Fraunhofer
UMSICHT

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR UMWELT-, SICHERHEITS- UND ENERGIETECHNIK UMSICHT

TECHNISCHE, ÖKONOMISCHE, ÖKOLOGISCHE UND GESELLSCHAFTLICHE FAKTOREN VON STAHLSCHROTT

KURZTITEL: ZUKUNFT STAHLSCHROTT



IM AUFTRAG DER
BUNDESVEREINIGUNG DEUTSCHER STAHLRECYCLING- UND ENTSORGUNGSUNTERNEHMEN E.V. (BDSV)

OBERHAUSEN, 3. NOVEMBER 2016

Fraunhofer
UMSICHT

»Technische, ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Faktoren von Stahlschrott«

Kurztitel: Zukunft Stahlschrott

vorgelegt von:
Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT
Institutsleiter
Prof. Dr.-Ing. Eckhard Weidner
Osterfelder Straße 3
46047 Oberhausen

Autoren
Dr.-Ing. Markus Hiebel* | Jochen Nühlen M.Sc.
*Projektleitung

Bitte zitieren Sie die Studie folgendermaßen:

Hiebel, M.; Nühlen, J.: Technische, ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Faktoren von Stahlschrott (Zukunft Stahlschrott), Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT (Hrsg.), Onlinefassung der Kurzstudie im Auftrag der Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e.V. (BDSV), Oberhausen, November 2016

Bildnachweis Titelseite: © Andreas Schwenter, Frimberger GmbH

Urheberrechtshinweis
Das Urheberrecht an den im Rahmen dieser Studie von Fraunhofer UMSICHT erstellten Konzepten, Entwürfen, Analysen, Studien und sonstigen Unterlagen liegt bei Fraunhofer UMSICHT. Die Übertragung von Urheberrechten bedarf der Schriftform.
Der Auftraggeber ist zur Nutzung der vorliegenden Studie für die nach dem Auftrag vorgesehenen Zwecke berechtigt. Vervielfältigungen sind nur mit der ausdrücklichen Zustimmung von Fraunhofer UMSICHT zulässig. Veränderungen, Übersetzungen oder digitale Nachbearbeitungen sind nicht zulässig. Eine Weitergabe der Studie an Dritte mit Ausnahme von öffentlichen Fördermittelstellen oder Kapitalgebern ohne schriftliche Freigabe durch Fraunhofer UMSICHT ist nicht zulässig.

©Copyright Fraunhofer UMSICHT, 2016

Fraunhofer UMSICHT

Inhalt

Summary		**1**
1	**Aufgabenstellung**	**5**
2	**Methode**	**6**
2.1	Literaturrecherche	7
2.2	Ableitung von Kernaussagen	7
2.3	Ableitung von Leitfragen für Experteninterviews	8
2.4	Durchführung von Experteninterviews	8
2.5	Auswertung und Aufbereitung	8
3	**Kernaussagen**	**9**
3.1	Kernaussage 1: Kein Stahlschrott – keine Stahlindustrie	9
3.1.1	Hintergrund	9
3.1.2	Beitrag der Stahlrecyclingwirtschaft	15
3.2	Kernaussage 2: Stahlrecycling als Teil der Wertschöpfungskette	15
3.2.1	Hintergrund	15
3.2.2	Beitrag der Stahlrecyclingwirtschaft	21
3.3	Kernaussage 3: Kein Stahlschrott – keine zirkuläre Wirtschaft	21
3.3.1	Hintergrund	21
3.3.2	Beitrag der Stahlrecyclingwirtschaft	27
3.4	Kernaussage 4: Stahlschrott schont Klima und Ressourcen	28
3.4.1	Hintergrund	28
3.4.2	Beitrag der Stahlrecyclingwirtschaft	32
3.5	Kernaussage 5: Stahlrecycling sichert und schafft Arbeitsplätze auf allen Qualifikationsniveaus	33
3.5.1	Hintergrund	33
3.5.2	Beitrag der Stahlrecyclingwirtschaft	34
3.6	Kernaussage 6: Stahlrecycling ist sinnvoll für die Volkswirtschaft	35
3.6.1	Hintergrund	35
3.6.2	Beitrag der Stahlrecyclingwirtschaft	36
3.7	Kernaussage 7: Stahlrecyclingbranche hat Innovationspotenzial	37
3.7.1	Hintergrund	37
3.7.2	Beitrag der Stahlrecyclingwirtschaft	39

4	**Experteninterviews**	**40**
4.1	Teilnehmer	40
4.2	Fragebogen	40
4.3	Auswertung	42
4.3.1	Stahlrecycling als Teil der Wertschöpfungskette	42
4.3.2	Beitrag des Stahlrecyclings zur zirkulären Wirtschaft	43
4.3.3	Volkswirtschaft, Klima- und Ressourcenschutz	44
4.3.4	Innovationen in der Stahlrecyclingwirtschaft	45
4.3.5	Image der Stahlrecyclingwirtschaft	46
4.3.6	Ausblick Stahlrecyclingwirtschaft	47
4.3.7	Zusammenfassung	47
5	**Ausblick**	**49**
6	**Abkürzungsverzeichnis**	**51**
7	**Abbildungsverzeichnis**	**52**
8	**Tabellenverzeichnis**	**53**
9	**Quellenverzeichnis**	**54**

Summary

Tätigkeitsfeld des Auftraggebers

Die Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e.V. (BDSV) ist ein bundesweit tätiger Verband. Sie vertritt die Interessen von deutschen und in Deutschland tätigen Unternehmen für die Bereiche Stahlrecycling und weitere Entsorgungsleistungen. Die BDSV ist der größte europäische Stahlrecycling-Verband und stellt ökonomische und ökologische Rahmenbedingungen der Recyclingwirtschaft in den Mittelpunkt.

Aufgabenstellung

Die BDSV hat Fraunhofer UMSICHT beauftragt, die ökonomischen, ökologischen, technischen als auch gesellschaftlichen Eigenschaften des Stahlrecyclings wissenschaftlich fundiert zusammenzustellen und aufzuarbeiten. Fragen hinsichtlich der technischen Recyclingfähigkeit und des Beitrags zum Klima- und Ressourcenschutz sollen faktenbezogen beantwortet und anschaulich aufbereitet werden. Ziel war es, die positiven und ggf. auch negativen Eigenschaften des Rohstoffs Schrott und dessen gesamtgesellschaftlichen Beitrag zusammenzustellen, um diese für die interne und externe Diskussion und Publikation nutzen zu können.

Definitionen zur Methodik

Basis der Arbeiten stellte eine wissenschaftliche Literaturrecherche mit dem Fokus auf die definierte Fragestellung dar. Bereits vorhandenes institutseigenes Know-how im Bereich Rohstoff- und Stahlrecyclingwirtschaft gingen mit in die Darstellung ein. Aus den zusammengestellten Faktoren des Stahlrecyclings wurden anschließend Leitfragen herausgearbeitet, die in ausgewählten Experteninterviews diskutiert wurden, um so Drittexpertise mit in das Projekt einzubeziehen. Die Interviews wurden insbesondere dafür genutzt, identifizierte Wissenslücken in der Literatur zu schließen, ungenaue Literaturangaben zu validieren und um Aussagen durch die Experten zu untermauern. So wird eine fundierte Aufstellung über die ökonomischen, ökologischen, technischen und sozialen Faktoren des Stahlschrottrecyclings sichergestellt. Der Begriff »Stahlschrott« in dieser Studie umfasst grundsätzlich den Kohlenstoffstahlschrott und den Edelstahlschrott. Die gesamte Vorgehensweise ist anschaulich in Bild 0-1 dargestellt.

Die Arbeiten von Fraunhofer UMSICHT wurden beratend durch eine Lenkungsgruppe aus Mitgliedern des BDSV Präsidiums sowie der BDSV Geschäftsstelle unterstützt.

Bild 0-1:
Vorgehen in der Studie



Kernaussage 1:
Kein Stahlschrott – keine Stahlindustrie

Die Stahlwirtschaft nutzt zwei Verfahren zur Produktion von Stahl – den Hochofenprozess (Primärroute) und das Elektrolichtbogenverfahren (Sekundärroute). Stellt man beide Herstellungsrouten nebeneinander, wird die Bedeutung des Rohstoffs Stahlschrott sichtbar. Schrott ist das Hauptinputmaterial für den Elektrolichtbogenofen, wird aber auch als Kühlschrott in der Hochofenroute eingesetzt. In der Realität sind Primär- und Sekundärroute nicht getrennt voneinander zu betrachten. Immer ist ein Teil der Stahlprodukte, deren Stahlschrott am Ende der Nutzungsdauer als Rohstoff in der Sekundärroute eingesetzt wird, auch über die Primärroute erzeugt worden.
Gleichermaßen ist durch den Kühlschrotteinsatz auch ein Anteil Recyclingmaterial in den Produkten der Primärroute vorhanden. Die Grenzen sind entsprechend fließend, was zeigt, dass Stahlrecycling und Stahlproduktion in einem »symbiotischen« Verhältnis zueinander stehen.
Der Rohstoffbedarf der Stahlindustrie ist nur mit Primärmaterial kurzfristig nicht zu decken – Schrott stellt heute und auch in Zukunft eine wesentliche Säule dar. Stahlschrott wird damit auch in Zukunft eine wesentliche Rolle in der Rohstoffversorgung der Stahlindustrie spielen.

Kernaussage 2:
Stahlrecycling als Teil der Wertschöpfungskette

Die Stahlrecyclingwirtschaft liefert an die Stahlindustrie im Bereich der Kohlenstoffstahlschrotte 16 klar definierte Schrottsorten. Beim Edelstahl wird eine exakt spezifizierte chemisch-metallurgische Analyse garantiert. Um diese Dienstleistung für die Stahl- und Gießereiindustrie zu erbringen, werden die unterschiedlichsten Aufbereitungsverfahren genutzt. Elektrostahlwerke und auch Oxygenstahlwerke setzen auf die qualitätsgesicherten Lieferungen der Stahlrecyclingbranche, um ihre Prozesse optimal betreiben zu können. Die Stahlrecyc-

lingbranche ist verlässlicher Partner der Stahlindustrie und Rohstofflieferant für nationale und internationale Stahl- und Edelstahlwerke sowie Gießereien.

Kernaussage 3: Kein Stahlschrott – keine zirkuläre Wirtschaft

Die zirkuläre Wirtschaft wird u. a. von der EU in ihrem Aktionsplan zur Kreislaufwirtschaft gefordert. Um Stahl im Kreislauf zu fahren, müssen unerwünschte Fraktionen entfernt werden – dies stellt die Stahlschrottwirtschaft sicher und liefert definierte Sekundärrohstoffe an die Abnehmer. Ohne die Dienstleistung der Erfassung, Sortierung, Aufbereitung und Schrottlogistik kann die Kreislaufwirtschaft in Deutschland, Europa und sogar weltweit nicht umgesetzt werden. Stahl und Edelstahl lassen sich durch intelligentes Stoffstrommanagement, im Rahmen der Gesetze der Thermodynamik, immer wieder und ohne Qualitätsverlust recyclen.

Kernaussage 4: Stahlschrott schont Klima und Ressourcen

Das Recycling von Stahlschrotten trägt zum Klima- und Ressourcenschutz bei. Es gibt es Bandbreite der jeweiligen Einsparungen, da diese u. a. vom Stand der Technik der Anlagen, vom verwendeten Strom-Mix, von Ökobilanzgrenzen und den Einsatzstoffen abhängen. Im Vergleich der beiden Produktionsrouten für Deutschland zeigen sich spezifische CO_2-Emssionen von 1,744 t CO_2 pro Tonne Rohstahl aus der Hochofenroute und 0,395 t CO_2 pro Tonne Rohstahl aus dem Elektrolichtbogenofen. Aufgrund der historischen Entwicklung werden in Deutschland 70,4 % des Rohstahls in der Hochofenroute produziert und 29,6 % in der Elektrolichtbogenroute. Dabei wird eine Einsparung von ca. 1,35 Tonnen CO_2 pro Tonne Rohstahl erzielt. Durch die Produktion von 12,6 Mio. Tonnen Rohstahl auf Basis des Sekundärrohstoffs Stahlschrott über die Elektrostahlroute hilft die Stahlrecyclingwirtschaft dabei, in Deutschland rund 17 Mio. Tonnen CO_2-Emissionen pro Jahr einzusparen.
Die Treibhausgaseinsparungen bei Edelstählen liegen aufgrund der Legierungselemente Nickel, Chrom und Molybdän deutlich höher und erreichen eine Einsparung von zirka 4,5 Tonnen CO_2 pro Tonne Edelstahlschrott abhängig vom Inputmaterial und der Stahlzusammensetzung.

Kernaussage 5: Recycling sichert und schafft Arbeitsplätze

Die Stahlschrottindustrie fördert die Schaffung neuer Arbeitsplätze und unterstützt die Senkung der Arbeitslosenrate in Europa. Sie stellt Arbeitsplätze auf unterschiedlichen Qualifikationsniveaus zur Verfügung. Rund 4 Mio. Arbeitsplätze der deutschen Volkswirtschaft sind stahlintensiv.

Kernaussage 6: Stahlrecycling ist sinnvoll für die Volkswirtschaft

Die Stahlrecyclingwirtschaft mit ihren zahlreichen Unternehmen verbreitert die Rohstoffbasis der Stahlwirtschaft und hilft damit, die Gefahr von Oligopolen auf der Anbieterseite, wie diese bei vielen importierten Primärrohstoffen vorliegt, zu reduzieren.
Die Stahlrecyclingwirtschaft reduziert die Abhängigkeit der deutschen Volkswirtschaft von Importen. Die Importabhängigkeit Deutschlands im Bereich der Metallerze und Konzentrate liegt bei 100 %.
Der »heimische« Sekundärrohstoff Stahlschrott hilft die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands zu erhalten.

Durch die Arbeit der Stahlrecycler ist es erst möglich, anspruchsvolle Recyclingziele zu erreichen (z. B. beim Recyceln von Altautos).

Kernaussage 7: Stahlrecyclingbranche hat Innovationspotenzial

Die Stahlrecyclingwirtschaft wird im Außenraum nicht als innovativ wahrgenommen. Die größten Innovationen können dem intelligenten Stoffstrommanagement und Handling von heterogenem Material sowie der Analytik und Schreddertechnik zugeordnet werden. Innovationen in der Branche können insbesondere mit steigenden Anforderungen der Umweltgesetzgebung sowie der abnehmenden Stahlwerke und Gießereien in Verbindung gebracht werden. Aber auch die Recyclingunternehmen selbst stellen aufgrund der praktischen Erfahrung als Auftraggeber und in Kooperation mit den spezialisierten Anlagenbauern einen wichtigen Inputfaktor für Innovationen dar. Die dargestellten Aufgaben auf dem Weg zu einer zirkulären Wirtschaft und die Rolle der Stahlrecyclingwirtschaft in diesem System müssen die Unternehmen zu weiteren Innovationen treiben. Herausfordernde Rahmenbedingungen müssen als Chance verstanden werden und sollten Ansporn zur Innovation sein.

Experteninterviews

Die Idee, diese Studie durchzuführen, wurde von allen Experten einhellig positiv aufgenommen. Sie sehen großes Potenzial, das Image der Stahlrecyclingwirtschaft zu verbessern, da die Leistungen einer breiteren Öffentlichkeit häufig nicht bekannt sind. Die Experten haben die Kernaussagen bestätigt und mit ihrem spezifischen Know-how um weitere Informationen ergänzt. Es gab keine Unterschiede in den Gewichtungen und Aussagen zwischen Experten aus Forschung/Lehre und Industrie.

Ausblick: Innovationen mutig vorantreiben

Die (Edel-)stahlrecyclingwirtschaft sollte Innovationen weiter mutig vorantreiben und Entwicklungen antizipieren. Mögliche Innovationen können im Bereich des Umgangs mit Verbundmaterialien entstehen (Detektion, Zerkleinerung, Sortierung auf Basis von Legierungsbestandteilen).

Ausblick: Kommunikation mit vor- und nachgelagerten Akteuren

Durch einen engen Dialog mit den Stahlproduzenten und -veredlern sollte auf mögliche Recyclingherausforderungen aufmerksam gemacht werden. Stichwort: Ökodesign-Richtlinie. Zudem könnten sich neue Geschäftsmodelle ergeben (z. B. Materialzugriff bei geleasten Objekten). Aber der Blick sollte auch auf die Abnehmerseite gehen: Im Dialog sollten Lösungen entwickelt werden und ggf. auch nach neuen möglichen Abnehmern und Verbrauchern für Materialien mit geringeren Metallanteilen außerhalb des klassischen Abnehmerkreises gesucht werden. Diese Studie und die auf ihrer Basis erstellte Broschüre helfen der Stahlrecyclingwirtschaft, positiver beziehungsweise realistischer wahrgenommen zu werden (von Bevölkerung, Verwaltung und Politik).

Ausblick: Digitalisierung

Die Digitalisierung wird weitere Herausforderungen für die Branche bringen, und zwar in der Abwicklung von Geschäften und dem Handling der Stoffströme. Diese Herausforderung sollte aktiv angegangen werden.

1 Aufgabenstellung

Über lange Zeit aufgebaute Überkapazitäten, Wettbewerbsverzerrungen durch künstlich verbilligte oder verteuerte Rohstoffe und Produkte sowie ein verringertes Nachfragewachstum insbesondere im asiatischen Raum verursachen einen enormen Preisdruck auf die weltweite Stahlindustrie (vgl. [EU-Recycling-2016], [Reiche-2016], [Marquart-2016]). Durch die etablierten Strukturen der Sekundärrohstoffnutzung in der Stahlindustrie ist auch die Stahlrecyclingbranche durch die internationale Schieflage an den Rohstoffmärkten und oftmals asymmetrische Regulierungen betroffen [Brunn-2016].

Stahlrecycling ist ein wichtiger Bestandteil der globalen Wertschöpfungskette und leistet auf unterschiedlichen Ebenen einen Beitrag zu Klima- und Ressourcenschutz. Als größter Stahlrecyclingverband in Europa möchte die Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e. V. (BDSV) diesen gesamtgesellschaftlichen Beitrag in einer literatur- und interviewbasierten Studie erfassen.

In der vorliegenden Studie sollten daher die ökonomischen, ökologischen, technischen als auch gesellschaftlichen Eigenschaften des Stahlrecyclings wissenschaftlich fundiert zusammengestellt und aufbereitet werden. Fragen hinsichtlich der technischen Recyclingfähigkeit und des Beitrags zum Klima- und Ressourcenschutz sollen faktenbezogen beantwortet und anschaulich aufbereitet werden. Ziel ist es, die Eigenschaften des Sekundärrohstoffs Stahlschrott zur gesellschaftlichen Entwicklung pointiert und neutral zusammenzustellen und für die zukünftige interne und externe Kommunikation nutzen zu können.

Übergeordnete Ziele der Studie sind somit:

Ziele

- Wissenschaftliche Darstellung der technischen, ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Eigenschaften des Sekundärrohstoffs Stahlschrott
- Herausarbeitung der Stellung der Stahlrecyclingwirtschaft in der Wertschöpfungskette und anschauliche Aufbereitung des Beitrags zur nachhaltigen Entwicklung

Fokus

- Überschlägige Ausweisung der CO_2-Einsparungen durch die Tätigkeit der deutschen Stahlrecyclingbranche
- Wissenschaftlichen Fundierung der Recyclingeigenschaften des Sekundärrohstoffs Stahlschrott

2 Methode

Grundlage der Arbeiten stellte eine wissenschaftliche Literaturrecherche mit dem Fokus auf die in Kapitel 1 definierte Fragestellung dar. Die Literatur wurde in einer Citavi-Literaturdatenbank zusammengefasst, verschlagwortet und stellte die Basis für die weiteren Arbeiten im Rahmen der Studie dar.

