

CO₂- Senken

Inhaltsverzeichnis:

1. Was ist CO₂?
2. Senken als CO₂ Speicher
 - 2.1 Kurzfristiger Kohlenstoffdioxidkreislauf
 - 2.2 Langfristiger Kohlenstoffdioxidkreislauf
3. Wie Ozeane Kohlenstoffdioxid aufnehmen
 - 3.1 Physikalische und chemische Prozesse
 - 3.2 Biologische Prozesse
 - 3.3 Hydrogencarbonat und Methanhydrat – chemische Prozesse im Ozean
 - 3.4 Methanhydrat: Nutzbare Alternative zu Erdöl, Erdgas oder Kohle für die Zukunft?
4. Der Wald als CO₂-Senke?!
 - 4.1 Hoffnungen und Irrtümer
5. Klimawandel heute und was tun?
 - 5.1 Eisendüngung
 - 5.2 Auswirkungen des Klimawandels auf die CO₂-Senken
6. Literaturverzeichnis
7. Danksagung

1. Was ist CO₂?

Kohlenstoffdioxid (CO₂) ist ein geruchloses, farbloses und unbrennbares Gas, das in Wasser löslich ist. Im Handel ist es in flüssiger Form als Kohlensäure und sublimiert als „Trockeneis“ (-78,5 °C) erhältlich. CO₂ ist ungiftig und in der Luft bis zu 2,5 Vol. Prozent unschädlich, 4-5 Prozent wirken betäubend und mehr als 8 Prozent tödlich (Erstickung).

Der Kohlenstoffdioxid-Kreislauf ist einer der wichtigsten Naturkreisläufe der Welt. Dieser sichert den notwendigen Austausch von Kohlenstoff zwischen Luft, Boden und Wasser.

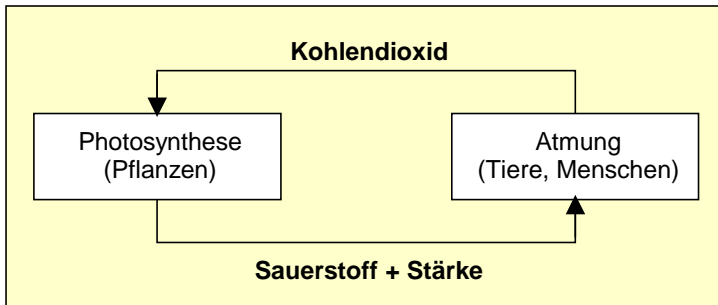


Abb.1: vereinfachter Kohlendioxidkreislauf zwischen Tier- und Pflanzenwelt

Pflanzen sind einer der bedeutendsten Kohlenstoff-Lieferanten. Durch Photosynthese wird mit Hilfe des Sonnenlichtes Kohlendioxid in Kohlenstoff und Sauerstoff zerlegt. Der Kohlenstoff bleibt in der Pflanze gespeichert, während der Sauerstoff an die Umwelt abgegeben wird (vgl. Abb.1).

Einen weiteren wichtigen Punkt bilden die tierischen

Organismen. Die zum Überleben notwendige Energie wird durch das Verbrennen von Kohlenstoff und Sauerstoff zu Kohlenstoffdioxid erreicht.

Durch den intensiven Kohlenstoffdioxid-Austausch zwischen Atmosphäre und Biosphäre treten Tages- und Jahresschwankungen im Kohlenstoffdioxid-Gehalt der Luft auf. Die Atmosphäre weist einen ausgeprägten Jahreszyklus auf: Ende April ist der Kohlenstoffdioxid-Gehalt im globalen Mittel um ca. 6 ppm höher als im Oktober. Die Pflanzen der nördlichen Gebiete entziehen der Luft während der Vegetationsphase (Frühjahr bis Herbst) durch Photosynthese soviel Kohlendioxid, dass die Konzentration zum Herbst hin abnimmt. Zum Ende des Winters wird aufgrund des geringen Kohlenstoffdioxid-Verbrauchs und des Zersetzens von Biomasse Kohlenstoffdioxid freigesetzt.

Seit Beginn der Industrialisierung greift der Mensch in den natürlichen Kohlenstoffkreislauf durch die Verbrennung fossiler Energieträger ein. Dadurch werden über sechs Milliarden Tonnen Kohlenstoff zusätzlich in die Atmosphäre emittiert, was dazu geführt hat, dass der atmosphärische CO₂-Gehalt von 280 auf 380 ppm (parts per million) gestiegen ist (vgl. Abb.2).

Von den anthropogenen Emissionen verbleibt jedoch nur etwa die Hälfte in der Atmosphäre. Der Rest wird von Senken auf dem Land und im Ozean aufgenommen.

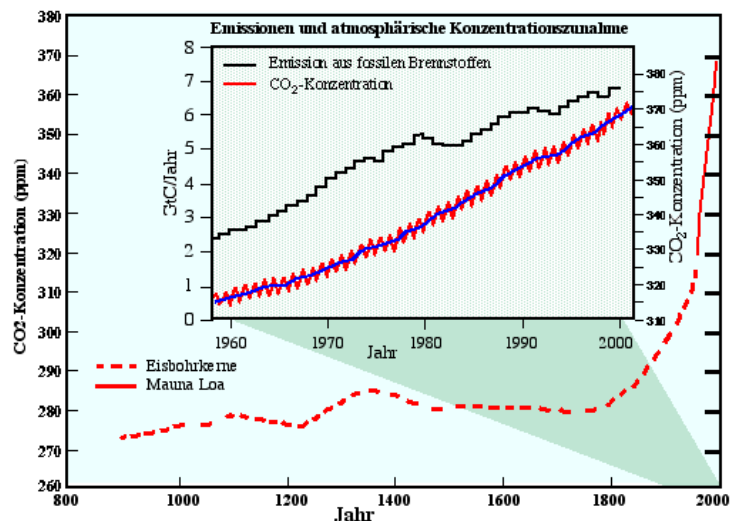


Abb.2: Globaler Kohlendioxidgehalt seit 800 n. Chr. (Quelle: www.klimawissen.de)

2. Senken als CO₂- Speicher

Unter „Senken“ werden im Klimaschutz natürliche Speicher für Kohlenstoff verstanden. Senken können das durch die Menschen freigesetzte Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre aufnehmen und über einen gewissen Zeitraum speichern. Wissenschaftler gingen 2003 davon aus, dass Europas Biosphäre eine Kohlenstoffdioxidsenke darstellen würde, die jährlich 135 bis 205 Millionen Tonnen CO₂ speichert. Dies hätte 7 bis 12 Prozent der vom Menschen verursachten CO₂-Emissionen in Europa entsprochen. Weiterhin muss beim Kohlenstoffspeicher zwischen kurzfristigem und langfristigem CO₂- Speicher unterschieden werden.

