

HERAUSFORDERUNGEN UND POTENZIALE ZUR ENERGIE- UND TREIBHAUSGASREDUKTION IN BAURELEVANTEN ENERGIEINTENSIVEN INDUSTRIEN

Roland Pomberger, Thomas Kienberger (Montanuniversität Leoben) & **Alexandra Mazak-Huemer** (Forschungs-, Wissenschafts-, Innovations- und Technologieentwicklungsrat)

KEYWORDS

ESG-Kriterien; Kreislaufwirtschaft; Ressourceneffizienz; Dekarbonisierung; Energieeffizienz; Sekundärrohstoffe.

KURZFASSUNG

Die Abkürzung ESG steht für Umweltschutz (Environmental), soziale Gerechtigkeit (Social) und gute Unternehmensführung (Governance) und umfasst damit alle Aspekte der Nachhaltigkeit in einem bewertbaren Rahmen. Im Hinblick auf diese Aspekte und deren Umsetzung im Industriesektor Bauen, widmet sich dieser Beitrag den wichtigsten Einsatzmaterialien dieser Branche: Eisen, Stahl und Zement. Dabei werden die kreislaufwirtschaftlichen Potenziale dieser energieintensiven Sektoren der Grundstoffindustrie näher beleuchtet. Durch die Substitution von Primärrohstoffen durch Sekundärrohstoffe kann der Anteil der energieintensiven Primärproduktion signifikant verringert werden. Die Kreislaufwirtschaft ist damit ein wesentlicher Treiber für die Energie- und Ressourceneffizienz dieser energieintensiven Sektoren und somit für deren Bewertung im Rahmen der ESGs. Die Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen korrelieren in weiten Teilen mit Energieeinsparungen. Kreislaufwirtschaft allein reicht daher nicht aus, um Klimaneutralität zu erreichen. Die Kombination mit

weiteren Maßnahmen – unter anderem in der Energiebereitstellung – ist somit entscheidend.

ABSTRACT

The abbreviation ESG means environmental protection (Environmental), social justice (Social) and good corporate governance (Governance), and encompasses all aspects of sustainability together in an assessable framework. With regard to these aspects and their implementation in the industrial sector of construction, this article is dedicated to the most important input materials of this industry: iron, steel, and cement. In doing so, the circular economy potentials of these energy-intensive sectors of the basic materials industry are examined in more detail. By substituting primary raw materials with secondary raw materials, the share of energy-intensive primary production can be significantly reduced. The circular economy is thus a key driver of energy and resource efficiency in these energy-intensive sectors, and therefore, their assessment within the ESG framework. Greenhouse gas emissions impacts are largely correlated with energy savings. Therefore, the circular economy alone is not sufficient to achieve climate neutrality. The combination with other policies, for instance in energy supply, is therefore crucial.

1. EINLEITUNG

Die österreichische Grundstoffindustrie ist für zirka 37 % des Bruttoinlandsverbrauchs von etwa 400 TWh Energie und für 34 % des Treibhausgasausstoßes verantwortlich.¹ Einer von mehreren Hebeln zur Verringerung des Energieverbrauchs und Senkung der Emissionen ist die Kreislaufwirtschaft. Integrale Bestandteile sind dabei die Betrachtung von Stoffströmen in Form von Abfällen und deren sowohl stoffliche als auch energetische Potenziale als sekundäre Einsatzstoffe.² Im Rahmen dieses Beitrags wird auf einzelne Teilaspekte zur Umsetzung der ESG eingegangen.

2. GRUNDLEGENDE ASPEKTE

Die energieintensiven Teilsektoren der Industrien (Stahl, Zement, Papier, Chemie und Petrochemie sowie Nichteisen-Metallurgie) sind heute in Österreich für mehr als 70 % des industriellen Energieeinsatzes und somit für den überwiegenden Teil der industriellen THG Emissionen verantwortlich (siehe Abbildung 1).

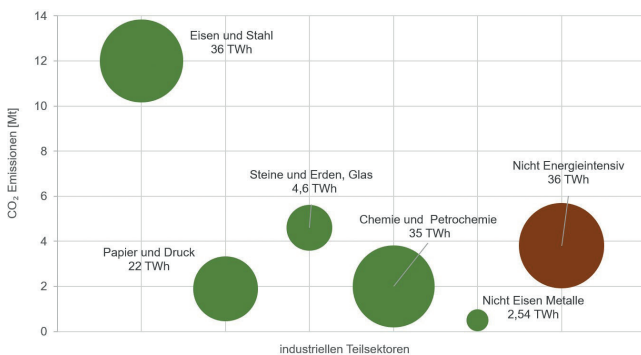


Abbildung 1: Energieverbrauch und CO₂-Emissionen industrieller Teilsektoren (Ordinate – CO₂-Emissionen, Blasengröße – Energieverbrauch)³

