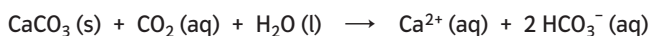


13 Der Kohlenstoff-Atom-Kreislauf

13.13 Zusammenfassung und Übung (S. 437/438)

Zu den Aufgaben

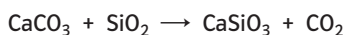
A1 In Gebieten mit Kalkgestein reagiert das atmosphärische, im Regenwasser gelöste Kohlenstoffdioxid mit Calciumcarbonat zu einer wässrigen Lösung von Calciumhydrogencarbonat:



Dort, wo der Untergrund aus Silikatgestein besteht, das Calciumsilicat enthält, reagiert die wässrige Kohlenstoffdioxid-Lösung mit Calciumsilicat zu Calciumhydrogencarbonat; zurückbleiben unlösliche Silicate. Flüsse transportieren das gelöste Calciumhydrogencarbonat zum größten Teil in die Meere. Auf dem Transportweg kann es – indem die untere Reaktionsgleichung zum Zuge kommt – zur Abscheidung von Calciumcarbonat (Kalktuff) kommen.

Im Meer wird Calciumcarbonat beim Aufbau von Skeletten und Schalen der Meeresorganismen abgeschieden und Kohlenstoffdioxid freigesetzt, das in die Atmosphäre zurückströmt. Mit abgestorbenen Organismen sinkt das eingebaute Calciumcarbonat auf den Meeresboden und wird sedimentiert. Zum Teil wird Calciumcarbonat auch ohne Beteiligung von Organismen abgeschieden.

Durch Verschiebungen in der Erdkruste können die gebildeten Carbonatsedimente in große Tiefen gelangen und bei hohen Temperaturen mit Silikatgestein reagieren, z.B. mit Siliciumdioxid:



Das entstehende Kohlenstoffdioxid gelangt durch Vulkanismus wieder in die Atmosphäre.

A2 Fotosynthese und damit Entnahme von Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre erfolgt hauptsächlich in den Blättern der Baumkronen. Damit ist in dieser Höhe die Kohlenstoffdioxid-Konzentration am geringsten, sie nimmt nach unten zu. Der Unterschied der beobachteten Konzentrationen von Kohlenstoffdioxid ist bei hochsommerlichen Temperaturen am deutlichsten. Die höchste Kohlenstoffdioxid-Konzentration in Bodennähe beruht auf der intensiven Bodenatmung der Mikroorganismen in der Humusschicht des Bodens.

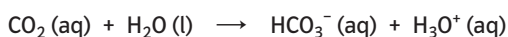
(Hinweis: Zur Bestimmung der Kohlenstoffdioxid-Konzentration in der Luft nutzt man die Absorption von Kohlenstoffdioxid im infraroten Bereich. Im Messgerät wird Infrarotstrahlung erzeugt, die nach Durchgang durch die Luft auf einen Infrarotsensor trifft. Je schwächer das Signal, desto höher ist die Kohlenstoffdioxid-Konzentration.)

A3 Durch Aktivitäten des Menschen ist die Kohlenstoffdioxid-Bilanz der Atmosphäre nicht ausgeglichen. Der Anstieg der CO_2 -Konzentration wird verursacht durch

- Verbrennung fossiler Energieträger,
- Freisetzung von Kohlenstoffdioxid durch den Einsatz von Kalkgestein bei der Zementherstellung,
- großflächige Brandrodung tropischer Urwälder.

Ein Teil der anthropogenen Emissionen wird von der Biosphäre und vom Meer aufgenommen. Diese Senken haben bisher einen wesentlich höheren Anstieg der Kohlenstoffdioxid-Konzentration in der Atmosphäre verhindert. Im Meer wirkt sich die Kohlenstoffdioxid-Aufnahme allerdings ungünstig aus, siehe [A4] und [A6].

A4 Der Anstieg der Kohlenstoffdioxid-Konzentration der Atmosphäre hatte auch eine Zunahme der Kohlenstoffdioxid-Konzentration im Oberflächenwasser der Meere zur Folge. Gegenüber der vorindustriellen Zeit hat der pH-Wert um durchschnittlich 0,11 Einheiten abgenommen, abgenommen, entsprechend der Reaktion:



Obwohl das Wasser der Meere mit einem durchschnittlichen pH-Wert von ca. 8,1 noch schwach alkalisch ist, bedeutet eine Zunahme der H_3O^{+} -Konzentration eine Versauerung. Vor allem, wenn man bedenkt, dass die Versauerung beschleunigt zunimmt und in manchen Bereichen deutlich über dem Durchschnittswert liegt, mit gefährlichen Folgen für das Ökosystem.

A5 An der Grenzfläche zwischen Meer und Atmosphäre wird Kohlenstoffdioxid gelöst oder abgegeben. Bei der Abkühlung warmer Meeresströmungen nimmt die Dichte des Wassers zu. Das kältere Wasser sinkt in die Tiefe. Das im Meerwasser gelöste Kohlenstoffdioxid wird so dem Austausch entzogen und in der Tiefsee gespeichert.

A6 Bei einer Algenblüte werden durch die Fotosynthese große Mengen des im Meerwasser gelösten Kohlenstoffdioxid vom Phytoplankton aufgenommen. Dadurch wird das Gleichgewicht zwischen dem im Wasser gelösten und dem gasförmigen Kohlenstoffdioxid in der Luft gestört, sodass sich atmosphärisches Kohlenstoffdioxid im Meerwasser löst und den Verbrauch zum Teil ausgleicht. Weiteres Kohlenstoffdioxid wird auch durch eine Verschiebung des $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-$ -Gleichgewichts nachgeliefert.

A7 Durch die Sonnenstrahlung erwärmt sich der Erdboden. Die vom Erdboden aufgenommene Energie wird in Form von Wärmestrahlung (hauptsächlich im Infrarotbereich) wieder abgegeben. Einige Spurengase (Luftbestandteile, die nur in Spuren vorhanden sind), z. B. Wasserdampf, Kohlenstoffdioxid, Methan und Ozon, absorbieren einen Teil dieser Wärmestrahlung, bevor sie ans Weltall abgegeben werden kann. Dadurch erwärmt sich die Atmosphäre; sie gibt (durch Wärmestrahlung) die Energie verzögert an das Weltall wieder ab. Dieser Effekt führt unter natürlichen Bedingungen zu einer Temperaturerhöhung von 33°C . Die mittlere Temperatur der Erde läge ohne den Treibhauseffekt bei -18°C .

Durch menschliche (anthropogene) Aktivitäten erhöhen sich die Konzentrationen der Spurengase, z. B. die Konzentration von Kohlenstoffdioxid. Dies führt zu einer zusätzlichen Erwärmung der Atmosphäre.

A8

a) Kohlenstoffdioxid liegt mit einer Volumenkonzentration von etwa $0,04\%$ in der Atmosphäre vor. Kohlenstoffdioxid-Moleküle absorbieren Strahlung hauptsächlich im Bereich von 13 bis 17 mm ($13\,000$ bis $17\,000\text{ nm}$). Diese Absorptionsbande liegt im Bereich der Wärmestrahlung der Erde; ein Teil dieser Wärmestrahlung wird von Kohlenstoffdioxid-Molekülen absorbiert. Die Absorption führt zu einer stärkeren Bewegung der Moleküle, die durch Stöße ihre Energie auch an andere Moleküle der Atmosphäre (v. a. N_2 und O_2) abgeben, d. h., die Atmosphäre wird insgesamt erwärmt. Bei der Volumenkonzentration von $0,04\%$ wird nur ein Teil der Strahlung im Bereich von 13 bis 17 mm absorbiert; der Rest wird an das Weltall abgegeben. Wird die Volumenkonzentration von Kohlenstoffdioxid erhöht, wird mehr Strahlung absorbiert, und die Atmosphäre wird stärker erwärmt. Insgesamt sollte eine Zunahme des Anteils an Kohlenstoffdioxid also zu einer Erhöhung der globalen Temperatur führen.

