



Michael Wieczorek (Autor)

**Errichtung, Betrieb und Erweiterung einer 1 MW-Versuchsanlage zur Erforschung des Carbonate Looping-Verfahrens zur Abtrennung von CO<sub>2</sub> aus Rauchgasen**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/6752>

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>



# Inhalt

<b>KURZFASSUNG .....</b>	<b>12</b>
<b>1. EINLEITUNG .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Eigenschaften von Kohlenstoffdioxid.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Treibhauseffekt .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3 Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Prozessen zur Stromerzeugung .....</b>	<b>16</b>
1.3.1 Wirkungsgraderhöhung.....	17
1.3.2 Abtrennung von Kohlenstoffdioxid aus Rauchgasen.....	18
<b>1.4 Zielsetzung .....</b>	<b>18</b>
<b>1.5 Strategie bei Errichtung und Erweiterung der Versuchsanlage .....</b>	<b>21</b>
<b>2. STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1 Pre-Combustion-Verfahren .....</b>	<b>23</b>
2.1.1 IGCC-Prozess mit CO <sub>2</sub> -Abtrennung (IGCC-CCS) .....	23
<b>2.2 Oxyfuel-Verfahren.....</b>	<b>23</b>
2.2.1 Oxyfuel-Feuerung .....	23
2.2.2 Chemical Looping .....	24
<b>2.3 Post-Combustion-Verfahren .....</b>	<b>25</b>
2.3.1 Druckwechseladsorption.....	26
2.3.2 MEA-Wäsche.....	26
2.3.3 Wäsche mit Aminosäuresalz (PostCap™-Verfahren) .....	27
2.3.4 Chilled Ammonia .....	27
2.3.5 Carbonate Looping .....	28
<b>2.4 Wirbelschichten.....</b>	<b>32</b>
2.4.1 GELDART-Klassifikation von Partikeln .....	36
<b>2.5 Verwendungsmöglichkeiten von Kohlenstoffdioxid.....</b>	<b>37</b>
2.5.1 Weiterverwendung von Kohlenstoffdioxid in der chemischen Industrie.....	37
2.5.2 Enhanced Oil Recovery (EOR) .....	37
2.5.3 Enhanced Coal Bed Methane Production (ECBM).....	38
2.5.4 Power-to-Gas .....	38



---

<b>2.6 Lagerung von Kohlenstoffdioxid</b> .....	<b>38</b>
2.6.1 Speicherung in salinen Aquiferen .....	38
2.6.2 Lagerung im Meerwasser .....	39
2.6.3 Lagerung in ausgebeuteten Öl-, Gas-, oder Kohlelagerstätten .....	39
<b>3. BESCHREIBUNG DER CARBONATE LOOPING-VERSUCHSANLAGE</b> .....	<b>40</b>
<b>3.1 Karbonator CFB600</b> .....	<b>42</b>
3.1.1 Reaktionsraum .....	43
3.1.2 Möglichkeiten zur Aufheizung des Karbonators auf Betriebstemperatur .....	43
3.1.3 Zyklon .....	44
3.1.4 Karbonatorumlaufschleuse .....	44
<b>3.2 Kalzinator CFB400</b> .....	<b>45</b>
<b>3.3 Kopplungskomponenten</b> .....	<b>46</b>
3.3.1 Schneckenförderer zur Kopplung des Karbonators an den Kalzinator .....	46
3.3.2 Umlaufschleuse zur Kopplung des Kalzinators an den Karbonator .....	47
<b>3.4 Feuerfeste Auskleidung</b> .....	<b>48</b>
<b>3.5 Kühlsystem</b> .....	<b>49</b>
3.5.1 Sicherheit und Redundanzen .....	49
<b>3.6 System zur Aufbereitung und Verteilung der als Brennstoff eingesetzten Kohle</b> .....	<b>50</b>
<b>4. MESSTECHNIK</b> .....	<b>51</b>
<b>4.1 Temperaturmessung</b> .....	<b>51</b>
4.1.1 Widerstandsthermometer .....	52
4.1.2 Thermoelement .....	52
<b>4.2 Druckmessung</b> .....	<b>53</b>
<b>4.3 Massen- und Volumenstrommessung</b> .....	<b>53</b>
4.3.1 Thermischer Massendurchflussmesser .....	53
4.3.2 Volumenstrombestimmung mittels Blende .....	54
<b>4.4 Kontinuierlich arbeitende Gasanalytik</b> .....	<b>55</b>
4.4.1 Infrarotspektrometrie .....	55
4.4.2 Paramagnetische Sauerstoffmessung .....	56
<b>4.5 Gaschromatographie</b> .....	<b>56</b>
4.5.1 Wärmeleitfähigkeitsdetektor .....	58
4.5.2 Flammen-Ionisationsdetektor .....	59
4.5.3 Massenspektrometrie .....	59

