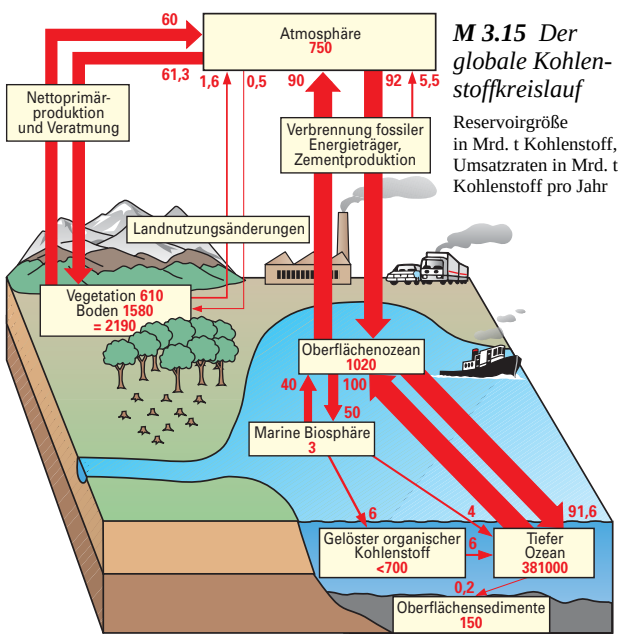
Der Kohlenstoffkreislauf

Anders als zu- und abgestrahlte Energie kann Materie auf der Erde und in der Atmosphäre in Kreisläufen immer wieder umgewälzt werden. Dabei findet keine Entwertung der chemischen Elemente statt. Der *Kohlenstoffkreislauf* (M 3.15) ist ein solches System.

Weltweite Kohlenstoffreservoire

Kohlenstoff findet sich in der Natur in großen, miteinander im Austausch stehenden Reservoiren in der Atmosphäre, der Land-Biosphäre und im Boden sowie im Ozean. Ein weiteres Reservoir, die Lagerstätten fossiler Energieträger, war über lange Perioden der Erdgeschichte am Kohlenstoffkreislauf nicht beteiligt und wird ihm seit 200 Jahren erst durch den Menschen wieder zugänglich gemacht. Das größte Reservoir jedoch sind die Meeressedimente und die aus ihnen entstandenen Kalkgebirge, in denen Kohlenstoff im Laufe der Erdgeschichte der Atmosphäre und dem Ozean (mit Ausnahme der Zementproduktion) endgültig entzogen wurde. Diese gigantischen Mengen stehen nicht mehr im globalen Kreislauf zur Verfügung (M 3.15). Die Atmosphäre ist ein zwar kleines, aber wichtiges *Kohlenstoffreservoir*. Sie enthält gegenwärtig 750 Gt (Gigatonnen) C (Kohlenstoff), für die vorindustrielle Zeit werden 600 Gt C angenommen. Land-Biosphäre, Boden und Verwitterungsgestein enthalten zusammen 2 190 Gt C. Land-Biosphäre und Boden tauschen CO_2 mit der Atmosphäre durch Photosynthese auf der einen, Respiration (Veratmung) und Zersetzung auf der anderen Seite aus. Diese Prozesse sind abhängig von klimatischen Faktoren wie Temperatur und Niederschlag, woraus sich u.a. die jahreszeitlichen Schwankungen der *CO_2-Konzentration* in der Atmosphäre ergeben. Für die Photosynthese spielen auch Düngungseffekte durch Kohlendioxid eine Rolle. Das größte der in einem natürlichen Austausch stehenden Reservoire sind die Ozeane mit etwa 40 000 Gt C, wovon der mit Abstand größte Teil sich im mittleren und tiefen Ozean befindet. Der Kohlenstoffaustausch zwischen Ozean und Atmosphäre erfolgt durch Gasaustausch. Das im Oberflächenwasser gelöste Kohlendioxid reagiert mit Wasser zu Bikarbonat- und Karbonationen. Ein geringerer Teil wird durch Photosynthese von der ozeanischen Biosphäre (vom Phytoplankton) aufgenommen. Die bisher genannten Austauschprozesse vollziehen sich in relativ kurzen Zeitskalen, maximal in einigen Jahren. Der Weitertransport von Kohlenstoff von den höheren in tiefere Ozeanschichten braucht dagegen bis zu 1 000 Jahre (M 3.16). Dieser langsame Abwärtstransport von CO_2-gesättigtem Oberflächenwasser begrenzt daher auch die ozeanische Aufnahmekapazität von Kohlenstoff aus der Atmosphäre.



