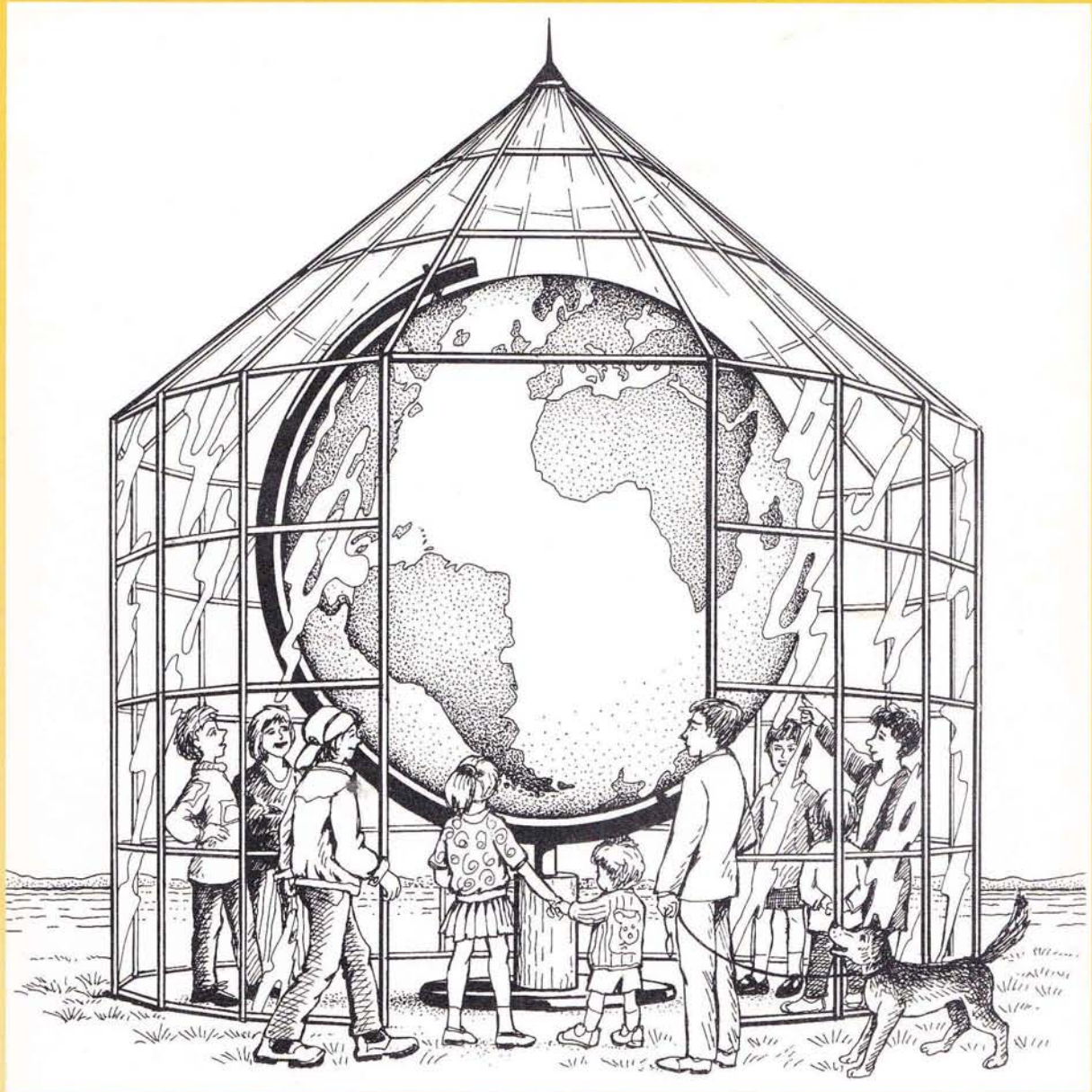


Klimaänderung und Treibhauseffekt



UMWELT



SERVICE

Klimaänderung und Treibhauseffekt



Klimaänderung und Treibhauseffekt

Herausgeber der Reihe UMWELTSERVICE:

Dr. Fritz Heidorn, Bremen

Autoren:

Angelika Frank

Dr. Lutz Stäudel

Illustrationen:

Karola Niehoff-Lücke

Titelbild:

Liselotte Lüddecke

Bildnachweis:

S. 57: Frank, S. 62: Frank, S. 78(3): Frank



Gedruckt auf
umweltfreundlichem
Recycling-Papier
(100% Altpapieranteile)

ISBN 3-507-76424-5

© 1998 Umweltstiftung WWF Deutschland
Schroedel Verlag GmbH, Hannover

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Werk sowie einzelne Teile desselben sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen ist ohne vorherige schriftliche Zustimmung des Verlages nicht zulässig.

Druck 5 4 3 2 1 / Jahr 2002 2001 2000 1999 98



® + © 1986 WWF International

Satz: Jesse – Konzept & Text GmbH

Druck und Verarbeitung: Langelüddecke GmbH, Braunschweig

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	4
------------------	---

1. Das Klimasystem der Erde..... 5

Sachinformationen	5
-------------------------	---

Unterrichtspraktische Hinweise	8
--------------------------------------	---

Arbeits- und Info-Blätter:	10
----------------------------------	----

- Eine Reise ins All 10
- Die Schichten der Erdatmosphäre 11
- Entwicklung der Sauerstoffatmosphäre..... 12
- Absorption von Strahlung..... 12
- Eisbohrkerne geben Auskunft über das Klima vor Jahrtausenden 13
- Folienvorlagen Erdatmosphäre 14
- Energieband 18
- Sonnenstrahlung ist mehr als sichtbares Licht 18
- Diskussionskarten Energie 19
- Globale Klimamacher: Die Ozeane..... 22
- Ein globales Wassertransportband stabilisiert das Weltklima..... 23
- Wie gut löst sich Kohlendioxid in Wasser? ... 24
- Kohlendioxid-Fahrstuhl 25

2. Klimaveränderungen

durch den Menschen	26
--------------------------	----

Sachinformationen	26
-------------------------	----

Unterrichtspraktische Hinweise	29
--------------------------------------	----

Arbeits- und Info-Blätter:	32
----------------------------------	----

- Der Treibhauseffekt – Dokumente aus verschiedenen Zeiten 32
- Treibhaus=mehr Wärme 33
- Modellversuch zum Treibhaus..... 34
- Treibhaus Erde 35
- Der zusätzliche Treibhauseffekt..... 36
- Treibhauswirkung durch Kohlendioxid..... 37
- Wie aus Strahlung Wärme wird..... 38
- Treibhausaktiv oder nicht? 39
- Klimawirksame Gase aus industrieller Aktivität schließen die „offenen Fenster“ im Treibhaus . 40
- Klimawirksame Gase aus schließen die „offenen Fenster“ im Treibhaus..... 41
- Puzzle „Fenster zum All“ 42
- Der Kohlenstoff-Kohlendioxid-Kreislauf..... 46
- Experimente zum Kohlenstoffkreislauf 47
- Tendenz steigend: Der Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre 48
- Rucksäcke voll Treibhausgas – und was davon eingespart werden könnte ... 49
- Obstsalat..... 50

3. Schutzschild der Erde 51

Sachinformationen	51
-------------------------	----

Unterrichtspraktische Hinweise	55
--------------------------------------	----

Arbeits- und Info-Blätter:	56
----------------------------------	----

- Die Rächer der Retorte 56
- Wie man sich die Ozonschicht vorstellen und ihre Dicke „messen“ kann 57
- Ozonverluste über der Nordhalbkugel 58
- Wo kommt das Chlor in der Stratosphäre her? 59
- Stoppt den FCKW-Ausstoß! 60
- Greenfreeze – ein Öko-Krimi 61
- Wie die Ozonschicht immer dünner wird – ein Kugelstoßspiel..... 62
- Lebewesen werden durch UV-B Strahlung geschädigt 68
- Rätselhaftes Amphibiensterben..... 69
- DNA ist UV-empfindlich..... 70
- Leben mit erhöhter UV-B Strahlung..... 71
- Der UV-Index 72
- Sonderkommission Strahlenschutz..... 74
- Tabak – kein Meßinstrument, aber ein Anzeiger für Bodenozon 78
- Viele Blätter wurden braun..... 79
- Bodenozonbildung und -abbau..... 80
- Ozonloch und Treibhauseffekt im Zusammenhang (Folienvorlagen) 81

4. Folgen des Klimawandels für Mensch, Erde und Umwelt – und was dagegen getan werden kann..... 83

Sachinformationen	83
-------------------------	----

Unterrichtspraktische Hinweise	85
--------------------------------------	----

Arbeits- und Info-Blätter:	86
----------------------------------	----

- Die ersten Anzeichen eines Klimawechsels: Die Veränderung der Weltmitteltemperatur... 86
- Die ersten Anzeichen eines Klimawechsels: Abschmelzende Gletscher und Naturkatastrophen..... 87
- Klima und Ernteerträge..... 88
- Bäume haben keine Füße 89
- Beobachten und abwarten – oder Vorhersagen wagen? 90
- Umkehr – auf allen Wegen 91
- Mein Treibhaus-Alltag..... 92
- Treibhausgas aus Motoren – und was davon eingespart werden könnte 93
- Die Produktlinienanalyse – erkenne die versteckten Energien 94
- Beispiele und Vorschläge für Aktionen..... 95

Einleitung

In welchem Umfang der Ausstoß von Treibhausgasen und von Spuren solcher Stoffe, die die Ozonschicht schädigen können, tatsächlich die Lebensbedingungen auf der Erde verändern oder vermindern, ist immer noch Gegenstand wissenschaftlicher Auseinandersetzungen. Insbesondere, weil die ersten Modellbildungen und Computerberechnungen noch sehr fehlerhaft waren und zum Teil zu falschen Schlußfolgerungen führten, gibt es immer noch Fachleute, die Effekte und Wirkungen ganz ausschließen oder zumindest für kaum relevant halten. Demgegenüber hat sich die Mehrzahl der Klima- und Ozonforscher den Standpunkt zueigen gemacht, daß man auf eine endgültige Klärung dieser Fragen nicht warten könne, weil es dann bereits zu spät sei.

Mit Katastrophen läßt sich kein Unterricht machen, zumindest nicht in dem Sinn, daß die Schülerinnen und Schüler anschließend bereit wären, sich konstruktiv mit

den Vorgängen in ihrer Umwelt einzusetzen und aktiv zu werden. Daher ist die Sensibilisierung für die möglichen und drohenden Veränderungen zwar nötig, ebenso die sachliche und – so weit möglich – fachliche Durchdringung der Zusammenhänge. Daneben müssen den Lernenden aber bereits jetzt Handlungsmöglichkeiten eröffnet werden, die sich auf ihr konkretes Umfeld beziehen, sollen sie sich nicht frustriert von dem Bild einer untergehenden Welt abwenden.

Die Materialien in diesem Band sollen daher beides bewirken: Eine Argumentation stützen, die die möglichen Veränderungen nicht verdrängt und vorhandene Hinweise auf diese Veränderung aufgreift; zum anderen verschiedene Felder (beispielhaft) aufzeigen, wo Aktionen und strukturelle Veränderungen möglich sind und auch von den Schülerinnen und Schülern mitgetragen werden können.

1. Das Klimasystem der Erde

Sachinformationen

Phantastisch: eine Reise ins All

„Wir befinden uns jetzt in 300 m Höhe“, schnarrt die monotone Stimme aus dem Lautsprecher. Und höher geht's, immer höher. Bildhübsch sieht's da unten aus, die Landschaft weitet sich, wird immer kleiner. Dann trübt sich die Luft, das Flugzeug taucht in eine Wolke. Mich erinnert dies an dichten Nebel. Es ist ja auch kaum etwas anderes, kleinste Wassertröpfchen auf engem Raum! Wir sind also in der Troposphäre, der Wetterschicht. Nun wird es wieder klarer, hell, strahlend blau. Mein Blick aus dem Fenster ist ein wenig eingeschränkt, muß ich doch immer an den Tragflächen vorbei schielen. Die wirken jetzt weiß, matt, wie mit Reif besetzt.

„Außerhalb unseres Flugzeugs herrscht jetzt eine Temperatur von -20°C . Wir haben eine Flughöhe von 5000 m.“ Auch die weißen Wolken unter uns werden kleiner, schließen sich zu einer festen Decke. Nur manchmal blitzt es noch dazwischen blau auf. „Wir haben jetzt eine Höhe von 10 000 m, der Luftdruck draußen ist inzwischen so gering, daß wir nicht mehr atmen könnten.“ Ganz nett, daß der Typ aus dem Lautsprecher ein paar Informationen gibt. Bloß seine Stimme schnarrt schrecklich. In der Ferne nähert sich ein grauer Punkt. Wahrscheinlich ein anderes Flugzeug. Wir haben bestimmt eine Flughöhe von 12 km Höhe. Das soll ja die Durchschnittshöhe sein, bei der die großen Jets fliegen. Beginnt hier nicht auch die Ozonschicht?

Aber nichts sieht anders aus! Unser Flugzeug steigt weiter. „Inzwischen haben wir eine Flughöhe von 15 km. Draußen ist es -60°C kalt. Wir durchfliegen die Ozonschicht, d. h. wir befinden uns in der nächsten Schicht unserer Lufthülle, der Stratosphäre.“ Unsere Flugeschwindigkeit scheint größer zu werden, wahrscheinlich wegen der geringeren Anziehungskraft der Erde. „Die Flughöhe beträgt jetzt 30 km, wir haben die Ozonschicht verlassen, befinden uns aber immer noch in der Stratosphäre. Die Temperatur steigt wieder, denn hier in dieser Höhe sind wir der energiereichen Ultraviolettstrahlung ausgesetzt.

„An meinem Fenster zieht vor grauem Hintergrund langsam ein rundliches Objekt vorbei. Sieht aus wie eine Radiosonde – oder ist das ein Satellit? Rechts unten blinkt es. Drücken Sie <F1>, wenn Sie mehr Informationen wollen. Ich finde zwar, daß der Lautsprechertyp seine Sache bisher ganz gut gemacht hat, aber ich würde doch gern wissen, was mich da draußen eigentlich umgibt. Also, <F1> gedrückt!

Mein vertrauter Blick aus dem Fenster, halb an den Tragflächen vorbei, verschwindet. Auf hellem Hintergrund lese ich auf meinem Monitor: Flughöhe ca. 40 km, Temperatur -10°C , Zusammensetzung der Luft: 78 % Stickstoff, 21 % Sauerstoff, 1 % andere Gase, dabei 2 ppm Ozon, Luftdruck: 10 hPa, untere Grenze der Stratosphäre in der Höhe von 11 km (Pol) bis 18 km (Äquator), obere Grenze der Stratosphäre in 50 km Höhe, darüberliegende Schicht die Mesosphäre, reicht bis in 90 km

Höhe. Drücken Sie <F2>, wenn Sie zurück in die Flugsimulation wollen oder <Esc>, wenn Sie das Programm verlassen wollen. ...

Mit dieser phantastischen Reise ins All haben wir einen Einblick gewonnen in die einzigartige Hülle unserer Erde, in die Erdatmosphäre. Weitere Informationen über die einzelnen Schichten dieser Atmosphäre, ihre Entstehung, ihre Wirkung als Filter für solare Strahlung, ihre Wechselwirkung mit den Ozeanen und ihre Bedeutung im Klimasystem der Erde geben die nachfolgenden Abschnitte. Dieses erste Kapitel *Klimasystem der Erde* möchte damit ein Grundlagenwissen vermitteln, um die in diesem Materialienband angesprochenen Fragen und Probleme zum „Klima und Treibhauseffekt“ sachgerecht mit den SchülerInnen bearbeiten zu können.

Eine luftige Verpackung: die Erdatmosphäre

Die Anziehungskraft der Erde bewirkt, daß kosmische Gase, aber viel mehr noch von der Erde ausgehende Gase, im Schwerefeld der Erde verbleiben. Diese Gashülle wird in verschiedene Schichten unterteilt.

Während der Atmosphärendruck kontinuierlich mit der Entfernung von der Erde abnimmt, verläuft die Temperaturkurve diskontinuierlich. Ursache dafür ist das unterschiedliche Vermögen der Gase, Strahlung zu absorbieren und in Wärme umzuwandeln.

Die unterste Schicht der Erdatmosphäre, in der sich auch das Wettergeschehen abspielt, ist die Troposphäre. Sie reicht über den Polen bis in eine ungefähre Höhe von 11 km, über dem Äquator bis 18 km. Die Gasmoleküle dieser Schicht absorbieren langwellige Wärmestrahlung, was den Treibhauseffekt bewirkt. Bedeutendstes Treibhausgas ist der Wasserdampf. Auch Kohlendioxid, Methan und Lachgas tragen zum natürlichen Treibhauseffekt bei. Ausführlich wird auf den Treibhauseffekt im Kapitel 2 eingegangen. Wegen der nach oben abnehmenden Teilchenzahl mindern sich der Druck und die Temperatur. Als Tropopause wird die Grenze zur nächsten Schicht, der Stratosphäre, bezeichnet.

Die Stratosphäre reicht bis in eine Höhe von 50 km. Sie beginnt dort, wo die Troposphäre endet (s. o.). Neben den üblichen Luftgasen enthält die Stratosphäre auch Spuren von Ozon (5 ppm) in jahreszeitlich bedingten Schwankungen, was ihr auch den Namen Ozonschicht verliehen hat. Die Absorption von energiereicher Strahlung in dieser Schicht bewirkt trotz weiter abnehmenden Luftdruckes einen Anstieg der Temperatur.

Begrenzt durch die Stratopause fügt sich als nächste Schicht die Mesosphäre an, in der die Temperatur wieder fällt. Die Grenze zur Thermo- oder Ionosphäre markiert die Mesopause in ca. 90 km Höhe. Trotz geringer Teilchenzahl steigt in dieser Schicht die Temperatur durch den hohen Energiegehalt der Teilchen stark an, schwankt aber im Tagesverlauf erheblich. In ungefähr 500 km Höhe schließt sich die Exosphäre als letzte Schicht der Erdatmosphäre an.

Die einzelnen Schichten umhüllen als Atmosphäre den Planeten und wirken gleichsam als Energiefilter der Sonnenstrahlung. Die Atmosphäre steht in Wechselwirkung mit der Geosphäre. Dazu gehören die Hydrosphäre (Wolken, Ozeane, Seen und Flüsse), die Lithosphäre (Landmassen der Gebirge und Böden), die Kryosphäre (Kontinental- und Meereis) sowie die Biosphäre (Gesamtheit der Pflanzen- und Tierwelt, einschließlich Menschen). Sonnenstrahlung, Atmosphäre und die einzelnen Komponenten der Geosphäre bedingen gemeinsam das Klimasystem der Erde.

Wechselspiel der Gase: die Atmosphäre entwickelt sich

Bis in eine Höhe von rund 100 km besteht die Atmosphäre der Erde zu 78,08 % aus Stickstoff, 20,95 % aus Sauerstoff, 0,95% Edelgasen und zu 0,038 % aus Kohlendioxid. Dies war nicht immer so.

Als die Erde vor ca. 4,5 Milliarden Jahren entstand und sich abkühlte, gab es eine erste Atmosphäre mit den Gasen Wasserstoff und Helium. Diese sehr leichten Gase diffundierten ins All. Aufgrund des regen Vulkanismus reicherten sich als zweite Atmosphäre Kohlendioxid (CO_2), Stickstoff (N_2) Wasserdampf (H_2O), in geringerem Maße auch Kohlenmonoxid (CO), Wasserstoff (H_2), Methan (CH_4), Ammoniak (NH_3) und möglicherweise auch Schwefelwasserstoff (H_2S) an. Es wird vermutet, daß kaum molekularer Sauerstoff (O_2) dabei gewesen ist, und man bezeichnet daher diese Atmosphäre als reduzierende Atmosphäre. Unter diesen sauerstofffreien Bedingungen entwickelten sich einfachste Protobionten, später Prokaryoten, die Energie aus dem anaeroben Abbau verschiedenster Kohlenwasserstoffverbindungen (Gärung) gewannen.

Vor 3 Milliarden Jahren traten wahrscheinlich die ersten Fotosynthese betreibenden und damit molekularen Sauerstoff (O_2) produzierenden Organismen auf. Ihr energetischer Vorteil, das Sonnenlicht chemisch zu speichern und damit autotroph zu sein, begünstigte ihre Weiterentwicklung. Als Reaktionsprodukt dieser fotochemischen Energiegewinnung entstand molekularer Sauerstoff. Dieses Gas diffundierte zunehmend aus dem Wasser und sammelte sich in erdnahen Schichten, so daß sich vor ca. 2 Milliarden Jahren wohl 0,2 %, vor 1 Milliarde Jahren 1 % und vor ca. 600 000 Tausend Jahren schon 10% Sauerstoff in der Erdatmosphäre angereichert hatten.

Aus dieser anfangs noch dünnen Sauerstoffatmosphäre stiegen Sauerstoffmoleküle auch in größere Höhen auf, wo sie der energiereicheren Sonnenstrahlung ausgesetzt waren. Sauerstoffmoleküle wurden photolytisch gespalten, Ozonmoleküle gebildet. Die Grundprozesse zum Aufbau der späteren Ozonschicht waren in Gang gesetzt. Nach heutigem Verständnis bildet sich die Hauptmasse des Ozons über dem Äquator in einer Höhe von 20 km. Jetströme bewegen Luftpakete mit gebildetem Ozon in Richtung der Pole und gewährleisten eine globale Ozonschicht. Genau genommen handelt es sich nur um einen Ozonschleier, denn die Konzentration der Ozonmoleküle liegt bei ca. 5 ppm. Diese Menge reicht jedoch aus, die energiereiche UV-Strahlung der Sonne abzuhalten, indem Ozon mit dieser Strahlung gespalten wird. Damit werden die UV-C und -B-Strahlung „verbraucht“.

Erdgeschichtlich betrachtet konnte sich Leben auf dem Land also erst dann entwickeln, als der Anteil an Ozon in der Stratosphäre groß genug war, den größten Teil der DNA-schädigenden Strahlung aufzuhalten. Heutiges Leben beruht auf dem Gleichgewicht einer Sauerstoffatmosphäre von ca. 21% Sauerstoff mit einer ozonreichen Stratosphäre von ca. 5 ppm.

Diese in 2 Milliarden Jahren herausgebildete Atmosphäre droht nun durch menschliche Aktivitäten binnen weniger Jahrzehnte zerstört zu werden. Damit ist die Erbinformation speichernde DNA in den Zellkernen vermehrt der energiereichen UV-C-Strahlung ausgesetzt. Dies gilt für das Plankton, aber auch für höhere Lebewesen. Der Energiegehalt dieser Strahlung zerstört in der DNA Bindungen und verursacht damit Fehler im genetischen Code. Mit dem Ausdünnen der Ozonschicht droht nun global eine Veränderung des Artenspektrums durch DNA-Schädigung und ein weltweit erhöhtes Hautkrebsrisiko für die Menschen.

Segen und Fluch: die Strahlung der Sonne

Die Sonneneinstrahlung auf die Erde bedingt heute eine mittlere Oberflächentemperatur von 15,2 °C aufgrund des Treibhauseffektes unserer Atmosphäre: Die Sonne wirkt also als Wärmespende für die Erde.

Pflanzen filtern aus dem Strahlenspektrum der Sonne Blau- und Rotlicht für die Lichtreaktionen der Photosynthese: Die Sonne ermöglicht die grundlegenden Lebensprozesse.

Optische Sinnesorgane vieler Tiere, wie das Facettenauge der Biene oder das Linsenauge des Menschen besitzen Sinneszellen für bestimmte Wellenlängen des Lichts: Die Sonnenstrahlung ermöglicht eine Orientierung im Lebensraum und – im Falle des Menschen – läßt uns unsere Umwelt farbig erscheinen.

Sonnenlicht macht also Leben auf der Erde erst möglich und **vielfältig**. Dabei ist das Spektrum der solaren Strahlung weitaus größer und durchaus **lebensfeindlich**!

Die kosmische Strahlung enthält Gamma- und Röntgenstrahlung. Daß diese energiereiche Strahlung die Erdoberfläche nicht erreicht, verdanken wir den äußersten Schichten der Erdatmosphäre, der Exo- und Ionosphäre. Einen bedeutenden Anteil haben dabei die Stickoxide in der Ionosphäre, die diese Strahlung absorbieren. Auch extreme ultraviolette Strahlung (EUV) wird in der Ionosphäre abgefangen.

Den Energiegehalt dieser Strahlung (ca. 160 nm) absorbieren Sauerstoffmoleküle. Durch die Absorption von Strahlung heizt sich die Ionosphäre auf, die daher auch den Namen Thermosphäre erhalten hat. Ultraviolette Strahlung des B- und C-Bereiches wird letztlich durch die Auf- und Abbauvorgänge in der Ozonschicht „verbraucht“ (siehe Kapitel *Schutzschild der Erde*). Bekannt ist auch, daß schon in Höhenlagen (Gebirge, Flugreise) der Anteil der Röntgen- und UV-Strahlung zunimmt.

Damit ist die lebensfeindliche Strahlung weitgehend abgefangen. Nur ein Minimum dieser für Biomoleküle immer noch zu energiereichen UV-Strahlung gelangt auf die Erdoberfläche. Dies ist vor allem UV-A-Licht.

Worin besteht die Schädlichkeit der energiereichen Gamma-, Röntgen- und UV-Strahlung? Der Energiegehalt der Gamma- und Röntgen-Strahlung verursacht Strangbrüche in der Erbsubstanz DNA. Solche Schäden führen zu Mutationen und Krebs und sind vom Lebewesen selbst nicht zu reparieren. Der Energiegehalt der UV-Strahlung ruft fehlerhafte Bindungen in der DNA hervor. Viele Landlebewesen haben Reparaturmechanismen gegen solche UV-bedingten Schäden bzw. Abwehrreaktionen entwickelt, da ja wie zuvor schon erwähnt ein Minimum dieser Strahlung schon immer bis auf die Erde gelangt.

Globale Klimamacher: die Ozeane

Seit Beginn der industriellen Revolution vor 150 Jahren ist der CO_2 -Gehalt in der Atmosphäre um 25% gestiegen. Im gleichen Zeitraum hat sich die mittlere Jahrestemperatur um $0,5^\circ\text{C}$ erhöht, im Hinblick auf die erhebliche Treibhauswirksamkeit des Kohlendioxids eine eher geringe Temperaturerhöhung. Auch verschwinden jährlich Gigatonnen von ausgestoßenem CO_2 aus der Kohlenstoffbilanz. Beides veranlaßte Forscher, nach einer unbekannten Senke von CO_2 zu suchen.

1985 fand man vor der Küste Grönlands und Spitzbergens ein „Schlupfloch“, durch das Unmengen von CO_2 in die Tiefe des Ozeans befördert werden, die fünfzehnfache Menge dessen, was alle Flüsse dieser Erde an Wasser transportieren. Dieser Tiefentransport wirkt als Pumpe für ein weltumspannendes ozeanisches Wasserförderband, dem Europa sein mildes Klima verdankt.

Im Atlantik strömt warmes, oberflächennahes Wasser gen Norden. Auf seinem Weg gibt es an die kühlen, nordatlantischen Luftschichten Wärme ab, indem es Wasser verdunstet. Die Luft erwärmt sich durch diesen Vorgang, das Wasser gewinnt durch den zunehmenden Salzgehalt an Dichte. Vor Spitzbergen und Grönland ist es im Winter dann so kalt, daß das ursprünglich warme Wasser den Gefrierpunkt erreicht. Fast reines Süßwasser gefriert zu Eis und gibt dabei Salz nach unten ins noch flüssige Wasser ab. Auftauen und wiederholtes Zufrieren erhöht weiter den Salzgehalt und läßt eine Sole entstehen, die als schweres Wasserpaket in die Tiefe sinkt. Wie in einem Fahrstuhl wird CO_2 mit in die Tiefe befördert, denn dieses löst sich in kaltem Wasser besonders gut. Der heftige Abwärtssog der Wassermassen und ein hoher Druck durch die 1000m hohe Wassersäule verhindern ein Ausgasen des gelösten CO_2 . Die CO_2 -reichen Wassermassen verschwinden in mehreren Tausend Metern Tiefe, strömen am Meeresgrund mit einer Geschwindigkeit von 100 m/Tag nach Süden bis zur Antarktis und fließen dann wieder gen Norden. Nach rund tausend Jahren taucht es aus der Tiefe des Ozeans wieder auf, einmal im Indischen Ozean, zum andern im Pazifik. Dort fließt das Wasser in rund 800 m Tiefe wieder als Oberflächenwasser zurück, erwärmt sich in Äquaturnähe und bringt so wieder warmes Wasser in den Atlantik. Weitere, wenn auch nicht ganz so bedeutsame CO_2 -Fahrstühle sind die Schelfeise an den Polen sowie das antarktische Weddell-See.

Das weitgehend konstante Klima der letzten 10 000 Jahre schreibt man nach neuester Kenntnis diesem Was-

ser-Wärme- CO_2 -Transportband zu.⁴ In der länger zurückliegenden Erdgeschichte gab es durchaus weitaus heftigere Temperaturschwankungen. So lassen Untersuchungen an grönländischen Eisbohrkernen Temperatursprünge von 10°C in nur 10 Jahren vermuten. Aber auch in solchen Zeiten existierten globale, ozeanische Wasserzirkulationen von klimabestimmendem Effekt, nur mögen sie anders verlaufen sein, mitunter auch stillgestanden haben.

Computersimulationen lassen es wahrscheinlich erscheinen, daß in Kaltzeiten ein flacheres und weniger weitreichendes Zirkulationsmuster des ozeanischen Wassertransportbandes existiert haben könnte. Als kritisch wird ein Stillstand des Transportbandes angesehen. Für Nord- und Mitteleuropa wäre ein sehr kaltes Klima anzunehmen. Dublins Sommerklima wäre ähnlich dem in Spitzbergen und Londons Winterklima vergleichbar mit der sibirischen Stadt Irkutsk. Es könnte Jahrtausende dauern, bis das Förderband wieder in Gang käme oder sich auch ein anders verlaufendes Förderband neu entwickelt.

Vom Wetter zu den Klimazonen

Herrlich! Sommer, Sonne, 35°C im Schatten, Baden, Eisbecher mit Sahne... Wer hat nicht frohlockt im Sommer des Jahres 1995, als von Juni bis August die Sonne Dauergast in Deutschland war und uns den Jahrhundertssommer präsentierte. War das schon ein Zeichen einer Klimaerwärmung? So mancher mag den Gedanken, künftig das mediterrane Urlaubswetter vor die eigene Haustür zu bekommen, gar nicht so schlecht gefunden haben.

Betrachten wir den Sommer des Jahres 1996, so mochte wohl keiner mehr an Klimaerwärmung glauben. Es war viel zu kühl, verregnet, allgemeines Klagen: Waren solche Temperaturen überhaupt sommerlich zu nennen?!

Der Vergleich zweier extremer Sommer hintereinander macht deutlich: Das *Wetter* im Sommer 1995 war sehr warm, die Niederschlagsmenge gering..., das *Wetter* im Sommer 1996 war dagegen kühl, die Niederschlagsmenge höher. Verrechnet man die Temperaturen beider Sommer zu einer Durchschnittstemperatur, so liegt sie wieder im Normbereich eines Sommers in den mittleren Breiten.

Wir sprechen also vom *Wetter*, wenn es um das meteorologische Geschehen, gemessen in Form der Temperatur, Luftdruck, Niederschlagsmenge, Luftfeuchtigkeit, Wind, Bewölkung, in einem kurzen Zeitraum in einer bestimmten Region geht.

Mit dem *Klima* hingegen meint man den allgemeinen Charakter des Witterungsverlaufs, gemittelt über die Jahreszeiten und über einen langen Zeitraum von mindestens 30 Jahren betrachtet. So „verrechnen“ sich heiße und kühle Sommer, kalte und milde Winter. Das Klima ist wiederum regional unterschiedlich. Durch globale Mittelung erhält man das Weltklima. *klino* (griech.) bedeutet „ich neige“. Aufgrund der Kugeligkeit der Erde ist für die geografischen Breiten dieser Erde der Neigungswinkel zur Sonnenstrahlung unterschiedlich. Dies ist die Hauptursache der Klimazonen, die sich fast in „Streifen“ auf den Kontinenten um den Erdball ziehen. Unregelmäßigkeiten im Muster begründen sich in der

Wechselwirkung mit anderen Faktoren des Klimasystems: So beeinflussen warme und kalte Meeresströmungen, Wolken, Wind, Gestein, Sand- und Eisflächen, die Vegetation selbst sowie das schon genannte globale Wassertransportband das Klima.

Unterrichtspraktische Hinweise

Mit der kleinen *Geschichte „Die Reise ins All“* soll in den SchülerInnen Neugierde geweckt werden, sich mit der Atmosphäre um die Erde näher zu beschäftigen. Es bietet sich an, daraufhin das *Arbeitsblatt „Die Schichten der Erdatmosphäre“* einzusetzen, da hiermit Höhenangaben konkretisiert und strukturelle Zusammenhänge zu punktuell vorhandenem Wissen aufgezeigt werden kann.

Die Bilderfolge *„Erdatmosphäre“* stellt vergleichend drei verschiedene Betrachtungsweisen der Erdatmosphäre dar und eignet sich, die Treibhauswirksamkeit der Troposphäre zu verdeutlichen. Um die Modellhaftigkeit des Begriffes „Treibhaus“ für die SchülerInnen verstehbar zu machen, bietet sich ein schrittweises Vorgehen an. Das Bild 1 betont die Wirkung der Existenz einer Atmosphäre durch den Aspekt der Ausstrahlung. Bild 2 veranschaulicht die viel benutzte Vorstellung des „Treibhaus“effektes, während Bild 3 durch Darstellung der Gasteilchen erläutert, wie es zu dieser modellhaften Vorstellung gekommen ist. Alle drei Bilder übereinandergelegt stellen die verschiedenen Vorstellungen im Vergleich dar und wären für SchülerInnen als Informationsblatt (Bild 4) geeignet.