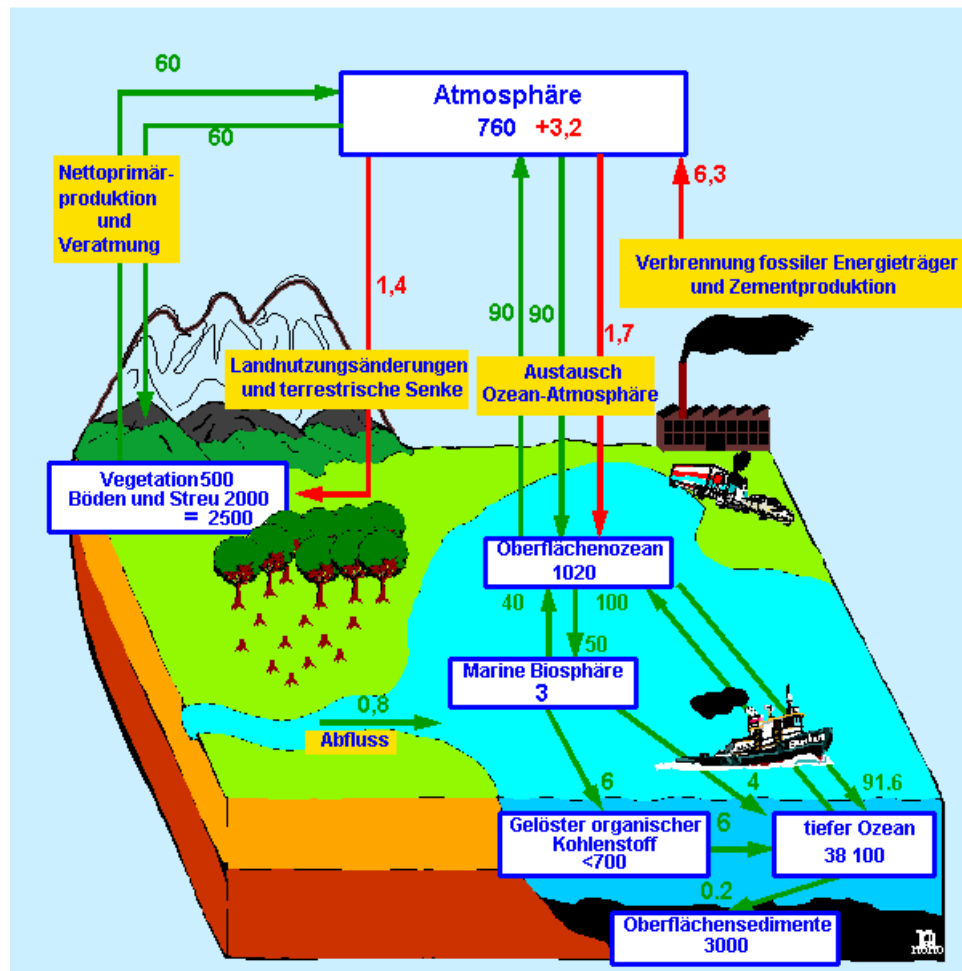


Abb. 3: Der Kohlenstoffkreislauf: Die Abb. zeigt die CO₂-Reservoirs (blau), die natürlichen Kohlenstoffflüsse (grün) und die anthropogenen Störungen (rot) in Gt C bzw. Gt C pro Jahr. Die anthropogenen Flüsse zwischen Atmosphäre und Ozean und Atmosphäre und Landvegetation sind Nettowerte für die 1990er Jahre (Quelle: www.klimawissen.de, verändert nach Norbert Noreiks, MPI-M)

2.1 Kurzfristiger Kohlenstoffdioxidkreislauf:

Bei einem kurzfristigen Kohlenstoffdioxidkreislauf bleibt das CO₂ nur einen relativ kurzen Zeitraum gespeichert, der von Minuten über Tage bis zu maximal einigen Tausend Jahren dauern kann. Zu diesem Speicher gehören vor allem die Atmosphäre, lebende Organismen, Ozeane und Wälder. Die Lithosphäre spielt im kurzfristigen Kohlenstoffdioxidkreislauf keine

bedeutende Rolle. Entscheidend sind also die Wechselbeziehungen zwischen der Atmosphäre, der Biosphäre und der Hydrosphäre.

Während die am kurzfristigen Kohlenstoffdioxidkreislauf beteiligten Speicher extrem klein sind, ist der Austausch in Relation dazu sehr hoch. Dies gilt für die Diffusion zwischen Luft und Wasser, die Assimilation von CO_2 während der Photosynthese bei Pflanzen und die Freisetzung von Sauerstoff ebenso wie für die Abgabe von CO_2 bei der Atmung von lebenden Organismen. Landpflanzen entziehen der Atmosphäre durch Photosynthese jährlich etwa 122 Gt CO_2 , marines Phytoplankton dagegen nur 103 Gt CO_2 pro Jahr aus dem Wasser. Daran wird deutlich, dass die Landlebewesen einen größeren Kohlenstoffdioxidspeicher darstellen als die Meeresorganismen, der marine Speicher ist im Gegensatz dazu aber „leistungsfähiger“.

