

Bastian Steuten ¹, Christoph Pasel ¹, Michael Luckas ¹, Dieter Bathen ^{1,2}

¹ Lehrstuhl für Thermische Verfahrenstechnik, Universität Duisburg-Essen, Lotharstr. 1, 47057 Duisburg

² Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V. (IUTA), Bliersheimer Str. 60, 47229 Duisburg

Motivation und Ziele

Neben Erdöl, Braun- und Steinkohle haben Erd-, Bio- und Synthesegase u.a. wegen ihrer geringeren spezifischen CO₂-Emissionen eine große Bedeutung in der Energieversorgung erlangt. Um diese kohlenwasserstoffhaltigen Gase technisch nutzen zu können, bedarf es ihrer Aufreinigung. Insbesondere organische und anorganische Schwefelverbindungen (z.B. H₂S, COS, CH₃SH) müssen wegen ihrer toxischen und korrosiven Eigenschaften aus diesen Gasen abgetrennt werden. Neben adsorptiven Verfahren haben sich hierzu in vielen technischen Anwendungen adsorptive Verfahren etabliert.

Ziel der Forschungsarbeit ist es, die Adsorptionsleistung verschiedener Adsorbentien bei der Entfernung der o.g. Schwefelverbindungen aus Modellgasen zu untersuchen und gemeinsam mit industriellen Partnern zielgerichtet weiter zu entwickeln. Am Lehrstuhl für Thermische Verfahrenstechnik werden hierzu auf Basis dynamischer Experimente (Durchbruchkurven) Adsorptionsisothermen vermessen. Eine auf diesen Experimenten aufbauende Modellierung und dynamische Simulation vertieft das Verständnis für die relevanten Prozessparameter und ermöglicht es, die bei der Adsorption ablaufenden Stoff- und Wärmetransportprozesse zu optimieren. Die Untersuchungen umfassen binäre, ternäre und quartäre Stoffsysteme.

Material und Methoden

Zur experimentellen Untersuchung der Entschwefelung wurde am Lehrstuhl eine Versuchsanlage aufgebaut (Abb. 5). Mit Hilfe thermischer Massenflussregler (Abb. 2) können Modellgase mit wenigen ppm Schwefelverbindungen in einer Kohlenwasserstoffmatrix erzeugt und auf einen senkrecht angeordneten Festbettadsorber (Abb. 4) aufgegeben werden.

Zur quasi-kontinuierlichen Analyse des austretenden Produktgases steht ein Mikro-Gaschromatograph (Abb. 3) zur Verfügung. Die Konditionierung der Adsorbentien vor den Experimenten erfolgt durch Ausheizen im Trockenschrank (Abb. 1) sowie verschiedene Inertgasspülungen im Festbett.



