

Erfahrungen mit der Altkunststoff-Verwertung im Hochofenprozess

Thomas Bürgler und Nina Kieberger

1.	Altkunststoffe im Hochofenprozess.....	100
2.	Rahmenbedingungen für die Roheisenerzeugung.....	102
2.1.	CO ₂ -Benchmark.....	102
2.2.	Austauschverhältnisse für Reduktionsmittel.....	103
3.	Betriebserfahrungen mit Altkunststoffen.....	104
3.1.	Rohstoffquellen.....	104
3.2.	Prozessdaten.....	105
4.	Resümee.....	108
5.	Literaturverzeichnis.....	108

Mit einer weltweiten Produktionsmenge von 1.417 Millionen Tonnen im Jahr 2010 ist Stahl der mit Abstand wichtigste metallische Konstruktionswerkstoff (Bild 1), der auch am Ende seines Lebenszyklus vollkommen in den Werkstoffkreislauf zurückgeführt werden kann. Kunststoffe folgen in der weltweiten Werkstoffproduktion mit einer Jahresmenge von 265 Millionen Tonnen auf Stahl. Die Verwertung der Kunststoffe am Ende des Lebenszyklus wird seit Jahren auf politischer und verfahrenstechnischer Ebene sehr kontrovers diskutiert und führte im Gegensatz zum Stahlrecycling zu einer Vielzahl von Verfahrenslösungen.

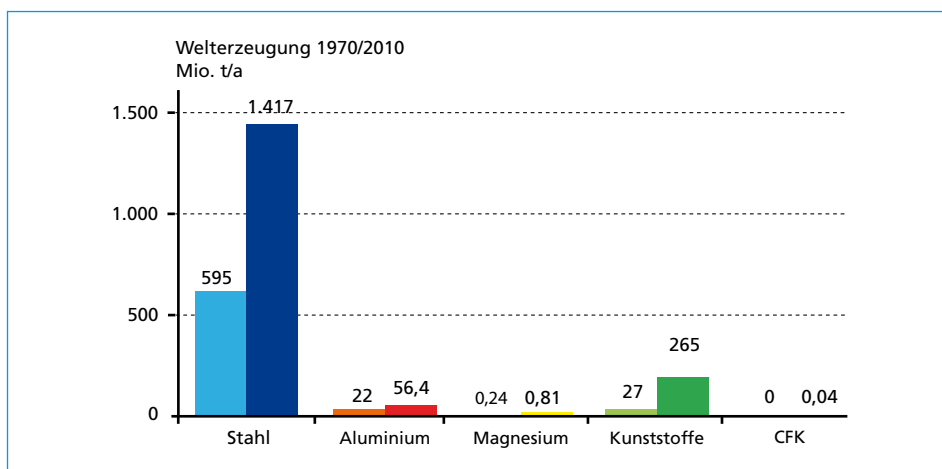


Bild 1: Werkstoffherzeugung im weltweiten Vergleich

Quelle: worldsteel, International Aluminium Institute, International Magnesium Association, PlasticsEurope Market Research Group, SGL Carbon

Mit der Einführung von Recyclingquoten für bestimmte Stoffe, Deponierungsverbot für energiereiche Abfallfraktionen oder Verwertungsquoten für Konsumgüter wie Kraftfahrzeuge einerseits und einem rasant veränderndem Marktpreis für Primärrohstoffe auf der anderen Seite hat sich für die voestalpine Stahl GmbH eine neue Prozessnische aufgetan. Auf die Nutzung von Altkunststoffen zur Substitution von Primärrohstoffen wie Kohle, Erdgas oder Schweröl als Reduktionsmittel im Hochofenprozess soll in diesem Erfahrungsbericht eingegangen werden (Bild 2).

