

Inhalt

Kurzfassung	I
I Einleitung	1
II Technologien für Abscheidung, Transport und Speicherung von CO ₂ (CCS)	5
II.1 CO ₂ -Abscheidung	5
II.1.1 CO ₂ -Abscheidung nach dem Verbrennungsprozess: Post-Combustion-Verfahren	7
II.1.2 Verbrennung in reinem Sauerstoff: Oxyfuel-Verfahren	14
II.1.3 Dekarbonisierung des Brenngases: Pre-Combustion-Verfahren	17
II.1.4 Einordnung von CO ₂ -Abscheideverfahren für Nachrüstung von Kraftwerken (Retrofitting)	21
II.2 CO ₂ -Transport	24
II.3 CO ₂ -Speicherung	28
II.4 Aspekte der CO ₂ -Reinheit für CCS-Technologien	33
III Einordnung von CCS als Klimaschutzoption	45
III.1 Energiewirtschaftliche Relevanz	46
III.2 Umweltseitige Relevanz	56
IV Technologien für Nutzung und Recycling von CO ₂	61
IV.1 Potenzial der stofflichen Nutzung und des Recyclings von CO ₂	61
IV.2 CO ₂ -Quellen und -Reinheit	62
IV.3 Bewertungskriterien für eine Nutzung von CO ₂	63
IV.4 Organisch-chemische Verwendung von CO ₂	64
IV.4.1 Synthese von Harnstoff	65
IV.4.2 Synthese von Methanol	69
IV.4.3 Synthese von Salizylsäure und p-Hydroxybenzoesäure	79
IV.4.4 Synthese von Ameisensäure	81
IV.4.5 Synthese cyclischer Carbonate	82
IV.4.6 Synthese von Dimethylcarbonat	84
IV.4.7 Direktsynthese von Polymeren über Copolymerisation mit CO ₂	85
IV.4.8 Herstellung weiterer Polymerbausteine	88
IV.4.9 Herstellung von Pharmazeutika und Feinchemikalien	89
IV.5 Herstellung anorganischer Stoffe	90
IV.5.1 Calcit	90
IV.5.2 Hydrotalcid	91
IV.5.3 Weitere Anwendungsgebiete	91
IV.6 Physikalische Nutzung	91
IV.6.1 Enhanced Oil Recovery / Enhanced Gas Recovery (EOR / EGR)	91
IV.6.2 Enhanced Coal Bed Methane (ECBM)	92
IV.6.3 Methoden für die reversible Adsorption von CO ₂	93
IV.6.4 Reversible chemische Fixierung von CO ₂	94
IV.6.5 Einsatz in der Getränke- und Nahrungsmittelindustrie	94
IV.6.6 Reinigungsmittel und Extraktionsmittel	95
IV.6.7 Verwendung als Imprägniermittel	95
IV.6.8 Inertgas	96
IV.6.9 Potenzial als Lösungsmittel und Substitution von VOC	97

V	Weltweiter Entwicklungsstand von CCS, CO ₂ -Nutzung und -Recycling sowie Vergleich mit Deutschland	99
V.1	CCS	99
V.1.1	<i>Weltweit laufende und geplante CCS-Großprojekte</i>	99
V.1.2	<i>CCS-Aktivitäten in Deutschland</i>	102
V.2	CO ₂ -Nutzung und -Recycling	110
V.2.1	<i>Internationale industrielle und akademische Aktivitäten</i>	110
V.2.2	<i>CO₂-Nutzung in Deutschland</i>	110
VI	Beurteilung besonders innovativer Lösungsansätze	113
VI.1	CO ₂ -Abscheideverfahren der zweiten Generation	113
VI.1.1	<i>Membranbasierte Verfahren</i>	113
VI.1.2	<i>Redox-basierte Verfahren</i>	115
VI.2	CO ₂ -Nutzung und -Recycling	118
VI.2.1	<i>Stoffliche CO₂-Nutzung und innovative Produkte</i>	118
VI.2.2	<i>Innovative Technologien zur stofflichen CO₂-Nutzung</i>	121
VII	Nutzung und Recycling von CO ₂ : Förderempfehlungen	125
VII.1	Kriterien	125
VII.2	Allgemeine Förderempfehlungen	127
VII.3	Produkte und Technologien	127
VIII	Literatur	131