

Capture

Transport

Storage

M1 Post-Combustion Capture

Post-Combustion Capture ist der erste Schritt des Carbon Capture and Storage Prozesses. Bei diesem Abscheidungsprozess wird ein kohlenstoffbasierter Brennstoff wie z.B. Kohle in der Luft verbrannt. Dabei entsteht Rauchgas, welches 5-15% CO₂ enthält. Um reines Kohlendioxidgas aus dem Rauchgas zu gewinnen, wird das Rauchgasgemisch in einem Absorptionsprozess mit Chemikalien wie Natriumhydroxidlösung (NaOH (aq)) behandelt. Der Prozess beruht auf dem Phänomen der Absorption und Desorption.

Sie können ihn sich wie einen Zug vorstellen, der das Kohlendioxid als Passagiers aufammelt und am Ende der Fahrt abgibt. Die Absorption erfolgt bei niedrigen Temperaturen von etwa 50 °C und ist ein exothermer Prozess (siehe Abbildung unten). Das Kohlendioxidgas bindet an die Absorptionsmittel, genau wie ein Passagier, der in einen Zug steigt.

Anschließend wird das Gemisch auf 70-100 °C erhitzt und der Desorptionsprozess findet statt. Bei dieser endothermen Reaktion kann Kohlendioxid von der Natriumhydroxidlösung getrennt werden und reines Kohlendioxidgas wird freigesetzt, wie ein Passagier, der aus einem Zug aussteigt. Außerdem wird die Absorptionsflüssigkeit (NaOH (aq)) regeneriert und kann erneut für den Prozess eingesetzt werden.

Wussten Sie schon ... ?

1. Mit der Technologie können bestehende Kohlekraftwerke nachgerüstet werden.
2. Das Verfahren hat einen hohen Energiebedarf und hohe Kosten.
3. Die Abscheideeffizienz beträgt 90-95%.
4. Die Technologie ermöglicht die Reduktion von schwer vermeidbaren Emissionen und die Integration von erneuerbaren Energien.
5. Post-Combustion Capture könnte den verlängerten Einsatz von fossilen Energieträgern ermöglichen.

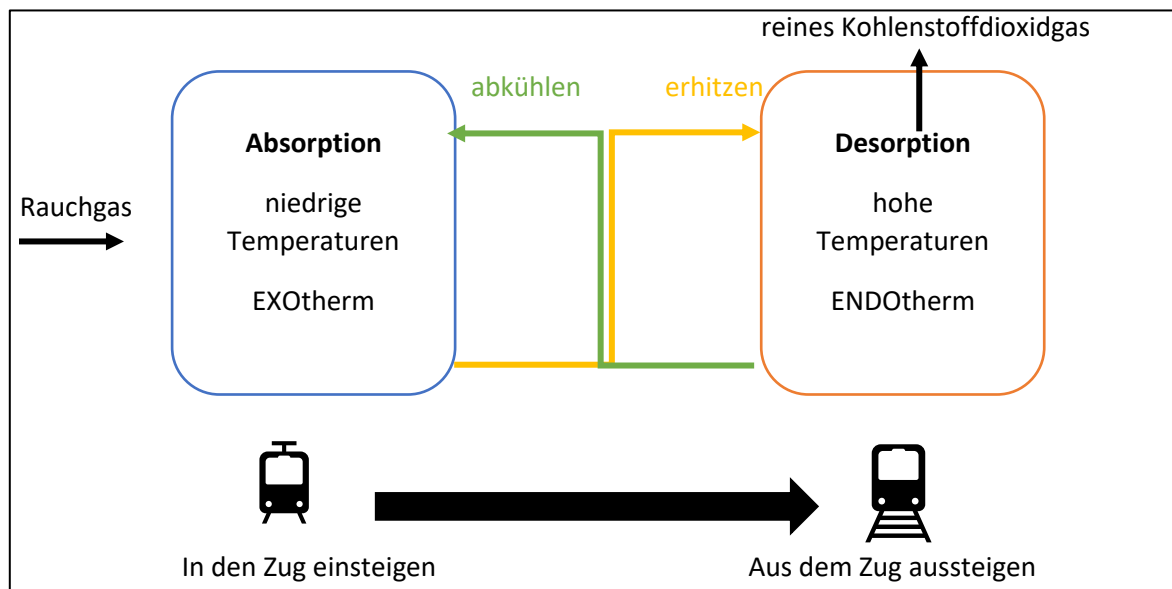


Abbildung. Vereinfachte Darstellung des Post-Combustion Prozesses.

