

Flexibilität bei der Eisen- und Stahlerzeugung zur Minderung von CO₂ und Effizienzsteigerung

Hans Bodo Längen
und Marten Sprecher

Zur Erfüllung der klimapolitischen Vorgaben in Europa geht die Stahlindustrie sowohl bei den Herstellungsprozessen als auch bei den Prozessgasen alternative Wege für einen wesentlichen Beitrag zur Effizienzsteigerung und Emissionsminderung. Allerdings sind massive Verringerungen beim Energieverbrauch und der CO₂-Emissionen bei den in Europa betriebenen hocheffizienten Anlagen und Verfahren zur Eisen- und Stahlerzeugung zurzeit nicht zu erwarten. Eine nachhaltige Absenkung der CO₂-Emissionen bei der Stahlherstellung der integrierten Route lässt sich möglicherweise durch Nutzen der Hüttengase für die Produktion chemischer Produkte erreichen. Dies erfolgt in enger Zusammenarbeit von Stahlindustrie und Partnern in den Projekten Carbon2Chem und Steelanol. Bei der Stahlherstellung über die Primärroute werden die Direktreduktion von Eisenerzen mit Erdgas und der Einsatz des produzierten direktreduzierten Eisens im Hochofen beschrieben. Damit kann der Verbrauch an kohlenstoffintensiven Reduktionsmitteln im Hochofen gesenkt werden. Bei der Sekundärroute der Stahlerzeugung auf Schrottbasis wird der Elektrolichtbogenofen immer weiter optimiert.

Das Motto der Jahresveranstaltung lautet „Orientierung in unsicheren Zeiten“, in denen sich die Stahlindustrie Deutschlands und Euro-

pas zweifellos befindet. Politische Rand- und Rahmenbedingungen sowie insbesondere der Klimaschutz spielen dabei eine zentrale Rolle. Orientierung beinhaltet die Diskussion über technische Mög-

lichkeiten bestehender Verfahrensrouten, die Forschungs- und Entwicklungsarbeit an veränderten oder neuen Lösungen in gleicher Weise wie die Diskussion der politischen Rand- und Rahmenbedin-



Foto: voestalpine

Direktreduktionsanlage der voestalpine in Corpus Christi, Texas, USA



Foto: Dirk Hechmann

Dr.-Ing. Dietmar Ringel, Vorsitzender des Stahldialogs „Grenzen und Wege der Flexibilität bei der Eisen- und Stahlerzeugung“

gungen, die dafür erforderlich sind. Die Stahlindustrie bekennt sich eindeutig zum Klimaschutz.

„In der modernen Industriegesellschaft ist Stahl aufgrund seines breiten Spektrums gezielt einstellbarer Eigenschaften, seines günstigen Preis-Leistungs-Verhältnisses

„Wir brauchen politische Rahmenbedingungen, die es der Stahlindustrie in Deutschland und Europa ermöglichen, ihren Beitrag zum Klimaschutz zu leisten und ihr weder die Innovations- und Investitionskraft entziehen noch die Möglichkeit nehmen, wirtschaftlich und wettbewerbsfähig Stahl zu erzeugen“

Dr.-Ing. Dietmar Ringel, Vorsitzender des Vorstandes, ArcelorMittal Bremen GmbH

sowie seiner guten Recyclingmöglichkeiten der Basiswerkstoff für eine nachhaltige Entwicklung der Gesellschaft. Wir in Europa müssen alles daransetzen, uns eine moderne, konkurrenzfähige, vollständige Wertschöpfungskette Stahl zu erhalten. Für eine nachhaltige Entwicklung unserer Gesellschaft ist der Werkstoff Stahl unverzichtbar“, so der Vorsitzende des Stahldialogs „Grenzen und

Wege der Flexibilität bei der Eisen- und Stahlerzeugung“, Dr.-Ing. Dietmar Ringel, Vorsitzender des Vorstandes, ArcelorMittal Bremen GmbH.

Die dominante Verfahrensrouten zur Herstellung von Stahl in Europa ist die Roheisenerzeugung im Hochofen und das anschließende Frischen des Roheisens zu Rohstahl im Sauerstoffkonverter. Die Erzeugung von festem Eisenschwamm, auch als DRI (Direct Reduced Iron) bezeichnet, und Schmelzen des DRI im Elektrolichtbogenofen erfolgt in einer Anlage in Deutschland. Bei diesen Routen werden als metallische Einsatzstoffe Eisenerze eingesetzt, denen mit den Reduktionsmitteln CO und H₂ der Sauerstoff entzogen wird.

Die in den Prozessen Kokerei, Hochofen und Konverter eines integrierten Hüttenwerkes zwangsläufig entstehenden Kuppelgase werden heute effizient und intelligent in den unterschiedlichen Fertigungsstufen und zur Eigenstromerzeugung genutzt. Integ-

den. Die Verbrauchszahlen bestätigen, dass in den letzten Jahren trotz erheblicher Bemühungen der Betreiber kein weiterer Fortschritt mehr erzielt werden konnte. Diese Entwicklung bei technischen Vorgängen ist durchaus plausibel: Der Prozess wird so lange optimiert, bis sich die Reaktionen zunehmend thermodynamischen und chemischen Gleichgewichten nähern.

Der Hochofenprozess läuft in Deutschland und Europa mit einem „Wirkungsgrad“ von rd. 93 %; das heißt, der Prozess hat bis auf einen 7%igen Abstand den Gleichgewichtszustand erreicht. Eine weitere Annäherung an Gleichgewichte ist nicht möglich. Und trotzdem wird in Europa und insbesondere in Deutschland von den politisch handelnden Personen angestrebt, die Hochofenbetreiber weiter zu pönalisieren. Es wird eine Hürde aufgestellt, die allein aus den bestehenden Naturgesetzen heraus nicht übersprungen werden kann.

