



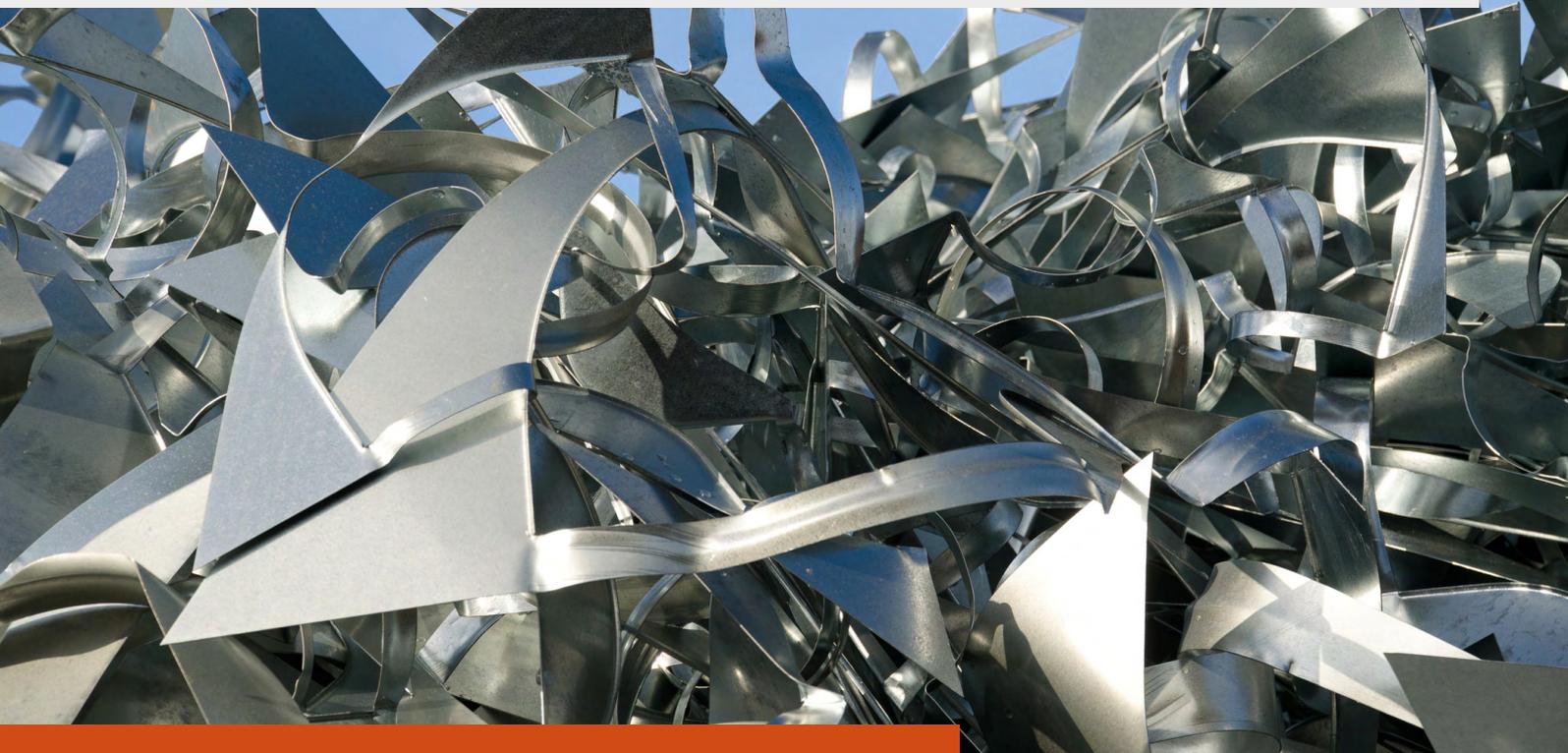
Deutsche  
Rohstoffagentur

# 58 DERA Rohstoffinformationen

**Abschlussbericht  
Dialogplattform Recyclingrohstoffe**



**Steckbrief – Eisen und Stahl**



Bundesanstalt für  
Geowissenschaften  
und Rohstoffe

[www.deutsche-rohstoffagentur.de](http://www.deutsche-rohstoffagentur.de)  
[www.bgr.bund.de](http://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 Eisen und Stahl der Dialogplattform Recyclingrohstoffe:

Gerhard Endemann  
Leiter Nachhaltigkeit, Wirtschaftsvereinigung Stahl

Prof. Dr. Rüdiger Deike

Lehrstuhlinhaber Metallurgie und Umformtechnik, Universität Duisburg-Essen

### Projektkoordination:

Bookhagen B. (DERA), Mählietz 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](http://www.deutsche-rohstoffagentur.de)  
[recycling@bgr.de](mailto: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/qyaw-1b33

Hinweis: Dieser Abschlussbericht des Unterarbeitskreises Eisen und Stahl 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

