

Roadmap Industrie

F&E-Fahrplan Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie

Energieeffizienz in der Eisen- und Stahlindustrie

Diskussionspapier – April 2014



Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik

Autoren: Peter Pulm, Harald Raupenstrauch

Die vorliegende F&E-Roadmap ist im Auftrag des Klima- und Energiefonds entstanden. Die Erstellung des Berichts erfolgte durch das Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz in Kooperation mit dem AIT Austrian Institute of Technology.

Das Institut für Energietechnik und Thermodynamik der Technischen Universität Wien sowie das Clusterland Oberösterreich wurden über Werkverträge beteiligt. Weitere Beiträge wurden vom Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik der Montanuniversität Leoben beigesteuert.

Impressum

Herausgeber	Klima- und Energiefonds der österreichischen Bundesregierung Gumpendorfer Straße 5/22, 1060 Wien E-Mail: office@klimafonds.gv.at , Internet: www.klimafonds.gv.at
Projektbetreuung	Elvira Lutter, Programm-Management/Klima- und Energiefonds
Autoren	Peter Pulm, Harald Raupenstrauch (Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik)
Grafische Bearbeitung	r+k kowanz
Foto	© voestalpine
Herstellungsort	Wien, November 2014

Die hier dargestellten Inhalte spiegeln nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider. Weder der Klima- und Energiefonds noch das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit) oder die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) übernehmen Verantwortung für jegliche Verwendung der in dieser Publikation enthaltenen Informationen.

Inhalt

1.0	Vorbemerkungen der Autoren	2
2.0	Stand der Technik der Stahlproduktion	2
3.0	Stahlproduktion nach Verfahren und Einsatzstoffen	6
4.0	Produktionsstandorte in Österreich	8
5.0	Entwicklung der Stahlproduktion nach Herkunftsländern	9
6.0	Stahlnachfrage auf den Märkten	10
7.0	Energieverbrauch in der Stahlindustrie	12
8.0	Energieeffizienz in der Stahlindustrie	14
9.0	Emissionen in der Stahlindustrie	15
10.0	Emissionsvermeidungspotenzial durch Stahleinsatz	17
11.0	Energieverbrauch im Stahlerzeugungsprozess	18
12.0	Möglichkeiten zur Erhöhung der Energieeffizienz in der Stahlindustrie	22
13.0	Literaturverzeichnis	33

1.0 Vorbemerkungen der Autoren

Als wissenschaftliche Methode für die Erstellung des Dokumentes wurden ExpertInnengespräche mit maßgeblichen AkteurInnen aus Wissenschaft und Industrie geführt. Die daraus erhaltenen Ergebnisse wurden durch eine Literaturrecherche ergänzt.

Den VerfasserIn ist bewusst, dass die Europäische Union nunmehr über 28 Mitgliedsstaaten verfügt. Da das bestehende Datenmaterial diesem Umstand aber (noch) keine Rechnung trägt, ist im Text für gewöhnlich von den EU-27 die Rede.

2.0 Stand der Technik der Stahlproduktion

Als Stahl wird nach der Norm DIN EN 10 200 die Werkstoffgruppe bezeichnet, deren Hauptelement Eisen ist. Stahl ist eine warmumformbare Eisenbasislegierung, deren charakteristisches Legierungselement der Kohlenstoff ist, wobei im Allgemeinen dessen Massenanteil weniger als 2 % beträgt. Einige Chromstähle enthalten mehr als 2 % Kohlenstoff. Der Wert von 2 % wird jedoch grundsätzlich als Grenzwert für die Unterscheidung zwischen Stahl und Gusseisen betrachtet. Die Eigenschaften von Stählen können durch weitere Legierungselemente eingestellt werden. [1]

Stahl ist der dominierende Werkstoff in der Automobil- und Schifffahrtsindustrie sowie beim Schienenbau, bei Hochhäusern, in der Energiewirtschaft, im Kraftwerks-

und im Brückenbau. Prognosen aus den 1990er-Jahren, dass Stahl zunehmend durch andere Werkstoffe verdrängt würde, haben sich bislang nicht bestätigt. [2]

Durch die Vielzahl der Elemente sowie das Legierungsniveau ergibt sich eine enorme Anzahl von möglichen Legierungskombinationen. Heute sind etwa 2.500 Stahlsorten verfügbar. Grundsätzlich werden Stähle je nach ihrer chemischen Zusammensetzung nach DIN EN 10 020 in drei Hauptgüteklassen unterteilt (siehe Abbildung 1: Übersicht über die verschiedenen Stahlsorten [1]):

- unlegierte Stähle
- nicht rostende Stähle
- legierte Stähle

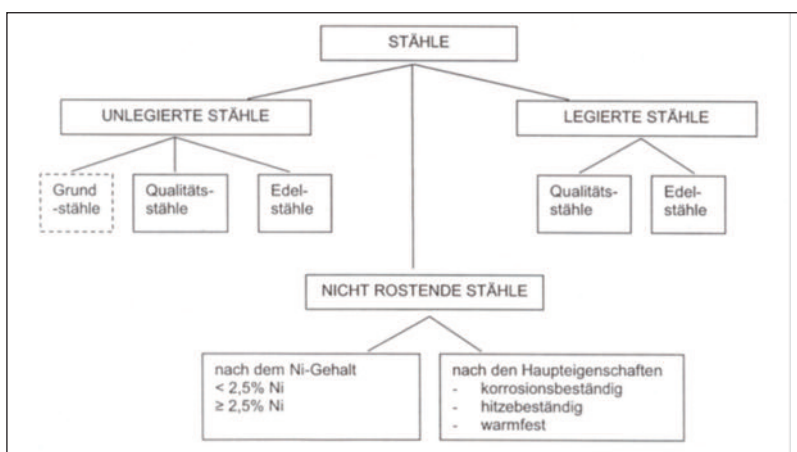


Abbildung 1:
Übersicht über die verschiedenen
Stahlsorten [1]

Die Erzeugung von Stahl kann über verschiedene Wege erfolgen. Im Wesentlichen sind in verschiedener Ausprägung heute weltweit vier verschiedene Produktions-

verfahren im Einsatz. Die unterschiedlichen Routen für die Roheisen- und Stahlproduktion sind schematisch in Abbildung 2 dargestellt und werden nachfolgend beschrieben.



Abbildung 2:
Die vier Hauptverfahrens-
routen der Stahlproduktion [3]

2.1 Integrierte Hochofenroute

Für die Produktion von Roheisen über den Hochofen dienen Koks als Reduktionsmittel sowie Stückerz, Sinter und Pellets als Einsatzstoffe. Als Ausgangsmaterial für den Kohlenstoffträger wird hauptsächlich Steinkohle verwendet. Diese wird vorab gemahlen und in der Folge verkocht. Dabei wird die Kohle auf etwa 950 bis 1.100°C erhitzt und 17 bis 25 Stunden lang gebacken. Aus einer Tonne Steinkohle entstehen dabei ca. 320 bis 330 m³ Koksofengas und 750–800 kg Koks. Neben Koks benötigt der Hochofen Eisenerz mit ähnlichen Größenmaßen. Dazu werden Feinerze mit Korngrößen zwischen 0,1 und 6,3 mm vor dem Einsatz im Hochofen gesintert. Die Sinteranlagen sind dabei zumeist direkt im Hüttenwerk situiert. Beim Sintern werden die Feinerze mit Koksgrus und weiteren Zuschlägen in Bandsinteranlagen eingesetzt und an der Oberfläche gezündet. Durch einen Unterdruck an der Unterseite des Sinterbandes wird der Backprozess von oben nach unten durch das aufgebrachte Feinerz geführt und dieses anschließend schonend abgekühlt. Im Sinterprozess erreicht das Erz Temperaturen von ca. 700 °C. [1, 2]

Feinsterze mit Korngrößen von kleiner 0,1 mm werden zumeist schon beim Erzlieferanten vorab pelletiert. Der Anteil an agglomerierten Erzen liegt in Deutschland zwischen 80 und 100 %. [3]

Der Hochofen selbst besteht im Prinzip aus drei Prozesseinheiten:

- einem Reduktionsreaktor für Eisenoxid mit

Reduktionsgas

- einem Vergasungsaggregat für Koks
- einem Schmelzofen für Eisen und Schlacke

Hochöfen sind schachtförmige Reaktoren. Im Wesentlichen besteht ein Hochofen aus einem Stahlgerüst, welches mit Feuerfestmaterialien ausgemauert ist. Der Prozess arbeitet nach dem sogenannten Gegenstromprinzip. An der Gicht, das ist der obere Teil des Hochofens, werden Koks und andere Kohlenstoffträger als Reduktionsmittel sowie der sogenannte Möller, ein Gemisch von Eisenoxid, bestehend aus Stückerz, Sinter und/oder Pellets, schichtenweise eingefüllt. Die chargierten Feststoffe wandern von oben nach unten durch den Hochofen und erfahren dabei eine Reihe von chemischen und physikalischen Veränderungen, wobei die Temperatur ständig zunimmt. Entgegen der Bewegungsrichtung des Möllers bewegt sich die Gasphase von unten nach oben durch den Schacht. [1]

Über Düsen, die von einer Ringleitung gespeist werden, wird heiße Luft, der sogenannte Wind, in den Hochofen eingeblasen. Der Sauerstoff der Luft vergast den Koks zu CO, was einen intensiven Heizprozess ergibt. Dem im Ofen aufsteigenden Gas kommen im Wesentlichen zwei Funktionen zu: Einerseits wird die Wärme des Gases auf den Koks und Möller übertragen und heizt diesen dadurch so weit auf, dass die Stoffe schmelzen; andererseits tritt das Gas mit den Feststoffen in chemische Wechselwirkung, wobei das vorhandene Kohlenmonoxid und geringe Anteile von Wasserstoff das Eisen aus seiner oxidischen Bindung reduzieren. [1]

Der für die Vergasung des Kokes notwendige Wind wird in einem Winderhitzer auf hohe Temperaturen (800–1350 °C) vorgewärmt. Winderhitzer arbeiten zyklisch. In der Phase des Heizbetriebes wird durch Verbrennung von Gichtgas das keramische Mauerwerk im Winderhitzer aufgeheizt. In der anschließenden Phase des Luftbetriebes wird die gespeicherte Wärme vom Mauerwerk an die kalte Luft abgegeben und erhitzt diese. Um einen Hochofen kontinuierlich mit Heißwind zu versorgen, sind aufgrund dieser zyklischen Betriebsweise mindestens zwei Winderhitzer erforderlich. [1]

Das Reduktionmittel Koks kann zum Teil durch Kohlenstaub, Heizöl oder Erdgas ersetzt werden. Die Zufuhr dieser Stoffe erfolgt im Allgemeinen über spezielle Einrichtungen in den Windformen.

Die chemischen und physikalischen Reaktionen im Hochofen führen im Wesentlichen zu drei Produkten:

- flüssiges Roheisen,
- flüssige Schlacke und
- Gichtgas

Aufgrund von Prozessoptimierungen konnte die Schlackenproduktion von vormalig 650 kg/t Roheisen in den 1960ern auf mittlerweile 250–300 kg/t Roheisen verringert werden. Ein großer Teil der entstehenden Schlacke kommt in der Folge in der Zementindustrie zum Einsatz und wird zur Produktion von Hüttensand verwendet. [4]

Das flüssige Roheisen wird in weiterer Folge in den Konverter chargiert. Der Konverter ist ein kipper Tiegel, der mit Feuerfestmaterial ausgekleidet ist. Im Konverter wird O₂ auf die Schmelze aufgeblasen, um Verunreinigungen aus dem Stahl zu entfernen und den Kohlenstoffgehalt auf das für die gewünschte Stahlqualität passende Niveau einzustellen. Zumeist wird zur Sauerstoffeinbringung heute der Sauerstoff auf die Schmelze aufgeblasen, oftmals in Kombination mit einer vom Tiegelboden ausgehenden Inertgasspülung. Weiters werden im Konverter diverse Frischungselemente eingebracht.

Nachdem es sich bei den Prozessen im Konverter um stark exotherme Vorgänge handelt, muss die Stahlschmelze gekühlt werden. Dies geschieht in der Regel durch den Einsatz von Schrotten, seltener über Eisenmasseln und Eisenschwamm im Umfang von bis zu 30 Massenprozent der Charge. Über diese Route werden ungefähr 70 % der weltweiten Stahlproduktion hergestellt.

2.2 Integrierte Schmelzreduktionsroute

Beim COREX-Verfahren wird der Hochofen durch einen zweistufigen Prozess ersetzt. Als Einsatzmaterialien werden hauptsächlich Stückerz und Pellets verwendet. Ein vereinfachtes Verfahrensschema ist in Abbildung 3 dargestellt. In einem ersten Schritt wird das eingesetzte Erz in einem Reduktionsschacht im Gegenstrom mit dem Prozessgas aus dem Einschmelzvergaser bis auf ca. 90 % metallisiert. Das daraus entstehende Produkt ist Eisenschwamm. Dieser wird über mehrere Förderschnecken in den Einschmelzvergaser weitertransportiert und dort eingeschmolzen. Im Einschmelzvergaser wird die eingesetzte Kohle als Reduktionsmittel verwendet und gleichzeitig für die Vorreduktion im Reduktionsschacht vergast. Durch den direkten Kontakt mit Kohlenstoff erfolgt die weitere Reduktion des Erzes. Gleichzeitig werden die meisten nicht gewünschten Elemente und die Restasche verschlackt. Das aus diesem Prozess entstandene Roheisen wird wie bei der Hochofenroute in der Folge in einem Konverter zu Rohstahl weiterverarbeitet. [5]

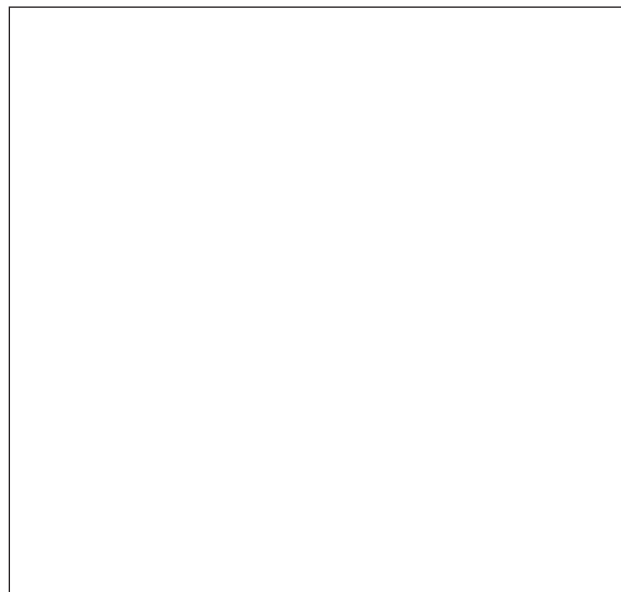


Abbildung 3:
Schema des COREX-Verfahrens [5]

Das FINEX-Verfahren ist dem COREX-Verfahren sehr ähnlich, mit dem Unterschied, dass das FINEX-Verfahren für den Einsatz von Feinerzen optimiert ist. Dafür wird der Reaktionsschacht im ersten Verfahrensschritt durch eine Serie von Wirbelschichtreaktoren, die wiederum mit dem Reduktionsgas aus dem Einschmelzvergaser gespeist werden, ersetzt. [5]

Als Endprodukte der beiden Verfahren entstehen Roheisen und ein H_2 -, CO - und CO_2 -haltiges Prozessgas, welches mit einer nachgeschalteten PSA-/VPSA-Anlage in den Prozess rückgeführt werden kann. [5]

Der Hauptvorteil der Schmelzreduktionsverfahren ist, dass der Produktionsschritt Sintern entfällt und der Einsatz von Pellets und Koks im Vergleich zum Hochofen reduziert werden kann. Darüber hinaus werden bei den hohen Prozesstemperaturen bei COREX/FINEX

organische Verbindungen in ihre Einzelkomponenten zerlegt und organische Schwefelverbindungen in kohlenstoff- bzw. wasserstoffhaltig Gase umgewandelt und somit während des Prozesses immobilisiert. Ein schematischer Vergleich der COREX/FINEX-Verfahren und der Hochofenroute ist in Abbildung 4 dargestellt. Bei der weltweiten Roheisenproduktion spielen die Schmelzreduktionsverfahren bislang eine untergeordnete Rolle. [5]

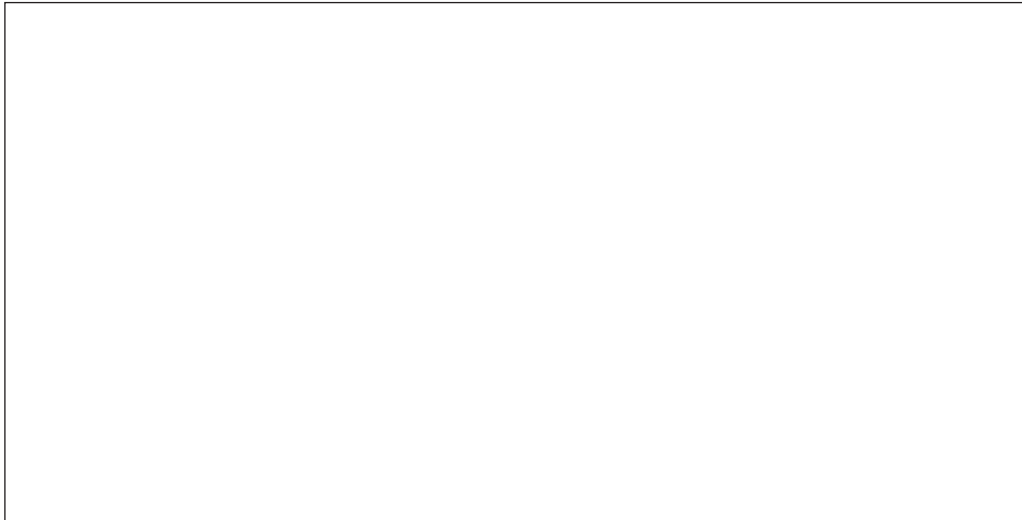


Abbildung 4:
Vergleich von
COREX/FINEX-
und Hochofen-
route [5]

2.3 Integrierte Direktreduktionsroute

Die am weitesten verbreiteten Verfahren für die Direktreduktionsroute sind das sogenannte MIDREX- und HYL-Verfahren, welche beide auf der Schachtofentechnologie aufbauen. In beiden Verfahrensansätzen wird das stückige Eisenerz reduziert und nicht aufgeschmolzen. Es existieren auch Verfahrensrouten, die einen Drehrohrofen bzw. für Feinerze einen Wirbelschichtreaktor verwenden. Das Reduktionsgas wird aus Erdgas hergestellt. Das aus diesem Verfahrensschritt entstehende Produkt ist Eisenschwamm DRI (Direct Reduced Iron). Dieser kann grundsätzlich direkt verwendet werden, wird aber aufgrund seiner pyrophoren Eigenschaften für Überseetransporte gerne zu HBI (Hot Briquetted Iron) kompaktiert. Der Eisenschwamm oder HBI wird in weiterer Folge im Elektrolichtbogenofen aufgeschmolzen und zu Stahl weiterverarbeitet. Beim Elektrolichtbogenofen wird elektrische Energie über Elektroden in thermische Energie umgewandelt und zum Aufschmelzen des Einsatzgutes verwendet. Dabei findet die Wärmeübertragung zwischen den Elektroden und dem Einsatzgut hauptsächlich über Wärmestrahlung statt. Auch im Elektrolichtbogenofen wird durch Zugabe nichtmetallischer Einsatzstoffe eine Schlacke gebildet, welche dazu dient, die Gangart aus der

Schmelze aufzunehmen. Teilweise wird der Stahl bereits im Elektrolichtbogenofen legiert, in eine Pfanne abgestochen und anschließend gegossen. Stand der Technik ist heute jedoch, dass die Einstellung der gewünschten Legierung nach dem Lichtbogenofen in einem weiteren Verfahrensschritt geschieht (Pfannenofen etc.).