2.2 Langfristiger Kohlenstoffdioxidkreislauf:

Der langfristige Kohlenstoffdioxidkreislauf beinhaltet vor allem geochemische Prozesse, die den Austausch von CO_2 oder dessen chemische Verbindungen steuern. Diese geochemischen Prozesse hängen eng mit den Auswirkungen der abiotischen Faktoren im erdgeschichtlichen Zeitraum zusammen. Im Unterschied zum kurzfristigen Kohlenstoffdioxidkreislauf beträgt die Verweildauer von Kohlenstoffdioxid hier Tausend, Millionen oder sogar Milliarden Jahre. Dieser Speicher beinhaltet Teilsysteme der Lithosphäre, die unter anderem auch Carbonatgestein und fossile Brennstoffe aufweisen. Die Flussrate ist in Relation zu dem extrem großen, am Kohlenstoffdioxidkreislauf beteiligten Kohlenstoffspeicher verschwindend gering.

Der Kohlenstoffdioxidaustausch zwischen Atmosphäre und Lithosphäre wird durch Sedimentation, Diagenese, Gesteinsmetamorphose, Verwitterung und Vulkanismus bestimmt. Diagenese ist der Prozess der Gesteinsverfestigung. Die als erstes abgelagerten Schichten werden in der Tiefe durch die immer weiter folgenden Schichten und deren Last zusammen gedrückt (Kompaktion). Die Hohlräume zwischen den einzelnen Schichten werden hierbei von nachfolgenden, feineren Körnern aufgefüllt und das Lockersediment wird durch das Wachsen von neuen Mineralien zementiert (Zementation). Durch den chemischen Abbau von abgestorbener, organischer Materie können Huminstoffe entstehen, aus denen bestimmte Stoffe wie zum Beispiel Ölschiefer und Teerstoffe gebildet werden. Dabei entsteht auch Methan. Die Diagenese geht fließend in den Prozess der Gesteinsmetamorphose über. Die Gesteinsmetamorphose ist die Umwandlung der mineralogischen Zusammensetzung eines Gesteins durch geänderte Temperatur- und/oder Druckbedingungen. Diese Veränderung der Temperatur beziehungsweise des Druckes entsteht durch die langsamen Konvektionsströme in der Lithosphäre, die auf den geothermischen Wärmefluss aus dem Erdinneren zurückzuführen sind. Die tektonischen Platten der Erdkruste werden dadurch gegeneinander bewegt und es entstehen Subduktionszonen. Das dabei durch Druck und Erhitzen zum Schmelzen gebrachte Material reagiert unter anderem zu Calciumsilicat, Kohlenstoffdioxid und Methan. Durch Klüfte und Poren des Gesteins gelangen diese in die Atmosphäre.

Auch durch vulkanische Aktivitäten kann CO_2 freigesetzt werden. Aufsteigendes Magma verursacht eine Druck- und Temperaturverringerng, was zur Folge hat, dass gelöste, flüchtige Bestandteile wie zum Beispiel Kohlenstoffdioxid und Wasser in Gase umgewandelt werden. Diese Gase bilden im Magma Blasen, die in die Atmosphäre oder Tiefenwasser des Ozeans entgasen. So wird Kohlenstoff, der unter anderem in Kalkstein gebunden war, in Form von CO_2 freigesetzt.

Diese Ausgasungsprozesse setzen jährlich weniger als 0,1 Gt Kohlenstoff frei, obwohl die Lithosphäre mit mehr als 75.000.000 Gt Kohlenstoff den größten Speicher der Erde bildet. Die Abflussrate dieses Speichers ist im Gegensatz dazu sehr gering und beeinflusst den Kohlenstoffdioxidgehalt der Atmosphäre nur auf einer Skala von Millionen von Jahren.

3. Wie Ozeane Kohlenstoffdioxid aufnehmen:

Der größte Vorrat an Kohlenstoff auf der Erde liegt in den Sedimenten, sowohl an Land als auch in den Ozeanen. Calciumcarbonat (CaCO_3) ist die am weitesten verbreitete Form von Kohlenstoff. Die zweitgrößte Lagerstelle bilden die Tiefenwasser der Ozeane, in denen Kohlenstoff vor allem als gelöstes Carbonat (CO_3^{2-}) und Hydrogencarbonat (HCO_3^-) vorkommt. Viele Annahmen bestätigen die weit verbreitete These, dass etwa ein Drittel dessen, was der Mensch durch die Ausbeute fossiler Brennstoffe (Öl, Gas, Kohle,...) an Kohlenstoffdioxid in die Atmosphäre entlässt, in den Ozeanen gespeichert wird. Dort tritt es in physikalische, chemische und biologische Prozesse ein.

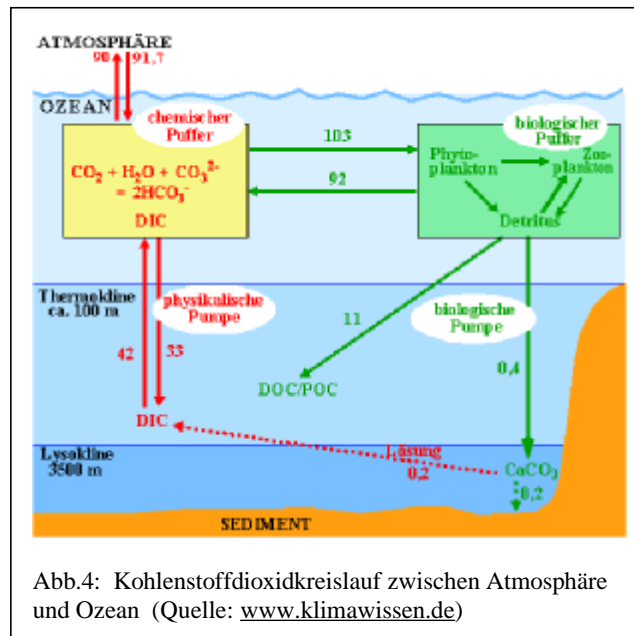


Abb.4: Kohlenstoffdioxidkreislauf zwischen Atmosphäre und Ozean (Quelle: www.klimawissen.de)

3.1 Physikalische und chemische Prozesse:

Zwischen der Atmosphäre und dem Ozean findet stets ein großer Stoffaustausch an der Wasseroberfläche statt, u. a. auch von CO_2 . Dabei kann CO_2 aus der Atmosphäre ins Wasser gelangen und dort gelöst werden, aber auch umgekehrt aus dem Wasser in die Atmosphäre freigesetzt werden. Ob mehr CO_2 im Wasser aufgenommen wird als in die Atmosphäre abgegeben, hängt vom Partialdruck des CO_2 in beiden Medien ab.

