

DIE SUBSTITUTION VON MAGNESIUM ZUR ENTSCHWEFELUNG VON GUSSEISEN

Ein Weg globale Abhängigkeiten in der Eisengussindustrie zu verringern

AUTOREN:

R.Deike, I.Adhiwiguna, Universität Duisburg-Essen, Institut für Technologien der Metalle, Duisburg
M.Walz, Fritz Winter Eisengießerei GmbH & Co. KG, Stadtallendorf

EINLEITUNG

Ab Mitte der 90er Jahre, insbesondere aber ab 2003, haben in der Welt im Bereich der nicht energetischen Rohstoffe extreme Preissteigerungen in sehr kurzen Zeitabständen stattgefunden, die in dieser Form bis dahin unbekannt waren. Wurden für deren Ursachen anfangs durchaus noch spekulative Eingriffe in die Märkte diskutiert, so ist aber heute im Rückblick offensichtlich, dass es sich hier um Preissteigerungen handelte, die durch die enorme globale Nachfrage, insbesondere aufgrund der industriellen Entwicklung in China, hervorgerufen wurden. Aufgrund dieser Tatsache kommt China aktuell in vielen Bereichen, so auch beim globalen Rohstoffverbrauch und bei der Rohstoffproduktion die mit Abstand wichtigste Rolle auf der Welt zu. Darüber hinaus sind die Märkte für nichtenergetische Rohstoffe heute nicht selten durch Oligopole und zum Teil auch Monopole geprägt, die:

- auf absehbare Zeit so bestehen bleiben werden,
- bereits heute und auch in der Zukunft weiter Abhängigkeiten generieren,
- für eine latent hohe Volatilität hinsichtlich Verfügbarkeiten und Preise verantwortlich sind.

Die coronabedingten Unterbrechungen, bis dahin als sicher geglaubter globaler Lieferketten zeigen in aller Deutlichkeit, in welchem Ausmaß sich globale Abhängigkeiten entwickelt haben und welche gravierenden wirtschaftlichen Störungen in kürzester Zeit daraus entstehen können. Vor dem Hintergrund dieser mittlerweile globalen latenten Gefahr haben politische Forderungen und Überlegungen in der EU zum Ziel, die Unabhängigkeit Europas in der Rohstoffversorgung (z.B. Critical Raw Material Act) wieder zu stärken. Hier ist aber davon auszugehen, dass diese Veränderungen der Versorgungsstrukturen für Rohstoffe, sofern sie überhaupt realisierbar sein wer-

den, eher in Jahrzehnten als in Jahren umgesetzt werden können.

Das wiederum bedeutet, dass Unternehmen in der aktuellen Situation auf die Umsetzungen solcher strategischen Überlegungen nicht warten können und von daher versuchen müssen, sich selbst schneller aus Abhängigkeiten von bestimmten Rohstoffen zu lösen. In solchen Situationen gibt es prinzipiell nur zwei grundsätzliche Möglichkeiten - mit durchaus variierenden Kombinationen - nachhaltig aus einem solchen Abhängigkeitsverhältnis bei Rohstoffen herauszukommen:

1. Der entsprechende Rohstoff wird selbst oder zumindest von mehreren Lieferanten produziert, was bei Rohstoffen aber durchaus schwieriger ist, da entsprechende Lagerstätten benötigt werden. Unabhängig von dem Vorhandensein von Lagerstätten ist zwar die Suche nach anderen Lieferanten in oligopolistisch und monopolistisch strukturierten Märkten nicht generell ausgeschlossen, aber eben schwierig, da genau die Tatsache, dass die Zahl alternativer Anbieter begrenzt ist, das klassische Merkmal dieser Marktstrukturen ist.
2. Die einzige wirkliche Alternative, die sich hier anbietet, ist die Substitution des ursprünglichen Rohstoffes durch leichter verfügbare heimische oder eventuell recycelte Rohstoffe oder durch konstruktive Veränderungen der Produkte, so dass kritische Rohstoffe überhaupt nicht mehr benötigt werden.

In dem vorliegenden Beitrag wird gezeigt, wie Magnesium als Entschwefelungsmittel bei der Herstellung von Gusseisen mit Kugelgraphit mit einem neuen innovativen Verfahren zur Entschwefelung substituiert werden kann.

ENTWICKLUNGEN DER ROHSTOFFMÄRKTE IN DER VERGANGENHEIT UND MÖGLICHERWEISE IN DER ZUKUNFT

Die berühmte Reise von Deng Xiaoping durch den Süden Chinas im Jahr 1992 war der Kick-off für die intensive Fortführung der Ende der 70er Jahre begonnenen Reformpolitik. Diese Reformpolitik führte zu einem gigantischen Wirtschaftswachstum in China - mit entsprechenden Wachstumseffekten für die gesamte Welt-, was unter anderem daran zu erkennen ist, dass China im Jahr 2010 mit einem Bruttoinlandsprodukt (BIP) von 5,8 Billionen US-Dollar bereits hinter den USA (14,6 Billionen US-\$) an zweiter Stelle in der Rangfolge der wirtschaftlich stärksten Nationen lag¹. Das war im Jahr 2022 ebenfalls der Fall, allerdings betrug das BIP in China jetzt 18,1 Billionen US-Dollar und hat sich damit in 12 Jahren verdreifacht, wohingegen im Jahr 2022 das BIP der USA auf 25,5 Billionen US-Dollar angestiegen ist. Aus dem Vergleich mit den BIP des Jahres 2022 in Japan (4,2 Billionen US-\$) und Deutschland (3,9 Billionen US-\$), den dritt- und viertstärksten Wirtschaftsnation der Welt, ergibt sich die Bedeutung der Entwicklung in China für die Welt, in der Vergangenheit aber ganz besonders in der Zukunft.