Die Förderung kreislaufwirtschaftlicher Maßnahmen hat insbesondere in den industriellen Subsektoren der Grundstoffproduktion großes Potenzial. Einerseits weisen diese aufgrund der primären Umwandlungsprozesse (wie z.B. die Umwandlung von Eisenerz in Rohstahl) einen hohen Energieverbrauch auf, der derzeit weitgehend über fossile Energieträger gedeckt wird, andererseits entstehen in der Verarbeitung von Primärrohstoffen prozessbedingte Emissionen (wie z.B. CO₂, das bei der Umwandlung von Kalkstein in Klinker im Zuge der Zementproduktion ausgetrieben wird). Beides, sprich sowohl der hohe Energiebedarf plus zugehörige energiebedingte Emissionen als auch die prozessbedingten Emissionen können durch einen vermehrten Einsatz von Sekundärmaterial vermindert werden. Viele der energieintensiven Industriesektoren weisen bereits ein hohes Maß an kreislaufwirtschaftlichen Prozessen auf, z.B. durch den Einsatz von Schrotten und anderen Sekundärmaterialien. Dennoch besteht in vielen Bereichen Verbesserungsbedarf.

¹ Umweltbundesamt, Austria's National Inventory Report 2021 (2021) abrufbar unter <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0761.pdf> (Zugriff am 11.3.2024).

² Kienberger et al., Systematisches Zusammenwirken von Dekarbonisierung und Kreislaufwirtschaft am Beispiel der österreichischen Industrie (Studie 2022) abrufbar unter <https://fti-monitor.rfte.at/docs/pdf/S260062.pdf> (Zugriff am 11.3.2024). Wesentliche Inhalte wurden dieser Studie entnommen und ergänzt.

³ Umweltbundesamt, Inventory Report 2021 (2021); Kienberger et al., Systematisches Zusammenwirken (2022).

Auf der Stoffstromebene sind insbesondere die vorhandenen Abfallströme relevant. Dafür wurde das theoretische THG-Einsparungspotenzial herangezogen, das durch eine 100%ige Substitution von Primärrohstoffen durch Sekundärmaterial erreicht werden kann. Ein weiterer Maßstab ist die Kritikalität der Rohstoffe, die basierend auf Kriterien wie regionale Verfügbarkeit und Importabhängigkeit mit einer Bewertung von 1 bis 4 abgeschätzt wurde. Auf Basis dieser Kriterien wurde gemeinsam mit den Mengen aus dem Bundesabfallwirtschaftsplan⁴ eine Vier-Quadranten-Matrix erstellt, die eine Priorisierung der Stoffstrompotenziale erleichtern soll (siehe Abbildung 2).

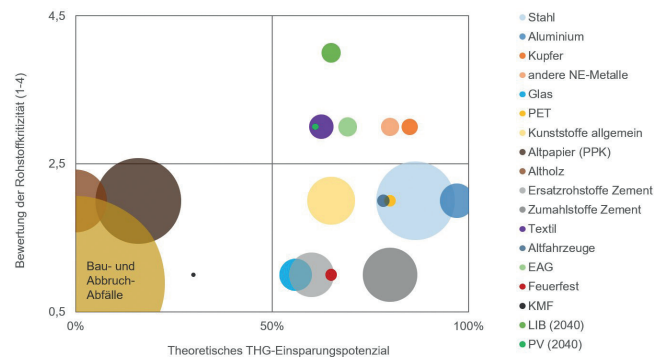


Abbildung 2: Bewertung diverser Abfallströme nach Rohstoffkritisizität (Ordinate) und THG-Einsparungspotenzial (Abszisse) im Zusammenhang mit der Abfallmenge (Blasengröße)⁵

In Abbildung 2 ist zu erkennen, dass auch in Bezug auf das Stoffstrompotenzial vorwiegend die energieintensiven Industriesektoren große Entwicklungsmöglichkeiten aufweisen.

In der Folge wird konkret auf die aus Sicht der Bauindustrie relevanten Sektoren Eisen-, Stahl- und Zement sowie auf die Synergien zwischen diesen Sektoren eingegangen. Daher bleiben die kommunalen Abfälle (jedoch nicht die Altstoffe) weitgehend ausgenommen. Sofern diese für die Betrachtung einzelner Wertstoffe relevant sind, werden die jeweiligen Anteile der Wertstoffe in den gemischten Abfällen mitbetrachtet.

3. BILANZGRENZE

Im Rahmen dieses Beitrags wurden Kreislaufwirtschaftsmaßnahmen nur im Hinblick auf den Recycling-Kreislauf von Materialien (End-of-Life Circle) betrachtet. Engere Kreisläufe, wie jene von Reparatur, Wiederverwendung oder Re-Manufacturing werden nicht näher berücksichtigt.

