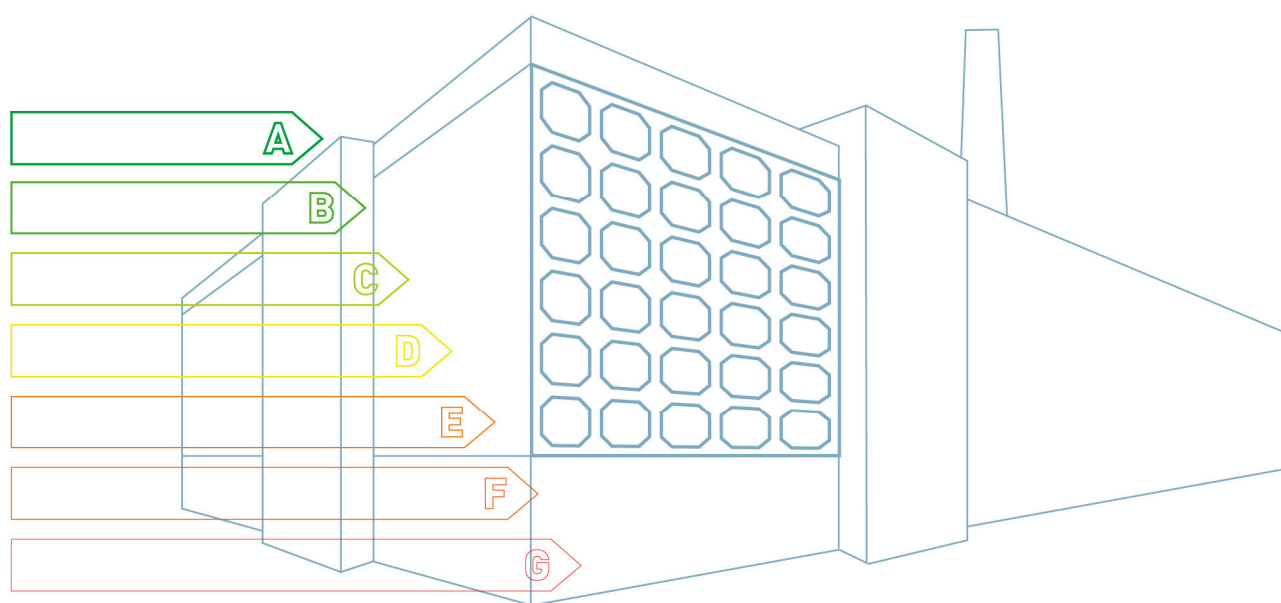




Primärressourcen-minimierte Roheisenproduktion



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Neue Energien 2020“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A handwritten signature in black ink, reading 'Theresia Vogel'.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink, reading 'Ingmar Höbarth'.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

NEUE ENERGIEN 2020

Publizierbarer Endbericht – INDEX

Programmsteuerung:

Klima- und Energiefonds

Programmabwicklung:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

1. Einleitung

Im Hochofenprozess wird Roheisen durch Schmelzreduktion aus Eisenoxiden gewonnen. Die Reduktion erfolgt hauptsächlich durch Kohlenmonoxid und zu einem kleinen Teil durch Wasserstoff. Die Reduktionsmittel werden aus Kohlenwasserstoffen (z.B. Koks und Schweröl) durch Vergasung mit Sauerstoff gebildet. Der Vergasungsvorgang liefert zusätzlich die für den Prozess benötigte Energie.

Das thermodynamische Minimum an Kohlenstoff beträgt bei der Betrachtung eines „idealen“ Hochofenprozess 374 kg pro Tonne Roheisen. Mittlerweile kann unter realen Prozessbedingungen ein Kohlenstoffbedarf von 400 kg pro Tonne Roheisen erzielt werden. Den Vorsprung in der Prozesstechnologie verdeutlicht ein Vergleich mit dem Weltdurchschnitt, der bei 490 kg pro Tonne Roheisen liegt. Dieser annähernd ideale Betriebszustand markiert eine prozesstechnische Grenze. Eine weitere signifikante Absenkung des Kohlenstoffverbrauchs ist unter gegebenen Voraussetzungen und Bedingungen nicht möglich.

Die Substitution von Primärrohstoffen als Kohlenstoffträger im Hochofenprozess durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen und nachwachsende Rohstoffe in der Form von Biomasse beschreiben einen zukunftsweisenden Weg zur Reduktion des Verbrauchs fossiler Energieträger, nachhaltiger Produktion und globalem Klimaschutz.

Im Vergleich zur Verbrennung, wo nur Wärme und CO₂ gebildet werden, wird im Hochofen Kohlenstoff zu Kohlenmonoxid vergast, das den größten Teil der Reduktionsarbeit leistet.

Kohlenwasserstoffhaltige Reststoffe und Biomasse sind damit wertvolle Rohstoffe, die nicht nur zur Erzeugung von Energie sondern auch zur Erzeugung eines Produktes genutzt werden können. Ein

wesentlicher Vorteil des Einsatzes von Biomasse in der Roheisenerzeugung wäre die CO₂- Neutralität dieses Einsatzstoffes, was bedeutet, dass die CO₂-Bilanz des Prozesses verbessert wird.