Der Anteil der Direktreduktionsverfahren an der Stahlproduktion variiert regional stark und spielt global eine untergeordnete Rolle. Das Verfahren wird vor allem in Erdgasförderländern benutzt, bspw. in Russland und im arabischen Raum. In der Bundesrepublik Deutschland gibt es nur einen einzigen Standort, an dem über das MIDREX-Verfahren Eisenschwamm produziert wird. Erdgas ist zwar der emissionsärmste fossile Energieträger, jedoch ist dieses Verfahren aufgrund der, verglichen mit den USA, hohen westeuropäischen Gaspreise gegenwärtig wohl auch nur beschränkt wirtschaftlich. [1–3]

2.4 Elektrolichtbogenofenroute

Bei dieser Verfahrensrouten wird Stahlschrott im Elektrolichtbogenofen aufgeschmolzen. Zusätzlich zur Einbringung thermischer Energie mittels Lichtbogenofen

wird Sauerstoff zugeführt bzw. werden Sauerstoffbrenner eingesetzt. Oftmals auch beides. Der Elektrolichtbogenofen ist die einzige Möglichkeit Spezialstähle zu produzieren. Im Gegensatz zu den vorangehend besprochenen Produktionsrouten, die Eisenerze als Ausgangsmaterial verwenden, hat die Elektrolichtbogenofenroute aber wesentliche Limitierungen:

- Die Verfügbarkeit von Stahlschrott in der jeweiligen Region begrenzt die mögliche Stahlproduktion.
- Die Güte der produzierbaren Stähle wird maßgeblich durch die Schrottqualität bestimmt. Daraus resultiert, dass Elektro Stahl vor allem in der Bauindustrie eingesetzt wird. Kohlenstoffstähle hoher Qualität, wie sie bspw. in der Automobilindustrie nachgefragt werden, können mangels hoher Schrottreinheiten nur produziert werden, wenn Roheisen oder Eisenschwamm als zusätzliche Einsatzgüter verwendet werden. Daher ist auch die

Verfügbarkeit von Eisenschwamm eine Limitierung.

- Zum Betrieb eines Elektrolichtbogenofens werden große Strommengen benötigt, die an vielen Standorten der Stahlindustrie in Ermangelung geeigneter Infrastruktur gar nicht bezogen werden können.

2.5 Weiterverarbeitung

Bei allen Verfahrensrouten sind im Anschluss sekundärmetallurgische Verfahrensschritte, wie etwa eine Pfannenofenbehandlung oder eine Vakuumbehandlung, vorgesehen, um die Endqualität des Fertigproduktes einzustellen. Die metallurgische Behandlung ist mit dem Strangguss abgeschlossen. Danach werden die Brammen, Vorblöcke und Knüppel zu Walzstahlprodukten und Halbzeugen weiterverarbeitet. Je nach Produktgruppe können weitere Wärmebehandlungsschritte folgen.

3.0 Stahlproduktion nach Verfahren und Einsatzstoffen

Die weltweite Stahlproduktion ist seit 1990 mit Ausnahme eines kurzen Einbruchs im Zuge der Weltwirtschaftskrise 2009 kontinuierlich gestiegen und belief sich 2011 auf ca. 1,5 Milliarden Tonnen (gegenüber 1990 +142 %). Zwischen 2000 und 2011 kam es zu einem weltweiten Anstieg der Stahlproduktion um

76 %. Hauptverantwortlich für diese Entwicklung ist der rasante Anstieg der chinesischen Stahlproduktion (+436 % seit 1990). Die regionalen Anteile an der Weltstahlproduktion gesamt und nach angewandten Verfahren sind in Tabelle 1 dargestellt.

	Gesamt	Integriert	E-Ofen	Andere
Welt	1.545	1.076 (69,6 %)	451 (29,2 %)	18 (1,2 %)
China	716	644 (89,9 %)	72 (10,1 %)	0
EU-27	168	98 (58,3 %)	70 (41,7 %)	0
Österreich	7,5	6,8 (90,7 %)	0,7 (9,3 %)	0

Tabelle 1:
Weltstahlproduktion 2011 nach Regionen und Verfahren in Millionen Tonnen [6]

Die Anteile der Stahlerzeugung nach Verfahren an der Gesamtproduktion schwanken regional stark. Weltweit werden ca. 70 % des Stahls über die integrierte Route (Hochofen + LD) hergestellt. Dieser Anteil liegt in Österreich mit 90 % deutlich über dem globalen Durchschnitt und auch über dem der EU-27 von 58 %. Über die Elektrolichtbogenofenroute werden global 29 % des Stahls produziert. In Indien sind es über 60 %, in der EU über 40 % und in Österreich 9 %.

Der Anteil der Stahlproduktion über die Elektrolichtbogenofenroute steigt in den EU-27 kontinuierlich an. Weltweit ist er durch die stark gestiegenen Kapazitäten der chinesischen integrierten Stahlwerke stagniert. Es ist jedoch anzunehmen, dass, sobald die chinesische Stahlproduktion auf ein Plateau stößt, der Anteil der Stahlproduktion über die Elektrolichtbogenofenroute

auch global weiter steigen wird. Dies hat vor allem damit zu tun, dass aufgrund der in der Vergangenheit weltweit gestiegenen Produktionsmenge in den nächsten Jahren auch ein insgesamt höheres Schrottaufkommen zu erwarten ist.

Direkt- und Schmelzreduktion spielen global eine untergeordnete Rolle. Höhere Anteile an der Stahlproduktion finden sich nur in vereinzelten Staaten, wie bspw. Indien, Russland, dem arabischen Raum und Mittelamerika, wo viel DRI und HBI hergestellt werden. Der Anteil der Eisenschwamm- und HBI-Erzeugung an der Weltproduktion beträgt ungefähr 5 %, jener des Roh-eisens aus der Schmelzreduktion liegt bei 0,4 %. Eine Übersicht über die zeitliche Entwicklung der Gesamtproduktionsmenge und der Anteile der einzelnen Stahlerzeugungsverfahren findet sich in Abbildung 5.

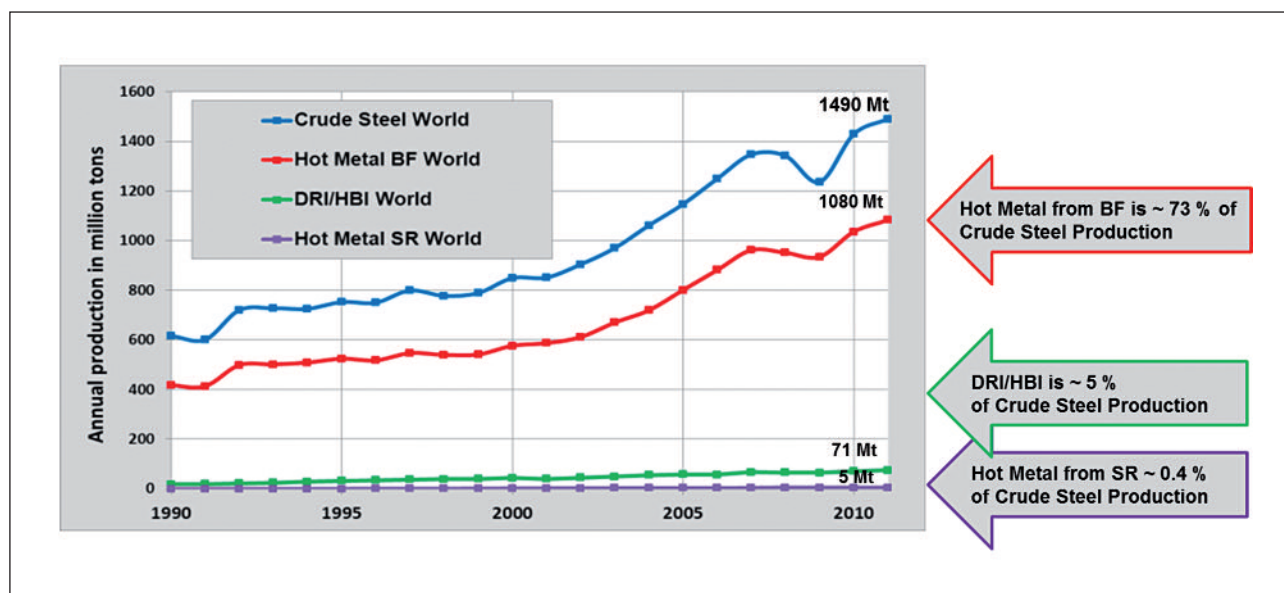


Abbildung 5:
Stahlproduktion weltweit und nach Verfahrensrouten [7]

4.0 Produktionsstandorte in Österreich

Die österreichischen Stahlproduktionsstandorte sind in Abbildung 6 dargestellt. Österreich verfügt über zwei sogenannte integrierte Stahlwerke (Hochofenroute) an den voestalpine-Standorten in Linz und Donawitz.

Drei weitere Stahlwerke produzieren Stahl mithilfe der Schrott-Elektrolichtbogenofenroute: Die Marienhütte in Graz, Böhler Edelstahl in Kapfenberg und Breitenfeld Edelstahl in Mitterdorf im Mürztal.

Darüber hinaus verfügt Österreich über mehrere Standorte von Gießereibetrieben, die über Schmelzöfen verfügen (Kupol-, Elektrolichtbogen- und Induktionsöfen). Der Großteil der österreichischen Unternehmen der Stahlbranche ist im Bereich der Weiterverarbeitung und Veredelung von Stahl tätig.

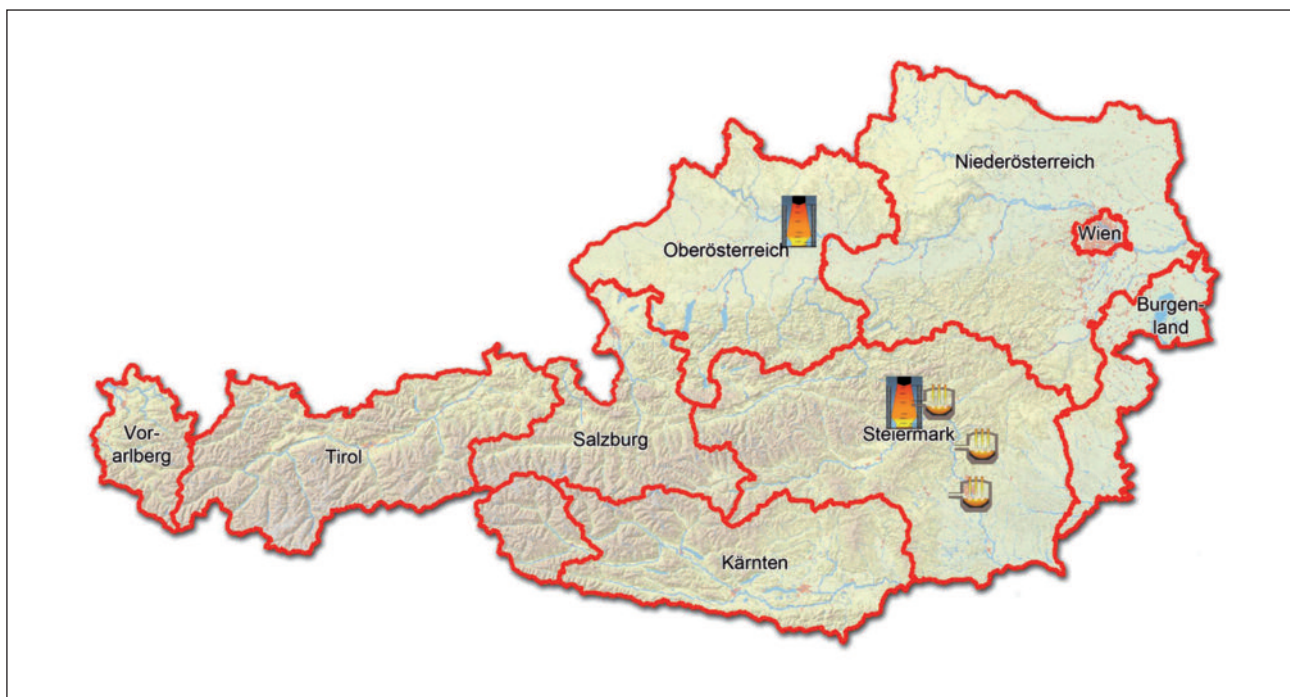


Abbildung 6:
Stahlproduktionsstandorte in Österreich

5.0 Entwicklung der Stahlproduktion nach Herkunftsländern

Der größte stahlproduzierende Markt der Welt ist China. Die rasante Entwicklung der chinesischen Stahlproduktion zeigt sich in Abbildung 7 deutlich. Dieses starke Wachstum war der maßgebliche Treiber für den weltweiten Anstieg der Stahlproduktion.

Abbildung 7:
Entwicklung der Weltstahlproduktion und nach
Herkunftsregionen in Millionen Tonnen [6]

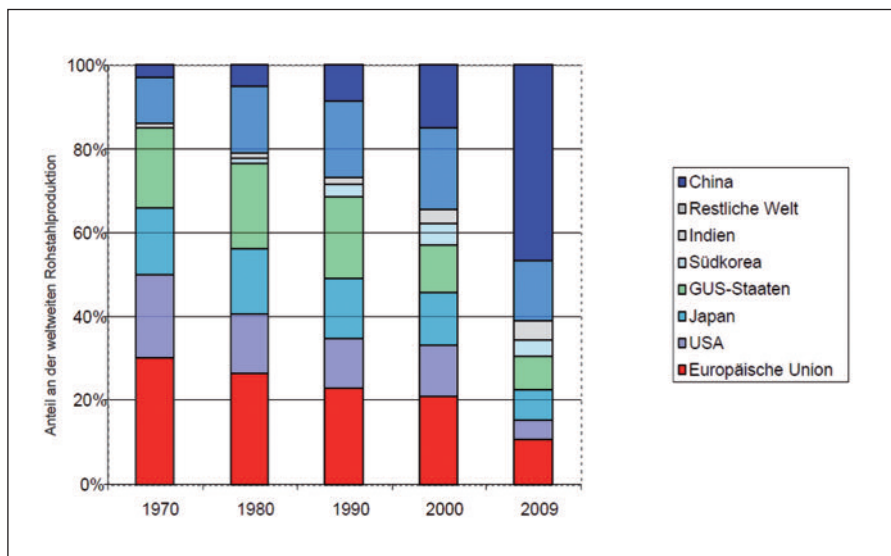
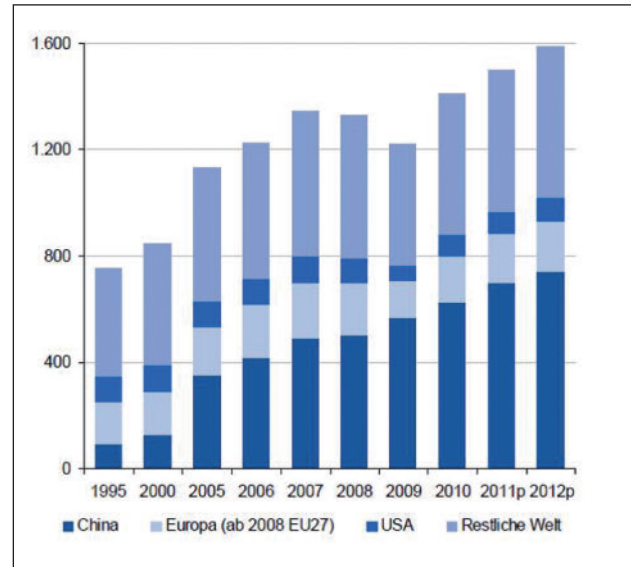


Abbildung 8:
Anteile der Stahlproduktion
nach Herkunftsländern [6]

Deutlicher wird diese Machtverschiebung in den Produktionsverhältnissen, wenn man die prozentuellen Anteile an der Weltstahlproduktion, bezogen auf die Gesamtproduktionsmenge, betrachtet. Diese sind in Abbildung 8 dargestellt.

Nach einem Einbruch der chinesischen Stahlproduktion im Jahr 2009 konnte diese bereits im Folgejahr über das Vorkrisenniveau hinaus wachsen. Generell ist zu erwarten, dass sich das Wachstum der chinesischen

Stahlindustrie in den nächsten Jahren fortsetzen wird, wenn auch auf geringerem Niveau als bisher.

Die Stahlproduktion in den EU-27 hingegen erholt sich nur langsam. Allgemein kämpft die europäische Stahlindustrie noch immer mit den Spätfolgen der Wirtschaftskrise 2009. Die zeitliche Entwicklung der europäischen Stahlproduktion ist in Abbildung 9 dargestellt. Das Niveau des Rekordjahres 2007 wird laut Prognosen erst nach 2030 wieder erreicht werden.

Deswegen steht ein großer Teil vor allem der volumenstarken europäischen Stahlerzeuger unter sehr großem wirtschaftlichem Druck. Dies wird sich aufgrund der gegenwärtig schwächelnden Konjunktur kurzfristig nicht ändern. [8]

Aufgrund der schlechten Auslastung liefern sich die verschiedenen Marktakteure gegenwärtig harte Preiskämpfe. Eine Konsolidierung der weltweit gegebenen Überkapazitäten ist einstweilen genauso wenig absehbar wie ein Anspringen der Konjunktur auf Vorkrisenniveau.

Entsprechend besser geht es Betrieben, deren Kunden selbst global aufgestellt sind, da so Schwächen in

Europa durch Fokussierung auf andere Märkte ausgeglichen werden können.

Für die EU-27 wird prognostiziert, dass die jetzige Produktionsmenge von 168 Millionen Tonnen sich mit einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 0,8 % bis 2050 auf 236 Millionen Tonnen steigern wird. Pessimistischere Prognosen gehen von einem Rückgang der europäischen Stahlproduktion aus. [2, 8]

Auch die stark exportabhängige österreichische Stahlindustrie rechnet mit einem Wachstum der Produktionsmengen, vor allem im Bereich der höchstfesten Stahlgüten.

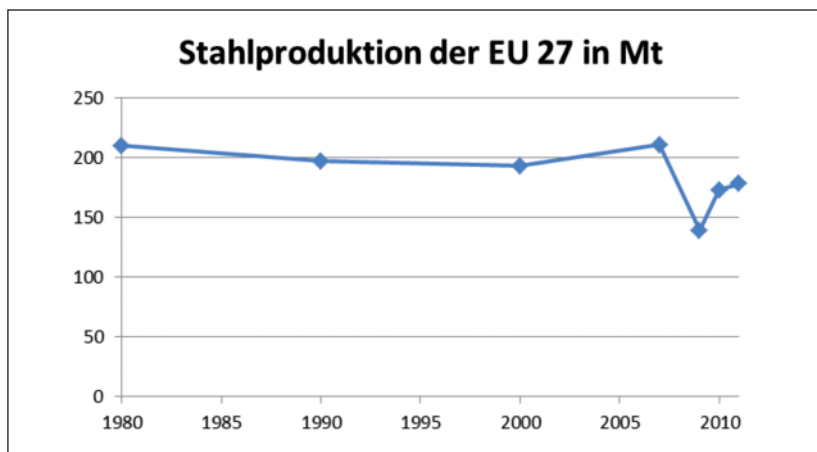
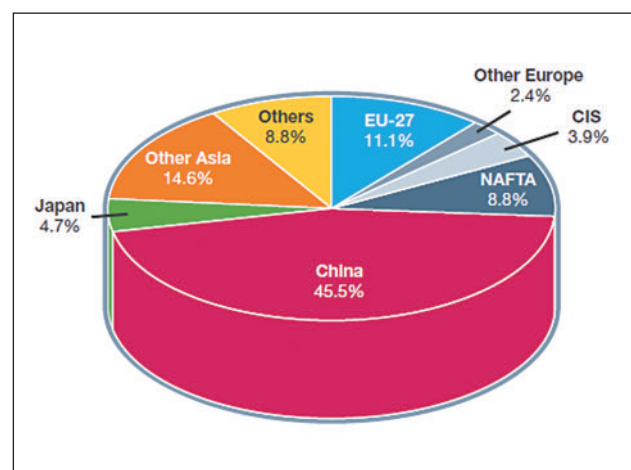


Abbildung 9:
Zeitlicher Verlauf der Stahlproduktion der EU-27

6.0 Stahlnachfrage auf den Märkten

Haupttreiber der globalen Stahlnachfrage wird weiterhin Asien sein. Aber auch der Stahlmarkt in Nordamerika ist 2012 um 2,5 % gewachsen. Für 2014 wird erwartet, dass alle Stahlmärkte mit Ausnahme der EU-27 wachsen. Grund hierfür sind der starke Nachfrageeinbruch in Italien und die schwächelnde Konjunktur in Deutschland. Der Stahlverbrauch nach Regionen ist in Abbildung 10 dargestellt und zeigt sehr deutlich die Dominanz des asiatischen Marktes.

