



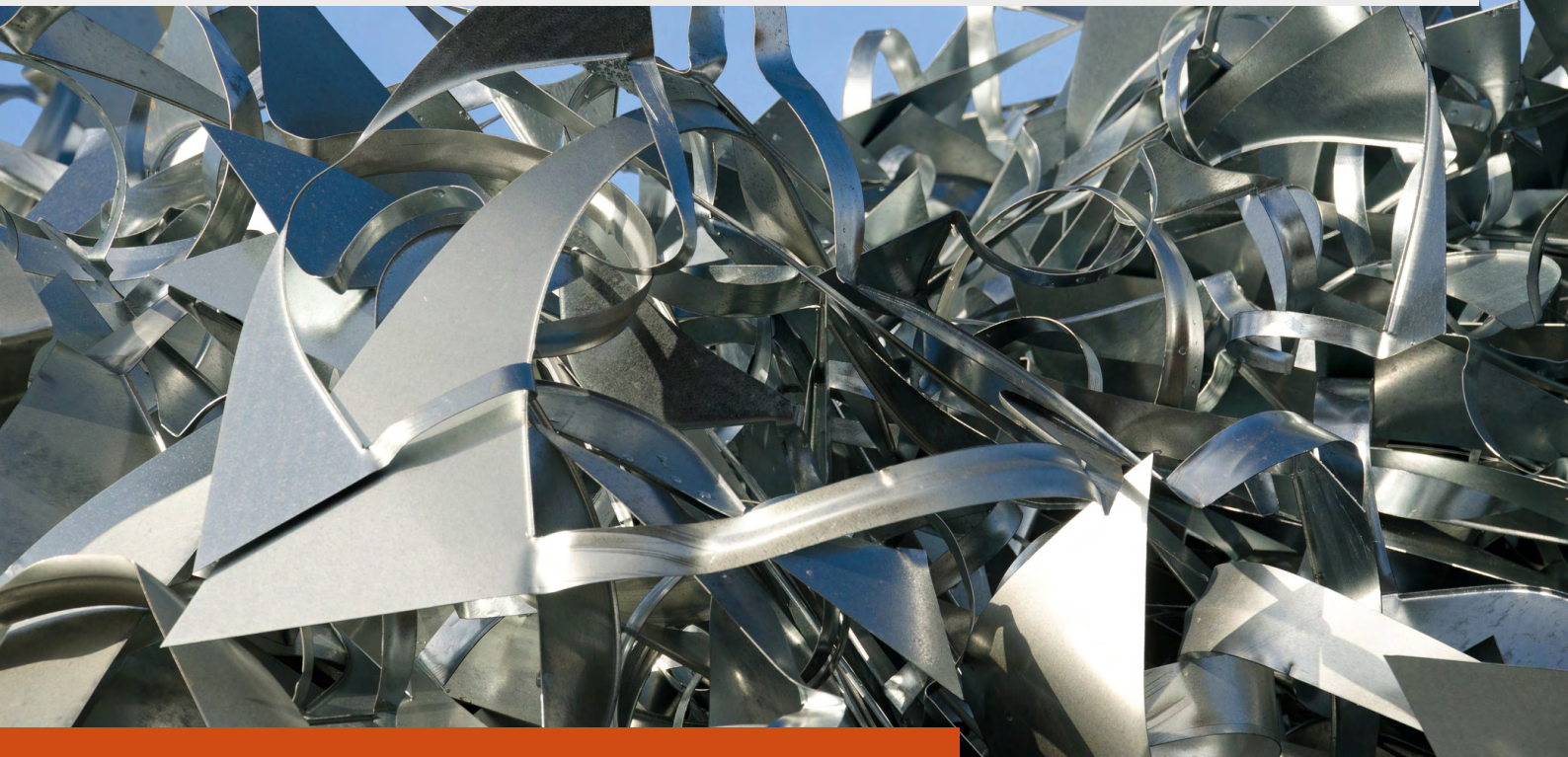
Deutsche
Rohstoffagentur

58 DERA Rohstoffinformationen

**Abschlussbericht
Dialogplattform Recyclingrohstoffe**



Steckbrief - Technologiemetalle



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 Technologiemetalle der Dialogplattform Recyclingrohstoffe:

Dr. Markus Zumdick
Director HSEQ/RSCM/Product Stewardship Tungsten Powders, H.C. Starck Tungsten GmbH
Prof. Dr. Christoph Helbig
Professor für Ökologische Ressourcentechnologie, Universität Bayreuth

Unter Mitarbeit von:

Dr. Asja Mrotzek-Blöß, Technische Universität Clausthal
Dr. Martin Tauber, Vorsitzender International Magnesium Association, Präsident CRM Alliance
Frank Neumann, Geschäftsführer Initiative Zink in der WVMetalle Service GmbH

Projektkoordination:

Bookhagen B. (DERA), Mähliz 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/vqnx-nj32

Hinweis: Dieser Abschlussbericht des Unterarbeitskreises Technologiemetalle 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) und acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften koordiniert wurde.

Inhaltsverzeichnis

Überblick Dialogplattform Recyclingrohstoffe	4
1. Steckbrief – Technologiemetalle	5
1.1 Beschreibung relevanter Stoffströme, Wertschöpfungsketten, und Anwendungskontexte	7
1.2 Barrieren im Recycling	11
1.3 Handlungsoptionen	15
1.4 Machbarkeit und Zielkonflikte	21
1.5 Nächste Schritte	30
2. Literaturverzeichnis	32

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.

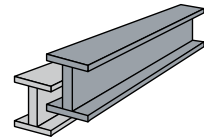
Dieser Steckbrief Technologiemetalle ist ein Auszug auf dem gesamten Abschlussbericht der Dialogplattform Recyclingrohstoffe und beinhaltet nur die erarbeiteten Ergebnisse aus dem Unterarbeitskreis Technologiemetalle. Für detaillierte Ausführungen zu Metallen und Industriemineralien lesen Sie bitte die 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 – Technologiemetalle

Technologiemetalle

Unterarbeitskreis-Leitung (Autoren¹):
Dr. Markus Zumdick (H.C. Starck Tungsten GmbH)
Prof. Dr. Christoph Helbig (Universität Bayreuth)



UAK-Übersicht



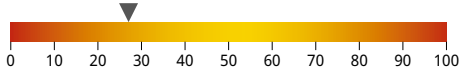
44 Beteiligte



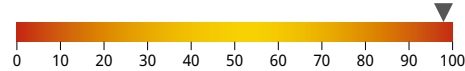
32 % Einzelunternehmen
30 % Wissenschaft
12 % Behörde
20 % Verbände
8 % Zivilgesellschaft



Anzahl **Barrieren**



Anzahl **Lösungsvorschläge**



Themenbereiche der identifizierten Handlungsoptionen



#1	Export und Vollzug	#7	Klassifikationen
#2	Rücknahmemöglichkeiten	#8	Überprüfung Gesetzesvorgaben und Normen
#3	Recyclingkapazitäten	#9	Industriepolitik
#4	Hersteller- bzw. Produktverantwortung	#10	Konkurrenzfähigkeit
#5	Separations- und Recycling-Anforderungen	#11	Stoffverbote
#6	Forschung & Entwicklung		

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

Tab. 1: Überblick Stoffstrom Technologiemetalle (Referenzrahmen Deutschland 2021)

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

¹ Angaben in Tonnen Inhalt Metall

² Material mit nicht eindeutig definiertem Metallgehalt

³ HS Code unterscheidet nicht zwischen Rohform aus Primärquelle oder Recyclingrohstoff

für die weitere Arbeit im UAK und diesen Bericht als Beispiele beizubehalten, um die Ergebnisse und Vorschläge „greifbarer“ zu machen. Es sollte angemerkt werden, dass Mg und W, wie viele andere der genannten Technologiemetalle, von der Europäischen Union als „Critical Raw Materials“ geführt werden.

