



Can Yilmaz (Autor)

# Maßnahmen zur Dekarbonisierung des Hochofenprozesses durch Einsatz von Wasserstoff

Schriftenreihe des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen

**efzn**  
Energie-Forschungszentrum  
Niedersachsen



## Maßnahmen zur Dekarbonisierung des Hochofenprozesses durch Einsatz von Wasserstoff

Can Yilmaz  
Promotion an der Technischen Universität Clausthal

Band 54  Cuvillier Verlag Göttingen

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/7789>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany  
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>7</b>
2.1	Stand der Technik der Eisen- und Stahlherstellung . . . . .	7
2.2	Der Hochofenprozess . . . . .	10
2.2.1	Prozessbeschreibung und Stand der Technik . . . . .	10
2.2.2	Schüttgutstruktur und Wärmeübertragung . . . . .	14
2.2.3	Reduktion der Eisenoxide . . . . .	18
2.2.4	Weitere Vorgänge im Hochofen . . . . .	23
2.2.5	Eingesetzte Reduktionsmittel . . . . .	27
2.2.6	Prozessmodelle des Hochofens . . . . .	30
2.3	Direktreduktionsprozesse . . . . .	37
2.3.1	Stand der Technik . . . . .	37
2.3.2	Einsatz von direkt reduziertem Eisen bei der Eisen- und Stahlherstellung . . . . .	40
2.4	Die Wasserelektrolyse . . . . .	43
<b>3</b>	<b>Methoden der Modellierung und Simulation</b>	<b>47</b>
3.1	Prozessmodellierung . . . . .	47
3.1.1	Verwendete Software . . . . .	47
3.1.2	Berechnung chemischer Gleichgewichte . . . . .	48
3.1.3	Modellbeschreibung . . . . .	52
3.2	Parametrierung und Validierung . . . . .	59
3.2.1	Validierung anhand von Betriebsdaten . . . . .	62
3.2.2	Vergleich mit Literaturdaten: Adiabate Flammentemperatur . . . . .	67
3.3	Simulation . . . . .	68
3.3.1	Vorgehensweise und Annahmen . . . . .	68
3.3.2	Sensitivitätsanalyse . . . . .	72



3.3.3	Vergleich mit Betriebsdaten aus der Literatur . . . . .	78
3.3.4	Betrachtete Arten von direkt reduziertem Eisen . . . . .	81
3.3.5	Bewertung der Ergebnisse . . . . .	86
<b>4</b>	<b>Simulation und Analyse des Einsatzes von Wasserstoff als Ersatzreduktionsmittel</b>	<b>91</b>
4.1	Einsatz in der Formenebene des Hochofens . . . . .	91
4.1.1	Betrieb mit Wasserstoff und Koks . . . . .	91
4.1.2	Einfluss der adiabaten Flammentemperatur . . . . .	99
4.1.3	Betrieb mit Wasserstoff, Koks und Blaskohle . . . . .	102
4.2	Einsatz in der Formenebene unter angepassten Betriebsbedingungen	105
4.3	Einsatz im Schacht des Hochofens . . . . .	111
4.4	Integrierte energetische Betrachtungen im Hüttenverbund . . . . .	115
4.4.1	Wasserstoff in der Formenebene . . . . .	115
4.4.2	Wasserstoff in der Formenebene unter angepassten Betriebsbedingungen . . . . .	117
<b>5</b>	<b>Simulation und Analyse des Einsatzes von direkt reduziertem Eisen im Hochofen</b>	<b>121</b>
5.1	CO <sub>2</sub> -Emissionen der Produktion von direkt reduziertem Eisen . . . . .	121
5.2	Vergleich von Simulationsergebnissen mit Literaturdaten . . . . .	123
5.3	Einsatz im Hochofen mit variabler Blaskohlemenge . . . . .	129
5.4	Integrierte energetische Betrachtungen im Hüttenverbund . . . . .	136
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Ausblick</b>	<b>141</b>
<b>A</b>	<b>Modellierung und Simulation</b>	<b>149</b>
A.1	Modellbeschreibung . . . . .	149
A.2	Parametrierung, Validierung und Simulation . . . . .	150
	<b>Abkürzungen und Symbole</b>	<b>I</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>X</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>XII</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>XIII</b>