindest in der Langfristsperspektive zugänglich machen.

Enabler #16

Förderung von Forschung und Umsetzung

Eine effizientere Nutzung mineralischer Bau- und Abbruchabfälle – und insbesondere die Hebung möglicher Klimaschutzpotenziale – muss durch entsprechende Forschungsförderung unterstützt werden. Auch wenn die Forschungsaktivitäten in bau- und baustoffbezogenen Fragen in den letzten Jahren gestärkt wurden, reichen die Fördermittel bisher bei Weitem nicht aus, um zeitnah zu umsetzungsreifen Lösungen zu kommen. Ein Hemmnis für die Teilnahme an Forschungsaktivitäten stellt nicht selten der von den Unternehmen zu tragende, teilweise recht hohe finanzielle Eigenanteil dar – dies gilt insbesondere für Start-ups und kleine und mittlere Unternehmen (KMU). Die zu behandelnden Materialfragen sind komplex und setzen zunehmend das Denken in Wertschöpfungsketten voraus. Um spezielle Stoffströme aus dem Gesamtabfallaufkommen besonders effizienten und klimafreundlichen Verwendungen zuführen zu können, muss nicht nur die passende Aufbereitungstechnik entwickelt und angewendet werden, auch die Materialien müssen im Hinblick auf ihre langen Nutzungszeiten im Bausektor, ihre physikalischen und umweltrelevanten Eigenschaften ausgiebig untersucht werden. Heute dauert es viele Jahre, bevor Forschungs-

ergebnisse in baurechtlichen Regelungen und Normen verankert sind. Es bedarf durch Förderung neu zu entwickelnder Lösungsansätze, um zu einer schnelleren Umsetzung absehbar zielführender Forschungsergebnisse in der Praxis zu gelangen.

3.2.4 Machbarkeit und Zielkonflikte

Im Rahmen einer Umfrage wurden die Teilnehmenden des UAK Baurohstoffe gebeten, die Machbarkeit der diskutierten Enabler einzuschätzen. Dabei sollten die rechtliche, die organisatorische, die technische, die ökologische und die sozio-ökonomische Machbarkeit der einzelnen Lösungsvorschläge individuell beurteilt werden.

Die Teilnehmenden konnten die unterschiedlichen Machbarkeiten jedes Lösungsvorschlags mit „gut“, „mittel“, „schlecht“ oder „keine Angabe“ einschätzen. Im Ergebnis wurden die Lösungsvorschläge zu 70 % bis über 90 % als „machbar“ (Einschätzungen „gut“ und „mittel“) eingeschätzt. Eine Ausnahme bildet lediglich das Thema „Asbest“ (**Enabler #3**), das nur von 55 % der Teilnehmenden als „machbar“ beurteilt wurde.

Nachfolgend wird nicht auf die detaillierten Einschätzungen zu einzelnen Enablern eingegangen, sondern es werden die Machbarkeiten entlang des Abfallkreislaufs, ergänzt um Aspekte des Klimaschutzes, diskutiert. Ökonomische Aspekte werden als Querschnittsthema in den einzelnen Unterkapiteln angesprochen, wobei eine detaillierte ökonomische Betrachtung mit Quantifizierungen nicht Gegenstand der Arbeit der Dialogplattform war.

- Rückbau
- Anlieferung an Behandlungs-/Recyclinganlagen
- Abgabe von Sekundärstoffen durch Behandlungs-/Recyclinganlagen
- Öffentliche Ausschreibungen
- Aspekte des Klimaschutzes

Die Zielkonflikte in den Bereichen Recht, Organisation, Technische Aspekte, Ökologie und Ökonomie werden im Anschluss behandelt.

3.2.4.1 Machbarkeiten

Rückbau

In diesem Abschnitt sind folgende Lösungsvorschläge Teil der integrativen Betrachtung:

#1	Konsequente Getrennthaltung sortenreiner Abfallströme
#3	Asbestthematik
#5	Selektiver Rückbau
#7	Prüf-, Nachweis- und Dokumentationspflichten
#8	Verbesserung der Statistik
#9	Gesetzliche Regelungen und Normung
#11	Anreize
#14	Informationen in der Wertschöpfungskette

Um Sekundärstoffe wieder im Produktbereich einsetzen zu können, ist in erster Linie ihre Sortenreinheit entscheidend. Der größte Hebel liegt hier im Bereich des Rückbaus von Bauwerken, indem möglichst viele Materialien selektiv und sortenrein zurückgewonnen werden (**Enabler #5**). Obwohl der Grundsatz des selektiven Rückbaus rechtlich verankert ist, wird er nicht immer vollzogen, da es unter anderem mit der technischen und der wirtschaftlichen Unmöglichkeit schwer zu kontrollierende Ausnahmen von den Maßgaben der selektiven Erfassung und der Getrennthaltung gibt. Um hier zu Verbesserungen zu kommen, könnten folgende Elemente hilfreich sein:

a) Abrissgenehmigung

In einigen Bundesländern werden bereits heute Abrissgenehmigungen gefordert. Durch die bundesweite Einführung einer Abrissgenehmigung bestünde die Möglichkeit, den zu erwartenden Materialanfall, zum Beispiel ausgedrückt in Abfallschlüsselnummern, deutlich besser ab-

schätzen zu können. Die Vorgaben der Abrissgenehmigung sollten so gefasst sein, dass der Anteil gemischter Bauabfälle minimiert wird. Zudem könnte ein Nachweisverfahren an die Abrissgenehmigung gekoppelt werden, in dem die tatsächlich angefallenen Abfallströme durch entsprechende Entsorgungsbelege nachzuweisen sind. Dem Umstand, dass heute eine nur geringe Kontrolle der Behörden in Bezug auf die Umsetzung erfolgt, könnte so begegnet werden. Obwohl der bürokratische Aufwand (**Enabler #7 und #9**) durch eine Abrissgenehmigung erhöht würde, könnte dieser Mehraufwand gerechtfertigt sein, da eine höhere Sortenreinheit zu besseren Verwertungsmöglichkeiten führt.

Eine verbesserte Ausstattung der Vollzugsbehörden in personeller, finanzieller und informationstechnischer Hinsicht könnte außerdem dazu beitragen, die Umsetzung rechtlicher Vorgaben zu stärken.

b) Vorerkundung des Bauwerks

Die Vorerkundung eines Bauwerks vor dem Rückbau könnte ebenfalls im Rahmen einer Abrissgenehmigung adressiert werden. Insbesondere bei Bauwerken, deren Errichtung vor 1994 begonnen wurde, kann die Vorerkundung dazu dienen, asbesthaltige Bestandteile separat zu entsorgen (**Enabler #3**). Mit der Asbestproblematik besteht die Gefahr, dass relevante Massenströme aus der Verwertung in die Beseitigung gedrängt werden. Insofern ist es wichtig, dass mit der Vorerkundung eine Separierung asbesthaltiger Bestandteile verbunden ist, so dass die übrigen Abfälle als „asbestfrei“ gekennzeichnet werden können. Dadurch würde die Rechtssicherheit im Umgang mit mineralischen Bauabfällen insgesamt verbessert. Die Bestätigung der Asbestfreiheit entlang der Wertschöpfungskette (**Enabler #11**) ist ein neuer, gleichzeitig aber wesentlicher Bestandteil, um den „Circular Economy“-Ansatz zu unterstützen. Die Eigenschaft „asbestfrei“ könnte zum Beispiel in der Gewerbeabfallverordnung, der geplanten Abfallende-Verordnung, einer eigenständigen Verordnung oder der Rechtsgrundlage für Abrissgenehmigungen verankert werden (**Enabler #9**). Die Mitteilung 23 der LAGA reicht zumindest

als Rechtsgrundlage nicht aus. Sie könnte aber als Vorlage für eine bundesweite Regelung dienen, da unter anderem Vorgehensweise, Prüfverfahren und Beurteilungswert adressiert sind.

c) Vervollständigung der Abfallschlüsselnummern in der Abfallverzeichnisverordnung

Die derzeitige Abfallverzeichnisverordnung hat sowohl Lücken als auch Unschärfen (**Enabler #8 und #9**). So gibt es beispielsweise weder für Kalksandstein noch für Poren- oder Leichtbeton gesonderte Abfallschlüsselnummern. Im Bereich der Dämmstoffe fehlt es bei den Abfallschlüsselnummern an einer ausreichenden Differenzierung, sodass Dämmstoffe unterschiedlichster Materialien in einer Abfallschlüsselnummer zusammengefasst werden. Dies führt dazu, dass teilweise sortenrein anfallende Abfälle in gemischte Abfallfraktionen eingeordnet werden müssen und in Gemischtfractionen entsorgt werden (**Enabler #1 und #5**).

Fehlende Abfallschlüsselnummern führen außerdem dazu, dass bei der Zuordnung von Abfällen zu Abfallschlüsselnummern ein Interpretationsspielraum besteht, wodurch die Abfallstatistik an Präzision verliert. Zur Unterstützung der sortenreinen Erfassung und Getrennthaltung sowie der Verbesserung der Abfallstatistik (**Enabler #14**) sollten die Lücken und Unschärfen durch die Ergänzung von Abfallschlüsselnummern beseitigt werden.

Anlieferung an Behandlungs-/Recyclinganlagen

In diesem Abschnitt sind folgende Lösungsvorschläge Teil der integrativen Betrachtung:

#1	Konsequente Getrennthaltung sortenreiner Abfallströme
#4	Mantelverordnung
#6	Verbesserung der Aufbereitungstechnik
#7	Prüf-, Nachweis- und Dokumentationspflichten
#8	Verbesserung der Statistik

#9	Gesetzliche Regelungen und Normung
#11	Anreize
#12	Ausschreibungen
#14	Informationen in der Wertschöpfungskette
#15	Klimaschutzaspekte
#16	Förderung von Forschung und Umsetzung

a) Bodenmaterial

Mit der Mantelverordnung wird die Bundesbodenschutzverordnung novelliert (**Enabler #4**). Neben höheren Qualitätsanforderungen soll unter anderem die Verfüllung von Abgrabungen eingeschränkt werden. Da heute mehr als 90 Millionen Tonnen Bodenmaterial – in der Regel direkt – im Rahmen von Verfüllungen verwertet werden, ist mittelfristig von erheblichen Stoffstromumlenkungen in andere bodenähnliche Anwendungen, wie Geländeanhebungen, Deichaufstockungen, Lärmschutzwälle etc., auszugehen. Aufgrund der zukünftig höheren Qualitätsanforderungen wird vielfach die Notwendigkeit bestehen, Bodenmaterial aufzubereiten, um die alternativen Verwertungswege nutzen zu können. Der konsequente Einsatz von Bodenbehandlungsanlagen könnte mehrere Vorteile bieten: Zum einen könnte der im Bodenmaterial enthaltene Anteil an Steinen separiert, aufbereitet und als Recyclingbaustoff genutzt werden (**Enabler #6**). Hierdurch würde sich die absolute Menge der Recyclingbaustoffe erhöhen und ein zusätzlicher Beitrag zum Ressourcenschutz geleistet. Zum anderen könnten bei der Bodenbehandlung Schadstoffe aus dem Bodenmaterial entfernt werden, sodass der schadstoffarme Anteil einer Verwertung beziehungsweise einer höheren Verwertungsstufe zugeführt werden kann. Die Schadstoffentfrachtung könnte gleichzeitig dazu beitragen, den heute hohen Deponierungsanteil von Bodenmaterial zu reduzieren, was sich nicht zuletzt auf den Klimaschutz positiv auswirken würde (**Enabler #15**).

Eine erhebliche Herausforderung dürfte es zukünftig darstellen, für das bisher in Verfüllungen

verwertete Bodenmaterial in räumlicher Nähe zum Anfallort geeignete alternative Verwertungsmöglichkeiten zu finden, die die großen Massenströme überhaupt aufnehmen können. Hier wird entscheidend sein, dass durch die Regionalplanung entsprechende Projekte in ausreichendem Umfang vorgehalten werden. Zudem muss die Lenkung der Bodenmaterialien durch Ausschreibungen und Vergabeverfahren (**Enabler #12**) konsequent in diese alternativen Anwendungen gesteuert werden. Die Bereitschaft der öffentlichen Hand, Sekundärstoffe bei der Beschaffung Primärstoffen vorzuziehen, ist aktuell noch nicht ausreichend vorhanden – insbesondere dann nicht, wenn die Kosten für Sekundärstoffe über denen der Primärstoffe liegen. Die Regionalität der Projekte ist allerdings entscheidend, um weite Transporte der Massengüter, die mit entsprechenden Klimabelastungen einhergehen, zu vermeiden (**Enabler #15**).

Eine Intensivierung der Bodenbehandlung und -aufbereitung wird dazu führen, dass sich der Umgang mit Bodenmaterial und damit das Bauen insgesamt verteuern werden (**Enabler #11**). Seit Jahren sucht unter anderem das Bundesbauministerium zum Beispiel im Bündnis für bezahlbares Wohnen nach Möglichkeiten, die Baukosten zu senken, da sich abzeichnet, dass viele Projekte, wie der Bau von Sozialwohnungen, zu den heutigen Konditionen kaum mehr möglich ist. Eine Intensivierung der Bodenaufbereitung wäre in Bezug auf diese Ziele kontraproduktiv und müsste gegebenenfalls gefördert werden (**Enabler #16**).

Darüber hinaus befürchtet die rohstoffgewinnende Industrie, dass die Beschaffung von Grundstücken für den Lagerstättenabbau erschwert wird, wenn zum Beispiel heute landwirtschaftlich genutzte Flächen nach dem Abbau nicht wieder für eine entsprechende Nutzung zur Verfügung gestellt werden können. Dies könnte die Versorgungssicherheit durch heimische Rohstoffe negativ beeinflussen.

b) Recyclinganlagen

In Deutschland gibt es rund 2.500 Recyclinganlagen, davon etwa die Hälfte mobil, die andere

Hälfte stationär. Während die mobilen Anlagen den Vorteil der Standortnähe haben, wodurch Transporte minimiert werden, haben sie häufig den Nachteil, dass sie nur über eine technische Basisausstattung verfügen. Stationäre Anlagen sind in der Regel technisch besser ausgestattet. Mit Blick auf eine Verwertung von Sekundärstoffen im Produktbereich, die meist mit höheren Qualitätsanforderungen verbunden ist, haben stationäre Anlagen Vorteile (**Enabler #6**).

Insgesamt weisen Recyclinganlagen heute keinen besonders fortschrittlichen technischen Stand auf. So sind Trenn- und Sortierprozesse, wie die Aufbereitung von mineralischen Abfallgemischen in unterschiedliche Bestandteile, zum Beispiel durch Sensortechnik, kaum verbreitet. Trenntechniken für Verbundbaustoffe und Klebeverbindungen sind aktuell entweder zu aufwendig oder noch gar nicht verfügbar. Der technischen Erweiterung stationärer Recyclinganlagen steht häufig entgegen, dass bereits die dafür erforderlichen Flächen entweder nicht zur Verfügung stehen, Erweiterungen nicht genehmigt oder durch Anwohner abgelehnt werden. Da die Recyclingbranche überwiegend klein- und mittelständisch geprägt ist, fehlt vielfach auch das finanzielle und personelle Fundament, um qualitativ höherwertige Verfahren zu etablieren (**Enabler #6**) oder sich an entsprechenden Forschungen zu beteiligen (**Enabler #16**). Hier müssen Wege gefunden werden, die Branche zu unterstützen, damit Investitionen vorgenommen werden und neue technische Entwicklung den Weg in die Praxis finden. Die notwendigen Flächen müssen zur Verfügung gestellt und Genehmigungsverfahren von Neuanlagen oder Erweiterungen nicht erschwert, sondern erleichtert werden (**Enabler #7 und #9**).

Der bisherige technische Stand erlaubt den Recyclinganlagen die Aufbereitung von Sekundärstoffen, die als Ausgangsmaterialien für Baustoffgemische des Erd-, Tief-, Straßen- und Landschaftsbaus geeignet sind. Doch selbst besser ausgestattete Recyclinganlagen nutzen aufbereitete Recyclinggesteinskörnungen heute dazu, Baustoffgemische für den Erd-, Tief-, Straßen- und Landschaftsbau herzustellen.

Dadurch stehen auch sortenrein angelieferte Betonabfälle (AVV 170101) heute nur in geringer Menge für den Wiedereinsatz zum Beispiel in der Zement- oder Betonindustrie zur Verfügung. Dies ist jedoch Voraussetzung, um Produktkreisläufe schließen (**Enabler #1**) und Klimaschutzpotenziale heben zu können (**Enabler #15**). Insofern bedarf es einer Änderung im Umgang mit den einzelnen Stoffströmen, wobei die Nachfrageseite entscheidend für eine Ausrichtung des Angebots ist.

1. Sortenrein angelieferte Abfälle, wie reine Betonabfälle, sollten in der Recyclinganlage sortenrein gehalten und am Ende des Aufbereitungsprozesses auch sortenrein zur Verfügung gestellt werden (**Enabler #1**). Eine Vermischung sortenreiner Abfälle zu Baustoffgemischen sollte nicht die Regel bleiben. Entsprechende Klarstellungen im Kreislaufwirtschaftsgesetz oder in der Gewerbeabfallverordnung (**Enabler #9**) könnten diesen Wandel ebenso unterstützen wie Kontrollen der zuständigen Behörden.
2. Am Ausgang der Recyclinganlage sollten alle Stoffströme einem Sekundärabfallschlüssel zugeordnet werden (**Enabler #1 und #8**). Der Sekundärabfallschlüssel kennzeichnet unter anderem die Verwendungsmöglichkeiten eines Stoffstroms, zum Beispiel als Recycling-Gesteinskörnung für die Verwendung im Beton. Dabei sollte sich die Zuordnung zu einer Sekundärabfallschlüsselnummer immer an der bestmöglichen Option für einen Einsatz im Produktbereich orientieren.
3. Durch die Zuordnung von Materialien zu Sekundärabfallschlüsselnummern wird automatisch die Statistik verbessert (**Enabler #8**). Allerdings sollte die Datenkette von den Recyclinganlagen über die Statistischen Landesämter zum Statistischen Bundesamt ebenfalls verbessert werden (**Enabler #14**). Bisher werden Sekundärabfallschlüssel entweder kaum genutzt oder die Daten werden aggregiert, worunter Nachvollziehbarkeit und Datenqualität leiden. Verbindliche Vorgaben zur statistischen Erfassung und zum
- Datenumgang könnten zu Verbesserungen beitragen.
4. Recyclinganlagen sollten Materialströme so aufbereiten, dass eine Nutzung der Sekundärstoffe in der jeweils effizientesten Verwendung möglich ist (**Enabler #1, #8, #9 und #15**). Sind Recyclinganlagen aufgrund ihrer technischen Ausstattung nicht dazu in der Lage, sollten die entsprechenden Abfälle von diesen Recyclinganlagen nicht angenommen werden dürfen (**Enabler #6**). So zeichnet sich zum Beispiel als effizienteste Verwendung für Betonabfälle ein Aufbereitungsverfahren ab, bei dem der Zementstein separiert wird, um diesen zum Beispiel als Klinkersubstitut in der Zementindustrie einzusetzen und dadurch erhebliche Klimaschutzpotenziale zu heben. Entsprechende Regelungen könnten im Rahmen von Betriebsgenehmigungen verankert werden (**Enabler #9**). Alternativ kann ein technischer Mindeststandard für Recyclinganlagen, zum Beispiel in der Gewerbeabfallverordnung, vorgeschrieben werden. Die Aufbereitung von Sekundärstoffen für die jeweils effizienteste Verwendung steht dabei grundsätzlich unter dem Vorbehalt, dass die speziell aufbereiteten Sekundärstoffe dann auch von der abnehmenden Industrie vollständig aufgenommen und für die effizienteste Verwendung eingesetzt werden. Insofern könnte der Gesetzgeber alternativ auch einen Rechtsrahmen für entsprechende Vereinbarungen in der Wertschöpfungskette schaffen.
5. Die Mantelverordnung legt mit der Ersatzbaustoffverordnung Ausgangsmaterialien für bestimmte Ersatzbaustoffe fest (**Enabler #4**). Zur Herstellung von Recyclingmaterialien der Klassen RC-1 bis RC-3 können unter anderem sortenreine Abfälle, wie Beton, eingesetzt werden (**Enabler #1**). Da die Ersatzbaustoffverordnung ausschließlich Verwertungen im Bereich technischer Bauwerke des Erd-, Tief-, Straßen- und Landschaftsbaus regelt, stehen diese Regelungen einer Verwertung im Produktbereich entgegen (**Enabler #9**). Um insbesondere sortenreine

Materialströme in effizientere Verwertungen umzulenken, sollten Änderungen der Ersatzbaustoffverordnung geprüft werden. Würden sortenreine Materialströme prioritär in den Produktbereich gelenkt, würde sich zudem der Vorteil ergeben, dass diese nicht doppelt geprüft werden müssten (**Enabler #7**), denn die Prüfvorschriften der Mantelverordnung entsprechen nicht den bauaufsichtlichen Prüfvorschriften für die Verwendung im Produktbereich. Eine Lenkung von Stoffströmen in den Produktbereich kann dabei auf die Materialien beschränkt werden, deren dortiger Einsatz zu einer Verbesserung des Ressourcen- und/oder Klimaschutzes führt.

**Abgabe von Sekundärstoffen durch
Behandlungs-/Recyclinganlagen**

In diesem Abschnitt sind folgende Lösungsvorschläge Teil der integrativen Betrachtung:

#2	Ende der Abfalleigenschaft
#6	Verbesserung der Aufbereitungstechnik
#7	Prüf-, Nachweis- und Dokumentationspflichten
#8	Verbesserung der Statistik
#9	Gesetzliche Regelungen und Normung
#11	Anreize
#12	Ausschreibungen
#13	Recyclinggerechte Baukonstruktionen und Produktdesign
#14	Informationen in der Wertschöpfungskette

Heute stellen Recyclinganlagen vorrangig Baustoffgemische her, deren Bezeichnungen sich an den Vorgaben der Verwender im Erd-, Tief-, Straßen- und Landschaftsbau orientieren. Eine einheitliche Nomenklatur, wie sie durch die Verwendung von Sekundärabfallschlüsselnummern möglich wäre, ist keine Praxis (**Enabler #8**). Dies führt unter anderem dazu, dass sich bisher kein Angebotsmarkt für zum Beispiel sortenreine Sekundärstoffe gebildet hat (**Ena-**

bler #1 und Enabler #14). Mögliche Abnehmer sortenreiner Abfallströme haben heute Schwierigkeiten, einen Überblick über das Angebot zu gewinnen und daher kaum die Möglichkeit, die für den Produktbereich erforderliche Materialbeschaffung in qualitativer und quantitativer Hinsicht sicherzustellen. Eine Verpflichtung der Recyclinganlagen, Sekundärstoffe mit einem bundesweit einheitlichen Sekundärabfallschlüssel zu kennzeichnen und auf einem digitalen Marktplatz anzubieten, würde die Möglichkeiten einer Verwertung im Produktbereich erheblich verbessern (**Enabler #11**).

Digitale Marktplätze (**Enabler #14**) mit entsprechenden Angeboten wären noch attraktiver, wenn die Sekundärstoffe nach Absolvieren der für den jeweiligen Verwendungszweck erforderlichen Prüfungen nicht als Abfälle, sondern als Produkte angeboten werden könnten (**Enabler #2**). Im Hinblick auf digitale Marktplätze im Bausektor gibt es in der Bundesrepublik noch sehr großen Handlungsbedarf. Der Abfallstatus führt nicht nur zu einem Akzeptanzproblem (**Enabler #11**), sondern hat auch Auswirkungen auf den Umgang mit den Sekundärstoffen (**Enabler #7**). Behördliche Genehmigungen für Produktionsbetriebe sind üblicherweise auf den Umgang mit Primärmaterialien ausgerichtet. Durch den Einsatz von Sekundärstoffen, die dem Abfallrecht unterliegen, müssen die Betriebsgenehmigungen gegebenenfalls um abfall- und immissionsschutzrechtliche Elemente ergänzt werden, was nicht nur einen bürokratischen Mehraufwand bedeutet, sondern auch Auswirkungen auf Betriebsprozesse hat (**Enabler #7 und #9**). Dieser Mehraufwand kann vermieden werden, wenn die Sekundärstoffe am Ende des Recyclingprozesses ihre Abfalleigenschaft verlieren und den Produktstatus erlangen (**Enabler #2**). Das Bundesumweltministerium (BMUV) plant derzeit eine Abfallende-Verordnung, mit der ein gesetzlicher Rahmen für die Entlassung von Sekundärstoffen aus dem Abfallregime geschaffen werden soll (**Enabler #9**). Ein erster Entwurf soll Anfang 2024 veröffentlicht werden. Ergänzend könnte geprüft werden, ob auch im Rahmen der Betriebsgenehmigungen von Recyclinganlagen festgelegt werden kann, dass

entsprechend aufbereitete Sekundärstoffe für einen bestimmten Verwendungszweck als Produkte und nicht als Abfälle abgegeben werden können (**Enabler #8, #11 und #14**).

Das Erreichen des Produktstatus hätte zudem positive Auswirkungen auf Ausschreibungen und Vergaben, da Vorbehalte gegenüber Sekundärstoffen damit ausgeräumt wären und eine Gleichstellung von Sekundär- und Primärmaterial gegeben wäre (**Enabler #12**). Darüber hinaus würde sich der Dokumentations- und Nachweisaufwand, der heute mit einer Verwertung von Abfällen einhergeht, für die Verwendung erheblich reduzieren (**Enabler #7 und #11**). Da die Recyclinganlagen für die erforderlichen Prüfungen der Sekundärstoffe zuständig sind und die Unterlagen für entsprechend Fremdüberwachungen vorhalten müssen, würde für die weitere Verwendung ein Nachweis genügen, der dem von Primärstoffen entspricht (**Enabler #7**).

Das Erreichen des Abfallendes stellt zudem einen Anreiz dar, Sekundärstoffe in der Produktion neuer Bauprodukte einzusetzen (**Enabler #2 und #11**). Im Gegensatz zum Einsatz von Sekundärstoffen mit Abfallstatus sind weder Ergänzungen von Produktnormen noch Änderungen baurechtlicher Regelungen erforderlich. Das ist allein deshalb von Vorteil, weil Produktnormen für mineralische Baustoffe und Bauprodukte überwiegend europäisch harmonisierte Normen sind, die aktuell durch die EU-Kommission weder als neue Normen noch als Aktualisierungen bestehender Normen im EU-Amtsblatt veröffentlicht werden (**Enabler #9 und #13**). Bereits seit rund fünf Jahren werden praktisch keine europäisch harmonisierten Bauproduktenormen mehr im europäischen Amtsblatt zitiert. Auf EU-Ebene wird derzeit eine Revision der Bauprodukte-Verordnung vorbereitet. Von einer Veröffentlichung von Bauproduktenormen auf Basis der aktuellen Verordnung kann daher nach Aussagen der EU-Kommission auch in den nächsten Jahren nicht ausgegangen werden. Für neue Normen nach der zukünftigen Bauprodukte-Verordnung sieht die EU-Kommission einen Umstellungszeitraum bis 2045 vor. Ohne

das Erreichen des Abfallendes (**Enabler #2**) werden Sekundärstoffe daher auf absehbare Zeit nicht in solchen Bauprodukten eingesetzt werden können, die unter der europäischen Bauprodukte-Verordnung durch harmonisierte Normen geregelt sind.

Öffentliche Ausschreibungen

In diesem Abschnitt sind folgende Lösungsvorschläge Teil der integrativen Betrachtung:

#2 Ende der Abfalleigenschaft

#12 Ausschreibungen

Ein großer Nachfrager nach Bauleistungen und damit mineralischen Roh- und Baustoffen ist die öffentliche Hand. Durch Ausschreibungs- und Vergabeverfahren legt die öffentliche Hand fest, welche Stoffe in welchen Maßnahmen eingesetzt werden. Da die öffentliche Hand gleichzeitig den rechtlichen Rahmen für die Verwertung von Sekundärstoffen festlegt, sollte man erwarten, dass bei öffentlichen Ausschreibungen keinerlei Vorbehalte gegen den Einsatz von Sekundärstoffen bestehen. Immer wieder ist aber festzustellen, dass Sekundärstoffe im Rahmen von Ausschreibungen und Vergaben der öffentlichen Hand ausgeschlossen werden (**Enabler #12**), obwohl sie sowohl umwelt- als auch bautechnisch geeignet wären. Der fachlich nicht nachvollziehbare Ausschluss hat dabei Signalwirkung, denn wenn die öffentliche Hand ihrer Vorreiterrolle nicht gerecht wird, mindert das die grundsätzliche Akzeptanz von Sekundärstoffen auch in der Privatwirtschaft.

Bei Ausschreibungen und Vergaben sollte zukünftig konsequent darauf geachtet werden, Sekundärstoffe nicht zu benachteiligen. Soweit Sekundärstoffe bei Ausschreibungen und Vergaben ausgeschlossen werden, sollte eine einklagbare Begründung erforderlich sein – auch von der öffentlichen Hand. Zur Verbesserung der Akzeptanz wird empfohlen, dass Sekundärstoffe am Ende des Recyclingprozesses das Ende der Abfalleigenschaft erreichen (**Enabler #2**). Mit dem Produktstatus wären Primär- und Se-

kundärstoffe gleichgestellt und ein Ausschluss in Vergabeverfahren würde vermieden.

Aspekte des Klimaschutzes

In diesem Abschnitt sind folgende Lösungsvorschläge Teil der integrativen Betrachtung:

#6	Verbesserung der Aufbereitungstechnik
#7	Prüf-, Nachweis- und Dokumentationspflichten
#10	Rezyklateinsatzquoten für die Produktherstellung
#13	Recyclinggerechte Baukonstruktionen und Produktdesign
#15	Klimaschutzaspekte

Aus Sicht des Klimaschutzes ist der Umgang mit mineralischen Bau- und Abbruchabfällen vor allem eine Frage der Transportwege (**Enabler #15**). Dies liegt darin begründet, dass der Einsatz von mineralischen Sekundärstoffen nur zu geringen Einsparungen von Treibhausgasen in Bezug auf ein Produkt oder ein Bauwerk führt, denn die Sekundärstoffe ersetzen nur solche Primärstoffe, die einen vergleichsweise kleinen ökologischen Fußabdruck haben. So liegt der CO₂-Fußabdruck für die Herstellung einer Tonne Kies gemäß der Ökobau.Dat des Bundes bei rund 2,9 Kilogramm CO₂ (ÖKOBAUDAT 2021-2022). Dieser Wert wird entsprechend für die Substitution angesetzt, wenn statt der Primärstoffe Sekundärstoffe eingesetzt werden. Der Transport einer Tonne Material per LKW schlägt dagegen mit rund 0,09 Kilogramm CO₂ je Kilometer zu Buche (ÖKOBAUDAT 2021-2022). Das bedeutet, dass der ökologische Vorteil der stofflichen Substitution bereits nach rund 30 Kilometern zusätzlichem Transportweg aufgezehrt ist. Müssen Sekundärstoffe also 30 Kilometer weiter als Primärstoffe transportiert werden, um im Produktbereich eingesetzt werden zu können, sind die ökologischen Vorteile der stofflichen Substitution bereits aufgezehrt. Der Recyclingaufwand für die Sekundärstoffe ist dabei noch nicht einmal berücksichtigt (**Enabler #13**).

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass bundesweite Rezyklateinsatzquoten für Sekundärstoffe im Produktbereich eher kritisch zu beurteilen sind (**Enabler #10**). Müssten solche Quoten in Regionen erfüllt werden, in denen keine Abfallströme in ausreichender Menge und Qualität anfallen, müssten die Sekundärstoffe durch Transporte aus entfernten Regionen beschafft werden – aufgrund der Transportemissionen mit entsprechenden Nachteilen im Rahmen einer ökologischen Gesamtbetrachtung (**Enabler #15**).

Im Hinblick auf eine Regelung von Rezyklateinsatzquoten muss außerdem berücksichtigt werden, dass dadurch Stoffströme in viele Einzelanwendungen verteilt werden, ohne dabei die stoffstromspezifisch effizienteste Verwendung zu unterstützen. Andere Kreislaufwirtschaftsstrategien wie Reparatur oder Wiederverwendung könnten dadurch verdrängt werden.

Aus ökologischer Sicht wäre es wünschenswert, wenn in jedem Einzelfall der Umgang mit mineralischen Bauabfällen so erfolgen könnte, dass sich die jeweils geringsten ökologischen Umweltwirkungen ergeben. Eine Betrachtung des Einzelfalls ist in der täglichen Praxis aber nicht umsetzbar (**Enabler #7**). Pragmatischer ist daher der Ansatz der eher pauschalen Stoffstromlenkung in die Verwendungen, die in einer Gesamtbilanz die geringsten Umweltwirkungen hervorrufen (**Enabler #15**).

So führt die vorgeschlagene Stoffstromlenkung von Teilen der Betonabfälle in die Zementindustrie grundsätzlich zu ökologischen Vorteilen, wenn die Rekarbonatisierungs-, die Klinkersubstitutions- oder die Rohmehleinsatzpotenziale genutzt werden. Derartige Stoffstromlenkungen können pauschal festgelegt werden, denn sie führen in der Gesamtbetrachtung auch dann zu ökologischen Vorteilen – konkret zur Minderung um mehrere Millionen Tonnen CO₂ je Jahr –, wenn die Materialien über weitere Strecken zum nächsten Zementwerk transportiert werden müssen.

Die gleichen Überlegungen können zu dem Schluss führen, auf eine intensive Aufbereitung von Gemischen mit dem Ziel der Verbesserung der Sortenreinheit dann zu verzichten, wenn zum Beispiel im örtlichen Umfeld keine Verwendungsmöglichkeiten für die aufwendiger aufbereiteten Bestandteile im Produktbereich bestehen (**Enabler #6**).

Der Ansatz der Stoffstromlenkung zielt darauf ab, mit möglichst wenigen, dafür klaren Vorgaben Stoffströme in die Bereiche zu lenken, in denen sie ökologische Vorteile generieren. Einzelfallbetrachtungen sind dann ebenso wenig erforderlich wie Rezyklateinsatzquoten oder andere Steuerungsinstrumente (**Enabler #11**). Zudem können Stoffstromlenkungen preisdämpfend wirken, während zum Beispiel Rezyklateinsatzquoten eher dazu führen, dass einzelne Sekundärstoffe stark nachgefragt werden, wodurch sich ein entsprechender Preisdruck ergeben kann.

3.2.4.2 Zielkonflikte

Die Lösungsvorschläge fokussieren sich auf eine Verbesserung des Ressourcen- und Klimaschutzes beim Umgang mit mineralischen Bauabfällen. Dabei bleiben Strategien, Ziele und Regelungen anderer Wirtschafts- und Politikbereiche weitgehend unberücksichtigt. Bezieht man diese Bereiche in die Betrachtungen ein, ergeben sich verschiedene Zielkonflikte, die einer Klärung bedürfen, bevor Lösungsvorschläge umgesetzt werden. Nachfolgend werden die wichtigsten rechtlichen, organisatorischen, technischen, ökologischen und ökonomischen Zielkonflikte stichpunktartig adressiert.

a) Ersatzbaustoffverordnung unterstützt die Verwertung im Produktbereich nicht

Die Ersatzbaustoffverordnung regelt die Verwertung von Sekundärstoffen im Erd-, Tief-, Straßen- und Landschaftsbau. Sekundärstoffe, die in diesem Bereich verwertet werden, stehen

für die Circular Economy im Sinne einer Rückführung in den Produktbereich nicht mehr zur Verfügung. Sollen bestimmte Sekundärstoffe vermehrt im Produktbereich eingesetzt werden, müssten sie vom Geltungsbereich der Ersatzbaustoffverordnung ausgenommen werden.

b) Einstufung als asbestfrei ist eine Auslegungsfrage

Bereits geringfügige Asbestbelastungen in mineralischen Bauabfällen können dazu führen, dass große Massenströme aus der Verwertung in die Beseitigung gedrängt werden. Der Zielkonflikt liegt in der unterschiedlichen Auslegung der Begrifflichkeit des „absichtlichen Zusetzens“ gemäß REACH-Verordnung. Werden geringfügige Asbestbelastungen als „Verunreinigungen“ des Sekundärstoffs eingestuft, ist eine Verwertung auch zukünftig möglich. Wird der Einsatz von Sekundärstoffen mit geringfügigen Asbestanteilen dagegen als „absichtliches Zusetzen“ eingestuft, müssen die belasteten Sekundärstoffe beseitigt werden. Eine rechtssichere Auslegung ist erforderlich und sollte auf europäischer Ebene erfolgen.¹⁰

c) Verantwortung für das Ende der Abfalleigenschaft liegt beim Hersteller des Sekundärstoffs

Der Abfallstatus erschwert die Rückführung von Sekundärstoffen in den Produktbereich. Eine Vereinfachung wäre möglich, wenn Sekundärstoffe nach dem Recycling das Ende der Abfalleigenschaft erreichen würden. Obwohl es gemäß Abfallrahmenrichtlinie, Kreislaufwirtschaftsgesetz und einschlägiger Urteile europäischer Gerichte im Verantwortungsbereich der Hersteller – in diesem Fall der Betreiber von Recyclinganlagen – liegt, das Ende der Abfalleigenschaft festzustellen und zu erklären, arbeitet das Bundesumweltministerium derzeit an einer entsprechenden Rechtsverordnung. Hier sind die Rollen der Hersteller und der Administration insbesondere unter Berücksichtigung der Europa-Konformität zu klären.

¹⁰ Hinweis der Geschäftsstelle: Im Zuge der Diskussionen im Unterarbeitskreis Baurohstoffe wurde beim Thema Asbest von Teilnehmenden darauf hingewiesen, dass mögliche Neuregelungen das Schutzniveau von Menschen und Umwelt nicht senken dürfen und es daher ausbalancierter Regelungen und Verfahrensregeln bedarf. Damit gilt der weiter unten unter g) allgemein adressierte Zielkonflikt „Schadstofffreiheit und Circular Economy müssen in Einklang gebracht werden“ beim Thema Asbest in besonderer Weise.

d) Rezyklateinsatzquoten behindern das Heben großer Potenziale

Eine Rezyklateinsatzquote hat den Nachteil, dass Stoffströme in kleinen Einheiten in den Produktbereich zurückgeführt werden. Großtechnischen Anwendungen zur optimalen Hebung von Ressourcen- und/oder Klimaschutzpotenzialen wird so die materielle Basis entzogen. Rezyklateinsatzquoten, die unter anderem im Rahmen der Taxonomie oder in Vergaberichtlinien der öffentlichen Hand vorgesehen sind, stehen zum Beispiel einer Hebung der Klimaschutzpotenziale durch die Verwertung in der Zementindustrie entgegen.

e) Vorerkundung verteuert das Bauen

Die Vorerkundung unterstützt den selektiven Rückbau, die Sortenreinheit der Sekundärstoffe und die Ausschleusung von Schadstoffen. Allerdings stellen sich diese positiven Aspekte nur ein, wenn Vorerkundung und Getrennterfassung konsequent für jede Rückbau-, Umbau- und Sanierungsmaßnahme – unabhängig von deren Größe – umgesetzt werden. So könnte die Einschaltung eines Fachgutachters bereits für kleine Renovierungsmaßnahmen allein aus Kostengründen zu erheblichen Akzeptanzproblemen und Umgehungstatbeständen führen. Eine verpflichtende Vorerkundung wird das Bauen in jedem Fall verteuern und steht damit den politischen Bestrebungen, Baukosten zu senken, diametral entgegen.

f) Stoffstromlenkungen stellen einen Markteingriff dar

Die größten Effizienzpotenziale können gehoben werden, wenn bestimmte Stoffströme mit einem speziellen Verfahren aufbereitet und in einer besonderen Art verwertet werden. Die dafür erforderliche Stoffstromlenkung und -behandlung kann durch rechtliche Vorgaben erreicht werden. Dadurch besteht allerdings die Gefahr, dass das Gebot der Technologieoffenheit sowie marktwirtschaftliche Grundsätze verletzt werden. Bei lediglich flankierenden rechtlichen Maßgaben besteht umgekehrt die Gefahr, dass die Potenziale nicht gehoben werden, weil kein ausreichender Impuls für erforderliche Veränderungen und Investitionen besteht.

g) Schadstofffreiheit und Circular Economy müssen in Einklang gebracht werden

„Circular Economy“-Ansätze sollen dazu beitragen, Sekundärstoffe wieder zur Herstellung neuer Produkte einzusetzen. Dabei sollen aber nur Sekundärstoffe zum Einsatz kommen, die keine beziehungsweise nur minimalste Schadstoffgehalte aufweisen. Bei den mineralischen Sekundärstoffen handelt es sich in der Regel um ehemalige Bauprodukte, die vor 50 bis über 100 Jahren produziert wurden. Über die stoffliche Zusammensetzung und mögliche Schadstoffgehalte können daher kaum Aussagen getroffen werden. Trotz umfangreicher Umweltprüfungen können daher Schadstoffe in Sekundärstoffen nicht ausgeschlossen werden. Es bedarf ausbalancierter Regelungen, denn je höher die Anforderungen an die Minimierung von Schadstoffgehalten, desto weniger Sekundärstoffe stehen für eine Circular Economy zur Verfügung.

h) Circular Economy führt zu steigenden Baukosten

Die Rückführung von Sekundärstoffen in den Produktbereich setzt eine konsequente und hochwertige Aufbereitung voraus. Die technische Aufrüstung von Recyclinganlagen, weitere Transportwege zu den besser ausgestatteten Recyclinganlagen und eine gesteigerte Nachfrage nach begrenzten Sekundärstoffen werden zu einer Verteuierung des Bauens führen. Dies steht im Widerspruch zur politischen Zielsetzung, Baukosten senken zu wollen.

i) Ökologische Gesamtbetrachtung statt Fokussierung auf Einzelaspekte

Der Anfall von Sekundärstoffen ist begrenzt, die Verwertung mineralischer Recyclingbaustoffe erfolgt heute nahezu vollständig. Um „Circular Economy“-Ansätze umsetzen zu können, müssen Sekundärstoffe daher aus den bisherigen Verwertungen in neue Verwertungen umgelenkt werden. Gerne werden die Vorteile des Einsatzes von Sekundärstoffen in neuen Produkten mit der ökologischen Vorteilhaftigkeit dieser Produkte begründet. Dabei wird jedoch ausgeblendet, dass die umgelenkten Stoffströme in den bisherigen Verwertungen durch Primärstoffe ersetzt werden müssen, um den Be-

darf zu decken, wodurch sich dort ökologische Nachteile ergeben können. Die Fokussierung auf die Vorteilhaftigkeit des Rezyklateinsatzes in einzelnen Produkten oder Bauwerken führt daher gegebenenfalls zu Entscheidungen, die für das Gesamtsystem ökologisch entweder keine Vorteile bringen oder sogar zu Verschlechterungen führen, da in der Regel Aufbereitungs- und Transportaufwendungen steigen. Gesetzlichen Neuregelungen zum Umgang mit Sekundärstoffen sollten daher ökologische Gesamtbeurteilungen vorausgehen und es sollten nur solche Regelungen erwogen werden, die für das ökologische Gesamtsystem vorteilhaft sind.

