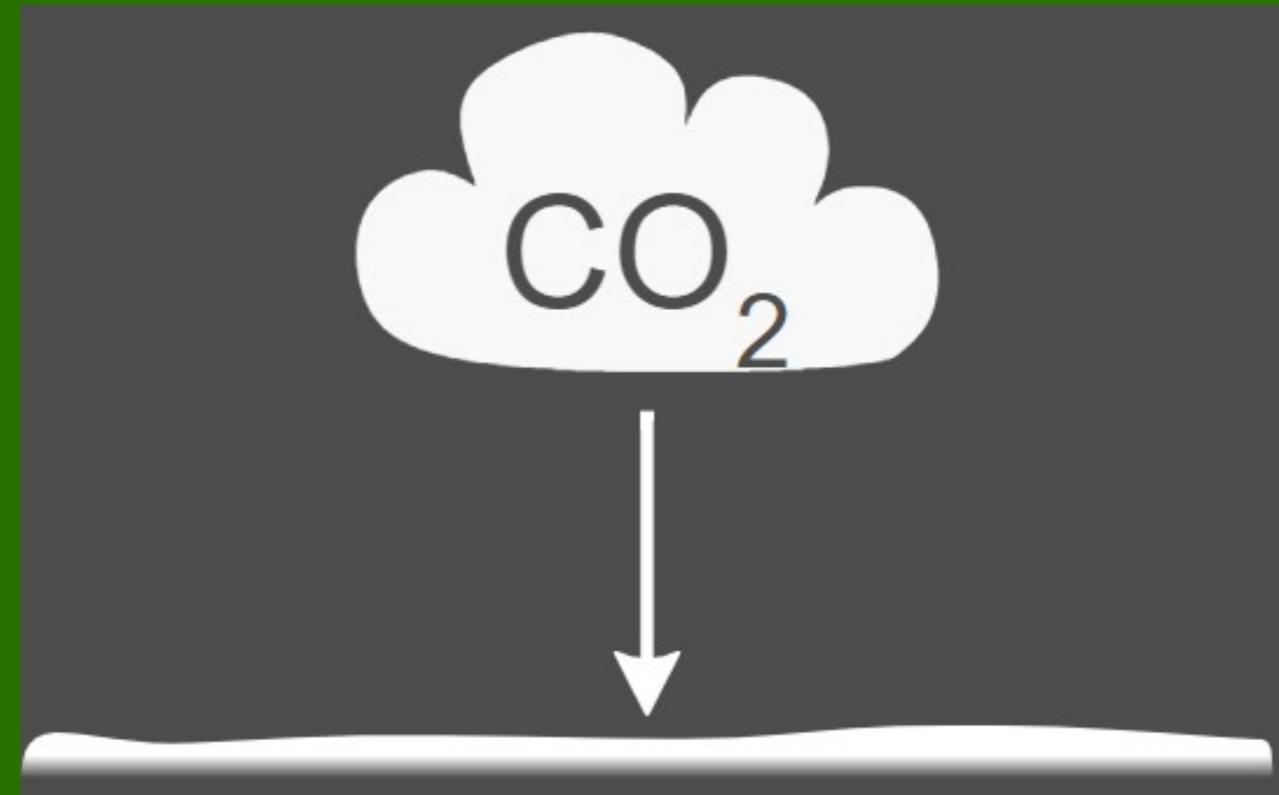


Chemie-Labothek

# CARBON CAPTURE AND STORAGE

BLOCK 3

Carbon Capture and Storage - Wohin mit den CO<sub>2</sub>-Emissionen?



## BLOCK 3

# ANLEITUNG & HINWEISE

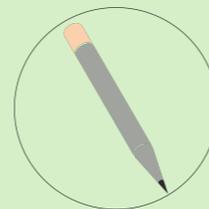
Im folgenden Abschnitt finden Sie die Anleitungen zu den Versuchen. Versuchsdurchführungen sind mit einem „V“ gekennzeichnet (z. B. V 2.1). Anschließend sind einzelne Auswertungsfragen/-aufgaben angefügt.

Zwischendurch werden Sie diverse Symbole und Piktogramme erkennen.

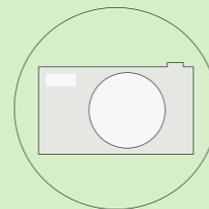


Dieses Symbol weist Sie darauf hin, dass Sie für die beschriebenen Arbeiten eine Schutzbrille benötigen.

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:**

A 1.1 Einzelarbeit: Lesen Sie sich Material M1-M4 auf den nächsten zwei Seiten sorgfältig durch. Unterstreichen Sie wichtige Inhalte.