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

Fallbeispiel Magnesium

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

Fallbeispiel Zink

Ungefähr 60 % des gesamten produzierten Zinks werden für den Korrosionsschutz von Stahl („Verzinken“) verwendet, welches das wichtigste Metall für die Umsetzung von Infrastrukturprojekten ist. Weitere Anwendungsfelder sind die Anwendung von gewalztem Zink für Dach- und Fassadenanwendungen, der Zinkdruckguss, Messing und Bronze, weitere Zinklegierungen und -pulver für die Batterietechnik und Zinkverbindungen für Ernährung, Futtermittel, Pharmazie und Düngemittel. Das Ergebnis einer Fraunhofer ISI Studie im Auftrag der International Zinc Association (IZA) zeigt, dass die Gesamtmenge von Zink für die Herstellung von Erstgebrauchsgütern steigen wird. Danach wird ein Anstieg von 17,5 Millionen Tonnen (2019) auf 28 Millionen Tonnen (2050) erwartet. Circa 2,8 Millionen Tonnen Zink werden zukünftig pro Jahr global allein im Energiespeichermarkt erwartet. Aufgrund langer Lebensdauern von Zinkanwendungen (im Bausektor bis zu 100 Jahre) wird sich der In-use-Stock bis 2050 auf rund 490 Millionen Tonnen verdoppeln (NEUMANN 2022).

Fallbeispiel Wolfram

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

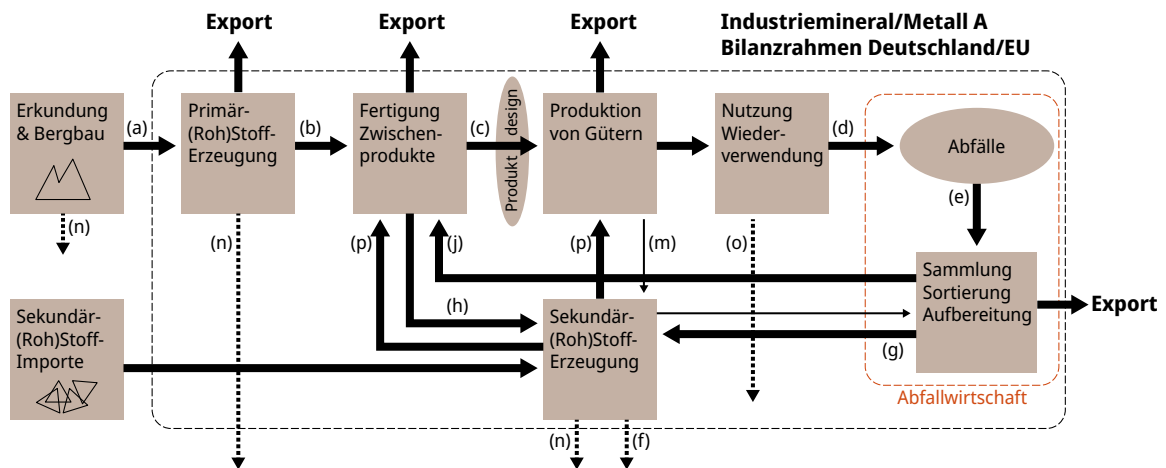
Im Jahr 2019 belief sich die Primärproduktion von Wolfram weltweit auf 83.800 Tonnen (USGS 2021). Der mit Abstand größte Wolframproduzent ist China. Mehr als 80 % des weltweit produzierten Wolframs wurden dort gewonnen. Weitere wichtige Abbauländer waren Vietnam, Russland, Bolivien, Österreich, Ruanda, Nordkorea, Portugal, Spanien und die Mongolei. China verfügt mit fast 60 % auch über die größten bekannten Reserven weltweit. Aufgrund dieser Situation, die sich seit vielen Jahren kaum verändert hat, wurde Wolfram bereits 2010 von der Europäischen Union als einer der 14 kritischen Rohstoffe eingestuft (LIEDTKE & SCHMIDT 2014). Diese Einstufung besteht ununterbrochen bis heute fort.

fungskette (vgl. Abbildung 16) vergleichbar für die meisten Technologiemetalle sind:

- Die Wertschöpfungskette ist international.
- Hohe Importabhängigkeit der Primärrohstoffe (a)
- Primär-Metallerzeugung überwiegend außerhalb von Deutschland (b)
- Export von Recyclingrohstoffen hat Auswirkungen auf die Verfügbarkeit.
- Kreisläufe für Produktionsabfälle und anforderungsgerechte Schrotte funktionieren, in der Regel mit langjährigen Erfahrungen. Diese Kreisläufe sind optimiert.
- Recyclingrohstoffe aus gemischten Schrotten oder Verbundprodukten sind (noch) nicht für ein Recycling optimiert (g).