Abbildung 10:
Stahlverbrauch 2011 nach Regionen, gesamt:
1.518 Millionen Tonnen [9]



Österreich selbst zählt zwar mit 473 kg pro Kopf zu den Ländern mit dem höchsten Pro-Kopf-Verbrauch von Stahl pro Jahr (siehe Tabelle 2), jedoch beträgt die Stahlproduktion in Österreich in etwa 880 kg pro Kopf.

Demnach ist offensichtlich, dass die österreichische Stahlindustrie sehr stark exportabhängig ist und der österreichische Binnenmarkt für die ansässige Industrie nur eine untergeordnete Rolle spielt.

1	South Korea	1,156.6 kg	6	Austria	473.1 kg
2	Taiwan, China	784.4 kg	7	China	459.8 kg
3	Czech Republic	595.7 kg	8	Italy	459.5 kg
4	Japan	506.7 kg	9	Sweden	424.5 kg
5	Germany	479.6 kg	10	Belgium-Luxembourg	422.5 kg
Globaler Durchschnitt 2011: 215 kg					

Tabelle 2:
Stahlverbrauch pro Kopf 2011 [6]

Rank	Total Exports	Mt
1	China	47.9
2	Japan	40.7
3	European Union ⁽¹⁾	38.0
4	South Korea	28.9
5	Germany ⁽²⁾	26.4
6	Ukraine	26.0
7	Russia	24.7
8	Italy ⁽²⁾	17.2
9	Turkey	17.0
10	Belgium	16.4
11	France ⁽²⁾	14.2
12	United States	13.3
13	Brazil	10.8
14	Taiwan, China	10.6
15	Netherlands ⁽²⁾	10.4
16	India	10.2
17	Spain ⁽²⁾	9.9
18	Austria ⁽²⁾	7.0
19	Canada	6.4
20	United Kingdom ⁽²⁾	6.0

Rank	Total Imports	Mt
1	European Union ⁽¹⁾	35.9
2	United States	26.9
3	Germany ⁽²⁾	24.9
4	South Korea	22.8
5	Italy ⁽²⁾	17.5
6	China	16.3
7	France ⁽²⁾	14.7
8	Belgium	13.3
9	Thailand	12.5
10	Turkey	10.3
11	Vietnam	9.3
12	Canada	9.2
13	Indonesia	8.6
14	Spain ⁽²⁾	8.5
15	Iran	8.4
16	Netherlands ⁽²⁾	8.3
17	India	8.2
18	Taiwan, China	7.7
19	Poland ⁽²⁾	7.6
20	United Kingdom ⁽²⁾	7.5

Abschließend zeigt Abbildung 11 die wichtigsten Im- und Exporteure von Stahl sowie den gebildeten Saldo und damit die erfolgreiche Rolle Österreichs als Stahlexporteur.

Rank	Net Exports (exports - imports)	Mt
1	Japan	35.1
2	China	31.6
3	Ukraine	24.0
4	Russia	17.5
5	Brazil	7.0
6	Turkey	6.7
7	South Korea	6.0
8	Austria ⁽²⁾	3.2
9	Belgium	3.1
10	Taiwan, China	2.9
11	Luxembourg	2.2
12	Netherlands ⁽²⁾	2.1
13	European Union ⁽¹⁾	2.1
14	India	2.0
15	Slovakia ⁽²⁾	2.0

Rank	Net Imports (imports - exports)	Mt
1	United States	13.6
2	Thailand	10.9
3	Vietnam	8.3
4	Iran	8.2
5	Indonesia	7.3
6	United Arab Emirates	6.6
7	Saudi Arabia	5.5
8	Algeria	3.9
9	Philippines	3.8
10	Singapore	3.1
11	Canada	2.8
12	Lebanon	2.7
13	Poland ⁽²⁾	2.7
14	Iraq	2.6
15	Malaysia	2.6

Abbildung 11:
Die wichtigsten Stahlimport- und -exporteure sowie der jeweilige Saldo [9]

7.0 Energieverbrauch in der Stahlindustrie

Im Zusammenhang mit der EU-20-20-20-Strategie, die eine Erhöhung der Energieeffizienz bis 2020 um 20 % vorsieht, ist das Thema der Energieeffizienz für die Stahlindustrie von entscheidender Bedeutung. Für die Stahlindustrie ist diese Thematik kein Neuland, da man sich aufgrund der Verbrauchs- und Kostenstruktur schon lange damit auseinandersetzt.

Betrachtet man den globalen Primärenergiebedarf von

469 EJ vom Jahr 2009, so entfallen auf industrielle Anwendungen mit 113 EJ ca. 31 %. Gliedert man diesen Bedarf der Industrie nach Branchen, so wird deutlich, dass nach der (petro)chemischen Industrie die Eisen- und Stahlbranche mit 21,4 EJ, gefolgt von der Zement- und Papierindustrie, den zweitgrößten Nutzenergieverbrauch aller Industriesegmente weltweit aufweist (siehe Abbildung 12). [10]

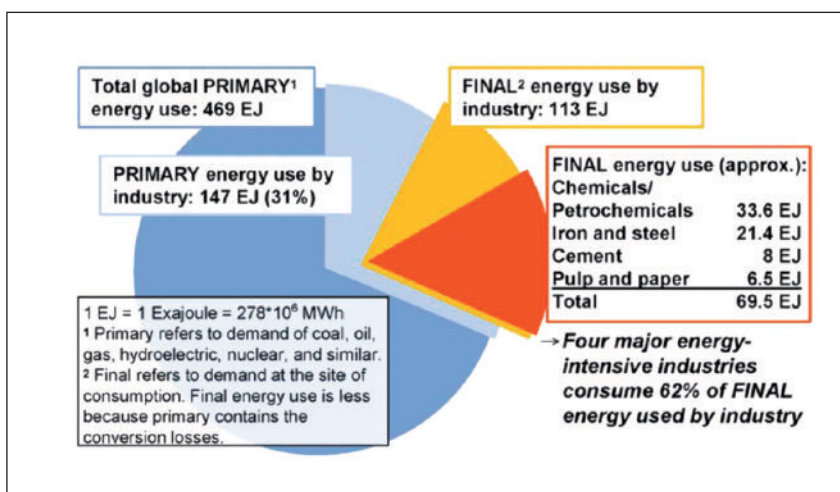
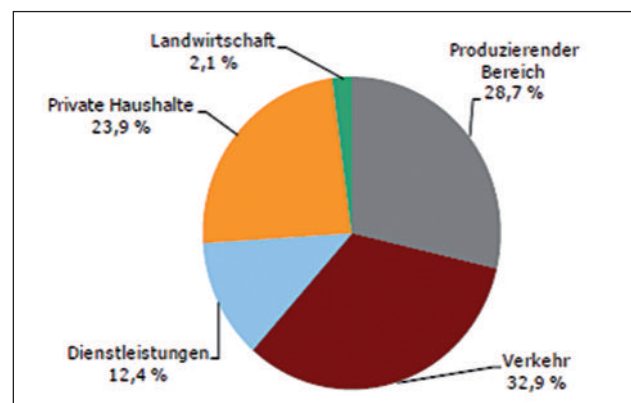


Abbildung 12:
Der globale Primärenergiebedarf und der Anteil der Industrie nach Branchen [10]

Blickt man auf die Situation in Österreich im Jahr 2011, so zeichnet die Aufteilung des Primärenergiebedarfs nach Wirtschaftssektoren ein ähnliches Bild (siehe Abbildung 13).

Abbildung 13:
Anteil am österreichischen Primärenergiebedarf nach Wirtschaftssektoren 2011 [11]

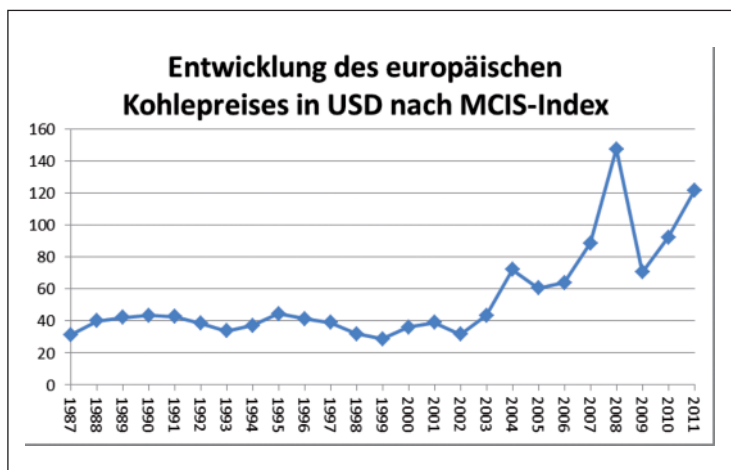
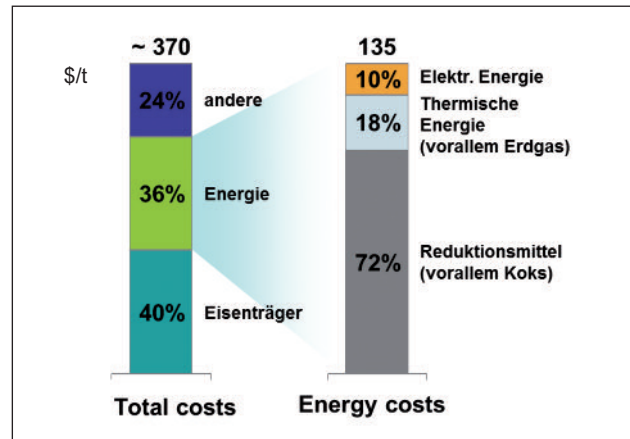


Bei einem österreichischen energetischen Endverbrauch von 941,3 PJ im Jahr 2011 entfielen 253,6 PJ auf den produzierenden Bereich. Davon entsteht ein Anteil von 13 % aufgrund der österreichischen Stahlproduktion. Die Stahlindustrie insgesamt ist mit einem Anteil von 50 % des österreichischen Gesamtbedarfs der größte Kohleverbraucher. [12, 13]

Energie ist aus diesem Grund traditionell ein Treiber für Innovationen in der Stahlindustrie. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass Energie nach den Rohstoffkosten in der Stahlerzeugung die zweitgrößte Kostenkategorie ist und die Personalkosten bei weitem übersteigt (siehe Abbildung 14). Der hohe Energiekostenanteil kommt durch den Reduktionsmittelbedarf zustande, der vor

allem durch Koks gedeckt wird. Der Bedarf nach thermischer sowie elektrischer Energie spielt dabei eine untergeordnete Rolle.

Abbildung 14:
Kostenstruktur für die Erzeugung von Stahlwarmband
in integrierten Hüttenwerken im Jahr 2006, Quelle:
Siemens VAI, interner Bericht



Diese Tendenz hat sich durch steigende Energiepreise in den letzten Jahren verstärkt. In Abbildung 15 ist die Entwicklung des europäischen Kohlepreises in US-Dollar dargestellt. Nach einer weitgehend stabilen Preisentwicklung ist der Kohlepreis parallel zur Erhöhung der chinesischen Importquote stark angestiegen.

Für die nahe Zukunft werden weitere Preissteigerungen erwartet, da aufgrund des Energiehungers der aufstrebenden Volksrepublik China davon ausgegangen wird, dass diese in den nächsten Jahren zu einem Nettoimporteur für Steinkohle wird.

Abbildung 15:
Entwicklung des europäischen Kohlepreises nach dem McCloskey Coal Industry Services Index

Diese Entwicklung beschränkt sich nicht nur auf Kohle als Energieträger. In Abbildung 16 ist der zeitliche Verlauf des österreichischen Energiepreisindex im Vergleich zum Verbraucherpreisindex dargestellt. Aus der Differenz kann ein kaufkraftbezogener, realer Energiepreisindex errechnet werden. Aus der Grafik wird deutlich, dass die Entwicklung der Energiepreise bis ungefähr 2006 deutlich geringer ausgefallen ist als die allgemeine Inflationsentwicklung. Nach einem der Wirtschaftskrise geschuldeten Einbruch im Jahr 2008 haben die Energiepreise in den letzten Jahren stark angezogen. Während der VPI seit 1986 um 76 % gestiegen ist, hat sich der EPI verdoppelt. [11] Die Internationale Energieagentur rechnet in ihrem aktuellen World Energy Outlook – nicht zuletzt, weil die globale Erdölproduktion bis 2035 stagnieren wird – mit weiteren Preissteigerungen für Primärenergieträger in der Zukunft. [14]

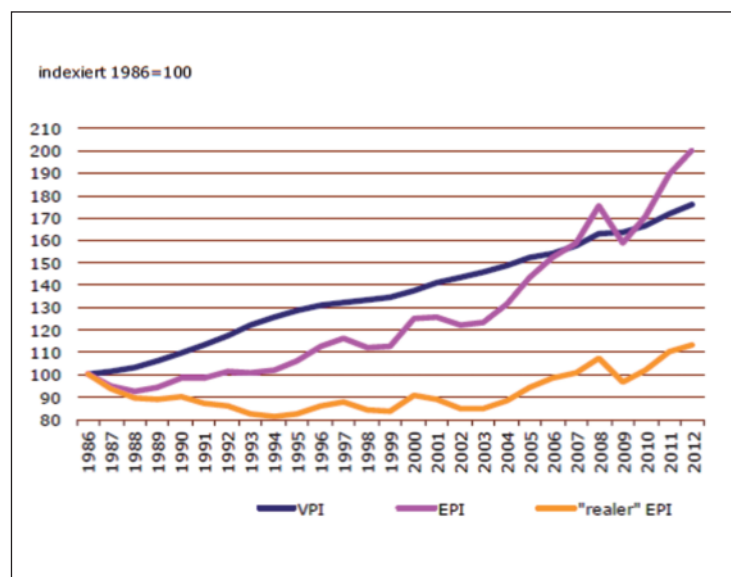


Abbildung 16:
Entwicklung des Energiepreisindex (EPI)
im Vergleich zum Verbraucherpreisindex (VPI) [11]

8.0 Energieeffizienz in der Stahlindustrie

Die europäische Stahlindustrie war nicht nur aufgrund der Absicherung einer lebenswerten Umwelt, sondern auch aus Kostengründen in der Vergangenheit nicht untätig, die Energieeffizienz der Produktionsprozesse zu verbessern. So zeigt Abbildung 17, dass die Bestrebungen der europäischen Stahlindustrie, den Reduktionsmittelbedarf im Hochofen zu verringern, bereits in der Vergangenheit sehr erfolgreich waren. Gegenüber dem Verbrauchsniveau von 1950 hat sich der Koksverbrauch pro Tonne Rohstahl mehr als halbiert und befindet sich schon nahe am theoretischen Verbrauchs-

minimum für die Reduktion von Erz zu Roheisen. Als durchgeführte Prozessoptimierungen seien an dieser Stelle die Erhöhung der Heißwindtemperatur auf über 1.200 °C sowie der Einsatz von Sauerstoff und der teilweise Ersatz von Koks durch das Einblasen von Kohlenstaub erwähnt. Zudem hat die Qualität der eingesetzten Rohstoffe einen hohen Einfluss auf den Reduktionsmittelverbrauch. Somit konnte durch vermehrten Einsatz von Reicherzen der Reduktionsmittelbedarf weiter gesenkt werden. [2]

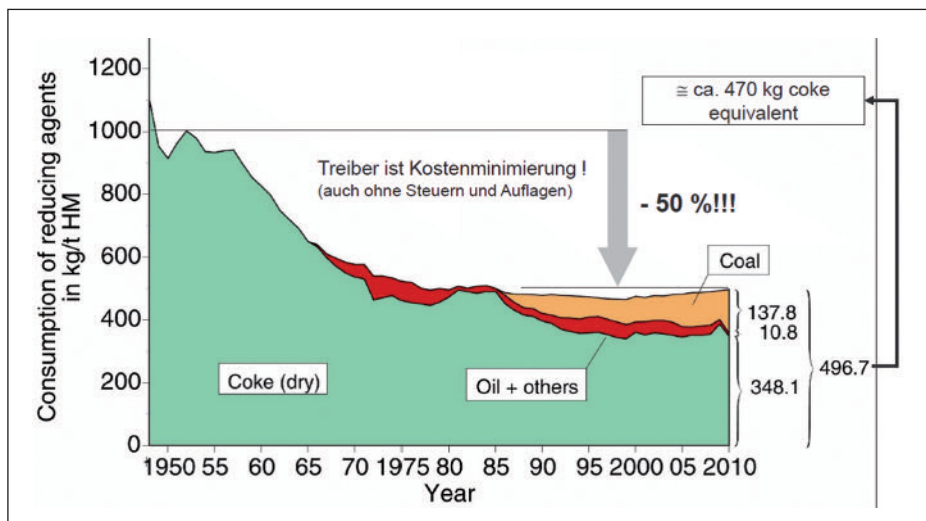


Abbildung 17:
Zeitliche Entwicklung des
Reduktionsmittelbedarfs
in den europäischen
Hochofen [15]

Das theoretische Minimum an Kohlenstoff liegt bei 414 kg Kohlenstoff pro Tonne Roheisen, was einer Koks menge von 465 kg entspricht. Gegenwärtig liegt der Kohlenstoffverbrauch in Koksäquivalent bei 486 kg pro Tonne erzeugtem Rohstahl. [16, 17]

In europäischen Stahlunternehmen ist die weitere Verbesserung der Energieeffizienz ein großes Thema. Viele Betriebe haben bereits vor dem Erlass nationaler Energieeffizienzgesetze Energiemanagement-Abteilungen in die Unternehmensabläufe integriert und arbeiten an einer kontinuierlichen Verbesserung der Verbrauchssituation.

In der Literatur wird der Energieverbrauch pro erzeugter Tonne Rohstahl über die integrierte Hochofenroute heute mit einer Spanne von 18–24 GJ angegeben. Auf-

grund der laufenden Investitionen und des hohen Entwicklungsstands der österreichischen Stahlindustrie bewegen sich die österreichischen Hochofenbetreiber am unteren Ende dieser Skala. Die zeitliche Entwicklung des Energieverbrauchs in europäischen Stahlwerken ist in Abbildung 18 dargestellt. Es ist ein deutliches Abflachen der Kurve zu erkennen. Dies liegt daran, dass weitere Verbesserungen der Energieeffizienz nur noch mit größerem Aufwand zu erzielen sind. Der Hochofen ist ein bereits weit optimiertes Aggregat.

Durch vielfältige Maßnahmen ist auch die Elektrolichtbogenofenroute in den letzten Jahrzehnten wesentlich effizienter geworden. So konnte der Stromverbrauch um etwa 20 % gesenkt werden. Auch die österreichischen Betreiber von Elektrolichtbogenöfen gehören bereits jetzt zu den weltweiten Top-Performern.