Ist der Partialdruck im Ozean niedriger als in der Atmosphäre, wie es in kalten Regionen der Fall ist, ist er untersättigt und kann der Luft CO_2 entziehen.

Damit hängt die Löslichkeit von CO_2 im Ozean von Parametern wie der Temperatur und dem Salzgehalt ab.

Als „physikalische Pumpe“ bezeichnet man den Vorgang, durch den CO_2 in die Tiefe transportiert wird. Dessen Effektivität ist teilweise abhängig von der thermohalinen Zirkulation, dem globalen Strömungssystem. Diese wird durch Dichteunterschiede – angetrieben, die durch Unterschiede in der Temperatur und dem Salzgehalt hervorgerufen werden. In den polaren Meeren ist das Oberflächenwasser kalt und hat eine höhere Dichte als das darunter liegende Wasser; dies hat zur Folge, dass es absinkt. In anderen Regionen (Kontinentalhang) steigt kaltes Tiefenwasser auf und verdrängt das leichte Oberflächenwasser.

So wird in dem kaltem, salzreichen Wasser der polaren Gebiete eine große Menge CO_2 gebunden und in die Tiefe „gezogen“, mit der Tiefenströmung befördert und in der Tiefsee gespeichert. Durch das Absinken großer Wassermassen in die Tiefe und ihre Verteilung über große Distanzen wird das CO_2 effektiv über Jahrtausende dem Austausch mit der Atmosphäre entzogen.

3.2 Biologische Prozesse:

Das atmosphärische Gas wird nicht nur auf der chemische Ebene verwandelt, sondern ebenfalls durch photosynthetische Prozesse des Phytoplanktons gebunden. Dabei wird es in zwei unterschiedlichen Formen als Kohlendioxid oder Hydrogencarbonat aufgenommen.

Die Folge ist die Verringerung des Partikedruckes von CO₂ im Ozean und damit eine Verstärkung der Aufnahme von CO₂ aus der Atmosphäre. Die Bruttoprimärproduktion durch das Phytoplankton werden jährlich auf etwa 103 Gt C, geschätzt, wobei davon allein 58 Gt C wieder veratmet werden. Übrig bleiben 45 Gt C die im Phytoplankton gebunden sind und vom Zooplankton konsumiert werden. Das Phytoplankton wiederum veratmet 34 Gt C. Die restlichen 11 Gt C werden als Abfallprodukt (mariner Schnee) in die Tiefsee exportiert und dort im Sediment remineralisiert. So wird ein Bruchteile des CO₂s fossilisiert und dem Kohlenstoffdioxidkreislauf entzogen. Dieses Phänomen nennt man „Leck“.

3.3 Hydrogencarbonat und Methanhydrat – chemische Prozesse im Ozean

Hydrogencarbonat:

Kohlensäure entsteht durch das Lösen des Gases Kohlenstoffdioxid in Wasser. Die Salze der Kohlensäure (H₂CO₃) heißen Carbonate oder Hydrogencarbonate.

Salze sind Ionenverbindungen, die äußerlich als Kristalle in Erscheinung treten. Erhitzt man Hydrogencarbonate, zerfallen diese in Metalloxid und Kohlenstoffdioxid (CuCO₃ = CuO + CO₂). Bei Carbonaten sind beide Wasserstoffatome durch Metallatome ersetzt. Im Unterschied zu den Carbonaten ist beim Hydrogencarbonat nur ein Wasserstoffatom durch ein Metallatom getauscht.

Im Mineralienreich kommen die Carbonate in großer Vielfalt vor.

Methanhydrat:

Methanhydrat entsteht durch das Zersetzen von abgestorbene Pflanzen und Tierkadavern, die sich am Meeresboden sammeln. Ab Druckverhältnissen von ca. 50 bar, die bei einer Wassertiefe von ca. 500 m erreicht werden und Temperaturen zwischen 2-4 °C bildet sich Methan. Am Meeresboden, wird bei geschätzten zwölf Billionen Tonnen Methanhydrat, doppelt so viel Kohlenstoff gebunden wie in allen Erdöl-, Erdgas-, und Kohlevorräten der Welt zusammen.

3.4 Methanhydrat: Nutzbare Alternative zu Erdöl, Erdgas oder Kohle für die Zukunft?

Methanspeicher sind Gashydrate, die in großen Mengen an Kontinentalrändern und arktischen Permafrostgebieten auftreten. Methanhydrate sind eisähnliche, feste Verbindungen aus Wasser und Gas, die nur bei hohem Druck und/oder niedriger Temperatur stabil sind. Diese Substanz wird bereits schon seit längerem als Energiequelle der Zukunft angesehen. Doch ein Abbau des Methanhydrats scheint nach dem heutigen Stand der Forschung erst in ca. zehn Jahren möglich zu sein. Wichtigster Indikator für förderungswürdiges Methaneis sind Gasblasen. Die Gasblasen steigen aus einer Tiefe von ein bis drei Kilometern unterhalb des Meeresbodens auf und gefrieren in ca. 100 bis 500 Meter tiefen Sedimenten zu Methaneis, da nur hier der Stoff stabil ist. Diese aufsteigenden Gasblasen lassen sich mit Hilfe von Schallwellen orten. Sie sind damit der wichtigste Indikator für förderungswürdige Mengen von Methanhydrat.