A 1.2 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.



---

---

---

A 1.3 Partnerarbeit: Stellen Sie sich abwechselnd ihre Fragen vor und beantworten Sie sie mithilfe der Materialien. Notieren Sie sich Unklarheiten zur späteren Besprechung.

# Material 1 – Die vereinfachte Prozesskette von Carbon Capture and Storage

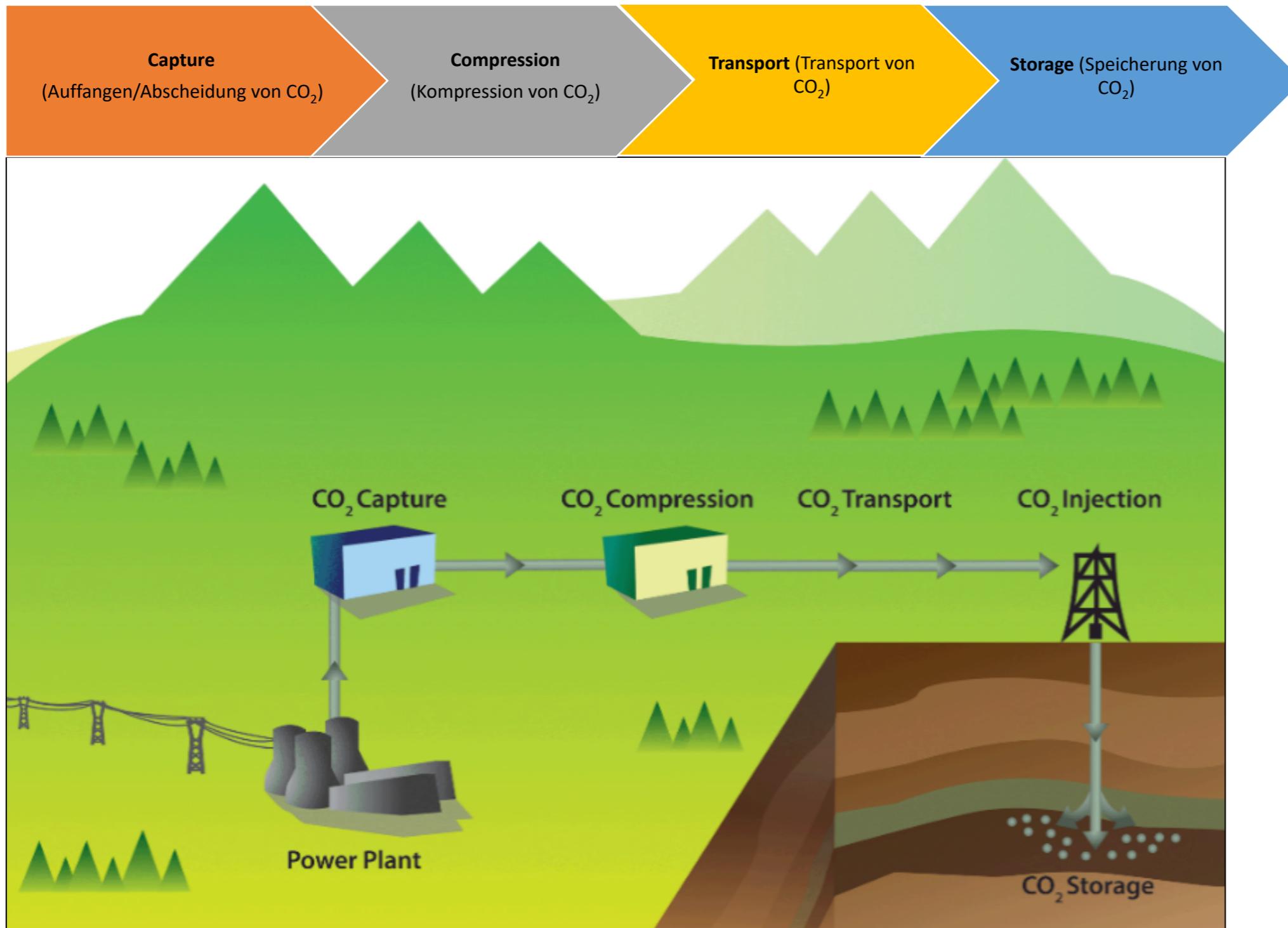


Abbildung: The Royal Society of Chemistry, <https://pubs.rsc.org/-/content/articlehtml/2016/fd/c6fd00148c>, (letzter Zugriff 27.01.21)