Abb. 1: Adsorbensconditionierung im Trockenschrank

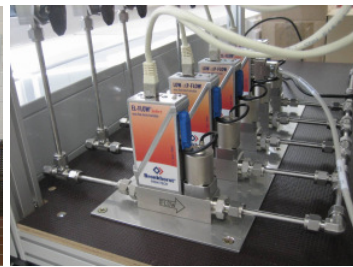


Abb. 2: Gasmischsystem



Abb. 3: Gasanalytik

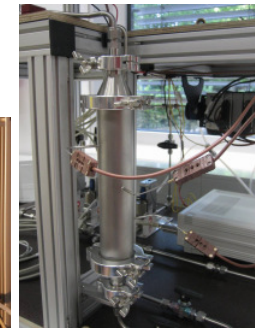


Abb. 4: Festbettadsorber

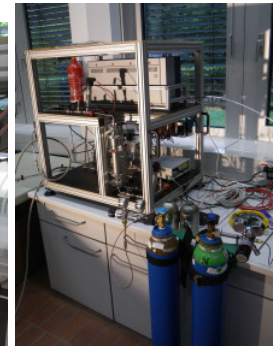


Abb. 5: Versuchsanlage

Ergebnisse und Diskussion

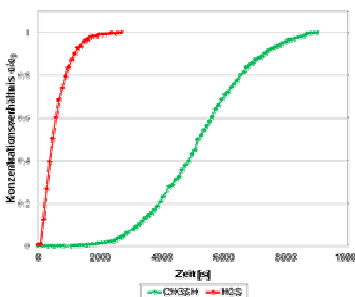


Abb. 6: Durchbruchkurven für die Stoffsysteme H₂S in Methan und CH₃SH in Methan

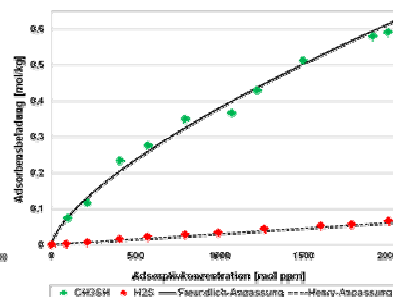


Abb. 7: Adsorptionsisothermen für H₂S in Methan und CH₃SH in Methan bei 25°C, Messwerte und Isothermen-Anpassungen

Für die Stoffsysteme H₂S in Methan und CH₃SH in Methan wurden im Bereich von 0-2000 mol ppm_{Adsorptiv} Durchbruchkurven für die Adsorption an einem Silica-Gel vermessen. Beispielhaft sind in Abb. 6 Durchbruchkurven gleicher Feedkonzentration für beide Stoffsysteme dargestellt. Der schnelle Durchbruch des Festbettes korreliert im Falle des Adsorptivs H₂S mit geringen Beladungen des Silica-Gels. Der spätere Durchbruch des Adsorptivs CH₃SH zeigt die deutlich größeren Beladungskapazitäten des untersuchten Silica-Gels für diese Verbindung auf. Den Zusammenhang zwischen der Aufnahmekapazität des Adsorbens bei einer bestimmten Feedkonzentration zeigen die in Abb. 7 dargestellten Adsorptionsisothermen. Auch hier spiegeln sich die großen Beladungsunterschiede der Stoffsysteme wider. Die Messungen zeigen im Fall von H₂S einen linearen Zusammenhang, der gut durch eine Henry-Isotherme beschrieben werden kann. Die Messwerte für CH₃SH lassen sich gut durch die Freundlich-Isothermengleichung anpassen.

Fazit und Ausblick

Die Experimente zeigen, dass das verwendete Adsorbens für die untersuchten Adsorptive im gemessenen Konzentrationsbereich sehr unterschiedliche Adsorptionskapazitäten besitzt. Für CH₃SH sind diese deutlich größer. Die mittels Massenbilanzen aus den gemessenen Durchbruchkurven extrahierten Adsorptionsisothermen sind durch verschiedene Isothermengleichungen (Henry, Freundlich) beschreibbar.

Im weiteren Projektverlauf werden Adsorptionsisothermen für andere Schwefelverbindungen (COS, C₂H₆S etc.) und weitere Adsorbentien vermessen.

Dabei wird die Komplexität der Stoffsysteme sukzessive von binären zu quartären Systemen gesteigert.

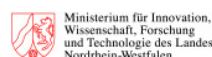
Ergänzend zu den experimentellen Untersuchungen werden die vermessenen Stoffsysteme basierend auf den Bilanzgleichungen für Stoff- und Wärmetransport dynamisch simuliert. Mit diesen Simulationen können die Kinetik der Adsorptionsprozesse beschrieben und Stoffdurchgangskoeffizienten berechnet werden.

Danksagung

Die Arbeiten wurden im Rahmen des Operationellen Programms für NRW im Ziel „Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung“ aus Mitteln des „Europäischen Fonds für regionale Entwicklung - EFRE“ und aus Mitteln des Landes Nordrhein-Westfalen im Rahmen des Wettbewerbs Hightech.NRW ko-finanziert.



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung



Ministerium für Innovation,
Wissenschaft, Forschung
und Technologie des Landes
Nordrhein-Westfalen

NRW

Der Lehrstuhl für Thermische Verfahrenstechnik bedankt sich bei der BASF Catalysts GmbH für die finanzielle Unterstützung.

BASF
The Chemical Company