Denn die zukünftigen Entwicklungen auf den globalen Rohstoffmärkten werden in den nächsten 10- 20 Jahren dadurch bestimmt werden, wie die wirtschaftliche Entwicklung in China verlaufen wird. In diesem Zusammenhang ist mittel- bis langfristig zu berücksichtigen, dass die Bevölkerung in China schneller abnehmen wird als bisher angenommen und dass die Bevölkerungszahl vermutlich schon ab dem Jahr 2023 abnimmt². Bevor es durch diese demografische Entwicklung zu deutlich spürbaren Effekten in der wirtschaftlichen Entwicklung kommen wird, ist aber davon auszugehen, dass sich China von einer Industrie- zu einer Dienstleistungsgesellschaft wandeln wird, wie dies in den traditionellen Industrienationen in Europa und Japan zu Beginn der 1970er Jahre geschehen ist. Denn in China hat im Jahr 2012 der tertiäre Sektor erstmals mehr zum Bruttoinlandsprodukt beigetragen als der sekundäre Sektor^{3,4}.

Die Erfahrungen der traditionellen Industrienationen in Europa zeigen, dass der Strukturwandel von einer Industrie- zu einer Dienstleistungsgesellschaft mit einem Rückgang der Wirtschaftswachstumsraten verbunden war, was aktuell auch in China seit ca. 2010⁵ zu beobachten ist. Aufgrund dieses Strukturwandels ist in Deutschland der Anteil der Beschäftigten im sekundären Sektor von vormals 50% im Jahr 1965 auf etwas über 30% zur Jahrtausendwende gefallen. Die Folge war ein Anstieg der Arbeitslosenquote von ca. 1 % im Jahr 1973 auf Maxima von ca. 10 % in den Jahren 1997 und 2005³. Allerdings ist insbesondere in den letzten zwei Jahrzehnten ein deutlicher Rückgang der Arbeitslosenquote auf aktuell ca. 5,5 % zu verzeichnen.

Als Folge eines solchen möglichen strukturellen Wirtschaftswandels in China sind vermutlich eher moderate Wachstumsraten der Rohstoffverbräuche -abgesehen von Rohstoffen für die Elektromobilität und die Energiewende- auf der Welt zu erwarten, die mittel- bis langfristig

dann durch die wirtschaftlichen Entwicklungen in Indien und Afrika bestimmt sein werden.

MÄRKTE FÜR METALLE

Industriemetalle wie z.B. Aluminium, Kupfer, Nickel, Zink sowie Edelmetalle wie Gold und Silber werden an Börsen gehandelt, so dass für die Preisgestaltung Termingeschäfte sehr wesentlich sind. Durch den Handel an Börsen wird der Markt transparent und öffentlich. Die Erwartungen hinsichtlich zukünftiger Entwicklungen kommen in den gehandelten Termingeschäften, den so genannten Futures zum Ausdruck. Der Theorie nach sollten damit die Märkte für börsengehandelte Metalle eigentlich objektiv sein, da sie über die öffentliche tägliche Berichterstattung der Börsen direkt verfolgt werden können. Aber in der Realität ist es oft so, dass die Märkte jenseits der fundamentalen Daten durch psychologische und spekulative Elemente⁶ temporär extrem beeinflusst werden können, was ganz besonders an den Preisentwicklungen für Seltene Erden in den Jahren von 2010–2012^{6,7} zu beobachten war. Denn im Gegensatz zu naturwissenschaftlichen Problemen wo die realen Tatsachen unabhängig von den Aussagen sind, die über sie gemacht werden, ist es für wirtschaftliche und gesellschaftliche Fragestellungen sowie Entscheidungen typisch, dass sie durch eine Vielzahl von meinungsbildenden Institutionen gestaltet werden, was zur Konsequenz hat, dass Tatsachen zum Teil sehr deutlich durch Aussagen beeinflusst sind, die über sie gemacht werden⁸. Aber letztendlich werden Märkte bei mittel und langfristiger Betrachtung doch durch Angebot und Nachfrage bestimmt.

Im Gegensatz zu börsengehandelten Metallen sind Marktentwicklungen wie z.B. bei Silicium und Magnesium, die nicht an der Börse gehandelt werden, für die Öffentlichkeit, ohne Zugang zu exakten Daten nur bedingt bis überhaupt nicht kalkulier- und nachvollziehbar. Nach G. Soros⁸ sind Märkte ihrem Wesen nach generell instabil und ganz besonders dort, wo einzelne Marktteilnehmer entweder auf der Angebots- oder der Nachfrageseite bzw. unter Umständen auf beiden Seiten eine dominierende Position haben. Unter solchen Konstellationen kann es kurzfristig und im Prinzip nicht vorhersehbar zu drastischen Änderungen wie bei den Preisen für Silicium (**Bild 1**) im Herbst 2021 kommen. Im Jahr 2021 betrug die Weltproduktion für Silicium 9,2 Mio. t und davon wurden 70% in China produziert⁹. Aufgrund einer angespannten Versorgungslage im Energiesektor wurde von Seiten der Behörden festgelegt, dass in bestimmten Regionen der Energieverbrauch gesenkt werden muss, so dass die Siliciumproduktion reduziert werden musste, da die sehr energieintensiv mit Elektrolichtbogenöfen erfolgt.

