

Globale Klimaänderung und lokale Auswirkungen

Donat-P. Häder

Wetter und Klima

Bilderbuchsommer – Palmen in Nizza im Schnee – Überschwemmungen in der Schweiz – verheerende Dürre in der Sahelzone: sind das die Auswirkungen der globalen Klimaänderung? Zu Beginn müssen wir zwei Begriffe definieren. Selbst extreme Abweichungen von dem für die Jahreszeit erwarteten Wettergeschehen sind kein Anzeichen für eine Klimaänderung. Die Tagestemperatur kann für ein gegebenes Datum stark vom Mittelwert abweichen. Im „goldenen Oktober“ können durchaus 26° C gemessen werden, während es in anderen Jahren im Oktober schneien kann. Ebenso treten in der Regenmenge starke Schwankungen vom Mittelwert von Jahr zu Jahr auf. Erst wenn sich bestimmte Wetterereignisse häufen, wie eine gesteigerte Tornadoaktivität oder die Tatsache, dass die wärmsten sieben Jahre des letzten Jahrhunderts alle im letzten Jahrzehnt stattgefunden haben, sind das Indizien für eine beginnende Klimaänderung.

Klimaänderungen erfolgen in Relation zum menschlichen Erleben langsam und sind sehr schwer aus der starken Streuung von Jahr zu Jahr herauszufiltern. Dabei hilft die Mittelung. Zunächst werden die mittleren Tagestemperaturen gemessen, dann über Monate gemittelt und schließlich zu mittleren Jahrestemperaturen verrechnet.

Der Treibhauseffekt: das Phänomen

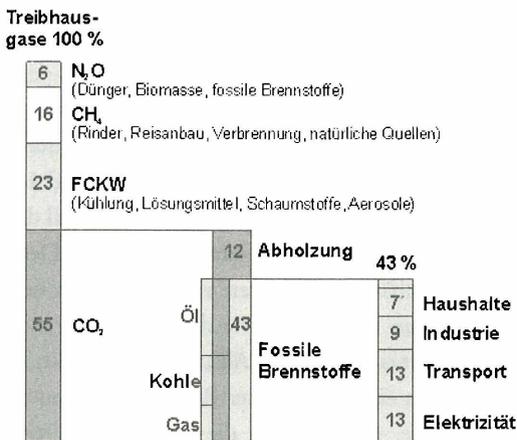
Alles Leben auf der Erde wird letztendlich durch die Energie der Sonne gespeist. Die extraterrestrische Energie beträgt etwa 1310 W m^{-2} im Juli und 1410 W m^{-2} im Januar, die außen auf die Atmosphäre unseres Planeten fällt. Ein Teil dieser Energie wird in der Atmosphäre absorbiert oder ins Weltall zurückreflektiert. Der Teil der Solarstrahlung, die durch die Atmosphäre transmittiert wird, wird von der Erde, der Meeresoberfläche oder von Pflanzen absorbiert. Die daraus resultierende Erwärmung wird zum Teil in Form von Infrarotstrahlung ins All zurück geschickt. Die Treibhausgase in der Atmosphäre absorbieren einen Teil dieser Rückstrahlung und verhindern so eine starke Abkühlung der Erde, genauso wie die Glasscheiben eines Gewächshauses.

Ohne diese Treibhausgase in der Atmosphäre betrüge die mittlere Jahrestemperatur etwa -38°C , und Leben in der Form, wie wir es kennen, wäre nicht möglich.

Die wichtigsten Treibhausgase sind Wasserdampf, Kohlendioxid, Stickoxide, Methan und Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW). Diese Gase stammen zum Teil aus natürlichen Quellen und zum Teil aus anthropogenen Quellen (Abb. 1). Sie kommen in sehr unterschiedlichen Konzentrationen in der Atmosphäre vor, haben aber auch sehr unterschiedliches Treibhauspotential. N_2O ist mit 6 % am Treibhauseffekt beteiligt; es stammt hauptsächlich aus dem Einsatz von Kunstdünger, dem Verbrennen von Biomasse und fossiler Brennstoffe. Methan ist zu einem großen Teil natürlichen Ursprungs; es entsteht in Feucht- und Sumpfbereichen, wie im tropischen und subtropischen Reisanbau, aber auch in den Mägen von Wiederkäuern. Daher ist letztendlich auch die exponentiell steigende Weltbevölkerung mit ihrem Hunger nach wachsender Nahrungsproduktion mit verantwortlich für den Anstieg von Methan in der Atmosphäre.