Als Bilanzraum wird die österreichische Industrie gemäß der 13 IEA-Sektoren unterteilt. Dabei werden Stoffströme, die die Grenzen des Bilanzraums überschreiten, und Stoffströme zwischen den Sektoren, die als eigenständige Bilanzräume betrachtet werden, untersucht. Um das Aufkommen an sekundären Rohstoffen für die Industrie beschreiben zu können, wird darüber hinaus die Abfallwirtschaft in ihren Massenströmen bilanziert. Dabei wird

⁴ Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), Bundesabfallwirtschaftsplan 2023 – Teil 1 (2023) abrufbar unter https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:07c02028-7839-4ab9-8587-76bc1e42f679/Bundes-Abfallwirtschaftsplan_1.pdf (Zugriff am 11.3.2024).

⁵ Kienberger et al., Systematisches Zusammenwirken (2022).

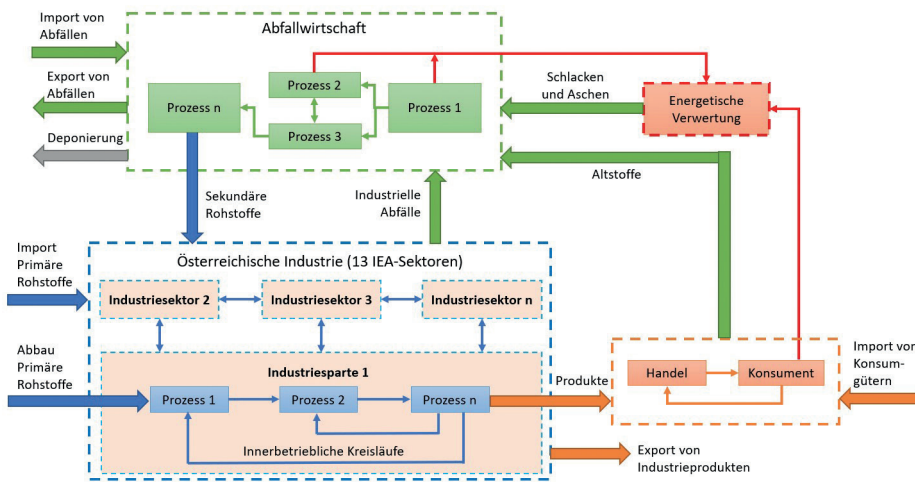


Abbildung 3: Darstellung des Bilanzraums: Die strichlierten Linien stellen einzelne Bilanzräume dar. Betrachtet werden insbesondere der Bilanzraum der Industrie (blau) und die einzelnen Industriesektoren als Sub-Bilanzräume. Die Abfallwirtschaft (grün) wird als eigenständiger Bilanzraum betrachtet, um sekundäre Rohstoffströme als Input für die Industrie darzustellen. Andere Bilanzräume sind nur indirekt für die Betrachtung von Stoffströmen in oder aus einem betrachteten Bilanzraum relevant

zwischen Produktionsabfällen aus der Industrie und Konsumabfällen aus der Produktnutzung unterschieden. Die Bereiche „Handel und Produktnutzung“, „energetische Verwertung“ und „Deponierung“ werden aus der Betrachtung ausgenommen. Abbildung 3 zeigt eine grafische Darstellung des Bilanzraums.

4. BEGRENZTE MENGEN AN VERFÜGBAREN SEKUNDÄRROHSTOFFEN

Recycling wird in Österreich seit Jahrzehnten betrieben. Gerade im Bereich von Metallen, aber auch anderen Wertstoffen wie z.B. Papier, ist der Einsatz von Altpapier als Sekundärrohstoff nicht wegzudenken. In den vergangenen Jahren hat sich dieser Trend auch in anderen Branchen, z.B. bei Kunststoffen im Verpackungsbereich, stärker durchgesetzt. Dadurch steigt die Nachfrage nach sekundären Rohstoffen. Die erhöhte Nachfrage stößt jedoch auf Grenzen hinsichtlich Menge und geforderter Qualität. Die Herstellung von Recycling-Rohstoffen kann nicht unbegrenzt gesteigert werden, da diese mit den anfallenden Abfallmengen begrenzt ist. Bereits heute werden wertstoffreiche bzw. sortenreine Abfälle grenzüberschreitend gehandelt. Dieser Trend wird sich künftig weiter verstärken.

Eine weitere Herausforderung stellt die Konkurrenz von unterschiedlichen Verwertungspfaden dar, wie z.B. hinsichtlich der stofflichen und thermischen Verwertung von Abfällen. Aus gemischten heizwertreichen Abfällen werden Ersatzbrennstoffe (EBS) hergestellt, die z.B. in der Zementindustrie Einsatz finden. Durch bessere Aufbereitung und Sortierung derartiger Abfälle sinken jedoch Menge und Heizwert der EBS, und es muss in diesen Industriebereichen verstärkt auf andere Energiequellen (z.B. fossile Energieträger) zurückgegriffen werden. Die Konkurrenz zwischen unterschiedlichen Verwertungspfaden wird weiter zunehmen, da sich verschiedene stoffliche Verwertungspfade für ähnliche Stoffströme entwickeln. Abfall ist und bleibt ein knappes Gut.