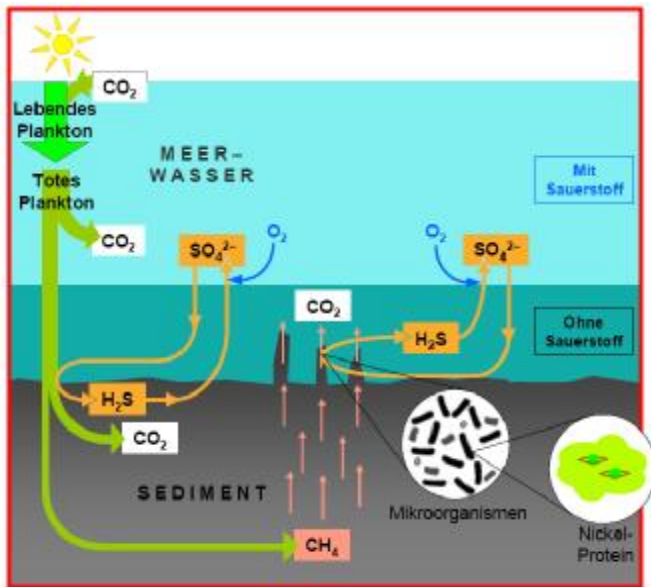


Abb. 5: Der Weg des Kohlenstoffs im Schwarzen Meer mit Bildung und Inaktivierung von Methan.
(Quelle: F. Widdel, Bremen, MPI für Marine Mikrobiologie)

noch Unsicherheiten gibt, wird von einer Größenordnung zwischen 1.000 bis 10.000 Gt Kohlenstoff, der in Methanhydrat gebunden ist, ausgegangen. Dies übersteigt die Kohlenstoffmengen der aktuell bekannten Vorkommen fossiler Brennstoffe bei weitem und stellt damit ein Potenzial für die Zukunft dar, wenn die konventionellen Energieträger ausgeschöpft sein sollten. Eine wichtige Voraussetzung dafür ist, dass, zusätzlich zu der gegebenen Treibhausproblematik des Kohlenstoffdioxids aus der Verbrennung, Fördermethoden entwickelt werden, die einen wirtschaftlichen und umweltschonenden Abbau sowohl im marinen als auch im Permafrost-Bereich ermöglichen. Dabei sind allerdings verschiedene Problematiken zu beachten:

- a) Mögliche Klimakatastrophen
- b) Mögliche Flutwellen/ Tsunamis
- c) Zerstörung des marinen Ökosystems

a) Mögliche Klimakatastrophen:

Der lastende Druck der Tiefsee und die dort vorhandenen niedrigen Temperaturen sind notwendige Voraussetzungen, damit das Hydrat nicht in seine Bestandteile zerfällt. Bei der Bergung und dem damit verbundenen Abnehmen des Druckes und Erhöhung der Temperatur, wenn das Hydrat in höhere Ozeanschichten transportiert wird, könnten daher große Mengen des Treibhausgases Methan in die Atmosphäre gelangen und den jetzigen Treibhauseffekt verstärken. Wenig bekannt ist zudem, dass das Spurengas Methan als „atmosphärischer Wärmespeicher“ pro Molekül etwa 15- bis 30-fach wirksamer ist als Kohlenstoffdioxid.

Nicht nur die Bergung bringt einige Gefahren mit sich. Eine grundsätzliche Destabilisierung dieser Methanhydratvorkommen kann zu plötzlichen Ausbrüchen mit massiver Methanfreisetzung führen.

Der bei weitem größte Anteil an Methan wird im Bereich der Kontinentalränder gebildet, wo durch hohe Planktonproduktivität und durch hohe Sedimentationsraten große Mengen an organischem Material im Sediment für die Gasbildung zur Verfügung gestellt werden. Dadurch sind Methanhydrate an fast allen Kontinentalrändern zu finden, aber auch im Kaspischen Meer, im Schwarzen Meer, im Mittelmeer und im Baikalsee.

Im Vergleich zu den bekanntesten, wichtigsten Speichern der organischen Kohlenstoffvorkommen der Erde ist die Menge Kohlenstoff, die in Methanhydrat existiert, riesig. Da es bei der globalen Berechnung

b) Mögliche Flutwellen/Tsunamis:

Methanhydrat dient an vielen Kontinentalhängen als eine Art Zement, der die Sedimente zusammenhält und vor dem Abrutschen bewahrt. Durch das Ab- bzw. Wegrutschen der Hänge könnten enorme unterseeische Erdbeben und Flutwellen ausgelöst werden.

c) Zerstörung des marinen Ökosystems

Das bestehende Gleichgewicht des marinen Ökosystems könnte durch das großflächige Aufwühlen des Meeresbodens und der Trübung des Wassers gefährdet und zerstört werden.

Vermutungen bringen das Methanhydrat mit dem Verschwinden der Schiffe im Bermudadreieck in Verbindung. Angeblich seien die Schiffe gesunken, weil das durch Methan-Eruptionen aufgewühlte Wasser sie nicht mehr getragen haben soll. Bis heute konnte aber noch nicht geklärt werden, ob bzw. was die Auslöser dafür sind.