## Material 2 – Geologische Speicheroptionen (Storage)

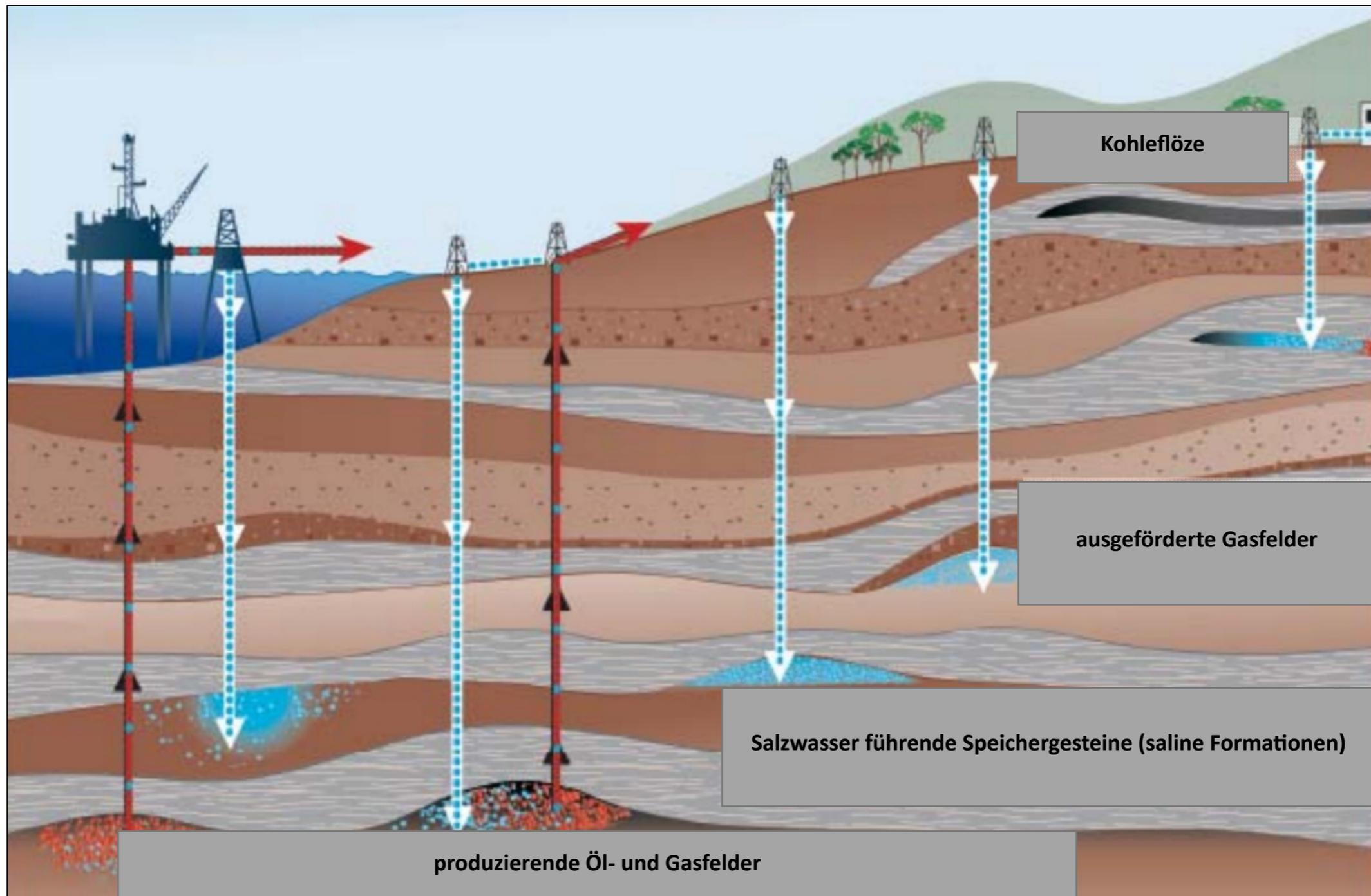
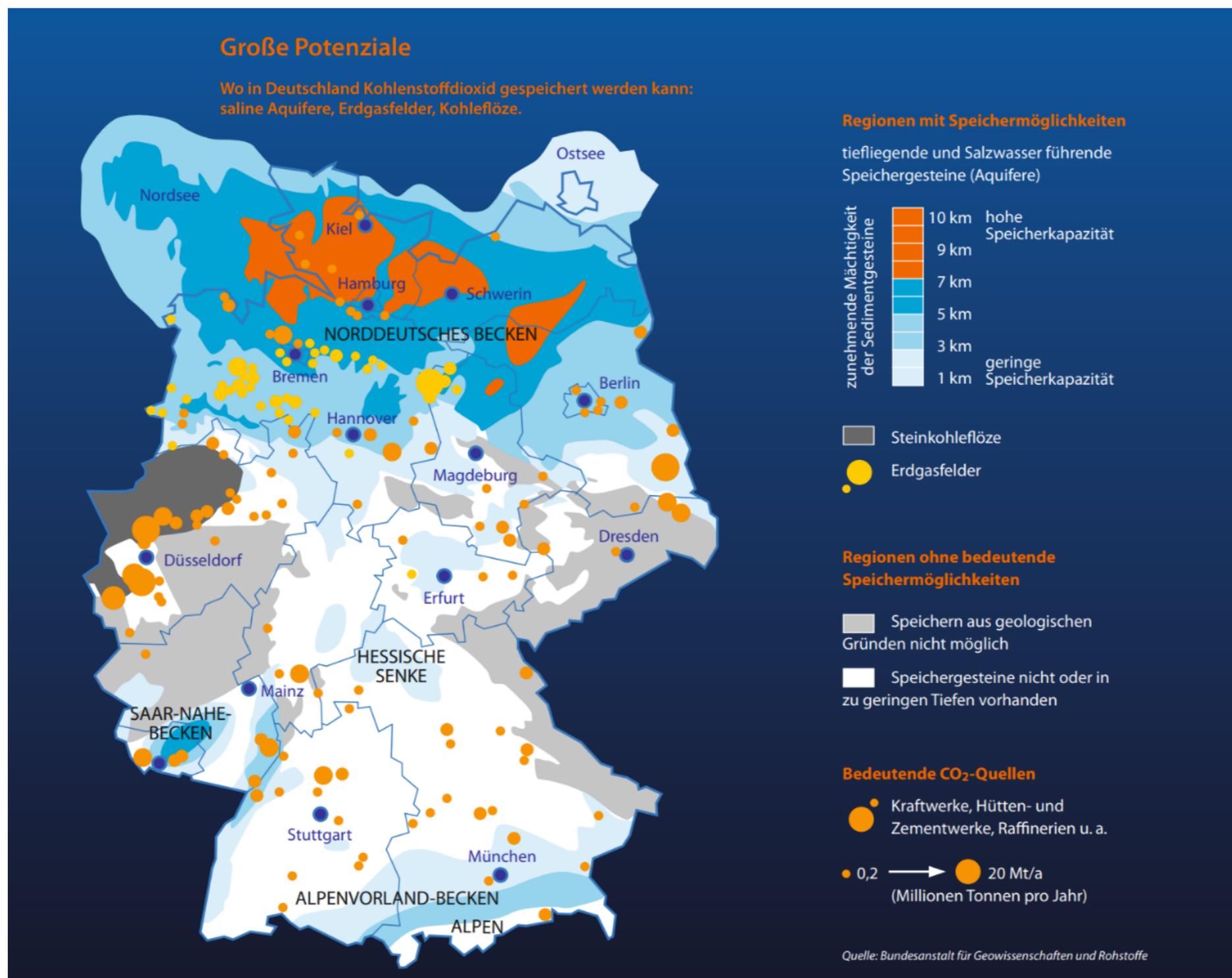


