

Edelstahl

Factsheet

Erarbeitet im Projekt „Kartierung des Anthropogenen Lagers III – Etablierung eines Stoffstrommanagements unter Integration von Verwertungsketten zur qualitativen und quantitativen Steigerung des Recyclings von Metallen und mineralischen Baustoffen“

(FKZ 3716 35 3230)

Das Projekt wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeführt und über den Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, und Reaktorsicherheit mit Bundesmitteln finanziert

1 Übersicht

Stahl ist ein Werkstoff, der zum größten Teil aus Eisen besteht. Unter Edelstahl wird ein Stahlwerkstoff verstanden, der einen besonders hohen Reinheitsgrad aufweist, da durch besondere Herstellungsprozesse Bestandteile wie Aluminium, Silizium oder Begleitelemente wie Schwefel oder Phosphat aus der Schmelze ausgeschieden werden. Anders als im Alltagsgebrauch des Wortes suggeriert, ist Edelstahl nicht per se korrosionsbeständig (nichtrostend)¹.

Im Fokus dieser Betrachtung stehen rostfreie Stähle, die einen Anteil von 10,5 – 13 % des Legierungselementes Chrom (Cr) enthalten. Weitere wichtige Legierungselemente sind Nickel (Ni), Molybdän (Mo) und Mangan (Mn). Die relevantesten Edelstähle sind CrNi-Stähle (300er/austenitisch), CrMn-Stähle (200er/austenitisch) und Cr-Stähle (400er/ferritisch). CrNi Stähle haben mit 53,2 % den größten Anteil an der weltweiten Produktion von rostfreiem Edelstahl, gefolgt von Cr-Stählen mit 25 % und CrMn-Stählen mit 20,4 %². Aufgrund der hohen Relevanz von CrNi und Cr-Stählen liegt hierauf der weitere Fokus in der Darstellung.

Der Hauptrohstoff für Stahl ist Eisenoxid, welches im Hochofen mit Koks zu Roheisen umgesetzt wird. Im Stahlwerk wird es zu Stahl umgewandelt. Stahl wird mit den jeweiligen Legierungselementen versetzt um Edelstahl zu erzeugen.

2 Mengenströme und Anwendungen

2.1 Produktion

Die Herstellung von Edelstahl in Deutschland war in den zurückliegenden Jahren rückläufig und betrug im Jahr 2015 7,5 Millionen Tonnen³. Die Produktion an Edelstahl rostfrei belief sich unterdessen auf lediglich 459.000 t⁴. In der Edelstahlproduktion (in D) wurden im Jahr 2014 rund 162.000 Tonnen Chrom und 71.000 Tonnen Nickel verwendet⁵. Ferrochrom und Ferromangan wird in geringer Menge noch in Deutschland hergestellt. Ansonsten wird der Bedarf an Legierungselementen nahezu vollständig über Importe gedeckt.

In Deutschland gibt es acht integrierte Hüttenwerke, welche Stahl primär aus Eisenerz (Import 2015 rund 42 Mio. Tonnen) erzeugen und 18 Elektrostahlwerke, welche Stahl vor allem aus Schrott erzeugen⁶.

Die Wirtschaftsvereinigung Stahl⁷ vertritt die Interessen der Industrie entlang der Wertschöpfungskette des Stahls.

1 Innerhalb der Stahlgruppennummern für Edelstähle nach DIN EN 10027-2 finden sich auch unlegierte, hochreine Stähle, die nicht korrosionsbeständig sind.

2 Team Stainless (2013): Recycling Ferritic Stainless Steel. URL: [http://www.worldstainless.org/Files/ISSF/non-image-files/PDF/Team Stainless Recycling Ferritic Stainless Steel.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/ISSF/non-image-files/PDF/Team%20Stainless%20Recycling%20Ferritic%20Stainless%20Steel.pdf) (zuletzt abgerufen am 25.10.2017).

3 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2016): Deutschland - Rohstoffsituation 2015. URL: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/Rohsit-2015.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (zuletzt abgerufen am 25.07.2018).

