

Executive Summary

Die europäische Eisen- und Stahlindustrie bekennt sich zu den globalen Klimazielen und strebt eine Reduktion der Produktion bedingten CO₂-Emissionen um mindestens 50% im Vergleich zu 1990 bis zum Jahr 2030 mit dem Ziel einer Klimaneutralität (keine Nettoemission bis 2050) an. Stahlschrott ist ein wesentlicher Sekundärrohstoff im Stahlherstellungsprozess und ein wichtiger Grundpfeiler für eine CO₂-arme Stahlindustrie. Im Vergleich zur Stahlproduktion durch die Primärroute benötigt das Einschmelzen von Stahlschrott weniger Ressourcen und birgt somit sowohl umwelttechnische als auch wirtschaftliche Vorteile. Die Erzeugung von Hochleistungsstählen setzt ein erhöhtes und optimiertes Recycling der Ressource Stahlschrott und genaue Kenntnisse über verfügbare Schrottqualitäten voraus. Insbesondere Altschrottklassen können die geforderten Qualitätskriterien hinsichtlich ihrer Zusammensetzung (z.B. Anteile an nichtmetallischen Störstoffen oder Nichteisenmetallen) nicht erfüllen.

Für die interdisziplinäre F&E-Studie IRONER, finanziert im Rahmen der FTI-Initiative Kreislaufwirtschaft vom Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BKM) und koordiniert von der FFG, wurden Optimierungspotenziale für ein nachhaltiges Recycling von Schrott in Österreich untersucht. Dabei wurde die Schrottverfügbarkeit quantitativ und auch qualitativ durch eine Materialfluss- und Material Pinch-Analyse ermittelt. Die Ergebnisse wurden durch Stakeholder-Befragungen untermauert. Im Zuge der Stakeholder-Befragungen wurde auch der Innovationsbedarf der Branche ermittelt. Weiters wurden werkstofftechnologische Auswirkungen für Prozesse und Produkte analysiert und zusammengefasst.

Österreich ist nicht nur eines der Länder mit der weltweit höchsten Pro-Kopf-Stahlproduktion (AT: 0,9 t/Jahr/Kopf, EU: 0,35 t/Jahr/Kopf, weltweit: 0,25 t/Jahr/Kopf), sondern führt auch ein anspruchsvolles Stahlproduktportfolio (EUROFER, 2021, S.14-16). Dieses besteht überwiegend aus Flacherzeugnissen, die einen hohen Reinheitsgrad der eingesetzten Ressourcen erfordern. Das bedeutet eine besondere Herausforderung für die angestrebte Erhöhung des Einsatzes von Schrottmengen für die Stahlproduktion.

Die österreichische Stahlproduktion betrug 2021 knapp 8 Millionen Tonnen (World Steel Association, 2022, S.9). Für die Produktion wurden rund 1,5 Millionen Tonnen Schrott verwendet, wobei der Anteil des importierten Schrotts sich auf 58% beläuft und der Anteil des inländischen Schrotts bei 42% liegt. Diese 1,5 Millionen Tonnen Schrott umfassen die über den Schrotthandel abgedeckten Mengen. Der Eigenschrott der Stahlerzeuger ist in dieser Menge nicht enthalten. Der zukünftige Schrottbedarf wird für die nächsten 3 Jahre mit einer Zunahme von 10% bis 15% bzw. für die nächsten 5 bis 10 Jahre mit einer Zunahme von 70% bis 100% eingeschätzt. Der Schrotthandel beziffert aktuell das jährliche Schrottaufkommen in Österreich mit ca. 2 Millionen Tonnen, wobei ca. 1 Millionen Tonnen ins Ausland exportiert werden, aber im Gegenzug auch 960 Tonnen importiert werden, so dass sich Importe und Exporte nahezu die Waage halten. (Daten aus Interviews mit Stakeholdern, 2022)