Im Jahr 2021 betrug die Weltproduktion für Magnesium 1,1 Mio. t und davon wurden 87% in China produziert¹¹. In **Bild 2** ist vor demselben Hintergrund ein sehr ähnliches Bild für Magnesium zu sehen. Die Magnesiumpreise haben sich im Herbst 2021¹² innerhalb von 4 Wochen von 4000 \$/t auf 8000 \$/t verdoppelt, da aufgrund einer angespannten Versorgungslage im Energiesektor in der Provinz Shaanxi, dem Zentrum der

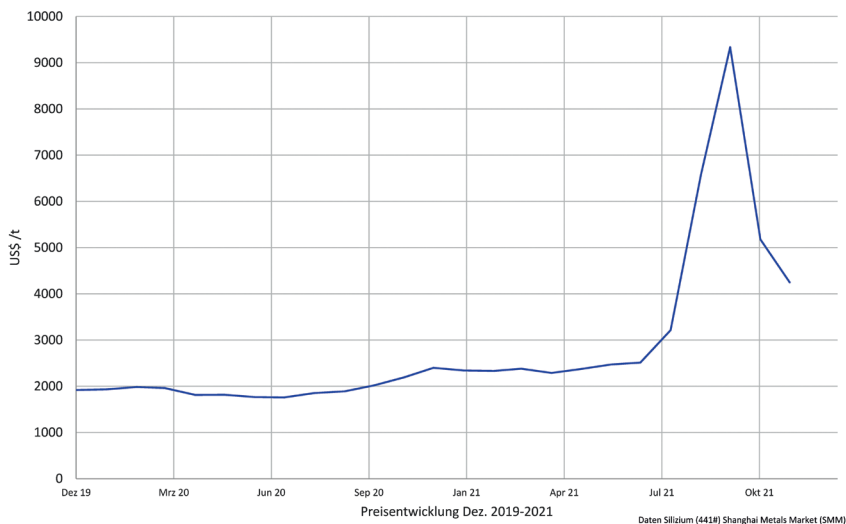


Bild 1: Preisentwicklung für Silicium von 2020–2021 [10]

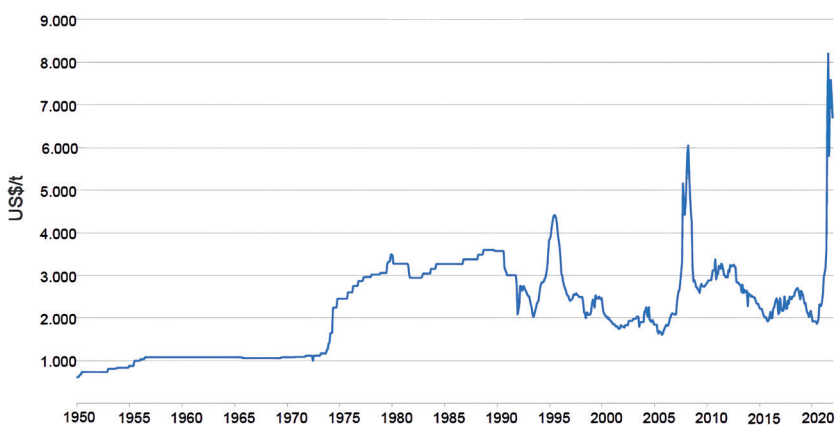


Bild 2: Preisentwicklung für Magnesium von 1950–2021 [5]
(mit freundlicher Genehmigung der Bundesanstalt für Geowissenschaften)

Produktion von metallischem Magnesium (70 % der gesamten Produktion) die Produktion um 25% gekürzt werden musste.

Diese beiden Beispiele zeigen, wie wichtig es für eine nachhaltige Unternehmensentwicklung ist, sich aus Abhängigkeiten zu lösen, die durch oligopolistisch und monopolistisch strukturierte Märkte entstehen.

DIE SUBSTITUTION VON MAGNESIUM ZUR ENTSCHEFELUNG VON GUSSEISENSCHMELZEN

In Gießereien wird bereits seit Jahrzehnten in nachhaltigen Produktionsmodellen das Nachhaltigkeitsziel Nr. 12 der Vereinten Nationen, der verantwortungsvolle Verbrauch von Rohstoffen, sehr weitgehend erfüllt, da natürliche Ressourcen dadurch geschützt werden, dass z.B. die metallischen Rohstoffe überwiegend Schrott oder Sekundärlegierungen sind und der als Formstoff verwendete Sand recycelt wird. Damit nutzt die Gießereiindustrie heute schon zu einem großen Anteil Rohstoffe in geschlossenen Kreisläufen, so dass in Gießereien ein Wirtschaftswachstum realisiert werden kann, das von weiter

steigenden Verbräuchen an primären Rohstoffen zum Teil schon weitgehend entkoppelt ist.