4 Deike, R. (Institut für Technologien der Metalle), persönliche Mitteilung v. 05.12.2018

5 Umweltbundesamt (2017): Ressourcenschonung durch eine stoffstromorientierte Sekundärrohstoffwirtschaft, Dessau 2017.

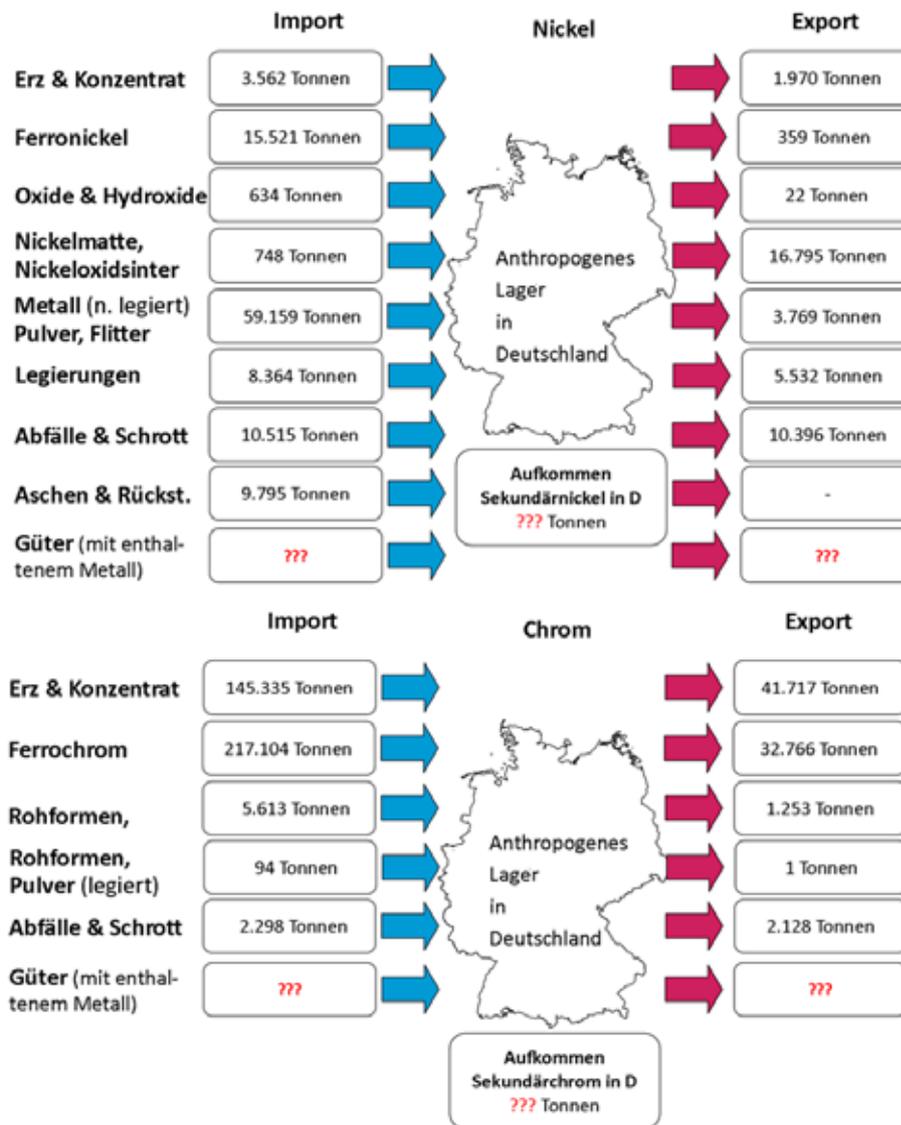
6 Wirtschaftsvereinigung Stahl e.V. (2018): Die bedeutendsten Standorte der Stahlerzeugung in Deutschland. URL: <https://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/2013/08/Die-bedeutendsten-Standorte-in-Deutschland-768x576.png> (zuletzt abgerufen am 25.07.2018).

7 Wirtschaftsvereinigung Stahl e.V. URL: <https://www.stahl-online.de/> (zuletzt abgerufen am 25.07.2018).

2.2 Im-/Export

In Abbildung 1 sind die Im- und Exportströme 2015 für die Legierungselemente Nickel und Chrom, ihre Vorprodukte sowie Schrotte und Aschen dargestellt.

Abbildung 1: Im- und Export von nickel- und chromhaltigen Stoffen in 2015



Quelle: Öko-Institut e.V. nach BGR 2017⁸

Die Grafik lässt sich wie folgt zusammenfassen:

Nickel:

- ▶ Rohstoffe è Nettoexport 15.000 t
- ▶ Metalle è Nettoimport 75.000 t
- ▶ Schrotte und Aschen è Nettoimport 10.000 t

⁸ Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2017): Deutschland - Rohstoffsituation 2016. URL: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/rohsit-2016.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (zuletzt abgerufen am 25.07.2018).