Die Eindüsung von Kohle, Schweröl, Erdgas oder anderer kohlenwasserstoffhaltiger Gase in den Hochofen ist Stand der Technik und dient zur Kokseinsparung und Betriebskostensenkung. Es existieren Pilotanlagen zur Eindüsung von einigen speziellen Altkunststofffraktionen oder auch Altölen. Die Ausweitung auf ein breites Spektrum von Altkunststofffraktionen oder die Erweiterung des Einsatzes auf andere kohlenwasserstoffhaltige Reststoffe im großtechnischen Maßstab zur Erzielung einer hohen Substitutionsrate von Koks und Schweröl sind neuartig ebenso wie ein Einsatz von Biomasse als Reduktionsmittel im großtechnischen Maßstab.

Ziel des Projekts PRIMINREP war einerseits die Verfügbarkeit von Reststoffen und Abfällen, die für einen Einsatz als Ersatzreduktionsmittel in der Roheisenerzeugung geeignet sind, abzuschätzen. Andererseits die Aufbereitung und Behandlung dieser festen Sekundärstoffe soweit weiter zu entwickeln, dass diese für eine Eindüsung in den Hochofen geeignet sind. Schließlich wurde durch Betriebsversuche das Eindüsen von aufbereiteten Sekundärrohstoffen wie Kunststoff optimiert und ein Einsatz von Biomasse mit der vorhandenen Einblasanlage getestet.

2. Inhaltliche Darstellung

Durch eine beachtliche Senkung des Reduktionsmittelverbrauchs in den letzten Jahrzehnten nähern sich moderne Hochöfen mittlerweile dem thermodynamischen (theoretischen) Minimum an Kohlenstoffbedarf. Dieser annähernd ideale Betriebszustand markiert eine prozesstechnische Grenze. Für eine weitere signifikante Absenkung des primären Kohlenstoffverbrauchs muss die Seite der Einsatzstoffe betrachtet werden.

Im Rahmen von Energie der Zukunft im Projekt „CO₂- minimierte Roheisenproduktion“ wurde die Verwendung von LRI und Substitution konventioneller Eisenträger im Hochofenprozess untersucht und ein möglicher Weg beschritten, den Kohlenstoffverbrauch durch den Einsatz von vorreduziertem Material weiter abzusenken und die prozessbedingten CO₂- Emissionen zu reduzieren. Vergleichend und ergänzend dazu, auch aus der Notwendigkeit einer ganzheitlichen Betrachtung heraus, wurde im Rahmen von PRIMINREP nun ein weiterer zukunftsweisender Weg beschritten, Kohlenstoff aus

primären Ressourcen (Koks, Schweröl) einzusparen und durch Kohlenwasserstoffe aus nachwachsenden Rohstoffe bzw. Sekundärrohstoffen zu ersetzen.

Durch eine Verwertung von Sekundärrohstoffen (z.B. Altkunststoffe) im Hochofen werden die Treibhausgasemissionen eingespart, die bei einer Deponierung oder Beseitigung dieser Stoffe entstehen. Es handelt sich um unmittelbare Maßnahmen zum globalen Klima- und Umweltschutz, einen Schritt weiter zur nachhaltigen Produktion am Standort und zur Senkung des Verbrauchs an fossilen Energieträgern. Der Einsatz von Biomasse in der Roheisenerzeugung bewirkt eine Verbesserung der CO₂- Bilanz des Hochofenprozesses.

Mit Erteilung der Genehmigung im Jahre 2007 kann die voestalpine Stahl GmbH bis zu 220.000 Tonnen pro Jahr aufbereitete Altkunststoffe am Standort Linz im Hochofen A als Ersatzreduktionsmittel einsetzen. Dies entspricht mehr als einem Drittel der jährlich in Österreich anfallenden Gesamtmenge an Altkunststoffen, wobei die Materialien aus der Aufbereitung von Gewerbe-, Produktions-, Verpackungs- und Hausabfällen stammen. Ein weiterer Materialstrom wird als Produkt in der Aufbereitung der Shredderleichtfraktion gewonnen. In einem Fahrzeug entfallen durchschnittlich bis zu drei Viertel der verwendeten Materialien auf Stahl sowie jeweils etwa 10 – 15% auf andere metallische Werkstoffe sowie auf Kunststoffe. Die EU- Altautorichtlinie verpflichtet die Automobilhersteller bis 2015, mindestens 95% der in einem Altauto enthaltenen Werkstoffe wiederzuverwerten. Von diesen 95% müssen mindestens 85% rohstofflich und werkstofflich genutzt werden. Durch die Kunststoffeindüsung am Hochofen A können im Produktionsprozess der Stahlherstellung nicht nur der Stahl selbst sondern auch die Kunststoffe eines Altautos stofflich verwertet werden.

Das Anlagenschema der Kunststoffeindüsung am Hochofen A ist in Abbildung 1 dargestellt.