In 2022 wurden in Europa 4,7 Mio. t Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS), davon ca. 25% in der Türkei und 24% in Deutschland produziert¹³. In dieser Produktionsmenge ist statistisch auch Gusseisen mit Vermiculargraphit (GJV) enthalten, dessen Produktion vermutlich < 10% betragen wird. Für die Produktion von Gussstücken aus GJS und GJV werden flüssige Eisenschmelzen mit Magnesium entschwefelt. Wie bereits erwähnt ist Magnesium ein kritischer Rohstoff, der zu ca. 87% aus China stammt und für den in den letzten Jahren eine ausgeprägte Preisvolatilität charakteristisch war. Vor dem Hintergrund einen möglichen Weg zu finden, mit dem das Problem der Abhängigkeit reduziert werden kann, hat das Institut für Technologien der Metalle der Universität Duisburg-Essen (ITM) gemeinsam mit der Fritz Winter Eisengießerei GmbH & Co. KG (FW) in den letzten 10 Jahren in zwei Forschungsprojekten SUBMAG¹⁴ und EKALGU¹⁵, die vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanziert worden sind, einen innovativen Prozess entwickelt, mit dem Magnesium durch heimischen Kalk zur Entschwefelung substituiert werden kann. Neben der Abhängigkeit bei der Versorgung hat Magnesium unter dem Aspekt der Rohstoffeffizienz bei

der Nutzung als Entschwefelungsmittel noch den Nachteil, dass das ursprünglich aufwendig produzierte Magnesium nach der Entschwefelung fein verteilt in einer Mischung als Oxid oder Sulfid in der Schlacke vorliegt und in dieser Form nicht mehr ökonomisch recycelt werden kann und damit unwiederbringlich verloren ist.

Es wurde eine Anlage zum automatisierten Einblasen von kalkbasierten Entschwefelungsmitteln in eine Eisenschmelze entwickelt und in Betrieb genommen. Mit diesem Verfahren wird eine Reduzierung der Entschwefelungskosten, ein Schutz des kritischen Rohstoffs Magnesium bei gleichzeitig geringeren Energieverbräuchen sowie CO₂-Emissionen und damit eine Erhöhung der Rohstoffeffizienz erreicht.

WAS IST BEIM ENTSCHEFELN MIT KALK IN DER GIESSEREIINDUSTRIE ANDERS ALS IN DER STAHLINDUSTRIE?

In der Stahlindustrie werden Roheisenschmelzen in der Regel mit Gemischen aus Kalk, Natriumcarbonat, Calciumcarbid und Magnesium entschwefelt¹⁶. Die Grundlagen wurden frühzeitig erforscht und zeigen, dass Kalk

(CaO) durch einen Oberflächenreaktionsmechanismus als Entschwefelungsmittel genutzt werden kann¹⁷ und die Entschwefelungsrate durch die Zusammensetzung der flüssigen Schlacke gesteuert wird^{18,19}. Weitere Ergebnisse im Labor haben auch gezeigt, dass mit CaO vergleichbare Entschwefelungsgrade wie mit Magnesium erreicht werden können²⁰. In der Stahlindustrie wird aber eine alleinige Injektion von CaO - unabhängig von seiner Qualität - aufgrund eines höheren Reagenzverbrauchs, höherer Eisenverluste und stärkerer Abnahmen der Schmelztemperaturen nicht praktiziert²¹. In der Regel wird in der Stahlindustrie in Multiinjektionsverfahren Magnesium mit CaO eingeblasen, da die Entschwefelung wirksamer abläuft und die Rückschwefelungsphänomene reduziert werden können²².

Von daher ist das Entschwefeln mit Kalk vom Prinzip her nicht neu, allerdings werden in der Stahlindustrie keine Kalk-Kohlenstoff-Mischungen wie hier in diesem Prozess eingesetzt. Im Vergleich zum Stahlorheisen sind beim Gusseisen des Weiteren die folgenden Unterschiede zu berücksichtigen:

1. Im Vergleich zu einem Stahlorheisen (ca. 4,3% C; 0,5-1% Si) sind in einem GJV und GJS (ca. 3,5% C; 2-4% Si) die Siliciumgehalte deutlich höher, so dass aus theoretischen Überlegungen angenommen werden musste, dass sich Calciumsilikatschichten ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) um die Kalkkörner herum bilden und die Entschwefelungskinetik hemmen oder komplett unterbinden. Die hier vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass dies nicht der Fall ist und eine Entschwefelung gut möglich ist.
2. In Gießereien werden im Gegensatz zu Stahlwerken deutlich kleinere Pfannen (1-10 t / 150-350 t) benutzt, was dazu führt, dass die Schmelzen schneller auskühlen und somit nur begrenzte Reaktionsräume und Reaktionszeiten zur Verfügung stehen. Die Ergebnisse zeigen, dass trotz dieser widrigen Randbedingungen schnell und effektiv entschwefelt werden kann.
3. Mit den entwickelten Kalk-Kohlenstoff-Mischungen entsteht eine Entschwefelungsschlacke, die durch den Verzicht auf Natriumcarbonat und Calciumfluorid deutlich umweltfreundlicher und sogar unter Umständen recycelbar ist.

Im Jahr 2021 wurden in Deutschland 1,1 Mio. t GJS incl. GJV erzeugt und es kann davon ausgegangen werden, dass bei einem durchschnittlichen Ausbringen von ca. 70% in etwa 1,6 Mio. t/a flüssiges Eisen mit 1,0-1,5 kg Magnesium pro Tonne behandelt werden mussten, was im Mittel einer Menge von ca. 2.000 t Magnesium pro Jahr entsprechen würde, die theoretisch durch den neuen Prozess mit Kalk-Kohlenstoff-Mischungen substituiert werden könnte. Von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe wird für das Jahr 2016 eine Importmenge für Deutschland für Magnesiummetall incl. Schrotte und Abfälle von ca. 61.000 t/a angegeben²³.

