

Technische, ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Faktoren von Stahlschrott

Jochen Nühlen und Markus Hiebel

1.	Anlass und Motivation	117
2.	Projektansatz und Vorgehen.....	118
3.	Kernaussagen.....	119
3.1.	Stahlrecycling als Teil der Wertschöpfungskette.....	119
3.2.	Kein Stahlschrott – keine zirkuläre Wirtschaft	122
4.	Ergebnisse der Experteninterviews	126
5.	Herausforderungen.....	132
6.	Literatur.....	134

1. Anlass und Motivation

In Zukunft wird die Bedeutung des Recyclings zunehmen, da die Erzgehalte in den Lagerstätten weiter abnehmen werden [18, 20]. Dadurch müssen perspektivisch immer größere Mengen an Abraum bewegt und immer mehr Energie eingesetzt werden, um Metalle zu gewinnen. Metallische Stoffströme aus der Industrie mit hohen sowie niedrigen Wertstoffkonzentrationen müssen daher detektiert, verstanden und gezielt eingesetzt werden. Nur so können sie der Wertschöpfungskette erneut zugeführt werden und nach entsprechender Aufbereitung Primärrohstoffe in einem hochwertigen und qualitätsgesicherten Produkt substituieren. Die Stahlrecyclingbranche ist dabei ein wichtiger Bestandteil der globalen Wertschöpfungskette und leistet auf unterschiedlichen Ebenen einen Beitrag zu Klima- und Ressourcenschutz. Doch über lange Zeit aufgebaute Überkapazitäten, Wettbewerbsverzerrungen durch künstlich verbilligte oder verteuerte Rohstoffe und Produkte sowie ein verringertes Nachfragewachstum insbesondere im asiatischen Raum verursachen einen spürbaren Preisdruck auf die weltweite Stahlindustrie (u.a. [10, 22, 14]). 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 [4].

Als größter Stahlrecyclingverband in Europa hat die Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e. V. (BDSV) daher die technischen, ökonomischen, ökologischen als auch gesellschaftlichen Eigenschaften des Stahlrecyclings in einer literatur- und interviewbasierten Studie aufbereiten lassen.

den Bereichen Technologie, Ökonomie, Ökologie und Gesellschaft in einen Fragebogen eingearbeitet und zu konkreten Leitfragen formuliert. Die erstellten Leitfragen wurden mit Experten aus Industrie und Forschung diskutiert, um strittige Thesen in der Literatur und die abgeleiteten Kernaussagen kritisch zu beleuchten und um finale Kernaussagen durch Drittextpertise zu fundieren. Die Befragung erfolgte sowohl in persönlichen Gesprächen als auch telefonisch. So wurde eine fundierte Aufstellung über die technischen, ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Faktoren des Stahlrecyclings sichergestellt.

3. Kernaussagen

Insgesamt sind sieben Kernaussagen identifiziert worden.

- Kein Stahlschrott – keine Stahlindustrie,
- Stahlrecycling als Teil der Wertschöpfungskette,
- Kein Stahlschrott – keine zirkuläre Wirtschaft,
- Stahlschrott schont Klima und Ressourcen,
- Stahlrecycling sichert und schafft Arbeitsplätze auf allen Qualifikationsniveaus,
- Stahlrecycling ist sinnvoll für die Volkswirtschaft,
- Die Stahlrecyclingbranche hat Innovationspotenzial.

Die detaillierten Darstellungen aller Kernaussagen sind in [12] nachzulesen. Nachfolgend sind exemplarisch zwei Kernaussagen dargestellt, die sowohl technische, ökonomische, ökologische als auch gesellschaftliche Effekte haben.

3.1. Stahlrecycling als Teil der Wertschöpfungskette

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 [2]. 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 etwa 1,2 Milliarden Tonnen geschätzt [27]. Aufbauend auf den im vorangegangenen Kapitel skizzierten technischen Anfängen und heutigen Prozessen der Stahlherstellung, befasst sich die in dieser Veröffentlichung dargestellte 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 [3]. Je nach Einsatzgebiet können auch unternehmensspezifische Anforderungen in Absprache mit dem abnehmenden Stahlwerk oder Gießerei gestellt werden.