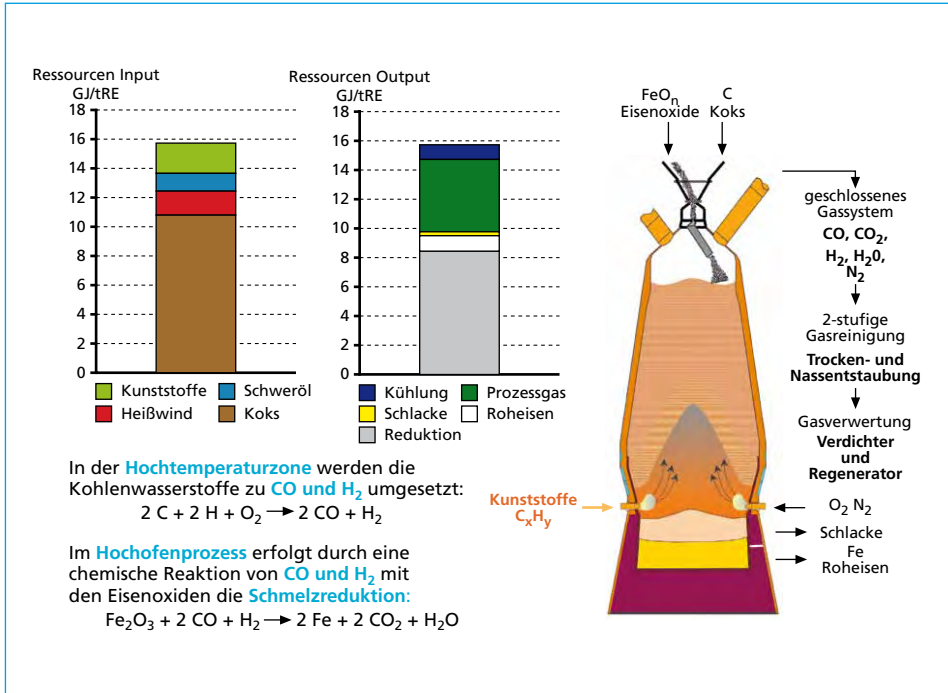


Bild 2: Prozesstechnologie des Hochofens

1. Altkunststoffe im Hochofenprozess

voestalpine wurde Anfang des neuen Jahrtausends von der Volkswagen AG angesprochen, die Umsetzung der EU-Richtlinie Altfahrzeuge mit dem Einsatz der Altkunststoffe aus dem Aufbereitungsprozess für Shredderrückstände im Hochofenprozess zu begleiten. Nach den ersten Gesprächen wurde schnell klar, dass nur eine Verbreiterung der Rohstoffbasis von den Altkunststoffen aus der Shredderrückstandsaufbereitung hin zu Kunststoffen aus der Verpackungssammlung, Gewerbe- und Produktionsabfällen sowie Leichtfraktionen aus mechanisch biologischen Behandlungsanlagen eine Investition in die Einblastechnologie beim Hochofenprozess mit einer Mindestmenge von 70.000 t/a wirtschaftlich möglich macht [1].

Mit einem Entwicklungspartner auf der Rohstoffseite, der Anlagen zur thermischen Verwertung und energetischen Nutzung von Kunststoffabfällen betreibt, sowie einem auf die Aufbereitung von Shredderabfällen spezialisierten Unternehmen wurde eine neue Form des optimierten Managements von Abfallfraktionen und Sekundärrohstoffen realisiert.

Heizwertreiche Abfallfraktionen verschiedenster Herkunft werden durch Aufbereitungsprozesse zu definierten Sekundärrohstoffen und -brennstoffen mit verschiedenen Spezifikationen (z.B. hoher > 30 MJ/kg, mittlerer 20 bis 30 MJ/kg und niedriger < 20 MJ/kg Heizwert) verarbeitet, wobei jede gewonnene Fraktion an die jeweils am besten geeignete Anlage weitergegeben wird.

Im Jahr 2003 wurde im Rahmen eines UVP-Verfahrens, das hauptsächlich die Erhöhung der Stahlproduktion am Standort Linz um rund 25 % umfasste, auch die die Grundsatzgenehmigung zur Errichtung der anlagentechnischen Voraussetzungen für den Einsatz von Kunststoffen im Hochofen A sowie zur Durchführung von Betriebsversuchen erteilt. Im Jahr 2004 fanden Aufbereitungsversuche zur Bestimmung der wesentlichen Anlagenparameter statt. Die Errichtung der Einblasanlage wurde im zweiten Quartal 2006 abgeschlossen (Bild 3). Die Betriebsversuche mit 30.000 Tonnen aufbereiteten Kunststoffen wurden in der zweiten Jahreshälfte 2006 durchgeführt und im Mai 2007 die Detailgenehmigung für den Einsatz von 220.000 Tonnen Kunststoffen pro Jahr als Reduktionsmittel im Hochofenprozess erteilt.