Für ein tieferführendes Verständnis der Schrottverfügbarkeit in Österreich und den Nachbarländern wurden Material Pinch-Analysen (basierend auf (Dworak und Fellner, 2021, S.105692; Dworak et al., 2022, S.106072)) durchgeführt und drei unterschiedliche Szenarien betrachtet. Szenario 3 geht davon aus, dass Neuschrott grenzüberschreitend gehandelt (überwiegend importiert) wird und im Fall von Altschrott nur die in Österreich anfallenden Mengen berücksichtigt werden, was ein theoretisches Schrottaufkommen von knapp 3 Millionen Tonnen ergibt. Diese Schrottmengen könnten ca. 35% des Stahlbedarfs decken. Szenario 1 und 2 berücksichtigen, dass das europäische Schrottaufkommen rund 65% des europäischen Rohstahlbedarfs deckt. Durch die sehr hohe Stahlproduktionsrate pro Kopf in Österreich ergibt das auch eine höhere Schrottverfügbarkeit (rund 5 Millionen Tonnen) für Österreich. Der Einsatz dieser Ressourcen würde die Schrotteinsatzrate entsprechend erhöhen. Ein limitierender Faktor beim Schrotteinsatz ist die Qualität des Schrotts. Deshalb berücksichtigt die Analyse zwei Optionen. Erstens, dass es, wie aktuell gehandhabt, zu Vermischungen und Verunreinigungen der Schrottfractionen kommt. Als zweite Option wird das theoretische Potenzial vollständiger Sortierung herangezogen. Die betrachteten Szenarien zeigen auf, dass es Österreich gelingen sollte, die Schrottverfügbarkeit von derzeit 35% bezogen auf die Stahlerzeugung auf 63% zu erhöhen, vorausgesetzt, dass der Schrott soweit aufbereitet werden kann, dass er für die in Österreich erzeugten Stahlqualitätsgruppen auch einsetzbar ist. Diese Schrottverfügbarkeit würde bis 2030 auf 67% und bis 2050 sogar auf 75% bezogen auf die Rohstahlproduktion steigen und somit großes Potential in der Weiterentwicklung eines geeigneten Schrottkreislaufes aufzeigen.

Bisherige Aufbereitungs- und Sortiertechniken stoßen vor allem bei immer komplexeren Produkten an ihre Grenzen und Maßnahmen zur Verbesserung der Schrottsortierung bis zur Erreichung einer möglichst sortenreinen Trennung sind unumgänglich. Daraus ergeben sich sowohl aus logistischer als auch aus technischer Sicht große Herausforderungen für die Aufbereitung und Rückgewinnung der Materialien. Diese Herausforderung wirkt sich auf die gesamte Wertschöpfungskette aus. Nur durch die Einbeziehung der gesamten Prozesskette (Wertschöpfungskette, vom Schrottaufbereiter über Anlagenbauer bis zum Stahlerzeuger) ist es möglich, die notwendigen Innovationen zur Steigerung des Stahlrecyclings sinnvoll zu definieren und umzusetzen. Wichtige Aspekte sind hierbei die flächendeckende Erfassung und Aufbereitung von Schrott, die Trennung und Aufbereitung komplexer Verbundwerkstoffe, die Gewährleistung der legierungsspezifischen Trennung und die Digitalisierung der Prozesse in der Stahlrecyclingindustrie sowie im Stahlwerk. Der Einsatz innovativer Technologien zur Aufbereitung und Sortierung sowie deren Kombination kann die Schrottqualität und die Sortierreinheit deutlich verbessern und damit die Schrottverfügbarkeit für den heimischen Verbrauch sichern. Daher ist es wesentlich, die Weiterentwicklung, Erprobung und Integration von Analysemethoden voranzutreiben, um die im Schrott vorhandenen Verunreinigungen zu identifizieren und diese Schrotte vor der Beschickung der Öfen wirksam zu entfernen. Sensorgestützte Sortierung, automatisierte Demontage von Abfällen sowie die Digitalisierung der Prozesse stellen vielversprechende Ansätze zur Steigerung des Schrotteinsatzes dar.