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 [7, 11, 15].

Tabelle 1: Schrottsortierung und Aufbereitungstechnologie

Verfahren	Zu entfernende Stoffe/zu leistende Arbeit	Mittel oder Mechanismus
Sortierung und Vorbereitung oder physikalische Trennung	Trennung metallischer Produkte von nicht-metallischen Produkten Verschiedene Anhaftungen Sonstige wertvolle und wiederverwertbare Stoffe	Manuelle Trennung durch Menschen durch visuelle Inspektion der Farbe, Textur, Dichte usw. 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 Rammern 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 Schredderückstände (SR) (Leichtfraktion und Schwerfraktion)	Zerschlagen der Objekte mit Hammern (Kraft, Windsichtung, magnetische Eigenschaften und manuelle Sortierung)
Magnetische Trennung	Trennt eisenhaltigen 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 feingemahlene Magnetit oder Ferrosilizium mit Wasser (spezifisches Gewicht, relative Dichte und Viskosität)
Funken-, magnetische, chemische und spektroskopische Prüfung	Trennung und Klassifizierung verschiedener Stahlliegierungen	Durch Magnete, Säure, Schleifen (für Legierungen) und Röntgenstrahlen (Ferromagnetismus, Säure-Reaktion, Farbe und Funkenlänge, emittierte Lichtspektra)
Techniken der Beschichtungs-entfernung	Entfernung von Zink, Zinn, Brennstoffen, Ölen, Fetten, Farben, Schmiermitteln und Klebstoffen usw.	Nutzung von thermischen Methoden wie Verdampfer und Verbrennungsanlagen (Temperaturunterschiede und Abrieb)

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

Um diese Dienstleistung für die Stahl- und Gießereiindustrie zu erbringen, werden die unterschiedlichsten Aufbereitungsverfahren genutzt [30]. So wird beispielsweise der in der Primärroute zur Temperaturführung genutzte Kühltischschrott 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.

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

Daraus lassen sich entsprechend die nachfolgenden Schlussfolgerungen ziehen:

Schlussfolgerung zur Kernaussage: 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, die zu tiefen wirtschaftlichen Verflechtungen geführt hat und die heutige Position der Stahlrecyclingwirtschaft unterstützt.*
- *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.*

3.2. Kein Stahlschrott – keine zirkuläre Wirtschaft

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 [6]. Als ein vom Import metallischer Primärrohstoffe abhängiges Land muss Deutschland auch auf heimische Sekundärrohstoffe setzen und die zirkuläre Wirtschaft weiter vorantreiben. Doch die zirkuläre Wirtschaft steht verschiedenen 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 Bundesregierung wird laut aktuellem Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess II) die Entwicklung geeigneter Verfahren zur Bearbeitung der genannten Herausforderungen unterstützen. 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 ressourcenrelevanter Mengenfälle ist eines der Ziele innerhalb des Handlungsfelds des Ausbaus einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft [2]. Der Stahlrecyclingbranche kommt dabei eine zentrale Rolle zu, da sie mit den anfallenden Stoffströmen umgehen muss, diese separieren, steuern und so aufbereiten muss, dass sie in die passenden 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 [27]. 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 Innovations-sprünge 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) [2]. Die dafür verantwortlichen Effizienzsteigerungen und Innovationssprünge in der Prozesstechnik der Stahlindustrie werden dabei durch die qualitätsgesicherte Bereitstellung von Stahlschrotten unterstützt.

Ein wesentlicher Bestandteil des anfallenden Stahlschrotts ist der Sorte 4 (Schwerer Stahlschrott) zuzuordnen [26]. 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 Indikatoren 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 dargestellten Prozesse und deren jeweiliger Schrotinput produzieren etwa 2.500 Stahlsorten mit genormten Zusammensetzungen [8, 9].