Die FCKW sind fast ausschließlich anthropogenen Ursprungs. Als sie in den 30er Jahren des letzten Jahrhunderts entwickelt wurden, hielt man sie für Wunderkinder der Chemie, da sie nur äußerst schwer mit anderen Substanzen reagierten. Erst Ende der 70er Jahre erkannte man, dass sie die stratosphärische Ozonschicht katalytisch angreifen und so eine Erhöhung der UV Strahlung an der Erdoberfläche bewirken (s. Abschnitt Ozonschichtzerstörung). Daher wurde die Produktion und Emission weltweit eingeschränkt. Jedoch beträgt die Lebensdauer dieser Substanzen in der Atmo-

Abb. 1



sphäre ca. 100 Jahre, so dass diese Problematik erst gegen Ende des jetzigen Jahrhunderts zurückgehen wird. Im Vergleich zu den anderen Treibhausgasen sind die Konzentrationen von FCKW sehr gering, aber das Treibhauspotential dieser Substanzen ist um ein Vielfaches höher als z.B. von Kohlendioxid.

Kohlendioxid ist mit 55 % das wichtigste Gas am Treibhauseffekt. Die anthropogen bedingte Zunahme des CO₂ beruht zum Teil auf der tropischen Brandrodung und zum größeren Teil auf der Verbrennung fossiler Energieträger: Erdgas, Kohle und Öl. Am Verbrauch sind Haushalte und Industrie etwa gleich stark beteiligt, größere Kontingente werden für Transport und Stromerzeugung verbraucht.

Als weitere treibhausrelevante Komponenten müssen Aerosole und Partikel in der Atmosphäre genannt werden. Aus natürlichen Quellen stammen Staubwolken, die z.B. in den Wüstenregionen entstehen und über Kontinente und Weltmeere verdriftet werden. Aus dem Phytoplankton der Meere, aber auch aus der Industrie stammen schwefelhaltige Aerosole, die als Kondensationskeime für die Wolkenbildung verantwortlich sind. Staub und Aerosole können die Atmosphäre abkühlen, weil sie Sonnenstrahlung streuen und reflektieren, bevor sie auf die Erdoberfläche auftrifft. Im Gegensatz dazu sind in den letzten Jahren vor allem in Indien und Südostasien durch Verbrennung große Mengen von Rußpartikeln in die Atmosphäre gelangt, die die Solarstrahlung absorbieren und dadurch die Atmosphäre aufheizen.

Entwicklung der CO₂ Konzentration in der Atmosphäre

In der Atmosphäre befinden sich etwa 735 Gt (Milliarden Tonnen) Kohlenstoff in Form von Kohlendioxid. Im Folgenden rechnen wir nur mit dem Kohlenstoffanteil. Davon werden jedes Jahr etwa 100 Gt im Zuge der Photosynthese von terrestrischen Pflanzen aufgenommen und in organische Biomasse eingebaut (Abb. 2). Dieselbe Menge an Kohlenstoff wird beim Laubfall und Absterben der Pflanzen wieder frei und in die Atmosphäre abgegeben, so dass ein geschlossener Kreislauf entsteht. Etwa genauso viel Kohlenstoff wird von aquatischen Ökosystemen aufgenommen und wieder freigesetzt. Daran sind hauptsächlich marine Mikroorganismen (das Phytoplankton) beteiligt. Bis zu diesem Zeitpunkt der Betrachtung ist die Bilanz ausgeglichen. Durch die Verbrennung fossiler Energieträger werden jedoch jedes Jahr zusätzlich etwa 5 Gt Kohlenstoff in die Atmosphäre eingetragen. Die noch vorhandenen Reserven werden auf 5000 bis 10000 Gt geschätzt. Weitere 2 Gt gelangen durch tropische

Abholzung und Brandrodung in die Atmosphäre. Jedoch findet man in langjährigen Messungen jedes Jahr nur eine Zunahme von 3 Gt Kohlenstoff in der Atmosphäre, statt der rechnerisch ermittelten 7 Gt.

Die „verlorenen“ 4 Gt könnten in terrestrische Biomasse, z.B. Holz oder Torf eingelagert werden, wahrscheinlicher aber werden sie durch die sogenannte biologische Pumpe in den Weltmeeren aus dem Verkehr gezogen: Das Phytoplankton in den oberen lichtdurchfluteten (euphotischen) Wasserschichten nimmt das CO_2 aus der Atmosphäre auf und baut es in organische Biomasse ein. Das Phytoplankton ist die Basis des weitverzweigten Nahrungsnetzes im Meer, das letztendlich Fische, Vögel und Säuger und auch den Menschen ernährt. Abgestorbenes Phytoplankton und in der Nahrungskette nachfolgende Konsumenten sowie verdaute kohlenstoffhaltige Ausscheidungsprodukte rieseln ständig aus der euphotischen Zone in tiefere Schichten und werden in den Sedimenten der Tiefsee endgelagert, wo sie ein Reservoir von etwa 35000 Gt Kohlenstoff bilden, dessen Lebensdauer Hunderttausende von Jahren beträgt. Diesen „ozeanischen Schnee“ von sedimentierenden organischen Substanzen kann man mit Fallen quantifizieren, die z.B. in 1000 m Wassertiefe in den Ozeanen ausgebracht werden.