Allgemeine Anmerkungen

Die Diskussionen im UAK Technologiemetalle zeigten, dass einige Aspekte der Wertschöpfungs-



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

Abb. 2: Referenzgrafik Stoffstrom Technologiemetalle in Anlehnung an UNEP (2011)

- Technologische Verbundprodukte (zum Beispiel Elektronik) und Produkte zur Umsetzung der Energiewende enthalten viele unterschiedliche Technologiemetalle, teilweise in sehr geringen Anteilen (geringer ökonomischer Anreiz für das Recycling).
- Der Einsatz der Technologiemetalle ist entscheidend für die Funktionalität von Produkten (c).
- Die Koppelproduktion von Technologiemetallen deckelt das Angebot dieser Metalle (a), (b).
- Angewendete Recyclingtechnologien sind heute so optimiert, dass
 - ▶ aus Recyclingrohstoffen hergestellte Produkte die gleiche Qualität aufweisen wie Produkte, die aus Primärrohstoffen hergestellt werden.
 - ▶ Metalle ohne diesen Qualitätsverlust beliebig häufig recycelt werden können. Eine Zunahme an Verunreinigungen durch mehrmaliges Recycling kann bei Technologiemetallen nicht beobachtet werden.

Rolle des Recyclings im Bereich Technologiemetalle

Fallbeispiel Magnesium

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

Fallbeispiel Zink

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

Fallbeispiel Wolfram

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

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

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

Allgemeine Anmerkungen

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

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

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

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

1.2 Barrieren im Recycling

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

Regulatorik

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

Regulatorik

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

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

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

Anreize und Förderung

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

Infrastruktur und Logistik

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

Daten & Digitalisierung

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

Technologien und Prozesse

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

1.3 Handlungsoptionen

Schwerpunktsetzung

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

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

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

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

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

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

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

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

Überblick der Enabler

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

Enabler #1

Export mit Auflagen versehen/Stärkung des Vollzugs

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

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

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

Enabler #2

Verbesserung beziehungsweise Anpassung der Rücknahmemöglichkeiten

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

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

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

Enabler #3

Ausbau (inländischer) Recyclingkapazitäten

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

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

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

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

Enabler #4

Ausweitung der Hersteller- bzw.

Produktverantwortung

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

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

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

Enabler #5

Rechtlich verbindliche Separations- und Recyclinganforderungen

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

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

Enabler #6

Forschung und Entwicklung fördern/fachlichen Austausch fördern

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

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

Enabler #7

Erweiterung beziehungsweise Anpassung von Klassifikationen

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

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

Enabler #8

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

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

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

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

Enabler #9

Aktive Industriepolitik etablieren

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

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

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

Enabler #10

Konkurrenzfähigkeit von Recyclingrohstoffen verbessern

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

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

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

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

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

Enabler #11 **Stoffverbote prüfen**

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

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

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

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. Die unten dargelegten Punkte stellen somit die verschiedenen Sichtweisen der Teilnehmenden dar. Zielkonflikte, bei denen zwei oder mehrere der oben genannten Aspekte im Widerspruch zueinanderstehen, wurden (sofern vorhanden) herausgearbeitet und separat aufgeführt.