---

<b>5. ERSTE VERSUCHSREIHEN MIT DER CARBONATE LOOPING-ANLAGE.....</b>	<b>60</b>
5.1 CO <sub>2</sub> -Abtrennung und -Freisetzung im zyklischen Betrieb .....	60
5.2 CO <sub>2</sub> -Abtrennung und -Freisetzung im kontinuierlichen Betrieb .....	65
5.3 Zusammenstellung der wichtigsten gewonnenen Erkenntnisse.....	66
5.3.1 Einfluss der Karbonatortemperatur auf die CO <sub>2</sub> -Abscheidung .....	66
5.3.2 Einfluss der Kühllanzen auf die CO <sub>2</sub> -Abscheidekapazität des Karbonators.....	67
5.3.3 Einfluss der Zufuhr von Frischmaterial auf die CO <sub>2</sub> -Abscheideeffizienz.....	71
5.4 Verbesserungen der Carbonate Looping-Anlage.....	72
5.4.1 Interne Rezirkulation des Kalzinators .....	72
5.4.2 Kalzinator-Karbonator-Kopplung mithilfe eines Feststoffspießes.....	74
5.4.3 Kühlsystem des Schneckenförderers .....	77
5.4.4 L-Valve .....	79
5.4.5 Verbesserte Druckmessung in der Wirbelschicht.....	79
5.5 Optimierte Werkstoffe für den Feuerfestbau.....	81
5.5.1 Keramische Werkstoffe .....	82
5.5.2 Metallische Werkstoffe .....	82
<b>6. ERWEITERUNG DER CARBONATE LOOPING-ANLAGE .....</b>	<b>84</b>
6.1 Aufbau und Funktion der Brennkammer .....	85
6.2 Brennkammerkoordinatensystem .....	88
6.3 Auslegung der Brennkammer und der Ankopplung zur Versuchsanlage.....	89
<b>7. BRENNKAMMERVERSUCHE UND VALIDIERUNG DER AUSLEGUNG .....</b>	<b>91</b>
7.1 Brennkammer im Einzelbetriebsmodus.....	91
7.2 Umlasten der Brennkammer auf Kohle im Einzelbetriebsmodus .....	94
7.3 Kopplung der Brennkammer an die Versuchsanlage .....	97
7.3.1 Einfluss kohlestämmiger Rauchgase auf das Carbonate Looping-Verfahren .....	100
<b>8. MESSSYSTEM ZUR BESTIMMUNG VON HEIßGASKOMPONENTEN.....</b>	<b>102</b>
8.1 Heißgasentnahmesonde.....	103
8.2 Verwendete Gasanalytik .....	105
8.2.1 Konfiguration 1: kontinuierliche Gasanalyse vor GC/MS (GC-low-dust) .....	105
8.2.2 Konfiguration 2: GC/MS vor kontinuierlicher Gasanalyse (GC-high-dust) .....	106
8.3 Probenaufgabe im Gaschromatographen .....	107



---

<b>8.4 Parametrierung des GC/MS .....</b>	<b>109</b>
<b>8.5 Versuchsaufbau zur Inbetriebnahme des Heißgasentnahmesystems.....</b>	<b>110</b>
8.5.1 Diskussion der Messergebnisse .....	112
8.5.2 Fazit der Versuchsreihen zur Heißgasentnahme .....	117
<b>9. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....</b>	<b>118</b>
<b>9.1 Ausblick .....</b>	<b>119</b>
<b>9.2 Prozesstechnische Weiterentwicklung .....</b>	<b>119</b>
<b>ANHANG .....</b>	<b>121</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>122</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>125</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>126</b>