Eine Vielzahl technischer Einzelmaßnahmen hat beim Elektrolichtbogenofen in den vergangenen Jahrzehnten dazu geführt, dass die Effizienz der Elektrostaalherzeugung entscheidend verbessert wurde. Es konnte an einzelnen Anlagen der Stromverbrauch um 45 %, die Zeit zwischen zwei Abstichen um 78 % und der Verbrauch an Elektroden um 83 % reduziert werden. Dies ist nur ein weiteres Beispiel für den hohen Stand der Effizienz bei der Stahlerzeugung.

Strukturelle Veränderungen in der Stahlerzeugung, energiewirtschaftliche, verfahrens- und anlagentechnische Optimierungen und Innovationen am Beispiel der deutschen Stahlindustrie führten in den letzten Jahrzehnten zu drastischen Minderungen des spezifischen Primärenergiebedarfs und der spezifischen CO₂-Emissionen. Allein seit 1990 konnte der Primärenergiebedarf um 13 % und der CO₂-Ausstoß um 12,4 Mio. t/a gesenkt werden. Das entspricht einem Äquivalent von 4,9 Mio. Fahrzeugen der Mittelklasse.

rierte Hüttenwerke sind auf dieser Basis hinsichtlich der Strom- und Energieversorgung weitestgehend autark. Dabei entstehen zwangsläufig CO₂-Emissionen.

Die Reduktionsmitteleinsätze der deutschen Hochöfen seit 1945 sind durch zahlreiche unterschiedlichste Maßnahmen von 1 000 kg/t Roheisen Anfang der 1950er-Jahre bis zu Beginn der 1990er-Jahre auf unter 500 kg/t RE verringert wor-

Dass die Fortschritte bei der Minderung des Energieverbrauchs besonders in den letzten Jahren vergleichsweise gering sind, ist beispielsweise auf die Verschlechterung der Einsatzstoffqualität zurückzuführen. Auch die gestiegenen Anforderungen an die Qualität der Produkte und die zunehmende Verarbeitungstiefe sowie die Maßnahmen zum Umweltschutz, wie z. B. hocheffiziente Filteranlagen, schlagen sich im Energieverbrauch nieder.

Die Stahlindustrie bekennt sich seit Langem zum Klimaschutz. Es wurde und wird an Techniken zur Verminderung der CO₂-Emissionen bei der Stahlerzeugung gearbeitet.

Einige Beispiele:

- ▷ Das ULCOS-Projekt
- ▷ Hisarna-Schmelzreduktionsverfahren, an dem in Pilotversuchen gearbeitet wird
- ▷ Direktreduktion von Eisenerzen mit Erdgas im Schachtofenverfahren, das sich in Ländern mit preiswertem Erdgas durchgesetzt hat und dessen Wirtschaftlichkeit auch bei uns intensiv diskutiert wird
- ▷ Auf der Prozessseite die Entwicklung Direktreduktion mit reinem Wasserstoff.

Ein weiterer Eckpfeiler ist die Nutzung des entstehenden CO₂ zur Herstellung wertvoller Rohstoffe. Beispiele dafür sind Carbon2Chem und Steelanol.

Anhand dieser wenigen Beispiele wird sowohl der hohe technische Stand der Verfahren als auch das klare Bekenntnis der Stahlindustrie zum Klimaschutz im Sinne nachhaltiger Arbeit an Techniken zur Verringerung der CO₂-Emissionen deutlich. Für die entsprechende Forschung und Entwicklung sind enorme Kapitalaufwendungen erforderlich, die durch politische Rahmenbedingungen und Auflagen nicht aufgezehrt werden dürfen. Notwendige öffentliche Förderung ist dabei ein weiteres wichtiges Element.

Damit schließt sich der Kreis zu den politischen Rand- und Rahmenbedingungen, die uns nicht den „Boden unter den Füßen“ wegziehen dürfen. Das Ab-

kommen von Paris ist ein Erfolg. Die positiven Elemente dürfen jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass für die Stahlindustrie in Deutschland und Europa eine entscheidende Aufgabenstellung ungelöst bleibt. Notwendige verbindliche und vergleichbare Ziele als Basis für reale und nachhaltige Verbesserungen und den Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit wurden nicht festgelegt.

Die EU-Kommission hat im vergangenen Juli einen Vorschlag für den Emissionsrechtehandel in der vierten Handelsperiode vorgelegt, der momentan intensiv beraten wird. Er sieht massive Verschärfungen vor: Die Zuteilungsbenchmarks sollen im Durchschnitt um 22 % bis zum Jahr 2030 pauschal verringert werden. Hinzu kommt der sogenannte sektorübergreifende Korrekturfaktor. Die EU-Kommission hat sich damit von ihren guten Vorsätzen, Wachstum, Beschäftigung und Wettbewerbsfähigkeit zu unterstützen, weit entfernt.

Schon heute liegt die Zuteilung der Stahlindustrie weit unterhalb des erreichbaren Minimums der Anlagen. Die EU-Kommission will nicht akzeptieren, dass etwa die Verwertung von Kuppelgasen zur Eigenstromerzeugung untrennbar mit dem Stahlerzeugungsprozess verbunden ist und daher eine volle Zuteilung benötigt. Die Benchmarks für die Zuteilung von CO₂-Rechten müssen aber wirtschaftlich und technisch erreichbar sein, sie müssen sich deshalb an den Emissionen der effizientesten Anlagen bemessen. Den Unternehmen darf durch politische finanzielle Belastungen aus dem Emissionsrechtehandel nicht Substanz für weitere Entwicklung genommen werden.