Ausgehend von der Stakeholder-Befragung wurden die Spurenelemente Kupfer, Nickel, Molybdän, Zinn, Arsen Antimon und Blei genauer betrachtet und ihr Einfluss auf das Umwandlungsverhalten von Stählen sowie ihr Einfluss auf ausgewählte Stahlqualitäten wie z.B. Tiefziehqualitäten, Elektroband, Röhrenstähle, und Einsatzstähle beleuchtet. Generell kann gesagt werden, dass die genannten Spurenelemente sowohl positive wie auch negative Auswirkungen haben, wobei die negativen überwiegen. Weiterführende werkstoffkundliche Untersuchungen zu einem besseren Verständnis der Wechselwirkung dieser Spurenelemente untereinander, aber auch auf die Gebrauchseigenschaften von Qualitätsstählen müssen durchgeführt werden. Die Frage, inwieweit diese unerwünschten Spurenelemente tatsächlich auf die heute üblichen Grenzwerte eingeschränkt werden müssen bzw. die Entwicklung von neuen Stählen, die auf Spurenelemente toleranter sind, stellt hier auch eine zentrale Forschungs- und Entwicklungsaufgabe dar.

Weiters werden in der Studie die derzeit bekannten und eingesetzten Stahlherstellungsverfahren in Hinblick auf die Entfernbarkeit der genannten Spurenelemente dargestellt. Viele Spurenelemente können bei den heute eingesetzten Stahlherstellungsrouten schlecht bis gar nicht entfernt werden, so dass nur durch Verdünnung mit „frischem Roheisen“ oder aus Primärrouten hergestellten direkt reduziertem Eisen (Direct Reduced Iron DRI, Hot Briquetted Iron HBI) die geforderten Gehalte erreicht werden können. Bei diesen Elementen ist daher eine Anreicherung in vor allem niedrigqualitativen Schrotten zu erwarten, weshalb eine intensivierete Forschung einerseits zu deren Verhalten in der Stahlschmelze als auch die Auswirkungen im fertigen Produkt von Nöten ist. Durch die genannten Elemente kann es zu Problemen im Gießprozess durch abgesenkte Liquidustemperaturen sowie zu veränderten Oberflächeneigenschaften kommen.

Aus metallurgischer Sicht erfordert der zunehmende Einsatz von Sekundärrohstoffen und den damit verbundenen Begleitelementen zum einen Modifikationen in der Prozessführung und zum anderen ein Forschungsbedarf hinsichtlich bereits gut untersuchter Reaktionen und Wechselwirkungen. Folglich müssen ihre Auswirkungen auf bestimmte Stahlsorten individuell untersucht und beschrieben werden. Die Recherche zeigt aber auch, dass der effizienteste Weg in besseren Schottaufbereitungstechnologien liegt, um von Haus aus die unerwünschten Spurenelemente nicht in den Produktionsprozess einzuschleppen.

Die Relevanz eines verstärkten Schrotteinsatzes für Klimaschutz, Wettbewerbsfähigkeit und wirtschaftliche Entwicklung wird durch die Knappheit des zur Verfügung stehenden Treibhausgasbudgets zur Einhaltung der Pariser Klimaziele (laut IPCC-Bericht aus 2021 (IPCC, 2021, S.3-146) ist das Treibhausgasbudget bis 2030 aufgebraucht, wenn der CO₂-Ausstoß wie bisher weitervoranschreitet) sowie dem aktuell limitierten Zugang zu klimafreundlicherem erneuerbarem Energieträger deutlich. Stahlschrotte sind nicht nur wegen des darin enthaltenen Eisens, sondern auch wegen der durch ihren Einsatz eingesparten Energie wertvoll. Durch das Schmelzen und Recyceln von Schrotten in einem Elektrolichtbogenofen (100% Schrott) können sowohl rund 80% der Primärenergie als auch der CO₂-Emissionen im Vergleich zur integrierten Route eingespart werden.