5. STATUS QUO DER BETRACHTETEN BAURELEVANTEN INDUSTRIESPARTEN

5.1. Eisen- und Stahlindustrie

In Österreich werden derzeit zwei grundsätzliche Stahlerzeugungsrouten eingesetzt: die primäre Stahlerzeugung über den Hochofen-LD-Konverterweg und die sekundäre

Stahlerzeugung mittels Elektrolichtbogenofen (EAF). Im Jahr 2019 wurden rund 90 % der österreichischen Stahlproduktion über die Hochofen- und etwa 10 % über die EAF-Route produziert.⁶ Im Gegensatz zur Primärstahlerzeugung ist die Sekundärstahlerzeugung etwa fünf- bis sechsmal energieeffizienter.⁷

Die österreichische Eisen- und Stahlindustrie beabsichtigt in ihrem Emissionsreduktionspfad, von der derzeitigen Methode der Stahlerzeugung im Hochofen auf wasserstoffbasiertes direkt reduziertes Eisen (DRI bzw. HBI) umzustellen. Dabei wird das DRI zunächst in einem Schachtofen erzeugt und anschließend in einem nachgeschalteten EAF (unter der Zugabe von Schrott) zu Rohstahl weiterverarbeitet.

Die Zugabe von Schrott ist dabei theoretisch in einer beliebig hohen Menge möglich. In der Praxis ist die Verfügbarkeit in Menge und Qualität jedoch begrenzt. Stahlschrott aus End-of-Life-Produkten (Altschrott) enthält häufig Verunreinigungen mit Kupfer und anderen Elementen, die im Produktionsprozess nicht einfach abgeschieden werden können und daher die Qualität des Schrotts stark beeinflussen. Vor allem die Entfernung des Kupfergehalts aus dem Stahlschrott stellt eine große Herausforderung für das Stahlrecycling dar.⁸ Neuschrott als Produktionsabfall weist eine höhere Schrottqualität auf.

Im Bezugsjahr 2019 fielen in Österreich etwa 2,4 mt Stahlschrott an. Es werden etwa 1 mt Schrott exportiert und 1,1 mt importiert.⁹ Schrotte mit niedriger Qualität und Verunreinigungen werden oftmals dem Export zugeführt. Importiert werden vorwiegend Produktionsabfälle, die direkt vom Erzeuger bzw. über Zwischenhändler an die Verwerter gelangen (Neuschrott).

5.2. Zementindustrie

Zement wird durch das Mahlen von Klinker mit einer kleinen Menge Gips und anderen Materialien (Zusatzstoffen) herge-

6 World Steel Association, World Steel in Figures 2020 (2020) abrufbar unter <https://aceroplatea.es/docs/WorldSteelinFigures2020.pdf> (Zugriff am 11.3.2024).

7 AgoraIndustry, Mobilising the circular economy for energy-intensive materials (Studie 2022) abrufbar unter <https://www.agora-energiawende.de/en/publications/mobilising-the-circular-economy-for-energy-intensive-materials-study> (Zugriff am 11.3.2024).

8 Material Economics, The Circular Economy a Powerful Force for Climate Mitigation (2018).

9 BMK, Bundesabfallwirtschaftsplan 2023 (2023).

stellt. Klinker wird durch Umwandlung von Kalkstein in Calciumoxid in einem Hochtemperaturprozess hergestellt und ist daher der emissionsintensivste Teil der Zementherstellung.¹⁰ Die brennstoffunabhängigen Prozessmissionen verursachen 60 % bis 70 % des CO₂-Fußabdrucks.¹¹ Der Rest der Emissionen stammt aus dem Brennstoffeinsatz für die Bereitstellung von Wärme der endothermen Reaktion.

Im Rahmen der Kreislaufwirtschaft können die Emissionen aus der Klinkerproduktion auf zwei Arten verringert werden: durch die Substitution von Kalkstein als primärem Rohstoff und durch die Senkung des Klinkeranteils bei der Zementherstellung.¹² Zusätzlich können fossile Energieträger durch Alternative- oder EBS substituiert werden.

Der Einsatz von EBS und Kunststoffabfällen in der Zementindustrie geht in Österreich auf die 1980er-Jahre zurück.¹³ Die Einsatzquote von EBS lag in den vergangenen Jahren zwischen 75 % und 80 %.¹⁴ Der EU-28-Durchschnitt lag im Jahr 2018 bei etwa 46 %. Österreich weist damit seit einigen Jahren die höchste Substitutionsrate europa- und sogar weltweit auf.