Abbildung: adaptiert nach Dahmke, Andreas. Institut für Geowissenschaften der Universität Kiel. Folie 15. [https://www.schleswig-flensburg.de/media/custom/146\\_4295\\_1.PDF?1256574029](https://www.schleswig-flensburg.de/media/custom/146_4295_1.PDF?1256574029)  
(letzter Zugriff 27.01.21)



Quelle: Zeitbild Wissen: Naturwissenschaft und Technik im Unterricht 2011 „Klimaschutz und CCS. Abtrennung und Speicherung von CO<sub>2</sub>“ S.21, [https://www.zeitbild.de/wp-content/uploads/2009/08/CCS\\_Brosch\\_2011Web.pdf](https://www.zeitbild.de/wp-content/uploads/2009/08/CCS_Brosch_2011Web.pdf) (letzter Zugriff 27.01.21)

CCS steht für *Carbon Capture and Storage*, das heißt die Abscheidung von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) 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 CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre zu verringern: Man kann Festbrennstoffe - etwa Stein- oder Braunkohle - vergasen und dabei das CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>-Abscheidung geeignet ist der so genannte Oxyfuel-Prozess: Dabei werden fossile Brennstoffe mit reinem Sauerstoff verbrannt und das entstehende CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>-Minderungen in den Abgasen der Kraftwerke von 80 %- 98 % Prozent erreichen.