ERGEBNISSE DER ENTSCHEWELUNG EINER GUSSEISENSCHMELZE MIT KALK

Die prinzipielle Machbarkeit der Entschwefelung von Gusseisen durch kalkbasierte Mischungen, die auch auf die Herstellung von GJS und GJV in Induktionsöfen übertragen werden kann, konnte im Labor- und Industriemaßstab vom ITM in Kooperation mit FW und der OCC GmbH (OCC) in der Vorlauftorschung¹⁴ nachgewiesen werden. In der Fortführung dieser Arbeiten war es das Ziel des Vorhabens EKALGU eine Anlage zum automatisierten Einblasen von kalkbasierten Entschwefelungsmitteln in Gusseisenschmelzen zu konstruieren, parallel zur normalen Produktion in Betrieb zu nehmen, bis prozesssichere Abläufe erreicht werden, um so demonstrieren zu können, dass die Technologie großserientechnisch einsetzbar ist. In einer ersten Projektphase wurden die Versuche mit einer gemieteten Injektionsanlage der Velco GmbH (V) bei FW durchgeführt, die im wesentlichen dazu dienen die Standzeiten der Feuerfestmassen zu verbessern, die Einblasparameter der unterschiedlichen Entschwefelungsmi-

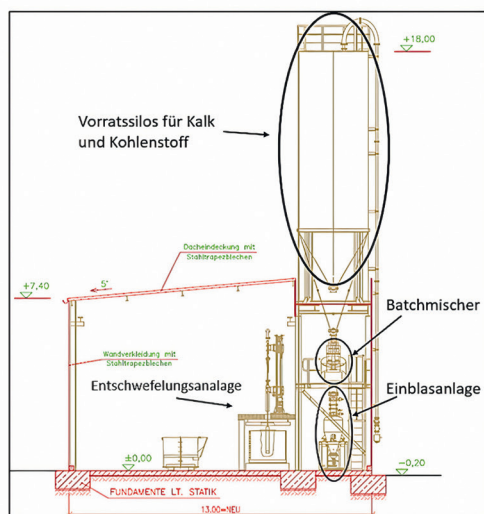


Bild 3: Automatisierte Einblasanlage zur kalkbasierten Entschwefelung, a) Anlagenlayout, b) Einblasvorrichtung, c) Einblasanlage [24]

schungen zu optimieren, die Einflüsse auf die Gussqualität zu bestimmen und letztendlich die entstandene Schlacke hinsichtlich der Deponieklasse und der Verwertungsmöglichkeit zu klassifizieren. In der zweiten Phase des Projekts wurde eine vollkommen neue und vollständig automatisierte Entschwefelungsanlage mit entsprechender Medienversorgung, Einblastechnik und Absaugung bei FW aufgebaut und in Betrieb (Bild 3) genommen, mit der das Eisen aus dem Kupolofen entschwefelt wird.

Die Entschwefelungsversuche mit Kalk-Kohlenstoff-Mischungen zur Optimierung wurden an dieser neuen Anlage durchgeführt und im Bypass im normalen Produktionsbetrieb erfolgreich getestet, so dass die Anlage im weiteren Verlauf in die Serienproduktion übernommen werden konnte. In Bild 4 sind die Entschwefelungserfolge in den Phasen der Optimierung bis hin zum stationären Zustand in der Produktion dargestellt. Es ist

zu erkennen, dass die Schwefelgehalte aus dem Kupolofeneisen durch das Einblasen von ca. 50 kg Entschwefelungsmischung in eine 2,5 t Pfanne ausgehend von ca. 0,1% S auf $< 0,015\%$ S reduziert werden können, was hier von Seiten des Betriebes die Vorgabe in der Phase der Inbetriebnahme war. Das mit Kalk entschwefelte GJV wies eine gewünschte Graphitmorphologie und Matrixstruktur auf, so dass keine wesentlichen Unterschiede in den Materialeigenschaften bestehen. Die Schmelze wird bei diesem Prozess bei einer Anfangstemperatur von 1500°C ca. 5-7 min lang entschwefelt.

Die Entschwefelungskinetik und damit die Reaktionsgeschwindigkeit hängt von den Reaktionen an den Grenzflächen zwischen Kalk und dem flüssigen Eisen ab. In Bild 5a ist eine lichtmikroskopische Aufnahme einer solchen Grenzfläche dargestellt. Im oberen Bereich (hell) ist Gusseisen mit Graphitausscheidungen und im unteren