Tabelle 2: Einteilung der Stähle

Nach chemischer Zusammensetzung	Nach Güteklassen	Kennzeichen
unlegiert, Grenzgehalte ^{1,2} : Mn < 1,65, Si < 0,5 Cu < 0,40 Cr, Ni < 0,30 Al, Co, V, W < 0,10 Mo < 0,08, Nb < 0,06	Grundstähle Grenzgehalt ¹ : < 0,10 C	nicht zur Wärmebehandlung bestimmt
	unlegierte Qualitätsstähle	zur Wärmebehandlung bestimmt
	unlegierte Edelstähle	zur Vergütung und Oberflächenhärtung bestimmt, höhere Reinheit
legiert, oberhalb der Grenzgehalte	legierte Qualitätsstähle	geringere Legierungsgehalte
	legierte Edelstähle	höhere Legierungsgehalte, höhere Reinheit, besondere Wärmebehandlungsbedingungen

¹ Ma.-%

² Kombination mehrerer Elemente innerhalb der Grenzgehalte führt zu legierten Stählen

nach DIN Deutsches Institut für Normung: DIN EN 10020:2000-07 Begriffsbestimmungen für die Einteilung der Stähle; Deutsche Fassung EN 10020:2000. Berlin: Beuth, eigene Darstellung nach Hornbogen, E.; Warlimont, H.: Metalle: Struktur und Eigenschaften der Metalle und Legierungen, 5. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer, 2013

Tabelle 3: Maximal zulässige Begleitelemente in unlegierten Stählen sowie zulässige und geforderte Beimengungen im Schrott für das Erschmelzen von zwei Edelstahlsorten

Element	Max. zulässige Gehalte an Begleitelementen in unlegierten Stählen	Zulässige und geforderte Beimengungen im Schrott zur Herstellung von CrNi 18-8	
		%	
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
Summe Cu, Cr, Ni, Mo	etwa 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	

eigene Darstellung nach Martens, H.; Goldmann, D.: Recyclingtechnik: Fachbuch für Lehre und Praxis, 2. Aufl. [s.l.]: Springer Vieweg, 2016 auf Basis von Willeke, R.: Fachbuch Stahlrecycling - vom Rohstoff Schrott zum Stahl. München-Gräfelfing: Reed Elsevier Deutschland, 1998 und Moeller, E.: Handbuch Konstruktionswerkstoffe: Auswahl, Eigenschaften, Anwendung, 2. Aufl. München: Hanser, 2014

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 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 [15]. 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 [15] 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 zum Umgang mit Tramp Elements (z.B. Cu, Pb, Zn),
4. Verdünnung mit Roheisen,
5. Erhöhen des Bewusstseins in der Gesellschaft für Stahlprodukte.

Die Stahlrecyclingwirtschaft betreffen alle Maßnahmen. Während die Maßnahme eins vorrangig die stahlverarbeitende Industrie adressiert (z.B. die Automobilindustrie oder den Maschinenbau insbesondere vor dem Hintergrund der Ökodesign-Richtlinie), 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 Herausforderung muss sich die Stahlrecyclingbranche stellen [11]. 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 [15, 30]. Dass diese Anforderungen von den Stahlwerken eingehalten werden können, ist zum einen der metallurgischen Prozessführung zuzuschreiben und zum anderen dem Einsatz definierter Sekundärrohstoffe.

Aufgrund von speziellen Qualitätsanforderungen sind noch einige Stahlsorten nicht ohne einen gewissen Anteil von Roheisen herstellbar [26]. 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 [1, 19, 25].

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 [7]. 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 [7].

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 [6]. 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 [24]. 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.

