



Deutsche
Rohstoffagentur

58 DERA Rohstoffinformationen

**Abschlussbericht
Dialogplattform Recyclingrohstoffe**



**Steckbrief
Industrielle Reststoffe und Nebenprodukte**



Bundesanstalt für
Geowissenschaften
und Rohstoffe

www.deutsche-rohstoffagentur.de
www.bgr.bund.de

Impressum

Herausgeberin:

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

Leitung des Unterarbeitskreises Industrielle Reststoffe und Nebenprodukte der Dialogplattform Recyclingrohstoffe:

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

Dr. Christian Adam

Fachbereichsleiter Thermochemische Reststoffbehandlung und Wertstoffrückgewinnung,
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

Projektkoordination:

Bookhagen B. (DERA), Mähltitz P. (DERA), von Wittken R. (acatech), Akinic S. (acatech)

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

doi: 10.25928/2fbq-we89

Hinweis: Dieser Abschlussbericht des Unterarbeitskreises Industrielle Reststoffe und Nebenprodukte wurde im Rahmen der Dialogplattform Recyclingrohstoffe erstellt, die von Juni 2021 bis Juni 2023 im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) durch die Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften koordiniert wurde.

Inhaltsverzeichnis

Überblick Dialogplattform Recyclingrohstoffe	4
1. Steckbrief – Industrielle Reststoffe und Nebenprodukte	5
1.1 Beschreibung relevanter Stoffströme, Wertschöpfungsketten, und Anwendungskontexte	6
1.2 Barrieren im Recycling	13
1.3 Handlungsoptionen	17
1.4 Machbarkeit und Zielkonflikte	20
1.5 Nächste Schritte	24
2. Literaturverzeichnis	25

Überblick Dialogplattform Recyclingrohstoffe

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 abbauen und den Beitrag der Sekundärrohstoffe zur Rohstoffversorgung und zum Klimaschutz zukünftig weiter 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 Dialogs. Gemeinsam mit acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften wurde im Zeitraum Juni 2021 bis Juni 2023 der Dialogprozess koordiniert. Insgesamt wurden im Zeitraum der Durchführung des Dialogprozesses 32 Arbeitssitzungen durchgeführt, wobei in Summe über 380 Personen am Dialog teilnahmen.

Die Ergebnisse aus den Unterarbeitskreisen der beiden Arbeitskreise Metalle und Industriemineralien 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.

Alle erarbeiteten Steckbriefe folgen dabei 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.

Dieser Steckbrief Industrielle Reststoffe und Nebenprodukte ist ein Auszug auf dem gesamten Abschlussbericht der Dialogplattform Recyclingrohstoffe und beinhaltet nur die erarbeiteten Ergebnisse aus dem Unterarbeitskreis Industrielle Reststoffe und Nebenprodukte. Für detaillierte Ausführungen zu Metallen und Industriemineralien lesen Sie bitte die Gesamtversion des Abschlussberichts, zu finden unter www.recyclingrohstoffe-dialog.de.

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.

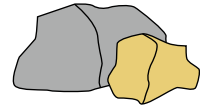
1. Steckbrief – Industrielle Reststoffe und Nebenprodukte

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



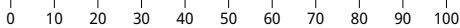
77 Beteiligte



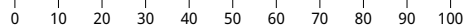
47 % Einzelunternehmen
23 % Wissenschaft
15 % Behörde
11 % Verbände
4 % Zivilgesellschaft



Anzahl **Barrieren**



Anzahl **Lösungsvorschläge**



Themenbereiche der identifizierten Handlungsoptionen



#1 Normen/Regelwerke zur Transformation

#2 Ausschreibungen

#3 Bewertung der Umweltverträglichkeit

#4 Normen und Terminologien

#5 Deponierückbau

#6 Öffentlichkeitswirksamkeit

#7 Steuerliche Entlastung

#8 Netzwerke und digitale Plattformen

#9 Grundlagenforschung

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.

1.1 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 1 dargestellt.