Aufgaben:

1. Einzelarbeit: Erschließen Sie sich die Bedeutung der unterstrichenen Begriffe im Text. Wenn Sie sich unsicher sind, recherchieren Sie in Ihrem Lehrbuch oder im Internet.
2. Partnerarbeit: Erläutern Sie sich gegenseitig den Prozess der Absorption und Desorption im *Post Combustion Capture* Verfahren in eigenen Worten.

M2 Schülerexperiment – Modellversuch zur Absorption von Kohlenstoffdioxid



Geräte:

zwei Plastikflaschen
10 mL Messzylinder

Chemikalien:

Kohlenstoffdioxidgas im Gasbeutel, CO₂(g)
Natriumhydroxid-Lösung, NaOH(aq), c = 2 mol/L



Raum für Notizen:

Versuchsaufbau:

Beschriften Sie den Versuchsaufbau mit den passenden Begriffen:



- 1) Gasbeutel mit CO₂(g)
- 2) leere Plastikflaschen
- 3) Messzylinder
- 4) Natriumhydroxid-Lösung

Versuchsdurchführung:

1. Nutzen Sie den Messzylinder und füllen Sie 10 mL Natriumhydroxid-Lösung in jede Plastikflasche. Verschließen Sie eine der Plastikflaschen.
2. Verwenden Sie den Gasbeutel und füllen Sie die zweite Plastikflasche vorsichtig mit Kohlenstoffdioxidgas. Schließen Sie anschließend zügig den Deckel.
3. Stellen Sie sicher, dass beide Flaschen verschlossen sind. Schütteln Sie beide Flaschen für 30 Sekunden.

→ Entsorgen Sie die Natriumhydroxid-Lösung in einem Entsorgungsgefäß.



Beobachtung:

Füllen Sie die Tabelle aus und halten Sie darin Ihre Beobachtungen fest.

Zu Beginn	Während	Nach dem Experiment
Flasche 1 mit Luft		
Flasche 2 mit Kohlenstoffdioxid	Beschreiben Sie Ihre Beobachtungen, wenn Sie die Flasche berühren.	

Formulierungshilfen:

- etwas zieht sich zusammen/ dehnt sich aus
- eine Substanz ist farblos/hat die Farbe...
- der Aggregatzustand der eingesetzten Stoffe...
- die Flaschen kühlen ab/ erwärmen sich/bleiben unverändert

Auswertung:

1. Ermitteln Sie, wie sich der Inhalt beider Flaschen unterscheidet.
2. Erläutern Sie den Prozess der Absorption.
3. Beschreiben Sie, wie der Prozess der Absorption in diesem Modellexperiment abläuft.
4. Erklären Sie, wie man sich den Absorptionsprozess industriell zu Nutze macht. Beziehen Sie auch Ihr Wissen aus dem Infotext zu *Post Combustion Capture* mit ein. Beurteilen Sie Potentiale und Herausforderungen des Verfahrens.

.....

.....

.....

.....

.....



Sprinteraufgabe: Im industriellen Post-Combustion Prozess wird das Absorptionsmittel durch Desorption zurückgewonnen. Erörtern Sie, wie man experimentell vorgehen müsste, um den Prozess der Desorption auch in diesem Modellexperiment zu zeigen.

.....

.....



Wenn Sie Hilfe bei der Bearbeitung benötigen, nutzen Sie die gestufte Hilfekarte.