<b>Überblick Dialogplattform Recyclingrohstoffe</b>	<b>4</b>
<b>1. Steckbrief – Eisen und Stahl</b>	<b>5</b>
1.1 Beschreibung relevanter Stoffströme, Wertschöpfungsketten, und Anwendungskontexte	6
1.2 Barrieren im Recycling	10
1.3 Handlungsoptionen	15
1.4 Machbarkeit und Zielkonflikte	19
1.5 Nächste Schritte	28
<b>2. Literaturverzeichnis</b>	<b>30</b>

# Überblick Dialogplattform Recyclingrohstoffe

Die Bundesregierung hat in ihrer Rohstoffstrategie 2020 (Bundesregierung 2020) mit Maßnahme 13 festgelegt, den Beitrag von Sekundärrohstoffen<sup>1</sup> (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.

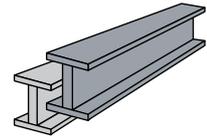
Dieser Steckbrief Eisen/Stahl ist ein Auszug auf dem gesamten Abschlussbericht der Dialogplattform Recyclingrohstoffe und beinhaltet nur die erarbeiteten Ergebnisse aus dem Unterarbeitskreis Eisen/Stahl. Für detaillierte Ausführungen zu Metallen und Industriemineralien lesen Sie bitte die Gesamtversion des Abschlussberichts, zu finden unter [www.recyclingrohstoffe-dialog.de](http://www.recyclingrohstoffe-dialog.de).

<sup>1</sup> 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 – Eisen und Stahl

## Eisen und Stahl

**Unterarbeitskreis-Leitung (Autoren):**  
Gerhard Endemann (Wirtschaftsvereinigung Stahl)  
Prof. Dr. Rüdiger Deike (Universität Duisburg-Essen)



### UAK-Übersicht



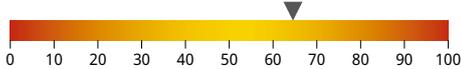
58 Beteiligte



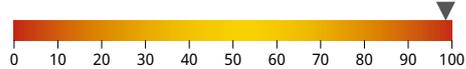
43 % Einzelunternehmen  
24 % Wissenschaft  
9 % Behörde  
19 % Verbände  
6 % Zivilgesellschaft



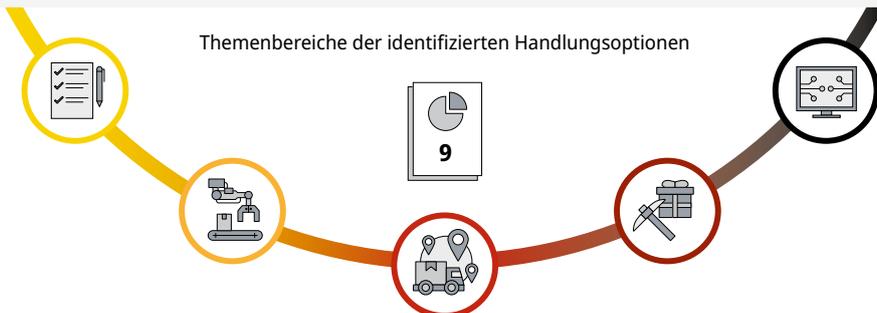
Anzahl **Barrieren**



Anzahl **Lösungsvorschläge**



Themenbereiche der identifizierten Handlungsoptionen



#1	Europäische Rohstoffstrategie	#6	Schienengüterverkehr
#2	Schrottexporte	#7	Ökodesign
#3	Rechtsinterpretationen	#8	Schrottsortierung
#4	Zielgerichtetere Verordnungen	#9	Forschung & Entwicklung
#5	Genehmigungsverfahren		

Tab. 1: Überblick Stoffstrom Eisen und Stahl (Referenzrahmen Deutschland 2021)

Stoffströme	Menge [t]	Quelle
<b>Primärrohstoffe</b>		
Bergbauproduktion <sup>2</sup>	0	(BGR 2022)
Import (HS 2601) <sup>2</sup> (Erze und Konzentrate)	39.500.000	(DESTATIS 2023)
Export (HS 2601) <sup>2</sup> (Erze und Konzentrate)	1.480.000	(DESTATIS 2023)
Raffinadeproduktion <sup>1</sup>	22.840.000	(WV STAHL 2022b)
<b>Recyclingrohstoffe</b>		
Import (HS 7204) <sup>2</sup> (Abfälle und Schrott)	5.030.000	(DESTATIS 2023)
Export (HS 7204) <sup>2</sup> (Abfälle und Schrott)	8.790.000	(DESTATIS 2023)
Raffinadeproduktion <sup>1</sup>	17.400.000	(WV STAHL 2022b)