15 Am Ende der CCS-Technologiekette steht die Speicherung des CO<sub>2</sub> 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 Rohstoffe zu gewinnen.

20 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-Emissionsreduzierungen erbringen kann.

**R a u c h g a s w ä s c h e n :** 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.

## Versuchsteil A: Modellversuch zur Speicherung von Kohlenstoffdioxid in Kohlenflözen

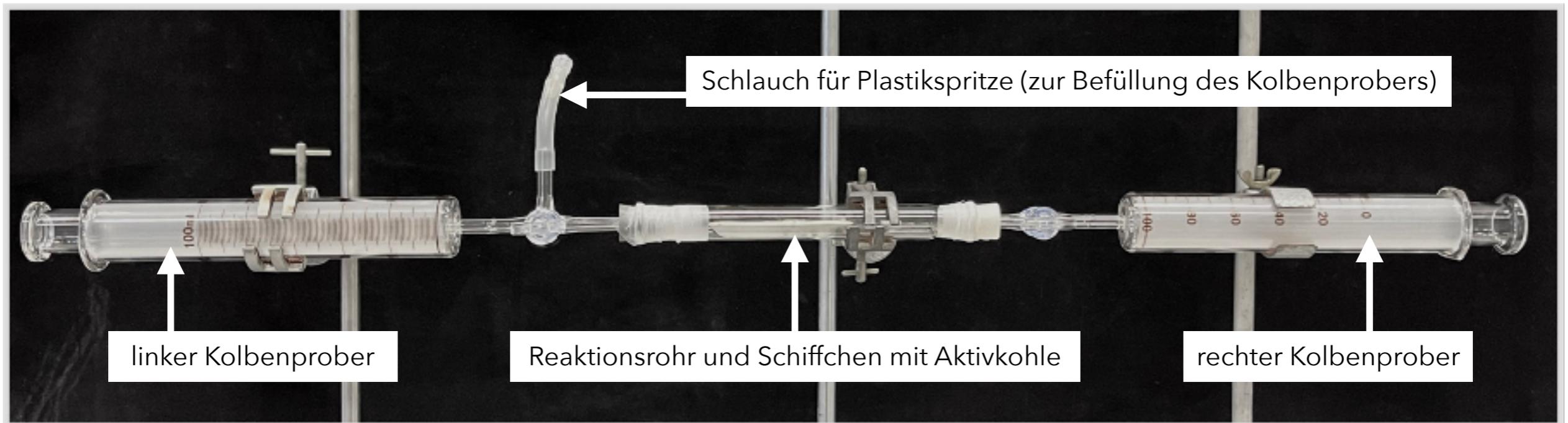
### Arbeitsmaterialien

Stativmaterial, 2x 100-mL-Kolbenprober, 1x 100-mL-Plastikspritzen, Plastikschauch, Reaktionsrohr, Porzellanschiffchen, 2 durchbohrte Stopfen, Parafilm, Waage, Spatel, Petrischale

### Chemikalien

Aktivkohle (Pulver),  
Kohlenstoffdioxid CO<sub>2</sub> (im Infusionsbeutel)

### Versuchsaufbau



## Versuchsdurchführung – Modellversuch zur Speicherung von Kohlenstoffdioxid in Kohlenflözen

Versuchsteil A



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 Kolbenprober mit Stativmaterial befestigen (siehe Versuchsaufbau). Achten Sie darauf, dass die Skalierung der Kolbenprober so platziert ist, dass Sie später Messwerte ablesen können. Schieben Sie das Porzellanschiffchen in das Reaktionsrohr. Verbinden Sie nun die Kolbenprober über die Stopfen mit dem Reaktionsrohr. Dichten Sie die Übergangsstellen mit Parafilm ab.
3. Füllen Sie die 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 den linken Kolbenprober mit 100 mL Kohlenstoffdioxid. Notieren Sie die Volumina beider Kolbenprober.
4. Leiten Sie aus dem gefüllten Kolbenprober langsam zunächst 20 mL CO<sub>2</sub> über die Aktivkohle, ohne diese zu verwirbeln. Warten Sie 30 Sekunden, bevor Sie erneut 20 mL CO<sub>2</sub> über die Aktivkohle strömen lassen. Wiederholen Sie diesen Vorgang, bis der Kolbenprober leer ist. Notieren Sie die Volumina der Kolbenprober.
5. Schließen Sie das Ventil am linken Kolbenprober. Üben Sie anschließend sanften Druck (ca. 5–10 mL) auf den Stempel des rechten, gefüllten Kolbenprober aus. Halten Sie den Druck für ca. 10 Sekunden konstant und lassen Sie anschließend den Stempel los. Notieren Sie die Volumina der Kolbenprober.