3.2.5 Nächste Schritte

Der UAK Baurohstoffe hat sich mit der Fragestellung befasst, welche Barrieren beim Umgang mit nicht gefährlichen mineralischen Bauabfällen bestehen, die eine Weiterentwicklung der bereits etablierten Kreislaufwirtschaft in Richtung Circular Economy behindern. Es wurden 16 Barrieren identifiziert und Lösungsvorschläge zu deren Beseitigung erarbeitet. Folgende Themen wurden behandelt:

#1	Konsequente Getrennthaltung sortenreiner Abfallströme
#2	Ende der Abfalleigenschaft
#3	Asbestthematik
#4	Mantelverordnung
#5	Selektiver Rückbau
#6	Verbesserung der Aufbereitungstechnik
#7	Prüf-, Nachweis- und Dokumentationspflichten
#8	Verbesserung der Statistik
#9	Gesetzliche Regelungen und Normung
#10	Rezyklateinsatzquoten für die Produktherstellung
#11	Anreize
#12	Ausschreibungen
#13	Recyclinggerechte Baukonstruktionen und Produktdesign

#14	Informationen in der Wertschöpfungskette
#15	Klimaschutzaspekte
#16	Förderung von Forschung und Umsetzung

Die Barrieren und Lösungsansätze weisen zum Teil inhaltliche Überschneidungen auf, sodass durch bestimmte Maßnahmen und Vorgehensweisen gleichzeitig mehrere Barrieren teilweise oder insgesamt abgebaut werden können. Es ist aber auch deutlich geworden, dass einige Lösungsansätze politische und sonstige Zielkonflikte tangieren, die gelöst werden sollten, bevor bestimmte Maßnahmen umgesetzt werden. Zudem sind für einzelne Barrieren unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten vorstellbar. Je nachdem, welche Lösung gewählt wird, hat diese Auswirkungen auf andere Barrieren und deren Lösungsmöglichkeiten. So wäre der Lösungsvorschlag, die Abfallstatistik durch Einführung von Sekundärabfallschlüsselnummern zu verbessern, dann obsolet, wenn die Sekundärstoffe bereits nach dem Recyclingprozess das Ende der Abfalleigenschaft erreichen würden. Statt Sekundärabfallschlüsselnummern bedürfte es dann einer Systematik auf Basis der Produktverwendung. Insofern stellen die nachfolgenden Maßnahmenvorschläge nur eine Auswahl dar, um die Barrieren für die Weiterentwicklung der Kreislaufwirtschaft bei mineralischen Bauabfällen abzubauen.

Kurzfristig umsetzbare Maßnahmen mit großem Impact

a) Ergänzung der Mantelverordnung zum Ende der Abfalleigenschaft

In die Mantelverordnung, mindestens aber in die Ersatzbaustoffverordnung, könnte ein Absatz aufgenommen werden, dass alle in der Verordnung behandelten Ersatzbaustoffe und Böden das Ende der Abfalleigenschaft bereits mit der Einstufung in eine der Stoffklassen erreichen, wenn sichergestellt wird, dass die Ersatzbaustoffe und Böden in den jeweils zulässigen Einbauvarianten eingesetzt werden. Im Ergeb-

nis würden dadurch die unter die Verordnung fallenden Sekundärstoffe am Ende des Recyclingprozesses den Produktstatus erhalten.

Diese Maßnahme hat Bezüge zu folgenden Barrieren und Lösungsansätzen:

#2	Ende der Abfalleigenschaft
#4	Mantelverordnung
#7	Prüf-, Nachweis- und Dokumentationspflichten
#8	Verbesserung der Statistik
#9	Gesetzliche Regelungen und Normung
#11	Anreize
#12	Ausschreibungen
#14	Informationen in der Wertschöpfungskette

b) Bezugnahme des bauaufsichtlichen Regelwerks auf die Stoffklassen der Ersatzbaustoffverordnung

Die Technischen Baubestimmungen (Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Bestimmungen (MVV TB)) sollten so angepasst werden, dass sie auf die Stoffklassen der Ersatzbaustoffverordnung Bezug nehmen und die bauaufsichtlichen Anforderungen zur Rückführung dieser Ersatzbaustoffe in die Herstellung neuer Produkte festlegen. Im Ergebnis würde sich dadurch ein zusätzliches Einsatzspektrum für sämtliche Ersatzbaustoffe im Produktbereich – ergänzend zur Mantelverordnung – ergeben.

Diese Maßnahme hat Bezüge zu folgenden Barrieren und Lösungsansätzen:

#4	Mantelverordnung
#6	Verbesserung der Aufbereitungstechnik
#7	Prüf-, Nachweis- und Dokumentationspflichten
#8	Verbesserung der Statistik
#9	Gesetzliche Regelungen und Normung
#10	Rezyklateinsatzquoten für die Produktherstellung
#11	Anreize

#12	Ausschreibungen
#13	Recyclinggerechte Baukonstruktionen und Produktdesign
#14	Informationen in der Wertschöpfungskette

c) Bundesverordnung zum Umgang mit geringfügig asbesthaltigen mineralischen Abfällen

Die Asbestproblematik betrifft übergreifend die Sekundärstoffe der Mantelverordnung und der bauaufsichtlichen Regelungen für den Produktbereich. Insofern bietet sich eine eigenständige Regelung als bundeseinheitliche Verordnung an. Eine „Asbest-Verordnung“ könnte auf Basis der neuen LAGA M23 entwickelt werden und sollte als zentralen Aspekt ein Prüfverfahren und einen Beurteilungswert enthalten, bei dessen Unterschreitung die „Asbestfreiheit“ von Ersatzbaustoffen deklariert werden kann. Nur entsprechend als „asbestfrei“ gekennzeichnete Ersatzbaustoffe dürfen einer Verwertung zugeführt werden.

Diese Maßnahme hat Bezüge zu folgenden Barrieren und Lösungsansätzen:

#1	Konsequente Getrennthaltung sortenreiner Abfallströme
#2	Ende der Abfalleigenschaft
#3	Asbestthematik
#4	Mantelverordnung
#5	Selektiver Rückbau
#7	Prüf-, Nachweis- und Dokumentationspflichten
#8	Verbesserung der Statistik
#9	Gesetzliche Regelungen und Normung
#10	Rezyklateinsatzquoten für die Produktherstellung
#11	Anreize
#12	Ausschreibungen
#13	Recyclinggerechte Baukonstruktionen und Produktdesign
#14	Informationen in der Wertschöpfungskette

Die vorgenannten drei kurzfristig umsetzbaren Maßnahmen bauen den größten Teil der bestehenden Barrieren beim Umgang mit mineralischen Bauabfällen ab. Die Maßnahmen würden Rechtssicherheit schaffen, die Asbestproblematik lösen und den Einsatzbereich von Ersatzbaustoffen auf den Produktbereich ausdehnen. Durch den Produktstatus würde eine Angleichung von Primär- und Sekundärstoffen erreicht, die sich positiv auf Ausschreibungen, Vergaben und die Akzeptanz auswirken würden. Zudem würde der Umgang mit Sekundärstoffen im betrieblichen Umfeld deutlich erleichtert.

Alternativ können die drei Maßnahmen auch in einer Bundesverordnung zum Ende der Abfalleigenschaft umgesetzt werden. Aufgrund der Komplexität der Regulationsanforderungen würde das aber wohl eher mit einer mittel- bis langfristigen zeitlichen Perspektive verbunden sein.

Maßnahme mit dem größten Impact

Das größte noch ungenutzte Potenzial beim Umgang mit mineralischen Bauabfällen liegt im Bereich des Betonbruchs sowie der beton- und kalkhaltigen Gemische. Werden diese Abfälle speziell aufbereitet, können Teile davon als Substitute in der Zementherstellung eingesetzt werden, wodurch jährlich mehrere Millionen Tonnen CO₂ eingespart werden können. Die Hebung dieses Potenzials erfordert neben einer gezielten Stoffstromlenkung vor allem Investitionen in der Recyclingwirtschaft und der Zementindustrie, die nur erfolgen werden, wenn Investitionssicherheit auf Basis eines Rechtsrahmens, einer anerkannten Selbstverpflichtung oder privatwirtschaftlicher Vereinbarungen besteht. Zudem spielen die regionalen Verhältnisse in Bezug auf den Anfall geeigneter Abfälle und die Möglichkeit einer Verwertung in einem erreichbaren Zementwerk eine zentrale Rolle.

Eine geeignete Maßnahme könnte eine Selbstverpflichtung zwischen den regional Beteiligten sein, die seitens des Staates inhaltlich und durch Förderung in Bezug auf die erforderlichen Investitionen und den weitergehenden Forschungsbedarf unterstützt wird.

Eine alternative Regelung auf gesetzlicher Ebene könnte die Ersatzbaustoffverordnung betreffen, indem der Abfallstrom Beton (AVV 170101) als Ausgangsmaterial für Ersatzbaustoffe aus der Verordnung ausgenommen wird. Damit allein ist aber noch nicht sichergestellt, dass die spezielle Aufbereitung des Materials und dessen Einsatz im Zementwerk erfolgt, sodass auch diese Aspekte verankert werden müssten. Eine entsprechende Rechtsregelung wäre komplex und würde gegebenenfalls auch zu Implikationen bei der Verwertung der übrigen mineralischen Abfallströme führen, sodass eine staatlich unterstützte Selbstverpflichtung einfacher, schneller, problemloser und zielgenauer umsetzbar ist.

Eine weitere Alternative bestünde in einer ergänzenden Regelung der Gewerbeabfallverordnung, mit der festgelegt würde, dass nur solche Stoffströme von Recyclinganlagen angenommen werden dürfen, die auch in der Lage sind, die stoffstromspezifisch bestmögliche Verwertungsoption zu realisieren. Eine solche Regelung hätte aber ähnliche Nachteile wie die vorgenannte Regelung über die Ersatzbaustoffverordnung.

Diese Maßnahme hat Bezüge zu folgenden Barrieren und Lösungsansätzen:

#1	Konsequente Getrennthaltung sortenreiner Abfallströme
#4	Mantelverordnung
#5	Selektiver Rückbau
#6	Verbesserung der Aufbereitungstechnik
#9	Gesetzliche Regelungen und Normung
#15	Klimaschutzaspekte
#16	Förderung von Forschung und Umsetzung

Mittelfristige Maßnahmen

a) Bundeseinheitliche Abrissgenehmigung einführen

Die Sortenreinheit der Sekundärstoffe stellt eine der wichtigsten Voraussetzungen für eine Verwertung im Produktbereich dar. Der selektive Rückbau von Bauwerken und die consequen-

te Getrennthaltung von Abfallströmen stellen Hebel dar, um die Sortenreinheit zu steigern. Obwohl beide Elemente unter anderem in der Gewerbeabfallverordnung verankert sind, werden sie nicht konsequent umgesetzt.

Als Maßnahme könnte die bundesweite Einführung einer Abrissgenehmigung zu Verbesserungen beitragen. Im Rahmen der Abrissgenehmigung könnten eine Vorkundung des Bauwerks, eine grobe Bestimmung der anfallenden Abfallströme sowie die Pflicht zum selektiven Rückbau vorgegeben werden. Auch Nachweisverfahren, zum Beispiel über Entsorgungslieferscheine, könnten im Rahmen der Abrissgenehmigung verankert werden. Als Alternative könnte auch die Gewerbeabfallverordnung entsprechend nachjustiert werden, doch ist der Geltungsbereich der Gewerbeabfallverordnung nicht so breit angelegt, wie der Geltungsbereich der Abrissgenehmigung, die sich an jede Bauherrin/jeden Bauherrn richtet.

Diese Maßnahme hat Bezüge zu folgenden Barrieren und Lösungsansätzen:

#1	Konsequente Getrennthaltung sortenreiner Abfallströme
#5	Selektiver Rückbau
#7	Prüf-, Nachweis- und Dokumentationspflichten
#8	Verbesserung der Statistik
#9	Gesetzliche Regelungen und Normung
#14	Informationen in der Wertschöpfungskette

b) Ergänzung der Abfallverzeichnisverordnung

Die Abfallverzeichnisverordnung weist Lücken und Unschärfen auf, die dazu führen, dass selbst sortenrein rückgebaute Materialien in gemischten Abfallfraktionen entsorgt werden müssen, da entweder keine separate Abfallschlüsselnummer zur Verfügung steht oder aber Differenzierungen innerhalb bestehender Abfallschlüsselnummern fehlen.

Als Maßnahme sollte die Überarbeitung der europäischen Abfallverzeichnisverordnung durch die Bundesregierung in der Europäischen Union beantragt werden. Übergangsweise könnten auf nationaler Ebene zusätzliche Abfallschlüsselnummern zur Untersetzung bestehender Abfallschlüsselnummern ergänzt werden. Dabei ist allerdings zu beachten, dass Ergänzungen europäischer Verordnungen nicht verbindlich gemacht werden können.

Diese Maßnahme hat Bezüge zu folgenden Barrieren und Lösungsansätzen:

#1	Konsequente Getrennthaltung sortenreiner Abfallströme
#5	Selektiver Rückbau
#7	Prüf-, Nachweis- und Dokumentationspflichten
#8	Verbesserung der Statistik
#9	Gesetzliche Regelungen und Normung
#14	Informationen in der Wertschöpfungskette

c) Technologieoffene Ausschreibungen

Nicht selten werden bei öffentlichen Ausschreibungen Sekundärstoffe ausgeschlossen. Durch die zuvor genannten kurzfristigen Maßnahmen könnten mehrere Barrieren, die zu diesen Ausschlüssen beitragen, abgebaut werden.

Als weitergehende Maßnahme kann das Ausschreibungs- und Vergabeverfahren der öffentlichen Hand angepasst und konsequent auf Technologieoffenheit ausgerichtet werden. Ausschreibungen würden sich dann materialneutral auf zum Beispiel umwelt- und bautechnische Anforderungen beziehen, sodass Primär- und Sekundärstoffe gleichberechtigt angeboten werden könnten. Zu beachten ist allerdings, dass bei einem Verbleib der Sekundärstoffe im Abfallrecht unter anderem durch die Mantelverordnung zahlreiche Verpflichtungen auf den Verwender von Ersatzbaustoffen zukommen können. Auch die damit verbundenen Nachteile beim Einsatz von Sekundärstoffen müssten bei einer Anpassung der Ausschreibungs- und Ver-

gabeverfahren Berücksichtigung finden und kompensiert werden.

Diese Maßnahme hat Bezüge zu folgenden Barrieren und Lösungsansätzen:

#2	Ende der Abfalleigenschaft
#4	Mantelverordnung
#7	Prüf-, Nachweis- und Dokumentationspflichten
#9	Gesetzliche Regelungen und Normung
#12	Ausschreibungen
#13	Recyclinggerechte Baukonstruktionen und Produktdesign
#14	Informationen in der Wertschöpfungskette

Maßnahmen im Bereich der Forschung

Der technische Stand der heutigen Recyclinganlagen ist überwiegend einfacher Natur und an die bisherigen Verwertungswege angepasst. Um die Sortenreinheit von Sekundärstoffen und das Ausschleusen von Schadstoffen als Voraussetzung für eine Rückführung in den Produktbereich zu verbessern, bedarf es einer anspruchsvolleren Recyclingtechnologie. Als besonders relevantes Thema kann in diesem Zusammenhang die Ausschleusung von Asbestfasern aus mineralischen Bauabfällen in einem Recyclingprozess betrachtet werden.

Als Maßnahme wird empfohlen, die Entwicklung technischer Verfahren zu fördern, mit denen Störstoffe aus Abfallströmen gezielt entfernt werden können und die Sortenreinheit einzelner Fraktionen beim Recyclingprozess gesteigert werden kann. Neben der Förderung der technischen Entwicklung bedarf es anschließend auch einer gezielten Förderung zur Einführung der entwickelten Verfahren. Die Bundesregierung sollte entsprechende Förderprogramme auflegen.

Diese Maßnahme hat Bezüge zu folgenden Barrieren und Lösungsansätzen:

#6	Verbesserung der Aufbereitungstechnik
#16	Förderung von Forschung und Umsetzung

Als weitere Maßnahme können Forschungsprogramme dienen, die sich mit der Verschlankung von Bauwerkskonstruktionen und den Konstruktionsprinzipien von Bauwerken befassen, die zukünftig für eine Wiederverwendung zur Verfügung stehen sollen.

Diese Maßnahme hat Bezüge zu folgenden Barrieren und Lösungsansätzen:

#13	Recyclinggerechte Baukonstruktionen und Produktdesign
#16	Förderung von Forschung und Umsetzung

Darüber hinaus sollte die Forschung im Bereich einzelner Abfallströme und deren bestmöglicher Verwendung im Hinblick auf den Ressourcen- und/oder Klimaschutz gefördert werden. Es hat sich gezeigt, dass durch intensive Forschung bisher ungenutzte Potenziale im Bereich Klimaschutz mit bestimmten Stoffströmen erreicht werden können, wenn diese zielgerichtet aufbereitet und verwendet werden. Entsprechende Möglichkeiten sollten konsequent durch stoffstromspezifische Forschung herausgearbeitet werden.

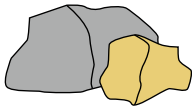
Diese Maßnahme hat Bezüge zu folgenden Barrieren und Lösungsansätzen:

#6	Verbesserung der Aufbereitungstechnik
#10	Rezyklateinsatzquoten für die Produktherstellung
#11	Anreize
#13	Recyclinggerechte Baukonstruktionen und Produktdesign
#15	Klimaschutzaspekte
#16	Förderung von Forschung und Umsetzung

3.3 Steckbrief – Gips

Gips

Unterarbeitskreis-Leitung (Autoren):
Prof. Dr. Ariane Ruff (Hochschule Nordhausen, ThIWert)
Holger Ortleb (Bundesverband Gips e. V.)



UAK-Übersicht



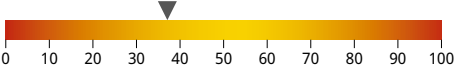
43 Beteiligte



31 % Einzelunternehmen
26 % Wissenschaft
19 % Behörde
15 % Verbände
10 % Zivilgesellschaft

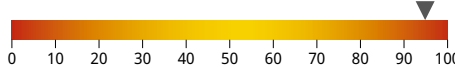


Anzahl **Barrieren**



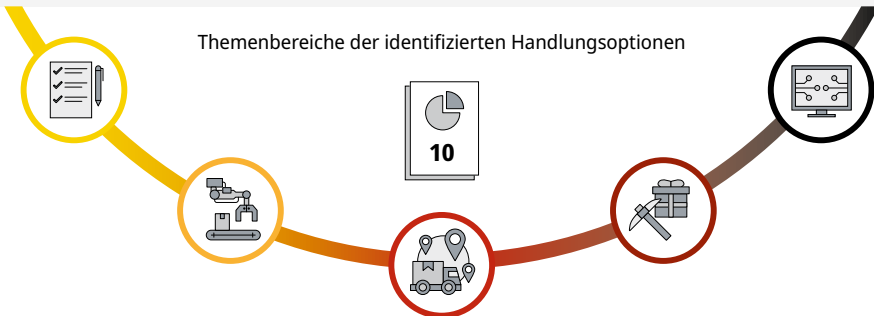


Anzahl **Lösungsvorschläge**



↓

Themenbereiche der identifizierten Handlungsoptionen



#1	Asbestgrenzwert und -analyseverfahren	#6	Schulung und Einsatz
#2	Deponiereduktion	#7	Informationskampagnen
#3	Sortier-, Sammel- und Recycling – Infrastruktur	#8	Recyclinggerechte Baukonstruktionen
#4	Gipsabfall-Export	#9	Abfallschlüssel für Porenbeton
#5	Technologieanpassung & Entwicklung	#10	Ende der Abfalleigenschaft

Präambel

Der Unterarbeitskreis (UAK) Gips fokussiert sich auf das Ziel, den Anteil von Recyclinggips in der deutschen Gipsproduktion zu erhöhen. Die in der europäischen und deutschen Abfallhierarchie dem Recycling vorgelagerten Prozesse der Vermeidung und Vorbereitung zur Wiederverwendung werden nur am Rande diskutiert. Die Ausarbeitungen dieses Berichts fokussieren die Erschließung von Recyclingpotenzialen für Gips aus dem Bau- und Abbruchbereich (RC-Gips). Naturgipse, synthetische Gipse und Anhydrite werden thematisch nur tangiert und bedürfen, ebenso wie der Einsatz von Baustoffen ohne Gips, einer zusätzlichen Betrachtung.

Das im UAK Gips verfolgte Ziel ist die Hebung des verfügbaren RC-Gips-Potenzials durch Überwindung der identifizierten Barrieren mit Hilfe erarbeiteter Lösungsansätze. Die Inhalte dieses Berichtes wurden durch die UAK-Leitung mit Unterstützung der Teilnehmenden erarbeitet und stellen ein abgestimmtes Meinungsbild dar. Meinungen einzelner Teilnehmender wurden diskutiert und in Abstimmung mit der UAK-Leitung im Bericht berücksichtigt, jedoch ggf. nicht 1:1 wiedergegeben. Eventuelle Debattenpositionen wurden als solche kenntlich gemacht.

Gips-Begriffe

RC-Gips:
Recycling-Gips

Synthetische Gips:
Synonym zu „Technische Gipse“. Gipse die als (Neben)Produkte in chemisch-industriellen Prozessen entstehen, wie zum Beispiel REA-, Phosphor-, Lithium- oder Kali-Gips

Synthetischer Anhydrit:
Aus der industriellen Produktion von Flusssäure stammender synthetischer Anhydrit

3.3.1 Beschreibung relevanter Stoffströme, Wertschöpfungsketten und Anwendungskontexte

Stoffströme

Gips als Baumaterial ist seit mehr als 9.000 Jahren bekannt. Auch heute ist Gips ein wichtiger und von der Industrie stark nachgefragter Baustoff, welcher durch seine nichtbrennbaren Eigenschaften und Raumklimaregulation beliebt ist (insbesondere auch Leicht- und Trockenbaustoff) (TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT 2010).

Tab. 9: Überblick Stoffstrom Gips (Referenzrahmen Deutschland 2020)

Stoffströme	Menge [t]	Quelle
UAK Gips (Referenzjahr 2020)		
Primärrohstoffe		
Bergbauproduktion/Primärrohstofferzeugung	5.200.000	(BGR 2022)
Import	197.000	(BGR 2022)
Export	752.000	(BGR 2022)
Recyclingrohstoffe		
Bauabfälle auf Gipsbasis, davon ca. 50 % recyclingfähig ¹	741.000	(DESTATIS 2023)
Import	Nicht erfasst	
Export	Nicht erfasst	
RC-Gips (aus Bauabfällen auf Gipsbasis)	63.000	(BGR 2022)
REA-Gips	3.860.000	(BGR 2022)

¹ Schätzung Bundesverband Gips e. V.

Das Einsatzspektrum von Bauprodukten auf Gipsbasis ist groß (INSTITUT BAUEN UND UMWELT E. V. 2020; DENA 2021; BMWBS 2022a) und reicht von **Gipsplatten** für Wand- oder Deckensysteme im Innenausbau über **Estrich** bis hin zu **Gipsputzen**. Auch Gipsformen zur Herstellung keramischer Produkte wie Dachziegel bilden zu berücksichtigende Mengen. Im modernen Holzbau ist Gips ein Partnerbaustoff, um den notwendigen Brandschutz und die Feuerwiderstandsdauer sicherzustellen.

Die gesamte gipsverarbeitende Industrie hat aktuell in Deutschland einen Gips-Rohstoffbedarf von rund 10 Millionen Tonnen/Jahr. In der Gipsindustrie selbst wurden 2020 circa 7,1 Millionen Tonnen Gipsrohstoffe verarbeitet. Weitere circa 1,8 Millionen Tonnen werden zur Zementherstellung eingesetzt und stehen aufgrund der chemischen Einbindung im erhärteten Zementstein (Beton und Mörtel) einer weitergehenden Kreislaufführung von Gips nicht mehr zur Verfügung (VDZ 2021). Der Gips-Rohstoffbedarf hängt demnach auch mit der Bedarfsentwicklung des Zementmarktes zusammen. Ungefähr weitere 1,1 Millionen Tonnen finden Verwendung in anderen Branchen. Auf Basis volkswirtschaftlicher Rahmenmodelle (bbs 2022b) wird sich der Gesamt-Gipsrohstoffbedarf auf diesem hohen Niveau bis 2040 mindestens stabilisieren, wenn nicht sogar erheblich erhöhen. Die Deckung dieses Bedarfs kann über Natur-, RC- und synthetische Gipse sowie Baustoffe ohne Gips erfolgen (DMT GmbH & Co. KG 2021).

Woher kommen die Gips-Rohstoffe?

Neben dem bergmännisch gewonnenen Naturgips vor allem in oberirdischen Steinbrüchen, der 2020 5,2 Millionen Tonnen (BGR 2021) betrug, spielen insbesondere synthetische Gipse, die als Nebenprodukte in unterschiedlichen industriellen Prozessen anfallen, eine wichtige Rolle. Naturanhydrit wird in der Baustoffindustrie zur Herstellung von Calciumsulfatfließestrich in relevanten Mengen verwendet. Dieser Naturrohstoff wird teilweise durch Fluoranhydrit (Flusssäureanhydrit, Fluoranhydrit) substituiert sowie durch technisch aus

REA-Gips hergestelltem Thermoanhydrit oder Alpha-Halbhydrat. REA-Gips aus der Entschwefelung in Kohlekraftwerken (REA = Rauchgas-Entschwefelungs-Anlagen) steht in Deutschland (ZKG 2022) mit großem Abstand an erster Stelle der synthetischen Gipse und hat in der Vergangenheit mindestens 50 % des Gips- und Anhydritbedarfes in Deutschland gedeckt. Spätestens mit dem „Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“ der Bundesregierung vom 28. September 2010 zeichnete sich ab, dass der Ausstieg aus der Kohleverstromung und damit der mittelfristige Wegfall des wichtigsten Rohstoffs der deutschen Gipsindustrie, nämlich des REA-Gipses, nur noch eine Frage der Zeit ist. In den letzten 15 Jahren wurden im Mittel jährlich rund 7 Millionen Tonnen REA-Gips produziert, aktuell (2020) ist die REA-Gips-Menge bereits auf 3,86 Millionen Tonnen zurückgegangen. Der Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung (2016) ging zunächst von einer Verfügbarkeit von REA-Gips bis 2050 aus. Mit dem Kohleausstiegsgesetz vom August 2020 wird die REA-Gips-Produktion spätestens 2038 auf null zurückgehen. Mit Blick auf den aktuellen Koalitionsvertrag ist mit dem Kohleausstieg bereits 2030 zu rechnen. Restbestände von REA-Gips sind aktuell noch auf Halden der Kraftwirtschaft vorhanden, entsprechende Nutzungsszenarien finden sich in der Studie von EY (ERNST & YOUNG 2022). Andere geeignete synthetische Gipse sind zum Beispiel Milchsäuregips und Zitronensäuregips, die zur Herstellung von Spezialgipsen wie Dental- und Medizinal- und Lebensmittelgipsen sehr geeignet sind. Ihre Menge ist vergleichsweise gering und sie werden bereits vollständig von der Gipsindustrie verwendet. Alle genannten Zahlen können in der Referenzgrafik verortet werden (siehe Abbildung 24).

Wertschöpfungsketten und Anwendungskontexte

Gipsbaustoffe spielen aktuell eine wichtige Rolle im modernen Bauen und werden wesentlich für Neubau, Ausbau und Modernisierung verwendet. Dabei werden sie fast überall eingesetzt:

vom Wohnungsbau über den Verwaltungsbau, öffentliche Bauten wie Schulen, Krankenhäuser und Museen bis hin zu Gewerbebauten, Kinos und Einkaufszentren. Gipsbauprodukte leisten einen wichtigen Beitrag insbesondere zum Brand- und Schallschutz und sind raumklimaregulierend. Beim nachhaltigen und ressourceneffizienten Bauen spielen RC-Gipse eine wichtige Rolle.

Zukünftig wird der Recyclinggips eine zunehmend wichtige Rolle spielen, wenn die Vorgaben von Politik und Gesellschaft zur Umsetzung einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft umgesetzt werden. So eröffnet sich für Recyclinggips durch Einsatz in gipsbasierten Baustoffen in allen wesentlichen Feldern zum nachhaltigeren Bauen, bei der Realisierung dringlicher Bauaufgaben und in Baumaßnahmen für eine nachhaltige urbane Entwicklung ein großes zukunftsfähiges Anwendungsspektrum. Die Verfügbarkeit von Recyclinggips hängt dabei immer stark von den baukonjunkturellen Entwicklungen (Abriss, Renovierung, Neubau) ab.

An künftige Gipsbauprodukte werden insbesondere folgende Anforderungen gestellt: rückbaufreundliche Bauweise, digitale Erfassungssysteme zur besseren Identifikation und Quantifizierung sowie recyclingfähige Rezepturen und Produktdesign bereits zu Beginn der Wertschöpfungskette (zum Beispiel digitaler Gebäudepass oder BIM). Der selektive Rückbau von Trockenbauelementen und der meist schwimmend verlegte Gips-Estrich sind aktuell möglich und müssen optimiert beziehungsweise verstärkt umgesetzt werden. Erste Ansätze zur Wiederverwendung von Gipsprodukten sind bereits am Markt verfügbar, so wie „LinLoop“ (LINDNER GROUP KG 2023) oder re:unit (RE:UNIT GMBH 2023). Eine Variante für wiederverwendbare Gipsplatten-Trockenwände wird gerade entwickelt (HS NORDHAUSEN 2021; HS NORDHAUSEN 2022; BMBF 2023). Ebenfalls Teil der Forschung ist es, Recyclinggips und alternative Gipsrohstoffe zur Verwendung in verschiedenen Gipsbauprodukten zu prüfen. Auch die Verwendung als Abbinderegler in Zementen wird erforscht. Zu den aktuellen Forschungs-

aktivitäten gehören auch die Aufbereitung und Verwendung von europäischen Phosphorgipsen sowie deutschen und gegebenenfalls europäischen Lithiumgipsen.

Rolle des Recyclings im Bereich Gips

Mit dem Europäischen Green Deal und dem Circular Economy Action Plan CEAP (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2020a) wurde eine konzertierte Strategie für eine klimaneutrale, ressourceneffiziente und wettbewerbsfähige Wirtschaft ins Leben gerufen. Im Mittelpunkt des CEAP steht eine funktionierende Kreislaufwirtschaft, in der ein Binnenmarkt für hochwertige Recyclingrohstoffe eine wichtige Rolle spielt. Diese Ziele sollen erreicht werden durch eine Erhöhung der Ressourceneffizienz, das heißt Schonung von Primärrohstoffen durch die zunehmende Verwendung von recycelten Abfällen und damit durch Erhöhung des Rezyklatanteils in Produkten. Genau diesen Zielen trägt die Intensivierung des Recyclings von Gipsabfällen Rechnung.

Weitere Erfordernisse zur Intensivierung des Gipsrecyclings

Neben den aktuellen umwelt- und abfallpolitischen Forderungen, die sich aus dem Europäischen Green Deal und dem implementierten Circular Economy Action Plan ergeben, priorisieren auch die novellierte EU-Abfallrahmenrichtlinie und damit das in 2020 novellierte KrWG die Intensivierung des Recyclings zur Schonung von Primärrohstoffen vor allem unter Nutzung des „urban minings“. Darüber hinaus fordert die kürzlich veröffentlichte Mantelverordnung die weitgehende „Entsulfatisierung“ der mineralischen RC-Baustoffe, eine indirekte Aufforderung, nicht nur das Gipsrecycling zu intensivieren.

Weitere Erfordernisse zur Intensivierung des Gipsrecyclings ergeben sich aus der grundsätzlichen Endlichkeit mineralischer Rohstoffe in Deutschland sowie dem Spannungsfeld zwischen der Rohstoffgewinnung und weiteren Nutzungs- und Schutzinteressen (zum Beispiel

Naturschutz, EU-Waldstrategie 2030 (EU-Waldstrategie 2021)). Die Prüfung von naturschutzfachlichen Belangen ist zwar heute bereits Gegenstand von Genehmigungsverfahren, dabei hilft die Verwendung von Recyclinggips, den Bedarf von Naturgips zu verringern. Der Import von Naturgips ist aus ökologischen und finanziellen Gründen (vor allem der langen Transportwege) und der stattfindenden Verlagerung der Probleme ins Ausland kein angestrebter Lösungsansatz. Bei Exporten aus Deutschland handelt es sich um eine Ausfuhr in Länder des europäischen Binnenmarktes, die selbst nicht über Naturgipsvorkommen verfügen (zum Beispiel Benelux, Skandinavien).

Kernpunkte des Recyclingkonzepts

Vor diesem Hintergrund der Ressourcenschonung veröffentlichte die deutsche Gipsindustrie, vertreten durch ihren Verband BV Gips, erstmals im Jahr 2012 ihre Qualitätsempfehlungen für Recyclinggips (BV Gips 2022) mit dem Ziel, die sich ankündigende „REA-Gips-Lücke“ ergänzend zum Naturgips mit Recycling-Gips (RC-Gips) zumindest teilweise zu kompensieren. Eine weitere Motivation bot die Novellierung der Deponieverordnung, wodurch ab 2013 Gipsabfälle gesondert beseitigt werden müssen. Darüber hinaus wurde bereits 2010 die Rekultivierung von Kalihalden mit Gips und Gipsabfällen in Deutschland untersagt. In Verbundforschungsstrukturen, wie dem BMBF-WIR!-Bündnis „Gipsrecycling als Chance für den Südharz“ (BMBF 2023) oder dem „Gipsverbund Thüringen“ werden seit 2019 beziehungsweise 2021 zahlreiche Projekte entlang des Wertstoffkreislaufes Gips initiiert und derzeit umgesetzt. Dabei wird auch die Erschließung alternativer Gipsrohstoffquellen in den Fokus genommen. Diese könnten in Zukunft einen wichtigen Beitrag zur Sicherung der Gips-Rohstoffbereitstellung leisten. Seit dieser Zeit befassen sich auch andere Initiativen und Förderprojekte unter anderem mit der Gipsthematik im Kontext Zero-Waste-Strategie, Gips-Kreislaufführung,

Gipsersatzbaustoffe oder rohstoffschonende Gipsbauweisen.

Gemäß dem aktuellen Stand der Technik sind bereits grundsätzlich Gipsplatten¹¹, Gips-Wandbauplatten und eingeschränkt Gipsfaserplatten recycelbar (im nachfolgenden Text als Gipsplatten bezeichnet). Dazu werden Karton/Papierfasern und andere Störstoffe vom Gipskern insbesondere über Zerkleinerungs- und Klassierungsstufen getrennt und wird der Gipsanteil in Pulverform rückgewonnen. Herkunft recycelbarer Gipsplattenabfälle ist zum einen Verschnittmaterial aus dem Neubau (Abbildung 24 (s)), der Renovierung und der Herstellung von Fertighäusern sowie Gipsplattenabfälle, die beim Rückbau von Gebäuden anfallen und sortenrein von anderen Bauabfällen (Abbildung 24 (d)) gemäß den Vorgaben der novellierten Gewerbeabfallverordnung separiert werden müssen. Letztere stellen den mit Abstand größten Massenstrom dar. Beteiligt an dem gesamten Sammel-, Rückbau- und Recyclingprozess sind Abbruchunternehmen und Entsorgungsunternehmen, die die Rückführung der gipshaltigen Abfälle organisieren und die Errichtung/den Betrieb von Gips-Recyclinganlagen übernehmen, sowie die Gipsindustrie, welche den qualitätsgerechten RC-Gips als Sekundärrohstoff verwendet. Zwischenzeitlich werden fünf Gipsrecycling-Anlagen betrieben, die jedoch nicht voll ausgelastet sind. Ihre Kapazität beträgt ungefähr 300.000 Tonnen/Jahr. Aktuell werden größere Mengen an recyclingfähigen Gipsabfällen (> 100.000 Tonnen/Jahr) nach Tschechien exportiert und dort zur Sanierung uranhaltiger Schlammteiche eingesetzt (UBA 2019a).

Aufgrund der Tatsache, dass Gips multi-recyclingfähig ist, kann somit RC-Gips, wenn er die Qualitätskriterien der Gipsindustrie erfüllt, ohne weitere Aufbereitung als sekundärer Rohstoff zum Schließen des Gipskreislaufes mehrfach verwendet werden.

¹¹ Bis September 2005 nach DIN 18180 als Gipskartonplatten bezeichnet; neue Bezeichnung Gipsplatten in DIN EN 520.

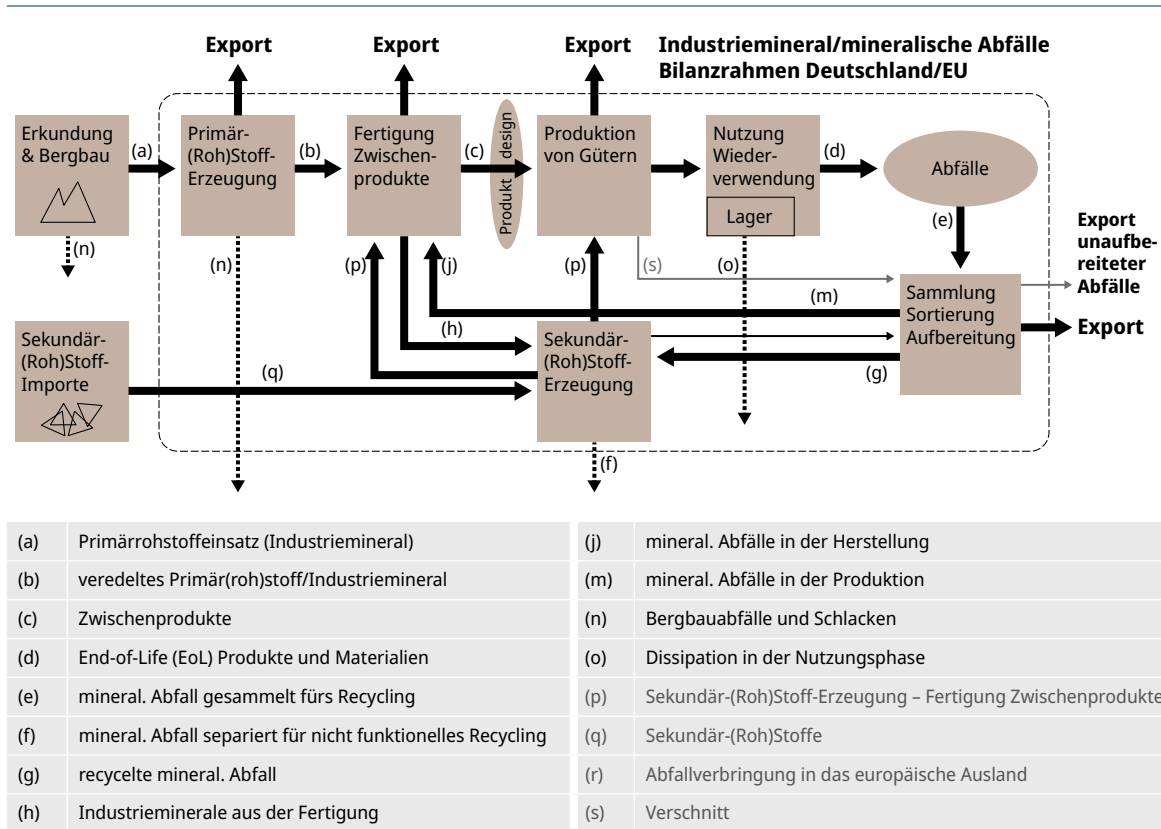


Abb. 24: Referenzgrafik Stoffstrom Gips in Anlehnung an UNEP (2011)

Die Qualitätskriterien, die von Seiten des BV Gips als Qualitätsempfehlungen veröffentlicht wurden, gliedern sich wie folgt:

- Technische Parameter
- HSE-Parameter (Health-Safety-Environment), insbesondere anorganische Spurenelemente
- Ausschluss von karzinogenen Fasergehalten (Asbest und künstliche Mineralfasern)

Die detaillierten Qualitätsempfehlungen sind auf der Homepage des BV Gips (BV Gips 2022) nachzulesen. Neben der Erfüllung der Qualitätskriterien fordert die Gipsindustrie darüber hinaus, dass qualitätsgerechter RC-Gips gemäß § 5 KrWG das Ende der Abfalleigenschaft erreicht hat. Dies kann bislang nur durch Nachweis im Einzelfall im Rahmen der immissionschutzrechtlichen Genehmigung der jeweiligen Recyclinganlage belegt werden, da es in Deutschland keine bundesweit gültigen Kriterien für das

Ende der Abfalleigenschaft von RC-Gips gibt. Für die Gipsprodukte, die insbesondere im Innenausbau verwendet werden, ist die Forderung nach einem Abfallende für qualitätsgerechten RC-Gips unverzichtbar.

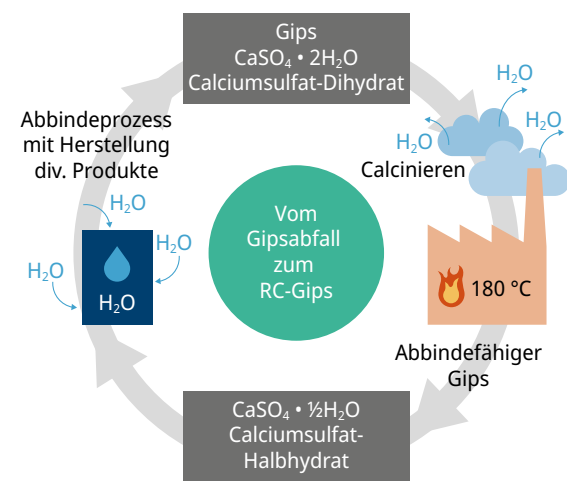


Abb. 25: Vom Gipsabfall zum RC-Gips (BV Gips 2023)

Mengenströme beim Gipsrecycling

Auskunft über die jährlichen Mengenströme an Bauabfällen geben die regelmäßigen Monitoring-Berichte über mineralische Bauabfälle der Kreislaufwirtschaft Bau (KWB). Mit diesen Monitoring-Berichten werden auch Bauabfälle auf Gipsbasis, wie der Abfallschlüssel-Nummer 170802 (DESTATIS 2023), seit vielen Jahren statistisch erfasst. Von den angefallenen 741.000 Tonnen Bauabfällen auf Gipsbasis wurden im Jahr 2020 etwa 442.000 Tonnen (59,6 %) einer Verwertung zugeführt, während 299.000 Tonnen (40,4 %) auf Deponien beseitigt wurden. Im Vergleich zur gesamten Anfallmenge von rund 221 Millionen Tonnen mineralischer Bauabfälle machen Bauabfälle auf Gipsbasis mit 741.000 Tonnen also eine sehr geringe Menge aus (KWB 2023b). Davon gelangten im gleichen Jahr nur etwa 63.000 Tonnen RC-Gips wieder in die Gips-Produktion. Extrapoliert man die bisher statistisch erfassten Mengen von Bauabfäl-

len auf Gipsbasis, so erreicht man etwa im Jahr 2028 die Menge von eine Million Tonnen (eine progressive Entwicklung der Gipsabfall-Menge vorausgesetzt).

Allerdings sind diese Gipsabfälle nicht komplett recycelbar, da es sich sowohl um recycelbare Gipsplattenabfälle als auch um ziegel- und betonhaltige Bauabfälle mit geringen Gipsputzanhäufungen und andere nicht recycelbare Bauabfälle mit geringen Gipsanteilen handelt. Zudem werden oft auch andere Abfälle wie Porenbeton fälschlicherweise diesem Abfallschlüssel zugeordnet. Nach Schätzung des BV Gips sind circa 50 % recycelbare Gipsplattenabfälle in der Menge der Bauabfälle auf Gipsbasis enthalten. Weiterhin zeigt eine Studie des UBA (BUCHERT et al. 2017) aus dem Jahr 2017 mehrere Szenarien auf, in denen die optimistischste Variante von einem Potenzial von ca. 1,2 Millionen Tonnen recyclingfähigen Gipsabfällen ausgeht.