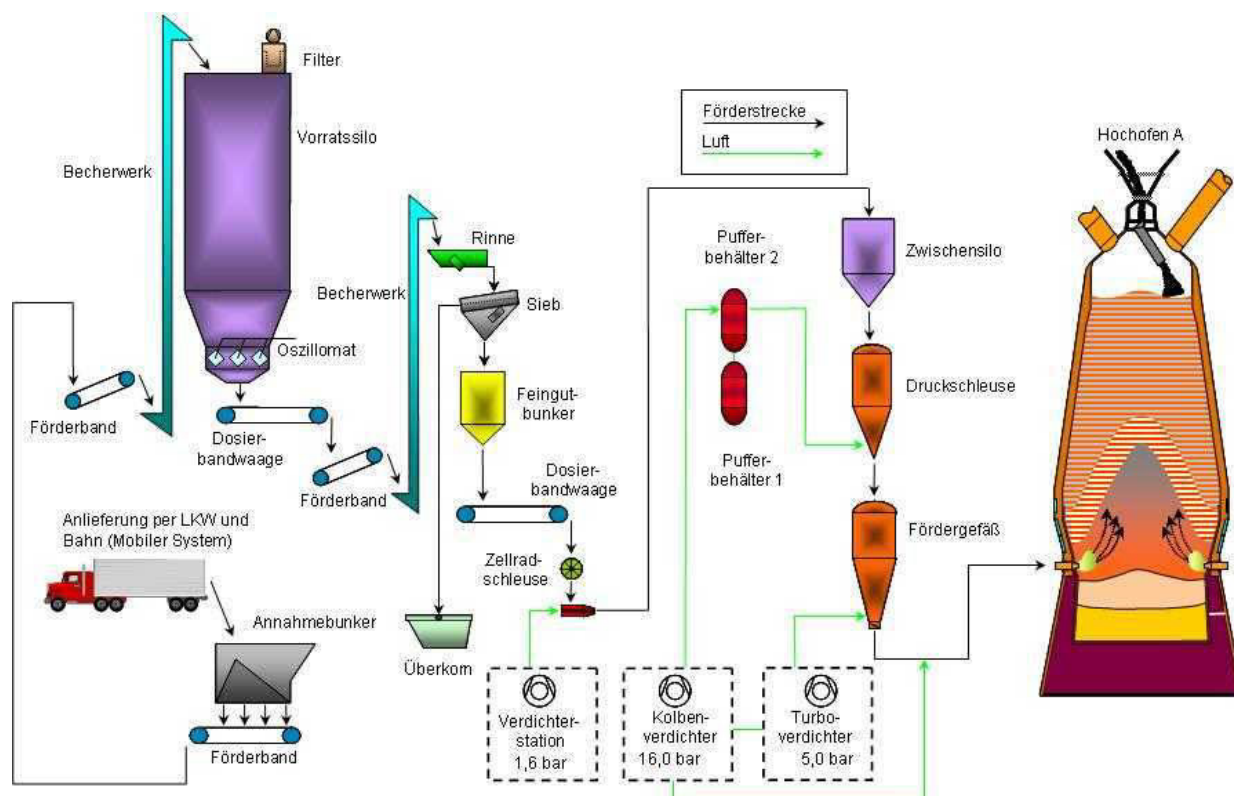


Abbildung 1: Anlagenschema Kunststoffeindüsung Hochofen A

3. Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Im Rahmen dieses Projektes wurde ein Mengenpotenzial von Kunststoffabfällen in Österreich abgeschätzt. Basierend auf der Ermittlung der Kunststoffabfallmengen wurde das Potenzial zur Erzeugung von Ersatzreduktionsmitteln aus Kunststoffabfällen in Abhängigkeit unterschiedlicher abfallwirtschaftlicher Rahmenbedingungen ermittelt.

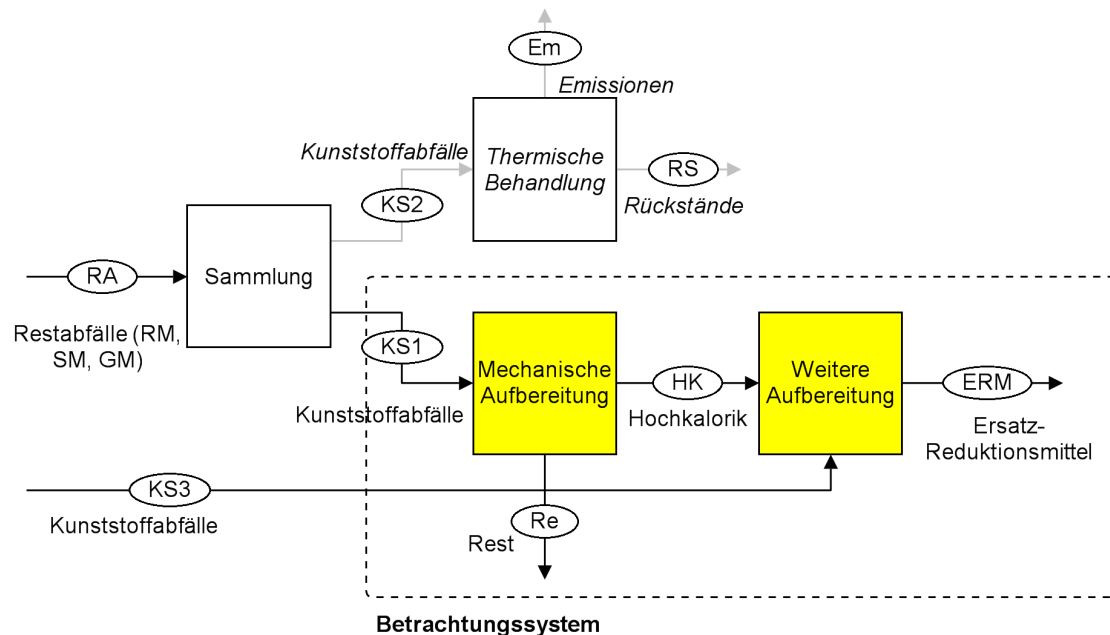


Abbildung 2: Schematische Abgrenzung des Betrachtungssystems zur Abschätzung von Mengenpotenzialen für Ersatzreduktionsmittel

