



**FFE**

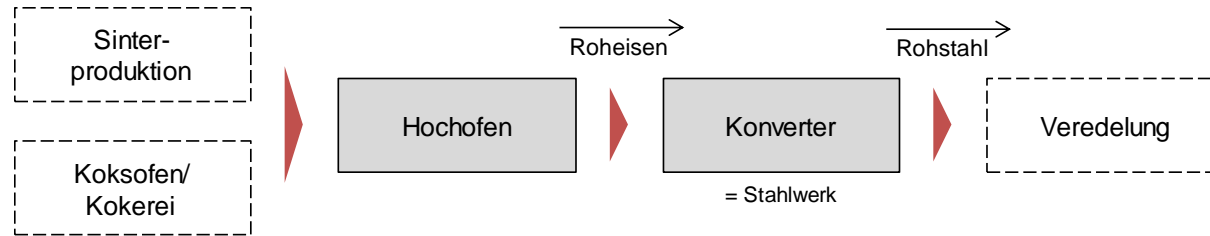
# CO<sub>2</sub>-Verminderung in der Metallerzeugung

Andrej Guminski, Elsa Rouyrre, Manuel Wiener  
27.11.2019

2019

# Prozessablaufdiagramm Metallerzeugung

## Rohstahlerzeugung (Hochofen)



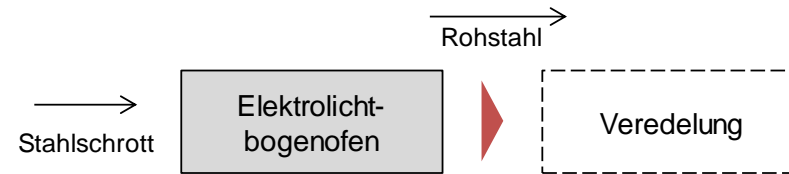
### Prozessbeschreibung:

Als Eingangsstoffe des Hochofens dienen Koks, Eisenerz (meist in Form von Sinter oder Pellets), Zuschlagsstoffe wie Kalk, die die Schlackenbildung unterstützen, sowie Kohle, Öl oder Erdgas als Reduktionsmittel. Der Hochofen, ein schachtförmiges Gebilde, wird von oben mit den Eingangsstoffen beschickt, während den absinkenden Materialien von unten das Reduktionsgas Kohlenmonoxid entgegenströmt (Gegenstromprinzip). Dazu wird im unteren Teil des Hochofens heiße Luft, welche in den sogenannten Winderhitzern meist durch die Verbrennung von Gichtgas erwärmt wurde, mit einer Temperatur von ca. 1.200° C eingeblasen. Unter starker Temperaturerhöhung von bis zu 2.200° C entsteht aus Sauerstoff und dem vorliegenden (Koks-) Kohlenstoff das Reduktionsgas Kohlenmonoxid. Letzteres steigt im Hochofen nach oben und führt zu einer Reduktion der Erze im oberen Teil des Schachts bevor es als Gichtgas aus dem Hochofen austritt. Bei einer Temperatur von rund 1.500° C werden dem Hochofen voneinander getrennt das Roheisen und die Schlacke über ein Stichloch im unteren Teil des Ofens entnommen. /WVS 01 17/

Das gewonnene Roheisen besitzt einen Kohlenstoffgehalt von drei bis sechs Prozent und eignet sich dadurch aufgrund seiner Porosität bzw. geringen Zähigkeit nur bedingt zur Weiterverarbeitung /LOH 01 16/. Aus diesem Grund wird im nachfolgenden Konverter (auch Oxygenstahlkonverter) der Kohlenstoffanteil auf unter zwei Prozent gesenkt und es entsteht Rohstahl. Dazu wird mittels einer wassergekühlten Lanze reiner Sauerstoff auf das flüssige Roheisen aufgeblasen, wodurch der enthaltene Kohlenstoff oxidiert und entweicht. Der entstehende Rohstahl wird daher auch als Sauerstoff- oder Oxygenstahl bezeichnet. Die durch dieses Vorgehen entstehenden sehr hohen Temperaturen werden durch die Zugabe von Schrott und Eisenerz kontrolliert. Darüber hinaus werden hierbei unerwünschte Bestandteile wie Kohlenstoff, Silicium, Schwefel und Phosphor bis auf zulässige geringe Anteile entfernt /LOH 01 16/, /WVS 01 17/. Im abschließenden Produktionsschritt der Veredelung findet neben der Sekundärmetallurgie des erzeugten Rohstahls das Gießen, Formen und Oberflächenbehandeln statt /LOH 01 16/.

