
Einsatz im Unterricht

Methodische und didaktische Hinweise

Auf den folgenden Seiten finden Sie Arbeitsblätter, die Sie an der perforierten Linie heraustrennen und für den Einsatz im Unterricht nutzen können. Sie sind aber ebenso für Ihre persönliche Unterrichtsvorbereitung geeignet.

Die Schülerinnen und Schüler können sich in arbeitsteiliger Gruppenarbeit mit je einem Thema beschäftigen. Jede Kleingruppe erhält ein Arbeitsblatt mit ihrem Thema und arbeitet dieses Thema anhand der Informationen auf dem Arbeitsblatt, der zugehörigen Internetrecherche und weiterer möglicher Recherchen (entsprechende Kapitel im Physik- oder Chemieschulbuch, Zeitung etc.) auf. Dabei informieren sich die Jugendlichen gleichzeitig zu den einzelnen Themen, sammeln Informationen/Argumente und stellen ihre Position auf. Dies kann auch in Form einer Wochenhausaufgabe oder einer Hausarbeit geschehen. Nach der Bearbeitung der Arbeitsblätter präsentieren sie ihr Thema der ganzen Klasse. Die moderierende Lehrkraft führt die Klasse am Ende aller Präsentationen in eine offene Diskussion, in der die erarbeiteten Pro- und Kontra-Argumente ausgetauscht werden. Zusätzlich können Sie die Einstellung Ihrer Klasse zu CCS durch eine Abstimmung zu Beginn und am Ende der Lerneinheit abfragen.

Die Arbeitsblätter vertiefen mit anschaulichen Beispielen und zahlreichen Arbeitsaufträgen die in diesem Magazin behandelten Themen und sollen die Schülerinnen und Schüler einerseits zur selbstständigen Auseinandersetzung mit den Themenkomplexen Klimawandel, CO₂ und CCS-Technologie anregen. Andererseits dienen die Arbeitsblätter der Kontrolle des Erlernten.

Ausgehend von grundlegenden Informationen über den weltweiten Energiebedarf und den CO₂-Kreislauf vertieft

das Magazin die Thematik zur Technologie der CO₂-Abscheidung, das sogenannte CCS-Verfahren, die bestehende und neu entstehende Kohlekraftwerke klimafreundlich macht. Das Magazin widmet sich auch den Fragen der Nachhaltigkeit der CCS-Technologie und den Perspektiven einer industriellen Nutzung von CO₂.

Im Folgenden möchten wir Ihnen einige Anregungen zum Einsatz der Arbeitsblätter in Ihrem Unterricht geben. Alle Arbeitsblätter können unabhängig genutzt werden.

Die **Arbeitsblätter 1 und 2** eignen sich als Einstieg in die Thematik, da hier Wissen über die **Entstehung von Kohle** und über **Kohlenstoffdioxid** vermittelt bzw. aufgefrischt wird. Der **Lückentext zum CO₂-Molekül auf Arbeitsblatt 3** dient als kleine Lernkontrolle. **Arbeitsblatt 4** widmet sich der Frage der regionalen und zeitlichen **Verfügbarkeit (fossiler) Energieträger** und sieht Internetrecherchen der Schülerinnen und Schüler vor. Thema von **Arbeitsblatt 5** sind die **energiebedingten CO₂-Emissionen** ausgewählter Regionen. Die Aufgabenstellung orientiert sich hier an PISA und zielt auf die richtige Interpretation von Grafiken. Mithilfe von **Arbeitsblatt 6** können Sie eines der drei **Verfahren der CO₂-Abscheidung** im Chemie- oder Physikunterricht detailliert und anschaulich vermitteln, während Sie mit **Arbeitsblatt 7** das **Verständnis für Abscheidungsverfahren** abprüfen können. Mit **Arbeitsblatt 8** soll eine **Diskussion über die Pro- und Kontra-Argumente** der CO₂-Speicherung im Konkreten bzw. den Umgang mit neuen Technologien im Allgemeinen angeregt werden. Durch die Aufgabe, einen Zeitungsartikel zu schreiben, haben alle Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit, sich die Argumente aus der Plenumsdiskussion noch einmal zu vergegenwärtigen und eine eigene Meinung zu formulieren.