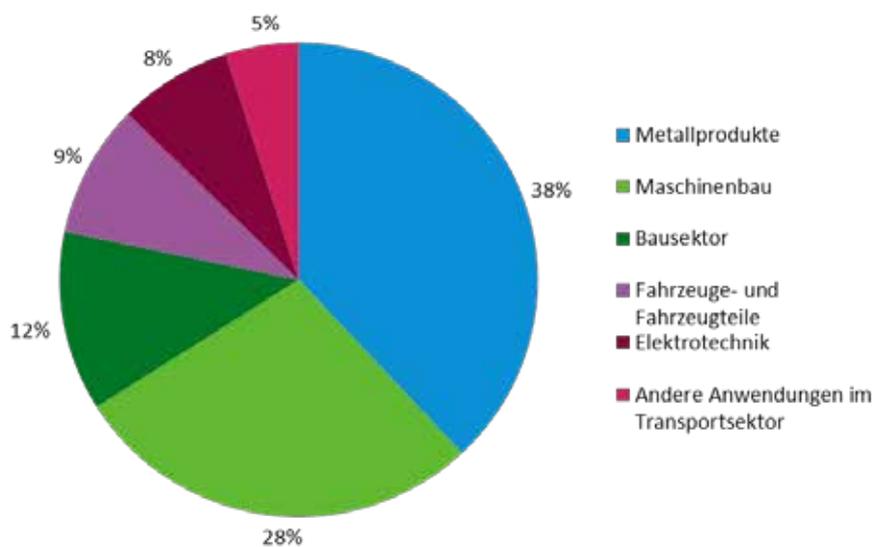
Chrom:

- ▶ Rohstoffe è Nettoimport 105.000 t
- ▶ Metalle è Nettoimport 185.000 t
- ▶ Schrotte und Aschen è ausgeglichene Handelsbilanz

2.3 Anwendung

Die Angaben zu den Sektoren, in denen Edelstähle (weltweit) zum Einsatz kommen, sehen für 2016 die Verteilung nach Abbildung 2 vor.

Abbildung 2: Verwendung von Edelstahl nach Wirtschaftssektoren (weltweit)



Quelle: Öko-Institut e.V. nach ISSF 2017⁹

Diese Verteilung gibt aus Sicht der Edelstahlhersteller einen Ausblick, welche Produkte seine Abnehmer aus dem gelieferten Edelstahl produzieren. Eine detailliertere Darstellung zu den Hauptverwendungsgebieten von Edelstahl weltweit findet sich in Leffler 1998¹⁰ (

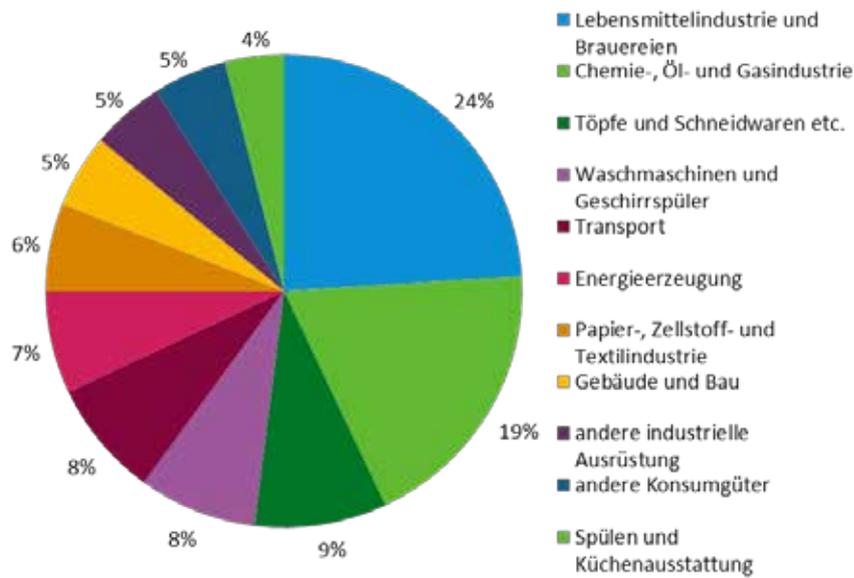
⁹ International Stainless Steel Forum - ISSF (2017): Stainless Steel in Figures 2017. URL: [http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF Stainless Steel in Figures 2017 English Public.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF%20Stainless%20Steel%20in%20Figures%202017%20English%20Public.pdf) (zuletzt abgerufen am 25.10.2017).

Abbildung 3). Die Abbildung zeigt, dass Edelstahlprodukte zu 26 % an Endkonsumenten gehen und zu 74 % als Industrieequipment eingesetzt werden.

In Abbildung 4 sind der Kreislauf des Edelstahls und die im Projekt Kartierung des Anthropogenen Lagers III betrachteten Produktgruppen illustriert. Bei der Quantifizierung werden nur Anwendungen betrachtet, welche zu einem anwachsenden Lager führen, d. h. Produktionsabfälle oder kurzlebige Produkte (Lebensdauer von unter einem Jahr) werden nicht betrachtet.