Auf Basis der dargestellten Erkenntnisse lassen sich folgende Schlussfolgerungen treffen:

Schlussfolgerung zur Kernaussage: 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 (Wareneingänge 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 eine zirkuläre Wirtschaft in Deutschland und Europa nicht umgesetzt werden.*

Nachfolgend sind die Ergebnisse der im Rahmen der Studie geführten Experteninterviews dargestellt.

4. Ergebnisse der Experteninterviews

In unabhängigen Interviews wurden insgesamt acht Experten befragt. Dabei wurde die Auswahl der Experten bewusst entlang der Wertschöpfungskette Stahl vorgenommen, sodass sowohl Rohstoffaufbereiter und Händler, Automobilindustrie, Stahl- und Edelstahlindustrie sowie namhafte Vertreter der Wissenschaft im Bereich Metallurgie und Aufbereitung mit einbezogen wurden. Sie bilden einen Querschnitt aus fachübergreifenden Experten und Industriesicht (Produzenten, Abnehmer, Nutzer) ab. Alle Experten nahmen die Befragung sowie den Ansatz der Studie positiv auf und begrüßten die Aktivitäten, sich stärker für die Imageverbesserung des Sektors einzusetzen. Die Autoren bedanken sich bei allen Interviewpartnern für die konstruktive und gute Zusammenarbeit.

Am stärksten wurde im Rahmen der Experteninterviews betont, dass die Stahlrecyclingbranche durch die betriebene Qualitätssicherung gewährleistet, dass der gesamte anfallende Schrott gemäß 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.

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 denkbar. Sowohl in Industrie als auch Forschung wurde ebenfalls die Möglichkeit zur Lagerhaltung seitens der Stahlrecyclingwirtschaft hervorgehoben. Generell wurden kurze und schnelle Lieferwege und damit geringe Kosten als großer Standortvorteil angesehen. Ebenso wurde in allen Interviews die große Bedeutung einer qualitätsgesicherten Bereitstellung von Sekundärrohstoffen herausgestellt sowie eine generelle Symbiose beider Wirtschaftszweige attestiert und die Bedeutung der Stahlrecyclingwirtschaft in der einer zirkulären Wirtschaft dargestellt.

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 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. Im Bereich der Zukunftsaufgaben wurde insbesondere eine Herausforderung beim Handling von Sandwichblechen und sonstigen Verbundwerkstoffen identifiziert.

Im Bereich Klima und Ressourcen ergibt sich aus den Interviews, 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 anstelle von Erzen nicht als eine Verringerung der Gesamtfördermenge zu sehen. Vielmehr wird die Fördermenge wachstumsbedingt 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.

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. Zum Beispiel wird Belgien von Industrie und Forschung als innovationsstärkerer Standort genannt. In Zukunft ist außerdem eine Fokussierung auf die sortenreine Erfassung von Mangan-Stählen nötig sowie eine Verbesserung des Handlings von Sandwich-Bauweisen und hochfesten Stählen.

Neben den Kernaussagen wurden die Experten auch zum Image(problem) der Stahlrecyclingbranche und möglichen Lösungsansätzen befragt. 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 hingegen beim Edelstahl aus. Expertenübergreifend wird ein besseres Kommunikationskonzept gewünscht, da in der Vergangenheit die Kommunikation zwischen der vielschichtigen und schwer greifbaren Branche und dem Bürger als unnötig erachtet wurde. Zudem ist in den Köpfen der Bürger häufig noch der *Hinterhofaufbereiter* als Sinnbild der Stahlrecyclingbranche sehr präsent. Die Ergebnisse der Experteninterviews zu den Kernaussagen lassen sich wie folgt zusammenfassen.

Zusammenfassung der Aussagen aus den Experteninterviews

Standpunkt der Stahlrecyclingwirtschaft in der Wertschöpfungskette

- 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). Schrotthandel stellt Lagerkapazitäten bereit, die bei Stahlwerken in dieser Form nicht vorliegen.
- (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.
- Elektrostahlwerke (Schrott als Rohstoff) als auch Hochöfen (Kühlschrott zur Prozessoptimierung) wären ohne die Schrottbranche in Europa 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 Mengenründe sind immer beide Herstellungsrouten in Symbiose.
- Multirecyclingfähigkeit bei Erhalt der kohärenten Eigenschaften ist gegeben.

