

Folie 12: CO₂

Die Folie zeigt auf der rechten Seite die Entwicklung des CO₂-Gehaltes in der Atmosphäre, die Bedeutung für den Treibhauseffekt und die Verursacher des Anstiegs. Die linke Seite zeigt die natürliche Regulation durch den Kohlenstoffdioxidkreislauf sowie die Wirkungen des CO₂ und anderer Gase auf die Temperatur an der Erdoberfläche.

Abbildung oben rechts: Die in Hawaii seit 1958 aufgezeichnete Mauna-Loa-Kurve zeigt einen regelmäßigen Anstieg der CO₂-Konzentration in der Erdatmosphäre. („Mauna Loa“ = hawaiianisch „langer Berg“ ist einer der größten aktiven Vulkane der Erde.) Ergänzen sollte man die Darstellung in der Kurve durch die information, dass bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts die CO₂-Konzentration der Erdatmosphäre über einen langen Zeitraum ziemlich konstant war. Dies konnte man mit Hilfe der Untersuchung von Eisbohrkernen nachweisen. Die regelmäßige jahreszeitliche Schwankung (kleines Bild) rührt daher, dass während der Vegetationsperiode auf der land- und pflanzenreichen Nordhalbkugel der Erde eine verstärkte CO₂-Einbindung durch die Photosynthese stattfindet.

Wieso war die CO₂-Konzentration lange konstant?

Abbildung oben links: Das biologische Gleichgewicht zwischen der Kohlenstoffdioxidabgabe bei der Dissimilation der Menschen und Tiere und der Kohlenstoffdioxidaufnahme bei der Photosynthese der Pflanzen führte zu einer etwa gleichbleibenden CO₂-Konzentration in der Atmosphäre.

Pflanzen als autotrophe Lebewesen stellen ihre energieliefernden Nährstoffe selbst her. Sie nutzen die Sonnenenergie, um in dem endothermen Photosyntheseprozess aus Wasser und Kohlenstoffdioxid ener-

giereiche Kohlenstoffverbindungen herzustellen, unter Abgabe von Sauerstoff an die Atmosphäre. Besonders in den Nachtstunden gewinnen sie die in den Brennstoffen gespeicherte Energie durch die Oxidation mit Hilfe des Luftsauerstoffs für ihre Stoffwechselfvorgänge zurück. Pflanzen stellen jedoch deutlich mehr Kohlenwasserstoffverbindungen her, als sie zu ihrer eigenen Versorgung benötigen. Der Überschuss kommt den heterotrophen Lebewesen, den Menschen und Tieren zugute, die auf fertige, energiereiche Nährstoffe angewiesen sind. Im Prozess der Zellatmung werden die Nährstoffe, wie in der Pflanze selbst, wieder zur Energiegewinnung verbrannt.

Abbildung unten links: Wir sind heute so daran gewöhnt, Kohlenstoffdioxid als „gefährliches Klimagas“ zu betrachten, dass wir fast vergessen, dass es sich dabei um ein ungiftiges Gas handelt, das nicht nur für den beschriebenen Kreislauf unverzichtbar ist. Man hat errechnet, dass unsere Erdoberfläche ohne Atmosphäre eine sehr ungemütliche Durchschnittstemperatur von -18 °C hätte. Die Erdoberfläche würde die eingestrahlte kurzwellige Sonnenenergie teilweise absorbieren, sich dabei aufheizen und längerwellige Wärmestrahlung abgeben. Das Gleichgewicht von Ein- und Abstrahlung würde sich bei der angegebenen, niedrigen Durchschnittstemperatur einpendeln. Selbst eine Atmosphäre aus Stickstoff und Sauerstoff, den Hauptbestandteilen unserer Luft, würden daran so gut wie nichts ändern, weil diese Gase die kurzwellige Strahlung nicht absorbieren.

Natürlicher Treibhauseffekt

Die tatsächlich 33 °C höhere Durchschnittstemperatur von etwa 15 °C auf der Erde verdanken wir dem natürlichen Treibhauseffekt, der zu etwa $\frac{2}{3}$ auf Wasserdampf und zu $\frac{1}{3}$ auf andere Gase, überwiegend CO₂, zurückzuführen ist. Diese Bestandteile unserer Luft absorbieren ebenfalls Sonnenstrahlung und geben sie als Wärmestrahlung an die Erdoberfläche ab, die sich dadurch erwärmt. Unter diesen Bedingungen ist der Gleichgewichtszustand bei einer höheren Erdtemperatur erreicht und bleibt so lange konstant, wie sich die Zusammensetzung der Atmosphäre nicht ändert.

Künstlicher, anthropogener Treibhauseffekt

Nun ist die CO₂-Konzentration der Erdatmosphäre in den letzten zwei Jahrhunderten, besonders aber den letzten Jahrzehnten von 280 ppmV auf 381 ppmV (parts per million bezogen auf das Volumen) gestiegen (s. *Abbildung oben rechts*). Damit wird mehr Sonnenlicht absorbiert, die emittierte Wärmestrahlung heizt die Erde weiter auf. Da die CO₂-Konzentration weiterhin steigt, ist noch kein neuer Gleichgewichtszustand erreicht, die Jahresdurchschnittstemperaturen steigen weiterhin langsam, aber stetig an.

Die *Abbildung Mitte rechts* zeigt, welche Gase neben Kohlenstoffdioxid an diesem Vorgang beteiligt sind. Wenn wir heute von Treibhausgasen sprechen,

meinen wir in der Regel nur die Gase, deren Konzentration in der Atmosphäre wir Menschen durch unsere Lebensweise in den letzten Jahrhunderten verändert haben und sprechen deshalb vom anthropogenen Treibhauseffekt.

Man sieht, dass Kohlenstoffdioxid mit über 50% den Hauptanteil am Treibhauseffekt einnimmt. Das liegt jedoch nicht an der besonderen Wirksamkeit von CO₂ als Treibhausgas, sondern an seinem mengenmäßigen Vorkommen in der Atmosphäre. Methan ist ein mehr als zwanzig Mal wirksames Treibhausgas als Kohlenstoffdioxid, kommt aber in viel geringerer Konzentration vor, Lachgas ist sogar etwa 300 mal wirksamer und Fluorchlorkohlenwasserstoffe ca. 14.000 mal. Diese Zahlen geben das Treibhauspotenzial an, d. h. die Erwärmungswirkung einer bestimmten Menge des Gases über einen bestimmten Zeitraum (meist 100 Jahre) im Vergleich zur gleichen Menge CO₂.

Wie kommt es zum Anstieg der CO₂-Menge in der Atmosphäre?

1. Die Verbrennung der fossilen Energieträger Kohle, Erdöl und Erdgas führt die seit Jahrmillionen gespeicherten Kohlenstoffmengen als Kohlenstoffdioxid in den Stoffkreislauf zurück. Dieser Prozess begann mit der industriellen Revolution zu Beginn des 19. Jahrhunderts und entspricht auffällig dem Anstieg des Kohlenstoffdioxidgehaltes der Luft.
2. Die zahlenmäßige Zunahme der gesamten Erdbevölkerung einerseits und die wachsenden Ansprüche des einzelnen Menschen andererseits steigern den Verbrauch ständig, dadurch
 - wächst die Industrie.
 - steigt der Energieverbrauch der Haushalte.
 - nimmt der Individual- und Güterverkehr zu.
3. Die Brandrodung des Regenwaldes hat einen doppelten Effekt. Einerseits gehen diese gigantischen Waldflächen als aktive Kohlenstoffspeicher verloren, andererseits wird der bereits in ihnen gespeicherte Kohlenstoff zu CO₂ verbrannt und gelangt in die Atmosphäre.

Kohlenstoff wird auf sehr unterschiedliche Weise auf unserer Erde gespeichert und in verschiedene Stoffkreisläufe eingebunden.

Hier ein sehr grober Überblick über die gespeicherten Mengen in Gigatonnen (1 Gt = 1.000.000.000 t):

Gt Kohlenstoff	Speicherort
100.000.000	im Sediment
40.000	im Meerwasser
5.000	in fossilen Energieträgern
1.500	im Boden (tote Biomasse)
550	in lebender Biomasse
750	in der Atmosphäre

99,95 % des Kohlenstoffs sind also in der Erde im **Sediment** gespeichert [als Calciumcarbonat = Calcit, CaCO₃ oder Calciummagnesiumcarbonat = Dolomit, CaMg(CO₃)₂]. Die Mengen an Kohlenstoffdioxid, die aus diesem Speicher z. B. als Folge von Vulkanausbrüchen zurück in die Atmosphäre gelangen, sind jedoch verschwindend gering.

Der Kohlenstoffgehalt der **Atmosphäre** in Form von Kohlenstoffdioxid macht fast den geringsten Anteil aus.

Dabei darf man aber nicht übersehen, dass bei einem CO₂-Gehalt der Luft von nur 0,037 Volumenprozent das Gleichgewicht schon durch absolute Kohlenstoffmengen erheblich gestört werden kann, die uns im Vergleich zum Kohlenstoffgehalt der Erde gering vorkommen. Außerdem belastet CO₂ als gasiger Stoff naturgemäß zuerst die Luft.

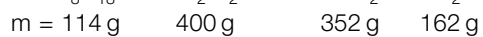
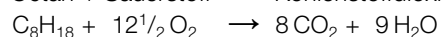
Ein nicht unerheblicher Teil des Kohlenstoffdioxids wird im **Meerwasser** gelöst, bzw. reagiert zu Kohlensäure und ihren Dissoziationsprodukten (*siehe Kopiervorlage 27, Versuch 1b*). Natürlich kann man diesen Versuch auch mit CO₂ aus der Druckgasflasche (abgemessen in Kolbenprobern) durchführen, wenn einem der Umweg über die Brausetablette zu weit hergeholt scheint. Andererseits hat man auf diese Weise für Schülerübungen problemlos gleich portionierte Mengen an CO₂, wenn man von der im Wesentlichen zutreffenden Annahme ausgeht, dass jede Brausetablette unter gleichen Bedingungen die gleiche Gasmenge produziert.

Die Kohlenstoffbindung des Meerwassers hat sogar mit der steigenden CO₂-Belastung der Luft zugenommen, so dass der CO₂-Konzentrationsanstieg in der Atmosphäre geringer ist, als bei der vermehrten Emission zu erwarten wäre. Dazu trägt auch die durch die höhere CO₂-Konzentration verstärkte Assimilation der Pflanzen bei (erhöhte Photosyntheserate). Dennoch spricht die Mauna-Loa-Kurve eine deutliche Sprache.

Wie können wir dem Anstieg der CO₂-Konzentration in der Luft entgegenwirken?

Die **Abbildung unten rechts** zeigt, welchen Anteil die Verursacher der CO₂-Emission am Gesamtausstoß haben. Der Anteil, den die Privathaushalte beeinflussen können, ist mit 25 % (Haushalt und PKW) nicht übermäßig groß, aber auch nicht unbedeutend. Mit den persönlichen Möglichkeiten der Einflussnahme sollen sich die Schüler in Aufgabe 4 der *Kopiervorlage 26* befassen. Dazu sollten sie Recherchen im Internet anstellen, auf Zeitungsartikel achten und sich mit ihren Eltern unterhalten. Die vorgeschlagenen Selbstverpflichtungen lassen sich fast beliebig erweitern.

Analog zu den Berechnungen im Kapitel Kraftstoffe kann man hier den CO₂-Ausstoß pro Liter verbrannten Kraftstoffs berechnen. Die Berechnung bezieht sich wieder auf die vollständige Verbrennung von Octan:



Die Dichte von Octan beträgt gerundet 0,7 g/cm³, d. h. 1 Liter Octan wiegt 700 g.

Die Verbrennung von 114 g Octan erzeugt wie die obige Reaktionsgleichung zeigt 352 g Kohlenstoffdioxid. Die Verbrennung von 700 g oder 1 l erzeugt dann 2,16 kg CO₂. Diesen Wert kann man in Beziehung setzen zu den auf Kopiervorlage 26 unten links dargestellten Emissionsraten verschiedener PKW. Dabei entspricht der Wert von 95 g/km CO₂ einem Smart mit 30 kW, der Wert von ungefähr 300 g/km CO₂ einem Sport Utility Vehicle (SUV).

Lösungen zu den Kopiervorlagen

Kopiervorlage 26: CO₂

1. a) Verbrennung fossiler Energieträger
Zunahme der Weltbevölkerung, des Energieverbrauchs, des Straßenverkehrs, der Industrieproduktion, Brandrodung der Regenwälder.
- b) In den Sommermonaten auf der land- und vegetationsreichen Nordhalbkugel der Erde nimmt die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre ab, weil die Photosyntheseleistung der Wälder in dieser Zeit ihr Maximum erreicht.
2. a) Das ist der Kohlenstoffdioxidkreislauf in der Natur: Pflanzen nehmen bei der Photosynthese CO₂ auf und geben Sauerstoff an die Atmosphäre ab. Mensch und Tier nehmen Sauerstoff auf und geben CO₂ ab. Ohne weitere Einflüsse entsteht ein Gleichgewicht, das die CO₂-Menge in der Atmosphäre konstant hält.
Bei dem Prozess wird das Sonnenlicht genutzt, um energiereiche Nährstoffe herzustellen.
- b) *Photosynthese:*
 $6 \text{ CO}_2 + 12 \text{ H}_2\text{O} + \text{Energie} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O}$
Zellatmung:
 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 6 \text{ CO}_2 + 12 \text{ H}_2\text{O} + \text{Energie}$
3. a) $704 \times 10 \text{ kg} = 7040 \text{ kg}$
- b) 1 Fußballfeld Wald bindet 7040 kg CO₂
x Fußballfelder binden 10.000 kg / 30.000 kg
→ 10.000 kg CO₂-Bindung durch 1,42 Fußballfelder
(Das entspricht etwa 1 ha, also 10.000 m².)
→ 30.000 kg CO₂-Bindung durch 4,26 Fußballfelder
4. *Haushalt:*
Heizkosteneinsparung durch Verringerung der Raumtemperatur sowie Wärmedämmung des Hauses,
Warmwasser durch kurze Duschzeiten,
Strom durch Standby-Ausschalten und Energiesparlampen ...
Auto:
sparsames Modell kaufen,
kontrollierte, spritsparende Fahrweise,
keine Dachaufbauten,
Reifendruck beachten ...

Kopiervorlage 27: Versuche zu einem Gas

Versuch 1a: Nachweis der Bildung eines Gases von Brausetabletten in Wasser

Versuch 1b: Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser

Bei der ersten Brausetablette steigt wesentlich weniger Gas auf. → Offensichtlich löst sich CO₂ in Wasser.

Je heißer das Wasser ist, desto schlechter ist das CO₂ darin löslich.