Lehrplananbindung

Das Molekül CO_2 ist ein sehr guter Ausgangspunkt für einen handlungsorientierten und fächerübergreifenden Unterricht. Während die Rolle von CO_2 als chemische Verbindung (beim Treibhauseffekt, beim Klimawandel oder in Industrie und Technik) in den Fächern **Chemie** und **Biologie** behandelt wird, fällt das Abscheiden von CO_2 aus dem Verbrennungsvorgang in den Bereich des **Physikunterrichts** (physikalische Wäsche) oder wieder des **Chemieunterrichts** (chemische Wäsche).

Die großen Themenkomplexe Kohle, Energieversorgung sowie Klimawandel und -politik stehen auf den Lehr- und Rahmenplänen für den **Politik-, Gemeinschaftskunde- und Geografieunterricht**. Eine weitere spannende, fächerübergreifende Querverbindung zur **Geografie** bietet der Themenbereich der CO_2 -Speicherung: In welchen Gesteinsschichten lässt sich das abgetrennte CO_2 speichern und wie müssen diese Gesteinsschichten überhaupt beschaffen sein?

Neben den technischen und geologischen Fragen zur Speicherung lässt sich in **Ethik, Religion** und auch im **Deutschunterricht** ideal über den gesellschaftlichen Aspekt der Speicherung diskutieren. Weitere Stichpunkte sind hier Nachhaltigkeit, Generationengerechtigkeit und Bürgerbeteiligung.

Nicht zuletzt bietet CCS ebenfalls eine gute Anknüpfung an den **Politik-, Wirtschafts- und Sozial- bzw. Gemeinschaftskundeunterricht** unter den Aspekten „Forschungsstandort Deutschland/Europa“, „Wissenstransfer in Schwellenländer“ oder „technologische Marktführerschaft“.

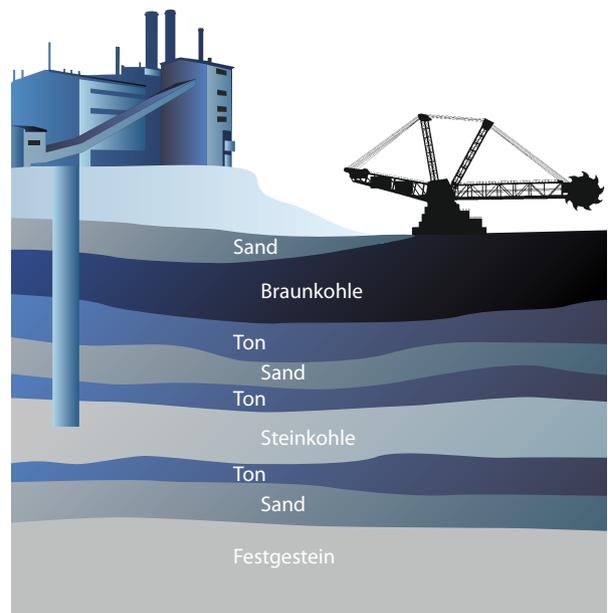
Übersicht der Arbeitsblätter

- 1 Wie entsteht Kohle?
- 2/3 Das CO_2 -Molekül
- 4 Woher kommt unsere Energie in der Zukunft?
- 5 Energiebedingte CO_2 -Emissionen nach Region
- 6 Abscheidung von CO_2 – Nach der Verbrennung
- 7 Abscheidung von CO_2 – Vor der Verbrennung
- 8 Unterirdische Speicherung



Wie entsteht Kohle?

Die Kohle, die heute abgebaut und zur Stromerzeugung oder in der Stahlindustrie verwendet wird, ist über mehrere Millionen Jahre entstanden. Dieser Vorgang wird Inkohlung genannt.