Vor Beginn der industriellen Revolution betrug die CO_2 Konzentration in der Atmosphäre etwa 270 ppm (parts per million). Seitdem ist die Konzentration deutlich auf etwa 370 ppm angestiegen. Seit 1958 wird die atmosphärische Konzentration in einem Observatorium auf dem Mona Loa in Hawaii kontinuierlich gemessen (Abb. 3). Man erkennt in der Kurve jahreszeitlichen Schwankungen, die dadurch verursacht werden, dass im Sommerhalbjahr die Biomasse verstärkt CO_2 im Zuge der Photosynthese aufnimmt, das dann im Winter wieder freigesetzt wird. Da die Landmasse und damit die terrestrischen Pflanzen vorwiegend auf der Nordhemisphäre lokalisiert sind, ergibt sich ein jahreszeitlicher Unterschied. Überlagert über die jährlichen Schwankungen erkennt man einen gleichmäßigen Anstieg, der nur durch El Niño Ereignisse kleine Abweichungen erfährt. Setzt man die Entwicklung durch Modellrechnungen in die Zukunft fort, erwarten wir etwa für das Jahr 2050 eine Verdopplung der derzeitigen CO_2 Konzentrationen in der Atmosphäre.

Der Energieverbrauch der Bevölkerung ist nicht gleichmäßig, sondern stark unterschiedlich zwischen Entwicklungsländern und Industrienationen. Wenn man den pro Kopf Verbrauch der Bevölkerung auf Steinkohleneinheiten normiert, unabhängig davon ob Öl, Kohle, Gas oder Holz als Energieträger genutzt werden, beträgt der mittlere Verbrauch der Weltbevölkerung etwa 1,9 Tonnen Steinkohleneinheiten pro Person und Jahr. Der pro Kopf Verbrauch in Kanada und Nordamerika beträgt etwa 9,7 bzw.

Abb. 2

Atmosphäre 735 Gt

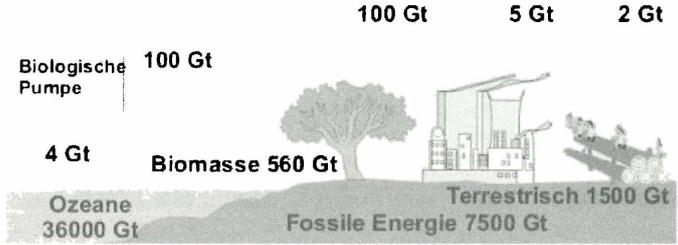
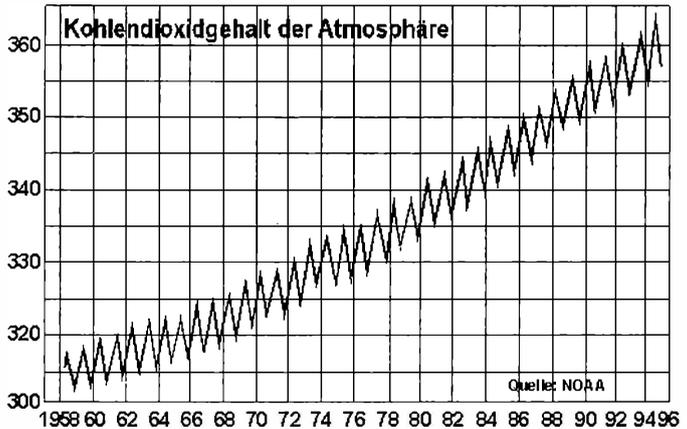


Abb. 3



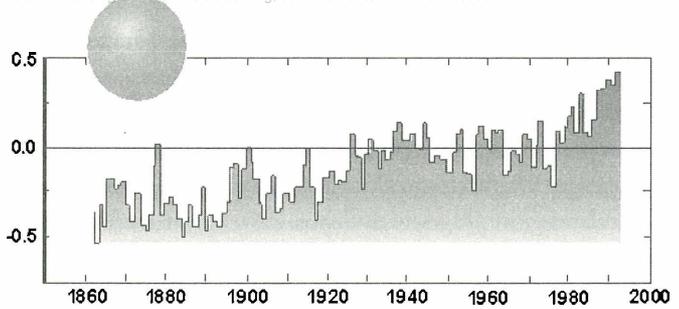
9,5 Tonnen, der Mittelwert in Europa etwa 4,4 und in Deutschland 7,9 Tonnen Steinkohleneinheiten. Im Gegensatz dazu beträgt der pro Kopf Verbrauch in den volkreichen Ländern Indien, China, in Afrika und Südamerika unter 1 Tonne. Damit wird deutlich, dass ein Anstieg der Lebensqualität in z.B. China mit 1,2 Milliarden Menschen mit einem auch nur angenähert so hohem Energieverbrauch wie in den entwickelten Ländern zu einem gigantischen Anstieg der CO₂ Emissionen führen würde, der durch kleine Einsparungen in den Industrienationen in keiner Weise kompensiert werden könnte.