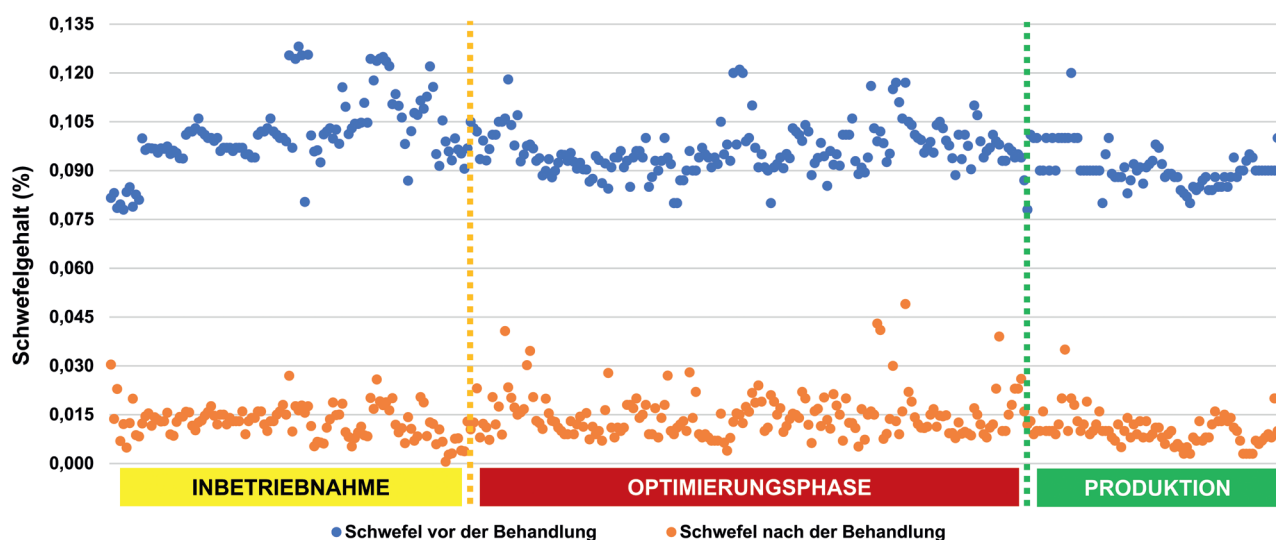


Bild 4: Schwefelgehalte in der Gusseisenschmelze vor und nach dem Einblasen des kalkbasierten Entschwefelungsmittels

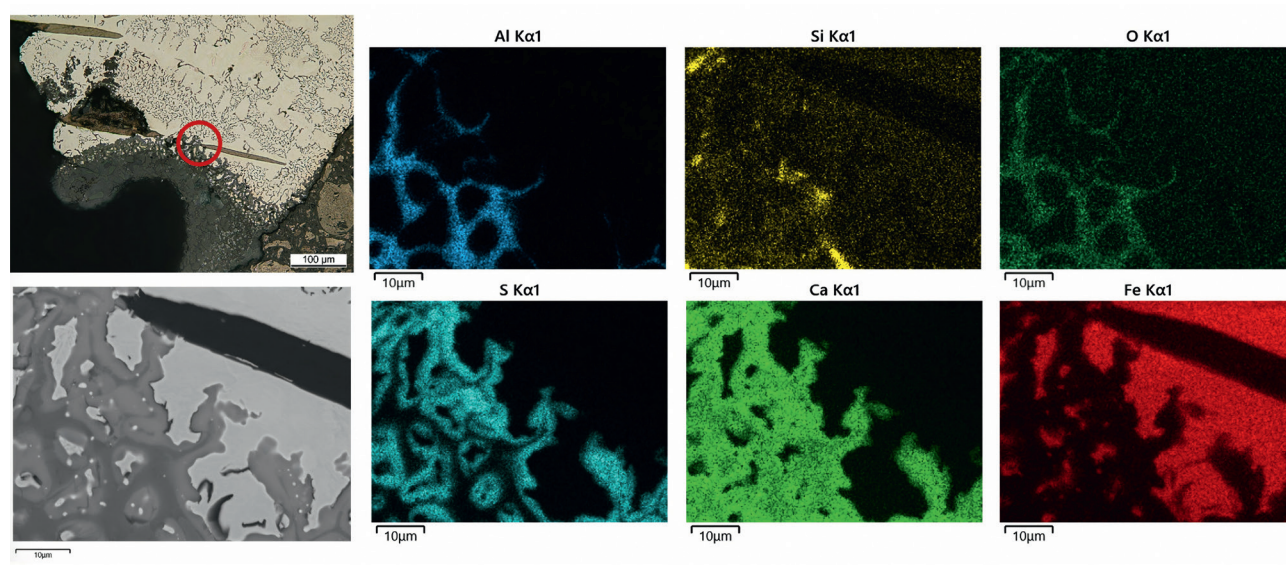


Bild 5: Lichtmikroskopische (a) und rasterelektronenmikroskopische Aufnahme (b) der Grenzfläche zwischen Eisen (heller Bereich im oberen Teil von a)) und einer kalkhaltigen Schlacke im unteren Bereich (roter Kreis), mit entsprechenden Elementverteilungsbildern aus dem rot markierten Bereich.

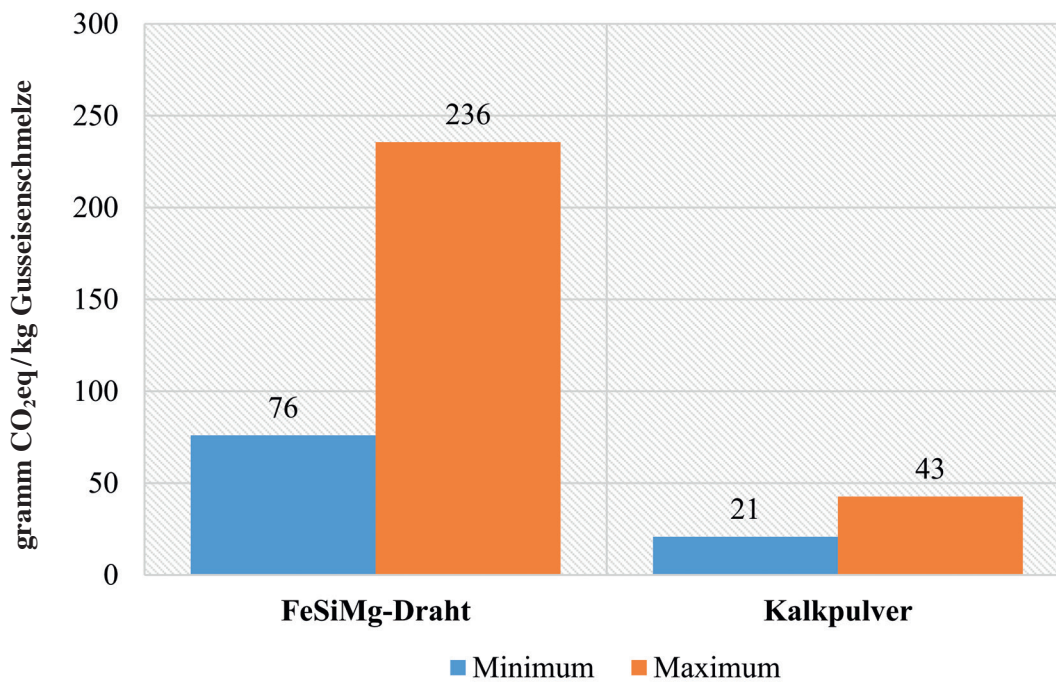


Bild 6: Vergleich der erwarteten CO₂eq-Emissionen für die Behandlung von 1 kg Gusseisenschmelze