***M 3.15** Der globale Kohlenstoffkreislauf*

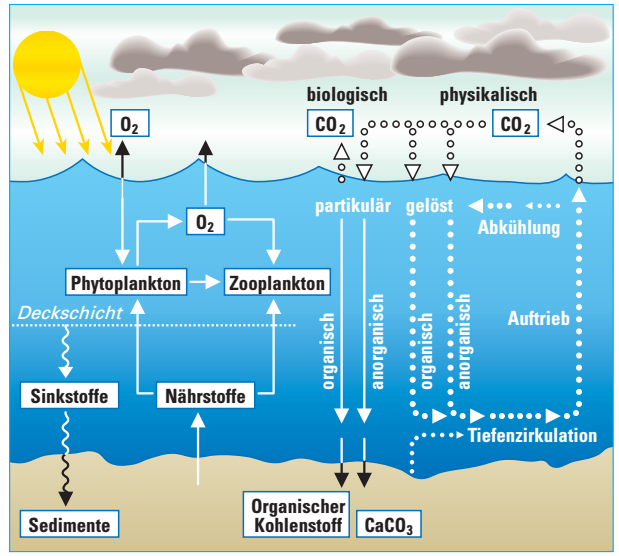
Reservoirgröße in Mrd. t Kohlenstoff, Umsatzraten in Mrd. t Kohlenstoff pro Jahr

Kohlenstoffeintrag durch den Menschen

Die jährlichen anthropogenen Emissionen von gegenwärtig 7 – 8 Gt C erscheinen gering im Vergleich zu den natürlichen Austauschflüssen von 60 Gt C zwischen Land-Biosphäre und Atmosphäre und 90 Gt C pro Jahr zwischen Atmosphäre und Ozean und erst recht im Vergleich zu den natürlichen Kohlenstoff-Reservoiren. Sie sind dennoch von großer klimatischer Bedeutung (M 3.17), da sie den ausgeglichenen CO_2-Zyklus der vorindustriellen Zeit erheblich stören und in Zukunft noch stärker abwandeln können: Die erschließbaren fossilen Brennstoffe werden auf 5 000 – 10 000 Gt C geschätzt. Das ist im Vergleich zu den gesamten bisherigen fossilen Emissionen von 210 Gt C mehr als das 30-fache.

Glücklicherweise ist die Atmosphäre nicht die einzige Senke für anthropogene Kohlenstoffemissionen. Von den anthropogenen Gesamtemissionen seit Beginn der Industrialisierung befinden sich heute noch etwa 43 % in der Atmosphäre, die pro Jahr rund 3,2 Gt C Kohlenstoff aufnimmt, was den Treibhauseffekt verstärkt. 2 Gt binden die Weltmeere. Bleiben 1,9 Gt, deren Verbleib unklar ist. Immerhin wissen wir heute, dass die gesuchten rund zwei Gt Kohlenstoff pro Jahr von der kontinentalen Biosphäre aufgenommen werden, die Frage ist nur, welche Ökosysteme sie aufnehmen (vgl. S. 84 – 85).

Sicher ist, dass die CO_2-Konzentration durch anthropogenen Einfluss stark angestiegen ist und weiterhin steigt. Welche Auswirkungen dies auf die Stoffkreisläufe der Erde hat oder haben wird, ist noch größtenteils Spekulation. Nur intensive Forschung und damit ein tieferes Verständnis komplexer globaler Zusammenhänge wird den wirklichen Einfluss des Menschen entschlüsseln können.



***M 3.16** Der ozeanische Stoffkreislauf*

Nach H. Sterr / V. Ittekot / R. J. T. Klein: Weltmeere und Küsten im Wandel des Klimas. In: Petermanns Geographische Mitteilungen 143, Pilotheft 2000. Gotha: Perthes 1999

3.7 Erklären Sie den globalen Kohlenstoffkreislauf. Berücksichtigen Sie dabei vor allem die Reservoirs „Atmosphäre“ und „Ozean“.

3.8 Warum kommt der Atmosphäre als CO_2-Reservoir eine besondere Bedeutung zu?

3.9 Erläutern Sie die Folgen der anthropogenen CO_2-Emissionen unter Berücksichtigung ihrer Verweildauer im Kohlenstoffkreislauf.

CO_2-Senken

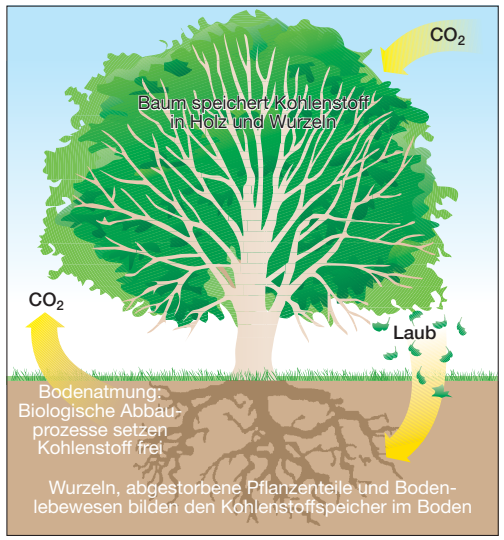
Der Kohlenstoffkreislauf beschäftigt die Wissenschaftler schon seit mehreren Jahrzehnten. Auf den jüngsten Weltklimakonferenzen setzten sich die Politiker mit einem der größten Probleme auseinander: Bis spätestens 2012 wollen die Industrienationen im Vergleich zu 1990 die Emission von Treibhausgasen um 5,2 % reduzieren.

