



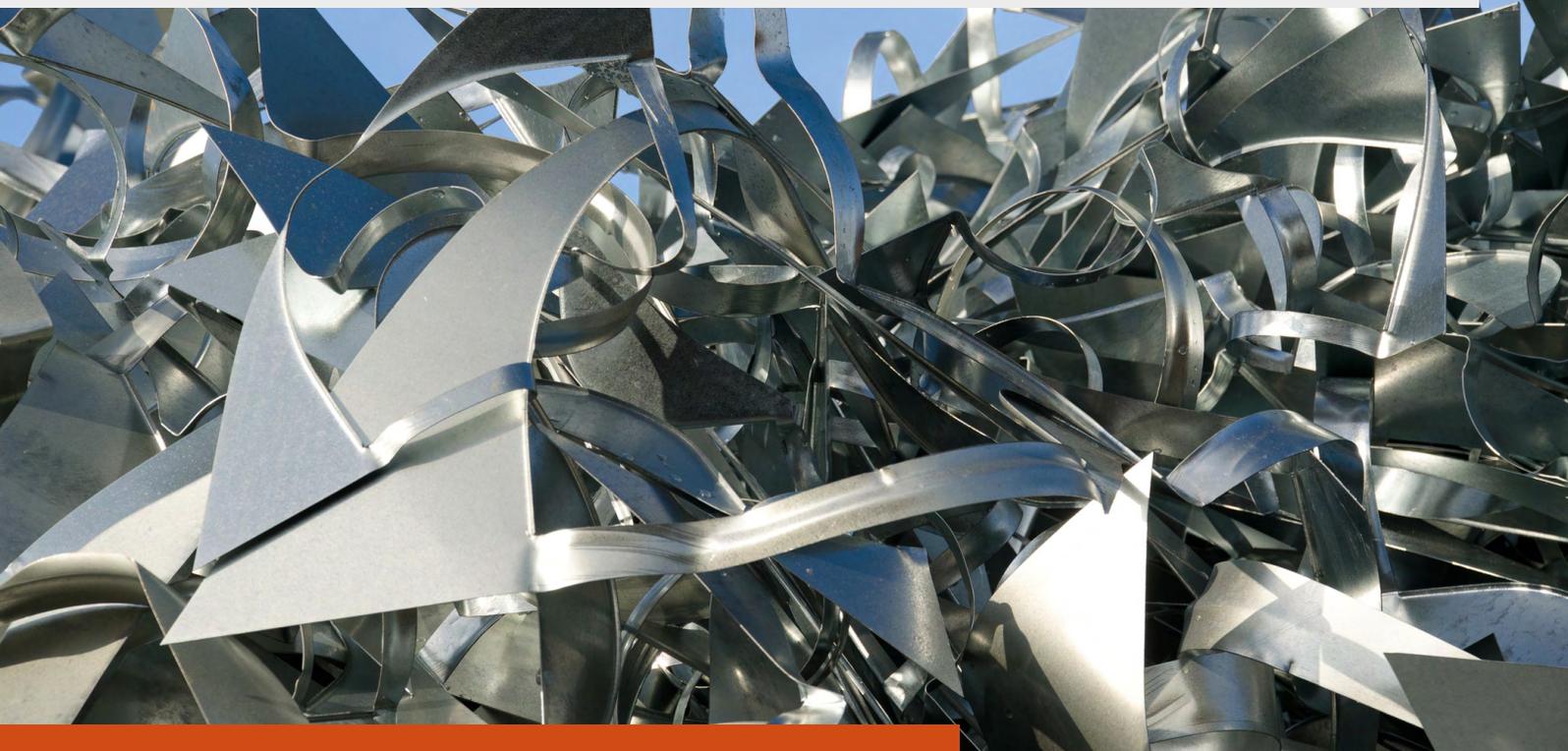
Deutsche
Rohstoffagentur

58 DERA Rohstoffinformationen

Abschlussbericht
Dialogplattform Recyclingrohstoffe



Steckbrief - Kupfer



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 Unterarbeitskreis Kupfer der Dialogplattform Recyclingrohstoffe:

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

Projektkoordination:

Bookhagen B. (DERA), Mährlitz 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/acqr-5y24