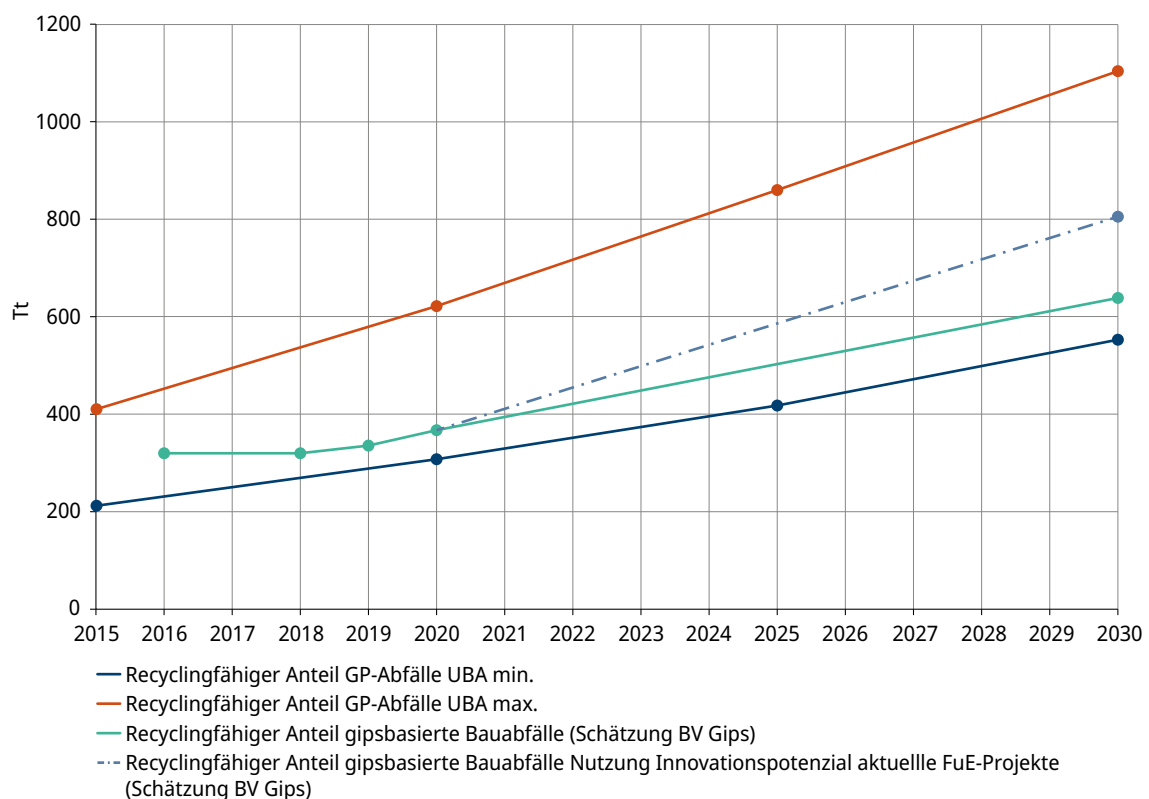


Abb. 26: Recyclingfähiger Anteil von Gipsplatten-Abfällen beziehungsweise gipsbasierten Bauabfällen. Statistisch erfasste Mengen von Bauabfällen auf Gipsbasis und progressive Extrapolation (ab 2020) der Mengen bis 2030 (BV Gips 2023)

In den Bauabfällen auf Gipsbasis (Abfallschlüssel Nummer 170802) werden in der Regel keine Gipsputzabfälle erfasst. Sie sind bislang gewöhnlich Teil des Mischbruchs im Bauschutt. In der Fachliteratur gibt es verschiedene Berechnungsansätze und Methoden, die aktuell nur sehr grobe Schätzungen der möglichen RC-Gipsmengenpotenziale ermöglichen. Ein zukünftig umfassenderer selektiver Rückbau sowie neue Methoden zur Abtrennung von gipshaltigen Wertstoffen aus dem Bauschutt, die im

Rahmen aktueller Forschungsprojekte entwickelt werden, sollen einen Beitrag zur Erschließung dieser bisher ungenutzten Gipsrecyclingpotenziale leisten.

3.3.2 Barrieren im Recycling

Im Folgenden findet sich eine Auflistung der durch die Teilnehmenden des UAK identifizierten Barrieren.

Regulatorik

Stoffstrom	Barriere
Bau- und Abbruchabfälle, gipshaltig (Gipsplatten, Trockenbauwände, Gips-Wandbauplatten)	Rechtssichere Lösungen zur Entsorgung von Gipsplatten mit anhaftenden asbesthaltigen Spachtelmassen/Putzen fehlen
Porenbetonsteine	Porenbetonsteine sind aufgrund des geringen Gipsanteils nicht im Rahmen vom Gipsrecycling recycelbar und werden fälschlicherweise den Gipsabfällen zugeordnet (keine eigene Abfallschlüsselnummer)
Gipsabfälle (recyclingfähig)	Die Abfallhierarchie des KrWG wird nicht hinreichend befolgt und wird derzeit aufgeweicht (Abweichung zur EU-Abfallrahmenrichtlinie), da unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit von der Abfallhierarchie abgewichen werden darf, wenn zum Beispiel die Deponierung wesentlich kostengünstiger als Recycling ist
Gipsplatten, Trockenbauwände	Die Abfallhierarchie wird in der EU-AbfallverbringungsVO nicht hinreichend befolgt (da keine Sanktionen drohen) und so können grün gelistete Gipsabfälle ohne weiteren Genehmigungsaufwand von einem EU-Land in ein anderes für sonstige Verwertung transportiert werden
Gipsabfälle (recyclingfähig)	Es existieren differierende Annahmekriterien in Recyclinganlagen zum Beispiel bezüglich zulässiger Störstoffanteile unter Berücksichtigung der technischen Möglichkeiten und Regionen (Berlin 0 Ma.-%, GewAbfV 5 Ma.-%, aber auch 10 Ma.-%)
Naturgips	Langfristige Planungs- und Genehmigungsverfahren erschweren den Abbau von Naturgips, welcher nach aktuellem Stand für die Herstellung von Gipsplatten/Gipsputzen benötigt wird, da aktuell maximal 30 % RC-Gips im Gemisch mit Naturgips eingesetzt werden können (liegt an der Qualität/Reinheit von RC-Gipsen von 80 bis 85 %) ¹²
RC-Gips	Es fehlt an einer dringend erforderlichen Festlegung eines verbindlichen Analyseverfahrens in Verbindung mit einer Nachweisgrenze als Beurteilungswert, bei dessen Unterschreitung der RC-Gips als asbestfrei gilt

¹² Geschäftsstelle: Diese Aussage stellt eine „Debattenposition“ dar, das heißt, zum Thema „Einsatz von RC-Gipsen und Naturgipsabbau“ gibt es in der Dialogplattform unterschiedliche Standpunkte und Sichtweisen.

Stoffstrom	Barriere
RC-Gips	In Deutschland gibt es keine bundesweit gültigen Kriterien für das Ende der Abfalleigenschaft von RC-Gips
	Es fehlen rechtlich klarere Linien zur Vorerkundung hinsichtlich Schadstoffbelastungen, zum Beispiel über Vorerkundungspflicht des Bauherrn mittels eines Audits von Gebäuden
	Unzureichende Sortenreinheit beim Rückbau von Gebäuden (unzureichende Handhabung GewAbfV-Auflagen) führt zur Querkontamination und Verschlechterung der RC-Qualität

Anreize und Förderung

Stoffstrom	Barriere
(Zwischen-)Produkt	Es fehlt an Single-Material-Systemen und/oder recyclinggerechten Aufbauten , da derzeit modern: multifunktionale Bauteile, Drucktechniken, Multi-Systemaufbauten, Standardisierung, weg vom Fachpersonal, automatisiert (eventuell auch KI-gestütztes Bauen/Abbauen)
	Zur RC-Gips-Substitution bedarf es neuer Rezepturenentwicklungen und -anpassungen, gegebenenfalls durch mehr kostenintensive Additive
RC-Gips-Baustoff	Nach BauPVO/Norm gibt es keine Vergleichskennzeichnung zu Naturgips, auch nicht für REA-Gips etc.. In Umweltproduktdeklarationen (EPDs) kann der RC-Gipsanteil kommuniziert und berücksichtigt werden
Bau- und Abbruchabfälle	Die Trennung und Erfassung der Stoffströme am Anfallort und an der Recyclinganlage (Bau- und Abbruchabfälle) sind aufgrund fehlender konsequenter Umsetzung der Anforderungen der GewAbfV mangelhaft
	Es mangelt an der konsequenten Anwendung von GewAbfV und KrWG , das heißt, recyclingfähige Gipsprodukte nicht anderweitig „verwerten“ oder deponieren (siehe Sanierung uranhaltiger Schlammteiche), den Rückbau (in Ausschreibungen) hoch gewichten und geschultes Personal einsetzen
Bau- und Abbruchabfälle, gipshaltig (Gipsplatten, Trockenbauwände, Gips-Wandbauplatten)	Es gibt keine einfache (wirtschaftliche) Handhabe auf der Baustelle für asbesthaltige Materialien (Putz- und Spachtelmassen), was ein großes Problem ohne bundeseinheitliche Lösung (zum Beispiel Vorerkundungspflicht) darstellt
	Es mangelt an Werbung bei den Abbruchunternehmen für eine Anlieferung getrennt erfasster gipshaltiger Bau- und Abbruchabfälle
Störstoffreiche gipshaltige Baustellenabfälle	Für störstoffreiche gipshaltige Baustellenabfälle wird zum Teil keine stringente Getrennthaltung bis zur Recyclinganlage sichergestellt

Anreize und Förderung

Stoffstrom	Barriere
Gipsabfälle	Das fehlende ökologische Bewusstsein beziehungsweise die Unwissenheit über Möglichkeiten der Kreislaufführung bei Privat und Gewerbe führt (auch weil Gipsbaustoffe relativ preiswert sind) zu einer geringen Rückführung von Gipsabfällen
	Für kleine Betriebe beziehungsweise innerhalb eines Zusammenschlusses kleiner Betriebe liegen Hindernisse im innerbetrieblichen Recycling, welches kein Recycling im klassischen Sinne darstellt, da kein Abfall (bisher nicht in die Berechnung der 10 % RC-Gips Anteil von circa 63.000 Tonnen eingegangen)
Gips-Platten, Formen, Dental: sortenrein und Mischbruch	Es mangelt an geschultem Personal, Geld und Bewusstsein/Wertschätzung für eine bauteil- oder materialelektive Sammlung
Naturgips	Die durch Um- und Rückbau gewonnenen recyclingfähigen RC-Gips-Potenziale werden nicht vollständig gehoben , sodass die Verwendung von Naturgips und Naturanhydrit unzureichend begrenzt wird
neue Rohstoffquellen	Reinheitskriterium erschwert die Erschließung vieler neuer Rohstoffquellen von vorneherein (zum Beispiel Reinheitskriterien „Dihydrat“)

Infrastruktur und Logistik

Stoffstrom	Barriere
Bau- und Abbruchabfälle, gipshaltig (Gipsplatten, Trockenbauwände, Gips-Wandbauplatten)	Einfache Sammelsysteme (lokale Sammelstellen beziehungsweise -organisation) zur zeitnahen Gestellung/Abfuhr von Containern für Bau- und Abbruchabfälle auf der Baustelle fehlen
Gipskleinmengen/ Formgipse	Für Gipskleinmengen und Formgipse fehlt es an Sammel- und Rückführungssystemen
Gipsplatten, Formen, Dental: sortenrein und Mischbruch	Dezentrale Sammel- und Recyclingstellen für Gipsplatten/Formen/Dental fehlen auch wegen der Niederschwelligkeit der Entsorgung, wobei die Transportentfernung ökologisch ausschlaggebend ist
RC-Gips aus verschiedenen Sekundärrohstoffquellen	Der Wille zur dezentralisierten Sammlung auch von kleinen Mengen durch niederschwellige Logistik ist unzureichend eingerichtet für RC-Gipse aus verschiedenen Sekundärrohstoffquellen, zum Beispiel weniger reine Naturgipse, „REA-Gips“ aus kleinen Verbrennungsanlagen (KMU), andere industrielle Nebenprodukte, Filtergipse etc.
Bau- und Abbruchabfälle, gipshaltig	Ein flächendeckendes Netz von Recyclinganlagen fehlt, wodurch es zu langen Transportstrecken kommt

Daten und Digitalisierung

Stoffstrom	Barriere
Filterkuchen aus Abwasservorbehandlungsanlagen der Oberflächenbehandlungsbetriebe (zum Beispiel Anodisierbetriebe)	Es fehlen Informationen zur spezifischen Zusammensetzung von gipshaltigen Abfällen (Filterkuchen aus Abwasservorbehandlungsanlagen der Oberflächenbehandlungsbetriebe, zum Beispiel Anodisierbetriebe)

Technologien & Prozesse

Stoffstrom	Barriere
(Zwischen-)Produkt	Es fehlt an rohstoffsparenden neuartigen Bauteilen (Fertigteil- versus Vor-Ort-Herstellung) durch Anpassung im Produktdesign , um dadurch weniger (Ab)Bruch und CO ₂ -Emission zu erzeugen
	Im (materialeitigen) Produktdesign wird kein/kaum Stuckgips statt Alpha-Halbhydrat oder Thermoanhydrit zur Energie- und CO ₂ -Einsparung eingesetzt werden, zum Beispiel zur Herstellung von Estrich-Gips
Alternative Gipsrohstoffquellen/Industriegipse	Unzureichende Erforschung und Akzeptanz alternativer Rohstoffquellen , wobei bei sehr feuchthaltigen Materialien der Zielkonflikt einer notwendigen Trocknung und damit einhergehendem Energieeinsatz (CO ₂ -Bilanz) betrachtet werden muss
Aufbereitungsrückstände	Bestehende Aufbereitungsprozesse und Gewinnung von Wertstoffrückständen (Metalle, Papier ...) sowie die Wiederaufbereitung und -aufnahme der Rückstände aus der Primärgipsgewinnung ist nicht optimiert
Gipsfaserplatten	Beim (selektiven) Gebäuderückbau fehlt es an ausreichend Wissen zur Unterscheidung von Gipskartonplatten (GKP) und Gipsfaserplatten (GFP), sodass es zur Vermischung und Erhöhung des TOC-Gehalts durch Papierfasern aus GFP im RC-Gips kommt
Gipsplatten, Formen, Dental: sortenrein und Mischbruch	Recyclingprozesse sind nicht ausreichend verknüpft (zum Beispiel Abtrennen von Gipsresten aus Mauerwerksbruch)
Gipsplatten, Trockenbauwände	In den Recyclinganlagen für Gipsplatten und Trockenbauwände fehlen Sortier-/Aufbereitungstechniken , jedoch müssen die höhere Sortiertiefe und der Aufwand (Kostentreiber Entstaubung) finanziell abgefangen beziehungsweise unterstützt werden (Annahmekriterien hängen von Möglichkeiten ab, was mit ausgeschleustem Material passiert, zum Beispiel Kartonanteil etc.)
Gipsprodukte	Es wird unzureichend auf recyclingfähige Additive bei Gipsprodukten geachtet, wodurch zukünftig Probleme beim Recycling entstehen können (zum Beispiel Hydrophobierungs-Additive) Überwindung der Barrieren zur Fertigung von 100 %igen RC-Gipsplatten (vergleiche Produkte in Japan). Eingesetzt werden RC-Gipse aus Gipsabfällen, die beim Neubau entstehen (Verschnittmaterial)

Technologien & Prozesse

Stoffstrom	Barriere
Gipsprodukte	Die schrittweise Verwendung von RC-Gips in der Produktion hängt von vielen Faktoren ab: den verwendeten Maschinen und der Verfahrenstechnik, der Erfahrung/Empirik und der Qualität des RC-Gipses. Die schrittweise Steigerung muss mit der Qualität der Produkte abgeglichen werden
Modulare Gipsbauprodukte	Am Markt existieren aufgrund von Kosten/Akzeptanz und mangelndem flächendeckenden Aufbau bisher eher wenige Systeme für die direkte Wiederverwendung von modularen Gipsbauprodukten
Niederbrand-, Mittelbrand- oder Hochbrand-Gipsbindemittel je nach Sek.-Rohstoff (= Stuckgips/Mehrphasengips/Thermoanhydrit)	Einfluss spezifischer Eigenschaften von RC-Gipsen und deren Bindemittel auf den Produktionsablauf limitiert die Möglichkeit der Substitution (zum Beispiel Niederbrand-, Mittelbrand- oder Hochbrand-Gipsbindemittel je nach Sek.-Rohstoff entsprechend Stuckgips/Mehrphasengips/Thermoanhydrit)

3.3.3 Handlungsoptionen

Wenngleich die dargestellten potenziellen jährlichen Mengenströme an RC-Gips bei Weitem nicht ausreichen, die zurückgehenden REA-Gips-Mengen zu kompensieren, sind sie aus den oben ausgeführten Gründen nicht zu vernachlässigen und ihr Einsatz als sekundäre Rohstoffe ist unverzichtbar. Die letzten, auf einer internen Abfrage des BV Gips bei ihren Mitgliedsunternehmen basierenden Zahlen aus 2020 zeigen, dass hier noch ein erhebliches Steigerungspotenzial vorhanden ist, wenn genügend qualitätsgerechter RC-Gips zur Verfügung stünde:

Verwendeter RC-Gips (2020): rund 196.000 Tonnen, davon

- RC-Gips aus externen Quellen: rund 63.000 Tonnen entsprechend knapp 10 % Recyclingrate bezogen auf 740.000 Tonnen Gipsabfälle gemäß KreislaufwirtschaftBau (KWB) für 2020 (im Jahr 2021 steigt die Menge RC-Gips auf rund 74.000 Tonnen, BV Gips 2022);
- intern verwendeter RC-Gips aus Produktionsausschuss rund 133.000 Tonnen (im Jahr 2021 steigt die Menge intern wiederverwendeter RC-Gips aus Produktionsausschuss auf rund 156.000 Tonnen, BV Gips 2022).

Der UAK Gips hat nach der Diskussion der Barrieren Vorschläge entwickelt, wie diese Barrieren abgebaut werden könnten. Als wesentliche „Enabler“ werden folgende neun Punkte adressiert.

Überblick der Enabler

- | | |
|----|--|
| #1 | Rechtsgebietsübergreifender und rechtssicherer Asbestgrenzwert in Verbindung mit einem standardisierten Analyseverfahren für RC-Gips |
| #2 | Reduktion der deponierten recyclingfähigen Gipsabfälle |
| #3 | Ausbau/Entwicklung/Optimierung der Sortier-, Sammel- und Recycling-Infrastruktur |
| #4 | Export von Gipsabfällen unterbinden |
| #5 | Technologieanpassung/Entwicklung |
| #6 | Schulung und Einsatz für a) Renovieren statt Abriss und b) einen bewussten und vorrangigen Einsatz rückbaubarer und sortenreiner Bauteile bei Unternehmen, Bevölkerung, Verbänden, öffentlicher Hand |
| #7 | Informationskampagnen zur Stärkung des ökologischen Bewusstseins und Rückführung von Gipsabfällen |

#8	Recyclinggerechte Baukonstruktionen
#9	Eigener Abfallschlüssel für Porenbeton über Novellierung der Europäischen Abfallliste
#10	Rechtssichere Festlegung des Endes der Abfalleigenschaft

Im Mittelpunkt steht die Frage, warum nur so wenig RC-Gips aus externen Quellen, insbesondere aus dem Rückbau, verwendet wurde. Und dies vor dem Hintergrund, dass die zurzeit betriebenen Gipsrecycling-Anlagen nicht ausgelastet sind. Die wesentlichen Hemmnisse sind wie folgt:

- Das **Asbestproblem**.
- **Mangelnde Rückführung** getrennt erfasster gipshaltiger Bau- und Abbruchabfälle **zu den Recyclinganlagen**:
 - a) Es werden immer noch recycelbare Gipsplattenabfälle in deutschen **Deponien** zu geringen Kosten beseitigt.
 - b) **Export** von mehr als 100.000 Tonnen/Jahr recycelbarer Gipsplattenabfälle insbesondere in eine sogenannte „Verwertungsmaßnahme“ in Tschechien.
- Mangelnde Verfügbarkeit von **neuen Technologien** zur Abtrennung von gipshaltigen Wertstoffen aus dem gemischten Bauschutt.
- **Fehlendes ökologisches Bewusstsein** von zum Beispiel Bauherrinnen/Bauherren, Planerinnen/Planern und Fachunternehmerinnen/Fachunternehmern beziehungsweise die Unwissenheit über **Möglichkeiten der Kreislaufführung** von Gipsbauprodukten/Markt für RC-Gipsprodukte.

Asbestproblem

Zum Asbestproblem im Einzelnen

Bis zum 31.10.1993 durften asbesthaltige Baustoffe in Deutschland verwendet werden. Bezogen auf Gipsplattenabfälle sind hier an erster Stelle pastöse Spachtelmassen (keine gipsbasierten Spachtel) zu nennen, denen Asbestfasern zugesetzt wurden. Gipsprodukte selbst enthalten dagegen keine Asbestfasern. Umfassende Untersuchungen zeigen, dass eine Asbest-Querkontamination für Bauabfälle aus dem Rückbau daher nicht auszuschließen ist, da in unterschiedlichen mineralischen Baustoffen Asbestkomponenten verwendet wurden.

Kernproblem: Das BMU fordert, dass keine einzige Asbestfaser in RC-Materialien enthalten sein darf („Null-Faser-Politik“), was ein Widerspruch zur Realität ist und das Recycling von jährlich circa 60 Millionen Tonnen mineralischer Bauabfälle in Frage stellt. In der Natur gibt es keine „Null-Konzentration“ von Stoffen. Es fehlt daher ein rechtsgebietsübergreifender Asbestgrenzwert in Verbindung mit einem standardisierten Analyseverfahren für RC-Gips und andere Recycling-Materialien, der aber für mineralische Rohstoffe existiert. Eine Unterschreitung dieses Grenzwertes muss „asbestfrei“ bedeuten. Mit Bezug auf diese Rechtsunsicherheit lehnen einige Gipsunternehmen die Verwendung von RC-Gips aus dem Rückbau ab, solange keine Rechtssicherheit hergestellt ist.

Daneben geht das BMUV, anders als Behörden im Ausland, davon aus, dass einmal absichtlich in Baustoffe zugesetzte Asbestfasern immer „absichtlich zugefügt“ bleiben. Im Ausland dagegen wird nur der Recyclingvorgang betrachtet und eine unbeabsichtigt eingetragene beziehungsweise sogar über Qualitätskriterien unerwünschte Verunreinigung im Sinne des Chemikalienrechtes als nicht absichtlich zugesetzt ansieht. Damit ergibt sich in unterschiedlichen Ländern Europas eine unterschiedliche Ausgangssituation hinsichtlich des Verbots von Asbestfasern in Produkten.

Enabler #1

Rechtsgebietsübergreifender und rechtssicherer Asbestgrenzwert in Verbindung mit einem standardisierten Analyseverfahren für RC-Gips

- Eine Unterschreitung dieses Grenzwertes muss „asbestfrei“ bedeuten. Mit Bezug auf diese Rechtsunsicherheit lehnen einige Gipsunternehmen die Verwendung von RC-Gips aus dem Rückbau ab, solange keine Rechtssicherheit hergestellt ist.
- In der Neufassung der LAGA M23 (Stand 29.11.2022 veröffentlicht am 08.05.2023) werden in den Anhängen Entsorgungshinweise, Entsorgungswege und Besonderheiten für asbesthaltige Abfälle gegeben, des Weiteren werden Untersuchungsmethoden für potenziell asbesthaltige Abfälle in Anhang 4 empfohlen sowie in Anhang 5 Kennzeichnungen und Erkennungsmerkmale, die eine Asbestfreiheit belegen. LAGA-Regeln alleine benötigen mindestens eine Umsetzung im Landesrecht, um rechtsverbindlich zu werden.
- Entwicklung von Asbestanalyseverfahren, die auch für die Untersuchung inhomogener Abfallmassen wie Bauschutt geeignet sind.

Mangelnde Rückführung

Zum Problem der mangelnden Rückführung im Einzelnen

Im Bundesgebiet wird jährlich die überwiegende Menge des Rohstoffes Gips in Form von Bauprodukten verarbeitet. Die Rückführung der gipshaltigen Bauabfälle nach dem Rückbau ist auf einem geringen Niveau und muss gesteigert werden. In der Praxis werden überwiegend rückgebaute Gipsplatten bestehenden Recyclinganlagen zugeführt. 2020 wurden aus recyclingfähigem Gipsabfall etwa 63.000 Tonnen Recycling-Gips produziert. Dies entspricht etwa 10 % der anfallenden Gipsabfälle. Die Kapazität zum Recyceln von Gipsabfällen in Deutschland ist nicht ausgeschöpft. Die geringe Recycling-Quote ist auch auf die mangelnde Rückführung

der Abfälle zurückzuführen. Ursachen dafür liegen unter anderem in fehlenden Sammel- und Logistiksystemen und einer fehlenden attraktiven Kostenstruktur.

Das Deponieproblem

In Deutschland gibt es aus verschiedenen Gründen sehr unterschiedliche Entsorgungspreise für die Ablagerung auf Deponien (Verknappung Deponieraum, Betriebskosten, Gewinnerwartung ...). Grundsätzlich müssen für alle Abfälle auch Beseitigungsoptionen vorgehalten werden, um zum Beispiel schadstoffhaltige oder nicht mit verhältnismäßigem Aufwand aufzubereitende Abfälle sicher entsorgen zu können. Im Gegensatz zu anderen Ländern wie Österreich gibt es in Deutschland aber kein Ablagerungsverbot recyclingfähiger Gipsabfälle.

Enabler #2

Reduktion der deponierten recyclingfähigen Gipsabfälle

- Ablagerungsverbot recyclingfähiger Gipsabfälle.
- Anreize für Deponiebetreiber schaffen, erhaltene gipshaltige Abfälle, die separat einzustufen sind, für Gipsrecyclinghöfe zur Verfügung zu stellen.
- Erhöhung der Deponierungskosten ausschließlich für recyclingfähige Gipse, zum Beispiel über Mindestpreis, Besteuerung oder Abgaben.
- Ein Ablagerungsverbot für Abfälle, die zum Recycling getrennt gesammelt wurden (§ 7 Absatz 3 DepV, Ziffer 1) gilt ab 01.01.2024.

Zum Sammel- und Logistikproblem

Die geringe Recyclingquote ist auch auf die mangelnde Rückführung der recyclingfähigen Abfälle zurückzuführen. Ursachen dafür liegen unter anderem in fehlenden Sammel- und Logistiksystemen und einer fehlenden attraktiven Kostenstruktur.

Enabler #3

Ausbau/Entwicklung/Optimierung der Sortier-, Sammel- und Recycling-Infrastruktur

- Aufbau eines Netzwerkes zur niederschweligen Sammlung von Gipsabfällen (örtliche Entsorgungsunternehmen, Sammelringe, Paketdienste, Apps).
- Einrichtung geeigneter Sammelstellen auf Sammelhöfen für die Bevölkerung mit geeigneten Screening-Systemen (gegebenenfalls durch die Unternehmen in Zusammenarbeit mit den örtlichen Sammelstellen wie städtische oder öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger).

Zum Exportproblem

Abfälle werden in Abhängigkeit vom Gefährdungspotenzial einer „Grünen Liste“ (nicht gefährlich) oder einer „Roten Liste“ (gefährlich) zugeordnet, die über europäische Vorgaben (Abfallverbringungsverordnung) und internationale Vorgaben (OECD) erstellt werden. Nichtgefährliche Gipsabfälle wie Gipsplatten unterliegen als Abfälle der Grünen Liste innerhalb Europas keinen Handelseinschränkungen und werden wie Wirtschaftsgut behandelt, solange eine „Verwertung“ in einem Mitgliedsstaat der Europäischen Union erfolgt. Eine Unterscheidung nach den Kriterien der Abfallrahmenrichtlinie, ob es sich um ein höherwertiges „Recycling“ oder eine „sonstige Verwertung“ handelt, ist bislang kein Kriterium zur Untersagung eines Abfallexportes, weil unter anderem auf OECD-Ebene diese in der Europäischen Union bereits eingeführte Abfallhierarchie noch nicht existiert. Auch kann ausschlaggebend sein, dass im importierenden Land möglicherweise gar keine Gipsrecyclinganlagen existieren und damit (auch für die dort anfallenden Gipsabfälle) die „sonstige Verwertung“ dort als bevorzugteste Variante angesehen wird.

Hier wird dringender Handlungsbedarf gesehen zur Schaffung rechtssicherer Regelungen!

Enabler #4

Export von Gipsabfällen unterbinden

- Ausfuhrzölle, um die Verbringung recyclingfähiger Abfälle in Verfüllungsmaßnahmen im Ausland gesetzlich (möglicherweise auf Länderebene) zu unterbinden.
- Innerhalb Europas ein Exportverbot aus Ländern, in denen Recyclinganlagen vorhanden sind, in Länder, in denen keine Recyclinganlagen für Gipsplatten existieren, einführen (innerhalb der derzeit laufenden Novellierung der EU-Abfallverbringungsverordnung).

Neue Technologien zur Abtrennung von gipshaltigen Wertstoffen aus dem gemischten Bauschutt

Zum Punkt neue Technologien im Einzelnen

Nach jetzigem Stand der Technik können insbesondere Gipsabfälle recycelt werden, welche einen geringen Störstoffanteil (< 5 – 10 %) aufweisen. Ein zukünftig umfassenderer selektiver Rückbau sowie neue Technologien zur Abtrennung von gipshaltigen Wertstoffen aus dem gemischten Bauschutt, die im Rahmen aktueller Forschungsprojekte entwickelt werden, sollen einen Beitrag zur Erschließung von bisher ungenutzten Gipsrecyclingpotenzialen leisten.

Enabler #5

Technologieanpassung/Entwicklung

- Entwicklung neuer Technologien zur Abtrennung von gipshaltigen Wertstoffen aus dem gemischten Bauschutt.
- Fokussierung auf das Recycling von Putzen und Estrichen (aufgrund der Mengenanteile).
- Voraussetzung dafür sind ein verbesserter selektiver Rückbau, eine transparente Sammellogistik und Nachverfolgbarkeit der Abfallwege sowie ein angepasstes Produktdesign zur Verbesserung der Wiederverwendbarkeit und der Recyclingfähigkeit zukünftiger zurückzubauender Gipsbauprodukte.

Fehlendes ökologisches Bewusstsein

Enabler #6

Schulung und Einsatz für a) Renovieren statt Abriss und b) einen bewussten und vorrangigen Einsatz rückbaubarer und sortenreiner Bauteile bei Unternehmen, Bevölkerung, Verbänden, öffentlicher Hand

- Vorbildwirkung der öffentlichen Bauträger durch entsprechende Ausschreibungen.
- Schulung und Einsatz für den bewussten Einbau von recyclingfähigen Baustoffen mit hohen RC-Anteilen.

Enabler #7

Informationskampagnen zur Stärkung des ökologischen Bewusstseins und Rückführung von Gipsabfällen

- Das Bewusstsein für ein Gipsrecycling muss durch Aufklärung geschaffen werden, um auch mehr kleine Betriebe an dem Engagement zu beteiligen.
- Adressaten sind alle relevanten Akteure der Wertschöpfungskette: Architektinnen und Architekten, Baufirmen, Hersteller, Privatleute, Abrissunternehmen, Entsorger, öffentliche Hand.

Bauplanung und Produktentwicklung

Enabler #8

Recyclinggerechte Baukonstruktionen

- **Überprüfung und gegebenenfalls Anpassung des Baurechts/Normenwerks** in Bezug auf **recyclinggerechte Konstruktionen**, die einen möglichst beschädigungsfreien Rückbau und eine Wiederverwendung von Bauteilen ermöglichen.
- **Digitale Bauwerksdokumentation**, die den Rückbau und die Wiederverwendung von Bauteilen unterstützt, zum Beispiel durch Angaben zum Ein- und Ausbau von Bauteilen sowie zu Verbindungstechniken und -elementen.

- Stärkung von **Produktdesigns, die auf komplizierte Materialmischungen verzichten** und so die Rückgewinnung sortenreiner Materialien begünstigen.

Weitere

Enabler #9

Eigener Abfallschlüssel für Porenbeton über Novellierung der Europäischen Abfallliste

- Abfälle aus Porenbeton werden derzeit mit der gleichen Abfallschlüsselnummer wie gipshaltige Abfälle erfasst. Porenbeton ist im Gipsrecyclingprozess jedoch störend und sollte daher mit einem eigenen Abfallschlüssel versehen werden.

Enabler #10

Rechtssichere Festlegung des Endes der Abfalleigenschaft

- Erteilung des **Produktstatus am Ende des Aufbereitungsprozesses**, um die Akzeptanz von RC-Baustoffen zu steigern und ihren Einsatz als vollwertige Substitute für Primärrohstoffe zu erleichtern.
- Schaffung einer gesetzlichen Regelung zum **„Ende der Abfalleigenschaft“** mit gegebenenfalls **untersetzenden Qualitätskriterien**, die sowohl die umwelt- als auch die bautechnischen Aspekte umfassen.

3.3.4 Machbarkeit und Zielkonflikte

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Machbarkeitsdiskussion dargestellt, in welcher die erarbeiteten Lösungsansätze unter den Aspekten rechtliche, informatorische/organisatorische, technische, ökologische und sozio-ökologische Machbarkeit betrachtet und diskutiert wurden. Die aufgeführten Themen stellen damit die (subjektiven) Sichtweisen der Teilnehmenden dar. Zielkonflikte, bei denen zwei oder mehrere der oben genannten Aspekte im Widerspruch zueinander stehen, wurden (sofern

vorhanden) herausgearbeitet und separat aufgeführt.

Enabler #1

Rechtsgebietsübergreifender und rechtssicherer Asbestgrenzwert in Verbindung mit einem standardisierten Analyseverfahren für RC-Gips

✔ *Machbarkeit*

Der Gesetzgeber ist aufgefordert, eine gesetzliche Regelung nach Vorbild der LAGA M23 in Form einer Verordnung (Bindungswirkung) zu erlassen. Gute Machbarkeit, da Fortschreibung Ersatzbaustoff-VO und/oder Verordnungs-ermächtigung Ende der Abfalleigenschaft geplant/vorhanden.

Grundlage der Umsetzung ist die Einhaltung von Umwelt- und Arbeitsschutz. Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Rechtskräftige Regelung: Es sollte eine mindestens bundesweit einheitliche Regelung oder zumindest Empfehlung geben, ansonsten ist das Aufbereiten der Abfälle schwieriger ebenso die Akzeptanz bei Aufbereiter/Verarbeitern. Die LAGA M23 (LAGA 2022)) enthält bereits Vorgaben zu Grenzwert und Analyseverfahren, jedoch ist die LAGA M23 keine rechtskräftige bundeseinheitliche Regelung.
- Orientierung an Arbeitsschutz: Da es für die toxikologisch relevanten Auswirkungen (Kanzergenität) keinen Schwellenwert gibt und bereits ab der ersten Faser potenziell Kanzerogenität besteht, ist ein Grenzwert von der Sache her auch rechtlich nicht definierbar. Allenfalls könnte man hier an die im Arbeitsschutz in der TRGS 910 aufgeführten Akzeptanz- und Toleranzwerte anschließen.
- Es bedarf einer Harmonisierung zwischen Produkt-, Abfall- und Chemikalienrecht. Es gibt Diskrepanzen zwischen der Einstufung von gefährlichen Abfällen nach Anhang III der Abfallrahmenrichtlinie und der REACH-

Verordnung (Produktstatus nach Ende der Abfalleigenschaft). Beispiel PCB – in Anhang III 50 mg/kg und in REACH 0,1 Gew.-% (Informationspflicht nach Artikel 33). Hier ist der Grenzwert für Produkte höher als der für Abfälle. Dieser Normungsprozess ist durch die Normungsroadmap Circular Economy (DIN et al. 2023) bereits angestoßen worden.

⊗ *Zielkonflikte*

- Eine bundesweite Regelung für einen Asbestgrenzwert steht im Widerspruch zur konsequenten Nullfaser-Politik.
- Weitergehende Harmonisierung zwischen Produkt- und Abfallrecht.

Enabler #2

Reduktion der deponierten recyclingfähigen Gipsabfälle

✔ *Machbarkeit*

Dieser Lösungsansatz könnte durch das Deponierungsverbot zum 01.01.2024 aufgefangen sein, allerdings gilt dieses für alle zum Recycling gesammelten Abfallarten. Die Machbarkeit speziell für recyclingfähige Gipsabfälle ist analog dem bereits beschlossenen Deponierungsverbot zu bewerten.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Es ist eine EU-weite Regelung notwendig: Ein Ablagerungsverbot macht nur Sinn, wenn es in der EU-Deponierichtlinie geregelt ist, da sonst die grenzüberschreitende Abfallverbringung weiter zunehmen wird.
- Bestimmung der Recyclingfähigkeit: Der Begriff der Recyclingfähigkeit ist zu definieren. Die Deklaration müsste durch den Abfallerzeuger geschehen und technische Aspekte berücksichtigen. Laut Taxonomie-Verordnung muss die Prüfung zukünftig am Anfallsort geschehen. Finanzielle Erwägungen sind gemäß Taxonomieverordnung (Taxonomieverordnung 2020) ausgeschlossen.

sen (Wirtschaftlichkeitsgebot), welche für die Bewertung größerer Projekte herangezogen werden wird. Eine Orientierung an den Qualitätskriterien vom BV Gips ist für die Einschätzung der Recyclingfähigkeit (Bewertung des Recyclingproduktes) sinnvoll.

- Die Anpassung der GewAbfV wäre nach Eintritt der Taxonomieverordnung notwendig.
- Die sortenreine Getrenntsammlung in verschiedene Gipse wie zum Beispiel Platten, Estrich, Formengipse vom Anfallsort bis zum Recycler müsste konsequent erfolgen, um Mischfraktionen zu vermeiden und recyclingfähige Gipse zu erhalten.

⊗ Zielkonflikte

- Recyclingfähige Gipsabfälle innerhalb anderer Abfallschlüssel (zum Beispiel gemischte Bau- und Abbruchabfälle) könnten gegebenenfalls weiter deponiert werden.

Enabler #3

Ausbau/Entwicklung/Optimierung der Rücknahme-, Sortier-, Sammel- und Recycling-Infrastruktur

✓ Machbarkeit

Die Machbarkeit ist in Abhängigkeit vom Investitionsbedarf innerhalb der zuständigen Wirtschaft zu beurteilen. Die Ausführung der Maßnahmen muss jeweils wirtschaftlich tragfähig sein.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Breitflächige Informationsbereitstellung: es bedarf für eine sehr weit gestreute Annahme und Abgabe von Gipsabfällen alle Beteiligten so gut zu informieren, dass die Sortenreinheit der abgegebenen Gipsabfälle gegeben ist.
- Akteursvielfalt erhöht Aufwand: aufwendige Sammlung, da viele unterschiedliche Akteure.

- Verfügbare Menge unklar: Es ist eine produktspezifische Abschätzung der Mengenpotenziale notwendig, um den Aufwand und die Kostendeckung flächendeckender beziehungsweise kleinteiliger Sammelinfrastrukturen abzuschätzen.

- Sammelstruktur für spezielle Gipsarbeiten ungeklärt: Es müsste vorab geklärt werden, ob (neue) Sammelstrukturen für spezielle Gipsarten eingeführt werden können: Formen- und Dentalgipse direkt beim Verbraucher einsammeln (Container); gipshaltige Bauabfälle mit selektierenden Abfallboxen (nach Platten, Estrich, Putz und so weiter) an der Abrissstelle; allgemein zugängliche Container für Heimwerker bereitstellen ...

- Ökobilanzielle Vorteile des Mehraufwands prüfen: Durch kleinteiliges Sammeln könnte es zu einer Erhöhung des Transportaufwands mit den bekannten ökobilanziellen Effekten kommen. Es sollte der gesamte ökologische Fußabdruck (Transport, Screening etc.) mit der Beseitigung verglichen werden. Verwiesen wird auf die Erkenntnisse der UBA Texte 33/2017 (BUCHERT et al. 2017).

- Akzeptanzproblem: Akzeptanz muss erhöht werden, um die Sammelmenge zu erhöhen.

- Aufwand für Bürgerinnen und Bürger: Sammelaktivitäten müssen so einfach und ortsnahe wie möglich durchführbar sein, so dass die Trennung und Sammlung mit dem geringstmöglichen Aufwand erfolgen kann. Das Verbringen an zentrale Sammelstellen ist dafür in vielen Fällen schon zu aufwendig, insbesondere Kleinfractionen werden dann einfach schnell über den Restmüll entsorgt und fallen so aus dem Stoffstrom für das Recycling heraus.

⊗ Zielkonflikte

- Transportaufwand versus Sammelmenge: eine Erhöhung der Sammelmenge, insbesondere von Kleinstmassen, geht mit einem erhöhten Transportaufwand und -emissionen einher (gemäß (BUCHERT et al. 2017) bewertbar).

Enabler #4

Export von Gipsabfällen unterbinden

✓ *Machbarkeit*

Schwierige Machbarkeit, da nur im europäischen Rahmen zu regeln.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Eine Änderung der Abfallverbringungs-Verordnung (VVA) wäre notwendig: Exportverbote von Gipsabfällen sind aufgrund des europäischen Binnenmarktes nur sehr schwer umzusetzen. Eine Änderung der VVA wäre erforderlich. Eine Novellierung der AbfallverbringungsVO läuft gerade, das heißt, wenn eine solche Änderung nicht bereits Bestandteil ist, dann erst in nächster Novellierung.
- Kontrollaufwand: Die Kontrolle an Binnengrenzen wäre aufwendig und schwierig. Es müsste geprüft werden, dass ein Recycling im Herkunftsland nicht möglich ist. Als Grundlage der Prüfung könnten die Information auf Basis der Industrial Emission Directive (IED) sein, welche den Stand der Technik in der Europäischen Union sowie eine technische Beschreibung liefert. Ein Anlagenregister wäre für außereuropäische Länder notwendig.
- Ein grundsätzlicher Vorrang des Recyclings gegenüber sonstiger Verwertung ist erstrebenswert, könnte jedoch nicht immer ökologisch vorteilhaft sein: Es kann verlängerte Transportstrecken geben, durch Verunreinigungen kann der Aufwand für das Recycling sehr hoch beziehungsweise das Recycling nicht möglich sein und damit verbunden können ökologische und auch ökonomische Kosten entstehen. Verweis auf (BUCHERT et al. 2017).
- Freihandelsbeschränkung vermeiden: Exportverbote im Inland können auch zu Exportverboten im Ausland führen, entsprechend sollte der freie Markt nicht mehr als

nötig eingeschränkt werden. Gegebenenfalls sollte eine möglichst quantitative ökologisch-ökonomische Komponente integriert sein (Fußabdruck etc.).

⊗ *Zielkonflikte*

Problematik des freien Warenhandels für alle Abfälle zur Verwertung.

Enabler #5

Technologieanpassung/Entwicklung

✓ *Machbarkeit*

Machbarkeit nur im Einzelfall zu beurteilen, da Forschung grundsätzlich ergebnisoffen.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Genehmigungsvorgaben vereinfachen: Genehmigungsverfahren zur Einführung neuer Technologien müssten vereinfacht werden, zum Beispiel über Typengenehmigungen, welche im Rahmen der Landesbauordnungen als Verwaltungsvereinfachung für bauliche Anlagen gedacht sind und für Anlagen in derselben Ausführung an mehreren Stellen errichtet gelten.
- Entwicklungszeiten lang: Technologieanpassungen und Entwicklungen sind notwendig, um sich an ändernde Qualitäten und Quantitäten anzupassen. Dies bedingt längere Entwicklungszeiten für Recyclingtechniken für zum Beispiel Putz und Estriche, was die Umsetzbarkeit erschwert.
- Hohe Entwicklungs- und Anschaffungskosten sind für mittelständische Unternehmen eine Belastung, die zum Beispiel über Forschungsförderung oder Anschubfinanzierungen gemildert werden könnten.
- Daten und Fakten fehlen: Die sozio-ökonomische Komponente beinhaltet wie in den anderen Punkten ein datenbasiertes Verständnis der Öffentlichkeit zu den Chancen und Herausforderungen neuer Technologien,

auch von Kreislaufwirtschaft und Primärrohstoffen, die durch politische Rahmenbedingungen seitens Bund durch ein Miteinander statt ein Gegeneinander faktenbasiert kommuniziert werden sollten.

- Aufklärungsarbeit notwendig, dass Primärrohstoffe notwendig bleiben.
- Die Steigerung der Extraktionsfeinheit für Gips aus Bauschutt müsste verbessert werden. Maßnahmen wären bessere Forschung, um beispielsweise bessere Extraktionsmethoden zu entwickeln und in die Praxis zu bringen.
- Forschungsgelder für neue Technologien der Aufbereitung müssen in gutem Umfang bereitgestellt werden. Guter Umfang meint auch, dass damit die zeitlichen Technologieanpassungen verkürzt werden können, da mehr Personal die Techniken erforscht.

⊗ *Zielkonflikte*

Aktuelle Mittelkürzung im Bereich der Forschung.

Enabler #6

Schulung und Einsatz für a) Renovieren statt Abriss und b) einen bewussten und vorrangigen Einsatz rückbaubarer und sortenreiner Bauteile bei Unternehmen, Bevölkerung, Verbänden, öffentlicher Hand

✓ *Machbarkeit*

Theoretisch gute Machbarkeit, aufgrund von Kosten, Fachkräftemangel und Vollzug gesetzlicher Regelungen faktisch schwierig.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Zertifizierung und Haftung bei Wiederverwendung muss geklärt werden.
- Steigerung des Angebotes an wiederverwendbaren Baustoffen beziehungsweise gut recycelbaren Baustoffen wäre notwendig.