Stahlrecycling und zirkuläre Wirtschaft

- Bereitstellung von qualitätsgesichertem Sekundärrohstoff, ausgefeilte Analytik insbesondere im Edstahlschrottbereich wird in Zukunft noch wichtiger.
- Know-how im Bereich Sammlung, Handling, Bevorratung, Lagerhaltung ist ein 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 die Wirtschaftlichkeit von aufwendigen Trennungsvorfahren.
- Eine sortenreine Trennung wird durch steigende Anzahl verschiedener Produkte schwieriger.
- Insbesondere im Baustahlbereich ist keine Problematik erkennbar, der 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.
- Eine Aufkonzentration von unerwünschten Elementen kann durch intelligentes Stoffstrommanagement verhindert werden: z.B. kupferhaltige Schrotte für die Gießereiindustrie geeignet.
- Faktisch existiert 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), dem 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.

Klima- und Ressourcenschutz

- Klimaschutz ist durch diverse Studien belegt und unbestritten.
- Die Industriegesellschaft soll Primärrohstoffeinsatz wo möglich 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.

Innovationen

- 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.

Image

- Wahrnehmung als *Hinterhofaufbereiter* und negative Konnotation des Begriffs *Schrott*.
- Die 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.
- Die 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.
- Die Einführung eines eigenen Kommunikationskonzepts wäre wünschenswert.

Ausblick

- Schrott ist die Zukunft durch langfristig geschlossene Kreisläufe.
- Der 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 nach aktuellen Erkenntnissen 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 Elektro Stahl- zu Oxygenstahlverfahren (30:70) ist als ökonomisches Optimum anzusehen.
- Einführung moderner Aufbereitungstechnologien zur qualitätsgesicherten Trennung von neuen Gütern sollte in Zukunft oberste Priorität haben.

Auf Basis der Auswertung der Experteninterviews sowie der literaturbasierten Kernaussagen wurden wesentliche Herausforderungen für die Stahlrecyclingbranche abgeleitet, die im nächsten Kapitel skizziert sind.

5. Herausforderungen

Im Jahr 2015 betrug der Anteil des Oxygenstahlverfahrens in Deutschland etwa 70,4 % und der Anteil des schrottbasierten Elektrostahlverfahrens entsprechend 29,6 % an der im Jahr 2015 erzeugten Rohstahlmenge von 42,7 Millionen Tonnen [29]. Primär- und Sekundärroute der Stahlherstellung sind 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. Gleichmaßen ist durch den Kühltropfeneinsatz auch ein Anteil Recyclingmaterial im Produkt der Primärroute enthalten. 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 gängigen Stahlherstellungsrouten über die Hochofenroute oder das Elektrostahlverfahren, so ist davon auszugehen, dass der Rohstoff Stahlschrott weiterhin eine wichtige Rolle spielen und wesentlicher Bestandteil der zukünftigen Stahlproduktion sein wird [17, 21, 30]. Das Elektrostahlverfahren wird nach heutigen wissenschaftlichen Betrachtungen an Bedeutung gewinnen und mit ihm auch der Sekundärrohstoff Stahlschrott.