# Prozessablaufdiagramm Metallerzeugung

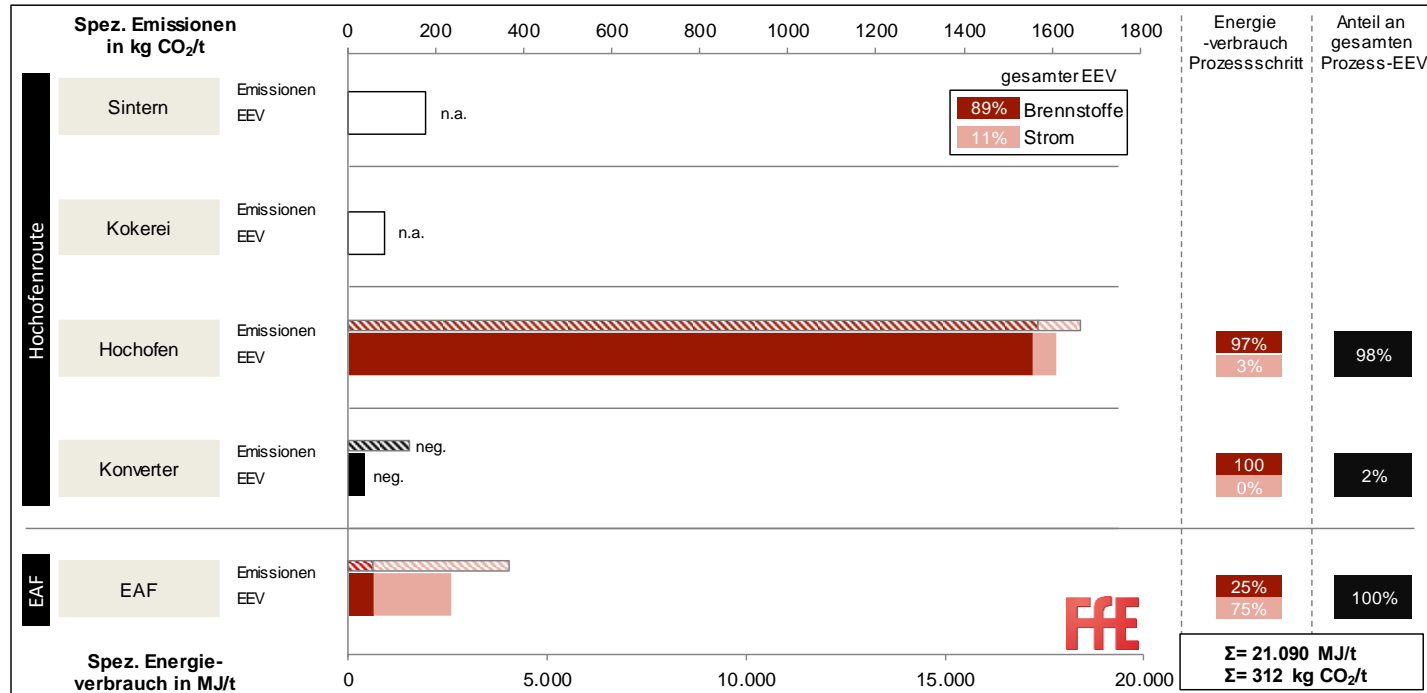
## Elektrostahlherstellung (EAF)



