

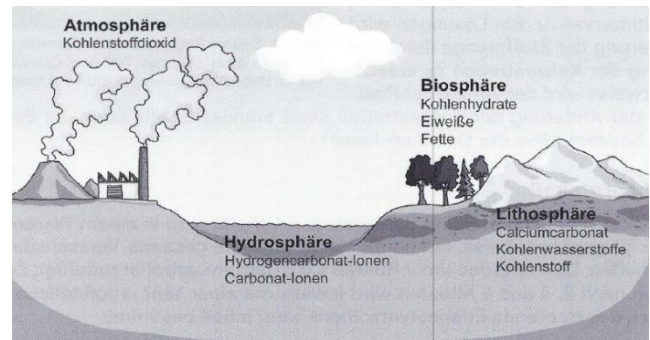


Kohlenstoff hält sich- wie andere Stoffe auch- in Reservoiren auf. Dazu gehören die Atmosphäre (Luft), Biosphäre (Leben), Hydrosphäre (Ozeane) und Lithosphäre (Sedimentgesteine). Ein Kreislauf steuert den Austausch des Kohlenstoffs zwischen diesen Reservoiren.

In der **Lithosphäre** sind insgesamt etwa $70 \cdot 10^{15}$ Tonnen Kohlenstoff enthalten, davon etwa 0,15 % in fossilen Brennstoffen. Der überwiegende Teil des Kohlenstoffs lagert als Carbonate in den Sedimentgesteinen.

In der **Hydrosphäre** sind $39 \cdot 10^{12}$ Tonnen Kohlenstoff vorhanden. Die Ozeane werden auch als Kohlenstoffsinken bezeichnet.

Die **Biosphäre** schafft es auf nur noch $1,8 \cdot 10^{12}$ Tonnen und die **Atmosphäre** auf $0,7 \cdot 10^{12}$ Tonnen.



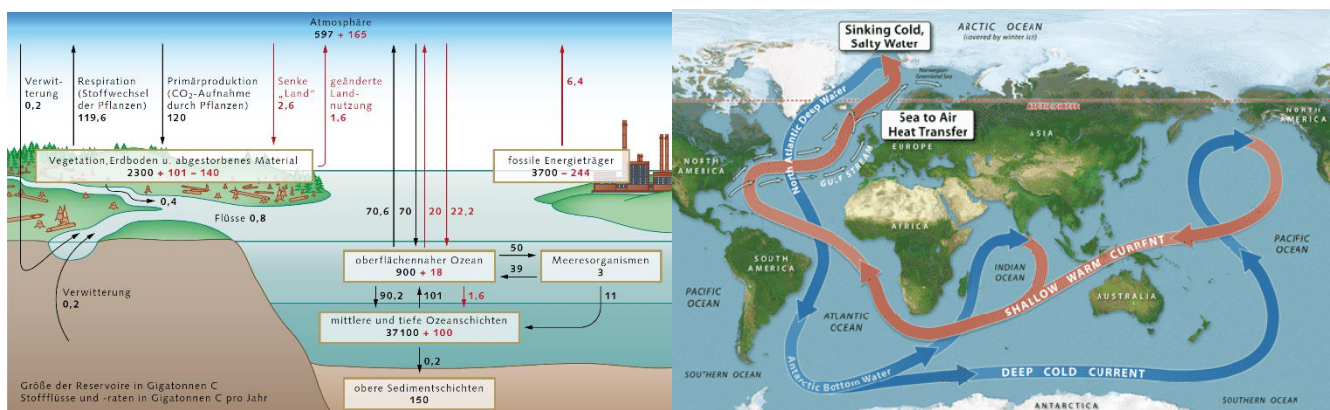
Aufgaben

1) Zwischen den einzelnen Sphären gibt es einen Austausch an Kohlenstoff. Die Übergänge finden in Form von chemischen Reaktionen statt. Erläutern Sie das mit jeweils einem Beispiel für die Übergänge: Biosphäre - Atmosphäre, Atmosphäre - Hydrosphäre, Hydrosphäre- Lithosphäre, Lithosphäre- Atmosphäre, Atmosphäre - Biosphäre.

2) Beobachtungen, Messungen und Modellrechnungen zeigen, dass innerhalb der letzten Jahrzehnte der Kohlenstoff in der Atmosphäre um $2 \cdot 10^{12}$ Tonnen zugenommen hat und in der Hydrosphäre sogar um $3 \cdot 10^{12}$ Tonnen. In der Biosphäre ist er zurückgegangen. Erläutern Sie die Ursachen dafür.

Zusatz 3) Der Anstieg des Kohlenstoffdioxid-Anteils in der Atmosphäre führt zu einer Verstärkung des Treibhauseffektes, die mit einer Temperaturerhöhung einhergeht. Erörtern Sie diese Verstärkung und weitere Folgen, die sich daraus ergeben. Für Westeuropa wird in diesem Zusammenhang eine Temperaturabsenkung erwartet. Nehmen Sie dazu Stellung.

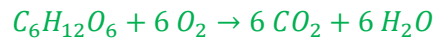
Zusatz 4) China und Indien sind Staaten mit einer hohen Bevölkerungszahl und mit einem enormen Entwicklungspotenzial. Sie sind dabei, zu "automobilen Gesellschaften" zu werden, und setzen dabei auf die gleiche Verbrennungstechnologie wie die führenden Industriestaaten. Diskutieren Sie, wie angesichts dieses Sachverhaltes einer noch stärkeren Klimaveränderung entgegengewirkt werden muss.





1) Zwischen den einzelnen Sphären gibt es einen Austausch an Kohlenstoff. Die Übergänge finden in Form von chemischen Reaktionen statt. Erläutern Sie das mit jeweils einem Beispiel für die Übergänge: Biosphäre - Atmosphäre, Atmosphäre - Hydrosphäre, Hydrosphäre- Lithosphäre, Lithosphäre- Atmosphäre, Atmosphäre - Biosphäre.

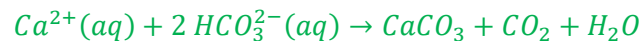
Biosphäre-- Atmosphäre: Aus dem pflanzlichen Material, das den größten Teil der Biomasse ausmacht, entsteht mit Luftsauerstoff Kohlenstoffdioxid, das in die Atmosphäre aufsteigt. Cellulose, die das Pflanzengerüst aufbaut, ist ein Makromolekül aus vielen β-Glucose-Bausteinen. Diese können vereinfacht mit der Summenformel C₆H₁₂O₆ beschrieben werden:



Atmosphäre - Hydrosphäre: Da das Kohlenstoffdioxid in Wasser etwas löslich ist, gelangt es an den Grenzflächen von der Luft in das Wasser und reagiert dort zu Hydrogencarbonat-Ionen:



Hydrosphäre - Lithosphäre: Die Hydrogencarbonat-Ionen bilden mit den Calcium-Ionen das schwerlösliche Calciumcarbonat, das von Meeresorganismen wie Muscheln und Foraminiferen als Baumaterialien genutzt wird. Dieser Kalk wird zunächst am Meeresboden sedimentiert. Wird ein Teil des Meeres abgetrennt und das Wasser verdunstet, entsteht Kalkgestein, das zu Gebirgen aufgefaltet werden kann:



Lithosphäre- Atmosphäre: In der Erdkruste gibt es unterschiedliche Lagerstätten mit fossilen Brennstoffen. Das sind Braunkohle und Steinkohle, aber auch Erdgas und Erdöl, und sie bestehen aus Kohlenstoff und Kohlenstoffverbindungen. Zur Gewinnung von Energie werden diese mit Sauerstoff umgesetzt. Das dabei entstehende Kohlenstoffdioxid entweicht in die Atmosphäre:



Atmosphäre- Biosphäre: Durch Fotosynthese produzieren Pflanzen mit dem Kohlenstoffdioxid der Atmosphäre und dem Wasser aus dem Boden organisches Material wie Cellulose beziehungsweise β-Glucose:



2) Beobachtungen, Messungen und Modellrechnungen zeigen, dass innerhalb der letzten Jahrzehnte der Kohlenstoff in der Atmosphäre um $2 \cdot 10^{12}$ Tonnen zugenommen hat und in der Hydrosphäre sogar um $3 \cdot 10^{12}$ Tonnen. In der Biosphäre ist er zurückgegangen. Erläutern Sie die Ursachen dafür.

Mit dem Beginn der Industrialisierung ist der Bedarf an Energie ständig angestiegen. Der überwiegende Teil dieser Energie wird aus fossilen Brennstoffen, also aus Kohle, Erdöl und Erdgas gewonnen. Damit wurde Kohlenstoff aus der Lithosphäre innerhalb weniger Jahrzehnte in erheblichem Umfang in die Atmosphäre verfrachtet und hat dort einen Anstieg des Kohlenstoffdioxidgehalts bzw. eine Erhöhung des Partialdruckes von Kohlenstoffdioxid bewirkt. Mit der Erhöhung dieses Partialdruckes steigt auch der Kohlenstoffdioxidgehalt der Gewässer, da die Löslichkeit dann zunimmt. Wegen großflächiger Rodungen, insbesondere auch in den tropischen Regenwäldern, gelangt weiterer Kohlenstoff, der in der Biomasse gebunden war, in die Atmosphäre. Für eine günstigere Kohlenstoffdioxid-Bilanz wären allerdings großflächige Aufforstungen notwendig, um durch Fotosynthese das Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre verstärkt in die Biomasse zurückzuführen.



Zusatz 3) *Der Anstieg des Kohlenstoffdioxid-Anteils in der Atmosphäre führt zu einer Verstärkung des Treibhauseffektes, die mit einer Temperaturerhöhung einhergeht. Erörtern Sie diese Verstärkung und weitere Folgen, die sich daraus ergeben. Für Westeuropa wird in diesem Zusammenhang eine Temperaturabsenkung erwartet. Nehmen Sie dazu Stellung.*

Die kurzwellige Sonnenstrahlung erreicht die Erdoberfläche, ohne dass sie von den Gasen, die die Atmosphäre bilden, in ihrer Intensität wesentlich abgeschwächt würde. An der Erdoberfläche wird diese Strahlung in langwellige Wärmestrahlung umgewandelt. Diese wird von den Spurengasen in der Atmosphäre, wie Methan und Lachgas, aber auch von Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf zu 90% absorbiert. Die genannten Gase wirken wie eine Schutzhülle gegen Wärmeabstrahlung. Wie Modellrechnungen zeigen, wäre ohne diese natürliche Schutzhülle die globale Mitteltemperatur um etwa 30 °C niedriger und würde bei -15 °C liegen. Da in den letzten Jahrzehnten der Kohlenstoffdioxid-Anteil in der Atmosphäre deutlich angestiegen ist, von 325 ppm (parts per mill ion) auf 355 ppm, wurde dieser Effekt der Minderung der Wärmeabstrahlung noch vergrößert und die globale Mitteltemperatur stieg um 0,6 °C an.

In der Folge schmelzen vermehrt die Gebirgsgletscher und das arktische Eisschild. Das führt zusammen mit der thermischen Ausdehnung des Meerwassers zu einem Anstieg des Meeresspiegels und zum Rückzug von Küstenlinien.

Der Golfstrom, der warmes Wasser nach Nordwesteuropa bringt, wird angetrieben durch Unterschiede im Salzgehalt und in der Dichte des Meerwassers. Er könnte zum Erliegen kommen, wenn nach dem Abschmelzen des Eises in der Arktis mehr Süßwasser in den Nordatlantik eingetragen wird und der Salzgehalt dort absinkt. Nach dem Abreißen des warmen Golfstromes in den Nordatlantik würden auch die Lufttemperaturen in Westeuropa deutlich sinken. Als weitere Folge muss global mit einer Zunahme der Niederschläge gerechnet werden. Dabei wird in den feuchten Klimazonen die Niederschlagsmenge noch größer, während sie in den Trockengebieten noch weiter abnimmt. Die Wüstengebiete könnten sich weiter ausdehnen und weitere Trockengebiete könnten entstehen.

Zusatz 4) *China und Indien sind Staaten mit einer hohen Bevölkerungszahl und mit einem enormen Entwicklungspotenzial. Sie sind dabei, zu "automobilen Gesellschaften" zu werden, und setzen dabei auf die gleiche Verbrennungstechnologie wie die führenden Industriestaaten. Diskutieren Sie, wie angesichts dieses Sachverhaltes einer noch stärkeren Klimaveränderung entgegengewirkt werden muss.*

Der Energieverbrauch eines Landes ist ein Indikator für den jeweiligen Entwicklungsstand. Dabei wird der gesamte Primärenergieverbrauch der gesamten Volkswirtschaft für ein Jahr ermittelt. Geteilt durch die Bevölkerungszahl ergibt sich der Primärenergieverbrauch pro Kopf. Die Primärenergie ist die Energieform wie sie in der Energiequelle vorliegt.

Dieser Primärenergieverbrauch pro Kopf liegt in China bei 31 Gigajoule, in Westeuropa ist er fünfmal so hoch, in den USA zehnmal so hoch, während er in Indien nur bei 21 Gigajoule liegt. Bezogen auf die gesamte Weltbevölkerung beträgt der Primärenergieverbrauch 63 Gigajoule pro Kopf und Jahr.

Mit dem derzeitigen globalen Verbrauch an Energie, die zu mehr als 80 % fossiler Herkunft ist, ist bereits die Belastbarkeit der Umwelt überschritten. Folgt die Entwicklung von China und Indien den westlichen Vorbildern, und vieles deutet darauf hin, geht das einher mit einer rasanten Vernichtung der Lebensgrundlagen der Menschheit. Natürlich müssen sich China, Indien und viele andere Länder der Dritten Welt, in denen Hunger und Armut herrscht, weiterentwickeln. Diese Entwicklung ist aber gekoppelt an einen höheren Energieverbrauch. Um den globalen Energieverbrauch dennoch nicht weiter ansteigen zu lassen, müssen die Industrieländer zu Gunsten der Entwicklungsländer ihren Energieverbrauch zurückführen.

Eine Möglichkeit dazu wäre die Entwicklung zu einer 2000-Watt-Gesellschaft, wie das in der Schweiz diskutiert wird. Dabei wird jedem Menschen auf der Erde die gleiche durchschnittliche Dauerleistung von 2000 Watt zugestanden. Umgerechnet bedeutet das im Jahr einen Energieverbrauch von den bereits genannten 63 Gigajoule pro Person. Davon soll nur ein Viertel fossiler Herkunft sein, aber drei Viertel müssen aus regenerativen Energieträgern stammen. Wenn darüber weltweit Konsens erzielt würde und entsprechende Maßnahmen bis Mitte des 21. Jahrhunderts umgesetzt würden, wäre der dramatische Klimawandel vielleicht noch aufzuhalten.

