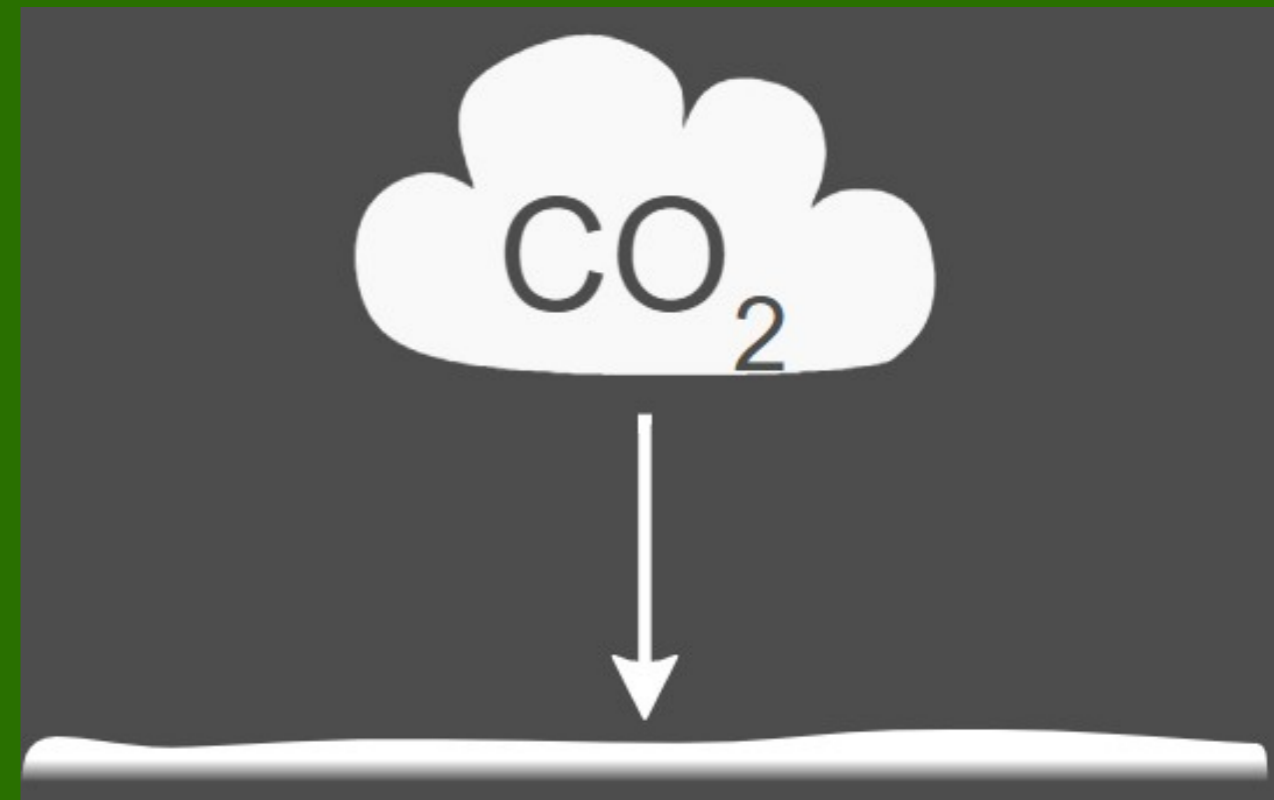


Chemie-Labothek

WEGE AUS DER KLIMAKRISE



BLOCK 3

Carbon Capture and Storage - Wohin mit den CO_2 -Emissionen?

BLOCK 3

ANLEITUNG & HINWEISE

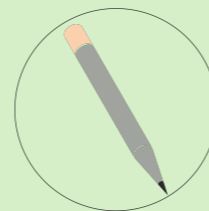
Im folgenden Abschnitt finden Sie die Anleitungen zu den Versuchen. Versuchsdurchführungen sind mit ein V gekennzeichnet (z. B. V 2.1). Anschließend sind einzelne Auswertungsfragen/-aufgaben angefügt.

Zwischendurch werden Sie diverse Symbole und Piktogramme erkennen.

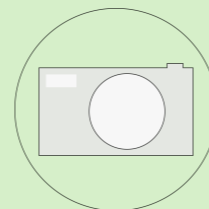


Dieses Symbol weist Sie darauf hin, dass Sie für die beschriebenen Arbeiten eine Schutzbrille benötigen.

Schutzbrille



Stellen, an denen Sie etwas ausfüllen oder ergänzen sollen, sind mit diesem Symbol markiert.



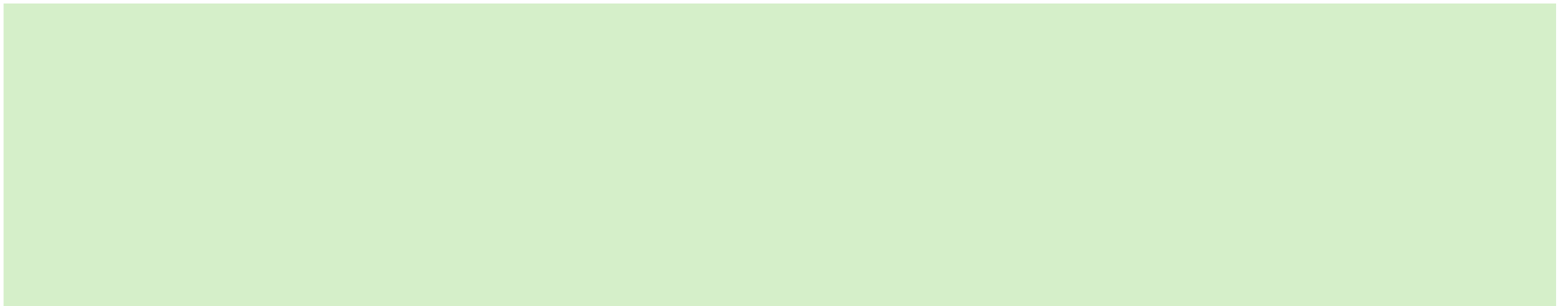
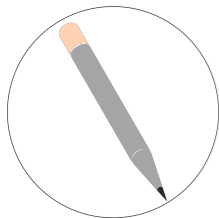
Dieses Symbol verdeutlicht, dass Sie an dieser Stelle mithilfe der Kamera Aufnahmen tätigen sollen.

Carbon Capture and Storage (CCS)

Kohlenstoffdioxid ist ein Treibhausgas, das sich in den letzten Jahrzehnten durch anthropogene Einflüsse wie z.B. durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern und die damit verbundenen Emissionen zunehmend in der Atmosphäre angereichert hat. Ein Ansatz, um diese Emissionen z.B. von Kohlekraftwerken zu reduzieren, ist *Carbon Capture and Storage*. Ziel dieser Technologie ist es, Kohlenstoffdioxid in unterirdischen Lagerstätten z.B. im Meeresuntergrund, in ehemaligen Erdöllagerstätten oder Kohleflözen zu speichern.

Aufgaben:

- 1) Einzelarbeit:** Lesen Sie sich Material M1-M4 auf den nächsten zwei Seiten sorgfältig durch. Unterstreichen Sie wichtige Inhalte.
- 2)** Formulieren Sie zu M1-M4 mindestens fünf Fragen, auf die die Materialien eine Antwort geben. Versuchen Sie keine Fragen zu stellen, die allein mit „ja“ oder „nein“ beantwortet werden können.
- 3) Partnerarbeit:** Stellen Sie sich abwechselnd ihre Fragen vor und beantworten Sie sie mit Hilfe der Materialien. Notieren Sie sich Unklarheiten zur späteren Besprechung.



M1: Die vereinfachte Prozesskette von Carbon Capture and Storage

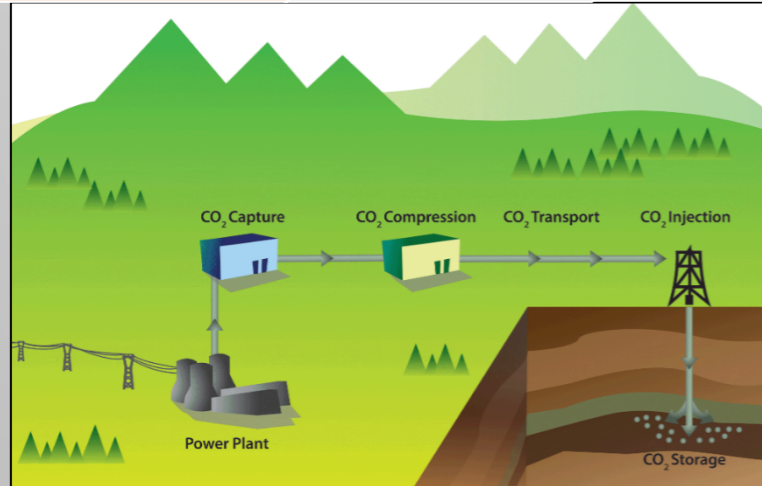
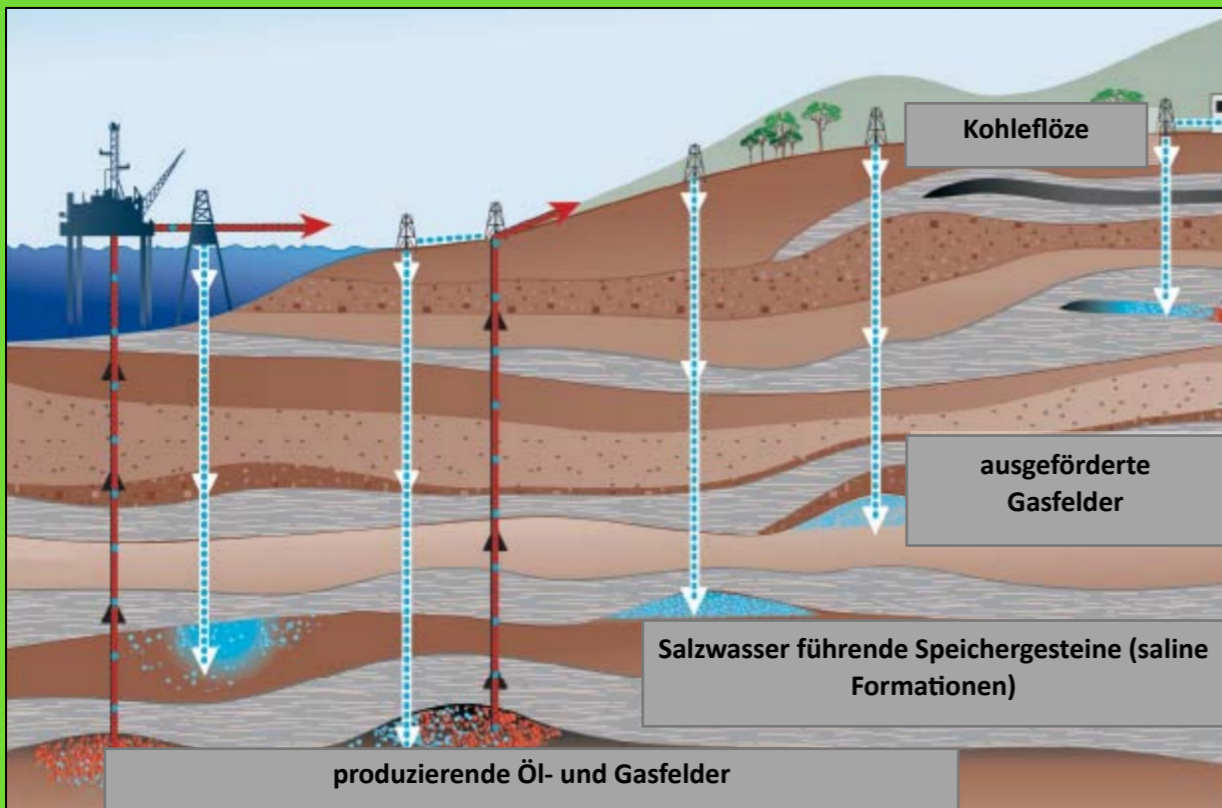


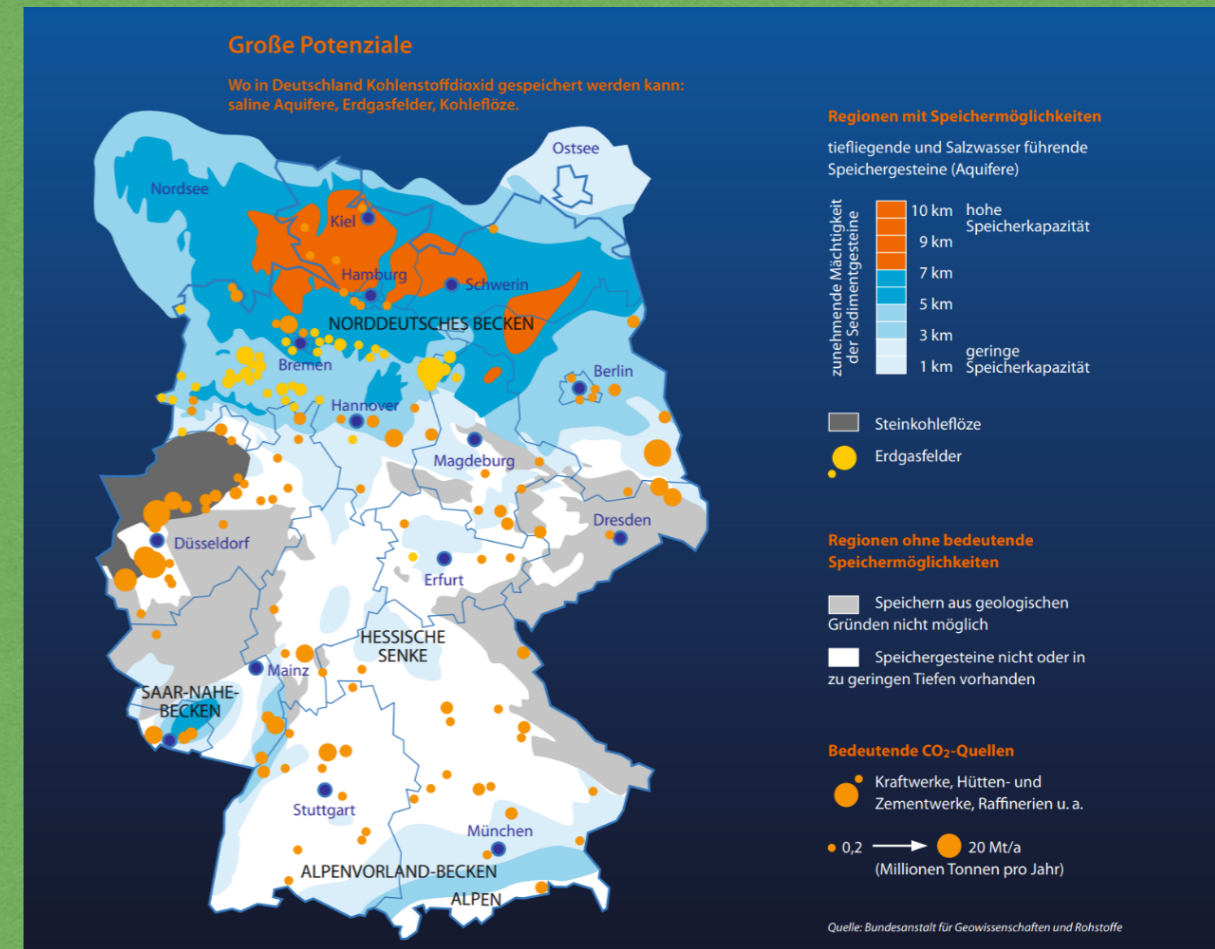
Abbildung: The Royal Society of Chemistry, <https://pubs.rsc.org/-/content/articlehtml/2016/td/c6fd00148c>, (letzter Zugriff 27.01.21)

M2: Geologische Speicheroptionen (Storage)



Quelle Abbildung: adaptiert nach Dahmke, Andreas. Institut für Geowissenschaften der Universität Kiel. Folie 15. https://www.schleswig-flensburg.de/media/custom/146_4295_1.PDF?1256574029 (letzter Zugriff 27.01.21)

M3: Geologische Speicheroptionen in Deutschland



Quelle: Zeitbild Wissen: Naturwissenschaft und Technik im Unterricht 2011 „Klimaschutz und CCS. Abtrennung und Speicherung von CO₂“ S.21, https://www.zeitbild.de/wp-content/uploads/2009/08/CCS_Brosch_2011Web.pdf (letzter Zugriff)

M4: Informationstext zu CCS

CCS steht für *Carbon Capture and Storage*, das heißt die Abscheidung von Kohlenstoffdioxid (CO₂) an Kraftwerken oder Industrieanlagen und die nachfolgende Speicherung in tief liegenden geologischen Gesteinsschichten.

5 Grundsätzlich gibt es bei den Kraftwerken verschiedene Wege, die Abgabe von CO₂ in die Atmosphäre zu verringern: Man kann Festbrennstoffe - etwa Stein- oder Braunkohle - vergasen und dabei das CO₂ im Zuge des Vergasungsprozesses abtrennen. Die Kohle wird dabei nicht wie im herkömmlichen Dampferzeuger verfeuert, sondern zunächst in einem Vergaser in ein Brenngas umgewandelt. Das unter Druck stehende Gas wird anschließend gereinigt und von CO₂ befreit. Übrig bleibt fast ausschließlich Wasserstoff. Erst dieser wird dann in einer Gasturbine verbrannt. Der entsprechende Prozess wird als Pre-Combustion bezeichnet.

10 Ebenfalls zur CO₂-Abscheidung geeignet ist der so genannte Oxyfuel-Prozess: Dabei werden fossile Brennstoffe mit reinem Sauerstoff verbrannt und das entstehende CO₂ danach abgetrennt.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, Kohlenstoffdioxid am Ende des konventionellen Verbrennungsprozesses abzuscheiden. Dieses als Post-Combustion bezeichnete Verfahren basiert auf nachgeschalteten Rauchgaswäschen, bei denen zum Beispiel Amine oder Aminosäuresalze als Wasch- beziehungsweise Lösemittel zum Einsatz kommen. Mit den drei Abscheideverfahren lassen sich CO₂-Minderungen in den Abgasen der Kraftwerke von 80 %- 98 % Prozent erreichen.

15 Am Ende der CCS-Technologiekette steht die Speicherung des CO₂ im tiefen geologischen Untergrund von etwa 1000 bis 4000 Metern. Geeignete Speichergesteine sind zum Beispiel ehemalige Öl- oder Gaslagerstätten, Kohleflöze und Salzwasser führende Gesteinsschichten (siehe M2). Bei Öl- und Gaslagerstätten kann das Kohlenstoffdioxid zusätzlich genutzt werden, um das bisher nicht aus den Lagerstätten förderbare Erdöl oder Erdgas zu gewinnen, so genannte Enhanced Oil beziehungsweise Gas Recovery. Dabei wird das Kohlenstoffdioxid mit hohem Druck in das Erdreich verpresst, um die
20 Rohstoffe zu gewinnen.

Die CCS-Technologie steht jedoch noch vor einigen Herausforderungen, z.B. bei der Abtrennung des Kohlenstoffdioxids verbleiben noch erhebliche Entwicklungsaufgaben hinsichtlich der Steigerung von Effizienz und Umweltverträglichkeit der entsprechenden Verfahren. In der jetzigen Erprobungsphase soll die technische, wirtschaftliche und umweltgerechte Machbarkeit der CCS-Technologien mit entsprechenden Pilotprojekten umfassend nachgewiesen werden.

25 Nach überwiegender Meinung von Klimawissenschaftler*innen und anderen wissenschaftlichen Expert*innen sind die CCS-Technologien neben dem verstärkten Ausbau der Erneuerbaren Energien und der Steigerung der Energieeffizienz als weitere wichtige Klimaschutzsäule notwendig, um die CO₂-Emissionsminderungsziele von 85 % - 90 % bis zum Jahre 2050 in den Industrienationen zu erreichen. Die International Energy Agency kommt in ihren jüngsten Energie- und Klimaschutzszenarien zum Schluss, dass die Anwendung der CCS-Technologien etwa 14% Prozent der global bis 2050 notwendigen CO₂-
30 Emissionsreduzierungen erbringen kann.

1. Quelle (gekürzt und angepasst nach): Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Artikel „Die weitere Entwicklung von CCS-Technologien“ <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/weitere-entwicklung-ccs-technologien.html> (letzter Zugriff 27.01.21).

Rauchgaswäschen: Rauchgasreinigung zur Entfernung von Schadstoffen. Unter Rauchgas versteht man gasförmige Verbrennungsprodukte, die bei der technischen Verbrennung von Brennstoffen wie z.B. Kohle entstehen.

Kohleflöz: eine Kohleschicht zwischen anderen Sedimenten bzw. Gesteinsschichten.

International Energy Agency (IEA): die Internationale Energie Agentur ist eine Behörde mit 31 Mitgliedsstaaten, die sich u.a. mit der Analyse des globalen Energiesektors beschäftigt.

V 1.1 Modellversuch zur Speicherung von Kohlenstoffdioxid in Kohlenflözen

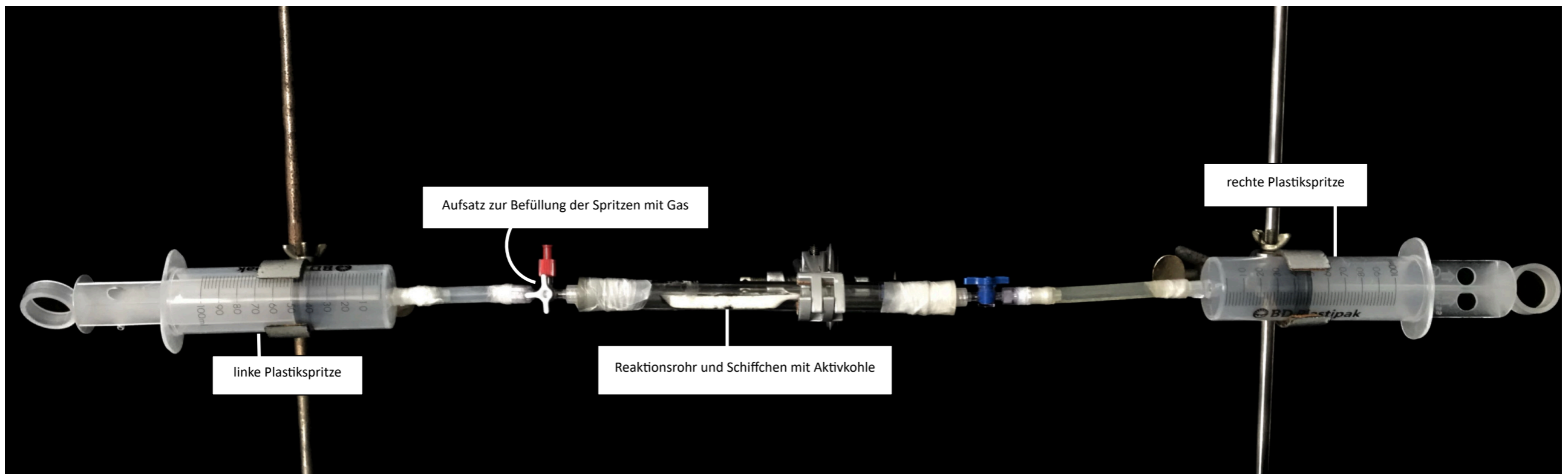
Arbeitsmaterialien

Stativmaterial, 2x 100 mL Plastikspritzen, Reaktionsrohr, Porzellanschiffchen, 2 durchbohrte Stopfen, Parafilm, Waage, Spatel, 100 mL Plastikspritze mit Aufsatz, Petrischale

Chemikalien

Aktivkohle (gepulvert), Kohlenstoffdioxid CO₂ (im Infusionsbeutel)

Versuchsaufbau



Versuchsdurchführung - Modellversuch Kohlenflöze

V 1.1



Ventil offen

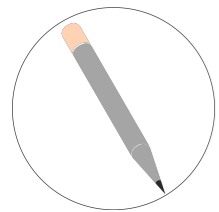


Ventil
geschlossen

1. Legen Sie das Porzellanschiffchen in eine Petrischale und wiegen Sie 0,5 g Aktivkohle im Porzellanschiffchen ab. Verteilen Sie die abgewogene Aktivkohle möglichst großflächig im Porzellanschiffchen.
2. Bauen Sie die Apparatur auf, indem Sie die zwei Plastikspritzen mit Stativmaterial befestigen (siehe Versuchsaufbau). Achten Sie darauf, dass die Skalierung der Spritzen so platziert ist, dass Sie später Messwerte ablesen können. Schieben Sie das Porzellanschiffchen in das Reaktionsrohr. Verbinden Sie nun die Plastikspritzen über die Stopfen mit dem Reaktionsrohr. Dichten Sie die Übergangsstellen abschließend mit Parafilm ab.
3. Füllen Sie eine Plastikspritze mit Hilfe des Infusionsbeutels mit 100 mL Kohlenstoffdioxid auf. Schließen Sie das Ventil der Spritze (siehe Abbildung). Nehmen Sie die nun gefüllte Spritze und verbinden Sie sie mit der Apparatur. Füllen Sie die linke Plastikspritze mit 100 mL Kohlenstoffdioxid. Notieren Sie die Volumina beider Plastikspritzen.
4. Leiten Sie aus der befüllten Spritze langsam zunächst 20 mL CO_2 über die Aktivkohle, ohne diese zu verwirbeln. Warten Sie 30 Sekunden, bevor Sie erneut 20 mL CO_2 über die Aktivkohle strömen lassen. Wiederholen Sie diesen Vorgang, bis die Spritze leer ist. Notieren Sie die Volumina der Plastikspritzen.
5. Verschließen Sie die linke Spritze. Üben Sie anschließend sanften Druck (um ca. 5 -10 mL) auf den Stempel der rechten, gefüllten Plastikspritze aus. Halten Sie den Druck für ca. 10 Sekunden konstant. Notieren Sie die Volumina der Plastikspritzen.

■ Versuchsbeobachtung – Modellversuch Kohlenflöze

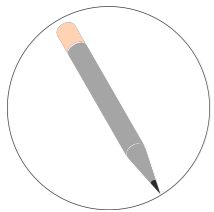
Notieren Sie Ihre Beobachtungen in der Tabelle.



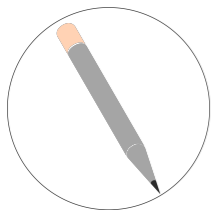
Plastik-spritzen	Volumen zu Beginn des Versuchs in [mL] (Schritt 3)	Volumen nach Überleitung in [mL] (Schritt 4)	Volumen nach Druckausübung in [mL] (Schritt 5)
links			
rechts			

Auswertung - V1.1 Modellversuch Kohlenflöze

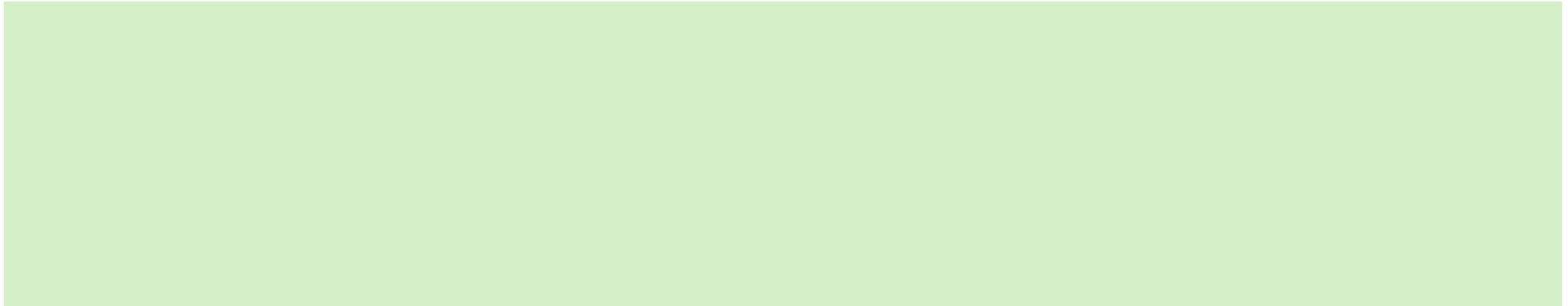
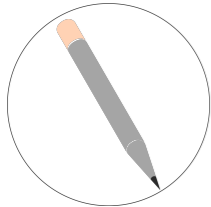
1. **Erläutern** Sie die Volumenveränderungen nach dem Überleiten über die Aktivkohle (Schritt 4). Nutzen Sie die Informationen des Steckbriefs Aktivkohle und beziehen Sie die Adsorptionseigenschaften der Aktivkohlenoberfläche in Ihre Schilderungen mit ein.



2. Die Ausübung von Druck in Schritt 5 simuliert die Hochdruckverpressung von CO_2 unter der Erde. **Erläutern** Sie, welchen Einfluss die Druckerhöhung auf das Volumen von CO_2 hat.

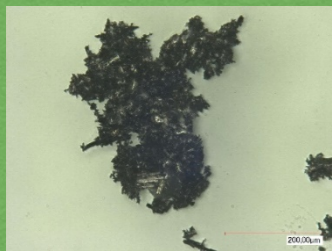


3. **Beurteilen** Sie das Potential der geologischen Speicherung von CO₂ in Kohleflözen anhand Ihrer Versuchsergebnisse und dem Steckbrief Kohleflöze.



Steckbrief Aktivkohle

Aktivkohle besteht zu über 90% aus Kohlenstoff. Sie hat eine hochporöse Struktur, die ähnlich wie bei einem Schwamm strukturiert ist. Dadurch entsteht eine sehr große Oberfläche, die pro Gramm Aktivkohle bis zu 2000 m² groß sein kann. Zwei Gramm Aktivkohle hätten dann in etwa eine Oberfläche, die der Fläche eines kleinen Fußballfeldes entspräche. Aktivkohle ist in Form von Pulver, Granulat oder Pellets oder auf Gewebe aufgebracht verfügbar.



Das Haupteinsatzgebiet von Aktivkohle ist die Verwendung als Adsorptionsmittel. An der Oberfläche können verschiedenste Stoffe, z.B. Farb-, Geschmacks- oder Geruchsstoffe aus Flüssigkeiten oder Gasen haften, d.h. von der Aktivkohle adsorbiert werden. Umgekehrt ist es auch möglich, Aktivkohle durch Erhitzen zu reaktivieren, wobei die adsorbierten Stoffe wieder freigesetzt werden. Aktivkohle wird u.a. in der Wasseraufbereitung, als Luftfilter oder in der

Automobilindustrie und Medizin eingesetzt.

Steckbrief Kohleflöze

Dieses Modellexperiment zeigt das Potenzial der geologischen Speicherung von Kohlendioxid unter der Erde, z.B. in Kohleflözen. Ein Kohleflöz ist eine dunkelbraune oder schwarz gebänderte Kohlelagerstätte, die in Gesteinsschichten sichtbar ist.

Es ist möglich, Kohlendioxid durch den Prozess der Adsorption an Kohle zu binden. Dies ist eine von vielen Optionen für eine Kohlenstoffspeichertechnologie, eine Methode, um die Auswirkungen der globalen Erwärmung durch Abscheidung und dauerhafte Speicherung von CO₂ zu begrenzen.

Allerdings gibt es in Deutschland nur sehr wenige Standorte mit Kohleflözen, die für eine solche Speicherung geeignet sind, so dass deren Nutzung als potenzielle Lagerstätte von Kohlendioxid nicht favorisiert wird. Neben Kohleflözen gibt es auch Bestrebungen, gasförmiges Kohlendioxid in ehemaligen Öl- und Gasvorkommen oder salzwasserführenden Gesteinsschichten zu speichern, die wesentlich häufiger vorkommen.



Kohleflöz (mittig) zwischen anderen Gesteinsschichten

V 1.2 Modellversuch zur Desorption von Kohlenstoffdioxid in Kohlenflözen

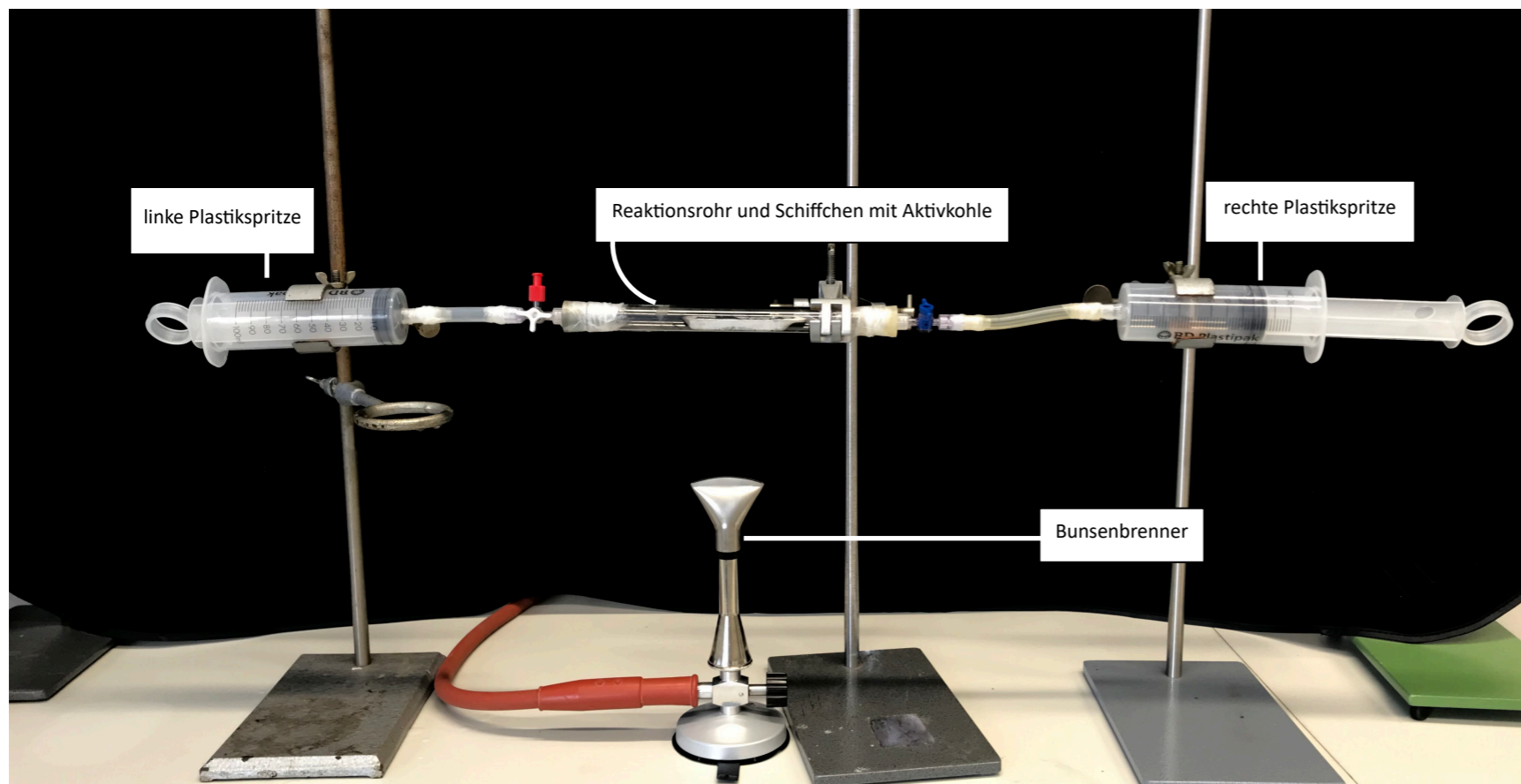
Arbeitsmaterialien

Stativmaterial, 2x 100 mL Plastikspritzen, Reaktionsrohr, Porzellanschiffchen, 2 durchbohrte Stopfen, Bunsenbrenner, Streichhölzer

Chemikalien

Aktivkohle (gepulvert)

Versuchsaufbau

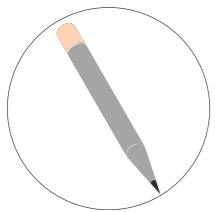


V 1.2



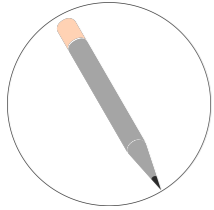
Schutzbrille

1. Verschießen Sie das Ventil der rechten Plastikspritze. Öffnen Sie das Ventil der linken Plastikspritze.
2. Stellen Sie den Bunsenbrenner unter das Reaktionsrohr. Platzieren Sie den Brenner so, dass er direkt unter dem Porzellanschiffchen steht.
3. Erhitzen Sie anschließend das Schiffchen mit Hilfe eines Bunsenbrenners für 2-3 Minuten. Notieren sie die Volumina der Plastikspritzen.
4. Schließen Sie nun auch das Ventil der linken Plastikspritze und lassen Sie die Apparatur für 15 Minuten abkühlen.
5. Lesen Sie die Messwerte an den Plastikspritzen ab.

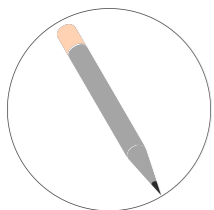


Plastik-spritze	Volumen nach der Druckausübung in [mL] (siehe Modellversuch)	Volumen nach dem Erhitzen in [mL]	Volumen nach dem Abkühlungsprozess in [mL]
links			
rechts			

1. **Erläutern** Sie den Prozess der Desorption mit Hilfe Ihrer Beobachtungen. Nutzen Sie auch den Steckbrief zur Aktivkohle aus dem ersten Versuchsteil (V1.1).



2. **Beschreiben** Sie die Auswirkungen einer ungeplanten Desorption für die geologische Speicherung von Kohlenstoffdioxid in Kohleflözen.




V 1.3 Nachweis von Kohlenstoffdioxid

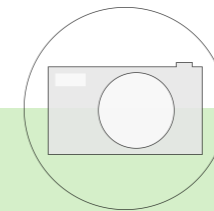
Arbeitsmaterialien

zwei 100 mL Bechergläser, Feststofftrichter, Stopfen, Schnappdeckelglas mit Deckel und Dreiwegehahn, Parafilm, Waage, Spatel, 100 mL Plastikspritze mit Zweiwegehahn, Folienstift, Reagenzglasständer, 3 Reagenzgläser, Pipette

Versuchsaufbau

Chemikalien

Aktivkohle (gepulvert), Kohlenstoffdioxid CO₂ (im Infusionsbeutel), Kalkwasser (Calciumhydroxid-Lösung, Ca(OH)₂(aq)) 



Ergänzen Sie hier ein Foto und beschriften Sie dieses.

Versuchsdurchführung und Beobachtung - Nachweis von Kohlenstoffdioxid

V 1.3



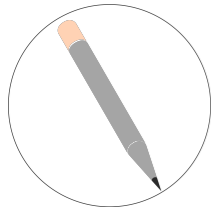
Schutzbrille

1. Nummerieren Sie drei Reagenzgläser mit den römischen Zahlen I-III und geben Sie jeweils 4 mL Kalkwasser hinzu.
2. Nehmen Sie Reagenzglas I und füllen Sie 150 mL Kohlenstoffdioxidgas aus dem Infusionsbeutel hinein. Verschließen die das Reagenzglas mit einem Stopfen und schütteln Sie.
3. Wiegen Sie 0,5 g Aktivkohle ab und füllen Sie diese in Reagenzglas II. Notieren Sie Ihre
4. Wiegen Sie erneut 0,5 g Aktivkohle ab und geben Sie diese in ein Schnappdeckelglas. Verschließen Sie dieses mit einem Deckel.
5. Leiten Sie das Kohlenstoffdioxidgas aus dem 150 mL Infusionsbeutel vollständig über den Dreiwegehahn in das Schnappdeckelglas ein. Verschließen Sie danach alle Ventile und nehmen Sie den Infusionsbeutel ab.
6. Schütteln Sie das Schnappdeckelglas für eine Minute. Geben Sie den Inhalt des Schnappdeckelglases in Reagenzglas III.
7. Lassen Sie die Proben I-III für 10 Minuten ruhig stehen und notieren Sie dann Ihre Beobachtungen!

Versuchsbeobachtung - Nachweis von Kohlenstoffdioxid

Notieren Sie Ihre Beobachtungen in der Tabelle.

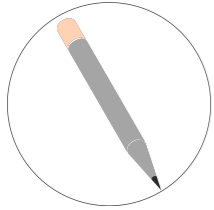
Proben bitte nicht schütteln!



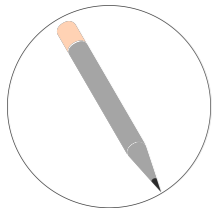
Reagenzglas	I) Kalkwasser und Kohlenstoffdioxid	II) Kalkwasser und Aktivkohle	III) Kalkwasser, Aktivkohle und Kohlenstoffdioxid
Beobachtung			

Auswertung - V 1.3 Nachweis von Kohlenstoffdioxid

1. **Vergleichen** Sie die Beobachtungen in den Reagenzgläsern I-II und erläutern Sie den Nachweis mit Kalkwasser.



1. **Stellen** Sie eine passende Reaktionsgleichung für den Kalkwasser-Nachweis **auf**.

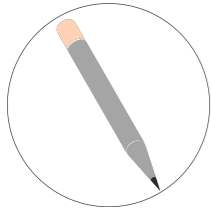


Kalkwasser + Kohlenstoffdioxid \rightarrow Calciumcarbonat + Wasser

_____ () + _____ () \rightarrow _____ () + _____ ()

Bilanz Block 2: Wohin mit den CO₂-Emissionen?

Fassen Sie die Hauptkenntnisse aller drei Versuche in der Tabelle zusammen.



Hauptkenntnis Versuch 1.1 Modellversuch Kohleflöze	Hauptkenntnis Versuch 1.2 Desorption von Kohlenstoffdioxid	Hauptkenntnis Versuch 1.3 Nachweis Kohlenstoffdioxid

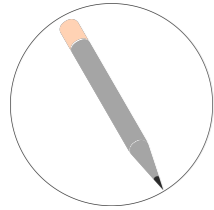
Zum Weiterdenken:

Gegen die Pläne einer Etablierung von CCS-Standorten in Brandenburg und Schleswig-Holstein entstandenen 2009 und 2010 vermehrt Bürgerproteste. Nennen Sie mögliche Gründe, die protestierende Bürgerinnen und Bürger hervorbringen könnten.

Sprinter Aufgabe: Diskutieren Sie, ob es sich bei CCS um eine Brückentechnologie oder eine Zukunftstechnologie handelt.

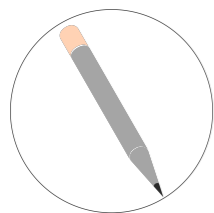
A 2.1

Formulieren Sie zu Ihrem Themenblock ausgehend von Ihren Experimenten adressierte Probleme und mögliche Lösungsansätze in Stichpunkten.



A 2.2

Notieren Sie Stichpunkte zu den Themen Ökologie, Ökonomie & Politik, die Ihnen im Zusammenhang mit dem Themenbereich *Carbon Capture and Storage* einfallen.



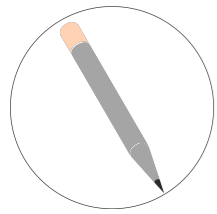
<hr/> <hr/> <hr/>	<hr/> <hr/> <hr/>	<i>Bürgerprotest gegen CCS</i> <hr/> <hr/> <hr/>
Ökologie	Ökonomie	Politik

SOCME - System Oriented Concept Map Extension

Aufgabe Erstellen Sie in Ihrer Gruppe ausgehend von Ihren Vorarbeiten eine SOCME. Nutzen Sie dazu die Vorlage auf der nächsten Seite und bringen Sie Ihre Erkenntnisse aus den Aufgaben 2.1 und 2.2 ein.

Was ist eine SOCME?

SOCME ist ein Akronym für **S**ystem **O**riented **C**oncept **M**ap **E**xtension und dient dazu komplexe Sachverhalte mit Querbeziehungen grafisch darzustellen. Concept Maps sind selbst Erweiterungen von Mind Maps, die zusätzlich gerichtete und beschriftete Pfeile haben. Entlang dieser Pfeile lassen sich Sätze bilden, die den Zusammenhang erläutern. Bei SOCMEs sind die Unterbegriffe zusätzlich noch sortiert und durch farbliche Unterlegung gruppiert. So können - wie hier - verschiedene Perspektiven auf ein Thema übersichtlich dargestellt werden.



Ökologische Dimension

Politische Dimension

Ökonomische Dimension

erhöhte Kohlenstoffdioxidemissionen

machen...zwingend notwendig

Carbon Capture and Storage

Wege aus der Klimakrise

ermöglicht

Kulturelle Dimension

Soziale Dimension

Hinweis



Sie haben das Ende der Aufgaben für ihre Gruppe erreicht. Sie werden gleich in neue Gruppen zusammengesetzt und bearbeiten dann u.a. die folgenden Aufgaben.

A 2.3 Fassen Sie für Ihre Teammitglieder die Experimente und Ergebnisse Ihres Themenbereichs mündlich kurz zusammen. Nutzen Sie Ihre SOCME als Orientierungshilfe.

Themenbereich 1: Treibhauseffekt

Themenbereich 2: Stickoxidemissionen beim Auto

Themenbereich 3: Carbon Capture and Storage

Themenbereich 4: Photoreformierung

A 2.4 Verorten Sie nun Ihre Themenbereiche 1-4 in der gemeinsamen SOCME auf der nächsten Seite. Versuchen Sie mit beschrifteten Pfeilen Verbindungen zu allen fünf Dimensionen und den vorgegebenen Begriffen zu formulieren.