Die Szenario basierten Abschätzungen ergaben ein Minimalpotential von 100.000 Tonnen Ersatzreduktionsmittel unter der Annahme niedriger Kunststoffabfallmengen mit den bestehenden Behandlungskapazitäten für die Aufbereitung von Restmüll, Gewerbemüll und Sperrmüll und bei Bevorzugung anderer Kunststoffverwertungswege. Geht man von realitätsnahen Annahmen (derzeitige Behandlungskapazitäten, Kombination unterschiedlicher Kunststoffverwertungsoptionen) aus, ergeben sich Ersatzreduktionsmittelpotenziale im Bereich von etwas unter 200.000 Tonnen pro Jahr. Die Potenzialabschätzungen illustrieren die mögliche Bandbreite zur Erzeugung von Ersatzreduktionsmitteln aus Kunststoffabfällen und ermöglichen die Verknüpfung von Bewirtschaftungsstrategien mit zu erwartenden Produktionspotenzialen.

Aufbereitung von Ersatzreduktionsmitteln

Um eine entsprechende Nutzungsmöglichkeit der Sekundärrohstoffe zu gewährleisten, ist eine entsprechende Aufbereitung dieser Stoffe notwendig. Interessante Reststoffströme finden sich dabei als Output industrieller Herstellprozesse oder als Ergebnis mechanisch-biologischer Abfallbehandlung (heizwertreiche Fraktionen). Bei der Einbringung beschriebener Stoffströme muss gesichert sein, dass der Eintrag von Schadstoffen (z.B.: Pb, Cd, Hg, Zn, Cr, Ni) in den Hochofenprozess minimiert wird. Ersatzreduktionsmittel haben hohe Anforderungen hinsichtlich der Qualität der Produkte. Dazu ist eine entsprechende Aufbereitung der in Betracht gezogenen Reststoffströme notwendig. Die jeweiligen Materialien werden z.B. zu Pellets, Agglomerat oder Granulat weiterverarbeitet. Dabei

sind definierte geometrische Formen und Partikelgrößen und -verteilungen unbedingt erforderlich. Neben der Erfüllung der physikalischen Spezifikationen ist auch die chemische Spezifikation für den Hochofeneinsatz eine wesentliche Herausforderung, die einen erheblichen Aufwand an verfahrenstechnischer Entwicklungsarbeit benötigt.

Für die Nutzung von Biomasse in der Roheisenproduktion der voestalpine Stahl GmbH ist die Aufbereitung der Biomasse zu eindüsfähigen Produkten ein wichtiges Kriterium, da die Einsatzmittel pneumatisch in den Hochofen gefördert werden.

Für die bestehende Anlage zur Eindüsung von Altkunststoffen in den Hochofen A gibt es eine Spezifikation für die chemischen und physikalischen Eigenschaften der einzublasenden Materialien. Diese Spezifikation wird als Grundlage zur Charakterisierung alternativer Ersatzreduktionsmittel wie beispielsweise der Biomasse herangezogen.

Aufgrund der Durchmesser der Förderleitungen und der Einblaslanzen dürfen die eingesetzten Materialien gemäß dieser Spezifikation eine maximale Länge von 10 mm aufweisen. Dabei handelt es sich um einen betrieblichen Erfahrungswert, um Probleme an der Anlage durch Stopfer zu vermeiden.

Mit der bestehenden Anlage wurden Betriebsversuche mit aufbereiteter Biomasse unter Einhaltung der Grenzwerte für die chemische Zusammensetzung gemäß UVP-Bescheid durchgeführt. Der Einsatz von Biomasse im Hochofen ist auf holzartige Biomasse beschränkt, da schnell wachsende Rohstoffe (z.B. Gräser, Stroh, etc.) vergleichsweise hohe Alkalienfrachten aufweisen und daher nicht in Frage kommen.

Es wurden ein 100t Tastversuch mit Pellets C und ein 1.000t Betriebsversuch mit Pellets D durchgeführt. Die dazugehörigen chemischen Analysen sind in Tabelle 1 angeführt.