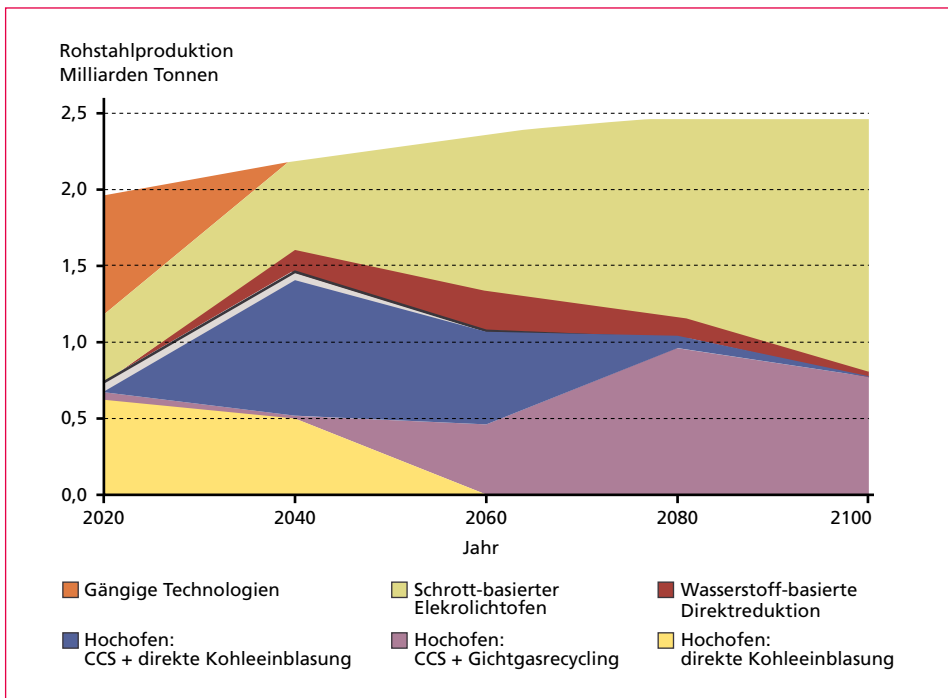


Bild 1: Entwicklung der Herstellungsrouten für Rohstahl bis 2100, Technologiewettbewerb im verbindlichen Klimaabkommen mit Stagnation der Nachfrage im Jahr 2050

eigene Darstellung nach Morfeldt, J.; Nijs, W.; Silveira, S.: The impact of climate targets on future steel production – an analysis based on a global energy system model. 2015

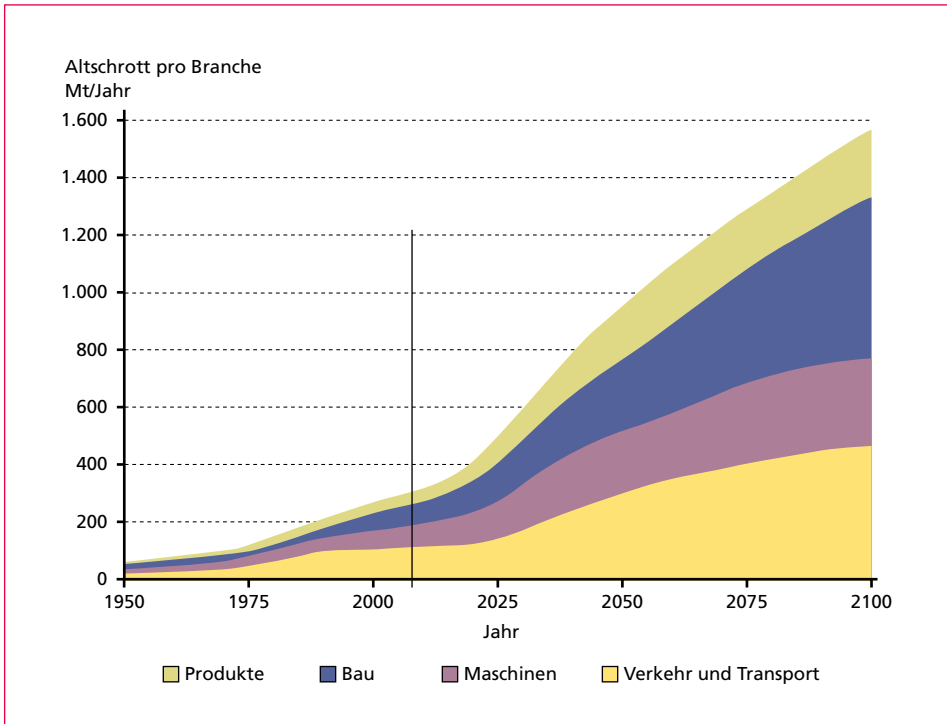


Bild 2: Prognose der Altschrottbereitstellung nach Bereichen

nach Pauliuk, S.; Milford, R. L.; Müller, D. B.; Allwood, J. M.: The steel scrap age. In: Environmental science & technology, 2013