Tab. 1: 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)
Hausmüllverbrennungssasche (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

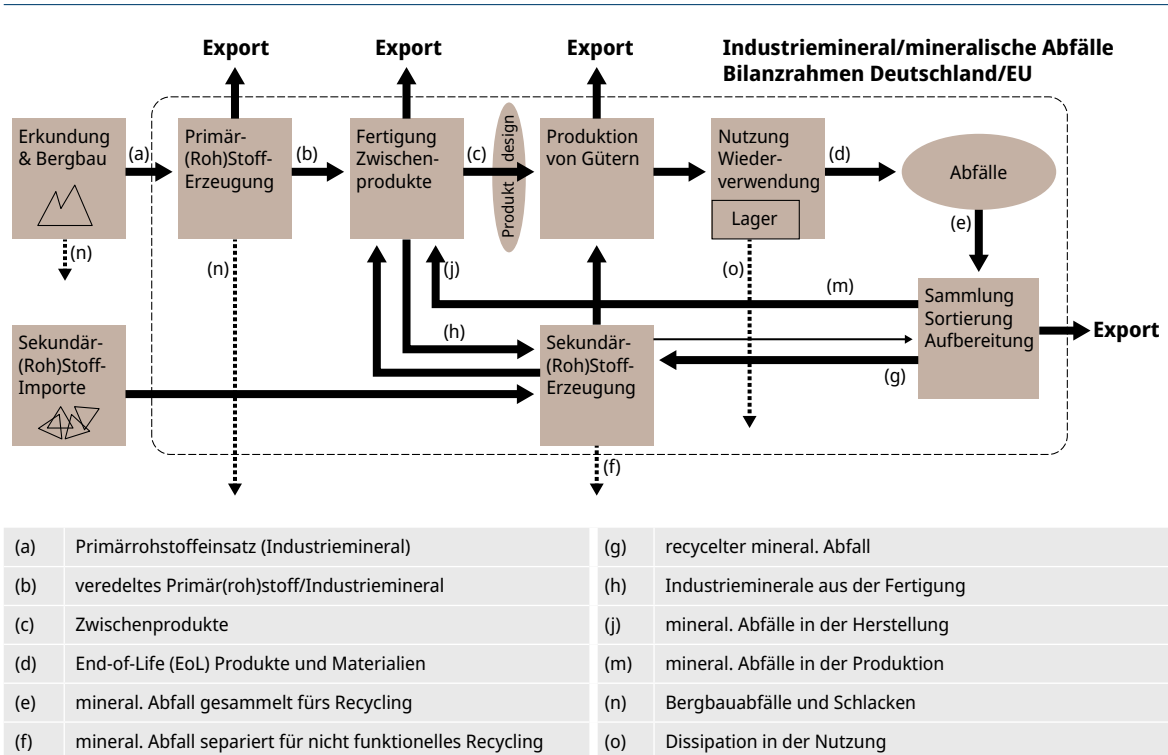


Abb. 1: Referenzgraphik Stoffstrom Industrielle Reststoffe und Nebenprodukte in Anlehnung an UNEP (2011)

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 Regelsetzung 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-recyclebare 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.

1.2 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 ent-

gegenstehen. 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

Barriertema	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

Barrierethema	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

Barrierethema	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

Barrierethema	Barriere
	Geringe Verfügbarkeit von Recyclingmaterial
	Transportkostenempfindlichkeit von Sekundärbaustoffen (= begrenzter Einsatzradius)

Technologien und Prozesse

Barrierethema	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

Barriertema	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

1.3 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. 2: Enabler der Kreislaufwirtschaft für industrielle Nebenprodukte und Reststoffe

Dimension	Enabler
Regulatorik	<p>Transformation der Industrie (weitestgehende CO₂-Neutralität bis 2050)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Änderung der Normen und Regelwerke vor allem der Zement- und Betonindustrie zur Sicherstellung des zukünftigen Einsatzes der Nebenprodukte aus einer transformierten Industrie <p>Ausschreibungen vor allem der öffentlichen Hand</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 <p>Bewertung der Umweltverträglichkeit</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 <p>Normen/Definitionen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schaffung einheitlicher Normen und Terminologie (national/europäisch) für alle Baustoffe der Kreislaufwirtschaft <p>Sonstiges</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gleichstellung zumindest der besten Klassen der „Sekundärbaustoffe/Ersatzbaustoffe“ nach EBV mit den Primärbaustoffen, diesbezügliche Ergänzung der EBV
Anreize und Förderung	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<ul style="list-style-type: none"> • Schaffung von Netzwerken/digitalen Plattformen, die eine dezentrale Nutzung fördern und Stoffströme branchenübergreifend bündeln
Technologien und Prozesse	<p>Transformation der Industrie (weitestgehend CO₂-Neutralität bis 2050)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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	<p>Chemische Zusammensetzung</p> <ul style="list-style-type: none"> Forschungsförderung, um Materialeigenschaften von denjenigen industriellen Nebenprodukten und Reststoffen zu verbessern, die derzeit noch nicht ressourcenschonend eingesetzt werden können <p>Deponierückbau</p> <ul style="list-style-type: none"> Anpassung bestehender beziehungsweise Schaffung neuer rechtlicher Regelungen zum Deponierückbau

1.4 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.