Einen Einblick in die *Entwicklung der Sauerstoffatmosphäre* vermittelt ein *Infoblatt*, ein anderes zeigt auf, in welchen Schichten *energiereiche Strahlung absorbiert* wird.

Vielfach wird bei der Klimadiskussion in erdgeschichtliche Zeiten zurückgeblickt und Temperaturrekonstruktionen werden vorgenommen. Wie solche Erkenntnisse gewonnen werden, stellt vereinfachend das *Infoblatt „Eisbohrkerne geben Auskunft über das Klima vor Jahrtausenden“* dar.

Beschäftigt man sich mit dem Treibhauseffekt und dem Ozonloch, stößt man immer wieder auf das Problem der Strahlung. Um die Abstraktheit dieses Begriffes zu nehmen, bieten einige Seiten Vorschläge, wie Struktur, Energiegehalt und Bedeutung der Strahlung anschaulich geklärt werden können. Als Grundlage dient ein mehr als zwei Meter langes *Energieband*, das als noch zu vergrößernde Kopiervorlage auf einem Experiment-Blatt dargestellt ist. Durch die Größe und Beschriftung des Bandes sowie durch den Karteneinsatz und den Demonstrationsversuch kann eindrucksvoll und handlungsorientiert die oftmals diffuse Schülervorstellung von Strahlung und Energie konkretisiert und/oder systematisiert werden.

Herstellung des Bandes: Die beiden Blätter werden am Kopierer vergrößert, da das Band für die Schüler in einer Länge von ca 2,5 bis 3m sehr beeindruckend ist. Dann werden die Streifen gemäß den Randmarkierungen geschnitten und verklebt. Sinnvoll ist auch eine Colorierung mit Wachsmalkreide (färbt gut, malt schnell), da dadurch aus einigen Metern Entfernung die Orientierung

auf dem Band erleichtert wird. Falls eine Laminiermaschine vorhanden ist, kann dem Band zusätzliche Haltbarkeit verliehen werden.

Herstellung der Karten: Es sollten auch die Diskussionskarten (3 Arbeitsblätter) am Kopierer vergrößert werden. So können sie zur oder nach Erarbeitung gut sichtbar am Energieband mittels Büroklammern angebracht werden. Die Diskussionskarten erhalten durch Falten und Kleben eine Information auf der Rückseite.

Einsatz des Bandes: Das Band wird an geeigneter Stelle im Unterrichtsraum aufgehängt und mit Klebeband an mehreren Stellen fixiert. Es sollte auch so angebracht sein, daß in entsprechender Höhe die Projektion der Spektralfarben möglich ist.

In einem ersten Schritt werden die Spektralfarben (siehe *Experiment „Sonnenstrahlung ist mehr als sichtbares Licht“*) genau in den betreffenden Bereich im Energieband projiziert. Zusätzlich wird den Schülern die Information gegeben, daß das Band den Strahlungsbereich der Sonne wiedergibt. Diese Aussage in Verbindung mit der Projektion der Spektralfarben löst bei den Schülern Verwunderung aus. Zwar haben sie im naturwissenschaftlichen Unterricht des öfteren auch energetische Aspekte zu betrachten; dennoch bleiben ihre Kenntnisse über Energie bruchstückhaft und können nun im Zusammenhang für sie klarer werden. Das Band soll eine umfassendere und anschauliche Betrachtung des unterschiedlichen Energiegehaltes von Strahlung ermöglichen.

In einem zweiten Schritt werden nun die für die jeweilige Altersstufe relevanten *Diskussionskarten* zum Energieverständnis ausgewählt und ungeordnet an der Tafel oder an der Pinwand fixiert. Die Schüler werden aufgefordert, jeweils eine Karte abzunehmen und diese gemäß ihrem Vorwissen einem Strahlungsbereich zuzuordnen. Die Karten können mit Büroklammern oder Klebepunkten am Band befestigt werden. Bewußt sind auch einfache Zuordnungen dabei, um möglichst vielen Schülern grundsätzlich den Zugang zum Band zu erleichtern. Im nächsten Blatt werden schon genauere Kenntnisse gefordert und die Karten des dritten Blattes dürften nur in der Oberstufe von Relevanz sein. Drei Leerkarten gestatten eigene Ergänzungen.

Hängen alle Karten am Band, sollen die Entscheidungen oder nicht durchgeführten Zuordnungen *in einem dritten Schritt* überprüft werden. In der Regel ergibt sich spätestens hier eine lebhafte Diskussion. Dabei können die Informationen der Kartenrückseiten benutzt werden. Die Informationen könnten vorgelesen und die Karten bei Bedarf richtig gehängt werden. Sicherlich bietet auch der Informationsgehalt der Karten Anlaß für weitere Fragen oder Kommentare.

Modellvorstellungen von Strahlung (Licht):

1. *Newton* entwickelte die *Teilchenvorstellung* vom Licht, mit der Lichtbrechung und -reflexion erklärbar wurde.
2. Nach der später von *Hertz* entwickelten *Wellentheorie* besteht Strahlung aus elektromagnetischen Wellen. Die Wellenlängen bedingen unterschiedlichen Energieinhalt. Je kürzer die Wellenlänge, desto energiereicher ist die Strahlung. Diese Vorstellung ist dem Energieband zugrundegelegt.

3. *Planck* entwickelte später die *Quantentheorie*, auf der *Einstein* ein nicht mehr anschauliches Modell von Strahlung entwarf. Dieses vereint in sich die Vorstellungen von Teilchen und elektromagnetischen Wellen.

Schwierigkeiten: Möglicherweise bereitet jüngeren Schülern der Begriff „Wellenlänge“ und die Maßeinheit „ 10^{-x} m“ Schwierigkeiten. Dann könnten Sie so vorgehen: Zeichnen Sie eine waagerechte Strecke von 1m an die Tafel. Zeichnen Sie dann in den ersten 50 cm einen Wellenberg, in den zweiten 50 cm ein gleich geschwungenes Wellental, genau bei 50 cm ist der Schnittpunkt von Berg und Tal mit der Grundlinie. Dies ist eine Wellenlänge von 1m. Zeichnen Sie nun ebenso Wellenberg und Wellental auf einer Strecke von 10 cm. Dies symbolisiert nun eine Wellenlänge von 10^{-1} m. Wiederholen Sie dies auf einer Strecke von 1 cm (10^{-2} m). Kleinere Wellenlängen sind nun kaum mehr an der Tafel möglich, dürften sich allerdings auch erübrigen, weil die SchülerInnen die Vorstellung des Lichts als eine „Welle“ unterschiedlicher Länge verstanden haben.

Umrechnungen: 1 mm (Millimeter) = 1×10^{-3} m
1 μ m (Mikrometer) = 1×10^{-6} m
1 nm (Nanometer) = 1×10^{-9} m
1 pm (Pikometer) = 1×10^{-12} m

Beispiel: 400 nm = $0,4 \times 10^{-6}$ m = 4×10^{-7} m

Die „*Ozeane als globale Klimamacher*“ werden einmal als **Info-** und als **Arbeitsblatt** angeboten, zum andern als **Modellexperiment „CO₂-Fahrstuhl“**, wobei in allen Fällen für den Lehrer die Sachinformationen aus dem Kapitel 1 hilfreich sind.

Da es sich hier um einen Modellversuch handelt, sei auf einen wichtigen sachlichen Unterschied zum realen Wasserfahrstuhl, der im kalten Wasser gelöstes Kohlendioxid in die Tiefe des Atlantiks zieht, hingewiesen. Das salzige Wasser vor Island hat aufgrund vorausgegangener Wärmeabgabe und damit verbundener Verdunstung an Dichte zugenommen. Vornehmlich durch den höheren Salzgehalt sinkt das Wasser im Nordatlantik ab. Im Modellversuch hingegen wird das Absinken von Wasser durch Eiswürfel ausgelöst. Die Eiswürfel schmelzen im Oberflächenwasser und das Schmelzwasser sinkt dann ab aufgrund der höheren Dichte, die kaltes Wasser hat.

Wird nun unterhalb der Eiswürfel eine Vitamin-Brause-Tablette in den Sieblöffel getan, löst diese sich auf. Dabei perlt zum einen CO₂ sichtbar an die Oberfläche, zum andern geht nicht sichtbar CO₂ als Kohlensäure im kalten Schmelzwasser in Lösung nach der Reaktion $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$. Das Absinken des kalten Wassers mit dem darin gelösten CO₂ erfolgt sehr schnell. Farblich ist der Sinkvorgang des Wassers durch die gelbe Färbung, die beim Lösen der Vitamin-Brause-Tablette entsteht, gut zu verfolgen. Die Färbung zieht am Boden entlang, wo auch die niedrigste Temperatur gemessen wird, um am anderen Beckenrand wieder aufzusteigen. So zeigt dieser Mini-Ozean auf einer sehr kurzen Strecke, wie Stoffe (CO₂, Nährsalze) in der Tiefe transportiert werden. Nach 15 Minuten ergibt sich eine über Stunden stabile Temperaturschichtung des Wassers.

Für SchülerInnen in der Sekundarstufe II kann der Versuch meßtechnisch verfeinert aufgebaut werden. In der Nähe der Thermometer ① und ③ wird je eine Meßzelle

zur Bestimmung der Leitfähigkeit des Wassers befestigt. Nun ist sehr eindrucksvoll, daß eine vom Sieblöffel in nur 10 cm Entfernung befindliche Meßzelle einen weiterhin konstanten Wert anzeigt. Der Abwärtssog des Wassers ist demnach so stark, daß eine seitliche Diffusion der entstehenden Ionen (siehe Reaktionsschema oben) unterbleibt, obwohl ein heftiges Sprudeln der Brausetablette zu beobachten ist. Die Gelbfärbung zieht auf dem Beckengrund nach links und steigt am Beckenrand wieder auf. Erreicht die Färbung die linke Meßzelle zur Bestimmung der Leitfähigkeit, werden hier stark erhöhte Leitwerte angezeigt. Diese beruhen zum einen auf den durch Lösung des CO₂ entstandenen Ionen, zum andern auf den Vitaminen, die ebenfalls Ionen sind und den Leitwert erhöhen. Wenn auch die speziellen Eigenschaften der Vitamin-Brause-Tablette die Leitfähigkeit des Wassers über gelöstes CO₂ hinaus verstärken, so wird doch deutlich: CO₂ geht in kaltem Wasser gut in Lösung, sinkt so schnell ab, daß keine seitlich gerichtete Diffusion der entstandenen Ionen erfolgt, also kein erhöhter Leitwert im sinkenden Wasser, wohl aber im aufsteigenden Wasser zu beobachten ist. Somit demonstriert dieser Modellversuch sehr gut, wie große Mengen von im kalten Wasser gelöstem CO₂ durch einen Abwärtssog in das Tiefenwasser des Atlantik verfrachtet werden.

Für das methodische Gelingen des Versuchs seien hier noch folgende Hinweise gegeben:

1. Mit einer Wasserfüllung kann der Versuch höchstens zweimal durchgeführt werden, weil das gesamte Wasser sich nach dem Lösen der ersten Tablette schon gelb färbt und die neu entstehende Färbung im zweiten Durchlauf schwerer zu erkennen ist.
2. Sinnvoll ist es auch, durch zwei Schalen Eiswürfel zuerst einmal eine Temperaturschichtung des Wassers zu erzeugen und damit die Modellhaftigkeit zur Wasserströmung im Meer herzustellen. Dann kann nach ca. 15 Minuten der eigentliche Versuch mit der Eingabe der Vitamin-Brause-Tablette in den Sieblöffel gestartet werden. Die erzeugte Temperaturschichtung bleibt mehrere Stunden bestehen!
3. Im Falle der Versuchsvariante mit Leitfähigkeitsmeßzellen ist destilliertes Wasser zu verwenden, um den Anfangsleitwert niedrig zu halten und eine deutliche Erhöhung im aufsteigenden Wasser zu messen.

„*Wie gut löst sich Kohlendioxid in Wasser?*“ ist eine zentrale Frage, wenn es darum geht, die Rolle der Ozeane im Klimageschehen zu beurteilen. Dazu wird ein denkbar einfaches **Experiment** vorgeschlagen, welches sich sogar als Hausaufgabe für die SchülerInnen eignet.

Ein letztes **Infoblatt** beschäftigt sich mit den **Klimazonen der Erde**.

Eine Reise ins All

Wie aufgeschnürt stehen die bunten Häuser an den Straßen, der Verlauf der Straßenzüge erinnert an einen Stadtplan für Touristen. Autos flitzen. Ein ICE fädelt sich mit gebremstem Tempo zwischen den Häusern hindurch. Nein, wir stehen nicht vor dem Schaufenster eines Spielwarenladens sondern fliegen hoch in der Luft, sozusagen auf dem Weg ins All.

„Wir befinden uns jetzt in 300 m Höhe“, schnarrt die monotone Stimme aus dem Lautsprecher. Und höher geht's, immer höher. Bildhübsch sieht's da unten aus, die Landschaft weitet sich, wird immer kleiner. Dann trübt sich die Luft, das Flugzeug taucht in eine Wolke. Mich erinnert dies an dichten Nebel. Es ist ja auch kaum etwas anderes, kleinste Wassertröpfchen auf engem Raum! Wir sind also in der Troposphäre, der Wetterschicht!.

Nun wird es wieder klarer, hell, strahlend blau. Mein Blick aus dem Fenster ist ein wenig eingeschränkt, muß ich doch immer an den Tragflächen vorbei schielen. Die wirken jetzt weiß, matt, wie mit Reif besetzt. „Außerhalb unseres Flugzeugs herrscht jetzt eine Temperatur von -20°C . Wir haben eine Flughöhe von 5000 m.“ Auch die weißen Wolken unter uns werden kleiner, schließen sich zu einer festen Decke. Nur manchmal blitzt es noch dazwischen blau auf.

„Wir haben jetzt eine Höhe von 10 000 m, der Luftdruck draußen ist inzwischen so gering, daß wir nicht mehr atmen könnten.“ Ganz nett, daß der Typ aus dem Lautsprecher ein paar Informationen gibt. Bloß seine Stimme schnarrt schrecklich. In der Ferne nähert sich ein grauer Punkt. Wahrscheinlich ein anderes Flugzeug. Wir haben bestimmt eine Flughöhe von 12 km Höhe. Das soll ja die Durchschnittshöhe sein, bei der die großen Jets fliegen. Beginnt hier nicht auch die Ozonschicht?

Aber nichts sieht anders aus! Unser Flugzeug steigt weiter. „Inzwischen haben wir eine Flughöhe von 15 km. Draußen ist es -60°C kalt. Wir durchfliegen die Ozonschicht, d. h. wir befinden uns in der nächsten Schicht unserer Lufthülle, der Stratosphäre.“ Unsere Fluggeschwindigkeit scheint größer zu werden, wahrscheinlich wegen der geringeren Anziehungskraft der Erde. „Die Flughöhe beträgt jetzt 30 km, wir haben die Ozonschicht verlassen, befinden uns aber immer noch in der Stratosphäre. Die Temperatur steigt wieder, denn hier in dieser Höhe sind wir der energiereichen Ultraviolettstrahlung ausgesetzt.“

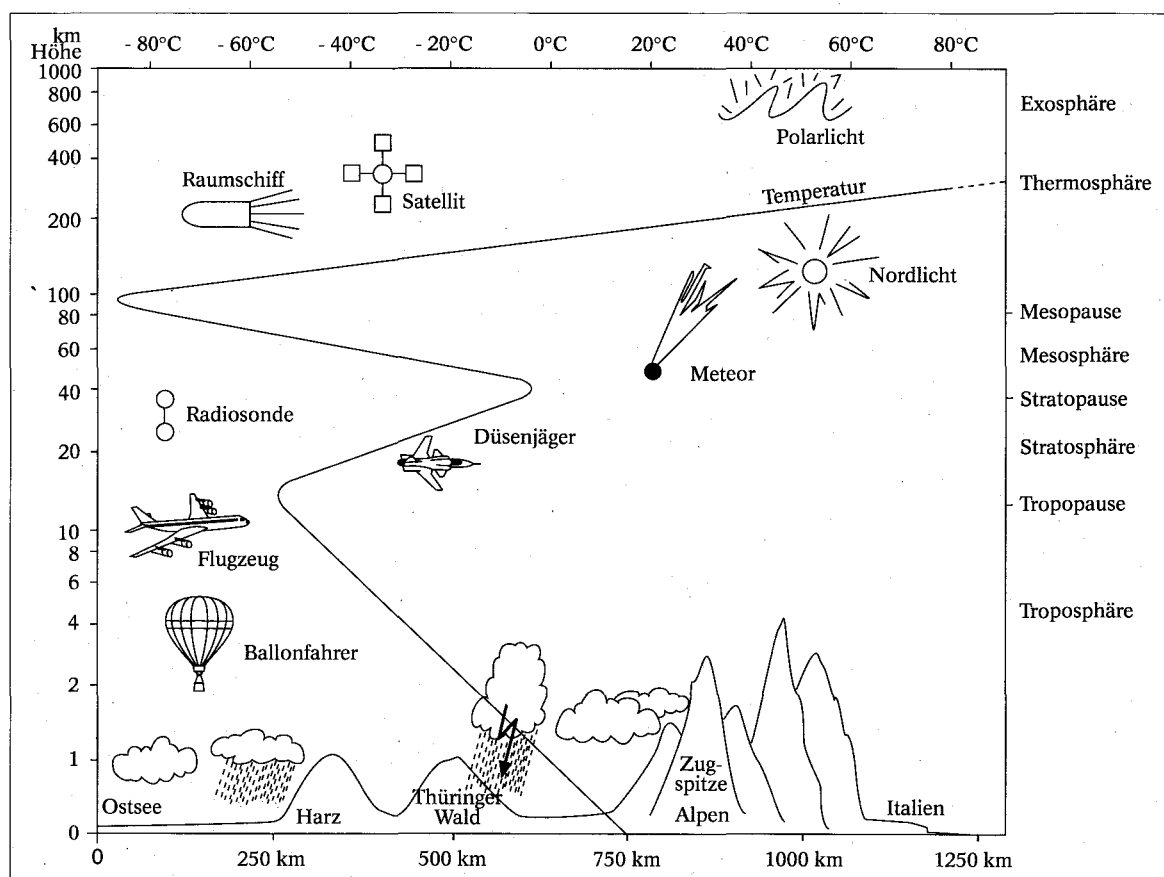
„An meinem Fenster zieht vor grauem Hintergrund langsam ein rundliches Objekt vorbei. Sieht aus wie eine Radiosonde – oder ist das ein Satellit? Rechts unten blinkt es. Drücken Sie <F1>, wenn Sie mehr Informationen wollen. Ich finde zwar, daß der Lautsprechertyp seine Sache bisher ganz gut gemacht hat, aber ich würde doch gern wissen, was mich da draußen eigentlich umgibt. Also, F1 gedrückt!

Mein vertrauter Blick aus dem Fenster, halb an den Tragflächen vorbei, verschwindet. Auf hellem Hintergrund lese ich auf meinem Monitor: Flughöhe ca. 40 km, Temperatur -10°C , Zusammensetzung der Luft : 78 % Stickstoff, 21 % Sauerstoff, 1 % andere Gase, dabei 2 ppm Ozon, Luftdruck : 10 hPa, untere Grenze der Stratosphäre in 12 – 18 km Höhe, obere Grenze der Stratosphäre in 50 km Höhe, nächstäußere Schicht der Erdatmosphäre: Mesosphäre bis in 100 km Höhe. Drücken Sie <F2>, wenn Sie zurück in die Flugsimulation wollen oder <Esc>, wenn Sie das Programm verlassen wollen. ...

Aufgaben:

1. Was hat dich beim Lesen erstaunt?
2. Worüber möchtest du mehr Informationen erhalten?

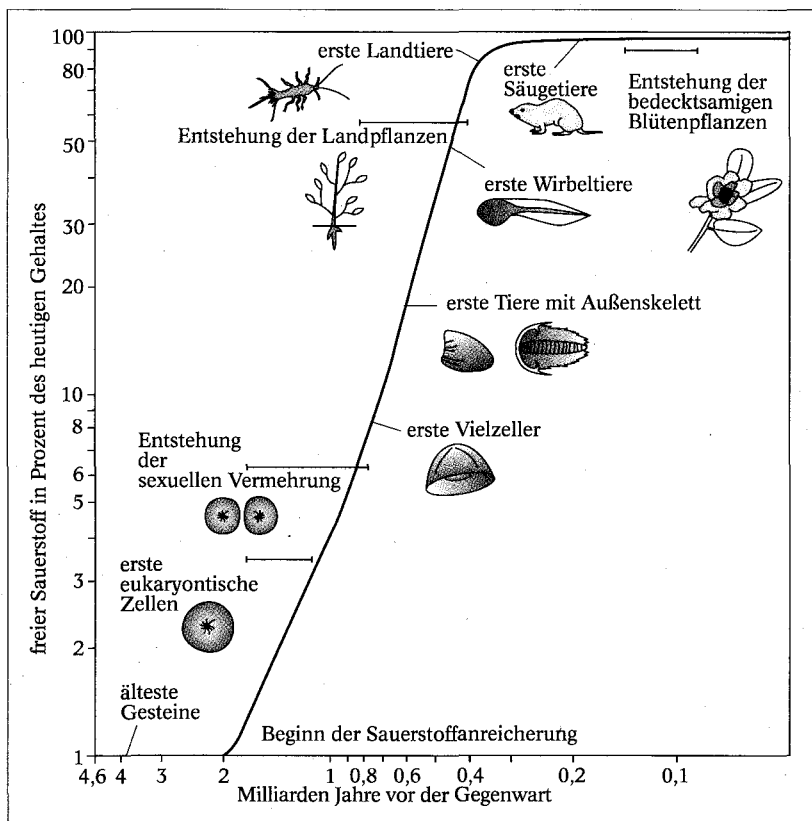
Die Schichten der Erdatmosphäre



Aufgaben:

1. Betrachte Maßstäbe und Skalierungen dieser Grafik!
Erläutere, was hier dargestellt wird.
2. Schätze ab und trage ein, in welchen Höhenbereichen die unterschiedlichen Schichten der Erdatmosphäre liegen!
Troposphäre: von km bis km Höhe
Stratosphäre: von km bis km Höhe
Mesosphäre: von km bis km Höhe
Thermosphäre: von km bis km Höhe
Exosphäre: ab km Höhe
3. Welcher Faktor ist ausschlaggebend für die Prägung einer jeweils neuen „Sphäre“?
.....
Wie wird die Grenzschicht benannt?
4. Luft in der Zusammensetzung 78% Stickstoff, 21 % Sauerstoff, 0,038 % Kohlendioxid und 1 % andere Gase gibt es bis in eine Höhe von 100 km. Kennzeichne dies farbig!
5. In der Stratosphäre gibt es neben den Luftgasen auch Ozon in geringer Menge. Daher wird diese Schicht auch Ozonschicht genannt. Die größte Ozondichte (ca. 5 ppm) liegt im Höhenbereich 18 bis 25 km Höhe. Nach oben und unten nimmt der Ozongehalt ab. Trage diesen Befund durch Punkte einer Farbe in die Grafik ein!

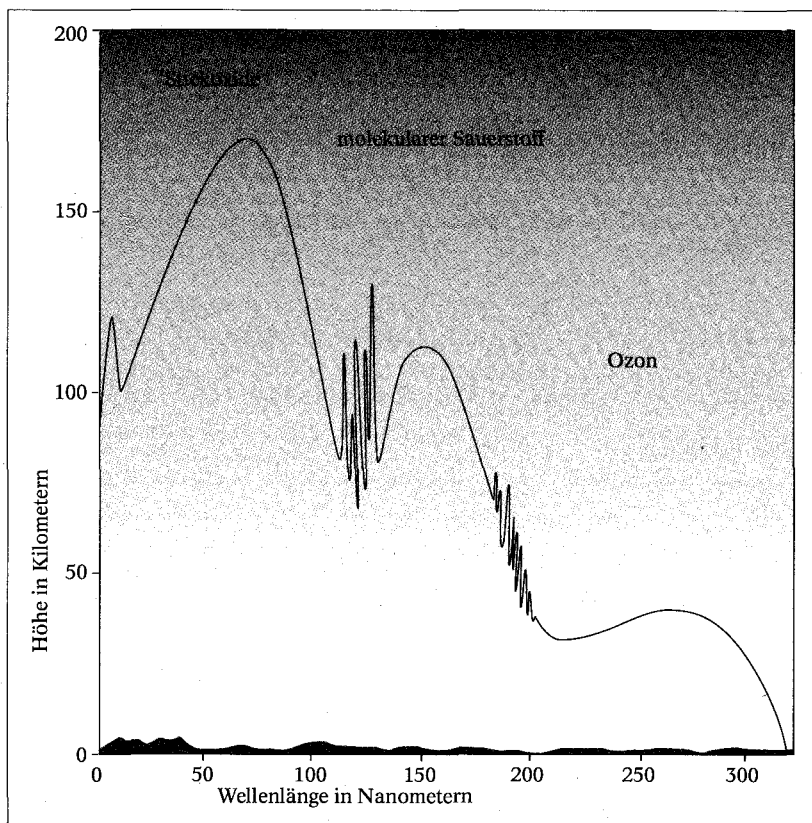
„Entwicklung der Sauerstoffatmosphäre“



Die Anreicherung von Sauerstoff in der ursprünglich sauerstofffreien Atmosphäre ist hier im doppeltlogarithmischen Maßstab dargestellt. Die Kurve zeigt, wie der Sauerstoffgehalt von etwa 1 Prozent des gegenwärtigen Wertes bis heute zugenommen hat. Mit eingezeichnet sind die Schlüsselergebnisse in der Evolution der Biosphäre. Lässt sich der genaue Zeitpunkt nicht feststellen, so ist die mögliche Streubreite angegeben. So könnten etwa die einfachsten niederen Landpflanzen zu Beginn des Kambriums (vor 570 Millionen Jahren), aber auch bereits früher erschienen sein. Sporen, die von echten Gefäßpflanzen stammen dürften, tauchen allerdings erst Ende des Ordoviziums, vor 440 bis 430 Millionen Jahren auf. Die anerkannt ältesten Landpflanzen im modernen Sinne entstanden im Silur und sind vielleicht 420 bis 415 Millionen Jahre alt. Aus der ungefähr gleichen Zeit kennt man skorpionartige Spinnentiere. Primitive Insekten erscheinen erst im Devon vor rund 380 Millionen Jahren.

Quelle: Cloud, 1983

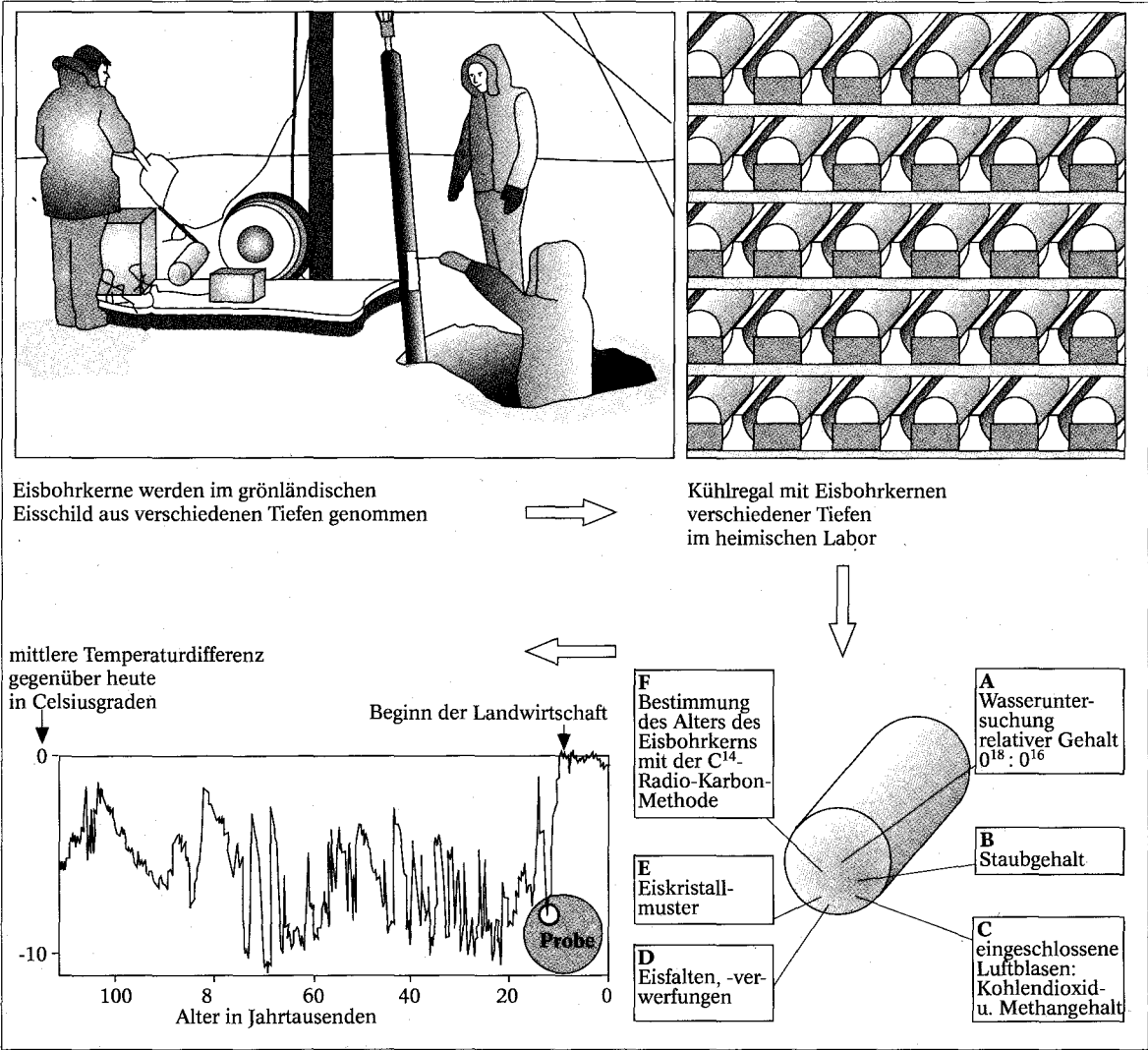
„Absorption von Strahlung“



Die Erdatmosphäre ist für Strahlung verschiedener Wellenlänge unterschiedlich durchlässig. Die Kurve gibt die Höhe an, bis zu der die Hälfte der ankommenden Strahlung absorbiert ist. Stickoxide in der dünnen Atmosphäre oberhalb von 50 Kilometern schützen das Leben auf der Erde vor der stark varrierenden, energiereichen Strahlung im extremen Ultraviolett-Bereich. In geringeren Höhen absorbieren molekularer Sauerstoff und Ozon das längerwellige Ultraviolett, das ebenfalls schädlich für das Leben auf der Erdoberfläche ist. Variationen in der UV-Strahlung verändern die Ozonschicht.

Quelle: Foukal, 1990

Eisbohrkerne geben Auskunft über das Klima vor Jahrtausenden



Befund für einen Eisbohrkern aus dem grönländischen Eis aus der letzten Eiszeit	Interpretation
A: relativ geringer Gehalt an O^{18} zu O^{16} im Wasser des Eises	Das seltenere „schwere“ Sauerstoffisotop O^{18} findet sich im Eis dann in geringerer Menge, wenn die Lufttemperatur niedriger war. So kondensierte das „schwerere Wasser“ schon über dem Meer und „leichteres Wasser“ regnete über dem Festland ab. Fazit: Befund A deutet auf eine kalte Lufttemperatur hin.
B: viel Staub (30 mal mehr als in der Nacheiszeit)	Staubteilchen in der Luft reflektieren die Sonnenstrahlung zurück in den Weltraum. Damit erwärmt sich die Luft nicht so stark. Fazit: Befund B deutet ebenfalls auf eine kalte Lufttemperatur hin.
C ₁ : geringer Gehalt an CO_2 (nur zwei Drittel des Wertes aus der vorangehenden Zwischeneiszeit) C ₂ : geringer Gehalt an Methan (nur die Hälfte des Wertes der Nacheiszeit)	CO_2 und Methan sind natürliche Treibhausgase. Sind sie vermehrt vorhanden, ist die Lufttemperatur höher. Es muß so kalt gewesen sein, daß die Sümpfe der Tundren dauerhaft zugefroren und die Methanbakterien damit inaktiv waren. Fazit: Die Befunde C ₁ und C ₂ deuten eine niedrige Lufttemperatur an.
D: Eisfalten und -verwerfungen zeigen Verschiebungen im Festlandeis an.	Solche Faltenbildung kann nicht in der oben beschriebenen Weise ausgewertet werden. Dennoch kann Faltenbildung mit anderen geologischen Forschungen in Beziehung gesetzt werden.

Sonneneinstrahlung
300 - 4000 nm
(UV-B u. A - sichtbares Licht - Wärme)

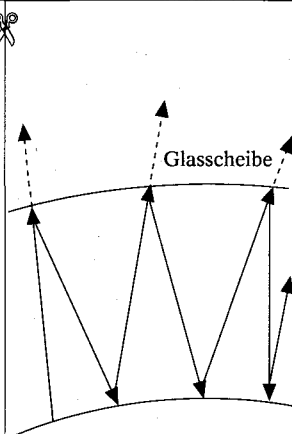
theoretische
Ausstrahlung
3000 - 60000 nm

Temperatur auf der
Erdoberfläche

- 18°C

theoretische Vorstellung ohne
Atmosphäre

Die theoretische Vorstellung, daß die Erde keine Atmosphäre hat, ist ein Konstrukt. Es soll zum Ausdruck bringen, daß bei Fehlen der Gasmoleküle der Atmosphäre die langwellige Strahlung als „Wärme“ nicht absorbiert würde. Diese Wärme würde zurück in den Weltraum reflektiert werden. Dieser Effekt ist so erheblich, daß die mittlere Jahrestemperatur auf der Erdoberfläche nur -18 °C betragen würde. Was die genannte Sonneneinstrahlung anbelangt, wird hier das normale Strahlungsangebot angegeben, welches bei Vorhandensein einer Stratosphäre gegeben ist. Es fehlt in dieser Vorstellung also lediglich die Troposphäre.