- Die bestehenden Bauvorschriften in Verbindung mit dem Kostendruck erschweren oft ein nachhaltiges Bauen (BMWSB 2022c). Die Ausschreibungsverfahren, gerade im öffentlichen Bereich, müssten angepasst werden.
- Die Einhaltung der Energiestandards, das heißt zum Beispiel der Wärmedämmung, müssten berücksichtigt werden. Die Normungsroadmap Circular Economy (DIN et al. 2023) greift den Aspekt der Wiederverwendung auf.
- Akzeptanz muss geschaffen werden, um wiederverwendbare Produkte mit ähnlichem Preisniveau einzusetzen.

⊗ *Zielkonflikte*

Zielsetzung bezahlbares Bauen versus ökologische Nachhaltigkeit und Circular Economy.

Enabler #7

Informationskampagnen für die Bevölkerung zur Stärkung des ökologischen Bewusstseins und Rückführung von Gipsabfällen

✓ *Machbarkeit*

Gute Machbarkeit, es wurden keine Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren könnten, identifiziert.

⊗ *Zielkonflikte*

keine

Enabler #8

Recyclinggerechte Baukonstruktionen

✓ *Machbarkeit*

Teilweise schwierige Machbarkeit, da Gips auch im Zusammenhang mit nichtrecyclinggerechten Konstruktionen verwendet wird. Gesetzliche Grundlage zur Regelung der Recyclingfähigkeit auf Bauteilebene ist nicht vorhanden.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Umfangreiche Prüfung und Anpassung der sehr komplexen Normung bezogen auf konstruktive Aspekte (nicht stofflich) wäre notwendig. Die Normen müssten Rückbaubarkeit von vornherein berücksichtigen. Ein produktspezifischer Ansatz wäre zu wählen. Aufgrund der sehr zerclusterten Wertschöpfungskette mit vielen Akteuren könnte der Fokus anfangs auf Planerinnen/Planer und Architektinnen/Architekten gelegt werden.
- Einhaltung baulicher Anforderung führt zu hohen ökologischen und ökonomischen Kosten: Dabei sollte berücksichtigt werden, dass einige Bauweisen/Materialien aufgrund bestimmter Eigenschaften für entsprechende Funktionen im Bauwerk gewählt werden. Gegebenenfalls können diese Funktionen nicht mehr erfüllt werden beziehungsweise sind nur mit höherem Aufwand, wie zum Beispiel erhöhtem Materialverbrauch, zu erfüllen. Dies kann wiederum zu höheren Kosten oder ungewollten ökobilanziellen Auswirkungen führen.
- Garantiebedingungen beziehungsweise Gewährleistungsansprüche: Hier werden die Garantiebedingungen oder Gewährleistungsansprüche bei Wiederverwendung von Bauteilen als Hemmnis gesehen. Jedes rückgebaute und wiederverwendete Bauteil müsste einer separaten Prüfung unterzogen werden, um entsprechende Beschädigungen auszuschließen.

⊗ Zielkonflikte

Bautechnisch geforderte Eigenschaften werden auch durch nichtrecyclinggerechte Konstruktionen erfüllt, damit entsteht eine Kostenfrage.

Enabler #9

Eigener Abfallschlüssel für Porenbeton über Novellierung der Europäischen Abfallliste.

✓ Machbarkeit

Grundsätzlich gute Machbarkeit im Rahmen der regelmäßigen Fortschreibungen des europäischen Abfallverzeichnisses.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Gesetzesänderung auf EU-Ebene: Eine Umsetzbarkeit ist mit großen Schwierigkeiten verbunden, da zum Beispiel eine Novellierung der Europäischen Abfallliste dringend notwendig wäre. Die Abfallschlüssel müssten geschärft werden, um den Porenbeton statistisch separat zu erfassen.

⊗ Zielkonflikte

Keiner, da auch die Porenbetonindustrie einen eigenen Abfallschlüssel fordert.

Enabler #10

Rechtssichere Festlegung des Endes der Abfalleigenschaft

✓ Machbarkeit

Grundsätzlich gut, da die Ermächtigungsgrundlage für die Umsetzung in der AbfRRL sowie im Kreislaufwirtschaftsgesetz vorhanden ist.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Umfangreiche Gesetzesänderung: Die vorhandenen Regelwerke müssten in Summe angepasst werden, damit die Einstufung zum Produktstatus erleichtert wird. Die aktuellen Regelungen sind nicht eindeutig.
- Derzeit wird der Status des Endes der Abfalleigenschaft über Einzelfallgenehmigung auf Länderebene geregelt, jedoch sind die Auslegungen und Sichtweisen bei den Behörden nicht einheitlich. Das bedeutet, dass in Abstimmung mit den jeweiligen zuständigen Abfallbehörden die Erteilung des Produktstatus am Ende des Aufbereitungsprozesses genehmigungstechnisch realisierbar ist. Dies zeigt der bereits erteilte Produktstatus für RC-Gipse an den bestehenden Gipsrecyclinganlagen. Somit ist eine deutschlandweite Schaffung einer gesetzlichen Regelung zum „Ende der Abfalleigenschaft“ nicht zwingend notwendig, aber es würde über bundesein-

heitliche Regelung einfacher und rechtssicher werden.

⊗ Zielkonflikte

Übertragung der Kontrolle des Abfallrechtes in die Produktverantwortung der Hersteller.

die privaten und öffentlich-rechtlichen Entsorger.

3. Technologieanpassung und Entwicklungen zur Erschließung zusätzlicher recyclingfähiger Abfallströme durch Forschungseinrichtungen, beteiligte Unternehmen in Produktion, Verarbeitung und Nutzung.

3.3.5 Nächste Schritte

Als **kurzfristig umsetzbare Handlungsoption** wird die rechtssichere Festlegung des Endes der Abfalleigenschaft in Verbindung mit einem rechtssicheren Asbestgrenzwert sowie einem standardisierten Analyseverfahren für RC-Gips auf Verordnungsebene betrachtet. Die Adressaten dieser Handlungsoption sind das Bundesministerium für Umweltschutz und Verbraucherschutz (BMUV) in Verbindung mit dem Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) und der EU-Kommission (Notifizierung). Eine weitere kurzfristig umsetzbare Handlungsoption ist die Reduktion der deponierten recyclingfähigen Gipsabfälle (konsequente Umsetzung des Deponierungsverbotes zum 01.01.2024) durch die Vollzugsbehörden für Abfallrecht in den Ländern.

Handlungsoptionen mit dem **größten positiven Einfluss zur Verbesserung des Recyclings** sind:

1. Der Ausbau, die Entwicklung und die Optimierung der Sortier-, Sammel- und Recycling-Infrastruktur sowie der Aufbau eines Netzwerkes zur niederschweligen Sammlung von Gipsabfällen (örtliche Entsorgungsunternehmen, Sammelringe, Paketdienste, Apps). Die Umsetzung dieser Handlungsoptionen sollte durch Einrichtung geeigneter Sammelstellen durch öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger und die private Entsorgungswirtschaft erfolgen.
2. Informationskampagnen für die Bevölkerung zur Stärkung des ökologischen Bewusstseins und Rückführung von Gipsabfällen. Adressiert werden mit dieser Handlungsoption die öffentliche Hand, NGOs und Verbände sowie

Für die **Verwaltung und Politik** ergeben sich als nächste Schritte die rechtssichere Festlegung des Endes der Abfalleigenschaft in Verbindung mit einem rechtssicheren Asbestgrenzwert sowie einem standardisierten Analyseverfahren für RC-Gips auf Verordnungsebene. Hierfür bedarf es eines Referentenentwurfs seitens des BMUV, der Abstimmung mit der Politik, des Erlasses der Verordnung sowie der Beteiligung an Informationskampagnen.

Industrie und Wirtschaft sollten als Nächstes alles für den Ausbau, die Entwicklung und Optimierung der Rücknahme-, Sortier-, Sammel- und Recycling-Infrastruktur tun. Dies könnte durch Einrichtung geeigneter Sammelstellen durch öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger und die private Entsorgungswirtschaft (Investitionsbereitschaft erforderlich), die Motivation über Informationskampagnen, die Vorbildfunktion der öffentlichen Hand sowie die Beteiligung an Informationskampagnen geschehen.

Die nächsten Schritte für **Wissenschaft und Forschung** sind im Bereich Technologieanpassung/Entwicklung zu sehen, um zusätzliche recyclingfähige Abfallströme zu erschließen. Hierfür bedarf es unterstützend der Bereitstellung von Fördermitteln, der Veröffentlichung und Bekanntmachung der Forschungsergebnisse, vereinfachter Genehmigungsverfahren für neue Technologien, einer Anschubfinanzierung für Unternehmen und ebenfalls der Beteiligung an Informationskampagnen.

3.4 Steckbrief – Keramische Rohstoffe (Feuerfestkeramik)

Keramische Rohstoffe (Feuerfestkeramik)

Unterarbeitskreis-Leitung (Autoren):
Dr. Elke Steinle (Deutsche Feuerfest-Industrie e. V.)
Prof. Dr. Olaf Krause (Hochschule Koblenz)



UAK-Übersicht



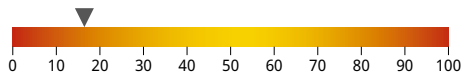
24 Beteiligte



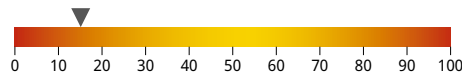
24 % Einzelunternehmen
34 % Wissenschaft
10 % Behörde
24 % Verbände
7 % Zivilgesellschaft



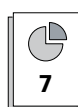
Anzahl **Barrieren**



Anzahl **Lösungsvorschläge**



Themenbereiche der identifizierten Handlungsoptionen



- #1 Abfall- zu Recyclingrecht
- #2 Abfallverbringung
- #3 Ende der Abfalleigenschaft
- #4 Genehmigungsverfahren

- #5 Sortenreiner (selektiver) Ausbau
- #6 Design for Recycling
- #7 Konkurrenzfähigkeit

Präambel

Der UAK Keramische Rohstoffe fokussiert sich auf Feuerfestkeramiken. Mineralische Baurohstoffe, das heißt Boden und Steine, Bauschutt (Fliesen, Ziegel, Sanitärkeramiken), Straßenaufbruch und Baustellenabfälle werden im UAK Baurohstoffe behandelt. Zudem wird der weitere Fokus auf feuerfeste Abfälle aus der Stahlindustrie gelegt, da dort rund 60–65 % der feuerfesten Produkte verwendet werden. Auch bei einer ausschließlichen Betrachtung der feuerfesten Abfälle, die in der Stahlindustrie generiert werden, kann man nicht nur von einem Stoffstrom sprechen, da die verwendeten feuerfesten Produkte, je nach Anwendung, auf einer unterschiedlichen Rohstoffbasis beruhen. Eine Vermischung verschiedener feuerfester Abfälle

aus einer Verwenderbranche, zum Beispiel der Stahlindustrie, schränkt die Wiederverwendung für feuerfeste Produkte ein oder macht sie unmöglich.

3.4.1 Beschreibung relevanter Stoffströme, Wertschöpfungsketten und Anwendungskontexte

Definition und Einteilung

Feuerfeste Werkstoffe sind grobkeramische Produkte, die definitionsgemäß (DIN EN 993-12/ISO 528) in „feuerfest“ und „hochfeuerfest“ eingeteilt werden.

Tab. 10: Überblick Stoffstrom Feuerfestkeramik (Referenzrahmen Deutschland 2020)

Stoffströme	Menge [t]	Quelle
UAK Feuerfestkeramik (Referenzjahr 2020)		
... aus metallurg. Prozessen Kohlenstoffbasis (AVV 161101*)	11.700	(DESTATIS 2023)
... aus metallurg. Prozessen Kohlenstoffbasis (AVV 161102)	1.900	(DESTATIS 2023)
... aus metallurg. Prozessen (AVV 161103*)	60.000	(DESTATIS 2023)
... aus metallurg. Prozessen (AVV 161104)	462.900	(DESTATIS 2023)
... aus nichtmetallurg. Prozessen (AVV 161105*)	16.200	(DESTATIS 2023)
... aus nichtmetallurg. Prozessen (AVV 161106)	51.800	(DESTATIS 2023)

* Gefährlicher Abfall

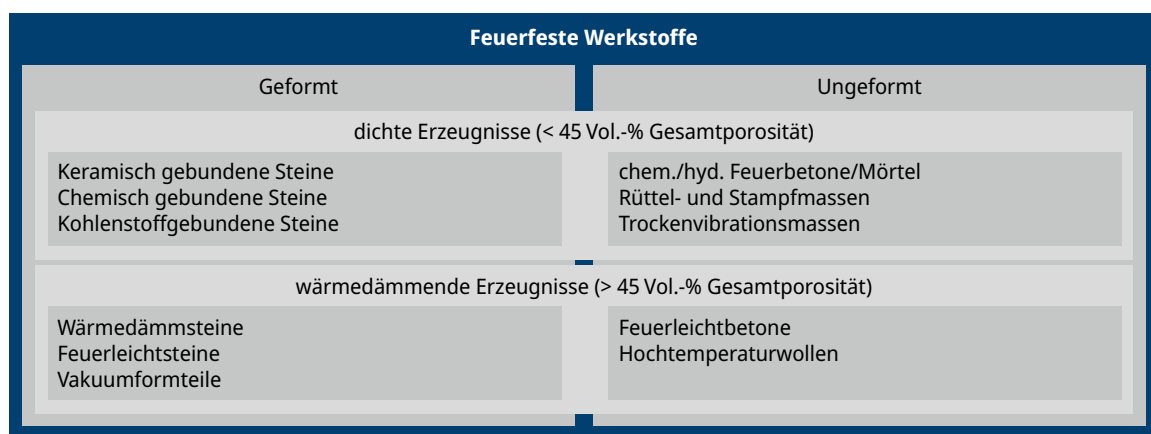


Abb. 27: Einteilung feuerfester Werkstoffe (KRAUSE 2022)

Feuerfeste Werkstoffe werden anhand ihrer mineralischen Komponenten und ihrer Anwendungsart unterschieden und in der Normungsreihe DIN EN ISO 11081 Teile 1 bis 4 stofflich spezifiziert. So werden sowohl gebrannte oder getemperte Produkte von den sogenannten ungeformten Produkten unterschieden, wobei letztere genauer in DIN EN ISO 1927 Teil 1 näher spezifiziert werden.

Die Unterscheidung von feuerfesten Werkstoffen erfolgt durch die

1. Einteilung nach Produkten und Werkstoffgruppen
2. Verwendung für Wärmedämmung und Prozessstabilisierung.

Bei der Einteilung nach Werkstoffen erfolgt die Unterteilung in geformte und ungeformte feuerfeste Werkstoffe, welche sich anhand der Gesamtporosität nochmals in dichte und wärmedämmende Werkstoffe unterteilen lassen (ROUTSCHKA & WUTHNOW 2017).

Je nach Anwenderbranche und konkretem Einsatzgebiet werden feuerfeste Produkte mineralogisch, chemisch und gefügekundlich (Korngrößenverteilung, unterschiedliche Rohstoffe, Binder, chemische Zusammensetzung in den Kornfraktionen) für die jeweilige Verwendung in den verschiedenen Produktionsprozessen designt. So ergeben sich rund 30.000 verschiedene Produkte, die sich grob in geformte und ungeformte Produkte klassifizieren lassen.

Feuerfeste Produkte bestehen aus Rohstoffen, die sich ihrerseits durch einen hohen Widerstand gegenüber hohen Temperaturen und möglichst inert gegenüber den Wechselwirkungen mit den anwendungsspezifischen Prozessmedien (fest, flüssig, gasförmig) verhalten. Die Rohstoffe werden in einer Korngröße von 6 Millimetern (bisweilen auch 12 Millimetern) bis in Fraktionen kleiner als 63 Mikrometer eingesetzt. Die Korngröße wird so abgestimmt, dass typischerweise ein möglichst dichtes Gefüge (Gesamtporosität

circa 12 – 25 Vol.-%) erzeugt werden kann. Die eingesetzten Rohstoffe (wie zum Beispiel Magnesia, Doloma, Korund (Tonerde), Mullit, Spinell, Andalusit, Ton, Schamotte, SiO_2 , Zirkon, Zirkonoxid, Kohlenstoff, Chromit, MA-Spinell, Forsterit und SiC) werden je nach Einsatzgebiet in der Anwenderbranche gezielt ausgewählt, wobei bis zu fünf verschiedene Rohstoffe in einem Produkt zum Einsatz kommen können, die sich oftmals über die gesamte Korngrößenverteilung verteilen. Durch den thermischen Produktionsprozess (Brand, Temperung geformter Erzeugnisse) und durch die Verwendung in der Anwenderbranche, verändern sich die feuerfesten Werkstoffe, wobei die Matrixkomponenten in der Regel versintern (Kornvergrößerung, gegebenenfalls auch Schmelzbildung, Änderung der physikalischen, technologischen Eigenschaften). Hierbei können je nach Produkt auch neue mineralische Phasen entstehen, wie beispielsweise MA-Spinell oder Mullit. Um den Anforderungen der Produktionsprozesse in der Anwendungsindustrie gerecht zu werden, müssen in deren Produktionsanlagen immer verschiedene feuerfeste Produkte (zum Beispiel Arbeitsfutter, Dauerfutter, Wärmedämmung) eingebaut werden.

In ihrer Anwendung müssen feuerfeste Produkte sehr extreme Bedingungen aushalten und werden spezifisch für die jeweilige Anwendung entwickelt. Hervorzuheben sind die hohen Temperaturen bis zu 2000 °C, bei denen die mechanische Stabilität (Raumbeständigkeit) erhalten bleiben muss. Zudem werden feuerfeste Produkte in den meisten Fällen stark korrosiv wirkenden Medien ausgesetzt, die fest (tribomechanische Belastung), flüssig (Metallschmelzen, Schlacken, Säuren) oder gasförmig (Alkalidämpfe, Schwefel, Flour, CO/CO_2) sein können. In periodisch betriebenen Anlagen kommt zudem noch eine hohe thermomechanische Belastung hinzu, indem das Material um bis zu 1000 K auf oder abgeschockt wird. Die Verbesserung der Temperaturwechselbeständigkeit ist unter anderem ein zentrales Entwicklungsziel, was durch die gezielte Mischung von Rohstoffen erreicht wird.

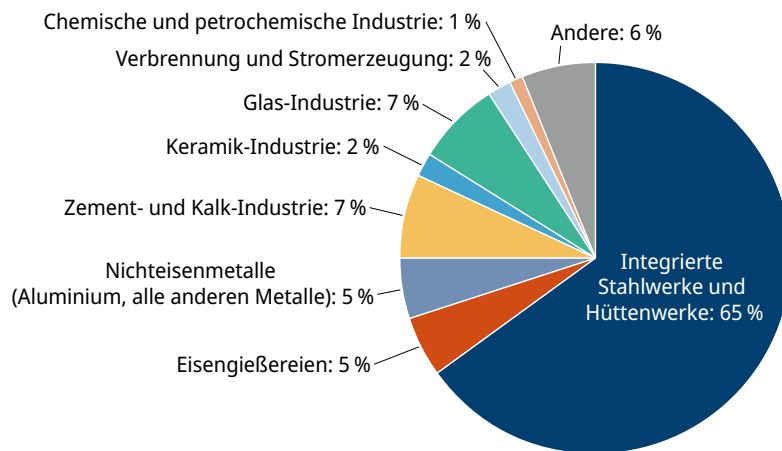


Abb. 28: Verbrauch von feuerfesten Werkstoffen nach Abnehmer-Industrien (PRE 2021)

Produktion und spezifischer Verbrauch

Im Jahr 2021 hat die Feuerfestindustrie in Deutschland 1,3 Millionen Tonnen feuerfeste Produkte erzeugt. Feuerfeste Produkte sind unabdingbar für die Produktion aller Werkstoffe und Produkte, die zu ihrer Herstellung Temperaturen zwischen 600 und 2000 °C benötigen, wie beispielsweise Stahl, Buntmetalle, Aluminium, Glas, Keramik, Beton, chemische und petrochemische Industrie, Energiegewinnung, thermische Abfallverwertung, Textilien und Papier (vgl. Abbildung 28).

Die Verteilung des branchentypischen Materialverbrauchs (Abbildung 28) ergibt sich aus dem für die Prozesse typischen spezifischen Feuerfestverbrauch, der sehr unterschiedlich sein kann. Beispielhaft ergeben sich für die nachfolgend genannten Aggregate und Bauteile folgende Nutzungsdauern:

- Koksofen: 25 Jahre
- Hochofen: 10 – 15 Jahre
- Glaswanne: 10 Jahre
- Zement, Wärmetauscher: 3 Jahre
- Zementdrehrohröfen (Sinterzone): 1 – 2 Jahre
- Roheisenmischer: 2 Jahre
- Konverter: 1 – 3 Monate
- Stahlpfanne: 1 – 4 Wochen
- Induktionstiegelöfen Bronzeguss: 1 – 2 Wochen
- Schieber, Eintauchausgüsse: 4 – 8 Stunden

Ausgehend vom branchenspezifischen Materialbedarf und der davon abhängenden Nutzungsdauer, ist die roheisen- und stahlproduzierende Industrie der Hauptabnehmer feuerfester Produkte und damit auch als größter Verursacher von genutzten feuerfesten Materialien, sogenannten Ausbruchmaterialien zur Rezyklatgewinnung identifizierbar, gefolgt von der Zement- und Glasindustrie. Ein nicht geringer Teil der deutschen Feuerfestproduktion verlässt den europäischen Binnenmarkt.

Recycling feuerfester Produkte nach der Anwendung

Nach der Verwendung feuerfester Produkte in der Anwender-Industrie werden die feuerfesten Produkte ausgebrochen, wobei nicht das gesamte Material wieder in den Kreislauf zurückgeführt werden kann. Zum einen wird es durch den Prozess beim Anwender verbraucht (zum Beispiel in der Stahlherstellung aufgeschlackt), zum anderen wird der noch vorhandene Teil durch die Prozessmedien verunreinigt (infiltriert). Letzterer kann nicht für feuerfeste Anwendungen weiter rezykliert werden und wird in aller Regel entsorgt oder in anderen Branchen weiterverwendet. Somit ist nur ein Teil des Ausbruchmaterials für feuerfeste Anwendung weiter verwendbar.

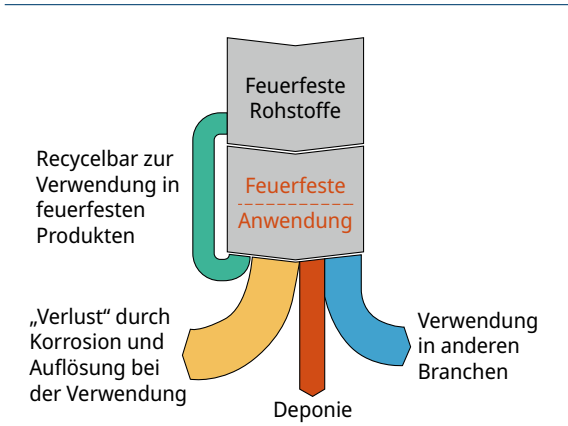


Abb. 29: Anteil einer möglichen Rezyklierbarkeit von feuerfesten Produkten nach der Anwendung (PRE 2002)

Der rezyklierbare Anteil fällt in der Anwender-Industrie nicht sortenrein an (verschiedene Produkte in einer Produktionsanlage) und muss aufwendig sortiert werden, nachdem die verunreinigte Materialseite mechanisch entfernt wurde. Abbildung 30 zeigt beispielhaft einen Prozess zur Aufbereitung von feuerfesten Ausbruchmaterialien beziehungsweise feuerfesten Abfällen.

Das Recycling von feuerfesten Abfällen ist durch den Aufbereitungsprozess und den hohen Sortier- und Analyseaufwand kostenintensiv. Recycelte Rohstoffe finden nur dann einen Absatz, wenn deren Preis unterhalb des Preises der günstigsten Primärrohstoffe liegt.

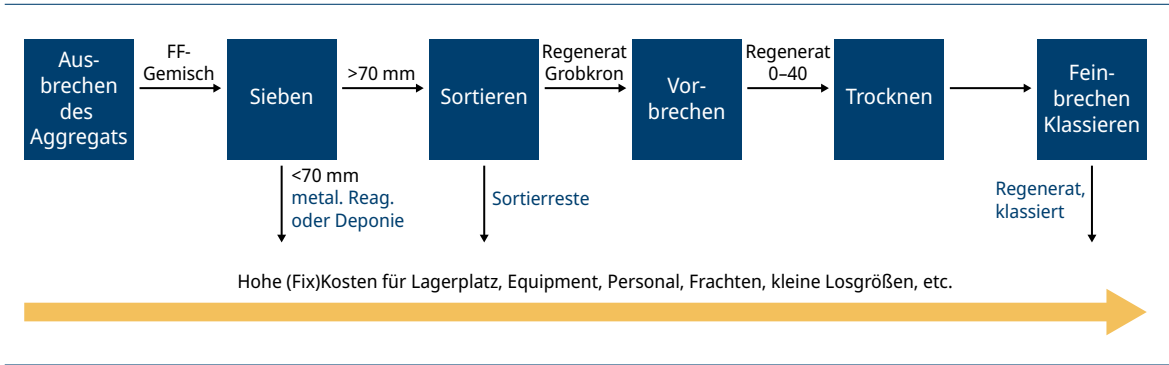


Abb. 30: Grober Ablauf des Recyclings von Feuerfest-Ausbrüchen (SASSEN 2022)

3.4.2 Barrieren im Recycling

Im Folgenden findet sich eine Auflistung der durch die Teilnehmenden des UAK identifizierten Barrieren.

Regulatorik

Stoffstrom	Barriere
Feuerfester Ausbruch (Abfall)	Der Transport von Abfall über Staatsgrenzen ist komplex und mit hohem bürokratischem Aufwand verbunden (Abfallverbringungsrecht (VVA))
	Die direkte Verwendung von Abfall bei der Herstellung von feuerfesten Produkten ist mit einer aufwendigen Genehmigung verbunden
	Es existieren keine einheitlichen Regelungen innerhalb der europäischen Mitgliedsstaaten (im Rahmen der Abfallrahmenrichtlinie) zum Ende der Abfalleigenschaft

Regulatorik

Stoffstrom	Barriere
Feuerfester Ausbruch (Abfall)	Die Deklaration von Feuerfestausruch (inhomogen) in (nicht) gefährlichen Abfall erfolgt durch Abfallerzeuger (Eluat, Schwermetallen etc., AVV, CLP), ist jedoch sehr komplex und kann zu Widersprüchen führen
Recyclingrohstoffe (Sekundärrohstoffe)	Die fehlende einheitliche Definition des Begriffs Sekundärrohstoff kann sowohl als Abfall als auch als Recyclingmaterial interpretiert werden und bedingt eine unterschiedliche Rechtslage (zum Beispiel beim Transport über Staatsgrenzen, Stoffrecht)

Anreize und Förderung

Stoffstrom	Barriere
Abfall	Der händische und analytische Aufwand beim Rückbau und der Bewertung der Abfälle ist hoch
	Der phasenweise (je nach Marktsituation) vergleichsweise niedrige Primärrohstoffpreis erschwert die wirtschaftliche Aufbereitung von Abfällen
Feuerfeste Sekundärrohstoffe (Regenerate) allgemein	Der Einsatz von Rezyklaten wird durch manche Nutzer (grundsätzlich) abgelehnt oder nur akzeptiert, sofern der Preis wesentlich unter dem von Primärrohstoffen ist
	Sekundärrohstoffe sind (phasenweise) teuer oder werden als zu teuer betrachtet im Vergleich zu Primärrohstoffen

Daten und Digitalisierung

Stoffstrom	Barriere
Abfälle aus anderen Branchen, die potenziell in der Feuerfestindustrie als Rohstoff eingesetzt werden können	Es fehlen Information (Art, Menge und Zusammensetzung) zu Massenströmen aus unterschiedlichen Prozessbereichen, welche sich grundsätzlich als Rohstoff für die Herstellung von Feuerfestmaterial eignen (zum Beispiel Porzellan- oder Isolatorenbruch aus Keramik)
Feuerfestausruch (Abfall)	Zur Anlagensicherheit der Anwenderbranchen sind verschiedene feuerfeste Produkte in einer Anlage erforderlich. Dies erschwert das Recycling

Technologien und Prozesse

Stoffstrom	Barriere
Feuerfestausbruch (Abfall) Stahlwerk (Sekundärmetallurgie)	Antioxidantien (AO) als Additiv im feuerfesten Produkt mindern im Recycling (MgO) sehr stark die Qualität des Recyclingrohstoffs
	Die Abtrennung von Schlacken- und Metallresten erfordert eine aufwendige händische Sortierung
Feuerfestausbruch (Abfall) Stahlwerk (Sekundärmetallurgie)	Die Deklaration von Feuerfestausbruch (inhomogen) in (nicht) gefährlichen Abfall erfolgt durch Abfallerzeuger (Eluat, Schwermetallen etc., AVV, CLP), ist jedoch sehr komplex und kann zu Widersprüchen führen
	Die Trennung des FF-Ausbruchs nach Rohstoffbasis (MgO – Al ₂ O ₃) muss gesichert werden
Feuerfestausbruch (Abfall) Zement-/Kalkwerk	Die Abtrennung von Anbackungen (Ofenansatz im Feuerfestausbruch Zement-/Kalkwerk) muss sehr sorgfältig erfolgen, damit kein beziehungsweise möglichst wenig CaO in das Rezyklat eingebracht wird, da es ansonsten nicht mehr verwendbar ist

Es lässt sich auf Basis der vorliegenden Barrieren folgendes Zwischenfazit schlussfolgern:

- **Regulatorische Herausforderungen** stellen unter Berücksichtigung von Abfallrecht, Stoffrecht, Produktrecht, Transportrecht und Abfallverbringung einen administrativen Kraftakt dar, der hinsichtlich der Stärkung des Recyclings Widersprüche beinhaltet.
- Sortierung und Trennung: **Sortenreine Trennung während des Ausbaus/Ausbruchs** von feuerfesten Abfällen ist Grundlage für die Bereitstellung recyclingfähiger Materialien. Der Aufwand für Probenahme, Analytik und Bewertung ist unter anderem aufgrund der notwendigen und mehrschichtigen Mehrkomponentenbauweise (Arbeitsfutter, Dauerfutter, Wärmedämmung) hoch.
- **Marktwirtschaftliche Anforderungen erzwingen** eine Wirtschaftlichkeit für den Einsatz von feuerfesten Rezyklat-Rohstoffen. Preis und Qualität von Primärrohstoffen im Verhältnis zu Recycling-Rohstoffen.
- Produktdesign: Der Einsatz von **Additiven**, insbesondere Antioxidantien, muss hinsicht-

lich des erschwerten Recyclings abgewogen werden.

- Regulatorische Enabler sind europäisch und global zu denken. Doch auch innerhalb Deutschlands werden einheitliche Regelungen benötigt, zum Beispiel Ende der Abfalleigenschaft, Rechtssicherheit beim **Transport** (grenzüberschreitender Transport).
- **Harmonisierung der Begrifflichkeiten.**
- Vereinfachung und Beschleunigung von **Genehmigungsverfahren.**

3.4.3 Handlungsoptionen

Der UAK Keramische Rohstoffe (Feuerfestkeramik) hat nach der Diskussion der Barrieren Vorschläge entwickelt, wie diese Barrieren abgebaut werden könnten. Als wesentliche „Enabler“ werden folgende sieben Lösungsansätze adressiert.

Überblick der Enabler

#1	Abfallrecht hin zum Recyclingrecht ändern
#2	Abfallverbringung vereinfachen
#3	Ende der Abfalleigenschaft europaweit rechtssicher festschreiben
#4	Vereinfachung von Genehmigungsverfahren
#5	Sortenreiner (selektiver) Ausbau
#6	Design for Recycling
#7	Konkurrenzfähigkeit von Recyclingrohstoffen verbessern

Regulatorik

Enabler #1

Abfallrecht hin zum Recyclingrecht ändern

- Regulatorische Herausforderungen stellen unter Berücksichtigung von Abfallrecht, Stoffrecht, Produktrecht einen administrativen Kraftakt dar, der hinsichtlich der Stärkung des Recyclings Widersprüche beinhaltet. Diese müssten dringend ausgeräumt werden.
- Abfallrecht zielt bisher auf Vermeidung von Gefahren ab und nicht darauf, Recycling beziehungsweise Kreislaufwirtschaft zu fördern.

Enabler #2

Abfallverbringung vereinfachen

Regulatorische Enabler sind europäisch und global zu denken. Auch innerhalb Deutschlands werden einheitliche Regelungen benötigt, zum Beispiel Ende der Abfalleigenschaft oder Rechtssicherheit beim Transport (grenzüberschreitender Transport).

- Grenzüberschreitender Transport von Abfällen ist ein administrativer Kraftakt und muss entbürokratisiert werden.

Enabler #3

Ende der Abfalleigenschaft europaweit rechtssicher festschreiben

- Das Ende der Abfalleigenschaft von Feuerfestabfall muss europaweit einheitlich in Form einer „Abfallende-Verordnung“ geregelt werden. Selbst in Deutschland innerhalb der Bundesländer gibt es keine einheitliche Vorgehensweise.

Enabler #4

Vereinfachung von Genehmigungsverfahren

- Abfallrechtliche Genehmigungen zur Behandlung von Abfällen müssen generell vereinfacht, beschleunigt (derzeit 2 – 3 Jahre), effektiver und zeitlich kalkulierbarer werden.

Technologien und Prozesse

Enabler #5

Sortenreiner (selektiver) Ausbau

- Sortenreiner (selektiver) Ausbau von gebrauchten feuerfesten Werkstoffen (Arbeitsfutter, Dauerfutter, Wärmedämmung) ist die Grundlage für die Bereitstellung recyclingfähiger Materialien.

Enabler #6

Design for Recycling

Der Einsatz von Additiven zur Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit, insbesondere Antioxidantien, muss hinsichtlich des erschwerten Recyclings abgewogen werden.

Anreize und Förderung

Enabler #7

Konkurrenzfähigkeit von Recyclingrohstoffen verbessern

Marktwirtschaftliche Anforderungen erzwingen eine Wirtschaftlichkeit für den Einsatz von feuerfesten Rezyklat-Rohstoffen. Preis und Qualität von Primärrohstoffen stehen im ungleichen Verhältnis zu Recyclingrohstoffen.

- Ökonomisches Level-Playing-Field: Nur wenn die Kosten für den Recyclingrohstoff unterhalb der Kosten für primäre Rohstoffe liegen, existiert ein Markt für die Recyclingrohstoffe.
- Zur Förderung des Recyclings (vor allem in Zeiten geringer Primärrohstoffpreise) sollten die Deponiekosten für Abfallerzeuger für recyclingfähigen Feuerfestabfall oberhalb der Recyclingkosten sein. Gelingt durch die Einführung einer Mindestdeponiegebühr.

3.4.4 Machbarkeit und Zielkonflikte

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Machbarkeitsdiskussion dargestellt, in welcher die erarbeiteten Lösungsansätze unter den Aspekten rechtliche, informatorische/organisatorische, technische, ökologische und sozio-ökologische Machbarkeit betrachtet und diskutiert wurden. Die aufgeführten Themen stellen damit die (subjektiven) Sichtweisen der Teilnehmenden dar. Zielkonflikte, bei denen zwei oder mehrere der oben genannten Aspekte im Widerspruch zueinanderstehen, wurden (sofern vorhanden) herausgearbeitet und separat aufgeführt.

Enabler #1

Abfallrecht hin zum Recyclingrecht ändern

☑ *Machbarkeit*

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Komplexität der Regulatorik: Die Anforderungen an Hersteller bezüglich der gesetzlichen Vorgaben sind eine Herausforderung und vor allem für kleine und mittlere Unternehmen sowie für Kleinstunternehmen (KMU) kaum zu stemmen.
- Komplexe, nicht aufeinander abgestimmte Gesetze bezüglich Abfallrecht, Genehmigungsrecht, Stoffrecht, Produktrecht, Ökodesign, Taxonomie, Lieferkettengesetze, Trans-

portrecht und Abfallverbringung, verbunden mit aufwendigen Dokumentationspflichten.

- Die Probleme bestehen entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Die Deklaration bestimmter recyclingfähiger Abfälle als Produkt ist ein Aspekt (siehe Enabler #2 und #3), der den gesamten Recyclingprozess wesentlich erleichtern würde:
 - ▶ Keine Erlaubnis beziehungsweise Anzeige für den Transport notwendig.
 - ▶ Kein aufwendiges Genehmigungsverfahren für die direkte Verwendung des Materials notwendig.
 - ▶ Keine aufwendigen Dokumentationen.
 - ▶ Rechtssicherheit zum Ende der Abfalleigenschaft.

⊗ *Zielkonflikte*

- Ein „starres“ Rechtssystem erschwert erforderliche regulatorische Anpassungen.
- Gesetzliche Voraussetzungen zum Recycling werden immer komplexer anstatt vereinfacht, zum Beispiel durch Regelungen zur grenzüberschreitenden Abfallverbringung sowie den Anforderungen nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz sowie den nachgelagerten Verordnungen.
- Bestehende Angst vor Missbrauch, dadurch fehlender Wille durch die Gesetzgeber, Vereinfachungen einzuführen.

Enabler #2

Abfallverbringung vereinfachen

☑ *Machbarkeit*

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Änderung (Vereinfachung) der Abfallverbringungsverordnung (VVA) bezüglich des Abfall-

transports notwendig, zumindest innerhalb der Europäischen Union:

- ▶ Erleichterungen bei der Notifizierung.
- ▶ Keine Meldungen bei den Behörden zur Durchfuhr.
- ▶ Beschleunigung des Verfahrens.
- Deklaration: Der Transport würde durch die Möglichkeit der Deklaration bestimmter, für das Recycling vorgesehener Abfälle als Produkt (und nicht als Abfall) maßgeblich vereinfacht.
- ⊗ **Zielkonflikte**
 - „Starres“ Rechtssystem.
- Gesetzliche Voraussetzungen zum Recycling werden immer komplexer anstatt vereinfacht.
- Bestehende Angst zu Missbrauch, dadurch fehlender Wille durch die Gesetzgeber, Vereinfachungen einzuführen.

Enabler #3 **Ende der Abfalleigenschaft europaweit rechtssicher festschreiben**

✔ **Machbarkeit**
Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren sind vor allem:

- Ende der Abfalleigenschaft nicht rechtssicher innerhalb der Europäischen Union festgelegt.
- Deklaration des Absenderlandes zum Status als Produkt / Abfall werden innerhalb der Europäischen Union nicht immer anerkannt.

- ⊗ **Zielkonflikt**
 - Unterschiedliche Kriterien und Handhabung zum Ende der Abfalleigenschaft innerhalb der Mitgliedsstaaten der Europäischen Union und innerhalb der einzelnen Bundesländer in Deutschland.

Enabler #4 **Vereinfachung von Genehmigungsverfahren**

✔ **Machbarkeit**
Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Komplexität der Antragsverfahren
- Personalkapazität in den Behörden
- ⊗ **Zielkonflikte**
 - Befürchtungen, dass eine Beschleunigung und Vereinfachung der Genehmigungsverfahren zu einer Absenkung des ökologischen Schutzniveaus und zu zusätzlichen Risiken für Mensch und Umwelt führen.

Enabler #5 **Sortenreiner (selektiver) Ausbau**

✔ **Machbarkeit**
Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Händischer Ausbau: Der personelle und ökonomische Aufwand für den sortenreinen und selektiven Rückbau ist hoch und nur über Maßnahmen zur Kostendeckung realisierbar.

- ⊗ **Zielkonflikt**
 - Personal- und kostenintensiv

Enabler #6 **Design for Recycling**

✔ **Machbarkeit**
Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Der Einsatz von Additiven zur Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit, insbesondere Antioxidantien, muss hinsichtlich des erschwerten Recyclings abgewogen werden.

⊗ **Zielkonflikt**

- Anlagensicherheit und Arbeitssicherheit: Aufgrund der Anlagensicherheit und zum Schutz der Arbeitnehmenden muss sehr sorgfältig abgewogen werden, ob ein Verzicht von Antioxidantien in den Produkten möglich ist.

Enabler #7

Konkurrenzfähigkeit von Recyclingrohstoffen verbessern

✓ **Machbarkeit**

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

Deponierungskosten zu gering:

- Deponierung für Abfallerzeuger (zum Beispiel bei niedrigen Primärrohstoffpreisen) kostengünstiger als das Recycling.
- Deponiekosten verteuern für Abfälle, die recyclingfähig sind.
- Einführung einer Mindestdeponiegebühr.

⊗ **Zielkonflikte**

- „Staatlicher Eingriff“ in den Markt, zur Erhöhung der Deponiekosten.
- Erhöhung der Deponiegebühren könnte zu einer Zunahme illegaler Abfallverbringung führen.

3.4.5 Nächste Schritte

Das Recycling von feuerfesten Materialien erfordert Fachkenntnisse über die Zusammensetzung von feuerfesten Werkstoffen. Über diese Fachkenntnisse verfügen auf feuerfeste Materialien spezialisierte Recyclingfirmen sowie die Hersteller von feuerfesten Produkten.

Die Preise für feuerfeste Rohstoffe sind sehr schwankend und vor allem in Zeiten niedriger Primärrohstoffpreise stagniert das Recycling von feuerfesten Materialien aufgrund der Wirt-

schaftlichkeit. Aus Kostengründen werden in diesen Zeiten gebrauchte feuerfeste Materialien von den Nutzerinnen und Nutzern (Abfallerzeuger) eher der Deponierung zugeführt und nicht dem Recycling.

Eine **kurzfristige Handlungsoption**, um das Recycling zu stärken, wäre, die Deponiekosten zu verteuern zum Beispiel durch die Einführung einer Mindestdeponiegebühr für gebrauchte feuerfeste Materialien, die recycelbar sind. Die Einführung einer Primärrohstoffsteuer wäre kontraproduktiv und würde zu einer Verlagerung der Produktion aus Deutschland führen.

Das existierende Abfallrecht ist historisch gewachsen und ist unzureichend auf die physische Kreislaufführung, das heißt Recycling, ausgelegt. Das Misstrauen von Politik und Verwaltung, dass Abfälle nicht korrekt behandelt beziehungsweise entsorgt werden, ist sehr groß.

Der **größte positive Einfluss auf das Recycling** von gebrauchten feuerfesten Materialien wäre, wenn das Recyclingrecht vom Abfallrecht entkoppelt würde und nur noch solche Materialien als Abfall betrachtet würden, die nicht recyclingfähig sind, zum Beispiel durch eine „Positiv“-Liste für gebrauchte Materialien (Abfälle), die dann nicht dem Abfallrecht unterliegen. Negative Auswirkungen auf das Recycling von gebrauchten feuerfesten Materialien haben vor allem die unterschiedlichen Regelungen/Auslegungen der Gesetze zur Deklaration von Abfall, der Abfallverbringung, zum Ende der Abfalleigenschaft innerhalb den europäischen Mitgliedsstaaten sowie auch innerhalb der einzelnen Bundesländer. Dies führt zu sehr aufwendigen Verfahren sowie zu keiner Rechtssicherheit für Firmen.

Notwendige Schritte für **Politik und Verwaltung** sind:

- Schaffung von Rechtssicherheit.
- Einheitliche Regelungen innerhalb der Europäischen Union.
- Einheitliche Regelungen/Auslegung innerhalb der einzelnen Bundesländer.
- Vereinfachung der Abfallverbringung innerhalb der Europäischen Union.
- Vereinfachung und Beschleunigung von Genehmigungsverfahren.

Notwendige Schritte für die **Industrie und Wirtschaft** sind:

- Änderungen im Produktdesign zur Eliminierung von Antioxidantien aus feuerfesten Produkten.
- Sortenreiner Ausbau/Ausbruch von feuerfesten Materialien.