Nach Vorstellung einiger Länder sollen *CO_2-Senken* dabei einen entscheidenden Beitrag leisten, da Bäume bei ihrem Wachstum mit Hilfe von CO_2 aus der Luft sowie mit Wasser und den darin gelösten Nährstoffen aus dem Boden pflanzliche Biomasse aufbauen. Der im CO_2 enthaltene Kohlenstoff wird entweder kurzfristig in den Blättern, oder längerfristig im Holz und in den Wurzeln gespeichert. Wälder in der Wachstumsphase entziehen daher der Atmosphäre Kohlenstoff und sollen als Speicher angerechnet werden. Doch ob dieses Vorgehen tatsächlich eine Lösung des Problems darstellt, ist umstritten (vgl. die nachfolgenden Quellen und Materialien).

3.10 Wägen Sie Nutzen und Gefahren der Anrechnung von CO_2-Senken in der Klimabilanz ab.

3.11 Arbeiten Sie aus den Quellen drei wissenschaftliche Annahmen heraus, die eine Anrechnung von CO_2-Senken fragwürdig erscheinen lassen.

3.12 Entwickeln Sie mögliche Handlungsalternativen bezüglich des anthropogen verstärkten CO_2-Anstieges.



→ Große Waldflächen als CO_2-Senken.

„Über die Anrechnung von Neupflanzungen hinaus möchten einige Nationen aber auch bereits bestehende Waldflächen als Senken anrechnen dürfen. Waldreiche Länder wie die USA und Kanada begründen diesen Ansatz so: Steigende Temperaturen und wachsende CO_2-Mengen in der Atmosphäre wirken auf den Wald wie Dünger und fördern das Pflanzenwachstum."

Potsdam Institut für Klimafolgenforschung. Website, aufgerufen am 29.6.2002

→ Verantwortung der Industriestaaten.

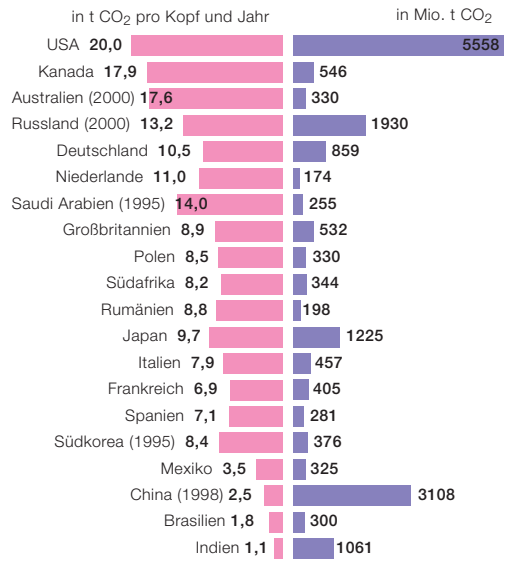
„Es ist viel einfacher, anderswo Bäume zu pflanzen als im eigenen Land die Menschen zu motivieren, auf ihr motorisiertes Vehikel zu verzichten. Der Anreiz zur Durchsetzung von nachhaltigen CO_2-neutralen Energiequellen in den Industrieländern würde wegfallen. In den Entwicklungsländern hätte die Bevölkerung mit der Landgier der Industriestaaten zu kämpfen. Legale und illegale Abholzungen von Primärwäldern würden massiv stimuliert, denn nun ließe sich auch mit einer Kahlschlagpolitik noch zusätzlich Geld machen. Urwälder würden durch Plantagen ersetzt, schließlich taucht ja die ‚Freisetzung' von CO_2 durch die vorherige Abholzung der Urwälder in den diversen Senkenberechnungen nicht auf. Außerdem ignoriert ein solches System, dass die CO_2-Bindung in den Neupflanzungen keine dauerhafte wäre, denn auch diese Pflanzen würden ja später wieder einer Nutzung zugeführt und sich letztlich zersetzen – das gespeicherte CO_2 landet wieder in der Atmosphäre. Oder noch verkürzter: Bei einem Waldbrand würde sich eine solche Senke ganz schnell in einen ‚Superemittenten' verwandeln."