Umgerechnet auf Länder oder Regionen beträgt der Verbrauch in Nordamerika etwa 25 % des globalen Verbrauchs, die EU schlägt mit etwa 13 % zu Buche und Asien mit etwa 16 %. Die früheren GUS Staaten und Osteuropa verbrauchen etwa 20 %, während Afrika (3,2 %), Südamerika (3 %) und der pazifische Raum (5,8 %) nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Die mittlere Jahrestemperatur heute und während der Evolution des Menschen

Die mittleren Jahrestemperaturen sind eng mit der jeweiligen CO_2 Konzentration in der Atmosphäre gekoppelt. Allerdings unterliegen sie gravierenden Schwankungen von Jahr zu Jahr. Plottet man die mittlere Jahrestemperatur seit dem Zeitpunkt, ab dem für Mitteleuropa zuverlässige Temperaturmessungen vorliegen, so lässt sich ein langfristiger Trend erkennen (Abb. 4). Danach hat für unsere Breiten die mittlere Jahrestemperatur seit 1880 um ca. $0,8^\circ\text{C}$ zugenommen. Dieser Trend gilt auch für die Südhalbkugel, sowie global. In Anbetracht des oben genannten Beispiels für die möglichen Tagestemperaturen im Oktober erscheint dieser Anstieg jedoch sehr moderat und erhält erst eine andere Bedeutung, wenn man sich vor Augen führt, dass der Temperaturunterschied zwischen der heutigen Warmzeit und der letzten Eiszeit nur ca. $4,5^\circ\text{C}$ beträgt. In Anbetracht dessen ist eine prognostizierte Erwärmung der Erde um $2,5\text{--}4^\circ\text{C}$ als durchaus gravierend anzusehen.

Die mittleren Temperaturen der vergangenen Erdzeitaltern lassen sich mit Hilfe moderner Methoden wie z.B. der Gasanalyse in Eisbohrkernen rekonstruieren. Der Blick auf die letzten 10000 Jahre zeigt, dass Shakespeare in der „kleinen Eiszeit“ um 1600 eher gefroren hat, während es bei Christi Geburt um $0,5^\circ\text{C}$ wärmer war als der Mittelwert dieser Periode. Aber die Schwankungsbreite der mittleren Jahrestemperatur betrug nur $\pm 1^\circ\text{C}$ um einen Mittelwert. Erweitern wir den Zeithorizont auf die letzten 100000 Jahre, so erkennen wir die beiden letzten echten Eiszeiten vor ca. 20000 und 70000 Jahren, bei denen die Temperatur ca. $4,5^\circ\text{C}$ unter der der heutigen Warmzeit lag. Auch ein Blick auf die letzten 1 Million Jahre zeigt, dass die mittleren Temperaturen maximal auf 9°C während massiver Eiszeiten fiel und auf 16°C während einiger dazwischen liegender Warmzeiten anstieg. Als Fazit dieser Überlegungen müssen wir festhalten, dass die mittlere Jahrestemperatur über die Zeit der menschlichen Evolution nie viel wärmer war als heute, jedoch bis zu 7°C kälter. Jedoch haben vermutlich Menschen während dieser Kaltzeit nicht in Polnähe gelebt.



Entwicklung der mittleren Jahrestemperatur nach Modellberechnungen

Die Vorhersagepräzision von Modellberechnungen hängt von der Güte der eingespeisten Daten ab und von dem Grad, zu dem die relevanten Parameter in das Modell eingehen. Man kann die Präzision von Modellen dadurch überprüfen und validieren, indem man sie auf die Vergangenheit anwendet und die Ergebnisse mit gemessenen oder anders erschlossenen realen Werten vergleicht. Präzise Temperaturmessungen liegen seit etwa 1880 vor. Wenn man nun ein Klimamodell auf die Zeitspanne bis heute anwendet, zeigt sich erwartungsgemäß ein gleichmäßiger exponentieller Anstieg, wenn man nur die CO_2 Konzentrationen in der Atmosphäre zugrunde legt, während die gemessene mittlere Jahrestemperatur starken Schwankungen unterliegt. Wenn man die Aktivität von Vulkanen mit in das Modell einbezieht, bilden die Modellberechnungen die Realität besser ab. Die Sonneneinstrahlung auf die Erde ist keine Konstante, sondern hängt vom Sonnenzyklus, der Entfernung Erde-Sonne und anderen Parametern ab. Wenn man die Sonneneinstrahlung in das Modell mit einbezieht, verbessert sich das Vorhersageverhalten. Das Wärmespeicherverhalten der Ozeane hat einen entscheidenden Einfluss auf die mittlere Jahrestemperatur. Die Wassersäule ist aber nicht homogen, sondern in vielen Meeren gibt es im Sommer eine wärmere obere Schicht, während unterhalb der Sprungschicht (Thermokline) die Temperatur deutlich geringer ist. Rechnet man diese Tatsache mit in das Klimamodell, erhält man eine erstaunliche Übereinstimmung zwischen Modellvorhersage und gemessenen Werten.

