

Energiesparende CO₂-Wäsche

Der Postcombustion-Prozess für die CO₂-Abscheidung aus Kraftwerken weist mit der bisher vorgesehenen Technik einen zu großen Energiebedarf auf. Dies verursacht zusätzliche CO₂-Emissionen und höhere Stromgestehungskosten. Dr. Andrea Ohle und Prof. Dr. Norbert Mollekopf zeigen, dass der Prozess der CO₂-Abtrennung energetisch günstiger gestaltet werden muss, um ihn sowohl ökologisch als auch ökonomisch zu verbessern.

Hintergrund

Für die Verringerung des CO₂-Ausstoßes von Kraftwerken hat das Konzept des Postcombustion-Prozesses den großen Vorteil, dass auch bereits vorhandene Kraftwerke nachgerüstet werden können, da im Vergleich zum Oxyfuel- oder IGCC-Verfahren

die geringsten Veränderungen im Kraftwerksprozess selbst erforderlich sind. Für dieses Emissionsminderungs-Konzept wird einem konventionellen Kraftwerk ein Absorptionsprozess nachgeschaltet, in dem das CO₂ aus dem Rauchgas durch Bindung an eine Absorptionsflüssigkeit abgeschieden wird. Dieses Waschmittel ist vor dem erneuten

Einsatz von seiner CO₂-Fracht zu befreien. Die Waschmittelregeneration findet bevorzugt bei erhöhter Temperatur und abgesenktem Druck statt. Abb. 1 zeigt ein vereinfachtes Verfahrensfliessbild dieses Kreislaufprozesses.

Die CO₂-Abtrennung mithilfe der Absorption hat den Vorteil, dass dieser Prozess in der chemischen Industrie für verschiedene Einsatzzwecke genutzt wird und damit Stand der Technik ist. Allerdings erfolgt der Betrieb bisher selten in der für die Rauchgasreinigung erforderlichen Größenordnung. Entscheidend für den Nutzen der Absorption und den Energiebedarf des Prozesses ist die für den bestimmten Einsatzfall ausgewählte Absorptionsflüssigkeit. Für den Postcombustion-Prozess ist bisher das chemisch wirkende Waschmittel Mono-Ethanol-Amin (MEA, 30 Ma-% in wässriger Lösung) vor-

gesehen. Aufgrund der starken chemischen Bindung und der hohen erforderlichen Desorptionstemperatur ist der Energiebedarf der Regenerierung für dieses Waschmittel sehr hoch. Aus diesem Umstand leitet sich direkt das Ziel der hier vorgestellten Untersuchungen [1] ab: Der Prozess der Absorption soll insgesamt energetisch günstiger gestaltet werden.

Für das Erreichen dieses Ziels wurde das neu entwickelte Waschmittel GenosorbN untersucht, um seine wichtigsten Stoffwerte und Eigenschaften zu ermitteln. Außerdem erfolgte die experimentelle Bestimmung des Betriebsverhaltens an einer Technikumsanlage (Abb.2) zur Identifizierung derjenigen Betriebsparameter, bei denen mit einem möglichst geringen Energieeinsatz ein gutes Abscheideergebnis erzielt werden kann.

Das Absorptionsmittel GenosorbN

GenosorbN wurde in einer Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Verfahrenstechnik und Umwelttechnik der TU Dresden und der Firma Clariant GmbH entwickelt. Die chemische Bezeichnung lautet Poly(methyldiglykol)amin mit der Hauptkomponente Bis(methyldiglykol)amin. GenosorbN ist ein so genanntes Hybrid-Waschmittel, d. h., es weist gegenüber CO₂ sowohl physikalische als auch chemische Bindungseigenschaften auf. Dadurch ist die Löslichkeit für CO₂ bereits bei niedrigen CO₂-Partialdrücken relativ hoch und sie steigt mit steigendem Partialdruck noch weiter an. Abbildung 3 zeigt den Löslichkeitsverlauf von GenosorbN als rote Kurve im Vergleich zur Beladbarkeit verschiedener marktüblicher Waschmittel. Das Lösungsvermögen von GenosorbN sinkt mit steigender Temperatur und der Zugabe von Wasser zum Waschmittel.