ren Bereich (roter Kreis) ist eine kalkhaltige Schlacke an der Grenzfläche zu erkennen. Das **Bild 5b** zeigt in einer REM-Aufnahme die Stelle, an der die Elementmappings durchgeführt worden sind. Hier ist deutlich zu erkennen wie durch die Bildung von Calciumsulfid der gelöste Schwefel aus der Schmelze abgebunden wird. Durch die Elementverteilungen ist zu erkennen, dass die ursprüngliche Befürchtung, dass möglicherweise durch die Bildung von Calciumsilikat die Entschwefelung gehemmt wird, nicht begründet ist.

ÖKOBILANZ DER ENTSCWEFELUNG MIT KALK

Neben der Tatsache, dass die Betriebskosten für die Entschwefelung mit Kalk deutlich geringer sind als die Kosten für die Entschwefelung mit Magnesium, hat dieses neue innovative Verfahren auch ökologische Vorteile. Im Rahmen des Projektes EKALGU wurde als Ergänzung zur technischen Analyse eine Ökobilanzstudie gemäß DIN EN ISO 14040 durchgeführt. Ziel dieser Studie war es, eine ungefähre Analyse der zu erwartenden Umweltvorteile des kalkbasierten Entschwefelungsprozesses zu erstellen. Auf der Basis einer Reihe von primären industriellen Daten wurde die Bewertung möglicher Emissionsreduktionen während der Entschwefelung von 1 kg Gusseisenschmelze durchgeführt und anschließend als Funktionalitätseinheit verwendet. Die in diesem ökologischen Ansatz bereitgestellte Analyse beinhaltet nur einen direkten Vergleich, in dem ausschließlich der Entschwefelungsvorgang berücksichtigt wird. Daher werden die Prozessabläufe vor und nach der Entschwefelung als identisch betrachtet.

Die Berechnungen zeigen, dass die erwarteten CO₂eq-Emissionen für die Behandlung einer Pfanne einer Gusseisenschmelze von der Technologie (Min. bis Max.) abhängig sind, die bei der Herstellung der Rohstoffe verwendet wurde. Die Rohstoffe spielen eine entscheidende Rolle, da der Herstellungsprozess der Rohstoffe für etwa

90% der Gesamtemissionen verantwortlich ist und damit leisten sie einen massiven Beitrag zu den Gesamtemissionen des Lebenszyklus.

Die Ergebnisse in **Bild 6** zeigen, dass die kalkbasierte Entschwefelungsalternative im Vergleich zum magnesiumbasierten Verfahren einen geringeren CO₂-Fußabdruck aufweist. Wie bereits erwähnt, trägt der Herstellungsprozess der Rohstoffe erheblich zu dieser Tatsache bei. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse, dass die mit dem Transport des FeSiMg-Prozesses verbundenen Emissionen bis zu sechsmal höher sind als bei der kalkbasierten Alternative, da die Quellen im Inland leichter verfügbar sind.

ZUSAMMENFASSUNG

In der Welt haben ab 2003 im Bereich der nicht energetischen Rohstoffe extreme Preissteigerungen in sehr kurzen Zeitabständen stattgefunden, die in dieser Form bis dahin unbekannt waren. Es handelte sich hier um Preissteigerungen, die durch die enorme globale Nachfrage, in Folge der industriellen Entwicklung in China, hervorgerufen wurden. Aufgrund dieser Tatsache kommt China aktuell in vielen Bereichen, so auch beim globalen Rohstoffverbrauch und bei der Rohstoffproduktion die mit Abstand wichtigste Rolle auf der Welt zu. Darüber hinaus sind die Märkte für nichtenergetische Rohstoffe heute nicht selten durch Oligopole und zum Teil auch Monopole geprägt.

Somit haben sich globale Abhängigkeiten entwickelt, durch die extreme wirtschaftliche Störungen in kürzester Zeit hervorgerufen werden können. Vor diesem Hintergrund gibt es in der EU politische Forderungen und Überlegungen mit dem Ziel, die Unabhängigkeit Europas in der Rohstoffversorgung (z.B. Critical Raw Material Act) wieder zu stärken. Die Umsetzungen dieser Strategien, sofern sie überhaupt realisierbar sein werden, werden eher in Jahrzehnten als in Jahren erfolgen können. In der aktuellen Situation können Unternehmen darauf aber nicht warten und müssen sich selbst darum kümmern, sich schneller

aus Abhängigkeiten von bestimmten Rohstoffen zu lösen. Die einzige wirkliche Alternative, die sich hier anbietet, ist die Substitution des ursprünglichen Rohstoffes durch leichter verfügbare heimische oder eventuell recycelte Rohstoffe oder durch konstruktive Veränderungen der Produkte, so dass kritische Rohstoffe überhaupt nicht mehr benötigt werden

In dem vorliegenden Beitrag wird ein Beispiel gezeigt, wie Magnesium als Entschwefelungsmittel bei der Herstellung von Gusseisen mit Kugelgraphit mit einem neuen innovativen Verfahren zur Entschwefelung substituiert werden kann. Es wurde eine Anlage zum automatisierten Einblasen von kalkbasierten Entschwefelungsmitteln in eine Eisenschmelze entwickelt und in Betrieb genommen. Mit diesem Verfahren wird eine Reduzierung der Entschwefelungskosten, ein Schutz des kritischen Rohstoffs Magnesium bei gleichzeitig geringeren Energieverbräuchen sowie CO₂-Emissionen und damit eine Erhöhung der Rohstoffeffizienz erreicht.

