TU Clausthal
Institut für Metallurgie

itm

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Offen im Denken

Institut für Technologien der Metalle

itm

Alternative zukünftige Schmelztechnologien in der Eisenguss-Industrie

1. Internationale Iron Melting Conference & Exhibition

Saarbrücken, 28. September 2021

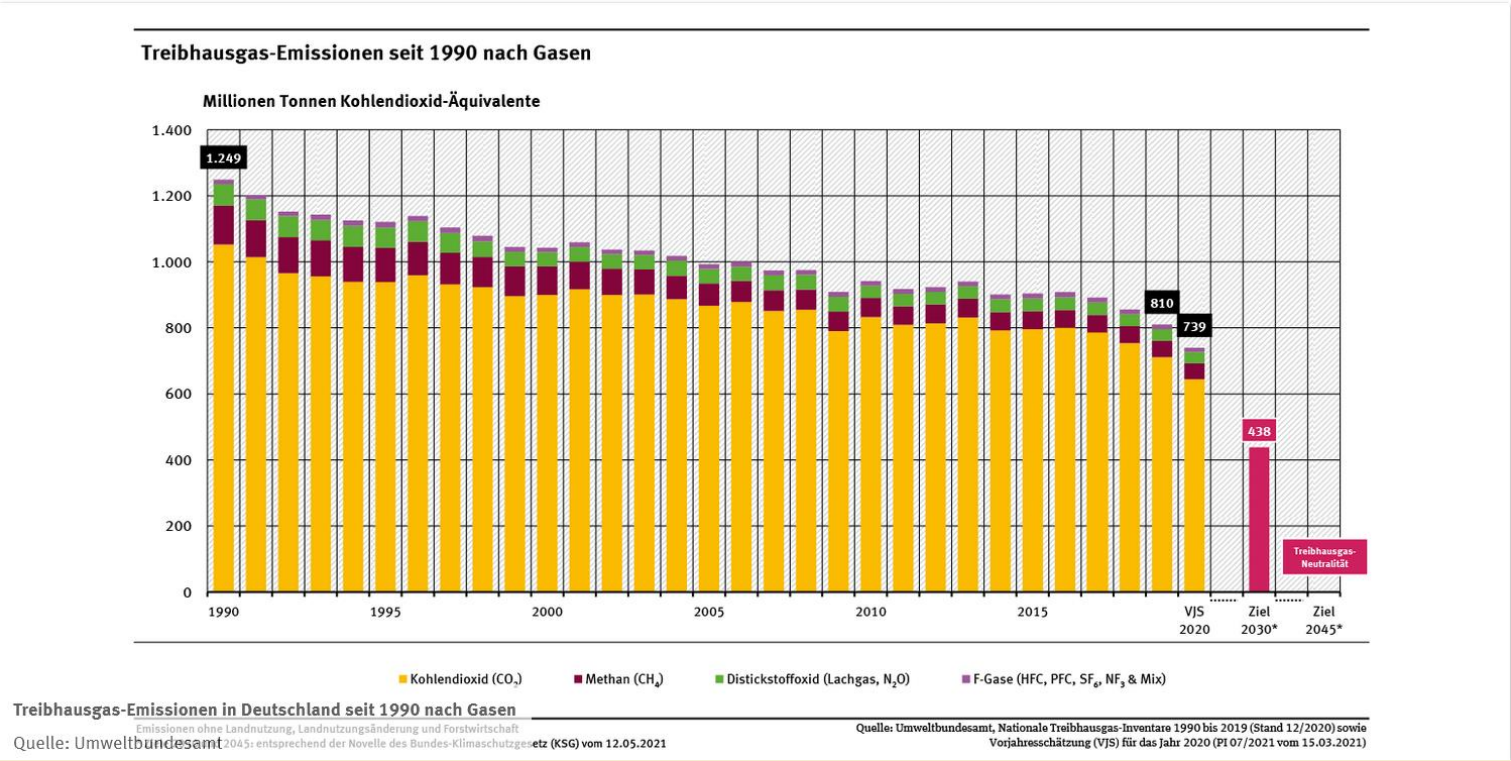
Deike, R.[1]; Hils, G:[2].; Spitzer, K-H[2].
1) Universität Duisburg-Essen, Institut für Technologien der Metalle
2) Technische Universität Clausthal, Institut für Metallurgie

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Offen im Denken

1. Einleitung

Treibhausgasemissionen



Quelle: Umweltbundesamt

„Die Treibhausgasemissionen in Deutschland werden in 2021gegenüber dem Vorjahr voraussichtlich um rund 47 Millionen Tonnen CO_2 ansteigen und damit nur noch um 37 Prozent unter dem Niveau von 1990 liegen. Das deutsche Klimaziel von 2020 würde so dieses Jahr wieder verfehlt.“

Quelle: https://www.agora-energiewende.de/presse/neuigkeiten-archiv/deutschland-steht-2021-vor-dem-hoechsten-anstieg-der-treibhausgasemissionen-seit-1990/

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung

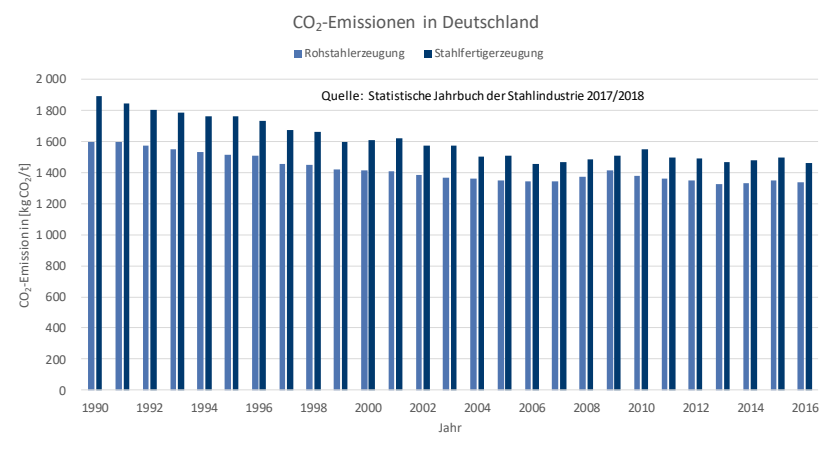
CO_2 Emissionen in der Stahlindustrie und Stunden im Jahr mit negativen Strompreisen

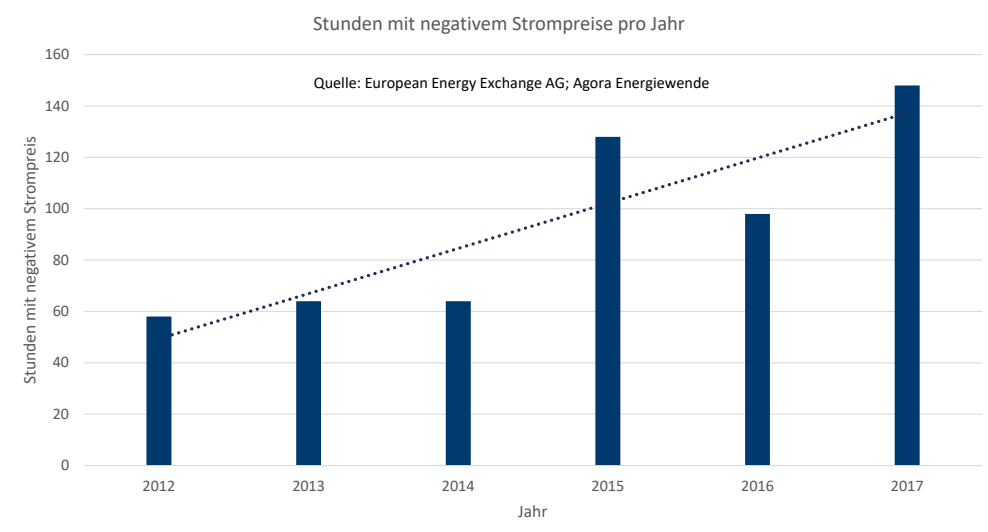
TU Clausthal Institut für Metallurgie

itm

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Offen im Denken





Aguero, B. L. F.; Martin, D.; Foppe, M.; Hils, G. Deike, R.; Spitzer, K.-H.:*CO_2-Reduktion durch die Konvertierung zu CO mittels regenerativ hergestellten elektrischen Stroms,* BMBF Statusseminar, Berlin, 04.10.2018

Ansätze zur CO_2-Emissionsminderung/Vermeidung:

- CO_2-Abscheidung und CO-Rückführung CO_2-Umsatz zu Kohlenwasserstoffen (Einsatz von H_2 und Energie)
- H_2-Einsatz im Kupolofen (C-Substitution)
- Boudouardgas aus Gichtgas+C+(E-Energie) für Einsatz im Kupolofen („Kohlerecycling“)

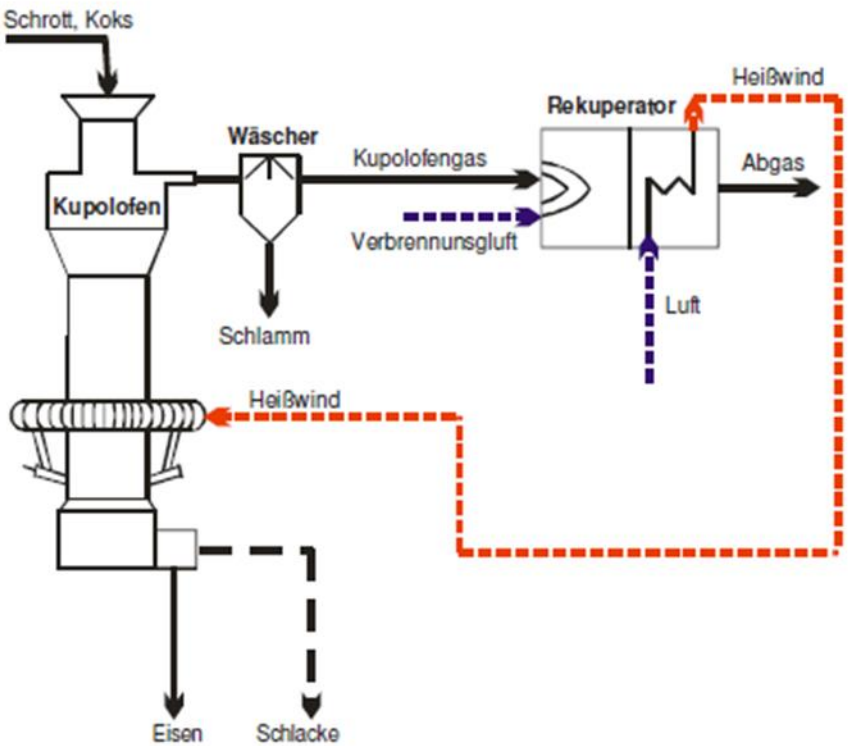
UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Offen im Denken

2. Stoff- und Energiebilanzen zum Kupolofenprozess

Einführung / Ausgangslage

Nutzung des Kupolofengases eines Heißwind-Kupolofens mit nasser Gasreinigung



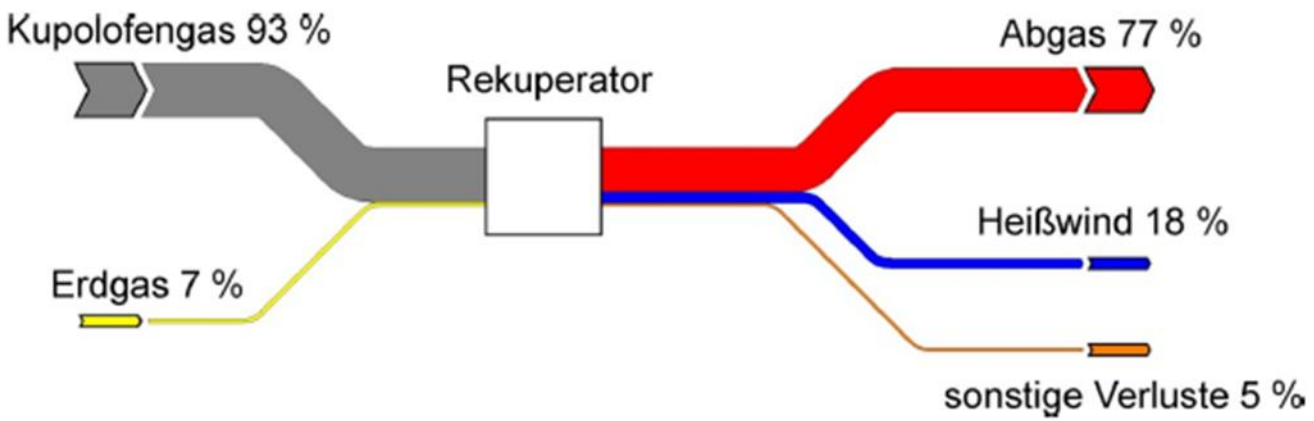
Kupolofengas	
CO	20 bis 25 Vol.-%
CO_2	12 bis 17 Vol.-%
H_2	0,2 bis 1,0 Vol.-%
O_2	0,5 bis 1,5 Vol.-%
N_2	Rest
Heizwert	2,5 bis 3,5 MJ/Nm³
Staub	15 bis 25 mg/Nm³

- niederkalorisches Prozessgas
- Heizwert < 5 MJ/Nm³

Adam, J; Harp, G.; Amani, R.; Temming, R, et.al.: 4th International Cupola Conference 2012, Dresden, 14-15.06.2012

Einführung / Ausgangslage

Energiebilanz des Rekuperators (Sankey-Diagramm)



- 20 – 30% des Kupolofengases notwendig für Heißwinderzeugung
- überwiegende Anteil des Kupolofengases verfügbar für andere Anwendungen (Prozessdampf, Wärmeversorgung, Stromerzeugung)

Adam, J; Harp, G.; Amani, R.; Temming, R, et.al.: 4th International Cupola Conference 2012, Dresden, 14-15.06.2012

Stoff- und Energiebilanz Kupolofen

TU Clausthal
Institut für Metallurgie

itm

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Offen im Denken

Kohlenstoff

Kohlenstoff	
Kokssatz[Koks kg/t (Fe)]	110
Asche/Feuchte [%]	8
Kohlenstoff [C kg/t(Fe)]	101,2
C % in t(Fe)	2,5
C im Eisen [kg/t(Fe)]	25
C für die Verbrennung [kg/t(Fe)]	76,2
Mole C /t(Fe) für die Verbrennung	**6350**

Benötigte Wärme zum Aufheizen von C auf die Reaktionsstemperatur [J/t(Fe)]	6,098E+07

Heißwind

Heißwind	
Heißwindtemperatur in [K]	900
Heißwindmenge [Nm³/t(Fe)]	320
Zusätzlicher Sauerstoff % HW	10
Mole O2/t(Fe) aus HW	**3000**
Mole O2/t(Fe) aus Sauerstoff	**1429**
Mole N2 /t(Fe) aus HW	**11280**

Fühlbare Wärme des Heißwindes [J/t(Fe)]	-2,621E+08

Benötigte Wärme zum Aufheizen von O2 auf die Reaktionstemperatur [J/t(Fe)]	2,744E+07

Verbrennung

$$C + O_2 \leftrightarrow CO_2$$

Verbrennungsreaktion C+O2 = CO2	
Reaktionstemperatur	900
Reaktionsenthalpie duch CO2 [J/t(Fe)]	-1,747E+09

Reaktionsenthalpie der Verbrennungsreaktion	-1,747E+09

Stoff- und Energiebilanz Kupolofen

TU Clausthal
Institut für Metallurgie

itm

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Offen im Denken

Gas nach der Verbrennung → Boudouard $CO_2 + C \leftrightarrow 2CO$ → Flüssiges Eisen und Gas

Gas nach der Verbrennung	
Boudouard-Reaktionstemperatur	2300
Gasmenge [Nm³/t(Fe)]	352
Mole CO2/t(Fe)	4428
Mole N2/t(Fe)	11280

Boudouardreaktion : CO2 + C = 2CO	
Boudouard-Reaktionstemperatur	2300
Gasmenge [Nm³/t(Fe)]	352
Anteil Boudouardreaktion [%]	40
Mole CO2/t(Fe)	2657
Mole CO/t(Fe)	3543
Verbrennungsverhältnis η(V) = CO2%/(CO2%+CO%)	0,43
C für Boudouard + C für Fe [kg/t(Fe)]	46

Wärmeinhalt 1 t(Fe)	
Eisentemperatur	1900
Mole Fe in 1 t(Fe)	1,786E+04
Wärmeinhalt [J/mol]	76625

Gas nach der Boudouardreaktion	
Gastemperatur [K]	451
Mole CO2/t(Fe)	2657
Mole CO/t(Fe)	3543
Mole N2/t(Fe)	11280
Vol% CO2/t(Fe)	15
Vol% CO/t(Fe)	20
Vol% N2/t(Fe)	65
Menge Kupofengas [Nm³/t(Fe)]	392

Fühlbare Wärme des Stickstoff und CO2 [J/t(Fe)]	-1,047E+09
Reaktionsenthalpie der Boudouardreaktion [J/t(Fe)]	2,752E+08
Benötigte Wärme zum Aufheizen von C auf die Reaktionsstemperatur [J/t(Fe)]	1,655E+08

Energiebilanz [J/t(Fe)]	-2,452E+08
Wärmeinhalt 1 t (Fe)	1,368E+09

Benötigte Wärme zum Aufheizen des Reaktionsgases				
von	900	auf	2300	9,135E+08

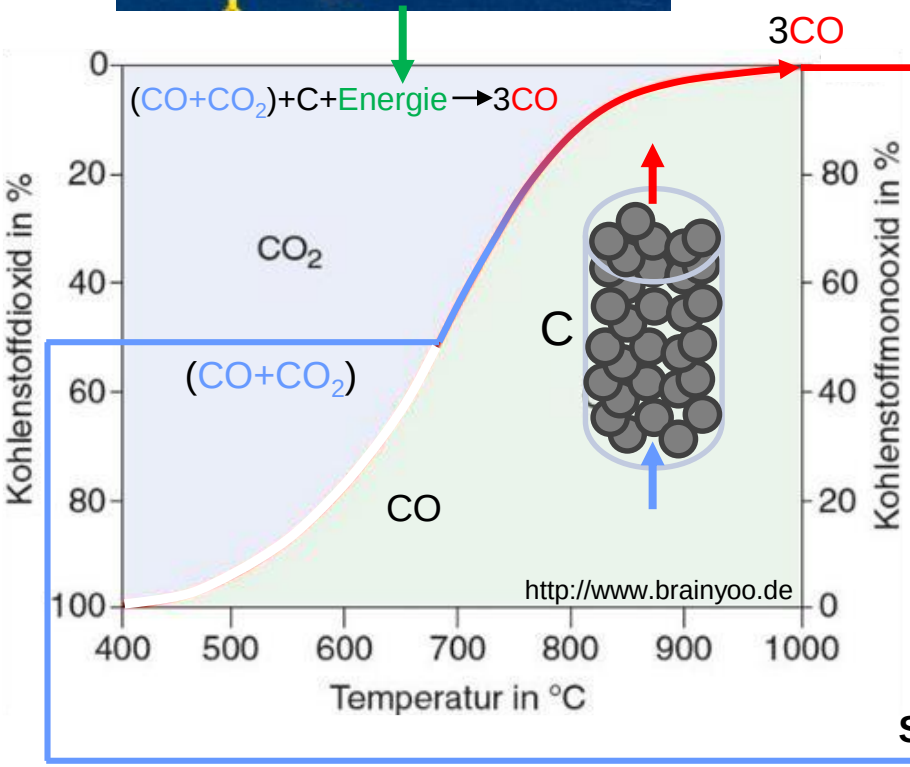
UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

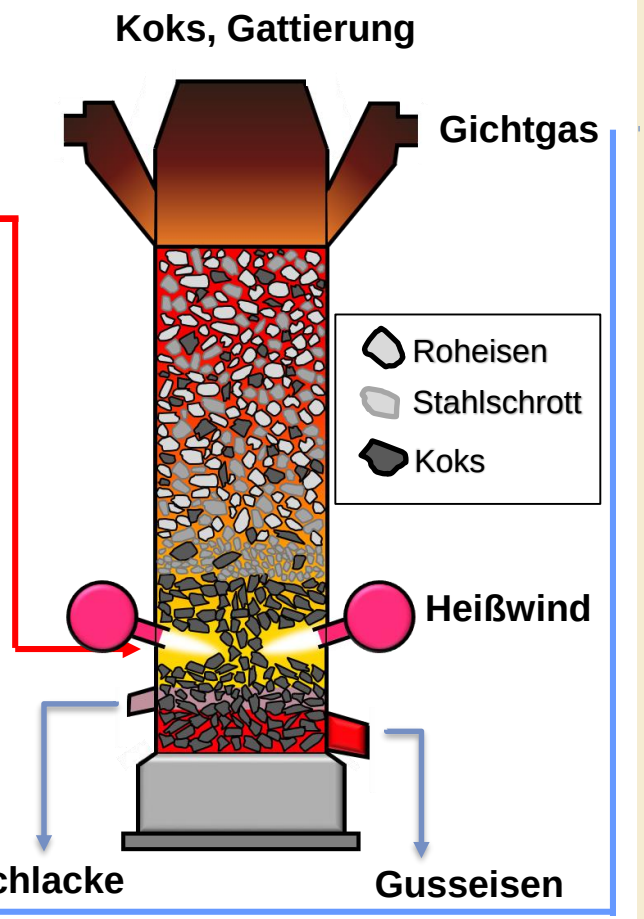
Offen im Denken

3. Prinzip des E-Power-Konverters

Die Konvertierung von Gichtgas in ein energetisch hochwertiges Boudouardgas

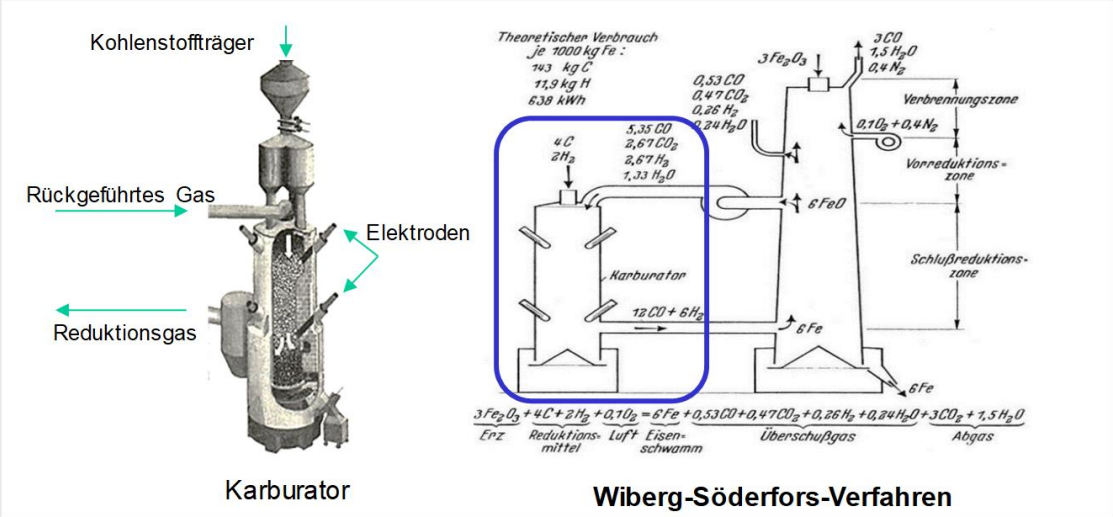
TU Clausthal
Institut für Metallurgie
itm
UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN
Offen im Denken





Eisenschwammherstellung nach dem Wiberg-Söderfors Verfahren

STAHL UND EISEN
ZEITSCHRIFT FÜR DAS DEUTSCHE EISENHÜTTENWESEN
Herausgegeben vom Verein Deutscher Eisenhüttenleute im NS.-Bund Deutscher Technik
Geleitet von Dr.-Ing. Dr. mont. E.h. O. Petersen
unter Mitarbeit von Dr. J. W. Reichert und Dr. W. Steinberg für den wirtschaftlichen Teil
Heft 38 | 23. September 1943 | 63. Jahrgang



Produktionanlagen: 30000$t_{Eisenschwamm}$/J Verbrauch/$t_{Eisenschwamm}$: 200 kg_{Koks}, 4GJ

B. L. F. Aguero, D. Martin, M. Foppe, G. Hils, R. Deike, K.-H. Spitzer

Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung

Aguero, B. L. F.; Martin, D.; Foppe, M.; Hils, G. Deike, R.; Spitzer, K.-H.:*CO_2-Reduktion durch die Konvertierung zu CO mittels regenerativ hergestellten elektrischen Stroms,* BMBF Statusseminar, Berlin, 04.10.2018

Stoff- und Energiebilanz E-Power-Konverter

TU Clausthal
Institut für Metallurgie

itm

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Offen im Denken

Gas aus dem Kupolofen mit RT in den E-Power-Konverter

E-Power-Konverter	
Reaktionstemperatur [K]	1400
Mole CO2/t(Fe)	2657
Mole CO/t(Fe)	3543
Mole N2/t(Fe)	11280
Vol% CO2/t(Fe)	15
Vol% CO/t(Fe)	20
Vol% N2/t(Fe)	65

Benötigte Wärme zum Aufheizen des Gases auf die Reaktionstemperatur [J/t(Fe)]	6,678E+08

Boudouard

$$CO_2 + C \leftrightarrow 2CO$$

Boudouardreaktion im E-Power-Konverter	
Boudouard-Reaktionstemperatur	1400
Gasmenge [Nm³/t(Fe)]	392
Anteil Boudouardreaktion [%]	100
Mole CO2/t(Fe)	0
Mole CO/t(Fe)	8857
Mole N2/t(Fe)	11280
C für Boudouard [kg/t(Fe)]	32

Fühlbare Wärme des Stickstoffs+ CO [J/t(Fe)]	-5,203E+08
Reaktionsenthalpie der Boudouardreaktion [J/t(Fe)]	4,417E+08
Benötigte Wärme zum Aufheizen von C auf die Reaktionsstemperatur [J/t(Fe)]	5,583E+07

Verbrennungsreakton

$$CO + \frac{1}{2}O_2 \leftrightarrow CO_2$$

Verbrennungsreaktion CO+1/2 O2 = CO2	
Reaktionstemperatur	1400
Reaktionsenthalpie duch CO [J/t(Fe)]	-1,015E+09
Mole CO2/t(Fe)	8857
Mole N2/t(Fe)	11280
Gasmenge [Nm³/t(Fe)]	451

Reaktionsenthalpie der Verbrennungsreaktion	-1,015E+09
Benötigte Wärme zum Aufheizen von O2 auf die Reaktionstemperatur [J/t(Fe)]	1,639E+08
Energiebilanz:	-2,057E+08
Energie zum Kupolofen	
Mit Stromkosten	-2,057E+08
Ohne Stromkosten	-1,699E+09

Stoff- und Energiebilanz Kupolofen

TU Clausthal
Institut für Metallurgie

itm

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Offen im Denken

Kohlenstoff

Heißwind

Verbrennung

$$C + O_2 \leftrightarrow CO_2$$

Kohlenstoff	
Kokssatz[Koks kg/t (Fe)]	110
Asche/Feuchte [%]	8
Kohlenstoff [C kg/t(Fe)]	101,2
C % in t(Fe)	2,5
C im Eisen [kg/t(Fe)]	25
C für die Verbrennung [kg/t(Fe)]	76,2
Mole C /t(Fe) für die Verbrennung	**6350**

Heißwind	
Heißwindtemperatur in [K]	900
Heißwindmenge [Nm³/t(Fe)]	300
Zusätzlicher Sauerstoff % HW	10
Mole O2/t(Fe) aus HW	**2812**
Mole O2/t(Fe) aus Sauerstoff	**1339**
Mole N2 /t(Fe) aus HW	**10575**

Verbrennungsreaktion C+O2 = CO2	
Reaktionstemperatur	900
Reaktionsenthalpie duch CO2 [J/t(Fe)]	-1,638E+09

Reaktionsenthalpie der Verbrennungsreaktion	-1,638E+09

Benötigte Wärme zum Aufheizen von C auf die Reaktionsstemperatur [J/t(Fe)]	6,098E+07

Fühlbare Wärme des Heißwindes [J/t(Fe)]	-2,457E+08

Benötigte Wärme zum Aufheizen von O2 auf die Reaktionstemperatur [J/t(Fe)]	2,572E+07

Energiebilanz E-Power Konverter	-2,057E+08
Mit Stromkosten	-2,057E+08
Ohne Stromkosten	-1,699E+09

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Offen im Denken

4. Aufbau eines E-Power-Konverters im Labormaßstab

E-Power to Heat: ~100% Wirkungsgrad

Vorversuche

Koks

Anthrazit

Vorversuche

Vergaser:

- Ascheaustrag (als Flugasche oder „nach unten“?, Ansatzbildung)
- Verhalten der Kohlenwasserstoffe (Reaktion flüchtiger Kohlebestandteile mit CO_2)
- Elektroden (Cu, Graphit, Kühlung durch das CO_2 ,..)
- Gichtgaseinleitung
- Kohlezufuhr
- Feuerfestmaterial
- Kritische Elemente: S,P,F,Cl
- Weitere Einsatzmöglichkeiten

Kupolofen:

- Integration in das Windsystem
- Veränderte Gasmengen
- Verwertung der Exportenergie

C-Träger:

- Identifikation geeigneter Träger
- Einsatz biogener Kohlenstoffträger erscheint wenig problematisch

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!