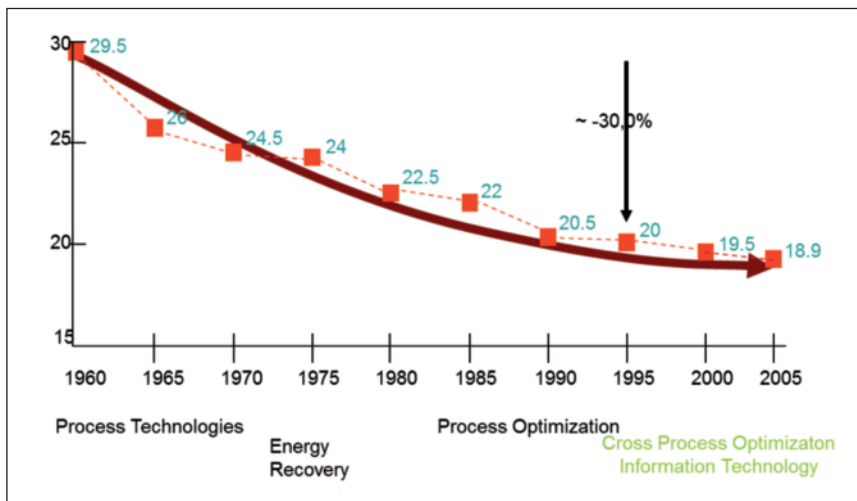


Abbildung 18:
Zeitliche Entwicklung des
Netto-Energieumsatzes in GJ für
integrierte Stahlwerke in Europa,
Quelle: Siemens VAI, interner
Bericht

9.0 Emissionen in der Stahlindustrie

Mit dem Thema des Energieverbrauchs geht in den meisten Fällen die Thematik der Verringerung klimaschädlicher Treibhausgasemissionen einher. Das ist eines der Hauptthemen der Stahlindustrie.

Im Jahr 2009 hat sich der Europäische Rat auf das Langzeitziel geeinigt, bis 2050 80–95 % der europäischen Treibhausgasemissionen vom Ausgangsniveau des Jahres 1990 einzusparen. Dieser Beschluss ist im Einklang mit der Empfehlung des Zwischenstaatlichen Ausschusses über Klimaveränderung (IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change), die weltweiten Treibhausgasemissionen um 50 % zu verringern, um die globale Klimaerwärmung, verglichen mit der Zeit vor der Industrialisierung, auf unter 2,1 °C zu beschränken.

In der 2011 durch die Europäische Kommission beschlossenen Roadmap für die Erreichung einer „competitive low carbon economy“ wurden diese Ziele bezüglich der europäischen Industrie präzisiert. So ist bis 2030 eine Einsparung von Treibhausgasemissionen im Umfang von 34–40 % und bis 2050 eine weitere Reduktion von 83–87 % gegenüber dem Referenzniveau von 1990 geplant. Im Jänner 2014 wurde durch die Europäische Kommission der Entwurf eines Energie- und

Klimaschutzpakets 2030 vorgestellt, welches eine Konkretisierung der Ziele bis 2030 enthält.

Nicht zuletzt ist die Stahlindustrie durch das 2005 eingeführte Emissionshandelssystem auch monetär gezwungen, Treibhausgasemissionen weitestgehend zu vermeiden.

Die Menge an klimaschädlichen CO₂-Emissionen der europäischen Stahlindustrie (inkl. Äquivalenten) hat sich tatsächlich von 1990–2010 von 298 Mt CO₂ um ca. 25 % auf 223 Mt verringert. Dies hängt vor allem damit zusammen, dass in dieser Zeit die europäische Rohstahlproduktion um 12 % von 197 Mt auf 173 Mt zurückgegangen ist. Von diesem Rückgang war hauptsächlich über die Hochofenroute produzierter Stahl betroffen (65 %). Der Produktionsrückgang erklärt sich aus den Strukturbereinigungen in der osteuropäischen Stahlindustrie und aus dem allgemeinen Produktionsrückgang aufgrund der Wirtschaftskrise. Darüber hinaus hat sich seit den 1970er-Jahren der Anteil von Elektro Stahl in der Europäischen Union stark erhöht. Dieser lag bis 1990 bei 28 % und hat sich bis 2010 auf 41 % gesteigert. Die Limitierungen der Elektro Stahlroute (Schrottverfügbarkeit, Schrottqualität, Strombedarf etc.) wurden allerdings bereits besprochen.

Als dritter Faktor haben Energieeffizienzsteigerungen (siehe Abschnitt „Energieeffizienz“) zu einer Verringerung der Treibhausgasemissionen beigetragen. Bei der Hochofenroute konnten die spezifischen Emissionen von 2,0 auf 1,6 t CO₂ pro Tonne Roheisen gesenkt werden. Durch Stromeinsparungen beim Elektrolichtbogenofen ist es gelungen, den Treibhausgasausstoß von 1990–2010 von 585 auf 439 kg CO₂ pro Tonne zu senken. Darüber hinaus haben sich die Einsatzmaterialien signifikant verändert. Heute wird in Lichtbogenöfen Roheisen nur mehr sehr selten eingesetzt. In den meisten Fällen wird ausschließlich Stahlschrott chargiert. [8]

Österreich hat im Vergleich zu den übrigen EU-Mitgliedsstaaten in diesem Bereich eine andere Entwicklung genommen. Die österreichische Stahlproduktion konnte sich von 1990 bis 2010 um 67,6 % steigern.

Nach einem der Wirtschaftskrise gezollten Produktionseinbruch ist die Stahlproduktion von 2009 auf 2010 wieder um 29,4 % angestiegen. Damit einhergehend hat sich auch die Gesamtmenge der emittierten Treibhausgase erhöht. Die Entwicklung der Roheisen- und Rohstahlproduktion sowie der damit verbundenen Treibhausgasemissionen ist in Abbildung 19 dargestellt. [18]

Am Auseinanderdriften der Produktions- im Vergleich zu den Emissionskurven ist die Verringerung der Emissionen pro erzeugter Tonne Stahl bzw. Roheisen zu sehen. Dieses Verhältnis hat sich lediglich im Jahr 2009 krisenbedingt verschlechtert, da es aufgrund der geringen Auslastung nicht möglich war, kontinuierlich laufende Aggregate (bspw. Hochöfen) bei einem stark verminderten Durchsatz in den optimalen Betriebspunkten zu halten.

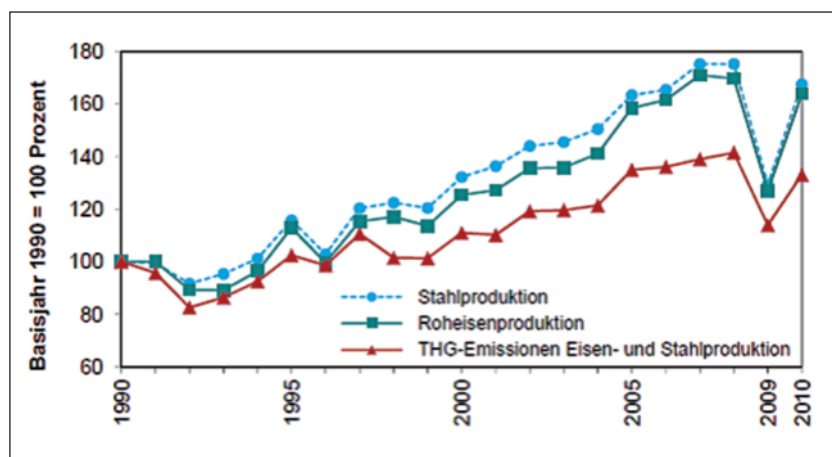


Abbildung 19:
Roheisen-, Rohstahlproduktion
und Entwicklung der Treibhausgas-
emissionen in Österreich [18]

Ein Überblick über die Emissionswerte der österreichischen Stahlindustrie aus dem Jahr 2008 findet sich in Tabelle 3.

Standort	Menge 10 ⁶ t _{RS}	spez. CO ₂ -Emissionen kg t _{RS}	CO ₂ -Emissionen 10 ⁶ t	Stromimport TWh
Linz	5,260	1.654	8,70	0,50
Donawitz	1,610	1.824	2,94	0,32
EAf (gesamt)	0,708	126	0,16	0,41
Österreich	7,578	1.557	11,80	1,23

Tabelle 3:
Emissionswerte der österreichischen Stahlindustrie 2008 [19]

Bemerkenswert an den österreichischen Emissionsreduktionen pro erzeugter Stahlmenge ist, dass diese, verglichen mit dem europäischen Wert, nicht durch eine Produktionsverlagerung von der Hochofen- auf die Elektrolichtbogenofenroute zustande kommen (90 % des österreichischen Stahls werden über die Hochofen-

route produziert), sondern aus echten Effizienzsteigerungen in der Prozessführung herrühren. Eine Verlagerung von der Primär- auf die Sekundärroute könnte zur weiteren Vermeidung von Emissionen und einer Reduktion des Energieverbrauchs beitragen. Dies ist allerdings nicht ohne weiteres möglich, da die Verfügbarkeit

von qualitativ hochwertigem Stahlschrott in unserer Region dadurch nicht absehbar größer wird und darüber hinaus die dafür benötigte Strominfrastruktur nicht gegeben ist. Des Weiteren kann Kohlenstoffstahl hoher Qualität nicht im Elektrolichtbogenofen erzeugt werden bzw. würden dafür große Mengen an DRI benötigt werden, dessen Produktion aber bei uns nicht wirtschaftlich ist.

Das EU-2050-Ziel bleibt bei dem prognostizierten, wenn auch geringen Anstieg der europäischen Stahlproduktion äußerst ambitioniert. Eines der Hauptprobleme dabei ist, dass die Stahlindustrie aufgrund der hohen Anlagenintensität in sehr langen Investitionszyklen denken muss. Eine Schließung bestehender Öfen und Werke, die noch nicht am Ende ihrer Lebensdauer sind, wäre finanziell fatal. Gleichzeitig sind verfahrenstechnische Alternativen, bspw. die Direktreduktion, aufgrund der hohen Gaspreise gegenwärtig nicht wirtschaftlich und würden sich schwer in die natürlich gewachsenen Stahlwerke integrieren lassen. Ein weiterer Grund für das wahrscheinliche Verfehlen der Emissi-

onsziele ist, dass für den breiten Einsatz der Carbon-Capture-Technologie weder die politischen noch die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen gegeben sind.

EUROFER, der Verband der europäischen Stahlindustrie, sieht bspw. bei gleichbleibender wirtschaftlicher Entwicklung das wirtschaftlich tragbare realistische Einsparungspotenzial an Emissionen bis 2050 bei von 15 %. Unter Einbeziehung unwirtschaftlicher Maßnahmen könnte eine Reduktion von 40 %, mit CCS-Technologie eine Senkung um 57 % erreicht werden. Das Einsparziel von 80 % zu erreichen wird ohne starke Einschränkungen der Stahlproduktion und den Durchbruch neuer Technologien nicht möglich sein. [20]

Kritisch ist an dieser Stelle auch anzumerken, dass die Ziele Energieeffizienz und Vermeidung von Emissionen auch zu Zielkonflikten führen können. Bspw. ist gerade beim Einsatz von CCS-Technologien darauf Bedacht zu nehmen, dass diese wiederum den Energiebedarf erhöhen und somit, bis eine CO₂-freie Energieversorgung realisiert ist, für weitere Emissionen sorgen.

10.0 Emissionsvermeidungspotenzial durch Stahleinsatz

Ein Problem an dem Ansatz der Europäischen Union zur Bewertung klimaschädlicher Emissionen ist, dass dem benutzten Modell kein Life Cycle Assessment zugrunde liegt, sondern lediglich die Emissionen für die Herstellung eines Produktes betrachtet werden. Dies kann in der Folge zu negativen Ergebnissen führen, da diese Produkte während ihrer Lebensdauer dazu beitragen können, klimaschädliche Emissionen zu vermeiden.

Gerade Stahl trägt durch seine besonderen Werkstoffeigenschaften, seine lange Lebensdauer und gute Rezyklierbarkeit in vielen Schlüsselbranchen zur Vermeidung der Emission klimaschädlicher Treibhausgase bei.

Als ein Beispiel sei an dieser Stelle der Einsatz der Hüttenschlacken in der Zementindustrie angeführt. Pro Tonne erzeugtem Roheisen fallen heute ungefähr 250–300 kg Hochofenschlacke an. Der Großteil davon

wird durch eine Schlackengranulationsanlage und Abkühlung mit Wasser zu Hüttensand, einem Einsatzstoff für die Zementindustrie, weiterverarbeitet. Dieser kann aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften den sonst nur aufwendig zu erzeugenden Zementklinker eins zu eins substituieren. Dadurch können ein energetischer Aufwand von 2,9 GJ/t Zementklinker und die damit einhergehenden CO₂-Emissionen vermieden werden. [4]

Stahl ist ein wichtiger Werkstoff für unser Energiesystem. Hochleistungsstähle sind der Schlüssel zu hohen Wirkungsgraden in thermischen Kraftwerken. Um den Wirkungsgrad dieser Aggregate weiter zu erhöhen, braucht es höhere Dampfdrücke und höhere Temperaturen. Hitzebeständige Stähle können diesen Umgebungsbedingungen standhalten. Sie kommen daher in Dampf- und Turbogeneratoren, Boilern und zahlreichen Strukturelementen zum Einsatz. [20]

Stahl ist ein Schlüsselmaterial für die heutige Windkraftwerkstechnologie. Stahl kommt dabei nicht nur in Strukturelementen, sondern auch direkt in den Generatoren zum Einsatz. Während zwar bei Windkraftwerken am Festland zum Teil andere Materialien verwendet werden könnten, bleibt der Einsatz von rostfreiem Stahl im Offshore-Bereich alternativlos. [20]

Stahl ist auch der dominante Werkstoff im Automobil. Weitere Effizienzsteigerungen im Transportbereich werden vor allem von der Möglichkeit der Gewichts-

reduktion bei gleichzeitig tragbaren Kosten für den Konsumenten/die Konsumentin abhängen. Durch neue hochfeste Stahllegierungen ist es möglich, bis zu 40 % des Gewichts bei gleicher Festigkeit einzusparen. [20]

Berechnungen des VDEh haben ergeben, dass das durch den Einsatz von Stahl erzielbare Emissionsvermeidungspotenzial ungefähr das Sechsfache der 70 Mt CO₂/Jahr ausmacht, die die Stahlindustrie gegenwärtig emittiert. [20]

11.0 Energieverbrauch im Stahlerzeugungsprozess

In diesem Abschnitt wird der spezifische Energieverbrauch für die verschiedenen Routen der Stahlerzeugung diskutiert. Dabei wird auf den Energiebedarf der jeweiligen Prozessschritte eingegangen. Um eine Beurteilung des gegenwärtigen Effizienzniveaus zu ermöglichen, wird in der Folge der theoretische Energiebedarf zur Stahlerzeugung besprochen.

Generell ist bei den folgenden Zahlen zu beachten, dass je nach Ziehung der Systemgrenzen und Berechnungsmethode unterschiedliche Größen errechnet werden können. Bspw. kann der Energieverbrauch für die

Herstellung von Koks in der Kokerei dem spezifischen Energieverbrauch zugerechnet werden oder eben nicht. Ähnlich verhält es sich mit den werkseigenen Kraftwerken und der Verwendung von Kuppelgasen. Beispielhaft ist dies in Tabelle 4 und Tabelle 5 dargestellt. Diese zeigen den Energieverbrauch der deutschen Stahlindustrie für das Jahr 2007. Bei den Zahlen in Tabelle 4 sind der Energieaufwand für die Koksherstellung (4.200 MJ/t Koks), die Dampferzeugung (1.100 MJ/t) und die Sauerstoffherzeugung (1.080 MJ/1.000 m³ (n) berücksichtigt, in Tabelle 5 nicht, was zu beträchtlichen Unterschieden führt. [2]

	Eisen- und Stahlindustrie, Deutschland 2007					
	Brennstoffe spezifisch		Strom spezifisch		Endenergie spezifisch	
Hochofenbetriebe	18.034	MJ/t RE	284	MJ/t RE	18.319	MJ/t RE
Elektrostahlwerk	525	MJ/t ES	1.919	MJ/t ES	2.444	MJ/t ES
Warmwalzbetriebe	1.232	MJ/t RS	450	MJ/t RS	1.682	MJ/t RS
Gesamt	15.752	MJ/t RS	1.714	MJ/t RS	17.466	MJ/t RS
	Brennstoffe gesamt		Strom gesamt		Endenergie gesamt	
Hochofenbetriebe	497.933	TJ	8.861	TJ	506.794	TJ
Elektrostahlwerk	7.883	TJ	28.815	TJ	36.698	TJ
Warmwalzbetriebe	59.797	TJ	21.858	TJ	81.656	TJ
Gesamt	764.751	TJ	83.218	TJ	847.969	TJ
(RE: Roheisen, ES: Elektrostahl, RS: Rohstahl)						

Tabelle 4:
Energieverbrauch der deutschen Stahlindustrie 2007 unter Berücksichtigung des Energieaufwandes für Koks-, Dampf- und Sauerstoffherzeugung [2]

	Eisen- und Stahlstatistik 2007					
	Brennstoffe spezifisch		Strom spezifisch		Endenergie spezifisch	
Hochofenbetriebe	16.208	MJ/t RE	284	MJ/t RE	16.493	MJ/t RE
Elektrostahlwerk	472	MJ/t ES	1.919	MJ/t ES	2.391	MJ/t ES
Warmwalzbetriebe	1.198	MJ/t RS	450	MJ/t RS	1.648	MJ/t RS
Gesamt	14.047	MJ/t RS	1.714	MJ/t RS	15.761	MJ/t RS
	Brennstoffe gesamt		Strom gesamt		Endenergie gesamt	
Hochofenbetriebe	447.536	TJ	8.861	TJ	456.397	TJ
Elektrostahlwerk	7.086	TJ	28.815	TJ	35.901	TJ
Warmwalzbetriebe	58.143	TJ	21.858	TJ	80.002	TJ
Gesamt	681.971	TJ	83.218	TJ	765.189	TJ
(RE: Roheisen, ES: Elektrostahl, RS: Rohstahl)						

Tabelle 5:
Energieverbrauch der deutschen Stahlindustrie 2007 ohne Berücksichtigung des Energieaufwandes für Koks-, Dampf- und Sauerstoff-erzeugung [2]

11.1 Energiebedarf der integrierten Stahlherstellung

Abbildung 20 zeigt den spezifischen Energieverbrauch für die einzelnen Prozessschritte der Erzeugung von Warmband in einem integrierten Stahlwerk.

Den größten Energiebedarf der einzelnen Produktionsschritte hat dabei der Hochofen. Pro Tonne erzeugtem Warmband ist je nach Einsatzstoffen und Prozessführung mit einem Bedarf von 15–22 GJ zu rechnen, was zwischen 81 und 88 % des Gesamtenergiebedarfs pro Tonne ausmacht. Davon entfällt auf die Prozessschritte in der Kokerei ungefähr 1 GJ/t Stahl. Für die Erzeugung von Sinter werden je nach Einsatzmenge bis zu 1,5 GJ/t aufgewendet. [2]

Die Stahlerzeugung im Tiegel bzw. die darauffolgende Weiterbehandlung macht mit einer Spanne zwischen 0,3 und 1 GJ/t Warmband nur einen geringfügigen Teil des Energiebedarfs aus. Der Stranggussprozess ist mit einem Bedarf zwischen 0,1 und 0,3 GJ/t eher zu vernachlässigen. Ein nicht unbeträchtliches energetisches Potenzial liegt beim Warmwalzen, welches je nach Prozessbeherrschung und Walzbehandlung mit ca. 1,6–3,6 GJ/t Warmband zu Buche schlägt. Zusammengerechnet ergibt sich ein Gesamtaufwand von ca. 17–26,9 GJ/t Warmband. Die hier angegebenen Werte sind gemittelt und können je nach Stahlgüte und damit einhergehender aufwendiger Weiterverarbeitung variieren.