Wendet man jetzt solche Klimamodelle auf die nähere Zukunft bis 2050 oder 2100 an, erhält man einen drastischen Anstieg der mittleren Jahrestemperatur. Natur-

lich können diese Modelle unvorhersehbare Ereignisse, wie Vulkanausbrüche nicht berücksichtigen. Je nach angenommenen Eingangsparametern sagen die gängigen Klimamodelle, wie Oak Ridge oder IIASA, einen Temperaturanstieg von 1,5 bis 4,5°C bis zum Jahr 2050 und 2 bis 8,5°C bis 2100 voraus. Besonders die höheren Vorhersagen sind beunruhigend, denn sie übersteigen den Unterschied zwischen letzter Eiszeit und heutiger Warmzeit um den Faktor zwei. Noch dramatischer ist, dass diese Temperaturänderung, in erdgeschichtlichen Zeiten, innerhalb extrem kurzen Zeitabschnitten stattfindet. Allerdings gibt es auch Modelle, die keine oder nur insignifikante Temperaturerhöhungen vorhersagen. Diese Modelle negieren auch einen Zusammenhang zwischen der atmosphärischen CO₂ Konzentration und der mittleren Jahrestemperatur.

Die erwarteten Temperaturänderungen sind jedoch nicht überall auf der Erde gleich. Generell lautet die Vorhersage, dass die Temperatur in den Tropen und Subtropen nur unwesentlich ansteigen wird, während sie um so stärker steigt, je weiter man zu den Polen kommt. So sagt ein Modell, das im Rahmen des Bayrischen Klimafor schungsverbundes (BayFORKLIM) entwickelt worden ist, für Mittelschweden eine Temperaturerhöhung von etwa 8°C im Winter voraus, während der Anstieg im Sommer nur etwa halb so groß geschätzt wird.

Für unser lokales Klima in Süddeutschland und Westösterreich sagen die Modelle ebenfalls einen Temperaturanstieg voraus. Die mittlere Wintertemperatur liegt zur Zeit bei etwa 0°C. Bei einer Verdopplung der CO₂ Konzentration erwarten die Modellierer einen Temperaturanstieg im Winter von 0,8 bis 1°C. Die mittlere Sommer temperatur beträgt zur Zeit etwa 13 bis 16°C je nach Standort. Bei einer CO₂ Verdopplung wird sich die Sommertemperatur um 4,5 bis 6°C erhöhen.

Änderung in den Vegetationszonen der Erde

Die mittlere Jahrestemperatur und die Niederschlagsmenge definieren die Art der Vegetation in einer Landschaft. Extrem niedrige Temperaturen verbunden mit geringen Mengen an (flüssigem) Wasser führen zur Ausbildung von Tundren, wie in Sibirien oder im Hochgebirge. In kalten Gebieten mit mittleren Jahrestemperaturen um 0°C herrschen boreale Wälder vor. Bei 10° höheren Temperaturen kommt es zur Ausbildung von Wäldern oder Strauchsteppen, je nach Wasserverfügbarkeit. Eine weitere Temperaturerhöhung führt, abhängig von den Niederschlagsmengen, zu Halbwüsten, Grassteppen oder ausgedehnten Wäldern. Bei tropischen Temperaturen findet man

Wüsten, Dornbuschsteppen oder Regenwälder ebenfalls in Abhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit.

Auf Europa und unsere heimische Region angewandt, verschieben sich die charakteristischen Vegetationszonen nach Norden. Mitteleuropa, die britischen Inseln und der Balkan sind im natürlichen Zustand durch gemischte Laubwälder charakterisiert. Allerdings wird in Kulturlandschaften die natürliche Vegetationszone häufig durch künstliche Anpflanzungen verwischt. In Osteuropa und im Alpenraum herrschen Mischwälder vor, während sich südöstlich, um das schwarze Meer warme Grasländer und Buschlandschaften anschließen. Nach Norden finden wir kühle Koniferenwälder, Tundra und Taiga. Südeuropa (Südspanien, Süditalien, Südgriechenland, Sardinien) sind mit Macchie bewachsen, die durch xerophytische, immergrüne Dornsträucher gekennzeichnet sind.

Unter Berücksichtigung der für das Jahr 2085 prognostizierten Temperaturen, werden sich die osteuropäischen Mischwälder weiter nach Osten zurückziehen. Die kühlen Koniferenwälder, Tundren und Taigen werden weiter nach Norden verschoben, während West- und Südeuropa mit südlichen Laubwäldern bedeckt sein werden.

Solche Temperaturänderungen mit den geänderten Vegetationszonen können auch positive Aspekte haben. So wird Weinbau auch in weiter nördlich gelegenen Gebieten möglich sein. In Sibirien verschiebt sich die Anbaugrenze für Weizen deutlich nach Norden und in unseren heimischen Regionen könnten die Biergärten durch Palmen beschattet sein. Natürlich erfolgen die Änderungen in der Vegetation nicht schlagartig. Bäume brauchen Jahrhunderte und Jahrtausende, um Standortwechsel vorzunehmen. Vor allem Wildpflanzen werden Probleme haben, den raschen Temperaturänderungen zu folgen. Während der letzten Eiszeit „überwinterten“ unsere einheimischen Tannen auf den griechischen Inseln. Allerdings hatten sie für diese Wanderung nach Süden und wieder zurück Jahrtausende Zeit.