Chemische Verwertung von Hüttengasen

„Bei thyssenkrupp haben wir uns mit der Frage befasst, welchen wirtschaftlichen Weg zur CO₂-Minderung die Industrie bei der Stahlherstellung unter den



Dr.-Ing. Reinhold Achatz, Experte für die chemische Verwertung von Hüttengasen

gegebenen Randbedingungen gehen kann. Wenn Umweltfreundlichkeit unwirtschaftlich ist, kann kein Unternehmen überleben und innovative Verfahren setzen sich nicht durch“, sagt Dr.-Ing. Reinhold Achatz, Head of Corporate Function Technology, Innovation & Sustainability von thyssenkrupp in Essen, bei der Einführung zu seinem Vortrag.

Deutschland befindet sich mitten in der Energiewende. Der Anteil grüner Energien liegt mittlerweile bei 32 %, ein Wert, der lange Zeit als unerreichbar galt. In Deutschland und Europa wird zur Lösung des CO₂-Problems von Dekarbonisierung gesprochen. Der Begriff Dekarbonisierung ist aber zumindest unpräzise, da ohne Kohlenstoff Leben nicht möglich ist und alle Gebrauchsgüter des täglichen Lebens einen gewissen Anteil an Kohlenstoff haben. Über viele Millionen Jahre haben sich natürliche Rohstoffe wie Öl, Gas und Kohle aufgebaut, die in den letzten 150 Jahren in extrem kurzer Zeit genutzt bzw. verbrannt wurden. Dadurch entstand ein Ungleichgewicht, das nur wieder ausgeglichen werden kann, wenn genau so viel CO₂ umgewandelt wie erzeugt wird.

Bei den Verfahren der Stahlerzeugung sind die Optimierungen weitgehend ausgeschöpft. Das

Ziel war es, ein neues Verfahren zu entwickeln, das wirtschaftlich und sozial akzeptiert wird. Hierzu wurden die Systemgrenzen neu definiert und branchenübergreifende Lösungen gewählt. Dies war die Geburt von „Carbon2Chem“. Es ist ein Fehler, zu glauben und zu erklären, CO₂ sei ein Abfallstoff. CO₂ ist vielmehr eine wertvolle Ressource für neue Produkte.

Die Hüttengase eines integrierten Hüttenwerkes bestehen aus 43 % Stickstoff, 25 % Kohlenmonoxid, 21 % Kohlendioxid sowie 8 % Wasserstoff und kleinen Mengen Methan. Diese Hüttengase können zur Energie- und zur Stromerzeugung genutzt werden, was heute gängige Praxis ist. Dabei entsteht zwangsläufig CO₂, das in die Atmosphäre gelangt. Man kann allerdings die Hüttengase auch in Kooperation zwischen den Branchen Stahl, Chemie und Energie als Rohstoff nutzen. Hierfür wird aber weiterer Wasserstoff benötigt, der über die Elektrolyse von Wasser gewonnen werden soll. Der erforderliche elektrische Strom muss natürlich mit grüner Energie erzeugt werden. Andernfalls wäre der CO₂-Footprint des erzeugten Wasserstoffes so hoch, dass es zu keiner CO₂-Reduzierung kommen würde. Eine weitere Voraussetzung für die Machbarkeit dieses Projektes ist die Notwendigkeit einer branchenübergreifenden digitalen Steuerung. Mit

entsprechenden Softwaresystemen können die verschiedenen Technologien so geregelt werden, dass das ganzheitliche Systemoptimum besser als die Summe der Einzeloptima der beteiligten Branchen ist.

Die chemischen Grundlagen sind seit mehr als 100 Jahren bekannt. Es stellt sich die Frage, was zusätzlich verändert werden muss: Zum einen sind Hüttengase Gasgemische, die gereinigt werden müssen. Zum anderen sind Katalysatoren sehr empfindlich bei Verunreinigungen. Es müssen robustere Katalysatoren entwickelt werden. Beim Einsatz von grünem Strom, der volatil anfällt, müssen die Anlagen entsprechend flexibel betrieben werden können.

Neben der Erzeugung von Energie und Strom aus den Hüttengasen (Koksofengas, Hochofengas und Konvertergas), wobei CO₂ emittiert wird, sollen bei Carbon2Chem Methanol, synthetischer Alkohol, Düngemittel und Polymere erzeugt werden, wobei kein CO₂ emittiert wird. Man wird zwischen der Nutzung der Gase im Kraftwerk und als Chemierohstoff je nach Verfügbarkeit an grünem Strom wechseln. Hierfür muss ein Energiesystem vorhanden sein, das die Verfügbarkeit an Strom mit einer Woche Vorlaufzeit vorhersagt.

Das Projekt „Carbon2Chem“ besteht aus den Teilprojekten Wasserstoffherzeugung (thyssenkrupp), Methanolerzeugung (AkzoNobel), Gasreinigung (Linde), Alkohole (Evonik), Polymere (covestro) und Oxymethylenether (BASF). Die Gesamtprojektleitung hat thyssenkrupp zusammen mit dem Max Planck Institut für Energiekonversion (MPI-CEC) und Fraunhofer UMSICHT.