Notwendige Schritte für **Wissenschaft und Forschung** sind:

Systematische Forschung bezüglich der Auswirkungen von Verunreinigungen auf

- die Feuerfestigkeit/Thermomechanische Verhalten
- die Verarbeitungseigenschaften (ungeformte Erzeugnisse, Ionenlöslichkeit)
- die Recyclingfähigkeit nach mehreren Lebenszyklen

Machbarkeitsstudien für gegebenenfalls ein Upcycling von Feuerfestausbuch

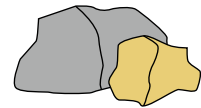
3.5 Steckbrief – Industrielle Reststoffe und Nebenprodukte

Industrielle Reststoffe und Nebenprodukte

Unterarbeitskreis-Leitung (Autoren):

Thomas Reiche (FEhS – Institut für Baustoff-Forschung e. V.)

Dr. Christian Adam (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM))



UAK-Übersicht



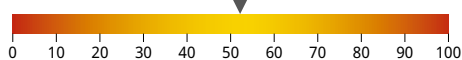
77 Beteiligte



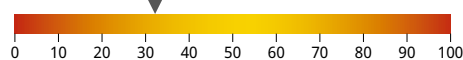
47 % Einzelunternehmen
23 % Wissenschaft
15 % Behörde
11 % Verbände
4 % Zivilgesellschaft



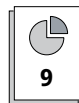
Anzahl **Barrieren**



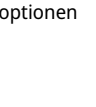
Anzahl **Lösungsvorschläge**



Themenbereiche der identifizierten Handlungsoptionen



9



#1	Normen/Regelwerke zur Transformation	#6	Öffentlichkeitswirksamkeit
#2	Ausschreibungen	#7	Steuerliche Entlastung
#3	Bewertung der Umweltverträglichkeit	#8	Netzwerke und digitale Plattformen
#4	Normen und Terminologien	#9	Grundlagenforschung
#5	Deponierückbau		

¹⁾ Unter Mitarbeit von: Andreas Herr Nolte (Aurubis) für NE-Schlacken, Jasmin Klöckner (ITAD) für HMVA, Jörn Hövelmann (Remondis) für Rotschlamm und Deponierückbau, Prof. Dr. Rüdiger Deike (Uni Duisburg-Essen) für Filterstäube und Gichtgasstäube/-schlämme, Mirco Wojnarowicz (RockTech Lithium) für Aluminosilikate aus der zukünftigen Lithiumproduktion.

Präambel

Der Unterarbeitskreis (UAK) Industrielle Reststoffe und Nebenprodukte befasst sich mit der Nutzung und Verwertung von den aus industriellen Prozessen erzeugten Nebenprodukten und Reststoffen. Bei einigen dieser Stoffströme ergeben sich teilweise unterschiedliche Zielsetzungen im Hinblick auf deren Verwendungsmöglichkeiten. Dabei geht es zum einen um die möglichst vollständige Nutzung der mineralischen Fraktionen vor allem als Baustoff und zum anderen um die (Rück-)Gewinnung möglichst großer Anteile der metallischen Fraktionen (kritisch oder strategisch relevant) durch beispielsweise Aufbereitung und Rückgewinnung von Nebengruppenelementen (unter anderem Fe, Cr, V, Mn). Die gleichzeitige Verfolgung beider Zielstellungen stellt sich oftmals als komplex heraus, ist Gegenstand abgeschlossener und aktueller Forschungsprojekte und sollte weiterhin intensiv beforscht werden. In diesem Kontext sind neben der technischen Machbarkeit immer auch die Wirtschaftlichkeit der Verfahren sowie die resultierenden Umweltwirkungen in Betracht zu ziehen.

3.5.1 Beschreibung relevanter Stoffströme, Wertschöpfungsketten und Anwendungskontexte

Im Laufe der vergangenen Jahre haben sich die Begriffe der Nachhaltigkeit und der Ressourceneffizienz zu wichtigen Aspekten der politischen und gesellschaftlichen Diskussion entwickelt. Die Kreislaufwirtschaft wird daher in vielen Bereichen zunehmend zum Leitprinzip. Die Ziele der Kreislaufwirtschaft sind die Schonung natürlicher Ressourcen, der Deponiekapazitäten sowie der Schutz der Umwelt und der menschlichen Gesundheit. Durch Einsparung von Primärmaterialien und deren Substitution durch Sekundärmaterialien sollen sie die negativen Umwelteinwirkungen minimieren, die sich aus Rohstoffabbau und Abfallerzeugung ergeben können. Insgesamt geht es vor allen Dingen aber auch um die nachhaltige Sicherstellung der Rohstoffversorgung von Wirtschaft und Gesellschaft, zu der die Kreislaufwirtschaft in zunehmendem Maße beiträgt. Eine grundlegende schematische Darstellung der Stoffströme einer Kreislaufwirtschaft ist exemplarisch in Abbildung 31 dargestellt.

Tab. 11: Überblick Stoffstrom Industrielle Reststoffe und Nebenprodukte (Referenzrahmen Deutschland)

	Menge [t]	Referenzjahr	Quelle
Industrielle Nebenprodukte gesamt	45.000.000	2020	(MERKEL & REICHE 2020)
Eisenhüttenschlacken	12.500.000	2021	(FEHS 2022)
Rückstände der Rauchgasreinigung der Stahlproduktion	1.600.000	2021	Hochrechnung ¹
Kupferschlacke	1.000.000	2021	(AURUBIS AG 2022)
Hausmüllverbrennungsasche (aufbereitete HMVA)	4.700.000	2022	(ITAD & IGAM 2022)
Rotschlamm (AOS-Stade)	900.000	2022	(AOS-STADE 2022)
Sonstige Nebenprodukte (v. a. Kraftwerksrückstände)	24.300.000	2020	(MERKEL & REICHE 2020)

¹ Hochrechnung: 40 Millionen Tonnen pro Jahr Rohstahl · 40 Kilogramm pro Tonne Rückstände

Insgesamt werden in Deutschland jährlich rund 45 Millionen Tonnen (MERKEL & REICHE 2020) an industriellen Nebenprodukten (Abbildung 31, Stoffströme h, j, m, n) hergestellt. Diese Nebenprodukte und weitere Reststoffe aus der Industrie werden schon seit langer Zeit als Kreislaufstoffe in verschiedenen Anwendungsbereichen eingesetzt und tragen somit bereits heute zur Schonung natürlicher Ressourcen bei. Dabei ist zu beachten, dass es sich um verschiedene Stoffströme aus unterschiedlichen Industriebranchen handelt. Im Rahmen dieses Abschlussberichts wird ein Überblick über die für die Kreislaufwirtschaft relevantesten Nebenprodukte und industriellen Reststoffe gegeben.

Die Industrie steht vor dem Hintergrund der klimapolitischen Rahmenbedingungen und der diesbezüglich notwendigen Transformation hin zu einer weitgehend CO₂-neutralen Produktion vor elementaren Herausforderungen, deren Bewältigung auch für die Gesellschaft als Ganzes von grundlegender Bedeutung ist. Dabei wer-

den durch die Umstellung der Produktionsprozesse neue Nebenprodukte entstehen, die im Hinblick auf ihre technologischen Eigenschaften und ihre Umweltverträglichkeit so beschaffen sein müssen, dass sie ressourcenschonend als Kreislaufstoffe genutzt werden können. So werden beispielsweise mit der Transformation der Stahlindustrie die bisherigen Hochofenschlacken, die zu 90 % in granulierter Form als Hüttensand in der Zementindustrie ressourcen- und klimaschonend eingesetzt werden, zukünftig nicht mehr zur Verfügung stehen. Die entstehenden neuen Schlacken sollen als „Hüttensand 2.0“ auch zukünftig in der Zementindustrie Verwendung finden und sind bereits heute Gegenstand der Forschung (BMBF 05/21-04/25; BMBF 07/22-06/26). Die spätere Umsetzung in die Praxis erfordert zusätzlich auch die Änderung und Ergänzung des entsprechenden Regelwerks für den Einsatz dieser Nebenprodukte im Zement oder im Beton.

Im Sinne einer angestrebten Intensivierung der Kreislaufwirtschaft werden zukünftig auch

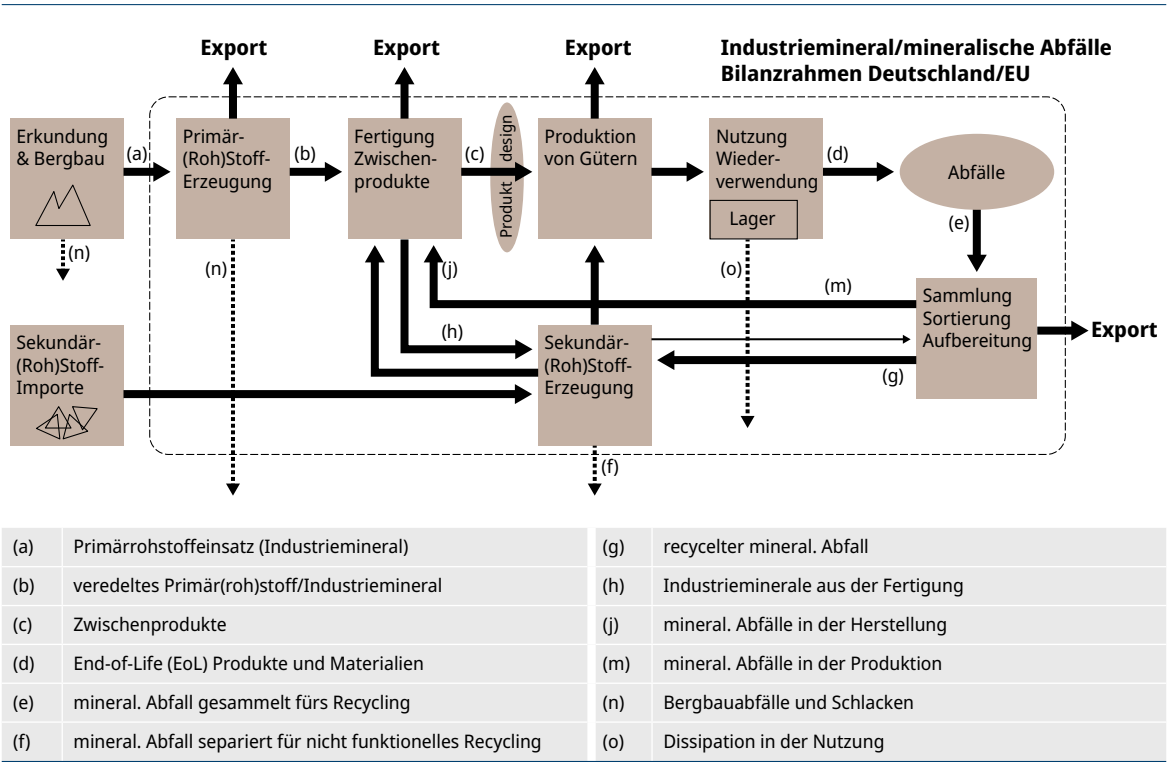


Abb. 31: Referenzgraphik Stoffstrom Industrielle Reststoffe und Nebenprodukte in Anlehnung an UNEP (2011)

neue Stoffe hinzukommen, für die ressourcenschonende Einsatz- und Nutzungsmöglichkeiten erforscht und entwickelt werden müssen. So werden durch die Transformation zu klimaneutralen und vermehrt elektrifizierten Wirtschaftsprozessen in Europa zukünftig neue Produktionen, zum Beispiel von Lithiumprodukten, aufgebaut. Für die Lithiumproduktion werden überwiegend lithiumhaltige Erze wie Spodumene gelaugt, wobei ein gelaugter alumosilikatischer Rückstand verbleibt. Eine Hochrechnung der in Europa aufzubauenden Produktionskapazitäten lässt auf jährliche Massenströme in der Größenordnung von mehreren Millionen Tonnen dieser Alumosilikate schließen, für die Nutzungsmöglichkeiten gefunden werden müssen.

Zu beachten ist bei einigen der industriellen Nebenproduktstoffströme die teilweise unterschiedliche Zielsetzung im Hinblick auf deren Nutzung. Dabei geht es zum einen um die (Rück-)Gewinnung möglichst großer Anteile der metallischen Fraktionen und zum anderen um die möglichst vollständige Nutzung der mineralischen Fraktionen.

Eine besondere Herausforderung für die weitere Intensivierung der Kreislaufwirtschaft stellt bereits heute die notwendige weitere Verbesserung der diesbezüglichen rechtlichen Rahmenbedingungen dar. Auf Bundesebene und auch in einigen Bundesländern sind mit der Etablierung der bedingten Bevorzugung von Sekundärrohstoffen bei öffentlichen Ausschreibungen in den letzten Jahren bereits wichtige Entscheidungen getroffen worden. Allerdings wird hier nachgeschärft werden müssen. Insgesamt geht es dabei auch um die Ausbalancierung der berechtigten Anforderungen an den Boden- und Gewässerschutz auf der einen Seite und die Förderung von Kreislaufwirtschaft und Ressourcenschonung auf der anderen Seite. Zusätzlich leistet die Nutzung von industriellen Nebenprodukten und Reststoffen auch einen Beitrag zur Schonung von Deponiekapazitäten.

Nachfolgend werden einige wesentliche Stoffströme erläutert und vorgestellt:

Einen bedeutenden Massenstrom stellen die Eisenhüttenschlacken (EHS) dar. Sie werden bei der Produktion von Roheisen und Stahl in sehr großen Mengen erzeugt (Deutschland 12,5 Millionen Tonnen im Jahr 2021) und als Baustoffe und Düngemittel bereits seit langer Zeit umweltverträglich und ressourcenschonend in der Zement- und Betonindustrie, im Straßen- und Verkehrsbau sowie in der Landwirtschaft eingesetzt (FEhS 2021b). Zusätzlich wird ein Teil der erzeugten Stahlwerksschlacken (SWS) anlagenintern im Kreislauf geführt und ersetzt somit die zur Schlackenbildung sonst üblichen Primärrohstoffe. Die verschiedenen EHS sind nach der Europäischen Chemikalienverordnung/REACH registriert und erfüllen damit die Voraussetzungen für die Produkteinstufung nach dem Kreislaufwirtschaftsrecht.

Wie bereits erwähnt, steht die Stahlindustrie, wie andere Industriebranchen auch, vor einem großen Transformationsprozess hin zur Klimaneutralität, der sich auch auf die Art der erzeugten Schlacken auswirken wird. So wird es zukünftig nach Umstellung der Roheisengewinnung von Hochofenprozess auf Direktreduktion mit Wasserstoff den klassischen Hüttensand nicht mehr geben. Hüttensand wird derzeit sehr erfolgreich in den sogenannten Portlandhütten- und Hochofenzementen eingesetzt und substituiert damit in großem Umfang den mit einem großen CO₂-Fußabdruck einhergehenden Portlandzementklinker. Ziel ist es deshalb, die in den neuen Stahlproduktionsrouten erzeugten Schlacken ebenfalls als Ersatz für Klinker in der Zementindustrie einzusetzen. Die neuen Schlacken sollen dabei nicht dem Ziel der Zement- und Betonindustrie entgegenstehen, Stoffe aus dem Betonrecycling im Kreislauf führen zu können. Dies bedeutet Forschung und Entwicklungsleistungen in der Schlackenmetallurgie, die mit einer Änderung der Normung und Regelungsetzung für Zemente und Betone einhergehen muss. Des Weiteren ist eine Fortführung der engen Kooperation zwischen Stahl- und Zementindustrie erforderlich, um Synergieeffekte

optimal nutzen zu können und eine ganzheitliche Betrachtung zu ermöglichen. Außerdem sollten als Schlackenbildner für die Stahlherstellung zukünftig auch weitere Rohstoffe aus Wertschöpfungsketten genutzt werden, um den Verbrauch an Primärrohstoffen weiter zu reduzieren und um den Einsatz von Kalkstein zu minimieren, der beim Schmelzvorgang sein gebundenes CO₂ freisetzt.

Abluftreinigungsrückstände aus der Eisen- und Stahlproduktion können je nach Herstellungsmethode in unterschiedlichen Formen bei der Erzeugung von Eisen und Stahl anfallen. In Deutschland fallen pro Tonne Rohstahl (RS), der im Mittel zu ca. 70 % über den Hochofen und zu 30 % über den Elektrolichtbogenofen produziert wird, im Durchschnitt ca. 40 Kilogramm Stäube und Schlämme an, die verwertet werden müssen. Bei der Stahlproduktion über die Hochofenroute entstehen dabei in den verschiedenen Teilprozessen die folgenden Staub- und Schlammengen, wobei sich die genannten Prozentangaben auf die durchschnittliche Menge von 40 Kilogramm/RS beziehen (FEhS 2021a).

Bei der Produktion von Sinter entstehen **Sinterfeinstaub (2 %)** und **Sintergrobstaub (17 %)** (FEhS 2019; FEhS 2022), für die Eisengehalte von 35 bis 55 % typisch sind und die fast vollständig im Rahmen eines Prozessrücklaufs in den Sinteranlagen recycelt werden. Im Feinstaub kann es zu Anreicherungen von Alkalioxiden aus den Erzen und dem Koksgrus kommen, sodass diese eher geringen Mengen nicht in den Sinterprozess zurückgeführt werden können.

Im Hochofenprozess sind **Gichtgasstaub (16 – 18 %)** und **Gichtgasschlamm (12 – 15 %)** (FEhS 2019; FEhS 2022) die größten Abfallmengen. Beim Gichtgasstaub handelt es sich um die gröbere Fraktion, die trocken abgeschieden wird und weitgehend wieder im Rahmen eines Produktionsrücklaufs im eigenen Betrieb oder im Rahmen eines Open-Loop-Prozesses extern recycelt werden kann. Der Gichtgasschlamm ist das Produkt eines Waschprozesses, mit dem die Abtrennung der Feinfraktion erfolgt. Für beide Fraktionen sind Kohlenstoffgehalte zwischen

25 und 30 % typisch. Da sich in der Feinfraktion unter anderem auch leicht flüchtige Elemente (zum Beispiel Zink) und Schwermetalle (zum Beispiel Blei) aus den eingesetzten Rohstoffen (Erze, Koks) anreichern, ist die interne Rezyklierung begrenzt und der Gichtgasschlamm wird trotz hoher Eisen- und Kohlenstoffgehalte großteils deponiert.

Im LD-Stahlwerk sind die **LD-Feinstäube/Schlämme (23 – 25 %)** und der **LD-Grobstaub (10 – 13 %)** (FEhS 2019; FEhS 2022) die größten Abfallmengen. Der Grobstaub (Korngröße im Millimeter-Bereich) wird trocken abgeschieden und zeichnet sich durch Eisengehalte von circa 60 bis 70 %, mit einem sehr hohen Anteil an metallischem Eisen aus. Von daher wird diese Fraktion im Rahmen eines Prozess- und Produktrecyclings fast vollständig im eigenen Unternehmen oder im Rahmen eines Open-Loop-Recyclings extern recycelt. Demgegenüber zeichnet sich der Feinstaub (Korngröße im µm-Bereich) durch Eisenoxidgehalte zwischen 50 und 60 % und höhere Gehalte an flüchtigen Elementen (Zink 2 – 4 %, Natrium und Kalium mit jeweils 0,2 – 0,5 %) (DEIKE & DINGS 2007) aus, die ebenfalls in oxidischer Form in den Stäuben und Schlämmen vorliegen. Aufgrund dieser Tatsache muss der LD-Feinstaub/Schlamm, der zu circa 90 % in Open-Loop- und Produktionsrücklaufprozessen recycelt wird, in speziellen Reduktionsprozessen (Hochofen, Schachtofen, Drehherd und so weiter) reduziert und erschmolzen werden. Die Rückgewinnung des Zinks hat hierbei eine interessante Bedeutung hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit der Prozesse und unter dem Aspekt der Steigerung der Ressourceneffizienz.

Bei der Stahlproduktion mit einem Elektrolichtbogenofen (Electric Arc Furnace, EAF) entsteht durch die Reinigung des Abgases ein **EAF-Filterstaub (8 %)** (FEhS 2019; FEhS 2022). Da in einem EAF aktuell überwiegend Schrott eingesetzt wird und Schrott sehr häufig verzinkt ist, zeichnet sich der EAF-Staub durch Zinkgehalte zwischen 25 und 30 % (MÜLLER 2017) aus. Das Zink verdampft aufgrund seiner relativ geringen Verdampfungstemperatur (907 °C) bereits

während der Aufschmelzphase des Schrotts und reagiert aus der Gasphase heraus mit dem Sauerstoff der Luft und bildet somit festes Zinkoxid (Schmelzpunkt: 1975 °C). Damit findet eine Aufkonzentration des Zinks statt. Der EAF-Staub wird in Deutschland zu über 90 % durch den Wälzprozess mit dem Ziel der Zinkrückgewinnung aufbereitet. Bei diesem Prozess ist der Filterstaub des Wälzprozesses ein Zinkoxid, das in die Zinkindustrie zurückgeführt wird. Neben diesem Rohzinkoxid fällt jedoch eine sogenannte Wälzschlacke an, die bisher aufgrund der Spurenelementgehalte weitgehend im Deponiebau eingesetzt wird, wodurch die enthaltenen Wertstoffe (zum Beispiel Eisen) verloren gehen.

Mit Blick auf die bereits angesprochenen anstehenden Transformationsprozesse in der Stahlindustrie ist zukünftig auch mit einem deutlichen Wandel der dabei anfallenden Stäube zu rechnen. Bei einem Wegfall der Hochofenroute entfallen auch die dabei erzeugten Stäube, jedoch auch die Sinterlagen, welche einen Großteil der erzeugten Stäube recyceln. Hierbei gilt es allerdings zu bedenken, dass durch die Eisengewinnung der letzten Jahrzehnte noch große Deponien der entsprechenden Stoffe existieren, die bei Verfügbarkeit passender Aufarbeitsverfahren als sekundäre Rohstoffquellen infrage kommen. Auf der anderen Seite werden die Elektrolichtbogenroute und der Einsatz von Schrotten zur Stahlgewinnung an Bedeutung gewinnen, sodass auch eine möglichst vollständige Rückführung der dabei anfallenden Stäube im Sinne der Kreislaufwirtschaft zunehmend notwendig wird. Abschließend werden durch die Etablierung neuer Verfahren zur Direktreduktion mit Wasserstoff erwartbar auch bisher nicht effektiv nutzbare Eisenquellen aus sekundären Quellen einsetzbar. Es fallen jedoch auch neue Arten von Stäuben und Schlämmen an, die wiederum eigene Recyclingkonzepte erfordern.

Metallhüttenschlacken (NE-Schlacken, das heißt Nicht-Eisen-Schlacken) stellen in Deutschland mit mehr als einer Million Tonnen pro Jahr einen weiteren erheblichen Massenstrom dar. NE-Schlacken sind analog zur Vielfalt der NE-Metalle im Vergleich zu Eisenhüttenschlacken

in ihrer Zusammensetzung deutlich heterogener. Den größten Anteil machen die Kupferschlacken aus. Allein über die primäre und sekundäre Kupfergewinnung bei Deutschlands größtem Kupferverarbeiter fällt jährlich circa 1 Million Tonnen Eisensilikatschlacke an, die aufgrund der zugeführten Rohstoffe grob dem Mineral Fayalit ($2\text{FeO}_x\text{SiO}_2$) entspricht mit gewissen Anteilen an Calciumoxid (CaO), Magnesiumoxid (MgO) und Aluminiumoxid (Al_2O_3). Je nach Abkühlregime besteht die Schlacke aus unterschiedlichen glasigen und kristallinen Anteilen. Grundsätzlich gibt es diese Schlacke als Granulat (Eisensilikatsand) oder Gestein. Die granulierten Kupferhüttenschlacke ist als Nebenprodukt registriert (CAS-Nummer 67711-92-6 (ECHA 2023)). Bisher werden die Schlacken als Wasserbausteine, als Gesteinskörnung im Straßenbau, als Strahlmittel, als Eisenkorrektor im Zementbereich, als Deponiebaustoff, als Substitut für Portlandzement, als Betonzuschlag, als Eisenträger bei der Klinkerherstellung und für Sonderbaumaßnahmen, zum Beispiel zur Stabilisierung von Halden, eingesetzt. Im Sinne einer zu Ende gedachten Kreislaufwirtschaft sind weitere, teils sehr aufwendige Qualitätsverbesserungs- und -sicherungsmaßnahmen zu entwickeln. Hierunter sind neben einer weiteren Reduktion von NE-Wertmetallen (zum Beispiel Cu, Sn, Pb, Zn, Ni) auch Anpassungen im Schlackensystem zu verstehen, welche zum Beispiel besser die Anforderungen für eine Branche (wie Zement, Beton) treffen. In letzter Konsequenz ist auch eine Direktreduktion der Hauptkomponente Eisenoxid zu Roheisen vorstellbar. Dieser Prozess ist allerdings sehr energieintensiv und birgt das Risiko einer Dissipation von NE-Metallen in den Eisen/Stahlkreislauf.

Zur Verbrennung von Siedlungs- und Gewerbeabfällen werden in Deutschland überwiegend Rostfeuerungsanlagen genutzt. Die am Ende des Verbrennungsprozesses entstehenden festen, heterogenen Reststoffe (**Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken – AVV 190112**) stellen mit etwa 6 Millionen Tonnen/Jahr (frisch erzeugt, unbehandelt) einen großen Massenstrom dar (ITAD 2021). Sie sind damit von hoher Relevanz für eine Kreislaufwirtschaft. Die Aufbereitung

erfolgt in eigens dafür errichteten Anlagen, die entweder direkt an die Abfallverbrennungsanlage angeschlossen sind oder (überwiegend) von Dritten betrieben werden, und umfasst folgende, grundsätzliche Aufbereitungsschritte:

- Abtrennung unverbrannter Bestandteile und Rückführung zur Verbrennung,
- Rückgewinnung von Eisen- und Nichteisenmetallen und
- Aufbereitung der mineralischen Fraktion zum mineralischen Ersatzbaustoff Hausmüllverbrennungsasche (HMVA).

Durch die Aufbereitung der Rost- und Kesselaschen wurden im Jahr 2020 knapp 500.000 Tonnen reine Metalle zurückgewonnen und knapp 4,7 Millionen Tonnen aufbereitete HMVA produziert. In Bezug auf das Klimaschutzpotenzial (ohne Berücksichtigung der Gutschriften für die Verwertung der mineralischen Fraktion) ergibt sich durch die Verwertung der reinen Metalle eine Gutschrift von rund 1,6 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten. In Bezug auf den mineralischen Ersatzbaustoff HMVA werden rund 3,8 Millionen Tonnen in etablierten Anwendungen zum Beispiel in technischen Bauwerken (Straßen- und Erdbau – 15 %), im Untertageversatz (5 %) sowie im Deponiebau (60 %) verwertet. Etwa 18 % der HMVA wurden in Deutschland im Jahr 2020 auf einer Deponie beseitigt (ITAD 2021). Zur Steigerung der Ressourceneffizienz bei der Aufbereitung von Rost- und Kesselaschen aus der Verbrennung von Siedlungs- und Gewerbeabfällen wird zum einen die Abtrennung von Metallen aus der Feinfraktion weiter forciert, zum anderen aber auch ein erweiterter Einsatzbereich der mineralischen Fraktion zum Beispiel in Zementwerken oder in Betonanwendungen erforscht.

Bei industriellen Produktionsprozessen wie etwa der Titanoxid- oder der Aluminiumoxidproduktion fallen große Mengen an Abfällen an, die trotz höheren Wertstoffgehalts deponiert werden. So fallen bei der Produktion von einer Tonne Aluminiumoxid etwa 0,9 – 1,5 Tonnen **Rotschlamm** an, welcher nahezu ausschließlich (97 %) deponiert wird (REMOVAL PROJEKT 2018).

In Europa fallen jährlich 7 Millionen Tonnen Rotschlamm an, weltweit sind es etwa 150 Millionen Tonnen (JOYCE & BJÖRKLUND 2019). Die Deponierung erfolgt, so wie es auch in Deutschland praktiziert wird, meist in Schlammteichen. Im einzigen aktiven Werk zur Produktion von Aluminiumoxid in Deutschland werden jährlich etwa 900.000 Tonnen Rotschlamm auf der bestehenden Deponie abgelagert, welche bereits circa 23 Millionen Tonnen Rotschlamm enthält. Es handelt sich um einen Schlammteich, welcher in der Höhe ausgebaut wurde/wird, was jedoch die Ablagerung am Standort zeitlich beschränkt. Allein aus der Endlichkeit der Deponiekapazität, in Verbindung mit den Hürden für die Zulassung einer neuen Deponie, ergibt sich ein hoher Handlungsdruck für die Verwertung des Rotschlammes in der Zukunft. Ein gewisser Handlungsdruck besteht auch für weitere (Alt-)Deponien in Deutschland, auf denen hauptsächlich Rotschlamm eingelagert wurde. Am Standort der ehemaligen Vereinigten Aluminium-Werke (VAW) existiert beispielsweise eine Rotschlamm-Altdeponie, welche ca. 9,2 Millionen Tonnen Rotschlamm enthält. Ein Rückbau dieser Deponie wäre nicht nur im Hinblick auf die Rückgewinnung der darin enthaltenen Wertstoffe interessant, sondern böte auch den Vorteil der Rückgewinnung von Deponiekapazitäten, welche später für die Entsorgung anderer Materialien genutzt werden können. Neben der Schonung von Primärressourcen und der Sicherung der Versorgungslage mit begrenzt vorhandenen natürlichen Rohstoffen kann der Deponierückbau somit auch zur Gewährleistung der Entsorgungssicherheit für nicht-recycelbare Abfälle beitragen, ohne zusätzliche Flächen in Anspruch zu nehmen. Bei einer wirtschaftlichen Betrachtung dieses Szenarios müssten dann die Rückbau-Kosten berücksichtigt werden. Darüber hinaus erfordert dieser Ansatz die Entwicklung bergbaulicher Konzepte sowie die (rechtliche) Unterstützung durch die lokalen Behörden bei der Entwicklung solcher Konzepte für die Nutzung und Nachnutzung der Deponie. Rotschlamm besteht zu 35 – 50 % aus Fe₂O₃, was ihn vor allem zu einem Rohstoff für die Produktion von Roheisen macht. Auch Al₂O₃ ist jedoch zum Teil noch in erheblichen Anteilen (bis zu

25 %) enthalten, welches mittels hydrometallurgischer Verfahren in hochwertiges Aluminiumhydroxid überführt werden kann. Des Weiteren enthalten Rotschlämme auch 40 – 150 Milligramm/Kilogramm des Technologiemetalls Scandium, welches einen hohen Marktwert besitzt. Es wurde und wird eine Vielzahl von Projekten auch auf Ebene der Europäischen Union durchgeführt, welche die vollständige Verwertung von Rotschlamm zum Ziel haben inklusive der Extraktion und Aufbereitung von Scandium (Projekt RemovAL (REMOVAL PROJEKT 2018), Projekt ENSUREAL (ENSUREAL k.A.), Projekt SCALE (SCALE 2023)). Grundsätzlich wurden technische Optionen entwickelt und demonstriert, die dazu genutzt werden können, Rotschlamm stofflich zu nutzen. Ein Fokus liegt dabei auf der Verwertung des mineralischen Restes, welcher nach Abtrennung der Wertstoffe Eisen und Aluminium übrig bleibt und massenmäßig den Hauptanteil darstellt. Ein Ansatz könnte sein, die bei der pyrometallurgischen Behandlung zur Roheisenherstellung entstehende Schlacke während des Schmelzprozesses chemisch anzupassen, um daraus einen maßgeschneiderten Rohstoff für die Zementindustrie herzustellen, zum Beispiel ähnlich zum Hüttensand (BULLERJAHN & MEHRINGSKÖTTER 2021). Dies wäre insbesondere vor dem Hintergrund der bevorstehenden Transformation der Stahlindustrie und der daraus resultierenden abnehmenden Verfügbarkeit von Hüttensanden eine attraktive Lösung.

Die Realisierung eines solchen mehrstufigen Verwertungsansatzes von Rotschlamm erfordert allerdings eine enge Zusammenarbeit von Aluminium-, Stahl- und Zementindustrie sowohl was die verfahrenstechnische Entwicklung betrifft als auch im Hinblick auf die angeschlossene Regulatorik und Normung der neuen Produkte.

Rolle der Kreislaufwirtschaft im Bereich der industriellen Nebenprodukte und Reststoffe

Die wesentlichen Punkte hierzu wurden bereits in der Einleitung zu Kapitel 3.5.1 dargestellt. Die ressourcenschonende und umweltverträgliche

Nutzung von industriellen Nebenprodukten und Reststoffen ist ein wichtiger Baustein für die Sicherstellung der nachhaltigen Bereitstellung von materiellen Ressourcen in unserer Gesellschaft. Dabei geht es zum einen um die Gewinnung von metallischen Rohstoffen aus diesen Stoffströmen und zum anderen um die Nutzung der mineralischen Fraktionen zur Substitution von primären mineralischen Rohstoffen.

Viele der industriellen Nebenprodukte und Reststoffe werden bereits seit langer Zeit ressourcenschonend und umweltverträglich genutzt und leisten somit bereits heute einen großen Beitrag zur Kreislaufwirtschaft. Allerdings sind im Bereich des Einsatzes der mineralischen Fraktionen immer wieder Hemmnisse durch Nichtzulassungen bei den diesbezüglichen Ausschreibungen der öffentlichen Hand festzustellen. Hier muss trotz positiver Entwicklungen im Kreislaufwirtschaftsrecht sicherlich regulatorisch nachgeschärft werden. Insgesamt geht es dabei auch um die Ausbalancierung der berechtigten Anforderungen an den Boden- und Gewässerschutz auf der einen Seite und die Förderung von Kreislaufwirtschaft und Ressourcenschonung auf der anderen Seite.

Die Industrie steht vor dem Hintergrund der klimapolitischen Rahmenbedingungen und der diesbezüglich notwendigen Transformation hin zu einer weitgehend CO₂-neutralen Produktion vor elementaren Herausforderungen, deren Bewältigung auch für die Gesellschaft als Ganzes von grundlegender Bedeutung ist. Dabei werden durch die Umstellung der Produktionsprozesse neue Nebenprodukte entstehen, die im Hinblick auf ihre technologischen Eigenschaften und ihre Umweltverträglichkeit so beschaffen sein müssen, dass sie ressourcenschonend als Kreislaufstoffe genutzt werden können. Um diese Nebenprodukte auch zukünftig ressourcen- und klimaschonend nutzen zu können, wird auch das Regelwerk in den entsprechenden Anwendungsgebieten angepasst werden müssen.

Zusätzlich leistet die Nutzung von industriellen Nebenprodukten und Reststoffen einen Beitrag zur Schonung von Deponiekapazitäten.

3.5.2 Barrieren für das Recycling

Die für die industriellen Nebenprodukte und Reststoffe bestehenden Barrieren der Kreislaufwirtschaft lassen sich in die fünf Dimensionen Regulatorik, Anreize und Förderung, Technologien und Prozesse, Infrastruktur und Logistik sowie Daten und Digitalisierung untergliedern. Dabei ist im Rahmen der Diskussionen des Unterarbeitskreises deutlich geworden, dass vor allen Dingen bei der Regulatorik und bei Technologien und Prozessen, aber auch bei Anreizen und Förderung die größten Herausforderungen für eine Verbesserung der Kreislaufwirtschaft bestehen. Die wesentlichen Barrieren werden nachfolgend erläutert.

Im Bereich der **Regulatorik** sind die *fehlenden rechtlichen Rahmenbedingungen*, vor allem die anzupassenden Normen und Regelwerke für den Einsatz der Nebenprodukte aus einer transformierten Stahl- und NE-Metallindustrie in der Zement- und Betonindustrie als große Barriere zu nennen. Zusätzlich ist die leider immer wieder festzustellende *Nichtzulassung von Sekundärrohstoffen/Sekundärbaustoffen bei Ausschreibungen der öffentlichen Hand* (Bund, Länder, Kommunen) eine maßgebliche Barriere für den ressourcenschonenden Einsatz der industriellen Nebenprodukte und Reststoffe. Dies gilt in besonderem Maße für das mengenmäßig wichtigste Einsatzfeld im Baustoffbereich, da ca. 70 % der diesbezüglichen Aufträge auf Basis von Ausschreibungen der oben genannten öffentlichen Auftraggeber vergeben werden. Die *Bewertung der Umweltverträglichkeit* stellt in gleich mehreren Aspekten eine bedeutende weitere Barriere für den Einsatz der industriellen Stoffströme dar. In diesem Zusammenhang sind die teils uneinheitlichen Regelungen im Hinblick auf Schwermetallgehalte (der Ausschluss durch „Feststoffgrenzwerte“ (REICHE 2021), das fehlende „Level-Playing-Field“ zwischen Primär- und Sekundärbaustoffen (das heißt, im Gegensatz zu Sekundärstoffen gibt es bei Primärbaustoffen keine Bewertung der Umweltverträglichkeit) und das bereits in Kapitel 3.5.1 adressierte Ungleichgewicht zwischen den Zielen des Boden- und Gewässerschutzes auf der einen Seite und

der Förderung von Kreislaufwirtschaft und Ressourcenschonung auf der anderen Seite zu nennen. Bei der Ersatzbaustoffverordnung bildet unter anderem der im Vergleich zu Primärbaustoffen bedeutend höhere *Dokumentationsaufwand* eine weitere Barriere für die Kreislaufwirtschaft. Schließlich fehlt es an einer *einheitlichen Terminologie* für alle Baustoffe der Kreislaufwirtschaft (zum Beispiel industrielle „Nebenprodukte“ versus „Reststoffe“).

Im Bereich der Dimension **Anreize/Förderung** ist die *unzureichende Akzeptanz* von Sekundärrohstoffen/Sekundärbaustoffen als bedeutende Barriere zu nennen. Weitere Barrieren sind *fehlende steuerliche Anreize* für deren Nutzung sowie *fehlende Absatzmärkte* für Teilstoffströme in zusätzlichen Anwendungsfeldern (zum Beispiel HMVA in der Zementindustrie).

Bei der Dimension **Infrastruktur/Logistik** stellt die *Transportkostenempfindlichkeit* eine Barriere für den Einsatz von industriellen Nebenprodukten und Reststoffen dar.

Im Bereich der **Daten und Digitalisierung** wurden keine für die Kreislaufwirtschaft spezifischen Barrieren identifiziert, er stellt jedoch stoffstromübergreifend eine wichtige Rahmenbedingung dar.

Wesentliche Barrieren ergeben sich auch im Bereich der **Technologien und Prozesse** durch die bereits in Kapitel 3.5.1 thematisierte Transformation der Industrie hin zu weitestgehend CO₂-neutralen Produktionsprozessen. Die *derzeit noch fehlenden Prozesse für die weitere Nutzung der zukünftig erzeugten Nebenprodukte aus der Stahl- und NE-Metallindustrie* (Prozesse, technologische Eigenschaften/Umweltverträglichkeit der Produkte) stellen eine deutliche Barriere für die Kreislaufwirtschaft im Bereich der industriellen Nebenprodukte und der Reststoffe dar. Zusätzlich weisen industrielle Nebenprodukte zum Teil *chemische Zusammensetzungen und Materialeigenschaften* auf, die dem ressourcenschonenden Einsatz im Sinne der Kreislaufwirtschaft beim derzeitigen Stand der Technik entgegenstehen. Beim Thema Deponierückbau

sind der *hohe zeitliche Planungshorizont und die hohen Prozesskosten* für den Rückbau von Altdeponien (zum Beispiel für Rotschlamm) Barrieren für die Nutzung der darin enthaltenen Stoffströme. Die nachfolgende Auflistung an Themen

gibt nochmals einen detaillierten Überblick zum Meinungsbild hinsichtlich relevanter Barrieren im UAK seitens der Teilnehmenden und wurde wo sinnvoll erscheinend zu übergeordneten Themen zusammengefasst.

Regulatorik

Barrierenthema	Barriere
Transformation der Industrie (weitestgehende CO ₂ -Neutralität bis 2050)	Fehlende rechtliche Rahmenbedingungen, vor allem Normen und Regelwerke der Zement- und Betonindustrie für die zukünftig anfallenden Nebenprodukte aus der Stahl- und NE-Metallindustrie
Ausschreibungen vor allem der öffentlichen Hand	Nichtzulassung von Sekundärrohstoffen/Sekundärbaustoffen bei Ausschreibungen der öffentlichen Hand (Bund, Länder, Kommunen)
	Fehlende Justitiabilität zur bedingten Bevorzugung von Sekundärrohstoffen/Sekundärbaustoffen bei Ausschreibungen der öffentlichen Hand (siehe Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG), Landes-Kreislaufwirtschaftsgesetz (LKreiWiGs) NRW und Ba-Wü)
Bewertung der Umweltverträglichkeit	Fehlendes „Level-Playing-Field“ zwischen Primär- und Sekundärbaustoffen (keinerlei Bewertung der Umweltverträglichkeit bei Primärbaustoffen!)
	Erschwerung der Nutzung von Sekundärrohstoffen durch teils uneinheitliche Regelungen im Hinblick auf Schwermetallgehalte (Zement versus Beton) (Verschlechterungsverbot)
	Ausschluss von Sekundärrohstoffströmen durch „Feststoffgrenzwerte“
	Disbalance zwischen Boden-/Gewässerschutz und Kreislaufwirtschaft
	Zu niedrige Feststoff- und Eluatgrenzwerte für Schwermetalle in Wirbelschichtaschen aus thermischer Abfallverwertung
	Hoher Anteil an elementarem Kohlenstoff (EC) am Parameter DOC bei Gießereirestsand (Volumen D: 2,1-2,4 Mio. t/a),(EC ist nicht umweltwirksam, kann aber nicht wie beim TOC abgezogen werden)
Normen/Definitionen	Keine einheitliche Terminologie für alle Baustoffe der Kreislaufwirtschaft (Sekundärbaustoffe)
	Papieraschen, die infolge der energetischen Verwertung von Reststoffen des Altpapierrecyclings und der Papierherstellung anfallen, sind potenziell als Bindemittel oder Zementersatz nutzbar, für die Anwendung fehlen jedoch eine konsistente Normen- und Regelsetzung und der allgemeine Produktstatus (aufgrund ungleichmäßiger chemisch-mineralogischer Zusammensetzung und damit unterschiedlicher Reaktivität sowie ungleichmäßiger Störstoffgehalte)
	Die Grobfraction der Rostasche ist deutlich abgereichert an TOC- und Schwermetallgehalten und kann prinzipiell im Straßenbau verwendet werden. Allerdings werden die Genehmigungspraktiken in Europa unterschiedlich gehandhabt

Regulatorik

Barrierenthema	Barriere
Sonstiges	Hoher Dokumentationsaufwand im Rahmen der Ersatzbaustoffverordnung (umfassende Dokumentation des Bauvorhabens durch den Lieferanten und Bauherrn)
	HMVA erfüllen die Anforderungen an den MEB „HMVA-1“ gemäß Ersatzbaustoffverordnung (EBV) nicht
	Keine rechtliche Grundlage für den Rückbau einer stillgelegten Altdeponie für Rotschlamm

Anreize und Förderung

Barrierenthema	Barriere
	Unzureichende Akzeptanz von Sekundärrohstoffen/Sekundärbaustoffen
	Absatzmarkt/Einsatzmöglichkeiten: mangelnder Einsatz von HMVA (oder Teilfraktionen HMVA) in anderen Prozessen (Klinkerbrennen) oder Bauprodukten
	Fehlender ermäßigter Steuersatz für Sekundärbaustoffe
	Unzureichende Förderung zur Umsetzung innovativer Rückgewinnungsverfahren im Pilot-/Demonstrationsmaßstab insbesondere für KMU, aber auch größere Unternehmen

Infrastruktur und Logistik

Barrierenthema	Barriere
	Geringe Verfügbarkeit von Recyclingmaterial
	Transportkostenempfindlichkeit von Sekundärbaustoffen (= begrenzter Einsatzradius)

Technologien und Prozesse

Barrierenthema	Barriere
Transformation der Industrie (weitestgehende CO ₂ -Neutralität bis 2050)	Fehlende technische Prozesse für die weitere Nutzung der zukünftig erzeugten Nebenprodukte aus der Stahl- und NE-Metallindustrie (Prozesse, technologische Eigenschaften/Umweltverträglichkeit der Produkte)
Chemische Zusammensetzung	Schwierige Gewinnung von Metallfraktionen in NE-Metallschlacken, die teilweise feinst dispergiert und in komplexen Verbindungen vorliegen
	Ölgehalt von Walzzunder macht einen Wiedereinsatz derzeit fast unmöglich

Technologien und Prozesse

Barrierenthema	Barriere
	Die Feinfraktion der Rostasche enthält höhere Gehalte an gesamtem organischem Kohlenstoff (TOC) und Schwermetallen und ist daher bei der Verwendung im Straßenbau schwierig; Gewinnung von Metallen (Cu, Au und so weiter) möglich, kann aber noch weiter optimiert werden
	Deponierung von Gießereialsand (Grünsand) aufgrund der Inhaltsstoffe (organ. Bindemittelreste, Verschmelzungsprodukte, TOC, DOC)
	Deponierung von organisch gebundenem Kernsand und Furanharzsand aufgrund der Inhaltsstoffe. Rückstände aus den Bindemitteln (Phenol und Furanharze) im Quarzsand, Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
	Filterstaub aus Heißwindkupolöfen weist höhere Zn-Gehalte in Kombination mit komplex zusammengesetzten Oxiden auf, wodurch eine Zn-Rückgewinnung nur zum Teil über den Wälzprozess stattfindet
	Die chemische Zusammensetzung von Gichtschlamm (überwiegend Oxide, wenige werthaltige Elemente, Spurenelemente) machen den Einsatz im eigenen Betrieb (durch Bedarf eines Reduktionsprozesses) schwierig
	Die chemische Zusammensetzung von Gichtstaub (trocken) ist durch wenig werthaltige Elemente und Spurenelemente geprägt, Erschwerung der anlageninternen Kreislaufführung
	Stahlwerksstaub (grob) aus der Filteranlage wird trotz weitgehend metallischer Zusammensetzung nicht im eigenen Prozess zurückgeführt
	Schwierige Rückgewinnung von Zink aus Zyklonasche aufgrund komplexer chemischer Zusammensetzungen von Oxiden, Chloriden in Kombination mit Oxiden
Material-eigenschaften	Legierungselemente in Aluminium und anderen NE-Metallen werden unzureichend aus Rostaschen zurückgewonnen
	Gesteinskörnungen (aus Baurestmassen) weisen als Folge des Brechprozesses eine ungeeignete Kornform auf
Aufbereitungsverfahren	Herausforderung bei vielen Aufbereitungsansätzen ist eine Optimierung der Rückgewinnung von Wertstoffen (oft Metalle) bei gleichzeitigem Erhalt der Nutzungsfähigkeit der restlichen Fraktionen (oft Mineralik) vor allem als Baustoffe
	Energetisch aufwendige Aufbereitung zur Abtrennung von Anhaftungen und Störstoffen
	Schwierige Aufbereitung des Elektrolysezellenausbruchs (SPL) der Primäraluminium-Gewinnung
Deponierückbau	Sehr hoher zeitlicher Planungshorizont und hohe Prozesskosten für den Rückbau von Altdeponien für Rotschlamm, die jedoch vor dem Hintergrund freiwerdender Deponieräume zu bewerten sind

3.5.3 Handlungsoptionen

Der UAK Industrielle Nebenprodukte und Reststoffe hat nach der Diskussion der Barrieren Vorschläge entwickelt, wie diese Barrieren abgebaut werden könnten. Als wesentliche „Enabler“ wurden folgende neun Punkte adressiert.