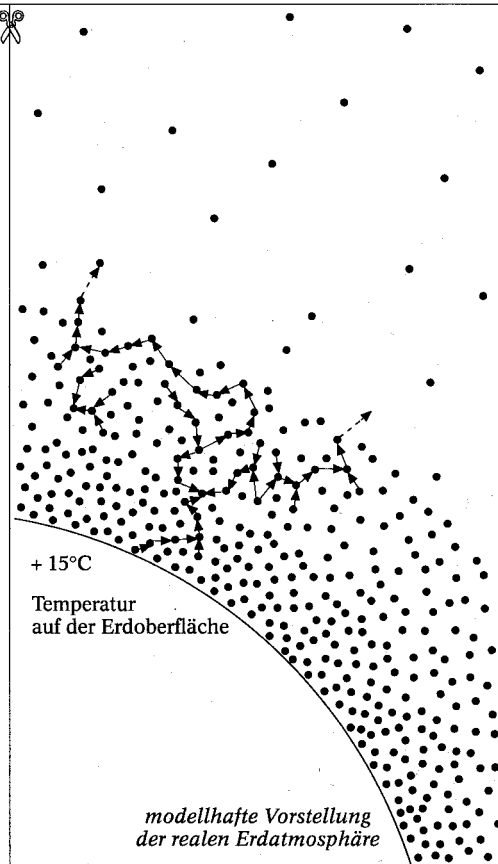
modellhafte Vorstellung
"Erde als Treibhaus"

In dieser Modellvorstellung wird der klassische Treibhauseffekt dargestellt. Wie in einem Treibhaus stoßen die Luftteilchen gegen ein unsichtbares „Dach“, prallen dort wieder ab und halten sich so unter dem Glasdach. Die einmal durch die Sonne eingestrahelte Wärme ist „gefangen“. Wärmeverluste durch das Dach hindurch sind so vorstellbar, daß die Luftteilchen minimal Wärme an das Glas abgeben, dieses also aufwärmen. Der kalte Weltraum außerhalb des Daches nimmt dem Glas die Wärme und kühlt es dadurch ab.

Ein solches Glasdach existiert aber nicht. Vielmehr halten die Luftteilchen die Wärme dadurch, daß sie sich gegenseitig anstoßen, ihre Bewegungsrichtung ständig ändern und durch die Erdanziehung im Nahbereich der Erde verbleiben. So ist es wenige hundert Meter in der Luft noch recht warm, wird aber nach oben hin kontinuierlich kälter. Bis in eine Höhe von 11 bis 18 km Höhe reicht die Troposphäre. Verläßt ein Luftteilchen die Troposphäre, nimmt es die Wärme in den Weltraum mit. Nicht alle Gase der Luft sind gleichermaßen wärmespeichernd im Sinne eines Treibhauseffektes. Hauptsächlich sind es Wasserdampf (H_2O), Kohlendioxid (CO_2) und Methan (CH_4). Dies sind natürlich vorkommende Treibhausgase.

In höheren Schichten der Erdatmosphäre kommt es auch wieder zu einer Temperaturerhöhung. Diese beruht auf der Absorption bestimmter solarer Strahlung, nicht aber auf der Rückstrahlung der Erde!

Der Begriff Teilchen wird hier im Sinne von Molekülen verwendet.



Sonneneinstrahlung
300 - 4000 nm
(UV-B u. A - sichtbares Licht - Wärme)

theoretische
Ausstrahlung
3000 - 60000 nm

Temperatur auf der
Erdoberfläche

- 18°C

Glasscheibe

Absorption von Energie
durch verschiedene Gase
in der Erdatmosphäre
und Streueffekte durch
Stoßen der Gasteilchen

+ 15°C

Temperatur
auf der Erdoberfläche

Treibhausrelevante Gase in der Atmosphäre:
Wasserdampf (H_2O), Kohlenstoffdioxid (CO_2), Methan (CH_4)

theoretische Vorstellung ohne
Atmosphäre

modellhafte Vorstellung
"Erde als Treibhaus"

modellhafte Vorstellung
der realen Erdatmosphäre

Die folgenden Streifen sind auf Din A 3 am Kopierer zu vergrößern, auszuschneiden und zu einem langen Band zusammenzulegen. Mit diesem Energieband können der Demonstrationsversuch zur Projektion der Spektralfarben und die Energiekartendiskussion durchgeführt werden.

[illegible]

Infrarot

10 -6

10 -5

Kleberand für
Streifen 3

Streifen 4

10 -4

10 -3

Kleberand für
Streifen 4

Streifen 5

Radiowellen

10 -2

10 -1

Kleberand für
Streifen 5

Streifen 6

Strahlenart

m Wellenlänge

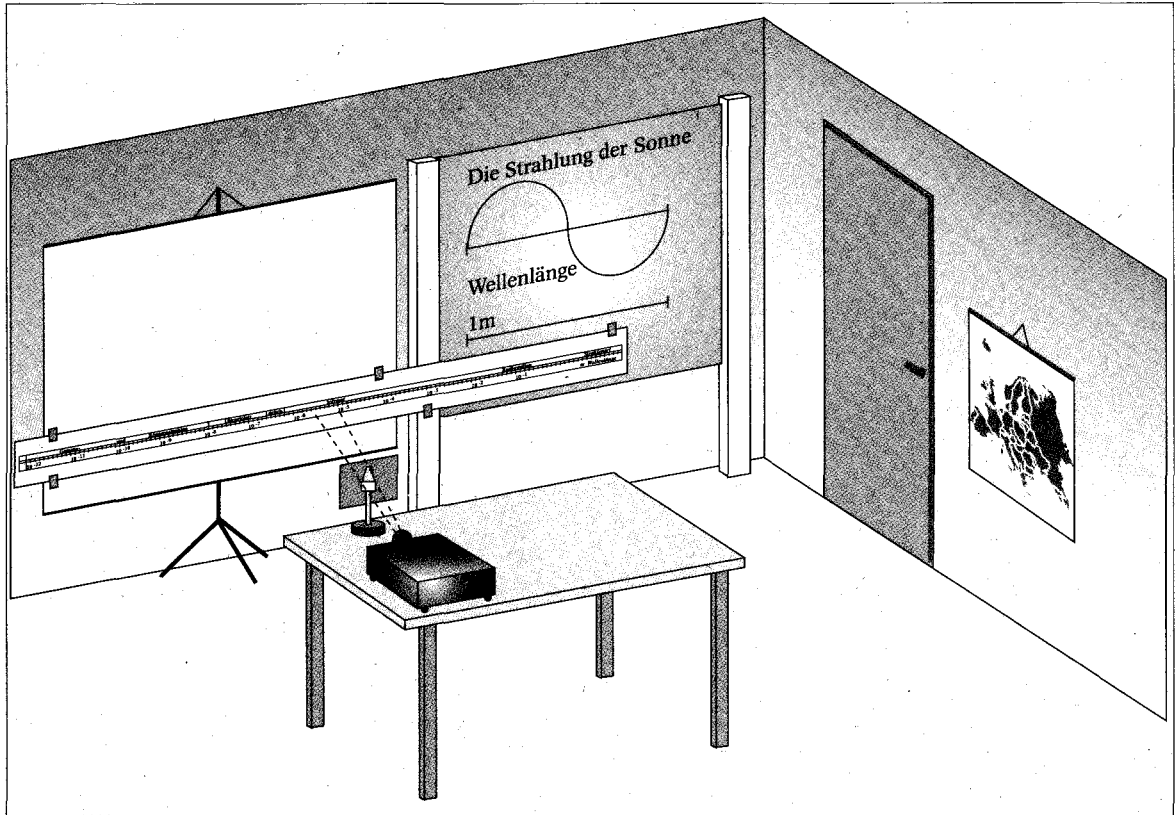
Kleberand für
Streifen 6

Streifen 7

Sonnenstrahlung ist mehr als sichtbares Licht!

– ein Versuch in Verbindung mit dem Energieband –

Daß Sonnenstrahlung viel mehr umfaßt als nur das sichtbare Licht, soll den SchülerInnen mit diesem Demonstrationsversuch deutlich gemacht werden. Mit der Projektion der Spektralfarben in den dazugehörigen, sehr schmalen Bereich des insgesamt sehr breiten Energiebandes wird die Begrenztheit des sichtbaren Lichts in bezug auf die gesamte Strahlung deutlich. Im Hinblick auf das angestrebte Verständnis für klimarelevante Strahlung ist dieses Experiment sinnvoll. Dabei klärt sich für die SchülerInnen, in welcher Weise die ihnen ja auch bekannten anderen Strahlungsqualitäten zueinander in Verbindung stehen. An dieser Stelle sei auf die ausführlichen Informationen in den unterrichtspraktischen Hinweisen verwiesen. Neutronen- sowie α - und β -Strahlen bleiben in dieser Betrachtung unberücksichtigt. Das Band schließt nur den γ -Strahlenbereich noch ein.



Für diesen Versuch werden benötigt: Energieband

1 Diaprojektor

1 Schlitzeblende (Physiksammlung) (ersatzweise Pappstück mit senkrechtem, höchstens 1 mm breitem Spalt)

1 Prisma (Physiksammlung)

1 Abschirmung für das Prisma (ersatzweise Papprahmen)

evtl. Stativmaterial

Und so wird der Versuch durchgeführt: Stecken Sie die Schlitzeblende in den Diaprojektor und richten Sie den Lichtstrahl in den Bereich des „sichtbaren Lichts“ auf dem Energieband. Stellen Sie durch Drehen am Objektiv eine scharfe Abbildung des Spaltes auf dem Band ein. Bringen Sie nun das Prisma so in den Gang des Lichtstrahls, daß das breite Farbspektrum abgebildet wird. Verändern Sie den Abstand des Diaprojektors zum Band so, daß die Spektralfarben genau in den dafür vorgesehenen Bereich des Energiebandes passen. Hierzu müssen Sie evtl. die Schärfe wiederum nachregulieren. Dunkeln Sie den Raum leicht ab, um den Blaubereich deutlicher werden zu lassen. Schirmen Sie die direkte Umgebung des Prismas evtl. durch eine Pappe ab.

Was man sonst noch wissen sollte! Das „Weißlicht“ des Diaprojektors wird durch das Prisma in die Spektralfarben zerlegt. Auch das Sonnenlicht enthält dieses farbige Licht, welches in der Summe das „Weißlicht“ ergibt. Die Farbsehzellen in unserer Netzhaut sind in der Lage, diese Farben wahrzunehmen. Sie sprechen aber nicht auf Licht im UV- oder Infrarot-Bereich an, sie werden daher von uns „nicht gesehen“.

Der Castor strahlt ... _____	Die Sonnenbrille schützt vor ... _____	Das Röntgengerät arbeitet mit ... _____
Die Rotlichtlampe heilt mit ... _____	Das Mikrowellengerät arbeitet mit ... _____	Im Hochgebirge gibt es vermehrt ... _____
Das Insektenauge sieht ... _____	Das menschliche Auge sieht ... _____	Blätter sind grün, weil sie _____ absorbieren

Falzlinie umknicken, Hälften zusammenkleben

Informationskarte „Insektenauge“ Das Facettenauge der Insekten nimmt einen anderen Wellenlängenbereich als das menschliche Auge wahr. So können Insekten auch Licht im UV-A Bereich wahrnehmen. Das Sehspektrum umfaßt die Wellenlängen 300 – 650 nm ($0,3 - 0,65 \times 10^{-6}$ m).	Informationskarte „Menschenauge“ Das menschliche Auge nimmt nur den Wellenlängenbereich 400 – 800 nm (Energieband: $0,4 - 0,8 \times 10^{-6}$ m) wahr. Dies bedeutet, daß auf die Netzhaut auch „anderes“ Licht (z.B. UV, Infrarot) fällt, aber die spezialisierten Sehzellen in der Netzhaut diesen Energiegehalt nicht verwerten können.	Informationskarte „grüne Blätter“ Das Chlorophyll (grüner Blattfarbstoff) bewertet bei der Photosynthese das für uns sichtbare Blau- und Rotlicht, nicht aber das grüne Licht. Es wird daher vom Blatt zurückgestrahlt und von unserem Auge wahrgenommen.
Informationskarte „Rotlichtlampe“ Die Rotlichtlampe strahlt zum einen für uns sichtbares rotes Licht aus, zum andern nicht sichtbares „infrarotes Licht“. Den Energiegehalt dieser Infrarotstrahlung empfinden wir als Wärme. Wird dieses „Rotlicht“ in hoher Dosis bestimmten Körperstellen verabreicht, dringt die Strahlung in tieferliegende Gewebeschichten ein und erzeugt Wärme, die den Heilungsprozeß beschleunigt.	Informationskarte „Mikrowellengerät“ Die Energie der Mikrowellen dringt in Lebensmittel ein, wird von den Molekülen absorbiert und als Wärme abgegeben. Dies wird zum schnellen Erwärmen von Speisen genutzt, aber auch zum Sterilisieren von Geräten.	Informationskarte „Hochgebirge“ Im Hochgebirge ist der Anteil an Röntgen- und UV-Strahlung höher. In Gletschernähe sollte daher zum Schutz der Augen immer eine Sonnenbrille getragen werden. Gegen die Röntgenstrahlung gibt es keine solche Schutzmöglichkeit. Auch bei Flugreisen setzt sich der Mensch vermehrter Röntgenstrahlung aus.
Informationskarte „Castor“ Im „Castor“ werden radioaktive Stoffe transportiert, die Neutronen- sowie α - (Alpha), β - (Beta) und γ - Strahlung abgeben. In diesem Zusammenhang sei nur die γ - (Gamma-)Strahlung von Relevanz.	Informationskarte „Sonnenbrille“ Sonnenbrillen schützen je nach Güte vor UV-Strahlung und filtern einen Teil des sichtbaren Lichts heraus.	Informationskarte „Röntgengerät“ Röntgengeräte arbeiten mit Röntgenstrahlen. Dabei handelt es sich um eine Strahlung, die wegen ihres hohen Energiegehaltes Erbsubstanz schädigt. Dieser Strahlungsart darf der Mensch nur in geringen Mengen ausgesetzt sein.

Diskussionskarten am Kopierer von Din à 4 auf Din à 3 vergrößern, an der Mittellinie falzen, untere Hälfte gegen die obere kleben, Karten ausschneiden

UV - A - Strahlung reicht von ... _____	Das Sonnenschutzmittel schützt vor ... _____	Die Erbsubstanz DNA in der Haut wird geschädigt durch... _____
UV - B - Strahlung reicht von ... _____	Zu Zeiten der Uratmosphäre drang Energie der Wellenlänge $\lambda \leq$ _____ auf die Erdoberfläche	Die Erbsubstanz DNA in tieferliegendem Gewebe wird geschädigt durch... _____
UV - C - Strahlung reicht von ... _____	Die Exo- und Ionosphäre schützt die Erde vor _____ Strahlung	Die Stratosphäre schützt die Erde vor _____ Strahlung

Falzlinie umknicken, Hälften zusammenkleben

Informationskarte „UV-C“ Die UV-C-Strahlung umfaßt den Wellenlängenbereich 200 bis ≤ 280 nm (Energieband: $0,2-0,28 \times 10^{-6}$ m).	Informationskarte „Exo-und Ionosphäre“ γ - und Röntgen-Strahlung der Sonne werden in der heutigen Erdatmosphäre durch die Exo- und Ionosphäre absorbiert. Somit gelangt nur wenig dieser ionisierenden Strahlung auf die Erde.	Informationskarte „Stratosphäre“ Die Stratosphäre schützt durch die Ozonschicht die Erdoberfläche vor der energiereichen UV-Strahlung. Das „Ozonloch“, also eine dünner werdende Ozonschicht, läßt vermehrt UV-Licht hindurch. Der Abbau der Ozonschicht wird in den nächsten Jahrzehnten weiter fortschreiten.
Informationskarte „UV-B“ Die UV-B-Strahlung umfaßt den Wellenlängenbereich 280 bis ≤ 320 nm (Energieband: $0,28-0,32 \times 10^{-6}$ m).	Informationskarte „Uratmosphäre“ Da es zur Zeit der Uratmosphäre noch keinen molekularen Sauerstoff in der Atmosphäre und somit auch keine ozonhaltige Stratosphäre gab, gelangten die energiereichen UV-Strahlen bis auf die Erdoberfläche und in die obersten Zentimeter einer Wassersicht vor. Da DNA durch UV-Licht geschädigt wird, konnte sich zu dieser Zeit kein Leben an Land entwickeln.	Informationskarte „DNA-Tiefengewebe“ Die DNA in tiefer liegendem Gewebe wird durch γ - und Röntgenstrahlung geschädigt. Der Energiegehalt dieser Strahlung verursacht in der Doppelhelix der DNA Strangbrüche, was zur irreversiblen Schädigung der DNA führt. Die Folgen können Krebs und Tod sein. Gelangen Veränderungen der DNA als Mutationen in die Keimbahn der Lebewesen, wird der DNA-Schaden vererbt.
Informationskarte „UV-A“ Die UV-A-Strahlung umfaßt den Wellenlängenbereich ≥ 320 bis 400 nm (Energieband: $0,32-0,4 \times 10^{-6}$ m).	Informationskarte „Sonnenschutz“ Die meisten Sonnenschutzmittel enthalten Lichtschutzfaktoren gegen UV-A und UV-B-Strahlung. Vornehmlich die UV-B-Strahlung führt aufgrund ihres Energiegehalts zu Veränderungen in der DNA und RNA. Ein natürlicher Sonnenschutz geschieht durch die Anreicherung des Melanins in den Melanosomen der Hautzellen, was sich in (Sonnen-)Bräune äußert.	Informationskarte „DNA-Haut“ Die DNA, die der molekulare Speicherort für Erbinformationen ist, absorbiert UV-B-Strahlung. Die Energie dieser Strahlung läßt benachbarte Pyrimidinbasen eines Stranges eine Dimer-Bindung eingehen. Zwar gibt es Reparatursysteme bei vielen Lebewesen, dennoch können nicht alle Schäden fehlerfrei repariert werden. Bleibende DNA-Fehler können zu Hautkrebs führen.

Wasserdampf absorbiert ... _____	Kohlendioxid absorbiert ... _____	Methangas absorbiert ... _____
Das „Fenster zum All“ lässt Energie der Wellenlänge $\lambda \leq$ _____ in das Weltall	Zum <u>Aufbau</u> von Ozon in der Stratosphäre wird Strahlung im _____ - Bereich benötigt.	Zum <u>Abbau</u> von Ozon in der Stratosphäre wird Strahlung im _____ - und _____ - Bereich benötigt.

Falzlinie umknicken, Hälften zusammenkleben

Informationskarte „Fenster zum All“ Wasserdampf absorbiert im langwelligen Bereich nicht vollständig, sondern lässt eine Lücke. Diese Lücke wird als „Fenster zum All“ bezeichnet, durch die langwellige Strahlung in die Stratosphäre abgegeben wird.	Informationskarte „Ozonaufbau“ In der Stratosphäre wird Ozon durch Licht der Wellenlänge $\leq 242\text{ nm}$ in zwei Schritten aufgebaut. $\text{O}_2 + h\nu \rightarrow 2\text{O}\cdot$ $\text{O}\cdot + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \text{O}_3 + \text{M}$ Durch diesen Vorgang gelangt diese Strahlungsenergie nicht mehr auf die Erde.	Informationskarte „Abbau von Ozon“ In der Stratosphäre wird Ozon zu einzelnen Sauerstoffatomen (Radikalen) abgebaut. Dazu wird Licht der Wellenlänge $\geq 310\text{ nm}$ verwendet. $\text{O}_3 + h\nu \rightarrow \text{O}_2 + \text{O}\cdot$ Durch diesen Vorgang gelangt diese Strahlungsenergie nicht mehr auf die Erde.
Informationskarte „Wasserdampf“ Wasserdampf absorbiert langwelliges Licht im Infrarotbereich und ist damit ein natürliches Treibhausgas. Es trägt entscheidend zum Erdklima bei. Die Energie wird innermolekular für Schwingungen und Rotationen der Atome benutzt.	Informationskarte „Kohlendioxid“ Kohlendioxid absorbiert langwelliges Licht im Infrarotbereich und ist damit ein Treibhausgas. Die Energie wird innermolekular für Schwingungen und Rotationen der Atome benutzt. Es trägt natürlicherweise zum Erdklima bei. Anthropogen hergestelltes Kohlendioxid führt zur globalen Klimaerwärmung.	Informationskarte „Methan“ Methan absorbiert langwelliges Licht im Infrarotbereich und ist damit ein Treibhausgas. Die Strahlungsenergie wird innermolekular für Schwingungen und Rotationen der Atome benutzt. Methan entsteht als Sumpfgas in Reisfeldern und wird von Rindern „ausgerülpt“.

Globale Klimamacher: die Ozeane



nach Wallace S. Broecker: „Plötzliche Klimawechsel“, 1996

Seit Beginn der industriellen Revolution vor 150 Jahren ist der CO_2 -Gehalt in der Atmosphäre um 25% gestiegen. Im gleichen Zeitraum hat sich die mittlere Jahrestemperatur um $0,5^\circ\text{C}$ erhöht, im Hinblick auf die Treibhauswirksamkeit des Kohlendioxids eine eher geringe Temperaturerhöhung. Auch verschwinden jährlich Gigatonnen von ausgestoßenem CO_2 aus der Kohlenstoffbilanz. Beides veranlaßte Forscher, nach einer unbekannten Senke von CO_2 zu suchen.

1985 fand man vor der Küste Grönlands und Spitzbergens ein „Schlupfloch“, durch das Unmengen von CO_2 in die Tiefe des Ozeans befördert werden, die fünfzehnfache Menge dessen, was alle Flüsse dieser Erde an Wasser transportieren. Dieser Tiefentransport wirkt als Pumpe für ein weltumspannendes ozeanisches Wasserförderband, dem Europa sein mildes Klima verdankt.

Im Atlantik strömt warmes, oberflächennahes Wasser gen Norden. Auf seinem Weg gibt es an die kühlen, nordatlantischen Luftschichten Wärme ab, indem es Wasser verdunstet. Die Luft erwärmt sich durch diesen Vorgang, das Wasser gewinnt durch den zunehmenden Salzgehalt an Dichte. Vor Spitzbergen und Grönland ist es im Winter dann so kalt, daß das ursprünglich warme Wasser den Gefrierpunkt erreicht. Fast reines Süßwasser gefriert zu Eis und gibt dabei Salz nach unten ins noch flüssige Wasser ab. Auftauen und wiederholtes Zufrieren erhöhen weiter den Salzgehalt und lassen eine Sole entstehen, die als schweres Wasserpaket in die Tiefe sinkt. Wie in einem Fahrstuhl wird CO_2 mit in die Tiefe befördert, denn dieses löst sich in kaltem Wasser besonders gut. Der heftige Abwärtssog der Wassermassen und ein hoher Druck durch die 1000 m hohe Wassersäule verhindern ein Ausgasen des gelösten CO_2 . Die CO_2 -reichen Wassermassen verschwinden in mehreren Tausend Metern Tiefe, strömen am Meeresgrund mit einer Geschwindigkeit von 100 m/Tag nach Süden bis zur Antarktis und fließen dann wieder gen Norden. Nach rund Tausend Jahren taucht es aus der Tiefe des Ozeans wieder auf, einmal im Indischen Ozean, zum andern im Pazifik. Dort fließt das Wasser in ca. 800 m Tiefe wieder als Oberflächenwasser zurück, erwärmt sich in Äquatornähe und bringt so wieder warmes Wasser in den Atlantik. Weitere, wenn auch nicht ganz so bedeutsame CO_2 -Fahrstühle sind die Schelfeise an den Polen sowie das antarktische Weddell-See.

Das weitgehend konstante Klima der letzten 10 000 Jahre schreibt man nach neuester Kenntnis diesem Wasser-Wärme- CO_2 -Transportband zu.¹ In der länger zurückliegenden Erdgeschichte gab es durchaus heftige Temperaturschwankungen. So lassen Untersuchungen an grönländischen Eisbohrkernen Temperatursprünge von 10°C in nur 10 Jahren vermuten.

¹ nach Broecker „Plötzliche Klimawechsel“, 1996

Ein globales Wassertransportband stabilisiert das Weltklima



hell: Oberflächenwasser (ca. 800 m tief)

dunkel: Tiefenwasser (mehrere Tausend Meter)

Maßstab ca. 1: 180 000

nach Wallace S. Broecker: „Plötzliche Klimawechsel“, 1996

Aufgaben:

1. Die Grafik stellt ein globales Wasserförderband dar, welches erheblich zur Stabilisierung des Weltklimas beiträgt. Als ständig arbeitende „Pumpe“ wirkt eiskaltes Wasser hohen Salzgehaltes, das in die Tiefe des Ozeans sinkt.
Betrachte die Grafik und überlege, wo diese „Pumpe“ liegen könnte!
2. Warum kann man dieses Wassertransportband als global bezeichnen?
3. Europa verdankt dem Golfstrom sein mildes Klima. Der erhält seine Triebkraft durch dieses globale Wassertransportband. Kennzeichne durch rote Farbe in der Grafik, in welchen geographischen Bereichen sich das Oberflächenwasser erwärmen kann!
4. Seit 10 000 Jahren hält vermutlich dieses Wasserförderband das Weltklima dadurch stabil, weil es große Mengen von atmosphärischem Kohlendioxid im Meerwasser löst. Wie gut kaltes Wasser Kohlendioxid löst, kannst du mit dem Experiment auf S. 24 herausfinden.
5. „Die Ozeane verarbeiten gerade das Kohlendioxid aus dem Mittelalter.“ Überprüfe diese Aussage unter Einbeziehung der Strömungsgeschwindigkeit von 100 m/Tag am Meeresgrund in mehreren Tausend Metern Tiefe.
Schätze dazu mit Hilfe der Grafik durch eine Überschlagsrechnung ab, nach wieviel Jahren das Wasser vor Indien bzw. im Nordpazifik wieder auftaucht.

Wie gut löst sich Kohlendioxid in Wasser?

Um diese Frage zu klären, führst du vergleichend zwei kleine Versuche aus!

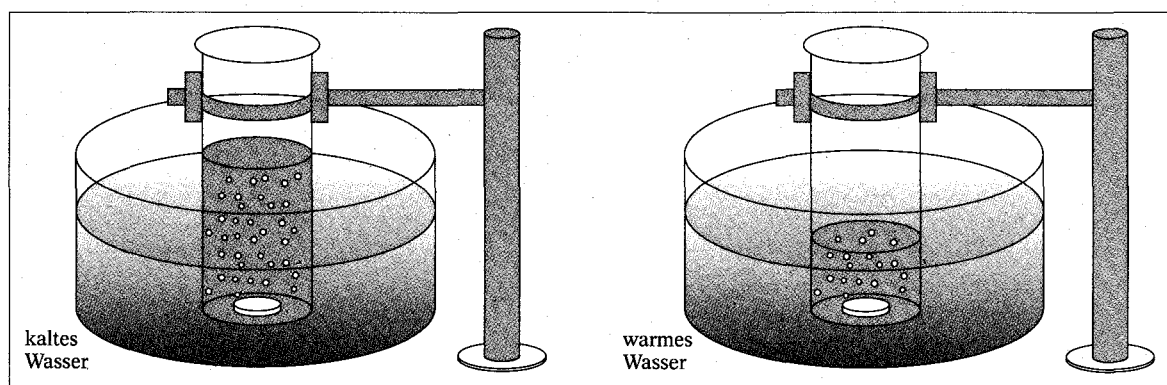
Du brauchst: 2 pneumatische Wannen (ersatzweise 2 Plastikschüsseln oder kleine Eimer),
2 kleine Standzylinder (ersatzweise 2 gleichgroße und gleichgeformte Wassergläser)
1 Schale Eiswürfel
2 Vitamin-Brausetabletten als CO_2 -Entwickler

Gib zuerst in die beiden Wannen bis Daumenbreite unter den Rand Wasser. In eine Wanne gibst du zusätzlich die Eiswürfel und wartest, bis diese geschmolzen sind.

Dann tauchst du die Standzylinder oder Gläser in die Wannen, so daß sie voll Wasser laufen und stellst sie möglichst luftblasenfrei umgedreht in die Wanne.

Nun gibst du unter jeden Standzylinder je eine Vitamin-Brausetablette und beobachtest vergleichend den Versuch! Eventuell mußst du die beiden Gläser fest auf den Wannenboden drücken, damit nicht zuviel Gas seitlich fortperlt.

Mit ein oder zwei Thermometern kannst du den Temperaturunterschied zwischen den beiden Wasserbecken am Ende des Versuchs messen.



Was beobachtest du?

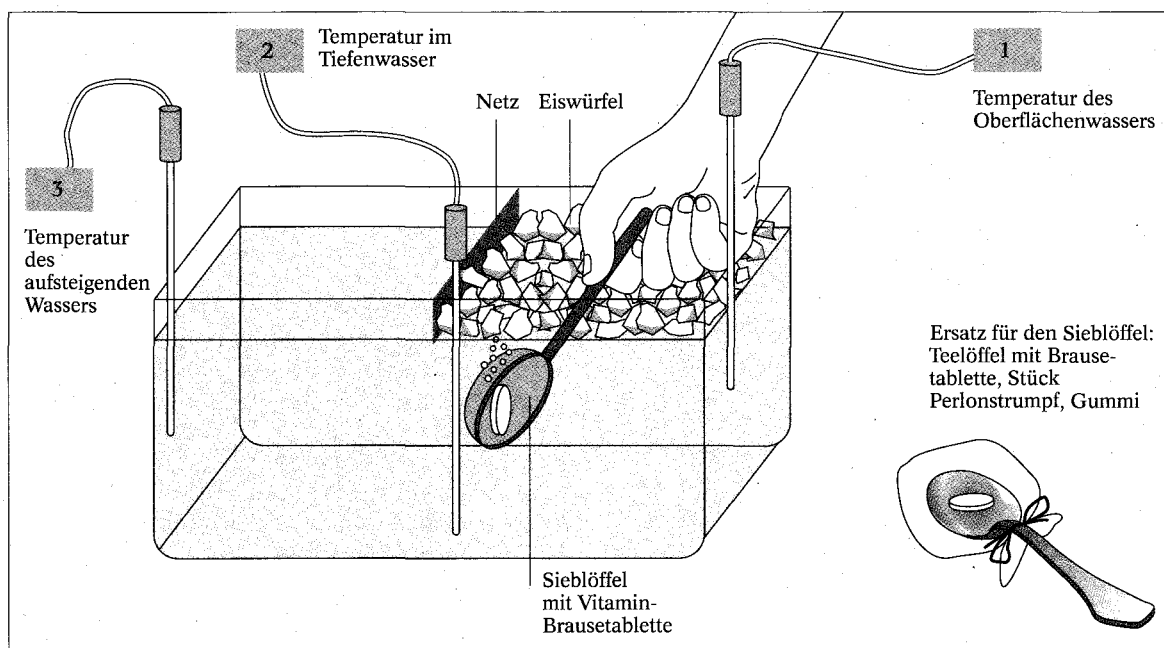
Was du noch wissen solltest!

Wenn die Vitamin-Brausetablette mit Wasser in Kontakt kommt, entwickelt sie aus dem Feststoff Natriumhydrogencarbonat Kohlendioxidgas. Alle Tabletten enthalten gleichviel Natriumhydrogencarbonat.

Unter welchen Bedingungen kann Wasser im Ozean atmosphärisches Kohlendioxid verschlucken?

CO₂-Fahrstuhl

Modellversuch zur globalen Klimaregulation über den CO₂-Tiefentransport im Nordatlantik



Eine durchsichtige Glas- oder Plastikwanne wird gemäß Zeichnung aufgebaut. Alle installierten Meßgeräte sollten durch Stativmaterial stabilisiert werden. Eine Haltevorrichtung für den später einzuführenden Sieblöffel wird vorbereitet.

Durch Eiswürfel (1bis 2 Schalen) wird eine stabile Temperaturschichtung im Wasser aufgebaut. 15 Minuten danach oder auch später wird der eigentliche Versuch gestartet.

Protokoll: Notiere die Temperaturen und Leitwerte vor Starten des Versuchs!

Start: Fülle außerhalb des Wassers den Sieblöffel mit der Brausetablette und schließe ihn. Gib erneut eine Schale Eiswürfel in den rechten, abgekühlten Teil des Versuchsaufbaus. Befestige nun den Sieblöffel knapp unterhalb der Eiswürfelschicht in der Halterung.

Beobachtungen: Verfolge den zeitlichen und örtlichen Verlauf der auftretenden Färbung! Notiere die Leitwerte immer zeitgleich zum Versuchsstart und dann alle 10 s im Protokoll! Notiere die Temperaturen nach sicht- und meßbarem Ende des Versuchs!

Zeit vor Zugabe der Brausetablette	Temperatur (°C)			Leitwert (S)		
	1	2	3	1	2	3
0 s (Start des Versuchs)						
10 s						
20 s						
30 s						
40 s						
50 s						
60 s						
70 s						
80 s						
90 s						

2. Klimaveränderungen durch den Menschen

Sachinformationen

Hundert Jahre „Treibhauseffekt“

Hinweise darauf, daß menschliche Aktivitäten Einfluß auf das Klima haben, gibt es nicht erst in den letzten Jahren. Schon 1896 hat der schwedische Naturwissenschaftler Svante Arrhenius die Vermutung geäußert, daß eine Zunahme der Kohlendioxid-Konzentration zu einer Erwärmung der Erdatmosphäre führen könnte. Als einer der Begründer der Physikalischen Chemie übertrug er seine Ergebnisse bei der Untersuchung von chemischen Reaktionen und der Eigenschaften von Gasen auf die Lufthülle. Vor hundert Jahren konnte sich jedoch noch niemand vorstellen, in welchem Ausmaß und mit welchem Gefährdungspotential der ununterbrochene Ausstoß von Kohlendioxid heute die Stabilität des Weltklimas gefährdet.