Aus den zusammengestellten Faktoren des Stahlrecyclings wurden anschließend Leitfragen herausgearbeitet, die in ausgewählten Experteninterviews diskutiert wurden, um so Drittexpertise mit in das Projekt einzubeziehen. Die Interviews wurden insbesondere dafür genutzt, identifizierte Wissenslücken in der Literatur zu schließen, ungenaue Literaturangaben zu validieren und um Aussagen durch die Experten zu untermauern. So wurde eine fundierte Aufstellung über die technischen, ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Faktoren des Stahlrecyclings sichergestellt. Die folgende Grafik zeigt die Vorgehensweise in der vorliegenden Studie.

Bild 2-1:
Vorgehen der Studie



Da sowohl diverse hoch- und niedriglegierte Stähle aber auch Stahlschrottsorten [DIN-10020], [DIN-10027], [BDSV-2010] existieren, werden aus Gründen der besseren Lesbarkeit im weiteren Verlauf des Textes (sofern nicht explizit erwähnt) die Begriffe des Kohlenstoffstahlschrotts und Edelstahlschrotts unter dem Begriff »Stahlschrott« zusammengefasst.

2.1 Literaturrecherche

In der Literaturauswertung wurden wissenschaftliche Quellen systematisch in Hinblick auf technische, ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Faktoren, die durch das Recycling von Stahlschrott auftreten, analysiert. Im Literaturverzeichnis finden sich die verwendeten Quellen. Die Kernaussagen aus den genutzten Quellen wurden zusammengestellt und allgemeinverständlich aufbereitet.

Dabei standen insbesondere Informationen zu folgenden Fragestellungen im Fokus der Auswertung:

- Ökonomische und ökologische Vorteile des Stahlschrotteinsatzes in der modernen Stahlherstellung
- Einordnung der aktuellen Bedeutung des Recyclings von Stahlschrott
- Recyclingfähigkeit von Stahlschrott
- Identifikation von Hindernissen im Stahlrecycling
  (z. B. Schwierigkeiten bei Verbundmaterialien, Heterogenität und Störstoffe)
- Potenzielle Umweltwirkungen
  (z. B. Abschätzung CO_2-Emissionseinsparung durch die deutsche Stahlrecyclingbranche)
- Beitrag des Stahlrecyclings zur gesellschaftlichen Verantwortung
- Zukünftige Herausforderungen für die Stahlrecyclingbranche

2.2 Ableitung von Kernaussagen

Aus der Literaturrecherche mit anschließender Analyse wurden insgesamt sieben Kernaussagen verdichtet und abgeleitet. Die Kernaussagen sind das Destillat aus der Literaturrecherche und sind vor dem Hintergrund einer späteren Aufbereitung für einen breiten Adressatenkreis bewusst zugespitzt formuliert. Den Kernaussagen liegen somit verschiedene Literaturangaben zugrunde, die aus unterschiedlichen nationalen und internationalen, wissenschaftlichen Quellen stammen und geclustert wurden.

2.3 Ableitung von Leitfragen für Experteninterviews

Basierend auf den in der Literatur zusammengestellten Eigenschaften und Informationen zum Thema Stahlschrott, wurden ausgewählte Fragestellungen aus den Bereichen Technologie, Ökonomie, Ökologie und Gesellschaft in einen Fragebogen eingearbeitet und zu konkreten Leitfragen verdichtet (siehe Kapitel 4.2). Die Fragen wurden durch Fraunhofer UMSICHT vorgeschlagen und in Absprache mit dem Auftraggeber finalisiert. Die Ansprache der Expertinnen und Experten erfolgte durch Fraunhofer UMSICHT.

2.4 Durchführung von Experteninterviews

Die in Kapitel 4.2 erstellten Leitfragen wurden mit einigen mit der BSDV abgestimmten Experten aus Industrie und Forschung diskutiert, um strittige Thesen in der Literatur und die aus Kapitel 3 abgeleiteten Kernaussagen kritisch zu beleuchten und um finale Kernaussagen durch Drittexpertise zu fundieren. Die Befragung erfolgte sowohl in persönlichen Gesprächen als auch telefonisch.

2.5 Auswertung und Aufbereitung

Die in den Kapiteln 3 und 4 ermittelten Informationen wurden so aufbereitet, dass sie für die interne als auch externe Kommunikation der BDSV genutzt werden können. Dazu wurden sowohl eine Präsentation mit den Hauptergebnissen sowie eine Broschüre mit ausgewählten Ergebnissen in Zusammenarbeit mit der BDSV Geschäftsstelle erstellt. Die Ergebnisse wurden erstmals am 3. November 2016 in Mannheim auf der BDSV Jahrestagung der Öffentlichkeit vorgestellt.

Die Arbeiten von Fraunhofer UMSICHT wurden beratend durch eine Lenkungsgruppe aus Mitgliedern des BDSV Präsidiums sowie der BDSV Geschäftsstelle unterstützt.

3 Kernaussagen

Im Rahmen der Studie wurden sieben Kernaussagen abgeleitet. Die Aussagen sind auf Basis einer Literaturauswertung getroffen und können durch diese belegt werden. Auf dieser Basis wurden, wie in Kapitel 4.2 dargestellt, Fragen formuliert, die im Anschluss mit ausgewählten Experten diskutiert wurden.

3.1 Kernaussage 1: Kein Stahlschrott – keine Stahlindustrie

3.1.1 Hintergrund

Die Basis für die erste Kernaussage liegt im Rohstoffeinsatz der beiden aktuell dominierenden Stahlherstellungsverfahren begründet. Aktuell stellen zwei Verfahren den Stand der Technik zur Herstellung von Rohstahl dar, die beide den Rohstoff Stahlschrott nutzen: das Elektrostahlverfahren auf Basis von Stahlschrott (auch aus Sekundärroute bezeichnet) sowie das Oxygenstahlverfahren (Hochofen-Konverter-Route, auch als Primärroute bezeichnet) auf Basis von Eisenerzen. Obwohl das Oxygenstahlverfahren auf dem Einsatz von Primärrohstoffen basiert, benötigt auch dieses Verfahren Stahlschrott für einen wirtschaftlichen Betrieb [Dillinger-2007], [Bannenberg-1997], [Worldsteel-2016], [Knein-2016].

Die Herstellungsroute zur Erzeugung von Rohstahl auf Basis von Erzen besteht im Wesentlichen aus zwei aufeinanderfolgenden Prozessschritten. Die Verhüttung von Eisenerz im Hochofen zu flüssigem Roheisen bildet dabei den ersten Schritt und die anschließende Rohstahlerzeugung im Konverter den zweiten Schritt. Die Sekundärroute (Elektrostahlverfahren) basiert auf Stahlschrott zur Herstellung von Rohstahl oder Edelstahl und stellt damit den Recyclingpfad der Stahlindustrie dar. Um den Hintergrund der Nutzung von Stahlschrott aus technischer Sicht genauer zu betrachten sowie beide Verfahren der Stahlherstellung gegenüberzustellen, sind nachfolgend die wichtigsten Grundlagen kurz erläutert.

Primärroute

Das Hochofen-Verfahren (Blast Furnace Process, BF) zur Herstellung von Roheisen entwickelte sich bereits im 14. - 16. Jahrhundert aus dem Stückofen, wobei die ersten Hochöfen im Siegerland urkundlich belegt wurden. Die rohstoffliche Basis bildet der Primärrohstoff Eisenerz. In einem kontinuierlichen Prozess werden die aufbereiteten Eisenerze reduziert und erschmolzen. Die Beschickung des Hochofens mit zerkleinertem Erz, Koks und Zuschlagsstoffen erfolgt von oben durch die Gichtöffnung schrittweise. Dabei sinkt die Füllung allmählich ab und durchläuft nacheinander Schacht, Kohlensack und Rast, wobei die Reduktion des Erzes erfolgt. Im Gestell sammeln sich getrennt Roheisen und Schlacke, die erforderliche Verbrennungsluft tritt durch Düsen (Windformen) am Umfang

der Rast in den Hochofen ein, wobei heute Temperaturen bis 2 000 °C erreicht werden können. In der Regel ist ein Hochofen mehrere Jahre ohne Unterbrechung in Betrieb [Nausch-2002], [Fruehan-2010], [Ruge-2013].

Um jedoch aus dem kohlenstoffreichen Roheisen kohlenstoffarmen Stahl herzustellen, sind weitere metallurgische Schritte notwendig. Zu den ersten erfolgreichen Versuchen, Stahl industriell in großem Maße kostengünstig herzustellen, zählt das Bessemer-Verfahren, das 1855 entwickelt wurde und bis Ende des 19. Jahrhundert Anwendung in der Stahlindustrie fand. Der wesentliche Nachteil des Verfahrens bestand darin, dass prozessbedingt der giftige Phosphor aus dem Eisenerz nicht beseitigt werden konnte, so dass nur phosphorarmes Roheisen zum Einsatz kommen konnte. Die Stahlindustrie in Deutschland war aus diesem Grund auf die Importe von geeignetem Eisenerz mit geringem Phosphorgehalt angewiesen [Nausch-2002].

Im Jahr 1879 gelang es dem Engländer Sidney Gilchrist Thomas, das Bessemer-Verfahren so zu optimieren und weiterzuentwickeln, dass der hohe Phosphorgehalt des Roheisens durch den Einsatz von Dolomit zur Auskleidung des Konverters reduziert werden konnte. Das Thomas-Verfahren gewann schnell an Popularität in Deutschland und verdrängte das Bessemer-Verfahren, das nun nur noch in kleineren Bessemer-Anlagen für den Stahlformguss angewendet wurde [Nausch-2002], [Fruehan-2010].

Eine erhebliche Verbesserung der Möglichkeiten zur Herstellung von Tiegelstahl stellte das 1864 von Friedrich Siemens entwickelte Verfahren per Regenerativofen dar (Basic Open Hearth Process, BOH). Das Verfahren ermöglicht die Erzeugung von wesentlich höheren Temperaturen und zählte über 100 Jahre zu den meist verbreiteten Verfahren weltweit. Der Stahl wird dabei im Herdofen durch Erzeugung hoher Temperaturen nach dem Schrottverfahren (Roheisen mit Schrott oder Schrott mit Kohle) oder nach dem Erzverfahren (Roheisen und Erz oder Schrott mit Erzen) erschmolzen. Der nach dem Siemens-Martin-Verfahren erzeugte Stahl fand in unterschiedlichen Qualitäten eine breite Anwendung als Massen- oder Baustahl [Nausch-2002], [Fruehan-2010].

Das Linz-Donawitz-Verfahren (LD-Verfahren oder auch Basic Oxygen Process) wurde ab Juni 1949 von der Firma VOEST entwickelt. Es findet seit den 1950er Jahren zunehmende Verbreitung und wurde nach den österreichischen Stahlwerken Linz und Donawitz benannt. Ein basisch ausgekleideter Konverter wird zunächst mit Kühlschrott chargiert. Kühlschrott wird zur Temperaturführung des LD-Konverters eingesetzt. Somit lassen sich Prozessgeschwindigkeit und Produktionsmenge durch gezielten Schrotteinsatz erhöhen [Knein-2016]. Anschließend werden das flüssige Roheisen sowie Schlackenbildner eingeleitet. Durch eine gekühlte Sauerstofflanze wird reiner Sauerstoff auf die Schmelze geblasen. Durch die einsetzende Oxidation werden enorme Wärmemengen frei. Anstatt die Temperatur im Konverter zu erhöhen, schmilzt der zugegebene Schrott auf. Somit übernimmt auch im Primärprozess der Stahlherstellung der

Sekundärrohstoff Stahlschrott eine wichtige Aufgabe. Der Konverter wird mit bis zu 20 % Kühlschrott chargiert. (siehe auch Schritt 1 »Füllen« in Bild 3-1) [Bannenberg-1997], [Martens-2016]. Je nach Prozessauslegung sind sogar Schrottquoten bis zu 30 % für die Herstellung von Carbonstahl denkbar [Worldsteel-2016]. Im hypothetischen Fall, dass Stahlschrott als Rohstoff für die Stahlherstellung wegfallen würde, wäre der bestehende Rohstoffbedarf zur Stahl- und Edelstahlproduktion nur über Erze nicht zu decken, da gleichzeitig sowohl die Produktionskapazitäten der Elektrostahlwerke wegfielen als auch die Prozessführung der LD-Konverter beeinträchtigt werden würde.

Bis in die 1970er Jahre dominierten das Thomas- und das Siemens-Martin-Verfahren die Stahlherstellung. Heute ist das LD-Verfahren Stand der Technik für die Hochofen-Konverter-Route (Oxygenstahlverfahren) und bildet die Basis der globalen Stahlerzeugung. Global betrachtet werden rund 75 % der jährlich erzeugten Stahlmenge über das Oxygenstahlverfahren hergestellt, in der EU liegt der Anteil bei rund 60 %, in Deutschland bei etwa 70 % [BIRFD-2015].

Sekundärroute

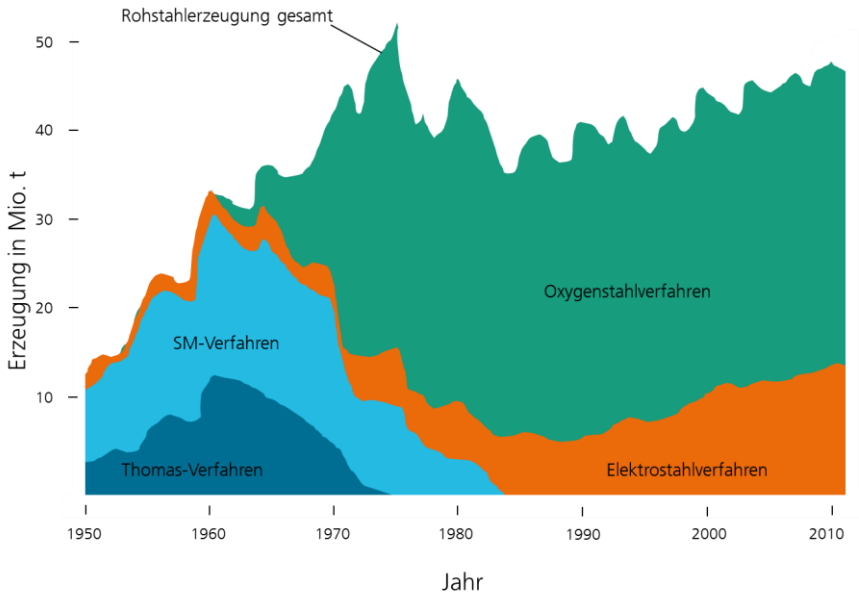
Mit der zunehmenden Elektrifizierung der Industrie hielt ein weiteres Verfahren zur Stahlherstellung in der Industrie Einzug. Zwar wurde bereits seit Mitte des 19. Jahrhunderts versucht, elektrische Energie zum Schmelzen von Metallen anzuwenden, doch die ersten praktikablen Lösungen kamen erst Anfang des 20. Jahrhunderts mit der steigenden Verfügbarkeit elektrischer Energie auf. Doch nicht nur die Verfügbarkeit von elektrischer Energie, sondern auch die Verfügbarkeit des Sekundärrohstoffs Stahlschrott, auf der die Technik basiert, haben schließlich zum Durchbruch verschiedener strom- und schrottbasierter Elektrostahlverfahren geführt. Zu den gebräuchlichsten Elektroofentypen gehören Lichtbogenöfen, Induktionsöfen, Widerstandsöfen, Elektrostahlöfen sowie die Plasmaöfen. Ungefähr 90 % aller Elektroöfen heutzutage arbeiten als Lichtbogenöfen (Electric Arc Furnace Process, EAF). Der Elektrostahl gewann zu Beginn des 20. Jahrhunderts an Bedeutung und wird als Massenstahl hergestellt [Nausch-2002].

Das Elektrostahlverfahren nutzt Stahlschrott und/oder direktreduziertes Eisen (DRI) als Rohstoff innerhalb eines Elektrolichtbogenofens. Das chargierte Material wird über Graphitelektroden mittels elektrischer Energie eingeschmolzen. Der Prozess wird mit bis zu 100 % Stahlschrott betrieben [Schüler-2016], [Worldsteel-2016], [Martens-2016]. Die Lichtbogenöfen sind insbesondere im Bereich der Edelstahlherstellung von hoher Bedeutung [Milles-2006]. Insbesondere im Recyclingprozess von hochlegierten Edelstahlschrotten wird durch das Elektrostahlverfahren ein Prozess möglich, der den Schmelzprozess ohne Roheisen zulässt. Damit werden die wirtschaftlich Interessanten Legierungselemente (vgl. Kapitel 3.5) nicht künstlich verdünnt [Martens-2016].

Im Jahr 2015 betrug der Anteil des Oxygenstahlverfahrens in Deutschland rund 70,4 % und der Anteil des schrottbasierten Elektrostahlverfahrens entspre-

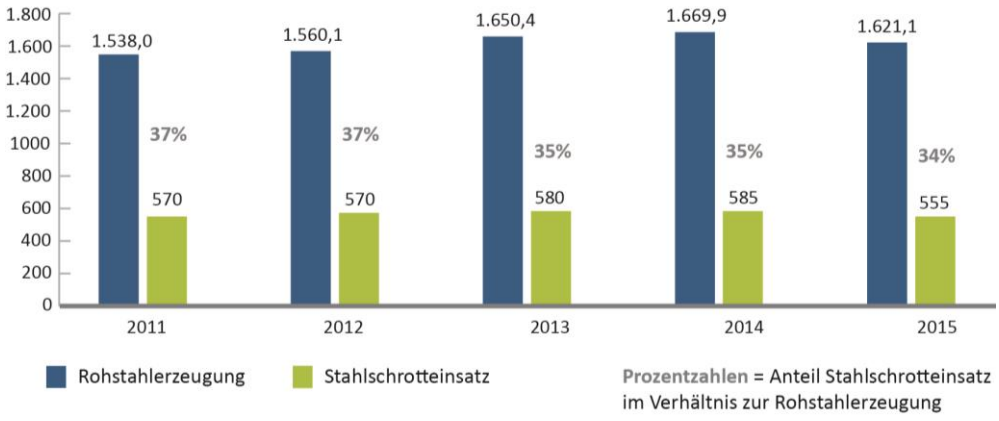
chend 29,6 % an der im Jahr 2015 erzeugten Rohstahlmenge von 42,7 Mio. Tonnen [WVS-2016]. Die nachfolgende Abbildung zeigt die historische Entwicklung der Rohstahlerzeugung in Deutschland von 1950 bis heute.

Bild 3-1:
Rohstahlerzeugung nach Verfahren in Deutschland, verändert nach [Schenk-2013]



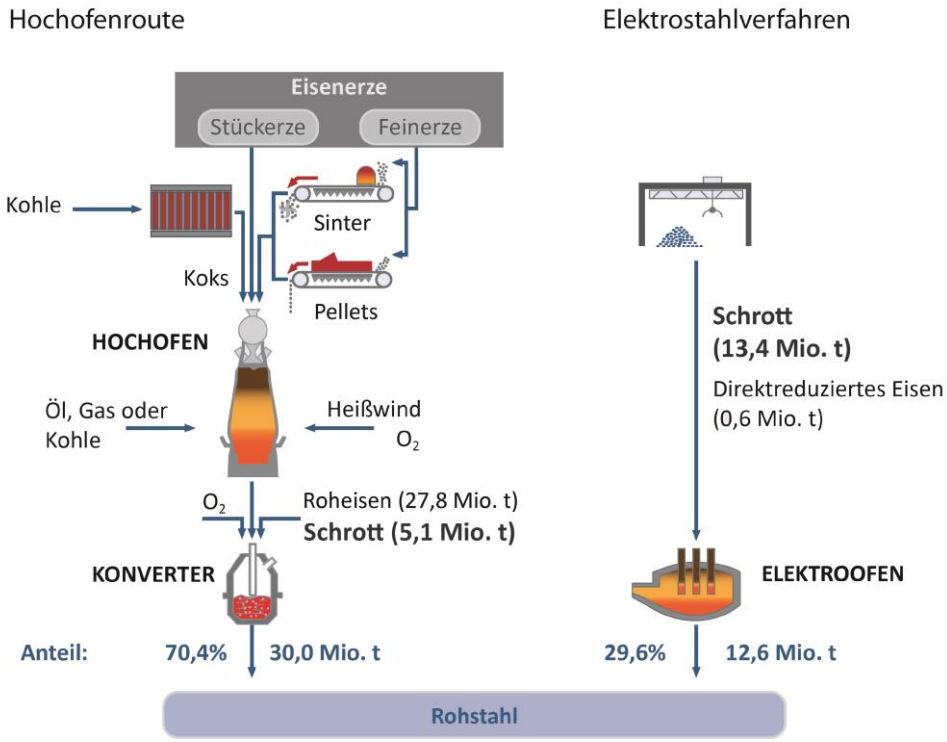
Die nachfolgende Grafik zeigt den weltweiten Stahlschrotteinsatz im Vergleich zu Rohstahlerzeugung.