Im März 2016 wurde mit einem anwendungsnahen Forschungsprojekt begonnen. thyssenkrupp investiert über 34 Mio. € in Duisburg in den Bau eines Technikums. Hinzu kommen rd. 10 Mio. € aus der Fördersumme von insgesamt 60 Mio. €, mit der das Bundesministerium für Bildung und Forschung das Gesamtpro-

jekt fördert. Der erste Spatenstich erfolgte Anfang November 2016. Carbon2Chem hat einen Etat von 120 Mio. €, wobei thyssenkrupp mit 60 Mio. € Projektkosten den größten Anteil trägt.

Die Forschungsarbeiten zu dem Projekt werden voraussichtlich zehn Jahre in Anspruch nehmen. Eine industrielle Umsetzung wird erst nach 2030 möglich sein, da der Bau einer Anlage nach erfolgreichem Abschluss der Forschungsarbeiten mit allen Genehmigungen mindestens weitere acht Jahre dauern wird. Um solche Projekte zu finanzieren, muss die Stahlindustrie auch Geld verdienen und darf nicht mit entsprechenden CO₂-Abgaben belastet werden.

Kohlenstoffabscheidung und Wiederverwendung bei der Stahlerzeugung

„CCU (Carbon Capture and Usage) ist das Kernthema des Projektes Steelanol“, so Ir. Carl de Maré, Head of Technology Strategy, Group CTO, ArcelorMittal Group Luxembourg. ArcelorMittal erzeugt weltweit 93 Mio. t Rohstahl pro Jahr. Dabei werden 207 Mio. t CO₂ emittiert. Für ArcelorMittal ist die Verminderung dieser Emissionen ein Schlüsselthema und eine Herausforderung. Die Gesellschaft verbindet Stahl direkt mit CO₂-Emissionen. Dabei hat die Stahlerzeugung an den gesamten weltweiten CO₂-Emissionen nur einen Anteil von 6 %. Im Sinne von „Life Cycle Analysis“ (LCA) muss erwähnt werden, dass diese 6 % vom Stahl bei der Wiederverwendung des Stahls als Schrott weitgehend CO₂-neutral sind, und das macht Stahl so einzigartig. Stahl hat in seinem Lebenszyklus im Vergleich zu allen produzierten Materialien und Werkstoffen die geringsten CO₂-Emissionen. Milch hat z. B. spezifisch 50 % höhere CO₂-Emissionen als Stahl.

Kurzfristig gibt es keine Alternative zum Stahl und man wird weiterhin auch auf den Einsatz von Kohlenstoff für die Stahlerzeugung angewiesen sein. Eine



Foto: Dirk Heckmann

Ir. Carl de Maré, Fachmann für Kohlenstoffabscheidung und Wiederverwendung bei der Stahlerzeugung

Ablösung der Kohlenstoffmetallurgie durch Wasserstoffmetallurgie bedeutet auch eine Verdoppelung des Primärenergiebedarfes. Auch müsste für solch ein Szenario eine Überkapazität an grüner Energieerzeugung vorhanden sein.

Elektrische Energie, erzeugt mit dem CO-Anteil des Hochofengases, hat eine hohe CO₂-Intensität. Die Nutzung des Gases, anstatt es abzufackeln, ist ökonomisch wertvoll. Wenn allerdings auf dem Markt elektrische Energie mit einer CO₂-Last von 0,1 t CO₂/MWh verfügbar ist und elektrische Energie aus Hochofengas eine CO₂-Last von 1,7 t CO₂/MWh aufweist, dann muss man das CO des Hochofengases anders nutzen. Eine Lösung ist CCUS (Carbon Capture, Use and Storage). Allgemein werden Befürworter von CCUS als Träumer kritisiert, weil die Techniken als nicht realistisch und zu teuer gewertet werden.

ArcelorMittal war auf der Suche nach einer kurzfristigen Lösung und begann mit der Biotechnologie. Die Natur der katalytischen Chemie ist das Recycling von Kohlenmonoxid in Ethanol, wie es schon seit Millionen Jahren erfolgt, vergleichbar mit der Umwandlung von Zucker und Sauerstoff beim Menschen in Energie für die Muskeln.

In Zusammenarbeit mit LanzaTech wurde die Gasfermentation von Hochofengas mit Mikroben in Ethanol erfolgreich demonstriert. LanzaTech wurde 2005 gegründet. Die Technologie wurde zunächst im Labor entwickelt, 2008 in einem kleinen Stahlwerk in Neuseeland und ab 2008 in verschiedenen größeren Pilotanlagen getestet. ArcelorMittal baut derzeit mit LanzaTech eine industrielle Anlage zur Erzeugung von Ethanol aus Hochofengas in Gent. Das Projekt wird mit 10 Mio. € von der EU gefördert. Weitere Projektpartner sind Primetals und E4tech.

Die Anlagengröße ist noch moderat. Aus 100 000 m³(S.T.P.)/h Hochofengas, aus dem das CO₂ ausgewaschen wird, werden mit dem CO des Gases, Mikroben und Wasser 8 t/h Ethanol oder 80 Mio. l/a

erzeugt. Das Hochofengas muss nicht gereinigt werden. Die Mikroben können in der Atmosphäre des Hochofengases überleben. Der Nachteil von Biotech ist der Aufwand für die Wasseraufbereitungsanlage. Die Mikroben leben in dem Wasser mit einer Temperatur von 37 °C. Das Ethanol muss aus dem Wasser ausdestilliert werden, was einen hohen Kapitalaufwand erfordert. Das Projekt begann im Herbst 2015 und das Engineering ist weitgehend abgeschlossen. Die Anlage wird in den nächsten Wochen bestellt, sobald von der EU der Status des erzeugten Kraftstoffs anerkannt ist.