Auch die ersten Warnungen der Wissenschaftler in den 70er Jahren blieben zunächst ohne Resonanz; erst mit der Konferenz von Rio de Janeiro 1992 rückte die Klimafrage ins öffentliche Bewußtsein. Begleitet von den nachdrücklichen Forderungen von Nicht-Regierungsorganisationen (NGOs) gaben die beteiligten Staaten Erklärungen darüber ab, wie sie möglichst schnell den CO₂-Ausstoß vermindern könnten. Seither haben mehrere Folgekonferenzen stattgefunden, die jedoch meist nur feststellen konnten, daß die vereinbarten Minderungsziele noch lange nicht erreicht worden sind.

Für Deutschland war anläßlich der Klimakonferenz von Rio erklärt worden, man wolle bis zum Jahr 2005 die CO₂-Emissionen auf den Stand des Jahres 1990 zurückführen. Die Anfang der 90er Jahre gemeldeten Erfolge erwiesen sich jedoch als trügerisch: Ursache für den Rückgang des CO₂-Ausstoßes war überwiegend der Zusammenbruch der energieintensiven Industrien im kurz zuvor wieder eingegliederten Osten Deutschlands. Wichtige Emissionsbereiche wie z.B. der Individualverkehr sind praktisch unverändert geblieben: Die etwas geringeren Verbrauchswerte moderner PKWs werden leicht durch die immer noch steigende Zahl von Neuzulassungen kompensiert. Auch unsere Lebensweise und die Konsumgewohnheiten haben sich seit Rio kaum verändert: Noch immer werden Schnittblumen aus Mittel- und Südamerika eingeflogen, Kiwis und Äpfel kommen unter hohen Energieaufwendungen aus Neuseeland, und statt regionaler Produktions- und Vermarktungskonzepte schreitet die Konzentration in fast allen Wirtschaftsbereichen weiter fort, mit immer längeren Vertriebswegen. Auch beim Luftverkehr ist der Trend zu immer mehr Flugbewegungen und steigenden Flugkilometern ungebrochen. Es gibt jedoch auch Fortschritte, wenn auch mit noch geringer Wirkung. So ist das öffentliche Bewußtsein geschärft für die Frage der Regenwälder und die Nutzung von Tropenholz; für den Hausbau wurden die gesetzlichen Auflagen zur Wärmedämmung und Energieeinsparung den heutigen technischen Möglichkeiten angepaßt (wenn auch nicht ausgeschöpft); bei der Energieerzeugung haben regenerative Quellen wie Wind

und Sonne die ersten Prozente am Gesamtenergiemarkt erkämpft. – Es ist gut erkennbar, daß der Ansatzpunkt für die meisten Positiventwicklungen im privaten Bereich liegt und somit abhängt vom individuellen Engagement. Die von vielen als politisch notwendig erachteten und geforderten Schritte – z. B. in Richtung auf eine Energiesteuer – stehen noch aus.

Anderserseits hat das Thema *Klima, Energie und Treibhauseffekt* inzwischen Eingang gefunden in den Unterricht der Schulen. Die Auseinandersetzung damit kann verschiedenes erreichen: Getragen von einem besseren Verständnis der Zusammenhänge kann sie dazu beitragen, daß die individuellen Handlungsspielräume besser ausgeschöpft werden – von gezielten Entscheidungen bei Kauf oder Urlaubsreise bis hin zu den Vorstellungen von persönlicher Mobilität; sie kann in eine Meinungsbildung münden, die gemeinsam mit anderen in politisches Handeln umgesetzt wird; schließlich kann sie auch münden in eine konkrete Umgestaltung der jeweiligen Schulumwelt.

Was ist eigentlich der Treibhauseffekt?

Ein Treibhaus findet man in der Gärtnerei, wo empfindliche Pflanzen geschützt vor Kälte und früher als im Freien austreiben können. Eine andere Bezeichnung ist „Glashaus“, womit das wichtigste Baumaterial für Treibhäuser benannt ist. Der englische Begriff *greenhouse* gibt den Eindruck wieder, den ein Treibhaus in Funktion auf den Betrachter macht: es grünt, ist grün.

Am realen Treibhaus lassen sich seine Bau- und Funktionsprinzipien gut erkennen. Die Glaswände lassen das Sonnenlicht durch. Dieses kann das Innere des Treibhauses aufheizen, Luft, Boden und Pflanzen. Gleichzeitig verhindern die geschlossenen Flächen, daß die warme Luft wieder entweichen kann bzw. daß ein kalter Luftstrom von außen wieder zur Abkühlung führt. Nur an den äußeren Begrenzungsflächen gibt das Treibhaus Wärme an die Umgebung ab; weil diese Grenzfläche vergleichsweise klein ist gegenüber dem Innenraum, ist ein von der Sonne beschienenes Treibhaus immer wärmer als die Umgebung.

Am realen Treibhaus kann auch gut nachvollzogen werden, wie sich seine Wirkung verändern läßt. Ein Treibhaus ist umso effektiver,

- je besser seine Wände die Sonnenstrahlung durchlassen,
- je besser die Wände das warme Innere isolieren, mit anderen Worten, je schlechter die Wände die Wärme durchlassen, und
- je weniger Luftaustausch durch offene Luken oder Türen stattfindet.

Der atmosphärische Treibhauseffekt läßt sich mit diesem Modell recht gut verstehen, auch wenn die Verhältnisse beim *Treibhaus Erde* viel komplizierter sind. An Stelle der schützenden Glaswände ist hier die Lufthülle. (Diese Gleichsetzung macht unmittelbar die Probleme des Modells deutlich: die Lufthülle hat keine Innen- und

Außenfläche, auch kann man sie nicht probeweise entfernen oder ersetzen).

Treibhaus Erde

Ohne Atmosphäre würde an der Erdoberfläche große Kälte herrschen – ganz abgesehen davon, daß Menschen und Tiere die Luft zum Atmen brauchen. Zwar wäre die Erde nicht so kalt wie der Mond. Dieser strahlt praktisch alle Energie, die ihn als Licht von der Sonne erreicht, wie ein Spiegel wieder in den Weltraum zurück. Im Unterschied dazu besitzt die Erde eine gewisse Eigenwärme, die die Oberfläche vom heißen Inneren aus aufheizt. Trotzdem wären die Temperaturen tagsüber – ohne Lufthülle – deutlich unter Null Grad (Celsius). Dafür, daß die Wärme der Sonneneinstrahlung zum großen Teil in der Nähe der Erdoberfläche zurückgehalten wird, sind prinzipiell alle Luftbestandteile verantwortlich. Während die Hauptbestandteile der Luft Stickstoff und Sauerstoff daran nur geringen Anteil haben, sind einige Gase, die nur in geringen Mengen – als sogenannte Spurengase – vorkommen, besonders *treibhauswirksam*. Zu diesen Treibhausgasen gehören Wasserdampf, Kohlendioxid, Methan und andere Kohlenwasserstoffe, die Stickoxide sowie inzwischen einige Gase, die vom Menschen hergestellt und freigesetzt worden sind wie die FCKWs (Fluorchlorkohlenwasserstoffe). Diese Spurengase sind in der Lage, aus dem Spektrum des Sonnenlichts bestimmte Frequenzen bzw. Wellenlängen herauszufiltern und die enthaltene Energie in Wärme umzuwandeln. Daneben wird auch die Rückstrahlung der Erde, die sonst ungehindert in den Weltraum gehen würde, zum großen Teil von Treibhausgasen absorbiert. Weil diese Gase (wie überhaupt alle Körper) selbst (Wärme-) Strahlung emittieren, stellt sich der Treibhauseffekt in der Erdatmosphäre als komplizierte Wechselwirkung von Strahlung und Wärme dar, letztere in Form von Bewegung der kleinsten Teilchen der Materie. Für eine erste Annäherung ist der Vergleich mit dem Treibhaus einer Gärtnerei trotzdem nützlich und richtig.

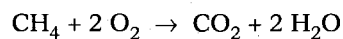
Der zusätzliche – anthropogene – Treibhauseffekt

Während der natürliche Treibhauseffekt Grundlage ist für das Leben auf der Erde, wenigstens in seinen uns bekannten Formen, bewirkt der zusätzliche, durch menschliche Aktivitäten verursachte Treibhauseffekt eine möglicherweise drastische Veränderung der Situation: Eine Verstärkung des Treibhauseffektes bedeutet in jedem Fall mehr Wärme in der Lufthülle, also im Durchschnitt höhere Temperaturen. Dieser zusätzliche – anthropogene – Treibhauseffekt wird verursacht durch Spurengase, die bei den verschiedensten Vorgängen in die Atmosphäre entlassen werden. An erster Stelle stehen Verbrennungsprozesse aller Art. Das bei der Verbrennung von fossilen Rohstoffen emittierte CO₂ (Kohlendioxid; wissenschaftlich exakt: Kohlenstoffdioxid) macht immerhin die Hälfte des zusätzlichen Treibhauseffektes aus, Methan, FCKW und Stickoxide sind für die andere Hälfte verantwortlich.

Verbrennungsprozesse sind Kernstück und Motor der modernen technischen Zivilisationen: Verbrennung erzeugt Wärme, diese treibt Turbinen und erzeugt Strom,

die sich ausdehnenden Verbrennungsgase treiben Motoren in Kraftfahrzeugen, Maschinen und Aggregaten an, mit Wärme werden Häuser und Wohnungen geheizt. Und selbst dort, wo keine Verbrennung sichtbar ist, sind meist fossile Rohstoffe – Kohle, Erdöl, Erdgas – im Spiel. Auf dem Umweg über den elektrischen Strom lassen sie Fahrstühle sich bewegen, liefern Licht oder Energie für Industrie und Haushalt. Schließlich werden große Mengen fossiler Rohstoffe direkt in (chemischen) Prozessen eingesetzt, z. B. für die Gewinnung von Eisen und anderen Metallen aus ihren Erzen.

Bei all diesen Prozessen verbindet sich Kohlenstoff mit Sauerstoff und es entsteht Kohlendioxid, das als Gas entweicht. Aus einem Kilogramm Kohle werden so ca. 3,5 Kilo CO₂. Verbrennt man Erdgas (Methan = CH₄), Kohlenwasserstoffe oder andere Erdölprodukte, Benzin oder Diesel, so wird immer auch Wasserdampf freigesetzt. Beim Erdgas geschieht dies nach folgender chemischer Gleichung:



Der gebildete Wasserdampf trägt aber nur unter ganz bestimmten Bedingungen zum zusätzlichen Treibhauseffekt bei bzw. führt zu Beeinflussungen des Klimas: In Nähe der Erdoberfläche kondensiert er wieder und kommt mit anderem Wasser als Niederschlag zur Erde zurück. Das Kondenswasser aus den Triebwerken hochfliegender Flugzeuge bleibt hingegen deutlich länger „in der Luft“. Umgekehrt kann Wasserdampf, wenn er in großen Mengen z. B. aus Kühltürmen (also wiederum in Folge von Verbrennungsprozessen) austritt, sehr wohl Einfluß auf das Klima nehmen, allerdings nur lokal. So kommt es in der Nähe von Großkraftwerken gelegentlich zu Dunstbildung, zu Nebel oder örtlichen Schauern.

Auf den ersten Blick erscheint die durch menschliche bzw. technische Aktivitäten freigesetzte CO₂-Menge gering, insbesondere gegenüber den Mengen, die auf natürlichem Weg freigesetzt bzw. wieder gebunden werden. Der natürliche Kohlenstoff-Kohlendioxid-Kreislauf ist jedoch, von Schwankungen abgesehen, weitgehend ausgeglichen und stabil. Demgegenüber reichern sich die jährlich zusätzlich emittierten Verbrennungsgase an mit dem Effekt, daß die Konzentration des CO₂ in der Atmosphäre stetig steigt. Seit 1850 – so lange wird diese Konzentration bereits kontinuierlich gemessen – ist der Wert von 280 ppm auf inzwischen 360 ppm gestiegen, Tendenz weiter zunehmend. Glücklicherweise finden sich die anthropogen ausgestoßenen Kohlendioxid-Mengen nicht in vollem Umfang in der Atmosphäre wieder. Teile davon werden zusätzlich vom Meerwasser gebunden, andere durch beschleunigtes Wachstum des Planktons und der Landpflanzen absorbiert. Der Anstieg der CO₂-Konzentration wird, so viel steht inzwischen fest, tatsächlich von einem Anstieg der mittleren Temperatur der bodennahen Luftschichten begleitet. Was dies für Wetter und insbesondere Klima zu bedeuten hat, ist demgegenüber längst noch nicht geklärt.

Ebenso wie beim Kohlendioxid gibt es für die anderen klimawirksamen Gasen natürliche und technische Quellen. Viele Emissionen kommen aber erst durch das Zusammenwirken mehrerer verschiedener Faktoren zustande. Methan entweicht an verschiedenen Stellen aus der Erde – und aus Bohrungen sowie schadhafte

Erdgasleitungen. Es entsteht bei Fäulnisprozessen in Gewässern und Feuchtgebieten, es kommt aus Kuhmägen und aus Reisplantagen. Die beiden letzten Beispiele zeigen, wie erst die vom Menschen erzeugte große Masse ein und desselben - Rinderzucht, Monokulturen - dazu führt, daß die vorher ungestörten Stoffumsätze aus dem Gleichgewicht geraten.

Ähnliches gilt für die Stickoxide, die massenhaft aus den Auspufftöpfen der PKW- und LKW-Flotte entweichen, neuerdings in zunehmendem Umfang aber auch in großer Höhe vom Flugverkehr emittiert werden. Das relativ stabile Endprodukt aller Stickoxide ist N_2O , das Lachgas, das mehrere Jahrzehnte braucht, bis es durch Abbauprozesse in Stickstoff und Sauerstoff zerlegt wird.

Während es für die bisher genannten Spurengase natürliche Senken gibt, d.h. Mechanismen, die ihre Konzentration in der Lufthülle wieder vermindern, gilt dies nicht oder nur sehr eingeschränkt für eine Reihe von technischen Gasen, die überhaupt erst vom Menschen hergestellt worden sind. Die Konsequenzen sind beträchtlich: Wenn man den Kohlendioxid-Ausstoß heute stoppen würde, würde sich beispielsweise die anthropogen verursachte Zusatzmenge in der Lufthülle in 100 bis 200 Jahren halbieren, alleine durch die Photosynthese-Aktivität der Pflanzen, die den Kohlenstoff in neu gebildeter Biomasse binden und statt dessen Sauerstoff freisetzen. Das Treibhausgas Methan bleibt nur wenige Wochen oder Monate in der Luft, es wird oxidiert und bildet schließlich ebenfalls Kohlendioxid.

Bei den halogenierten Kohlenwasserstoffen, die bereits im vorhergehenden Kapitel bezüglich ihrer zerstörenden Wirkung auf die Ozonschicht und damit verursachter erhöhter UV-Strahlung am Boden beschrieben wurden, fehlen solche Abbaumechanismen fast ganz. Solange sie noch nicht in die Stratosphäre gelangt sind, sind FCKWs praktisch ebenso chemisch inert wie unten am Boden. Wie ein Abbau dort oben stattfinden könnte, ist z. Zt. noch nicht endgültig geklärt. Die zunächst vorgeschlagenen Ersatzstoffe - teilweise halogenierte Kohlenwasserstoffe wie R 123a - sind demgegenüber deutlich weniger stabil, ihr Treibhauspotential ist jedoch nahezu so groß wie der FCKWs.

Was macht ein Gas zum Treibhausgas?

Zum Verständnis des zusätzlichen, durch menschliche Aktivitäten verursachten Treibhauseffektes ist es hilfreich, etwas von den Mechanismen zu kennen, wie aus Strahlung Wärme wird. Grundsätzlich gibt es eine ganze Reihe von Wechselwirkungen zwischen Strahlung und Teilchen. Für die hier interessierenden Fälle spielt lediglich die Umwandlung von Strahlungsenergie in Bewegungsenergie von (Luft-)Teilchen eine Rolle:

Jedes aus mehreren Atomen zusammengesetzte Teilchen kann in verschiedenen Richtungen des Raumes schwingen. Bei einem zweiatomigen Molekül kann man sich vorstellen, daß die beiden Komponenten wie mit einer Spiralfeder miteinander verbunden sind. Wird dieses kleine System von außen auf irgendeine Weise angestoßen, so beginnt es zu schwingen; d. h. die beiden Massen bewegen sich rhythmisch aufeinander zu und wieder voneinander weg. Ist ein Teilchen nun aus mehr als zwei Atomen aufgebaut, so kann es in immer komplizierteren

Mustern schwingen. Zusätzlich können sich alle Teilchen noch in verschiedenen Orientierungen im Raum um sich selbst drehen, also rotieren.

Man kann sich - an einem selbst gebauten Modell aus zwei kleinen Holzkugeln und einer Spiralfeder (aus einem Kugelschreiber) - leicht davon überzeugen, daß diese Bewegungen nicht irgendwie stattfinden, sondern abhängig von Masse und Federstärke immer in ganz bestimmter Weise. Ähnlich ist es bei den kleinsten Teilchen der Gase. Dieser Bewegung entspricht eine ganz bestimmte Energie und damit ein abgegrenzter Ausschnitt aus dem Spektrum der Strahlung. Die Energie zur Anregung von Schwingungen bei den Treibhausgasen liegt dabei im langwelligen Bereich (Infrarot). Daher wird bevorzugt die Strahlung absorbiert, die von der erwärmten Erdoberfläche abgegeben wird.

Wie wird nun aus Schwingung, angeregt durch Strahlung, Wärme? Die Gasteilchen der Luft stoßen unablässig zusammen. Bei diesen Stößen kann die Energie der Schwingung in Bewegung umgewandelt werden (und umgekehrt). Bewegung von Teilchen aber ist in der makroskopischen Welt gleichbedeutend mit Wärme. Ein heißes Gas bombardiert sozusagen eine Oberfläche - z. B. die Haut - öfter und mit heftigeren Stößen und überträgt dabei einen Teil seiner Energie auf diesen Körper. Umgekehrt gibt ein heißer Körper (in dem ebenfalls Teilchen schnell schwingen) einen Teil seiner Energie an ein Gas ab, das seine Oberfläche berührt. Dies kann fast unmittelbar sichtbar gemacht werden, wenn man einen wenig aufgeblasenen Luftballon in heißes Wasser taucht: Er wird größer, weil die Gasteilchen in schnellere Bewegung versetzt werden und dabei mehr Raum beanspruchen: Das eingeschlossene Gas dehnt sich beim Erwärmen aus.

Die vermutlichen Wirkungen des Treibhauseffektes

Nachdem erkannt worden war, daß ein enger Zusammenhang zwischen der Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre und der globalen Erwärmung besteht, bemühten sich verschiedene Forschergruppen, die möglichen Effekte abzuschätzen. Die Motive für eine solche Vorhersage sind durchaus unterschiedlich. Während die einen auf Basis möglicher katastrophaler Veränderungen des Klimas möglicherweise noch rechtzeitig warnen wollten, stand für andere Auftraggeber das Interesse im Vordergrund, solange nichts tun zu müssen, bis eine „endgültige Klärung“ der Folgen stattgefunden hätte. Tatsächlich sieht es so aus, daß z. Zt. keine Aussagen „mit Sicherheit“ gemacht werden können - abgesehen von der, daß Veränderungen des Klimas in jedem Fall eintreten werden. Hinweise darauf gibt es weltweit; u.a. werden hierbei angeführt das Zurückgehen von Gletschern, der Anstieg der über die gesamte Erdoberfläche gemittelten Temperatur, die Zunahme von Unwettern, die Veränderung der Verteilung von Niederschlägen. Auch wenn mildere Winter oder verregnete Sommer nach der einen oder anderen Modellrechnung als Folgen des Treibhauseffektes zu erwarten sind, so bedeuten drei milde Winter bei uns noch keineswegs, daß diese Prognose zutreffend ist. Wettererscheinungen lassen erst nach mehreren Jahrzehnten einen Rückschluß darauf zu, ob sie tatsächlich durch eine

Klimaveränderung zustande gekommen sind oder nicht. Im Lauf der letzten Jahre wurden die gewonnenen Klimadaten in immer weiter differenzierte Computermodelle eingegeben und versucht, die möglichen Folgen mit größerer Sicherheit vorherzusagen. Wie schwierig das ist, zeigt die Frage, ob der Meeresspiegel durch den Treibhauseffekt nun steigt oder nicht. Die ersten Modellrechnungen kamen zu dem Ergebnis „er steigt“, aufgelöst durch das Abschmelzen der Polkappen. Später hieß es „er steigt nicht“. Das verwendete Modell basierte jetzt auf folgendem Zusammenhang: Mehr Wärme bedeutet mehr Verdunstung von Wasser aus den Meeren, dadurch gibt es mehr Niederschläge, die wegen der niedrigen Temperaturen an den Polen eine vermehrte Eisbildung verursachen. Das Polareis bedeckt dann vielleicht eine geringere Fläche, wird aber dicker: der Meeresspiegel sinkt oder bleibt zumindest gleich.

Es ist leicht zu verstehen, daß sich die möglicherweise besonders betroffenen Regionen auf solche Spekulationen nicht einlassen können, hängt doch im Falle vieler kleiner Inseln die gesamte geographische Existenz davon ab. Aber auch flache Küstenregionen wie die von Bangla-Desh – aber auch die der Niederlanden und die Norddeutsche Tiefebene – könnten in der Zukunft betroffen sein. Diese Ungewißheit und das Drängen vieler Nichtregierungsorganisationen haben dazu geführt, daß es eine Art globale Klimapolitik gibt, zumindest in Ansätzen.

Klimapolitik

Im April 1987 versuchte die Weltkommission für Umwelt und Entwicklung, auch bekannt geworden als „Brundtland-Kommission“, Zeichen für eine ökologische Wende zu setzen. Ihr Bericht führte schließlich u.a. dazu, daß im Sommer 1992 die UN-Umwelt-Gipfelkonferenz in Rio stattfand, begleitet von großem öffentlichem Interesse und unter Beteiligung zahlreicher Nicht-Regierungsorganisationen („NGO“s, non government organisations) wie nationalen und internationalen Umweltgruppen, Kirchen, Vertretern ethnischer Minderheiten und anderen Verbänden. In Rio wurden drei internationale Abkommen unterzeichnet: eine Konvention über die Artenvielfalt, die Klimakonvention sowie die Agenda 21, ein Handlungsplan für das 21. Jahrhundert.

Eine Bilanz heute, mehr als 5 Jahre „nach Rio“ zeigt, daß auch die niedrig angesetzten Ziele der Klimakonvention bislang nicht eingehalten werden konnten. Für die meisten Staaten des hochindustrialisierten Nordens – USA, Europa, Japan – waren diese Ziele so formuliert, daß der CO₂-Ausstoß kurzfristig auf dem Niveau eines Bezugsjahres, z.B. 1990, stabilisiert und mittelfristig um etwa 25% zurückgefahren werden sollte. Bereits die kurzfristige Stabilisierung konnte jedoch praktisch nirgends erreicht werden. Die Mehrzahl der europäischen Staaten weist statt dessen eine weitere Steigerung von 5 bis 15 % CO₂-Ausstoß auf. Auch Deutschland hat bislang die vereinbarten bzw. selbstgesetzten Ziele nicht erreicht. Anfängliche – scheinbare – Erfolge waren lediglich die Folge des Anschlusses des Gebietes der ehemaligen DDR an die alte Bundesrepublik: Der unmittelbar danach erfolgte Zusammenbruch der Wirtschaft im Osten sorgte zunächst für einen Rückgang der CO₂-„Produktion“, der in der Zwischenzeit bereits mehr als kompensiert worden ist.

Kritiker der gegenwärtigen Klimapolitik stellen immer wieder fest, daß die nationalen Erklärungen zu den Abkommen von Rio in der Regel zu weich ausgefallen, daß an Stelle notwendiger politischer Entscheidungen bloße unverbindliche Absichtserklärungen getreten sind und daß das notwendige Umlenken in vielen Bereichen von Wirtschaft und individuellem Verbrauch nicht stattgefunden hat. In Bezug auf Deutschland wird insbesondere kritisiert, daß dem Straßenverkehr als Haupt-CO₂-Emittent immer noch Priorität eingeräumt wird gegenüber anderen, weniger energieraufwendigen Verkehrssystemen, daß die Regelungen zum Energiesparen durch Wärmeschutz beim Hausbau eher halbherzig formuliert wurden und keineswegs dem Stand der Technik entsprechen und daß schließlich darauf verzichtet wurde, gegenüber der produzierenden Industrie überhaupt gesetzgeberische Maßnahmen zu ergreifen. Statt dessen hat man sich mit vagen Selbstverpflichtungen zufrieden gegeben. Markantes Beispiel für die problematische Diskussion um notwendige und mögliche politische Maßnahmen ist die Frage einer Energiesteuer bzw. – im Vorfeld dazu – um höhere Mineralölsteuern.

Insgesamt wird eine populistische Politik, die niemandem „wehtun“ und keine Wählerstimmen aufs Spiel setzen möchte, dafür verantwortlich gemacht, daß kaum ein Teil der Rio-Vereinbarungen umgesetzt worden ist. Eine weitere Ursache wird in der kaum gebrochenen Orientierung an einer Vorstellung vom wirtschaftlichen „Wachstum“ gesehen.

Unterrichtspraktische Hinweise

Die Auseinandersetzung mit Treibhauseffekt und Klimafolgen im Unterricht muß stets den Zusammenhang von menschlichen bzw. technischen Aktivitäten und dem Ausstoß klimarelevanter Gase als wichtigstes Vermittlungsziel im Auge behalten. Alle naturwissenschaftlichen Informationen, die in den nachfolgenden Arbeitsmaterialien und Experimentieranleitungen dargestellt sind, dienen in diesem Sinn als Hilfe zum besseren Verständnis dieser Zusammenhänge. Keinesfalls darf die Klima- bzw. Treibhausproblematik als Motivationsvehikel dienen oder dafür funktionalisiert werden, um einen interessanteren naturwissenschaftlichen Unterricht zu präsentieren. Beim Einsatz der vorgeschlagenen Versuche bzw. bei der Bezugnahme auf die angeführten naturwissenschaftlichen Betrachtungen ist daher nicht nur darauf zu achten, daß sie für die jeweilige Lerngruppe und deren Vorwissen und Fragestellungen angemessen sind, sondern auch darauf, inwiefern sie zu einem Verstehen der Treibhausproblematik beitragen.

Mit Verkehr und Heizung sind tatsächlich die Hauptemittenten für CO₂ nahe dem Bereich der individuellen Lebensführung zu finden. Daher muß immer auch die Frage thematisiert werden, welche Handlungsmöglichkeiten der einzelne in diesem Zusammenhang hat und wie er sie ausschöpfen kann. Dabei darf jedoch keine moralisierende Individualisierung der Probleme stattfinden: Weder die weiter steigende Dichte des Individualverkehrs noch die Frage eines energieintensiven Lebensstils können allein auf der Ebene individuellen Handelns gelöst werden. Schulisches Lernen und schu-

lische Aktionen sollten stets beides berücksichtigen: die Handlungsspielräume im privaten Bereich und seine gesellschaftlichen und politischen Bedingungen.

Einige praktische Hinweise:

Mit den einführenden Versuchen zum Treibhauseffekt soll ein grundsätzliches Verständnis für dieses Phänomen ermöglicht werden, auch wenn sich die benutzten Modelle (z. B. Einmachglas mit und ohne Deckel) nur bedingt auf die globale Situation übertragen lassen. Die Bezugnahme auf alltägliche Treibhausphänomene – Auto in der Sonne – soll zu einer breiten Verankerung des Begriffs sowie der damit verbundenen Vorstellungen beitragen.

Für die Versuche mit Kohlendioxid als Treibhausgas hat sich in der Praxis die Verwendung von Sprudelflaschen bewährt. Ein zur Hälfte mit CO_2 gefüllter Luftballon, den man beim Schütteln einer Mineralwasserflasche erhält, reicht in der Regel für die beschriebenen Experimente aus. Zudem kann diese Methode problemlos auch im Schülerversuch angewandt werden. Die mit dem CO_2 mitgerissene Feuchtigkeit stört beim Bestrahlungsexperiment nicht. Man achte darauf, daß es sich um kohlenstoff-reiches Mineralwasser handelt und daß die Flasche vor dem Öffnen und Überziehen des Luftballons nicht zu viel bewegt wird.

An Stelle des beschriebenen Versuchs zur "Treibhausaktivität durch Kohlendioxid", bei dem die schnellere Erwärmung des Glases mit CO_2 gegenüber dem Kolben mit Luft mit Thermometern gezeigt wird, kann auch ein Gasthermometer-Experiment durchgeführt werden. Dazu werden die beiden Erlenmeyerkolben jeweils mit einem durchbohrten Gummistopfen mit Manometerrohr verschlossen. In die beiden Röhrchen füllt man eine angefärbte Flüssigkeit (z.B. Wasser mit Tinte, Glycerin mit einem Farbstoff) ein. Beim Bestrahlen zeigt sich dann, daß sich das Gas auf der CO_2 -Seite schneller ausdehnt (weil es sich schneller erwärmt). Mit dieser Versuchsvariante kann zugleich ein Verständnis für den Zusammenhang von Wärme und Teilchenbewegung angebahnt und unterstützt werden.

Der Gasthermometerversuch ist erheblich empfindlicher als die in den Materialien beschriebene Version; zu seiner Durchführung ist jedoch mehr experimentelles Geschick notwendig, zu seiner Deutung einige Abstraktion auf Seiten der Schülerinnen und Schüler.

Beim Einsetzen der Röhrchen in die Stopfen und beim Aufsetzen der Stopfen (mit dem Röhrchen) auf Verletzungsgefahr achten! Gleichen Stand der Flüssigkeiten erhält man am einfachsten, wenn der Stopfen ein zweites Loch mit einem Hahn besitzt, durch den der leichte Überdruck im Inneren vor Bestrahlungsbeginn ausgeglichen werden kann.

Wie groß die zu erwartende Verschiebung der Flüssigkeit in den Manometerröhrchen sein wird, kann wie folgt abgeschätzt werden: Entsprechend dem Gasgesetz, das streng zwar nur für ideale Gase gilt, annähernd aber auch für reale Gase wie Kohlendioxid oder das Gasgemisch der Luft, dehnen sich Gase beim Erwärmen proportional der Temperaturerhöhung aus. Bei der Erhö-

hung der Temperatur um 1 Grad (gemessen in $^{\circ}\text{C}$) beträgt die Ausdehnung $1/273$ des Ausgangsvolumens. Bei einem Volumen des Erlenmeyerkolbens von 400 cm^3 bedeutet die Erhöhung der Temperatur um 1 Grad also eine Ausdehnung um $1,5\text{ cm}^3$. Bei entsprechend geringem Querschnitt des Manometerröhrchens entspricht dies einer Verschiebung der Flüssigkeit um 5 cm. Daher können noch Temperaturunterschiede von 0,1 Grad sicher festgestellt werden.

Die auf dem Informations- und Arbeitsblatt „Treibhausaktiv oder nicht?“ dargestellten Gasteilchen sollen veranschaulichen, daß ein Gas umso besser in der Lage ist, Strahlung in Wärme umzusetzen, je komplexer sein Aufbau aus Atomen ist. Je nach Vorkenntnissen der Lerngruppe kann der Zusammenhang aus der Teilchenübersicht erarbeitet werden, oder die Schülerinnen und Schüler versuchen, anhand der gegebenen Informationen eine Einteilung der Gase vorzunehmen. Hierbei sollte u.a. deutlich werden, daß und warum FCKWs – über ihre ozonzerstörenden Eigenschaften hinaus – besonders wirksame Treibhausgase sind.

Das Puzzle „Fenster zum All“ zeigt die angesprochenen Zusammenhänge nochmals aus spezifisch naturwissenschaftlicher Sicht. Wegen der damit verbundenen Anforderungen an abstraktes Denken – besonders im Zusammenhang von Energie und Wellenlänge – bedarf die Auseinandersetzung damit einer spezifischen Vorbereitung (siehe Kapitel 1: Das Energie- und Strahlungsband). Als einfacheres Modell kann das Bild vom Treibhaus mit offenen Fenstern verwendet werden, die jeweils einem anderen Treibhausgas entsprechen.

Am Kohlenstoff-Kohlendioxid-Kreislauf kann deutlich werden, wie menschliche Eingriffe in natürliche Stoffströme bereits mittelfristig zu deutlichen Veränderungen führen. Man beachte, daß die Mengenangaben einheitlich auf Kohlenstoff bezogen sind. Soll – z.B. zum Vergleich mit Daten aus anderen Quellen – auf Kohlendioxid umgerechnet werden, so sind die entsprechenden Angaben mit dem Faktor 3,7 (entsprechend dem Verhältnis der Molmassen $44/12$) zu multiplizieren.

Die Experimente zum Kohlenstoff-Kohlendioxid-Kreislauf zeigen, wie alle natürlichen und die Mehrzahl der technischen Vorgänge in diesen Kreislauf eingebunden sind. Neben den hier vorgeschlagenen Versuchen sind an unterschiedlichen Stellen verschiedene andere Experimente vorgeschlagen worden, die jedoch aufwendiger bzw. komplizierter in der Durchführung sind. U.a. kann die Biomassebildung an teil-belichteten Blättern nachgewiesen werden, ebenso die Stärkebildung in verschiedenen Pflanzenteilen, die CO_2 -Zehrung in Wasser durch Wasserschnecken.