Überblick der Enabler

#1	Änderung der Normen/Regelwerke mit Blick auf industrielle Transformation (Regulatorik)
#2	Ausschreibungen vor allem der öffentlichen Hand (Regulatorik)
#3	Gleichstellung von Primär- und Sekundärbaustoffen bezüglich der Bewertung der Umweltverträglichkeit (Regulatorik)
#4	Schaffung einheitlicher Normen und Terminologien (Regulatorik)
#5	Schaffung rechtlicher Rahmenbedingungen für den Deponierückbau (Regulatorik)
#6	Öffentlichkeitswirksamkeit für den Einsatz von Sekundärbaustoffen (Anreize/Förderung)
#7	Steuerliche Entlastung von Sekundärbaustoffen (Anreize/Förderung)
#8	Schaffung von Netzwerken und digitalen Plattformen (Infrastruktur und Logistik)
#9	Förderung von Grundlagenforschung bis industrielle Demonstration neuer Technologien (Technologien und Prozesse)

Enabler #1

Änderung der Normen/Regelwerke mit Blick auf industrielle Transformation (Regulatorik)

Eine Änderung der Normen und Regelwerke vor allem der Zement- und Betonindustrie zur Sicherstellung des Einsatzes der Nebenprodukte aus einer transformierten Industrie ist als wichtiger Enabler für die Kreislaufwirtschaft von grundlegender Bedeutung – dies gilt besonders für die Stahl- und Nichteisenmetallindustrie.

Ohne die entsprechende Anpassung des Regelwerks wird ein ressourcenschonender Einsatz dieser Nebenprodukte unabhängig von der diesbezüglich notwendigen und schon begonnenen Forschung (siehe unten, Technologien und Prozesse) zukünftig nicht möglich sein.

Enabler #2

Ausschreibungen vor allem der öffentlichen Hand (Regulatorik)

Bei den Ausschreibungen der öffentlichen Hand sollten die Kreislaufwirtschaftsgesetze von Bund und Ländern im Hinblick auf eine rechtssichere (= justitiable) bedingte Bevorzugung von Sekundärrohstoffen bei öffentlichen Ausschreibungen abgeändert werden. Dies gilt in besonderem Maße für den Stoffstrom der Sekundärbaustoffe, da ca. 70 % der Ausschreibungen in diesem Segment durch die öffentliche Hand vergeben werden. Alternativ oder zusätzlich könnte auch das Vergaberecht auf Bundes- und Länderebene entsprechend angepasst werden.

Enabler #3

Gleichstellung von Primär- und Sekundärbaustoffen bezüglich der Bewertung der Umweltverträglichkeit (Regulatorik)

Die Bewertung der Umweltverträglichkeit von Primär- und Sekundärbaustoffen sollte herkunftsunabhängig und damit für alle Baustoffe einheitlich erfolgen. Abwägungen potenziell divergierender Ziele (Boden-/Gewässerschutz und Kreislaufwirtschaft) sollten auf Grundlage ökobilanzieller Untersuchungen erfolgen. Durch eine Ergänzung der Ersatzbaustoffverordnung sollten zumindest die besten Klassen der Sekundärbaustoffe mit den Primärbaustoffen gleichgestellt werden.

Enabler #4

Schaffung einheitlicher Normen und Terminologien (Regulatorik)

Für alle Baustoffe der Kreislaufwirtschaft sollten sowohl auf nationaler als auch auf europäischer Ebene einheitliche Normen und eine einheitliche Terminologie geschaffen werden.

Enabler #5

Schaffung rechtlicher Rahmenbedingungen für den Deponierückbau (Regulatorik)

Die Nutzung der auf Deponien abgelagerten Wertstoffe ist aufgrund rechtlicher Barrieren stark eingeschränkt. Bestehende Regelungen zum Deponierückbau sollten aus diesem Grund angepasst beziehungsweise neue Regelungen geschaffen werden, die eine Nutzung der darin enthaltenen Wertstoffe (metallische sowie mineralische Fraktionen) erleichtert. Ein möglicher Ansatz wäre es, Deponien in Lager umzudeklariieren, aus denen Abfallstoffe mit dem Ziel der Behandlung und Verwertung entnommen werden können.

Enabler #6

Öffentlichkeitswirksamkeit für den Einsatz von Sekundärbaustoffen (Anreize/Förderung)

Die öffentlichkeitswirksame Darstellung von guten Praxisbeispielen für den Einsatz von Sekundärbaustoffen wird als wichtiger Enabler angesehen. Der öffentlichen Hand kommt in diesem Zusammenhang eine Vorbildfunktion zu. Für erfolgreich umgesetzte Bauvorhaben, welche in großem Umfang mit Sekundärbaustoffen realisiert wurden, sollten informative und ansprechende Dokumentationen unter Inanspruchnahme verschiedener Medien (Broschüre, Video, Vorträge etc.) erstellt und aktiv verbreitet werden.

Enabler #7

Steuerliche Entlastung von Sekundärbaustoffen (Anreize/Förderung)

Der Einsatz von Sekundärbaustoffen soll auch durch steuerliche Regelungen – zum Beispiel über eine Mehrwertsteuersenkung – finanziell gefördert werden. Diese Maßnahme kann den Einsatz von Sekundärrohstoffen gegenüber Primärrohstoffen finanziell attraktiv machen und damit deren Einsatz fördern.

Enabler #8

Schaffung von Netzwerken und digitalen Plattformen (Infrastruktur und Logistik)

Es sollten Netzwerke und digitale Plattformen eingerichtet werden, um die dezentrale Nutzung von Sekundärrohstoffen zu fördern und Stoffströme branchenübergreifend zu bündeln. Oftmals sind vergleichsweise geringe Massenströme eines Anbieters für die Verwertung in einer Branche mit großem Materialbedarf unattraktiv. Eine Bündelung geringer Massenströme mehrerer Anbieter kann zu einem attraktiven Gesamtmassenstrom für den potenziellen Abnehmer führen. Netzwerke und digitale Plattformen können helfen, dass sich Anbieter finden und zusammentun, um gemeinsam einen Abnehmer zu finden. Für die Seite des Abnehmers kann ein Anbieterkonsortium über ein Netzwerk beziehungsweise eine digitale Plattform ermittelt werden.

Enabler #9

Förderung von Grundlagenforschung bis industrielle Demonstration neuer Technologien (Technologien und Prozesse)

Die konsequente Förderung von Grundlagenforschung bis hin zur industriellen Demonstration neuer Technologien stellt eine grundlegende Voraussetzung und damit einen wichtigen Enabler dar, um die Nutzung der zukünftig erzeugten Nebenprodukte und Reststoffe zu ermöglichen. Eine besondere Rolle kommt hierbei den hohen Massenströmen an Nebenprodukten aus der sich im Transformationsprozess befindlichen Stahl- und NE-Metallindustrie zu. In diesem Zusammenhang müssen auch die entsprechenden Regelwerke angepasst werden (siehe oben Regulatorik). Die Forschungsförderung sollte explizit auch diejenigen industriellen Nebenprodukte und Reststoffe einbeziehen, die aufgrund ihrer Materialeigenschaften derzeit noch nicht ressourcenschonend eingesetzt werden können. Hier sollte der Fokus auf vollständige Verwendungsstrategien gelegt werden, die die gleichzeitige Gewinnung von Metallen wie auch die hochwertige Nutzung der mineralischen Fraktionen ermöglichen.

Tab. 12: Enabler der Kreislaufwirtschaft für industrielle Nebenprodukte und Reststoffe

Dimension	Enabler
Regulatorik	Transformation der Industrie (weitestgehende CO₂-Neutralität bis 2050) • Änderung der Normen und Regelwerke vor allem der Zement- und Betonindustrie zur Sicherstellung des zukünftigen Einsatzes der Nebenprodukte aus einer transformierten Industrie Ausschreibungen vor allem der öffentlichen Hand • Bedingte Bevorzugung von Sekundärrohstoffen bei Ausschreibungen der öffentlichen Hand (Bund, Länder, Kommunen), Änderung der Kreislaufwirtschaftsgesetze von Bund und Ländern, auf Bundesebene und in einigen Bundesländern (NRW, Sachsen, Thüringen, Rheinland-Pfalz) bereits erfolgt • Justitiabilität der bedingten Bevorzugung, Änderung der Kreislaufwirtschaftsgesetze von Bund und Ländern Bewertung der Umweltverträglichkeit • Bewertung der Umweltverträglichkeit von Sekundärrohstoffen/Kreislaufstoffen anhand von Eluatwerten (im Bereich des Verkehrsbaus in weiten Teilen umgesetzt, siehe Ersatzbaustoffverordnung), Änderung des Regelwerks für den Einsatz im Bereich Zement und Beton (siehe auch Thema Transformation) • Herkunftsunabhängige und einheitliche Bewertung der Umweltverträglichkeit für Primär- und Sekundärbaustoffe anhand von Eluatwerten • Abwägung der Ziele (Boden-/Gewässerschutz und Kreislaufwirtschaft) bei Änderungen des Regelwerks auf Grundlage von ökobilanziellen Untersuchungen Normen/Definitionen • Schaffung einheitlicher Normen und Terminologie (national/europäisch) für alle Baustoffe der Kreislaufwirtschaft Sonstiges • Gleichstellung zumindest der besten Klassen der „Sekundärbaustoffe/Ersatzbaustoffe“ nach EBV mit den Primärbaustoffen, diesbezügliche Ergänzung der EBV
Anreize und Förderung	• Vorbild öffentliche Hand durch Anwendung von Sekundärrohstoffen/Sekundärbaustoffen; gute Praxisbeispiele öffentlichkeitswirksam darstellen und Qualität in den Vordergrund stellen • Förderung der branchenübergreifenden Netzwerkbildung, gegebenenfalls Schaffung einer Koordinierungsstelle • Einführung steuersenkender Regelungen für den Einsatz von Sekundärrohstoffen/Sekundärbaustoffen
Infrastruktur und Logistik	• Schaffung von Netzwerken/digitalen Plattformen, die eine dezentrale Nutzung fördern und Stoffströme branchenübergreifend bündeln
Technologien und Prozesse	Transformation der Industrie (weitestgehend CO₂-Neutralität bis 2050) • Konsequente Förderung von Grundlagenforschung bis hin zur industriellen Demonstration neuer Technologien, um die weitere Nutzung der zukünftig erzeugten Nebenprodukte zum Beispiel aus der Stahl- und NE-Metallindustrie (Prozesse, technologische Eigenschaften/Umweltverträglichkeit der Produkte) zu ermöglichen

Dimension	Enabler
Technologien und Prozesse	Chemische Zusammensetzung - Forschungsförderung, um Materialeigenschaften von denjenigen industriellen Nebenprodukten und Reststoffen zu verbessern, die derzeit noch nicht ressourcenschonend eingesetzt werden können Deponierückbau - Anpassung bestehender beziehungsweise Schaffung neuer rechtlicher Regelungen zum Deponierückbau

3.5.4 Machbarkeit und Zielkonflikte

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Machbarkeitsdiskussion dargestellt, in welcher die erarbeiteten Lösungsansätze unter den Aspekten rechtliche, informatorische/organisatorische, technische, ökologische und sozio-ökologische Machbarkeit betrachtet und diskutiert wurden. Zielkonflikte, bei denen zwei oder mehrere der oben genannten Aspekte im Widerspruch zueinander stehen, wurden (sofern vorhanden) herausgearbeitet und separat aufgeführt.

Enabler #1

Änderung der Normen/Regelwerke mit Blick auf industrielle Transformation (Regulatorik)

✔ Machbarkeit

Von den meisten Teilnehmenden der Umfrage wurde die Machbarkeit als gut bis mittel eingestuft. Lediglich bei den rechtlichen und technischen Aspekten wurden Probleme gesehen. Im Vordergrund steht dabei die Notwendigkeit, bei der Anpassung des Regelwerks den notwendigen Schutz von Gesundheit, Boden und Gewässern auf der einen Seite und die Förderung von Kreislaufwirtschaft und Ressourcenschonung auf der anderen Seite in Einklang zu bringen.

✘ Zielkonflikt

- Schutz von Gesundheit, Boden und Gewässern versus Förderung von Kreislaufwirtschaft und Ressourcenschonung.

Enabler #2

Ausschreibungen vor allem der öffentlichen Hand (Regulatorik)

✔ Machbarkeit

Von den meisten Teilnehmenden der Umfrage wurde die Machbarkeit als gut eingestuft. Bei der rechtlichen Machbarkeit wurde auf die vielen beteiligten Akteure und die diesbezüglichen Abstimmungsprozesse verwiesen. Zusätzlich wurde angemerkt, vor der bedingten Bevorzugung von Sekundärbaustoffen zunächst ihre Zulassung bei öffentlichen Ausschreibungen sicherzustellen.

✘ Zielkonflikt

- Viele Akteure mit unterschiedlichen Interessen auf verschiedenen Ebenen (Bund, Länder, Kommunen).

Enabler #3

Gleichstellung von Primär- und Sekundärbaustoffen bezüglich der Bewertung der Umweltverträglichkeit (Regulatorik)

✔ Machbarkeit

Auch bei diesem Enabler wurde von den meisten Teilnehmenden der Umfrage die Machbarkeit als gut bis mittel eingestuft. Allerdings wurde die konkrete Umsetzung der grundsätzlich begrüßten Forderung zur Gleichstellung von Primär- und Sekundärbaustoffen bezüglich der Bewertung ihrer Umweltverträglichkeit als schwierig eingestuft. Hieraus wurde ein Handlungsauftrag an den Gesetzgeber abgeleitet, eine entsprechende Regelung zu erarbeiten. In diesem Zusammenhang wurde auch deut-

lich, dass die im August 2023 in Kraft tretende Ersatzbaustoffverordnung mit den diesbezüglichen Umweltverträglichkeitskriterien für den Einsatz von Sekundärbaustoffen im Verkehrsbau unabhängig von späterem Anpassungsbedarf zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht in Frage gestellt werden sollte. Allerdings wurde angemerkt, dass die Einführung einer „Baustoffverordnung“ mit Umweltkriterien für den Einsatz aller Baustoffe unabhängig von ihrer Herkunft der bessere Weg gewesen wäre.

Zum (abfall-)rechtlichen Status von Sekundärbaustoffen wurde intensiv diskutiert. Einigkeit bestand darin, dass „Abfälle“ gegenüber (Neben)Produkten Imagenachteile und zusätzlich erhöhten Verwaltungs- und Dokumentationsaufwand haben. Die Kriterien für das Ende der Abfalleigenschaft oder die Nebenprodukteeigenschaft von Stoffen sind im Kreislaufwirtschaftsgesetz (§ 4 KrWG 2012; § 5 KrWG 2012) definiert. Grundsätzlich wird die Erfüllung des diesbezüglichen Umweltkriteriums bei bestimmungsgemäßem Einbau nach dem geltenden Regelwerk (a. Verkehrsbau: Ersatzbaustoffverordnung, b. Hochbau: Regelwerk für Zement und Beton) als gegeben angesehen. Allerdings könnte eine konkretisierende Verordnung sinnvoll sein, um bundesweit Klarheit zum rechtlichen Status von Sekundärbaustoffen zu schaffen. Als Nachteil werden allerdings sich durch eine solche Verordnung eventuell ergebende Einschränkungen gesehen.

⊗ **Zielkonflikt**

- Gleiches „Level-Playing-Field“ zwischen Primär- und Sekundärbaustoffen darf nicht zu deutlichen Einschränkungen bei der Baustoffverfügbarkeit führen.

Enabler #4

Schaffung einheitlicher Normen und Terminologien (Regulatorik)

✓ **Machbarkeit**

Die Schaffung einheitlicher Normen und Terminologien wurde von den meisten Teilnehmenden als gut machbar eingestuft. Allerdings wurden bei

der rechtlichen Machbarkeit die vielen auf nationaler und europäischer Ebene zu beteiligenden Akteure als Problem adressiert. Zusätzlich wurde angemerkt, dass die bereits zu dem Thema laufenden Initiativen oft parallel und unabgestimmt laufen. Hieraus wurde ein Handlungsauftrag an den Gesetzgeber und die Exekutive abgeleitet, diese Initiativen zu harmonisieren.

⊗ **Zielkonflikt**

- National und europäisch unterschiedliche Interessen, die abgestimmt werden müssen.

Enabler #5

Schaffung rechtlicher Rahmenbedingungen für den Deponierückbau (Regulatorik)

✓ **Machbarkeit**

Die Machbarkeit wurde in der Umfrage vor allem unter rechtlichen und ökologischen Gesichtspunkten als kritisch angesehen, während organisatorische und sozioökonomische Aspekte als unkritisch gewertet wurden. Es wurde angeführt, dass per Definition und aus gutem Grund keine Materialien eine Deponie verlassen dürfen. Eine Umdeklaration einer Deponie in ein Lager wurde als schwierig angesehen, was die Nachverfolgbarkeit zum Umgang mit entnommenen Stoffen angeht, die gegebenenfalls nicht vollständig verwertet werden. Insgesamt wurde die höchste Machbarkeit für Mono-Deponien festgestellt, für die die stoffliche Zusammensetzung homogen und gut bekannt ist.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Es bestehen erhebliche Fragestellungen hinsichtlich Rechtsstellung und -sicherheit.
- Nach der aktuellen Deponieverordnung ist ein Rückbau heute aus rechtlicher Perspektive nicht möglich.
- Die Machbarkeit ist abhängig von den in der Deponie enthaltenen Stoffen, wobei Mono-Deponien sicher besser zu handhaben sind.

- Eine Vereinheitlichung aller Deponieklassen/-arten wird als schwierig eingestuft. Es bedarf Einzelfallentscheidungen für den Deponierückbau, generelle Regelungen werden hier als nicht zielführend betrachtet. Gegebenenfalls ist die Verarbeitung vieler Stoffe in Deutschland bzw. Europa heute nicht mehr möglich, da keine Verarbeiter mehr dafür existieren.

⊗ Zielkonflikte

- Rechtliche Erleichterungen des Rückbaus und der Nutzung von Deponien sollten in Ergänzung/Erweiterung des Deponierechts erfolgen, wobei im gesamten Rückbauprozess die Schutzwirkungen auf Umwelt und Mensch erhalten bleiben müssen. Zudem muss die Frage der potenziell bei einer Verwertung verbleibenden Restfraktionen geklärt werden.
- Im Rahmen der Deponiesicherung ergeben sich komplexe Fragestellungen bezüglich Wechselwirkungen, sodass eine umfassende Abwägung der Vor- und Nachteile notwendig ist.

Enabler #6

Öffentlichkeitswirksamkeit für den Einsatz von Sekundärbaustoffen (Anreize/Förderung)

✓ Machbarkeit

Die Machbarkeit wurde grundsätzlich für alle Kategorien als gut eingeschätzt. Es wird angenommen, dass insbesondere die öffentliche Hand, ohne Zielkonflikte berücksichtigen zu müssen, eine Vorbildfunktion beim öffentlichkeitswirksamen Einsatz von Sekundärbaustoffen einnehmen kann. Es wurden keine Aspekte genannt, welche die Umsetzung behindern oder einschränken.

⊗ Zielkonflikte

Es wurden keine Zielkonflikte benannt.

Enabler #7

Steuerliche Entlastung von Sekundärbaustoffen (Anreize/ Förderung)

✓ Machbarkeit

Grundsätzlich wurde die Machbarkeit als mittel bis gut eingeschätzt. Es gab im Rahmen der Umfrage und Diskussionen aber auch kritische Äußerungen zu möglichen Effekten einer Steuerentlastung von Sekundärbaustoffen. Steuerlich begünstigt werden sollte eher eine ökologische Gesamtvorteilhaftigkeit, die nicht per se durch den Einsatz von Sekundärbaustoffen gegeben ist.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Entlastung wären an mehrere Kriterien zu knüpfen wie Schadstoffgehalt und ökologische Gesamtvorteilhaftigkeit (zum Beispiel Beton mit hohem Sekundärmaterialanteil gegenüber Holz oder Lehm in der jeweiligen Anwendung.
- Möglicherweise ist eine Abstimmung auf EU-Ebene notwendig.
- Es besteht darüber hinaus Klärungsbedarf wie die Bewertung von Mischbauweisen vorgenommen werden soll.
- Es gilt zu diskutieren, ob eine Anhebung der Primärrohstoff-Preise einen gegebenenfalls besseren Hebeleffekt erwirken kann.
- Der politische Wille zur entsprechenden Umsetzung wird als unzureichend angesehen.
- Es besteht die Gefahr der Generierung von Zusatzgewinnen für Baustoffhersteller.

⊗ Zielkonflikt

- Eine Bevorzugung und/oder Andersbehandlung von Sekundärbaustoffen versus Primärbaustoffen kann auch gegenteilige, das heißt, nicht gewünschte Effekt bewirken. Wichtiger wäre es, wie in den vorhergehenden Punkten gefordert, die Gleichbehandlung und Gleichwertigkeit zwischen Primär- und Sekundär-

baustoffen auf allen Ebenen und in allen Bereichen herzustellen und sicherzustellen. Dann werden Sekundärbaustoffe ihren Markt finden und sicher auch bevorzugt eingesetzt werden.

Enabler #8

Schaffung von Netzwerken und digitalen Plattformen (Infrastruktur und Logistik)

Machbarkeit

Die Machbarkeit wurde für diesen Enabler in der Umfrage als überwiegend gut angegeben. Kernfrage ist, wer solche Plattformen ins Leben ruft und diese nachhaltig betreibt. Des Weiteren existieren bereits Plattformen, die erfasst und berücksichtigt werden müssten.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Aus rechtlicher Perspektive ist es zum Teil nicht möglich, verschiedene Massenströme zu bündeln.
- Eine Anpassung vieler Regelwerke mit vielen Akteuren (öffentliche Hand) ist notwendig.
- Die Preisgabe von Infos ist notwendig, kann jedoch auch unternehmenssensible Bereiche betreffen.
- Klärungsbedarf ergibt sich hinsichtlich der Organisatoren und Betreiber. In die Ausgestaltung wären viele Stakeholder einzubinden.
- Es liegen unzureichende Erkenntnisse im Hinblick über (tatsächliche) Bedarfe vor. Eine Übersicht darüber könnte dem BMWK vorgelegt werden.
- Kartellrechtliche Vorgaben schränken Handlungsmöglichkeiten der Verbände ein.
- Unzureichend/nicht vorhanden: marktwirtschaftliche, staatlich getriebene Anreize, um Plattformen bekannt zu machen, liegen nur unzureichend bis gar nicht vor.

- Die bisherige Kommunikation zwischen relevanten Akteuren reicht nicht aus und muss abgebaut werden.
- Die Vermischung von Massenströmen unterschiedlicher Zusammensetzung ist zu vermeiden. So sind etwa die Einsatzfelder von Sekundärrohstoffen auf ihre Toleranz hinsichtlich der Zusammensetzung zu prüfen.

Zielkonflikte

Es wurden keine Zielkonflikte benannt oder diskutiert.

Enabler #9

Förderung von Grundlagenforschung bis industrielle Demonstration neuer Technologien (Technologien und Prozesse)

Machbarkeit

Die Machbarkeit wurde als überwiegend gut beurteilt. Mögliche Einschränkungen zur Förderung von Demonstrationsprojekten wurden im EU-Wettbewerbsrecht gesehen.

Genannte Aspekte, welche die Umsetzung behindern oder erschweren, sind vor allem:

- Die Bedingungen und Regelungen des EU-Beihilferechts können einer stärkeren staatlichen Förderung hinderlich sein.
- Die F&E-Förderung ist oftmals unzureichend, da sie in den meisten Fällen nur bis zur Pilotierung reicht. Das birgt ein großes Risiko für Unternehmen im Hinblick auf die Implementierung von Innovationen, insbesondere für den Mittelstand. Zum Beispiel gibt es derzeit nur unzureichende Fördermöglichkeiten für großtechnische Verfahren, um durch Aufbereitung von Schlacken Nebengruppenelemente (unter anderem Fe, Cr, V, Mn) zurückzugewinnen, um anschließend verbleibende Restfraktionen in der Baustoffindustrie zu nutzen. Dies würde auch den Importbedarf dieser teilweise als kritisch eingestuften Rohstoffe verringern.

- Es ist notwendig, dass sich entsprechende Partner aus Industrie und Wissenschaft zusammenfinden.

⊗ Zielkonflikte

Es wurden lediglich mögliche Konflikte mit dem EU-Wettbewerbsrecht identifiziert.

3.5.5 Nächste Schritte

Als **kurzfristig umsetzbar** werden Änderungen in der Ausschreibungspraxis der öffentlichen Hand gesehen, die zu einer Bevorzugung von Sekundärbaustoffen führen. Hierfür sind vom Gesetzgeber (Bund/Länder) Anpassungen der Kreislaufwirtschaftsgesetze erforderlich, die eine rechtssichere bedingte Bevorzugung ermöglichen. Die öffentliche Hand sollte aktiv Sekundärbaustoffe bevorzugt ausschreiben und einsetzen und diese Praxis als Vorreiter öffentlichkeitswirksam darstellen. Die ausschreibende öffentliche Hand (Bauherr) muss hierfür über die gesetzlichen Rahmenbedingungen und die Folgen bei Nichtbeachtung informiert werden.

Neben der bereits zu Punkt 1 genannten Änderung der Ausschreibungspraxis wird die Gleichstellung von Primär- und Sekundärbaustoffen bezüglich der Bewertung der Umweltverträglichkeit als Lösungsansatz mit **großen positiven Auswirkungen** auf die Kreislaufwirtschaft angesehen. Ziel sollte es sein, für alle Baustoffe einheitliche und herkunftsunabhängige Bewertungskriterien für die Umweltverträglichkeit einzuführen. Allerdings wurde die konkrete Umsetzung der grundsätzlich begrüßten Forderung zur Gleichstellung von Primär- und Sekundärbaustoffen bezüglich der Bewertung ihrer Umweltverträglichkeit als schwierig eingestuft. Hieraus wurde ein Handlungsauftrag an den Gesetzgeber abgeleitet, eine entsprechende Regelung zu erarbeiten, um ein faires „Level-Playing-Field“ zwischen Primär- und Sekundärbaustoffen zu schaffen. In diesem Zusammenhang wird die Einführung einer „Baustoffverordnung“ mit Umweltkriterien für den Einsatz aller Baustoffe unabhängig von ihrer Herkunft als mögliche Lösung angesehen.

Zusätzlich wird die Anpassung des Regelwerks im Bereich Hochbau für die Nutzung von industriellen Nebenprodukten und Reststoffen aus einer transformierten Industriegesellschaft als Handlungsoption mit großem positivem Einfluss für die Kreislaufwirtschaft angesehen. Hierbei sind die Anforderungen an den Schutz von Gesundheit, Boden und Gewässern und die Förderung von Kreislaufwirtschaft und Ressourcenschonung aufeinander abzustimmen. Das geltende Regelwerk müsste dazu vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) und der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) angepasst werden.

Verwaltung und Politik sollten aus Sicht des UAK als Nächstes Änderungen der Kreislaufwirtschaftsgesetze auf Bund- und Länderebene angehen, um die rechtssichere bedingte Bevorzugung von Ersatzbaustoffen zu ermöglichen. Weitere Schritte sind die Erarbeitung eines Vorschlags zur Schaffung eines fairen „Level-Playing-Field“ zwischen Primär- und Sekundärbaustoffen sowie die Anpassung des Regelwerks im Bereich Zement und Beton.

Für die **Industrie und Wirtschaft** ist eine bessere Vernetzung der Akteure und Bündelung der Aktivitäten sowie die Organisation über Netzwerke als nächster Schritt notwendig, um Synergien zur Verwertung von Abfallströmen sowie zur Nutzung von industriellen Nebenprodukten und Reststoffen zu heben.

Auch im Bereich der **Wissenschaft und Forschung** sollten wichtige nächste Schritte unternommen werden. So sollten aktuelle Problemstellungen der Wirtschaft mit dem höchsten Effekt auf das Recycling aufgegriffen und beforscht werden. Auch könnte die Industrie mit Forschungskapazität bei Demonstrationsaktivitäten unterstützt werden. Zudem sollte eine entsprechende Infrastruktur für die neutrale Beforschung aktueller Fragestellungen hoher Dringlichkeit im Demonstrationsmaßstab aufgebaut werden. Schließlich sollte auch die Forschung im Hinblick auf die Nutzung von industriellen Nebenprodukten und Reststoffen aus einer transformierten Industriegesellschaft forciert werden.

3.6 Handlungsfelder für Industriemineralien

Auf Ebene des AK Industriemineralien haben sich aus den Diskussionen der einzelnen UAKs übergreifende Handlungsfelder ergeben, die nachfolgend vorgestellt werden. Außerdem wurden einige Themen sowohl innerhalb als auch zwischen den UAKs kontrovers diskutiert. Die verschiedenen Standpunkte werden unten stehend transparent dargelegt. Ein abschließendes Fazit zu den inhaltlichen Diskussionen auf AK-Ebene findet sich am Ende dieses Kapitels.

3.6.1 Übergreifende Handlungsfelder

Bei den folgenden Handlungsfeldern (siehe Abbildung 32) wurde angenommen, dass sie geeignet sind, nicht nur das Recycling der untersuchten Industriemineralien zu fördern, sondern insgesamt aller Industriemineralien. Diese übergreifenden fünf Handlungsfelder können wie folgt zusammengefasst werden:

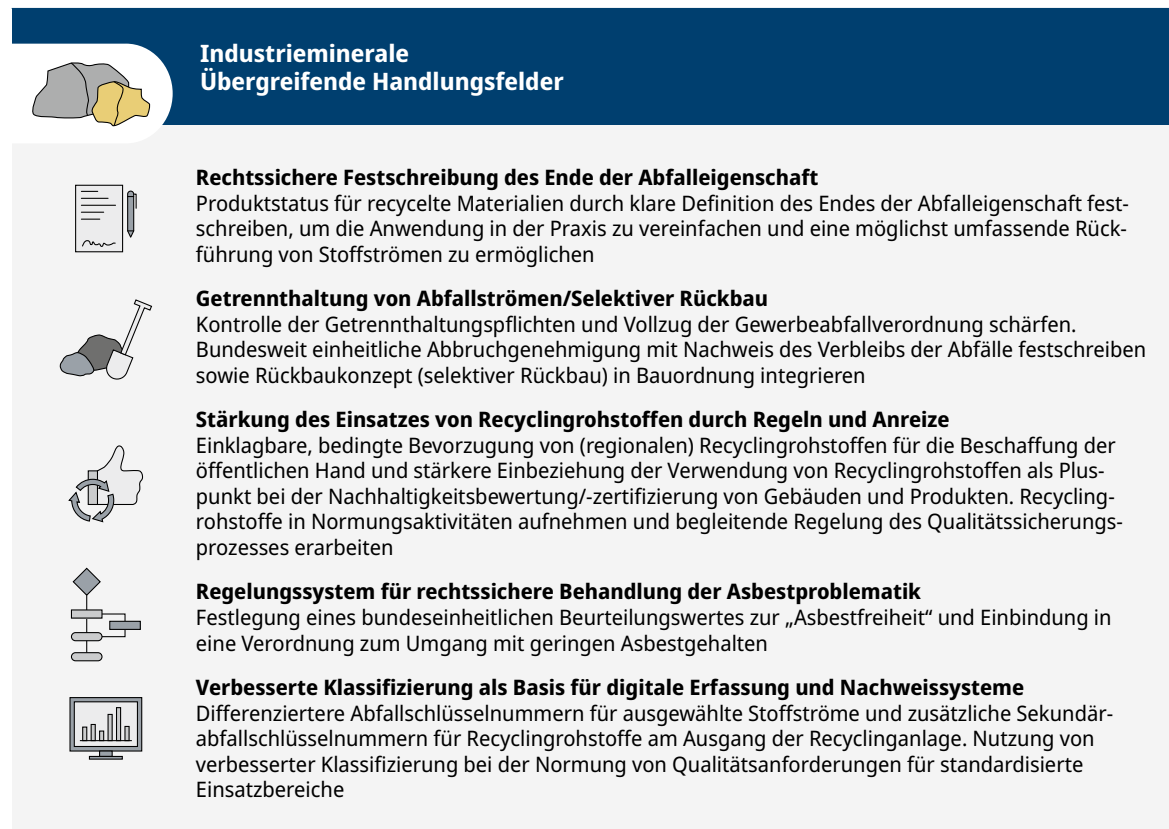


Abb. 32: Übergreifende Handlungsfelder für das Recycling von Industriemineralien (eigene Darstellung)

3.6.2 Kontroverse Diskussionsthemen

Bei der Diskussion der übergreifenden Handlungsfelder haben sich einige Themen als kontrovers herausgestellt, das heißt, die Lösungsansätze wurden für einzelne Stoffströme als sinnvoll und für andere als wenig zielführend betrachtet oder innerhalb eines UAK sind die Sichtweisen (einzelner Akteurinnen und Akteure) auf das Thema unterschiedlich. Für die folgenden kontroversen Diskussionsthemen wurde kein übergreifender Konsens gefunden und damit sind diese Themen nicht in die Handlungsempfehlungen eingeflossen. Dies trifft für folgende Themen zu, die mit den verschiedenen Positionen nachfolgend aufgeführt sind, um einen transparenten Überblick zu den verschiedenen Sichtweisen und Positionen zu geben:

1. Umsetzung fester **Recyclingraten** – regulatorische Vorgaben oder Selbstverpflichtung

Feste Recyclingraten, zum Beispiel die EoL-Recyclingrate oder EoL-Recyclinginputrate, sind klare Zielvorgaben zur Stärkung einer physischen Kreislaufschließung von Rohstoffen. In Bezug auf die Umsetzbarkeit dieser Raten wurde kontrovers argumentiert, ob es eine eher starre regulatorische Vorgabe in Form beispielsweise einer Verordnung oder ob es eine Selbstverpflichtung der Industrie mit dynamisch anspruchsvolleren und ambitionierten Recyclingraten unter Anbetracht der technischen und wirtschaftlichen Zumutbarkeit geben sollte. Alternativ zu festen Recyclingraten wurde der Einsatz von Recyclingrohstoffen durch eine Indikatorik, die sich am kumulierten Rohstoffaufwand (KRA) orientiert, angemerkt. Zudem wurde bei der Diskussion darauf hingewiesen, dass bei der Festlegung quantitativer Recyclingraten auch Aspekte der Qualität, der Auswirkungen auf Treibhausgasemissionen, der Gesamtumweltwirkung sowie der regionalen Verfügbarkeiten und damit einhergehenden Transportentfernungen der eingesetzten Recyclingrohstoffe berücksichtigt werden müssen.

2. **Primärrohstoffsteuer** als Mittel zur Erhöhung der Attraktivität von Recyclingrohstoffen

Die Verteuerung von Primärrohstoffen durch eine Besteuerung kann die finanzielle Attraktivität von Recyclingrohstoffen erhöhen und eine ökologische Nachfragelenkung erzielen, insbesondere, wenn sie Teil einer breiter angelegten, ökologischen Steuerreform ist, die beispielsweise auf andere Steuerarten (zum Beispiel Besteuerung von Arbeitseinkünften) verzichtet. Eine Erhöhung der Besteuerung sollte sich, je nach Stoffstrom, mindestens an der Höhe der notwendigen Aufbereitungskosten orientieren. Es wurde jedoch auch angemerkt, dass eine Primärrohstoffsteuer die Gefahr birgt, das immer teurer werdende Bauwesen zusätzlich zu belasten, und sie könnte zudem in grenznahen Regionen zu einer Verlagerung der Produktion aus Deutschland führen. Praktische Erfahrungen mit der Einführung einer solchen Steuer in anderen Ländern, wie zum Beispiel der Aggregates Levy in Großbritannien (Aggregates Levy 2023), zur Besteuerung des kommerziellen Abbaus von Steinen, Kies und Sand, könnten hier hilfreiche Ansatzpunkte bieten.

3. **Positivliste** von mineralischen Reststoffen, die grundsätzlich nicht dem Abfallrecht unterliegen

Die Eigenschaften und Qualitäten bestimmter Abfälle und Nebenprodukte sind nach der Nutzung oder durch die Produktion (Nebenprodukte) sehr gut bekannt, sodass diese eine Produktqualität erreichen und gegebenenfalls nicht unter das Abfallrecht fallen müssten. Eine Positivliste dieser Materialien würde aufwendigen Verfahren durch beispielsweise Bestimmung der Abfallkriterien oder bundesweit unterschiedlichen Auslegungen der Gesetze vorgreifen. Jedoch müssen dabei Änderungen der Eigenschaften und Qualitäten durch Nutzungs- oder Prozessumstellungen sowie mögliche negative Einflüsse auf Mensch und Umwelt

berücksichtigt werden. Zudem ist die Vereinbarkeit mit der AbfallrahmenRL (Abfallrahmenrichtlinie 2008) zu prüfen.

4. Einheitliche Bewertungskriterien für Primär- und Recyclingrohstoffe (zum Beispiel Feststoffgehalte)

Der Aufwand der Umweltverträglichkeitsbewertung von Recyclingrohstoffen, zum Beispiel durch die Ersatzbaustoffverordnung, ist höher als für Primärrohstoffe. Eine Angleichung der Bewertungskriterien würde zur weiteren Gleichstellung von Primär- und Sekundärbaustoffen, wie im Rahmen der ÖkodesignVO (ÖkodesignVO 2022) künftig angedacht, führen. Diese Gleichstellung könnte den finanziellen Mehraufwand der Umweltverträglichkeitsbewertung von Recyclingrohstoffen kompensieren. Dies könnte jedoch die Primär-Rohstoffgewinnung aufwändiger machen und somit verteuern. Es wurde jedoch auch darauf hingewiesen, dass der Eintrag bestimmter Stör- und Schadstoffe bei Primärrohstoffen, im Gegensatz zu Recyclingrohstoffen, aufgrund ihres gegebenen Ursprungs oftmals besser abgeschätzt werden kann und somit die pauschale Einführung einheitlicher Bewertungskriterien für alle Primär- und Sekundärrohstoffe nicht sinnvoll erscheinen lässt.

3.7 Fazit für das Recycling von Industriemineralen

Für die Zielstellungen der Versorgungssicherheit, Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit sind Industriemineralien von erheblicher Bedeutung. Die große Relevanz der Stoffströme im Bereich Industriemineralien wird insbesondere vor dem Hintergrund einer gleichbleibenden oder aufgrund der Bautätigkeit in den kommenden Jahren eher steigenden Nachfrage unterstrichen. Damit wird eine sichere Versorgung mit Industriemineralien in Zukunft neben einer nachhaltigen heimischen Förderung auf dem Recycling basieren.

Im Gegensatz zu Metallen haben die Stoffströme der Industriemineralien durch ihre Mengenrelevanz im heimischen Abbau und Abfallaufkommen großen Einfluss in den folgenden Themenfeldern:

- **Fläche:** Der Abbau von Primärrohstoffen führt zum Verbrauch/zur Beanspruchung von Flächen. Auch wenn Tagebau/Gruben/Steinbrüche in Deutschland insgesamt nur 0,4 % der Bodenfläche einnehmen (Destatis 2022), kann dies insbesondere in Metropolregionen mit hohem Verbrauch an Baustoffen und vielfältigen Ansprüchen an die Flächennutzung zu Flächenkonkurrenzen oder der Notwendigkeit des Transports von Primärrohstoffen aus weiter entfernten Vorkommen führen.
- **Biodiversität:** Vorkommen von Primärmaterialien finden sich auch an Orten mit wertvollen Ökosystemen. Im Hinblick auf den Erhalt dieser Ökosysteme und das Schutzziel Biodiversität stehen diese nicht zur Verfügung und verknappen daher das Angebot an Primärrohstoffen.
- **Deponievolumen:** Aufgrund ihrer Mengenrelevanz trägt die Beseitigung von Industriemineralen maßgeblich zum Verbrauch von kostbarem und knappem Deponievolumen bei. Bau- und Abbruchabfälle sind die dominierenden Abfälle, die auf Deponien beseitigt werden. Mehr Recycling schont somit Deponievolumen.

Insofern ist aus den in den Abschnitten der UAK beschriebenen Maßnahmen vor allem die Aufbereitung von Boden/Verfüllmaterialien zur Gewinnung von Baurohstoffen hervorzuheben, die zusätzliche Recyclingmaterialien in relevanten Mengen zur Verfügung stellen könnte. Hingewiesen werden soll außerdem auf die Veränderung der Qualität und Quantität mineralischer Reststoffe aus der Industrie durch Umstellung von Produktionsverfahren im Kontext der Dekarbonisierung. Deshalb ist vor allem auf Maßnahmen im Bereich der Forschung und Regulierung zur Sicherstellung der stofflichen Verwertbarkeit zukünftig veränderter Reststoffe

durch Transformation der Industrie hinzuweisen.

Wie oben bereits ausgeführt, konzentrieren sich die Potenziale der Treibhausgasreduktion im Bereich der Industriemineralien vor allem auf den Stoffstrom Zement beziehungsweise Beton aus dem Abbruch von Gebäuden und Infrastruktur. Wegen der großen Klimarelevanz der Zementproduktion sollte hierauf künftig ein besonderes Augenmerk liegen.

Weitere Einsparpotenziale für Treibhausgase würden sich möglicherweise bieten, wenn durch den Einsatz von Recyclingmaterial als Substitut für Primärmaterial Transportentfernung eingespart werden könnte. Dieser Aspekt ist aber sehr stark von individuellen Rahmenbedingungen des Anfalls der Materialien abhängig.