4. Der Wald als CO₂- Senke?!

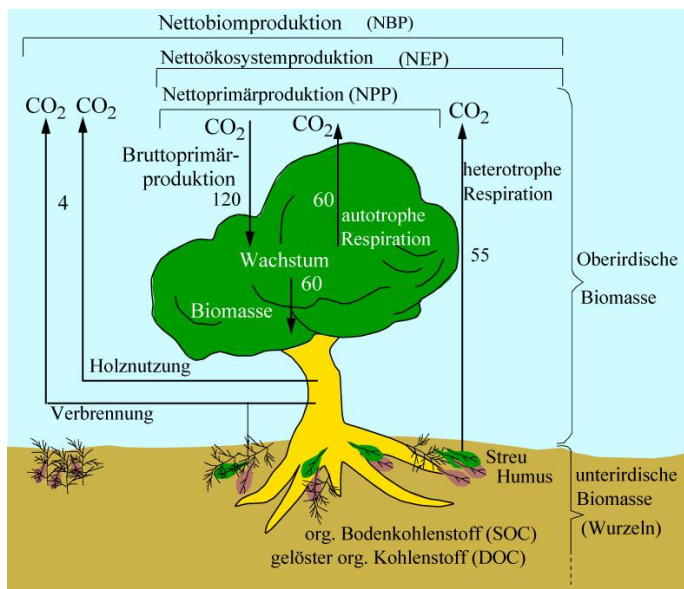


Abb.6: Kohlenstoffdioxidkreislauf zwischen Atmosphäre und Landvegetation (Quelle: www.klimawissen.de)

Wälder bedecken etwa ein Viertel der gesamten Erdoberfläche, wobei sie von allen Landpflanzen zusammen etwa 90% des atmosphärischen CO₂-Kohlenstoffs speichern. Diese Reduzierung des Treibhausgases Kohlenstoffdioxid ist notwendig, um die Erwärmung des Erdklimas zu verlangsamen. Die Bäume nehmen über die Blätter Kohlenstoff aus der Luft auf und wandeln diesen in Kohlenstoffverbindungen um. Landpflanzen entziehen der Atmosphäre durch Photosynthese jährlich etwa 122 Gt Kohlenstoff. Bei der Atmung geben Landpflanzen etwa 60 Gt C jährlich wieder an die Atmosphäre

ab. Die restlichen 62 Gt C werden als Biomasse gebunden und zum Teil von den Pflanzenfressern genutzt. Ein Großteil dieser Nettoprimärproduktion fällt als organische Partikel an und wird durch Atmung heterotropher Bodenbakterien in Mineralien umgewandelt. Von den ursprünglich gespeicherten 60 Gt Kohlenstoff werden 55 Gt auf diesem Wege wieder an die Atmosphäre abgegeben. Durch Waldrodung oder Holzverbrennung sind die verbleibenden 5 Gt abgebaut worden. Die restlichen 2 Gt Kohlenstoffdioxid werden in den langfristigen Kohlenstoffdioxidkreislauf in Form von schwer abbaubarem Humus (Torf und Kohle) überführt.

Während ihrer Lebensdauer speichern Bäume die Kohlenstoffverbindungen in ihrer Biomasse, insbesondere im Holz und den Blättern. Beim Absterben und Verrotten, bzw. Verbrennen des Baumes wird durch die Zersetzung Kohlenstoff wieder an die Umgebung abgegeben. Der Wald stellt also sowohl eine Kohlenstoff-Senke als auch -Quelle dar.

4.1 Hoffnungen und Irrtümer

Die Hoffnung vieler Experten war, dass die gewaltigen Waldvorkommen in Asien, Europa und Nordamerika als riesige Senke gegen den Klimawandel wirken würden. Die Kohlenstoffaufnahme durch Senken in Wäldern scheint seit den 1980er Jahren größer zu werden. Die Gründe dafür werden zum Beispiel in steigenden CO₂-Konzentrationen, Düngung und Aufforstung gesehen.

Um die Auswirkungen des stetig steigenden Kohlendioxidgehalts auf die Bäume zu untersuchen, wurden aufwendige Experimente durchgeführt. Forscher haben vier Jahre lang zehn Laubbäume zusätzlich mit speziell markiertem Kohlenstoffdioxid begast und akribisch festgehalten, wie die Bäume darauf reagieren. Kohlenstoffdioxid stellt für die Vegetation einen lebenswichtigen Nährstoff dar. Die Vermutung der Forscher lag darin, dass, wenn es mehr CO₂ in der Atmosphäre gibt, dieses wie ein zusätzlicher Dünger auf die Pflanzen wirken würde und die Bäume dadurch schneller wachsen und mehr Kohlendioxid eliminieren könnten. Nach Ablaufzeit des Experiments mussten die Forscher das Gegenteil feststellen. Nur einer der zehn Laubbäume reagierte mit schnellerem Wachstum auf die Zufuhr von zusätzlichem Kohlenstoffdioxid und dies auch nur im ersten Untersuchungsjahr. Über den ganzen Versuch betrachtet reagierten die Laubbäume nicht mit einem dauerhaft schnelleren Wachstum. Stattdessen bildeten sie mit dem zusätzlichen Kohlenstoffdioxid mehr Stärke in den später abfallenden Blättern. Zusätzlich gelangte das Kohlenstoffdioxid in die Wurzeln, wo es durch Wurzelbakterien veratmet wurde und wieder in die Umgebung gelangte. Weitere Untersuchungen zeigten, dass sich die Artenzusammensetzung in den Wäldern durch den in Zukunft höheren CO₂-Gehalt ändern könnte. Efeu wächst unter dunklen Verhältnissen schneller, wenn der Kohlenstoffdioxid-Gehalt in der Atmosphäre höher ist. Ähnliche Befunde sind von den Lianen in den tropischen Regenwäldern bekannt. Dies zeigt, dass sich in der Zukunft schattenliebende, schnellwüchsige Pflanzen durchsetzen könnten. Veränderungen dieser Art würden dazu führen, dass Wälder mit dieser neuartigen Artenvielfalt weniger Kohlenstoffdioxid speichern als Wälder mit alten und großen Bäumen. Die Speicherkapazität der Ökosysteme ist begrenzt und damit auch der mögliche Beitrag des Waldes zum Klimaschutz.