Der Rohstoffbedarf in der Rohmehlmischung wird derzeit zu etwa 14 % durch sekundäre Rohstoffe aus dem Baustoffrecycling (z.B. Betonbrechsande und Ziegelsplitt) und durch industrielle Nebenprodukte (z.B. Gießereisande, Schlacken und Walzzunder) gedeckt.¹⁵ Diese ersetzen den Primärrohstoff Kalkstein und dienen als notwendige Additive, um eine optimale Klinkerzusammensetzung zu gewährleisten. Ein wesentlicher Vorteil von sekundären Einsatzstoffen ist, dass diese in der Regel bereits entsäuert sind und daher im Klinkerbrennprozess keine prozessbedingten CO₂-Emissionen verursachen.

Eine Senkung des Klinkeranteils kann durch den Einsatz von anderen Hauptbestandteilen erreicht werden. Primäre Zuschlagstoffe sind z.B. Gips oder ungebrannter Kalkstein, sekundäre sind überwiegend industrielle Reststoffe wie granuliert Hochofenschlacke (Hüttensand) oder Flugasche. Der durchschnittliche Klinkeranteil in Europa liegt bei zirka 76 %. Österreich ist auch in diesem Bereich mit einem durchschnittlichen Klinkeranteil aller Zemente von derzeit etwa 66 % führend.¹⁶ Den angestrebten Schwellenwert für das Jahr 2050 in der Roadmap der europäischen Zementindustrie von < 70 % Klinkeranteil hat Österreich damit bereits erreicht.¹⁷

10 Pardo/Moya/Mercier, Prospective on the energy efficiency and CO₂ emissions in the EU cement industry, Energy 2011, 3244.

11 International Energy Agency (IEA), Technology Roadmap – Low-Carbon Transition in the Cement Industry (2018) abrufbar unter <https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-low-carbon-transition-in-the-cement-industry> (Zugriff am 11.3.2024).

12 Hoenig/Seiler/Bodendiek/Hoppe, Einsatz alternativer Rohstoffe im Zementherstellungsprozess (Technischer Bericht 2015) abrufbar unter https://www.zement.at/downloads/downloads_2016/Einsatz_alternativer_Rohstoffe_im_Zementherstellungsprozess.pdf (Zugriff am 11.3.2024).

13 Mauschnitz, Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (2022) abrufbar unter https://www.zement.at/downloads/downloads_2022/Emissionen_aus_Anlagen_der_oesterr._Zementindustrie_Berichtsjahr_2021_1.pdf (Zugriff am 11.3.2024).

14 Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (VÖZ), Kennzahlen der Zementindustrie 2018–2021 (2022) abrufbar unter <https://jahresbericht.zement.at/kennzahlen/> (Zugriff am 11.3.2024).

15 Mauschnitz, Emissionen (2022).

16 VÖZ, Auf dem Weg zu einer CO₂-neutralen Gesellschaft (2019) abrufbar unter https://www.zement.at/downloads/downloads_2019/nachhaltigkeitsbericht-2018_19_einseitig.pdf (Zugriff am 11.3.2024).

17 VÖZ, CO₂-neutrale Gesellschaft (2019).

6. POTENZIALE ZUR ENERGIE- UND TREIBHAUSGASREDUKTION DURCH KREISLAUFWIRTSCHAFTLICHE MAßNAHMEN

6.1. Eisen- und Stahlindustrie

Der größte Hebel im Hinblick auf CO₂-Emissionen in der Eisen- und Stahlindustrie liegt in der grundlegenden Änderung des Produktionswegs, nämlich der Ablösung des Hochofenverfahrens durch die wasserstoffbasierte Direktreduktion (DRI) und dem Einsatz im Elektrolichtbogenofen (EFA). Da der Elektrolichtbogenofen als Technologie zur Verwertung von Eisenschrott geeignet ist, ergibt sich darüber hinaus durch einen verstärkten Schrotteinsatz die Möglichkeit zur Reduktion des Energiebedarfs. Bei einer entsprechend hohen Qualität des eingesetzten Schrotts gehen Expert:innen der Stahlindustrie davon aus, dass die Schrott-zu-Rohstoff-Substitution auf bis zu 50 % gesteigert werden könnte. Dies würde einer benötigten Schrottmenge von zirka 4,2 mt pro Jahr entsprechen. Durch die Kombination DRI und EFA kann, sofern die benötigte Schrottmenge zur Verfügung gestellt wird, der Energiebedarf des Sektors in Bezug auf heute um zirka 60 % von zirka 36 TWh/a auf zirka 16 TWh/a reduziert werden.¹⁸

Derzeit werden in Österreich jährlich etwa 2,3 mt Eisen- und Stahlabfälle dem Recycling zugeführt.¹⁹ Die größte Stellschraube für eine höhere Schrottmenge liegt im Außenhandel, im Speziellen in der Reduktion der Exportmenge. Im Export landen vorwiegend Schrotte von geringer Qualität, die für die Herstellung von Qualitätsstählen nicht geeignet sind; hier müssten für eine Verwertung im Inland Störstoffe (z.B. Kupfer) entsprechend abgetrennt werden.