Die im Desorber zuzuführende Regenerationsenergie wird ganz maßgeblich von zwei Stoffwerten beeinflusst: der spezifischen Wärmekapazität und der Absorptionenthalpie. Mit der spezifischen Wärmekapazität steigt der Energiebedarf für die Aufheizung des Waschmittels auf Regenerationstemperatur. Die Absorptionenthalpie wird bei der Absorption von CO₂ frei und ist in der Desorption in Form von Wärme wieder zuzuführen, um das CO₂ aus der Flüssigkeit herauszulösen. Die Tabelle zeigt, dass sowohl für wasserfreies als auch für verdünntes GenosorbN die Werte für Absorptionenthalpie und Wärmekapazität niedriger und damit günstiger sind als bei dem Vergleichswaschmittel MEA. Diese Stoffdaten weisen darauf hin, dass im Vergleich zur MEA-Wäsche im GenosorbN-Prozess ein geringerer Bedarf an Regenerationsenergie erwartet werden kann. Für die detaillierte Bewertung diente ein umfangreiches Messprogramm an einer Technikumsanlage.

Optimale Betriebsbedingungen

Mithilfe der Messreihen wurden diejenigen Betriebsparameter identifiziert, bei denen mit möglichst geringem Energieeinsatz ein gutes Abscheideergebnis erreichbar ist. Die Messungen zeigten, dass eine moderate Kühlung auf 18°C im Absorber einen guten Kompromiss zwischen verbesserter Abscheideleistung und erhöhtem Kühlaufwand darstellt. Außerdem ist die Durchführung des Prozesses mit wasserfreiem GenosorbN vorteilhaft, da so ein höherer Abscheidegrad mit einem erheblich niedrigeren Energieeinsatz erzielt werden kann.

Die Bewertungsgrößen der zwei im Folgenden vorgestellten Messungen mit unverdünntem GenosorbN sind: der Abscheidegrad G (Quotient aus absorbiertes und insgesamt mit dem Rauch-

