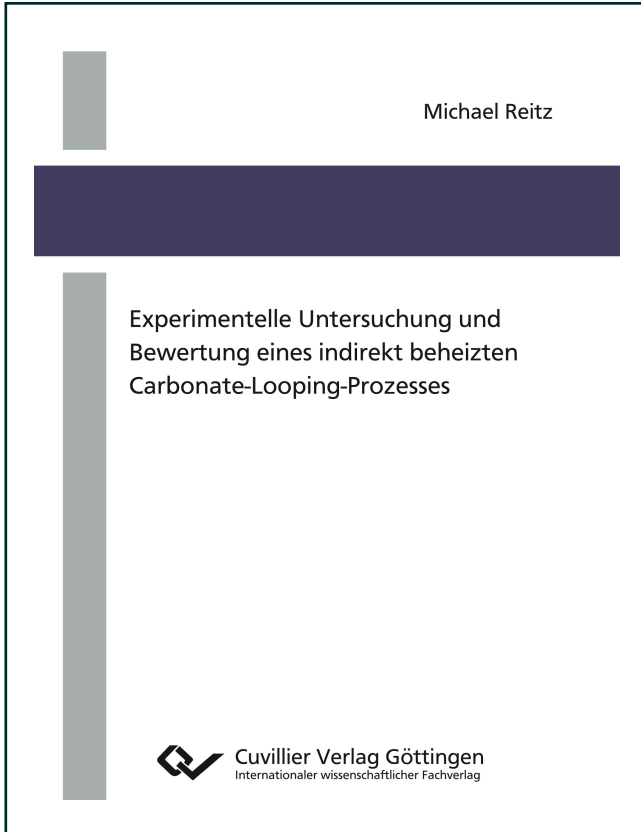




Michael Reitz (Autor)

Experimentelle Untersuchung und Bewertung eines indirekt beheizten Carbonate-Looping-Prozesses



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/7568>

Copyright:

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



Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	v
Tabellenverzeichnis	ix
Abkürzungsverzeichnis	xi
Symbolverzeichnis	xiii
1 Einleitung und Motivation	1
1.1 Das Potenzial der CCS/CCU-Technologien	1
1.2 Übersicht der Verfahren zur CO ₂ -Abscheidung	3
1.2.1 Technologischer Entwicklungsstand	4
1.2.2 CO ₂ -Vermeidungskosten	7
1.3 Aufbereitung, Transport, Lagerung und Verwertung von CO ₂	8
1.4 Ableitung der Aufgabenstellung	9
1.5 Übersicht und Gliederung der Arbeit	10
2 Entwicklungsstand des Carbonate-Looping-Prozesses	11
2.1 Verfahrenstechnische Grundlagen	12
2.1.1 Chemisches Gleichgewicht im System CaO-CaCO ₃	12
2.1.2 Reaktionsbereiche der Karbonisierungsreaktion	14
2.1.3 Deaktivierung des Sorbens	15
2.1.4 Einfluss von SO ₂ auf das Sorbens	17
2.1.5 Einfluss von Wasserdampf auf das Sorbens	18
2.1.6 Abriebverhalten des Sorbens	19
2.2 Grundlagen der Wirbelschichten	21
2.2.1 Entstehung und Charakterisierung von Wirbelschichten	21
2.2.2 Partikelklassifikation nach Geldart	24
2.2.3 Wärmeübertragung in Wirbelschichten	26
2.3 Grundlagen der Wärmerohre	28
2.4 Oxy-gefeuerter CaL-Prozess	32
2.5 Indirekt beheizter CaL-Prozess (IHCaL)	33
2.5.1 IHCaL-Prozess mit Wärmeträger	33
2.5.2 IHCaL-Prozess mit Wärmeübertrager	34
2.6 Übersicht über CaL-Versuchsanlagen	36



3 Auslegung und Konstruktion der IHCaL-Versuchsanlage	39
3.1 Anforderungen an die Versuchsanlage	39
3.2 Auslegung der Versuchsanlage	40
3.2.1 Karbonator	42
3.2.2 Wärmerohrwärmeübertrager	44
3.2.3 Kalzinator	48
3.2.4 Heizwirbelschicht	50
3.2.5 Peripherie	51
3.3 Verifizierung des Anlagenkonzeptes mittels Kaltmodellversuchen	53
3.3.1 Skalierung der Versuchsanlage	53
3.3.2 Überprüfung des Kalzinatorkonzeptes	56
3.3.3 Überprüfung des Kopplungskonzeptes	57
3.3.4 Übertragung der Erkenntnisse auf die Versuchsanlage	59
3.4 Konstruktion der Versuchsanlage	61
3.5 Verwendete Messtechnik	68
3.5.1 Druckmessungen	69
3.5.2 Temperaturmessungen	70
3.5.3 Durchflussmessungen	71
3.5.4 Konzentrationsmessungen	72
3.5.5 Massenstrommessung	73
3.5.6 Messunsicherheiten	75
3.6 Inbetriebnahme der Versuchsanlage	76
3.7 Optimierung der Versuchsanlage	79
4 Experimentelle Untersuchung im 300 kW_{th}-Maßstab	81
4.1 Rahmenbedingungen der Versuchskampagnen	81
4.1.1 Eigenschaften des Sorbens	82
4.1.2 Eigenschaften des Bettmaterials der Heizwirbelschicht	83
4.1.3 Eigenschaften des synthetischen Abgases	84
4.2 Übersicht der Versuchskampagnen	85
4.2.1 Versuchskampagne C1	85
4.2.2 Versuchskampagne C2	86
4.2.3 Versuchskampagne C3	87
4.2.4 Versuchskampagne C4	88
4.3 Betriebserfahrung	89
4.4 Versuchsergebnisse	90
4.4.1 Betriebsbereiche der Versuchsanlage	91
4.4.2 Druckprofile der Versuchsanlage	91

4.4.3	Temperaturprofil der Versuchsanlage	96
4.4.4	Ermittelte Massenstromdichten	100
5	Bewertung und Diskussion der Versuchsergebnisse	101
5.1	Massen- und Energiebilanzierung	101
5.2	Stationäre Betriebspunkte	106
5.3	Einflüsse auf die CO ₂ -Abscheideeffizienz des Karbonators	108
5.3.1	Karbonatortemperatur	108
5.3.2	Aktive Raumzeit	109
5.3.3	Ca-Umlaufverhältnis	113
5.3.4	Karbonatorinventar	115
5.3.5	CO ₂ -Konzentration des Abgases	116
5.3.6	H ₂ O-Konzentration des Abgases	117
5.3.7	SO ₂ -Konzentration des Abgases	119
5.3.8	Einfluss des Make-up-Stromes	121
5.4	Einflüsse auf die Effizienz des Kalzinators	122
5.4.1	Aktive Kalzinatorraumzeit	123
5.4.2	Temperatur und CO ₂ -Partialdruck im Kalzinator	124
5.5	Einflüsse auf den Wärmebedarf des IHCaL-Prozesses	125
5.5.1	CO ₂ -Abscheideeffizienz	127
5.5.2	Ca-Umlaufverhältnis und Temperaturdifferenz	128
5.5.3	Make-up-Strom	129
5.6	Einflüsse der indirekten Beheizung auf das Sorbens	130
5.6.1	Sorbenszusammensetzung	130
5.6.2	Spezifische Sorbensoberfläche und Porenvolumen	133
5.6.3	Sorbensreaktivität	134
5.7	Bestimmung von Partikelabrieb und Partikellebensdauer	136
5.7.1	Bestimmung des Abriebkoeffizienten mittels Strahlschale	136
5.7.2	Bestimmung des Partikelabriebes mittels Feststoffproben	140
5.8	Leistungsfähigkeit des Wärmerohrwärmeübertragers	142
5.8.1	Übertragene Wärmeströme	142
5.8.2	Wärmedurchgangskoeffizient des Wärmerohrwärmeübertragers	143
5.8.3	Wärmeübergangskoeffizienten in Kalzinator und Heizwirbelschicht	145
5.8.4	Mechanische Stabilität der Wärmerohre	147
5.9	Optimierungspotenziale	149
5.10	Skalierung des IHCaL-Prozesses	151
6	Zusammenfassung und Ausblick	155



Literatur	159
A Analyse der Feststoffproben	171
A.1 Bestimmung von X_{mittel} und X_{CaCO_3}	171
A.2 Chemische Zusammensetzung	174
A.3 Übersicht der analysierten Feststoffproben	175