Bei der Graphik zum Anstieg der CO_2 -Konzentration kann der Zusammenhang mit dem natürlichen C/CO_2 -Kreislauf ein weiteres mal aufgegriffen werden: Die regelmäßigen jahreszeitlichen Schwankungen machen den Einfluß der Vegetationsperiode deutlich; im Frühjahr und Sommer werden Teile des atmosphärischen CO_2 gebunden, im Herbst und Winter wieder freigesetzt. Die Trendberechnung (durchgezogene Linie) mittelt diese Schwankungen heraus und zeigt den mittleren Anstieg. Man beachte den gespreizten Maßstab der Abbildung!

Gasthermometer-Versuch zur Demonstration der Treibhausaktivität von Kohlendioxid

In Abwandlung des oben beschriebenen Versuches kann der Nachweis der schnelleren Erwärmung (im Vergleich zu Luft) eines CO_2 -Volumens bei Einstrahlung in folgender experimentellen Anordnung demonstriert werden:

Einer der beiden Erlenmeyerkolben wird wie oben beschrieben mit CO_2 gefüllt, der andere nicht. Die Kolben werden mit einem Gummistopfen mit Manometerrohr verschlossen. In beiden Röhrchen befindet sich eine angefärbte Flüssigkeit, die ihren Stand verändert, wenn sich das Gas im Kolben ausdehnt.

Weil Kohlendioxid die rote Wärmestrahlung besser absorbieren und in Wärme umsetzen kann, erwärmt sich das Gas in diesem Kolben etwas schneller und dehnt sich entsprechend ebenfalls schneller aus. Dies ist als Verschiebung der Flüssigkeit im Manometerrohrchen gut zu beobachten.

Diese Versuchsvariante ist dann zu empfehlen, wenn keine empfindlichen Digitalthermometer zur Verfügung stehen. Die Anordnung reagiert sehr empfindlich auf Temperaturänderungen. Das kann wie folgt abgeschätzt werden:

Entsprechend dem Gasgesetz, das streng zwar nur für ideale Gase gilt, annähernd aber auch für reale Gase wie Kohlendioxid oder das Gasgemisch der Luft, dehnen sich Gase beim Erwärmen proportional der Temperaturerhöhung aus. Bei der Erhöhung der Temperatur um 1 Grad (gemessen in $^{\circ}\text{C}$) beträgt die Ausdehnung $1/273$ des Ausgangsvolumens.

Bei einem Volumen des Erlenmeyerkolbens von 400 cm^3 bedeutet die Erhöhung der Temperatur um 1 Grad also eine Ausdehnung um $1,5\text{ cm}^3$. Bei entsprechend geringem Querschnitt des Manometerrohrchens entspricht dies einer Verschiebung der Flüssigkeit um 5 cm. Daher können noch Temperaturunterschiede von 0,1 Grad sicher festgestellt werden.

Ratschläge zur Versuchsdurchführung

Als Flüssigkeit für das Manometerrohrchen kommen in Frage: Glycerin mit etwas Farbstoff, z. B. einem flüssigen Indikator aus der Chemiesammlung. Ist dies nicht verfügbar, kann auch Wasser mit etwas Tinte versetzt verwendet werden. Beim Einsetzen der Röhrchen in die Stopfen und beim Aufsetzen der Stopfen (mit dem Röhrchen) auf Verletzungsgefahr achten! Gleichen Stand der Flüssigkeiten erhält man am einfachsten, wenn der Stopfen ein zweites Loch mit einem Hahn besitzt, durch den der leichte Überdruck im Inneren ausgeglichen werden kann.

Der Treibhauseffekt – Dokumente aus verschiedenen Zeiten

Text 1: Arrhenius (1896)

THE
LONDON, EDINBURGH, AND DUBLIN
PHILOSOPHICAL MAGAZINE
AND
JOURNAL OF SCIENE
[FIFTH SERIES]
APRIL 1896

On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. By Prof. SVANTE ARRHENIUS.

I. Introduction

A great deal has been written on the influence of the absorption of the atmosphere upon the climate. (...) Another side of the question, that has long attracted the attention of physicists, is this: Is the mean temperature of the ground in any way influenced by the presence of heat-absorbing gases in the atmosphere? (...) The atmosphere acts like the glass of a hothouse, because it lets through the light rays of the sun but retains the dark rays from the ground. (...)

The selective absorption of the atmosphere is (...) not exerted by the chief mass of the air, but in a high degree by aqueous vapour and carbonic acid, which are present in the air in small quantities. Further, this absorption is not continuous over the whole spectrum, but (...) chiefly limited to the long-waved part. (...) The influence of this absorption is comparatively small on the heat of the sun, but must be of great importance in the transmission of rays from the earth. (...)

Geological Consequences

(...) A simple calculation shows that the temperature in the arctic regions would rise about 8° to 9° C, if the carbonic acid increased to 2,5 or 3 times its present value. (...)

Text 2: WWF zum Treibhauseffekt

1997 ist das entscheidende Jahr, die Geschwindigkeit der globalen Erwärmung zu verlangsamen. Von Politik und Wirtschaft sind dringende Maßnahmen gefordert, um Mensch und Natur in aller Welt die schlimmen Folgen einer Klimaverschiebung zu ersparen. Und eine rigorose Verminderung von Kohlendioxid-Emissionen kann auch ökonomisch sehr attraktive Ziele bedeuten.

Text 3: Die Tageszeitung vom 18.4.1997

Mehr Treibhausgas Merkel stellt Klimabericht vor

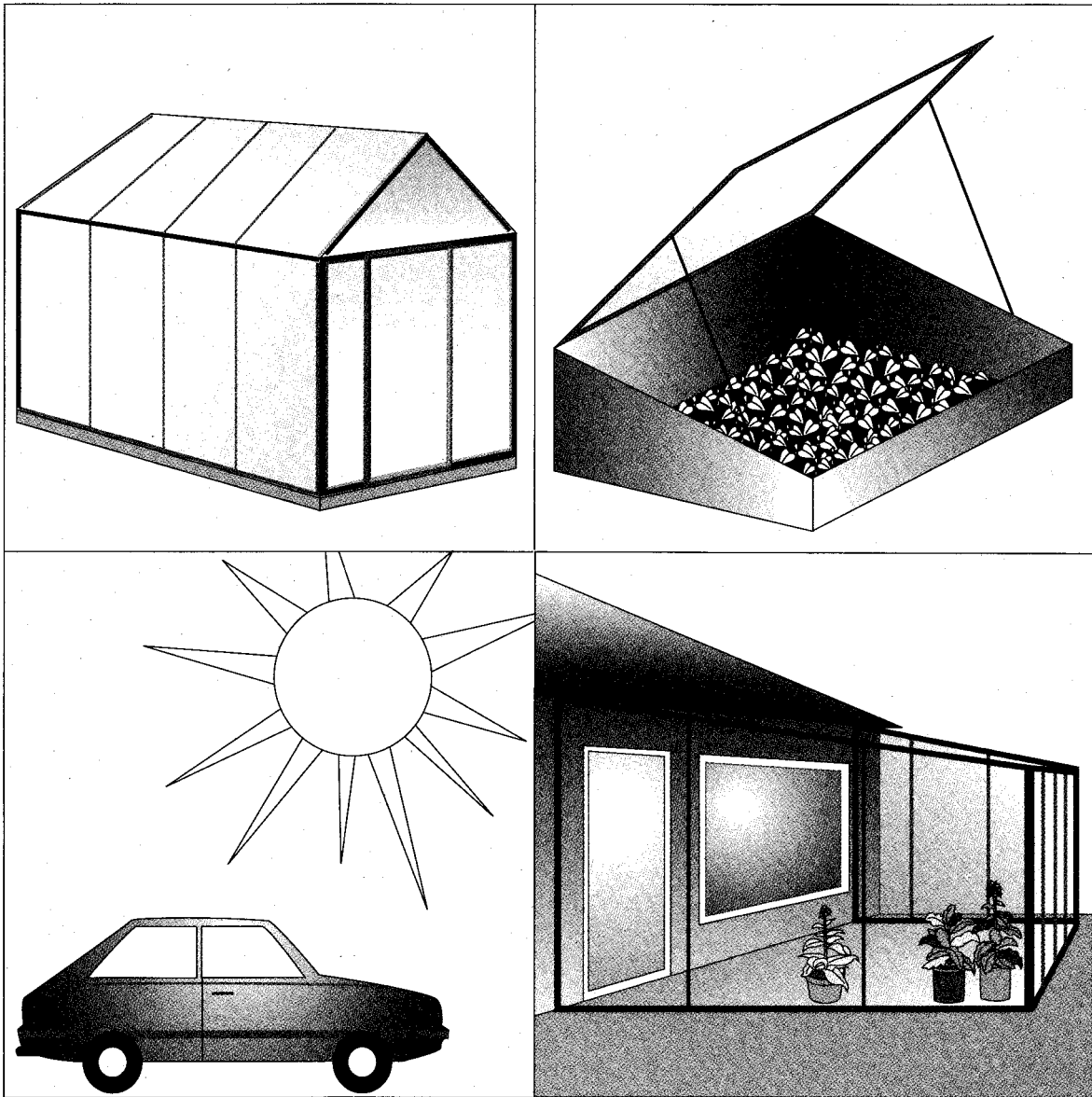
Berlin (taz/dpa) – Mit den verabschiedeten Maßnahmen kann Deutschland des Kanzlers Klimaschutzziel nicht erreichen. Das geht aus dem Klimaschutzbericht der Umweltministerin Angela Merkel (CDU) hervor. Nur um 15 Prozent wird demnach das jährlich in die Luft geblasene Kohlendioxid bis 2005 schwinden – gemessen an dem Ausstoß vom Stichtag 1990. Um Kohls Ziel von minus 25 Prozent zu erreichen, müßten noch „erhebliche weitere Anstrengungen unternommen werden“, bemerkte Merkel vorgestern scharfsinnig bei der Vorstellung ihres Berichts in Bonn. Bisher drosselte Deutschland den Ausstoß um 10,5 Prozent gegenüber 1990, 1995 waren es noch 12 Prozent. Erstmals seit dem Stichtag entwich damit wieder mehr Kohlendioxid. Die Ministerin erklärte das mit „den strengen Wintern“.

Dennoch lobte sich Merkel: Deutschland spiele weltweit eine führende Rolle, doch wolle sie sich nicht auf ihren „Lorbeer ausruhen“. Dabei gedieh der Lorbeer durch die Vereinigung: In Ostdeutschland brach mit der Wirtschaft auch die CO₂-Produktion zusammen. Sie fiel bis 1995 um 44 Prozent. Im Westen stieg der Ausstoß dagegen um 2 Prozent. Bis zum Sommer wolle die Regierung weitere Maßnahmen beschließen. Vor allem die Mineralölsteuer sei „unter die Lupe zu nehmen“. Neue Maßnahmen etwa in Wärmedämmung und Wirtschaft müßten aber „kosteneffizient“ sein. Sprich: Klimaschutz darf die Industrie nichts kosten.

Ein geschönter Bericht, urteilten die Oppositionsparteien. In Wahrheit habe sich die Regierung von ihrem Klimaziel verabschiedet, sagte SPD-Parlamentarier Michael Müller. Die grüne Abgeordnete Michaela Hustedt kritisierte, daß die Bundesregierung weiterhin Entscheidungen treffe, die dem Klimaziel zuwiderliefen. Dazu zählten das große Straßenbauprogramm und eine ausbleibende Ökosteuer.

urb

Treibhaus = mehr Wärme



Beispiele für den Treibhauseffekt sind im Alltag an vielen Orten zu finden. Manchmal wird die Aufheizung durch die Sonne bewußt genutzt; manchmal ist der Treibhauseffekt eher unerwünscht.

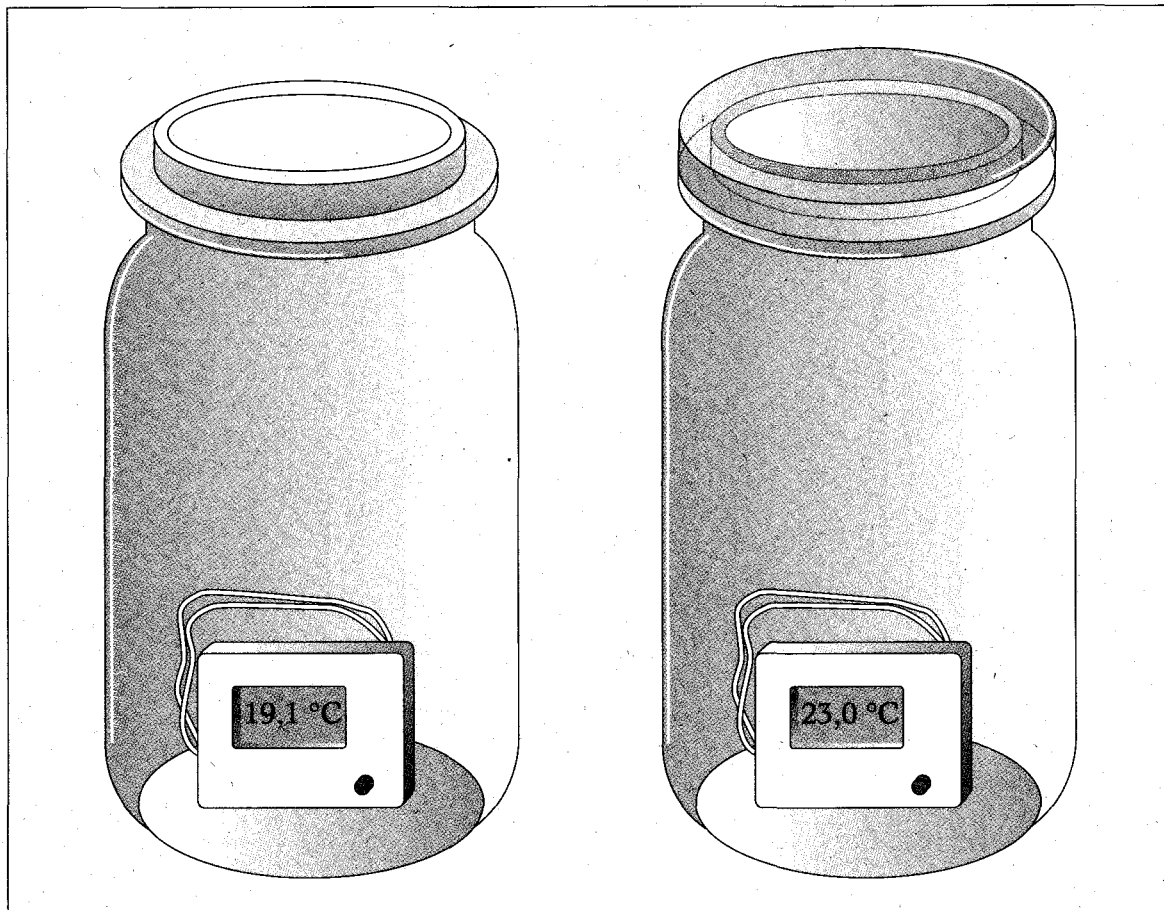
Fragen:

1. Charakterisiere die abgebildeten Situationen!
Worin besteht der gewünschte Nutzen?
Was sind unerwünschte Nachteile?
2. Welche anderen Beispiele für „Treibhauseffekte“ kennst Du?
3. Was kannst Du Dir unter dem „Atmosphärischen Treibhauseffekt“ vorstellen?
Was entspricht dem Treibhausdach in der Wirklichkeit?
4. Wie sähe die Welt ohne Treibhauseffekt aus?
5. Man spricht von Treibhauseffekt und zusätzlichem Treibhauseffekt.
Was könnte diese Unterscheidung bedeuten?

Modellversuch zum Treibhauseffekt

Stelle zwei Einmachgläser nebeneinander auf einem Tisch am Fenster oder auf die Fensterbank, so daß sie beide gleichermaßen von der Sonne beschienen werden. Das eine Glas läßt Du offen, auf das andere legst Du einen passenden Deckel.

Die unterschiedliche Erwärmung kannst Du durch Temperaturmessung feststellen. Stelle dazu in beide Gläser ein passendes Thermometer. Gut zu beobachten ist der unterschiedliche Temperaturanstieg, wenn Du zwei einfache Digitalthermometer verwendest.



Fragen:

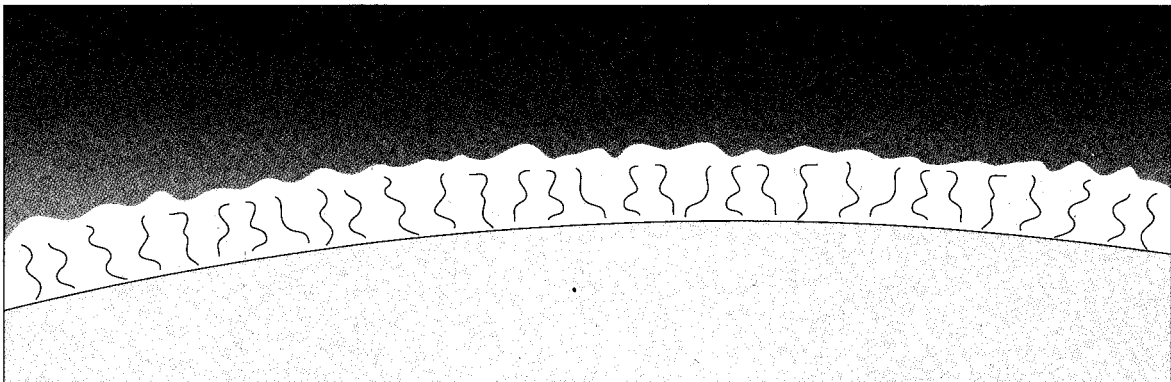
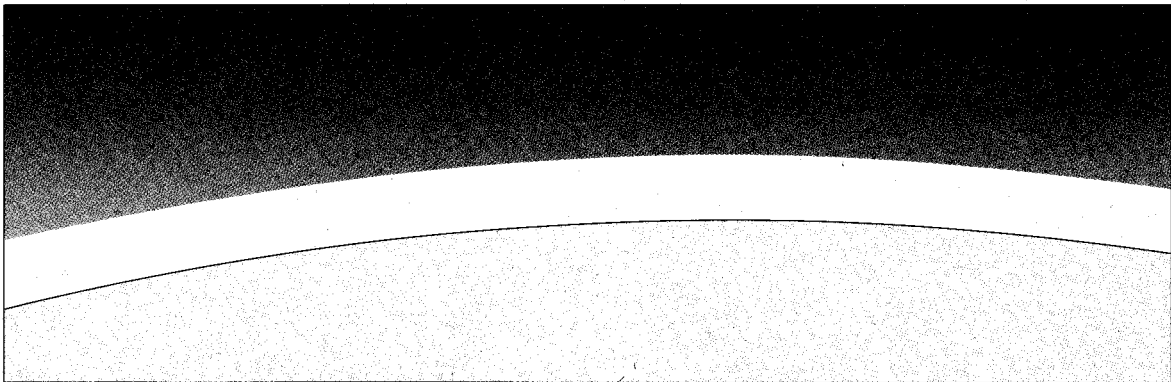
1. Verfolge die Entwicklung der Temperatur in beiden Gefäßen über 30 Minuten.

Notiere die Meßwerte in einer Tabelle:

Zeit	links (Glas ohne Deckel)	rechts (Glas mit Deckel = Treibhausgefäß)
0		
2		
5		
10		

2. Unter welchen Bedingungen zeigt sich der Treibhauseffekt besonders deutlich?

Treibhaus Erde



Fragen:

1. Ohne Lufthülle gäbe es kein Leben auf der Erde. Tiere und Menschen könnten nicht atmen, Pflanzen könnten nicht wachsen – außerdem wären die Temperaturen ohne Atmosphäre auch am Tage deutlich unter 0°C.
Für welchen Himmelskörper trifft diese Situation zu?
2. Vergleiche das Treibhaus des Gärtners mit dem atmosphärischen Treibhaus:
Wie wirkt die Lufthülle im Vergleich zu den Glaswänden? Wie unterscheidet sie sich davon?
3. Welche Eigenschaften müssen die Bestandteile der Atmosphäre besitzen, damit der Treibhauseffekt zustande kommt?
4. Man weiß seit langem, daß für den Treibhauseffekt der Atmosphäre besonders die folgenden Gase verantwortlich sind: Wasserdampf, Kohlendioxid, Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O).
Vergleiche die Konzentration dieser Gase mit der allgemeinen Zusammensetzung der Luft.
Welche Luftbestandteile sind demnach nicht und nur wenig treibhausaktiv?

Der zusätzliche Treibhauseffekt – Herkunft nach Bereichen und nach Stoffen

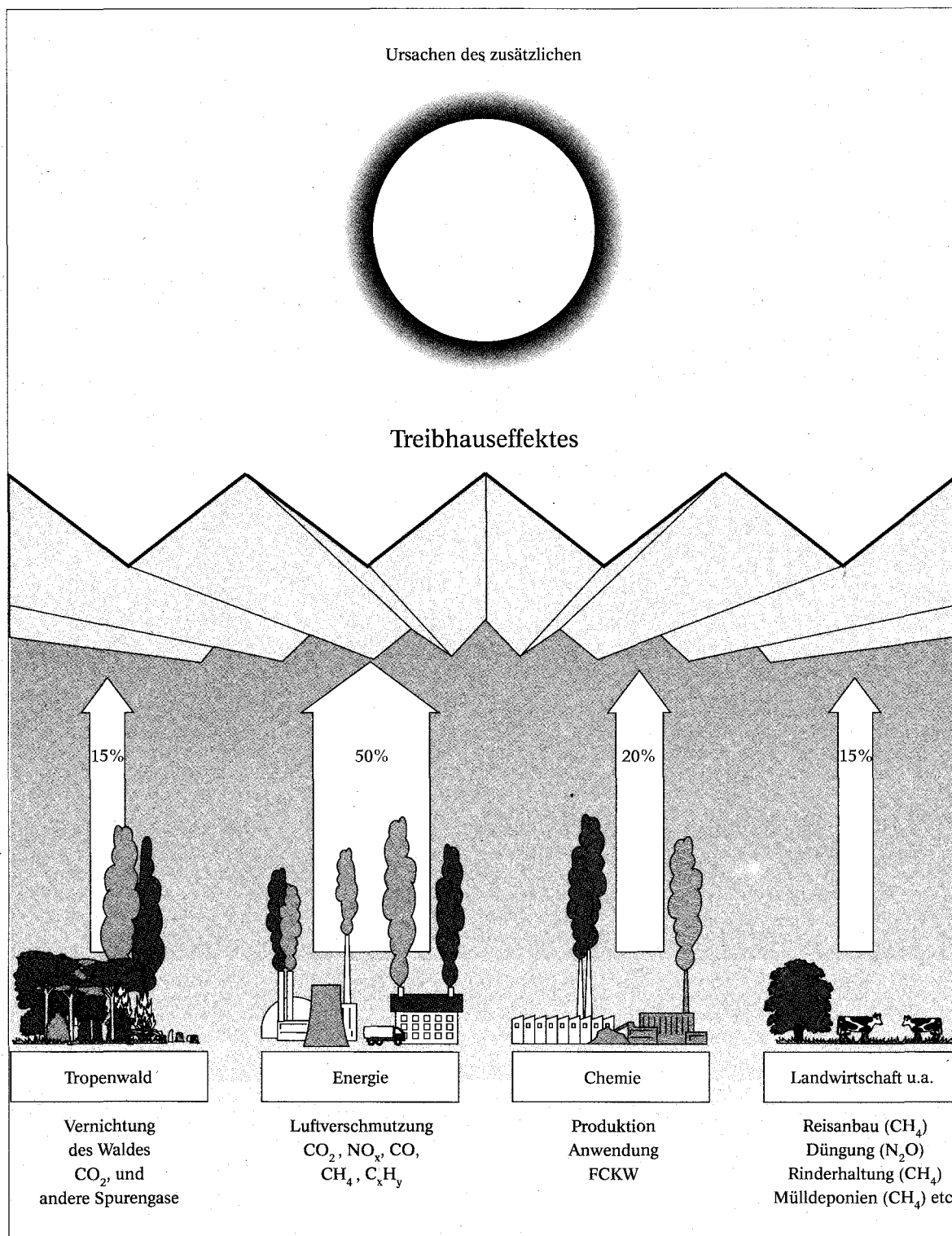


Abb. nach: Deutscher Bundestag: Zur Sache. Themen parlamentarischer Beratung „Schutz der Erde. Eine Bestandsaufnahme mit Vorschlägen zu einer neuen Energiepolitik“ 19/90, Bd. 1, S. 46 (Enquete-kommission)

Treibhauswirkung durch Kohlendioxid

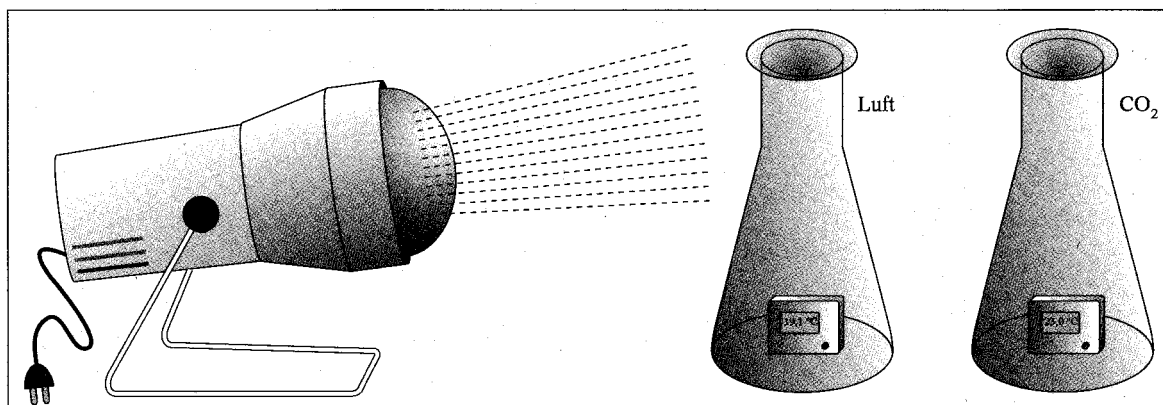
Kohlendioxid ist mit 0,03 % nur in Spuren am Aufbau der Lufthülle beteiligt und trägt trotzdem zur Hälfte zur Treibhauswirkung der Atmosphäre bei.

Der folgende Versuch zeigt, daß Kohlendioxid tatsächlich viel besser als die Hauptbestandteile der Luft - Stickstoff und Sauerstoff – in der Lage ist, Wärme „festzuhalten“, die von außen in ein Gefäß eingestrahlt wird. Dazu wird Kohlendioxid „pur“ mit normaler Luft verglichen.

Modellversuch zur Treibhaus-Aktivität von Kohlendioxid

In zwei gleichgroße Glasgefäße – am besten Erlenmeyerkolben aus der Chemiesammlung – werden Thermometer eingelegt (kleine Alkoholthermometer oder Digitalthermometer). In das eine wird Kohlendioxid eingefüllt und die Öffnung mit einem Uhrglas verschlossen. Der andere Kolben wird ohne weitere Maßnahmen mit einem ähnlichen Uhrglas abgedeckt (er enthält Luft zum Vergleich der Treibhausaktivität).

Die Kolben werden nebeneinander auf den Tisch gestellt und aus gleicher Entfernung mit einer Rotlicht-Lampe bestrahlt.



Hinweise zur Versuchsdurchführung:

Kohlendioxid kann auf verschiedene Weise erhalten werden:

- Man läßt es aus einer Druckpatrone eines Siphons ausströmen und leitet es in den Kolben ein.
- Über den Hals einer Sprudelflasche wird ein Luftballon gezogen und die Flasche heftig geschüttelt. Das austretende CO_2 bläst den Ballon auf. Mit Hilfe eines Glasrohres läßt man das Gas anschließend langsam in den Kolben strömen. Da Kohlendioxid schwerer ist als Luft, verdrängt es die Luft im Glas.
- In manchen Schulen gibt es CO_2 als Reingas in Druckflaschen. Sicherheitshinweise zur Bedienung beachten!
- NaturwissenschaftslehrerInnen können CO_2 auch durch Reaktion von Kalk mit Salzsäure herstellen. Dazu wird eine Gasentwicklungsapparatur aus Erlenmeyerkolben, Tropftrichter, Gasableitungsrohr und einem doppelt durchbohrten Stopfen aufgebaut. Aus dem Tropftrichter läßt man langsam halbkonzentrierte Salzsäure zu dem im Kolben vorgelegten gekörnten Kalk (CaCO_3) zutropfen und leitet das Gas in das Versuchsgefäß ein.

Aufgabe:

1. Verfolge die Temperaturentwicklung, notiere die Meßwerte in einer Tabelle!

Wie aus Strahlung Wärme wird

Die Atmosphäre ist kein Dach, das sich über die Erde legt, vielmehr wandeln die treibhausaktiven Gase (Wärme-)Strahlung immer und überall in Wärme um und verhindern dadurch, daß sich die durch die Sonneneinstrahlung erwärmte Erdoberfläche und die unteren Luftschichten zu stark abkühlen. Diese Umwandlung von Licht bzw. Sonnenstrahlung in Wärme ist ein alltäglicher Vorgang, der jedoch nicht ganz einfach zu erklären ist.

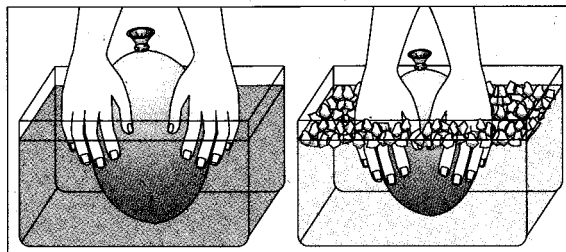
Was ist Wärme?

Wenn Gase erwärmt werden, dehnen sie sich aus. Beim Abkühlen wird ihr Volumen kleiner. Da die Anzahl der kleinsten Teilchen in einer bestimmten (abgeschlossenen) Gasmenge immer gleich bleibt, muß etwas anderes zur Volumenänderung führen.

Ein Luftballon ...

... wird halb aufgeblasen und zugebunden. Nimmt man ihn zwischen die Hände oder hält ihn unter heißes Wasser, so dehnt er sich aus.

Legt man ihn auf Eis oder taucht ihn in Eiswasser, so wird er kleiner.



Wärme = Bewegung

Beim Erwärmung eines Gases wird Energie von außen zugeführt. Die kleinsten Teilchen des Gases bewegen sich dann heftiger bzw. schneller. Dadurch nimmt das Gas mehr Raum in Anspruch. (Verhindern feste Wände, daß das Gas sich ausdehnen kann, so steigt der Druck.)

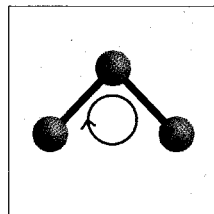
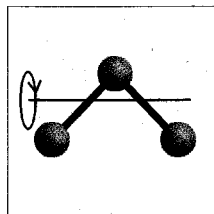
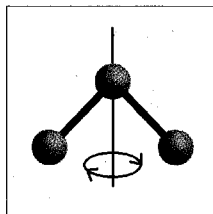
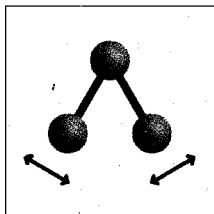
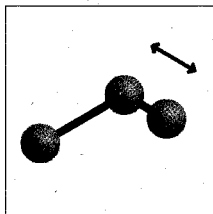
Bei der Temperaturmessung kommt das Thermometer in Kontakt mit dem Gas: Durch die Stöße der kleinsten Teilchen auf die Thermometerwandung wird solange Energie übertragen, bis Gas und Meßinstrument die gleiche Temperatur besitzen. Höhere Temperatur bedeutet nach dieser Vorstellung mehr und heftigere Stöße.

Was wir bei der Berührung mit Stoffen als „kalt“ oder „heiß“ empfinden, ist demnach die Summe der Bewegung ihrer kleinsten Teilchen.

Wie wird aus Strahlung Wärme?

Wenn aus Strahlung Wärme (= Bewegung von Teilchen) werden soll, so muß die Strahlung aufgenommen und ihre Energie irgendwie umgewandelt werden. Strahlung bzw. Strahlungsenergie kann nur in „ganzen Stücken“ aufgenommen werden. Je komplexer ein Teilchen gebaut ist, desto vielfältiger sind seine Möglichkeiten, Strahlung zu absorbieren:

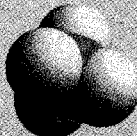
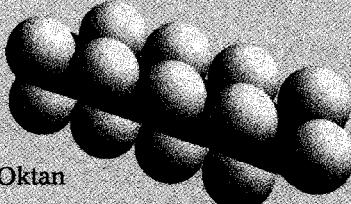
Neben der Bewegung durch den Raum (je schneller, desto wärmer) können die kleinsten Teilchen von Gasen sich auch noch „inwendig“ bewegen, im einfachsten Fall aufeinander zu oder voneinander weg. Dazu müssen diese kleinsten Teilchen (Moleküle) aber mindestens aus zwei Atomen aufgebaut sein. Für diese Art von innerer Bewegung gibt es um so mehr Möglichkeiten, je komplizierter diese Teilchen aufgebaut sind. Bei drei Atomen in einem Molekül kann das dritte in Bezug auf die beiden anderen noch nach oben und unten schwingen, auch kann sich das ganze Molekül um zwei verschiedene Achsen drehen.



Die Umwandlung von Strahlung in Bewegung (= Wärme) kann man sich dann so vorstellen:

Ein Lichtstrahl (physikalisch: ein Photon) trifft ein geeignetes Gasteilchen. Die Energie wird in eine innere Schwingung des Teilchens umgewandelt. Beim nächsten Zusammenstoß mit einem anderen Gasteilchen wird ein Teil der Energie weitergegeben. In der Summe werden dadurch alle Gasteilchen etwas schneller in ihren Bewegungen: Das Gas erwärmt sich.

Treibhausaktiv oder nicht?

