

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	XIII
Symbolverzeichnis	XV
Abkürzungsverzeichnis	XVII
1 Einleitung und Zielstellung.....	1
2 Theoretische Grundlagen	5
2.1 Strategien zur CO ₂ -Abtrennung in fossilen Kraftwerken	5
2.2 Membranen	8
2.2.1 Definition.....	8
2.2.2 Anforderungen	9
2.2.3 Charakteristiken.....	11
2.2.4 Filtrationsverfahren	12
2.2.5 Trennmechanismen und Stofftransport bei Gastrennung	13
2.3 Sol-Gel-Prozess.....	17
2.3.1 Kolloidalroute.....	18
2.3.2 Polymerroute	18
2.4 Membranherstellung	20
2.4.1 Membranaufbau	20
2.4.2 Herstellung von anorganischen Membranschichten über die Sol-Gel-Route...	21
2.4.3 Tauchbeschichtung.....	24
2.5 Übersicht über TiO ₂ /ZrO ₂ - und SiO ₂ -Membranen	27
2.5.1 TiO ₂ /ZrO ₂ -Membranen.....	27
2.5.2 SiO ₂ -Membranen	28
2.5.3 Hybride metallgestützte anorganische Membranen.....	30
3 Experimentelle Methoden und Versuchsdurchführung	33
3.1 Membranherstellung	33
3.1.1 Substrat	33
3.1.1.1 α -Al ₂ O ₃ -Substrat.....	33
3.1.1.2 Hybride metall-keramische Trägereinheit.....	34
3.1.2 Sol-Gel-Synthesen	35
3.1.2.1 AlO(OH)-Kolloidalsol	36
3.1.2.2 TiO ₂ /ZrO ₂ -Polymersole.....	37
3.1.2.3 Reine und Ni-, Co-, Zr-, Ti-dotierte SiO ₂ -Polymersole.....	38
3.1.3 Sol-Gel-Tauchbeschichtung	40

3.1.4	Wärmebehandlung der Sol-Gel-Schichten	41
3.2	Analytische Methoden	44
3.2.1	Sol-Charakterisierung	44
3.2.1.1	Partikelgrößenbestimmung	44
3.2.1.2	Rheologie	44
3.2.2	Xerogel/Pulver-Charakterisierung	45
3.2.2.1	Thermische Analyse (DTA/TG)	45
3.2.2.2	Helium-Pyknometrie	45
3.2.2.3	N ₂ , 77 K-Physisorptionsmessungen	46
3.2.2.4	Röntgendiffraktometrie	49
3.2.2.5	Transmissionselektronenmikroskopie	50
3.2.2.6	Infrarotspektroskopie	51
3.2.3	Membran-Charakterisierung	52
3.2.3.1	Elektronenmikroskopie	52
3.2.3.2	Einzelgasmessung	53
4	Ergebnisse und Diskussion	57
4.1	Charakterisierung des α -Al ₂ O ₃ -Substrats	57
4.2	Charakterisierung der γ -Al ₂ O ₃ -Zwischenschicht	58
4.2.1	Sol-Charakterisierung	58
4.2.2	Xerogel/Pulver-Charakterisierung	59
4.2.3	Schicht-Charakterisierung	64
4.2.4	Zusammenfassung	68
4.3	Charakterisierung von TiO ₂ /ZrO ₂ -Membranen	69
4.3.1	Sol-Charakterisierung	69
4.3.1.1	Partikelgrößenverteilungen	69
4.3.1.2	Rheologie	70
4.3.2	Xerogel/Pulver-Charakterisierung	71
4.3.2.1	Thermische Analyse	71
4.3.2.2	Helium-Pyknometrie	72
4.3.2.3	N ₂ , 77 K-Physisorptionsmessungen	73
4.3.2.4	Röntgendiffraktometrie	76
4.3.2.5	Transmissionselektronenmikroskopie	79
4.3.3	Membran-Charakterisierung	82
4.3.3.1	Schichteigenschaften und Mikrostruktur (REM/TEM)	82
4.3.3.2	Einzelgasmessungen	89
4.3.4	Variation der Kalzinierungstemperatur bei Ti _{0,5} Zr _{0,5} O ₂	91
4.3.5	Variation des Prekursor/Inhibitor-Verhältnisses bei Ti _{0,5} Zr _{0,5} O ₂	94
4.3.6	Zusammenfassung und weiterführende Diskussion	100

4.4	Charakterisierung von SiO ₂ -basierten Membranen	105
4.4.1	Sol-Charakterisierung	105
4.4.1.1	Partikelgrößenverteilung	105
4.4.1.2	Rheologie	106
4.4.2	Xerogel/Pulver-Charakterisierung	106
4.4.2.1	Thermische Analyse	107
4.4.2.2	Helium-Pyknometrie	108
4.4.2.3	N ₂ , 77 K-Physisorptionsmessungen	108
4.4.2.4	Röntgendiffraktometrie	110
4.4.2.5	Transmissionselektronenmikroskopie	112
4.4.3	Membran-Charakterisierung	115
4.4.3.1	Schichteigenschaften und Mikrostruktur (REM/TEM)	117
4.4.3.2	Einzelgasmessungen	137
4.4.4	Membranwärmebehandlung mittels Rapid Thermal Processing	145
4.4.5	Zusammenfassung und weiterführende Diskussion	147
4.5	Übertragung von SiO ₂ -basierten Funktionsschichten auf metallgestützte Trägereinheiten	151
4.5.1	Betrachtung der metallgestützten Trägereinheit	151
4.5.2	Metallgestützte Gasseparationsmembranen	152
4.5.3	Einzelgasmessungen	157
5	Schlussfolgerung	159
	Literatur	163
	Danksagung	175