Bild 3-2:
Weltweiter Einsatz von Stahlschrott bis zum Jahr 2015 in Millionen Tonnen, Daten nach [BIRFD-2015]



Stellt man beide Herstellungsrouten nebeneinander, wird die Bedeutung des Rohstoffs Stahlschrott sichtbar.

Bild 3-3:
Schema des Oxygenstahl-(BOF) und des Elektrostahlverfahrens (EAF), eigene Darstellung nach [WVS-2016]



Jedoch sind in der Realität Primär- und Sekundärroute nicht getrennt voneinander zu betrachten, da auch immer ein Teil des Produkts, dessen Stahlschrott am Ende des Lebenszyklus in der Sekundärroute eingesetzt wird, zuvor zu Beginn eines seiner Lebenszyklen über die Primärroute erzeugt wurde. Gleichermaßen ist durch den Kühlschrotteinsatz auch ein Anteil Recyclingmaterial im Produkt der Primärroute enthalten. Eine anerkannte Lebenszyklusanalyse geht daher in einem »Multi-Recycling-Ansatz« explizit nicht von einer Trennung beider Routen aus, sondern von insgesamt sechs Einschmelzprozessen, davon fünf über die Sekundärroute [Neugebauer-2012]. Die Grenzen sind entsprechend fließend, was erneut zeigt, dass Stahlrecycling und Stahlproduktion in einem »symbiotischen« Verhältnis zueinander stehen.

Betrachtet man die zukünftige Entwicklung der beiden Herstellungsrouten in Bild 3-4 sowie Bild 3-5, so ist davon auszugehen, dass der Rohstoff Stahlschrott weiterhin eine wichtige Rolle spielen und wesentlicher Bestandteil der zukünftigen Stahlproduktion sein wird [Pauliuk-2013], [Morfeldt-2015], [Yellishetty-2011]. Das Elektrostahlverfahren wird nach heutigen wissenschaftlichen Betrachtungen an Bedeutung gewinnen und mit ihm auch der Sekundärrohstoff Stahlschrott.

Bild 3-4:
Prognose Altschrottbereitstellung nach Bereichen, eigene Darstellung nach [Pauliuk-2013]

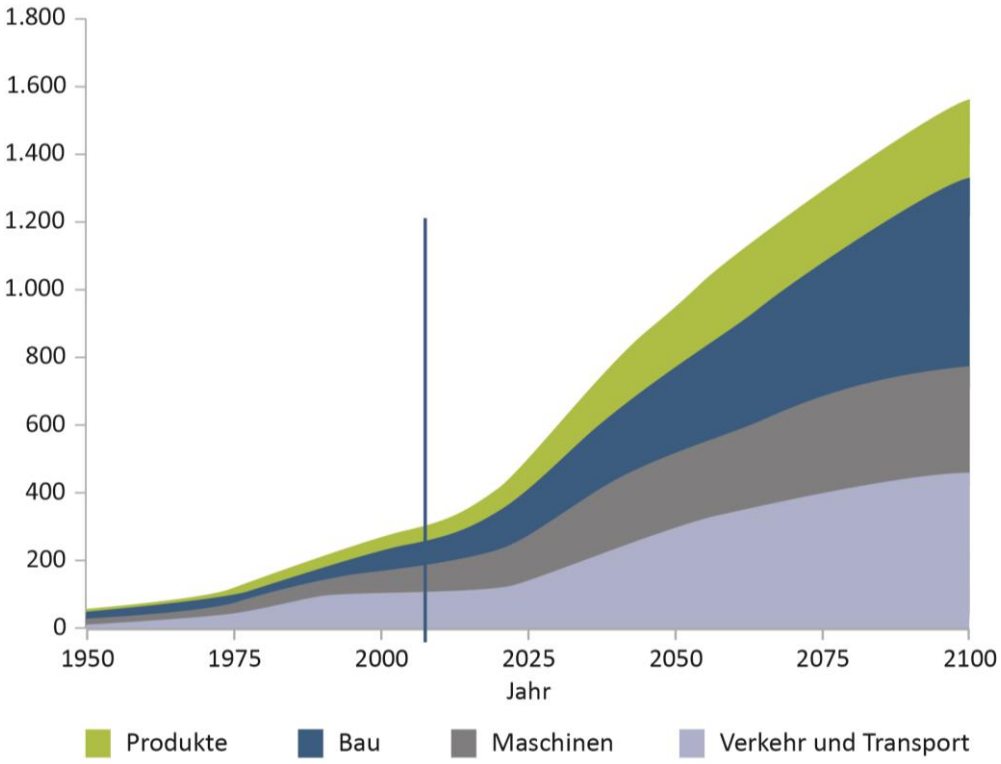
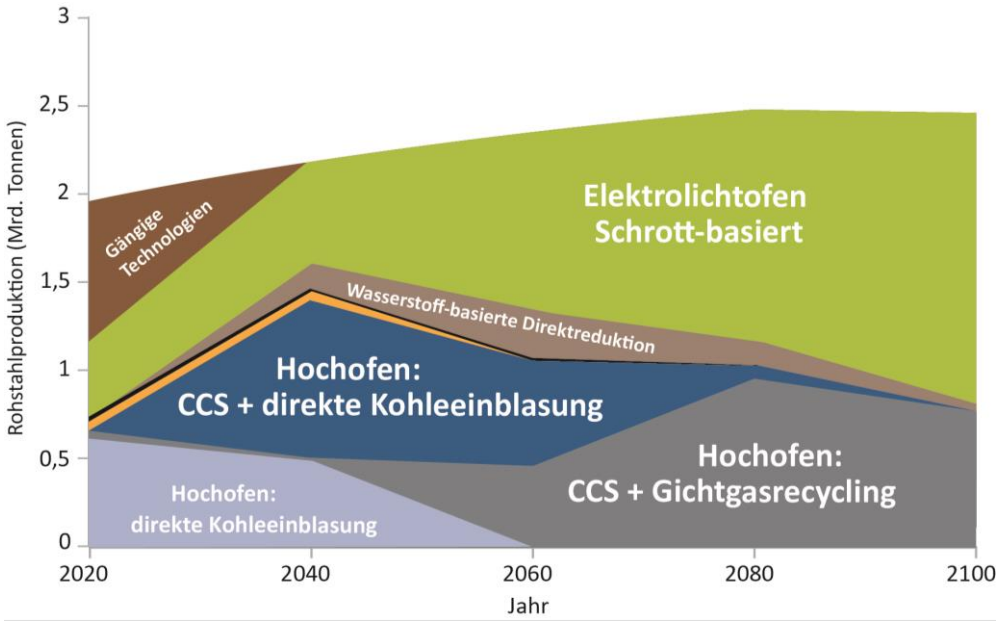


Bild 3-5:
Entwicklung der Herstellungsrouten bis 2100, Technologiewettbewerb im verbindlichen Klimaabkommen mit Stagnation der Nachfrage im Jahr 2050, eigene Darstellung nach [Morfeldt-2015]



Es ist also auch in Zukunft immer eine »Parallelität« der Verfahren in der Produktion von Stahl vorhanden. Dies hat Qualitäts- aber auch Mengengründe. Für gewisse Produkte benötigt man nach wie vor Primärmaterial (zumindest im Baustahlbereich), und auch die Menge kann nicht vollständig über Schrott gedeckt werden [Goldmann-2016]. Denn dieser ist hinsichtlich der kurzfristigen Verfügbarkeit durchaus auch ein knapper Rohstoff.

3.1.2 Beitrag der Stahlrecyclingwirtschaft

Auf Basis der dargestellten Erkenntnisse lassen sich somit folgende Punkte ableiten und als Argumente für die Zukunft Stahlschrott fixieren:

Schlussfolgerung »Kein Stahlschrott – keine Stahlindustrie«

- Rein aus technischen Beweggründen kann Stahlrecycling in der Stahlindustrie als Startpunkt der heutigen Recyclingwirtschaft verstanden werden.
- Der Rohstoffbedarf der Stahlindustrie ist nur mit Primärmaterial kurzfristig nicht zu decken – Schrott stellt heute und auch in Zukunft eine wesentliche Säule dar.
- Stahlschrott wird auch in Zukunft eine wesentliche Rolle in der Rohstoffversorgung der Stahlindustrie darstellen.

3.2 Kernaussage 2: Stahlrecycling als Teil der Wertschöpfungskette

3.2.1 Hintergrund

Stahl passt sich den Bedürfnissen der Nutzer an, analog dazu verhält es sich auch mit dem Sekundärrohstoff, der durch die Stahlwerke nachgefragt wird. Durch die Verwendung in der Stahlindustrie wird die primärrohstoffbasierte Produktionsroute unterstützt und auch in Zukunft sinnvoll ergänzt. Die Wirtschaftsvereinigung Stahl wird im aktuellen Ressourceneffizienzprogramm der Bundesregierung damit zitiert, dass jedes Stahlwerk gleichzeitig eine Funktion als Recyclinganlage erfüllt [BMUB-2016]. Damit dieser wichtigen Funktion auch nachgegangen werden kann, bedarf es einer qualitätsgesicherten Bereitstellung definierter Sekundärrohstoffe. Das Umweltbundesamt hat in einer Studie das anthropogene Lager an Metallen (vorrangig Stahl) auf ca. 1,2 Mrd. Tonnen geschätzt [UBA-2015]. Aufbauend auf den im vorangegangenen Kapitel skizzierten technischen Anfängen und heutigen Prozessen der Stahlherstellung, befasst sich die zweite Kernaussage genauer mit der heutigen Position der Stahlrecyclingwirtschaft in der Wertschöpfungskette.

Die Stahlrecyclingwirtschaft ist zuständig für die Sammlung und Aufbereitung zu definierten und qualitätsgesicherten Sekundärrohstoffen – den verschiedenen Stahlschrottsorten. Die Stahlschrottsortenliste ist durch Stahlrecyclingwirtschaft und Stahlindustrie auf freiwilliger Basis definiert und kategorisiert die anfallenden Materialien im Bereich der Kohlenstoffstahlschrotte in 16 klar definierte Schrottsorten. Die materialspezifischen Anforderungen der Stahlwerke an die einzelnen Schrottsorten werden durch eine konkrete Beschreibung unter anderem der Stärke des Schrottes, Höchstabmessungen, Schüttgewicht und max. Schuttanteil kategorisiert. Je nach Einsatzgebiet können auch unternehmensspezifische Anforderungen in Absprache mit dem abnehmenden Stahlwerk oder Gießerei gemacht werden. Nachfolgend sind die Standardsorten tabellarisch aufgelistet.

Tabelle 3-1: Vereinfachter Auszug der Europäischen Stahlschrottsortenliste mit der Aufteilung des Zukaufsschrotts der Hochofen- und Stahlwerke in Deutschland 2007, eigene Darstellung nach [UBA-2012] und [BDSV-2010].

Sorte	Beschreibung	Mengenanteil
0	**Stahlaltschrott**, der nicht unter die Definitionen der Sorten 1 und 3 fällt. Höchstabmessungen: 1,50 x 0,50 x 0,50 m	0,2 %
1	Leichter **Stahlaltschrott**, überwiegend zwischen 4 und 6 mm Stärke, aufbereitet für einen direkten Einsatz als Rohstoff. Kann Räder von PKW enthalten, aber unter Ausschluss von Karosserieschrott. Muss frei von sichtbaren Kupfer, Zinn, Blei, Maschinenteilen, Schutt, Betonstahl, sowie leichtem Stabstahl sein. Höchstabmessung: 1,50 x 0,50 x 0,50 m	9,4 %
2	Schwerer **Stahlneuschrott**, überwiegend stärker als 3 mm, aufbereitet für einen direkten Einsatz als Rohstoff. Muss frei von Beschichtungen, sichtbaren Kupfer, Zinn, Blei, Maschinenteilen und Schutt sein, wenn nicht anders vereinbart auch frei von Betonstahl, sowie leichtem Stabstahl. Höchstabmessungen: 1,50 x 0,50 x 0,50 m	14,5 %
3	Schwerer **Stahlaltschrott**, überwiegend stärker als 6 mm, aufbereitet für einen direkten Einsatz als Rohstoff. Rohre und Hohlprofile können enthalten sein. Karosserieschrott und Räder von Pkw sind ausgeschlossen. Muss frei sein von Betonstahl, leichtem Stabstahl, sichtbarem Kupfer, Zinn, Blei, Maschinenteilen und Schutt sein. Höchstabmessungen: 1,50 x 0,50 x 0,50 m	24,4 %
4	**Schredderstahlschrott**, frei von Stahlschrott aus der Müllverbrennung oder –separation, Schüttgewicht (i.tr.):	5,1 %

Sorte	Beschreibung	Mengenanteil
	mind. 1,1 t/m³ Fe-Gehalt metallisch: mind. 92 %	
5 H	Lose von **Kohlenstoffstahlspänen**, bekannten Ursprungs, frei von zu hohem Anteil wolliger Späne, aufbereitet für einen direkten Einsatz als Rohstoff, Späne von Automatenstahl müssen klar benannt werden. Die Späne müssen frei sein von jeglichen Verunreinigungen, wie NE-Metallen, Zunder, Schleifstaub und stark oxydierten Spänen oder Stoffen der chemischen Industrie.	
5 M	**Gemischte** Lose von **Kohlenstoffstahlspänen**, frei von zu hohem Anteil wolliger Späne, losem Material und frei von Automatenstahlspänen, aufbereitet für einen direkten Einsatz als Rohstoff. Die Späne müssen frei sein von jeglicher Verunreinigung, wie NE-Metallen, Zunder, Schleifstaub und stark oxydierten Spänen oder Stoffen der chemischen Industrie.	10,3 %
6	Leichter **Stahlneuschrott**, Stärke unter 3 mm, verdichtet oder in Form von festen Paketen, aufbereitet für einen direkten Einsatz als Rohstoff. Der Stahlschrott muss frei von sichtbaren Kupfer, Zinn, Blei, Maschinenteilen, Schutt und wenn nicht anderes vereinbart frei von Beschichtungen sein.	10,8 %
8	**Stahlneuschrott**, unter 3 mm Stärke. Höchstabmessungen: 1,50 x 0,50 x 0,50	14,6 %
40	**Schredderstahlschrott**, Stahlaltschrott in Stücke zerkleinert, die in keinem Fall größer als 200 mm für 95 % der Ladung sein dürfen. In den verbleibenden 5 % darf kein Stück größer als 1000 mm sein, aufbereitet für einen direkten Einsatz als Rohstoff. Der Schrott soll frei sein von überhöhter Nässe, von losen Gusseisenstücken, von Müllverbrennungsschrott, sichtbarem Kupfer; Zinn, Blei, sowie Schutt	-
42	**Geschredderter oder durch ähnliche Verfahren aufbereiteter Stahlschrott aus Stahlfeinblech-, Stahlfeinstblech- und Weißblechverpackungen aus dem Kreislaufsystem Blechverpackungen Stahl**, Schüttgewicht (i.tr.): mind. 0,9 t/m³ Korngröße: Obergrenze 50-70 mm max. 5 Gew.-% < 5 mm Fe-Gehalt metallisch: mind. 92 % Nässe: gesonderte Vereinbarung	0,2 %
46	**Geschredderter oder durch ähnliche Verfahren aufbereiteter Stahlschrott aus der Müllverbrennung**, aus Haushaltsabfällen, nach einer magnetischen Trennung auf eine Stückgröße kleiner 200 mm geschreddert. Muss frei von hohen Mengen an sichtbaren Kupfer, Zinn, Blei, sowie Schutt	0,6 %

Sorte	Beschreibung	Mengenanteil
	sein. Schüttgewicht (i.tr.): mind. 0,9 t/m³ Korngröße: Obergrenze 50-70 mm max. 5 Gew.-% < 5 mm Fe-Gehalt metallisch: mind. 92 % Nässe: gesonderte Vereinbarung	
47	**Geschredderter oder durch ähnliche Verfahren aufbereiteter Stahlschrott aus der Müllseparation**, (getrenntes Recycling von Dosen), Schüttgewicht (i.tr.): mind. 0,9 t/m³ Korngröße: Obergrenze 50-70 mm max. 5 Gew.-% < 5 mm Fe-Gehalt metallisch: mind. 92 % Nässe: gesonderte Vereinbarung	1,1 %
71	**Weißblechdosenschrott (vorverdichtet)**, mind. 93 % Weißblechverpackungen; andere, für eine gleiche Verwertung geeignete Fe-Anteile werden auf die Quote von 93 % bis zu 5 % angerechnet, keine Vermischung mit Stahlschrott aus der Müllverbrennung, weitestgehend frei von Beimischungen aus anderen Verpackungen mit Ausnahme von Verpackungen aus Stahlfeinblech. Schüttgewicht auf Waggon oder Lkw: mind. 0,25 t/m³ Pakete (Ballen) dürfen ein max. Kantenmaß von 0,60 x 0,60 x 1,50 m nicht überschreiten	k.A.
72	**Pakete aus Stahlfeinblech-, Stahlfeinstblech- und Weißblechverpackungen aus dem Kreislaufsystem Blechverpackungen Stahl**, keine Vermischung mit Stahlschrott aus der Müllverbrennung, frei von Beimischungen aus anderen Verpackungen. Spezif. Paketgewicht: mind. 1,3 t/m³ Schüttgewicht auf Waggon oder Lkw: mind. 0,4 t/m³	k.A.
75	**Weißblechdosenschrott (paketiert)**, aus durch Schreddern oder ähnlichen Verfahren aufbereiteten, gebrauchten Weißblechverpackungen Schüttgewicht: mind. 1,6 t/m³ Kantenmaß: max. 0,50 m x 0,50 m x 1,50 m Störstoffanteil: max. 2,5 % durch Glühversuch ermittelt.	k.A.
76	**Weißblechdosenschrott (paketiert)**, mind. 93 % Weißblechverpackungen; andere, für eine gleiche Verwertung geeignete Fe-Anteile werden auf die Quote von 93 % bis zu 5 % angerechnet, keine Vermischung mit Stahlschrott aus der Müllverbrennung, weitestgehend frei von Beimischungen aus anderen Verpackungen mit Ausnahme von Verpackungen aus	1,8 %

Sorte	Beschreibung	Mengenanteil
	Stahlfeinblech. Schüttgewicht auf Waggon oder Lkw: mind. 0,4 t/m³ Pakete dürfen ein max. Kantenmaß von 0,60 x 0,60 x 1,50 m nicht überschreiten.	
79	**Stahlschrott aus der Müllverbrennung**, frei von Elektroaggregaten und Cu-Trägern, Schüttgewicht (i.tr.): mind. 0,4 t/m³ Korngröße: max. 1500 mm max. 5 Gew.-% < 5 mm Fe-Gehalt metallisch: mind. 85 %	0,3 %
EHRB	Alter und neuer **Stahlschrott**, der vor allem aus Betonstahl und leichtem Stabstahl besteht, aufbereitet für einen direkten Einsatz als Rohstoff. Kann geschnitten, geschert oder paketiert werden und muss frei von zu hohen Mengen an Beton oder anderen Baustoffen, sowie von sichtbarem Kupfer, Zinn, Blei, Maschinenteilen und Schutt sein. Höchstabmessungen: 1,50 x 0,50 x 0,50 m	k.A.
EHRM	Alte und neue **Maschinenteile und Komponenten**, die in den anderen Sorten nicht angenommen werden, aufbereitet für einen direkten Einsatz als Rohstoff. Kann Gußeisenstücke enthalten. Muss frei von sichtbarem Kupfer, Zinn, Blei, Schutt und Teilen wie Kugellagergehäuse, Bronzeringe und anderen Sorten sein. Höchstabmessungen: 1,50 x 0,50 x 0,50 m	k.A.