Aus Pollenanalysen kann man die Vegetationszusammensetzung einer Landschaft in der Vergangenheit rekonstruieren. So zeigen die Analysen für Tennessee über die letzten 16000 Jahre eine dramatische Änderung der Vegetation. Während zu Beginn dieser Periode Nadelbäume wie Fichten, Tannen und Kiefern vorherrschten, sind sie mehr und mehr Laubbäumen wie Eiche, Esche, Walnuss und Ahorn gewichen, die heute vegetationsbestimmend sind. Auf Grund der Klimadaten ist ein Vegetationsmodell entwickelt worden, das für dasselbe Gebiet und denselben Zeitraum angewendet wurde. Dieses Modell rekonstruiert mit erstaunlicher Präzision die aus den Pollenanalysen erschlossenen Vegetationsveränderungen.

Besonders auffällig sind die Vegetationsveränderungen, wenn man die Verbreitungsgebiete bestimmter Arten für verschiedene Klimabedingungen berechnet. So ist heute die Buche im östlichen Nordamerika von Florida bis an das Südende des St. Lorenzstromes in Kanada verbreitet. Bei einer Verdopplung der CO_2 Konzentration bis 2090 wird sich die Buche bis nördlich der großen Seen zwischen den USA und Kanada zurückziehen.

Auch Tiere werden von den Klimaänderungen betroffen sein. So haben Fische ein sehr enges Temperaturfenster von wenigen Grad Celsius. Eine Erhöhung um 10° ist für die meisten Arten wie Forellen, Lachse, Flundern und viele andere tödlich, und bereits bei einer Erhöhung um 5° ist das Wachstum empfindlich gestört. Die Temperaturen, bei der Eiablage und Vermehrung möglich sind, liegen in den meisten Spezies noch deutlich niedriger.

Anstieg des Meeresspiegels

Ein signifikanter Anstieg der mittleren Jahrestemperatur muss zwangsläufig zu einem Abschmelzen der Eismassen auf unserem Planeten führen. Ein Anstieg des mittleren Meeresspiegels um 1 oder 2 m würde die Küstenlinien der Kontinente deutlich verändern. Amsterdam, New Orleans und große Teile der japanischen Küstenebene lägen unterhalb der Wasserlinie. Besonders katastrophal würden sich diese Änderungen für Entwicklungsländer mit ihren begrenzten technischen Mitteln auswirken. In Bangladesch oder im Nildelta würden große Siedlungs- und landwirtschaftlich genutzte Flächen verloren gehen. Messungen des mittleren Meeresspiegels in Hoek van Holland zeigen einen statistisch signifikanten Anstieg um 35 cm, seit zuverlässige Messungen ab 1870 zur Verfügung stehen. Natürlich wird der Meeresspiegel auch durch Höhenänderungen der Kontinente beeinflusst. Allerdings steigt Nordeuropa immer noch leicht an, seit die Belastung durch das Eis in der letzten Eiszeit gewichen ist.

Tatsächlich sind die meisten Gletscher in den Alpen im vergangenen Jahrhundert deutlich zurückgegangen. Ein Stich des Rhönegletschers zeigt im Vergleich zu einer modernen Aufnahme eine weit massivere Ausdehnung. Auch für die Eisbedeckung von Island sind mit Hilfe von Flugzeugvermessungen Rückgänge in der Eisdicke nachgewiesen worden. Wenn durch die Temperaturerhöhung das Eis der Antarktis schmelzen würde, hätte das dramatische Auswirkungen, da auf diesem Kontinent das Eis mit einer Flächenausdehnung ähnlich der der kontinentalen USA im Mittel eine

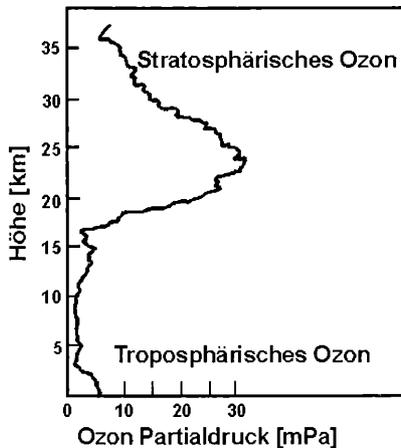
Meile dick ist. Allerdings konnte dort bisher kein Abschmelzen beobachtet werden. Im Gegenteil, durch erhöhte Schneefälle wuchs die Eisdicke leicht.