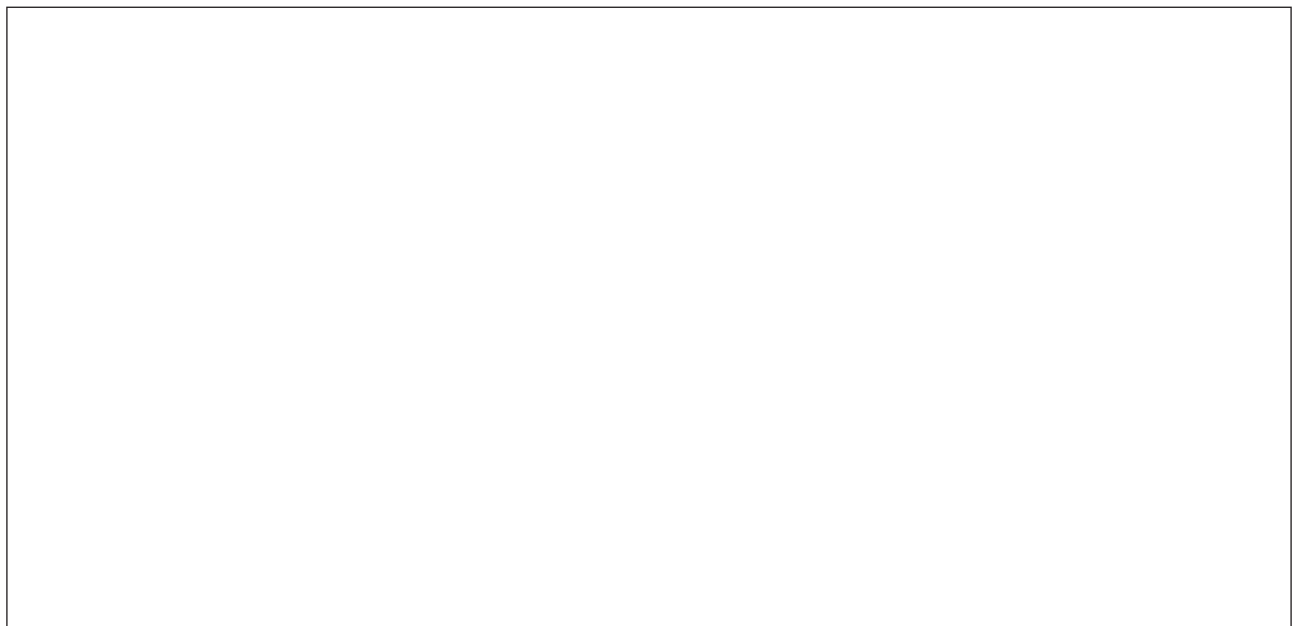


Abbildung 20:
Energieverbrauch je Prozessschritt bei der Erzeugung von Warmband im integrierten Stahlwerk, Quelle: Siemens VAI

11.2 Energiebedarf im Elektrostahlwerk

Ein anderes Bild zeigt sich bei der Erzeugung von Stahl im Elektrostahlwerk. Abbildung 21 zeigt hierbei den Energiebedarf pro Prozessschritt für ein typisches Elektrostahlwerk mit einer Produktionskapazität von >0,5 Millionen Tonnen pro Jahr. In diesem Verfahrensweg muss das Erz nicht mehr zu Roheisen reduziert werden. Der Stahlschrott wird lediglich mit dem Lichtbogen aufgeschmolzen. Dies führt allgemein zu einem niedrigeren Energiebedarf, wobei die Elektrolichtbogenofenroute die bereits erwähnten Limitierungen (Strombedarf, Schrottverfügbarkeit, Schrottqualität etc.) aufweist.

Das Schmelzen des Stahlschrotts im Elektrolichtbogenofen verursacht einen Energieaufwand von ungefähr 3–4 GJ/t. In der Grafik hinzugerechnet wurden die sekundärmetallurgischen Verfahrensschritte im Pfannenofen bzw. eine Vakuumbehandlung, die wie bei der integrierten Route mit ca. 0,3–1 GJ/t zu Buche schlagen.

Geht man, wie in Elektrostahlwerken üblich, von einer Dünnbramme aus, ergibt sich im Vergleich zum Strangguss und späteren Warmwalzen ein geringerer Energieaufwand von 0,6–0,9 GJ/t.

Gesamt ergibt sich somit ein Energieaufwand zwischen 3,6 und 5,9 GJ/t Warmband aus dem Elektrostahlwerk.

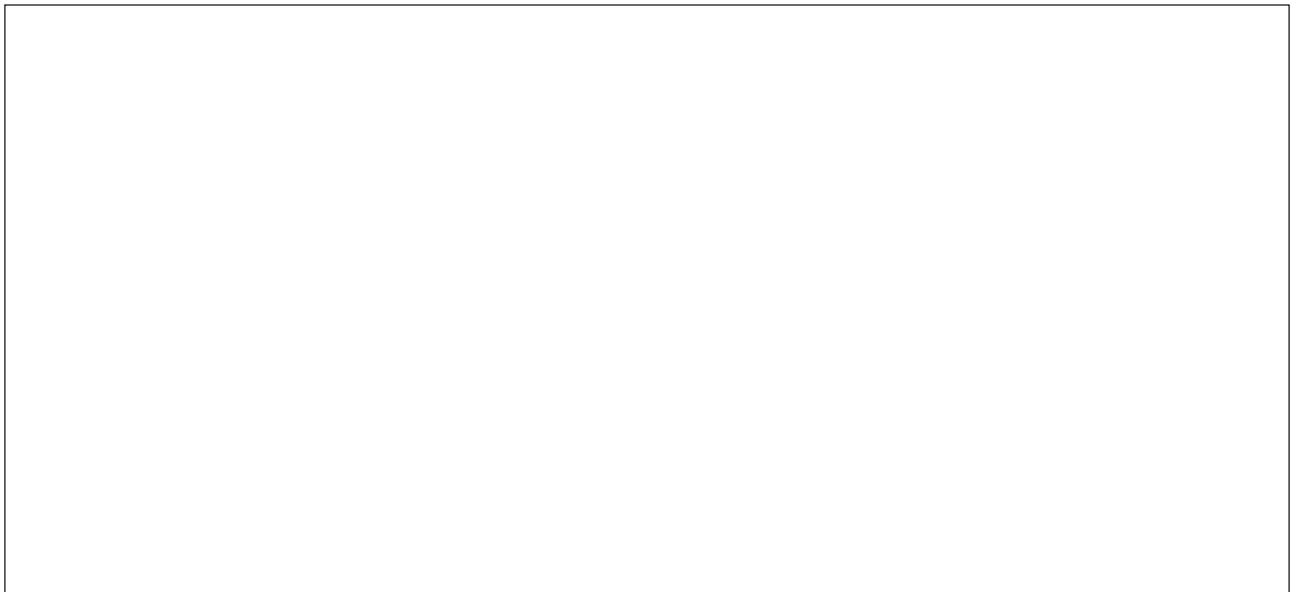


Abbildung 21:
Energieverbrauch je Prozessschritt bei der Erzeugung von Warmband im Elektrostahlwerk, Quelle: Siemens VAI

11.3 Energiebedarf alternativer Herstellungsrouten

Folgend sollen nun auch die alternativen Roheiserzeugungungsverfahren bezüglich ihrer Energieintensität betrachtet werden.

Durch das zweistufige COREX-Verfahren ist es möglich, den Kokseinsatz zu reduzieren. Bei einer Abwandlung des Verfahrens, welches mit Feinerzen arbeitet (FINEX), wäre es auch möglich, direkt Feinerze einzusetzen. Die Herstellung von Pellets ist dabei nicht mehr notwendig. Dementsprechend ist es möglich, den Energieaufwand für die Kokerei und Pelletierung (ungefähr 3 GJ) zu reduzieren. Die Prozessarchitektur hat allerdings, verglichen mit dem Hochofen, den Nachteil höherer Wärmeverluste. [2]

Direktreduktionsverfahren auf Erdgasbasis haben sich vor allem in Ländern mit geringem Schrottaufkommen und eigenem Erdgasvorkommen durchgesetzt. Das dabei entstehende Produkt ist Eisenschwamm, welcher in der Folge in den Elektrolichtbogenöfen eingesetzt werden kann. Für ein gasbasiertes Schachtverfahren muss man pro Tonne Eisenschwamm mit einem Energiebedarf von ungefähr 10 GJ rechnen. Hinzu kommen noch die Verfahrensschritte des Elektrostahlwerks, welche, wie vorab besprochen, zwischen 3,6 und 5,9 GJ/t Stahl benötigen. In Ermangelung von Erdgasvorkommen dürfen die Direktreduktionsverfahren in unseren Breiten jedoch als unwirtschaftlich betrachtet werden. Die bekanntesten kommerziellen Vertreter dieser Verfahrensgruppe sind das MIDREX-, das HYL- und ENERGIRON-Verfahren. [2]

11.4 Vergleich der Herstellungsverfahren für Roheisen

Abbildung 22 vergleicht die drei besprochenen Routen zur Stahlerzeugung miteinander. Dabei wird der Bedarf an fossilen Energieträgern sowohl direkt als auch für die Stromerzeugung mit eingerechnet. Des Weiteren

wird die Verwertung von Kuppelgas berücksichtigt. Das Ergebnis zeigt, dass der Primärenergieverbrauch bei allen Verfahrensrouten ähnlich hoch ist. Weitere Möglichkeiten, dieses Verhältnis zugunsten von Direkt- und Schmelzreduktion zu verbessern, liegen in der Bereitstellung einer Stromversorgung ohne Einsatz von fossilen Brennstoffen.

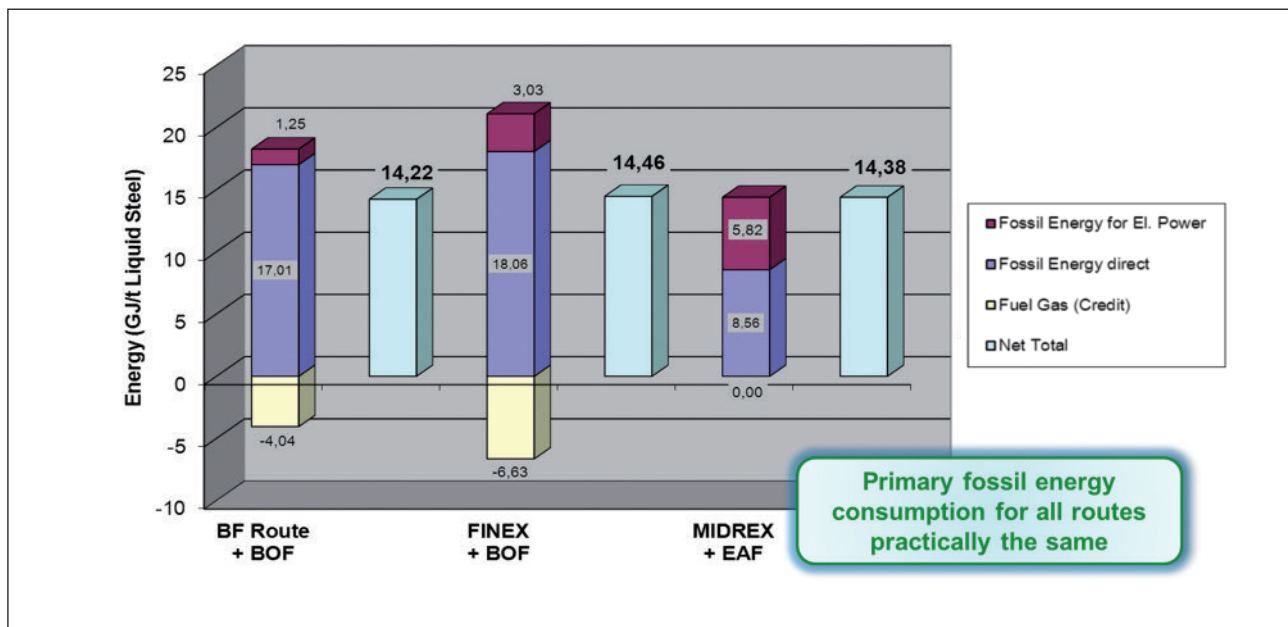


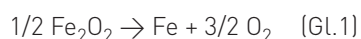
Abbildung 22:

Primärenergiebedarf für verschiedene Routen der Stahlproduktion nach Energieträger und saldiert,

Quelle: Siemens VAI Metal Technologies

11.5 Theoretischer Energieverbrauch für die Herstellung von Stahl

Die Reaktion von Hämatit zu Eisen erfolgt nach



mit einer benötigten Reaktionswärme von 6,7 GJ/t Fe unter Standardbedingungen (1 bar Druck, bei 25 °C). Da Eisen bei Raumtemperatur fest ist, muss noch das Erhitzen des Eisens bis auf 1.536 °C berücksichtigt werden (Gl. 2).



wofür eine Energiemenge von 1,3 GJ/t benötigt wird. Dies macht in Summe für die Reaktion von Hämatit zu Eisen einen theoretischen Energiebedarf von 8 GJ/t aus. Für das Stahlrecycling wird die Energiemenge, die zum Aufschmelzen des Stahlschrotts notwendig ist, als theoretisches Potenzial angenommen, nämlich 1,3 GJ/t. Wie im letzten Abschnitt gezeigt, liegen die heute technisch erreichten Energieverbräuche wesentlich höher, nämlich bei ca. 15 GJ/t für die Hochofenroute und un-

gefähr 3,3 GJ/t für den Elektrolichtbogenofen. Wie in Abbildung 23 dargestellt, ergibt sich diese Abweichung vor allem durch das entstehende Gichtgas, den Wärmeübergang in das Roheisen und die Kühlung. Betrachtet man die Reduktionsreaktion alleine, ist man dem theoretischen Minimum schon sehr nahe gekommen. Darüber hinaus ist zu beachten, dass Kuppelprodukte, wie Schlacke und Prozessgase, weiterverwertet werden.

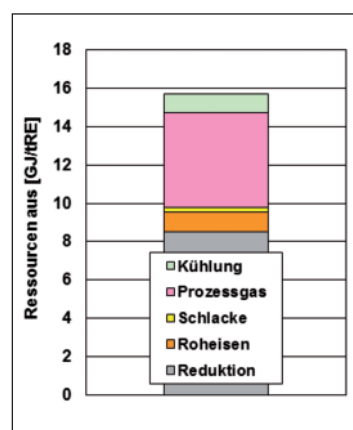


Abbildung 23: Energiebedarf bei der Stahlproduktion nach Prozessfunktion, Quelle: voestalpine AG

12.0 Möglichkeiten zur Erhöhung der Energieeffizienz in der Stahlindustrie

Im folgenden Abschnitt soll diskutiert werden, welche Wege begangen werden können, um die Energieeffizienz in der österreichischen Stahlindustrie weiter zu erhöhen. Das Spektrum an Möglichkeiten umfasst dabei technologische Neuerungen, die Herstellung geeigneter Rahmenbedingungen und Veränderungen in der Prozessstruktur der Unternehmen selbst.

12.1 Entwicklung geeigneter Kennzahlensysteme

Der folgende Abschnitt soll zeigen, dass die Messung der Energieeffizienz einer Unternehmung bei eingehender Betrachtung keine triviale Angelegenheit ist, und versucht, den Entwicklungsbedarf in diesem Gebiet aufzuzeigen, da eine fundierte Datenbasis die Grundlage für alle weiteren Entscheidungsprozesse bilden sollte.

In der politischen Debatte um eine Erhöhung der Energieeffizienz wird zumeist der absolute Energieverbrauch einer Unternehmung als Messlatte zur Beurteilung der Energieeffizienz herangezogen. Auch für die europäischen Zielsetzungen bezüglich einer Limitierung des Ausstoßes klimaschädlicher Gase wurde ein Absolutwert vorgegeben. Bis 2050 soll die als Referenzwert herangezogene Summe an Emissionen aus dem Jahr 1990 um 83–87 % reduziert werden. Dies ist vor allem im Zusammenhang mit dem demnächst anstehenden Energieeffizienzgesetz eine gefährliche Entwicklung.

In Abschnitt 9 wurde diskutiert, dass die Senkung der Emissionen aus der Stahlindustrie um 25 % von 1990–2010 im Wesentlichen aufgrund dreier Faktoren zustande kommt:

- Zum einen war es der Stahlindustrie möglich, durch Prozessverbesserungen und Optimierung des Ressourceneinsatzes Effizienzsteigerungen zu generieren.
- Zum anderen konnte während dieses Zeitraumes der Anteil der Elektrostahlroute erhöht werden, was sich aufgrund der geringeren Emissionen ebenfalls

positiv auswirkt, wobei Hochofenroute und Elektrostahlroute aufgrund der Limitierungen letzterer nicht gegeneinander substituierbar sind.

- Der größte der drei Einflussfaktoren war jedoch der Rückgang der europäischen Stahlproduktion um 12 %. So erfreulich dies im Hinblick auf die Einsparung von Emissionen auch sein mag, so fatal ist diese Entwicklung für die europäische Stahlindustrie gewesen.

Der einfachste Weg, die Emissionen aus der Stahlindustrie einzusparen, wäre demnach, keinen Stahl mehr zu produzieren. Dies kann aber weder aus umwelttechnischer noch aus politischer Sicht im Interesse der Republik Österreich sein. Die Stahlindustrie ist in Österreich einer der größten heimischen Arbeitgeber und Beschäftigungsfaktor für unzählige Subfirmen und Zulieferunternehmen. Ein Wegfall der Stahlproduktion in Österreich hätte wirtschaftlich fatale Folgen. So ist es grundsätzlich eine erfreuliche Entwicklung, dass es der österreichischen Stahlindustrie gelungen ist, während europaweiter Stagnation die Produktionsmenge zwischen 1990 und 2010 um 67,6 % zu steigern. Selbstverständlich führte diese Produktionssteigerung zu mehr Emissionen und einem erhöhten Energieverbrauch, wobei diesem Mehraufwand ein sich erhöhender Effizienzfaktor und eine gestiegene Wertschöpfung entgegenstehen. Gleichzeitig ist an dieser Stelle zu erwähnen, dass die österreichischen Stahlwerke aufgrund der strengen gesetzlichen Reglementierung, aber vor allem durch jahrzehntelange Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten zu den modernsten, effizientesten und emissionsärmsten Stahlwerken der Welt zählen. Verlagert man die Produktion in einen Drittstaat mit lockererer Gesetzgebung, so tut man dem Anliegen des Umweltschutzes keinen Gefallen. Ganz im Gegenteil würden sich die weltweiten Emissionen an klimaschädlichen Gasen dadurch erhöhen.

Durch absolute Limits, sei es im Bereich der Emissionen oder des energetischen Endverbrauchs, werden die österreichischen Stahlunternehmen in ihrer Weiterentwicklung behindert: [21]

- Absolute Limits schränken die maximale Produktionskapazität ein. Es könnte der Fall eintreten, dass

es aufgrund von Zahlungen für Emissionsrechte oder einer Überschreitung des energetischen Verbrauchslimits für den Betreiber günstiger ist, eine Anlage unter der möglichen Anlagenkapazität zu betreiben und damit auf zusätzliche Beschäftigung und Wertschöpfung zu verzichten.