Durch die Kategorisierung wird zudem sichergestellt, dass keine Sekundärrohstoffe geliefert werden, die zu Beeinträchtigungen im metallurgischen Prozess führen können. Die Unternehmen der Stahlrecyclingbranche haben folglich die wesentliche Aufgabe, Stoffströme aus diversen, teils heterogenen Quellen zu bündeln, aufzubereiten und als qualitätsgesicherten Sekundärrohstoff für Abnehmer in der Gießerei und Stahlindustrie bereitzustellen.

Beim Edelstahl wird üblicherweise eine kunden- und werkstoffnummernspezifische chemisch-metallurgische Analyse bereitgestellt.

Die Bereitstellung von passgenauen Schrotten mit definierten Eigenschaften als Inputmaterial ist somit essenziell für die Herstellung von neuen Stahlprodukten. Diese Dienstleistung erbringt die Stahlrecyclingwirtschaft als Sammler und Aufbereiter von Stahlschrott und durch die notwendige Aufbereitung zu einem Sekundärrohstoff [Deike-2016], [Goldmann-2016], [Martens-2016].

Um diese Dienstleistung für die Stahl- und Gießereiindustrie zu erbringen, werden die unterschiedlichsten Aufbereitungsverfahren genutzt [Yellishetty-2011]. So wird beispielweise der in der Primärroute zur Temperaturführung genutzte Kühlschrott (vgl. Kapitel 3.1.1) in einem Schredderprozess hergestellt und muss

definierte Anforderungen z. B. an Schüttgewicht, Form, Durchmesser (Chargierfähigkeit) und Störstoffanteilen einhalten, um überhaupt eingesetzt werden zu können. Er stellt somit einen hochwertigen Sekundärrohstoff auch im Oxygenstahlverfahren dar. Die nachfolgende Zusammenstellung zeigt die aktuell gängigen Verfahren, die in der Stahlrecyclingwirtschaft genutzt werden.

Bild 3-6:
Schrottsortierung und Aufbereitungstechnologien, eigene Darstellung nach [Yellishetty-2011]

Name des Verfahrens	Zu entfernende Stoffe/zu leistende Arbeit	Mittel oder Mechanismus
Sortierung und Vorbereitung, oder physikalische Trennung	Trennung metallischer Produkte von nichtmetallischen Produkten Verschiedene Anhaftungen Sonstige wertvolle und wiederverwertbare Stoffe	Manuelle Trennung durch Menschen durch visuelle Inspektion der Farbe, Textur, Dichte, etc. Tragbare optische Emissionsspektrometer Techniken der Computerbildauswertung (Farbsortierung), Laserinduzierte Plasmaspektroskopie
Zerkleinerung	Zerkleinerung von großformatigem Schrott in kleinere Stücke zum Transport und Beschickung Erhöhung der Dichte des Schrotts vor der Beschickung des Ofens	Ballenpresse: durch hydraulische Rammen wird der Schrott komprimiert und verdichtet Brikettierung: durch zwei gegenläufig rotierende Trommeln und Hitze wird der Schrott verdichtet Scheren: durch eine hydraulische Guillotine wird der Schrott in Stücke geschnitten
Schreddern/ Fragmentierung	Umwandlung größerer Objekte in passende Stücke (Kraftfahrzeuge und weiße Ware) Erzeugt: Eisenmetall und Schredderrückstände (SR) (Leichtfraktion und Schwerfraktion)	Zerschlagen der Objekte mit Hammermühlen (Kraft, Windsichtung, magnetische Eigenschaften und manuelle Sortierung)
Magnetische Trennung	Trennt eisenhaltige von nicht-eisenhaltigen Schrott	Band- oder Trommel-Permanentmagnete oder Elektromagnete werden verwendet (magnetische Eigenschaften von Eisenmetallen und bei Bedarf händische Sortierung)
Wirbelstromscheider	Entfernt Nichteisenmetalle aus dem Abfall und aus der SR-Fraktion	Schräg-Rampentrenner mit einer Reihe von Magneten mit nichtmagnetischer Gleitfläche (Magnetismus für magnetische Produkte und elektrische Leitfähigkeit für nicht-magnetische Produkte)
Abscheidung schwererer Medien	Gewinnt Nichteisenmetalle aus der SR-Fraktion	Verwendet feingemahlenen Magnetit oder Ferrosilizium mit Wasser (spezifisches Gewicht, relative Dichte und Viskosität)
Funken- , magnetische, chemische und spektroskopische Prüfung	Trennung und Klassifizierung verschiedener Stahllegierungen	Durch Magnete, Säuren, Schleifen (für Legierungen) und Röntgenstrahlen (Ferromagnetismus, Säure-Reaktion, Farbe und Funkenlänge, emittierte Lichtspektra)
Techniken der Beschichtungsentfernung	Entfernung von Zink, Zinn, Brennstoffen, Ölen, Fetten, Farben, Schmiermitteln und Klebstoffen etc.	Nutzung von thermischen Methoden wie Verdampfer und Verbrennungsanlagen (Temperaturunterschiede und Abrieb)

Dabei ist anzumerken, dass nicht jedes Unternehmen der Schrottrecyclingbranche alle der genannten Technologien nutzt, sondern jeweils spezifische Kombinationen gemäß den Anforderungen aus dem Kundenkreis einsetzt. Die Bereitstellung und Aufbereitung erfolgt dabei nach konkreten Anforderungen der abnehmenden Stahl- und Edelstahlwerke.

Die Stahlrecyclingwirtschaft übernimmt als Dienstleister und Sekundärrohstofflieferant für Gießerei- und Stahlindustrie zusammenfassend folgende relevante Aufgaben in der Wertschöpfungskette:

- Sammlung, Ankauf und Handling unterschiedlicher Stahlschrotte
- Vorhaltung von Lagerkapazitäten
- Bereitstellung eines qualitätsgesicherten Sekundärrohstoffs mit definierter Zusammensetzung sowie Stückgröße

- Lieferlogistik

3.2.2 Beitrag der Stahlrecyclingwirtschaft

Auf Basis der dargestellten Erkenntnisse, lassen sich somit folgende Punkte ableiten und als Argumente für die Zukunft Stahlschrott fixieren:

Schlussfolgerung »Stahlrecycling als Teil der Wertschöpfungskette«

- Die Unternehmen der Stahlrecyclingbranche übernehmen zu Beginn der Wertschöpfungskette im Bereich der Stahlindustrie die Aufgabe der Sammlung und Aufbereitung von Stahlschrotten sowie die Lagerhaltung und Logistik.
- Durch diese Dienstleistung, stellt die Stahlschrottbranche in Deutschland einen wesentlichen Standortfaktor für die hiesige Spezialstahlindustrie dar.
- Das Stahlrecycling ist beinahe so alt wie die Stahlindustrie und hat eine lange Tradition (vgl. Kapitel 3.1), die zu tiefen wirtschaftlichen Verflechtungen geführt hat und die heutige Position der Stahlrecyclingwirtschaft definiert.
- Elektrostahlwerke und auch Oxygenstahlwerke setzen auf die qualitätsgesicherten Lieferungen der Stahlrecyclingbranche, um Ihre Prozesse optimal betreiben zu können. Die Stahlrecyclingbranche ist verlässlicher Partner der Stahlindustrie und Rohstofflieferant für nationale und internationale Betriebe.
- Durch das skizzierte Know-how in der Anlagentechnik kann die Stahlrecyclingbranche als einer der wichtigsten Dienstleister in der Wertschöpfungskette der Stahlindustrie betrachtet werden, da die dazugehörigen Unternehmen überhaupt erst den Sekundärrohstoff erfassen, aufbereiten und qualitätsgesichert bereitstellen, den die etablierten metallurgischen Verfahren benötigen.

3.3 Kernaussage 3: Kein Stahlschrott – keine zirkuläre Wirtschaft

3.3.1 Hintergrund

Vor dem Hintergrund der globalen Entwicklung wird in den nächsten 50 Jahren die Etablierung von möglichst geschlossenen und effizienten Rohstoffkreisläufen eines der prägenden Themen der Gesellschaft sein [Deike-2016]. Als von metallischen Primärrohstoffen importabhängiges Land (vgl. Kapitel 3.6) muss Deutschland auch auf heimische Sekundärrohstoffe setzen und die zirkuläre Wirtschaft weiter vorantreiben. Doch die zirkuläre Wirtschaft steht verschiede-

nen Herausforderungen gegenüber, die sich folgendermaßen zusammenfassen lassen:

- Verbesserung der Sammlung und Aufbereitung
- Sortenreine Trennung zur Sicherstellung einer hochwertigen Verwertung
- Umgang mit Störstoffen in metallurgischen Prozessen
- Aussortierung von Schad- und Begleitstoffen aus Recyclingprozessen
- Einhaltung von Qualitätsanforderungen der Endkonsumenten

Die Möglichkeiten der Stahlrecyclingbranche werden in der nachfolgend beschriebenen Kernaussage diskutiert.

Die Bundesregierung wird laut aktuellem Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess II) die Entwicklung geeigneter Verfahren zur Bearbeitung der genannten Herausforderungen unterstützten. Obwohl laut ProgRess II Eisenmetalle in einem gut funktionierenden und wirtschaftlichen System recycelt werden, wurde ein großes Ressourceneffizienzpotenzial identifiziert, welches in den Tätigkeitsbereich der Stahlrecyclingwirtschaft passt. Die Optimierung der Erfassung und das Recycling sogenannter ressourcenrelevanter Mengenabfälle ist eines der Ziele innerhalb des Handlungsfelds des Ausbaus einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft [BMUB-2016]. Der Stahlrecyclingbranche kommt dabei eine zentrale Rolle zu, da sie mit den anfallenden Stoffströmen umgehen muss, diese separieren, steuern und so aufbereiten muss, dass diese in die richtigen Anwendungen zurückfließen können, ohne wertvolle Bestandteile zu verlieren.

Das Stahlrecycling bewegt sich in Deutschland seit langem an der Grenze des wirtschaftlich und technisch realisierbaren Zustands [UBA-2015]. Dafür ist, neben einer entsprechend kontinuierlichen Verwendung von Stahlprodukten in neuen Produkten, auch die funktionierende Erfassung von Stahlschrott und dessen Rückführung in aufbereiteter Form durch die Stahlrecyclingwirtschaft verantwortlich.

Das Programm ProgRess II nennt die durch Effizienzsteigerungen und Innovationssprünge bedingte Substitution von Primärrohstoffen durch Sekundärrohstoffe (Stahlschrott) in der Stahlproduktion als wesentlichen Treiber des sinkenden Bedarfs an Primärrohstoffen für inländischen Konsum und inländische Investitionen, sichtbar im Indikator Raw Material Consumption (RMC) [BMUB-2016]. Die dafür verantwortlichen Effizienzsteigerungen und Innovationssprünge in der Prozesstechnik der Stahlindustrie werden dabei durch die qualitätsgesicherte Bereitstellung von Stahlschrotten unterstützt (vgl. auch Kapitel 3.2.1).

Ein wesentlicher Bestandteil des anfallenden Stahlschrotts ist der Sorte 4 (Schwerer Stahlaltschrott) zuzuordnen [UBA-2012]. Dahinter verbergen sich insbesondere Karosserieteile von Altfahrzeugen (vgl. Europäische Stahlschrottsortenliste). Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) weist in seinen kreislaufwirtschaftlichen Zielen und Indikato-

ren u. a. die Verbesserung des Altfahrzeugrecyclings durch die Separation von Bauteilen der Fahrzeugelektronik vor dem Schreddern aus. Durch den täglichen Umgang mit den Input- und Outputströmen und dem skizzierten Know-how in der Aufbereitungstechnik, kommt der Stahlrecyclingbranche hier eine weitere Schlüsselposition in der Umsetzung der zirkulären Wirtschaft zu.

Die in Kapitel 3.1 dargestellten Prozesse und deren jeweiliger Schrottinput, produzieren etwa 2500 Stahlsorten mit genormten Zusammensetzungen [DIN-10020], [DIN-10027]. Die nachfolgende Grafik soll daher nur einen groben Überblick darüber geben.

Bild 3-7:
Einteilung der Stähle nach [DIN-10020], eigene Darstellung nach [Hornbogen-2013]

Nach chemischer Zusammensetzung	Nach Güteklassen	Kennzeichen
unlegiert, Grenzgehalte[b,c]: Mn < 1,65, Si < 0,50 Cu < 0,40 Cr, Ni < 0,30 Al, Co, V, W < 0,10 Mo < 0,08, Nb < 0,06	Grundstähle Grenzgehalt[b]: < 0,10 C	nicht zur Wärmebehandlung bestimmt
	unlegierte Qualitätsstähle	zur Wärmebehandlung bestimmt
	unlegierte Edelstähle	zur Vergütung und Oberflächen-härtung bestimmt, höhere Reinheit
legiert, oberhalb der Grenzgehalte	legierte Qualitätsstähle	geringere Legierungsgehalte
	legierte Edelstähle	höhere Legierungsgehalte, höhere Reinheit, besondere Wärmebe-handlungsbedingungen

[b] Masse-%
[c] Kombination mehrerer Elemente innerhalb der Grenzgehalte führt zu legierten Stählen

Tabelle 3-2: Maximal zulässige Begleitelemente in unlegierten Stählen sowie zulässige und geforderte Beimengungen im Schrott für das Erschmelzen von zwei Edelstahlsorten, eigene Darstellung nach [Martens-2016] auf Basis von [Willeke-1998] und [Moeller-2014].

Element	max. zulässige Gehalte an Begleitelemen in unlegierten Stählen (%)	Zulässige und geforderte Beimengungen im Schrott zur Herstellung von CrNi18-8 (%)	Zulässige und geforderte Beimengungen im Schrott zur Herstellung von CrNiMo18-10-2 (%)
C	0,02…0,40	-	
Si	0,02…0,30	-	
Mn	0,15…1,5	max. 1,20	
P	0,01…0,025	max. 0,035	
S	0,012…0,030	max. 0,035	
Al	0,02…0,045	-	
Cu	0,04…0,25	max. 0,40	
Cr	0,04…0,20	16…16,5	15…17
Ni	0,04…0,25	8…9,5	9…12
Mo	0,01…0,10	max. 0,5	1,7…2,2
∑ Cu, Cr, Ni, Mo	ca. 0,13	-	
W	-	max. 0,10	
Co	-	max. 0,30	
As	-	max. 0,05	
B	-	max. 0,001	
Nb	-	max. 0,05	
Pb	-	max. 0,0005	
Sb	-	max. 0,003	
Bi	-	max. 0,0001	
Se	-	max. 0,003	
Sn	-	max. 0,05	
V	-	max. 0,20	
Zr	-	max. 0,05	

Die dargestellten Grenzgehalte müssen aus prozesstechnischen Gründen eingehalten werden, um dauerhaft und wirtschaftlich hochwertigen Stahl mit

gleichbleibender Qualität herzustellen. Die Zusammensetzung der Schrotte ist somit sowohl für das Recyclingverfahren als auch für das zu erzeugende Recyclingprodukt von großer Bedeutung. Durch Definition der Schrottsorten (vgl. Kapitel 3.2.1) und Verständigung zwischen Stahlrecyclingunternehmen und Stahlproduzenten wird dieser Anforderung bereits umfassend Rechnung getragen.

Doch um auch in Zukunft im Sinne einer zirkulären Wirtschaft den Anteil von Schrotten an der Stahlproduktion zu erhöhen, kommt der gezielten Steuerung von Legierungselementen und der Zusammenstellung der Schrottsorten zur Einhaltung der Grenzgehalte eine große Bedeutung zu [Martens-2016]. Hier ist die Stahlrecyclingwirtschaft in Zukunft gefordert, ihr Know-how einzubringen.

Um die Auswirkungen der sogenannten »Tramp Elements« (Stahlschädiger) so gering wie möglich zu halten und die zirkuläre Wirtschaft technisch umsetzbar zu gestalten, sind in [Martens-2016] fünf Strategien und Maßnahmen vorgeschlagen:

1) Recyclinggerechte Konstruktion (Design for Recycling) durch geeignete Materialauswahl, Fügetechniken und Demontagefreundlichkeit
2) Verbesserung der Sortierprozesse, besonders der Vorsortierung legierter Schrotte
3) Entwicklung neuer Legierungen mit Kupfer
4) Verdünnung mit Roheisen
5) Erhöhen des Bewusstseins in der Gesellschaft für Stahlprodukte

Die Stahlrecyclingwirtschaft betreffen zwei Maßnahmen direkt. Während die Maßnahme eins vorrangig die stahlverarbeitende Industrie adressiert (z. B. die Automobilindustrie oder den Maschinenbau insbesondere vor dem Hintergrund der Ökodesign-Richtlinie[1]), so richtet sich Maßnahme zwei direkt an die Stahlrecyclingwirtschaft. Der Anteil von ungewünschten Begleitelementen im Stahlschrott sowie der Einsatz von Hybridmaterialien (Kunststoff-Stahl) werden tendenziell größer werden; dieser Herausforderungen muss sich die Stahlrecyclingbranche stellen [Goldmann-2016]. Eine zirkuläre Wirtschaft wird im Umkehrschluss ohne die Branche nicht weiterentwickelt werden können. Maßnahmen drei und vier betreffen die Bereiche der metallurgischen Prozesstechnik, indirekt somit auch die Stahlrecyclingwirtschaft als Sekundärrohstofflieferanten.

Die klaren Grenzgehalte verdeutlichen, dass Stahlschrott für den Einsatz im Elektrolichtbogenofen als auch im LD-Konverter definierte Anforderungen erfüllen muss und daher einer kontinuierlichen Qualitätsüberprüfung sowie Aufbereitung unterzogen werden muss [Yellishetty-2011], [Martens-2016]. Dass diese Anforderungen von den Stahlwerken eingehalten werden können, ist

[1] Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0125&from=DE

zum einen der metallurgischen Prozessführung zuzuschreiben und zum anderen dem Einsatz definierter Sekundärrohstoffe.

Aufgrund von speziellen Qualitätsanforderungen sind zurzeit noch einige Stahlsorten nicht ohne einen gewissen Anteil von Roheisen herstellbar [UBA-2012]. Generell gilt jedoch, dass ein Stahlprodukt nach mehreren Lebenszyklen beliebig oft einen Recyclingprozess im Elektrostahlverfahren durchlaufen kann und dessen Schrott als Sekundärrohstoff wieder für neue Produkte eingesetzt werden kann [Ameling-2007], [Stubbe-2008], [Neugebauer-2012].

Aus metallurgischer Sicht müssen prinzipiell zwei übergeordnete Bereiche unterschieden werden, die jeweils spezifische Schrotte zur Produktion benötigen. Zum einen Stahl mit hoher Dehnung und geringerer Festigkeit und zum anderen Stahl mit geringer Dehnung und höherer Festigkeit [Deike-2016]. Um die metallurgischen Prozesse bestmöglich und effizient zu steuern, lenkt man die Schrotte aus beiden Bereichen durch intelligentes Stoffstrommanagement in die jeweils korrekten Anwendungsfälle. Als gutes Beispiel zur intelligenten Steuerung von Stoffströmen kann die Verwendung von kupferhaltigen Schrotten in der Gießereiindustrie zu Herstellung von kupferhaltigen Gusswerkstoffen betrachtet werden. Der identische Schrott wäre in einem anderen Prozess durch den hohen Kupferanteil nicht einsetzbar, im konkreten Beispiel erfüllt er jedoch einen Sinn und substituiert dort sogar ein NE-Metall zur Legierung. Es gilt jedoch die Faustregel: Je stärker ein Stahl umgeformt werden muss, desto hochwertiger muss der Schrott sein, der für die Produktion eingesetzt wird [Deike-2016].