CO_2  Kohlendioxid	O_2 	CH_4 
Ar Argon 	Wasser 	FCKW 
N_2O 	O_3 	Oktan 
N_2 	H_2 	

Hinweis:

Ein Teilchen kann in der Regel umso besser Strahlung absorbieren,

- je mehr Atome an seinem Aufbau beteiligt sind
- und je schwerer die Atome sind, aus denen es aufgebaut ist.

Daher wirken Sauerstoff (O_2) und Stickstoff (N_2) am schwächsten, deutlich stärker Wasserdampf (H_2O), Kohlendioxid (CO_2) und das Stickoxid N_2O und ausgesprochen stark die komplizierteren Moleküle wie Methan (CH_4) und seine schweren halogenierten Verwandten, die FCKWs wie CF_2Cl_2 oder CFCl_3 .

Fragen:

1. Markiere alle Gase, die deiner Meinung nach treibhausaktiv sind!
2. Wie könnte ein supertreibhausaktives Gas aussehen?
Welches des aufgeführten Gase kommt ihm am nächsten?
3. Kontrolliere Deine Lösung, indem Du mit der Tabelle auf der folgenden Seite vergleichst.

Klimawirksame Gase aus industrieller Aktivität schließen die „offenen Fenster“ im Treibhaus

Treibhausaktivität einiger Spurengase im Vergleich zu Kohlendioxid

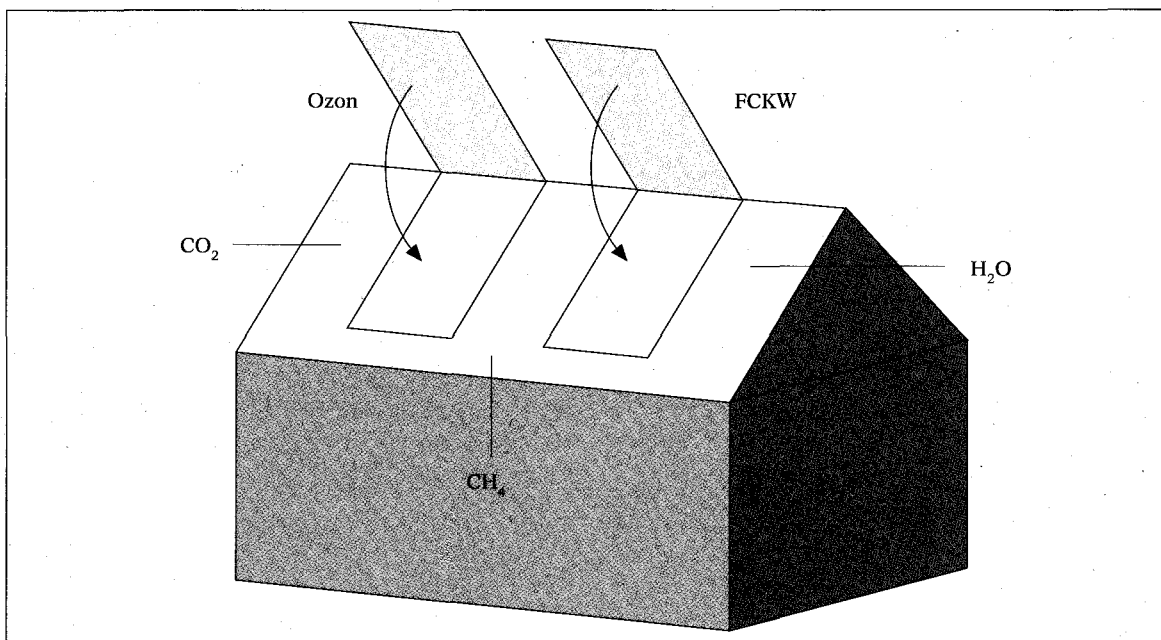
		Aktivität	Anstieg pro Jahr	Wirkdauer
Kohlendioxid	CO ₂	: 1	0,5 %	50 – 200 Jahre
Methan	CH ₄	: 23	0,9 %	10 Jahre
F 11	CFCl ₃	: 3500	FCKWs: 4 %	65 Jahre
F 12	CF ₂ Cl ₂	: 7300		130 Jahre
Lachgas	N ₂ O	: 290	0,3 %	100 Jahre
Ozon	O ₃	: 2000	1 %	1 – 3 Monate

Stoffe wie die FCKWs sind also 3000 bis 7000 mal stärker treibhausaktiv als Kohlendioxid. Weshalb?

Je nach Aufbau der kleinsten Teilchen absorbieren verschiedene Gase Strahlung von verschiedenem Energiegehalt. Für das sichtbare Spektrum des Sonnenlichts sind die meisten Gase – z.B. Wasserdampf, Kohlendioxid oder FCKWs – durchsichtig, es findet praktisch keine Absorption statt, dafür aber im Bereich der Infrarotstrahlung (IR).

Jedes Gas absorbiert hauptsächlich nur in einem bestimmten Frequenz- bzw. Energiebereich. Durch die offenen Fenster kann Strahlung ein- und auch wieder austreten.

In einem Modell-Treibhaus würde das so aussehen:

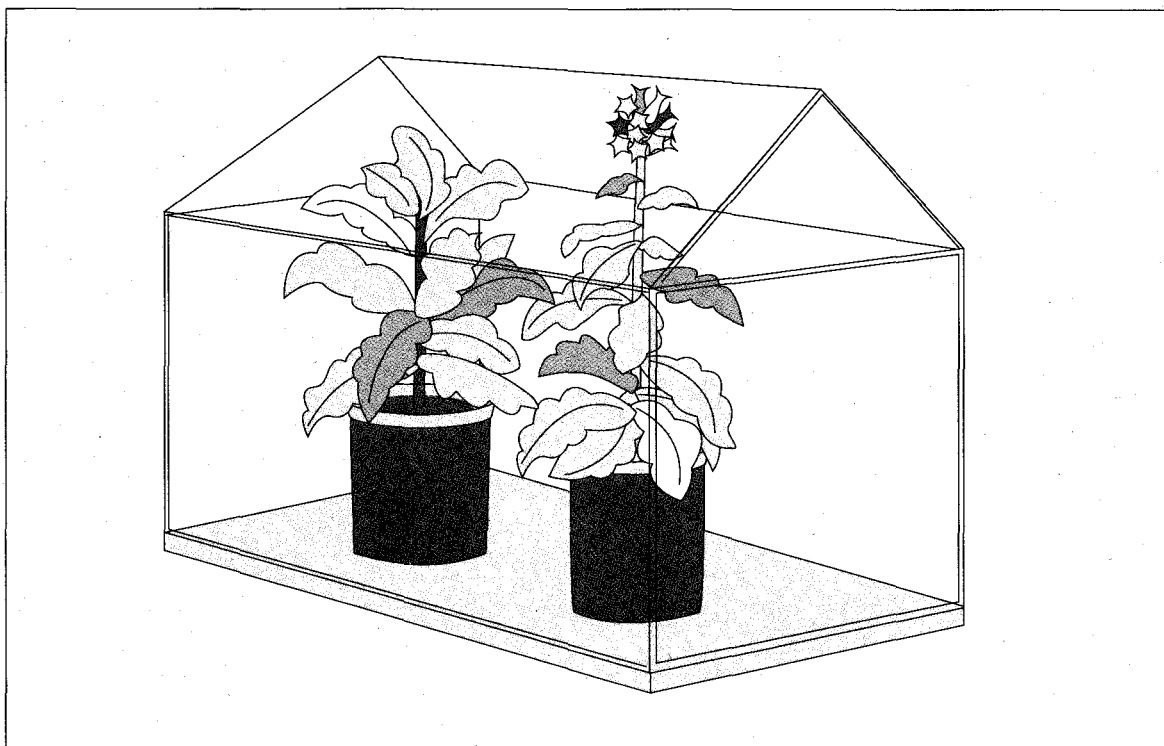


Jedes klimawirksame Gas deckt einen bestimmten Teil der Oberseite des Treibhauses ab, dazwischen aber besitzt das Dach noch schmale Öffnungen und offene Fenster. Mehr Kohlendioxid oder Wasserdampf machen das Dach zwar dicker (entsprechend einer Doppelverglasung), die Fenster aber bleiben offen. Erst die Gase aus industrieller Produktion (FCKWs) sowie die verschiedenen Abgase aus Fabriken, Kraftwerken und dem Verkehr einschließlich ihrer Umwandlungsprodukte (z. B. bodennahes Ozon) schließen diese Fenster. Weil sie besonders wirksam in den noch „offenen“ Energie- und Frequenzbereichen absorbieren, ist ihre Treibhausaktivität im Effekt so viel höher.

Im Unterschied zu diesem Modell-Treibhaus findet der atmosphärische Treibhauseffekt nicht irgendwo „oben“ statt, sondern überall in der Lufthülle. Da der Luftdruck am Boden am höchsten ist und die Gase hier am dichtesten, ist die Erwärmung hier auch am stärksten.

Klimawirksame Gase schließen die offenen Fenster im Treibhaus

Wenn du dir die Erde als Treibhaus vorstellst, ähnlich wie ein Glashaus bei einer Gärtnerei, dann kannst du dir klar machen, was es bedeutet, wenn zusätzliche Treibhausgase in die Atmosphäre entlassen werden. Die Wände und das Dach des Treibhauses Erde werden von den natürlichen Treibhausgasen gebildet, vom Kohlendioxid, vom Wasserdampf, von dem in Spuren vorhandenen Gasen Methan, Lachgas und Ozon.



Treibhäuser wie das abgebildete gibt es gelegentlich in Blumenläden zu kaufen. Mit einem solchen Miniaturtreibhaus könnt ihr selbst Experimente durchführen, z.B. indem ihr das Glashaus einmal mit geöffneten, dann mit geschlossenen Fenstern mit einer IR-Lampe bestrahlt.

Aufgaben:

- 1) Was bedeutet es in diesem Modell, wenn der Gehalt an Kohlendioxid in der Atmosphäre steigt, z.B. – durch Verbrennung von Erdölprodukten in Motoren?
 - durch Verbrennung von Kohle oder Gas in Kraftwerken zur Stromerzeugung?
 - oder bei der Heizung von Wohnungen und Häusern?
 - oder bei industriellen Prozessen wie bei der Herstellung von Eisen und Stahl?
- 2) Was bedeutet es in diesem Modell, wenn Gase wie Kohlenwasserstoffe oder FCKWs zusätzlich in großen Mengen in die Atmosphäre entlassen werden?
 Dazu mußt du wissen, daß jedes dieser Gase besonders effektiv in einem anderen Bereich Strahlung absorbiert und in Wärme umwandeln kann.
- 3) Wenn du diese Fragen beantwortet hast, kannst du auch erklären, warum die FCKWs besonders effektive Treibhausgase sind.

Puzzle „Fenster zum All“

– Herstellungshinweise für LehrerInnen –

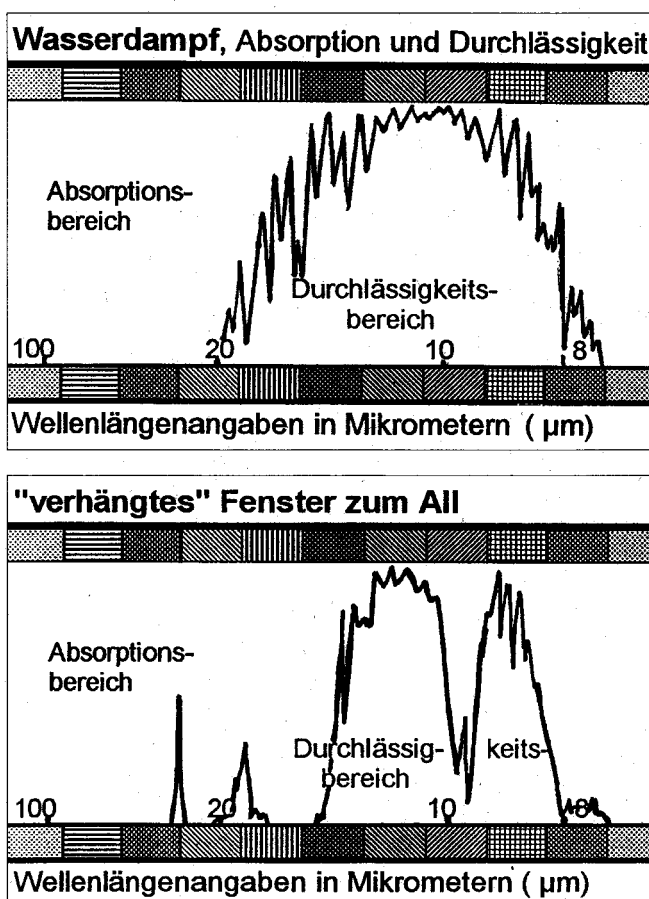
Spielidee: Mit diesem Puzzle kann handlungsorientiert der Treibhauseffekt der einzelnen Atmosphärgase erarbeitet werden. Wegen des hohen Abstraktionsgrades der Grafik empfiehlt sich dieses Material für die Jahrgänge 10 bis 13. Als „Puzzle-Brett“ dient die Grafik zur Wasserdampfabsorption und -durchlässigkeit (obere Grafik). Die SchülerInnen belegen ihr Puzzle-Brett schrittweise gemäß der Anleitung mit den Puzzleteilen und bearbeiten parallel ihr Arbeitsblatt. Mithilfe der Schraffierungsleisten erfolgt die Zuordnung der Puzzleteile in den jeweiligen Wellenlängenbereich. Nach erfolgter Bearbeitung wird der natürliche Treibhauseffekt offensichtlich und darüberhinaus erkennbar, daß Durchlässigkeitsbereiche in der Wasserdampfabsorptionskurve durch anthropogen angereicherte Treibhausgase „verhängt“ und Bereiche der Wasserdampfabsorption zusätzliche Absorption zeigen (untere Grafik). Beide Effekte mindern die Abstrahlung langwelliger Energie in den Weltraum: So schließt sich das Fenster zum All mehr und mehr mit Zunahme der genannten Treibhausgase.

Material- und Zeitbedarf: Gruppenarbeit für 2-3 Schüler (1 komplettes Puzzle, 1 Anleitung sowie für jeden Schüler das Arbeitsblatt): Sind die Puzzleteile bereits vorbereitet, brauchen die Schüler zur Bearbeitung des Puzzles mit der Anleitung (Infoblatt) und dem Arbeitsblatt sowie anschließender gemeinsamer Besprechung eine Einzelstunde.

Einzelarbeit: Stellen sich die SchülerInnen das Puzzle selbst im Unterricht her, werden für das Ausschneiden und Colorieren der Absorptionskurven ca. 20 min benötigt. Diese Arbeit ließe sich auch gut als vorbereitende Hausaufgabe stellen.

Vorbereitung: Die Kopiervorlage der Graphiken (Arbeitsblatt *Bastelanleitung*) am Kopierer auf anschauliche Größe vergrößern, bei Einzelarbeit in SchülerInnenanzahl, bei Gruppenarbeit in Anzahl der Gruppen. Infoblatt *Anleitung* vervielfältigen, bei Einzelarbeit in SchülerInnenanzahl, bei Gruppenarbeit in Anzahl der Gruppen.

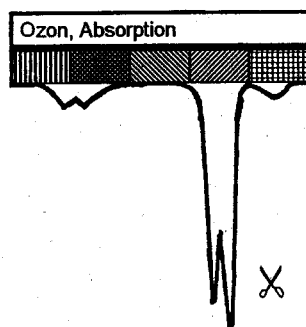
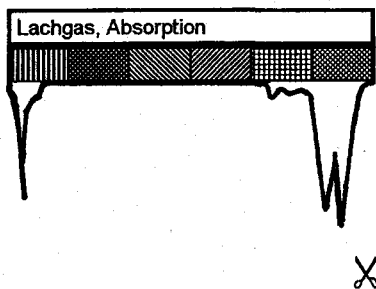
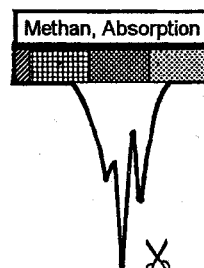
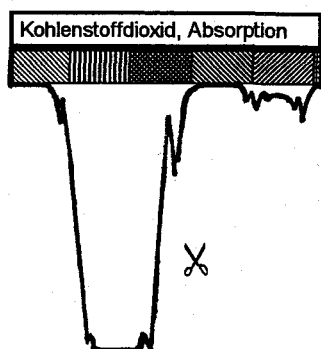
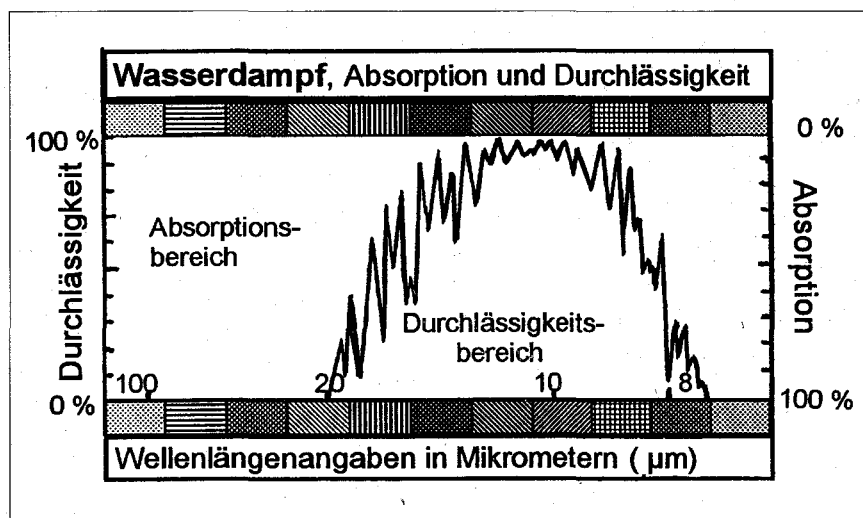
SchülerInnen-Arbeitsblatt in entsprechender SchülerInnenanzahl vervielfältigen.



Puzzle „Fenster zum All“

– Bastelanleitung für die SchülerInnen –

1. Die Ausgangsgrafik dient als „Puzzlebrett“. Der Absorptionsbereich des Wasserdampfes sollte blau ausgemalt werden.
2. „Puzzleteile“ mit Leiste, Schrift und Absorptionsbereich in jeweils einem Stück ausschneiden, Absorptionsbereich verschiedenfarbig ausmalen.
3. Alle Absorptionskurven werden an der oberen Schraffierungsleiste der Ausgangsgrafik zugeordnet.
Ausnahme: FCKW wird an der unteren Leiste angelegt. Die schwarzen Markierungsspitzen deuten an, wo FCKW-Moleküle prinzipiell absorbieren. Ihr Gehalt in der Luft ist jedoch sehr gering.
4. Du brauchst nun eine Anleitung (Infoblatt) und ein Arbeitsblatt, um mit dem Puzzle zu arbeiten.



Das Fenster zum All

– Anleitung zum „Puzzle“ –

... so könnte man dieses „Puzzle“ nennen. Hierbei geht es um die Bedeutung der Atmosphäre für den Planeten Erde.

Gäbe es keine Atmosphäre um unsere Erde herum, würde die auf die Erdoberfläche auftreffende Sonnenenergie vollständig reflektiert werden. Auch die Eigenwärme der Erde würde vollständig in den Weltraum abgegeben werden. Die Folge: die Erdtemperatur würde im Jahresmittel -18°C betragen. Unter diesen Bedingungen hätte sich kein Leben entwickeln können.

Daß es auf unserer Erde im Jahresmittel aber $+15^{\circ}\text{C}$ warm ist, verdanken wir der Wasserdampf-Atmosphäre. Ein Teil der Strahlung, die die Erdoberfläche verläßt, wird von den Wassermolekülen absorbiert (aufgenommen), und so im Bereich der Erde festgehalten. Dies gilt bis in eine mittlere Höhe von 15 km. Diese Schicht um die Erdkugel hat daher den Namen Troposphäre erhalten.

→ Arbeitsblatt: Aufgabe 1

Würden die Wassermoleküle in der dargestellten Grafik im gesamten Strahlungsbereich absorbieren, wäre die Jahresmitteltemperatur sehr viel höher als 15°C . In der Grafik stellt der blau gemalte Bereich den Absorptionsbereich des Wassers dar. Die freie weiße Fläche bedeutet Durchlässigkeit für diesen Strahlungsbereich. Es tritt also Energie in diesem Bereich ins All aus.

→ Arbeitsblatt: Aufgabe 2

Der Strahlungsbereich, in dem keine Energie vom Wasser aufgenommen wird, bezeichnet man als „Fenster zum All“. Energie bestimmter Wellenlänge kann also in den Weltraum abgegeben werden und verhindert, daß die Erde ein überhitztes Treibhaus ist.

→ Arbeitsblatt: Aufgabe 3

Aber auch andere Gase in der Erdatmosphäre absorbieren langwellige Strahlungsenergie:

1. Nimm das „Puzzleteil“ Kohlendioxid (CO_2) und suche durch Vergleichen mit der schraffierten Leiste den Absorptionsbereich des Kohlendioxids auf.

→ Arbeitsblatt: Aufgabe 4

2. Nimm das „Puzzleteil“ Methan (CH_4) und verfahre ebenso!

3. Nimm das „Puzzleteil“ Lachgas (N_2O) und verfahre ebenso!

→ Arbeitsblatt: Aufgabe 4

Alle drei Atmosphäregase sind natürlicherweise vorhanden und tragen zum Treibhauseffekt bei.

4. Nimm nun das „Puzzleteil Ozon“ und verfahre wie zuvor!

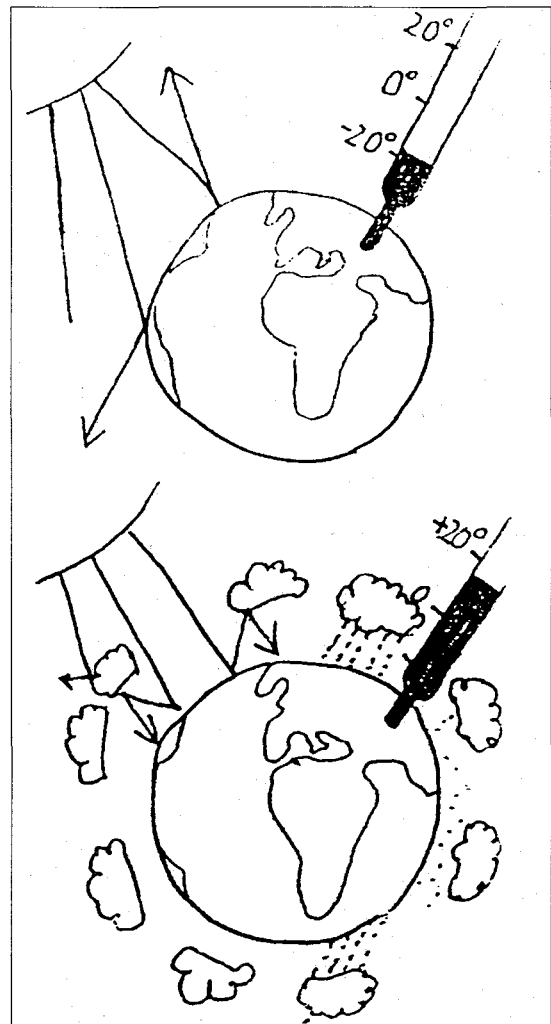
5. Nimm als letztes das „Puzzleteil“ FCKW!

→ Arbeitsblatt: Aufgabe 5

Ozon und FCKW sind „moderne“ Treibhausgase. Der mengenmäßige Anteil von FCKW-Molekülen in der Atmosphäre ist sehr gering. Daher markiert das Puzzleteil lediglich durch die dunklen Spitzen, wo der Absorptionsort dieser Moleküle liegt. Die Wirkung eines solchen FCKW-Moleküls als Treibhausgas ist allerdings 10000 mal so groß wie von Kohlendioxid.

Durch Verbrennung fossiler Energieträger, Brandrodung, Mülldeponien, Reisanbau und Rinderzucht werden weltweit die Anteile der natürlichen Spurengase weiter erhöht.

→ Arbeitsblatt: Aufgabe 6



„Puzzle“ Fenster zum All

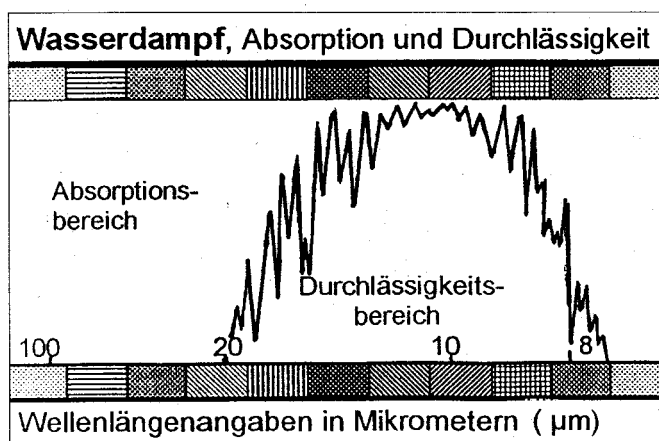
– Schülerarbeitsblatt –

1. Die Wasserdampfatosphäre der Erde erhöht die mittlere Erdtemperatur um _____ °C.
2. Der Wellenlängenbereich im Puzzle zeigt die Maßeinheit mm, $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$! Beurteile mit Hilfe des Energiebandes, welcher Strahlenbereich vom Wasser absorbiert wird. Wähle dazu als Bezugspunkt der Wasserabsorption $100 \mu\text{m}$. (Für eine evtl. Umrechnung hast du auf der Rückseite Platz.)
Ergebnis: Wasser absorbiert im _____ Strahlungsbereich.
3. In welchem Wellenlängenbereich absorbiert das Wasser nicht? (Hier darfst du schätzen, weil die logarithmische Skala schwierig abzulesen ist.) _____ bis _____ mm Wellenlänge. Dies wird als das Strahlungsfenster zum All bezeichnet.
4. Trage in die Tabelle den Absorptionsbereich des jeweiligen Gases ein!

Art des Gases	Gas absorbiert ... ca. im Wellen- längenbereich in μm	Gas absorbiert ... im Bereich der Wasserabsorption ja/nein	Gas absorbiert ... im Bereich des Strahlungsfensters ja/nein

5. Ergänze wie bei 4! Skizziere unten in der Grafik, wieviel des ursprünglichen Strahlungsfensters zum All „verhängt“ worden ist!
6. Die Treibhauswirkung der Spurengase kann in der Vorstellung eines Glashauses verglichen werden mit einer zusätzlichen „Isolierung“ (z.B. Doppelverglasung), wenn das betrachtete Gas ebenfalls im Absorptionsbereich des Wassers absorbiert, mit einem „Fenster schließen“, wenn die Absorption im Bereich des Wasserfensters liegt.

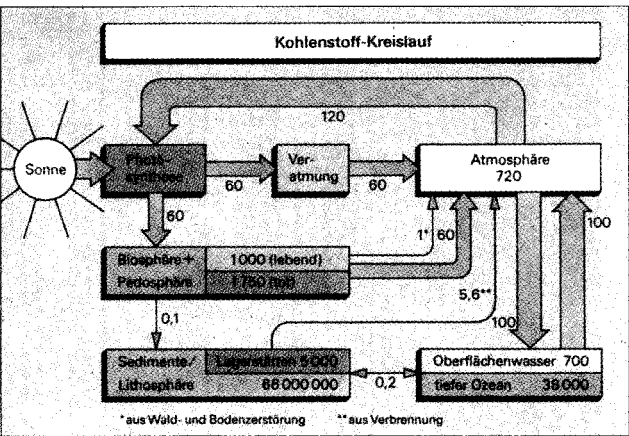
Beurteile mit dieser modellhaften Vorstellung die unterschiedliche Treibhauswirkung der jeweiligen Gase mit Hilfe der Tabelle!



Der Kohlenstoff-Kohlendioxid-Kreislauf

Angetrieben von der Kraft der Sonne werden jedes Jahr 120 Milliarden Tonnen Kohlenstoff in beiden Richtungen zwischen Atmosphäre und Biosphäre ausgetauscht:

- durch Photosynthese werden etwa 120 Mrd. t Kohlenstoff als Biomasse gebunden: Blätter, Nadeln, Zweige, Äste, Stämme von Bäumen, Gräser und Nutzpflanzen, Algen in Flüssen und Plankton in den Weltmeeren;
- etwa die gleiche Menge Kohlenstoff wird aus Biomasse wieder zu Kohlendioxid umgewandelt: durch Atmung von Tieren und Pflanzen, durch Abbau von (toter) Biomasse durch Mikroorganismen und andere Prozesse.



Nur eine vergleichsweise sehr geringe Menge von gebundenem Kohlenstoff wird „stillgelegt“: Durch Absinken in die Tiefen des Ozeans und durch Bildung von Kalk werden etwa 100 Millionen Kohlenstoff jährlich aus dem Kreislauf entfernt. Auf ähnliche Weise entstanden während Jahrtausenden die heute genutzten Reserven von fossilen Brennstoffen: Kohle, Erdöl, Erdgas.

Ausgeglichen ist auch der Austausch von Kohlendioxid zwischen Atmosphäre und Meeresoberfläche: ca. 100 Milliarden Tonnen werden im Wasser der Weltmeere gelöst und ebensoviel wieder freigesetzt.

Kohlenstoff-Kreislauf

Aufgaben:

1) In der Abbildung ist auch eingetragen, wie groß der Gesamtgehalt an Kohlenstoff und Kohlenstoffverbindungen in den unterschiedlichen Sphären ist. Entnimm die Zahlen und vervollständige die Tabelle:

Atmosphäre	Milliarden Tonnen Kohlenstoff als CO ₂
Biosphäre+Pedosphäre	Milliarden Tonnen Kohlenstoff als Biomasse
Lagerstätten	Milliarden Tonnen Kohlenstoff als Öl, Kohle, Gas
Oberflächenwasser	Milliarden Tonnen Kohlenstoff als gelöstes CO ₂
tiefer Ozean	Milliarden Tonnen Kohlenstoff als gelöstes CO ₂

- Außerdem siehst du in der Abbildung zwei schwächere Pfeile. Sie kennzeichnen, woher Kohlendioxid aus menschlichen Aktivitäten kommt und wieviel dies im Vergleich ausmacht: Durch Verbrennungsvorgänge werden jährlich 5,6 Milliarden Tonnen Kohlenstoff zusätzlich in CO₂ umgewandelt und in die Atmosphäre entlassen, durch Wald- und Bodenzerstörung kommen nochmals 100 Millionen Tonnen Kohlenstoff hinzu.
- Die vom Menschen freigesetzten Mengen erscheinen auf den ersten Blick sehr gering. Die Rechnung zeigt, daß diese Emissionen bereits nach wenigen Jahren die Verhältnisse deutlich verändern.
- Berechne: Angenommen, alle durch Verbrennung als CO₂ freigesetzter Kohlenstoff bliebe in der Luft (tatsächlich verschwindet ein Teil davon in den Meeren):
 - um wieviele Mrd. Tonnen hätte der CO₂-Gehalt der Atmosphäre nach 10 Jahren, nach 50 Jahren, nach 100 Jahren zugenommen?
 - wieviele Prozent sind das bezogen auf den heutigen Gehalt?
 - was würde es bedeuten, wenn alle fossilen Rohstoffe aus den Lagerstätten verbrannt werden könnten?

Experimente zum Kohlenstoffkreislauf

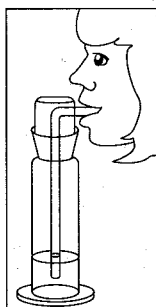
Die hier beschriebenen Experimente zeigen, wo Kohlenstoff gebunden und wo Kohlendioxid freigesetzt wird.

Führt die Versuche durch und ordnet sie dem Schema des Kohlenstoff-Kohlendioxid-Kreislaufs zu.

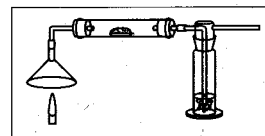
Kohlendioxid in der Atemluft

Fülle Kalkwasser in eine Waschflasche und puste deinen Atem mehrmals durch die Lösung.

Was beobachtest du?
Was hat sich hier gebildet?
Worauf weist dieser Nachweis hin?



Kohlendioxid aus Verbrennung von Gas



Fülle Kalkwasser in eine Waschflasche, schließe das kurze Glasrohr an eine Wasserstrahlpumpe an.

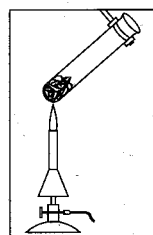
An der anderen Seite der Waschflasche befestigst du einen Schlauch und einen Trichter. Entzünde ein Gasfeuerzeug und sauge die Verbrennungsgase durch das Kalkwasser.

Kohlendioxid aus fossilen Brennstoffen

In einer Glasschale entzündest du einige Tropfen Benzin. Die Verbrennungsgase leitest du durch eine Waschflasche, in der sich Kalkwasser befindet (siehe Versuch mit dem Feuerzeug). Zum Durchsaugen schließt du die Waschflasche an eine Wasserstrahlpumpe an.

Biomasse enthält Kohlenstoff

Etwas Mehl, Brot, Blätter, Holz oder andere gewachsene Materialien werden in ein Reagenzglas gefüllt und über der Flamme eines Bunsenbrenners erhitzt. (möglichst unter einem Abzug durchführen).



Was kannst du beobachten?
Wie können die Beobachtungen gedeutet werden?

Tiere atmen – auch im Wasser

In ein großes Reagenzglas wird Wasser eingefüllt. Das Wasser wird mit einigen Tropfen Indikatorlösung (Bromthymolblau) versetzt. Wenn du jetzt Atemluft mit einem Strohhalm durchbläst, färbt sich der Indikator wegen des jetzt vorhandenen Kohlendioxids gelb.

Jetzt wird ein Sproß Wasserpest hineingelegt und das Glas zwei Tage an einem sonnigen Ort aufgestellt.