Technische Lösungsansätze dafür bietet z.B. die sensorgestützte Sortierung auf Legierungsbasis von gemischten Altschrotten. Die energiedispersive Röntgenfluoreszenz (EDXRF) stellt sich dabei als vielversprechendste Analyseverfahren für Stahlschrotte heraus.²⁰ Durch den Einsatz derartiger Sortierverfahren können Störstoffe und Partikel verschiedener Legierungen gezielt abgetrennt und dadurch Schrotte mit hoher Qualität hergestellt werden.

6.2. Zementindustrie

Die österreichische Zementindustrie ist, was den Einsatz von Sekundärmaterial und alternativen Brennstoffen betrifft, bereits federführend in Europa. Die Branche steht derzeit zwar vor großen Herausforderungen, es bieten sich aber auch große Potenziale. Die Weiterentwicklung von Zementzusammensetzungen in verschiedenen Aspekten ist Gegenstand vieler Forschungsprojekte. Eine vielversprechende Option stellt der Einsatz von Mikrofüllstoffen und anderen Additiven als Klinkerersatz dar, mit denen der Klinkeranteil im Zement auf 55 % gesenkt werden konnte.²¹ Die Versuchsergebnisse zeigen ähnliche Resultate im Hinblick auf Festigkeit und Verarbeitbarkeit des Zements im Vergleich zu Normzementen.

18 Kienberger et al., Systematisches Zusammenwirken (2022).

19 BMK, Bundesabfallwirtschaftsplan 2023 (2023).

20 Raatz et al., OptiMet – Ressourceneffizienzsteigerung in der Metallindustrie (2022) abrufbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_81-2022_optimet.pdf (Zugriff am 11.3.2024).

21 Juhart/Autischer/Sakoparnig/Krüger, The Realization of Clinker-Reduced, Performance-Based Sustainable Concrete by the Micro-Filler, Eco-Filler Concept, Materials 2021, 4958.

Die Bestrebungen der Stahlindustrie weg vom Hochofenprozess und das geplante Ende der Kohleverstromung in Deutschland wirken sich negativ auf die derzeit wesentlichen sekundären Hauptzementbestandteile (Hüttensand und Flugasche) aus. Um einem neuerlichen Anstieg des Klinkeranteils durch die geringere Verfügbarkeit dieser Sekundärrohstoffe entgegenzuwirken, müssen Alternativen gefunden werden. Potenzial haben dafür verschiedene Materialien, z.B. mineralische Fraktionen aus dem Baustoffrecycling, Stahlwerkschlacken oder Schlacken und Aschen aus der Müllverbrennung.²² Abbildung 4 zeigt das Aufkommen und den Einsatz von Sekundärrohstoffen für das Referenzjahr 2019 sowie eine daraus abgeleitete Abschätzung für das Jahr 2040.

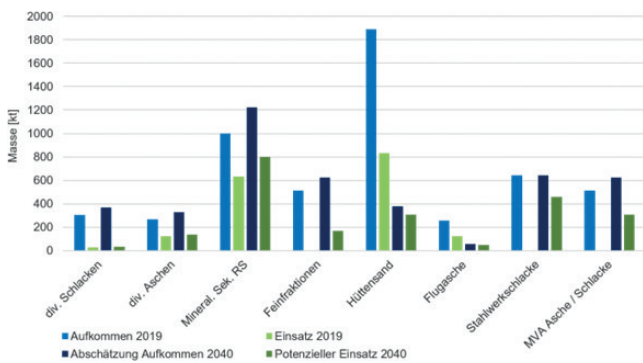


Abbildung 4: Aufkommen und Einsatz ausgewählter sekundärer Rohstoffe und Hauptbestandteile in der Zementindustrie²³

Bei Stahlwerkschlacken stellen sich u.a. der hohe Eisenanteil, bei MVA-Schlacken vorwiegend die gebundenen Schwermetalle als problematisch dar, weshalb diese heute noch nicht als Zuschlagsstoffe genutzt werden. Eine Option zur Nutzung von Stahlwerksschlacke stellt die thermochemische Konditionierung dar.²⁴ Dabei wird die Schlacke in ihrer chemischen Zusammensetzung auf die angestrebte klinkerähnliche Zusammensetzung modifiziert. Dieser Prozess befindet sich aktuell noch im Versuchsstadium und ist aufgrund der hohen benötigten Temperaturen (> 1.800 °C) noch nicht wirtschaftlich umsetzbar.²⁵

Zukünftig wird jedoch erwartet, dass durch eine Kombination von vollständiger Substitution fossiler Brennstoffe sowie einer Erhöhung des Sekundärrohstoffanteiles im Rohmehl – und damit einer Reduktion des Klinkeranteils auf etwa 55 % – Emissionsminderungen von zirka 26 % erzielt werden können.²⁶ Durch Letzteres würde sich auch der spezifische Energieverbrauch der Zementproduktion von 0,74 [MWh/t Zement] im Jahr 2019 auf 0,6 [MWh/t Zement] prognostiziert für das Jahr 2040 reduzieren. Dadurch wird eine Reduk-

22 Adam et al., Erzeugung klimaschonender Bindemittel als Alternativen zu Zement durch thermochemische Behandlung von mineralischen Nebenprodukten und Abfällen, in Thiel et al. (Hrsg.), Mineralische Nebenprodukte und Abfälle (2022) Beginnseite des Beitrags; Hoening et al., Eignung der Aufbereiteten Feinfraktion von MVA Schlacken als Rohstoffkomponente im Zementherstellungsprozess, in Thiel/Thomé-Kozmiensky/Senk (Hrsg.), Mineralische Nebenprodukte und Abfälle (2020) 136.