### Prozessbeschreibung:

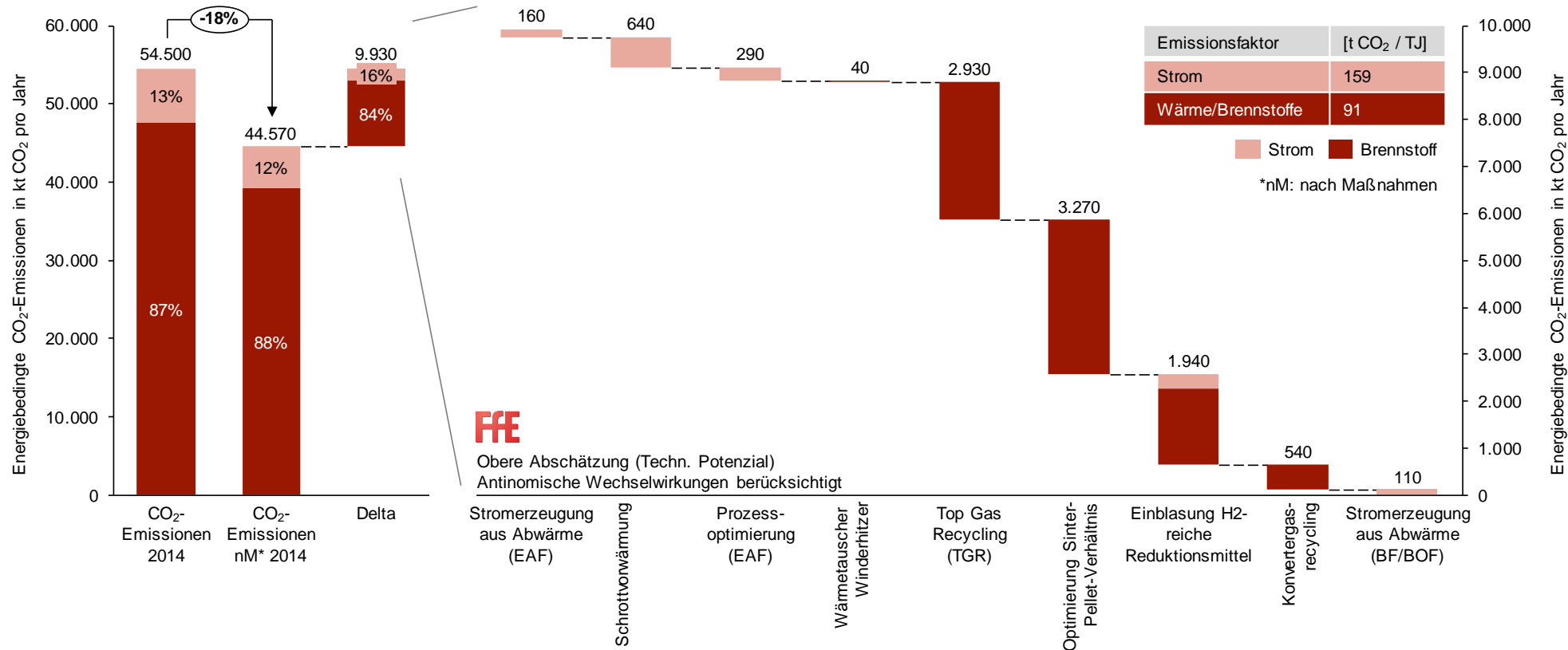
Mittels des Elektrolichtbogenofens können aus Stahlschrott direkt Stahlprodukte wiedergewonnen werden. Neben Stahlschrott kommen Eisenschwamm und Roheisen (in flüssiger oder fester Form) als Eingangsprodukte zum Einsatz. Das Ofengefäß des Elektrolichtbogenofens wird von oben befüllt. Bei dem Einschmelzprozess entstehen durch den Einsatz elektrischer Energie im Lichtbogen Temperaturen von bis zu 3.500° C. Die Stahlschmelze findet bei ca. 1.800° C statt. Durch Einblasen von Sauerstoff oder anderer Gasgemische wird der Vorgang beschleunigt. Ist die gewünschte Stahlzusammensetzung erreicht, wird der Ofen durch Kippen entleert. Analog zur Hochofenroute erfolgt eine produktspezifische Veredelung. /WVS 01 17/

# Spezifischer Energieverbrauch in MJ/t und spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen in kg CO<sub>2</sub>/t der Metallerzeugung