<sup>1</sup> Angaben in Tonnen Inhalt Metall

<sup>2</sup> Material mit nicht eindeutig definiertem Metallgehalt

## 1.1 Beschreibung relevanter Stoffströme, Wertschöpfungsketten und Anwendungskontexte

### Stoffströme und Anwendungskontexte

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

#### 1. Eisen- und Stahlindustrie

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

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

Bei der Stahlproduktion über die BOF-Route wurden 2019 ca. 4,9 Millionen Tonnen und über die EAF-Route ca. 12,4 Millionen Tonnen Schrott eingesetzt (WV STAHL 2022c). Wie in Tabelle 1 dargestellt haben sich diese 17,3 Millionen Tonnen leicht auf 17,4 Millionen Tonnen im Jahr 2021 erhöht (WV STAHL 2022b). In der Eisen- und Stahlindustrie werden Alt-, Eigen- und Neuschrott eingesetzt. Die unterschiedlichen Schrottsorten sind in der europäischen Schrottsortenliste definiert. In Deutschland ist die Sorte 2, der schwere Stahlneuschrott die sogenannte Referenzsorte und für diese Sorte sind zum Beispiel als Höchstabmessungen 1,50 x 0,50 x 0,50 Meter und mindestens 3 Millimeter Stärke festgelegt.

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

## 2. Eisengießerei-Industrie

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

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

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

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

## 3. Produktion von legiertem Edelstahl

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

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

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

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

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

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

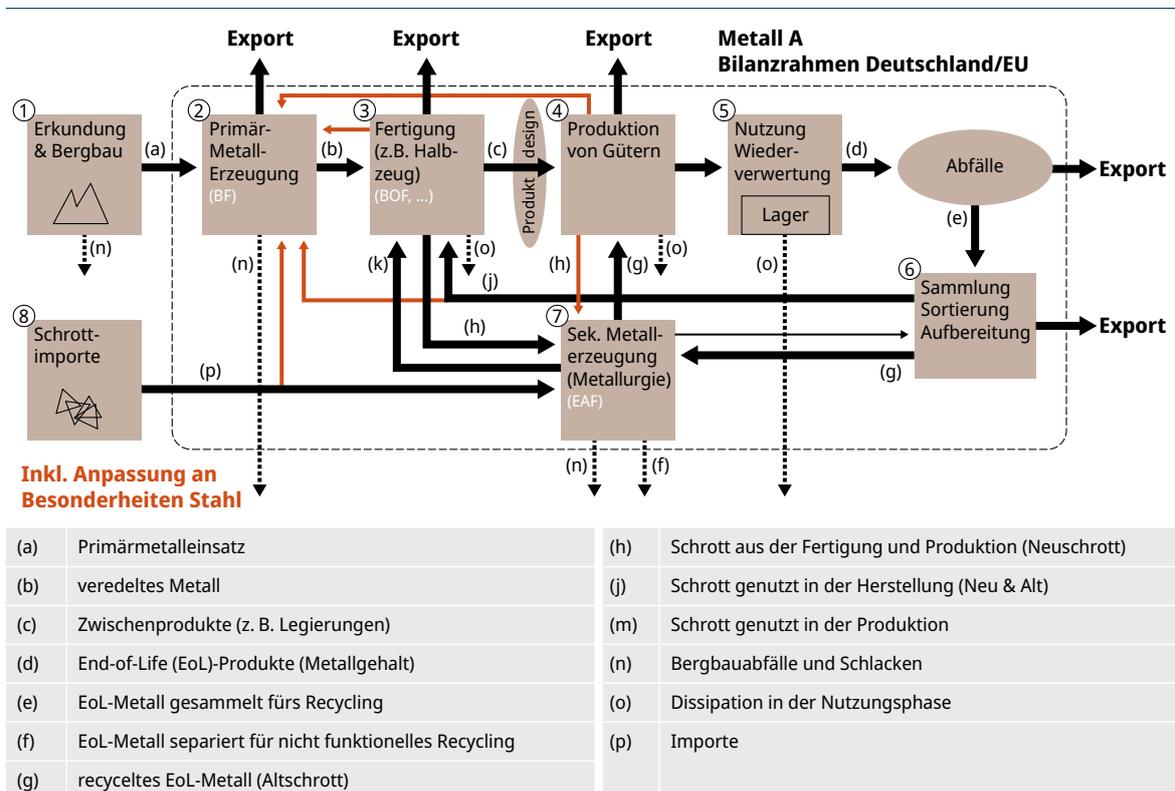


Abb. 1: Referenzgrafik Stoffstrom Eisen und Stahl in Anlehnung an UNEP (2011)

größer/gröber Schrotte sind, desto einfacher ist gegebenenfalls die Identifikation der Stahlar-ten beziehungsweise sogar der Zusammensetzungen. Werden dagegen Späne oder Schleif-schlämme nicht sortenrein erfasst, sind deren genauen Zusammensetzungen ohne Schmelz-versuche und Analysen kaum zu bestimmen. Dennoch sind Metallspäne aus Stahl ein stahl-werksfähiger Rohstoff und machen nach Aus-sage der Schrottwirtschaft immerhin 10 % der zugekauften Eisen- und Stahlschrottsorten aus.

Das gilt auch für die sogenannten Weichschrot-te (4). Dabei handelt es sich in der Regel um Bearbeitungsrückstände, die durch Schleifen, Honen, Läppen, Erodieren sowie eine allge-meine spanende Bearbeitung mit einem ho-hen Feinanteil (< 100 µm) in der Regel in Form von ölhaltigen beziehungsweise mit anderen Kühlschmierstoffen belasteten Schlämmen an-fallen. Von dieser Art von Schlämmen fallen in Deutschland 150.000 – 200.000 Tonnen im Jahr an. Aufgrund der Gehalte an teuren Legierungselementen spielen hier HSS-Schlämme, die bei der Bearbeitung von Hochleistungsschnellar-beitsstahl (High-Speed Steel) anfallen, eine be-sondere Rolle, da sie bis zu 30 % an Legierungselementen wie Wolfram, Molybdän, Chrom, Vanadium, Kobalt und Titan aufweisen können. Aufgrund der hohen Gehalte an Wolframcar-bid (80 – 95 %) und Kobalt (5 – 20 %) kommt den Schlämmen aus der Bearbeitung von Hartmet-all ebenfalls eine ganz besondere Bedeutung zu. Im Rahmen des Recyclings muss aber bei allen Bearbeitungsschlämmen das Problem gelöst werden, das anhaftende Öl nach unter-schiedlichen Verfahren zu entfernen.

Ergänzend zu den Schrotten sind noch metall-haltige Filterstäube (3) mit höheren Eisengehal-ten zu erwähnen. Bei der Stahlproduktion über die BF/BOF-Route fallen im Stahlwerk 17 – 20 Kilogramm/Tonne Filterstaub (ca. 500.000 Ton-nen in 2019) an, von denen ca. ¼ auf Grobstaub und ¾ auf Feinstaub entfallen. Der Grobstaub ist überwiegend metallisch und kann als Pro-duktionsrücklauf in den eigenen Unternehmen verarbeitet werden. Im Feinstaub liegt das Eisen in oxidiert Form (ca. 50 – 60 % Fe-Gehalt) vor

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

### **Rolle des Recyclings im Bereich Eisen und Stahl**

Für die weltweite Stahlproduktion von der-zeit 1.869 Millionen Tonnen/Jahr werden etwa 630 Millionen Tonnen Schrott eingesetzt (2019) (BIR 2020). Der Green Deal, die Transformation sowie die günstigen Eigenschaften von Stahl-schrott (Multi-Recycling-Fähigkeit, geringere CO<sub>2</sub>-Last, geringerer Verbrauch natürlicher Res-sourcen) rücken eine intensivere Verwendung von Stahlschrott in den Blickpunkt.

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

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

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

ren Beitrag zur deutschen Klimabilanz und zur Metallversorgung des Wirtschaftsstandorts Deutschland liefern sowie für eine größere Unabhängigkeit von Lieferländern sorgen. Entsprechend einer Studie der Boston Consulting Group im Auftrag des BDI könnte die erhöhte Substitution von Primärstahl durch Sekundärstahl in Höhe von plus 3 Millionen Tonnen im Jahr 2030 beziehungsweise plus 5 Millionen Tonnen bis 2045 (entsprechende Schrottverfügbarkeit vorausgesetzt) helfen Treibhausgase in Höhe von rund 5 Millionen Tonnen (2030) beziehungsweise 9 Millionen Tonnen (2045) CO<sub>2</sub>-Äquivalente zu vermeiden (BOSTON CONSULTING GROUP 2021).

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

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

## 1.2 Barrieren im Recycling

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

### Regulatorik

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

## Regulatorik

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

### Anreize und Förderung

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

### Infrastruktur und Logistik

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

## Infrastruktur und Logistik

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

## Daten und Digitalisierung

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

## Technologien und Prozesse

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

### Technologien und Prozesse

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

## Technologien und Prozesse

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

## 1.3 Handlungsoptionen

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

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

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

## Überblick der Enabler

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

## Regulatorik

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

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

#### **Enabler #1**

##### **Entwicklung einer nachhaltigen europäischen Rohstoffstrategie**

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

#### **Enabler #2**

##### **Fortbestand der Möglichkeit, Schrott außerhalb der Europäischen Union zu exportieren**

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

#### **Enabler #3**

##### **Vereinheitlichung der Rechtsinterpretationen im Abfallrecht in den Bundesländern**

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

#### **Enabler #4**

##### **Verordnungen müssen zielgerichteter werden und technische Fragen müssen im Vordergrund stehen**

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

#### **Enabler #5**

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

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

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

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

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

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

Energie- und Ressourceneffizienz, Wiederaufarbeitung und Recycling, CO<sub>2</sub>- und Umweltfußabdruck, Informationspflichten und digitalen Produktpass sowie gezielte Fördermaßnahmen.

### Infrastruktur und Logistik

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

### Enabler #6

#### Stärkung der Bahn im Güterverkehr

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

Probleme werden auch in den auf absehbare Zeit fehlenden Infrastrukturen für die CO<sub>2</sub>-freie Energieerzeugung auf der Basis erneuerbarer Energien gesehen, die für die Transformation der Stahlindustrie (zum Beispiel Strom und Wasserstoff) benötigt werden. Es wird auch kritisiert, dass aufgrund der politisch-rechtlichen Rahmenbedingungen Infrastrukturen für Behandlung/Trennung/Aufbereitung von Schrott

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

#### **Daten und Digitalisierung**

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

#### **Technologien und Prozesse**

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

#### **Enabler #7**

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

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

#### **Enabler #8**

##### **Intensivere Sortierung von Schrott an den Anfallstellen**

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

#### **Anreize und Förderung**

#### **Enabler #9**

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

Die Datenverfügbarkeit und Kenntnis über Mengen und Legierungszusammensetzungen

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

## 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 aufgeführten Themen stellen damit die (subjektiven) Sichtweisen der Teilnehmenden dar. Zielkonflikte, bei denen zwei oder mehrere der oben genannten Aspekte im Widerspruch zueinander stehen, wurden (sofern vorhanden) herausgearbeitet und separat aufgeführt.

### Enabler #1

#### Entwicklung einer nachhaltigen europäischen Rohstoffstrategie

##### ✔ *Machbarkeit*

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

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

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

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

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

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

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

#### ⊗ Zielkonflikte

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

#### Enabler #2

##### Fortbestand der Möglichkeit, Schrott außerhalb der Europäischen Union zu exportieren

#### ✔ Machbarkeit

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

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

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

- Bei Schrottexporten in Nicht-EU-Länder muss die Gefahr der Weiterverarbeitung mit geringen Umweltstandards minimiert werden. Ohne entsprechende Auflagen und Kontrollen bei der Weiterverarbeitung /Abfallbehandlung ist die Gefahr einer Weiterverarbeitung mit sehr geringen Umweltstandards ausgesprochen groß, wobei sich allerdings eine Kontrolle in Nicht-EU-Ländern als schwierig herausstellen kann.
  - Für den Export ist im Wesentlichen der Preis die entscheidende Größe und der wird in anderen Regionen der Welt und nicht in Deutschland entschieden.
- ⊗ *Zielkonflikte*
- Bei möglichen Exportbeschränkungen oder -verboten von Schrotten bestehen nur noch eingeschränkte Möglichkeiten, auf konjunkturelle und strukturelle Änderungen der globalen Märkte reagieren zu können.
  - Durch Exportbeschränkungen von zum Beispiel legierten Schrotten (höhere Vanadium-, Wolfram-, Nickelgehalte und so weiter) in der Europäischen Union müssten unter Umständen in anderen Ländern verstärkt primäre Rohstoffe eingesetzt werden.

#### **Enabler #3**

##### **Vereinheitlichung der Rechtsinterpretationen im Abfallrecht in den Bundesländern**

###### ✔ *Machbarkeit*

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

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

- Da in den Bundesländern sehr viel Interpretationsmöglichkeiten auch auf kommunaler Ebene im Abfallbereich existieren, ist eine Harmonisierung kaum möglich. Es könnte sinnvoll sein, eine bundesweit einheitliche Interpretation über Empfehlungen des Bundes zu erreichen.
- Rechtliche Grundlagen, insbesondere hinsichtlich der Einstufung als gefährlich/nicht-gefährlich sind weitgehend ausreichend vorhanden. Es ist zu klären, ob eine weitere Unterscheidung in behandelte/nicht-behandelte Abfallströme Vorteile erbringt.
- Interpretationsmöglichkeiten für Bundesländer sind zu groß: Trotz extrem dezidierter nationaler Verordnungen wird in den einzelnen Bundesländern sehr unterschiedlich interpretiert. Eine Lösung dieser Problematik würde einen fairen Wettbewerb fördern.
- Im Wesentlichen kommt es aufgrund des föderalen Systems in Deutschland hier auf die Bereitschaft der Bundesländer zur Zusammenarbeit und zu einheitlichen Rechtsinterpretationen an. Insbesondere der LAGA kommt hierbei eine besondere Aufgabe zu.

###### ⊗ *Zielkonflikte*

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

#### **Enabler #4**

##### **Verordnungen müssen zielgerichteter werden und technische Fragen müssen im Vordergrund stehen**

###### ✔ *Machbarkeit*

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

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

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

- Es existieren eingeschränkte nationale Einflussmöglichkeiten auf die EU-Gesetzgebung.
  - Es wäre notwendig, der Gefährdungsbeurteilung im Abfallrecht gegenüber den Einstufungen im Stoffrecht Vorrang für das Recycling einzuräumen. Es geht nicht darum, Menschen oder die Umwelt zu gefährden, aber der Stoff an sich muss hinsichtlich seiner Gefährdung für Mensch und Umwelt im Aufbereitungsprozess betrachtet werden und diese Auswirkungen sind zu beurteilen (explizite Risikobetrachtung). Die rechtlichen Rahmenbedingungen müssten den Recyclingprozessen eine entsprechende Flexibilität einräumen.
  - Es stehen sich scheinbar unvereinbare Positionen unter dem Aspekt des Arbeits- und Umweltschutzes auf der einen Seite und des Recyclings von Wertstoffen auf der anderen Seite gegenüber. Die Wechselwirkungen zwischen Stoffrecht und Abfallrecht, infolge der Annahme maximal vorstellbarer Gefahrenpotenziale, die von einem Stoff ausgehen können, die zwar eine einfachere rechtliche Behandlung möglich machen, führen aber unter Umständen zu technisch nicht einhaltbaren Grenzwerten und Stoffverboten, sodass ein Recycling (zum Beispiel Kobalt, Blei) behindert oder unter Umständen sogar verhindert wird. Hier findet eine Stigmatisierung von bestimmten Werkstoffen und deren Recycling statt, selbst wenn potenziell toxische Elemente in Legierungen gebunden sind, sodass unter diesen Bedingungen von ihnen keine Gefahren ausgehen. Hier ist eine faktenbasierte Kommunikation ganz besonders wichtig.
  - Zum Teil fehlen aber noch entsprechende Methoden (Bioverfügbarkeit) zur Gefährdungsbeurteilung beziehungsweise diese sind in der Europäischen Union noch nicht zur Toxizitätsbeurteilung zugelassen.
  - Die Herausforderung besteht im Wesentlichen in der Komplexität der möglichen Wechselwirkungen von Maßnahmen mit anderen Wirkungsbereichen und den Auswirkungen in diesen Bereichen. Entsprechend können mit einer Maßnahme nicht immer alle ökologischen beziehungsweise sozio-ökonomischen Zielansprüche gleichermaßen bedient werden. Im Extremfall kann es sogar vorkommen, dass negative Effekte auftreten und nach Abwägung aller Vor- und Nachteile in Kauf genommen werden müssen.
  - Ein nachhaltiges Recycling funktioniert nur dann, wenn die Wirtschaftlichkeit der Prozesse gegeben ist, das heißt, es müssen Produkte aus diesen Prozessen entstehen, die zu akzeptablen Preisen verkauft werden können. Staatliche Investitionsfördermaßnahmen für Aufbereitungs- und Recyclinganlagen können bei der Einführung einer neuen Technologie helfen, aber auf Dauer müssen die Prozesse aus sich heraus wirtschaftlich sein.
- ⊗ *Zielkonflikte*
- Es wäre notwendig, der Gefährdungsbeurteilung im Abfallrecht gegenüber den Einstufungen im Stoffrecht Vorrang für das Recycling einzuräumen.
  - Wechselwirkungen zwischen Stoffrecht und Abfallrecht, infolge der Annahme maximal vorstellbarer Gefahrenpotenziale, die von einem Stoff ausgehen können, führen aber unter Umständen zu technisch nicht einhaltbaren Grenzwerten und Stoffverboten, sodass ein Recycling (zum Beispiel Kobalt, Blei) behindert oder unter Umständen sogar verhindert wird.
  - Aufgrund der Komplexität der möglichen Wechselwirkungen von Maßnahmen mit

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

#### Enabler #5

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

##### ✔ *Machbarkeit*

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

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

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

sionsschutz) sind notwendig, müssten aber beschleunigt durchgeführt werden.

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

##### ✘ *Zielkonflikte*

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

#### Enabler #6

**Stärkung der Bahn im Güterverkehr**

##### ✔ *Machbarkeit*

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

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

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

- Grundsätzlich ist der Ausbau der Bahnlogistik rechtlich machbar, aber er wird aufgrund des enormen Investitionsstaus in der Umsetzung sehr lange dauern. Umweltverträglichkeitsprüfungen verlängern den Prozess zusätzlich. Es müssen verkehrspolitische Weichen gestellt werden, die dem notwendigen Ausbau des Schienen- und Wasserstraßennetzes, den maroden Autobahnbrücken und dem sich abzeichnenden Mangel an Lkw-Fahrenden gerecht werden.
  - Die rechtliche Priorisierung der Bahn verhindert innovative technologie-offene alternative Transportkonzepte auf der Straße. Der Aufwand für eventuelle Genehmigungsverfahren ist nicht einzuschätzen und unter der hohen Inflation sind die Kosten nur noch bedingt zu kalkulieren.
  - Die Bereitschaft zur Nutzung der Bahn ist für den Transport großer Schrottmengen auf Seiten der Schrottlieferanten, der Metall- und Stahlrecyclingunternehmen sowie auf Seiten der Kunden gegeben. Soll der Bahnverkehr verstärkt für die Recyclingrohstoffe genutzt werden, sind entsprechende logistische Möglichkeiten (besser ausgebautes Schienennetz, genügend zur Verfügung stehende Wagons, dezentrale und schnelle Reparaturmöglichkeiten und so weiter) notwendig. So lange hier Probleme nicht gelöst sind, wird die Variante Straße immer weiter bevorzugt genutzt werden, weil sie flexibel ist.
  - Es bedarf einer Kampagne, um der Politik und der Öffentlichkeit zu zeigen, dass es bei der Bahn um mehr als nur die Pünktlichkeit von Personenzügen geht. Vor allem gibt es ökologische und ökonomische Vorteile, wenn diese professionell und konsequent umgesetzt werden.
  - Es muss in Politik und Gesellschaft kommuniziert werden, dass ohne eine entsprechend nachhaltige, vor allem aber auch funktionierende und von der Kapazität her passende Logistik im großen Feld von Eisen und Stahl gar nichts gehen wird. Der funktionierende Güterverkehr ist daher eine *conditio sine qua non* für alle anderen Maßnahmen im Bereich der Logistik.
  - Fehlende Anbindung: Nicht für jedes Unternehmen ist eine wirtschaftliche Bahnanbindung möglich.
  - Neben dem Personalmangel, der durch den Renteneintritt der Babyboomer-Generation in den nächsten Jahren drastisch verstärkt wird, sind die Preiserhöhungen von DB Cargo von bis zu 45 % (LEBEDEW & SCHLESINGER 2022) ein großes Problem, um die Transportlogistik effizienter und klimafreundlich zu gestalten.
- ⊗ **Zielkonflikte**
- Es werden ein stringentes, strategisches und operatives Management benötigt, um die Probleme der Bahn – infolge der Versäumnisse in den letzten Jahrzehnten – in der Zukunft effektiv und effizient lösen zu können.
  - Umweltverträglichkeitsprüfungen können Genehmigungen verzögern.
  - Da absehbar ist, dass der Ausbau der Transportlogistik der Bahn sehr viel Zeit in Anspruch nehmen wird, müssen parallel die logistischen Bedingungen für den Lkw-Transport verbessert werden.

### Enabler #7

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

##### ✔ *Machbarkeit*

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

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

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

- Es bedarf der Flexibilität der Prozesse zur Bereitstellung im Markt nachgefragter Qualitäten an Recyclingrohstoffen. Hier ist darauf zu achten, dass die Prozesse so flexibel gestaltet werden, dass sie nicht in die Abhängigkeit eines bestimmten Produktes geraten. Wenn ein Recyclingmaterial ausschließlich nur in einem bestimmten Produkt eingesetzt werden kann und dieses Produkt im Markt keinen Bestand mehr hat, ist das Recyclingziel irrelevant. Die Wiederverwendung ist nicht selten mit Refurbishment verbunden. Hierfür sind in der Regel entsprechende personelle Ressourcen erforderlich, die vor dem Hintergrund eines Fachkräftemangels nicht immer zur Verfügung stehen.
- Im Bereich des Neuschrotts wären Initiativen an den Schrottentfallstellen sowie Vereinbarungen zwischen diesen und dem jeweiligen Schrotthandel die Basis für eine bessere, sortenreinere Schrottsortierung.
- Das Sortieren an den Entfallstellen ist oftmals an die örtlichen Gegebenheiten gebunden und organisatorisch sowie technisch nicht einfach zu ändern.
- Könnten die entstehenden Kosten durch höhere Erlöse für den sortierten Schrott überkompensiert werden, wäre damit die Wirtschaftlichkeit gegeben.

#### ⊗ Zielkonflikte

- Derzeit sind neue Produkte in nicht wenigen Fällen kostengünstiger als gebrauchte Produkte.
- Normung unterstützt und behindert die Wiederverwendung: Die Wiederverwendung gebrauchter Produkte, wie zum Beispiel Stahlträger im Baubereich, kann aktuell durch Normen verhindert werden.

### Enabler #8

#### Intensivere Sortierung von Schrott an den Anfallstellen

#### ✓ Machbarkeit

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

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

- Durch ein Getrennthaltungsgebot von Metall- und Stahlschrott von sonstigen zum Beispiel mineralischen Abfallstoffen könnte sich im Bereich des Altschrotts an den Anfallstellen das Problem in gewissen Grenzen lösen lassen.

- Neben Investitionen müssten die Mitarbeitenden durch entsprechende Schulungen für die Aufgabe sensibilisiert werden.
- Einer Getrennthaltung beim Altschrott sind technische Grenzen gesetzt und eine vorgeschriebene Getrennthaltung, die nicht zu einer entsprechenden Verbesserung des Recyclings führt, ergibt keinen Sinn und sollte nicht gefordert werden.
- Das Betreiben von Aufbereitungsanlagen ist für die meisten Produzenten sehr kapital- und platzintensiv und benötigt entsprechend ausgebildete Arbeitskräfte, sodass die Maßnahmen zum Grad der Getrennthaltung unter diesen Aspekten hinsichtlich der sozioökonomischen Machbarkeit bewertet werden müssen. Es muss eine Vorabbeurteilung möglich sein, was machbar und unter Abwägung der ökonomischen und ökologischen Zielkonflikte nicht machbar ist.

#### ⊗ Zielkonflikte

- Der Investitionsaufwand für die Neugestaltung des Schrottanfalls beim Neuschrott kann in einer bestehenden Anlagenkonstruktion zu hoch sein.
- Der erhöhte Sortieraufwand ist nicht wirtschaftlich darstellbar.

### Enabler #9

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

##### ✔ *Machbarkeit*

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

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

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

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

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

##### ✘ *Zielkonflikte*

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

## 1.5 Nächste Schritte

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

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

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

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

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

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

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

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

## 2. Literaturverzeichnis

BDGUSS – BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN GIESSEREI-INDUSTRIE E. V. (2023): Branche in Zahlen. – URL: <https://www.guss.de/organisation/bdg/branche> (Stand: 09.05.2023).

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.; Mähltitz, 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](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/rohsit-2021.pdf;jsessionid=18CA0A8C058B67D137450B07C6E6AD25.internet002?__blob=publicationFile&v=4) (Stand: 24.03.2023).

BIR – BUREAU OF INTERNATIONAL RECYCLING (2020): WORLD STEEL RECYCLING IN FIGURES 2015 – 2019. – URL: <https://bir.org/publications/facts-figures/download/643/175/36?method=view> (Stand: 18.10.2022).

BOSTON CONSULTING GROUP (2021): KLIMAPFADE 2.0. – URL: <https://web-assets.bcg.com/58/57/2042392542079ff8c9ee2cb74278/klimapfade-study-german.pdf> (Stand: 17.08.2023).

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).

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2009). Ökodesign-Richtlinie: Richtlinie zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02009L0125-20121204&from=DE> (Stand: 20.03.2023).

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2019): Green Deal. – URL: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_de](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de) (Stand: 20.03.2023).

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2020a): Circular Economy Action Plan (CEAP). – URL: [https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan\\_en](https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en) (Stand: 13.03.2023).

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2020b): Initiative für nachhaltige Produkte (Sustainable Product Initiative). – URL: [https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12567-Initiative-fur-nachhaltige-Produkte\\_de](https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12567-Initiative-fur-nachhaltige-Produkte_de) (Stand: 20.03.2023).

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2021): Null-Schadstoff-Aktionsplan. – URL: [https://environment.ec.europa.eu/strategy/zero-pollution-action-plan\\_de](https://environment.ec.europa.eu/strategy/zero-pollution-action-plan_de) (Stand: 13.03.2023).

ISSF – INTERNATIONAL STAINLESS STEEL FORUM (2019): Stainless Steel in Figures 2019. – URL: [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF\\_Stainless\\_Steel\\_in\\_Figures\\_2019\\_English\\_public\\_version.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_in_Figures_2019_English_public_version.pdf) (Stand: 20.10.2022).

LEBEDEW, A. & SCHLESINGER, C. (25.11.2022): Preisschock auf der Schiene: Wie die Energiekrise den Güterbahnen schadet. WirtschaftsWoche. – URL: <https://www.wiwo.de/unternehmen/dienstleister/gueterbahnen-erhoehen-die-preise-preisschock-auf-der-schiene-wie-die-energiekrise-den-gueterbahnen-schadet/28828168.html> (Stand: 09.05.2023).

PAULIUK, S., MILFORD, R. L., MÜLLER, D. B. & ALLWOOD, J. M. (2013): The steel scrap age. Environmental Science & Technology. Heftnr. 7. doi: 10.1021/es303149z.

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).

UNIVERSITY OF CAMBRIDGE (2018): Future Global Steel Recycling. – URL: <http://www.eng.cam.ac.uk/news/future-global-steel-recycling> (Stand: 09.05.2023).

WV STAHL – WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL (2022a): Stahlschrott-Außenhandel, Statistischer Bericht 2022. – URL: [https://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/2022\\_Statistischer-Bericht-Stahlschrott-Aussenhandel.pdf](https://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/2022_Statistischer-Bericht-Stahlschrott-Aussenhandel.pdf) (Stand: 20.10.2022).

WV STAHL – WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL (2022b): Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie 2021|2022. – URL: <https://www.stahl-online.de/publikationen/statistisches-jahrbuch-der-stahlindustrie/> (Stand: 20.10.2022).

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

[dera@bgr.de](mailto:dera@bgr.de)