23 Kienberger et al., Systematisches Zusammenwirken (2022); BMK, Bundesabfallwirtschaftsplan 2023 (2023); VÖZ, Ressourcen und Umweltschutz, abrufbar unter <https://zement.at/der-baustoff/zement/ressourcen-und-umweltschutz> (Zugriff am 11.3.2024).

24 Vollprecht/Pomberger, Ökodesign von Stahlwerksschlacken durch thermochemische Behandlung zur Erhöhung der Recyclingfähigkeit, Berg- und Hüttenmännische Monatshefte (BHM) 2021, 137.

25 Adam et al. in Thiel et al., Mineralische Nebenprodukte (2022).

26 Kienberger et al., Systematisches Zusammenwirken (2022).

tion des Energiebedarfs des Sektors um zirka 19 % von zirka 3,8 TWh/a auf zirka 3,1 TWh/a erwartet.²⁷

7. SYNERGIEN ZWISCHEN DEN INDUSTRIE-SPARTEN

Die Eisen- und Stahlindustrie wird auch zukünftig eng mit der Zementindustrie verbunden bleiben. Die Forschungsarbeiten zur thermochemisch konditionierten Stahlwerksschlacke wurden bereits erwähnt. Darüber hinaus besteht das Potenzial, Betonbruchsand aus der Bauschutttaufbereitung als Substitut für primäre Schlackebildner einzusetzen. Dadurch schließt sich der Stoffkreislauf zwischen Eisen- und Stahlindustrie sowie Zementindustrie und bewirkt eine maximale Ressourcenschonung sowie eine energieeffiziente und emissionsarme Produktion elementarer Grundstoffe für die Bauindustrie.

Ein vielversprechender technologischer Ansatz zum Recycling von Betonabbruch ist der Einsatz von Betonbrechsand in pyrometallurgischen Schmelzprozessen.²⁸ Durch die Zerkleinerung von Altbeton entstehen je nach Aufbereitungsverfahren zirka 20 % bis 40 % Betonbrechsand mit einer Korngröße von < 4 mm. Betonbrechsand hat eine vergleichbare chemische Zusammensetzung wie Zement, jedoch liegen die mineralischen Phasen bereits in ausgehärteter Form vor.²⁹ Durch das Aufschmelzen in einem Hochtemperaturprozess wandeln sich die Mineralphasen um, wodurch sich beim Abkühlen wieder die ursprünglichen hydraulisch aktiven Phasen bilden und das Material in der Zementindustrie eingesetzt werden könnte.³⁰

Durch diesen Prozess kann die konditionierte Stahlwerksschlacke zu einem potenziellen Zuschlagstoff für die Zementindustrie und damit eine interessante Alternative zum herkömmlichen Hüttensand werden. Der Stoffkreislauf könnte durch den Einsatz von Betonbruchsand im Stahlwerk und der Stahlwerksschlacke im Zement geschlossen werden, wie Abbildung 5 verdeutlicht.

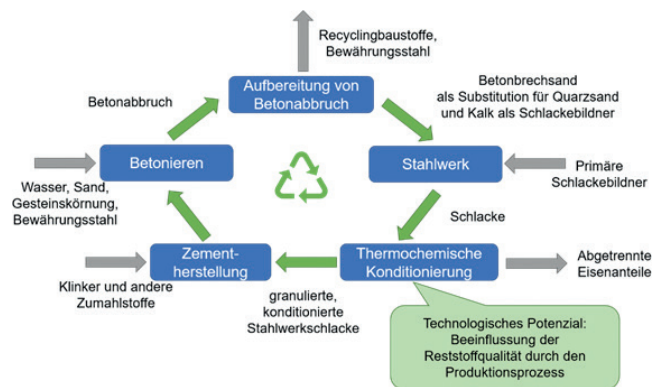


Abbildung 5: Verwertung von Stahlwerksschlacke und Betonbrechsand in einem Stoffkreislauf

8. ESG-KRITERIEN UND DEREN BEDEUTUNG FÜR DIE TRANSFORMATION

ESG für die Themen Umwelt, Soziales und Unternehmensführung und bezieht sich auf die Schlüsselfaktoren bei der Bewertung der Nachhaltigkeit sowie der ethischen Auswir-

27 Kienberger et al., Systematisches Zusammenwirken (2022).

28 Adam et al. in Thiel et al., Mineralische Nebenprodukte (2022).

29 Adam et al. in Thiel et al., Mineralische Nebenprodukte (2022).

30 Vollprecht/Pomberger, BHM 2021, 137.

kungen von Produkten, Technologien und Dienstleistungen sowie deren Investitionen. Unternehmen mit hohen ESG-Bewertungen sind oft Vorreiter bei der Entwicklung neuer Technologien oder Produkte, die die unterschiedlichen Aspekte der Nachhaltigkeit fördern. Somit kann die Integration der ESG-Kriterien in den angesprochenen Industriesektoren auch zu Innovationen im Design und in der Entwicklung neuer Produkte im Bausektor führen.