Hinweis: Dieser Abschlussbericht des Unterarbeitskreises Kupfer 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) koordiniert wurde.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Überblick Dialogplattform Recyclingrohstoffe | 4 |
| 1. Steckbrief – Kupfer | 5 |
| 1.1 Beschreibung relevanter Stoffströme, Wertschöpfungsketten, und Anwendungskontexte | 6 |
| 1.2 Barrieren im Recycling | 9 |
| 1.3 Handlungsoptionen | 10 |
| 1.4 Machbarkeit und Zielkonflikte | 18 |
| 1.5 Nächste Schritte | 22 |
| 2. Literaturverzeichnis | 24 |

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

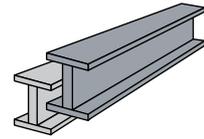
¹ Die beiden Begrifflichkeiten Sekundärrohstoffe und Recyclingrohstoffe werden im folgenden Text synonym verwendet. Insbesondere auf EU-Ebene und in Anlehnung an die englische Verwendung wird erster Begriff verwendet. Aufgrund seiner positiven Konnotation wird hier jedoch der Begriff Recyclingrohstoffe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

1. Steckbrief – Kupfer

Kupfer

Unterarbeitskreis-Leitung (Autoren):

Dr. Antonia Loibl (Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI)
Michael Sander (Kupferverband e. V.)



UAK-Übersicht



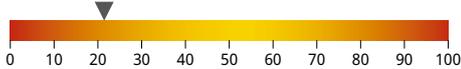
39 Beteiligte



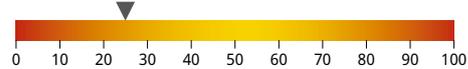
32 % Einzelunternehmen
33 % Wissenschaft
13 % Behörde
17 % Verbände
5 % Zivilgesellschaft



Anzahl **Barrieren**



Anzahl **Lösungsvorschläge**



Themenbereiche der identifizierten Handlungsoptionen



13

| | | | |
|----|--------------------------------|-----|--|
| #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. 1: 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

1.1 Beschreibung relevanter Stoffströme, Wertschöpfungsketten und Anwendungskontexte

Stoffströme und Anwendungskontexte

Primärabbau von Kupfer findet in Deutschland derzeit nicht statt. Kupfer findet in Form von Erzkonzentraten (a in Referenzgrafik Abbildung 1), 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 pyrometallurgische 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 Kühlterschrotte 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).

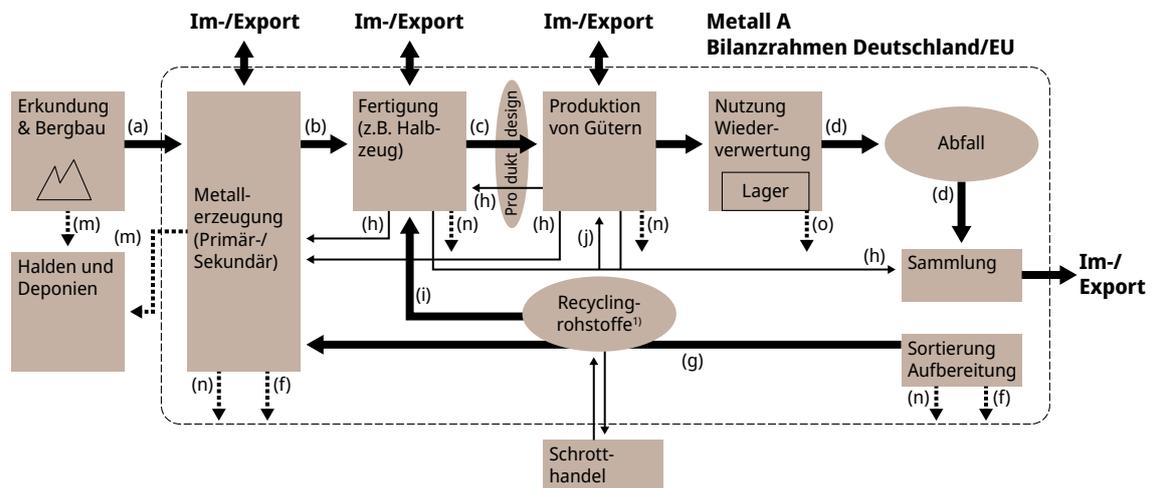
In den nachfolgenden Prozessschritten zur Erzeugung von Zwischenprodukten (c) werden die Kathoden als Ausgangsprodukte wieder eingeschmolzen, um sie zum Teil zu legieren, in kontinuierlichen oder halbkontinuierlichen

Strangguss- und Walzprozessen zu Halbzeugen zu verarbeiten oder zu Gussprodukten zu vergießen (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 verloren (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) | gesammelter 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, Bergbaureststoffe |
| (f) | Kupfer separiert für nicht funktionelles Recycling | (n) | Dissipation/permanente Verluste |

Abb. 1: 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).

