

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	vii
Tabellenverzeichnis	ix
Abkürzungsverzeichnis	xi
Formelverzeichnis	xiii

1	Energiesystemmodellierung einer dekarbonisierten Stahlindustrie	1
1.1	Konzepte der Dekarbonisierung	1
1.2	Das SALCOS®-Projekt der Salzgitter AG	3
1.3	Bisherige Untersuchungen zur Dekarbonisierung eines Hüttenwerks	3
1.4	Lineare Modellierung integrierter Hüttenwerke	5
1.5	Ziel und Methodik der Arbeit	7
I	Energiewirtschaft eines kohlenstoffbasierten Hüttenwerks	11
2	Modellierung der Energiewirtschaft eines Hüttenwerks	13
2.1	Kokerei	13
2.2	Hochofenanlage	15
2.2.1	Hochöfen	15
2.2.2	Windgebläse	18
2.2.3	Kohlenstoffeinblasanlage	19
2.3	Stahlwerk	20
2.4	Walzwerke und Oberflächenbehandlung	22
2.4.1	Warmwalzwerk	22
2.4.2	Kaltwalzwerk und Oberflächenveredelung	24
2.5	Kraftwerk	25
2.5.1	Dampferzeuger	28
2.5.2	Turbinen und Maschinen	30
2.5.3	Fernwärme	33
2.6	Sonstige Komponenten	33
2.6.1	Erzvorbereitung	34
2.6.2	Wasserstoffherzeuger	34
2.7	Übergeordnetes Modell des kohlenstoffbasierten Hüttenwerks	36
2.7.1	Produktbilanzen	36
2.7.2	Brennstoffbilanzen	37
2.7.3	Dampfbilanzen	39
2.7.4	Bilanzen der technischen Gase	41
2.7.5	Elektrische Leistungsbilanz	41

2.7.6	Optimierungsziel	42
2.8	Modellvalidierung	43
3	Potenziale zur Energiekostenminimierung	49
3.1	Datengrundlage des Basisszenarios	49
3.2	Brennstoff- und Kraftwerkseinsatz	50
3.3	Bewertung der Flexibilitätsoptionen	55
II	Flexibilitätsoptionen eines Hüttenwerks im Transformationsprozess	57
4	Modellierung der Komponenten einer CO₂-armen Eisenerzeugung	59
4.1	Elektrolyse	59
4.2	Direktreduktionsanlage	60
4.3	Elektrolichtbogenofen	65
4.4	Übergeordnetes Modell des Hüttenwerks in der Transformation	68
4.4.1	Produktbilanzen	68
4.4.2	Brennstoffbilanzen	69
4.4.3	Dampfbilanzen	69
4.4.4	Bilanzen der technischen Gase	70
4.4.5	Elektrische Leistungsbilanz	70
4.4.6	Optimierungsziel	70
5	Flexibilitätpotenziale der Energieverbundwirtschaft	71
5.1	Szenarienerstellung	71
5.1.1	Produktionsplanung	71
5.1.2	Entwicklung der Energiepreise	72
5.2	Auswirkungen der Transformation auf die Brennstoffverteilung	73
5.2.1	SALCOS® 1. Ausbaustufe	73
5.2.2	SALCOS® 2. Ausbaustufe	78
5.2.3	SALCOS® 3. Ausbaustufe	82
5.3	Entwicklung des Energiebedarfs	85
III	Energiesystemintegration eines CO₂-armen Hüttenwerks	93
6	Modell eines zukünftigen Hüttenwerks	95
6.1	Abstraktion des Modells	95
6.2	Modellierung der externen Energiebereitstellung	99
7	Möglichkeiten der Systemintegration	103
7.1	Untersuchte Integrationsszenarien	103
7.2	Systemintegration einer konstanten Stahlproduktion	104
7.2.1	8000 h-Elektrolyse	104
7.2.2	5000 h-Elektrolyse	107
7.2.3	5000 h-Elektrolyse und integriertes Kraftwerk	110
7.3	Systemintegration einer flexiblen Stahlproduktion	112
7.3.1	8000 h-Elektrolyse	113
7.3.2	5000 h-Elektrolyse	116

7.3.3	5000 h-Elektrolyse und integriertes Kraftwerk	119
7.4	Vergleich verschiedener Integrationsszenarien	124
7.5	Schlussfolgerungen am Beispiel des SALCOS®-Projekts	131
8	Zusammenfassung	135
	Literatur	139