Die ökologische Nachhaltigkeit ist eine der wichtigsten Säulen der ESG-Kriterien, da sie sich auf die Reduzierung von Kohlenstoffemissionen, die Erhaltung natürlicher Ressourcen, die Förderung erneuerbarer Energiequellen und die Eindämmung des Klimawandels konzentriert. Aber auch die soziale Verantwortung stellt einen wesentlichen Aspekt dar und hat – wie die ökologische Nachhaltigkeit – einen maßgeblichen Einfluss auf die Entwicklung hin zur Kreislaufwirtschaft. Das bedeutet, dass Branchen und Unternehmen bei der Umsetzung von Kreislaufwirtschaftsmodellen die sozialen Auswirkungen ihres Handelns auf lokale Gemeinschaften mitberücksichtigen müssen.

Eine Möglichkeit, wie sich die ESG-Kriterien auf die Entwicklung einer Kreislaufwirtschaft auswirken können, ist z.B. die Forcierung nachhaltiger Geschäftspraktiken. Unternehmen, die der ökologischen Nachhaltigkeit in deren Geschäftstätigkeit Vorrang einräumen, übernehmen mit größerer Wahrscheinlichkeit die Grundsätze der Kreislaufwirtschaft, z.B. durch die Reduzierung von Abfällen durch Wiederverwendung oder Recycling von Materialien, um den Kohlenstofffußabdruck bei gleichzeitiger Förderung der Ressourceneffizienz zu minimieren.

9. FAZIT

Je mehr Branchen und Unternehmen die ESG-Kriterien anwenden, desto einfacher wird es, die Fortschritte bei der Erreichung globaler Nachhaltigkeitsziele, wie z.B. der Ziele für nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen (Sustainable Development Goals – SDGs), zu verfolgen.

In der Stahlindustrie wird die Dekarbonisierung insbesondere durch einen Technologiewechsel weg vom Hochofen hin zum Direktreduktionsprozess vollzogen. Dies schafft die Möglichkeit für einen vermehrten Einsatz von hochwertigen Schrotten. Deren Verfügbarkeit ist jedoch begrenzt, weshalb das volle kreislaufwirtschaftliche Potenzial zum Einsatz von Sekundärmetallen voraussichtlich nicht ausschöpfbar ist.

Der angestrebte Technologiewechsel in der Eisen- und Stahlindustrie hat unmittelbare Auswirkungen auf die Zementindustrie, da dadurch der wichtigste Sekundärrohstoff in der Zementherstellung wegfällt. Daher müssen alternative Sekundärrohstoffe zum Hüttensand gefunden und eingesetzt werden, um einem Anstieg des Klinkeranteils im Zement entgegenzuwirken.

In den einzelnen Industrien sind durch Kreislaufwirtschaft und Technologiewechsel Einsparungen an CO₂ und Energie möglich. Für die Eisen- und Stahlindustrie kann die Energieeinsparung bei 57 % und die CO₂-Einsparung bei zirka 95 % liegen. Letzteres jedoch nur in Verbindung mit einem grundlegenden Wechsel der Produktionstechnologien. In der Zementindustrie liegt die mögliche Einsparung bei zirka 19 % im Energieeinsatz und bei zirka 26 % CO₂.

Die österreichische Eisen- und Stahlindustrie sowie die Zementindustrie sind bereits globale Vorreiter in Bezug auf Kreislaufwirtschaft und Dekarbonisierung ihrer Produktionsprozesse. Dennoch besteht großes Potenzial für weitere Emissionsreduktionen und eine Steigerung der Ressourceneffizienz.

AUTOR:INNEN

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. **Roland Pomberger**
Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft
Montanuniversität Leoben
Franz-Josef-Straße 18
8700 Leoben
roland.pomberger@unileoben.ac.at

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. **Thomas Kienberger**
Lehrstuhl für Energieverbundtechnik
Montanuniversität Leoben
Franz-Josef-Straße 18
8700 Leoben
thomas.kienberger@unileoben.ac.at

Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Mag. Dr. techn. **Alexandra Mazak-Huemer**
Forschungs-, Wissenschafts-, Innovations- und Technologieentwicklungsrat (FWIT)
Pestalozzigasse 4/D1
1010 Wien
amh@rft.at