Vergleicht man die Vorhersagen für den Anstieg des Meeresspiegels, so kann für die nächsten 50 Jahre weitgehend Entwarnung gegeben werden. Der vorhergesagte Anstieg beträgt je nach Modell zwischen 5 und 60 cm bis 2050. Am Meeresspiegelanstieg sind die schmelzenden Gletscher mit 49 % beteiligt, das in Grönland abschmelzende Eis mit 12 %, während die wachsenden Eismassen in der Antarktis eine Verringerung des Meeresspiegels um 13 % bewirken werden. Die größte Erhöhung (52 %) geht auf die Ausdehnung des Wassers bei erhöhter Temperatur zurück.

Ozonschichtzerstörung und Erhöhung der UV-B Strahlung

Die Produktion und Emission von Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) bedrohen die Ozonschicht in der Stratosphäre. Diese Substanzen wurden als Aerosole in Sprühdosen, als Kühlmittel in Gefriergeräten und Hauskühlanlagen, zum Aufschäumen von Kunststoffen und als Reinigungsmittel in der Elektronikindustrie eingesetzt. Obwohl selbst in Zeiten maximaler Produktion nicht mehr als 1 Million Tonnen dieser Gase produziert wurden, stellen sie eine Bedrohung der stratosphärischen Ozon-

Abb. 5



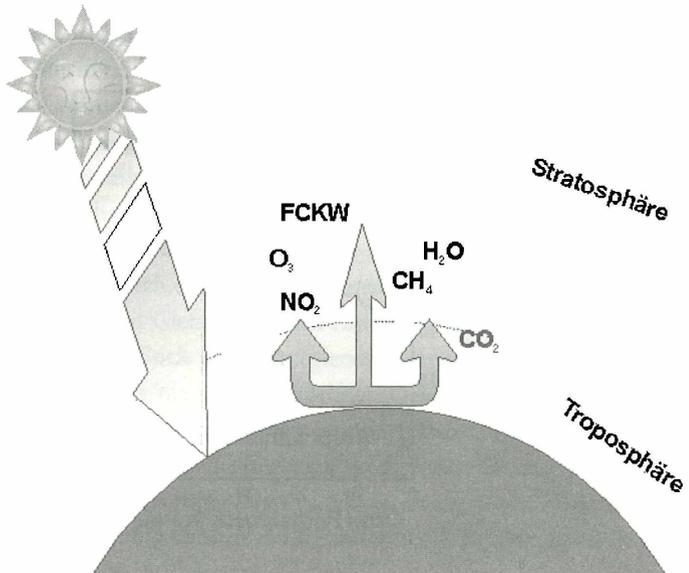
schicht dar, da sie das Ozon katalytisch abbauen. Jedes Chloratom kann Tausende von Ozonmolekülen spalten, bis es aus der Stratosphäre wieder ausgewaschen wird.

Die Ozonschicht ist extrem dünn. Obwohl sie sich in der Stratosphäre zwischen etwa 15 und 45 km Höhe über unseren Köpfen erstreckt (Abb. 5), wäre sie nur 3–5 mm dick, wenn man das Ozon unter Normaldruck auf der Erdoberfläche konzentrieren könnte.

Der weltweite Bann der FCKW ist eine unvergleichbare Erfolgsstory für die Wissenschaft. Auf Grund der eindeutigen Beweise der schädlichen Wirkung ist die Produktion und Emission von vielen Ländern der Erde in mehreren internationalen Vereinbarungen reduziert und fast völlig eingestellt worden. Lediglich die extrem langen Lebensdauern der verschiedenen FCKW bedingen, dass das Problem erst etwa 2065 vorbei sein wird und die Ozonwerte auf den Wert von vor 1970 zurückgekehrt sein werden.

Ozon ist ein sehr effektiver Filter für die kurzwellige Strahlung der Sonne im UV-B Bereich (280–315 nm). Der stärkste Rückgang der Ozonschicht wurde seit den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts in der Antarktis während des Frühjahres beobachtet. Dabei bricht die Konzentration während mehrerer Monate von 300 auf unter 100

Abb. 6



Dobson Einheiten (100 DU = 1 mm Ozonschichtdicke) zusammen. Auch über der Arktis wurden seit einigen Jahren Verringerungen der Ozonschicht beobachtet. In den mittleren Breiten, wie z.B. Mitteleuropa beträgt der Anstieg der Erythem-(Sonnenbrand)-gewichteten UV Strahlung 15 bis 20 % im Frühling. In den Tropen und Subtropen herrschen zwar deutlich höhere UV-Intensitäten – etwa 4 bis 5mal so hoch wie in Mitteleuropa, aber es tritt keine ozonabhängige Erhöhung der Strahlung auf.