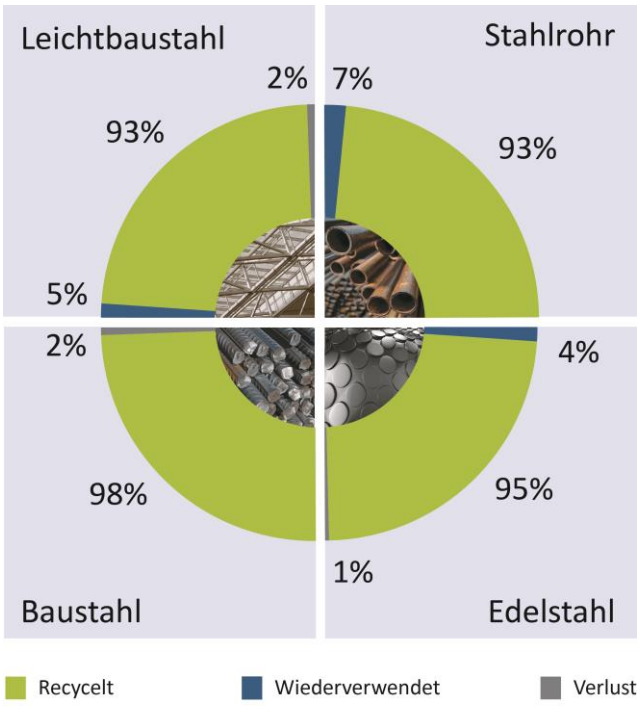
Bei Beachtung aller Qualitätsanforderungen ist ein Downcycling theoretisch technisch unmöglich, da die Sekundärmetallurgie kunden- und anwendungsspezifisch erneut eine definierte und genormte Schmelze herstellen. In modernen metallurgischen Prozessen werden Stahl- und Gießereiprodukte auf Basis von Sekundärrohstoffen nahezu vollständig im Kreislauf gefahren. Die Qualität der Metalle im Verlauf des Recyclings nimmt dabei nicht ab, sondern zu [Deike-2016]. Dies kann damit begründet werden, dass im Verlauf des Produktlebenszyklus in dem das Stahlprodukt im anthropogenen Lager verweilt, die metallurgischen Werkstoffentwicklungen voranschreiten. So können nach dem Lebensende des Produkts durch den Recyclingprozess neue Stahlprodukte auf Basis von Sekundärrohstoffen mit besseren Eigenschaften bei weniger Materialeinsatz hergestellt werden. Dies ist ein wesentlicher Vorteil der Metallurgie [Schüler-2016]. Wenn die Stahlrecyclingwirtschaft die Stoffströme intelligent aufbereitet und steuert sowie die Stahlindustrie die Sekundärrohstoffe in passgenauen Prozessen einsetzt, so stellt das Downcycling aus technischer Sicht im Stahlbereich kein Problem dar.

Vereinfacht gesagt, kann unter Berücksichtigung der einzuhaltenden Grenzwerte und Anforderungen aus einem Automobilblech eine Waschmaschine werden, eine Waschmaschine am Ende des Lebenszyklus kann Basis für einen Sekundärrohstoff für Baustahl darstellen und aus ausgedientem Baustahl kann ein entsprechender Sekundärrohstoff hergestellt werden, der wieder in eine

Schmelze für ein Automobilblech eingeht. Laut Expertenaussage, hängt die Höhe der Schrottanteile in einem Stahlprodukt grundsätzlich nicht von der Anwendung ab, sondern von der Verfügbarkeit des passenden Sekundärrohstoffs – hier liegt weiteres Potenzial für die Stahlrecyclingwirtschaft.

Dass bereits heute die Kreisläufe im Bereich einzelner Produktgruppen nahezu geschlossen sind und nur geringe Verluste zu verzeichnen sind, zeigt die nachfolgende Darstellung.

Bild 3-8:
Übersicht Verlust-, Re-Use- und Recyclingrate unterschiedlicher Produkte [Sansom-2014]



3.3.2 Beitrag der Stahlrecyclingwirtschaft

Auf Basis der dargestellten Erkenntnisse lassen sich somit folgende Punkte ableiten und als Argumente für die Zukunft Stahlschrott fixieren:

Schlussfolgerung 3 »Kein Stahlschrott – keine zirkuläre Wirtschaft«

- Der Anteil von ungewünschten Begleitelementen im Stahlschrott wird durch Produktentwicklung tendenziell größer werden. Die Stahlschrottbranche hilft bereits jetzt dabei, Stoffströme zu priorisieren und hochlegierte Stähle in die korrekten Anwendungsbereiche zu bringen sowie diese so sortenrein wie nötig dem Stahlwerk zur Verfügung zu stellen.

- Die Stahlrecyclingwirtschaft führt eine Eingangsanalyse sämtlicher zugekaufter Waren durch ein kontinuierliches Qualitätsmanagement durch (Waren-

eingänge und Sicherstellung der kundenspezifischen Analyse). So können die Grenzwerte bei unerwünschten Begleitelementen ebenso eingehalten werden wie Mindestgehalte zur Produktion von neuen Stahlprodukten.

- Hochfeste Stahllegierungen sowie Materialverbunde müssen in Zukunft großtechnisch im Idealfall legierungsspezifisch getrennt werden, hierbei nimmt die Stahlrecyclingbranche eine zentrale Rolle ein und kann in Zukunft das Branchenwissen sowie eine etablierte Infrastruktur nutzen, um Dissipationseffekte von Legierungselementen zu verhindern sowie die Qualität sicherzustellen.

- Mit dieser Dienstleistung, welche in Zukunft noch weiter ausgebaut und notwendiger denn je sein wird, stellt für die Stahlrecyclingwirtschaft in Deutschland einen wesentlichen Standortfaktor für die hiesige Stahlindustrie und die produzierten hochwertigen Stahlprodukte dar.

- Durch eine gute Erfassung, Sortierung und Zuleitung der verschiedenen Schrottsorten in die richtigen Prozesse wird durch die Branche eine Qualitätssicherung zu Beginn der Prozesskette der Edelstahl- und Stahlproduktion ermöglicht.

- Durch Branchenwissen sowohl im Bereich legierter als auch unlegierter Stahlschrotte können Qualitätsverluste vermieden und eine homogene Verteilung von Legierungselementen wie Nickel, Chrom und Molybdänträgern erreicht werden.

- Ohne die Dienstleistung der Erfassung, Sortierung, Aufbereitung und Schrottlogistik kann die Kreislaufwirtschaft in Deutschland und Europa nicht umgesetzt werden.

3.4 Kernaussage 4: Stahlschrott schont Klima und Ressourcen

3.4.1 Hintergrund

Um einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung zu leisten, werden drei Strategien verfolgt: Die Effizienz-, die Konsistenz- und die Suffizienzstrategie [Jörissen-1999].

Das Recycling von Stahlschrotten stellt einen Beitrag zur Konsistenz- und zur Effizienzstrategie dar. Das Recycling hilft, Kreisläufe zu schließen und die Ressourcenentnahme aus der Natur zu reduzieren. Die Ressourceneffizienz beschreibt das Verhältnis eines bestimmten Nutzens oder Ergebnisses zum dafür nötigen Ressourceneinsatz. Betrachtet man qualitativ hochwertigen Stahl als Nutzen und den Ressourceneinsatz (der in diesem Fall aus Primär-/Sekundärrohstoffen bereitgestellt wird) als dafür variable Größe, so hat die Verwendung von Stahlschrott eine direkte positive Hebelwirkung auf die Ressourceneffizienz.

In Zukunft wird das Recycling noch wichtiger, da die Erzgehalte in den Lagerstätten weiter abnehmen werden [Mudd-2010]. Dadurch müssen perspektivisch immer größere Mengen an Abraum bewegt und immer mehr Energie eingesetzt werden, um Metalle zu gewinnen.

In vielen Studien wurde bereits nachgewiesen, dass der Einsatz von Stahlschrott zum Klima- und Ressourcenschutz beiträgt. Dazu werden in der Regel die Primärproduktion in der Hochofenroute mit der Produktion aus Schrotten im Elektrolichtbogenofen verglichen. Die ermittelten Werte haben eine Schwankungsbreite und hängen u. a. von folgenden Faktoren ab:

- Alter und damit Stand der Technik (Effizienz) der bilanzierten Anlagen.
- Bilanzielle Berücksichtigung oder Nicht-Berücksichtigung des Schrotteinsatzes in der Hochofenroute; auch hier werden Kühlschrotte eingesetzt.
- Verwendeter Strommix für den Elektrolichtbogenofen: In Norwegen mit einem wasserkraftdominierten (und damit nahezu CO_2-neutralen) Strommix schneidet das Verfahren aus Klimasicht besser ab als in Ländern wie Deutschland mit einem größeren Anteil von Braun- und Steinkohlekraftwerken.
- Betrachtete Erzquellen und Eisenkonzentrationen für die Hochofenroute.
- Verwendete Systemgrenzen: Bei den meisten Rechnungen wird der Schrott für die Elektrolichtbogenofen als »neutraler« Input gerechnet, d. h. ohne die Umweltlasten der Vorketten. Aber auch dieser Schrott muss als Produkt vorher zunächst einmal im Hochofen erstellt worden sein. Berücksichtig man dies, wie z. B. im Multirecyclingansatz von [Neugebauer-2012], führt das zu geringeren Einsparungen.

[Broadbent-2016] geht in einer aktuellen Studie z. B. von einer Einsparung von 1,5 Tonnen CO_2-Äq. pro Tonne Schrott aus. Gleichzeitig werden 13,4 GJ Primärenergie und 1,4 Tonnen Eisenerz pro Tonne Stahlschrott geschont.

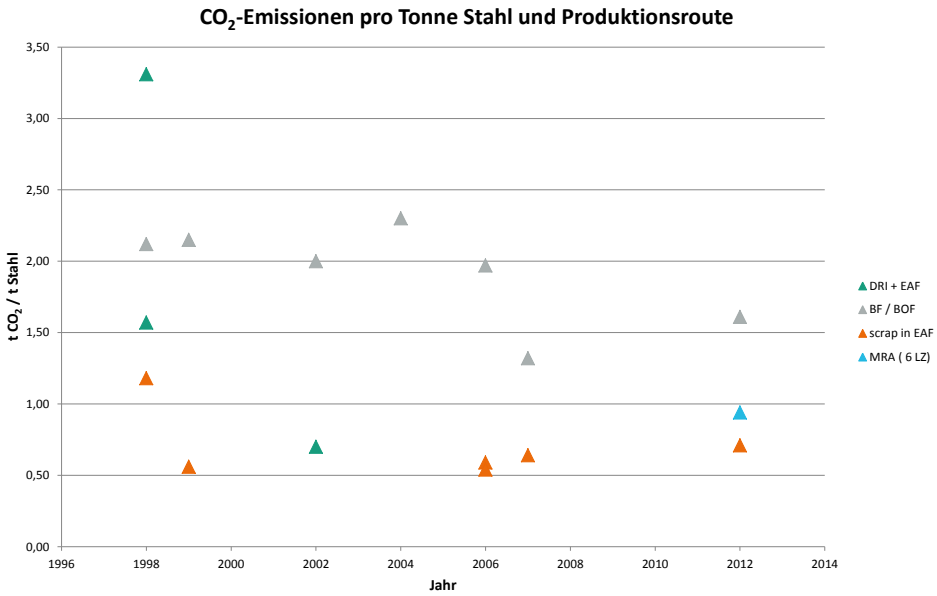
Die folgende Grafik zeigt eine Auswertung der CO_2-Emissionen von sieben weiteren Studien aus unterschiedlichen Jahren zu unterschiedlichen Produktionsrouten:

- DRI-EAF (direkt reduziertes Eisen/Elektrolichtbogen)
- BF/BOF (Hochofenroute)
- Schrott im EAF (Elektrolichtbogen) und
- MRA (Multirecyclingansatz mit 6 Lebenszyklen)

In einigen Studien werden reine CO_2-Emissionen berechnet, in anderen CO_2-Äquivalente (also inkl. Emissionen von Methan und anderen Klimagasen). Da

CO_2 aber bei weitem der größte Treiber der Ergebnisse ist, wird die Unterscheidung in dieser Studie nicht weiter verfolgt.

Bild 3-9:
Übersicht Werte von CO_2-Emissionen unterschiedlicher Studien [Das-1998], [Gielen-2002], [Hu-2006], [Neugebauer-2012], [Norgate-2002], [Sakamoto-1999], [Wang-2007]



Die folgende Grafik zeigt den Vergleich der beiden Produktionsrouten für Deutschland mit den spezifischen CO_2-Emssionen mit CO_2-Emissionen von 1,744 t CO_2/t Rohstahl aus der Hochofenroute und mit 0,395 t CO_2/t Rohstahl aus dem Elektrolichtbogenofen [Lüngen-2016].

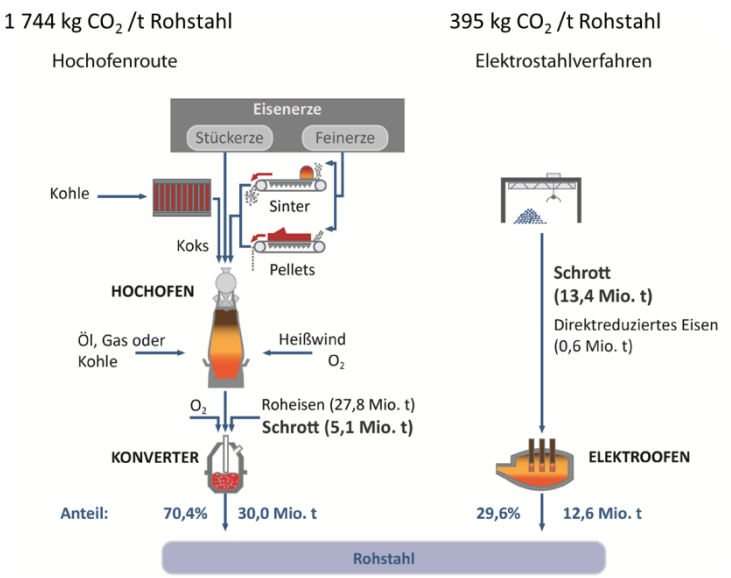


Bild 3-10:
CO_2-Emissionen in den beiden Produktionsrouten in Deutschland im Jahr 2015, eigene Darstellung nach [WVS-2016], Emissionsdaten nach [Lüngen-2016]

Die folgende Grafik illustriert die Treibhausgasemissionen und den Anteil beider Prozessrouten in Deutschland (70,4 % für die Hochofenroute und 29,6 % für die Elektrolichtbogenroute). Dabei wird eine Einsparung von ca. 1,35 Tonnen CO_2 pro Tonne Rohstahl erzielt. Durch die Produktion von 12,6 Mio. Tonnen Rohstahl auf Basis des Sekundärrohstoffs Stahlschrott über die Elektrostahlroute hilft die Stahlrecyclingwirtschaft dabei, in Deutschland rund 17 Mio. Tonnen CO_2-Emissionen pro Jahr einzusparen.

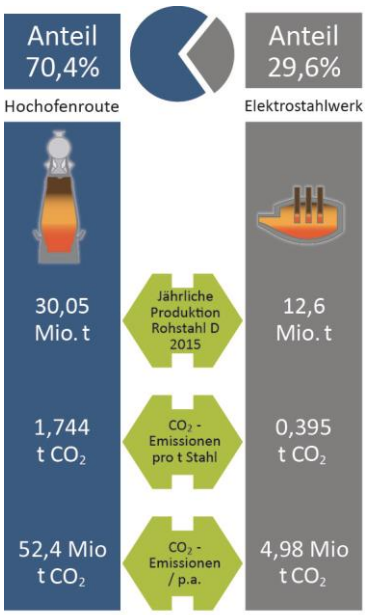


Bild 3-11:
Vergleich Hochofenroute und Lichtbogenroute aus Klimasicht, [BDSV-2016b]

Edelstähle enthalten Legierungselemente wie Nickel, Chrom und Molybdän. Deren Abbau, Konzentration, Transport und Produktion ist (neben dem Flächenverbrauch und dem entstehenden Abraum) mit deutlich höheren Energie- und Treibhausgasemissionen verbunden als die Gewinnung von Eisenerzen. Durch das Recycling einer Tonne Edelstahl können z. B. 33 Tonnen Abraum in den Förderländern vermieden werden [ALBA-2016]. Die Treibhausgaseinsparung hängt von den gesammelten Stahlschrotten und den produzierten Materialien ab und liegt bei ca. 4,5 Tonnen CO_2 pro Tonne Edelstahlschrottblend [Oryx-2010]. In einer weiteren Berechnung wird von einer Einsparung von 3,9 Tonnen CO_2 für AISI 304-Stahl und von 4,5 Tonnen CO_2 für AISI 316-Stahl ausgegangen [ELG_Haniel-2015].

Eine funktionierende Stahlrecyclingwirtschaft in Deutschland verhindert die weitere Auslagerung von energie- und ressourcenintensiven Schwerindustriezweigen mit den damit verbundenen Umweltproblemen. Zudem sind die in Deutschland installierten Hochöfen bereits die effizientesten der Welt, so dass eine Auslagerung zu höheren Umweltbelastungen führen würde.

3.4.2 Beitrag der Stahlrecyclingwirtschaft

Auf Basis der dargestellten Erkenntnisse lassen sich somit folgende Punkte ableiten und als Argumente für die Zukunft Stahlschrott fixieren:

Schlussfolgerung 4 »Stahlschrott schont Klima und Ressourcen«

- (Edel-)Stahlschrott sichert die Rohstoffbasis für die Stahlherstellung; der Einsatz sowohl von legierten als auch unlegierten Schrotten reduziert die Abhängigkeit von sonst notwendigen Importrohstoffen (siehe auch Kernaussage 6).
- (Edel-)Stahlschrottrecycling spart Primärenergie und Ressourcen ein
- (Edel-)Stahlschrottrecycling schont das Klima

3.5 Kernaussage 5: Stahlrecycling sichert und schafft Arbeitsplätze auf allen Qualifikationsniveaus

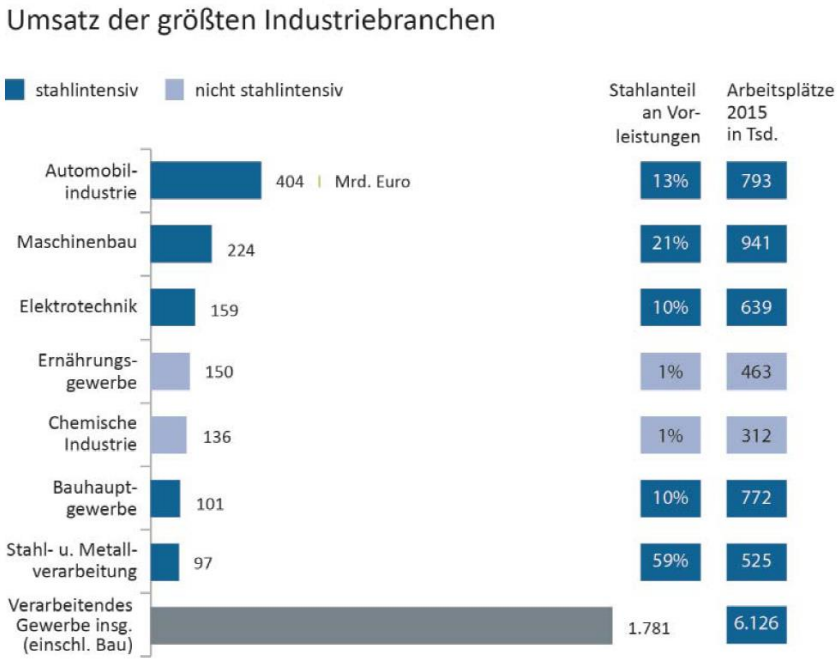
3.5.1 Hintergrund

Die Stahlindustrie bietet die Grundlage für viele industrielle Wertschöpfungsketten, da sie eine wichtige Rolle für zahlreiche andere Sektoren, wie etwa die Automobilbranche, spielt. Die Stahlwirtschaft hat einen Anteil von 1,3 % am BIP der EU und stellte im Jahr 2015 rund 328 000 direkte und noch eine größere Zahl indirekter Arbeitsplätze [EUC-2016b]. In Deutschland verfügt die Industrie über ca. 4 Mio. sogenannte »stahlintensive« Arbeitsplätze. Dies umfasst die Stahlindustrie an sich sowie die vor- und nachgelagerten Bereiche. Die der Stahlindustrie vorgelagerte Stahlrecyclingwirtschaft verfügt in Deutschland über ca. 37 000 Arbeitsplätze (Stand: 2015) [BDSV-2016a].