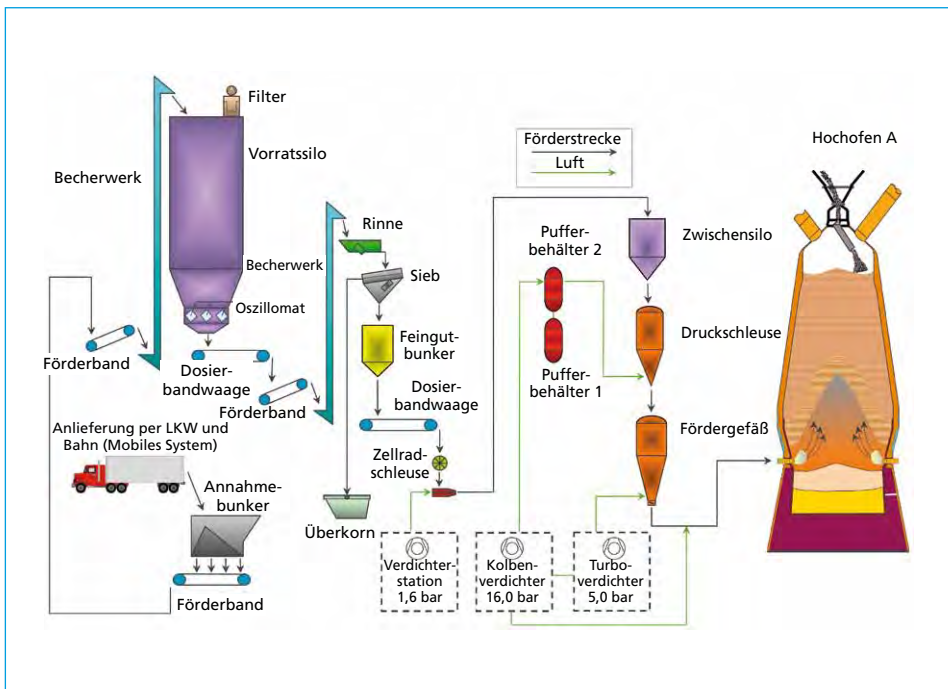


Bild 3: Anlagenschema der Kunststoffeindüsung in den Hochofen

Neben den Rahmenbedingungen auf der primär abfallpolitischen Ebene hat sich auf der umweltpolitischen Ebene das Thema CO₂ als ein Haupteinflussfaktor auf die weitere Entwicklung positioniert. Während bei der Abfallwirtschaft die CO₂-Emissionen aus der energetischen Kunststoffverwertung im nationalen Emissionshandelssystem nicht berücksichtigt wurden, erfolgte für den Einsatz der Altkunststoffe im Hochofenprozess keine CO₂-neutrale Bewertung. Mit anderen Worten, voestalpine muss auch für die Altkunststoffe einen Teil der Emissionszertifikate zukaufen.

2. Rahmenbedingungen für die Roheisenerzeugung

In den letzten zehn Jahren wurde an den beiden Hochofenstandorten Linz und Donawitz mit der Erweiterung der Einblastechnologie von Schweröl hin zu den festen Reduktionsmitteln Kohle und Kunststoff, den gasförmigen Reduktionsmitteln Erdgas und Koksofengas sowie der Erweiterung der flüssigen Reduktionsmittel mit Rohteer ein Portfolio geschaffen, das unter europäischen Hochofenbetreibern einzigartig ist. Man hat damit ein Instrument an der Hand, um flexibel auf die unberechenbaren Veränderungen hinsichtlich Verfügbarkeit und Preis auf den Rohstoffmärkten und den sich immer mehr verschärfenden Kriterien für die CO₂-Emissionen – zumindest im Zeitraum bis 2020 – reagieren zu können. Deshalb soll an dieser Stelle auch auf das Thema CO₂-Benchmark bzw. Austauschverhältnis der alternativen Reduktionsmittel im Vergleich zum Koks eingegangen werden [2].

2.1. CO₂-Benchmark

Ab dem Jahr 2013 wird in der Europäischen Union der CO₂-Emissionshandel auf eine neue Basis gestellt. In der Energiewirtschaft müssen 100 % der Emissionszertifikate ersteigert werden und in den primär emissionsrelevanten Bereichen Stahl- und Zementherstellung sowie Raffinerien erfolgt die Zuteilung von Gratiszertifikaten auf der Basis einheitlicher Benchmarks für die einzelnen Prozesse. Diese Benchmarks werden aus der CO₂-Intensität zur Herstellung der Produkte ermittelt, wobei grundsätzlich auf die 10 % effizientesten Anlagen zurückgegriffen wird. Zusätzlich wird die verfügbare Zertifikatsmenge jährlich um 1,74 % reduziert und ein Teil der Kuppelgase wird nicht dem Produktionsprozess zugerechnet, sondern wie die Stromerzeugung bewertet. So ergibt sich für den Hochofenprozess ein Emissionsfaktor von 1,328 im aktuellen Vorschlag der EU-Kommission. Obwohl voestalpine zu den europäischen Benchmarks gehört, liegt der aktuelle Emissionsfaktor mit rund 1,475 bereits jetzt um 10 % höher als der Benchmark (Bild 4).