Die Wirtschaftlichkeit des Projektes ist eng mit dem Markt für Ethanol in Europa verbunden. Zur Erfüllung der Ziele für erneuerbare Energien besteht der Bedarf an 7 Mrd. l Ethanol, die nicht aus der Lebensmittelindustrie stammen. Die Umwandlung des CO der Gase der EU-Stahlindustrie wird den Markt für Biokraftstoffe nicht beeinträchtigen. Steelanol hat eine sehr gute Life Cycle Analysis und liefert einen großen Beitrag zur Energieeffizienz im Vergleich zur Nutzung des Hochofengases für die Stromerzeugung. Bei der geplanten industriellen Demonstrationsanlage in Gent werden jährlich 150 000 t CO₂-Emission vermieden. Nach der Erstinvestition werden 80 Mio. l Ethanol erzeugt; das entspricht einer CO₂-Einsparung äquivalent zu der von 100 000 auf dem Markt eingeführten Elektroautos.

Direktreduktion als Brückentechnologie zur Entkarbonisierung der integrierten Stahlherstellung

„Wir haben bei den bestehenden Prozessen der Eisen- und Stahlherzeugung ein Potenzial für den Einsatz von Wasserstoff von 10 % bei der klassischen Hochofen-Konverter-Route bis zu 100 % bei der Direktreduktion“, so Dipl.-Ing. Thomas Bürgler, Leiter Forschung und Entwicklung Roheisen, voestalpine Stahl GmbH, Linz, Ös-

terreich, bei der Einführung zu seinem Vortrag. Es gab schon Direktreduktionsverfahren, die mit 100 % Wasserstoff gearbeitet haben. Diese haben sich aber nicht durchgesetzt, nicht zuletzt aus wirtschaftlichen Gründen. Aber grundsätzlich hat die Direktreduktion von Eisenerzen ein Potenzial für 100 % H₂-Einsatz als Reduktionsmittel für die Reduktion der Eisenerze. Direktreduktionsschächtofen der betrieblichen Praxis arbeiten heute schon mit Wasserstoffanteilen im Reduktionsgas von über 60 %. Wenn Wasserstoff künftig in ausreichenden Mengen und zu wirtschaftlichen Konditionen verfügbar werden könnte, dürfte er eine bedeutendere Rolle für die Stahlerzeugung auf Basis Eisenerze spielen. Bei den heutigen Randbedingungen ist die Reduktion der Eisenerze mit Wasserstoff im Vergleich zum Kohlenstoff wirtschaftlich jedoch weder weltweit noch in Europa darstellbar.

Vergleicht man die CO₂-Emissionen der integrierten Hochofen-Konverter-Route mit der Direktreduktion-Elektrolichtbogenofen-Route (DR/EAF) mit Schachtofen als Reduktionsaggregat und Heißeinsatz des DRI im EAF unter Annahme einer CO₂-Last des elektrischen Stroms von 200 g/kWh, so hat die DR/EAF-Route einen Vorteil von rd. 35 %. Die CO₂-Emissionen bei der



Foto: Dirk Heckmann

Dipl.-Ing. Thomas Bürgler, Experte für die Direktreduktion als Brückentechnologie zur Entkarbonisierung der integrierten Stahlherstellung



Dr.-Ing. Henning Schliephake, Fachmann für Effizienzsteigerung in der Elektrostahlerzeugung

Erzeugung des Direct Reduced Iron (DRI) kommen vom Kohlenstoffgehalt des Erdgases. Wenn es gelingt, das Erdgas bei der DRI-Erzeugung durch H_2 zu ersetzen und Strom aus grünen Energien zu verwenden, dann könnte diese Route weitgehend CO_2 -frei Stahl erzeugen. Das wird kurzfristig nicht möglich sein, längerfristig könnte aber der Weg in diese Richtung gehen. Kohlenstoff wird allerdings immer benötigt werden, allein schon als Legierungselement für die Stahlwerkstoffe.

Das Thema CO_2 -Minderung im Allgemeinen und H_2 -Einsatz im Besonderen gewinnt vor allem aufgrund der angestrebten Entkarbonisierung sowohl auf globaler Ebene als auch in der EU zunehmend an Bedeutung.

So sieht die „Klima-Roadmap“ der EU-Kommission die Senkung der CO_2 -Emissionen bis 2050 um über 80 % im Vergleich zu 1990 vor. Unter Beibehaltung der heute betriebenen Verfahrensrouten wird man dieses Ziel nicht erreichen. Dafür sind Verfahrenswechsel von Kohlenstoffmetallurgie auf Wasserstoffmetallurgie und ein grundlegender Transfer der Energiesysteme erforderlich. Was dafür an Investitionsaufwand in die Energiewirtschaft und die Stahlerzeugungsanlagen fließen muss, lässt sich heute noch nicht seriös beziffern.

voestalpine leistet mit dem Einsatz von Erdgas als Reduktionsmittel einen Beitrag zu einer CO_2 -reduzierten Stahlerzeugung. Die neue DRI-Anlage in Corpus Christi, Texas, USA, ist eine Midrex-Schachtofenanlage mit einer Kapazität von 2 Mio. t Hot Briquetted Iron (HBI) pro Jahr. HBI ist ein sehr flexibler Einsatzstoff. Man kann es in einem Elektrolichtbogenofen zu Rohstahl verarbeiten, im Hochofen einsetzen, wo es dazu beiträgt, die CO_2 -Emission zu senken und die Leistung zu steigern, oder als Schrottersatz im Konverter für die Rohstahlerzeugung verwenden.