Die Verwendung von Schrott als Rohstoff macht die Erzeuger in Europa unabhängiger von Rohstoffeinfuhren aus Drittländern [EUC-2016a]. Da bei Recyclingstahl der größte Teil der Produktionskosten auf den Preis entfällt, den die Erzeuger für Eisenschrott zahlen, steigert ein verbesserter EU-Markt für Altmetall die Wettbewerbsfähigkeit dieser Produktion. Durch das Ermöglichen der Stahlproduktion in Europa stellt die Stahlrecyclingwirtschaft auch sicher, dass metallurgisches Know-how in Europa verbleibt und nicht abwandert [EUC-2016b].

Auch die weitere Ausbildung von Technikern und Ingenieuren insbesondere im Spezialstahlbereich wird letztlich auf Basis der Rohstoffbereitstellung durch die heimische Stahlrecyclingwirtschaft sichergestellt. Dieses Humankapital sichert Deutschland und Europa einen Wettbewerbsvorteil [EUC-2016b]. Die EU hat sich ebenfalls dazu bereit erklärt, die Bemühungen der Mitgliedstaaten um eine aktive Arbeitsmarktpolitik zu unterstützen, die darauf abzielt, Arbeitslosen die Kompetenzen und Qualifikationen für eine Rückkehr auf den Arbeitsmarkt zu vermitteln. Somit sichert die Stahlrecyclingwirtschaft auf allen Qualifikationsebenen Arbeitsplätze und schafft durch die Struktur der Betriebe insbesondere regionale Wertschöpfung und weitere Beschäftigungseffekte z. B. in der Logistikbranche oder auch der Anlagenbau [EUC-2016a].

Bild 3-12:
Volkswirtschaftliche Bedeutung der Stahlindustrie, Grafik nach [Loulou-2008]



3.5.2 Beitrag der Stahlrecyclingwirtschaft

Auf Basis der dargestellten Erkenntnisse lassen sich somit folgende Punkte ableiten und als Argumente für die Zukunft Stahlschrott fixieren:

Schlussfolgerung 5 »Stahlrecycling sichert und schafft Arbeitsplätze auf allen Qualifikationsniveaus«

- Die Stahlrecyclingwirtschaft fördert die Schaffung neuer Arbeitsplätze und unterstützt die Senkung der Arbeitslosenrate in Europa
- Die Stahlrecyclingwirtschaft sichert auf allen Qualifikationsebenen Arbeitsplätze und schafft durch die Struktur der Betriebe insbesondere regionale Wertschöpfung und weitere Beschäftigungseffekte z. B. in der Logistik.
- Die weitere Ausbildung von Technikern und Ingenieuren insbesondere im Spezialstahlbereich wird letztlich auch durch die Basis der Rohstoffbereitstellung durch die heimische Stahlrecyclingwirtschaft sichergestellt. Dieses Humankapital sichert Deutschland und Europa einen Wettbewerbsvorteil.
- Durch das Ermöglichen der Stahlproduktion in Deutschland stellt die Stahlschrottbranche auch sicher, dass metallurgisches Know-how in Deutschland verbleibt und nicht abwandert.

3.6 Kernaussage 6: Stahlrecycling ist sinnvoll für die Volkswirtschaft

3.6.1 Hintergrund

Der Eisenerzmarkt sieht sich schon seit längerem einer Kartellvermutung ausgesetzt, die durch oligopolistische Strukturen hinterlegt werden [Hilpert-2010]. Durch die Aufteilung der Rohstoffbasis der Stahlproduktion auf Primär- und Sekundärrohstoffe trägt die Stahlrecyclingbranche dazu bei, die Abhängigkeit zu minimieren und die Risiken zu diversifizieren. Die Struktur der Stahlrecyclingbranche und der globale Handel mit Schrotten beugen Oligopolen vor. Falls es diese gäbe, würde die bekannte Zuverlässigkeit sinken und auch die Qualität. Viele Akteure führen zu einer guten Marktversorgung und tragen damit auch zur Wettbewerbsfähigkeit der hiesigen Stahl- und Edelstahlwerke bei [Deike-2016].

Im Jahr 2014 sind allein 89 % der Menge an importierten Erzen und Erz-Konzentraten dem Primärrohstoff Eisenerz zuzuordnen – die Importabhängigkeit Deutschlands im Bereich der Metallerze und Konzentrate liegt sogar bei 100 %. Deutschland importierte im Jahr 2014 Metallrohstoffe für die Eisen- und Stahlindustrie im Wert von insgesamt 39 Mrd. Euro. Allein 4,5 Mrd. Euro entfielen dabei auf Stahlveredler (Legierungselemente[2]) und 6,7 Mrd. Euro auf Eisen und Stahl. Auffällig dabei ist, dass die Stahlveredler nur 0,8 % der Menge an importierten Rohstoffen ausmachen und doch für 3,7 % des Importwertes verantwortlich sind [BGR-2015].

Erst das Legieren (Mischen verschiedener Metalle) des Roheisens führt dazu, dass dessen Eigenschaften sich durch die Zugabe von Legierungselementen teils um viele Größenordnungen ändern und somit spezifische Anforderungen erfüllt werden können [Hornbogen-2013], [Reinert-2016]. Gleichzeitig erhöht sich durch die Verbesserung von Funktionalitäten (Oberflächen, Lebensdauer) die Wertschöpfung im Land.

Auch der Bereich des Edelstahlschrotts als Sekundärrohstoff ist ein gutes Beispiel. Durch den hohen Preis der enthaltenen Legierungselemente liegen legierte Stähle teils um den Faktor 9[3] höher als unlegierte Stähle [Martens-2016]. Aktuell werden Recyclinganteile zwischen 70 und 80 % bei Standardedelstählen (AISI 304 und AISI 316) erreicht. Laut Expertenaussagen liegt bei Anwendungen mit nickel- und chromhaltigen Edelstählen für hochwertige Tankanlagen oder Wärmetauscher die Schrottquote tendenziell sogar etwas höher als bei chromhaltigen Edelstählen etwa für Auspuffanlagen.

Damit wird ersichtlich welche Relevanz insbesondere diese teilweise nur in verhältnismäßig geringen Mengen zugesetzten Legierungselemente haben und welche Hebelwirkung von ihnen ausgeht. Da Stahlschrott bereits wichtige Legierungselemente mitbringt, kann durch deren Nutzung der Einsatz von pri-

[2] Wichtigste Legierungselemente sind Chrom, Nickel, Molybdän, Titan, Niob, Wolfram, Vanadium, Kobalt.
[3] Berechnung auf Basis mittlerer Metallpreise 2014 für Sorte X2CrNiMo17-12-3, Preisbasis Stahl S355

mären Metallkonzentraten zur Legierung der Schmelze reduziert werden. Dies gilt insbesondere für legierte Edelstahlschrotte, die hohe Nickel-, Chrom- oder Molybdängehalte aufweisen. So sind sowohl aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und der Verfahrenstechnik (vgl. Kapitel 3.1.1) die enthaltenen Legierungselemente für das Recycling von Stahlschrott von Bedeutung [Martens-2016].

Schrott ist daher allein aus technischer Sicht ein wirtschaftlicher Rohstoff. Vorausgesetzt der Stahlschrott wird intelligent eingesetzt und in die richtigen Bahnen gelenkt, wird die Verwendung von Legierungselementen im metallurgischen Prozess minimiert. Die Einsparung von Legierungselementen ist immer mit einer Kosteneinsparung versehen [Deike-2016].

Deutschland ist somit als Importeur von Eisenerzen sowie sonstigen Legierungselementen neben der technisch vorhandenen Infrastruktur auch aus wirtschaftlichen Gründen auf den heimischen Sekundärrohstoff Stahlschrott angewiesen.

Die Stahlrecyclingwirtschaft ist ebenfalls ein wichtiger Player, um es Unternehmen zu ermöglichen, hohe Recyclingquoten zu erreichen, die z. T. gesetzlich festgelegt sind. Die europäische (und die deutsche) Altfahrzeug-Verordnung fordert z. B. in §5 eine Wiederverwendung und Verwertungsquote von mindestens 95 Gewichtsprozent des Altautos bzw. von 85 % bei Wiederverwendung und stofflicher Verwertung [AltautoV-2016].

3.6.2 Beitrag der Stahlrecyclingwirtschaft

Auf Basis der dargestellten Erkenntnisse lassen sich somit folgende Punkte ableiten und als Argumente für die Zukunft Stahlschrott fixieren:

Schlussfolgerung 6 »Stahlrecycling ist sinnvoll für die Volkswirtschaft«

- Stahlschrott ist ein Baustein innerhalb der Strategie zur Verringerung der Importabhängigkeit. (Edel-)Stahlschrott sichert die Rohstoffbasis für die Stahlherstellung, der Einsatz sowohl von legierten als auch unlegierten Schrotten reduziert die Abhängigkeit von sonst notwendigen Importrohstoffen.

- Legierte Stahlschrotte sind wichtige Sekundärrohstoffe mit teuren und funktionalen Legierungselementen wie Nickel, Chrom, Molybdän, Vanadium, Wolfram, die erst die Eigenschaften und den Einsatzbereich des Stahlprodukts bestimmen.

- Die Materialkosten machen erwiesenermaßen den größten Teil der Produktionskosten im Verarbeitenden Gewerbe aus [Marscheider-2016]. Als im Inland vorhandener und vor allem kostengünstiger Rohstoff stellt Schrott im Wettbewerb gegen Stahlhersteller aus Ländern in denen z. B. die Rohstoffpreise artifiziell gelenkt werden, wie durch Zölle und nicht tarifäre Handelshemmnisse, einen Vorteil dar. Die Stahlrecyclingbranche hält durch Ihre Leis-

tung diesen Rohstoff so attraktiv für die Stahlindustrie.

- Maximale Recyclingrate bei legierten Schrotten bedingt durch den hohen Wert des Materials: Über 90 % des Materials kommt nach Ablauf der Lebensdauer nach Aussagen des International Stainless Steel Forum (ISSF) zurück. Produktionsabfälle werden beinahe zu 100 % rezykliert [ISSF-2016]. Dies schont die Umwelt in den Ländern der Primärrohstofflagerstätten und die Kosten bei der heimischen Stahlindustrie gleichermaßen.

3.7 Kernaussage 7: Stahlrecyclingbranche hat Innovationspotenzial

3.7.1 Hintergrund

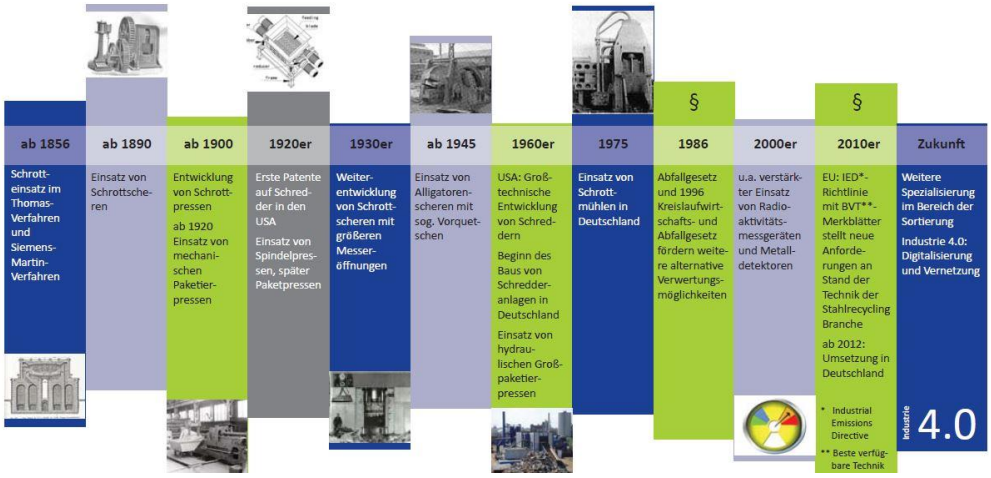
Die Stahlrecyclingwirtschaft wird in der öffentlichen Wahrnehmung nicht als innovativ wahrgenommen. In einem langen Zeitraum waren Innovationen auch nur begrenzt notwendig, da vor allem archaische Arbeiten wie Zerkleinern und Aufhäufen ausgeführt wurden und dieser Aufwand ausgereicht hat. Innovationstreiber in der Wertschöpfungskette ist insbesondere jedoch die Stahlindustrie [Gerspacher-2011] und das Aufkommen bzw. größere Anzahl komplexer Verbunde .

Doch mit zunehmenden Anforderungen der Stahlwerke an den Sekundärrohstoff Schrott als auch durch die gesetzlichen Auflagen im Umweltschutz wurden Verbesserungen in enger Zusammenarbeit mit Anlagenbauern umgesetzt. Entscheidende Entwicklungen sind etwa im Bereich des Umwelt- und Immissionsschutz zu verzeichnen, um die gesetzlichen Auflagen wie z. B. die der TA[4]-Luft und des BImSchG[5] erfüllen zu können. Der Einsatz emissionsarmer Schredderverfahren sowie der Bereich der betrieblichen Logistik und Infrastruktur sind als wesentlich zu betrachten. Eine weiterer relevanter Schritt sind kontinuierliche Verbesserungen in den Sortier- und Aufbereitungsprozessen, um die Qualitätssicherung zu gewährleisten (z. B. Herstellung passgenauer Blends/Mischungen sowie auf Basis exakter Analytik im Bereich der legierten Stahlschrotte). Möglichkeiten, um noch bessere Sortierergebnisse zu realisieren, existieren zwar, deren Einsatz wird jedoch durch die Nachfrage und die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens bestimmt.

Eine umfassende Aufstellung der eingesetzten Methoden findet sich in Kapitel 3.1.2. Nachfolgend sind einige Verfahrensentwicklungen zeitlich eingeordnet und dargestellt.

[4] Technische Anleitung Luft
[5] Bundesimmissionsschutzgesetz

Bild 3-13:
Meilensteine der Innovationen, [BDSV-2016a]



Drei konkrete Beispiele zur Weiterentwicklung von eingesetzten Verfahren werden nachfolgend exemplarisch kurz dargestellt

- Aktuell werden im BMBF-geförderten Projekt DIBRAS[6] unter Beteiligung der Stahlrecyclingwirtschaft innovative Verfahren zum direkten Einsatz von selbstreduzierenden Briketts in den Aggregaten der Stahl- und Gießereiindustrie erforscht, um die Ressourcenbilanz zu verbessern.
- Unter Koordination des Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT sowie unter Beteiligung eines Unternehmens aus der Edelstahlbranche konnte in einem BMBF-geförderten Projekt ein portables Gerät zur mobilen Analyse zur Sortierung und Identifizierung von Metallschrotten durch Verbindung von Laser- und Mikrowellenstrahlung auf Basis der Laser-Emissionsspektroskopie (LIBS) realisiert werden [Werheit-2010].
- Im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms errichtete ein mittelständisches Unternehmen der Recyclingwirtschaft eine Schredderanlage mit einem intelligenten Steuerungssystem mit einer Kapazität von ca. 100 000 Tonnen pro Jahr. Das Steuerungssystem erlaubt einen kontinuierlichen Betrieb und vermeidet Spitzenlasten, um Energie einzusparen. Parallel dazu wurde ein angepasstes Filtrationssystem zur Minderungen der Luftschadstoffemissionen umgesetzt. Im Beispiel konnten durch die technische Neuerung rund 20 % des Primärenergiebedarfs reduziert werden und die Emission organischer Stoffe deutlich unter die Vorgaben abgesenkt werden [Adam-2014].

Die in Kapitel 3.3. dargestellten Aufgaben auf dem Weg zu einer zirkulären Wirtschaft und die Rolle der Stahlrecyclingwirtschaft in diesem System muss die partizipierenden Unternehmen zu Innovationen treiben. Herausfordernde Rahmenbedingungen müssen als Chance verstanden werden und sollten Ansporn sein zur Innovation. Als mögliche Orientierung können nachfolgende Punkte dienen:

[6] http://www.r4-innovation.de/de/dibras.html

- Einführung moderner Aufbereitungstechnologien
- Detaillierte Analyse zur sortenreinen Trennung verschiedener Schrotte
- Qualitätsgesicherte Bereitstellung von Sekundärrohstoffen.

Innovation ist andererseits nur soweit möglich, wie der Markt Anreize hierzu schafft und bereit ist diese zu bezahlen. Die Forderung verbesserter Qualitäten muss sich also letztlich auch in einem Mehrpreis niederschlagen. Innovationen in der Stahlrecyclingwirtschaft werden also im Wesentlichen durch steigende Anforderungen der Abnehmer angestoßen werden – analog zu allen anderen Recyclingbranchen.

Schließlich ist die Mitarbeit an einer gemeinsamen Datenbank zur Erfassung von Metalldiebstählen zu nennen (SIPAM[7]), die u. a. die digitale Vernetzung in der Branche vorantreibt und einen Austausch mit den Behörden ermöglicht. Aktuell gibt es Versuche, mit künstlicher DNA eine Kennzeichnung von Schrotten zu erreichen, um gestohlenes Material beim Ankauf zu detektieren [Brunn-2016].

3.7.2 Beitrag der Stahlrecyclingwirtschaft

Auf Basis der dargestellten Erkenntnisse lassen sich somit folgende Punkte ableiten und als Argumente für die Zukunft Stahlschrott fixieren:

Schlussfolgerung 7 »Stahlrecyclingbranche hat Innovationspotenzial«

- Größtes Innovationspotenzial liegt im intelligenten Stoffstrommanagement und Handling von heterogenem Material sowie in der Analytik, Sortier- und Schreddertechnik.
- Die Herausforderungen der zirkulären Wirtschaft sowie die hohen Umweltauflagen sollten als Chance verstanden werden.
- Die Stahlrecyclingbranche nutzt zwar innovative Verfahren, um die Qualität für die Stahlwerke zu erhalten, jedoch ist die Außenwahrnehmung gering.
- Die Lieferung qualitätsgesicherter, passgenauer Sekundärrohstoffe nach kundenspezifischen chemischen Anforderungen bietet Potenzial.
- Als wichtiger Exporteur von Anlagen zur Stahlherstellung und Sortierung sowie von Recyclingtechnik hat Deutschland nach wie vor globalen Stellenwert.

[7] http://www.sipam.de/

4 Experteninterviews

4.1 Teilnehmer

In Abstimmung mit der BDSV wurden im August sowie September 2016 nachfolgend aufgelistete Experten befragt. Sie bilden einen Querschnitt aus fachübergreifenden Experten und Industriesicht (Produzenten, Abnehmer, Nutzer) ab. Einige der teilnehmenden Experten aus der Industrie werden aus unternehmenspolitischen Gründen anonymisiert. Insgesamt wurden 8 Experten befragt.

Tabelle 4-1: Befragte Experten aus Forschung und Industrie in alphabetischer Reihenfolge

Experten	Institution
Dipl.-Ing. Holger Biedermann	RHM Rohstoff-Handelsgesellschaft mbH
Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Deike	Institut für Metallurgie und Stahlerzeugung der Universität Duisburg-Essen
Prof. Dr.-Ing. Daniel Goldmann	Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik an der TU Clausthal
Vertreter eines Automobilproduzenten	
Vertreter aus der Stahlindustrie	
Vertreter eines Edelstahlproduzenten	

Alle Experten nahmen die Befragung sowie den Ansatz der Studie positiv auf und begrüßten die Aktivitäten der BDSV, sich stärker für die Imageverbesserung des Sektors einzusetzen. Fraunhofer UMSICHT bedankt sich bei allen Interviewpartnern für die konstruktive und gute Zusammenarbeit.