Global 2000.Website, aufgerufen am 29.6.2002

→ Wälder sind CO_2-neutral.

„Annette Freibauer vom Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena kommentiert: ‚Die Größe einer Senke kann bisher nicht berechnet werden.' Wegen der hohen räumlichen und zeitlichen Variabilität sind Umsatzraten in biologischen Systemen nur schwer zu bestimmen. Die Unsicherheiten, mit denen wir rechnen müssen, sind zur Zeit noch so groß wie die Senken selber, das heißt wir arbeiten mit Fehlern von 100 Prozent.' Der Boden bereitet den Wissenschaftlern besondere Probleme. Wurzeln, abgestorbene Pflanzenreste und Lebewesen bilden dort riesige Kohlenstoffvorräte. ... Der Abbau von organischem Material, die Bodenatmung, entscheidet darüber, ob der Wald als Kohlenstoffquelle oder -senke wirkt. Trotz aller Unsicherheiten ist den Klimaforschern jedoch klar, ‚dass der Wald nicht unendlich als Kohlenstoffsenke fungieren kann', sagt Wolfgang Cramer vom Potsdam Institut für Klimafolgenforschung. ‚Irgendwann ist der Speicher voll und die Senkenfunktion erschöpft. Langfristig betrachtet verhalten sich die Wälder daher CO_2-neutral.'... Für viel entscheidender halten die Potsdamer Klimaforscher eine ganz andere Folge der Aufforstung: Bewaldete Gebiete reflektieren weniger Sonnenstrahlung als Ackerflächen oder die Tundra. Das gilt besonders im Winter, denn weiße (Schnee-) Flächen reflektieren mehr Strahlung als dunkle (Baumkronen). Neupflanzungen verringern die Reflexion des Sonnenlichtes und verstärken dadurch die Erwärmung unseres Planeten. Wie Richard Betts vom Hadley Centre in ‚Nature' (Band 408, Seite 187) berichtete, könnte dieser Effekt bedeutsamer werden als die erhoffte Senkenfunktion aufgeforsteter Flächen."

M. Röver in: Der Tagesspiegel, Berlin, vom 15.11.2000



→ Handel mit Umweltzertifikaten.

„Die Bundesrepublik sollte den umstrittenen Handel mit Umweltzertifikaten trotz des heftigen Widerstands von Arbeitgebern und Gewerkschaften zügig einführen. Darauf drängt der Sachverständigenrat für Umweltfragen der Bundesregierung. ‚Wirtschaft und Gewerkschaften sollten ihren Widerstand gegen ein verbindliches Handelssystem aufgeben', sagte die Vorsitzende des Sachverständigenrates, Gertrude Lübbe-Wolff, der ‚Berliner Zeitung'. Der Emissionshandel wirke sich positiv auf den weltweiten Klimaschutz aus und biete der Industrie und den Beschäftigten große ökonomische Chancen. ‚Alle Beteiligten können von einem richtig ausgestalteten Handel mit CO_2-Zertifikaten profitieren.' ... Die Pläne zum Emissionshandel sehen vor, dass energieintensive Branchen nur dann Treibhausgase ausstoßen dürfen, wenn sie über die entsprechenden Emissionsrechte verfügen. Diese sollen nur in limitierter Zahl ausgegeben und an einer Börse gehandelt werden. Unternehmen können dabei überschüssige Rechte an Konkurrenten verkaufen. Bei Bedarf können sie auch Verschmutzungsrechte von anderen erwerben, wenn die eigenen nicht ausreichen."

J. Michel in: Berliner Zeitung, Berlin, vom 11.3.2002

→ Sinnvoller Emissionshandel?

„Man muss sich das Ganze wie ein Kartenspiel vorstellen. Die Anzahl der Karten ist für jeden Spieler von vornherein begrenzt und wenn jemand noch ein zusätzliches Spielstück braucht, muss er dafür etwas geben, in diesem Fall Geld. Das hat folgenden Vorteil: Unternehmen, die es sich momentan nicht leisten können, den Ausstoß von Klimakillern zu drosseln, bietet sich damit eine Alternative: Sie können ‚Karten' von einer anderen Firma hinzukaufen, die ihre zugestandene Emissionsmenge im Moment ohnehin nicht ausschöpft."

G. Wöbken-Ekert in: Berliner Zeitung, Berlin, vom 11.3.2002

***M 3.18** Der Wald als CO_2-Senke?*

***M 3.19** Die größten Verursacher von CO_2-Emissionen (ohne Land- und Forstwirtschaft) 1999 (soweit nicht anders erwähnt)*

Nach Vereinte Nationen, Millennium Indicators (UNFCCC) 2002 und www.globalchange.com (30.09.2002)