Gestufte Hilfekarte

↓ hier knicken

hier knicken



Hilfekarte	Lösungsansatz
1 Wie unterscheidet sich der Inhalt der beiden Flaschen?	Die Kohlenstoffdioxidkonzentration und das Absorptionspotential _____ sich in den beiden Flaschen. Die Flasche, die mit Luft gefüllt ist, enthält nur _____ % Kohlenstoffdioxid, während die andere _____ % Kohlenstoffdioxid enthält.
2 Erläutern Sie den Absorptionsprozess.	Als (Gas)absorption bezeichnet man einen Prozess, bei dem eine oder mehrere Komponenten aus seiner Gasmischung _____ werden. Die Komponenten können durch flüssige Substanzen aufgenommen/gebunden werden.
3 Beschreiben Sie, wie der Prozess der Absorption in unserem Modellexperiment abläuft.	NaOH(aq) absorbiert Kohlenstoffdioxid, Luft jedoch nicht. Das Absorbens reagiert bei Kontakt mit CO₂(g) zu _____. Absorption $\text{CO}_2(\text{g/aq}) + 2\text{NaOH}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) + 2\text{Na}^+(\text{aq})$ Desorption Auf der Teilchenebene werden die Kohlenstoffdioxid-Moleküle vom flüssigen Absorptionsmittel aufgenommen. Es sind nun weniger Moleküle in der Gasphase der Flasche. Der Druck, den die Moleküle auf die Flaschenwand ausüben, ist nun _____ als der Druck der Moleküle von der Außenseite der Flasche. Im Experiment beobachten wir, dass sich die Flasche mit Kohlenstoffdioxid _____. Der Prozess läuft als eine _____therme Reaktion ab und generiert Wärmeenergie.
4 Erklären Sie, wie man sich den Absorptionsprozess industriell zu Nutze macht. Beziehen Sie auch Ihr Wissen aus dem Infotext mit ein.	Der Prozess der Absorption mit chemischen Lösungsmitteln ist Teil des _____ - Verfahrens. Mit Hilfe der Absorptionsmittel kann reines Kohlenstoffdioxid aus Gasgemischen, die bei industriellen Verbrennungen entstehen, entfernt werden. In unserem Experiment wird _____ als Absorptionsmittel verwendet, welches mit Kohlenstoffdioxid zu Natriumcarbonat reagiert. Nach dem Auffangen des reinen Kohlenstoffdioxidgases, kann dieses in geologischen Erdschichten gespeichert oder von chlorophyllhaltigen Pflanzen wie Algen oder _____ aufgenommen werden.



Quellen:

Post-Combustion Capture

Inhalte der Abbildung abgewandelt nach Asherman, F., Cabot, G., Crua, C., Estel, L., Gagnepain, C., Lecerf, T., ... & Vige, M. (2015). Designing and Demonstrating a Master Student Project To Explore Carbon Dioxide Capture Technology. Journal of Chemical Education, 93(4), 633-638. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00073> (S.635).

Schülerexperiment – Modellversuch zur Absorption von Kohlenstoffdioxid

Entnommen aus Asherman, F., Cabot, G., Crua, C., Estel, L., Gagnepain, C., Lecerf, T., ... & Vige, M. (2015). Designing and Demonstrating a Master Student Project To Explore Carbon Dioxide Capture Technology. Journal of Chemical Education, 93(4), 633-638. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00073> (S.626).

Erwartungshorizont:

Infotext Post-Combustion Capture

1. Einzelarbeit: *Erschließen Sie sich die Bedeutung der unterstrichenen Begriffe im Text. Wenn Sie sich unsicher sind, recherchieren Sie in Ihrem Lehrbuch oder im Internet.*

Carbon Capture and Storage: (ggf. aus Einstieg) Auffangen und Speicherung von Kohlenstoffdioxid aus Industrieemissionen.