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 [11]. Denn dieser ist hinsichtlich der kurzfristigen Verfügbarkeit durchaus auch ein knapper Rohstoff. Die Ausführungen zeigen die wichtige Rolle der deutschen Stahlrecyclingwirtschaft und wie die Zukunft einer zirkulären Wirtschaft mit dem Sekundärrohstoff Stahlschrott gestaltet werden kann. Um in der Aufbereitung und im Recycling weiter ein hohes Niveau zu halten und den Herausforderungen dieser zirkulären Wirtschaft zu begegnen, sollen die folgenden Empfehlungen helfen:

1. 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 Eingang finden.

2. Austausch mit nachgelagerten Stufen der Stahlwertschöpfungskette: Durch sich verändernde Inputstoffe können sich Teilfraktionen im Output ändern. Hier sollten im Schulterchluss 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.
3. 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.
4. Durch einen offenen Dialog mit der Gesellschaft kann die Stahlrecyclingbranche ihre Rolle noch besser kommunizieren. Die Unternehmen des Stahlrecyclings sollten ermutigt werden, den gedanklichen Weg des Wandels eines Unternehmens der Abfallwirtschaft, hin zu einem modernen Sekundärrohstofflieferanten und Dienstleister weiterzugehen.
5. Wissen und Daten bereitstellen: Die Unternehmen der Wertschöpfungskette Stahl müssen ihre Wissensdatenbank mit Statistiken, Grafiken, Bildern, Zahlen und Fakten weiter ausbauen, um einen Mehrwert für alle interessierten Gruppen zu schaffen und die Gesellschaft fundiert zu Themen der heimischen Produktion zu sensibilisieren. Dabei sollten auch soziale und gesellschaftliche Aspekte berücksichtigt werden, z.B. die Anzahl der gesicherten Arbeitsplätze, eine genaue Aufstellung der Qualifikationsniveaus und Fort- und Weiterbildungsangebote der Unternehmen.

Die Digitalisierung wird weitere Herausforderungen für die Branche bringen (vgl. [5] und zwar insbesondere in der Abwicklung von Geschäften und dem Handling der Stoffströme. Diese Herausforderung sollte aktiv angegangen werden.

6. Literatur

- [1] Ameling, D.; Endemann, G.: 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), 2007, S. 85-93
- [2] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II – Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. 2016; www.bmub.bund.de
- [3] Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling und Entsorgungsunternehmen e.V.: Stahlschrottsortenliste. 2010