Tatsächlich hat man eine Zunahme sowohl des Kohlenstoffdioxidanteils als auch der globalen Mitteltemperatur während der letzten 100 Jahre gemessen. Diese Beobachtung bestätigt die oben beschriebenen Überlegungen, sodass ein ursächlicher Zusammenhang zwischen dem Kohlenstoffdioxidanteil der Atmosphäre und der globalen Mitteltemperatur sehr wahrscheinlich ist.

b) Zurzeit steigt die Volumenkonzentration des Kohlenstoffdioxids in der Atmosphäre mit einer Steigerungsrate von $2,0\text{ ppm/a}$. Wenn diese Steigerungsrate nicht abgesenkt wird, ist es nach Auffassung vieler Wissenschaftler möglich, dass die globale Mitteltemperatur bereits 2050 um mindestens 1°C höher ist als im Jahr 2000 . Eine Begrenzung der Temperaturerhöhung ist nach aktuellen Forschungsergebnissen nur möglich, indem man den Kohlenstoffdioxidausstoß reduziert. Ob das in einer sich zunehmend entwickelnden Welt möglich sein wird, ist die Frage. Nur durch internationale Abkommen zur Begrenzung des Kohlenstoffdioxid-Ausstoßes und deren Einhaltung durch die Weltgemeinschaft dürfte dieses Ziel zu erreichen sein.

A9

Für Diesel: $8,0\text{ l}/100\text{ km} \cdot 2,62\text{ kg/l} \cdot 1000\text{ g/kg} \approx 210\text{ g/km}$

Für Benzin: $8,0\text{ l}/100\text{ km} \cdot 2,32\text{ kg/l} \cdot 1000\text{ g/kg} \approx 186\text{ g/km}$

Für Autogas: $8,0\text{ l}/100\text{ km} \cdot 1,9\text{ kg/l} \cdot 1000\text{ g/kg} \approx 152\text{ g/km}$

A10 Individuelle Lösung. Einige Stichworte zur Präsentation:

- Möglichst im Geschwindigkeitsbereich zwischen etwa 30 und 100 km/h fahren.
- Beim Starten nicht Gas geben und sofort losfahren.
- Frühzeitig hochschalten, mit niedriger Drehzahl fahren.
- Nicht herunterschalten, wenn der Motor nicht „ruckelt“.
- Vorausschauend fahren, d. h. nicht unnötig beschleunigen und dann wieder bremsen.
- Beim Heranrollen an eine Ampel nicht den Gang herausnehmen, sondern mit dem Motor bremsen (Die automatische Schubabschaltung sperrt die Kraftstoffzufuhr.)

A11

A12

Kalkbrennen: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

Kalklöschchen: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$

Abbinden: $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

A13

- a)** Die Wasser-Moleküle bilden im Eis ein Kristall-Gitter mit Hohlräumen. In diese passen die Methan-Moleküle.
- b)** Methanhydrat ist nur unter ganz bestimmten Bedingungen von Druck und Temperatur stabil. Ändern sich diese, zerfällt es rasch in Methan und Wasser (bzw. Eis). Da Methanhydrat im Meer hauptsächlich an den Kontinentalhängen, wo relativ flache Schelfmeere in die Tiefsee übergehen, in einigen hundert Metern Wassertiefe vorkommt, könnte durch die klimabedingte Erwärmung des Meerwassers in großem Ausmaß Methan freigesetzt werden. Dies hätte gefährliche Folgen für das Klima. Methan hat als Treibhausgas eine etwa wesentlich größere Wirkung als Kohlenstoffdioxid (vgl. Lösung zu Kap. 13.8, [A3]).
- An den Kontinentalhängen durchsetzt Methanhydrat die Sedimente einige hundert Meter tief. Durch Methanhydrat stabilisierte Hänge kommen beim Zerfall des Methanhydrats ins Rutschen. Dazu bedarf es nicht einmal der globalen Erwärmung. Schon die Verlagerung einer Meeresströmung kann örtlich erhebliche Auswirkungen haben. Zunehmend hegen Forscher auch den Verdacht, dass Methanhydrat im Spiel ist, wenn nach starken Seebeben Hänge abrutschen. Große untermeerische Rutschungen können Tsunamis auslösen.
- Wird bei einem Beben der Meeresboden angehoben, verringert sich der Druck des darüber stehenden Wassers und das ganze Paket wird womöglich in wärmeres Wasser gehievt – mit der Folge einer raschen Zersetzung des Methanhydrats und Abgabe des Methans an die Atmosphäre.