Durch die stetig fortschreitende Klimaerwärmung und die damit verbundene Verlängerung der Vegetationsperiode entstehen neue CO₂-Quellen. Im ebenfalls früher auftauenden und auch sich stärker erwärmenden Boden wird mehr organischer Kohlenstoff abgebaut und so wieder CO₂ freigesetzt. Hinzu kommt, dass in ausgedehnten Überschwemmungsgebieten nach der Schneeschmelze Mikroorganismen unter Luftabschluss Methan produzieren, was ebenso zu den Treibhausgasen zählt. Eine weitere CO₂-Quelle stellen Hitzesommer wie der im Jahre 2003 dar. Durch zahlreiche Modellrechnungen für die Kohlenstoffdioxidbilanzen wurden Satellitendaten, bei den Ackerflächen aber auch beispielsweise die Angaben über nationale Getreideernten herangezogen. Spezifische Daten von Wäldern und Wiesen stammten von 14 über ganz Westeuropa verteilten Standorten. Durch diese flächendeckende Überwachung konnte der drastische Einbruch der Photosyntheseleistung im heißen und gleichzeitig trockenen Sommer 2003 ausgezeichnet werden. Nach Schätzungen der Experten hatte dies zur Folge, dass die Ökosysteme im Jahr 2003 keine Senken waren, sondern rund 500 Millionen Tonnen Kohlenstoff an die Atmosphäre abgegeben haben. Damit wäre die langfristige Kohlenstoffspeicherung von vier Jahren eliminiert worden. Extremereignisse wie zum Beispiel Hitzesommer, Überschwemmungen oder Waldbrände könnten daher den Kohlenstoffkreislauf eines ganzen Kontinents längerfristig und tiefgreifend verändern.

5. Klimawandel heute und was tun?

5.1 Eisendüngung

Bei einer Expedition des Alfred-Wegener Instituts wurde im Südatlantik nachgewiesen, dass eine durch Eisendüngung erzeugte Algenblüte, Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre in die Tiefsee "transportiert". Das Düngen der Ozeane mit Eisen fördert das Wachstum von Algen und damit die Aufnahme des Treibhausgases Kohlenstoffdioxid. Doch ob diese Methode ein brauchbares Instrument gegen die globale Erwärmung sein kann, ist fraglich. Ein Sprecher des Alfred-Wegener Instituts berichtet, dass in küstenfernen Gewässern Algen auf die Zufuhr von Eisen wie Wüstenpflanzen auf Regen reagieren. Zunächst steigt das Algenwachstum exponentiell, damit bietet es ein großes Nahrungsangebot für Zooplankton.

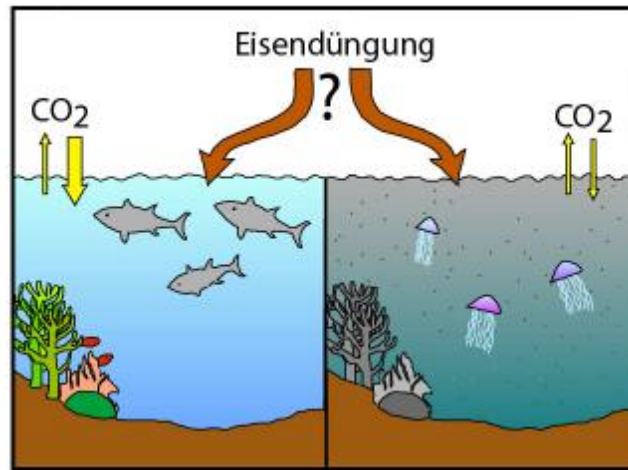


Abb.7: Mögliche Folgen einer Eisendüngung
(Bearbeitet nach Ken Buesseler,
www.wissenschaft-online.de)

Dieses bildet die Grundlage der Nahrungskette und der für die Fischerei wichtigen Bestände. Bei einem starken Wachstum können sich überfischte Gebiete schneller regenerieren.

Die Forscher haben untersucht, ob die von Algen aufgebaute organische Substanz an der Oberfläche wieder abgebaut und der Atmosphäre als Treibhausgas Kohlenstoffdioxid zurückgeführt wird. Ferner könnte ein wesentlicher Teil der organischen Substanz absinken und damit längerfristig Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre in die Tiefsee gespeist werden. Eisen, das Element, welches für Algenzellen lebensnotwendig ist, kann nicht langfristig im Meerwasser gebunden werden, wird aber durch Staubeintrag von den Landmassen nachgeliefert. Küstennahe Meere wie die Nordsee sind auf Grund ihrer Landnähe produktiver und fischreicher als der offene Ozean. Jährlich könnten so etwa 15 Prozent des vom Menschen freigesetzten Kohlenstoffdioxids (1 Gt Kohlenstoff) im Ozean gespeichert werden. Dies würde eine Beschleunigung der biologischen Mechanismen zur Folge haben. Statt der Verlagerung des Kohlenstoffes sollten die allgemeinen Kohlenstoffdioxid-Emissionen reduziert werden.

Ein positiver Effekt der lokal kontrollierten Eisendüngung ist, dass die Nahrungsplätze der bedrohten Arten, wie zum Beispiel der Wale, gezielt gedüngt werden. Diese Düngung erhöht das Angebot von Krill und die Walbestände könnten sich regenerieren.

Die Düngung könnte auf lokaler Ebene eine Lösung bieten, sollte jedoch im globalen Raum nicht als „Allheilmittel“ gelten. Die Auswirkungen auf das marine Ökosystem sind noch nicht genug erforscht, um alle Auswirkung aufzeigen zu können. Temporär lässt sich eine, in kleinen Gebieten bewiesene, Steigerung der Bindefähigkeit von CO_2 erkennen, doch im größeren Maßstab ist die CO_2 -Bilanz gleichbleibend (je mehr Phytoplankton desto mehr Zooplankton, desto mehr Zellatmung, desto mehr Kohlenstoffdioxid).

5.2 Auswirkungen des Klimawandels auf die CO₂-Senken

Der Klimawandel ist bewiesen und zur Realität geworden. Einige Regionen werden stärker betroffen sein als andere. Allgemein lässt sich sagen, dass gerade Entwicklungsländer am stärksten betroffen sein werden, da die dort oft vorhandene Trockenheit durch den weiteren Temperaturanstieg verstärkt würde.