Tabelle 1: Chemische Analyse Biomasse Pellets

Bezeichnung		Pellets C	Pellets D
Durchmesser	[mm]	6	6
Wassergehalt	[%]	8,9	5,46
Asche	[%]	0,42	2,54
Heizwert Hu	[kJ/kg TS]	19.012	18.450
Kohlenstoff	[%]	50,64	49,09
Wasserstoff	[%]	6,03	5,86
Stickstoff	[%]	0,15	1,75
Schwefel	[%]	0,01	0,02
Arsen	[mg/kg]	<1	<1
Blei	[mg/kg]	<1	53
Cadmium	[mg/kg]	<0,5	0,3
Chrom ges.	[mg/kg]	3	22
Kupfer	[mg/kg]	2	22
Nickel	[mg/kg]	1	11
Zink	[mg/kg]	9	139
Chlor	[%]	0,013	0,066

Eindüsung von aufbereiteten Sekundärrohstoffen und Biomasse in den Hochofen

Für den ersten Tastversuch wurden rund 100 Tonnen Biomasse Pellets in Mischung mit aufbereiteten Altkunststofffraktionen (70% Biomasse und 30% Kunststoff) über die Kunststoffeinblasanlage mit einer Einblasrate von 15 kg/t RE in den Hochofen eingedüst.

Aufgrund der geringe Versuchsmenge und der damit verbundenen kurzen Versuchsdauer (17h) konnten keine Aussagen über die chemisch- metallurgischen Einflüsse auf den Hochofenprozess getroffen werden, jedoch aber das Förderverhalten und die Auswirkungen auf die gesamte Anlagentechnik untersucht werden.

Die Eindüsung von Altkunststoffen in den Hochofen ist im verfahrenstechnischen Sinn eine pneumatische Förderung von inhomogenen Feststoffen. Durch die unregelmäßige Kornform sowie Störstoffe treten immer wieder Stopfer in den Rohrleitungen und Lanzen auf. Diese werden entweder durch eine vollautomatisierte Stopferbekämpfung (Druckstöße) oder manuell behoben. Abbildung 3 zeigt die Anzahl der Stopfer vor, während und nach dem Versuch.

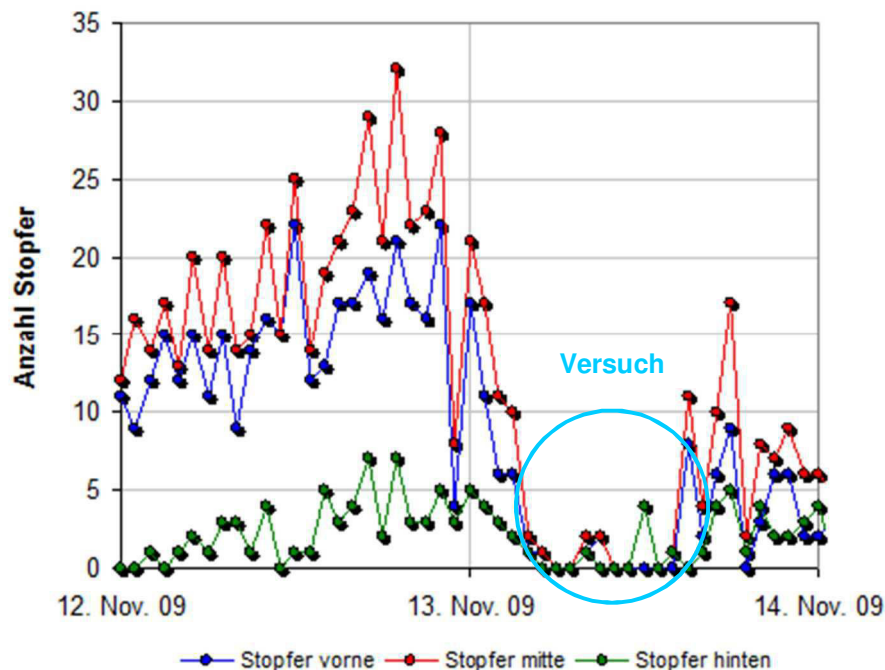


Abbildung 3: Anzahl Stopfer Tastversuch

Während des Versuchsbetriebs mit der Mischung aus Biomasse Pellets und Altkunststoff konnte ein signifikanter Rückgang der Anzahl der Stopfer in den Förderleitungen beobachtet werden. Es ist anzunehmen, dass die definierte und homogene Kornform zur Verbesserung beiträgt. Die Biomasse Pellets mussten bereits im Vorfeld beim Hersteller aufwändig aufbereitet werden, um die Produktspezifikation als Ersatzreduktionsmittel zu erfüllen. Das Förderverhalten in der Anlage kann auf Basis dieses Versuchs als positiv und vorteilhaft für den gesamten Betrieb beurteilt werden.

Zur Untersuchung der chemisch- metallurgischen Einflüsse dieses Materials wurde ein Versuch in einem größeren Maßstab von 1.000 t und einem Einsatz über mehrere Tage mit einer Mischung aus 50% Biomasse und 50% Altkunststoffen durchgeführt.

Die mittlere spezifische Einblasrate während des Betriebsversuches war mit 42 kg/t Roheisen höher als in der Referenzphase 1 (33 kg/t RE) und Referenzphase 2 (36 kg/t RE).

Durch die homogene Kornform der Biomassepellets <10 mm konnte, wie bereits in den Tastversuchen beobachtet, das Förderverhalten der Feststoffmischung deutlich verbessert werden. In den Referenzperioden vor und nach dem Betriebsversuch wurden pro 1.000 kg geförderten und eingedüsten Kunststoff circa 2 Stopfer aufgezeichnet. Diese Kennzahl verringerte sich im Zeitraum während des Betriebsversuches im Mittel auf nur 1,2 Stopfer pro 1.000 kg Feststoff (Kunststoff + Biomasse) (vgl. Abbildung 4).