- Absolute Limits verhindern den Aufbau weiterer Produktionskapazitäten. Wenn eine Überschreitung des jeweiligen Emissions- oder Energieverbrauchslimits zu hohen Ausgaben für den Ankauf von Emissionsrechten oder Strafzahlungen führt, so wäre jeder Anreiz verloren, in einen Ausbau des Standorts zu investieren. Dies verhindert zusätzliche Wertschöpfung im Inland, die Entstehung weiterer Arbeitsplätze und schadet letztendlich der Umwelt, da die geplanten Investitionen wohl woanders durchgeführt werden.
- Absolute Limits schaden der technischen Weiterentwicklung. Die verhinderte Wertschöpfung wird dazu führen, dass technische Innovationen nicht im Inland entwickelt und umgesetzt werden, sondern die Geldmittel dafür benutzt werden, in konventionelle Technologien im Ausland zu investieren.
- Absolute Limits könnten letzten Endes dazu führen, dass die europäische Stahlindustrie in ihrer Weiterentwicklung derart behindert wird, dass die Wettbewerbsfähigkeit verloren geht und es diesen technisch weit entwickelten Industriezweig in Europa zukünftig nicht mehr gibt. Mit allen negativen Konsequenzen für die Umwelt durch eine Produktionsverlagerung in Drittstaaten.

Etwas entwicklungsfreundlicher für die österreichische Stahlindustrie wären spezifische Verbrauchslimits, wenngleich diese, wie die Diskussion zeigen wird, auch nur ein suboptimales Instrument zur Bewertung der Energieeffizienz eines Betriebes bilden.

Der spezifische Energiebedarf errechnet sich aus dem gesamten Energiebedarf einer Unternehmung, eines Produktionsstandortes oder eines Betriebs dividiert durch eine Leistungseinheit, zumeist die Güterproduktion in Stück bzw. in Tonnen gefertigtes Produkt. Das heißt, es wird der Energieverbrauch pro produzierter Leistungseinheit zur Beurteilung der energetischen Leistung eines Produktionsbetriebes herangezogen. Der Vorteil eines spezifischen Energieverbrauchslimits ist, dass dieses Auslastungsschwankungen berücksichtigt, da bei einer höheren Auslastung der zusätzliche Energieverbrauch durch einen höheren Output ausgeglichen wird. Selbstverständlich wäre es auch möglich, spezifische Treibhausgasemissionen zu errechnen. Die Beurteilung der Energieeffizienz oder das Setzen eines Energieverbrauchslimits anhand des spezifischen Energieverbrauchs hat allerdings Grenzen.

Zum einen verfügt die Stahlindustrie Zum einen verfügt die Stahlindustrie über kontinuierlich arbeitende Aggregate (z. B. Kokerei oder Hochofen), die nicht ohne weiteres gestoppt werden können. Wie Abbildung 19 zeigt, ist während des Krisenjahres 2009 die Effizienz in Bezug auf Treibhausgasemissionen stark zurückgegangen. Dies liegt vor allem daran, dass es auch bei geringerer Auslastung notwendig war, die Hochöfen kontinuierlich zu betreiben, und diese daher nicht in ihren optimalen Betriebspunkten gehalten werden konnten. In dem Krisenjahr 2009 wäre in der österreichischen Stahlindustrie die Zahl der spezifischen Treibhausgasemissionen genauso wie der spezifische Energieverbrauch sprunghaft angestiegen. Dies hätte gerade in einer wirtschaftlich angespannten Situation in Verbindung mit potenziellen Strafzahlungen sehr negative Konsequenzen für Stahlerzeugungsbetriebe. [22]

Eine weitere Schwäche der spezifischen Leistungskennzahlen liegt darin, dass verschiedene Stahlprodukte über einen unterschiedlichen Energiebedarf verfügen. Je komplexer die Fertigungskette eines Stahlproduktes, desto höher ist zumeist der energetische Aufwand zur Herstellung, aber auch die zu erzielende Wertschöpfung steigt mit der Zahl der Produktionsschritte. Gleichzeitig ist die Produktvielfalt in österreichischen Stahlerzeugungsbetrieben derartig groß, dass es nur unter größtem Aufwand möglich wäre, den genauen Energieverbrauch jedes Einzelproduktes zu messen. Dies müsste aber geschehen, um den spezifischen Energieverbrauch zu korrigieren, da ja eine Tonne höherwertiges Stahlprodukt mehr energetischen Aufwand bedeutet als die Produktion eines einfachen Baustahls. Am wahrscheinlichsten ist also, dass diese Korrektur nicht stattfinden kann, sondern Stahl als Stahl behandelt wird und der Gesamtoutput in Tonnen herangezogen wird. Dies könnte jedoch in der Folge zu eigentümlichen Ergebnissen führen:

Eine Beurteilung der energetischen Leistung einer Unternehmung anhand des spezifischen Energieverbrauchs könnte verursachen, dass ein Stahlerzeugungsunternehmen aufgrund des Zwangs möglichst viel Output zu generieren, um den spezifischen Energieverbrauch gering zu halten, sein Produktionsprogramm derart verändert, dass zunehmend auf einfach zu fertigende Produkte gesetzt wird. Gleichzeitig könnten etwaige Maluszahlungen den Benefit der Erzeugung höherwertiger Stahlprodukte aufheben und es wirtschaftlich günstiger werden lassen, auf sogenannte Commodities zu setzen. Dieser Umstand würde nicht nur der österreichischen Wirtschaftsstrategie, die die Positionierung der Republik als Hochlohn- und Hochtechnologiestandort vorsieht, zuwiderlaufen, sondern auch der durch die österreichische Stahlindustrie in den letzten zwei Jahrzehnten sehr erfolgreich verfolgten Nischenstrategie diametral widersprechen. [21]

Demnach braucht es zur seriösen Beurteilung der Energieeffizienz produzierender Unternehmen geeignete Instrumente zur Messung und Kontrolle des Energieverbrauchs sowie zur Bewertung und Evaluierung von Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz, Kostenoptimierung und zur Setzung etwaiger Verbrauchslimits durch den Gesetzgeber.

Deutlicher Entwicklungsbedarf besteht also in der Bestimmung von standardisierten Leitkennzahlen auf Prozess-, Anlagen- und Unternehmensebene. Diese Kennzahlen haben die Aufgabe, die Energieeffizienz zu messen und Ineffizienzen in Verfahren und Prozessen zu identifizieren. Zudem sollen mithilfe von Energy Performance Indicators (EnPIs) Veränderungen der Energieeffizienz sichtbar gemacht werden. Des Weiteren sollte es durch diese Instrumente möglich sein, eine Erhöhung des Effizienzniveaus auch monetär zu bewerten. Weiters sollte es durch standardisierte, branchenspezifische Benchmarks möglich werden, die energetische Leistung von Unternehmungen überbetrieblich zu vergleichen. Hier ist die Aufgabe, ein geeignetes Bewertungssystem für den internen und externen Vergleich von Prozessen, Betrieben und Unternehmen zu ermöglichen. [22]

12.2 Energiemanagementsysteme

Aufgrund der hohen Bedeutung des Themas Energie in der Stahlerzeugung hat die österreichische Stahlindustrie ihre Verantwortung wahrgenommen und viele Betriebe haben bereits kurz nach Publikation der ISO 50001 mit der Implementierung eines normierten Energiemanagementsystems begonnen und sind mittlerweile zertifiziert. Die ISO-Norm bietet für die Einführung eines Energiemanagementsystems einen groben Rahmen. So verlangt sie bspw. von einer Unternehmung die Einführung und Überwachung von Energieleistungskennzahlen, lässt den Unternehmen aber dabei jeglichen Freiraum. Der Entwicklungsbedarf in diesem Zusammenhang wurde im letzten Abschnitt bereits eingehend diskutiert. Die Norm ist aber auch bezüglich der Einführung eines Energiemanagementsystems im Betrieb eher vage formuliert und bietet auf der technischen Ebene keinerlei Unterstützung.

Daher ist ein Entwicklungsbedarf bei der Integration von Energiemanagementsystemen in bestehende Managementsysteme von Unternehmen gegeben. Die Verknüpfung der normativen und strategischen Ebene als Teil des ganzheitlichen Energiemanagements ist als Stand der Forschung verfügbar, aber die Implementierung im Betrieb fehlt. Eine Lücke im ganzheitlichen Managementsystem stellt die Integration des operativen

Feldes durch geeignete Methoden und Instrumente dar. Diesbezügliche Anstrengungen sollten jedenfalls unterstützt werden. [22]

12.3 Optimierungspotenziale bei der integrierten Stahlerzeugungsroute

Eingangs ist zu sagen, dass die integrierte Hochofenroute aufgrund umfangreicher Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten in den letzten Jahrzehnten bereits ein weitgehend optimiertes Aggregat darstellt. Als Indikator für die dabei erzielten Erfolge sei an dieser Stelle noch einmal auf Abbildung 17 verwiesen, welche zeigt, dass sich seit 1950 der Reduktionsmittelbedarf im Hochofen mehr als halbiert hat und ein Niveau nahe des theoretischen Verbrauchsminimums erreicht wurde. [15]

Generell als kritisch ist die Abhängigkeit des Hochofenprozesses von Koks kohle einzustufen. Dazu gibt es aber keine absehbare Alternative, da die Prozessführung den porösen Koks zum Gasaustausch benötigt.

Die Beurteilung der Energieeffizienz des Hochofenprozesses wurde bereits in einem vorangegangenen Abschnitt diskutiert. Varianten, welche die Schmelz- und Direktreduktion dem Hochofenprozess vom energetischen Aufwand her überlegen sehen, berücksichtigen zumeist keine Gutschriften für die entstehenden Kuppelgase. Darüber hinaus ist bei einer mehrstufigen Prozessführung im Vergleich zum Einzelaggregat mit höheren Wärmeverlusten zu rechnen.

Die Optimierungspotenziale für die integrierte Route werden nun der Reihenfolge der Prozesskette entsprechend diskutiert.

12.3.1 Gasrezirkulierung an Sinteranlagen

Beim Sinterprozess wird das auf die Bandsinteranlage aufgebrauchte Feinerz bei Temperaturen von ca. 1.200 °C agglomeriert. Abwärmequellen des Sinterprozesses sind zum einen das Sintergas, welches Temperaturen zwischen 200 und 300 °C aufweist, und zum anderen die Abwärme des Sinterkühlers. Durch Rezirkulierung der Abwärme des Prozesses wäre es möglich, zwischen 5 und 20 % des Energieaufwandes von 2 GJ einzusparen. Dabei sind etwa 45 % des Energieeinsatzes in den Abgasen enthalten, weitere 45 % macht die Abwärme des Sinterkühlers aus. [4, 23]

Das Problem bei der technischen Umsetzung sind einerseits die verhältnismäßig geringen Ablufttemperaturen, andererseits die im Abgas enthaltenen abrasiven

und korrosiven Elemente. Eine Rezirkulierung würde zu einer Anreicherung von Schadstoffen im Gas bei gleichbleibender absoluter Schadstoffmenge führen, was aufgrund gesetzlich vorgeschriebener Höchstwerte zu Problemen führen könnte. Des Weiteren müsste der Prozess dahingehend optimiert werden, dass die Materialeigenschaften des Sinterproduktes (Korngröße, Reinheit etc.) durch die Gasrezirkulierung nicht negativ beeinflusst werden. Ein weiteres Hemmnis sind die relativ hohen Investitionskosten bzw. langen Amortisationszeiten. Der Koksgruseinsatz konnte damit bis auf unter 40 kg/t Sinter reduziert werden. [23]

12.3.2 Kokstrockenkühlung

Die Kokerei ist in den meisten Stahlwerken bereits in den Energieverbund des Produktionsstandortes eingebunden. So wird das wasserstoffreiche Koksofengas oftmals für die Beheizung von Walzwerksöfen eingesetzt. Umgekehrt wird das Hochofengas in der Kokerei eingesetzt.

Ein relativ großes bisher ungenutztes Abwärmepotenzial stellt die beim Abkühlen des Kokes mit Wasser verlorene Wärmemenge dar. In der Kokerei wird bei Temperaturen von 900–1400 °C Kohle zu Koks umgewandelt. Dieser wird in der Folge abgekühlt, wobei ca. die Hälfte der enthaltenen Energiemenge in Form von Wasserdampf ungenutzt verloren geht. [23]

Bei der Kokstrockenkühlung wird der Koks mittels Stickstoff abgekühlt und kontinuierlich ausgebracht. Dabei erwärmt sich das eingeleitete Gas bis auf ca. 880 °C und kann nach einer Gasreinigung in einem Abhitze-kessel zur Erzeugung von Strom verwendet werden. Mit dieser Technologie lassen sich bis zu 1,7 GJ/t trockenem Koks einsparen, was ungefähr 40 % des Gesamtenergiebedarfs ausmacht. Auf den Stahlerzeugungsprozess umgelegt, ergäbe sich ein Einsparungspotenzial von 0,5 GJ/t Stahl, was ungefähr 3 % ausmacht. Neben dem geringeren Wasser- und Energieverbrauch ist die Anwendung der Kokstrockenkühlung auch aus emissions-technischer Sicht vorteilhaft. Einige Arbeiten sprechen auch von einer besseren Koksqualität und Festigkeit. [2]

Leider ist für Einrichtungen zur Kokstrockenkühlung aufgrund wartungstechnischer Besonderheiten die Anlagenverfügbarkeit im Vergleich zu Nasskühlungsanlagen wesentlich schlechter. Aus diesem Grund muss zusätzlich zur Trockenkühlungseinrichtung noch eine zusätzliche Nasskühlung als Ausweichmöglichkeit vorgesehen werden. Eine Umrüstung bestehender Anlagen ist nur schwer möglich. Daher stehen den großen Energieeinsparungen Investitionen in der Größenordnung von 20 % der Errichtungskosten für die gesamte Kokerei gegenüber. [2, 24]

In anderen Ländern ist die Kokstrockenkühlung weit verbreitet. Bspw. sind in Japan über 90 % der Kokereien mit dieser Technologie ausgestattet. Auch in China wurde ein großer Teil der Kokereien adaptiert. Gründe für die geringe Verbreitung der Technologie in der Europäischen Union sind die in der Vergangenheit niedrigen Strompreise sowie zu geringe Gutschriften bei Stromlieferungen ins Netz. [2, 8, 24]

12.3.3 Optimierung des Hüttengasverbundes

Mittels eines gemeinsamen Transportnetzes für Gicht-, Konverter- und Kokereigas, moderner IT, Sensortechnik und optimierter Speicherung in Kombination mit Simulation und Produktionssteuerung wäre es möglich, die schon gut optimierten österreichischen Hüttenwerke bezüglich der Hüttengase effizienter zu gestalten. Dabei geht es hauptsächlich darum, die zeitlich verschieden anfallenden Gase möglichst optimal zu nutzen und damit die Verluste zu minimieren. Dabei muss allerdings darauf Rücksicht genommen werden, dass aufgrund der verschiedenen Temperaturniveaus die einzelnen Gase nicht vollständig untereinander austauschbar sind. [2, 25]

12.3.4 Branchenübergreifende Energieverbunde, Fernwärmeauskopplung

Die benötigten Prozesstemperaturen im Stahlwerk betragen zwischen 1.200 und 1.500 °C. Benachbarte Industriebetriebe mit Prozesstemperaturen von <1.000 °C könnten von einer Wärmeauskopplung durch ein benachbartes Hüttenwerk profitieren. Ein Problem dabei liegt in der Garantie der Lieferfähigkeit bzw. in der Synchronisation der Wärmeabnahme. Darüber hinaus gibt es Potenziale für branchenübergreifende Energieverbunde. So könnten bspw. das H₂-reiche Koksofengas und das CO-haltige Konvertergas als Ausgangsstoffe für die chemische Industrie verwendet werden. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben in diese Richtung stehen allerdings noch am Beginn. Eine Übersicht über die Abwärmepotenziale in der Stahlerzeugung zeigt Abbildung 24. Das größte Einsparungspotenzial liegt in der Nutzung der Hochtemperatur-Abwärmern. [2]

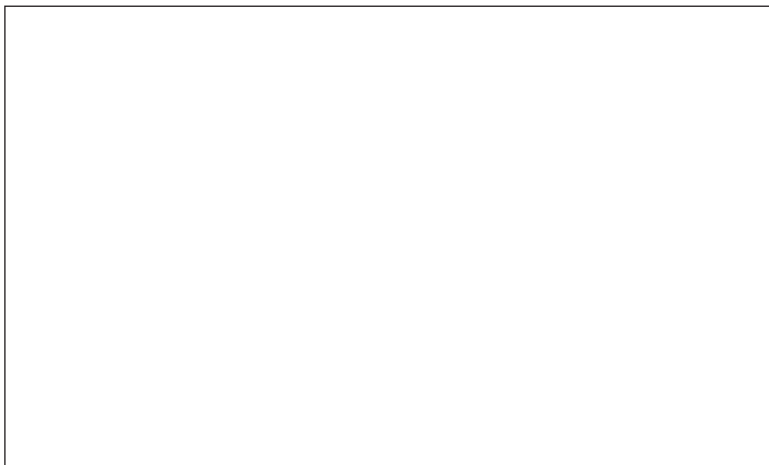


Abbildung 24:
Abwärmepotenziale bei der
Stahlerzeugung nach Aggregat,
Quelle: Siemens VAI

12.3.5 Wärmerückgewinnung aus der Hochofenschlacke

Pro Tonne erzeugtem Roheisen entstehen als Kuppelprodukt ungefähr 250 bis 300 kg Hochofenschlacke. Gegenwärtig wird der größte Teil der Hochofenschlacke feucht granuliert, wobei ein amorphes Produkt, der sogenannte Hüttensand, entsteht, der in der Zementindustrie eingesetzt wird. Der Wärmeinhalt der Schlacke, welche eine Temperatur von ca. 1.400 °C aufweist, geht dabei ungenutzt verloren. Pro Tonne Stahl weist die entstehende Schlacke einen thermischen Energieinhalt von 0,5 GJ auf. Eine Möglichkeit zur Nutzung des Wärmeinhalts der Schlacke ist die trockene Schlackengranulation. Die Montanuniversität Leoben betreibt gemeinsam mit der Siemens VAI und Partnern aus der Stahlindustrie gerade eine Versuchsanlage in Leoben.

12.3.6 Auskopplung von Niedertemperaturwärme zur kommunalen Versorgung

Niedrigere Temperaturniveaus könnten in Fernwärmenetze ausgekoppelt werden und umliegende Siedlungsgebiete mit Wärme versorgen. An dieser Stelle seien beispielhaft die Fernwärme Leoben und die geplante Wärmeauskopplung der Marienhütte Graz erwähnt.

Die Möglichkeit einer Auskopplung von Niedertemperaturwärme ist allerdings stets von den einzelnen Gegebenheiten vor Ort abhängig und muss daher auch im Einzelfall geprüft und technisch realisiert werden.