4.2 Fragebogen

Die Leitfragen wurden aus den literaturgestützten Kernaussagen aus Kapitel 3 abgleitet und können so den verschiedenen Kernaussagen zugeordnet werden. Durch die Auswahl sollte sowohl ein möglichst umfassender Blick auf die verschiedenen Bereiche des Stahlrecyclings gelegt sowie der durch die Literaturanalyse zusammengestellte Beitrag der Branche diskutiert werden.

Zusätzlich wurden die Experten nach dem Image der Stahlrecyclingbranche gefragt sowie um einen Ausblick für die nächsten 10 Jahre gebeten. Die insgesamt 13 Fragen sind nachfolgend aufgelistet:

1. Welche Vorteile bietet die Stahlrecyclingwirtschaft den (Edel-)Stahlwerken weltweit und insbesondere in Deutschland?
2. Wie würde die deutsche Stahlindustrie ohne die Stahlrecyclingbranche aussehen?
3. Welchen Beitrag leistet die Stahlrecyclingwirtschaft insbesondere zur Wettbewerbsfähigkeit der Stahl- und Edelstahlwerke in den Industrienationen heute?
4. Welche Bedeutung hat eine qualitätsgesicherte Bereitstellung von Schrotten für Ihren Prozess?
5. Welchen Beitrag leistet die Stahlrecyclingbranche zu dieser Qualitätssicherung bereits heute?
6. Stahl ist theoretisch beliebig oft recycelbar, technisch gibt es jedoch Grenzen. Wie hilft die Stahlrecyclingbranche dabei, dass die Verhüttung immer weiter an das thermodynamische/physiko-chemische Maximum und damit an die Vision des Recyclings ohne Verluste vordringt?
7. Die Kreislaufwirtschaft ist ohne die Stahlrecyclingwirtschaft nicht realisierbar, doch warum profitiert die Branche nicht stärker davon in der öffentlichen Wahrnehmung?
8. Als wie innovativ schätzen Sie die Stahlrecyclingbranche ein?
9. Wo sehen Sie die bisher größten Innovationen in der Stahlrecyclingwirtschaft (insbesondere Aufbereitung von Stahlschrotten)? Welche Innovationspfade muss die Branche vorantreiben?
10. Gibt es aus Ihrer Sicht prioritäre Zukunftsthemen für die Stahlrecyclingwirtschaft?
11. Welche sozialen und ökologischen Auswirkungen/Effekte werden in den Erzförderländern durch das Recycling von Stahlschrott vermieden?
12. Welche Besonderheiten hat das Stahlrecycling gegenüber PPK[8]- oder Kunststoffrecycling vor dem Hintergrund der Circular Economy?
13. Wie beurteilen Sie die Entwicklung des Stahlschrotteinsatzes in ihrer Branche/in ihrem Unternehmen in 10 Jahren?

[8] **P**apier-**P**appe-**K**artonagen

4.3 Auswertung

4.3.1 Stahlrecycling als Teil der Wertschöpfungskette

Allgemeiner Konsens herrscht bei allen Fachrichtungen im Bereich der »Ankerwirkung« der Stahlrecyclingwirtschaft. Ohne diesen Industriezweig wäre eine Abwanderung der hiesigen Stahlindustrie aus logistischen und wirtschaftlichen Gründen wahrscheinlich. Sowohl in Industrie als auch Forschung wurde ebenfalls die Möglichkeit zur Lagerhaltung seitens der Stahlrecyclingwirtschaft hervorgehoben. Generell wurden kurze Lieferwege und damit geringe Kosten als großer Standortvorteil angesehen. Die Ergebnisse der Experteninterviews zu den Kernaussagen 1 und 2 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Primär- und Sekundärrohstoffe sind als komplementär zu sehen und beide auch auf Dauer notwendig.
- Günstige logistische Gegebenheiten: kurze Lieferwege durch lokale Schrottindustrie und daraus resultierender Wettbewerbsvorteil. Der Rohstoff liegt vor der Türe.
- Symbiotisches Verhältnis von Stahlproduzenten und Stahlrecycling .
- Qualitätsgesicherte Rohstoffversorgung (konkret und vorhersagbar, Just-in-Time) dadurch Stärkung der einheimischen Stahlindustrie.
- Optimale Mischung von Blends (Schrottbranche als Dienstleister) mit großer Vorlager-Kapazität (anders als bei Stahlwerken).
- (Noch) Know-how-Vorteile gegenüber China.
- Schrottbranche als verlängerte Werkbank der Stahlindustrie und wichtiger »Anker« für die Stahlindustrie.
- Markt funktioniert ohne Dreieck »Handel-Aufbereitung-Stahlindustrie« nicht.
- Stahlrecyclingbranche beugt Oligopolen vor, wie sie bereits beim Primärrohstoff herrschen – der Markt funktioniert. Dieser Marktunterschied ist ein klarer Vorteil für den Schrott.
- Schrotthandel stellt Lagerkapazitäten bereit, die bei Stahlwerken in dieser Form nicht vorliegen.
- Elektrostahlwerke (Schrott als Rohstoff) als auch Hochöfen (Kühlschrott zur Prozessoptimierung) wären ohne die Schrottbranche in Europe nicht wirtschaftlich zu betreiben.
- Deutschland ist auf Rohstoffimporte angewiesen, aber Nettoexporteur von Stahlschrott; es gibt nicht genügend Schrott in allen Qualitäten.
- Gewährleistung der Qualität von Neuprodukten durch hochwertige und sortenreine Schrotte, damit ist die Schrottbranche als wesentlicher Teil der Wertschöpfungs- und Prozesskette unverzichtbar.

- Durch Qualitäts- und Mengengründe sind immer beide Herstellungsrouten in Symbiose.
- Multirecyclingfähigkeit bei Erhalt der kohärenten Eigenschaften ist gegeben.

4.3.2 Beitrag des Stahlrecyclings zur zirkulären Wirtschaft

Ebenso wurde in allen Fachgebieten die große Bedeutung einer qualitätsgesicherten Bereitstellung von Sekundärrohstoffen herausgestellt sowie eine generelle Symbiose beider Wirtschaftszweige attestiert. Zur Bedeutung der Stahlrecyclingwirtschaft in der angestrebten zirkulären Wirtschaft gab es folgende Beiträge der Experten:

- Bereitstellung von qualitätsgesichertem Sekundärrohstoff, ausgefeilte Analytik insbesondere im Edelstahlschrottbereich wird in Zukunft noch wichtiger.
- Know-how im Bereich Sammlung, Handling, Bevorratung, Lagerhaltung ist großer Vorteil der Stahlrecyclingwirtschaft.
- Es gibt einen guten Dialog in der Wertschöpfungskette, doch dieser muss weiter ausgebaut werden.
- Aufbereitungsprozess ist nicht unendlich wirtschaftlich, wenn auch theoretisch möglich. Niedrigere Produktpreise erschweren Wirtschaftlichkeit von aufwendigen Trennungsverfahren.
- Sortenreine Trennung wird durch steigende Anzahl verschiedener Produkte schwieriger.
- Insbesondere im Baustahlbereich ist keine Problematik erkennbar, Leidensdruck der Stahlwerke ist zu gering. Noch ist genügend Material in guter Qualität zu gutem Preis vorhanden. Kupferproblematik de facto nicht gegeben, da Schrottqualität elementar über Kupfergehalt definiert wird.
- Aufkonzentration von unerwünschten Elementen kann durch intelligentes Stoffstrommanagement verhindert werden: Z. B. Kupferhaltige Schrotte für die Gießereiindustrie geeignet.
- Faktisch kein Downcycling im (Edel-)Stahlschrottbereich, Material ändert lediglich seine Funktion und substituiert immer wieder eine wichtige Anwendung.
- Prinzipiell unterschiedliche Inhaltsstoffe werden als Hindernis für die zirkuläre Wirtschaft gesehen (z. B. Kupfer), der man jedoch gute Technologien entgegensetzen kann.
- Höherlegierte und hochwarmfeste Stähle mit niedrigen Toleranzen werden immer wichtiger, Stahlrecyclingwirtschaft muss die passgenauen Rohstoffe dazu liefern.
- Fokus auf sortenreine Erfassung von Mangan-Stählen ist nötig.

- Größte Innovationsmöglichkeiten liegen im intelligenten Stoffstrommanagement und Handling von heterogenem Material sowie Analytik und Schreddertechnik.
- Umgang mit Sandwich-Bauweisen (Stahl-Kunststoff-Stahl) muss verbessert werden: Aktuell keine verfügbare Technik für Handling von Sandwichblechen. Gleiches gilt für komplexe bzw. Multikomponenten-Verbundwerkstoffe.
- Minimierung eingeschleppter Störstoffe durch gute Sortierung/Trennung: Wunsch nach sortenreinen Schrotten in der Stahlindustrie wird steigen.

Alle Fachrichtungen bestätigten die Effekthascherei von Meldungen über aufgrund von Verunreinigungen im Stahl einstürzenden Gebäuden. Störstoffe werden durch eine gute Sortierung und Trennung minimiert. Dennoch bestand Konsens, dass erhöhte Störstoffkonzentrationen in naher Zukunft zu einem relevanten Thema werden könnten. Dies sei unter anderem auf die erhöhte Schwierigkeit einer sortenreinen Trennung aufgrund der steigenden Anzahl von Legierungen zurückzuführen. Durch intelligentes Stoffstrommanagement ließen sich diese Risiken in der Praxis technisch jedoch gut beherrschen. Ein anderer Aspekt ist die sinkende Wirtschaftlichkeit bei erhöhtem Trennaufwand, da aktuell noch keine ausreichenden Erlöse Preise für den entsprechenden Aufwand erzielt werden können. Von allen Experten genannt wurde ebenfalls die Möglichkeit eines echten Recyclings im Stahlbereich, d. h. es gibt faktisch kein Downcycling. Teilweise wurde angemerkt, dass in Einzelfällen abnehmende Schrottqualität bei stark steigender Nachfrage erkennbar ist. Bei der Forschung sah man insbesondere eine Herausforderung beim Handling von Sandwichblechen und sonstigen Verbundwerkstoffen.

4.3.3 Volkswirtschaft, Klima- und Ressourcenschutz

Die Bereiche Volkswirtschaft, Klima- und Ressourcenschutz, lassen sich aus den Interviews wie folgt zusammenfassen:

- Klimaschutz ist durch diverse Studien belegt und unbestritten.
- Industriegesellschaft sollte Primärrohstoffeinsatz begrenzen (ökologisch).
- Primäre Rohstofflagerstätten werden durch Schrotteinsatz geschont. Die Schonung von Primärlagerstätten durch Schrott ist aber nicht zwingend gleichbedeutend mit weniger Erzförderung (Wachstum und weltweite Nachfrage überlagern dies).
- Verlangsamung des Abbaus bzw. Schonung der Lagerstätten durch Flankieren mit Sekundärrohstoffen möglich.

Alle drei Fachbereiche sind sich einig, dass es in absehbarer Zeit sowohl die Primär- als auch Sekundärroute parallel geben wird. Auch ist eine Schonung der Primärlagerstätten durch den Einsatz von Schrott nicht als eine Verringerung der Gesamtfördermenge zu sehen. Vielmehr wird die Fördermenge wachs-

tumsbedingt zumindest auf dem aktuellen Stand verweilen. Sekundärrohstoffe flankieren die primäre Route und sorgen so für eine Kostenersparnis. In der Forschung werden eher die Energie- als die Rohstoffproblematik identifiziert. Gerade im europäischen Raum und speziell in Deutschland sind die Energiekosten besonders beim Elektrostahlverfahren als Hauptkostenfaktor anzusehen. Die Experten nennen weiterhin ökologische Vorteile beim Schrotteinsatz durch die Einsparung von Treibhausgasemissionen. Experten der Industrie heben außerdem die ökologische Rolle von Industrienationen hervor, den Primärrohstoffeinsatz zu reduzieren.

4.3.4 Innovationen in der Stahlrecyclingwirtschaft

Kernaussage 7 widmet sich dem Innovationspotenzial und der Innovationsnotwendigkeit in der Stahlrecyclingbranche. Synthese der Expertenbefragungen war:

- Schrottbranche wird von außen nicht als innovativ wahrgenommen.
- Innovationen waren eine Zeit lang nur begrenzt notwendig, da archaische Arbeiten ausgeführt werden (z. B. zerkleinern und mischen, Herstellung von Chargierfähigkeit).
- Schlechte Rahmenbedingungen ersticken unter Umständen Innovationen, können aber auch als Chance verstanden werden.
- Entscheidende Entwicklungen erfolgen meist durch Anlagenbauer im Bereich Umwelt- und Immissionsschutz sowie durch Vernetzung und Konsolidierung.
- Herstellung passgenauer Blends sowie Analytik und emissionsarme Sortier- und Schreddertechnik sind als größte Innovationen der letzten Jahre zu sehen. Weiterhin wurden Innovationen im Bereich der Bereich Logistik, Infrastruktur und Qualitätssicherung umgesetzt.
- Deutsche Unternehmen agieren eher gesetzesgetrieben, im Ausland (z. B. Belgien) wird Verfahrenstechnik besser ausgereizt.
- Innovationen sind in kleinen Betrieben nicht finanzierbar, **aber** Branche ist stark mittelständisch geprägt und Innovation wird vermehrt als Wettbewerbsvorteil gesehen.
- Größte Innovationen liegen im intelligenten Stoffstrommanagement und im Handling von heterogenem Material sowie in Analytik und Schreddertechnik.
- Innovationstreiber sind die Anforderungen der nachgelagerten Wertschöpfungsstufen und auch die Hersteller, die sich auf dem Endkonsumentenmarkt bewegen, etwa die Automobilbranche.
- Detaillierte Analyse und sortenreine Trennung von Alt- und Neuschrotten muss ausgebaut werden.

- Priorität gilt der verbesserten sortenreinen Trennung von hochfesten Stählen.

Generell wird die Stahlrecyclingbranche als »verhalten« innovativ angesehen. Dies liegt vor allem an der überwiegenden Wahrnehmung der »archaischen« Arbeiten (Trennen, Schreddern, Sortieren), die nicht dem hochtechnologischen Sektor zuzuordnen sind. Möglicherweise ist diese Wahrnehmung aber auch, ähnlich wie beim grundsätzlichen Image der Branche, teilweise etwas verzerrt und unvollständig. Große Entwicklungssprünge gab es im Bereich der Anlagentechnik. Hier wird seitens der Industrie insbesondere der Umwelt- und Immissionsschutz hervorgehoben sowie die Sortiertechnik. Seitens der Forschung wird auf eine gewisse Lethargie der Branche hingewiesen, da für diesen stark mittelständisch geprägten Industriezweig ein hoher Innovationsgrad oft nicht finanzierbar ist. Belgien wird von Industrie und Forschung als innovationsstärkerer Standort genannt. In Zukunft ist außerdem ein Fokus auf die sortenreine Erfassung von Mangan-Stählen nötig sowie eine Verbesserung des Handlings von Sandwich-Bauweisen und hochfesten Stählen.

4.3.5 Image der Stahlrecyclingwirtschaft

Neben den Kernaussagen wurden die Experten auch zum Image(problem) der Stahlrecyclingbranche und möglichen Lösungsansätzen befragt.

- Wahrnehmung als »Hinterhofaufbereiter« und negative Konnotation des Begriffs »Schrott«.
- Branche ist durch viele Ebenen und unterschiedlichste Akteure schwer greifbar.
- Rost vermittelt falsche Wahrnehmung des Produktwertes (Edelstahl rostfrei ist daher in der Regel weniger negativ behaftet).
- Kommunikation mit dem Bürger wurde bis jetzt branchenintern als unnötig erachtet.
- In anderen Recyclingbereichen erfolgt bereits »Rebranding« als »Rohstoffunternehmen«, was in der Stahlrecyclingbranche versäumt wurde.
- Gesamte Branche ist mit negativem Image behaftet, aber Stahl als Werkstoff ist nicht belastet. Gesamte Schwerindustrie als Verursacher von Emissionen gilt generell als unerwünscht.
- Einzelne Unternehmen haben durch zwielichtige Geschäfte den Ruf der gesamten Branche geschädigt.
- Einführung eines eigenen Kommunikationskonzepts wäre wünschenswert.

Als verlängerter Arm der Schwerindustrie wird die Stahlrecyclingbranche generell in Deutschland als unerwünscht angesehen. Während in anderen Bereichen der Recyclingindustrie bereits ein »Rebranding« zu Rohstoffunternehmen erfolgte, wurde dies in der Stahlindustrie versäumt. Rost vermittelt beim Schrott

zudem eine falsche Vorstellung der dahinter steckenden Werte und ist im Sprachgebrauch negativ behaftet. Anders sieht es hingeben beim Edelstahl aus. Fachgebietsübergreifend wird ein besseres Kommunikationskonzept gewünscht, da in der Vergangenheit die Kommunikation der vielschichtigen und schwer greifbaren Branche und dem Bürger als unnötig erachtet wurde. Zudem sind in den Köpfen der Bürger noch der »Hinterhofaufbereiter« und »die Ludolfs[9]« als Sinnbilder der Stahlrecyclingbranche sehr präsent.

4.3.6 Ausblick Stahlrecyclingwirtschaft

Abschließend wurden die Experten um einen Ausblick für die nächsten zehn Jahre auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene gebeten.

- Schrott ist die Zukunft durch langfristig geschlossene Kreisläufe.
- Markt ist volatil und von starken Schwankungen beeinflusst, daher nur grobe Tendenzen möglich.
- Aktuell gibt es in China wenig Schrotteinsatz durch hohes Volumen an infrastrukturell gebundenem Material, aber eine Steigerung ist absehbar.
- Primärrohstofflieferanten laufen in eine Phase der Stagnation.
- Schrott als Sekundärrohstoff wird wettbewerbsfähiger werden.
- Global tendenzieller Anstieg des Stahlverbrauchs und somit Anstieg des Schrottbedarfs mittelfristig wahrscheinlich.
- Es sind aktuell keine gravierenden Änderungen bei den Herstellungsrouten zu erwarten.
- Aktuelles Verhältnis in Deutschland von Elektrostahl- zu Oxygenstahlverfahren (30:70) ist als ökonomisches Optimum anzusehen.
- Einführung moderner Aufbereitungstechnologien zur qualitätsgesicherten Trennung von neuen Gütern sollte in Zukunft oberste Priorität haben.

4.3.7 Zusammenfassung

Die in Kapitel 3 erarbeiten Kernaussagen wurden durchgängig von den Experten bestätigt. Einige Punkte konnten durch das jeweilige Know-how der Experten noch genauer ausgeführt und spezifiziert werden. Einige der Aussagen sind daher bereits direkt in Kapitel 3 zitiert oder indirekt eingeflossen.

Es sind in der Auswertung keine grundlegenden Unterschiede und Differenzen zwischen der Forschungs- und Industriesicht erkennbar gewesen.

Am stärksten betont wurde, dass die Stahlrecyclingbranche durch die betriebene Qualitätssicherung gewährleistet, dass der gesamte anfallende Schrott ge-

[9] Vergleiche [PreviewProductionGBR [2016]

mäß wirtschaftlicher Rahmenbedingungen auf hohem Niveau wieder als Sekundärrohstoff zurück in die Stahlproduktion fließen kann. Die qualitätsgesicherte Bereitstellung ist ein wesentlicher Faktor für den wirtschaftlichen Betrieb der hiesigen Elektrostahlwerke und Hochöfen. Nur so könne laut Aussage der Experten die große Vielfalt an hochwertigen legierten und unlegierten Stählen auf Basis sortenreiner, qualitätsgesicherter Schrotte unter aktuellen Voraussetzungen hergestellt werden.

Gleichzeitig wurde von allen Experten angemahnt, dass in Zukunft noch genauer und intelligenter auf die Schrotte geschaut werden muss, um den Herausforderungen der zirkulären Wirtschaft begegnen zu können.