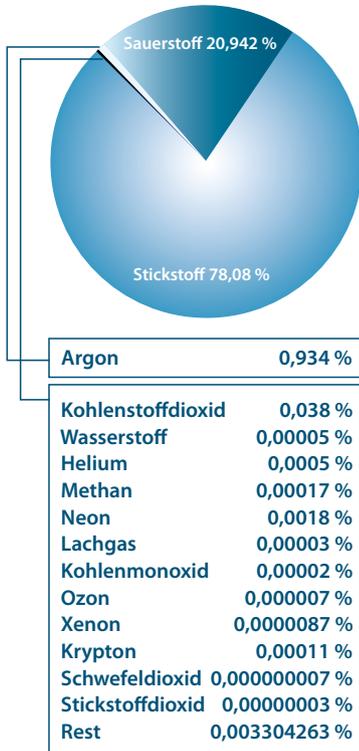
Aufgabe:

1. Beschreibe mit deinen eigenen Worten den oben abgebildeten Vorgang der Inkohlung.

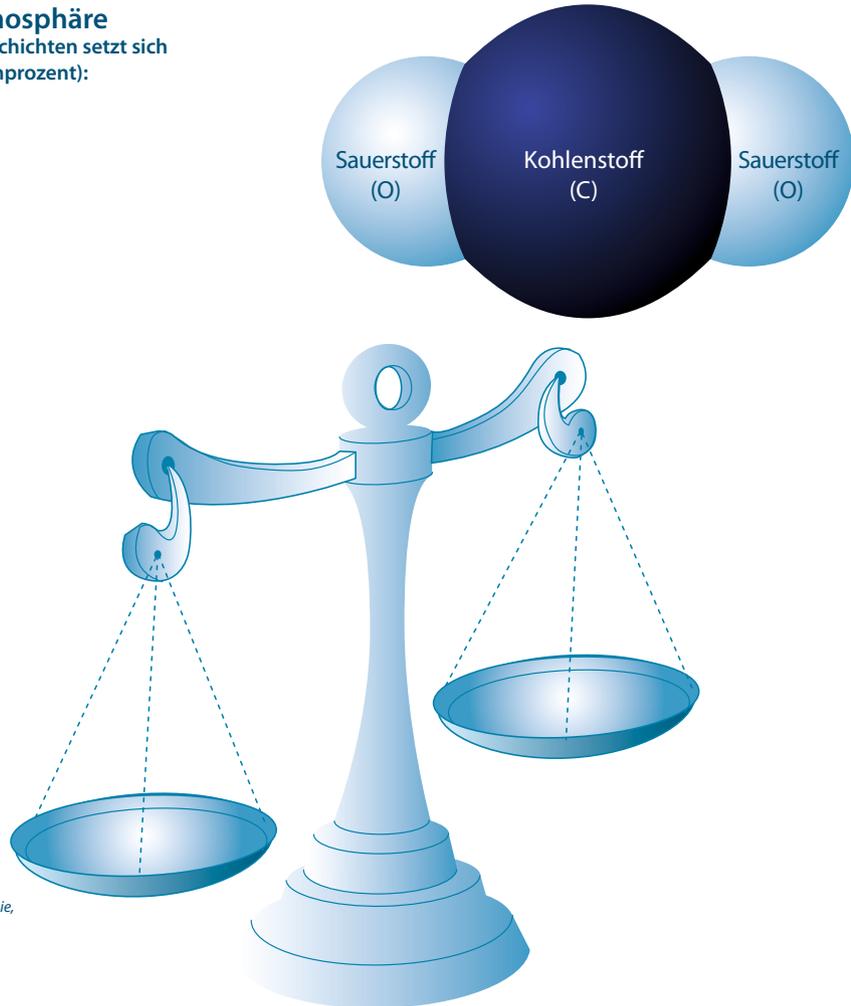
Das CO₂-Molekül

Zusammensetzung der Atmosphäre

Reine, trockene Luft in bodennahen Schichten setzt sich etwa wie folgt zusammen (in Volumenprozent):



Quellen: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie,
Nasa Earth Fact Sheet



! Aufgaben:

- Berechne das Mol-Gewicht von CO₂ und von Luft* und trage die Werte auf die richtige Seite der Waage ein. Nimm dein Periodensystem zu Hilfe.
- Kreuze die richtigen Eigenschaften von CO₂ an:

a) CO ₂ ist	<input type="checkbox"/> brennbar	<input type="checkbox"/> nicht brennbar.
b) CO ₂ ist	<input type="checkbox"/> geruchlos	<input type="checkbox"/> stark riechend.
c) CO ₂ wird bei Raumtemperatur	<input type="checkbox"/> flüssig	<input type="checkbox"/> gasförmig.
d) Aus CO ₂ wird hergestellt:	<input type="checkbox"/> Trockeneis	<input type="checkbox"/> Kunstnebel.
e) Die CO ₂ -Konzentration in ausgeatmeter Luft beträgt	<input type="checkbox"/> ca. 0,04 %	<input type="checkbox"/> ca. 4 %.