Enabler #1 **Export mit Auflagen versehen/Stärkung des Vollzugs**

Machbarkeit

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

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

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

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

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

⊗ Zielkonflikte

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

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

Enabler #2

Verbesserung beziehungsweise Anpassung der Rücknahmemöglichkeiten

✔ Machbarkeit

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

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

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

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

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

⊗ Zielkonflikte

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

Enabler #3

Ausbau (inländischer) Recyclingkapazitäten

✔ Machbarkeit

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

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

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

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

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

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

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

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

⊗ Zielkonflikte

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

Enabler #4

Ausweitung der Hersteller- bzw. Produktverantwortung

☑ Machbarkeit

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

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

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

⊗ Zielkonflikte

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

Enabler #5

Rechtlich verbindliche Separations- und Recyclinganforderungen

✔ Machbarkeit

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

- Nationale Einflussmöglichkeit auf EU-Gesetze: Auch hier gilt, dass dies im Wesentlichen in die Kompetenz der Europäischen Union fällt und von daher eine Realisierung kritisch gesehen werden muss.
- Verbunde schlecht trennbar: Trennung vieler Verbundwerkstoffe äußerst schwierig.
- Best Practice aus dem Ausland: Verbraucherinnen und Verbraucher haben Bedarf an einfachen, wenig komplexen Rückgabelösungen mit Anreiz und entsprechenden Sortierungstechniken im Hintergrund. Ein Beispiel ist die Flaschenrückgabe in Deutschland. Wir trennen Glasflaschen nach Farben und Kunststoffflaschen nach pfandfähig und nicht-pfandfähig und fahren diese Mengen durch die Gemeinde. In Finnland wirft die Verbraucherin/der Verbraucher sämtliche Flaschen in eine Lade eines Automaten im Supermarkt und der Automat sortiert mit KI die Flaschen und wirft den Sammelbonus aus. Intelligente und verfügbare Systeme aus anderen Ländern nutzen.
- Ökologisches Optimum berücksichtigen: Für alle Recyclingsysteme existiert ein theoretisches ökologisches Optimum (unter 100 %) des Recyclings aufgrund steigenden Energiebedarfs und Sortier- und Trennaufwandes. Vorgaben dürfen nicht darüber hinaus gehen.

- Wert der Stoffe muss erhöht werden: Teure Separationsauflagen sorgen dafür, dass mehr Abfälle unser Land verlassen. Das kann nicht der Weg sein, sondern der Wert der separierten Stoffe muss erhöht werden: durch Rezyklateinsatzquoten, staatliche Zuschüsse aus Prämien für die Risikovorsorge oder den Aufbau von Lagern, die aus Recyclingrohstoffen gefüllt werden.
 - Kostenzunahme: Recyclingvorgaben werden Kosten nach oben treiben, was erwartbaren Widerstand verschiedener Stakeholder hervorrufen wird.
 - Unnötige Pull-Instrumente: Verbindliche Rezyklateinsatzquoten (Pull-Instrumente) erhöhen die Nachfrage nach Technologiemetallen über die vom Markt ausgelöste Nachfrage hinaus. Zwar soll der hier vorgestellte Enabler auch beziehungsweise vor allem das Angebot an Recyclingrohstoffen erhöhen, es ist aber fraglich, ob es über die Marktnachfrage hinaus weiterer Pull-Instrumente bedarf.
- ⊗ Zielkonflikte
- Rezyklateinsatzquoten versus Abfallhierarchie: Einsatzquoten würden zu einer Unterwanderung der Abfallhierarchie durch Erfüllung von Recyclingquoten führen. Der Druck zum Einsatz von Rezyklaten könnte unnötig schnelles Recycling fördern (anstatt einer Wiederverwendung). Technologiemetalle sind ein wachsender Markt, daher müssten mehr Metalle recycelt werden, die aber nicht vorrätig sind. Im wachsenden Markt sind Rezyklateinsatzquoten nicht funktional. Eine Erhöhung der Nachfrage ist bei bestehender hoher Nachfrage nach Technologiemetallen unnötig. Eine bessere Steuerungswirkung könnte über EoL-Recyclingquoten erreicht werden.
 - Lagerhaltung versus Preisvolatilität: Der Aufbau von strategischen Lagern ist wirtschaftlich schlecht darstellbar aufgrund der hohen Volatilität der Stoffe. Zudem müssen auf gelagerte Mengen Steuern gezahlt werden.

Das heißt, volle Lager am Jahresende wären nicht gewollt.