Die Abschätzung der direkten und indirekten volkswirtschaftlichen Effekte des erhöhten Schrotteinsatzes mittels Szenarien-Analyse auf Basis zu erhebender Betriebskosten und

Investitionsbedarfe für erhöhten Schrotteinsatz in Kombination mit klimaneutralen Optionen der Primärproduktion steht auch hier als zentrales Forschungsthema im Vordergrund wobei als Arbeitshypothese die klimaneutrale Entwicklung im Stahlbereich durch verstärkte Schrottverwendung nicht nur insgesamt effizienter und damit günstiger, sondern auch widerstandsfähiger sein sollte, da Lieferketten diversifizierter gestaltet werden können.

Das Erarbeiten einer „Landkarte“ hinsichtlich Schrottqualitäten und -verbringung sowie das Durchführen eines Technologiescreenings stellt eine ideale Basis dar zum Setzen weiterer F&E-Aktivitäten für ein verstärktes Stahlrecycling. Es braucht national geförderte Leuchtturmprojekte mit Einbindung aller Player entlang der Schrottverarbeitungskette zur Demonstration einer gesteigerten Schrottwertschöpfung. Dies umfasst die Entfernung von Störstoffen (Verunreinigungen) gekoppelt mit einem effizienteren Schrottplatzmanagement (Charakterisierung, Sortierung) sowie die Verarbeitung zu Qualitätsstahlprodukten. Nur so kann die Wettbewerbsfähigkeit und Nachhaltigkeit in Österreich langfristig gesichert werden.

Zusammengefasst bedarf es umfangreicher, interdisziplinärer und geförderter F&E-Projekte, welche folgende Schwerpunkte im industriellen Maßstab abdecken (d.h., mit einem Technologiereifegrad TRL am Projektende von 8 – System-technisch fertig entwickelt):

- Verbesserte Analysemethoden und Sortiertechnologien am Schrottplatz (beim Schrottaufbereiter und im Stahlwerk) und Erhöhung des Durchsatzes bzw. der Analysengeschwindigkeit von Methoden zur spektroskopischen Schrottcharakterisierung
- Kopplung optischer und spektroskopischer Schrottanalyse
- Anlagentechnische Adaptierung der Schrottaufbereitung zur Erhöhung/Optimierung der Abtrennung nichtmetallischer Komponenten (z.B. Kunststoff) und zur Auftrennung von Eisen- und Nichteisenmetallen
- Verbesserte Datenverfügbarkeit
- Maßnahmen zum Schließen der Lücke bei der Verwertung von End-of-Life Fahrzeugen in Österreich (als Teil eines umfangreichen Verwertungskonzeptes im Rahmen eines Förderprojektes)
- Detaillierte Erforschung des metallurgisch-werkstofftechnischen Verhaltens von Spurenelementen im Stahl – Entwicklung toleranter Stahlgüten in Bezug auf Spurenelemente.
- Übergeordnetes Projektziel einer gesteigerten Schrottwertschöpfung, d.h., Kopplung von Methoden zur Entfernung von Störstoffen mit einem effizienteren Management des Schrottchargiermixes für die nachfolgende Verarbeitung zu Qualitätsstahlprodukten
- Kommunikationsaktivitäten entlang der Wertschöpfungskette (Schrottaufbereiter/Anlagenbauer/Stahlerzeuger) und Erhöhung der öffentlichen Akzeptanz mit dem Aufzeigen der Notwendigkeit, Maßnahme umzusetzen, um das Recycling von Schrott zu erhöhen und den Export zu minimieren

Literaturverzeichnis

EUROFER: European Steel in Figures 2021, 2021.

World Steel Association: World Steel in Figures 2022, 2022.

Dworak S., Fellner J.: Steel scrap generation in the EU-28 since 1946 – Sources and composition. In: *Resources, Conservation and Recycling* 173, S.105692, 2021.

Dworak S., Rechberger H., Fellner J.: How will tramp elements affect future steel recycling in Europe? – A dynamic material flow model for steel in the EU-28 for the period 1910 to 2050. In: *Resources, Conservation and Recycling* 179, S.106072, 2022.

IPCC: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021.