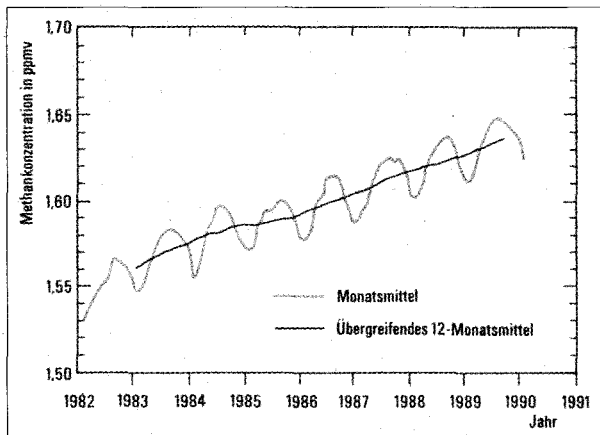
Was kannst du beobachten? Wie ist das Wasser jetzt gefärbt? Beachte: Wasser mit CO_2 („Kohlensäure“) ist sauer und färbt den Indikator gelb. Wasser ohne Kohlensäure ist neutral und färbt Bromthymolblau blaugrün.

Biomasse bildet sich – meßbar

Kressesamen werden auf ein feuchtes Taschentuch gegeben und keimen gelassen. Die Sprossen werden nach einer bzw. in einem parallel durchgeführten Versuch nach zwei Wochen abgeerntet, leicht getrocknet und gewogen.

Vergleiche das Gewicht der zuvor gewogenen Samen mit dem Erntegewicht der Pflänzchen.

Tendenz steigend: Der Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre



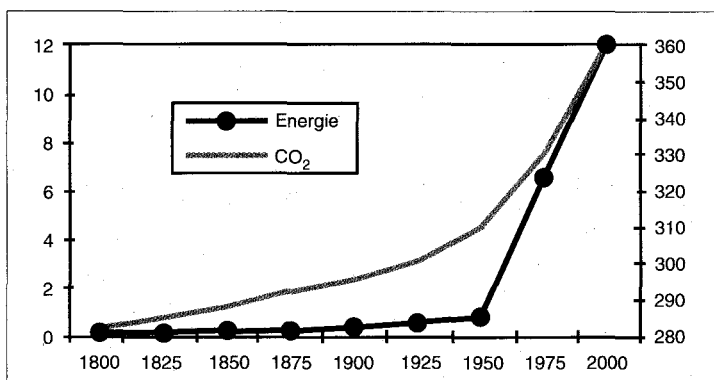
Regelmäßige Messungen der CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre zeigen eine deutliche Zunahme.

Aufgaben:

1. Was sagt diese Graphik über die Kohlendioxid-Konzentration aus?
2. Welche Erklärung gibt es für den (regelmäßigen) Zickzack-Verlauf der Kohlendioxid-Konzentration?
3. Wie würde die Kurve für Messungen auf der Nordhalbkugel der Erde aussehen (die Messungen für die abgebildete Graphik stammen aus Südafrika, also von der Südhalbkugel)?

Durch Untersuchungen von Eis-Proben von Nord- und Südpol konnten die Klimaforscher berechnen, wie hoch die CO_2 -Konzentration zu früheren Zeiten gewesen ist. Die Abbildung unten zeigt den Verlauf von 1800 bis heute.

Zum Vergleich ist die Entwicklung des Energieverbrauchs eingezeichnet.



CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre und Energieverbrauch.

Aufgaben:

1. Welcher Zusammenhang zwischen Zunahme der CO_2 -Konzentration und dem Energieverbrauch ist zu erkennen?
2. Ordne der Energie-Kurve Ereignisse zu, die erklären können, wie es zur anschließenden Steigerung des Verbrauchs kam.

Daß die Konzentration von Kohlendioxid in der Atmosphäre „nur“ von vorindustriell 280 ppm auf heute ca. 350 bis 360 ppm angestiegen ist, hängt damit zusammen, daß die Ozeane etwa die Hälfte der jeweiligen Jahresemissionen aufgenommen haben, physikalisch im Wasser gelöst oder gebunden in der Biomasse.

Rucksäcke voll Treibhausgas – und was davon eingespart werden könnte

Ob jemand mit dem Auto zur Arbeit fährt, ob ein LKW Äpfel aus Italien bringt, ob eine Familie in den Urlaub fährt oder fliegt - jeder mit einem PKW, LKW oder Flugzeug zurückgelegte Kilometer produziert eine bestimmte Menge Kohlendioxid.

Wieviel, das hängt ab

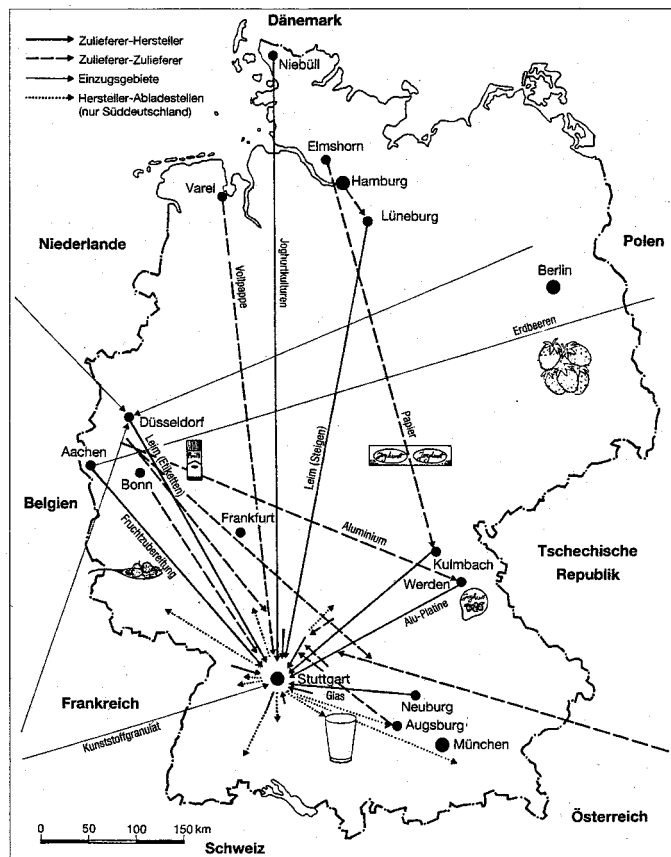
- vom Benzin- oder Dieselverbrauch
- von der Zuladung bzw. Auslastung des Fahrzeugs
- von einer Reihe weiterer Umstände (z.B. sind Kurzstreckenflüge ungünstiger als längere).

Aus der Verbrennungsgleichung für die Reaktion von einem Treibstoff wie Oktan mit dem Sauerstoff der Luft lässt sich berechnen, daß:

aus 1 Liter Benzin ca. 2,6 kg Kohlendioxid entstehen, das sind bei Normalbedingungen ca. 1300 Liter gasförmiges CO₂!

Überflüssige Vielfahrer?

Weil manche Produkte in bestimmten Ländern billiger einzukaufen sind als im eigenen Land, werden große Mengen von Waren kreuz und quer durch Europa – und darüber hinaus transportiert. Das Beispiel zeigt, wie es beim Fruchtjoghurt eines bestimmten Herstellers um 1991/2 ausgesehen hat – viel davon hat sich bis heute nicht geändert!



Aufgaben:

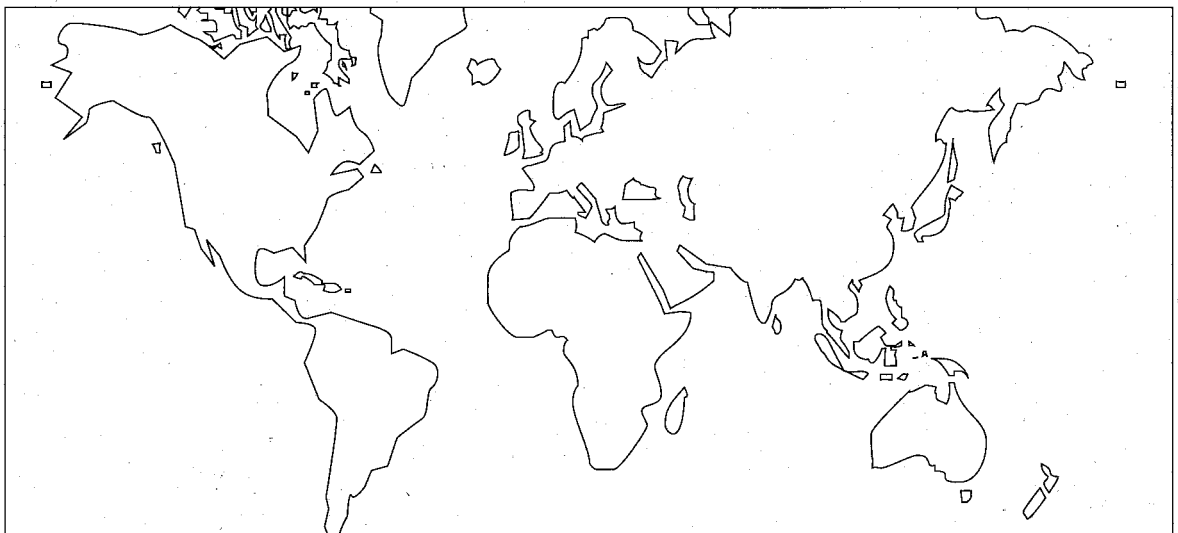
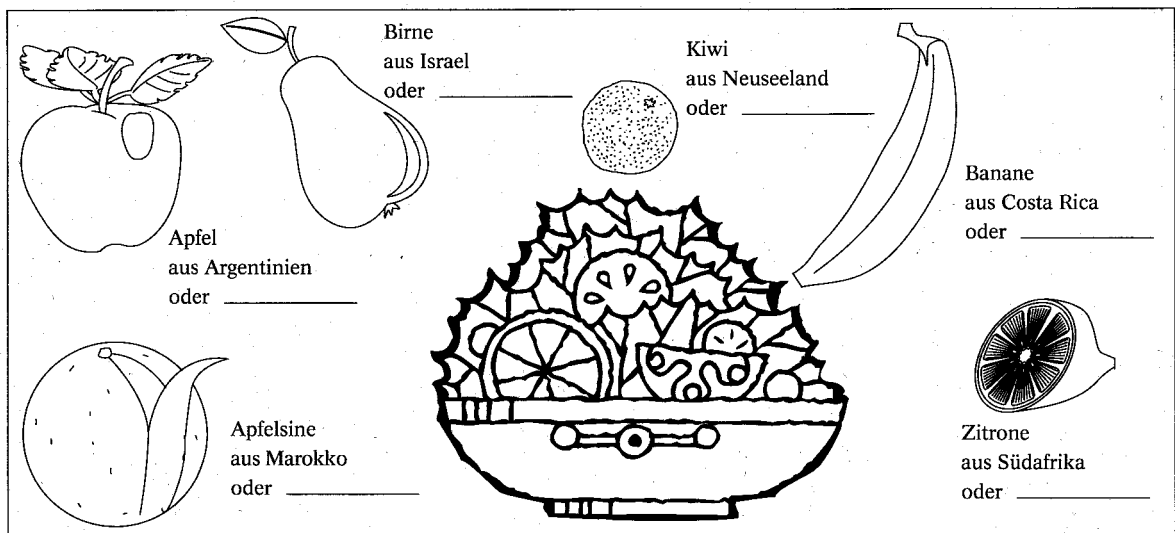
1. Berechne, wieviel CO₂ für eine Lastwagenladung Fruchtjoghurt freigesetzt wird!
Finde heraus, wieviel CO₂ für einen einzelnen Becher entsteht! Fülle einen Plastiksack mit der entsprechenden Menge Luft! (zu deiner Information: ein LKW verbraucht ca. 35 l Dieselkraftstoff für 100 km; erkundige dich, wieviel Fracht ein 34-Tonner in der Regel zuladen kann)
2. Wieviel CO₂ läßt sich einsparen, wenn:
 - die kurzen Wege zum Kiosk, zur Schule, in die Innenstadt, zum Sportplatz nicht mit dem Auto, sondern mit Fahrrad oder zu Fuß zurückgelegt werden? Gehe von einem Durchschnittsverbrauch von 8 Litern Benzin im Stadtverkehr aus!
 - wenn ein PKW bei der Fahrt zur Arbeitsstelle nicht mit einer, sondern mit drei Personen (Fahrgemeinschaft) besetzt ist. Gehe hier von einer Entfernung von 10 km aus, die täglich hin und zurück gefahren werden müssen. Wie groß ist die Ersparnis bei 230 Arbeitstagen im Jahr?
 - wenn eine Familie an Stelle von zwei kürzeren Urlaubsaufenthalten – z.B. in Österreich – einen längeren einplant und so einmal die Hin- und Rückfahrt einspart? Versuche, das Ergebnis für eine Entfernung von 200, 500, 1000 Kilometern bzw. für die Strecke zwischen deinem Wohnort und einem eurer bisherigen Urlaubsziele in CO₂ pro Person auszurechnen und zu veranschaulichen!

Obstsalat

Heute gibt es Obstsalat als Dessert. Nichts ist einfacher als dies, denn das Obstangebot ist das ganze Jahr über vielfältig.

Erkunde Dich in Deinem Laden, aus welchem Land die oben gezeichneten Früchte stammen und wieviel sie kosten. Zeichne in die Weltkarte das Herkunftsland ein und überlege den Seehandelsweg für diese Früchte. Nimm einen Atlas zuhelfe. Trage die Transportwege in die Karte ein.

Jeder Transport verursacht zusätzlich durch die Verbrennung von Dieselöl einen Ausstoß an Kohlendioxid. Je länger die Wege sind, desto mehr Kohlendioxid wird in die Atmosphäre abgegeben. Darum überlege:



Aufgaben:

1. Was kosten Früchte aus der Nahregion, aus Deutschland und aus der EU?
2. Wie erklärst Du ihren Preis?
3. Was hältst Du von der Idee, Obst und Gemüse möglichst nur aus unserem Saisonangebot zu essen?

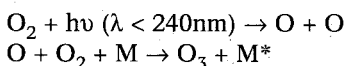
3. Schutzschild der Erde

Sachinformationen

Die Erde hat eine Sonnenbrille – dank Ozon in der Stratosphäre

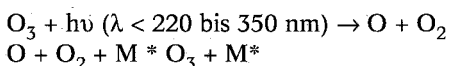
Gegen zu starke Sonnenstrahlung schützen wir uns an heißen Sommertagen oder auch in schneebedeckten Bergen mit einer Sonnenbrille. Sie absorbiert einen Teil der für uns sichtbaren Strahlung, mindert also zum einen die Lichtintensität, und filtert darüberhinaus den für unsere Netzhaut zu energiereichen UV-Anteil der Strahlung. Eine ähnliche Leistung vollbringt die Stratosphäre mit den beteiligten Gasen Sauerstoff und Ozon, die vor allem UV-Strahlung (UV-A: 320 bis 400 nm, UV-B: 280 bis 320 nm und UV-C: 200 bis 280 nm) absorbieren. Diese Vorgänge seien – auch unter Berücksichtigung der historischen Erkenntnis – im folgenden erläutert.

Seit 1930 ist die Bildung und Spaltung des stratosphärischen Ozons durch die Berechnungen Sidney Chapmans bekannt. Chapman ging davon aus, daß energiereiche Strahlung ($\lambda < 240\text{nm}$) die Bindung zwischen den Sauerstoffatomen im Sauerstoffmolekül spaltet und dabei freie Sauerstoffatome entstehen können. Ein solches reaktionsfreudiges Sauerstoffatom bildet beim Zusammenstoß mit einem Sauerstoffmolekül ein dreiatomiges Molekül: das Ozonmolekül.



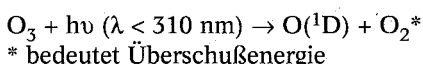
Die dabei freiwerdende Energie wird auf ein anderes Gasteilchen, zumeist Stickstoff, übertragen, wodurch sich dessen kinetische Energie (M^*) erhöht. Mit der ersten Reaktion wird UV-C-Strahlung absorbiert.

Im Bereich 220 bis 350 nm sowie zwischen 400 und 800 nm absorbiert das gebildete Ozon selbst Strahlungsenergie. Die Energiebeträge beider Wellenlängenbereiche reichen aus, das Ozon wieder zerfallen zu lassen. Das dabei entstehende Sauerstoffatom kann in der Folge wieder mit einem Sauerstoffmolekül zu Ozon reagieren.



Spaltung und Neubildung des Ozons laufen in einem Kreisprozeß fortwährend ab. Dabei wird die ultraviolette Strahlung des UV-C und B-Bereichs absorbiert mit dem zusätzlichen Effekt, daß sich die Temperatur der Stratosphäre erhöht.

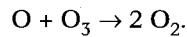
Erwähnt sei noch ein Sonderfall der Fotodissoziation des Ozons:



Das $\text{O}(^1\text{D})$ ist ein metastabiles, energiereicheres Sauerstoffatom, welches andere Stoßreaktionen auslösen kann. Sie werden in der Folge noch von Bedeutung sein.

Nach und nach würde sich auf diese Weise der molekulare Sauerstoffgehalt der Stratosphäre vermindern, wenn es nicht auch eine Stoppreaktion dieses Kreisprozesses

gäbe. Chapman ortete sie in großer Höhe. In 25 bis 30 km Höhe, wo der Ozongehalt besonders hoch ist, führt nach heutiger Kenntnis jeder 100 000ste Stoß wieder zur Neubildung von Sauerstoff:



In späteren Jahren – 1950 durch Bates und Nicolet (HOx -Radikale) und 1969 durch Crutzen und Johnston (NOx)-kamen weitere reaktive Substanzen ins gedankliche Spiel, welche wiederum Ozon abbauende Reaktionen aufzeigten und damit erklärten, warum der Ozongehalt in 30 km Höhe 10 ppm nicht übersteigt.¹

Die Ozonschicht: wohl eher ein Schleier

Der Begriff der Ozonschicht läßt zwangsläufig das Bild einer dichten Packung von Ozonmolekülen aufkommen. Diese Vorstellung ist falsch.

Im Hinblick auf den mit steigender Höhe geringer werdenden Luftdruck ist die Zahl der Gasteilchen pro Volumeneinheit 10 bis 100 mal niedriger als auf der Erde. Zudem beträgt der Anteil der Ozonmoleküle an der Gesamtzahl der Gasteilchen lediglich 3 ppm (20 km Höhe) bis 10 ppm (30 km Höhe). Ein solcher Wert von 3 ppm bedeutet, daß bei einer betrachteten Anzahl von 1 Million Teilchen (parts per million) 3 davon Ozonteilchen sind. Somit ist die Vorstellung vom stratosphärischen Ozonschleier sicherlich zutreffender.

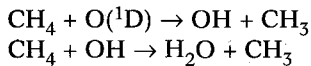
Ende der zwanziger Jahre bestimmte Dobson spektrometrisch über die Absorption von Ozon im Wellenlängenbereich 300 bis 330 nm die Dichte des Ozons in der Stratosphäre. Er prägte die noch heutige gültige Einheit *Dobson Unit* (DU). Bringt man alle Ozonmoleküle in einer betrachteten Luftsäule, z.B. in einer Höhe von 18 – 22 km mit einer Querschnittsfläche von 1 cm^2 zusammen und rechnet sie auf die Druckbedingungen am Boden um, dann bedeutet ein Wert von 300 DU eine 3 mm starke „Ozon-Schicht“.

Diese „Schicht“ unterliegt zum einen jahreszeitlichen Schwankungen, zum anderen ist sie von ihrer geographischen Lage abhängig. Man geht davon aus, daß eine Schicht von 300 *Dobson* als UV-Filter für die Erde noch ausreicht, ein Abfall unter 200 *Dobson* ist als bedrohlich zu bewerten.

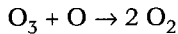
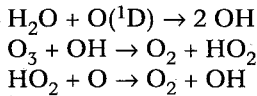
Langsam, aber stetig: der Aufstieg anderer Gase in die Stratosphäre

Die Troposphäre enthält außer den typischen Luftbestandteilen weitere treibhausrelevante Gase (siehe Kapitel 2). Sie steigen mit Ausnahme des Wassers, welches wegen Kondensation und Gefrieren die tiefen Temperaturen der Tropopause nicht überwinden kann, kontinuierlich höher und erreichen die Stratosphäre. Hier sind sie reaktiven Radikalen bzw. der energiereichen UV-Strahlung ausgesetzt und erlangen indirekt ein zweites Mal klimarelevante Bedeutung.

Das Methan beispielsweise bildet beim Zusammenstoß mit dem energiereichen $O(^1D)$ -Atom zwei reaktive Radikale.

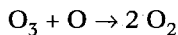
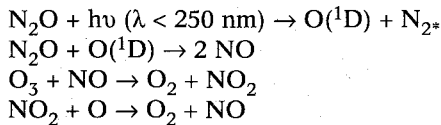


So „verbrennt“ zum einen Methan sukzessive, zum andern bildet sich Wasser, aus dem in der Folge hochreaktive Hydroxyl-Radikale entstehen, die letztendlich die Spaltung des Ozons katalysieren.



Das Hydroxyl-Radikal geht unverbraucht aus der Reaktion hervor. Nun muß vermutet werden, daß bei Zunahme des Treibhausgases Methan und sein allmählicher Aufstieg in die Stratosphäre die eben genannten Ozon abbauenden Reaktionen über die Häufung des OH-Katalysators vermehrt ablaufen können. Ein solcher Abbau dünnt -unabhängig von den Polen- die Ozonschicht aus.

Auch Lachgas (N_2O), als Treibhausgas in der Troposphäre bereits bekannt, löst in der Stratosphäre einen Ozonabbau aus.



Die Kenntnis dieser Reaktion von Crutzen (Nobel-Preis 1995) und Johnston erklärt die Ozon-Meßdaten heutiger Messungen, die Chapman zu seiner Zeit noch zu hoch berechnet hatte. Bei Anreicherung dieses Deponiegases in der Stratosphäre könnte wiederum der Ozon-Abbau verstärkt werden.

Weitaus eindeutiger in ihrer Wirkung, Ozon abzubauen, sind die Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW), die seit nunmehr 30 Jahren langsam, aber stetig in der Atmosphäre aufsteigen. Vom reaktionsträgen Gas auf der Erde entwickelt sich ein solches chlorhaltiges Kohlenwasserstoffmolekül in der Stratosphäre angesichts der UV-Strahlung zum Ozon-Killer Nr. 1!

Der Ozon-Schleier bekommt Löcher

Dabei fing alles ganz harmlos an! 1928 hatte Thomas Midgley vom Automobilkonzern General Motors zwei neue fluor- und chlorhaltige Methan-Derivate hergestellt: Freon 11 ($CFCl_3$) und Freon 12 (CF_2Cl_2). Sie traten später einen wahren Siegeszug durch zahlreiche technische Bereiche an. Der Erfolg dieser Chemikalien beruhte auf ihren rundum positiven Eigenschaften: Sie waren ungiftig beim Einatmen, absolut reaktionsträge in Gegenwart anderer Stoffe, nicht brennbar. Fanden diese Stoffe zunächst als Kühlmittel für Klimaanlage und Kühlschränke Verwendung, erweiterten sich nach und nach ihre Einsatzmöglichkeiten. So dienten sie als Treibgas in der inzwischen erfundenen Spraydose, wirkten als

Aufschäummittel für Kunststoffe, als Putzmittel für die Elektronikindustrie. Damit eroberten sich die Freon-Zwillinge sowie weitere chemisch verwandte Stoffe viele Bereiche des modernen Lebens.

1972 wurden diese Substanzen erstmalig in der Stratosphäre entdeckt. Im amerikanischen Chemiker Sherwood Rowland keimte Mißtrauen auf: Unvorstellbar war für ihn der Gedanke, daß die auf der Erde ach so reaktionsträgen Verbindungen plötzlich dem Bombardement der kosmischen Strahlen ausgesetzt waren! Die düsteren Vorahnungen bestätigten sich in Experimenten. 1974 veröffentlichten Rowland und sein Mitarbeiter Mario Molina ihre Erkenntnisse: Freone werden durch energiereiche UV-Strahlung unter Bildung hochreaktiver Chlorradikale gespalten. Diese zerstören die Ozonmoleküle in der Stratosphäre, wodurch mehr UV-Strahlung die Erdoberfläche erreichen kann.

Die chemische Industrie redete von Panikmache, die nordamerikanische Bevölkerung geriet in Panik. Sie boykottierte die Spraydose mit dem brisanten Treibmittel. 1978 wurden Freone als Treibmittel für Spraydosen in den USA und in Kanada verboten. Die übrige Welt wirtschaftete weiter wie bisher.

Währenddessen stellten britische Antarktisforscher in der Halley-Bucht abnehmende Ozonkonzentrationen fest. Anfangs hielten sie sie für einen Meßfehler, und erst 1984 wurde laut über schwindende Ozonkonzentrationen über der Antarktis gesprochen. Rowland: „Ein Loch in der Atmosphäre, das man vom Planeten Mars aus erkennen könnte.“²

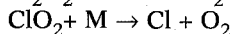
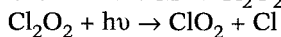
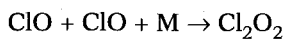
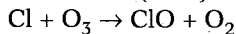
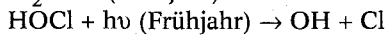
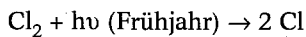
Inzwischen zeigen sich Veränderungen in der Stratosphäre nahezu global. Zusammengefaßt gilt:

1. Das antarktische Ozonloch hat an Stärke und Umfang seit seiner Entdeckung zugenommen. Es ist eine saisonale Erscheinung, die besonders im antarktischen Frühling (September bis November) in einer Höhe von 14 bis 22 km auftritt. Im Oktober 1995 wurde ein neuer Tiefstwert von 130 Dobson verzeichnet. Dies entspricht einer Ozonminderung von 60% gegenüber dem langjährigen Mittel der Ozonsäule zu dieser Jahreszeit vor Mitte der 70er Jahre.
2. Unabhängig von den Jahreszeiten vermindert sich die Ozonkonzentration in mittleren Breiten der Südhemisphäre in 10 Jahren um 7%.
3. Keine signifikanten Veränderungen werden für die tropischen Breiten (25 Grad Nord bis 25 Grad Süd) festgestellt.
4. Die stärksten Ozonverluste für die Nordhemisphäre bestehen im Winter und Frühjahr, geringere, dennoch signifikante Verminderungen in der übrigen Zeit.
5. In den 80er und 90er Jahren haben sich diese Trends auch für die mittleren Breiten der Nordhemisphäre bestätigt.
6. Insgesamt unterliegt die Südhemisphäre einem stärkeren Ozonverlust als die Nordhemisphäre.³

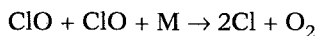
Was richten die chlor- und bromhaltigen Kohlenwasserstoffe in der Stratosphäre an? Warum spielen sich die größten Ozon-Verluste im Polbereich ab?

Ein Chloratom bewirkt die 100.000fache Ozonzerstörung!

Der Ozonabbau über den Polen ist an sogenannte polare stratosphärische Wolken (PSCs) geknüpft, die sich bei ca. $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ bilden. Diese Temperaturen sind über dem Südpol im Winter immer gegeben, werden über dem Nordpol durch stärkeren Austausch des Polarwirbels mit Luftmassen der mittleren Breiten nicht so schnell erreicht bzw. gehalten. Die polaren stratosphärischen Wolken binden molekulares Chlor an Chlornitratkristallen, welche somit als „Chlorsenke“ dienen. Bereits mit der Energie langwelligeren Lichts – wie es im Frühjahr in diesen Höhen vorhanden ist – zerfallen die Chlormoleküle in einzelne sehr reaktive Chloratome. Diese reagieren mit Ozon. Bromatome verhalten sich prinzipiell gleich.



Aus den letzten drei Reaktionsschritten ergibt sich netto:



Dies zeigt, daß die Zahl der ozonzerstörenden Chloratome sich unter Sauerstoffbildung regeneriert und damit erneut mit Ozon reagieren kann. Ein und dasselbe Chloratom kann hunderttausendmal diese Reaktionen vollziehen.

Gegenwärtig beträgt die Chlorkonzentration in der Stratosphäre 3,4 ppb (parts per billion): Auf eine Milliarde andere Moleküle kommen 3,4 Chloratome. Der natürliche Chlorhintergrund wird auf 0,6 ppb geschätzt. Bis zum Jahr 2000 wird ein Anstieg des Chlors auf 4 ppb angenommen. Somit ist mit weiterem Ozonabbau zu rechnen.⁴

Gefahr aus dem All: die UV-Strahlung nimmt zu

Seitdem sich Sauerstoff in der sich entwickelnden Atmosphäre anreicherte und sich hierdurch langsam eine Ozonschicht um die Erde legte (siehe Kapitel 1), mußten die Wasser- und Landlebewesen nur mit einem Minimum an Reststrahlung, vor allem aus dem UV-A-Bereich, fertig werden. Daß sie dies können, zeigen diverse Reparaturmechanismen an, die in der Zelle vornehmlich DNA-Schäden beseitigen. Sowohl einfache Lebewesen ohne Zellkern wie Bakterien und Blaualgen als auch höhere Lebewesen wie Tiere und Pflanzen besitzen zur Speicherung der Erbinformationen DNA (Desoxyribonucleinsäure). Dieses Molekül ist als komplementärer Doppelstrang (Doppelhelix) aufgebaut, vergleichbar einer um sich selbst gedrehten Strickleiter. Die Sprossen dieser Leiter sind aus vier verschiedenen „Basen“ aufgebaut, wobei immer eine „Dreierkombination von Basen“ (Triplet) entlang der drehbaren Holme der Leiter die Codierung einer spezifischen Aminosäure bedeutet. Wird nun die Information eines „Holmes“ der Leiter abgelesen, entsteht als Ergebnis eine Kette von Aminosäuren. Diese Kette faltet sich je nach Art der

Information zu einem speziellen Eiweiß (Protein). Proteine nehmen eine Schlüsselrolle unter den organischen Molekülen ein: Sie bauen Zellstrukturen auf, sie beschleunigen die Vorgänge des Stoffwechsels um das 1000- bis 100000fache, sie sind Grundlage des Immunsystems, sie ermöglichen das Ablesen der Erbinformationen, sie gewährleisten den Erhalt der Erbinformation ... Gerade UV-B-Strahlung ist nun für die zentralen Moleküle des Lebens, DNA und Proteine, zu energiereich. Diese Moleküle absorbieren Energie des UV-B-Bereichs und verändern dabei ihre Molekülstrukturen. So reicht der Energieinhalt gerade aus, um die Sprossen der Strickleiter zu durchtrennen. Chemisch betrachtet werden die Wasserstoffbrückenbindungen gelöst. In manchen Fällen verknüpfen sich zwei halbe, übereinanderstehende Sprossen, die die gleiche Baustruktur haben. Der Biochemiker bezeichnet dies als Thymindimer-Bildung. Ein so geschädigter Strangabschnitt kann nicht fehlerlos abgelesen werden. Spezielle Reparaturproteine tasten daher die „Leiterholme“ (Doppelstrang) ab, immer auf der Suche nach Fehlerstellen. Ist die Schadstelle auf einen Strang beschränkt, kann der Fehler mit Hilfe des intakten anderen Stranges behoben werden. Das Vorhandensein solcher Reparatursysteme zeigt, daß bis heute die Rest-UV-Strahlung schädlich ist, die Lebewesen aber durch spezielle Mechanismen die entstehenden Schäden beheben. Nimmt nun die Schadstellendichte zu oder treten an beiden Strängen im nah gegenüberliegenden Bereich gleichzeitig Fehler auf, dann könnte der Reparaturmechanismus versagen. Solche Schäden führen dann zu Mutationen und Krebs und sind nicht reparabel.

Besonders gefährdet sind Organismen, die besonders klein und/oder der auf die Erde treffenden Strahlung ungeschützt ausgesetzt sind. Dazu gehören Bakterien und mikroskopisch kleine Planktonorganismen. Aber auch Landpflanzen, Tiere und Menschen sind mit ihren Oberflächenorganen der erhöhten Strahlung ausgesetzt.

Gefährdung der Primärproduktion

Weltweit produzieren das Phytoplankton und die Makroalgen der Ozeane und Binnenseen ebensoviel Biomasse wie die an Land lebenden Pflanzen. Satellitenaufnahmen zeigen, daß die größte Biomasseproduktion durch mikroskopisch kleine Phytoplanktonorganismen in den polnahen Meeren stattfindet. Dies liegt zum einen am hohen Nährstoffgehalt des Wassers, zum anderen an der geringen UV-Strahlung, die in diesen Breiten bis ins Wasser vordringt. Gegenüber den tropischen und subtropischen Meeren ergibt sich in den Eismeerern eine 100fach höhere Biomasseproduktion.

Je kleiner ein Organismus, desto anfälliger ist er gegenüber UV-Strahlung. Nun werden 40 % der Phytoplanktonleistung durch Organismen aus dem Nano- und Pikobereich erbracht. Eine Zunahme der UV-Strahlung dürfte vor allem die Mikroorganismen des Phytoplanktons, aber auch die Makroalgen schädigen, die sich in den obersten Metern unter der Wasseroberfläche befinden. Gestützt werden die düsteren Prognosen durch eine Vielzahl wissenschaftlicher Ergebnisse:

1. Messungen der Eindringtiefe von Licht unterschiedlicher Wellenlänge in klaren antarktischen Gewässern

ergaben, daß besonders UV-Licht bis in größere Tiefen (40 m) vordringen kann.