* nur annäherungsweise mit den drei wichtigsten Bestandteilen

Das CO₂-Molekül

CO₂ ist eine chemische Verbindung aus Teil und Teilen
 Es ist ein farb- und geruchloses Gas. CO₂ ist nicht explosiv, brennbar oder giftig.

CO₂ ist als Luft und kann daher in tiefliegenden Senken den Sauerstoff

Die Formel CO₂ steht für das Treibhausgas

Es ist für den natürlichen unverzichtbar, denn es absorbiert einen Teil der
 Wärmeeinstrahlung der Sonne und sorgt so für lebensfreundliche Temperaturen.

Aber Achtung! Je mehr CO₂ in der Atmosphäre vorhanden ist, desto Wärmestrahlung
 wird absorbiert und desto wird es. Um gravierende und unabsehbare Folgen des
 Klimawandels zu verhindern, darf die globale Erwärmung nicht mehr als Grad Celsius im Jahr
 2100 gegenüber der vorindustriellen Zeit betragen, so die Wissenschaftler des Weltklimarats

.....

Zur Erreichung dieses Ziels muss ein ganzes Bündel an Maßnahmen umgesetzt werden, da keine Ein-
 zelmaßnahme wie beispielsweise,

..... oder hierfür ausreicht.

Aufgaben:



1. Lies den Text oben aufmerksam durch und ergänze die Lücken mit den folgenden Worten:
 einem, IPCC, Kohlenstoff, Kohlenstoffdioxid, mehr, Sauerstoff, schwerer, Treibhauseffekt, verdrängen,
 wärmer, zwei, zwei.
2. Überlege dir drei Maßnahmen, die notwendig sind, um die Klimaschutzziele zu erreichen, und trage
 sie in die letzten drei Textlücken ein.

Woher kommt unsere Energie in der Zukunft?

Die Internationale Energieagentur IEA geht in neuesten Berechnungen davon aus, dass der weltweite Primärenergiebedarf zwischen 2006 und 2030 um 45 Prozent zunehmen wird. Im Vergleich zu heute wird es jedoch starke regionale Veränderungen in der Nachfrage geben: Vor allem bevölkerungsrei-

che Schwellenländer wie China und Indien werden in kurzer Zeit sehr viel mehr Energie benötigen. Dort wie hier in Europa wird die große Frage sein, wie zukünftig der Bedarf gedeckt wird. Dabei werden sowohl politische als auch Klimaschutzüberlegungen eine wichtige Rolle spielen.



Energieträger	Braunkohle	Steinkohle	Erdöl	Erdgas	Uran
... reicht noch ... Jahre (meine Vermutung)					
... reicht noch ... Jahre (recherchierte Zahlen)					