12.3.7 Gichtgasrückführung

Ein Kuppelprodukt des Hochofenprozesses ist das entstehende Gichtgas, welches zu großen Teilen aus Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und Stickstoff (25 : 25 : 49 %) besteht. Die Idee bei der Gichtgasrückführung ist, das im Gas enthaltene CO₂ abzuscheiden, das Gas zu

erwärmen und in der Folge wieder als Reduktionsmittel in den Hochofen zu leiten. Die Gichtgasrückführung ist ein Teil des ULCOS-Projekts (www.ulcos.org/de). Im Gegensatz zu einem konventionellen Hochofen muss bei dieser Verfahrensvariante aufgrund des im Gas enthaltenen Stickstoffs anstatt heißer Luft kalter Sauerstoff in den unteren Bereich des Hochofens eingeblasen werden, da durch den hohen Vorreduktionsgrad der Eisenerze, der durch das Einblasen des heißen Reduktionsgases erreicht wird, die endotherme Boudouard-Reaktion zurückgedrängt wird. Dadurch kann der Reduktionsmittelbedarf des Hochofens um 24 % gesenkt werden. Allerdings gehen dem Energieverbund Stahlwerk 80 % der ansonsten durch das Gichtgas zugeführten Energie verloren. Zusätzlich entsteht ein Energieaufwand beim Erwärmen des Gases. Interessant ist dieser Verfahrensweg vor allem aufgrund des CO₂-Einsparungspotenzials, welches bei einer Abscheidung und Endlagerung des im Gas enthaltenen CO₂ mittels CCS ca. 16 % der Hochofenemissionen ausmacht. Bei Versuchen im Labormaßstab konnte die Machbarkeit dieser Verfahrensvariante jedenfalls schon nachgewiesen werden. Um die industrielle Umsetzbarkeit zu überprüfen, waren in Eisenhüttenstadt und Florange Versuchsanlagen geplant. Beide Projekte wurden jedoch 2012 gestoppt (siehe auch Abschnitt 12.8.1). [2, 26, 27]

12.3.8 Einblasen von Kohlestaub

Durch das Einblasen von Kohlestaub in den Hochofen ist es möglich, Koks teilweise durch Kohle zu substituieren, was zwar nicht zu einer Verringerung des Reduktionsmittelverbrauches, wohl aber zu Einsparungen in der Kokerei und damit einer Verminderung des Energieaufwandes und weniger Emissionen führt. Koks kann jedoch aufgrund seiner stützenden Eigenschaften im Hochofen nie vollständig substituiert werden. Die Technik des Kohlestaubeinblasens wird in Österreich bereits angewendet. [2]

12.3.9 Alternative Reduktionsmittel

Hierbei handelt es sich um die Idee, anstelle von Koks alternative Reduktionsmittel im Hochofen zu verwenden. Bspw. wäre es denkbar, durch den Einsatz von Biomasse als Reduktionsmittel Stahl CO₂-neutral produzieren zu können. Hemmnisse für diese Entwicklung sind die aufgrund der physikalischen Eigenschaften begrenzte Austauschbarkeit für Koks und der enorme Flächenbedarf, der zur Abdeckung des Reduktionsmittelbedarfs der Stahlindustrie mittels Biomasse notwendig wäre. [2]

12.3.10 Erneuerung der Hüttenkraftwerke

Durch Investitionen in den Kraftwerksbestand könnten höhere Wirkungsgrade und damit eine erhöhte Energieeffizienz realisiert werden. [2]

12.3.11 Abwärmenutzung an Konvertern

Ein bereits etabliertes Verfahren ist die Nutzung der Abwärme an Konvertern über dampfgekühlte Abgaskamine zur Dampferzeugung. Der entstehende Dampf kann in der Folge für andere Prozesse verwendet werden (DRI-Anlagen, Vakuum-Dampf-Strahlpumpen, Wasseraufbereitung etc.). Bei der integrierten Stahlerzeugungsrouten ist diese Technologie schon Stand der Technik, für die Elektrostahlrouten gibt es hierfür bereits erste Referenzanlagen. [2]

12.3.12 Optimierung der Konvertergasgewinnung

Während des Sauerstoffeinblasens in die Stahlschmelze im Tiegel entsteht das sogenannte Konvertergas. Dieses hat allerdings je nach Prozessstadium unterschiedliche Heizwerte, da die CO-Konzentration bei Blasebeginn höher ist als gegen Ende, wenn die Stahlschmelze bereits an C verarmt ist. Bislang fährt der Anlagenbediener die Schaltpunkte für die Gewinnung des Konvertergases aufgrund von Erfahrungswerten. Die Gasgewinnung könnte mithilfe moderner Messtechnik automatisiert werden, wofür weitere Forschungsarbeit notwendig ist. [27]

12.4 Effizienzpotentiale bei der Elektrostahlrouten

Da bei der Elektrolichtbogenofenroute der Energieverbrauch, verglichen mit den Prozessen im integrierten Stahlwerk, im Durchschnitt um 75 % geringer ist, wäre es möglich, durch eine Erhöhung des Anteils an Elektrostahl Energie einzusparen. Hauptgrund für den

signifikanten Unterschied im energetischen Bedarf ist, dass bei der Elektrostahlrouten Schrott als Einsatzstoff verwendet wird und es nicht mehr notwendig ist, das Eisen aus dem Erz zu reduzieren. In Österreich hat Elektrostahl, verglichen mit dem europäischen Durchschnitt von 41 %, mit 9,3 % einen geringen Anteil an der Gesamtstahlproduktion. Dies liegt daran, dass in Österreich vor allem qualitativ hochwertige Kohlenstoffstähle erzeugt werden, die mit der Elektrolichtbogenofenroute gar nicht bzw. nur schwer hergestellt werden können. Hingegen werden einfache Baustähle hierzulande kaum produziert. Außerdem sei an dieser Stelle abermals, auf die Limitierungen der Elektrostahlrouten verwiesen. Eine ganzheitliche Umstellung auf Elektrostahl ist aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit von Schrott, Strom und verfahrenstechnischer Einschränkungen auch langfristig nicht möglich. Im Folgenden werden nun notwendige Schritte besprochen, die zu einem Ausbau des Anteils an Elektrostahl führen können. [22]

12.4.1 Optimierung der Prozesstechnik zur Herstellung höherer Stahlgüten

Eine der großen Limitierungen der Elektrostahlrouten ist, dass gegenwärtig über diese Verfahrenskette qualitativ hochwertige Kohlenstoffstähle praktisch nicht erzeugt werden können. Diese Einschränkungen in der Zukunft aufzuheben bedarf weiterer Forschungstätigkeiten. Aufgrund des Schrotteinsatzes und mitunter unreiner Schrottqualitäten spielt dabei das Thema der Schmelzereinigung eine große Rolle. Forschungstätigkeiten in diesem Bereich sollten in Zukunft vermehrt unterstützt werden. [22]

Gleichzeitig wäre zu untersuchen, inwieweit nachgelagerte Produktionsschritte (Pfannenofen, Vakuumbehandlung, Walzen, Wärmebehandlungsschritte) dabei helfen können, durch Verunreinigungen verursachte negative Werkstoffeigenschaften in geeigneter Weise auszugleichen. [22]

12.4.2 Verbesserung verfügbarer Schrottqualitäten

Gründe für die im vorangegangenen Abschnitt aufgeführten Einschränkungen der Elektrolichtbogenofenroute sind vor allem die mäßige Qualität verfügbarer Schrotte. Neben der Möglichkeit der Schmelzereinigung bzw. der Kompensation negativer Materialeigenschaften in nachgelagerten Prozessschritten wäre die geeignetste Lösung zu gewährleisten, dass Schrott in hoher Sortenreinheit und guter Qualität zur Verfügung steht. Dies wird lediglich durch eine gemeinsame langfristige Kraftanstrengung von Politik, Stahlindustrie und Abfallwirtschaft möglich sein. Schließlich bedarf es für

eine nachhaltige Verbesserung der Qualität verfügbarer Schrotte bereits einer Optimierung im Produktplanungsprozess. Durch recyclinggerechte Konstruktion von Produkten können spätere Probleme bei der Aufbereitung zu großen Teilen kompensiert werden. Nach Ablauf der Produktlebensdauer muss gewährleistet sein, dass es zu einer Sammlung kommt und der Stahlschrott möglichst gut und sortenrein aufbereitet werden kann. Diesbezügliche Initiativen wären überaus begrüßenswert, wobei zu beachten ist, dass der Benefit einer Optimierung in diesem Bereich erst langfristig Wirkung zeigen wird, da die Produkte ja erst nach ihrer Lebenszeit wieder in den Rohstoffkreislauf kommen. [22]

12.4.3 Gewährleistung ausreichender Schrottverfügbarkeit

Ein großes Problem der Elektrolichtbogenofenroute ist ihre mangels wirtschaftlicher Produktionsmöglichkeiten von Eisenschwamm fast exklusive Abhängigkeit von einer ausreichenden Schrottversorgung. Stahlschrott enthält bereits reduziertes Eisen, welches im Hochofenprozess hergestellt wurde und somit schon einen hohen Energieeintrag erfahren hat. Man muss sich vor Augen führen, dass jedes Kilogramm Schrott, welches unser Land verlässt, den Export eines Energieträgers darstellt, dem dann auf der anderen Seite zusätzliche Kohleimporte gegenüberstehen. Daher sollte es im Interesse der Republik sein nach Möglichkeit Schrotte bzw. Schrottquellen im Inland zu belassen. [22]

Hier gilt es einige Lücken in der Gesetzgebung zu schließen. Bspw. verlässt ein nicht unbeträchtlicher Ressourcenstrom an potenziellen Stahlschrotten unser Land in Form von Exporten sogenannter Altprodukte. Prominentes Beispiel hierfür ist der Verkauf in Ostblockstaaten oder nach Afrika. Ähnliche Probleme bestehen im Bereich von Altelektrogeräten, die ebenfalls ins Ausland exportiert werden. Zwar steht dem Verkauf eine inländische Wertschöpfung gegenüber, jedoch würden die Stahlindustrie, die Handelsbilanz im Bereich Energieträger sowie die heimische Aufbereitungswirtschaft eher davon profitieren, wenn diese Altprodukte im Inland verblieben und hier aufbereitet würden. [22]

Mangels Deklarationspflicht liegt für diesen Bereich nur mangelhaftes Datenmaterial vor. In einem ersten Schritt sollten also die Potenziale an nutzbaren Ressourcen aus diversen Altproduktsegmenten erhoben werden. In weiterer Folge sollten dann gesetzliche Maßnahmen dafür sorgen, dass diese Potenziale im Inland verbleiben.

12.4.4 Gewährleistung einer ausreichenden Stromversorgung

An vielen Standorten der Stahlindustrie in Österreich ist der Betrieb eines Elektrolichtbogenofens aufgrund mangelnder Strominfrastruktur gegenwärtig nicht möglich. Aufgrund der gesetzlichen Auflagenflut und der unternehmensfeindlichen Genehmigungsverpolitik ist es oftmals auch schwierig, eine geeignete Anbindung an das Stromnetz herzustellen. Darüber hinaus sind schlichtweg die Kraftwerkskapazitäten nicht gegeben. Hier müssten Infrastrukturprogramme und gesetzliche Maßnahmen eine ausreichende Strominfrastruktur schaffen, um überhaupt vermehrt Elektrolichtbogenöfen betreiben zu können. [22]

12.4.5 Modelle zur Vorhersage der Schrottzusammensetzung

Für die Produktion qualitativ hochwertiger Stähle ist die genaue Kenntnis über die Zusammensetzung der eingesetzten Schrotte notwendig. Neben der Anstrengung, höherwertige Schrotte zur Verfügung zu stellen, wäre es notwendig, die Analytik zu verbessern und kommerziell nutzbare Modelle zur Voraussage der Schrottzusammensetzung zu entwickeln. [2, 27]

12.4.6 Nachverbrennung von CO im Elektrolichtbogenofen

Im Bereich der Prozessoptimierung liegt weiteres energetisches Potenzial in der Nachverbrennung von Kohlenmonoxid zu Kohlendioxid im Elektrolichtbogenofen. Hauptproblem dabei ist, dass es dafür notwendig wäre, den Kohlenmonoxidgehalt im Ofen zu messen, wofür aufgrund der hohen Temperaturen gegenwärtig keinerlei geeignete Messtechnik existiert. Wird Sauerstoff zugeführt, obwohl kein CO mehr im Ofen vorhanden ist, so kommt es zu einer Verbrennung des Eisens und damit zu einer Effizienzminderung. Ansätze, den Kohlenmonoxidgehalt über den Abgasstrang des Ofens zu messen, zeigten in der Vergangenheit aufgrund der dort stattfindenden Nachverbrennung wenig Erfolg. Ein weiteres Problem dabei ist, dass zwischen Messung und Sauerstoffregelung nur wenige Sekunden liegen sollten. Gegenwärtig dauert dieser Vorgang ca. eine halbe Minute. [2]

12.4.7 Abwärmenutzung am Elektrolichtbogenofen

Die Abwärme des Elektrolichtbogenofens könnte zur Vorerwärmung des einzusetzenden Schrotts benutzt werden. Probleme dabei sind die Koordination der Anlage selbst und durch Schrottverunreinigungen

freigesetzte Giftstoffe (Dioxine, Furane). Eine nachgelagerte Verbrennung der Schadstoffe mindert den energetischen Vorteil bzw. macht diesen ganz zunichte. [2] Eine Alternative zur Nutzung der Abwärme zur Schrottvorerwärmung wäre die Verstromung. Hier gibt es gegenwärtig verschiedene Entwicklungsansätze (Dampf-, Thermoölkreisläufe, Thermoelektrik, Salzschnmelzen), von denen erste Prototypen im industriellen Maßstab verfügbar sind. Eine Nutzung der Abwärme zur Verstromung wird umso attraktiver, je höher der Strompreis liegt. [2]

12.4.8 Sauerstoffeinblasen im Elektrolichtbogenofen

Durch die Elektroden wird im Elektrolichtbogenofen Kohlenstoff in den Stahl eingebracht, der in der Folge im Konverter durch das Einblasen von Sauerstoff wieder entfernt werden muss. Es wäre möglich, diesen Prozessschritt bereits im Elektrolichtbogenofen durchzuführen. Diese Technologie wird auch schon in der Industrie partiell eingesetzt. Weitere Prozessverbesserungen sind durch eine Optimierung der Prozesssteuerung (Brenner etc.) denkbar. [2, 27, 28]

12.4.9 Prozesskontrolle beim Elektrolichtbogenofen

Eine Optimierung der Wartezeiten beim Elektrolichtbogenofen mithilfe von verbesserten Prozesskontrollsystemen könnte die Schmelzzeit um bis zu 10 % verringern. Auch der Einsatz von heißem Roheisen könnte zu einer Verbesserung beitragen. [2, 29]

12.5 Übergreifende Maßnahmen

In diesem Abschnitt werden Effizienzmaßnahmen besprochen, die nicht routenspezifisch sind, sondern generell auf die Stahlindustrie zutreffen.

12.5.1 Endabmessungsnahe Gießtechnologien

Das Walzen von Brammen zu Blechen und anderen Halbzeugen ist ein energieaufwendiger Prozess. Durch neue Gießverfahren, deren Produkte möglichst nahe an den Endabmessungen des Fertigproduktes liegen, können weitere Effizienzpotenziale erschlossen werden und etwaige Wiedererwärmungsschritte im Prozess entfallen. Neben dem konventionellen Brammengießen gibt es technische Ansätze zum Dünnbrammengießen, der Herstellung von Gießwolzverbunden, wie ESP oder CSP, bzw. langfristig dem Bandgießen. Eine Weiterentwicklung dieser Verfahren könnte Draht- oder

Profilgießen ermöglichen. Bspw. ist es durch Bandgießverfahren möglich, im Vergleich zu einer Bandproduktion aus Brammen den Energieaufwand für die Formgebung um 90 % zu reduzieren. Probleme hierbei liegen vor allem in der Sicherstellung einer einheitlichen Produktqualität, da eine nachträgliche Oberflächenbehandlung bei einer Blechdicke von wenigen Millimetern schwer bzw. nicht möglich ist. Ein weiteres Problem ist, dass gegenwärtig in diesen Verfahren nur wenige Stahlqualitäten produziert werden können. Entwicklungsbedarf besteht bei der Sicherstellung der Prozessstabilität und bei geeigneten Simulationsmodellen. Derzeit gibt es weltweit erst zwei Bandgussanlagen. [2, 27]

12.5.2 Abwärmenutzung an brennstoff-beheizten Anlagen

Eine weitere Maßnahme zur Erhöhung der Energieeffizienz ist die Nutzung von Abwärme an allen brennstoff-beheizten Anlagen (Gießerei, Walzwerk). Anlagen zur Wärmerückgewinnung stellen einen nicht unbeträchtlichen Investitionsaufwand dar und beeinflussen oftmals den vorgelagerten Prozess. Dabei ist eine Abwärmenutzung von Temperaturen über 900 °C Stand der Technik, allerdings sind die Wirkungsgrade beschränkt. Durch eine Vorerwärmung der Brennluft auf höhere Temperaturwerte ist eine bessere Energienutzung möglich. Ein Problem dabei ist der hohe Anpassungsbedarf für bestehende Anlagen. Aus diesem Grund kommt die regenerative Abwärmenutzungstechnologie oftmals nur bei neuen Öfen zum Einsatz. [2]

12.5.3 Übergreifende Abwärmenutzung

65 % der in einem integrierten Hüttenwerk eingesetzten Energie fallen in Form von Abwärme und Kuppelprodukten an. Durch eine intensive übergreifende Nutzung der Abwärme in allen Aggregaten ist eine Erhöhung der Gesamtenergieeffizienz möglich. Ansatzpunkte wären: Kälteerzeugung aus Abwärme, Optimierung der Gichtgasschluckfähigkeit im Kraftwerk, Verbesserung des Dampfverbundes, Optimierung der Tiegelgasgewinnung, Abwärmegewinnung durch Abhitzekessel. Des Weiteren hätten bei entsprechender Weiterentwicklung und gegebener Wirtschaftlichkeit ORC-Anlagen ein gewisses Anwendungspotenzial. Allerdings wird diese Verwertungsrouten erst bei einem höheren Strompreis wirtschaftlich werden. Die Optimierung der Abwärmenutzung eines Stahlwerks ist jeweils für den Einzelfall vorzunehmen und kann aufgrund der individuellen räumlichen und anlagentechnischen Gegebenheiten nicht generalisiert werden. [2, 25]

12.5.4 Optimierung der elektrischen Antriebe

Durch eine genaue Dimensionierung und Erneuerung von elektrischen Antrieben im Stahlwerk ist eine Erhöhung der Energieeffizienz möglich. In der steuerungstechnischen Ausreizung weiterer elektrischer Systeme (z. B. Pumpen, Ventilatoren) wären weitere Potenziale gegeben. [2]

12.5.5 Verringerung des Eigenschrott-anteils

Während im Jahr 1965, ein Jahr nach Einführung der Stranggusstechnik, das durchschnittliche Eigenschrottaufkommen in Stahlwerken noch bei 321 kg/t erzeugtem Stahl lag, ist dieses auf 112 kg/t gesunken. [4] Jede weitere Senkung des Anteils an Eigenschrott ist als eine direkte Effizienzmaßnahme zu sehen.

12.5.6 Niedertemperatur-Salzsäure-regeneration

Die Altsäure aus Beizanlagen wird bislang in Wirbelschicht- oder Sprührostverfahren bei ca. 700–900 °C regeneriert, was einen entsprechenden Energieaufwand verursacht. Bei einem neuen Verfahren, welches auf nasschemischer Basis arbeitet, könnte die Regeneration bereits bei Temperaturen unter 170 °C stattfinden, was bis zu 40 % der anfallenden Prozessenergie sparen könnte. Eine erste Referenzanlage ging 2010 in Betrieb. Erste Ergebnisse zeigen, dass für einen industriellen Einsatz noch Forschungsbedarf besteht. [2]

12.6 Alternative Stahlerzeugungsverfahren

Im folgenden Abschnitt sollen die Möglichkeiten und Potenziale alternativer Roheisen- und Stahlerzeugungsverfahren und mögliche Effizienzpotenziale aufgezeigt werden.