5 Ausblick

Die vorliegende Studie zeigt die wichtige Rolle der deutschen Stahlrecyclingwirtschaft. Um in der Aufbereitung und im Recycling weiter ein hohes Niveau zu halten und den Herausforderungen der zirkulären Wirtschaft zu begegnen, sollen die folgenden Empfehlungen helfen:

Innovationen weiter mutig vorantreiben und Entwicklungen antizipieren: In den nächsten Jahren ist mit einem noch größer werdenden Materialmix (z. B. in Sandwichblechen) zu rechnen. Die Akteure im Recyclingsektor müssen sich damit auf neue Verbundwerkstoffe und auch Legierungen sowohl in der Alt- als auch in der Neuschrottbehandlung einstellen und sollten sich bereits entsprechend vorbereiten, z. B. durch vertiefende Marktbeobachtungen und Verfahrensentwicklungen z. B. zur Detektion, Trennung und Sortierung. Das Know-how der Branche muss künftig in intelligenten Stoffstromsystemen und Materialkatastern Einfluss finden.

Austausch mit nachgelagerten Stufen der Stahlwertschöpfungskette: Durch sich verändernde Inputstoffe können sich Teilfraktionen im Output ändern. Hier sollten im Schulterschluss mit Abnehmern praktikable Lösungen gefunden werden. Dabei sollte der Blick erweitert werden, ggf. gibt es auch weitere Abnehmerkreise für Materialien mit geringeren Metallanteilen außerhalb der klassischen Abnehmer. Möglicherweise ist eine zukünftige Anpassung und Erweiterung der Stahlschrottsortenliste um neue Schrottqualitäten in Betracht zu ziehen, um weiterhin die nachgefragte Qualität der Abnehmer zu gewährleisten.

Austausch mit vorgelagerten Stufen der Stahlwertschöpfungskette: Stähle können in verschiedenen Anwendungen eingesetzt werden und erhalten durch Zusatz von Legierungselementen oder anderen Materialien besondere Funktionalitäten und erhöhen damit die Wertschöpfung in Deutschland. Eine Beschränkung der Materialvielfalt ist daher schwierig. Trotzdem sollten alle Akteure im Sinne einer zirkulären Wirtschaft zusammenarbeiten. Ggf. könnte die Recyclingbranche einen Startpunkt setzen und kooperativ in den Dialog mit Werkstoffentwicklern und Produktentwicklern (u. a.: Ökodesign-Richtlinie) treten, um Probleme und mögliche Lösungen im Hinblick auf eine recyclinggerechte Produktgestaltung zu diskutieren.

Durch einen **offenen Dialog mit der Gesellschaft** kann die Stahlrecyclingbranche ihre Rolle noch besser kommunizierten. Die Mitgliedsunternehmen der BDSV sollten ermutigt werden, den gedanklichen Weg des Wandels eines Unternehmens der Abfallwirtschaft, hin zu einem modernen Sekundärrohstofflieferanten und Dienstleister weiterzugehen. Diese Studie stellt einen weiteren Schritt dazu dar.

Wissen und Daten bereitstellen: Die BDSV könnte ihre Wissensdatenbank mit Statistiken, Grafiken, Bildern, Zahlen und Fakten weiter ausbauen, um einen Mehrwert für alle interessierten Gruppen zu schaffen. Dabei sollten auch soziale und gesellschaftliche Aspekte berücksichtigt werden, z. B. die Anzahl der gesicherten Arbeitsplätze, eine genaue Aufstellung der Qualifikationsniveaus und ihre Fort- und Weiterbildungsangebote. Ausgewählte Studien mit verschiedenen Schwerpunkten können einen weiteren Mehrwert liefern und die Interessengruppen wissenschaftlich fundiert und neutral für die Themen der Branche sensibilisieren.

Die **Digitalisierung** wird weitere Herausforderungen für die Branche bringen und zwar in der Abwicklung von Geschäften und dem Handling der Stoffströme. Diese Herausforderung sollte aktiv angegangen werden.

6 Abkürzungsverzeichnis

[B]	
BF	Blast Furnace (Hochofen)
BUMB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BOF	Basic Oxygen Furnace (Hochofen)
[C]	
CS	Crude Steel
CCS	Carbon Capture and Storage
[D]	
DNA	Desoxyribonukleinsäure
DRI	Direct Reduced Iron
[E]	
EAF	Electric Arc Furnace (Elektrolichtbogenofen)
EoL	End-of-Life
[L]	
LD-Verfahren	Linz-Donawitz-Verfahren
LZ	Lebenszyklus
[M]	
MRA	Muli-Recycling-Ansatz
[N]	
NE-Metalle	Nichteisenmetalle
[O]	
OHF	Open Hearth Furnace
[P]	
PPK	Papier, Pappe, Kartonagen
[S]	
SM-Verfahren	Siemens-Martin-Verfahren
SR	Schredderrückstände

7 Abbildungsverzeichnis

Bild 0-1: Vorgehen in der Studie 2
Bild 2-1: Vorgehen der Studie 6
Bild 3-1: Rohstahlerzeugung nach Verfahren in Deutschland, verändert nach [Schenk-2013] 12
Bild 3-2: Weltweiter Einsatz von Stahlschrott, bis zum Jahr 2015, Daten nach [BIRFD-2015] 12
Bild 3-3: Schema des Oxygenstahl- (BOF) und des Elektrostahlverfahrens (EAF), eigene Darstellung nach [WVS-2016] 13
Bild 3-4: Prognose Altschrottbereitstellung nach Bereichen, eigene Darstellung nach [Pauliuk-2013] 14
Bild 3-5: Entwicklung der Herstellungsrouten bis 2100, Technologiewettbewerb im verbindlichen Klimaabkommen mit Stagnation der Nachfrage im Jahr 2050, eigene Darstellung nach [Morfeldt-2015] 14
Bild 3-6: Schrottsortierung und Aufbereitungstechnologien, eigene Darstellung nach [Yellishetty-2011] 20
Bild 3-7: Einteilung der Stähle nach [DIN-10020], eigene Darstellung nach [Hornbogen-2013] 23
Bild 3-8: Übersicht Verlust-, Re-Use- und Recyclingrate unterschiedlicher Produkte [Sansom-2014] 27
Bild 3-9: Übersicht Werte von CO_2-Emissionen unterschiedlicher Studien [Das-1998], [Gielen-2002], [Hu-2006], [Neugebauer-2012], [Norgate-2002], [Sakamoto-1999], [Wang-2007] 30
Bild 3-10: CO_2-Emissionen in den beiden Produktionsrouten in Deutschland im Jahr 2015 [Lüngen-2016] 31
Bild 3-11: Vergleich Hochofenroute und Lichtbogenroute aus Klimasicht, [BDSV-2016b] 32
Bild 3-12: Volkswirtschaftliche Bedeutung der Stahlindustrie; Grafik nach [Loulou-2008] 34
Bild 3-13: Meilensteine der Innovationen; [BDSV-2016a] 38

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Vereinfachter Auszug der Europäischen Stahlschrottsortenliste mit der Aufteilung des Zukaufsschrotts der Hochofen- und Stahlwerke in Deutschland 2007, eigene Darstellung nach [UBA-2012] und [BDSV-2010]. 16
Tabelle 3-2: Maximal zulässige Begleitelemente in unlegierten Stählen sowie zulässige und geforderte Beimengungen im Schrott für das Erschmelzen von zwei Edelstahlsorten, eigene Darstellung nach [Martens-2016] auf Basis von [Willeke-1998] und [Moeller-2014]. 24
Tabelle 4-1: Befragte Experten aus Forschung und Industrie in alphabetischer Reihenfolge 40

9 Quellenverzeichnis

[Adam-2014] Adam, S. (2014): Projekt EnoS Abschlussbericht.

[ALBA-2016] ALBA Group (2016): resources saved by recycling. Berlin, Köln.

[Ameling-2007] Ameling, D.; Endemann, G. (2007): Technik + Trends - Werkstoff Stahl - Ressourceneffizienz: Gute Argumente für Stahl. In: *Stahl und Eisen : Zeitschrift für die Herstellung und Verarbeitung von Eisen und Stahl,* 127(8), S. 85–93.

[Bannenberg-1997] Bannenberg, N.; Lachmund, H. (1997): Vergleich der Stahlerzeugung über LD-Konverter oder Elektroofen im Hinblick auf die Entfernung unerwünschter Begleitelemente. Zuletzt geprüft am: 24.10.2016. https://www.dillinger.de/imperia/md/content/dillinger/publikationen/kesselapparatebau/technischeliteratur/vergleich_ld_eo_deutsch.pdf.

[BDSV-2010] Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling und Entsorgungsunternehmen e.V. (2010): Stahlschrottsortenliste.

[BDSV-2016a] BDSV (2016): Faire Rahmenbedingungen für die heimische Stahlindustrie: Pressemitteilung vom 23.01.2016.

[BDSV-2016b] BDSV (2016): Zukunft Stahlschrott.

[BGR-2015] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2015): Deutschland - Rohstoffsituation 2014. Zuletzt geprüft am: 24.10.2016. http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/Rohsit-2014.pdf?__blob=publicationFile&v=3.

[BIRFD-2015] Bureau of International Recycling Ferrous Division (Hrsg.) (2015): World Steel Recycling in Figures 2010 – 2014 - Steel Scrap – a Raw Material for Steelmaking. 2015.

[BMUB-2016] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit; www.bmub.bund.de (2016): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II - Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen.

[Broadbent-2016] Broadbent, C. (2016): Steel's recyclability: Demonstrating the benefits of recycling steel to achieve a circular economy. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment,* 21(11), S. 1658–1665.

[Brunn-2016] Brunn, M. (Hrsg.) (2016): Stahlschrott: Stahlschrott im Sturzflug? Ausgabe 04/2016 (Recycling Magazin).

[AltautoV-2016] Bundesministerium für Justiz und für Verbraucherschutz (2016): Verordnung über die Überlassung, Rücknahme und umweltverträgliche Entsor-

gung von Altfahrzeugen. Zuletzt geprüft am: 28.10.2016. http://www.gesetze-im-internet.de/altautov/index.html.

[Das-1998] Das, A.; Kandpal, T. C. (1998): Energy demand and associated CO2 emissions for the Indian steel industry. In: *Energy,* 23(12), S. 1043–1050.

[Deike-2016] Deike, R. (2016): Expertenbefragung innerhalb der Studie »Technische, ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Faktoren von Stahlschrott« 01.09.2016.

[Deike-2016] Deike, R. (2016): Bedeutung energieintensiver metallurgischer Betriebe unter dem Aspekt des Recyclings von Eisen, Stahl und NE-Metallen. In: *Bedeutung energieintensiver metallurgischer Betriebe unter dem Aspekt des Recyclings von Eisen, Stahl und NE-Metallen. Neuruppin (3).,* Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.), 421–435.

[Dillinger-2007] Dillinger, J. (2007): Fachkunde Metall. 56., neu bearbeitete Auflage. Haan-Gruiten.

[DIN-10020] DIN Deutsches Institut für Normung: DIN EN 10020:2000-07 Begriffsbestimmungen für die Einteilung der Stähle; Deutsche Fassung EN 10020:2000. Berlin: Beuth.

[DIN-10027] DIN Deutsches Institut für Normung: DIN EN 10027-1:2016-02 Bezeichnungssysteme für Stähle - Teil 1: Kurznamen; FprEN 10027-1:2016. Berlin: Beuth.

[ELG_Haniel-2015] ELG Haniel Group (2015): Sustainability Report 2015. Zuletzt geprüft am: 02.11.2016. http://elg.raytion.com/fileadmin/downloads/ELG_CR_Report_2015_Online.pdf.

[EUC-2016a] EU Commission (2016): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss, den Ausschuss der Regionen und die Europäische Investitionsbank: Die Stahlindustrie: Erhaltung von dauerhaften Arbeitsplätzen und nachhaltigem Wachstum in Europa. Brüssel.

[EUC-2016b] EU Commission (Hrsg.) (2016): Press Release. Stahlindustrie: Kommission ergreift Maßnahmen zur Erhaltung zukunftsfähiger Arbeitsplätze und nachhaltigen Wachstums in Europa. 2016.

[EU-Recycling-2016] EU-Recycling (Hrsg.) (2016): Schrottmarktbericht. Katerstimmung. Ausgabe 03/2016.

[Gerspacher-2011] Gerspacher, A. (2011): Zukunftsmarkt Energieeffiziente Stahlherstellung: Fallstudie im Rahmen des Vorhabens Wissenschaftliche Begleitforschung zu übergreifenden technischen, ökologischen, ökonomischen und strategischen Aspekten des nationalen Teils der Klimaschutzinitiative.

[Gielen-2002] Gielen, D.; Moriguchi, Y. (2002): CO2 in the iron and steel industry: An analysis of Japanese emission reduction potentials. In: *Energy Policy,* 30(10), S. 849–863.

[Goldmann-2016] Goldmann, D. (2016): Expertenbefragung innerhalb der Studie »Technische, ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Faktoren von Stahlschrott« 31.08.2016.

[Hilpert-2010] Hilpert, H. G.; Wassenberg, F. (2010): Monopoly auf dem Eisenerzmarkt: Ursachen und Konsequenzen. In: *Wirtschaftsdienst,* 90(8), S. 564–566.

[Hornbogen-2013] Hornbogen, E.; Warlimont, H. (2013): Metalle: Struktur und Eigenschaften der Metalle und Legierungen, 5. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.

[Hu-2006] Hu, C.; Chen, L.; Zhang, C.; Qi, Y.; Yin, R. (2006): Emission Mitigation of CO2 in Steel Industry: Current Status and Future Scenarios. In: *Journal of Iron and Steel Research, International,* 13(6), S. 38–52.

[ISSF-2016] ISSF, International Stainless Steel Forum (2016): The Recycling of Stainless Steel. Zuletzt geprüft am: 21.10.2016. http://www.worldstainless.org/Files/issf/Animations/Recycling/flash.html.

[Jörissen-1999] Jörissen, J.; Kopfmüller, J.; Brandl, V. (1999): Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe.

[Knein-2016] Knein, A. (2016): Expertenbefragung innerhalb der Studie »Technische, ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Faktoren von Stahlschrott« 06.09.2016.

[Loulou-2008] Loulou, R.; Labriet, M. (2008): ETSAP-TIAM: The TIMES integrated assessment model Part I: Model structure. In: *Computational Management Science,* 5(1-2), S. 7–40.

[Lüngen-2016] Lüngen, H.-B. (2016): Production routes for steel making in Germany 2015.

[Marquart-2016] Marquart, M. (2016): Angst vor China: Der letzte Kampf der europäischen Stahlriesen. erschienen auf spiegel online am 19. Februar 2016.

[Marscheider-2016] Marscheider-Weidemann, F. (2016): Rohstoffe_fuer_Zukunftstechnologien_screen.pdf: Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2016.

[Martens-2016] Martens, H.; Goldmann, D. (2016): Recyclingtechnik: Fachbuch für Lehre und Praxis, 2. Aufl. [s.l.]: Springer Vieweg.

[Milles-2006] Milles, U. (2006): Strom sparen bei der Edelstahlproduktionprojektinfo 06/06. In: *BINE Informationsdienst*.

[Moeller-2014] Moeller, E. (2014): Handbuch Konstruktionswerkstoffe: Auswahl, Eigenschaften, Anwendung, 2. Aufl. München: Hanser.

[Morfeldt-2015] Morfeldt, J.; Nijs, W.; Silveira, S. (2015): The impact of climate targets on future steel production – an analysis based on a global energy system model. 2015.

[Mudd-2010] Mudd, G. M. (2010): The »Limits to Growth« and »Finite« Mineral Resources: Re-visiting the Assumptions and Drinking From That Half-Capacity Glass. Auckland, New Zealand.

[Nausch-2002] Nausch, R. (2002): Vom Eisen zum Stahl: Industriemuseum Brandenburg an der Havel.

[Neugebauer-2012] Neugebauer, S.; Finkbeiner, M. (2012): Ökobilanz nach ISO 14040/44 für das Multirecycling von Stahl. TU Berlin, 2012.

[Fruehan-2010] NIIR Board of Consultings and Engineers (2010): The Complete technology book on hot rolling of steel. Delhi, India: National Institute of Industrial Research.

[Norgate-2002] Norgate, T. E.; Rankin, W. J. (2002): The role of metals in sustainable development. Green Processing.

[Oryx-2010] Oryx Stainless (2010): CO2-Reduktion durch intelligentes Recycling von Edelstahlschrott. Mülheim an der Ruhr/Dordrecht. Zuletzt geprüft am: 02.11.2016. http://www.efirst.de/kunden/oryx/de/webform2042010_d.pdf.

[Pauliuk-2013] Pauliuk, S.; Milford, R. L.; Müller, D. B.; Allwood, J. M. (2013): The steel scrap age. in Environmental science & technology.

[PP_GBR-2016] PreviewProductionGBR (2016): Die Ludolfs – 4 Brüder auf'm Schrottplatz: TV-Doku-Soap zwischen 2006 und 2011 über vier Brüder, die in Rheinland-Pfalz eine Autoverwertung betreiben.

[Reiche-2016] Reiche, L. (Hrsg.) (2016): Stahlkocher-Protest in Brüssel: Dieser Preiskampf ist nicht zu gewinnen. Manager Magazin (MM).

[Reinert-2016] Reinert, U.; Schubert, R. (2016): Einfluß der Legierungselemente auf die Eigenschaften von Eisenwerkstoffen.

[Ruge-2013] Ruge, J.; Wohlfahrt, H. (2013): Technologie der Werkstoffe. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

[Sakamoto-1999] Sakamoto, Y.; Tonooka, Y.; Yanagisawa, Y. (1999): Estimation of energy consumption for each process in the Japanese steel industry: A process analysis. In: *Energy Conversion and Management,* 40(11), S. 1129–1140.

[Sansom-2014] Sansom, M.; Avery, N. (2014): Briefing: Reuse and recycling rates of UK steel demolition arisings. In: *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability,* 167(3), S. 89–94.

[Schenk-2013] Schenk, J. (2013): Eisen- und Stahlmetallurgie I. Skript.

[Schüler-2016] Schüler, S.; Algermissen, D.; Markus, H. P.; Mudersbach, D.; Drissen, P. (2016): Metallurgische Maßnahmen zur Einstellung der Nachhaltigkeit von Elektroofenschlacke - Kreislaufwirtschaft stabil weiterentwickeln. In: *Mineralische Nebenprodukte und Abfälle,* Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.), 261–277. http://www.vivis.de/phocadownload/2016_mna/2016_MNA_257-278_Mudersbach_Drissen.pdf.

[Stubbe-2008] Stubbe, G.; Harp, G.; Hillmann, C.; Scholl, W. (2008): Schließung von Stoffkreisläufen beim Einsatz von verzinktem Schrott im Oxygenstahlwerk. In: *Stahl und Eisen : Zeitschrift für die Herstellung und Verarbeitung von Eisen und Stahl,* 128(2), S. 55–60.

[UBA-2012] Umweltbundesamt (2012): Ermittlung des Beitrages der Abfallwirtschaft zur Steigerung der Ressourcenproduktivität sowie des Anteils des Recyclings an der Wertschöpfung: unter Darstellung der Verwertungs- und Beseitigungspfade des ressourcenrelevanten Abfallaufkommens.

[UBA-2015] Umweltbundesamt (2015): Kartierung des Anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft.

[Wang-2007] Wang, K.; Wang, C.; Lu, X.; Chen, J. (2007): Scenario analysis on CO2 emissions reduction potential in China's iron and steel industry. In: *Energy Policy,* 35(4), S. 2320–2335.

[Werheit-2010] Werheit, P. (2010): Analyse von Sekundärrohstoffen durch mikrowellenunterstützte Laser-Emissionsspektroskopie - WAVE.

[Willeke-1998] Willeke, R. (1998): Fachbuch Stahlrecycling - vom Rohstoff Schrott zum Stahl. München-Gräfelfing: Reed Elsevier Deutschland.

[Worldsteel-2016] World Steel Association (2016): Fact Sheets. Zuletzt geprüft am: 24.10.2016. https://www.worldsteel.org/publications/fact-sheets.html.

[WVS-2016] Wirtschaftsvereinigung Stahl (2016): Fakten zur Stahlindustrie in Deutschland 2016.

[Yellishetty-2011] Yellishetty, M.; Mudd, G. M.; Ranjith; P.G.; Tharumarajah A.: (2011): Environmental life-cycle comparisons of steel production and recycling: sustainability issues problems and prospects. Elsevier B.V.