

Zeolithmembranen für die energieeffiziente Abtrennung von CO₂ aus Biogas

M. Sc. Alireza Taherizadeh, Dr. Adrian Simon, Dr. Hannes Richter

Die Membrantechnologie ist hervorragend geeignet, um CO₂ energieeffizient aus Biogas zu entfernen. Anorganische Membranen sind aufgrund ihrer hohen Stabilität und Permeationseigenschaften geeignete Kandidaten für diese Trennaufgabe. So haben beispielsweise Zeolithmembranen besondere Eigenschaften, wie eine intrinsische Molekularsiebkapazität: d. h. sie können verschieden große Moleküle trennen. Außerdem besitzen sie die Fähigkeit zur bevorzugten Adsorption bestimmter Gaskomponenten. Zur Herstellung von Membranen, die CO₂ von Biogas (CH₄) trennen, wurden Chabasit (CHA)-Zeolithe ausgewählt. Die Porengröße im CHA-Gerüsttyp ähnelt der von CH₄-Molekülen, ist aber größer als die von CO₂. Im Rahmen der Forschungsarbeit wurden CHA-Membranen hohen Flusses mit einem hohen Si/Al-Verhältnis (SSZ-13) zur CO₂/CH₄-Trennung hergestellt.

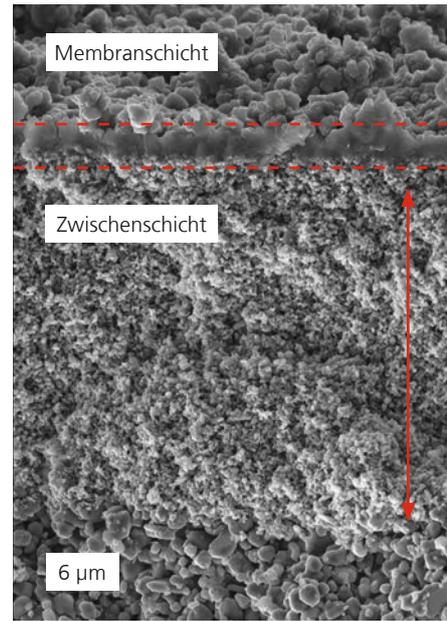
Als Träger der Zeolithmembranen wurden asymmetrisch poröse, keramische Träger aus Al₂O₃ in Einkanalrohrgeometrie (10 mm Außendurchmesser, 7 mm Innendurchmesser, 200 nm Porengröße in der Trennschicht, Membranoberfläche von ~17 cm²) verwendet (Bild oben).

Um die Trenneigenschaften der Membran zu prüfen, wurde die Permeation von Einzelgasen (Graphik mitte) und die komplexere Permeation von Mischgasen (Graphik unten) gemessen. Die Einzelgaspermeation von SSZ-13-Membranen wurde bei Raumtemperatur (hier dominiert die Adsorption als Trennverfahren) und bei 150 °C (Diffusion) analysiert. In beiden Fällen hatte CO₂ die höchste Permeanz der getesteten Gase. Die ideale CO₂/CH₄-Permeaselektivität reichte bis zu 112 bei einer sehr hohen CO₂-Permeanz von etwa 11 m³/(m²hbar).

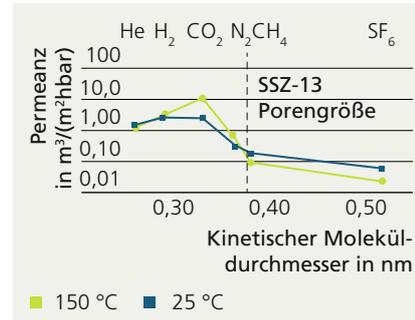
Bei den Mischgas-Permeationsmessungen wurde ein Gasgemisch aus jeweils 50 Vol.-% CO₂ und CH₄ bei zwei unterschiedlichen Feeddrücken unter Raumtemperatur betrachtet. Bei einem Feeddruck von 2,55 bar wurde eine hohe CO₂-Permeanz von ~ 5 m³/(m²hbar) ermittelt. Die Permeanz von CH₄ lag bei etwa 0,033 m³/(m²hbar). Folglich wurde eine ausgezeichnete CO₂/CH₄-Selektivität von > 150 erreicht. Eine Erhöhung des Feeddrucks auf 6,05 bar führte zu einer Verringerung der CO₂-Permeanz auf ~ 2,5 m³/(m²hbar) und eine Erhöhung der Permeanz von CH₄ auf ~ 0,045 m³/(m²hbar). Die CO₂/CH₄-Selektivität der SSZ-13-Membran sank also, wies aber dennoch einen sehr guten Wert von ~57 auf.

Die Messungen zeigen, dass die neuartigen Zeolithmembranen ausgezeichnete Trennleistungen erbringen – sowohl bezüglich der CO₂/CH₄-Selektivität als auch der CO₂-Permeanz. Diese Membranen bieten damit erstmalig die Möglichkeit, hoch konzentriertes CO₂ aus Biogas energieeffizient in nur einer einzigen Membranstufe abzutrennen. Als nächster Schritt ist nun die Hochskalierung der Membranen bei gleichbleibender Trennleistung mit Partnern aus der Industrie geplant.

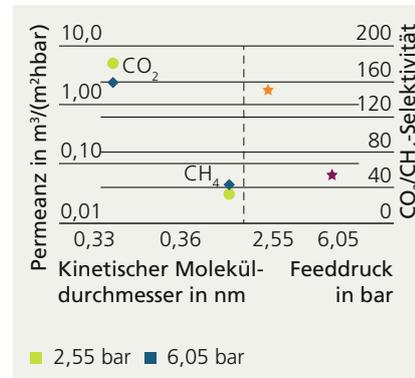
Wir danken der Europäischen Union für die finanzielle Unterstützung durch das Projekt »INNOMEM« (FKZ: 862330-INNOMEM-H2O2-NMBP-TO-IND-2010-2020/H2O2-NMBP-HUBS-2019).



Bruchansicht des keramischen Trägers, der Zwischenschichten und der gebildeten SSZ-13-Membran.



Einzelgaspermeationsmessung der SSZ-13-Membran bei 25 °C und 150 °C.



Mischgaspermeationsmessung der SSZ-13-Membran bei einem Feeddruck von 2,55 bar und 6,05 bar.