- [4] Brunn, M. (Hrsg.): Stahlschrott: Stahlschrott im Sturzflug? In: Recycling Magazin, Ausgabe 04/2016, 2016
- [5] Deerberg, G; Franke, M.; Reh, K.; Kroop, S.; Mrotzek-Blöß, A.; Müller, T.: Industrie 4.0 – Bedeutung für die Abfallwirtschaft. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 13. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2016, S. 3-26
- [6] Deike, R.: Bedeutung energieintensiver metallurgischer Betriebe unter dem Aspekt des Recyclings von Eisen, Stahl und NE-Metallen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Goldmann, D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 9. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2016, S. 419-435
- [7] Deike, R.: Expertenbefragung innerhalb der Studie *Technische, ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Faktoren von Stahlschrott*. 01.09.2016
- [8] DIN Deutsches Institut für Normung: DIN EN 10020:2000-07 Begriffsbestimmungen für die Einteilung der Stähle; Deutsche Fassung EN 10020:2000. Berlin: Beuth
- [9] DIN Deutsches Institut für Normung: DIN EN 10027-1:2016-02 Bezeichnungssysteme für Stähle – Teil 1: Kurznamen; Fpr EN 10027-1:2016. Berlin: Beuth
- [10] EU-Recycling (Hrsg.): Schrottmarktbericht. Katerstimmung. Ausgabe 03/2016, 2016
- [11] Goldmann, D.: Expertenbefragung innerhalb der Studie *Technische, ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Faktoren von Stahlschrott*. 31.08.2016
- [12] 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 Studie im Auftrag der Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e.V. (BDSV), Oberhausen, November 2016
- [13] Hornbogen, E.; Warlimont, H.: Metalle: Struktur und Eigenschaften der Metalle und Legierungen, 5. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer, 2013
- [14] Marquart, M.: Angst vor China: Der letzte Kampf der europäischen Stahlriesen. SPIEGEL ONLINE, 19. Februar 2016
- [15] Martens, H.; Goldmann, D.: Recyclingtechnik: Fachbuch für Lehre und Praxis, 2. Aufl. [s.l.]: Springer Vieweg, 2016
- [16] Moeller, E.: Handbuch Konstruktionswerkstoffe: Auswahl, Eigenschaften, Anwendung, 2. Aufl. München: Hanser, 2014
- [17] Morfeldt, J.; Nijs, W.; Silveira, S.: The impact of climate targets on future steel production – an analysis based on a global energy system model. 2015
- [18] Mudd, G. M.: The „Limits to Growth“ and ‘Finite’ Mineral Resources: Re-visiting the Assumptions and Drinking From That Half-Capacity Glass. Auckland, New Zealand, 2010
- [19] Neugebauer, S.; Finkbeiner, M.: Ökobilanz nach ISO 14040/44 für das Multirecycling von Stahl. TU Berlin, 2012
- [20] Norgate, T. E.; Rankin, W. J.: The role of metals in sustainable development. Green Processing, 2002
- [21] Pauliuk, S.; Milford, R. L.; Müller, D. B.; Allwood, J. M.: The steel scrap age. In: Environmental science & technology, 2013
- [22] Reiche, L. (Hrsg.): Stahlkocher-Protest in Brüssel: Dieser Preiskampf ist nicht zu gewinnen. Manager Magazin (MM), 2016
- [23] Reinert, U.; Schubert, R.: Einfluß der Legierungselemente auf die Eigenschaften von Eisenwerkstoffen. 2016

- [24] Schüler, S.; Algermissen, D.; Markus, H. P.; Mudersbach, D.; Drissen, P.: Metallurgische Maßnahmen zur Einstellung der Nachhaltigkeit von Elektroofenschlacke – Kreislaufwirtschaft stabil weiterentwickeln. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Mineralische Nebenprodukte und Abfälle, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2016, S. 261-277; http://www.vivis.de/phocadownload/2016_mna/2016_MNA_257-278_Mudersbach_Drissen.pdf.
- [25] Stubbe, G.; Harp, G.; Hillmann, C.; Scholl, W.: 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), 2008, S. 55-60
- [26] Umweltbundesamt: 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. Texte 14/2012, Dessau-Roßlau, Mai 2012.
- [27] Umweltbundesamt: Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft. Texte 83/2015, Dessau-Roßlau, Oktober 2015.
- [28] Willeke, R.: Fachbuch Stahlrecycling – vom Rohstoff Schrott zum Stahl. München-Gräfelfing: Reed Elsevier Deutschland, 1998
- [29] Wirtschaftsvereinigung Stahl: Fakten zur Stahlindustrie in Deutschland 2016. 2016
- [30] Yellishetty, M.; Mudd, G. M.; Ranjith; P. G.; Tharumarajah A.: Environmental life-cycle comparisons of steel production and recycling: sustainability issues problems and prospects. Elsevier B.V., 2011