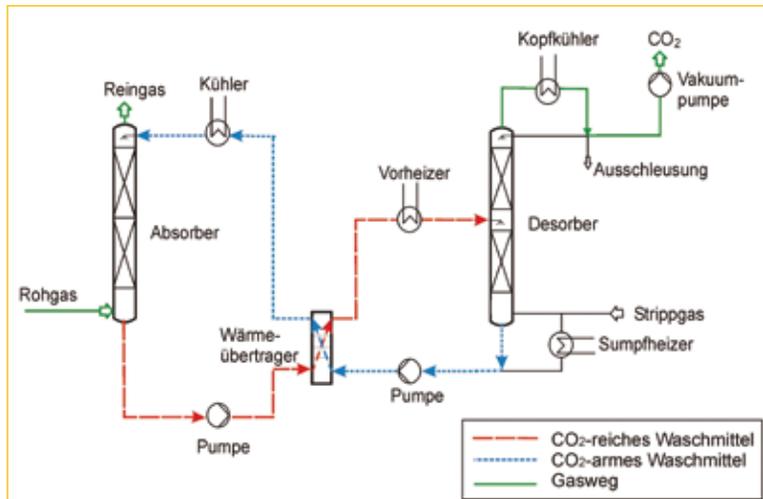


Abb. 1 Verfahrensfliessbild eines Absorptions-/Desorptionsprozesses

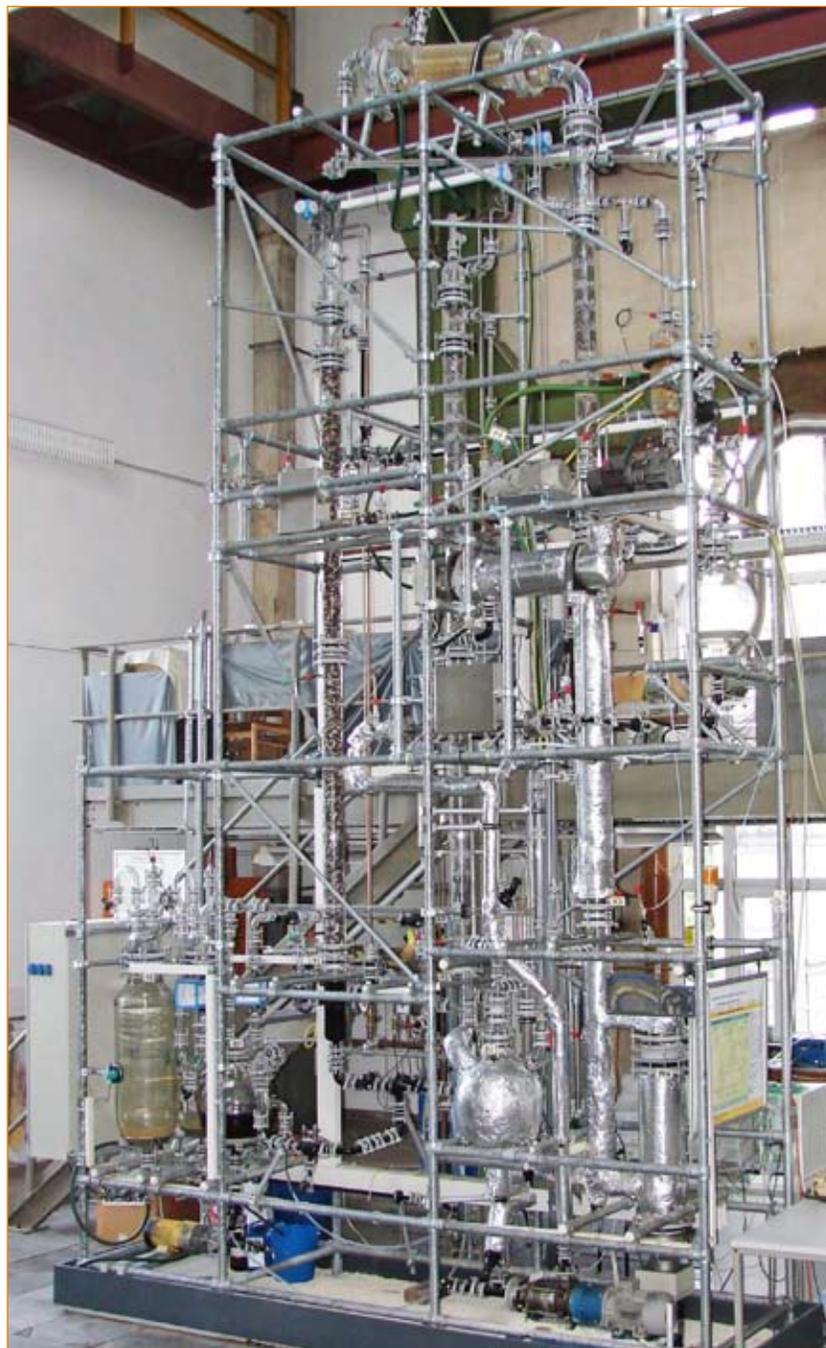


Abb. 2 Technikumsanlage

Tab. spezifische Absorptionsenthalpie von CO₂ in GenosorbN und MEA und die spezifische Wärmekapazität der Flüssigkeiten

	Absorptionsenthalpie [MJ/KG _{CO2}]	Wärmekapazität [kJ/kg K]
GenosorbN	1,41	2,20
verdünntes GenosorbN [50 Ma-% Wasser]	1,29	3,64
MEA [2]	1,92	3,90

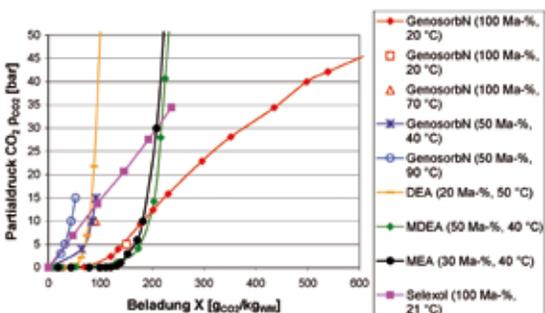


Abb. 3 Zusammenhang zwischen dem CO₂-Partialdruck und der Löslichkeit von CO₂ in verschiedenen Absorptionsmitteln

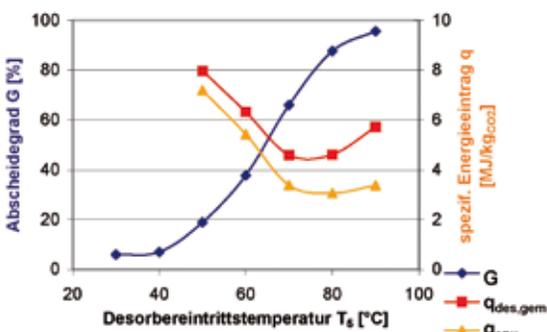


Abb. 4 Abhängigkeit des Abscheidegrades und des spezifischen Energiebedarfs von der Desorbereintrittstemperatur

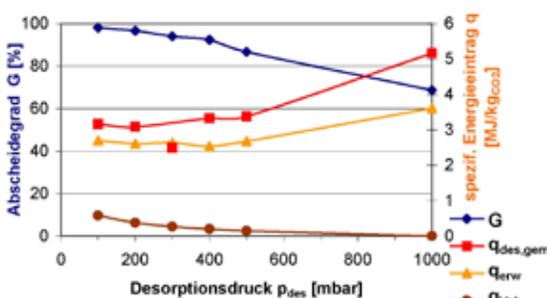


Abb. 5 Abhängigkeit des Abscheidegrades und des spezifischen Energiebedarfs vom Desorptionsdruck bei 70°C im Vorheizer

gas zugeführter CO₂-Menge), die gemessene Heizenergie $q_{des,gem}$, die berechnete Heizenergie zum Erwärmen q_{erw} (als Kontrollmöglichkeit) und der äquivalente thermische Energiebedarf der Vakuumpumpe q_{vak} .