Quelle Versuch (Versuchsdurchführung umformuliert und angepasst): Emden, Markus. CO<sub>2</sub>-Sequestrierung – ein Modellexperiment zu Gegenmaßnahmen zum Klimawandel. In Unterricht Chemie 171/2019. <https://www.friedrich-verlag.de/chemie/gesellschaft-nachhaltigkeit/co2-sequenzierung-ein-modellexperiment-zu-gegenmassnahmen-zum-klimawandel-3299> (letzter Zugriff 27.01.21).

■ Versuchsbeobachtung – Modellversuch zur Speicherung von Kohlenstoffdioxid in Kohlenflözen

Notieren Sie Ihre Beobachtungen in der Tabelle.



Kolben- prober	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 – Modellversuch zur Speicherung von Kohlenstoffdioxid in Kohlenflözen**

A 2.1 Erläutern Sie die Volumenveränderungen nach dem Überleiten des Gases über die Aktivkohle (Schritt 4). Nutzen Sie die Informationen des Steckbriefs „Aktivkohle“ und beziehen Sie die Adsorptionseigenschaften der Aktivkohleoberfläche in Ihre Schilderungen mit ein.



Three horizontal lines on a light green background, intended for the student's answer to question A 2.1.

A 2.2 Die Ausübung von Druck in Schritt 5 simuliert die Hochdruckverpressung von CO<sub>2</sub> unter der Erde. Erläutern Sie, welchen Einfluss die Druckerhöhung auf das CO<sub>2</sub> hat.



Three horizontal lines on a light green background, intended for the student's answer to question A 2.2.

**Auswertung - Modellversuch zur Speicherung von Kohlenstoffdioxid in Kohlenflözen**

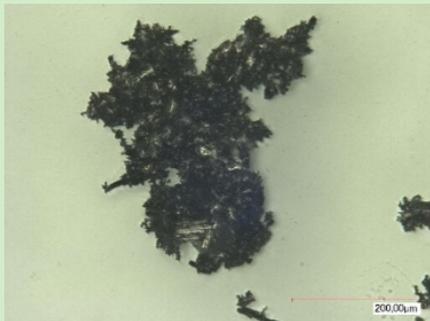
A 2.3 Beurteilen Sie das Potential der geologischen Speicherung von CO<sub>2</sub> in Kohleflözen anhand Ihrer Versuchsergebnisse und dem Steckbrief „Kohleflöze“.



A large green rectangular area containing seven horizontal black lines, serving as a writing space for the answer.

### **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 m<sup>2</sup> 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 und in der Automobilindustrie eingesetzt.

### **Steckbrief Kohleflöze**

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

Es ist möglich, Kohlenstoffdioxid durch den Prozess der Adsorption an Kohle zu binden. Dies ist eine von vielen Optionen für eine Kohlenstoffspeichertechnologie, eine Methode, um die globale Erwärmung durch Abscheidung und dauerhafte Speicherung von CO<sub>2</sub> zu begrenzen.