Auch wenn ein stoffstromspezifischer Ansatz gewählt wurde, sind viele der identifizierten Barrieren und Handlungsfelder für Industriemineralien insgesamt genannt worden. Als übergreifende Handlungsfelder wurden identifiziert:

- Rechtssichere Festschreibung des Ende der Abfalleigenschaft
- Getrennthaltung von Abfallströmen/selektiver Rückbau
- Stärkung des Einsatzes von Recyclingrohstoffen durch Regeln und Anreize
- Regelungssystem für rechtssichere Behandlung der Asbestproblematik
- Verbesserte Klassifizierung als Basis für digitale Erfassung und Nachweissysteme

Die erarbeiteten Handlungsoptionen können zur Schaffung der notwendigen Voraussetzungen und Rahmenbedingungen beitragen und das Recycling von Industriemineralien zukünftig verbessern.

4. Fazit zur Dialogplattform Recyclingrohstoffe

Die Arbeiten im Rahmen der Dialogplattform Recyclingrohstoffe haben aufgezeigt, dass teils noch große Barrieren überwunden werden müssen, um eine möglichst vollständige und verlustfreie physische Kreislaufschließung für die ausgewählten Metalle (Kupfer, Eisen und Stahl, Aluminium und Technologiemetalle Zink, Wolfram, Magnesium) und Industriemineralien (Baurohstoffe, Gips, Feuerfestkeramik und Industrielle Reststoffe und Nebenprodukte) in Deutschland zu etablieren. Insgesamt wurden im ersten Schritt des Dialogprozesses über alle Unterarbeitskreise circa 250 Barrieren von den Teilnehmenden identifiziert, welche einer Stärkung des Recyclings entgegenstehen. Der Schwerpunkt lag hierbei neben regulatorischen Barrieren vor allem auf den Themen Technologien und Prozesse sowie Anreize und Förderung. Basierend auf dieser systematischen Analyse bestehender Barrieren im Status quo wurden über die gesamte Projektlaufzeit 94 stoffstromspezifische Handlungsoptionen über die verschiedenen Unterarbeitskreise hinweg erarbeitet. Diese sind in den Steckbriefen der UAKs beschrieben und werden hinsichtlich ihrer Machbarkeit und möglicher Zielkonflikte diskutiert. Übergreifend konnten durch die Leitung der Arbeitskreise neun stoffstromübergreifende Handlungsfelder abgeleitet werden.

Die enge Einbindung der zuständigen Ministerien und Behörden durch direkten Austausch und den Runden Tisch wurden seitens der Teilnehmenden als großer Mehrwert empfunden. So wurden bereits vorläufige Zwischenergebnisse der Dialogarbeit in das Eckpunktepapier des BMWK zu einer resilienten und nachhaltigen Rohstoffversorgung (BMWK 2023) mit einbezogen. Der vorliegende Abschlussbericht stellt zudem einen wichtigen Input in der Erstellung der Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS) unter Federführung des BMUV dar. Hierbei können gerade die Machbarkeitsbewer-

tungen der entwickelten stoffstromspezifischen Handlungsoptionen mit ihren dargelegten Zielkonflikten eine wichtige Grundlage für die weitere interministerielle Abstimmung spielen.

Rückblickend hat sich das dreistufige Vorgehen im Dialogprozess, bestehend aus der Identifikation der Barrieren, Entwicklung von Handlungsoptionen und Bewertung der Machbarkeit, bewährt. Dies ermöglichte die Schaffung einer transparenten Entscheidungsgrundlage, die von einer Vielzahl von Akteuren mitgetragen wird. Auch in Zukunft sollten deshalb Dialogformate bereitgestellt werden, um mit Akteuren entlang der Wertschöpfungskette über Potenziale zur Verbesserung des Recyclings ins Gespräch zu kommen und auf sich ändernde Rahmenbedingungen zeitnah reagieren zu können. Insbesondere sollte dabei darauf geachtet werden, dass verstärkt auch Akteure am Anfang des Wertschöpfungskreislaufs mit einbezogen werden, um Themen wie Design for Recycling vor dem Hintergrund einer erweiterten Produktverantwortung von Beginn an ganzheitlich mitdenken zu können. Dabei bietet sich ein Austausch zu ganz konkreten stoffstrom- oder produktspezifischen Herausforderungen an, um zu möglichst zielführenden Maßnahmen zu gelangen, die das Recycling im jeweiligen Kontext schnell und effektiv verbessern. Der vorliegende Bericht soll auf diesem Weg einen wichtigen Beitrag leisten.

5. Literaturverzeichnis

ACATECH – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN E. V., DEUTSCHE AKADEMIE DER NATURFORSCHER LEOPOLDINA E. V. & UNION DER DEUTSCHEN AKADEMIEN DER WISSENSCHAFTEN E. V. (2017): Rohstoffe für die Energiewende– Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung.

AOS-STADE – ALUMINIUM OXID STADE GMBH (2022): Unternehmenswebsite. – URL: <https://www.aos-stade.de/> (Stand: 02.08.2023).

AD – ALUMINIUM DEUTSCHLAND (2015): Aluminum design manual. 2015. ISBN: 0986363103. Aluminum Association inc. [Washington, D.C.].

AD – ALUMINIUM DEUTSCHLAND (01.08.2023): Recycling Statistics. Production Germany (Refiner& Remelter). 2. quarter 2023. Präsentation.

AURUBIS AG (2022): Umweltschutz im Aurubis-Konzern und aktualisierte Umwelterklärung 2022 der Aurubis AG, Standorte Hamburg und Lünen. – URL: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj8_fCRpM2BAxU3QvEDHbf-CDq4QFnoECBIQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.aurubis.com%2Fdam%2Fjcr%3Aba791056-324c-4066-bf17-21ad1fc5d9db%2F2022_Umweltbericht_DE.pdf&usg=AOvVaw3AX9ACzjHLrBDUUIO-VIJJM&opi=89978449 (Stand: 22.09.2023).

BATTERY PASS CONSORTIUM (2023): Battery Passport Content Guidance. – URL: https://thebattery-pass.eu/assets/images/content-guidance/pdf/2023_Battery_Passport_Content_Guidance.pdf (Stand: 16.06.2023).

BBS – BUNDESVERBAND BAUSTOFFE – STEINE UND ERDEN E. V. (2019): Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine-und-Erden-Industrie bis 2035 in Deutschland. – URL: https://www.baustoffindustrie.de/fileadmin/user_upload/bbs/Dateien/Downloadarchiv/Rohstoffe/Rohstoffstudie_2019.pdf (Stand: 15.05.2023).

BBS – BUNDESVERBAND BAUSTOFFE – STEINE UND ERDEN E. V. (2022a): bbs-Zahlenspiegel 2022. – URL: https://www.baustoffindustrie.de/fileadmin/user_upload/bbs/Dateien/Downloadarchiv/Konjunktur/2022-06-20_BBS_Zahlenspiegel_klein_final.pdf (Stand: 29.06.2023).

BBS – BUNDESVERBAND BAUSTOFFE – STEINE UND ERDEN E. V.(2022b): Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine-Erden-Industrie bis 2040 in Deutschland. – URL: https://www.baustoffindustrie.de/fileadmin/user_upload/bbs/Bilder/Aktuelles/2022-04-20_BBS_Rohstoffstudie_01_ONLINE.pdf (Stand: 25.11.2022).

BBS – BUNDESVERBAND BAUSTOFFE – STEINE UND ERDEN E. V. (2022c): Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine-und-Erden-Industrie bis 2040 in Deutschland. Aktualisierung 2022. – URL: https://www.baustoffindustrie.de/fileadmin/user_upload/bbs/Bilder/Aktuelles/2022-04-20_BBS_Rohstoffstudie_01_ONLINE.pdf (Stand: 07.08.2023).

BDGUSS – BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN GIESSEREI-INDUSTRIE E. V. (2023): Branche in Zahlen. – URL: <https://www.guss.de/organisation/bdg/branche> (Stand: 09.05.2023).

BDI – BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN INDUSTRIE E. V. (2023): BDI Circular Economy. – URL: <https://bdi.eu/umwelt-und-nachhaltigkeit/circular-economy> (Stand: 04.05.2023).

BGR – BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2021): Deutschland – Rohstoffsituation 2020. Baier, M.; Bookhagen, B.; Eicke, C.; Elsner, H.; Henning, S.; Kuhn, K.; Lutz, R.; Moldenhauer, K.; Pein, M.; Schauer, M.; Schmidt, S.; Schmitz, M.; Sievers, H.; Szurlies, M.; Bahr, A.; Göbel, S.; Kreuz, A.; Westphale, E. – URL: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/rohsit-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (Stand: 07.10.2022).

BGR – BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2022): Deutschland – Rohstoffsituation 2021. Bookhagen, B.; Eicke, C.; Elsner, H.; Henning, S.; Kern, M.; Kresse, C.; Kuhn, K.; Liesegang, M.; Lutz, R.; Mährlitz, P.; Moldenhauer, K.; Pein, M.; Schauer, M.; Schmidt, S.; Schmitz, M.; Sievers, H.; Szurlies, M. – URL: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/rohsit-2021.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (Stand: 24.03.2023).

BIR – BUREAU OF INTERNATIONAL RECYCLING (2020): WORLD STEEL RECYCLING IN FIGURES 2015 – 2019. – URL: <https://bir.org/publications/facts-figures/download/643/175/36?method=view> (Stand: 18.10.2022).

BMAS – BUNDESMINISTERIUM FÜR ARBEIT UND SOZIALES (2017a): Nationaler Asbestdialog: Ergebnisse der Eingangsbefragung. – URL: <https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/Arbeitsschutz/Asbestdialog/handout-nationaler-asbestdialog.pdf> (Stand: 12.07.2023).

BMAS – BUNDESMINISTERIUM FÜR ARBEIT UND SOZIALES (2017b): Ziel und Ablauf des Nationalen Asbestdialoges. – URL: <https://www.bmas.de/DE/Arbeit/Arbeitsschutz/Gesundheit-am-Arbeitsplatz/Nationaler-Asbestdialog/ziel-ablauf-nationaler-asbestdialog.html> (Stand: 04.05.2023).

BMWSB – BUNDESMINISTERIUM FÜR WOHNEN, STADTENTWICKLUNG UND BAUWESEN (2022a): ÖKOBAUDAT. – URL: <https://www.oekobaudat.de/> (Stand: 27.11.2022).

BOSTON CONSULTING GROUP (2021): KLIMAPFADE 2.0. – URL: <https://web-assets.bcg.com/58/57/2042392542079ff8c9ee2cb74278/klimapfade-study-german.pdf> (Stand: 17.08.2023).

BUCHERT, M., BLEHER, D., BULACH, W., KNAPPE, F., MUCHOW, N., REINHARDT, J. & MEINSHAUSEN, I. (2021): Kartierung des anthropogenen Lagers III (KartAL III). TEXTE 47/2022. – URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_47-2022_kartierung_des_anthropogenen_lagers_iii.pdf (Stand: 14.03.2023).

BUCHERT, M., BULACH, W. & STAHL, H. (2016): Klimaschutzpotentiale des Metallrecyclings und des anthropogenen Lagers. – URL: https://www.wvmetalle.de/geschaeftsfelder/umweltpolitik-allgemein/artikeldetail/?tx_artikel_feartikel%5Bartikel%5D=3984&tx_artikel_feartikel%5Bback%5D=geschaeftsfelder%2Fumweltpolitik-allgemein%2F&tx_artikel_feartikel%5Baction%5D=show&cHash=34eb4aed0bcd558889c1297d12e91071 (Stand: 26.09.2023).

BUCHERT, M., SUTTER, J., ALWAST, H., SCHÜTZ, N. & WEIMANN, K. (2017): Ökobilanzielle Betrachtung des Recyclings von Gipskartonplatten. – URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-04-24_texte_33-2017_gipsrecycling.pdf (Stand: 21.02.2023).

BULLERJAHN, F. & MEHRINGSKÖTTER, M. (2021): Synthetic granulated blast furnace-like slag from bauxite residue smelting and its use in multi-component Portland composite cement. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.129667 (Stand: 03.08.2023).

BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL (2003): Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20. Technische Regeln. – URL: https://www.laga-online.de/documents/m20-gesamtfassung_1643296687.pdf (Stand: 02.06.2023).

BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL (2022): Vollzugshilfe zur Entsorgung asbesthaltiger Abfälle. Stand: 29. November 2022, veröffentlicht am 08.05.2023. – URL: https://www.laga-online.de/documents/m23-ueberarbeitung-konsolidiert-2022-11-29-v3-endfassung-redakt-bereinigt-4_2_1690372365.pdf (Stand: 18.07.2023).

BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL (2023): Homepage: Mitteilungen der LAGA. Stand: Mai 2023. – URL: <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Mitteilungen.html> (Stand: 11.08.2023).

BUNDESAMT FÜR JUSTIZ (2015): Elektro- und Elektronikgerätegesetz vom 20. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1739), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 8. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2240) geändert worden ist. ElektroG. – URL: http://www.gesetze-im-internet.de/elektrog_2015/ (Stand: 13.03.2023).

BUNDESAMT FÜR JUSTIZ (2020): Abfallverzeichnis-Verordnung vom 10. Dezember 2001 (BGBl. I S. 3379), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 30. Juni 2020 (BGBl. I S. 1533) geändert worden ist. AVV. – URL: <https://www.gesetze-im-internet.de/avv/> (Stand: 07.10.2022).

BUNDESAMT FÜR JUSTIZ (2021): Verordnung über Anforderungen an die Behandlung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten. EAG-BehandV. – URL: <http://www.gesetze-im-internet.de/eag-behandv/> (Stand: 13.03.2023).

BMBF – BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (05/21-04/25): Verbundprojekt KlimPro: Schaffung einer alternativen Verwendung einer auf DRI-Basis erzeugten SAF-Schlacke für die Zementindustrie zur Verringerung der CO₂-Emissionen (SAVE CO₂).

BMBF – BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (07/22-06/26): Verbundvorhaben DRI-EOS: Energierahmenprogramm-Verbundvorhaben – DRI-EOS: Nutzung von auf DRI-Basis erzeugter EAF-Schlacke in der Zementindustrie – Teilprojekt 5, Materiallogistik, Schlackenuntersuchung und Projekttransfer.

BMBF – BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (2022a): greenBatt – Kompetenzcluster Recycling & Grüne Batterie. – URL: <https://www.greenbatt-cluster.de/de/> (Stand: 10.01.2023).

BMBF – BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (2022b): Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Bauen und Mineralische Stoffkreisläufe (ReMin). – URL: <https://www.fona.de/de/massnahmen/foerdermassnahmen/ressourceneffiziente-kreislaufwirtschaft-bauen-und-mineralische-stoffkreislaeufe.php> (Stand: 13.03.2023).

BMBF – BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (2023): Gipsrecycling als Chance für den Südharz – Nordhausen. – URL: <https://gips-im-suedharz.de/> (Stand: 13.03.2023).

BMUV – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, NUKLEARE SICHERHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2023a): Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS). – URL: <https://www.bmuv.de/themen/kreislaufwirtschaft/kreislaufwirtschaftsstrategie> (Stand: 21.07.2023).

BMUV – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, NUKLEARE SICHERHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2023b): Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Innovative Produktkreisläufe“ (ReziProK). – URL: <https://innovative-produktkreislaeufe.de/> (Stand: 12.05.2023).

BMWK – BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ (2022): Klimaschutzbericht 2022. Stand: 31.8.2022. – URL: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/klimaschutzbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (Stand: 24.11.2022).

BMWK – BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ (2023): Eckpunktepapier des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK): Wege zu einer nachhaltigen und resilienten Rohstoffversorgung. – URL: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/eckpunktepapier-nachhaltige-und-resiliente-rohstoffversorgung.pdf> (Stand: 25.04.2023).

BMWSB – BUNDESMINISTERIUM FÜR WOHNEN, STADTENTWICKLUNG UND BAUWESEN (2017): Nutzungsdauern von Bauteilen. – URL: <https://www.nachhaltigesbauen.de/austausch/nutzungsdauern-von-bauteilen/> (Stand: 15.08.2023).

BMWSB – BUNDESMINISTERIUM FÜR WOHNEN, STADTENTWICKLUNG UND BAUWESEN (2022b): Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). – URL: <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/bewertungssystem/> (Stand: 24.11.2022).

BMWSB – BUNDESMINISTERIUM FÜR WOHNEN, STADTENTWICKLUNG UND BAUWESEN (2022c): Nachhaltiges Bauen. – URL: <https://www.bmwsb.bund.de/Web/BMWSB/DE/themen/bauen/bauwesen/nachhaltiges-bauen/nachhaltiges-bauen-node.html> (Stand: 21.02.2023).

BMWSB – BUNDESMINISTERIUM FÜR WOHNEN, STADTENTWICKLUNG UND BAUWESEN (2023): Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude. Nachhaltiges Bauen. – URL: <https://www.qng.info/> (Stand: 07.08.2023).

BUNDESMINISTERIUMS DER JUSTIZ SOWIE DES BUNDESAMTS FÜR JUSTIZ (2012): Kreislaufwirtschaftsgesetz vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 2. März 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 56) geändert worden ist. § 4 KrWG. – URL: https://www.gesetze-im-internet.de/krwg/_4.html (Stand: 11.08.2023).

BUNDESMINISTERIUMS DER JUSTIZ SOWIE DES BUNDESAMTS FÜR JUSTIZ (2012): Kreislaufwirtschaftsgesetz vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 2. März 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 56) geändert worden ist. § 5 KrWG. – URL: https://www.gesetze-im-internet.de/krwg/_5.html (Stand: 11.08.2023).

BUNDESMINISTERIUMS DER JUSTIZ SOWIE DES BUNDESAMTS FÜR JUSTIZ (2012): Kreislaufwirtschaftsgesetz vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 2. März 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 56) geändert worden ist. KrWG. – URL: <https://www.gesetze-im-internet.de/krwg/KrWG.pdf> (Stand: 04.05.2023).

BUNDESMINISTERIUMS DER JUSTIZ SOWIE DES BUNDESAMTS FÜR JUSTIZ (2017): Gewerbeabfallverordnung vom 18. April 2017 (BGBl. I S. 896), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 28. April 2022

(BGBl. I S. 700) geändert worden ist. § 10 GewAbfV. – URL: https://www.gesetze-im-internet.de/gewabfv_2017/BJNR089600017.html (Stand: 11.08.2023).

BUNDESMINISTERIUMS DER JUSTIZ SOWIE DES BUNDESAMTS FÜR JUSTIZ (2017): Gewerbeabfallverordnung vom 18. April 2017 (BGBl. I S. 896), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 28. April 2022 (BGBl. I S. 700) geändert worden ist. § 11 GewAbfV. – URL: https://www.gesetze-im-internet.de/gewabfv_2017/BJNR089600017.html (Stand: 11.08.2023).

BUNDESMINISTERIUMS DER JUSTIZ SOWIE DES BUNDESAMTS FÜR JUSTIZ (2017): Gewerbeabfallverordnung vom 18. April 2017 (BGBl. I S. 896), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 28. April 2022 (BGBl. I S. 700) geändert worden ist. § 8 GewAbfV. – URL: https://www.gesetze-im-internet.de/gewabfv_2017/BJNR089600017.html (Stand: 11.08.2023).

BUNDESMINISTERIUMS DER JUSTIZ SOWIE DES BUNDESAMTS FÜR JUSTIZ (2021): Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung. Mantelverordnung. – URL: https://www.bvse.de/dateien2020/2-PDF/03-Themen_Ereignisse/01-bvse/bgbl121s2598_79885.pdf (Stand: 08.08.2023).

BUNDESREGIERUNG (2020): Rohstoffstrategie der Bundesregierung, Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nichtenergetischen mineralischen Rohstoffen. – URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/rohstoffstrategie-bundesregierung.html> (Stand: 17.10.2022).

BV GIPS – BUNDESVERBAND DER GIPSINDUSTRIE E. V. (2022): Qualitätsempfehlungen für Recyclinggips. – URL: <https://www.gips.de/aktuelles/detail/qualitaetsempfehlungen-fuer-recyclinggips/> (Stand: 07.10.2022).

BV GIPS – BUNDESVERBAND DER GIPSINDUSTRIE E. V. (2023): Bundesverband der Gipsindustrie e.V. – URL: <https://www.gips.de/>.

BURGER, A., CAYÉ, N. & SCHÜLER, K. (2020): Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2020. – URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2022-09-29_texte_109-2022_aufkommen-verwertung-verpackungsabfaelle-2020-d.pdf (Stand: 17.08.2023).

CIRCULAR ECONOMY INITIATIVE DEUTSCHLAND (CEID) (2021): Circular Economy Roadmap für Deutschland. Kadner, S.; Kobus, J.; Hansen, E.; Elsner, P.; Hagelüken, C.; Jaeger-Erben, M.; Kick, M.; Kwade, A.; Kühl, C.; Müller-Kirschbaum, T.; Obeth, D.; Vahle, T.; Stuchtey, M.; Weber, T.; Wiedemann, P.; Wilts, H.; von Wittken, R. – URL: https://static1.squarespace.com/static/5b52037e4611a0606973bc79/t/61c1e6423a5240679dd86ab1/1640097378486/Circular+Economy+Roadmap+f%C3%BCr+Deutschland_DE_DOI.pdf (Stand: 17.07.2023).

COMISIÓN CHILENA DEL COBRE (2021): Anuario de Estadísticas del Cobre Y Otros Minerales. Yearbook: Copper and other mineral statistics. – URL: <https://www.cochilco.cl/Paginas/Estadisticas/Publicaciones/Anuario.aspx> (Stand: 19.10.2022).

CULLEN, J. M. & ALLWOOD, J. M. (2013): Mapping the Global Flow of Aluminum: From Liquid Aluminum to End-Use Goods. American Chemical Society. doi: 10.1021/es304256s (Stand: 03.08.2023).

DEIKE, R. & DINGS, J. (2007): Die Produktion von hochwertigem Gießereiroheisen aus eisenhaltigen oxidischen Reststoffen.

DENA – DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR GMBH (2021): Gebäudereport 2022. – URL: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/dena-Gebaeudereport_2022.pdf (Stand: 26.11.2022).

DERA – DEUTSCHE ROHSTOFFAGENTUR (2021): Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2021. Marscheider-Weidemann, F.; Langkau, S.; Baur, S.-J.; Billaud, M. – DERA Rohstoffinformationen. 2021.

DESTATIS – STATISTISCHES BUNDESAMT (2023): Abfallentsorgung: Deutschland, Jahre, Anlagenart, Abfallarten. – URL: <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online> (Stand: 10.05.2023).

DESTATIS – STATISTISCHES BUNDESAMT (2023): Abfallwirtschaft. – URL: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/_inhalt.html#_697tthfc5 (Stand: 10.08.2023).

DPP – DEUTSCHE PHOSPHOR-PLATTFORM E. V. (2023): Deutsche Phosphor-Plattform DPP e.V. – URL: <https://www.deutsche-phosphor-plattform.de/> (Stand: 13.03.2023).

DIN – DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2023): Deutsche Normungsroadmap Circular Economy. – URL: <https://www.din.de/resource/blob/892606/06b0b608640aadd63e5dae105ca77d8/normungsroadmap-circular-economy-data.pdf> (Stand: 02.06.2023).

DIN – DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V., DKE – DEUTSCHE KOMMISSION ELEKTROTECHNIK & VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2023): Normungsroadmap Circular Economy. – URL: <https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/themen/circular-economy/normungsroadmap-circular-economy> (Stand: 21.02.2023).

DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK (2023): Veröffentlichung der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen 2023/1. mit Druckfehlerberichtigung vom 10. Mai 2023– Amtliche Mitteilungen. – URL: https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/P5/Technische_Bestimmungen/MVVTB_2023-1.pdf (Stand: 03.08.2023).

DITTRICH, M., LIMBERGER, S., EWERS, B., STALF, M., KNAPPE, F. & VOGT, R. (2021): Sekundärrohstoffe in Deutschland. – URL: https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/Sekund%C3%A4rrohstoffe_in_Deutschland.pdf (Stand: 14.07.2023).

DMT GMBH & Co. KG (2021): Anwendung von Phosphorgips als Ersatz für den zukünftigen Entfall von REA-Gips und Naturgips. – URL: https://www.gruene-thl.de/system/files/document/Gips-Gutachten_Landtagsfraktion_25.02.2021_0.pdf (Stand: 03.05.2023).

DUDEN (2023): Downcycling. – URL: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Downcycling> (Stand: 18.07.2023).

ENSUREAL (2021): Projektseite. – URL: <https://ensureal.com/> (Stand: 30.06.2023).

ERNST & YOUNG GMBH WIRTSCHAFTSPRÜFUNGSGESELLSCHAFT (10. Oktober 2022): Gutachten Genehmigungsverfahren zum Rohstoffabbau in Deutschland. 2022 im Auftrag des Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). – URL: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/ey-gutachten-genehmigungsverfahren-zum-rohstoffabbau-in-deutschland.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (Stand: 10.05.2023).

EU-RECYCLING (2018): Wie können Autos in Zukunft recycelt werden? – URL: <https://eu-recycling.com/Archive/19755> (Stand: 04.08.2023).

EuRIC AISBL (2020): Fakten Metallrecycling. – URL: https://www.bvse.de/dateien2020/2-PDF/06-Publikationen/04-Broschueren/0608-EuRIC_Metal_Recycling_Factsheet_GER_002.pdf (Stand: 19.10.2022).

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2019): Green Deal. – URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de (Stand: 20.03.2023).

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2020a): Circular Economy Action Plan (CEAP). – URL: https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en (Stand: 13.03.2023).

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2020b): Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft Für ein sauberes und wettbewerbsfähigeres Europa. – URL: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0016.02/DOC_1&format=PDF (Stand: 03.08.2023).

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2020c): Initiative für nachhaltige Produkte (Sustainable Product Initiative). – URL: https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12567-Initiative-fur-nachhaltige-Produkte_de (Stand: 20.03.2023).

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2020d): Study on the EU's list of Critical Raw Materials (2020). Non-Critical Raw Materials Factsheets. – URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/88f08133-f895-11ea-991b-01aa75ed71a1/language-en> (Stand: 21.11.2022).

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2021): COM(2021) 572 final: Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. EU-Waldstrategie. – URL: https://commission.europa.eu/document/cf3294e1-8358-4c93-8de4-3e1503b95201_de (Stand: 09.05.2023).

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2021): Null-Schadstoff-Aktionsplan. – URL: https://environment.ec.europa.eu/strategy/zero-pollution-action-plan_de (Stand: 13.03.2023).

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2022a): On making sustainable products the norm. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022DC0140&from=EN> (Stand: 21.11.2022).

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2022b): Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council laying down harmonised condition for the marketing of construction products, amending Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Regulation (EU) 305/2011. 2022/0094(COD). – URL: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:071ecada-b0cf-11ec-83e1-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF (Stand: 07.08.2023).

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2022): Verordnung zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte und zur Aufhebung der Richtlinie 2009/125/EG. ÖkodesignVO. – URL: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:bb8539b7-b1b5-11ec-9d96-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_1&format=PDF (Stand: 02.06.2023).

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2023): Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Rahmens zur Gewährleistung einer sicheren und nachhaltigen Versorgung mit kritischen

Rohstoffen und zur Änderung der Verordnungen (EU) 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 und (EU) 2019/1020. CRMA. – URL: https://single-market-economy.ec.europa.eu/publications/european-critical-raw-materials-act_en (Stand: 29.06.2023).

EUROPÄISCHE PARLAMENT UND DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION (2006): Verordnung (EG) Nr. 1013/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom (14. Juni 2006) über die Verbringung von Abfällen. VVA. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006R1013&from=DE> (Stand: 13.03.2023).

EUROPÄISCHE PARLAMENT UND DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION (2006): Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Chemikalienagentur, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission. REACH-VO. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02006R1907-20221217> (Stand: 18.07.2023).

EUROPÄISCHE PARLAMENT UND DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION (2008): Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006. CLP-Verordnung. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008R1272> (Stand: 14.07.2023).

EUROPÄISCHE UNION (2008): Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien. Abfallrahmenrichtlinie.

EUROPÄISCHE UNION (2020): Verordnung (EU) 2020/852 über die Einrichtung eines Rahmens zur Erleichterung nachhaltiger Investitionen und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/2088. Taxonomieverordnung. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0852&from=DE> (Stand: 21.02.2023).

EUROPEAN ALUMINIUM (2018): ENVIRONMENTAL PROFILE REPORT. – URL: <https://european-aluminium.eu/blog/environmental-profile-reports/> (Stand: 13.05.2023).

EUROPEAN CHEMICALS AGENCY (2023): Substance Infocard. – URL: <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.060.862> (Stand: 03.07.2023).

FEHS – INSTITUT FÜR BAUSTOFF-FORSCHUNG E. V. (2019): Report. – URL: <https://www.fehs.de/wp-content/uploads/2020/03/Report-2019-Nr-2.pdf> (Stand: 04.08.2023).

FEHS – INSTITUT FÜR BAUSTOFF-FORSCHUNG E. V. (2021a): Erhebung des FEhS-Institut für das Jahr 2020 der Mitgliedswerke.

FEHS – INSTITUT FÜR BAUSTOFF-FORSCHUNG E. V. (2021b): FAQ Eisenhüttenschlacke. – URL: https://www.fehs.de/wp-content/uploads/2021/08/FEhS_FAQ_2021.pdf (Stand: 28.11.2022).

FEHS – INSTITUT FÜR BAUSTOFF-FORSCHUNG E.V. (2022): Report. – URL: <https://www.fehs.de/wp-content/uploads/2023/02/FEhS-Report-2022-final.pdf> (Stand: 03.08.2023).

FGSV – FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESSEN (2018): Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau– FGSV R1 – Regelwerke. 2004 (Stand: 10.08.2023).

FGSV – FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESSEN (2023): Technische Lieferbedingungen für Bodenmaterialien und Baustoffe für den Erdbau im Straßenbau– FGSV R1 - Regelwerke (Stand: 10.08.2023).

FRAUNHOFER-EINRICHTUNG FÜR WERTSTOFFKREISLÄUFE UND RESSOURCENSTRATEGIE IWKS (2023): FUNMAG. – URL: <https://www.iwks.fraunhofer.de/de/projekte/abgeschlossene-projekte/FUNMAG.html> (Stand: 05.05.2023).

GESAMTVERBAND DER ALUMINIUMINDUSTRIE E. V. (2003): Merkblatt. ISBN: 3-937171-00-2. GDA. Düsseldorf.

GESAMTVERBAND DER ALUMINIUMINDUSTRIE E. V. (2004): Der Werkstoff Aluminium. ISBN: 3-937171-02-09. GDA. Düsseldorf.

GESAMTVERBAND DER ALUMINIUMINDUSTRIE E. V. (2007): Wärmebehandlung von Aluminium-Legierungen. ISBN: 978-3-937171-19-7. GDA. Düsseldorf.

GESELLSCHAFT FÜR VERPACKUNGSMARKTFORSCHUNG (2021): Recycling von Getränkedosen. – URL: https://gvmonline.de/files/recycling/2021_04_27_Recyclingquoten_Getraenkedosen_Endbericht.pdf (Stand: 12.06.2023).

GREGOIR, L. & VAN ACKER, K. (2022): Metals for Clean Energy: Pathways to solving Europe's raw material challenge. – URL: <https://eurometaux.eu/media/hr2ftbp3/2022-policymaker-summary-report-final-13-5-22.pdf> (Stand: 20.07.2023).

GREGOIR, L., VAN ACKER, K., BERETTA, S. & HERON, C. (2022): Metals for Clean Energy. – URL: <https://eurometaux.eu/media/jmxf2qm0/metals-for-clean-energy.pdf> (Stand: 25.11.2022).

HAGELÜKEN, C. (2022): Möglichkeiten und Grenzen des Recycling - Auswirkungen auf ein effizientes Produktdesign.

HAGELÜKEN, C., SCHMIDT, M., SCHEBECK, L. & LIEDTKE, C. (2023): Chancen und Grenzen des Recyclings im Kontext der Circular Economy. Position der Ressourcenkommission am Umweltbundesamt (KRU). – URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2023_uba_kom_ressourcen_bf.pdf (Stand: 19.07.2023.).

HATAYAMA, H., YAMADA, H., DAIGO, I., MATSUNO, Y. & ADACHI, Y. (2006): Dynamic Substance Flow Analysis of Aluminum and Its Alloying Elements. doi: 10.2320/jinstmet.70.975 (Stand: 04.08.2023).

HEDEMANN, J., MEINSHAUSEN, I., ORTLEPP, R., SCHILLER, G., LIEBICH, A. & MÖLLER, A. (2017): Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland. TEXTE 58/2017.

HOCHSCHULE NORDHAUSEN (2021): Forschung zu Gipsersatzbaustoffen. 10. – URL: <https://eu-recycling.com/Archive/33070> (Stand: 27.11.2022).

HOCHSCHULE NORDHAUSEN (2022): Gipsverbundforschung – Entwicklung von zerstörungsfrei rückbau-fähigen, wiederverwendbaren Gipsbauprodukten zur Erstellung variabler, modularer Bauteile (Zer-MoGips). – URL: <https://www.hs-nordhausen.de/forschung/thiwert/forschungsprojekte/#c26612> (Stand: 27.11.2022).

HORNBERG, C., NIEKISCH, MANFRED, CALLIESS, C., KEMFERT, C., LUCHT, W., MESSARI-BECKER, L. & ROTTER, V. S. (2020): Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa. Neßhöver, C.; Hertin, J.; Baron, M.; Bernard, B.; Brodner, B.; Bues, A.; Dahms, H.; Dross, M.; Franke, A.; Horst, P.; Michaelis, J.; Salomon, M.; Schmalz, S.; Schmid, E.; Schotte, K.; Sperlich, K.; Steup, L.; Volkens, A.; Wiegand, S.; Wiehn, J. – URL: https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01_Umweltgutachten/2016_2020/2020_Umweltgutachten_Entschlossene_Umweltpolitik.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (Stand: 19.07.2023).

IAI – INTERNATIONAL ALUMINIUM INSTITUTE (2021): Global Aluminium Cycle 2021. – URL: https://alu-cycle.international-aluminium.org/public-access/public-global-cycle/?_gl=1*1tz8zx8*_up*MQ.*_ga*MTcxMTQ1MjkyNS4xNjg4NzE4MzUw*_ga_PLPZ0ZWJW*MTY4ODcxODM0OS4xLjAuMTY4ODcxODM0OS4wLjAuMA (Stand: 25.11.2022).

ICA/IWCC (2022): Global 2022 Semis End Use Data Set. – URL: https://copperalliance.org/trends-and-data/market-intelligence/?fwp_resource_type_filter=data-set (Stand: 03.08.2023).

ICSG – INTERNATIONAL COPPER STUDY GROUP (2022): The World Copper Factbook 2022. – URL: <https://icsg.org/copper-factbook/> (Stand: 03.08.2023).

INITIATIVE ZINK (2023): Recycling | Initiative ZINK. – URL: <https://www.zink.de/zink/materialkreislauf/recycling/> (Stand: 20.03.2023).

INSTITUT BAUEN UND UMWELT E. V. (2020): Veröffentlichte EPDs. – URL: <https://ibu-epd.com/veroeffentlichte-epds/> (Stand: 26.11.2022).

ITAD – INTERESSENGEMEINSCHAFT DER THERMISCHEN ABFALLBEHANDLUNGSANLAGEN IN DEUTSCHLAND E. V. (2021): ITAD Jahresbericht 2021. Nitsch, A., Friedl, C., Simons, K. – URL: <https://www.itad.de/ueberuns/mehr/jahresbericht/itad-jahresbericht-2021> (Stand: 28.11.2022).

ITAD – INTERESSENGEMEINSCHAFT DER THERMISCHEN ABFALLBEHANDLUNGSANLAGEN IN DEUTSCHLAND E. V. & IGAM – INTERESSENGEMEINSCHAFT DER AUFBEREITER UND VERWERTER VON MÜLLVERBRENNUNGSSCHLACKEN (2022): Umfrage - Aufbereitung von HMV-Schlacken, ITAD I IGAM. Branchenübersicht 2020. Stand 3/2022. - URL: <https://www.itad.de/wissen/faktenblaetter/2022-05-branchenuebersicht-hmv-schlacken-2020.pdf> (Stand: 21.08.2023).

ILZSG – INTERNATIONAL LEAD AND ZINC STUDY GROUP (2023): Statistical Database. – URL: <https://www.ilzsg.org/statistical-database/>.

INTERNATIONAL STAINLESS STEEL FORUM (2019): Stainless Steel in Figures 2019. – URL: https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_in_Figures_2020_English_public_version.pdf (Stand: 20.10.2022).

JANSSEN, F. (2022): Primärbaustoffsteuer im Bausektor nur bedingt zielführend. – URL: <https://www.iwd.de/artikel/primaerbaustoffsteuer-im-bausektor-nur-bedingt-zielfuehrend-547864/> (Stand: 11.08.2023).

JOYCE, P. J. & BJÖRKLUND, A. (2019): Using Life Cycle Thinking to Assess the Sustainability Benefits of Complex Valorization Pathways for Bauxite Residue. doi: 10.1007/s40831-019-00209-x (Stand: 07.08.2023).

KNICKEL, T., APITZ, S., FRANK, D., HAGSPIEL, B., KLOSE, S., SPITZNAGEL, M., STEFFENS, D. & VOLKSTÄDT, K. (2020): Politikmemorandum der Deutschen Phosphor-Plattform DPP e.V. 2020. – URL: https://www.deutsche-phosphor-plattform.de/wp-content/uploads/2020/11/DPP_Politikmemorandum2020.pdf (Stand: 12.07.2023).

KRAUSE, O. (3.2.2022): Vielfalt feuerfester Werkstoffe. Impulsvortrag.

KREIBE, S., BERKMÜLLER, R., FÖRSTER, A., PECHE, R., REINELT, B., KRUPP, M., RÖDER, S. & SCHLEIFENBAUM, M. (2020): ILESA - Edel- und sondermetallhaltige Abfallströme intelligent lenken: Bündelung, Zwischenlagerung, Rückgewinnungsgrad- UBA TEXTE. – URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/2020_10_19_texte_178_2020_ilesa.pdf (Stand: 21.04.2023).

KWB – KREISLAUFWIRTSCHAFT BAU (2023a): Monitoringberichte 2000-2020 – URL: <https://www.kreislaufwirtschaft-bau.de/> (Stand: 07.08.2023).

KWB – KREISLAUFWIRTSCHAFT BAU (2023b): Mineralische Bauabfälle Monitoring 2020. – URL: <https://kreislaufwirtschaft-bau.de/Download/Bericht-13.pdf> (Stand: 03.05.2023).

LANGNER, B. E. (2011): Understanding copper. Technologies, markets, business. ISBN: 3000362738. B. E. Langner. Winsen, Glockenheide 11.

LEBEDEW, A. & SCHLESINGER, C. (25.11.2022): Preisschock auf der Schiene: Wie die Energiekrise den Güterbahnen schadet. – URL: <https://www.wiwo.de/unternehmen/dienstleister/gueterbahnen-erhoehen-die-preise-preisschock-auf-der-schiene-wie-die-energiekrise-den-gueterbahnen-schadet/28828168.html> (Stand: 09.05.2023).

LIEDTKE, M. & SCHMIDT, M. (2014): ROHSTOFFRISIKOBEWERTUNG – WOLFRAM. – DERA ROHSTOFFINFORMATIONEN, 19: 105 S.; BERLIN. LINDNER GROUP KG (2023): LinLoop – zirkuläre Geschäftsmodelle. – URL: https://www.lindner-group.com/de_DE/kompetenzen/green-building/-zirkulaeres-bauen/linloop-zirkulaere-geschaeftsmodelle/ (Stand: 20.06.2023).

LOIBL, A. & TERCERO ESPINOZA, L. A. (2021): Current challenges in copper recycling: aligning insights from material flow analysis with technological research developments and industry issues in Europe and North America. doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105462 (Stand: 03.08.2023).

LOSSIN, A. (2000): Copper. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry 2000.

LUTTER, S., KREIMEL, J., GILJUM, S., DITTRICH, M., LIMBERGER, S., EWERS, B., SCHOER, K. & MANSTEIN, C. (2023): Die Nutzung natürlicher Ressourcen. Spezial: Rohstoffnutzung der Zukunft. – URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/fb_die_nutzung_natuerlicher_resourcen_2022_0.pdf (Stand: 28.03.2023).

MERKEL, TH.; REICHE, TH. (2020): Einsatz von Sekundärbaustoffen für den Straßenbau als Beitrag zu Umweltschutz und Ressourceneffizienz – Rückblick und Ausblick. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). Straße und Autobahn. KIRSCHBAUM-VERLAG. Bonn. S. 142–148.

MÜLLER, J. (2017): Stoffstrommanagement als Instrument zur Steigerung der Ressourceneffizienz der deutschen Eisen- und Stahlindustrie. – URL: <https://mediatum.ub.tum.de/1324035>.

NATIONALER ASBESTDIALOG (2018): Nationaler Asbestdialog. Gesamtdokumentation. – URL: https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/Arbeitsschutz/Asbestdialog/gesamtdokumentation-asbestdialog.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (Stand: 10.08.2023).

NELL, N., WAUGH, R. & PARKER, D. (2017): Magnesium Recycling in the EU. Baker, K.; Lee, P. – URL: https://static1.squarespace.com/static/5a60c3cc9f07f58443081f58/t/5ab3b2aa562fa79e4d65f1dc/1521726136511/2017_IMA_EU-Mg-recycling_201.pdf (Stand: 12.06.2023).

NEUMANN, F. (2022): ZINK – Anwendungen-Ressourcen-Recycling. Impulsvortrag.

NPM – NATIONALE PLATTFORM ZUKUNFT DER MOBILITÄT (2021): Batterierecyclingmarkt Europa: Chance für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft. – URL: https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2021/10/NPM_AG4_Batterierecycling.pdf (Stand: 20.04.2023).

ÖKOBAUDAT (2021 – 2022): Datensatz: Quantitative Produkt-/Prozesseigenschaften Kies 2/32. – URL: <https://www.oekoaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=3ce61a4e-4d91-4b1d-b675-276be05b9225&version=20.19.120> (Stand: 18.08.2023).

PAULIUK, S., MILFORD, R. L., MÜLLER, D. B. & ALLWOOD, J. M. (2013): The steel scrap age. doi: 10.1021/es303149z.

POTRYKUS, A., ZOTZ, F., AIGNER, J. F., WEISSENBACHER, J., BURGSTALLER, M., ABRAHAM, V., MERZOUG, L., THOME, V., DITTRICH, S. & LEISS, N. (2021): Prüfung möglicher Ansätze zur Stärkung des Recyclings, zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer Materialien und zur verursachergerechten Zuordnung von Entsorgungskosten im Bereich der Bauprodukte. – URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021_01_11_texte_05-2021_bauprodukte_recycling.pdf (Stand: 08.09.2021).

PRE – THE EUROPEAN REFRACTORIES PRODUCERS FEDERATION (2002): Management of Refractories in Europe – Reuse, Recycling and Waste Treatment. – URL: <http://www.pre.eu/> (Stand: 22.08.2023).

PRE – THE EUROPEAN REFRACTORIES PRODUCERS FEDERATION (2021): PRE Statistics 2021. – URL: <http://www.pre.eu/statistics>.

RAATZ, S., SEIDEL, TUMA, THORENZ, HELBIG, C., RELLER, FAULSTICH, M., JOACHIMSTHALER, C., STEGER, HAGEDORN, BICKEL & LIEDTKE, M. (2022): OptiMet – Ressourceneffizienzsteigerung in der Metallindustrie – Substitution von Primärrohstoffen durch optimiertes legierungsspezifisches Recycling– TEXTE. 81. – URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_81-2022_optimet.pdf (Stand: 22.12.2022).

RE:UNIT GMBH (2023): re:unit. – URL: <https://www.re-unit.com/> (Stand: 20.06.2023).

REICHE, TH. (2021): Feststoffgrenzwerte – der richtige Weg zur Förderung der Kreislaufwirtschaft? Thiel, Stephanie; Thomé-Kozmiensky, Elisabeth; Senk, Dieter; Wotruba, Hermann; Antrekowitsch, Helmut; Pomberger, Roland. Mineralische Nebenprodukte und Abfälle. Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen. 3-944310-54-3. Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH. Neuruppin. S. 55–67.