Die in Abbildung 4 dargestellte Messreihe zeigt die Abhängigkeit des Abscheidegrades und des Energiebedarfs von der Desorbereintrittstemperatur. Eine Temperatur von 80°C erweist sich als energetisch besonders vorteilhafte Einstellung. Hier wird ein Abscheidegrad von 88% mit einem spezifischen Energieeinsatz von 4,6 MJ/kgCO₂ erreicht.

Eine weitere Messreihe zeigt den Einfluss des Desorptionsdruckes auf Abscheidegrad und Energiebedarf bei gleichzeitiger Erwärmung des Waschmittels auf 70°C (Abb. 5). Insgesamt werden sehr hohe Abscheidegrade erreicht und der spezifische Energiebedarf ist im Vergleich zum atmosphärischen Betrieb geringer. Für einen auch in einer industriellen Großanlage realisierbaren Absolutdruck von 400 mbar und eine Temperaturerhöhung auf 70°C stellt sich ein Abscheidegrad von ca. 92% mit einem Energieeinsatz von 3,5 MJ/kgCO₂ ein.

Vergleich zwischen GenosorbN- und MEA-Prozess

Die Wärmeverluste der Technikumsanlage sind im Vergleich zu einer industriellen Anlage sehr groß und reduzieren die für die interne Wärmerückgewinnung zur Verfügung stehende Energiemenge stark. Deshalb erfolgt eine Umrechnung der anlagen-spezifischen Messwerte auf eine industrielle Wärmedämmung, um den GenosorbN-Prozess mit der MEA-Wäsche vergleichen zu können. Damit beträgt der spezifische Energiebedarf des GenosorbN-Prozesses für die Abtrennung von ca. 90% des im Rauchgas enthaltenen CO₂ bei einer Regenerationstemperatur von 80°C ca. 3,2 MJ/kgCO₂ und für die kombinierte Desorption mit einer Druckabsenkung auf 400 mbar und einer Temperatur von 70°C ca. 2,9 MJ/kgCO₂. Diese Werte liegen um 20 bis 27% unterhalb des Energiebedarfs der Waschmittelregeneration, die in verschiedenen Studien für das Erreichen desselben Abscheidegrades mit der MEA-Wäsche angegeben werden (3,8 – 4,2 MJ/kgCO₂). Außerdem ist das für die Regeneration von GenosorbN erforderliche Temperaturniveau mit 70 bzw. 80°C deutlich geringer als die für das Waschmittel MEA erforderlichen 120 bis 130°C. Damit genügt für den GenosorbN-Prozess ein exergetisch



Andrea Ohle

war zwischen 2003 und 2009 wissenschaftliche Mitarbeiterin und Doktorandin am Institut für Verfahrenstechnik und Umwelttechnik der TU Dresden mit dem Schwerpunkt thermische Verfahrenstechnik. Nach erfolgreicher Promotion auf dem Gebiet der CO₂-Abtrennung aus Gasströmen ist sie zur Zeit wissenschaftliche Mitarbeiterin am selben Institut mit dem Ziel der Habilitation.

minderwertiger Heizdampf mit einem geringeren Temperatur- und damit Druckniveau.

Diese beiden Einzelvorteile der GenosorbN-Wäsche lassen sich zusammenfassen zu einer Exergieersparung von ca. 50% im Vergleich zum bisher vorgesehenen MEA-Prozess.

Fazit und Ausblick

Mit dem Waschmittel GenosorbN lässt sich, verglichen mit dem MEA-Prozess, das CO₂ aus dem Rauchgas eines Kraftwerkes mit erheblich geringerem Energieaufwand abtrennen. Dadurch würde der Kraftwerkswirkungsgrad weniger belastet und der Post-combustion-Prozess kann bei der Nachrüstung vorhandener Kraftwerke einen sinnvollen Beitrag zur Lösung der CO₂-Problematik leisten. Als nächster Schritt muss die chemische Langzeit-Beständigkeit des neuen Absorptionsmittels im Kontakt mit Rauchgas geprüft werden.

Literatur:

- [1] Ohle, A., Dissertation „CO₂-Abtrennung aus Gasströmen durch Absorption in Poly(methyloliglyko)amin“, TU Dresden, 2009
- [2] Kohl, A., Nielsen, R., „Gas Purification“, 5. Auflage, Gulf Publishing Company, Texas, 1997

andrea.ohle@tu-dresden.de