1.2 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) |
| Verarbeitungskapazitäten | Zu geringe Kapazitäten für den Einsatz von Kupferschrotten in der Sekundärmetallproduktion |
| Aufbereitungsverfahren/-kapazitäten | Recyclingverfahren für Kupferrückgewinnung aus Bergbauabfällen sind noch nicht großtechnisch realisiert und/oder bisher unwirtschaftlich |
| Getrennterfassung/-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 |
|---|---|
| Technologieumsetzung und -weiterentwicklung | 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 |
|--------------------------------|---|
| Datenverfügbarkeit | 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 |
| Informationsmangel/-weitergabe | 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 |

1.3 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 Sekundärraffination |
| #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 Schrottexporten¹

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

¹ 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 Brennertechnologien 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 Wertstoffhöfen 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 legierungssortene 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.

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

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 eingestuftem 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 unbekanntem Schadstoffgehalt 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.

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.

⊗ 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 Sekundärraffination

☑ 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.

1.5 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 Belegen 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. Literaturverzeichnis

BGR – BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2022): Deutschland – Rohstoffsituation 2021. Stand: Dezember 2022. Empfänger: Bookhagen, B.; Eicke, C.; Elsner, H.; Henning, S.; Kern, M.; Kresse, C.; Kuhn, K.; Liesegang, M.; Lutz, R.; Mährlitz, P.; Moldenhauer, K.; Pein, M.; Martin; Schauer, M.; Schmidt, S.; Schmitz, M.; Sievers, H.; Szurlies, M. – URL: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/rohsit-2021.pdf;jsessionid=18CA0A8C058B67D137450B07C6E6AD25.internet002?__blob=publicationFile&v=4 (Stand: 14.08.2023).

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

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).

DERA – DEUTSCHE ROHSTOFFAGENTUR (2021): Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2021. Empfänger: 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?operation=table&code=32111-0002&bypass=true&levelindex=0&levelid=1683535748911#abreadcrumb> (Stand: 10.05.2023).

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2020a): Study on the EU's list of Critical Raw Materials (2020). Empfänger: Eynard, U.; Georgitzikis, K.; Wittmer, D.; Latunussa, C.; Torres de Matos, C.; Mancini, L.; Unguru, M.; Blagoeva, D.; Bobba, S.; Pavel, C.; Carrara, S.; Mathieux, F.; Pennington, D.; Blengini, G. A. (Stand: 07.09.2020).

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2020b): 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 (2022): 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).

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-policy-maker-summary-report-final-13-5-22.pdf> (Stand: 20.07.2023).

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: <file:///C:/Users/Akinci/Downloads/Factbook2022-1.pdf> (Stand: 03.08.2023).

LANGNER, B. E. (2011): Understanding copper. Technologies, markets, business. ISBN: 3000362738. B. E. Langner. Winsen, Glockenheide 11.

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. *Resources, Conservation and Recycling*. doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105462 (Stand: 03.08.2023).

LOSSIN, A. (2000): Copper. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry 2000*.

SCHOMERUS, T., ALCATRANA, H., RAAP, F., LUDWIG, V., LÖSING, F. & EBELT, S. (2023): Wiederverwendung von Haushaltsgroßgeräten in Deutschland steigern und neue Wege der Haushaltsgroßgerätesammlung 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. *Resources, Conservation & Recycling*. Heftnr. 129. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344917303324?via%3Dihub> (Stand: 09.08.2023).

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).

UNITED NATIONS COMTRADE (2023): United Nations Commodity Trade Statistics Database. Trade code 7404 „Copper; waste and scrap“. – URL: <https://comtrade.un.org/>.

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

dera@bgr.de