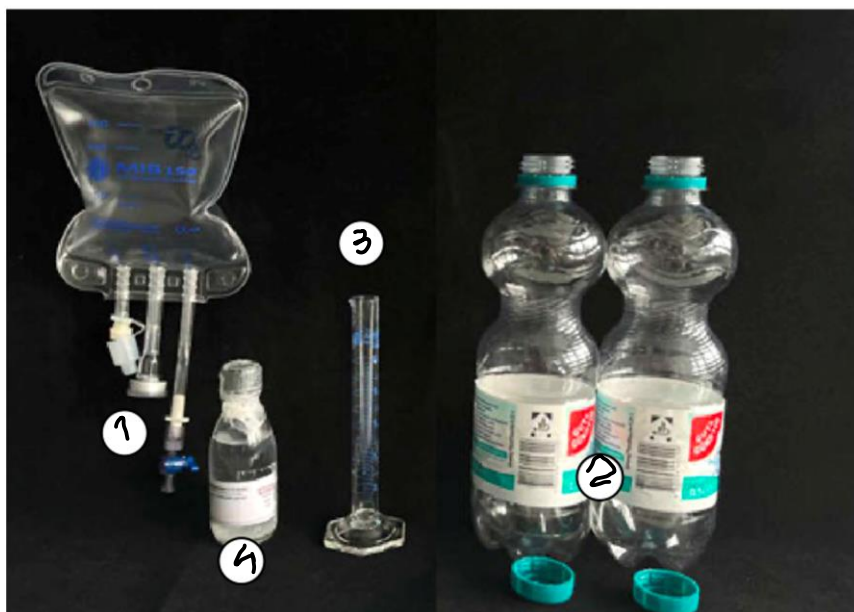
Adsorptionsprozess: exotherme Reaktion, Als (Gas)absorption bezeichnet man einen Prozess, bei dem eine oder mehrere Komponenten aus seiner Gasmischung entfernt werden. Die Komponenten können durch flüssige Substanzen (Adsorptionsmittel, Absorbenzien) aufgenommen/gebunden werden.

Desorption: endotherme Reaktion, Umkehrprozess der Adsorption, die in der Adsorption gebundenen Komponenten werden wieder abgegeben

2. Partnerarbeit: *Erläutern Sie sich gegenseitig den Prozess der Absorption und Desorption im Post Combustion Capture Verfahren in eigenen Worten.*

Schülerversuch: Modellversuch zur Absorption von Kohlenstoffdioxid

Beschriftung Foto:



- 1) Gasbeutel mit CO₂ (g)
- 2) leere Plastikflaschen
- 3) Messzylinder
- 4) Natriumhydroxid-Lösung

Beobachtung:

Zu Beginn	Während	Nach dem Experiment
• beide Flaschen sind mit einer klaren, farblosen Lösung gefüllt	• die Flasche mit dem Kohlenstoffdioxid zieht sich zusammen und wird warm • die Flasche mit der Umgebungsluft bleibt unverändert	• die Flasche mit Kohlenstoffdioxid hat sich vollständig zusammengezogen • die Flasche mit der Umgebungsluft bleibt unverändert



Auswertung Versuch/Hilfekarte:

Hilfekarte	Lösungsansatz
1 Wie unterscheidet sich der Inhalt der beiden Flaschen?	Die Kohlenstoffdioxidkonzentration und das Absorptionspotential unterscheiden sich in den beiden Flaschen. Die Flasche, die mit Luft gefüllt ist, enthält nur 0,04 % Kohlenstoffdioxid, während die andere 80 % Kohlenstoffdioxid enthält.
2 Erläutern Sie den Absorptionsprozess.	Als (Gas)absorption bezeichnet man einen Prozess, bei dem eine oder mehrere Komponenten aus seiner Gasmischung entfernt werden. Die Komponenten können durch flüssige Substanzen aufgenommen/gebunden werden.
3 Beschreiben Sie, wie der Prozess der Absorption in	NaOH(aq) absorbiert Kohlenstoffdioxid, Luft jedoch nicht. Das Absorbens reagiert bei Kontakt mit CO ₂ (g) zu Carbonat-Ionen und Natrium-Ionen (Natriumcarbonat, Na₂CO₃(aq)) .