Beim Einsatz von 100 kg HBI/t Roheisen (RE) im Hochofen werden rd. 30 kg Koksäquivalent/t RE eingespart und die Schmelzleistung steigt, weil im Reaktor mehr Prozessvolumen für Eisenträger ist. Der Einsatz von HBI im Hochofen muss immer wirtschaftlich bewertet werden. Nur wenn Roheisen im Werk eine knappe Ressource ist, macht der Einsatz von HBI im Hochofen zur Leistungssteigerung Sinn. Die klassische Hochofen-Konverter-Route ist in Europa derzeit noch die wirtschaftlichste Stahlerzeugungsrouten auf Eisenerzbasis.

Energetisch gibt es bei einem Vergleich von klassischer integrierter Route zu einem Verfahren mit HBI-Einsatz im Hochofenprozess keine Unterschiede, auch wenn man den Energieverbrauch für die HBI-Erzeugung berücksichtigt.

Nach fünf Jahren Studien, Planung und Bau hat die Direktreduktionsanlage am 28. September 2016 das erste HBI erzeugt. Technologiepartner bei dem Projekt sind die Firmen Primetals, Midrex und Köppern. Die Schachtofenanlage ist mit einer Höhe von 137 m das höchste Bauwerk in Südtexas.

Laufende FuE-Projekte für „grünen“ Wasserstoff sollen langfristig eine CO_2 -reduzierte Stahlerzeugung ermöglichen. Bei ausreichender Verfügbarkeit von „grünem“ Wasserstoff könnte dieser künftig zumindest teilweise als Reduktionsgas anstelle von Erdgas im Direktreduktionsprozess eingesetzt werden und

so eine CO_2 -reduzierte Herstellung von HBI und Stahl ermöglichen.

Effizienzsteigerung in der Elektrostahlerzeugung

„Eine erfolgreiche kontinuierliche Verbesserung von Prozessen hängt stets von motivierten Kolleginnen und Kollegen ab, die letztlich die Prozesse am besten kennen. Haben wir dieses Wissen ausreichend aktiv abgefragt bzw. haben wir die richtigen Fragen gestellt? Letztlich sind gerade Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter unsere wesentlichen Erfolgsgaranten und keine FTE, Full Time Equivalents, wie diese heute in der Beratersprache entpersonalisiert werden“, so Dr.-Ing. Henning Schliephake, Mitglied der Geschäftsführung, Georgsmarienhütte GmbH.

In einer entwickelten Volkswirtschaft, die seit vielen Jahrzehnten die industrielle Wertschöpfung als Eckpfeiler für ihre wirtschaftliche Prosperität betrachtet, ergibt sich durch die große Verfügbarkeit von Schrotten, sei es als Neuschrott aus der Stahlverarbeitung oder als Altschrott aus Abrissen und Sammlungen, ein Verhältnis zwischen integrierter Stahlerzeugung und Elektrostahlerzeugung von etwa 2 : 1. Dieses Verhältnis zeigt sich sehr schön in der Verteilung der beiden Verfahrenswege in Deutschland. In einem Land, das erst vor gut 15 Jahren in die Massenstahlproduktion eingestiegen ist, wie es sich bei China als inzwischen weltgrößtem Stahlerzeuger darstellt, gibt es bei Weitem proportional noch nicht so viel Rücklaufschrotte wie in Deutschland. So beträgt im Reich der Mitte der Anteil der integrierten Stahlerzeugung in 2015 stolze 93,9 %. Der Rest wird in den Elektrolichtbogenöfen erschmolzen, wobei anzumerken ist, dass ein sehr großer Anteil dieser Öfen mit flüssigem Roheisen beschickt wird. In Summe ergibt sich weltweit ein Verhältnis von 75 zu 25 %. Europa als Ganzes zeichnet sich infolge der überproportional hohen Elektrostahlerzeugung in Italien und

Spanien (ca. 30:70) mit einem recht hohen Anteil von 39 % bei der Stahlerzeugung im Elektrolichtbogenofen aus.

Aus den naturgemäß vorgegebenen thermodynamisch technischen Grundgesetzen weisen beide Verfahrenswege deutlich unterschiedliche CO₂-Emissionen aus. Bei der integrierten Produktion fallen 1 718 kg CO₂/t Rohstahl und bei der Elektrostaahlherzeugung 428 kg CO₂/t Rohstahl an. In Deutschland ergibt sich bei dem herrschenden Verhältnis beider Prozessrouten nach sechsmaligem Recycling eines Stahlvolumens eine CO₂-Emission von ca. 1 000 kg CO₂/t Rohstahl. Deutschland hat es gut gegenüber China, das noch lange mit dem aktuellen Prozessverhältnis leben muss, d. h., dass es noch längerfristig mit einer CO₂-Emission von gut 1 700 kg/t Rohstahl leben muss. Eine Aufgabe der Stahlerzeugung in Deutschland und Verlagerung nach China erscheint daher auch im Weltmaßstab umweltpolitisch wenig sinnvoll zu sein.

Seit Mitte der 1960er-Jahre ist die Produktivität und damit einhergehend die Kosteneffizienz in der Elektrostaahlherzeugung dramatisch verbessert worden. Die ausgewiesenen Kenngrößen elektrischer Energieverbrauch in kWh/t Flüssigstahl, Zeitverbrauch in min/t Flüssigstahl und Elektrodenverbrauch in kg/t Flüssigstahl zeigen dies überdeutlich. Der Einsatz elektrischer Energie reduzierte sich um 44 %, der Zeitverbrauch um 83 % und der Elektrodenverbrauch ebenfalls um 83 %. Auch beim Verbrauch feuerfester Materialien dürften sich ähnlich hohe Verbrauchsminderungen eingestellt haben. Nicht umsonst stöhnen die Kollegen der Feuerfest- und Elektrodenhersteller. Die Linien nähern sich langsam der Horizontalen an, denn, vergleichbar zum an thermodynamisch-physikalischen Grenzen betriebenen Hochofen, werden auch die Elektrostaahlwerke bestimmte Grenzen nicht unterschreiten können. Dies scheinen bisweilen weniger naturwissenschaftlich

belastete Entscheidungsträger und Meinungsbildner zu ignorieren.

Hinter jedem Schritt der kontinuierlichen Verbesserungen stecken die Ideen von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Dabei kam es durchaus vor, dass mehrere Personen an unterschiedlichen Stellen die Originalität desselben Gedankens für sich beanspruchten. So verlief z. B. der Beanspruchungsstreit um die Idee der Schaumslaggenfahrweise recht intensiv. Aber gerade diese Prozessveränderung ist ein sehr gutes Beispiel dafür, dass nicht immer nur teure Investitionen notwendig sind, um große Fortschritte zu erreichen. Viele kleine, nicht immer so kostenaufwendige Schritte können zu ansehnlichen Erfolgen führen. Neben dem Schlackenschäumen sind drei weitere Verbesserungsschritte zu nennen: Pfannenmetallurgie, Flüssigsumppfahrweise und Lanzenmanipulator.

Alles drei Ideen, die ohne großen Kostenaufwand umgesetzt werden konnten. Die Annäherung an die Prozessgrenzen kann jedoch zunehmend kostenintensiver werden. Nicht unerwähnt darf bleiben, dass zahlreiche begleitende Schritte zur Optimierung der gesamten Prozesskette einhergingen. Als Stichworte seien an dieser Stelle genannt: Minimierung von Nutzungsnebenzeiten und Störungszeiten, Optimierung der Einsatzstoffe, Mitarbeiterweiterbildung etc.

Georgsmarienhütte GmbH stand wie alle Elektrostaahlwerke vor der Notwendigkeit, das Energiemanagement einzuführen. In Anlehnung an das bereits gelebte Qualitäts- und Umweltmanagement etablierte die Georgsmarienhütte GmbH eine Abteilung Energiemanagement, die direkt der Geschäftsführung unterstellt ist. Alle Mitglieder dieser Abteilung brannten für dieses Thema. Neben der zu leistenden Überzeugungsarbeit im gesamten Unternehmen galt es, parallel ein geeignetes Mess- und Informationssystem für alle Medienströme aufzuba-

en. Die ersten Schritte der Überzeugungsarbeit waren letztlich recht einfach. Der Verbrauch an Pressluft, der teuersten aller Energieformen in einem Unternehmen, lässt sich sehr wohl durch die Mitarbeiter selbst beeinflussen. „Wer von uns ist nicht schon einmal während eines Produktionsstillstandes durch eine Werkshalle gegangen, in der sich zwar kaum Mitarbeiter aufhielten, jedoch ein lautes Pfeifen aus einer defekten

„Die Georgsmarienhütte verfolgt die Vision NoWASTE, d. h. in Zukunft nur noch werthaltige Stoffe über die Grenzen des Unternehmens hinweg zu transportieren und so wenig wie möglich Deponieraum zu beanspruchen“

Dr.-Ing. Henning Schliephake, Mitglied der Geschäftsführung, Georgsmarienhütte GmbH

bzw. nicht korrekt gekoppelten Pressluftschlauchverbindung zu vernehmen war?“ so Schliephake. Auf einem Handwagen wurde eine Vorrichtung mit verschiedenen typischen Defekten des Pressluftsystems sowie eines Luftmengenmessers, der die vergeudete Pressluft in Euros umrechnen konnte, installiert. So etwas bewirkt Wunder.

Inzwischen lebt das Energiemanagement durch die Einbindung von Multiplikatoren in den einzelnen Betrieben in Person von Energiepaten und der Verfügbarkeit bzw. Auswertbarkeit aller aktuellen und historischen Medienströme für alle Betriebsverantwortlichen. Das gelebte Energiemanagement hat es ermöglicht, aus dem Stand heraus die Anforderungen als Klimaschutzunternehmen zu erfüllen. Diese Auszeichnung hilft der Georgsmarienhütte, ihr Image in der Bevölkerung nachhaltig zu verbessern.

Die Erfolgsgeschichte der kleinen Schritte in der Periode von 2010 bis 2016 ist durchaus bemerkenswert und überzeugend. Der

Druckluftverbrauch sank um 28 %. Hierzu trugen vor allem die Leckagenbeseitigung, die Bedarfsanpassungen sowie die Absenkung des Netzdruckes bei. Noch dramatischer waren die Einsparungen beim Trinkwasser. Die Anpassung von Mengen und Wasserqualität an die technischen Erfordernisse sowie Abschaltungen bei Stillständen führten zu Minderverbräuchen von 66 % (0,50 auf 0,17 m³/t Rohstahl flüssig).

Die Umstellung der Heizungen von Erdgas- auf Dampfwärme sowie der Einsatz modernster Brennertechnologie reduzierte den Erdgasverbrauch um 10 % (54,9 auf 49,3 m³ (S.T.P.)/t Rohstahl flüssig).

Trotz eines ansteigenden Bedarfes von +2,5 % durch die zunehmende Anzahl von elektrischen Verbrauchern konnte der spezifische Bedarf an Allgemeinstrom, d. h., Schmelzstrom fließt hier nicht ein, um 2,2 % abgesenkt werden. Großen Anteil daran hat die konsequente und inzwischen auch automatisierte Abschaltung von nicht benötigten Verbrauchern während allfälliger Stillstandsperioden. Anstelle einer „Stillstandsleistung“ für die gesamte Hütte von 7,8 MW beträgt diese heute nur noch 3,6 MW.

Die gesamte Prozesskette des Unternehmens Georgsmarienhütte musste sich in der vergangenen Dekade mannigfaltigen, nicht nur marktgetriebenen Herausforderungen stellen. Kundenseitig stiegen die Anforderungen an die Qualität sowie an die Flexibilität und auch durch die Verringerung der Losgrößen. Dies führte im Verlauf der Jahre zu einem Absinken des Gesamtausbringens. Eine Vielzahl kleinerer Verbesserungsschritte, seien diese in jedem Gewerk für sich oder in bereichsübergreifenden Arbeitsgruppen erarbeitet und umgesetzt worden, konnte den Trend nachhaltig umkehren. Alle Verbesserungen wurden durch Optimierung von Prozessschritten erreicht.

Aus der großen Anzahl der Verbesserungsschritte sollen hier nur einige Beispiele benannt werden. Zum einen standen auf dem Arbeitsprogramm die Optimie-

rung der Prozesse hinsichtlich der Verbesserung der Oberfläche zur Verringerung des Nacharbeitsaufwandes sowie die Verfeinerung der metallurgischen Prozesse zur Minimierung der Anzahl und Größe der nichtmetallischen Einschlüsse. Hierbei kamen auch Methoden aus der Simulationstechnik sowie dem Datamining zum Einsatz. Verbesserungen im Bereich der Instandhaltung führten zu geringeren Störquoten und damit bedingt zu weniger instationären Zuständen der Anlagen.

Die detailliertere Betrachtung der unterschiedlichen physikalischen Kennwerte der verschiedenen Stahlqualitäten, wie z. B. Schrumpfung oder auch Metergewicht, führte zu einer deutlich verbesserten logistischen Vernetzung über die gesamte Fertigungskette.

Die bei der Stahlerzeugung entstehenden Stahlwerksschlacken waren bisher ein anerkannter Baustoff, wenngleich dies in den einzelnen Bundesländern durchaus unterschiedlich gehandhabt wird. Seit weit über einem Jahrzehnt wird an der Mantelverordnung gearbeitet, deren dritter Referentenentwurf in absehbarer Zeit vorliegen soll. Trotz all unserer Versuche, unseren Schlacken eine nachhaltige Anerkennung als hochqualitativer Baustoff zu sichern, werden an die Stahlindustrie zusätzliche Anforderungen gestellt werden, die unweigerlich zu erhöhten Kosten führen werden. Aus unserer Sicht widerspricht die Mantelverordnung ganz klar dem Gedanken einer Kreislaufwirtschaft.

Ausgehend von der Geisteshaltung, dass Stahlwerker nicht nur Stahlwerker, sondern auch Hochtemperaturverfahrenstechniker sind – denn wer beherrscht sonst noch im Tagesgeschäft feuerflüssige Massen wie Stahl und Schlacken mit Temperaturen von über 1 500 °C –, entwickelte die Georgsmarienhütte die Vision NoWASTE, d. h. in Zukunft nur noch werthaltige Stoffe über die Grenzen des Unternehmens hinweg zu transportieren und so wenig wie möglich

Deponieraum zu beanspruchen, wenngleich es Bundesländer geben soll, die grundsätzlich alle Stahlerzeugungsschlacken in Zukunft dort unterbringen wollen.

Dieser Ansatz führte zunächst zu einer vollumfänglichen Aufnahme und Validierung aller internen Massenströme von Schlacke, Zunder, Filterstaub und sonstigen Reststoffen sowie deren interner bzw. externer Verwendung. In Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen internen Abteilungen sowie mehreren externen Partnern, wie z. B. FEhS, Uni Duisburg, Stahlwerke Benteler und KME, wurden mehrere verschiedene Verfahren auch im Rahmen von Förderungsmaßnahmen entwickelt. So wird heute der größte Teil der sekundärmetallurgischen Schlacke als Schlackenbildner im Elektrolichtbogenofen eingesetzt. Dies belastet keinen Deponieraum und erspart den Einsatz von Primärrohstoffen. Auch die sonstigen Reststoffe werden intern aufgearbeitet und als Schlackenbildner eingesetzt. All dies führt heute bereits zu einem Kostenvorteil in einem hohen sechststelligen Euro-Bereich. Hinsichtlich der schwarzen Elektroofenschlacke zeichnet sich auch eine mögliche, wenngleich recht unkonventionelle Problemlösung ab.

Schlussbemerkungen zum Stahldialog

Abschließend bemerkte Dr. Dietmar Ringel, dass in vier hochkarätigen Vorträgen unterschiedliche Ansätze und Wege zur Flexibilität bei der Eisen- und Stahlerzeugung auch im Hinblick auf die weiteren Verminderungen der CO₂-Emissionen vorgestellt wurden und es damit Ansätze für eine nachhaltige CO₂-Minderung bei der Stahlerzeugung gibt. Er dankte den Vortragenden und all denjenigen, die an der Erarbeitung der Berichte beteiligt waren. Dem Auditorium dankte er für das gezeigte Interesse.

*Dr.-Ing. Hans Bodo Lüngen,
M. Sc. Marten Sprecher,
Stahlinstitut VDEh, Düsseldorf*