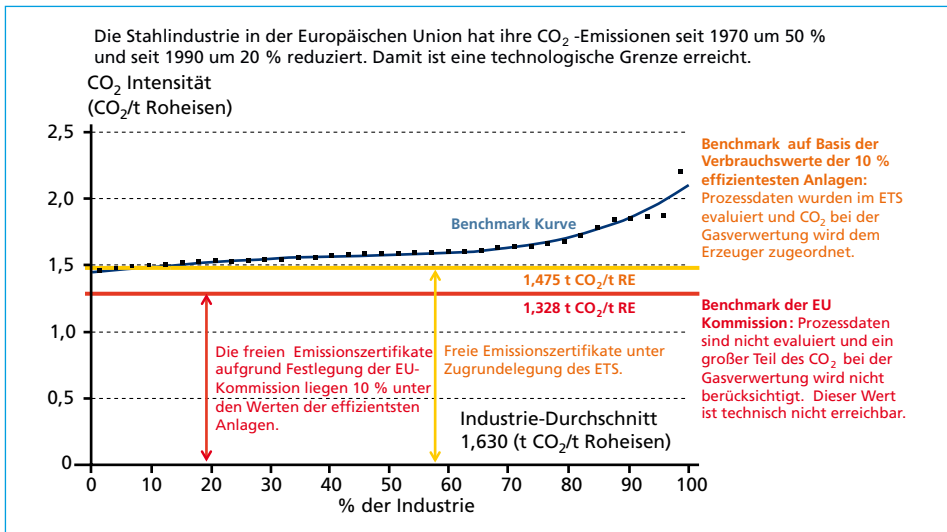


Bild 4: EU-Benchmark-System der CO₂-Intensität bei der Stahlproduktion

Bis zum Jahr 2020, wo dann die Zertifikatsmenge um 21 % unter dem Durchschnittswert der Jahre 2005 bis 2008 liegt, bedeutet das für voestalpine einen Zukauf von rund 31 % der

CO₂-Emissionszertifikate im Zeitraum 2013 bis 2020 gegenüber 6 % im Zeitraum 2008 bis 2012. Daher wird der Einsatz von CO₂-ärmeren Reduktionsmittel auch entscheidend für die Zugehörigkeit zum Benchmark sein, da das Verhältnis von Kohlenstoff und Wasserstoff im Reduktionsmittel direkt mit den CO₂-Emissionen verbunden ist. Mit steigendem Wasserstoffanteil erhöht sich aber auch der Energiebedarf für die Umsetzung in ein Reduktionsgas. Letztendlich werden diese Zusammenhänge durch das Austauschverhältnis zum Standardreduktionsmittel Koks dargestellt. Der Austausch kann allerdings nicht beliebig durchgeführt werden, da der Koks im Gegenstromreaktor Hochofen auch die Permeabilität der Schüttung in der Erweichungs- und Abschmelzzone der Eisenträger sicherstellen muss.

2.2. Austauschverhältnisse für Reduktionsmittel

Alle Hochofen in Linz wurden auf jeweils zwei Einblaslanzen für alternative Reduktionsmittel umgestellt (Bild 5). Damit ist es bei den beiden kleineren Hochofen 5 und 6 in Linz möglich, Koksofengas über beide Lanzen oder den gemischten Schweröl/Koksofengas Betrieb über jeweils eine Lanze einzustellen. Alternativ dazu können jeweils drei Lanzen für Schweröl durch Altöllanzen ersetzt werden. Nach einer grundlegenden Modernisierung u.a. mit einem neuen Gichtverschlussystem in den letzten beiden Jahren erreichen diese Gleichdruckhochofen heute eine Schmelzleistung von maximal 2.500 Tonnen pro Tag bei einem Reduktionsmittelverbrauch von 470 kg/tRE.

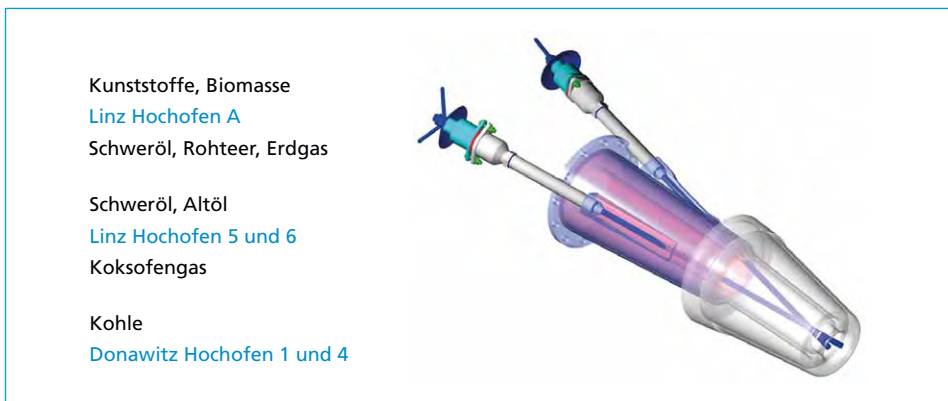


Bild 5: Lanzensystem zur Einblasung von alternativen Reduktionsmitteln in den Hochofen

Der Hochofen A wurde 2004 einer Gestellerweiterung von 10,5 auf 12 m unterzogen, mit welcher sich Schmelzleistungen bis zu 8.500 Tonnen Roheisen pro Tag erzielen lassen. Ab 2006 konnten zusätzlich zum Schweröl (bzw. Rohteer über fünf Lanzen) Kunststoffe eingedüst werden. Aufgrund der Preisentwicklung und Verfügbarkeit von Fremdkoks bzw. Schweröl wurde 2010 dann noch die Möglichkeit geschaffen, Erdgas an jeder Windform einzudüsen. Somit kann bei diesem Hochofen an jeder Windform aus 4 verschiedenen Reduktionsmittel ausgewählt werden. Hier liegt der durchschnittliche Reduktionsmittelverbrauch bei 450 bis 470 kg/tRE.

In Donawitz sind die Hochofen 1 und 4 mit einem Gestelldurchmesser von 8 m bei einer Schmelzleistung von jeweils 2.000 Tonnen Roheisen pro Tag in Betrieb. 2007 wurde der Schweröl- bzw. Erdgaseinsatz über die Windformen durch eine Kohleeinblasanlage für 150 kg/RE abgelöst. Hier liegt der durchschnittliche Reduktionsmittelverbrauch bei 470 bis 480 kg/tRE.

Die Austauschverhältnisse [3] betragen für die Reduktionsmittel über die Windformen in aufsteigender Reihenfolge 0,78 für Koksofengas, 0,81 für Kunststoff, 0,95 für Kohle, 1,11 für Erdgas und 1,17 für Schweröl bzw. Rohteer (Bild 6). Wenn man nun in der Berechnung der CO₂-Emission eines Reduktionsmittels auch das Austauschverhältnis berücksichtigt, so liegt der Wert beim Koksofengas mit 2,12 kg CO₂ deutlich unter dem Wert von Koks von 3,25 kg CO₂ pro kg Reduktionsmittel. Dem Koksofengas folgt Erdgas mit 2,44 kg, Schweröl mit 2,75 kg, Rohteer mit 2,87 kg, Kohle mit 3,03 kg und Kunststoff mit 3,17 kg. Bei letzterem muss allerdings berücksichtigt werden, dass es sich um einen Sekundärrohstoff handelt, der auch als CO₂ neutral betrachtet werden kann.

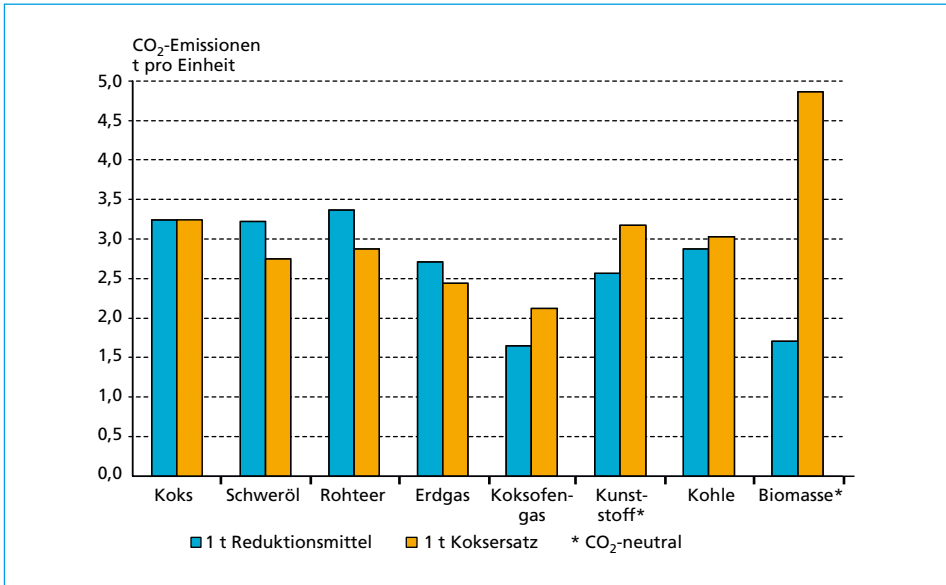


Bild 6: Austauschverhältnis und CO₂-Emissionen verschiedener Reduktionsmittel

3. Betriebserfahrungen mit Altkunststoffen

Wie hat sich nun das Projekt Altkunststoffe seit den Betriebsversuchen 2006 und der Aufnahme des Dauerbetriebs im Jahr 2007 entwickelt? Die ursprünglich geplante Versorgung über zwei Aufbereitungsanlagen in Österreich wurde durch eine Multi-Sourcing-Strategie unter Einbindung von Unternehmen aus dem europäischen Umfeld ersetzt, da durch verschiedene genehmigungsrechtliche, technische und unternehmenspolitische Probleme eine alleinige Versorgung der voestalpine mit zumindest 70.000 Jahrestonnen nicht dargestellt werden konnte.

3.1. Rohstoffquellen

Mit rund 70.000 Tonnen Kunststoffen im Jahr 2008, dem zweiten Jahr des Dauerbetriebs wurde die geplante Menge für die erste Ausbaustufe der Einblasanlage, die zwei Lagersilos zu jeweils 800 m³ Fassungsvermögen und eine einfache Abscheidung für große Störstoffe umfasste, erreicht. Nach einem leichten Rückgang der Einsatzmenge im Jahr 2009 aufgrund eines mit Ausnahme in China weltweiten Rückgangs der Stahlproduktion wurde das geplante Niveau im Jahr 2010 wieder erreicht (Bild 7).