unserem Modellexperiment abläuft.	Absorption $\text{CO}_2(\text{g/aq}) + 2\text{NaOH}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) + 2\text{Na}^+(\text{aq})$ Desorption Auf der Teilchenebene werden die Kohlenstoffdioxid-Moleküle vom flüssigen Absorptionsmittel aufgenommen. Es sind nun weniger Moleküle in der Gasphase der Flasche. Der Druck, den die Moleküle auf die Flaschenwand ausüben, ist nun geringer als der Druck der Moleküle von der Außenseite der Flasche. Im Experiment beobachten wir, dass sich die Flasche mit Kohlenstoffdioxid zusammenzieht. Der Prozess läuft als eine exotherme Reaktion ab und generiert Wärmeenergie.
4 Erklären Sie, wie man sich den Absorptionsprozess industriell zu Nutze macht. Beziehen Sie auch Ihr Wissen aus dem Infotext mit ein.	Der Prozess der Absorption mit aminhaltigen Lösungsmitteln ist Teil des Post Combustion Capture/CCS- Verfahrens. Mit Hilfe der Absorptionsmittel kann reines Kohlenstoffdioxid aus Gasgemischen, die bei industriellen Verbrennungen entstehen, entfernt werden. In unserem Experiment wird statt Amin Natriumhydroxid als Absorptionsmittel verwendet, welches mit Kohlenstoffdioxid zu Natriumcarbonat reagiert. Nach dem Auffangen des reinen Kohlenstoffdioxidgases, kann dieses in geologischen Erdschichten gespeichert oder von chlorophyllhaltigen Pflanzen wie Algen oder Bäumen aufgenommen werden.

Beurteilen Potentiale des Post-Combustion Verfahrens, z.B.:

- Abscheidung nach dem Verbrennungsvorgang
- bestehende Kraftwerke können nachgerüstet werden (auch unter Nutzung erneuerbarer Energieträger)
- Abscheideeffizienz beträgt 90-95%
- Reduktion von schwer vermeidbaren Emissionen bei Prozessen wie Stahlherstellung

Beurteilen Herausforderungen des Post-Combustion Verfahrens, z.B.:

- Rauchgas enthält nur 5-15% CO₂
- hoher Energiebedarf, hohe Kosten
- ermöglicht verlängerten Einsatz von fossilen Energieträgern in Kohle- und Gaskraftwerken
- Einsatz von Chemikalien (Entsorgung?) und hohe Temperaturen für Desorptionsprozess



Sprinteraufgabe: Im industriellen Post-Combustion Prozess wird das Absorptionsmittel durch Desorption zurückgewonnen. Erörtern Sie, wie man experimentell vorgehen müsste, um den Prozess der Desorption auch in diesem Modellexperiment zu zeigen.

Durch die Zufuhr von Wärme kann die Reaktion über eine Desorption rückgängig gemacht werden. Diese Reaktion verläuft endotherm bei hohen Temperaturen. Im Experiment kann dies durch das Eintauchen der verschlossenen PET-Flasche in warmes Wasser realisiert werden.



Weitere Anmerkungen zum Versuch:

Der Prozess der Absorption mit aminhaltigen Lösungsmitteln ist Teil des *Post-Combustion Capture* Verfahrens. In diesem Experiment wird Natriumhydroxid-Lösung als Absorptionsmittel verwendet. Mit Hilfe des Absorptionsmittels kann reines Kohlenstoffdioxid aus Gasgemischen entfernt werden. Großtechnisch werden hauptsächlich Amine eingesetzt.

Das Experiment kann den Absorptionsvorgang von Kohlenstoffdioxid in chemischen Lösemitteln veranschaulichen und phänomenologisch als Modellversuch für *Post-Combustion Capture* fungieren. Für den Einsatz als Schüler- bzw. Schulexperiment wurde Natronlauge als Lösungsmittel ausgewählt. Die Substanz Natronlauge ist den Lernenden bekannt und kann bei Standardbedingungen eingesetzt werden. Andere mögliche Lösemittel wie Kaliumcarbonat oder Ammoniak wurden didaktisch auf Grund der nötigen Reaktionsbedingungen vernachlässigt.