Bei der genauen Berechnung der Schäden durch klimatische Veränderung unterschätzen Forscher die tatsächlichen Folgen für die CO₂-Speicher. Neueste Berechnungen zeigen dramatische Werte auf, die die alten deutlich übersteigen.

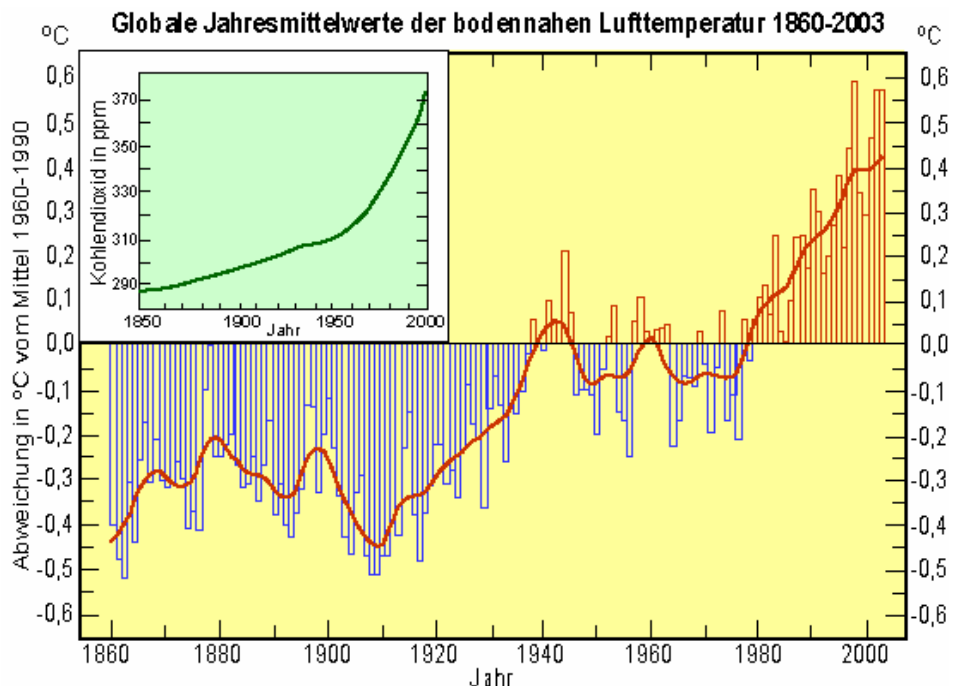


Abb.8: Anstieg von CO₂ und Temperatur (Quelle: www.klimawissen.de)

Wenn wir Menschen den CO₂-Ausstoß nicht bald minimieren, könnte die Erde bald nicht mehr bewohnbar sein. Durch hohe Temperaturen und den niedrigen Sauerstoffgehalt in der Luft ist ein lebensfeindliches Umfeld geschaffen. Die CO₂-Senken spielen in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle, da zukünftig das Speichern von Kohlenstoff nicht mehr so effizient sein wird.

Die CO₂-Senken würden im Laufe der Zeit zu Quellen werden, da durch die Erwärmung der Ozeane weniger CO₂ gespeichert werden kann. Daher würde sich immer mehr CO₂ in der Atmosphäre anlagern und das globale Klima erwärmen.

6. Literaturverzeichnis

Internet

- <http://www.umweltlexikon-online.de/fp/archiv/RUBwerkstoffmaterialsubstanz/print/>
- <http://www.umweltbundesamt.de>
- <http://www.max-reihe.mpg.de>
- <http://nzz.ch/2005/09/28/ft/articleD5WGT.print.html>
- <http://www.treibhauseffekt.com/download/ReferatSpronkFranz.pdf>
- <http://www.emissions.de/klimapolitik/emissionshandelsgruppe-eu-system.pdf>
- <http://schultreff.de/referat/chemier0015t00.htm>
- http://weltbevoelkerung.de/pdf/fs_klima.pdf
- <http://umwelt-schweiz.ch/buwal/php/druckversion.php?buwal/de/medien/umwelt/>
- <http://www.uni-protokoll.de/nachrichten/text/32085/>
- http://www.greenpeace.de/themen/klima/nachrichten/artikel/lagerung_von_kohlendioxid/
- <http://www.wissenschaft-online.de>
- <http://www.abendblatt.de>
- <http://www.dpa.de>
- <http://www.dradio.de/dlf/sendungen/wib/494275>
- <http://www.bund.net>
- <http://www.egbeck.de/skripten/bs11-26.htm>
- <http://www.wissen.de>
- <http://www.g-o.de>
- http://www.awitness.org/journal/good_global_warming.html
- http://www.mpi-bremen.de/Ein_ungewoehnliches_Enzym_ermoeslicht_die_Inaktivierung_von_Methan.html

Software

- System Erde
Herausgeber/in: Dr. Horst Bayrhuber, Dr. Sylke Hlawatsch
Erscheinungsjahr: 2005
- Lexikon der Geographie
Version: 4.2.
Herausgeber: Prof. Dr. Ernst Brunotte (Physische Geographie)
Prof. Dr. Hans Gebhardt (Humangeographie)

7. Danksagung:

Wir danken unseren Mamis, Papis und Herrn Sievers.....

Durch nächtliche Ruhestörung (nach §), übermäßigen Kaffeekonsums und Tilgung der Nervennahrungsvorräte, haben wir uns in den letzten Wochen zu Hause nicht unbedingt beliebt gemacht. Hiermit möchten wir uns dafür herzlichst entschuldigen, aber Geo-Lk geht ja nun mal vor J

Auch Herrn Sievers möchten wir danken, da er uns auf alle Fragen kompetente Antworten geben konnte und uns immer auf die richtige Fährte lockte.

Trotzdem hat es uns (natürlich) wieder viel Spaß gemacht!