12.6.1 Direktreduktion auf Wasserstoffbasis

Eine Möglichkeit, in der Zukunft Stahl weitgehend emissionsfrei zu produzieren, ist die Herstellung von Stahlschwamm mittels Direktreduktion auf Wasserstoffbasis in Verbindung mit einem Elektrolichtbogenofen, der vorzugsweise mit Strom aus erneuerbaren Energiequellen betrieben wird. Dabei ist derzeit die großtechnische Herstellung von Wasserstoff ohne Einsatz fossiler Energieträger ein ungelöstes Problem, da gegenwärtig in Österreich nicht genug Kapazitäten an

Strom, vor allem nicht aus erneuerbaren Energiequellen, erzeugt werden können. [2]

12.6.2 Schmelzreduktion

Die Schmelzreduktion ist eine Technologie in direkter Konkurrenz zum Hochofen, bei der der Einsatz von Koks und Pellets reduziert werden kann. Alternativen, wie bspw. FINEX, sollen es ermöglichen, Feinerz als Einsatzstoff zu verwenden. Aufgrund des Entfalls von Sinter und Koks könnte diese Verfahrensrouten bis zu 17 % (3 GJ/t) an Energie einsparen. Allerdings liegen dem Verfahren aufgrund der anlagentechnischen Gegebenheiten höhere Wärmeverluste zugrunde. Energetische Gutschriften, wie bspw. das Gichtgas des Hochofenprozesses, existieren bei dieser Route nur in geringerem Umfang, was dazu führt, dass einige Studien ergeben haben, dass der Energieaufwand im Endeffekt ähnlich jenem der Hochofenroute ist. Aufgrund des im Vergleich zum Hochofen höheren Strombedarfs kann sich bei einer Stromerzeugung, basierend auf erneuerbaren Energiequellen, eine Verbesserung dieser Situation einstellen. [2, 5]

12.7 Direktreduktion auf Erdgasbasis

Diese Verfahren haben sich vor allem in Ländern mit großen Vorkommen von Erdgas durchgesetzt. In Ermangelung dieser ist die Direktreduktion in Westeuropa in der Zukunft wohl zu vernachlässigen.

12.8 Neue Verfahrensentwicklungen für die Eisen- und Stahlerzeugung – ULCOS

Dieser Abschnitt soll die wichtigsten gegenwärtigen Entwicklungen für neue Eisen- und Stahlerzeugungsverfahren behandeln und einen Überblick über den Stand der Forschung geben.

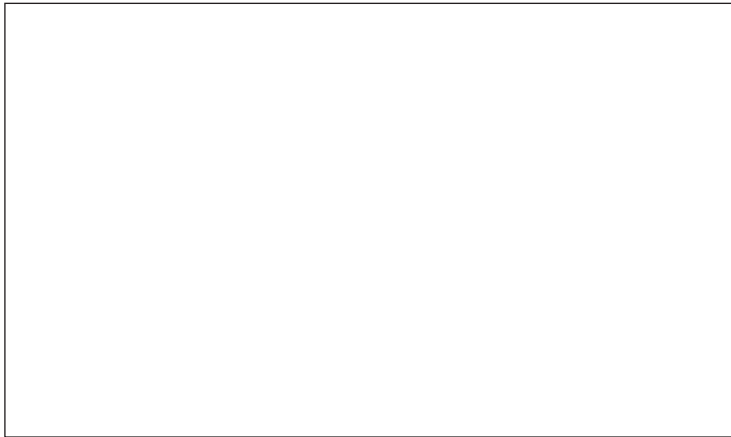
Das europäische Konsortium ULCOS (Ultra Low CO₂ Steelmaking) ist ein Zusammenschluss von 48 europäischen Unternehmen aus Anlagenbau und Stahlbranche und hat sich zum Ziel gesetzt, die gegenwärtigen Stahlerstellungsverfahren weiterzuentwickeln, um im Vergleich mit den aktuellen Technologien die Emissionen klimaschädlicher Treibhausgase um mindestens 50 % zu reduzieren. Das Projektvolumen beläuft sich mittlerweile auf 70 Millionen Euro. Nachfolgend sollen die verschiedenen Verfahrensansätze des ULCOS-Projekts vorgestellt werden.

Kritisch zu sehen ist bei diesen Entwicklungsansätzen,

dass ein großer Teil der erzielbaren Emissionsreduktionen durch CCS-Einrichtungen zustande kommt. Abgesehen von der bislang noch nicht eindeutig geklärten rechtlichen Lage, ist nicht zu sagen, wie sich die zu erwartenden Kosten für CCS (30–100 \$/t CO₂) auf die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Stahlindustrie auswirken werden. Darüber hinaus stellen CCS-Technologien einen zusätzlichen Energieaufwand dar und werden sich in puncto Energieeffizienz negativ auswirken.

12.8.1 Hochofen mit Gichtgasrückführung und CCS

Dabei handelt es sich um einen Hochofen, bei dem das im Gichtgas enthaltene Kohlenmonoxid als Reduktionsgas aufbereitet und in den Hochofen rückgeführt wird.

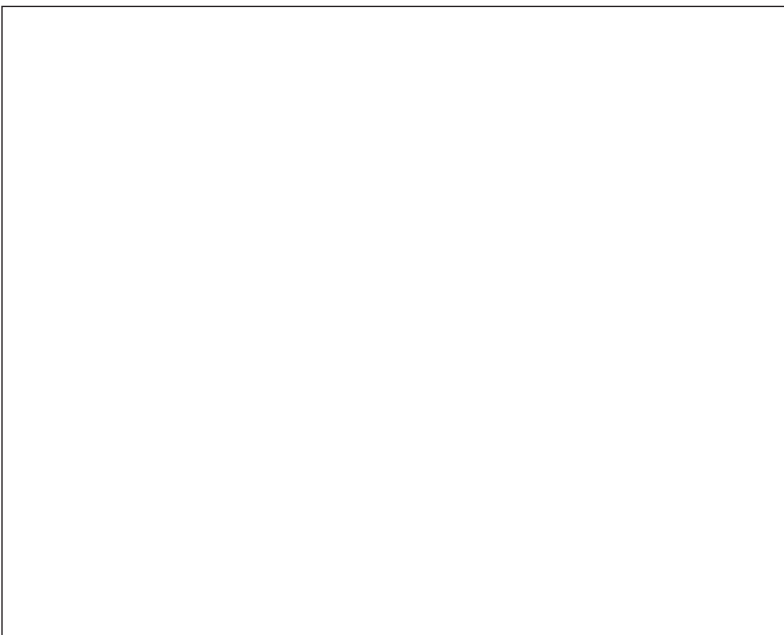


Das im Gas enthaltene CO₂ wird abgeschieden und unterirdisch gespeichert (siehe Abbildung 25). Um die für die CCS-Technologie notwendigen hohen Konzentrationen an CO₂ zu erhalten, muss anstatt von Luft reiner Sauerstoff in den Hochofen eingeblasen werden, was das Vorhandensein einer Luftzerlegungsanlage notwendig macht. Aufgrund der zusätzlichen Einrichtungen ist das Verfahren nicht energieeffizienter als der konventionelle Hochofen. Der Vorteil liegt jedoch in der Möglichkeit der CO₂-Abscheidung, wobei zum gegenwärtigen Zeitpunkt fraglich ist, ob diese den energetischen Mehraufwand kompensiert. Jedenfalls wäre es über diese Route möglich, 15 % bzw. mit CCS 60 % der klimaschädlichen CO₂-Emissionen einzusparen. Diese Verfahrensvariante ist von den verschiedenen ULCOS-Varianten die am weitesten entwickelte. Theoretisch wäre es möglich, sogar bestehende Hochofenanlagen mit der nötigen Technik nachzurüsten. Gegenwärtig sind aber alle Aktivitäten bezüglich der Weiterentwicklung des Verfahrens durch ULCOS gestoppt. [2, 20, 27, 30]

Abbildung 25:
Verfahrensschema des
ULCOS-Hochofens [20]

12.8.2 Erweiterte Direktreduktion (Ulcored)

Dabei handelt es sich um eine Direktreduktionsanlage mit CCS (siehe Abbildung 26). Das im Gichtgas enthal-



tene CO₂ wird dabei abgeschieden und gespeichert. Dieser Verfahrensansatz befindet sich gegenwärtig in der Vorversuchsphase. Aufgrund der hohen Erdgaspreise ist nicht zu erwarten, dass sich dieses Verfahren in Europa durchsetzen wird. Durch die Anwendung der Gasrezirkulierung alleine könnten 5 % der klimaschädlichen CO₂-Emissionen vermieden werden. Bei Anwendung von CCS-Technologien wären es ungefähr 80 %. Auch die Forschungsaktivitäten in diesem Bereich wurden vom ULCOS-Konsortium gestoppt. [27, 30]

Abbildung 26:
Verfahrensschema des
Ulcored-Prozesses [20]

12.8.3 Hisarna-Schmelzofen

Bei diesem Verfahrensansatz werden Feinerz und Kohle in Stahl umgewandelt. Ein vereinfachtes Verfahrensschema ist in Abbildung 27 dargestellt. Hier wird Eisen-erz von oben in den Zyklonofen chargiert und schmilzt beim Eintritt in den Ofen auf. Das Erz sammelt sich an den Ofenwänden und fließt in den unteren Teil des Aggregates, einen Schmelzofen. In diesem Teil der

Anlage wird Kohle als Reduktionsmittel verwendet. Um ein CO₂-reiches Abgas zu erzielen, wird in diesem Prozess ebenfalls reiner Sauerstoff verwendet. Durch diesen Verfahrensansatz wäre eine CO₂-Einsparung von 20 % möglich, bei Einsatz von CCS bis zu 80 %. Bezüglich der Energieeffizienz lässt sich, da das Verfahren noch in der Vorversuchsanlagenphase ist, noch keine Aussage treffen. [27, 30]

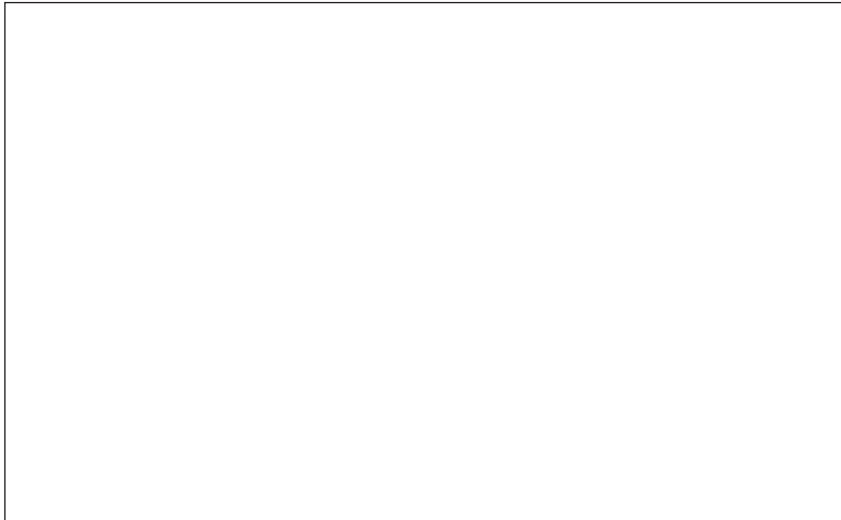


Abbildung 27:
Verfahrensschema des Hisarna-
Schmelzofens [20]

12.8.4 Eisenelektrolyse (ULCOWIN)

Statt durch die Reduktion des Hämatits mittels Kohlenstoff ist es ebenfalls möglich, Roheisen durch Elektrolyse herzustellen. Das entstehende Nebenprodukt wäre nicht CO₂, sondern Sauerstoff, der sich an der Anode sammelt. Auch hier ist die Bereitstellung ausreichender Strommengen aus vorzugsweise CO₂-freien Quellen ein bislang ungelöstes Problem. Eine weitere Schwierigkeit ist der große Flächenbedarf für das Verfahren, der nach heutigen Schätzungen das Zwanzigfache der Hochofenroute ausmachen wird. Kommerziell nutzbare Technologien sind jedenfalls bis 2040 nicht zu erwarten. Das Einsparungspotenzial an Emissionen hängt von der CO₂-Intensität des eingespeisten Stromes ab. Heute wären dies ca. 30 % Emissionsreduktion,

bei einer Stromerzeugung durch erneuerbare Energien könnte sich dieser Wert bis auf 98 % steigern. [2, 27, 30]

12.9 Zusammenfassung

Die Verbesserung der Energieeffizienz in der Eisen- und Stahlindustrie bietet ein breites Spektrum an Ansatzmöglichkeiten, von der Simulation, Prozesssteuerung und Kontrolle bis zur Anlagentechnik. Wichtig für zukünftige Förderprogramme wäre jedenfalls eine Unterstützung bei der Errichtung von Pilotanlagen, die enorme Kosten verursachen und ein großes technisches Risiko darstellen, aber für die marktreife Entwicklung eines Verfahrensweges unverzichtbar sind.

13.0 Literatur

- [1] Schenk, J., Vorlesungsskriptum Eisen- und Stahlmetallurgie I, 2012.
- [2] Hassan, A., Möglichkeiten, Potenziale, Hemmnisse und Instrumente zur Senkung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen von industriellen Branchentechnologien durch Prozessoptimierung und Einführung neuer Verfahrenstechniken, Fraunhofer ISI, Karlsruhe, 2011.
- [3] Degner, M., Stahlfibel, Verl. Stahleisen, Düsseldorf, 2007.
- [4] Buttermann, H. G., und Hillebrand, B., Die Bedeutung von Stahlwerkstoffen als „Rohstoff“ für die Wirtschaftsstruktur in Deutschland, EEFA – Energy and Environment Forecast Analysis GesmbH, Münster, 2005.
- [5] Grill, W., COREX/FINEX Prepared for present and future iron making challenges, Siemens VAI Metals Symposium 2009, Wien, 2009.
- [6] World Steel Association, World Steel Statistical Yearbook 2013, Brüssel, 2013.
- [7] World Steel Association, Annual Steel Production, www.worldsteel.org.
- [8] Wörtler, M., Steel's Contribution to a Low-Carbon Europe 2050, Stahleisen, Düsseldorf, 2013.
- [9] World Steel Association, World Steel in Figures 2012, Brüssel, 2012.
- [10] Schönsleben, P., Vodicka, M., Bunse, K., und Ernst, F. O., The changing concept of sustainability and economic opportunities for energy-intensive industries, CIRP Annals – Manufacturing Technology (2010), 59, 477–480.
- [11] Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, Energiestatus Österreich 2013, Wien, 2013.
- [12] Lakata, W., Stahl und Energie, JKU Forum Econogy, Linz, 2011, 1–20.
- [13] Statistik Austria, Handbuch Energiestatistik, www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/energie/index.html.
- [14] International Energy Agency, World Energy Outlook 2013, International Energy Agency, Paris, 2013.
- [15] Aichinger, H. M., und Steffen, R., Maßnahmen zur CO₂-Minderung bei der Stahlerzeugung, Chemie Ingenieur Technik 27 (2006), 4.
- [16] Ameling, D., Die Stahlindustrie und das Kyoto-Protokoll, Fachtagung Kokereitechnik (2007).
- [17] Scholz, R., Stoffliche Nutzung von Kohlenstoff im Hochofenprozess, VdEh, Clausthal-Zellerfeld, 2004.
- [18] Schneider, J., und Kuschel, V., Klimaschutzbericht 2012, Umweltbundesamt GesmbH, Wien, 2013.
- [19] Werner, A., Industrie im Fahrplan für eine CO₂-arme Wirtschaft, Fachdialog Roadmap 2050, Wien, 2013, 1–7.
- [20] EUROFER, A Steel Roadmap for a Low Carbon Europe 2050, EUROFER, Brüssel, 2012.
- [21] Pulm, P., Vorgehenskonzept für die Implementierung eines Managementsystems nach ISO 50001, Masterarbeit, Montanuniversität Leoben, Leoben, 2014.
- [22] Pulm, P., Energieeffizienz in der österreichischen Industrie – Rahmenbedingungen und Potentiale, Dissertation, Montanuniversität Leoben, Leoben, noch nicht veröffentlicht.
- [23] Brauer, H., Handbuch des Umweltschutzes und der Umweltschutztechnik, Springer, Heidelberg, New York, 1996.
- [24] Sakamoto, T., Case study of technology transfer between Japan and China in the steel industry, www.resourcesaver.com/file/toolmanager/0105UF1311.pdf, abgerufen am 12. Oktober 2010.
- [25] Werner, A., Sparlinek, W., Schumlechner, K., und Haider, M., Potenziale und Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz in einem integrierten Hüttenwerk, TU Wien, Wien, 2009.
- [26] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Gabriel fördert umweltgerechte Modernisierung des Stahlwerks Eisenhüttenstadt mit 30 Mio. Euro, Pressemitteilung Nr. 248/09.

- [27] Wietschel, M., Arens, M., Dötsch, C., Herkel, S., Krewitt, W., Markewitz, P., et al., Energietechnologien 2050 – Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung, Fraunhofer ISI, Stuttgart, 2010.
- [28] Grant, M., Januard, F., Jourmani, Y., Labegorre, B., und Laurent, J., Combined Burner and Lance Apparatus for Electric Arc Furnaces, Patent application number: 20100282021, www.faqs.org/patents/app/20100282021.
- [29] Opfermann, A., Grosse, A., Baumgartner, S., und Riedinger, D., Improvement of energy efficiency, Stahl und Eisen 129 (2009), 9, 44–51.
- [30] Hooey, L., Tobiesen, A., Johns, J., und Santos, S., Techno-economic Study of an Integrated Steelworks Equipped with Oxygen Blast Furnace and CO₂ Capture, Energy Procedia 37 (2013), 7139–7151.

Abkürzungsverzeichnis

BF	Blast Furnace (dt. Hochofen)
C	Elementsymbol für Kohlenstoff
CCS	Carbon Capture and Storage (dt. Kohlenstoffabscheidung und -speicherung)
CIS	Commonwealth of Independent States (dt. Gemeinschaft Unabhängiger Staaten (GUS))
CO	Chemische Formel von Kohlenmonoxid
CO₂	Chemische Formel von Kohlendioxid
CSP	Compact Strip Production (dt. kompakte Bandstahlproduktion)
DIN EN	Deutsche Ausgabe einer Europäischen Norm, die unverändert von allen Mitgliedern des Europäischen Komitees für Normung (CEN)/Europäischen Komitees für Elektrotechnische Normung (CENELEC) übernommen wird
DRI	Direct Reduced Iron (dt. Eisenschwamm)
EAFF	Electric Arc Furnance (dt. Elektrolichtbogenofen)
EJ	Exajoule
EnPI	Energy Performance Indicator (dt. Energieleistungskennzahl)
EPI	Energiepreisindex
ESP	Endless Strip Production (dt. Endlosbandproduktion)
EU	Europäische Union
Fe	Elementsymbol für Eisen
FTI	Forschung, Technologie und Innovation
F&E	Forschung und Entwicklung
GJ	Gigajoule
H₂	Chemische Formel von Wasserstoff
HBI	Hot Briquetted Iron (dt. heißbrikettierter Eisenschwamm)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (dt. Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen)
ISO	Internationale Organisation für Normung (vom griechischen Wort „isos“=gleich)

Abkürzungsverzeichnis

IT	Informationstechnologie
kg	Kilogramm
LD	Linz-Donawitz
m³	Kubikmeter
MCIS	McCloskey Coal Industry Services
MJ	Megajoule
mm	Millimeter
Mt	Millionen Tonnen
Ni	Elementsymbol für Nickel
O₂	Chemische Formel von molekularem Sauerstoff
ORC	Organic Rankine Cycle (Verfahren des Betriebes von Expansionsmaschinen mit einem organischen Arbeitsmittel)
PJ	Petajoule
PSA	Pressure Swing Adsorption (dt. Druckwechsel-Adsorption)
SR	Smelting Reduction (dt. Schmelzreduktion)
t	Tonnen
t_{RS}	Tonnen Rohstahl
TJ	Terajoule
USD	US-Dollar
VDEh	Verein Deutscher Eisenhüttenleute
VPI	Verbraucherpreisindex
VPSA	Vacuum Pressure Swing Adsorption (dt. Vakuum-Druckwechsel-Adsorption)

www.klimafonds.gv.at

In Kooperation mit:

