

## Entwicklung von porösen Silica-Membranen zur CO<sub>2</sub>-Abtrennung aus dem Rauchgas fossil befeuerter Kraftwerke

Jan Steffen Eiberger

Forschungszentrum Jülich GmbH  
Institut für Energie- und Klimaforschung  
Werkstoffsynthese und Herstellungsverfahren (IEK-1)

# Entwicklung von porösen Silica-Membranen zur CO<sub>2</sub>-Abtrennung aus dem Rauchgas fossil befeuertter Kraftwerke

Jan Steffen Eiberger

Schriften des Forschungszentrums Jülich  
Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 237

---

ISSN 1866-1793

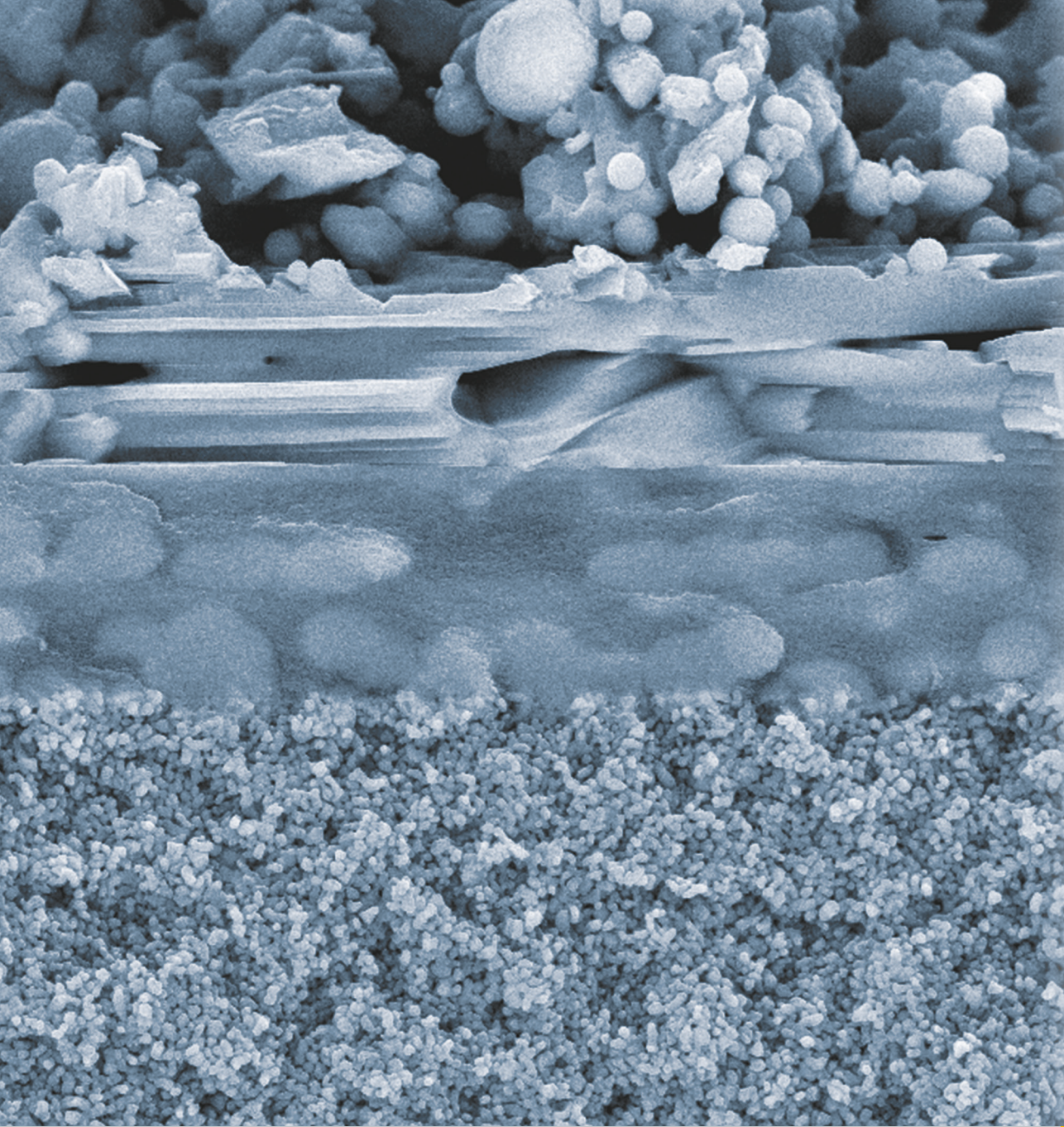
ISBN 978-3-95806-008-1

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Zielsetzung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen .....</b>	<b>5</b>
2.1	CO <sub>2</sub> -Abscheidung und -Speicherung.....	5
2.1.1	Rauchgasdekarbonisierung .....	5
2.1.2	CO <sub>2</sub> -Abscheideverfahren .....	7
2.2	Wechselwirkungen von CO <sub>2</sub> mit Aminogruppen .....	14
2.3	Membranherstellung .....	15
2.3.1	Herstellung mesostrukturierter dünner Silica-Schichten.....	15
2.3.2	Funktionalisierung von Silica mit organischen Gruppen.....	20
2.4	CO <sub>2</sub> -Abscheidung mittels aminofunktionalisiertem Silica .....	26
2.4.1	Diskontinuierliche Abscheidung von CO <sub>2</sub> durch Adsorption/Desorption .....	26
2.4.2	Kontinuierliche Abscheidung von CO <sub>2</sub> durch Membranen .....	29
2.5	Ableitung der Zielsetzung der Arbeit aus dem Stand der Technik.....	35
<b>3</b>	<b>Experimentelle Methoden und Versuchsdurchführung.....</b>	<b>39</b>
3.1	Membranherstellung .....	39
3.1.1	Substrat.....	39
3.1.2	Zwischen- und Topschichten .....	40
3.1.3	Tangentiales Tauchbeschichten .....	42
3.1.4	Aminofunktionalisierung .....	43
3.2	Charakterisierungsmethoden .....	45
3.2.1	Rheometrie.....	45
3.2.2	Permporosimetrie .....	46
3.2.3	Rasterelektronenmikroskopie (REM/EDS) .....	48
3.2.4	Röntgendiffraktometrie (XRD).....	49
3.2.5	Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) .....	50
3.2.6	N <sub>2</sub> -Sorptions .....	50
3.2.7	Helium-Pyknometrie.....	51
3.2.8	Gaspermeationsmessungen .....	52

3.2.9	Laser-Ellipsometrie .....	56
3.2.10	Röntgenphotoelektronenspektroskopie (XPS).....	56
3.2.11	ortho-Positronium Lebensdauerspektroskopie (PALS) .....	57
3.3	Auslagerung von Membranen im Rauchgas fossil befeuerter Kraftwerke.....	60
3.3.1	Aufbau des Membranprüfstands und Position im Kraftwerk .....	60
3.3.2	Versuchs- und Probenübersicht .....	64
<b>4</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion.....</b>	<b>67</b>
4.1	Charakterisierung poröser Silicamembranen .....	67
4.1.1	Sol-Charakterisierung .....	67
4.1.2	Xerogel-Charakterisierung.....	68
4.1.3	Schicht-Charakterisierung .....	77
4.1.4	Zusammenfassung, Bewertung und Schlussfolgerungen.....	85
4.2	Charakterisierung aminofunktionalisierter Silica-Materialien .....	88
4.2.1	Chemische Charakterisierung.....	89
4.2.2	Charakterisierung der Gaspermeationseigenschaften.....	94
4.2.3	Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Bewertung.....	103
4.3	Auslagerung von Membranen im Rauchgas fossil befeuerter Kraftwerke.....	104
4.3.1	Rauchgaszusammensetzung und -parameter während der Versuche .....	105
4.3.2	Nachuntersuchung mesoporöser Zwischenschichten.....	108
4.3.3	Nachuntersuchung von Proben mit Silicaschicht .....	118
4.3.4	Permeationsverhalten aminofunktionalisierter Silica-Membranen .....	126
4.3.5	Zusammenfassung, Bewertung und Schlussfolgerungen.....	127
4.4	ortho-Positronium Lebensdauerspektroskopie (PALS).....	139
4.4.1	Ergebnisse.....	139
4.4.2	Abschließende Diskussion .....	143
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>145</b>
<b>6</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>151</b>
<b>7</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>161</b>





**Energie & Umwelt / Energy & Environment**  
**Band / Volume 237**  
**ISBN 978-3-95806-008-1**

 **JÜLICH**  
FORSCHUNGSZENTRUM