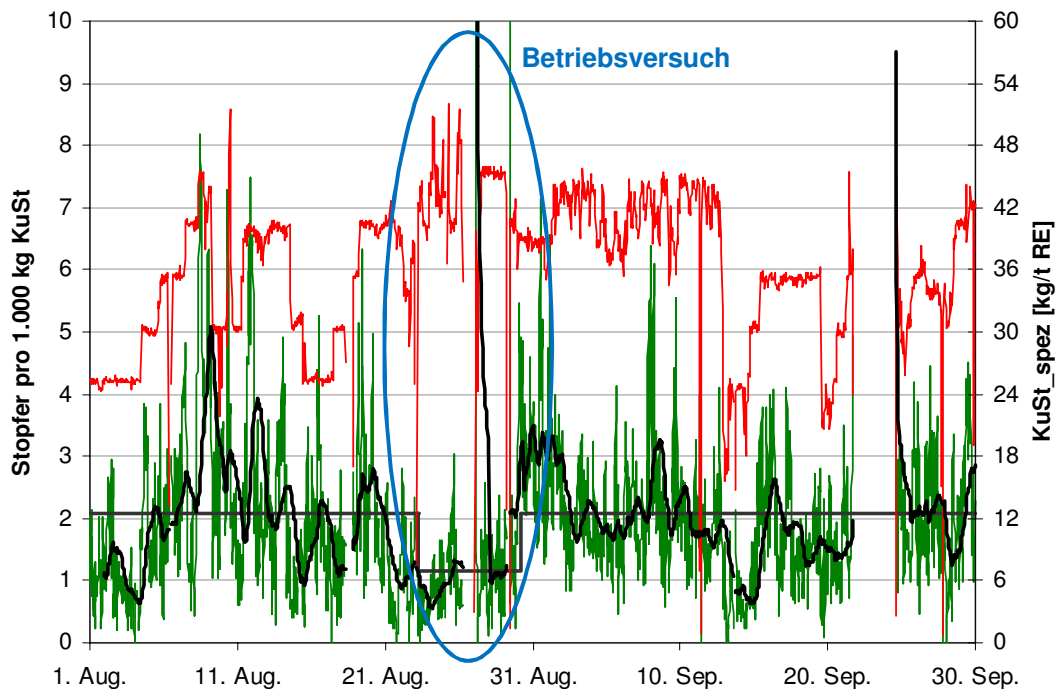


Abbildung 4: Spezifische Einblasrate vs. Stopfer pro 1.000 kg Feststoff

Eine Auswertung der relevanten Prozessdaten zeigte keine relevanten metallurgischen und verfahrenstechnischen Auswirkungen durch den Einsatz von 20 kg/t RE Biomasse im Hochofen. Jedoch haben die Ergebnisse des Betriebsversuches ergeben, dass aus heutiger Sicht der Einsatz von Biomasse als Ersatzreduktionsmittel im Hochofen aus wirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkten derzeit nicht sinnvoll ist. Es wurden die durchschnittlichen Austauschfaktoren für Biomasse und für eine durchschnittliche Mischung aus Biomasse und Altkunststoffen mittels Modellrechnung nach Huang et al. ermittelt. Dabei ergab sich für Biomasse Pellets ein theoretischer Austauschfaktor zu Koks von nur 0,35. Für die durchschnittliche Mischung betrug dieser 0,59. Durch den Einsatz von Biomasse in der Kunststoffmischung werden die energetischen Eigenschaften des eingedüsten Feststoffes verändert. Der Kohlenstoff- und Wasserstoffgehalt und Heizwert der Mischung werden verringert, der Energieeintrag und der Austauschfaktor sind dadurch geringer als in den Referenzphasen.

Der Zusammenhang zwischen Heizwert H_u und theoretischem Austauschfaktor kann für feste Ersatzreduktionsmittel (Kunststoffe, Biomasse und Mischungen aus beiden) durch eine lineare Abhängigkeit beschrieben werden. Wie in Abbildung 5 zu sehen ist, nimmt der Austauschfaktor mit zunehmendem Energiegehalt des Feststoffes zu.