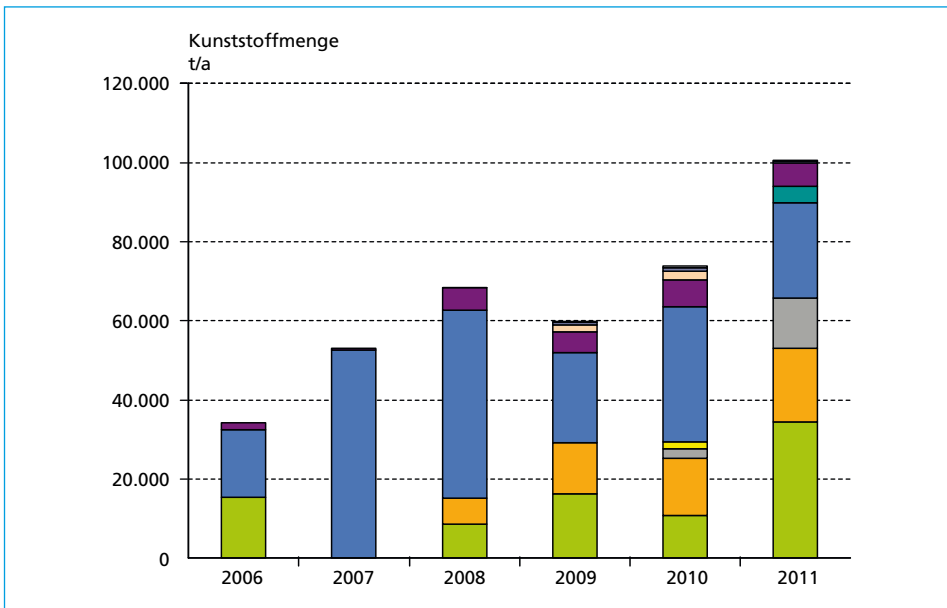


Bild 7: Entwicklung der bei voestalpine eingesetzten Kunststoffmengen

Die Darstellung zeigt aber auch eine Auffächerung der Rohstoffquellen (dargestellt durch die Farbbalken), die erhöhte Anforderungen an die Siebtechnik mit sich brachte. Aufgrund des Durchmessers der Förderleitung von 25 mm ist die Einhaltung der Produktabmessungen der entscheidende Faktor für einen störungsfreien Betrieb. Die Sekundärrohstoffe müssen in einem Kornband von 0 bis 10 mm liegen und werden pneumatisch über 32 Förderleitungen und Einblaslanzen in die Vergasungszone des Hochofens befördert, wo sie in einem Zeitraum von etwa 20 ms und bei Temperaturen von 2.300 °C zu Kohlenmonoxid, Wasserstoff und Kohlenstoff umgesetzt werden und so am Schmelzreduktionsprozess der Eisenoxide teilnehmen.

Die ursprüngliche Projektplanung mit der Fokussierung auf zwei Aufbereitungsanlagen sah die Verantwortung der Qualitätssicherung – chemische Analyse und Produktabmessungen – bei den Aufbereitungsanlagen. Mit der Multi-Sourcing-Strategie musste jedoch dieses Konzept überarbeitet werden. 2009 wurde die Entscheidung für eine zweite Ausbaustufe mit drei weiteren Lagersilos und einer komplexeren Siebtechnik getroffen, die Anfang 2010 und 2011 in Betrieb gingen.

Die Kunststoffe werden sortenrein oder zumindest nach ähnlichen Herstellparametern in einen der 5 Silos mit jeweils 800 m³ eingelagert, die Zusammenstellung der Mischung erfolgt über Dosierbandwagen, die unter dem Oszillomat-Austragesystem von Geroldinger angeordnet sind. Erst danach gelangt die fertige Mischung zur Siebung. Mit der neuen 3-D-Siebtechartechnik von IFE kann nun gesichert jede Kornform, die in einer der räumlichen Achsen über 10 mm aufweist, gezielt ausgeschieden werden.

3.2. Prozessdaten

Im Hochofen A werden heute bis zu 110.000 Tonnen Kunststoffe als Reduktionsmittel eingesetzt. Dies entspricht bei diesem Hochofen einer Menge bis 50 kg/tRE (Bild 8). In der Darstellung zeigt sich auch deutlich das Austauschverhältnis zum Schweröl und damit der Substitutionsgrad der Primärrohstoffe.

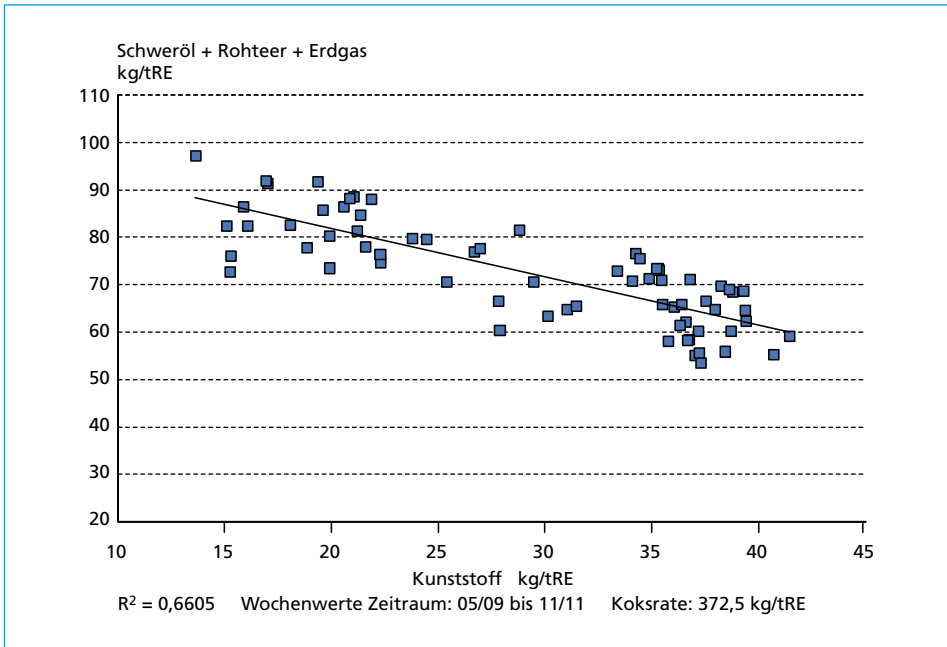


Bild 8: Reduktionsmitteleinsatz im Hochofenprozess

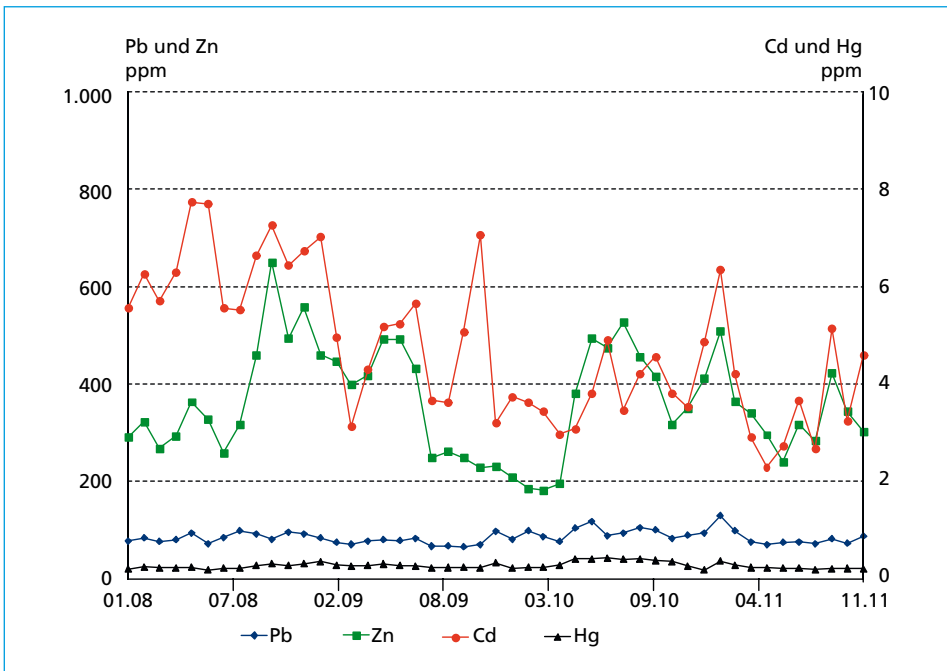


Bild 9: Schwermetall-Analyse der Kunststoffmischung

Die Thermodynamik und Metallurgie des Hochofenprozesses konzentrieren die in den Kunststoffen enthaltenen Schadstoffe in Outputströmen. Voraussetzung für die behördliche Genehmigung war die Verpflichtung zu einer Inputlimitierung der Spurenelemente u.a. von Zn, Pb, Cd, Hg in der Mischung, einem weltweit einzigartigen Staubgrenzwert im Reingichtgas von 1 mg/m^3 als Tagesmittelwert (Bild 9) und einer umfangreichen jährlichen Stoffflussanalyse für die oben angeführten Elemente. Die Stoffflussanalyse beschreibt den Produktionsprozess und zeigt auf, wie der betrachtete Stoff in unterschiedlichen Gütern transportiert wird.

Die Stoffflussanalyse steht für die objektive und systematische Beurteilung der Produktionsprozesse, optimale Nutzung der Primär- und Sekundärrohstoffe, Entscheidungsgrundlage für prozesstechnische Maßnahmen sowie Datenplausibilität bei Simulationsrechnungen. Das Instrument für diese Aufgabenstellungen ist STAN.

STAN steht für subSTance flow ANalysis und ist eine Entwicklung des Instituts für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft der TU Wien [4]. Die Darstellungen stellen eine stark komprimierte Form der Stoffflüsse im Produktionsprozess dar. Ausgangsbasis sind 97 Input- und 58 Outputströme, denen rund 90.000 Analysedaten pro Jahr zugeordnet werden. Neben den Elementen Zn, Pb, Cd und Hg erfolgt das Monitoring auch für S, Cr und Ni.