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



Kohleflöz (mittig) zwischen anderen Gesteinsschichten

## Versuchsteil B: Modellversuch zur Desorption von Kohlenstoffdioxid in Kohlenflözen

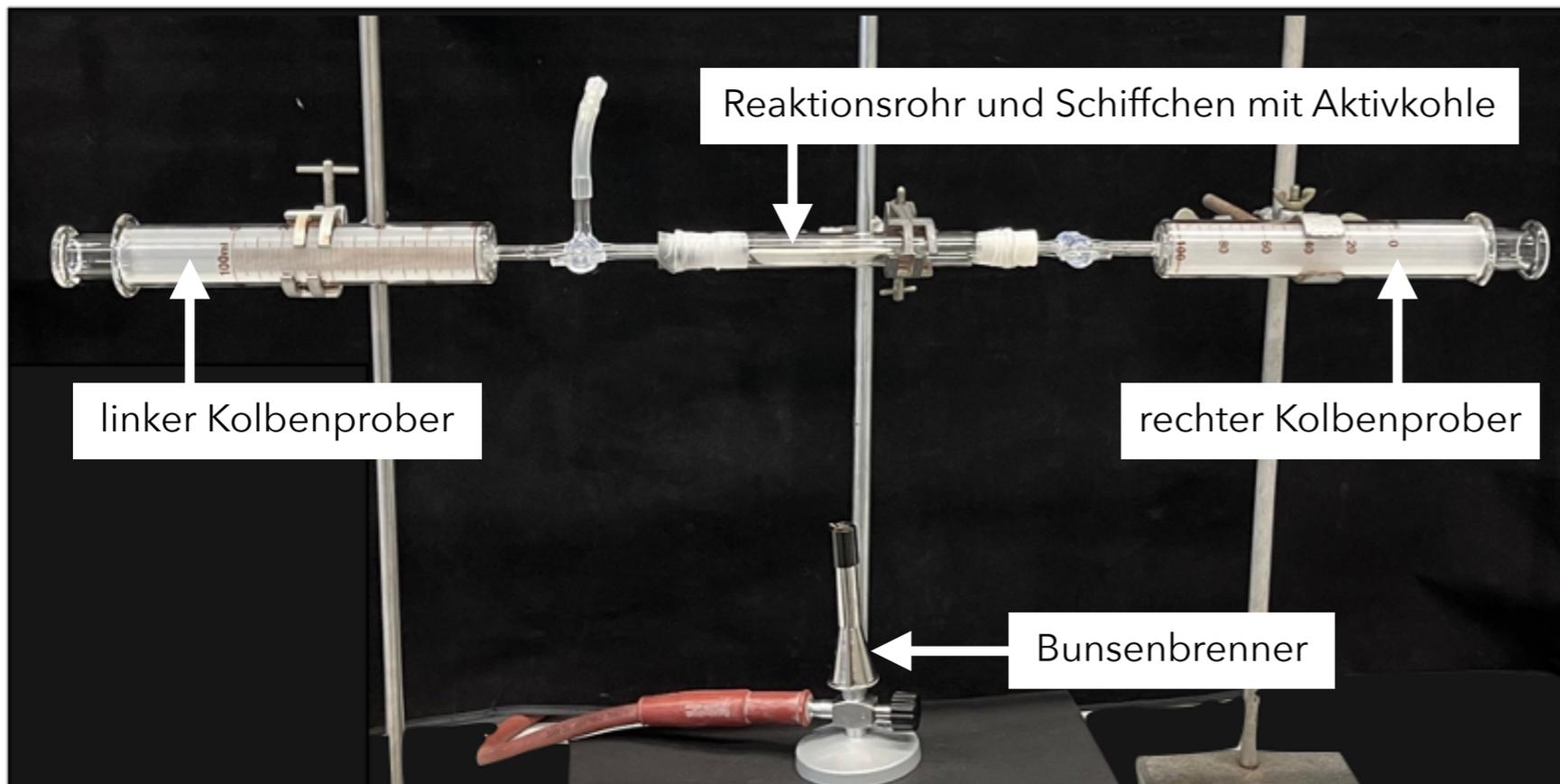
### Arbeitsmaterialien

Stativmaterial, 1x 100-mL-Plastikspritzen, 2x 100-mL-Kolbenprober, Reaktionsrohr, Porzellanschiffchen, 2 durchbohrte Stopfen, Bunsenbrenner, Streichhölzer

### Chemikalien

Aktivkohle (Pulver)

### Versuchsaufbau



## ■ Versuchsdurchführung und Beobachtung – Modellversuch zur Desorption von Kohlenstoffdioxid in Kohlenflözen

Versuchsteil B



Schutzbrille

1. Verschließen Sie das Ventil des rechten Kolbenprobers. Öffnen Sie das Ventil des linken Kolbenprobers.
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 mithilfe dem Bunsenbrenner für 2-3 Minuten. Notieren Sie die Volumina der Kolbenprober.
4. Lassen Sie die Apparatur für 15 Minuten abkühlen.
5. Lesen Sie die Messwerte an den Kolbenprobern ab.

*Notieren Sie Ihre Beobachtungen in der Tabelle.*



Kolben- prober	Volumen nach der Druckausübung in [mL] (siehe Versuchsteil A)	Volumen nach dem Erhitzen in [mL]	Volumen nach dem Abkühlungsprozess in [mL]
links			
rechts			

## Auswertung – Modellversuch zur Desorption von Kohlenstoffdioxid in Kohlenflözen

A 3.1 Erläutern Sie den Prozess der Desorption mithilfe Ihrer Beobachtungen. Nutzen Sie auch den Steckbrief zur Aktivkohle.



---

---

---

A 3.2 Beschreiben Sie die Auswirkungen einer ungeplanten Desorption für die geologische Speicherung von Kohlenstoffdioxid in Kohleflözen.