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

Enabler #6 **Forschung und Entwicklung** **fördern/fachlichen Austausch fördern**

✔ *Machbarkeit*

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

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

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

⊗ *Zielkonflikte*

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

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

Enabler #7

Erweiterung beziehungsweise Anpassung von Klassifikationen

✔ *Machbarkeit*

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

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

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

✘ *Zielkonflikte*

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

Enabler #8

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

✔ *Machbarkeit*

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

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

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

✘ *Zielkonflikte*

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

Enabler #9

Aktive Industriepolitik etablieren

✔ *Machbarkeit*

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

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

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

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

⊗ Zielkonflikte

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

Enabler #10

Konkurrenzfähigkeit von Recyclingrohstoffen verbessern

☑ Machbarkeit

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

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

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

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

⊗ Zielkonflikte

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

Enabler #11

Stoffverbote prüfen

✓ Machbarkeit

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

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

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

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

⊗ Zielkonflikte

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

1.5 Nächste Schritte

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

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

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

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

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

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

Wissenschaft und Forschung sollten stärker die Skalierung von Trenn- und Sortierverfahren und umweltschonender Produktgestaltung in Forschungsprojekten gemeinsam mit den Unternehmen unterstützen.

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

2. Literaturverzeichnis

BGR – BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2022): Deutschland - Rohstoffsituation 2021. 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.; 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: 24.03.2023).

BUNDESAMT FÜR JUSTIZ (2015). ElektroG: Elektro- und Elektronikgerätegesetz vom 20. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1739), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 8. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2240) geändert worden ist. – URL: http://www.gesetze-im-internet.de/elektrog_2015/ (Stand: 13.03.2023).

BUNDESAMT FÜR JUSTIZ (2021). EAG-BehandV: Verordnung über Anforderungen an die Behandlung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten. – URL: <http://www.gesetze-im-internet.de/eag-behandv/> (Stand: 13.03.2023).

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

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).

GREGOIR, L., VAN ACKER, K., BERETTA, S. & HERON, C. (2022): Metals for Clean Energy. – URL: <https://euro-metaux.eu/media/jmxf2qm0/metals-for-clean-energy.pdf> (Stand: 25.11.2022).

HAGELÜKEN, C. (2022): Möglichkeiten und Grenzen des Recycling - Auswirkungen auf ein effizientes Produktdesign.

ILZSG – INTERNATIONAL LEAD AND ZINC STUDY GROUP (2023): Statistical Database. – URL: <https://www.ilzsg.org/statistical-database/>.

INITIATIVE ZINK (2023): Recycling | Initiative ZINK. – URL: <https://www.zink.de/zink/materialkreislauf/recycling/> (Stand: 20.03.2023).

LIEDTKE, M. & SCHMIDT, M. (2014): DERA Rohstoffinformationen. Empfänger: Dorner, U.; Huy, D.; Franken, G. – URL: https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-19.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (Stand: 07.10.2022).

NELL, N., WAUGH, R. & PARKER, D. (2017): Magnesium Recycling in the EU. Empfänger: Baker, K.; Lee, P. – URL: https://static1.squarespace.com/static/5a60c3cc9f07f58443081f58/t/5ab3b2aa562fa79e4d65f1dc/1521726136511/2017_IMA_EU-Mg-recycling_201.pdf (Stand: 12.06.2023).

NEUMANN, F. (2022): ZINK – Anwendungen-Ressourcen-Recycling.

SANDER, K., WAGNER, L., JEPSEN, D., ZIMMERMANN, T. & SCHOMERUS, T. (2019): Gesamtkonzept zum Umgang mit Elektro(alt)geräten – Vorbereitung zur Wiederverwendung. – URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-03-04_texte_gesamtkonzept-eag.pdf (Stand: 11.07.2023).

TAUBER, M. (2022): Magnificent Magnesium. Impulsvortrag beim Treffen UAK Technologiemetalle.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY, (2021): Mineral Commodity Summaries. – URL: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021-tungsten.pdf> (Stand: 07.10.2022).

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).

ZEILER, B., SCHUBERT, W.-D., BARTL, A. & MARSH, G. (2018): Tungsten Newsletter. Current share, economic limitations and future potential. – URL: https://www.itia.info/assets/files/newsletters/ITIA_Newsletter_2018_05.pdf (Stand: 07.10.2022).

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

dera@bgr.de