- **Hochofenroute:**
- Durchschnittlicher Energieverbrauch von ca. 17.800 MJ pro Tonne Rohstahl in 2014 (Bruttobetrachtung)
- Deckung des Energiebedarfs zu ca. 97 % über Brennstoffe und zu ca. 3 % über Strom
- Durchschnittliche energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen von ca. 1.700 kg pro Tonne Rohstahl in 2014, zusätzlich ca. 300 kg CO<sub>2</sub>/t Rohstahl für das Sintern und die Kokerei /FFE 36 17/
- **EAF:**
- Durchschnittlicher Energieverbrauch von ca. 2.600 MJ pro Tonne Elektrostahl in 2014
- Deckung des Energiebedarfs ausschließlich über Strom
- Durchschnittliche energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen von ca. 360 kg pro Tonne Elektrostahl in 2014

# Auswirkungen quantifizierter CO<sub>2</sub>-Verminderungsmaßnahmen auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Metallerzeugung



# Herleitung des maximalen technischen CO<sub>2</sub>-Verminderungspotenzials der Effizienzmaßnahmen in der Metallerzeugung (1)

Kurzbezeichnung	Beschreibung	Maximales technisches Potenzial und Zukunftsfähigkeit
Stromerzeugung aus Abwärme (Elektrolichtbogen-ofen / electric arc furnace - EAF)	<p>Strom, welcher aus industrieller Abwärme gewonnen wird, ist gleichsam emissionsfrei. Durch den Organic Rankine Cycle (ORC) kann bereits bei relativ geringen Temperaturniveaus (ab 70 bis 80 °C) Strom aus Wärme erzeugt werden. Daher bietet sich ORC vor allem auch zur Nutzung von Abwärme aus Industrieprozessen an. /QUO-01 13/</p> <p>Hier wird die Abwärme aus dem EAF genutzt.</p>	<p><i>Maximales technisches Potenzial: 200 kt CO<sub>2</sub>/a</i></p> <p><i>Herleitung:</i></p> <p>- Spez. Einsparpotenzial Strom: 22 kWh<sub>el</sub> / t Rohstahl /TUR-01 16/, /CAM-01 13/, /FFE-36 17/</p> <p>- Anwendungsfaktor: 92 % /FFE-36 17/</p>
Umstellung bzw. Aufrüstung der Pfannenfeuer (EAF)	<p>Zur Temperaturregulierung und Trocknung werden die Pfannengefäße vor dem Abstechen der Stahlschmelze aus dem Schmelzofen mit Pfannenfeuer beheizt. Durch die Aufrüstung der Pfannenfeuer auf Stand der Technik Sauerstoff/Gas-Brenner werden fossile Energieträger eingespart. Es ergibt sich hierdurch allerdings eine Steigerung des Stromverbrauchs. /WVS-04 17/, /LSW-01 15/</p>	<p><i>Maximales technisches Potenzial: &lt;10 kt CO<sub>2</sub>/a</i></p> <p><i>Herleitung:</i></p> <p>- Spez. Einsparpotenzial Wärme (EAF: Strom zur Wärmeerzeugung, hier jedoch Brennstoff): 1,21 kWh / t Rohstahl, aber: Strom: -0,24 kWh / t Rohstahl /FFE-36 17/, /LSW-01 15/</p> <p>- Anwendungsfaktor: 50 % /FFE-36 17/</p>
Schrottvorwärmung (EAF)	<p>Durch Vorwärmung des Schrotts mit Abwärme des EAFs kann die benötigte Energiemenge für das Schmelzen des Schrotts im EAF gesenkt werden. /EOLB-01 10/</p>	<p><i>Maximales technisches Potenzial: 600 kt CO<sub>2</sub>/a</i></p> <p><i>Herleitung:</i></p> <p>- Spez. Einsparpotenzial Strom: 81 kWh / t Rohstahl /MOYA-01 13/, /CTEP-01 12/, /EAEID-01 13/</p> <p>- Anwendungsfaktor: 100 % /FFE-36 17/</p>
Prozessoptimierung (EAF)	<p>Die hier inkludierten Aspekte beziehen sich vor allem auf die Modernisierung der Automatisierungssysteme. Hierbei liegt der Schwerpunkt auf der kontinuierlichen Messung von Prozessparametern sowie der dynamischen Prozessmodellierung. /BCG-01 13/</p>	<p><i>Maximales technisches Potenzial: 300 kt CO<sub>2</sub>/a</i></p> <p><i>Herleitung:</i></p> <p>- Spez. Einsparpotenzial Strom: 46 kWh / t Rohstahl /BCG-01 13/</p> <p>- Anwendungsfaktor: 80 % /FFE-36 17/</p>