---

---

---

## Versuchsteil C: Nachweis von Kohlenstoffdioxid

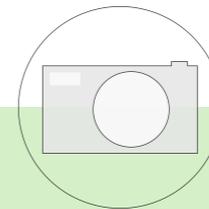
### Arbeitsmaterialien

Schnappdeckelglas mit Deckel und  
Dreiwegehahn, Parafilm, Waage, Spatel, 100 mL  
Plastikspritze mit Zweiwegehahn,  
Reagenzglasständer, 3 Reagenzgläser,  
3 Reagenzglasstopfen, Pipette, Folienstift

### Versuchsaufbau

### Chemikalien

Aktivkohle C (gekörnt), Kohlenstoffdioxid  $\text{CO}_2$   
(im Infusionsbeutel), „Kalkwasser“  
(Calciumhydroxid-Lösung,  $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{aq})$ ) 



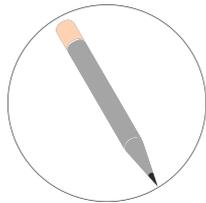
*Ergänzen Sie hier ein Foto und  
beschriften Sie dieses.*

## Versuchsdurchführung und Beobachtung - Nachweis von Kohlenstoffdioxid

Versuchsteil C



Schutzbrille



1. Nummerieren Sie die Reagenzgläser mit den römischen Zahlen I-III und geben Sie jeweils 3 mL Kalkwasser hinein.
2. Nehmen Sie Reagenzglas I und füllen Sie 100 mL Kohlenstoffdioxidgas aus dem Infusionsbeutel hinein. Verschließen Sie das Reagenzglas mit einem Stopfen und schütteln Sie.
3. Wiegen Sie 0,25 g Aktivkohle ab und füllen Sie diese in Reagenzglas II. Notieren Sie Ihre Beobachtungen.

---

---

---

4. Wiegen Sie erneut 0,25 g Aktivkohle ab und geben Sie diese in ein Schnappdeckelglas. Verschließen Sie dieses mit dem Deckel.
5. Entnehmen Sie erneut 100 mL Kohlenstoffdioxidgas mit einer Plastikspritze aus dem Infusionsbeutel. Entleeren Sie die Spritze vollständig in das Schnappdeckelglas. Verschließen Sie das Schnappdeckelglas mit einem Deckel.
6. Schütteln Sie das Schnappdeckelglas für eine Minute. Geben Sie den Inhalt des Schnappdeckelglases in Reagenzglas III und verschließen Sie es mit einem Stopfen.
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.



<b>Reagenzglas</b>	<b>I)</b> Kalkwasser und Kohlenstoffdioxid	<b>II)</b> Kalkwasser und unbehandelte Aktivkohle	<b>III)</b> Kalkwasser und behandelte Aktivkohle
<b>Beobachtung</b>			

## Auswertung – Nachweis von Kohlenstoffdioxid

A 4. 1 Vergleichen Sie die Beobachtungen in den Reagenzgläsern I-III und erläutern Sie den Nachweis mit Kalkwasser.



---

---

---

A 4. 2 Formulieren Sie eine passende Reaktionsgleichung für den Kalkwasser-Nachweis.



Kalkwasser (aq) + Kohlenstoffdioxid (g) → Calciumcarbonat (s) + Wasser (l)

\_\_\_\_\_ ( ) + \_\_\_\_\_ ( ) → \_\_\_\_\_ ( ) + \_\_\_\_\_ ( )

## Bilanz Block 2: Wohin mit den CO<sub>2</sub>-Emissionen?

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



Hauptkenntnis Versuchsteil A Modellversuch Kohleflöze	Hauptkenntnis Versuchsteil B Desorption von Kohlenstoffdioxid	Hauptkenntnis Versuchsteil C Nachweis Kohlenstoffdioxid

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

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

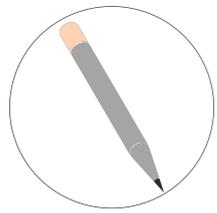


## SOCME - System Oriented Concept Map Extension

**Aufgabe** Erstellen Sie in Ihren neuen Gruppen ausgehend von Ihren Vorarbeiten eine SOCME. Nutzen Sie dazu jeweils die drei Begriffe/Themen, die Sie in den vorherigen Gruppen zusammengetragen haben. Nutzen Sie dazu die Vorlage auf der nächsten Seite.

### 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

Erhöhte  
Kohlenstoffdioxidemissionen

machen...zwingend notwendig

**Wege aus der  
Klimakrise**

ermöglichen

Carbon Capture and  
Storage Technologie

Ökonomische  
Dimension

Politische  
Dimension

Kulturelle Dimension

Soziale Dimension