Das Ergebnis ist eine jährliche Stoffflussanalyse aus 1.250 Jahresdaten für den Standort Linz, die die Basis für Optimierung der Produktqualität, bestmögliche Rohstoffnutzung, Emissionsminimierung und Schadstoffausschleusung in geeigneten Senken ist (Bild 10). Alle umweltrelevanten Entscheidungen (Neuinvestitionen, Emissionsprognose, Diskussion mit NGO's) sind davon betroffen. Damit ist das Ziel einer nachhaltigen, ökologischen und ökonomischen Prozessführung erreicht.

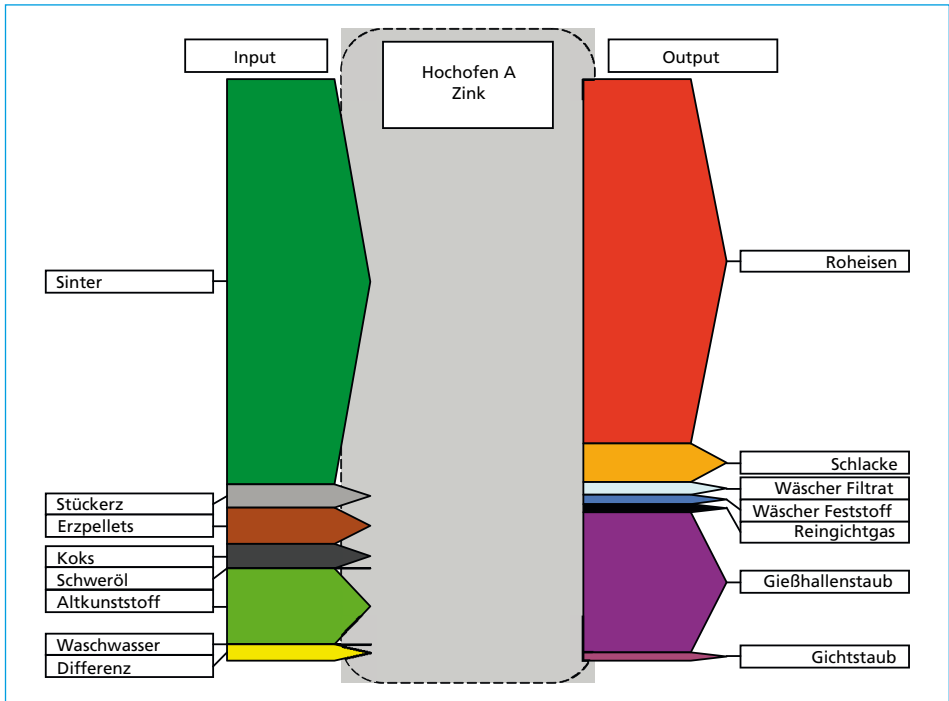


Bild 10: Stoffflussanalyse von Zink im Hochofenprozess

4. Resümee

Im Hochofen A der voestalpine Stahl GmbH werden heute bis zu 110.000 Tonnen Kunststoffe als Reduktionsmittel eingesetzt. Dies entspricht bei diesem Hochofen, der unter den zehn größten Hochöfen der EU 27 liegt, einer Menge bis 50 kg/tRE. Diese Menge liegt zwar unter der ursprünglichen Idee von 220.000 Jahrestonnen, aber die Rahmenbedingungen heute sind nicht mehr mit denen vor zehn Jahren vergleichbar. Während der Projektlaufzeit ist das Thema CO₂ zum dominierenden Einflussfaktor geworden, bei dem 2008 und 2013 die gesetzlichen Rahmenbedingungen verändert werden. Dazu haben Unsicherheiten vor allem in der nationalen Abfallgesetzgebung und Einstufung des Verfahrens das Projekt von Anfang an begleitet und mehr oder weniger stark beeinflusst. Trotz aller dieser Einflüsse setzt voestalpine beim Recycling von Kunststoffen und dem Einsatz von bis zu sieben verschiedenen alternativen Reduktionsmitteln beim Hochofenprozess einen weltweiten Benchmark. Damit wird der Begriff *Urban Mining* zur Realität. Der Hochofenprozess hat weiters den höchsten Ressourceneinspareffekt im Vergleich unterschiedlicher Verwertungsverfahren für Mischkunststoffe [1].

5. Literaturverzeichnis

- [1] Bürgler, T.; Habermann, A.; Hehn, B.; Mitterbauer, H.: Stoffströme aus der Shredderrückstandsaufbereitung für die rohstoffliche und werkstoffliche Verwertung - Erfahrungen aus dem industriellen Betrieb. In: Thomé-Kozmiensky, K.J.; Goldmann, D.: (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, Seite 519-531
- [2] Bürgler, T.; Schuster, S.; Nograth, H.; Ferstl, A.; G.; Pillmair, G.; Schuster, E.: Portfolio of reducing agents for CO₂ lean ironmaking at voestalpine. METEC InSteelCon 2011, EECR Steel 2011
- [3] Huang, F.; Jason, R.: Calculation of Coke Replacement Ratio. The Iron & Steel Technology Conference and Exhibition AISTech 2007, May 7-10, 2007, Indianapolis (Indiana), USA
- [4] <http://iwr.tuwien.ac.at/resources/downloads/stan.html>