Die solare UV-B Strahlung führt zu einer signifikanten erhöhten Inzidenz von Hautkrebs beim Menschen. Auch die Kataraktbildung im Auge wird durch erhöhte UV-Strahlung aktiviert. Weiterhin wird ein Einfluss auf das Immunsystem diskutiert. Ein Effekt auf das Wachstum terrestrischen Pflanzen wird ebenfalls intensiv untersucht. Mehr als 50 % der bisher untersuchten Spezies sind UV-sensitiv. Dazu gehören z.B. Tomaten, Gurken und einige Rassen wichtiger Pflanzen für die menschliche Ernährung wie Reis, Weizen oder Soja. Potentielle Ernteeinbußen lassen sich jedoch durch den Einsatz von UV-resistenten Sorten abmildern. Der Einfluss auf Wildpflanzen ist vermutlich nachhaltiger, da diese Pflanzen ohne menschliche Hilfe mit dem Problem fertig werden müssen.

Ein wichtiger Fragenkomplex ist der Einfluss erhöhter solarer UV Strahlung auf aquatische Ökosysteme, die, wie wir oben gesehen haben, etwa genauso viel CO₂ aus der Atmosphäre aufnehmen, wie alle terrestrischen Ökosysteme zusammengenommen. Tatsächlich beeinträchtigt die solare UV Strahlung die Photosynthese der Phytoplanktonorganismen, schädigt die Erbsubstanz DNA und beeinträchtigt den Stickstoffhaushalt. Jede signifikante Reduktion der Biomasseproduktion der aquatischen Ökosysteme würde ein Reduktion der biologischen Pumpe bedeuten, die wir oben kennen gelernt haben. Damit würde weniger CO₂ aus der Atmosphäre aufgenommen und damit der Treibhauseffekt noch verstärkt werden.

Allerdings haben viele Bewohner aquatischer Ökosysteme effiziente Mechanismen zur Reduktion der UV Schäden entwickelt. Cyanobakterien und Algen produzieren UV absorbierende Substanzen, die die Strahlung aufnehmen, bevor sie die empfindlichen Chloroplasten und die DNA in den Zellkernen trifft. Viele einzelligen Organismen des Phytoplanktons können sich aktiv bewegen oder ihre Position in der Wassersäule durch Änderung des Auftriebs beeinflussen. Dadurch können solche Organismen bei erhöhter UV Strahlung in tiefere Wasserschichten abtauchen. Außerdem haben alle Organismen effiziente Reparaturmechanismen für Schäden an der DNA und dem Photosyntheseapparat entwickelt. Daher kann man zusammenfassen, dass das solare UV-B einen ernst zu nehmenden Stressfaktor für aquatische Ökosysteme dar-

stellt, aber der spezifische Einfluss der ozonbedingten UV-Zunahme in der weiten Variation der anderen Stressfaktoren untergeht.

Resümee und Ausblick

Die Entwicklung der globalen Temperaturen ist eng mit der Konzentration der Treibhausgase, vorrangig das CO₂, in der Atmosphäre gekoppelt. Die bisherigen multilateralen Diskussionen in Rio de Janeiro, Kyoto, den Haag und zuletzt in Bonn waren nur sehr begrenzt erfolgreich. Der letzte Kompromiss einer Reduktion der CO₂ Emissionen um 5 % in den Industrienationen wird von dem größten Emittenten, den USA, nicht mit getragen. Nach Berechnungen des Nobelpreisträgers Crutzen müssten die globalen Emissionen um 60 % reduziert werden, um den Status quo zu halten. Das erscheint angesichts der hohen Kosten und der politischen Lage eher unrealistisch. Eine Erhöhung des Lebensstandards in den volkreichen Nationen wie Indien und China mit einem selbst moderaten Anstieg des Energieverbrauchs mit einer korrespondierenden Emission von Treibhausgasen würde alle Bemühungen in den Industrienationen konterkarieren.

Global betrachtet ist es irrelevant, wo die Emissionen klimawirksamer Substanzen erfolgen. Daher wäre es wirtschaftlich effizienter, wenn die Industrienationen energiesparende Technologien in die Entwicklungsländer (kostenlos) exportieren würden, statt durch ausgeklügelte Techniken im eigenen Land noch einige Prozent einzusparen.

Auch wenn es uns durch besseren Umgang mit Energie und Effizienz gelingt, die Emissionen zu reduzieren, ist ein Anhalten der globalen Klimaerhöhung nicht realistisch. Allerdings hat sich die Biota und besonders der Mensch als äußerst anpassungsfähig erwiesen und es immer wieder verstanden, sich an veränderte Umweltbedingungen anzupassen. Jedoch hat jede dieser Veränderungen den Untergang vieler Spezies bedeutet. Über 99 % der jemals auf der Erde lebenden Spezies sind im Laufe der Evolution untergegangen. Es ist unsere Verantwortung, anthropogen bedingte Veränderungen so moderat wie möglich zu gestalten, denn unser Planet braucht den Menschen nicht, aber der Mensch braucht unsere Erde.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Umwelt - Schriftenreihe für Ökologie und Ethologie](#)

Jahr/Year: 2001

Band/Volume: [28](#)

Autor(en)/Author(s): Häder Donat.-P.

Artikel/Article: [Globale Klimaänderung und lokale Auswirkungen. 19-32](#)