REMOVAL PROJEKT (2018): RemovAL – Removing waste from alumina production (Stand: 28.11.2022).

REUTER, M. A., HUDSON, C., VAN SCHAİK, A., HEISKANEN, K., MESKERS, C. & HAGELÜKEN, C. (2013): Metal Recycling: Opportunities, Limits, Infrastructure. – URL: <https://www.resourcepanel.org/reports/metal-recycling> (Stand: 24.11.2022).

ROUTSCHKA, G. & WUTHNOW, H. (2017): Praxishandbuch Feuerfeste Werkstoffe. Aufbau - Eigenschaften – Prüfung. Vulkan Verlag. Essen. ISBN: 3802731689.

RUFF, A. (2022): Sicherung der Gips-Rohstoffversorgung in Deutschland – aktuelle Herausforderungen und Lösungsansätze. Hannover. – URL: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Veranstaltungen/Rohstoffkonferenz_2022_Rohstoffversorgung_Deutschlands/Ruff.pdf?__blob=publishationFile&v=3 (Stand: 29.06.2023).

SANDER, K., GÖSSLING-REISEMANN, S., ZIMMERMANN, T., MARSCHIEDER-WEIDEMANN, F., WILTS, H., SCHEBECK, L., WAGNER, J., HEEGN, H. & PEHLKEN, A. (2017): Recyclingpotenzial strategischer Metalle (ReStra). – URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-08-21_texte_68-2017_restra_0.pdf (Stand: 22.08.2023).

SANDER, K., MARSCHIEDER-WEIDEMANN, F., WILTS, H., HOBOM, J., HARTFEIL, T., SCHÖPS, D. & HEYMANN, R. (2019a): Abfallwirtschaftliche Produktverantwortung unter Ressourcenschutzaspekten (RePro).

SANDER, K., WAGNER, L., JEPSEN, D., ZIMMERMANN, T. & SCHOMERUS, T. (2019b): Gesamtkonzept zum Umgang mit Elektro(alt)geräten – Vorbereitung zur Wiederverwendung. – URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-03-04_texte_gesamtkonzept-eag.pdf (Stand: 11.07.2023).

SASSEN, K.-J. (3.2.2022): Barrieren beim Recycling feuerfester Reststoffe. Impulsvortrag.

SCALE (2023): Projektseite. – URL: <https://scale-project.eu/> (Stand: 30.06.2023).

SCHILLER, G., ORTLEPP, R., KRAUSS, N., STEGER, S., SCHÜTZ, H., FERNÁNDEZ, J. A., REICHENBACH, J., WAGNER, J. & BAUMANN, J. (2015): Kartierung des Anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft. UBA Texte 83/2015.

SCHOMERUS, T., ALCATRANA, H., RAAP, F., LUDWIG, V., LÖSING, F. & EBELT, S. (2023): Wiederverwendung von Haushaltsgroßgeräten in Deutschland steigern und neue Wege der Haushaltsgroßgeräte-Sammlung beschreiten mit neuen Geschäftsmodellen zwischen Handel und Werkstätten in Kooperation mit dem Hersteller. – URL: https://weisse-ware-wiederverwenden.de/fileadmin/wewawi/uploads/2021/WeWaWi_EndBericht_FKZ-372023V176.pdf (Stand: 07.07.2023).

SOULIER M., GLÖSER-CHAHOU S., GOLDMANN, D. & TERCERO ESPINOZA, L. A. (2018): Dynamic analysis of European copper flows. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344917303324?via%3Dihub> (Stand: 09.08.2023).

SRU – SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (2020): Kreislaufwirtschaft: Von der Rhetorik zur Praxis. – URL: https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01_Umweltgutachten/2016_2020/2020_Umweltgutachten_Kap_03_Kreislaufwirtschaft.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (Stand: 23.06.2023).

SRU – SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (2023): Der SRU. Auftrag. – URL: https://www.umweltrat.de/DE/SRU/sru_node.html

SUSMAGPRO (2018): About SUSMAGPRO. Sustainable Recovery, Reprocessing and Reuse of Rare Earth Magnets in a European Circular Economy. – URL: <https://www.susmagpro.eu/about-susmagpro> (Stand: 04.05.2023).

TAUBER, M. (2022): Magnificent Magnesium. Impulsvortrag.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT (2010): Vergleichende Ökobilanzbetrachtung und Lebenszyklusanalyse. – URL: https://medien.rigips.de/downloads/oekobilanz_studie.pdf (Stand: 25.11.2022).

UBA – UMWELTBUNDESAMT (2019a): Gips. – URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/dokumente/factsheet_gips_fi_barrierefrei.pdf (Stand: 07.10.2022).

UBA – UMWELTBUNDESAMT (2019b): Schlacken und Hüttensande aus der Eisen- und Stahlerzeugung. – URL: <https://www.umweltbundesamt.de/schlacken-huettensande-aus-der-eisen-stahlerzeugung#datenquellen-und-annahmen-zur-ermittlung-der-indikatoren>.

UBA – UMWELTBUNDESAMT (2019c): Substitutionsquote. Liedtke, C.; Faulstich, M.; Hermann, S.; Hinterberger, F.; Lutzenberger, A.; Meyer, B.; Oberle, B.; Reller, A.; Tischner, U.; Tschesche, J.; Wilken, H.; Wilms, H. – URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/publikationen/190722_uba_kommp_substitutionsquote_bf.pdf (Stand: 17.08.2023).

UBA – UMWELTBUNDESAMT (2021): Stadtgold – Metalllager mit Zukunft. Ein Leitfaden. – URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/uba_leitfaden_kartal_iii_metalles_211217_bf.pdf (Stand: 17.08.2023).

UBA – UMWELTBUNDESAMT (2023a): Ermittlung der Klimaschutzpotenziale in der Kreislaufwirtschaft für Deutschland und die EU. Abschlussbericht. Vogt, R.; Harju, N.; Auberger, A.; Gonser, J.; Küchen, V.; Bulach, W.; Merz, C.; Dehoust, G. – URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11740/publikationen/2023-06-07_texte_85-2023_klimkreis_teilbericht_eu.pdf (Stand: 10.08.2023).

UBA – UMWELTBUNDESAMT (06.03.2023b): Ressourcenkommission am Umweltbundesamt (KRU). – URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/ressourcenkommission-am-umweltbundesamt-kru> (Stand: 04.05.2023).

USGS – U.S. GEOLOGICAL SURVEY, (2021): Mineral Commodity Summaries. – URL: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021-tungsten.pdf> (Stand: 07.10.2022).

UK GOVERNMENT (2023): Environmental taxes, reliefs and schemes for businesses – Aggregates Levy. Aggregates Levy. – URL: <https://www.gov.uk/green-taxes-and-reliefs/aggregates-levy> (Stand: 18.07.2023).

UNITED NATIONS COMTRADE (2022): United Nations Commodity Trade Statistics Database. Trade code 260300 „Copper Ores and Concentrates“. – URL: <https://comtrade.un.org/> (Stand: 19.10.2022).

UNITED NATIONS COMTRADE (2023): United Nations Commodity Trade Statistics Database. Trade code 7404 „Copper; waste and scrap“. – URL: <https://comtrade.un.org/>.

UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME (2011): Recycling Rates of Metals - A Status Report. Graedel, T. E.; Allwood, J. M.; Birat, J.-P.; Reck, B.; Sibley, S.; Sonnemann, G.; Buchert, M.; Hagelüken, C. – URL: <https://www.resourcepanel.org/reports/recycling-rates-metals> (Stand: 28.03.2023).

UNIVERSITY OF CAMBRIDGE (2018): Future Global Steel Recycling. – URL: <http://www.eng.cam.ac.uk/news/future-global-steel-recycling> (Stand: 09.05.2023).

VASTERS, J. & FRANKEN, G. (2020): Aluminium. – URL: https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Informationen_Nachhaltigkeit/aluminium.pdf (Stand: 14.05.2023).

VDI ZRE – VDI ZENTRUM RESSOURCENEFFIZIENZ GMBH (2023): Das VDI Zentrum Ressourceneffizienz. Über uns. – URL: <https://www.ressource-deutschland.de/ueber-uns/> (Stand: 20.04.2023).

VDZ – VEREIN DEUTSCHER ZEMENTWERKE (2021): Umweltdaten der deutschen Zementindustrie 2020. – URL: www.vdz-online.de/wissensportal/publikationen/umweltdaten-der-deutschen-zementindustrie-2020.

VDZ – VEREIN DEUTSCHER ZEMENTWERKE (2022): Ressourcen der Zukunft für Zement und Beton – Potenziale und Handlungsstrategie. – URL: https://www.vdz-online.de/fileadmin/wissensportal/publikationen/zementindustrie/VDZ-Studie_Ressourcenroadmap_2022.pdf (Stand: 24.11.2022).

WBMS – WORLD BUREAU OF METAL STATISTICS (2022): World Bureau of Metal Statistics 2022 – Provisional Yearbook.

WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG METALLE, ALUMINIUM DEUTSCHLAND, BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN GIESSEREI-INDUSTRIE & GESAMTVERBAND DER DEUTSCHEN BUNDMETALLINDUSTRIE (2021): Metallstatistik 2020. – URL: <https://www.wvmetalle.de/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=314715&token=ae6cf4b3bd20efc41f3d76bfb263e9af22798787> (Stand: 28.03.2023).

WV STAHL – WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL (2022a): Rohstahlproduktion in Deutschland – Jahresbilanz 2021. – URL: <https://www.stahl-online.de/medieninformationen/rohstahlproduktion-in-deutschland-jahresbilanz-2021/> (Stand: 16.08.2023).

WV STAHL – WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL (2022b): Stahlschrott-Außenhandel, Statistischer Bericht 2022. – URL: https://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/2022_Statistischer-Bericht-Stahlschrott-Aussenhandel.pdf (Stand: 20.10.2022).

WV STAHL – WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL (2022c): Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie 2021|2022. – URL: <https://www.stahl-online.de/publikationen/statistisches-jahrbuch-der-stahlindustrie/> (Stand: 20.10.2022).

XINGLU CHEMICAL (k.A.): Eine Hochleistungsaluminiumlegierung: AL-SC-Legierung. – URL: <https://www.xingluchemical.com/de/news/a-high-performance-aluminum-alloy-al-sc-alloy/> (Stand: 15.08.2023).

ZEILER, B., SCHUBERT, W.-D., BARTL, A. & MARSH, G. (2018): Tungsten Newsletter. Current share, economic limitations and future potential. – URL: https://www.itia.info/assets/files/newsletters/ITIA_Newsletter_2018_05.pdf (Stand: 07.10.2022).

ZIMMERMANN, T., SANDER, K., MEMELINK, R., KNODE, M., FREIER, M., PORSCH, L., SCHOMERUS, T., WILKES, S. & FLORMANN, P. (2021): Auswirkungen illegaler Altfahrzeugverwertung. Abschlussbericht– UBA TEXTE. – URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_129-2022_auswirkungen_illegaler_altfahrzeugverwertung_0.pdf (Stand: 10.01.2023).

ZKG – CEMENT LIME GYPSUM (2022): Global trends in the gypsum industry. – URL: https://www.zkg.de/en/artikel/zkg_Global_trends_in_the_gypsum_industry_3421726.html (Stand: 25.11.2022).

Anhang

Glossar	234
Existierende und flankierende Initiativen und Vorhaben	238
Bewertung der Machbarkeit	242

Glossar

Einheitliche Begrifflichkeiten sind zentral für die Analyse und Beschreibung von Maßnahmen. In der Diskussion wurde frühzeitig klar, dass es eine Diskrepanz bezüglich verschiedener Fachtermini gibt und der Bedarf eines einheitlichen und abgestimmten Glossars sehr groß ist. In Absprache mit dem UBA und der Ressourcenkommission, der Circular Economy Initiative des BDI

und dem Deutschen Institut für Normung e. V. (DIN) startete die Dialogplattform einen parallelen Prozess für die Erstellung eines Glossars. Da dieser Prozess noch nicht abgeschlossen ist, werden an dieser Stelle Begriffe und deren Definition aufgelistet, wie sie in diesem Bericht verwendet werden.

Begriff	Definition beziehungsweise Erläuterung
Altschrott	Auch EoL-Schrott Entstammt in der Regel der Sammlung am Ende der Lebenszeit von Produkten und bezeichnet Metallabfälle aus der Aufbereitung / dem Recycling dieser EoL-Produkte. „Schrott“ wird hier verwendet für Eisen und Nichteisenmetalle gleichermaßen.
Beseitigung	Jedes Verfahren, das keine Verwertung ist, auch wenn das Verfahren zur Nebenfolge hat, dass Stoffe oder Energie zurückgewonnen werden (Abfallrahmenrichtlinie 2008).
Downcycling	„Der Begriff beschreibt [...] eine nach unten gerichtete Kreislaufführung, ohne jedoch festzulegen, was genau mit der Abwärtsrichtung gemeint ist. Im Kontext der Kreislaufwirtschaft ist der Begriff Downcycling eine Abwandlung des Begriffs Recycling. [...] Die begriffliche Modifikation ‚Downcycling‘ soll ausdrücken, dass zwar eine Kreislaufführung stattfindet, der Kreislauf jedoch nicht vollständig geschlossen und insbesondere durch den Kreislauf keine Gleichwertigkeit hergestellt wird.“ (RAATZ et al. 2022). Entsprechend definiert auch der Duden den Begriff Downcycling als „Nutzung von Abfallstoffen oder gebrauchten Gegenständen als geringer wertige Rohstoffe“ (DUDEN 2023).
EoL-Recycling-InputRate (EoL-RIR)	Die EoL-Recycling-Input-Rate ist das Verhältnis aus dem beim Recycling von EoL-Produkten generierten Rohstoffen (Altschrott) bezogen auf die Summe der in der Produktion insgesamt eingesetzten Primärrohstoffe und Recyclingrohstoffe (Alt- und Neuschrotte) in Prozent. Die EoL-RIR gibt somit auch den Anteil von Recyclingrohstoffen am gesamten Rohstoffverbrauch für die Produktion (Verhüttung, Halbzeugproduktion) an.
EoL-Recyclingrate (EoLRR)	Oft auch Recyclingquote genannt. EoL-RR bemisst den Anteil der Abfälle, der einer stofflichen Verwertung zugeführt wird, an der Gesamtmenge der Abfälle. Die Recyclingquote kann sich auf ein Produkt, eine Produktgruppe oder einen Abfallstrom beziehen. Die Verfüllung ist nicht in EoL-RR enthalten, Verfüllung ist nach geltender rechtlicher Begriffsbestimmung zwar eine stoffliche Verwertung, aber kein Recycling (§3 KrWG Novelle); verfüllte Materialien führen nicht zu einer Rückführung von (rohstofflichen) Massenströmen in den Wirtschaftskreislauf (lediglich monetär) (DITTRICH et al. 2021).
Erfassungsrate (alternativ Collection Rate, kurz CR)	Die Erfassungsrate (Altschrottsammelrate) ist das Verhältnis aus den tatsächlich dem Recycling zugeführten Metallinhalten der EoL-Recyclingrohstoffe bezogen auf die Gesamtheit der am Ende Ihres Lebenszyklus (EoL) potenziell zur Verfügung stehenden Metallinhalte in Prozent.

Begriff	Definition beziehungsweise Erläuterung
EoL-Schrott	Siehe „Altschrott“
Eigenschrott	Siehe „Neuschrott“
Funktionales Recycling	Auch als funktionelles oder funktionerhaltendes Recycling. Funktionales (bzw. metallspezifisches) Recycling ist der Teil des EoL-Recyclings, in dem die Metalle oder Legierungen aus den ausrangierten Produkten soweit separiert werden, dass aus ihnen wieder neue Materialien (Metalle bzw. Legierungen) mit einer vergleichbaren Funktionalität in der Rohstoffproduktionsphase hergestellt werden können. Dabei wird beispielsweise nicht zwingend aus einer Legierung wieder dieselbe hergestellt. Häufig werden aus verschiedenen Legierungen – teilweise unter Zugabe von weiteren Legierungselementen – ein oder mehrere spezifische Legierungen produziert.
Funktionelles Recycling	Siehe „funktionales Recycling“
Funktionserhaltendes Recycling	Siehe „funktionales Recycling“
Nebenprodukt	Fällt ein Stoff oder Gegenstand bei einem Herstellungsverfahren an, dessen hauptsächlicher Zweck nicht auf die Herstellung dieses Stoffes oder Gegenstandes gerichtet ist, ist er als Nebenprodukt und nicht als Abfall anzusehen, wenn 1. sichergestellt ist, dass der Stoff oder Gegenstand weiter verwendet wird, 2. eine weitere, über ein normales industrielles Verfahren hinausgehende Vorbehandlung hierfür nicht erforderlich ist, 3. der Stoff oder Gegenstand als integraler Bestandteil eines Herstellungsprozesses erzeugt wird und 4. die weitere Verwendung rechtmäßig ist; dies ist der Fall, wenn der Stoff oder Gegenstand alle für seine jeweilige Verwendung anzuwendenden Produkt-, Umwelt- und Gesundheitsschutzanforderungen erfüllt und insgesamt nicht zu schädlichen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt führt (KrWG 2012).
Neuschrott	Neuschrotte sind Metallabfälle bzw. Verarbeitungsverluste aus der Produktion (wie zum Beispiel Verschnitt, Stanzreste o. ä.), die dem Recycling zugeführt werden können. Hier umfasst der Begriff „Metallabfälle“ nicht nur Metallschrotte (metallisch) sondern auch die in der Produktion anfallenden Rückstände (Schlacken, Krätzen, Schlämme), die recycelt werden können. Je nach Deklaration sind Neuschrotte nicht zwingend als Abfall gekennzeichnet, sondern können auch durch internes Recycling direkt weiterverarbeitet werden ohne das Abfallregime zu durchlaufen und erhöhen damit nur die Ressourceneffizienz. Durchlaufen sie den Abfallstatus, werden Sie dem Recycling zugerechnet.
Nicht-funktionales Recycling	Auch nicht-funktionelles oder nicht-funktionserhaltendes Recycling. Als nicht-funktionales (bzw. metallunspezifisches) Recycling wird hingegen der Teil des EoL-Recyclings bezeichnet, bei dem beispielsweise das Metall zwar als Old Scrap separiert wird, jedoch in einen sehr viel größeren Metallstrom als Verunreinigung eingebunden ist. Das verhindert zwar die Dissipation in die Umwelt, stellt jedoch einen Verlust der spezifischen Eigenschaften des Metalls dar.

Begriff	Definition beziehungsweise Erläuterung
Nicht-funktionales Recycling	Ein Beispiel für nicht-funktionales Recycling sind metallische Zinkabfälle, die nicht mehr als Zink, sondern als Legierungselement in Messing Verwendung finden. Dadurch sind z.B. die korrosionsrelevanten Eigenschaften des Zinks nichtmehr nutzbar, jedoch erfüllt das Zink im Messing neue funktionale Eigenschaften (UNEP 2011).
Produktionsrückstände	Produktionsrückstände können als Abfall anfallen, intern verwendet (Materialeffizienz) oder als Nebenprodukt genutzt werden.
Produktionsschrott	Siehe „Neuschrott“
Recycled Content	Siehe „Rezyklatanteil“
Recycling	Jedes Verwertungsverfahren, durch das Abfallmaterialien zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden. Es schließt die Aufbereitung organischer Materialien ein, aber nicht die energetische Verwertung und die Aufbereitung zu Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff oder zur Verfüllung bestimmt sind (Abfallrahmenrichtlinie 2008).
Recyclinganteil	Siehe „Rezyklatanteil“
Recyclingrate	Der Begriff ist nicht eindeutig definiert und bezeichnet je nach verwendeter Definition den Anteil wiederverwerteter Rohstoffe an verschiedenen Grundgesamtheiten. Meist wird die „EoL-Recyclingrate“ darunter verstanden. Ansonsten ist die Definition der Ursprungsquelle anzuwenden. Es sollte daher immer spezifiziert werden, welche Recyclingrate gemeint ist.
Recyclingquote	Siehe „Recyclingrate“
Recyclingrohstoffe	Recyclingrohstoffe umfassen die Rohstoffe aus dem Recycling, die den Abfallstatus durchlaufen haben, sowie Nebenprodukte und Reststoffe wie Schlacken, Aschen und Rückstände. Weiter gefasst inkludiert der Begriff Recyclingrohstoff auch dem Recycling zugeführte Materialien. Hinweis: Die beiden Begrifflichkeiten Recyclingrohstoffe und Sekundärrohstoffe werden im Bericht grundsätzlich synonym verwendet. Insbesondere auf EU-Ebene und in Anlehnung an die englische Verwendung wird oftmals der Begriff Sekundärrohstoffe verwendet. Aufgrund seiner positiven Konnotation wird im Bericht jedoch der Begriff Recyclingrohstoffe bevorzugt, da „Sekundär“ oft mit einer minderwertigen, weil zweitrangigen Bedeutung verbunden wird.
Rezyklat	Rezyklate sind Sekundärrohstoffe, die durch die Verwertung von Abfällen gewonnen worden sind oder bei der Beseitigung von Abfällen anfallen und für die Herstellung von Erzeugnissen geeignet sind. Sie können als Input für die Herstellung neuer Produkte verwendet werden und dadurch Primärrohstoffe ersetzen (KrWG 2012).
Rezyklatanteil	Weist den Anteil an recyceltem Material im Ausgangsprodukt aus. In der Metallindustrie als Verhältnis des recycelten Altmetalls zum produzierten Metall definiert.
Rezyklateinsatzquote	(Verpflichtender) Anteil eines Recyclingrohstoffes in einem Produkt oder in der Produktion. Die Rezyklateinsatzquote wird nur auf ein Produkt oder eine Produktgruppe angewendet wie zum Beispiel Batterien.
Sekundärrohstoffe	Siehe „Recyclingrohstoffe“

Begriff	Definition beziehungsweise Erläuterung
Substitutionsquote	Gibt im Gegensatz zu inputbasierten „Recyclingquoten“ an, welche Mengen an recyceltem Material real wieder der Produktion und einer neuen Nutzung zugeführt werden und damit Primärrohstoffe ersetzen. Die Substitutionsquote definiert das Verhältnis von eingesetzten Sekundärrohstoffen zum insgesamt genutzten Materialaufwand (Primärrohstoffe und Sekundärrohstoffe). Dies kann auf nationaler, sektoraler wie auch auf Produkt(gruppen)ebene (Bezug Ökodesign-Richtlinie und Normungsreihe 4555x) erhoben werden (UBA 2019c).
Technologiemetalle	Metalle, denen für technologische Anwendungen eine besondere Bedeutung zukommt. Der Begriff ist nicht eindeutig definiert. Im Rahmen der Dialogplattform Recyclingrohstoffe werden als Technologiemetalle Magnesium, Wolfram und Zink betrachtet.
Verfüllung	Jedes Verwertungsverfahren, bei dem geeignete, nicht gefährliche Abfälle zum Zweck der Rekultivierung von Abgrabungen oder zu bautechnischen Zwecken bei der Landschaftsgestaltung verwendet werden. Die für die Verfüllung verwendeten Abfälle müssen Materialien, die keine Abfälle sind, ersetzen, für die vorstehend genannten Zwecke geeignet und auf die für die Erfüllung dieser Zwecke unbedingt erforderlichen Mengen beschränkt sein (KrWG 2012).
Verwertung	Zur Verwertung zählen alle Maßnahmen zur Nutzung der im Abfall enthaltenen Wertstoffe beziehungsweise Energiepotenziale. „Jedes Verfahren, als dessen Hauptergebnis Abfälle innerhalb der Anlage oder in der weiteren Wirtschaft einem sinnvollen Zweck zugeführt werden, indem sie andere Materialien ersetzen, die ansonsten zur Erfüllung einer bestimmten Funktion verwendet worden wären, oder die Abfälle so vorbereitet werden, dass sie diese Funktion erfüllen (KrWG 2012).“
Verwertung, stoffliche	Jedes Verwertungsverfahren, ausgenommen die energetische Verwertung und die Aufbereitung zu Materialien, die als Brennstoff oder andere Mittel der Energieerzeugung verwendet werden soll. Dazu zählen unter anderem die Vorbereitung zur Wiederverwendung, Recycling und Verfüllung (Abfallrahmenrichtlinie 2008).
Vorbereitung zur Wiederverwertung	Jedes Verwertungsverfahren der Prüfung, Reinigung oder Reparatur, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile von Erzeugnissen, die zu Abfällen geworden sind, so vorbereitet werden, dass sie ohne weitere Vorbehandlung wiederverwendet werden können.
Weichschrott	Bearbeitungsrückstände, die durch Schleifen, Honen, Läppen, Erodieren sowie eine allgemeine spanende Bearbeitung mit einem hohen Feinanteil ($< 100 \mu\text{m}$) in der Regel in Form von ölhaltigen beziehungsweise mit Kühlschmierstoffen belasteten Schlämmen anfallen.
Wiederverwendung	Jedes Verfahren, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile, die keine Abfälle sind, wieder für denselben Zweck verwendet werden, für den sie ursprünglich bestimmt waren (KrWG 2012).

Existierende und flankierende Initiativen und Vorhaben

Die betrachteten Stoffströme im Rahmen der Dialogplattform Recyclingrohstoffe wurden insbesondere aufgrund der folgenden Aspekte ausgewählt: wirtschaftliche Relevanz, Mengenrelevanz, Versorgungssicherheit, potenzielle Beiträge für Klimaschutz und sonstige ökologisch-soziale Aspekte. Die einzelnen Themen wurden durch Umfragen unter den Teilnehmenden identifiziert und ausgewählt. Existierende und flankierende Initiativen, Projekte, Gesetzesvorhaben und Expertise wurden im Rahmen der Dialoge sowohl durch Impulsvorträge als auch durch die Teilnehmenden selbst mit eingebracht. Themen, welche an anderer Stelle unter der gleichen oder ähnlichen Zielstellung diskutiert wurden, wurden selbst nicht weiter vertieft. Diese Themen wurden mit Verweis auf die erwähnten Vorhaben von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen oder nur am Rande besprochen. Im Folgenden findet sich eine Zusammenstellung von nationalen Initiativen und Vorhaben, welche übergreifend oder für Metalle und Industrieminerale im Einzelnen eine hohe thematische Relevanz haben. Es findet hier jedoch nur eine Auswahl an bundesländerübergreifenden Projekten statt, die keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt.

Übergreifende Projekte und Initiativen

BMUV: Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS). Die Bundesregierung erarbeitet derzeit eine Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS). Diese Strategie soll Ziele und Maßnahmen zum zirkulären Wirtschaften und zur Ressourcenschonung aus allen relevanten Strategien zusammenführen. Zentrale Anlaufstelle für alle Informationen rund um die NKWS ist die Webseite des Stakeholderprozesses. Hier sind in regelmäßigen Abständen Updates zum Stand der NKWS und der begleitenden Prozesse abrufbar (www.dialog-nkws.de). Im Jahr 2023 sollen die Dialogwerkstätten und Runden Tische sowie die Online-Beteiligungen abgeschlossen werden (BMUV 2023a).

Circular Economy Initiative Deutschland (CEID). Die Circular Economy Initiative Deutschland (CEID) hat in den Jahren 2019–2021 eine Roadmap für eine zukunftsfähige Kreislaufwirtschaft in Deutschland erstellt. In interdisziplinären und branchenübergreifenden Arbeitsgruppen arbeiteten rund 130 Expertinnen und Experten aus Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft in der Initiative gemeinsam an dieser Mission, indem sie neue Wege in eine zirkulare Wirtschaft aufzeigten. Aus den Erkenntnissen und Ergebnisberichten der CEID-Arbeitsgruppen wurden Empfehlungen und Gestaltungsoptionen abgeleitet, in Form der Circular Economy Roadmap synthetisiert und in einer konsolidierten Stellungnahme mit gesamtgesellschaftlichem Gestaltungsanspruch zusammengefasst (CEID 2021).

BDI-Initiative Circular Economy. „Die im April 2021 gegründete BDI-Initiative Circular Economy umfasst derzeit ein Netzwerk aus etwa 60 Akteuren der gesamten industriellen Bandbreite. Sie ist dabei nicht nur politisches Sprachrohr nach Berlin und Brüssel, sondern treibt Circular Economy von der Produktentwicklung bis hin zur Wiederverwertung ganzheitlich an. Durch praxisnahe Austauschformate zu politischen, wissenschaftlichen und technologischen Entwicklungen, wie zum Beispiel interne Workshops, Delegationsreisen und Veranstaltungen, identifiziert sie technologische Potenziale für Circular Economy sowie erforderliche Rahmenbedingungen (BDI 2023).“

Ressourcenkommission am Umweltbundesamt. „Die Ressourcenkommission am Umweltbundesamt wurde 2013 gegründet, um Wissen und Expertise zum nachhaltigeren Umgang mit natürlichen Ressourcen zu generieren und zu bündeln. Die Kommission setzt sich aus herausragenden Expertinnen und Experten aus Wissenschaft und Forschung, Verwaltung, Wirtschaft und der Zivilgesellschaft zusammen. Sie wird unterstützt durch eine Geschäftsführung am Umweltbundesamt. Die Kommission untersucht Schlüsselfragen zur Ressourcenschonung

und Circular Economy in Deutschland, Europa und der Welt und erstellt Berichte, welche relevante Erkenntnisse zusammenfassen und für das UBA und die Politik aufbereiten. Übergreifendes Ziel ist es, die Ressourcenimplikationen unserer Lebensweisen aufzuzeigen und Pfade hin zu einem guten Leben innerhalb der planetaren Grenzen zu skizzieren (UBA 2023b).“ Kürzlich erschien ein Positionspapier der Ressourcenkommission zu Chancen und Grenzen des Recyclings im Kontext der Circular Economy (HAGELÜKEN et al. 2023).

Normungsroadmap Circular Economy. Die Normungsroadmap von DIN, DKE und VDI gibt einen Überblick über den Status quo der Normung im Bereich Circular Economy, beschreibt Anforderungen und Herausforderungen für sieben Schwerpunktthemen und formuliert konkrete Handlungsbedarfe für zukünftige Normen und Standards (DIN et al. 2023).

Das **VDI Zentrum Ressourceneffizienz (VDI ZRE)** ist das Kompetenzzentrum für betriebliche Ressourceneffizienz und Kreislaufführung in Deutschland. Es hat die Aufgabe, Informationen zu Umwelttechnologien und material- und energieeffizienten Prozessen allgemeinverständlich aufzubereiten. Ziel ist es, vor allem kleine und mittlere Unternehmen bei der Steigerung ihrer Ressourceneffizienz zu unterstützen. Die Instrumente des VDI ZRE zur Bewertung und Darstellung von Ressourceneffizienzpotenzialen werden im Auftrag des BMUV erstellt (VDI ZRE 2023).

Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU). „Der Rat veröffentlicht Gutachten und Stellungnahmen zu verschiedenen umweltpolitischen Themen. Darin bereitet er komplexe wissenschaftliche Themen verständlich auf, fasst den aktuellen Stand der Forschung zusammen und formuliert Politikempfehlungen. Die Gutachten und Stellungnahmen tragen zur umweltpolitischen Debatte bei und unterstützen die wissenschaftsbasierte Entscheidungsfindung der Politik.“ (SRU 2023). In ihrem Umweltgutachten 2020 beschreibt der SRU den Weg der Kreislaufwirtschaft von der Rhetorik in die Realität (HORNBERG et al. 2020).

Kartierung des anthropogenen Lagers (KartAL). Das Forschungsvorhaben KartAL umfasst seit 2012 Auftragsstudien des Umweltbundesamtes zur Erarbeitung der Methodik und Datengrundlage zur Abschätzung von Rohstoffkatastern und potenzieller Rohstoffströme aus dem urbanen Lager, das heißt aus zum Beispiel Gebäuden und Infrastruktur. Aktuell wird die vierte und fünfte Auftragsstudie (KartAL IV/V) bearbeitet. Die bisherigen Studien sind KartAL I (SCHILLER et al. 2015), KartAL II (HEDEMANN et al. 2017) und KartAL III (BUCHERT et al. 2021).

Die **Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (NPM).** Die Plattform wurde per Kabinettsbeschluss von der vergangenen Bundesregierung eingesetzt und wurde vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur von 2018 bis 2021 federführend koordiniert. Sie arbeitete unabhängig, überparteilich und neutral. Recycling wurde unter anderem in der Arbeitsgruppe 4 „Sicherung des Mobilitäts- und Produktionsstandortes, Batteriezellproduktion, Rohstoffe und Recycling, Bildung und Qualifizierung“ betrachtet (NPM 2021).

Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Innovative Produktkreisläufe (ReziProK). Die Fördermaßnahme **ReziProK** des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unterstützt die Erforschung und Entwicklung von Innovationen für eine ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft. Ziel der Forschungsprojekte ist es, Produktkreisläufe durch die Entwicklung entsprechender Geschäftsmodelle, Designkonzepte und digitaler Technologien zu schließen, und so zur Umsetzung einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft beizutragen. Die Forschungsergebnisse sollen anschließend möglichst rasch in die wirtschaftliche Praxis und in marktfähige Produkte überführt werden, um Unternehmen in Deutschland als wettbewerbsfähige Anbieter von Kreislaufwirtschaftslösungen zu stärken (BMUV 2023b).

Metallrecycling

OptiMet. Ressourceneffizienzsteigerung in der Metallindustrie – Substitution von Primärrohstoffen durch optimiertes legierungsspezifisches Recycling. Das Projekt sollte die Potenziale zur Verbesserung der Ressourceneffizienz durch den Einsatz neuartiger sensorgestützter Analyse- und Sortiertechnologien analysieren. OptiMet wurde vom Umweltbundesamt beauftragt und im Jahr 2021 abgeschlossen (RAATZ et al. 2022).

ReStra. Recyclingpotenzial strategischer Metalle (ReStra). Das Projekt ReStra untersuchte Recycling- und Substitutionspotenziale ausgewählter Metalle. Dabei wurden auf der Grundlage von Kritikalitätsanalysen Zielmetalle ausgewählt (Seltene Erden, Palladium, Gallium, Germanium, Indium, Gold, Rhodium, Platin) und ihre Verwendungen in Produkten untersucht und quantifiziert. Der Fokus lag auf: Industriekatalysatoren, Autokatalysatoren, Metallurgie/Legierungen (Mischmetall), Batterien, Laseranwendungen, Windenergie, Automobile, Medizintechnische Geräte, Brennstoffzellen, Optische-Faseranwendungen, Photovoltaik, LEDs, Haushaltsanwendungen, Pedelecs, E-Bikes, Raumklimaanlagen, Anzeigetafeln, Nabendynamos, Keramiken, Absorbermaterialien, Kontrollstäbe in Kernreaktoren, Hochtemperatursupraleiter und Rechenzentren. Das Projekt wurde vom Umweltbundesamt beauftragt und 2017 abgeschlossen (SANDER et al. 2017).

Batterien

greenBatt. Unter dem Dachkonzept Batterieforschung des BMBF befasst sich das Kompetenzcluster Recycling & Grüne Batterie (greenBatt) mit den Themen Ressourceneffizienz und Nutzungsdauer in der Batterieforschung. In 16 Forschungsprojekten werden seit Ende 2020 die Entwicklung, Gestaltung und Anwendung innovativer Technologien, Methoden und Werkzeuge für einen energie- und materialeffizienten Batterielebenszyklus und geschlossene Stoff- und Materialkreisläufe bearbeitet (BMBF 2022a).

Battery Pass. Im Konsortialprojekt Battery Pass wird seit 2022 die inhaltliche und technische Ausgestaltung und Umsetzung eines digitalen Batteriepasses erprobt. Der Batteriepass unterstützt eine nahtlose Dokumentation des Batterielebens von der Produktion über die Nutzung bis zur Wiederverwendung und dem Recycling. Damit soll das nachhaltige und zirkuläre Management von Batterien ermöglicht werden. Zu den im Batteriepass hinterlegten Daten zählen Informationen zu den verwendeten Materialien und zum Rezyklatanteil, aber auch an die Verbraucherinnen und Verbraucher gerichtete Hinweise zum sachgerechten Umgang bei der Entsorgung von Altbatterien (BATTERY PASS CONSORTIUM 2023).

Magnetrecycling

SUSMAGPRO. Das Projekt Sustainable Recovery, Reprocessing and Reuse of Rare-Earth Magnets in the Circular Economy steht für nachhaltige Rückgewinnung, Wiederaufbereitung und Wiederverwendung von Seltenerdmaterialien in einer europäischen Kreislaufwirtschaft. Das vierjährige Projekt zielt seit 2019 darauf ab, eine Recycling-Lieferkette für Seltenerdmaterialien in Europa zu entwickeln und die effektive Wiederverwendung von recycelten Seltenerdmaterialien in verschiedenen Branchen zu demonstrieren (SUSMAGPRO 2018).

FUNMAG. Funktionelles Magnetrecycling für eine nachhaltige E-Mobilität (FUNMAG), 2022: „Im Projekt werden gemischte Altmagnet-Ströme mit effizienten Recyclingtechnologien in neue Hochleistungsmagnete überführt. Diese werden in Demonstratoren eingebaut, getestet und einer kompletten Nachhaltigkeits- und Kostenbetrachtung unterzogen. Mögliche Anwendungsfelder, speziell im Bereich der Elektromobilität werden identifiziert und es wird gezeigt, dass eine Substitution durch diese nachhaltigeren Magnete ohne Leistungseinbußen in den Bauteilen möglich ist (Fraunhofer IWKS 2023).“

Elektroaltgeräte

Mehrere Vorhaben im Auftrag des UBA behandeln das Recycling von Elektroaltgeräten und die Möglichkeiten der Rückgewinnung von Rohstoffen, beispielsweise:

UBA Texte 52/2019 „Abfallwirtschaftliche Produktverantwortung unter Ressourcenschutzaspekten (RePro)“ (SANDER et al. 2019a).“

UBA Texte 178/2020 „ILESA – Edel- und sondermetallhaltige Abfallströme intelligent lenken: Bündelung, Zwischenlagerung, Rückgewinnungsgrad (KREIBE et al. 2020).“

Altfahrzeuge

In UBA Texte 129/2022 „Auswirkungen illegaler Altfahrzeugverwertung“ wurde die Ermittlung der ökologischen, volkswirtschaftlichen und betriebswirtschaftlichen Auswirkungen der nicht anerkannten Demontage von Altfahrzeugen und der illegalen Altfahrzeugverbringung sowie Ableitung von Maßnahmen zur Adressierung möglicher Auswirkungen betrachtet (ZIMMERMANN et al. 2021).

Recycling von Industriemineralen

Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Bauen und Mineralische Stoffkreisläufe (ReMin). Maßnahme zur Umsetzung des BMBF-Forschungskonzepts „Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft“. ReMin ist Teil der BMBF-Strategie „Forschung für nachhaltige Entwicklung – FONA“. Ziel der Förderung ist es, den Ausbau der Kreislaufwirtschaft weiter voranzutreiben. Im Mittelpunkt steht die Bauwirtschaft mit ihrer hohen Nachfrage nach Rohstoffen und gleichzeitig großen Mengen an anfallenden mineralischen Abfällen in Form von Baurestmassen (BMBF 2022b).

Kreislaufwirtschaft BAU. Verbund der deutschen Baustoffindustrie, der Bauwirtschaft und der Entsorgungswirtschaft, der sich für die Förderung der Kreislaufwirtschaft im Bauwesen einsetzt. Im Zweijahresturnus veröffentlicht der Branchenverbund die aktuellen Daten zum Auf-

kommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle. Die Daten umfassen mineralische Bauabfälle, zu denen Boden und Steine, Bauschutt, Straßenaufbruch, Gips sowie Baustellenabfälle gehören (KWB 2023a).

Deutsche Phosphorplattform DPP e.V. Netzwerk zur Förderung der Rückgewinnung von Phosphor und zum nachhaltigen Einsatz der rückgewonnenen Produkte. Mit Blick auf diese Ziele führt die DPP Wissen und Erfahrungen der Akteure aus den einschlägigen Industrien, öffentlichen und privaten Organisationen sowie aus Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen zusammen (DPP 2023). Das Politikmemorandum 2020 der Deutschen Phosphor-Plattform DPP e. V. umfasst beispielsweise die Positionen zur Umwelt- und Landwirtschaftspolitik (KNICKEL et al. 2020).

Nationaler Asbestdialog. „In einem transparenten, ergebnisoffenen Prozess wurden in drei aufeinander abgestimmten Dialogforen Themen wie Sensibilisierung und Aufklärung, Erkundung und Anforderungen bei den relevanten Tätigkeiten genauso angesprochen wie Fragen der Optimierung von Rechtsetzung und Vollzug. Die Ergebnisse des Nationalen Asbestdialogs wurden vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) gemeinsam mit dem BMUV in einem finalen Maßnahmenpaket zusammengefasst, das Vorschläge für gemeinsame Folgeaktivitäten sowie Rechtsetzung und Vollzug enthalten wird (BMAS 2017a; BMAS 2017b).“

Bewertung der Machbarkeit

In Anlehnung an POTRYKUS et al. 2021 wurde die Bewertung der Machbarkeit weiter operationalisiert und umfasste die Faktoren: rechtliche, informatorische und organisatorische, tech-

nische, ökologische sowie sozio-ökonomische Machbarkeit. Diese Faktoren stellten als Inspiration den Ausgangspunkt für die Diskussionen in den UAKs zur Machbarkeit dar.

Tab. 13: Faktoren zur Bewertung der Machbarkeit und Identifikation möglicher Zielkonflikte in Anlehnung an POTRYKUS et al. 2021

Faktoren	Beispielaspekte
Rechtliche/institutionelle Faktoren:	
Auswirkungen bestehender Rechtspflichten	Getrennthaltungspflicht
Auswirkungen bestehender Rechtspflichten am Lebensende	Ende der Abfalleigenschaften, Vorgaben zum Entsorgungsweg
Auswirkungen bestehender Rechtspflichten beim Einsatz als Sekundärprodukt im neuen Lebenszyklus	Chemikalienrecht, Produktrecht, Bauordnungsrecht
Sozio-ökonomische Faktoren:	
Versorgungssicherheit	Versorgung mit Rohstoffen
Kosten	Preisvolatilität (schwankende Preise für konkurrierende Primärrohstoffe), Kosten für Aufbereitung Investitionssicherheit
Marktstrukturen	Stabilität und Homogenität des Markts, kleinteilige Marktstrukturen oder zentralisierte Aufbereitung, Absatzmarkt; EU-weite Regelungen
Soziale Sicherheit	Kompetenzerhalt, Arbeitsplatzsicherung
Zu-/Abflüsse von Abfällen	Import von Abfällen aus anderen Ländern oder Industrien, Grenzüberschreitung von Abfällen
Alternative Entsorgungswege	Energetische Verwertung, Deponiekapazitäten
Informatorische und organisatorische Faktoren:	
Akzeptanz von Sekundärrohstoffen	Image von RC-Baustoffen, öffentliche Ausschreibungen mit verpflichtender Abnahme von RC-Materialien
Informationsgrundlagen	Umweltproduktdeklarationen, Informationen zu Abfallqualitäten, Informationsaustausch zwischen Beteiligten
Sensibilisierung von Beteiligten	Schulung und Qualifikation der ausführenden Beteiligten (Rückbauunternehmen, Entsorger)

Faktoren	Beispielaspekte
Technische Faktoren:	
Beschaffenheit von Produkten	Komplexität der Produkte
Abfallqualität	Sortenreinheit, Trennbarkeit, Störstoffe
Verfügbarkeit von geeigneten Recyclingverfahren	Existierende oder sich in der Entwicklung befindliche Verfahren
Qualitätssicherung	Private technische Regelungen mit Empfehlungscharakter (Normen, Standards, bilaterale Absprachen zwischen Beteiligten)
Ökologische Faktoren:	
Schadstoffe	POPs, SVHCs
Ressourcenverknappung	Lokale Verfügbarkeit von Ressourcen
Ökobilanzielle Effekte	Vorteilhaftigkeit des Recyclings, hohe Transportdistanzen und Flächennutzung
Rezyklatqualität	Verbesserung der Rezyklatqualität
Emissionsausstoß	Treibhausgas-Einsparungen

Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Wilhelmstraße 25–30
13593 Berlin

dera@bgr.de