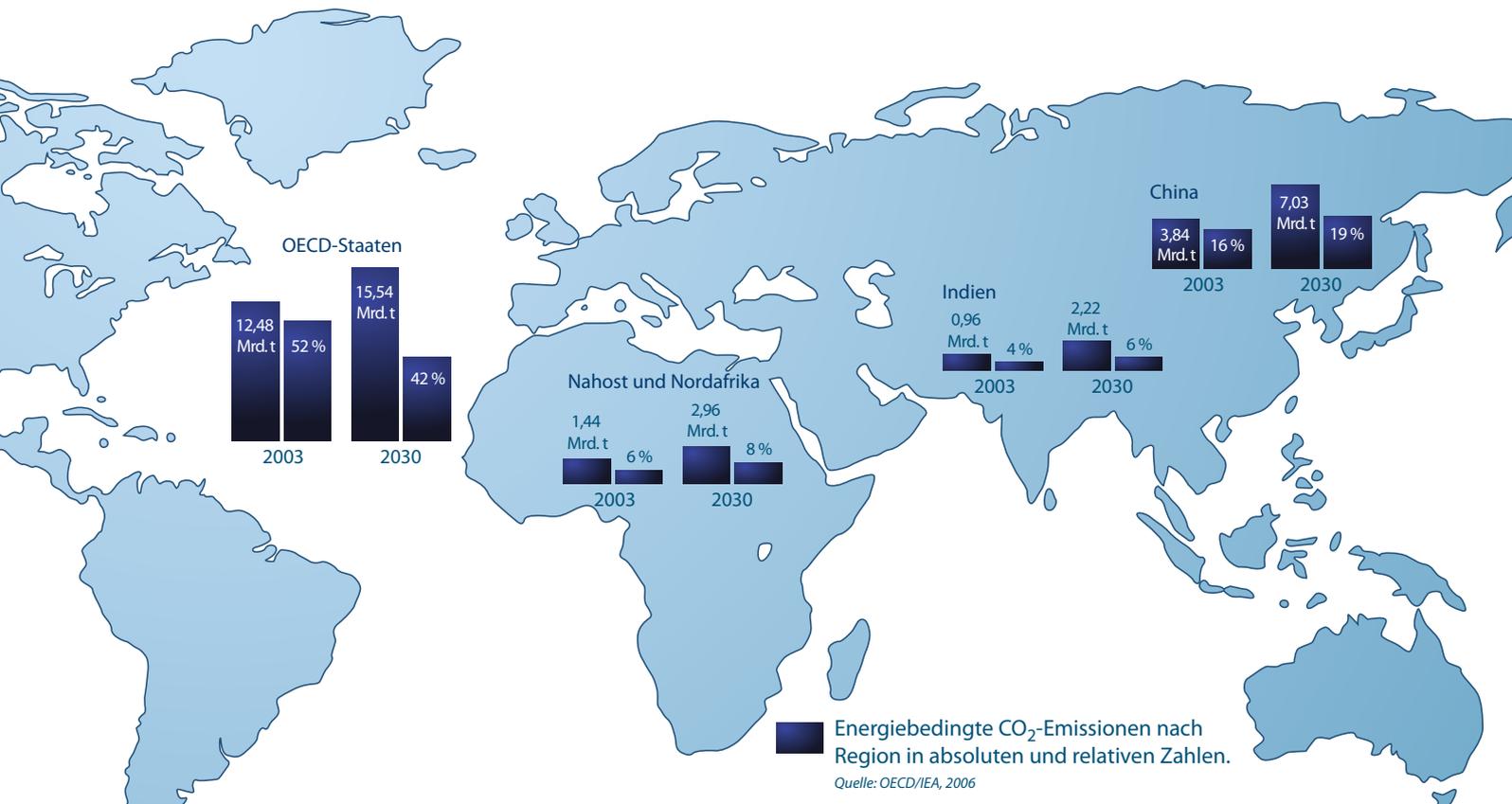
Aufgaben:

1. Trage in die Weltkarte ein, wo welche Energieträger verfügbar sind. Informationen findest du im Schulatlas bei den Themenkarten und im Internet.
2. Wie lange sind die verschiedenen Energieträger noch verfügbar? Trage zunächst deine Vermutung ein und recherchiere dann die tatsächlichen Zahlen.

Energiebedingte CO₂-Emissionen nach Region

Mit der Zunahme des weltweiten Energiebedarfs steigen auch die energiebedingten globalen CO₂-Emissionen von 28 Milliarden Tonnen im Jahr 2006 auf 41 Milliarden Tonnen 2030 (Berechnungen der Internationalen Energieagentur IEA). Das ist eine Steigerung um 45 %. Dabei entfallen drei Viertel der berechne-

ten Zunahme allein auf China, Indien sowie den Nahen und Mittleren Osten und 98 % auf die Nicht-OECD-Länder insgesamt (OECD = Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung). Lediglich in Europa und in Japan werden die energiebedingten CO₂-Emissionen 2030 niedriger liegen als heute.



Aufgabe:

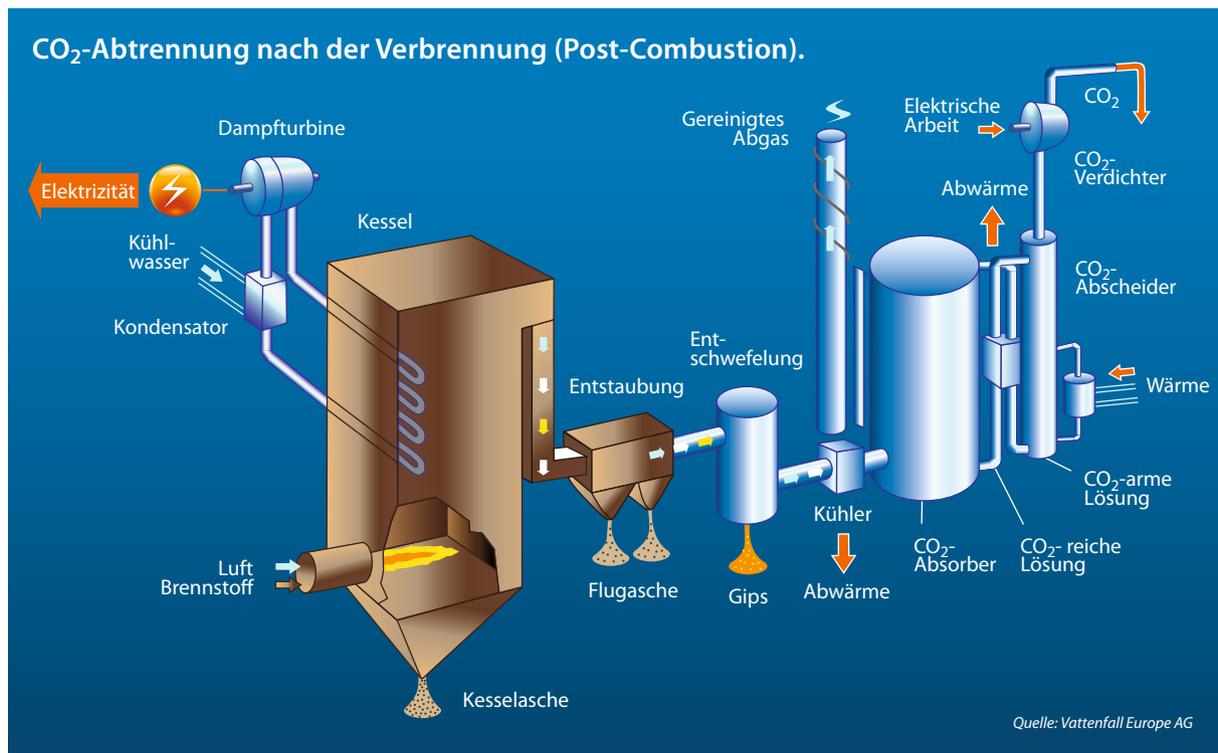
Schau dir die Daten genau an. Welche der folgenden Interpretationen ist richtig, welche falsch?

- | | | |
|---|----------------------------------|---------------------------------|
| a) Der CO ₂ -Ausstoß der OECD-Staaten nimmt bis 2030 zu. | <input type="checkbox"/> richtig | <input type="checkbox"/> falsch |
| b) Der CO ₂ -Ausstoß der OECD-Staaten nimmt bis 2030 ab. | <input type="checkbox"/> richtig | <input type="checkbox"/> falsch |
| c) Da der absolute CO ₂ -Ausstoß weltweit bis 2030 zunimmt, nimmt der prozentuale Anteil der OECD-Staaten am weltweiten CO ₂ -Ausstoß ab. | <input type="checkbox"/> richtig | <input type="checkbox"/> falsch |
| d) Chinas prozentualer Anteil am weltweiten CO ₂ -Ausstoß nimmt zwischen 2003 und 2030 um 19 % zu. | <input type="checkbox"/> richtig | <input type="checkbox"/> falsch |
| e) Der absolute CO ₂ -Ausstoß von Indien und China steigt in den Jahren 2003 bis 2030 von einem Fünftel auf ein Viertel. | <input type="checkbox"/> richtig | <input type="checkbox"/> falsch |

Abscheidung von CO₂ – Nach der Verbrennung

Unter Abscheidung ist das Separieren von CO₂, das im Laufe des Verbrennungsprozesses von beispielsweise Kohle entsteht, gemeint. Das abgetrennte oder abgeschiedene (fast reine) CO₂ kann dann leicht abtransportiert und gelagert werden. Um das Kohlenstoffdioxid abzuscheiden, wird zurzeit an drei unterschiedlichen Verfahren geforscht, die sich haupt-

sächlich durch den Zeitpunkt der Abscheidung unterscheiden: vor, während oder nach der Verbrennung. Zum besseren Verständnis ist hier das sogenannte Post-Combustion-Verfahren, also die Abscheidung von CO₂ nach der Verbrennung, anschaulich dargestellt.



Aufgaben:

1. Was ist das Merkmal des Post-Combustion-Verfahrens?
2. Unter welchen zwei Bedingungen können bestehende Kraftwerke mit diesem Abscheide-Verfahren nachgerüstet werden?

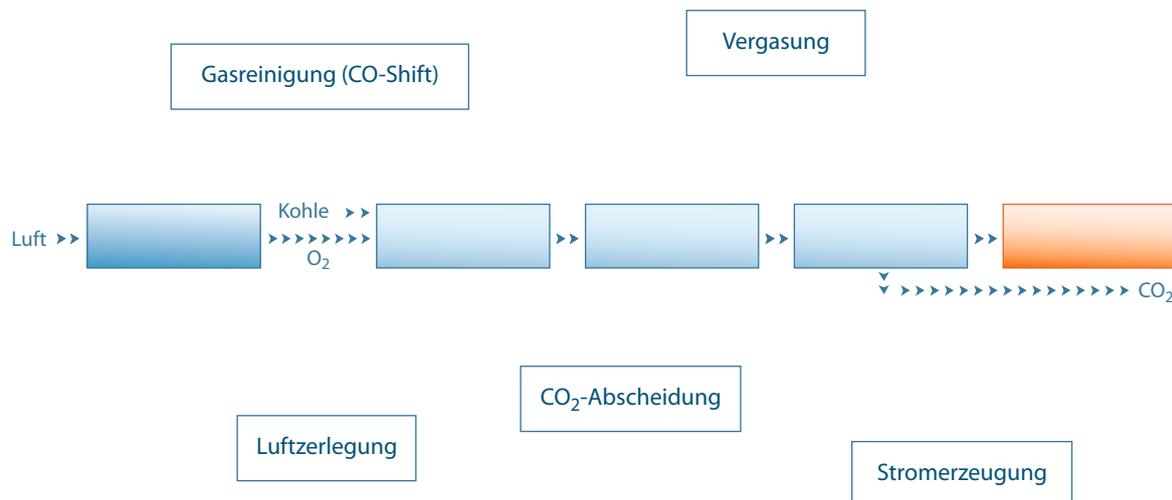
Abscheidung von CO₂ – Vor der Verbrennung

Einen Brennstoff kann man auch schon vor der Verfeuerung im Kraftwerk von CO₂ befreien. Dazu wird Kohle beispielsweise bei über 1000 °C durch die Zufuhr von Sauerstoff zu einem Synthesegas aus Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H₂) vergast.

Im nächsten Schritt wird Kohlenmonoxid mittels Wasserdampf (H₂O) zu CO₂ umgewandelt, wobei weiterer Wasserstoff entsteht („CO-Shift“). Aus diesem Gasgemisch lässt sich CO₂ relativ leicht mittels einer physikalischen Wäsche abtrennen. Das CO₂ wird im Weiteren verdichtet, dadurch in

einen flüssigen Zustand versetzt, der sich besonders gut zum Transport eignet. Der verbleibende, fast reine Wasserstoff wird in einer Gasturbine verbrannt, die einen Generator zur Stromerzeugung antreibt. Der Wasserstoff ist aber auch als Treibstoff – beispielsweise für Autos – nutzbar.

Die Vergasung fester Brennstoffe in Kraftwerken heißt Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC). Dieses Verfahren befindet sich noch in der Entwicklung und soll in Deutschland erstmals ab 2014 in einem großtechnischen Kraftwerk zum Einsatz kommen.



Aufgabe:

Ordne die Begriffe in den Kästen den richtigen Stellen in der Grafik zu.

Unterirdische Speicherung

BERLINER GASSPEICHER EINER DER GRÖSSTEN DEUTSCHLANDS

Äußerlich sieht man im Berliner Grunewald außer einem aus dem Boden ragenden Rohr nichts. Aber in einer Tiefe von 800 Metern lagern die Gasvorräte der Hauptstadt unter dem Landschaftsschutzgebiet. Während des Kalten Krieges zur Versorgung West-Berlins geplant, sichert der Erdgasspeicher seit 1992 den erhöhten Gasbedarf im Winter.

(...) Unterirdische Gasspeicher gibt es in Deutschland seit mehr als 50 Jahren. Um saisonale Schwankungen im Bedarf aus-

zugleichen, wird Gas vor allem im Sommer über Bohrleitungen in tiefe Gesteinsschichten gepresst und eingelagert. (...) So (lassen) sich die niedrigen Gaspreise im Sommer nutzen. In den bundesweit 46 Untertage-Speichern lagern erhebliche Mengen Erdgas: Mit etwa 20 Milliarden Kubikmetern Gas ist immerhin fast ein Viertel des deutschen Jahresbedarfs abgesichert.

<http://wirtschaft.t-online.de>, 6. Januar 2009



Aufgaben:

1. Gas wird bereits seit vielen Jahren im Untergrund gespeichert. Nun ist geplant, auch CO₂ unterirdisch zu speichern. Wo siehst du Unterschiede? Was spricht dafür, was dagegen?
2. Schreibe einen Artikel über die CO₂-Speicherung für eine Zeitung im Jahr 2030 im Stil des hier abgedruckten Artikels.

Lösungshinweise

Arbeitsblatt 2

Aufgabe 1: Berechnung des Mol-Gewichts von CO₂ und Luft:

CO₂:

$$1 \text{ mol} \times 12 \text{ g/mol} + 2 \text{ mol} \times 16 \text{ g/mol} = 44 \text{ g}$$

(1 x Kohlenstoff) (2 x Sauerstoff)

LUFT (vereinfacht):

$$0,78 \text{ mol} \times 28 \text{ g/mol} + 0,21 \text{ mol} \times 32 \text{ g/mol} + 0,01 \text{ mol} \times 40 \text{ g/mol} = 28,96 \text{ g}$$

(78 % Stickstoff) (21 % Sauerstoff) (1 % Argon)

CO₂ ist also schwerer als Luft.

Aufgabe 2:

- CO₂ ist nicht brennbar.
- CO₂ ist geruchlos.
- CO₂ wird bei Raumtemperatur gasförmig.
- Aus CO₂ wird hergestellt: Trockeneis.
- Die CO₂-Konzentration in ausgeatmeter Luft beträgt ca. 4 %.

Arbeitsblatt 3

Aufgabe 1: Richtige Reihenfolge: einem, Kohlenstoff, zwei, Sauerstoff, schwerer, verdrängen, Kohlenstoffdioxid, Treibhauseffekt, mehr, wärmer, zwei, IPCC.

Aufgabe 2: Steigerung der Energieeffizienz, Ausbau der erneuerbaren Energien, CCS-Technologie, Strom-/Energieeinsparung, nachhaltiger Konsum.

Nutzen Sie diese Aufgabe für einen kleinen Exkurs zum Thema „nachhaltiger Konsum“, da viele Schülerinnen und Schüler den Begriff nicht kennen. Informationen finden Sie im Internet, z. B. auf www.nachhaltigkeit.info, www.nachhaltiger-konsum.de, www.oekolandbau.de >> Suche: nachhaltiger Konsum.

Arbeitsblatt 4

Aufgabe 1: vgl. Seite 6/7 in dieser Broschüre

Aufgabe 2:

So lange reichen die Vorräte (weltweite Reserven bei statischer Betrachtung):

Braunkohle	ca. 230 Jahre
Steinkohle	ca. 170 Jahre
Erdöl	ca. 40 Jahre
Erdgas	ca. 65 Jahre
Uran	70 bis 140 Jahre

Quelle: Bundeswirtschaftsministerium (Kurzbericht: Verfügbarkeit und Versorgung mit Energierohstoffen, 2006)

Arbeitsblatt 5

Aufgabe: a) richtig; b) falsch; c) richtig; d) richtig; e) falsch

Arbeitsblatt 6

Aufgabe 1: Das CO₂ wird nach der Verbrennung durch eine chemische Wäsche aus dem Rauchgas gewaschen.

Aufgabe 2: Wenn ausreichend Platz vorhanden ist. Wenn trotz Wirkungsgradeinbußen durch CCS der Gesamtprozess noch wirtschaftlich ist.

Arbeitsblatt 7

Aufgabe: vgl. Seite 14, Pre-Combustion