LITERATUR:

- 1 World Trade Organisation, <https://stats.wto.org/>
- 2 UN Department of Economic and Social Affairs, World Population Prospects 2022. <https://population.un.org/wpp/>
- 3 R. Deike, „Befinden sich die Rohstoffmärkte in einem erneuten Wandel?“, Chemie-Ingenieur Technik 92, Nr.4, S.331-340, 2020. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/cite.201900136>
- 4 R. Deike, „Die Bedeutung der Metalle in einer Circular Economy“, Gießerei Rundschau 69, Nr.4, S.6-11, 2022. <https://doi.org/10.17185/dupublico/78773>
- 5 R. Deike, „Rohstoffmärkte in herausfordernden Zeiten“, Deutscher Gießereitag, Münster, 5./6. Mai 2022.
- 6 R. Deike, „Was auf den Rohstoffmärkten passiert - und wie die Zukunft aussieht?“, Giesserei 108, Nr. 9, S.36-94, 2021. https://duepublico2.uni-due.de/receive/dupublico_mods_00075374
- 7 R. Deike, „Ressourceneffizienz unter dem Aspekt sich verändernder internationaler Märkte für Industriemetalle, Chemie-Ingenieur Technik 84, Nr.10, S.1685-1692, 2012.
- 8 G. Soros, Die Krise des globalen Kapitalismus, Alexander Fest Verlag, Berlin, 1998.
- 9 <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/silicon-statistics-and-information>
- 10 BGR Preismonitor Dezember 2021. https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Produkte/Preisliste/pm_21_12.html
- 11 <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/magnesium-statistics-and-information>
- 12 DERA, Chart des Monats, September 2021, https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Produkte/Chart_des_Monats/cdm_node.html
- 13 CAEF, The European Foundry Association; www.caef.eu
- 14 R.Deike, A.Kahrl, A.Brümmer, SubMag: Entwicklung eines alternativen Entschwefelungsverfahrens in der Gießereiindustrie zur nachhaltigen Substitution von Magnesium, Schlussbericht BMBF-Forschungsvorhaben, Essen, 2016. <https://www.tib.eu/de/suchen/id/TIBKAT:869890972/>
- 15 Y.Tekneci, M.Walz, O.Keskin et al., Automatisierte Einblasanlage zur kalkbasierten Entschwefelung und Legierungseinstellung von Gusseisen (EKALGU): Abschlussbericht zum BMBF r+Impuls-Verbundvorhaben; Stadtallendorf, 2021. <https://www.tib.eu/de/suchen/id/TIBKAT:1840023414/>
- 16 F. N. H. Scharma, E. M. Beunder, B. van den Berg, Y. Yang und R. Boom, „Sulphur Removal in Ironmaking and Oxygen Steelmaking“, Iron & Steelmaking, Bd. 44, Nr. 5, pp. 333-343, 2017.
- 17 J. C. Niedringhaus und R. J. Fruehan, „Reaction Mechanism for the CaO-Al and CaO-CaF₂ Desulfurization of Carbon-Saturated Iron“, Metallurgical Transactions B, Bd. 19B, pp. 261-268, 1988.
- 18 R. Inoue und H. Suito, „Calcium Desulfurization Equilibrium in Liquid Iron“, Steel Research, Bd. 65, Nr. 10, pp. 403-409, 1994.
- 19 K. Takahashi, K. Utagawa, H. Shibata, S.-y. Kitamura, N. Kikuchi und Y. Kishimoto, „Influence of Solid CaO and Liquid Slag on Hot Metal Desulfurization“, ISIJ International, Bd. 52, Nr. 1, pp. 10-17, 2012.
- 20 D. Lindström und D. Sichen, „Study on Desulfurization Abilities of Some Commonly Used Desulfurization Agents“, Steel Research International, Bd. 86, Nr. 1, pp. 73-83, 2015.
- 21 I. A. Manachin und A. F. Shevchenko, „Desulfurization of Hot Metal by the Injection of High-Quality Lime Powder“, Steel in Translation, Bd. 48, Nr. 8, pp. 204-522, 2018.
- 22 J. Yang, M. Kuwabara, T. Teshigawara und M. Sano, „Mechanism of Resulfurization in Magnesium Desulfurization Process of Molten Iron“, ISIJ International, Bd. 45, Nr. 11, pp. 1607-1615, 2005.
- 23 BGR, Rohstoffwirtschaftlicher Steckbrief für Magnesium (Metall), 2020. https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/rohstoffsteckbrief_mg
- 24 I.Adhiwiguna, R.Deike, M.Walz, EKALGU-Lime Powder as Reliable and Sustainable Substitution of Magnesium for Desulfurization Process in the Cast Iron Industry, FEMS Euromat 2023, Frankfurt, 6. 09.2023.