# Herleitung des maximalen technischen CO<sub>2</sub>-Verminderungspotenzials der Effizienzmaßnahmen in der Metallerzeugung (2)

Kurzbezeichnung	Beschreibung	Maximales technisches Potenzial und Zukunftsfähigkeit
Optimierung Wärmetauscherlösung für Winderhitzer (Hochofen / blast furnace - BF)	Das Abgas der Winderhitzer (Rauchgas) wird zum Vorheizen der dem Winderhitzer zugeführten Brennluft und Brenngas (Gichtgas, Koksofengas oder Erdgas) verwendet. Dadurch kann die so ausgetauschte Energie der Rauchgas-Abwärme beim Aufheizen der Winderhitzer eingespart werden (Wirkungsgrad des Winderhitzers 10 %). /WVS-02 17/	<p><i>Maximales technisches Potenzial: &lt;100 kt CO<sub>2</sub>/a</i></p> <p><i>Herleitung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Spez. Einsparpotenzial Wärme (BF: Brennstoff zur Wärmeerzeugung): 36 kWh / t Rohstahl /WVS-02 17/</li> <li>- Anwendungsfaktor: 10 % /FFE-36 17/</li> </ul>
Gichtgas-entspannungsturbine (engl. Top Gas/pressure recovery turbine, TRT) (BF)	Dadurch, dass einige Hochofen in Deutschland mit Überdruck gefahren werden (neun Anlagen in Deutschland, vier mit Normaldruck), hat das entweichende Gas neben einer hohen Temperatur noch immer einen erhöhten Druck. Durch den Einsatz einer Expansionsturbine kann dies zur Stromerzeugung genutzt werden. /BCG-01 13/, /EOLB-01 10/	<p><i>Maximales technisches Potenzial: 0 kt CO<sub>2</sub>/a (antinomische Wechselwirkung mit Top Gas Recycling, Potenzial bei 100 kt CO<sub>2</sub>)</i></p> <p><i>Herleitung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Spez. Einsparpotenzial Strom: 38 kWh / t Rohstahl /MOYA-01 13/, /CTEP-01 12/, /EAEID-01 13/, /BCG-01 13/</li> <li>- Anwendungsfaktor: 23,1 % /FFE-36 17/, (näherungsweise, da Maßnahme in 3 von 13 Hochofen möglich, Annahme: alle BF haben die gleiche Kapazität)</li> </ul>
Gichtgasrückführung (engl. Top Gas Recycling, TGR) (BF)	Beim TGR werden die Abgase des Hochofenprozesses (enthält CO und H <sub>2</sub> ) separiert und teilweise wieder dem Hochofen zugeführt und als Ersatzreduktionsmittel verwendet. Dies kann den Verbrauch von Koks oder eingeblasener Kohle im Hochofen senken. Darüber hinaus vereinfacht das Verfahren die Abtrennung von CO <sub>2</sub> und bietet damit bedeutendes zusätzliches Potenzial bei Einführung von CCS/CCU. /BCG-01 13/, /EOLB-01 10/	<p><i>Maximales technisches Potenzial: 3.000 kt CO<sub>2</sub>/a</i></p> <p><i>Herleitung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Spez. Einsparpotenzial Wärme 556 kWh / t Rohstahl /BCG-01 13/</li> <li>- Anwendungsfaktor: 53,8 % /FFE-36 17/, (näherungsweise, da Maßnahme in 7 von 13 Hochofen möglich, Annahme: alle BF haben die gleiche Kapazität)</li> </ul>
Optimierung Sinter-Pellet-Verhältnis (BF)	Da die Herstellung von Sinter etwa dreimal so hohe Emissionen verursacht wie die von Pellets, ist durch eine Substitution von Sinter durch Pellets im Hochofen die Senkung von Emissionen möglich. /BCG-01 13/	<p><i>Maximales technisches Potenzial: 3.000 kt CO<sub>2</sub>/a</i></p> <p><i>Herleitung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Spez. Einsparpotenzial Wärme: 333 kWh / t Rohstahl /BCG-01 13/, /FFE-36 17/</li> <li>- Annahme: 100 % Substitution von Sinter durch Pellets /BCG-01 13/</li> <li>- Anwendungsfaktor: 100 % /FFE-36 17/</li> </ul>

# Herleitung des maximalen technischen CO<sub>2</sub>-Verminderungspotenzials der Effizienzmaßnahmen in der Metallerzeugung (3)

Kurzbezeichnung	Beschreibung	Maximales technisches Potenzial und Zukunftsfähigkeit
Einblasung von wasserstoffreichen Reduktionsmitteln (BF)	Durch den Einsatz von wasserstoffreichen Reduktionsmitteln wie Erdgas oder Koksofengas als Substitut für Koks oder Kohle werden die CO <sub>2</sub> -Emissionen des Hochofenprozesses gesenkt. /BCG-01 13/	<p><i>Maximales technisches Potenzial: 2.000 kt CO<sub>2</sub>/a</i></p> <p><i>Herleitung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Spez. Einsparpotenzial Wärme: 164 kWh / t Rohstahl und Strom: 19 kWh/t Rohstahl /EAEID-01 13/, /BCG-01 13/</li> <li>- Anwendungsfaktor: 100 % /FFE-36 17/</li> </ul>
Konvertergas-recycling (Blasstahlkonverter - basic oxygen furnace – BOF)	<p>Das Konvertergas, welches bei der Umwandlung von Roheisen zu Stahl im Konverter anfällt, kann recycelt und zur Erzeugung von Dampf eingesetzt sowie entstaubt als Erdgasersatz verwendet werden. /BCG-01 13/, /EOLB-01 10/</p> <p>Aktuell nutzen 40 % aller Anlagen in D das Konvertergas zur Dampferzeugung und erzielen damit eine Einsparung von 0,4-0,5 GJ/t Rohstahl. Würden diese Anlagen auf die Entstaubung des Gases als Erdgassubstitut umgestellt, könnten diese eine insgesamt Einsparung von 0,9 GJ/t Rohstahl erzielen. Die verbleibenden 60 % der Anlagen in D nutzen das Konvertergas bereits zur Entstaubung und als Erdgassubstitut. /FFE-36 17/</p>	<p><i>Maximales technisches Potenzial: 500 kt CO<sub>2</sub>/a</i></p> <p><i>Herleitung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Spez. Einsparpotenzial Wärme (BOF: Strom zur Wärmeerzeugung): 139 kWh / t Rohstahl /MOYA-01 13/, /CTEP-01 12/, /BCG-01 13/</li> <li>- Anwendungsfaktor: 40 % /FFE-36 17/</li> </ul>
Stromerzeugung aus Abwärme (BF/BOF)	<p>Strom, welcher aus industrieller Abwärme gewonnen wird, ist gleichsam emissionsfrei. Durch den Organic Rankine Cycle (ORC) kann bereits bei relativ geringen Temperaturniveaus (ab 70 bis 80 °C) Strom aus Wärme erzeugt werden. Daher bietet sich ORC vor allem auch zur Nutzung von Abwärme aus Industrieprozessen an. /QUO-01 13/</p> <p>Hier wird die Abwärme aus dem Hochofen/ Konverter genutzt.</p>	<p><i>Maximales technisches Potenzial: 100 kt CO<sub>2</sub>/a</i></p> <p><i>Herleitung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Spez. Einsparpotenzial Wärme: 22 kWh / t Rohstahl /FFE-36 17/</li> <li>- Anwendungsfaktor: 30 % /FFE-36 17/</li> </ul>



# Herleitung des maximalen technischen CO<sub>2</sub>- Verminderungspotenzials der Effizienzmaßnahmen in der Metallerzeugung (4)

(keine Potenzialbestimmung):		
Kohleeinblasung (BF)	Durch das Einblasen von pulverisierter Kohle in den Hochofen können zu einem gewissen Teil der Kokeinsatz reduziert und damit Emissionen eingespart werden. /EOLB-01 10/	<i>Antinomische Wechselwirkung mit Einblasung von wasserstoffreichen Reduktionsmitteln. Außerdem keine wesentlichen Potenziale /FFE-36 17/</i>
Energieerzeugung durch Gichtgaskraftwerk (BF)	Das aus dem Hochofen entweichende überschüssige Hochofengas (Gichtgas = brennbares Kuppelgas) kann energetisch als Brennstoff genutzt werden. Dadurch entsteht im Gichtgaskraftwerk Dampf und Strom, welcher einerseits im Prozess benutzt als auch andererseits eingespeist werden kann. /WVS-03 17/, /FFE-36 17/	<i>Stand der Technik und keine wesentlichen zusätzlichen Potenziale /FFE-36 17/</i>
Alle Maßnahmen	Summe der Maßnahmen EAF	Maximales technisches Potenzial: 1.100 kt CO <sub>2</sub> /a
Alle Maßnahmen	Summe der Maßnahmen BOF/ BF	Maximales technisches Potenzial: 8.900 kt CO <sub>2</sub> /a
<b>Alle Maßnahmen</b>	<b>Summe der Maßnahmen</b>	<b>Maximales technisches Potenzial: 10.000 kt CO<sub>2</sub>/a</b>

- AGEB-04 16** Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland 1990-2014 - Stand: 11.05.2016. Berlin: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB), 2016
- BCG-01 13** Wörtler, Martin; Schuler, Felix; Voigt, Nicole; Schmidt, Torben; Dahlmann, Peter; Lungen, Hans; Ghenda, Jean-Theo: Steel's contribution to a low-carbon Europe 2050 - Technical and economic analysis of the sector's CO2 abatement potential. Boston: Steel Institute (VDEh), 2013
- BLESL-01 13** Blesl, Markus; Kessler, Alois: Energieeffizienz in der Industrie in: Springer Verlag. Berlin Heidelberg: Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart, EnBW Energie Baden-Württemberg AG, Forschung und Innovation, Karlsruhe, 2013.
- CAM-01 13** Campana, F. et. al.: ORC waste heat recovery in European energy intensive industries: Energy and GHG savings in: Energy Conversion and Management 76 (2013). Amsterdam: Elsevier, 2013
- CTEP-01 12** Villar, Arturo; Arribas, Juan José; Parrondo, Jorge: Waste-to-energy technologies in continuous process industries in: Clean Technologies and Environmental Policy (February 2012, Volume 14, Issue 1). Heidelberg: Springer International Publishing AG, 2012
- EAEID-01 13** Morrow III, William R.; Hasanbeigi, Ali; Sathaye, Jayant; Tengfang, Xu: Assessment of energy efficiency improvement and CO<sub>2</sub> emission reduction potentials in India's cement and iron & steel industries in: Journal of Cleaner Production. Amsterdam: Elsevier, 2013
- EOLB-01 10** Worrell, Ernst et al.: Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the U.S. Iron and Steel Industry - An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers. Berkeley, Kalifornien: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Lab, 2010
- FFE-36 17** Sprecher, Marten (Stahlinstitut VDEh): Experteninterview am 02.03.2017 - CO<sub>2</sub>-Verminderung in der Stahlindustrie. München: FfE GmbH, 2017

# Quellen

- IETD-01 17** Iron and Steel - Benchmarks in: The Industrial Efficiency Technology Database (IETD) verfügbar unter: <http://ietd.iipnetwork.org/content/iron-and-steel#benchmarks> (Abruf: 02.06.2017) Archived by WebCite® at: <http://www.webcitation.org/6qwdS5Asc>. Washington, D.C. (USA): Institute for Industrial Productivity, 2017
- ISI-05 13** Fleiter, Tobias; Schlomann, Barbara; Eichhammer, Wolfgang: Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen industrieller Prozesstechnologien - Einsparpotentiale, Hemmnisse und Instrumente in: ISI Schriftenreihe "Innovationspotentiale". Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI), 2013
- LOH-01 16** Lohse, Wolfram; Laumann, Jörg; Wolf, Christian: Stahlbau 1 - Bemessung von Stahlbauten nach Eurocode mit zahlreichen Beispielen. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2016
- LSW-01 15** Projektdokumentation 2014 - Modernisierung Pfannen- und Verteilerfeuer. Meitingen: Lech-Stahlwerke GmbH, 2015
- MOYA-01 13** Moya, José Antonio; Pardo, Nicolás: The potential for improvements in energy efficiency and CO<sub>2</sub> emissions in the EU27 iron and steel industry under different payback periods in: Journal of Cleaner Production. Amsterdam: Elsevier, 2013
- OTTO-01 17** Otto, Alexander; Robinius, Martin; Grube, Thomas; Schiebahn, Sebastian; Praktiknjo, Aaron; Stolten, Detlef: Power-to-Steel - Reducing CO<sub>2</sub> through the Integration of Renewable Energy and Hydrogen into the German Steel Industry in: Energies (4), 2017, S. 451. Basel: MDPI, 2017
- QUO-01 13** Quoilin, Sylvain et al.: Techno-economic survey of Organic Rankine Cycle (ORC) systems in: Renewable & Sustainable Energy Reviews (Volume 22, Pages 168-186). Amsterdam: Elsevier, 2013
- REH-01 16** Rehfeldt, Matthias; Rohde, Clemens; Fleiter, Tobias; Toro, Felipe; Reitze, Felix: A Bottom-up Estimation of Heating and Cooling Demand in the European Industry in: European Council for an Energy-Efficient Economy (ECEEE Industrial Summer Study). Karlsruhe: Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI, 2016
- TUR-01 16** Foresti, Alessandro; Archetti, Daniele: Electric Steelmaking with ORC Heat Recovery in Europe and beyond. Brescia BS, Italien: Turboden, 2016

# Quellen

- UBA-02 16** Icha, Petra: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 bis 2015. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (UBA), 2016
- WVS-01 14** Rohstahlproduktion - in den Monaten Januar - Dezember 2014. Pressemitteilungen verfügbar unter: <http://www.stahl-online.de/index.php/medieninformation/>. Düsseldorf: Wirtschaftsvereinigung Stahl, 2014
- WVS-01 17** Roheisen- und Rohstahlerzeugung in: <http://www.stahl-online.de/index.php/themen/stahltechnologie/stahlerzeugung/> (Abruf: 11.04.2017) Archived by WebCite® at: <http://www.webcitation.org/6pdjgN7ip>. Düsseldorf: Wirtschaftsvereinigung Stahl, 2017
- WVS-02 17** Innovative Wärmetauscherlösung für Winderhitzer in: <http://effizienz-mit-stahl.de/index.php/prozesse/innovative-waermetauscherloesung-fuer-winderhitzer/> (Abruf: 09.06.2017) Archived by WebCite® at: <http://www.webcitation.org/6r5qw9k8q>. Düsseldorf: Wirtschaftsvereinigung Stahl, 2017
- WVS-03 17** Maximale Energienutzung mit Gichtgaskraftwerk in: <http://effizienz-mit-stahl.de/index.php/prozesse/maximale-energienutzung-mit-gichtgaskraftwerk/> (Abruf: 09.06.2017) Archived by WebCite® at: <http://www.webcitation.org/6r5r9ZKTK>. Düsseldorf: Wirtschaftsvereinigung Stahl, 2017
- WVS-04 17** Umstellung bei Pfannenfeuer spart Erdgas in: <http://effizienz-mit-stahl.de/index.php/prozesse/umstellung-bei-pfannenfeuer-spart-erdgas/> (Abruf: 09.06.2017) Archived by WebCite® at: <http://www.webcitation.org/6r7GhXBr1>. Düsseldorf: Wirtschaftsvereinigung Stahl, 2017