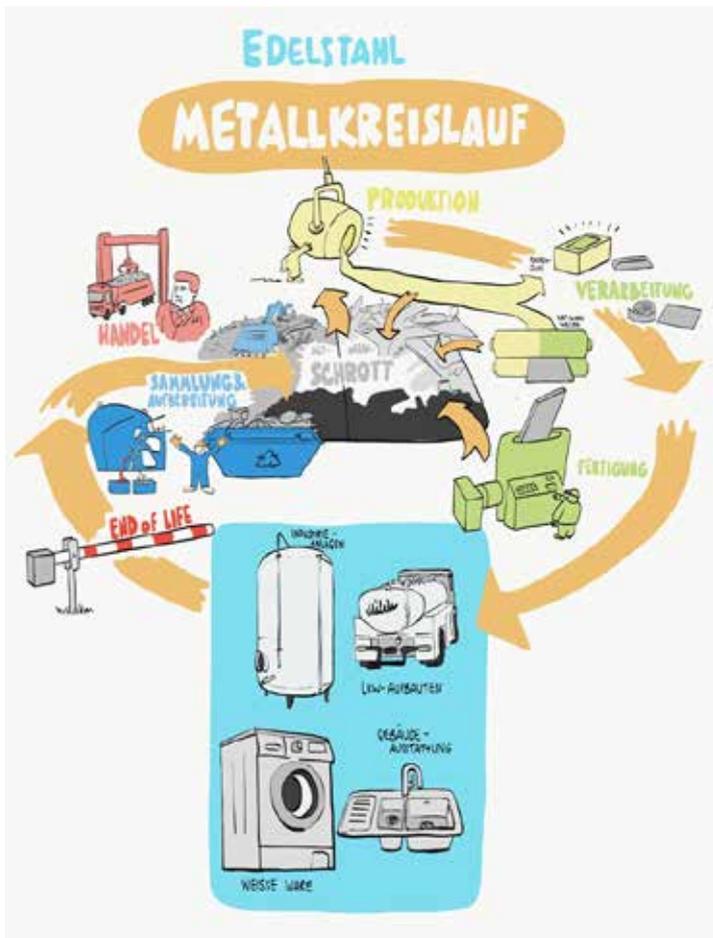
Trends: In der Zukunft kann der vermehrte Einsatz von Geothermie zu einem höheren Bedarf an Edelstahl führen. Ebenso können die stoffpolitischen Entwicklungen des Messings zu einem vermehrten Einsatz von Edelstahl in Armaturen führen.

Abbildung 3: Hauptverwendungsgebiete des Edelstahl



Quelle: Öko-Institut e.V. nach Leffler 1998¹⁰

Abbildung 4: Kreislauf des Edelstahl



Quelle: Freymüller/123comics im Auftrag von Öko-Institut e.V.

10 Leffler, B. (1998): Stainless Steel: Stainless Steels and their Properties, 2nd ed. ISBN 91-9720-216-9.

3 Relevante rechtliche Regelungen

Luft: Nach der vierten Bundesimmissionsschutzverordnung (4. BImSchV) ist für Anlagen zur Herstellung oder zum Erschmelzen von Roheisen und zur Weiterverarbeitung zu Rohstahl (in integrierten Hüttenwerken) unabhängig von der Schmelzkapazität (Anhang 1 Nr. 3.2.1.1 und 3.2.1.2) bzw. zur Herstellung von Stahl, einschließlich Stranggießen und dem Einsatz von Konzentraten und Sekundärrohstoffen mit einer Schmelzkapazität von 2,5 t pro Stunde (Anhang 1 Nr. 3.2.2.1) sowie für Eisen-, Temper- oder Stahlgießereien mit einer Verarbeitungskapazität an Flüssigmetall von 20 t oder mehr am Tag (Anhang 1 Nr. 3.7.1) ein Genehmigungsverfahren gemäß § 10 BImSchG (mit Öffentlichkeitsbeteiligung) vorgeschrieben. Für Anlagen mit weniger als 2,5 t Durchsatz pro Stunde (Anhang 1 Nr. 3.2.1.2) bzw. 2 t bis weniger als 20 t Durchsatz am Tag (Anhang 1 Nr. 3.7.2) ist ein vereinfachtes Verfahren gemäß § 19 BImSchG (ohne Öffentlichkeitsbeteiligung) vorgeschrieben.

Nach dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) ist für Errichtung und Betrieb eines integrierten Hüttenwerkes (Anlage 1 Nr. 3.2) eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchzuführen. Für Errichtung und Betrieb einer Anlage zur Herstellung oder zum Erschmelzen von Roheisen oder Stahl einschließlich Stranggießen und dem Einsatz von Konzentraten und Sekundärrohstoffen mit einer Schmelzkapazität von 2,5 t Roheisen/Stahl oder mehr pro Stunde (Anlage 1 Nr. 3.3.1) muss eine allgemeine Vorprüfung des Einzelfalls durchgeführt werden. Bei weniger als 2,5 t Stahl pro Stunde (Anlage 1 Nr. 3.3.2) genügt eine standortbezogene Vorprüfung des Einzelfalls.

Abwasser: Die Nutzung von Gewässern, wie zum Beispiel die Entnahme von Wasser aus Gewässern oder das Einleiten von Stoffen in Gewässer, sind im Wasserhaushaltsgesetz (WHG) geregelt. Die Abwasserverordnung (AbwV) beinhaltet Vorschriften für die Vermeidung, die Messung und die Einleitung von Abwasser in Gewässer. In Anhang 24 bzw. 29 der AbwV sind spezielle Anforderungen für Abwasser aus der Eisen-, Stahl- und Tempergießerei bzw. Eisen- und Stahlerzeugung festgelegt.

Abfall: Die Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen wird im Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) geregelt. Das Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) regelt die Verwertung von Elektro- und Elektronikgeräten. Zahlreiche Verordnungen regeln die Sammlung und Verwertung bestimmter Abfallströme (z.B. Altautos). Die Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt (GGVSEB) regelt, ob gewisse Abfälle als Gefahrgut transportiert werden müssen.

Chemikalienverordnung (REACH): Die Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH-Verordnung) ist eine EU-Chemikalienverordnung. Sie regelt die Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien. Für Kobalt wird aktuell im Rahmen der 14. Anpassung an den technischen Fortschritt (ATP) diskutiert, ob ein spezifischer Gefährlichkeitseintrag notwendig ist. Kobalt ist ein Legierungselement, das in einigen Edelstahlwerkstoffen gezielt verwendet wird um die Materialeigenschaften zu verbessern. So erhöht es beispielsweise in Schnellarbeitsstählen die Hitzebeständigkeit und reduziert den Verschleiß. Auch wenn die Anwendungen von kobalthaltigen Legierungen massenmäßig nachrangig sind, wird ein Kobaltanteil von <0,8% als übliche Grenze im Schrotthandel angesehen¹¹.

Aktuell (Stand Mai 2019) ist nicht absehbar, ob und wann mit einer Beschränkung durch die REACH-Verordnung für Kobalt zu rechnen ist. Vor dem Hintergrund eines bislang gängigen Kobaltanteils von <0,8% im Schrotthandel, würde eine deutliche Restriktion von Kobalt einen relevanten Abfallstrom betreffen, der bislang in einem gut funktionierenden Recyclingkreislauf geführt wird.

¹¹ Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e.V. - BDSV (2018): Handbuch legierter Stahlschrott

4 Recyclingsituation

Das Aufkommen an End-of-Life Edelstahlschrotten stieg in den vergangenen 10 Jahren in Deutschland um 60 Prozent¹². Begründet wird dies durch den bereits langjährigen Einsatz von Edelstahlprodukten und die häufig langen Lebensdauern. Diese führen dazu, dass nun vermehrt Edelstahlschrotte aus dem anthropogenen Lager freigesetzt werden. In diesem Zusammenhang wird prognostiziert, dass der End-of-Life-Fluss von Edelstahl in den nächsten Jahren weiter ansteigen wird.

Das Maß für funktionierendes Recycling sind Recyclingraten. Diese lassen sich anhand unterschiedlicher Indikatoren messen. Eine Möglichkeit besteht darin, bei der Metallherstellung die Anteile sekundärer, also recycelter Bestandteile mit dem Gesamtgewicht der Produkte ins Verhältnis zu setzen (Recycled Content = RC). Dieser Indikator lässt allerdings keine Rückschlüsse über die Effizienz bei der Sammlung und Verwertung von Metallschrott zu. Hierzu muss die Phase mitbetrachtet werden, in der ein Produkt aus der Nutzung ausscheidet (End-of-Life; EoL). Die EoL-Recyclingrate bezeichnet die Menge eines rückgewonnenen Materials im Verhältnis zu der Menge des aus der Nutzung ausgeschiedenen Materials.

Tabelle 1: Globale Recyclingraten des Edelstahls mit seinen Legierungselementen

Metall	RC	EoL
Fe	28 - 52 %	52 - 90 %
Cr	18 - 20 %	87 - 93 %
Ni	29 - 41 %	57 - 63 %
Mn	37 %	53 %
Nb	22 %	50 - 56 %
Mo	33 %	30 %
V		< 1 %

Quelle: Öko-Institut e.V. nach UNEP 2011¹³

Die Sammelraten bei Edelstahl hängen von der Anwendung ab. Bei EoL-Schrotten aus dem Bau- sowie Infrastrukturbereich und aus dem Maschinenbau wird eine sehr hohe Sammelrate von 92 % erreicht. Dagegen liegen die Sammelraten bei Metallwaren mit 60 % und elektronischen Geräten sowie Haushaltsartikeln mit 70 % niedriger. Der Transportsektor liegt mit 87 % dazwischen¹⁴.

Neben den unterschiedlichen Sammelraten variiert auch die Recyclingeffizienz, also der Anteil gesammelten Materials, der in den Edelstahlkreislauf rückgeführt wird. Der Anteil gesammelten Materials, der nicht in den Edelstahlkreislauf, sondern in den Carbonstahlkreislauf überführt wird, liegt im Transportsektor mit 15 % und Metallwarenbereich mit 20 % am höchsten. Alle übrigen Bereiche weisen hier nur einen Verlust von 5 % auf. Gelangt Edelstahlschrott in den Carbonstahlkreislauf, verbleiben die Legierungselemente im Carbonstahl beziehungsweise der EAF-Schlacke. Dieser Verwertungsweg wird daher als nicht-funktionales Recycling (oder

12 Reck, B.K. (2014): Funktionelles und nicht-funktionelles Recycling am Beispiel Edelstahl. In: Thomé-Kozmiensky, K.; Goldmann, D.: Recycling und Rohstoffe – Band 7 S. 309-319.

13 UNEP (2011): Recycling of Metals - A Status Report. United Nations Environmental Programme. ISBN: 978-92-807-3161-3.

14 Reck, B. K.; Chambon, M.; Hashimoto, S.; Graedel, T. E. (2010): Global Stainless Steel Cycle Exemplifies Chinas Rise to Metal Dominance. Environmental Science & Technology 44, 2010, S. 3940-3946.

Downcycling) bezeichnet. Der Anteil nicht-funktionalen Recyclings für den gesamten Edelstahlkreislauf lag 2005 bei 9 %¹⁴.

Die Effizienz im Edelstahlrecycling hängt auch von der Edelstahlsorte ab. Bei nickelhaltigen Edelstählen ist das enthaltene Nickel wertgebend und schafft daher Anreize zur Getrenntsammlung. Zudem sind austenitische Edelstähle nicht magnetisch und lassen sich in der technischen Separierung leichter abscheiden. Nickelarme oder -freie, ferritische Edelstähle (mit den Hauptlegierungselementen Chrom und Molybdän) sind dagegen magnetisch und werden häufiger in die Fe-Fraktion sortiert¹².

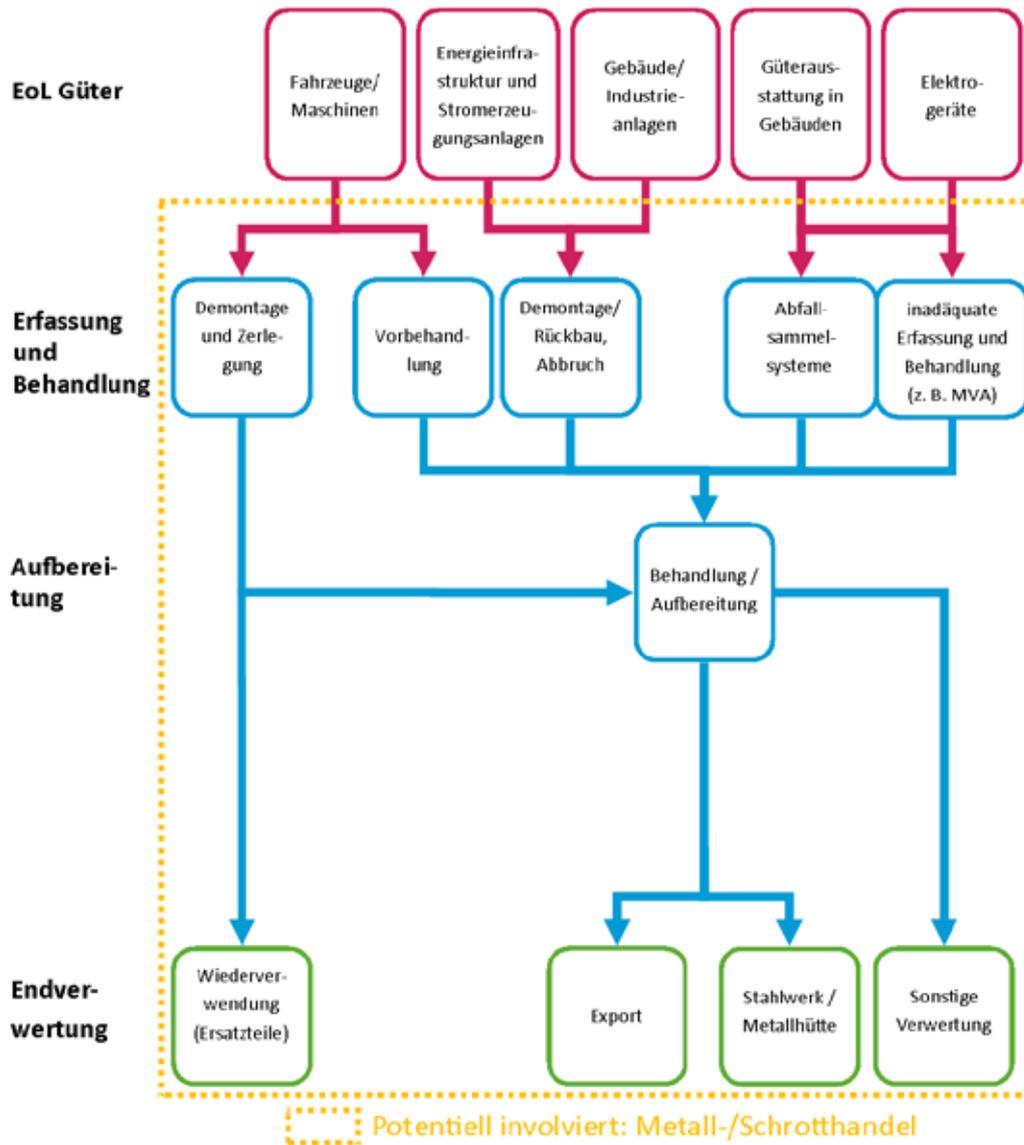
Aufgrund des volatilen Nickelpreises auf dem Weltmarkt und der Finanzkrise, wurden insbesondere in China und Indien ab 2007 bis 2011 vermehrt nickelarme und -freie, ferritische Edelstähle hergestellt^{2 12}. Die Anwendungsbereiche für ferritische Edelstähle sind häufig vergleichbar zu austenitischen Edelstahlsorten. Insbesondere im Bausektor und bei Metallwaren und Gebrauchsgegenständen werden ferritische Edelstähle als kostengünstige Alternative zu nickelhaltigen Sorten beworben¹⁵.

Die Hauptquellen von EoL-Edelstahlschrotten, welche dem Recycling zugeführt werden sind: Altfahrzeuge, ausgemusterte Maschinen, Elektroschrott, die Güterausstattung in Gebäuden und Schrotte aus dem Rückbau von Gebäuden, Energieinfrastruktur sowie Stromerzeugungs- und Industrieanlagen.

Für die dargestellten Gütergruppen sind in Abbildung 5 die identifizierten Verwertungswege zusammengefasst.

¹⁵ International Stainless Steel Foundation (ISSF) (2010): Building Interiors – the ferritic solution. URL: http://www.worldstainless.org/Files/ISSF/non-image-files/PDF/ISSF_Building_interiors_The_Ferritic_Solution.pdf (zuletzt abgerufen am 24.05.2018).

Abbildung 5: Verwertungswege des Edelstahl



Quelle: Öko-Institut e.V.

Fahrzeuge und Maschinen werden demontiert bzw. vorbehandelt. Die daraus resultierenden Ströme werden aufbereitet bzw. der Wiederverwendung zugeführt. Beim Elektroschrott und der weißen Ware ist dies ähnlich, nur ist die **Behandlungstechnik** eine andere. In der Praxis kommt es zudem vor, dass weiße Ware auch im Großshredder landet, obwohl dies nicht vorgesehen ist. Gebäude, Industrie-/Energieerzeugungsanlagen und Infrastruktur werden abgebrochen bzw. demontiert oder rückgebaut und die erhaltenen Metalle werden ebenfalls aufbereitet. Haushaltsbedarf (z.B. Messer und Töpfe) können entweder direkt beim Recyclinghof und Schrottplatz aussortiert werden oder gehen über die Restabfallsammlung in für Metalle inadäquate Behandlungsanlagen wie MVA. In beiden Fällen ist ein Aufbereitungsschritt notwendig. Die Rückgewinnung aus den MVA-Schlacken ist schwierig und trennt nur einen Teil der Metalle ab. Bei der Aufbereitung wird der Edelstahl, abhängig vom jeweiligen Inputstrom, von den übrigen Metallen und anderen Stoffen (z.B. Kunststoff, mineralische Bestandteile) getrennt. Einzelne Edelstähle werden voneinander getrennt. Dies ist für bestimmte Edelstähle (v.a. Chromstahl) in der Praxis noch nicht optimal.

Die Metallschrotte werden von den Aufbereitern an die Stahlwerke geliefert.

Im gesamten System sind Händler entweder als separate Akteure oder als Teil des jeweiligen Recyclingunternehmens beteiligt (gelber Rahmen).

Im Rahmen eines Dialogforums mit Praxisakteuren, insb. aus der Wirtschaft, wurden **zahlreiche Hemmnisse für ein Recycling in Deutschland vorgebracht**¹⁶:

- Die Kreislaufwirtschaft ist energieintensiv, aber ihre positiven Effekte (v.a. Ressourcenschonung) werden in der politischen Diskussion und öffentlichen Wahrnehmung nur wenig beachtet. Die positiven Beiträge (ökonomisch und ökologisch) sind im Image der Kreislaufwirtschaft zu wenig verankert.
- Die Betriebe der Sekundärrohstoffwirtschaft werden durch den Emissionshandel nur einseitig belastet, ohne dass ihre positiven Beiträge zur Ressourcenschonung berücksichtigt werden.
- Ein optimiertes Recycling kann nur mit Betrieben in Deutschland stattfinden, deshalb ist es notwendig die Auslagerung von Recyclingprozessen zu verhindern und Pioniere neuer Technologien zu unterstützen.
- Zunehmend strenge Compliance-Anforderungen hemmen die Zusammenarbeit in der Branche.
- Die Wahrnehmung des Recyclingpotentials von Metallen aus Schlacken, Aschen und Stäuben ist bisher gering und muss stärker beforscht werden.
- Die Frage, welche Stoffe/Elemente aufgrund möglicher Gesundheitsgefährdung in Produkten nicht mehr eingesetzt werden dürfen (europäische Stoffpolitik REACH), bewirkt unsicheres Umfeld für Planung und Investitionen.
- Die abfallrechtliche Einstufung von emulsionsbehafteten Spänen und Emulsionen ist nicht klar genug und nicht allen Akteuren eindeutig bewusst.
- Die Sortierung von Cr-Stahl aus komplexen Produkten ist noch nicht optimal. Die Anforderungen an Schrotte steigen hingegen und fordern eine bessere Sortierung.
- Geringe Vergütung aufgrund von niedrigen Weltmarktpreisen hemmt die Anwendung technisch aufwendiger Detektionsverfahren.

¹⁶ Aussagen von Praxisakteuren, die im Rahmen des 1. Dialogforums zum UBA Vorhaben „Kartierung des anthropogenen Lagers III“ vorgebracht wurden.

- Technische Maximallösungen zur Verhinderung von Verlusten an Legierungselementen sind beim Recycling von Edelstahl aus ökonomischen Gründen nicht darstellbar.
- Das Recycling wird bei additiven Verfahren (Metall-3D-Druck) noch nicht bedacht.
- Die Kommunikation zwischen Anwender (Stahlwerk) und Aufbereiter ist noch nicht optimal.

5 Recyclingperspektiven

Im Eisen- und Stahl-BREF¹⁷ sind folgende Maßnahmen bzw. Technologien genannt, welche dem heutigen Stand der Technik entsprechen und für ein optimales Recycling eingesetzt werden können:

- Pfannen- oder Sekundärmetallurgie kann eingesetzt werden, um bestimmte Prozesse außerhalb des Lichtbogenofens durchzuführen, beispielsweise die Zugabe von Legierungselementen. Hierbei kommt es zu Einsparungen an Legierungselementen, eingesetzter Energie und weiterer Optimierungen des Prozesses.

Als neuartige Technologien, welche das Recycling noch weiter verbessern können, gelten, abgeleitet vom Aluminium, welches auch die Problematik der Legierungssortierung aufweist¹⁸:

- Legierungssortierung mittels Laser- und Wirbelstromtrennverfahren um den Schrott bis auf Legierungsebene zu sortieren um die Herstellung von Legierungen aus Schrott zu vereinfachen.

Speziell existieren noch folgende Sortiertechnologien:

- Röntgenfluoreszenz (XRF), Röntgentransmission (XRT), Laserinduzierte Plasma-Spektroskopie (LIBS) und Neutronen-Aktivierungsanalyse (NAA), welche in der Praxis bisher vor allem in der manuellen Sortierung und äußerst selten in der automatisierten Sortierung eingesetzt werden, können zu einer besseren Aufbereitung des Schrotts (homogenere Fraktionen) vor der Einschmelzung führen. Dies führt zur Einsparung von Legierungsmaterial und Schlackenbildner, was auch zur Senkung der Menge an entstehenden Schlacken führt.

¹⁷ Joint Research Centre (2012): Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production. URL: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/IS_Adopted_03_2012.pdf (zuletzt abgerufen 25.07.2018).

¹⁸ Joint Research Centre (2017): Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the main Non-Ferrous Metals Industries. URL: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/NFM/JRC107041_NFM_Bref_2017.pdf (zuletzt abgerufen 25.07.2018).