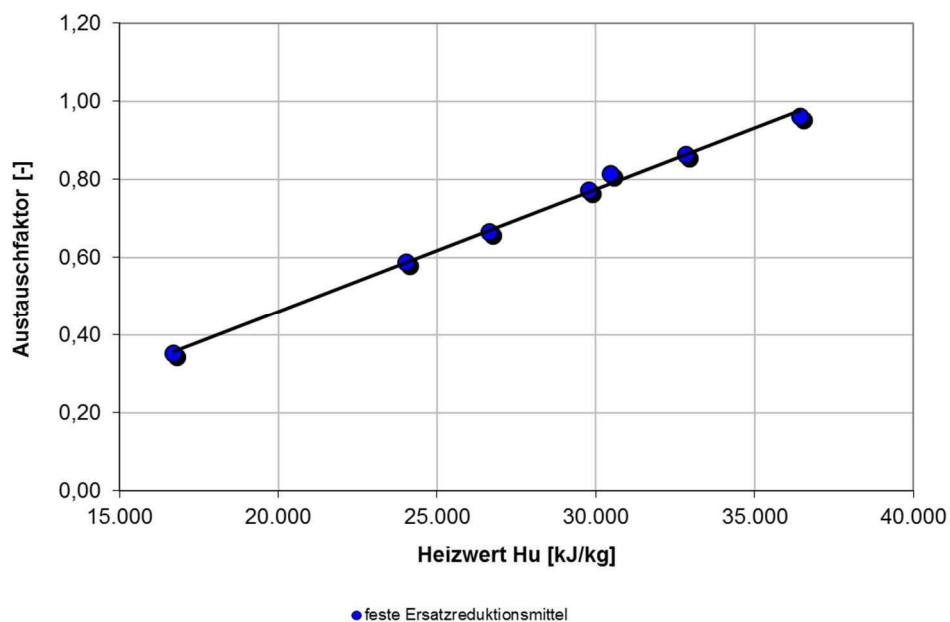


Abbildung 5: Austauschfaktor in Abhängigkeit vom Heizwert

Stoffstromanalyse

Abschließend wurde in diesem Projekt eine Stoffstromanalyse für den gesamten Hochofenprozess durchgeführt. Dabei wurden insbesondere die umwelt- und prozessrelevanten Stoffe Cadmium, Chrom, Quecksilber, Schwefel, Blei, Nickel und Zink betrachtet.

Die Stoffflussanalyse wurde mit Hilfe des Softwaretools STAN modelliert. In folgender Abbildung 6 ist das verwendete vereinfachte Modell des Hochofens A für die Bilanzierung dargestellt.

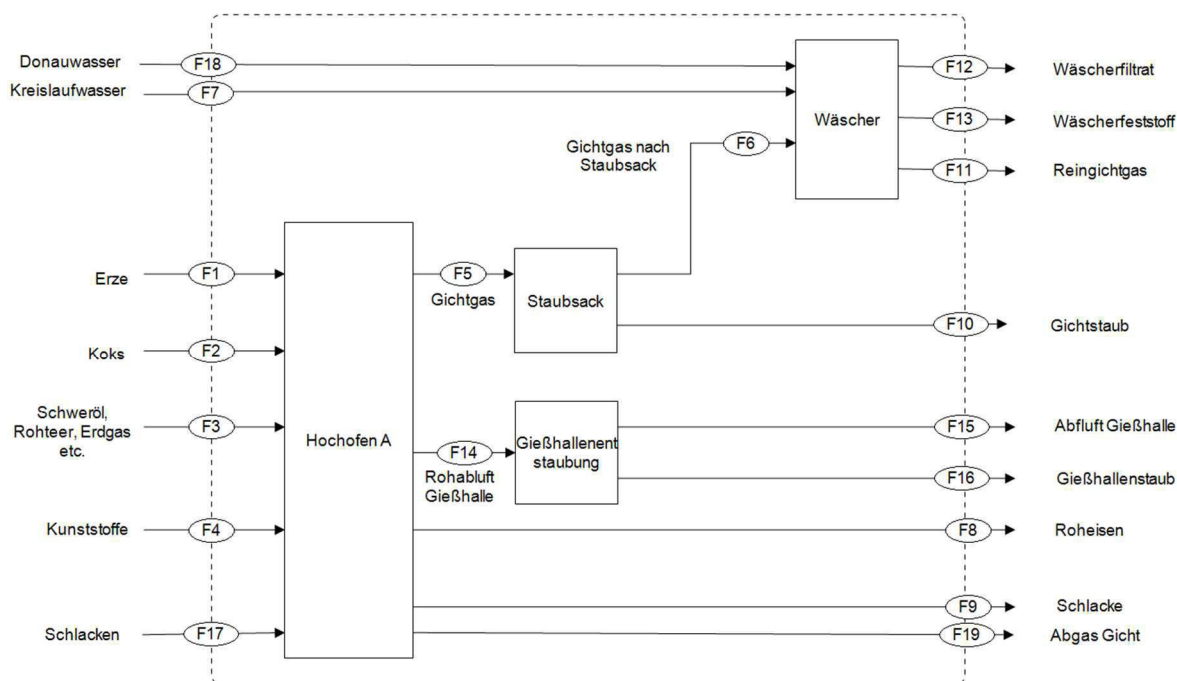


Abbildung 6: Vereinfachtes Modell Hochofen A

Abbildung 7 zeigt beispielsweise die Bilanzierung für einen Stofffluss:

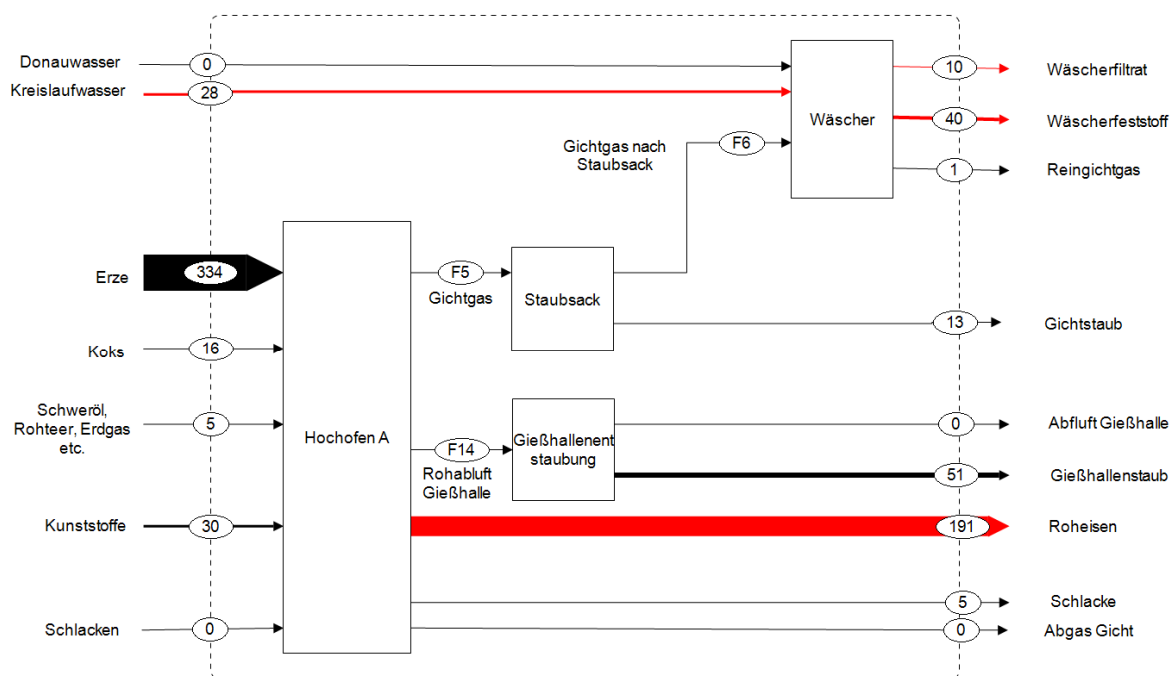


Abbildung 7: Stofffluss Hochofen A (t/a)

Ziel der Stoffstromanalyse war es neben der Beschreibung des Status Quo auch den Probenahme- und Analysenumfang inputseitig zu reduzieren. Es soll möglich sein anhand der Stoffkonzentrationen bestimmter Outputgüter (z.B. Gas, Staub, Abwasser), die regelmäßig beprobt und analysiert werden, und ermittelter Transferkoeffizienten auf die Stoffkonzentrationen der Inputgüter (z.B. Kreislaufwasser, Rinne HOA – Wäscherfiltrat, Wäscherfeststoff und auch Kunststoff) rückzurechnen. Dafür müssen mittels Sensitivitätsanalysen, die am besten geeigneten Outputgüter bestimmt werden.

Für eine vollständige ausgleichende Bilanzierung aller Komponenten des gesamten Hochofen A Prozesses muss das System noch besser validiert werden, um einen zu großen Ausgleich einzelner Flüsse zu vermeiden.

Diese weiterführenden Fragestellungen werden im Zuge eines neuen Projekts im CD- Labor für „Anthropogene Ressourcen“ an der Technischen Universität Wien behandelt.

4. Ausblick und Empfehlungen

Die Einsetzbarkeit von alternativen Reduktionsmitteln zur Eindüsung in den Hochofen A wurde bestätigt. Die direkte Eindüsung von Biomasse als Ersatzreduktionsmittel in den Hochofen hat sich aus technischen und wirtschaftlichen Gründen als nicht sinnvoll erwiesen. In einem neuen Forschungsprojekt sollen nun alternative Konzepte zur Nutzung von Biomasse in einem integrierten Hüttenwerk untersucht werden. Eine Möglichkeit ist beispielsweise die Vergasung von Biomasse zur Herstellung es Reduktionsgases beziehungsweise Produktgases zur Substitution von Erdgas. Diese Aufgabenstellung wird im Zuge des Forschungsprojekts „ERBA – Erzeugung eines Produktgases aus Biomassereformierung mit selektiver CO₂- Abtrennung zur Einspeisung in das Koks- und Hüttengasnetz eines integrierten Hüttenwerks“ im Förderprogramm „Neue Energien 2020“ weiter behandelt.

Der Einsatz von Altkunststoffen als alternatives Ersatzreduktionsmittel im Hochofen A wird weiterverfolgt und die Fahrweise der Anlage kontinuierlich an die verfügbaren Kunststoffe angepasst, um einen prozesstechnisch und wirtschaftlich bestmöglichen Betrieb zu erreichen. Hinsichtlich der Stoffstromanalyse wird ebenso in einem neuen Forschungsprojekt versucht durch eine Bilanzierung mit Hilfe von Transferkoeffizienten den Beprobungs- und Analysenaufwand zu minimieren.

IMPRESSUM

Verfasser

Voestalpine Stahl GmbH

Voestalpine-Straße 3, 4020 Linz

T: +43/50304/15-0

Web: www.voestalpine.com

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds

Gumpendorfer Straße 5/22

1060 Wien

office@klimafonds.gv.at

www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Der Klima- und Energiefonds ist nicht für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH