

Der Kohlenstoffdioxidkreislauf

Der Kohlenstoff (C, Ordnungszahl 6 im PSE) ist ein Grundbaustein aller Lebewesen. Er ist beispielsweise Bestandteil von Aminosäuren, Kohlenhydraten, Fettsäuren und der DNA. Er befindet sich nicht nur in Lebewesen (Biosphäre), sondern auch im Wasser (Hydrosphäre), im Boden (Pedosphäre), in Gesteinen (Lithosphäre) und zu etwa 0,04 % in der Luft (Atmosphäre). In der Atmosphäre kommt der Kohlenstoff als CO_2 (Kohlenstoffdioxid) oder CH_4 (Methan), beides Treibhausgase, vor. In der Lithosphäre ist der meiste Kohlenstoff in Form von Kalkstein (CaCO_3) gespeichert, aber auch in fossilen Brennstoffen wie Erdöl.

Der Kohlenstoffdioxidkreislauf beschreibt den Prozess, bei dem kohlenstoffhaltige Verbindungen kontinuierlich zwischen den Sphären ausgetauscht bzw. chemisch umgewandelt werden. Dabei unterscheidet man Kohlenstoffsinken wie Bäume, die zeitweise mehr Kohlenstoff aufnehmen und speichern als sie abgeben, und Kohlenstoffquellen (z. B. fossile Brennstoffe). Im Allgemeinen ist dieser natürliche Kreislauf im Gleichgewicht, der Mensch nimmt jedoch Einfluss auf das Verhältnis zwischen dem Kohlenstoffausstoß und seiner Speicherung.

Der **Kohlenstoffkreislauf** ist zum Großteil ein CO_2 -Kreislauf, weshalb er eben auch Kohlenstoffdioxidkreislauf genannt wird. Er enthält mehrere Aspekte:

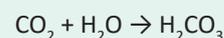
- Durch die **Fotosynthese**, die mithilfe von Lichtenergie stattfindet, wird CO_2 aus der Atmosphäre aufgenommen (Assimilation) und in **Glucose** ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) umgewandelt. Ebenso wird **O_2** (Sauerstoff) freigesetzt.
- Aerobe Lebewesen wie Menschen und Tiere atmen den Sauerstoff ein und geben durch die Zellatmung CO_2 wieder ab.
- **Menschen** und **Tiere** essen pflanzliches Material und zerlegen im Zuge der Verdauung die Pflanzenteile in ihre Bausteine (Kohlenhydrate, Fettsäuren und Aminosäuren). Es kommt zur Zellatmung und CO_2 wird ausgeatmet.
- Kohlenstoffhaltige Verbindungen, die von Menschen und Tiere nicht verwertet werden können, werden ausgeschieden. **Destruenten** (Pilze, Bakterien) wandeln die Kohlenstoffverbindungen um, wodurch erneut CO_2 entsteht. Ohne Sauerstoff kann bei der Verdauung **CH_4** (Methan) entstehen und entweichen.

Kohlenstoffverbindungen in Gewässern

- Kohlenstoffverbindungen können auch in Gewässern landen. Zum Beispiel absorbieren die Ozeane etwa ein Viertel des durch menschliche Aktivitäten freigesetzten CO_2 , was allerdings dazu führt, dass das Wasser saurer wird und dem Leben im Meer schadet.
- CO_2 kann sich als Gas im Wasser lösen und von Wasserpflanzen oder auch von Phytoplankton aufgenommen werden. Diese können wiederum Fotosynthese betreiben.
- CO_2 wird zwischen Wasser und Land auch über Vögel, die Wassertiere fressen, oder Überschwemmungen ausgetauscht. Wird gasförmiges CO_2 in Wasser gelöst, bildet sich zuerst **Kohlensäure** (H_2CO_3), die dann zu **Carbonat-Ionen** (CO_3^{2-}) weiter reagiert.

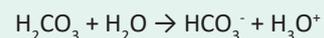
Übersicht über die drei verschiedenen Reaktionen:

Reaktion von CO_2 mit Wasser



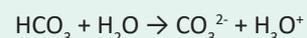
Dabei entsteht Kohlensäure.

Kohlensäure reagiert als Säure.



Dabei entsteht das Hydrogencarbonat-Ion.

Das Hydrogencarbonat-Ion reagiert zum Carbonat-Ion weiter.



- Die Carbonat-Ionen reagieren mit im Wasser vorhandenen Calcium-Ionen (Ca^{2+}) zu **Kalk** (CaCO_3), der sich am Boden ablagert. Auch die Schalen von Meeresbewohnern wie Krebsen oder Muscheln bestehen aus Kalk. Nach ihrem Tod legen sich die Schalen ebenso am Meeresboden ab; sie werden damit ein Teil des **Sediments**, also des Gesteins.

Achtung: Ein Ansteigen des Säuregehalts im Meer reduziert die Bildung der Kalkschalen von Lebewesen im Meer!

Kohlenstoff in fossilen Brennstoffen und Vulkanismus

- Erfolgt kein weiterer Sedimentabbau, entstehen nach langer Zeit unter hohem Druck und unter Sauerstoffabschluss Erdöl und Erdgas. Kohle entsteht aus versumpfter und verrotteter pflanzlicher Biomasse.
- Der Mensch gewinnt und verbrennt diese fossilen Brennstoffe, wodurch das über Jahrhunderte in den Gesteinen gespeicherte CO₂ wieder in die Atmosphäre entweicht, wobei auch das giftige Kohlenstoffmonoxid (CO) in kleiner Menge entsteht.
- Durch die rasche Freigabe von so viel CO₂ verstärken wir Menschen den **Treibhauseffekt (anthropogener Treibhauseffekt)**.
- Durch das Abholzen von Wäldern gehen die Bäume als wichtige **Kohlenstoffspeicher** verloren, wodurch der Kohlenstoff-Gehalt in der Atmosphäre weiter steigt.
- Bei Vulkanausbrüchen wird ebenso CO₂ ausgestoßen, da sich neben den geschmolzenen Gesteinsmassen auch Kohlenstoffdioxid im **Magma** befindet. Der **Vulkanismus-Klima-Effekt** ist allerdings ein eher kühlender als erwärmender, was primär an den schwefelhaltigen Gasen, die einen Teil der Sonnenstrahlung absorbieren, liegt.

Treibhauseffekt: Wirkung von Treibhausgasen in einer Atmosphäre, Unterscheidung zw. natürlichem und anthropogenem Treibhauseffekt

anthropogen: vom Menschen verursacht

Vulkanismus-Klima-Effekt: Große explosive Vulkanausbrüche haben eine Erwärmung der Stratosphäre und gleichzeitig eine Abkühlung der bodennahen Atmosphäre zur Folge.



HOTTER TEMPERATURES



MORE SEVERE STORMS



INCREASED DROUGHT



A WARMING, RISING OCEAN



Artenverlust: Aussterben von Tieren und Pflanzen



Nahrungsknappheit



Gesundheitsrisiken



Armut und Migration

Höhere Temperaturen

Starke Wetterereignisse, z. B. Stürme

Vermehrte Dürren

Erwärmung der Meere und Anstieg des Wasserspiegels

Adobe Stock: VectorMine

Abb. 1: Folgen des anthropogenen Treibhauseffekts

Der Kohlenstoffkreislauf und die globale Erwärmung

Der Kohlenstoffkreislauf und die moderne Forschung zur globalen Erwärmung sind eng miteinander verbunden. Der Kohlenstoffkreislauf ist der natürliche Prozess, durch den kohlenstoffhaltige Verbindungen zwischen der Erdatmosphäre, den Ozeanen und den lebenden Organismen ausgetauscht wird. Seit der industriellen Revolution haben jedoch menschliche Aktivitäten wie die Verbrennung fossiler Brennstoffe und die Abholzung von Wäldern zu einem Anstieg der Kohlenstoffdioxidmenge in der Atmosphäre geführt. Dieses überschüssige CO₂ verursacht eine globale Erwärmung, die zu einem Klimawandel führt.



Adobe Stock: parabolstudio

Abb. 2: Der Kohlenstoffkreislauf beeinflusst das Klima.

Die moderne Forschung zur globalen Erwärmung konzentriert sich auf das Verständnis der Ursachen und Auswirkungen des Klimawandels sowie auf die Entwicklung von Lösungen zur Abschwächung der Folgen. Ein wichtiger Aspekt dieser Forschung ist die Untersuchung des Kohlenstoffkreislaufs und seiner Beeinflussung durch menschliche Aktivitäten. Die Wissenschaft verwendet eine Vielzahl an Methoden zur Messung des Kohlenstoffdioxidgehalts in der Atmosphäre, darunter Messstationen auf der ganzen Welt und Satellitendaten.

Eine wichtige Erkenntnis aus dieser Forschung ist, dass der Kohlenstoffdioxidgehalt in der Atmosphäre im letzten Jahrhundert in einem noch nie dagewesenen Ausmaß zugenommen hat. Dieser Anstieg steht in direktem Zusammenhang mit menschlichen Aktivitäten wie der Verbrennung fossiler Brennstoffe und der Abholzung von Wäldern. Zu den Auswirkungen dieses Anstiegs gehören steigende Temperaturen, schmelzende Gletscher und der Anstieg des Meeresspiegels.

Darüber hinaus konzentriert sich die moderne Forschung auf die Suche nach Möglichkeiten, unseren Kohlenstoff-Fußabdruck zu verringern und die Auswirkungen des Klimawandels abzumildern. Dazu zählen die Entwicklung erneuerbarer Energiequellen, die Verbesserung der Energieeffizienz und die Verringerung der Emissionen von Verkehr und Industrie. Bemühungen zum Schutz und zur Wiederherstellung von Ökosystemen wie Wäldern, die dazu beitragen können, Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre zu absorbieren, sind ebenfalls eine Möglichkeit, die Klimakrise zu mildern.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Kohlenstoffkreislauf und die moderne Forschung zur globalen Erwärmung eng miteinander verbunden sind. Wenn wir den Kohlenstoffkreislauf und seine Beziehung zum Klimawandel verstehen, können wir wirksame Lösungen entwickeln, um die Auswirkungen der globalen Erwärmung zu mildern und unseren Planeten für künftige Generationen zu schützen.