1.5 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.

2. Literaturverzeichnis

AOS-STADE – ALUMINIUM OXID STADE GMBH (2022): Unternehmenswebsite. – URL: <https://www.aos-stade.de/> (Stand: 02.08.2023).

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=2ahUKEwiqtuavnOeBAXU9_7sIHaMIBLcQFno-ECBQQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.aurubis.com%2Fdam%2Fjcr%3Aba791056-324c-4066-bf17-21ad1fc5d9db%2F2022_Umweltbericht_DE.pdf&usg=AOvVaw3AX9ACzjHLrBDUUIO-VIJM&opi=89978449 (Stand: 22.09.2023).

BIRNSTENGEL, B., ECKHARDT, M., HABERLAND, L., HOFFMEISTER, J., KLOSE, G., LAMBERT, J., SANDHÖVEL, M., SCHÜTZ, N., SIMSPON, R., THEVESSEN, A., WEISS, J., ADLOFF, M., BECKER, G., GELLENBECK, K. & REUTER, R. (2020): Statusbericht der deutschen Kreislaufwirtschaft 2020. – URL: https://www.bvse.de/dateien2020/2-PDF/01-Nachrichten/01-bvse/2020/November/Statusbericht_der_deutschen_Kreislaufwirtschaft_2020.pdf (Stand: 04.02.2022).

BMBF – BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG: INTEGRATION DES ELEKTROLYSE-AUSBRUCHS DER PRIMÄRALUMINIUM-GEWINNUNG IN DIE ALUMINIUMRECYCLING-TECHNOLOGIE (IEPALT). – URL: https://www.fona.de/medien/pdf/Projektbeschreibung_Brasilien_IEPALT_bf.pdf?m=1558345788& (Stand: 04.08.2023).

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.

BULLERJAHN, F. & MEHRINGSKÖTTER, M. (2021): Synthetic granulated blast furnace-like slag from bauxite residue smelting and its use in multi-component Portland composite cement. Journal of Cleaner Production. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.129667 (Stand: 03.08.2023).

BUNDESREGIERUNG DEUTSCHLAND (2020): Rohstoffstrategie der Bundesregierung. – URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/rohstoffstrategie-bundesregierung.html> (Stand: 17.10.2022).

ECHA – EUROPEAN CHEMICALS AGENCY (2023): Substance Infocard. – URL: <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.060.862> (Stand: 03.07.2023).

ENSUREAL (k.A.): Projektseite. – URL: <https://ensureal.com/> (Stand: 30.06.2023).

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).

ITAD – INTERESSENGEMEINSCHAFT DER THERMISCHEN ABFALLBEHANDLUNGSANLAGEN IN DEUTSCHLAND E. V. (2021): ITAD Jahresbericht 2021. Empfänger: Nitsch, A., Friedl, C., Simons, K. – URL: <https://www.itad.de/ueber-uns/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).

JOYCE, P. J. & BJÖRKLUND, A. (2019): Using Life Cycle Thinking to Assess the Sustainability Benefits of Complex Valorization Pathways for Bauxite Residue. *Journal of Sustainable Metallurgy*. Heftnr. 1. doi: 10.1007/s40831-019-00209-x (Stand: 07.08.2023).

MERKEL, TH.; REICHE, TH. (2020): Einsatz von Sekundärbaustoffen für den Straßenbau als Beitrag zu Umweltschutz und Ressourceneffizienz – Rückblick und Ausblick. FGSV - 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>.

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).

SCALE (2023): Projektseite. – URL: <https://scale-project.eu/> (Stand: 30.06.2023).

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME (2011): Recycling Rates of Metals – A Status Report. Empfänger: 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).

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

dera@bgr.de