2. Cyanobakterien (blaugrüne Algen) leben im Meer, in Seen und Sümpfen. Da sie fähig sind, Luftstickstoff zu fixieren, nehmen sie als Stickstofflieferant eine besondere Rolle in Ökosystemen ein. Schätzungen gehen so weit, daß Cyanobakterien in tropischen Reisfeldern im Jahr 100 Millionen Tonnen Stickstoff zur Verfügung stellen. Gerade die Enzyme zur Stickstofffixierung werden durch UV-B-Strahlung gehemmt, d.h. auch Cyanobakterien sind UV-sensibel.
3. Einen deutlichen Rückgang der Biomasseproduktion in antarktischen Gewässern um 6 - 12 % in den oberen 10 bis 20 Metern ist dann zu verzeichnen, wenn das „Ozonloch“ über das Meßgebiet zieht.
4. Zum Teil weisen auch Mikroorganismen Schutzsubstanzen in Form spezieller Moleküle auf. Möglicherweise ergeben sich hierdurch für einige Arten Selektionsvorteile, die eine Artenverschiebung nach sich zieht.
5. Rotalgen, aus größeren Wassertiefen an die Oberfläche verfrachtet und einer stärkeren Strahlung exponiert, minderten innerhalb von 60 Minuten ihre photosynthetische Sauerstoffproduktion auf 20% der Ausgangsproduktion.
6. Versuche mit einer mittelmeerischen Braunalgenart erwiesen, daß nach 30 Minuten intensiver ungefilterter UV-Strahlung die Quantenausbeute deutlich zurückgeht, und die Alge sich erst nach Stunden von diesem Strahlungsstreß erholt.

Eine Verminderung der Biomasseproduktion durch erhöhte UV-Strahlung führt vor allem zu zwei Negativeffekten. So ist damit zu rechnen, daß bei abnehmender Primärproduktion die nachfolgende Protein-Produktion in den Konsumenten höherer Ordnung deutliche Einschränkungen erfährt. Immerhin gehen Schätzungen dahin, daß derzeit 30% des Tiereiweißes – global betrachtet – aus dem Meer kommt. Die zweite Auswirkung könnte sich in einer Verstärkung des Treibhauseffektes äußern. Übermäßiges, meist im Frühjahr zu beobachtendes Phytoplanktonwachstum („Phytoplanktonblüte“) zieht häufig ein vorzeitiges Absterben dieser Organismen nach sich. Zusammengeballt zu größeren, schwereren Aggregaten sinken die abgestorbenen Organismen als „ozeanischer Schnee“ in wenigen Tagen Tausende von Metern in die Tiefe -und mit ihnen immense Mengen an fixiertem Kohlenstoff. Dieser geht damit einer Mineralisation in den oberen Schichten verloren. Damit befindet sich das weltweit größte Kohlenstoffservoir am Boden der Ozeane. Das Phytoplankton dient somit als natürliche CO₂-Senke. Seine Verminderung könnte folglich durch die geringere CO₂-Fixierung den Treibhauseffekt verstärken.

Gefährdung des Menschen und der Tiere

In den letzten 50 Jahren hat sich die Hautkrebsrate um mindestens 100 % gesteigert. Dies ist weniger auf eine erhöhte UV-B-Strahlung zurückzuführen als vielmehr auf ein verändertes Verhalten der Menschen: Beliebt sind Reisen in südliche Länder und der „Genuß“ von Sonne. Im Hinblick auf die vermehrte UV-B-Strahlung verdoppelt sich derzeit alle 8 Jahre die Hautkrebsrate. Untersuchungen der letzten Jahre haben zwei verschie-

dene strahlungsbedingte Schadensmuster in unterschiedlichen Zellen der menschlichen Haut ergeben. Der erste spielt sich im Bereich der Keratinozyten ab. So beruhen 10 % der Hautmelanome auf einer wiederkehrenden, über Jahre existierenden Belastung durch UV-Licht. Erst im Alter werden diese Schadstellen, zusammen mit weiteren Krankheitsherden, karzinogen. Bei der Entstehung der Melanome spielt die Wirksamkeit des zellulären Reparatursystems und seine eventuelle Überforderung eine Rolle. Normalerweise werden innerhalb von zwei Stunden UV-bedingte Schäden fehlerlos mittels einer DNA-Ausschnittsreparatur repariert. Danach kann der hierdurch unterbrochene Zellzyklus wieder weiterlaufen. Bei wiederkehrender, starker UV-Belastung erschöpft sich jedoch dieser Mechanismus.

Das zweite Schadensmuster betrifft die Melanozyten und zeigt sich bei Menschen, die sich als Kinder und Jugendliche vermehrt der Sonne ausgesetzt haben. So stellt eine dänische Studie eine erhöhte Krebsrate fest, wenn vor dem 15. Lebensjahr schwere Sonnenbrände verzeichnet wurden. Andere Studien belegen, daß Menschen aus sonnenarmen Ländern das Krebsrisiko ihres Heimatlandes tragen, wenn sie nach dem 20. Lebensjahr ins sonnenreichere Land einwanderten, hingegen das Krebsrisiko des Einwanderungslandes besaßen, wenn sie vor dem 20. Lebensjahr einwanderten.⁶

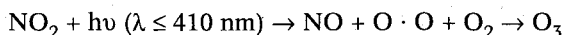
Hieraus ergeben sich Forderungen für eine bewußte Strahlenhygiene, ganz besonders für Kinder. Durch Bekanntmachung des UV-Index sollen Verhaltensänderungen bei der Bevölkerung in Gang gesetzt werden mit den Zielen einer Reduktion der Sonnenexposition und angemessenen Schutzmaßnahmen. Der UV-Index ist ein Maß für die solare Bestrahlungsstärke und berücksichtigt deren Wirkung auf die menschliche Haut. Durch Multiplikation mit einem konstanten Faktor ergibt sich eine gut merkbare, dimensionslose Größe, deren Werte zwischen 0 (Minimum) und 12 (mittleres Jahresmaximum in tropischen Breiten) schwanken. Nach kanadischen Erkenntnissen ist ein solcher Wertebereich ähnlich informativ wie die Beaufort-Skala zur Angabe der Windstärke. Der UV-Index berücksichtigt neben der Bewölkung auch den Gesamtzongehalt der Atmosphäre sowie weitere relevante Umweltvariablen.⁷ Säugetiere scheinen kein großes Hautkrebsrisiko zu besitzen, wenn ihre Haut von Fell bedeckt ist. Als empfindlich gilt jedoch die Linse des Wirbeltierauges, auf die das ungefilterte Licht trifft. Es entstehen Linsentrübungen (Katarakte).

In ganz anderer Weise können Wirbeltiere betroffen sein, wenn sie ihre Eier ins Wasser abgeben. Ins Oberflächenwasser von Binnengewässern abgegebener Laich ist ebenso wie das Phytoplankton einer erhöhten UV-Strahlung ausgesetzt. Bei einem geringen Photolyasegehalt im Ei kommt es bei einigen Arten nur eingeschränkt zur Entwicklung des Laichs. Offenbar reicht hier das vorhandene Reparatursystem nicht aus. Sensible Amphibienarten könnten also vom Aussterben bedroht sein.⁸

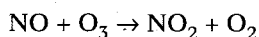
Ozon am Boden – eine Lösung des Stratosphärenproblems?

Ozon am Boden ist im wesentlichen ein Sommerphänomen, denn dann ist Strahlung in unseren Breiten kurz-

welliger und intensiver. Licht der Wellenlänge ≤ 410 nm spaltet Stickstoffdioxid-Moleküle, die aufgrund des heute starken Verkehrs in die Luft abgegeben werden. Bei dieser Fotodissoziation entstehen einzelne Sauerstoffatome, die mit molekularem Sauerstoff der Luft reagieren.



So schnell, wie die Ozonmoleküle entstehen, so schnell werden sie auch wieder abgebaut, und zwar reagiert das sehr reaktionsfähige Ozon mit dem Stickstoffmonoxid und bildet wieder Stickstoffdioxid und Sauerstoff.



Nun ist, besonders in städtischen Ballungszentren und Industrieregionen, die Atmosphäre zudem mit Kohlenmonoxid, Methan und anderen Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffmolekülen (NMHC) belastet. Solche Moleküle bilden in verschiedenen z.T. lichtabhängigen Kettenreaktionen hochreaktive Zwischenprodukte (OH , HO_2 , CH_3O_2 , RO_2) mit dem immer gleichen Endprodukt: Stickstoffdioxid. Damit wird zum einen der Reaktionspartner für die Rückreaktion vermindert, zum andern erneut in großen Mengen gerade jenes Molekül hergestellt, welches unter Lichteinfluß erneut zerfallen und die Bildung weiterer Ozonmoleküle auslösen kann. Bildlich vorgestellt, erheben sich an warmen Tagen über verkehrsreichen Gebieten Luftpakete mit einem hochbrennbaren Cocktail aus NO_2 , H_2O , CO , CH_4 und NMHC, in denen sich während des Aufstiegs die erwähnten fotochemischen Bildungsprozesse reaktiver Substanzen abspielen mit dem Ergebnis, daß sich mehr und mehr Ozon bildet. Die Ozonrückbildungsreaktion unterliegt in diesem Prozeß.⁹ Die ozonreichen Luftpakete verdriften, Spitzenwerte werden in den Nachmittagsstunden gemessen, also nach der strahlungsintensiven Mittagszeit. Gehen bei späterer Abkühlung und Nachlassen der Strahlung die ozonreichen Luftpakete in sogenannten Reinluftgebieten mit niedrigem Verkehrsaufkommen nieder, verlaufen die Abbaureaktionen des Ozons nur zögerlich, da der notwendige Reaktionspartner Stickstoffmonoxid nicht in ausreichender Menge vorhanden ist. Reinluftgebiete sind also im Hinblick auf das Gift Ozon wenig rein! In den verkehrsreichen Städten hingegen laufen die Rückreaktionen zahlreicher ab, so daß es zum meßbaren Abbau von Ozon in der Nacht kommt. Folgen strahlungsintensive Tage aufeinander, steigern sich die Ozonwerte innerhalb weniger Tage. Oft wird die kritische Marke von $180 \mu\text{g Ozon/m}^3$ Luft überschritten. Seltener werden Werte erreicht, bei dem ein offizielles Fahrverbot verhängt wird.

Ozon am Boden ist ein Gift für alle lebenden Organismen. Aufgrund seiner geringen Wasserlöslichkeit dringt es weit ins Innere eines Lebewesens vor, z. B. in die Bläschen der menschlichen Lunge oder in das fotosynthetisch aktive Gewebe eines Blattes. Aufgrund seiner Oxidationswirkung schädigt Ozon auf der molekularen Ebene empfindliche Organellstrukturen. In den Lungenbläschen werden bei Werten ab $300 \mu\text{g Ozon/m}^3$ Luft irreversible Schäden hervorgerufen, in den Pflanzen schon bei niedrigeren Werten die Chloroplasten zerstört. Letzteres äußert sich schließlich bei Blättern in Fleckenbildung. Zu den sehr empfindlichen Pflanzen zählen beispielsweise Eberesche und Lärche, Kartoffel und Toma-

te. Auch einige Sorten des Tabaks gehören dazu, weshalb sie auch als Bioindikatoren für Ozon eingesetzt werden.

Ozon am Boden, entstanden durch Autoverkehr, kann das Loch hoch oben in der Stratosphäre nicht stopfen. Wohl aber kann es bei den genannten Reaktionen in Bodennähe zu einer minimalen Absorption von Strahlung im UV-B-Bereich kommen.

Ozon in der Höhe, entstanden durch den Flugverkehr, kann schon zu einem gewissen Eintrag in die Stratosphäre führen und damit auch UV-Strahlung absorbieren. Flugverkehr spielt sich jedoch überwiegend in der Troposphäre ab, dabei dominieren die Negativeffekte: Ozon ist eines der anthropogenen Treibhausgase, ebenso wie H_2O , CO_2 . Mit einem Treibhauspotential, das 2000 mal höher ist als das von CO_2 , trägt Ozon heute in dieser Höhe erheblich zum Treibhauseffekt bei. In noch größeren Höhen jedoch, wo die Jets nicht mehr fliegen, fehlt es weiterhin an Ozon.

Unterrichtspraktische Hinweise

Auf den ersten Blick erscheint das Problem der dünner werdenden Ozonschicht unterrichtlich schwierig umsetzbar zu sein. Der theoretische Hintergrund ist kompliziert, zudem ist an der traurigen Situation der Ozonausdünnung kurzfristig nichts zu ändern. Bei der unterrichtlichen Umsetzung könnten daher folgende Ziele verfolgt werden.

1. Bewußtmachung des ozonabbauenden Prozesses und Sensibilisierung der Schülerinnen und Schüler für dieses Problem

Das Kugelstoßspiel bringt Schwung in die an sich „trockene“ Stratosphärenchemie: Der Ozonabbau spielt sich sichtbar vor den Augen der Schüler ab. Die Rolle des Spielers „Ozon“ ist in der Regel frustrierend: „Ich kann ja nichts dagegen tun.“ Das Beispiel des Greenfreeze-Kühlschranks hingegen zeigt, daß durch Stützung von Umweltorganisationen und deren Aktionen politisch und wirtschaftlich Einfluß genommen werden kann. Umfangreiches Text- und Grafikmaterial erleichtern die sachlichen Klärungen.

2. Begreifen der Sonnenstrahlung als gesundheitliches Risiko

Im Hinblick auf die zunehmende Strahlung und das wachsende Hautkrebsrisiko wird ein vernünftiger Umgang mit der Sonne eine immer dringlichere Aufgabe. Der UV-Index als Gradmesser für die Gefährlichkeit der Sonnenstrahlung muß mit der gleichen Selbstverständlichkeit im sommerlichen Wetterbericht verstanden werden wie auch Temperatur- oder Windstärkeangaben. Dazugehörige Verhaltensmuster müssen erlernt werden. Info-Blätter und Aktionsangebote sollen das noch weitgehend unterschätzte Problem des Strahlenrisikos in einem ersten Schritt aufarbeiten. Die Schülerinnen und Schüler selbst sollen dann im zweiten Schritt Multiplikatoren im Aufklärungsprozeß werden. Deshalb kommt der Aktion „Sonderkommission Strahlenschutz“ besondere Bedeutung zu.

Die Rächer der Retorte

Über den amerikanischen Chemiker Sherwood Rowland gibt es eine interessante Anekdote zu berichten. Ihn plagten Anfang der siebziger Jahre seltsame Gedanken. Es geschah allmorgendlich, wenn er vor dem Spiegel stand und den Rasierschaum aus der Spraydose spritzte. Wieviel von dem Gas, das den Schaum aus der Dose trieb, so grübelte der Professor von der Universität von Kalifornien in Irving, würden wohl alle Sprayer dieser Welt in ihrer gemeinsamen Aktion versprühen? Rowland dachte noch kurz daran, wo das ganze Zeug wohl bliebe, nachdem es aus der Dose raus war, wischte sich den letzten Schaum von den langen Koteletten und machte sich auf den Weg in sein Institut, denn dort hatte er ganz andere Dinge zu tun.

Anfang 1972 erfuhr Rowland dann eher zufällig, daß irgendwelche Atmosphärenchemiker in Luftproben der unteren Stratosphäre die beiden Treibgase (Freon 11 und 12, Anmerkung die Verfasser) wiedergefunden hatten, und zwar in erstaunlichen Konzentrationen. Aus dem Badezimmer bis in eine Höhe von über zehn Kilometern! Rowland fand das bedenklich und schlug seinem Mitarbeiter Mario Molina vor, das Problem zu untersuchen und das Schicksal der Treibgase zu erforschen.

Die Wunder-FCKW erfüllten alle Forderungen an ein Industriegas, die man sich nur vorstellen konnte. Sie waren ungiftig, unbrennbar, ungemein stabil, nicht korrosiv und leicht zu komprimieren. Man konnte ein Zündholz dranhalten, sie verschütten oder einatmen, und nichts geschah. Vor allem aber taugten sie als hervorragendes Kühlmittel. Als nach dem Zweiten Weltkrieg der aus der Schweiz stammende Amerikaner Robert Alplanalp aus der Bronx in New York das Sprayventil erfand (und damit Multimillionär wurde), begannen die FCKW einen weiteren Siegeszug: als Treibgase, um Haarspray, Farben, Insektizide, Medikamente, Parfums oder Deos aus der Dose zu jagen. Bald begann die Industrie, mit den Gasen Kunststoffe aufzuschäumen, für Autositze, für Isoliermittel, Einweggeschirr oder Hamburger-Kartons. Dann erlebten sie einen weiteren Boom als Säuberungsmittel für elektronische Platinen. Die Freon-Zwillinge waren wirklich universell einsetzbar – ein Triumph der Retorte. End-

lich einmal hatten die Chemiker eine Medaille ohne Kehrseite zustandegebracht.

So jedenfalls schien es, bis sich Rowland und Molina der Sache annahmen. Molina, der zunächst nicht sonderlich viel Ahnung von Atmosphärenchemie hatte (aber wer hatte das damals überhaupt?), begann zu rechnen, und was dabei herauskam, wollte er zunächst selbst nicht glauben. Er zeigte die Ergebnisse seinem Chef, beide vertieften sich zwei Tage in die Kalkulationen, und als Rowland abends nach Hause kam, sagte er zu seiner Frau Joan: „Die Arbeit läuft gut, aber es sieht nach dem Ende der Welt aus.“

Die beiden Forscher wußten, warum die Freone die lange Reise bis in die Tropopause überlebt hatten. Die Moleküle sind so stabil, „inert“ wie der Chemiker sagt, daß ihnen praktisch keine Substanz auf Erden etwas anhaben kann. Deshalb waren sie ja so beliebt. Also mußte mit jedem pffft aus der Spraydose die Konzentration der FCKW in der Luft steigen, und sie mußten in alle Himmelsrichtungen entweichen, vor allem aber in den Himmel. So kamen die Retortenprodukte bis in die Flughöhe der Jets. Und es gab keinen Grund zu glauben, daß sie ausgerechnet dort bleiben sollten. Also, dachten die beiden Amerikaner, würden sie in der Stratosphäre weiter steigen, wo sie in Höhen von 30, 40 oder 50 Kilometern unter Beschuß der immer härter werdenden UV-Strahlung der Sonne gerieten. Und dieses Bombardement würden selbst die stabilen FCKW nicht überleben.

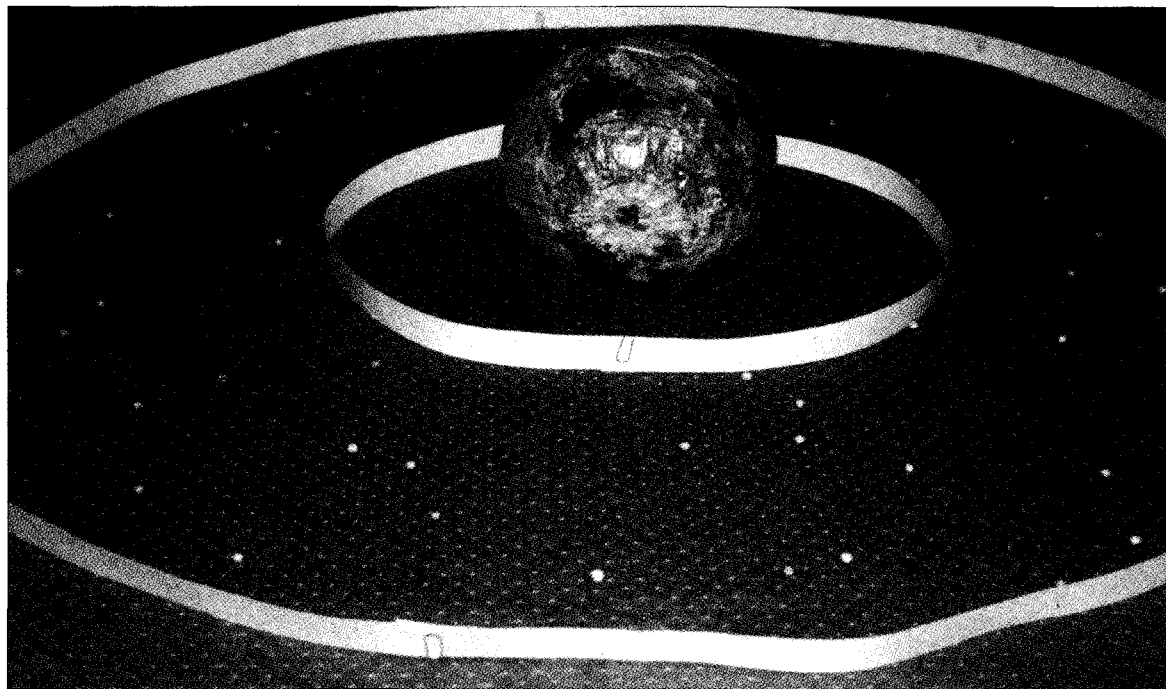
Im Sommer 1974 veröffentlichten Rowland und Molina im britischen Fachblatt *Nature* ihren Bericht: 2000 Tonnen Freone, so schrieben die beiden, gehen täglich auf die Reise in die Stratosphäre. Dort werden sie von der Strahlung gespalten, die Fachleute sprechen von „Photodissoziation“. Was bleibt, sind chlorhaltige Fragmente – Substanzen die alles andere als harmlos sind. Sie greifen das Ozon an, das just in dieser Höhe als schützender Strahlenschirm fungiert. Die mögliche Folge lag auf der Hand: Sinkt der Ozongehalt in der Stratosphäre, dringt mehr ultraviolettes Licht auf die Erde, geht die empfindliche Wasserflora ein, erkranken die Menschen an Hautkrebs, und, und, und ...

Quelle: Graßl/Klingholz, 1990

Aufgaben:

1. Begründe, worin der „Erfolg“ der Freone lag!
2. Welche Konfliktfelder müßten sich nach Bekanntwerden der Erkenntnisse von Rowland und Molina ergeben haben?
3. Erst 21 Jahre später, nämlich 1995, erhielten Rowland und Molina zusammen mit dem niederländischen Atmosphärenchemiker Paul Crutzen (Mainz) den Nobelpreis für Chemie für ihre Forschungsergebnisse über die Vorgänge in der Stratosphäre. Nimm dazu Stellung!

Wie man sich die Ozonschicht vorstellen und ihre Dicke „messen“ kann



Die Erdkugel und die veranschaulichte Stratosphäre haben in der Darstellung nur Symbolcharakter und geben nicht die realen Ausmessungen wieder. Der Erddurchmesser beträgt etwa 12700 km, die Stratosphäre beginnt in ca. 12 km Höhe, d.h. Erddurchmesser und Stratosphärenhöhe verhalten sich in den Abmessungen wie 1000:1.

Nehmen Sie eine aufblasbare Erdkugel (Wasserball oder Transparentpapierkugel), blasen Sie sie nicht zu prall auf und drücken sie den Ball auf den Tisch, so daß er nicht wegrollen kann. In einigem Abstand zur Erdkugel legen Sie einen Ring aus einem Pappstreifen (Breite 2-3 cm) um den Erdball. Schließen Sie nun den Streifen zum Ring mit Büroklammern. Der Pappstreifen stellt die Tropopause dar, also die Grenzschicht zwischen Troposphäre und Stratosphäre. Sie können den Pappstreifen auch als Oval legen, um zu zeigen, daß die Stratosphäre über den Polen in geringerer Höhe beginnt (11 km), über dem Äquator in größerer Höhe (18 km).

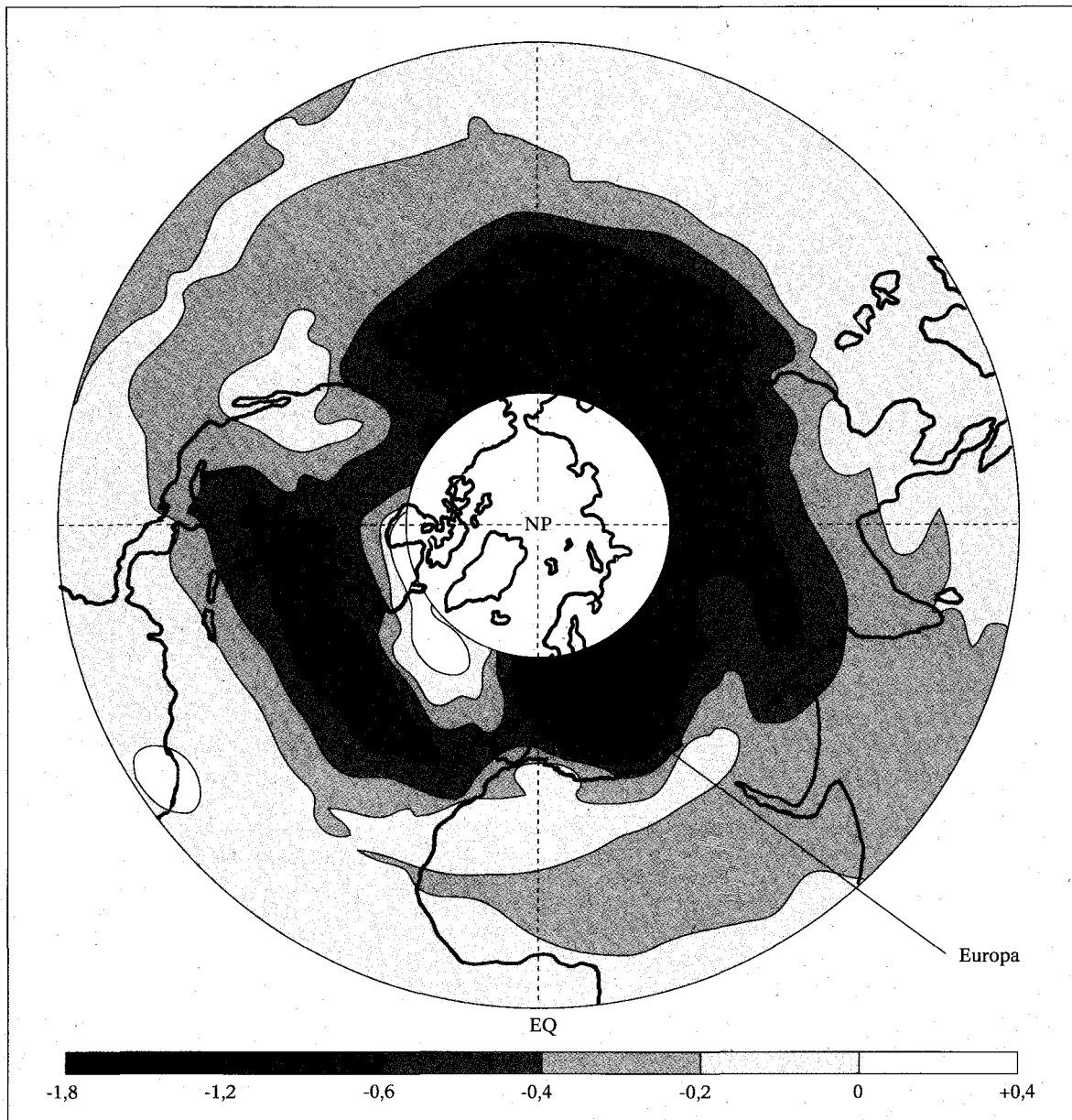
Legen Sie dann einen zweiten Pappring in angemessenem Abstand um den ersten und bezeichnen Sie ihn als Stratopause, also die Grenzschicht zwischen Stratosphäre und Mesosphäre in 50 km Höhe. Streuen Sie nun ca. 30 - 50 getrocknete Erbsen zwischen die Pappstreifen und benennen Sie sie als Ozonmoleküle. Erzählen Sie dazu, daß der Raum zwischen den Ozonteilchen erfüllt sei von den Gasteilchen der Luft, also von Stickstoff, Sauerstoff, Kohlendioxid... Um die Relationen zwischen Ozon und den Luftteilchen deutlich zu machen, sollten Sie den Begriff ppm (parts per million) einführen. In ca. 25 km Höhe beträgt die Menge an Ozon 5 ppm, d.h. auf eine Million Gasteilchen entfallen insgesamt 5 Ozonteilchen. Weisen Sie dann darauf hin, daß der Luftdruck in der Stratosphäre sehr viel geringer ist als in Bodennähe. Vielleicht führen Sie hier den treffenderen Begriff Ozonschleier ein.

Öffnen Sie dann den inneren Pappring und ziehen Sie ihn eng um die Erdkugel herum. Dann schließen Sie ihn wieder mit den Büroklammern. Lockern Sie dann auch den äußeren Pappring und ziehen ihn dann zusammen, immer enger an die Erde heran. Dabei schieben Sie die Erbsen alias Ozonteilchen mehr und mehr an die Erde heran. Lassen Sie sich bei diesem Vorgehen von den SchülerInnen helfen. Erklären Sie beim Schiebevorgang, daß Sie mit dieser Aktion den Luftdruck der Stratosphäre auf irdische Druckbedingungen (1013 hPa, 0°C) bringen wollen. Im Modell lassen sich die Erbsen auf eine schmale Schicht zusammenschieben. Dazu können Sie erzählen, daß die reale Ozonschicht unter den Druckbedingungen der Erde auf eine Schichtdicke von 3 bis 5 mm zusammenschrumpfen würde.

Diese Aussage verwundert und beeindruckt SchülerInnen sehr: Das Ozonschutzschild ist -so betrachtet- eine hauchdünne Schicht!

Die Meßgröße und ein Zahlenbeispiel zum Schluß: 100 Dobson Units (DU) entsprechen unter den Druckbedingungen der Erde (1013 hPa, 0°C) einer Ozonschichtdicke von 1 mm. Die Meßdaten, die heute per Satellit erhalten werden, z.B. durch Nimbus oder TOMS, geben die Dicke der Ozonschicht in Dobson Units an. Eine ausreichende Ozonschicht hat eine Dicke von 300 bis 500 DobsonUnits. Das Ozonloch über der Antarktis hatte im antarktischen Frühjahr 1995 (September/November) einen Tiefstwert von 130 DU erreicht.

Ozonverluste über der Nordhalbkugel

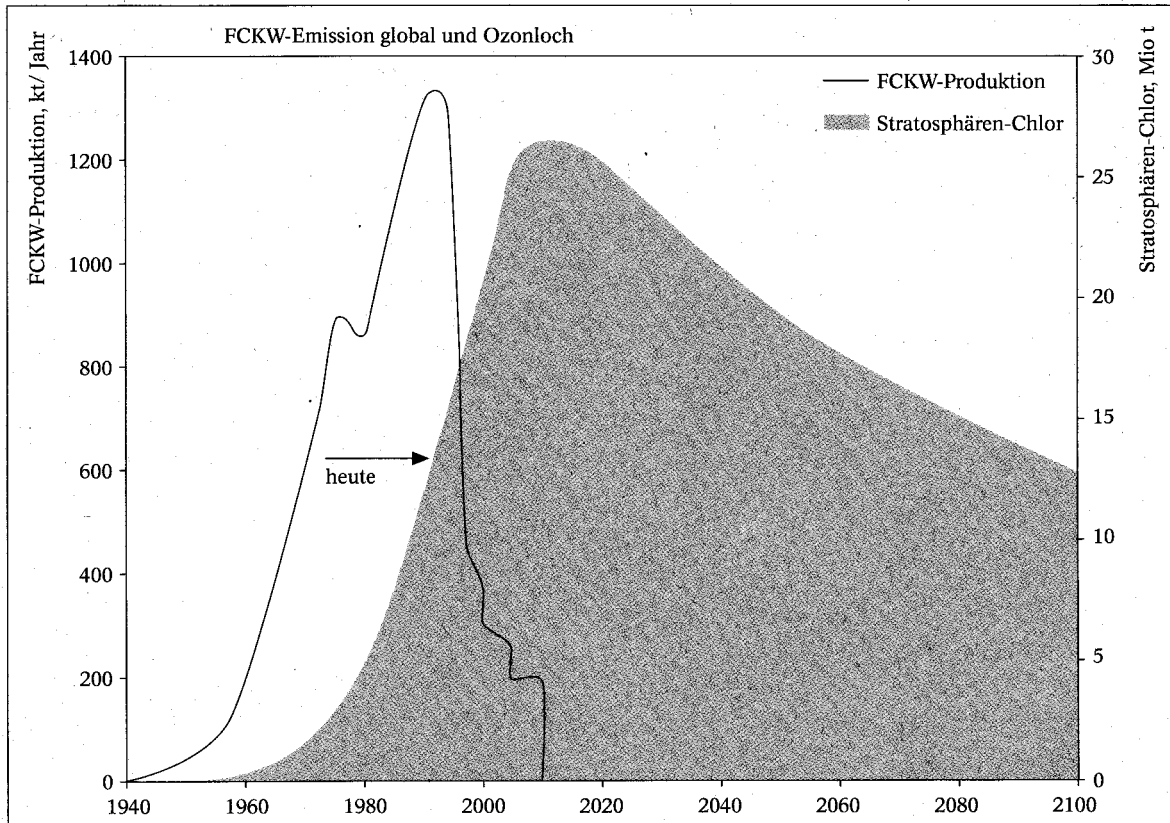


Quelle: Zellner, 1996

Trends der Ozonsäulendichten der Nordhemisphäre im Januar in Prozent/Dekade (basierend auf TOMS-Daten im Zeitraum 1979-1992, vereinfachte Darstellung).

Wo kommt das Chlor in der Stratosphäre her?

Seit 1940 werden chlorhaltige Produkte, vornehmlich Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe auf der Erde produziert. Aufgestiegen in die Stratosphäre, geraten sie unter den Beschuß der energiereichen UV-Strahlung und bilden einzelne Chloratome. Diese sind höchst reaktiv und zerstören Ozonmoleküle.



Quelle: Umwelt- und Prognose-Institut, 1992

Aufgaben:

1. Mit welcher zeitlichen Verzögerung erfolgt die Freisetzung der Chloratome in der Stratosphäre verglichen mit der Produktion der FCKW auf der Erde?
2. Markiere im FCKW-Graphen das aktuelle Jahr und ermittle den Umfang der aktuellen FCKW-Produktion! Beachte dabei, daß in den USA, Kanada und in Deutschland kein FCKW produziert wird!
3. Markiere in der Graphik die vermutlich aktuelle Menge an Chlor im sogenannten „Chlorvorrat“! Nach wieviel Jahren ist der steigende Chlorvorrat wieder auf diese Menge zusammengeschmolzen?
4. Begründe, wann mit der dünnsten Ozonschicht zu rechnen ist!

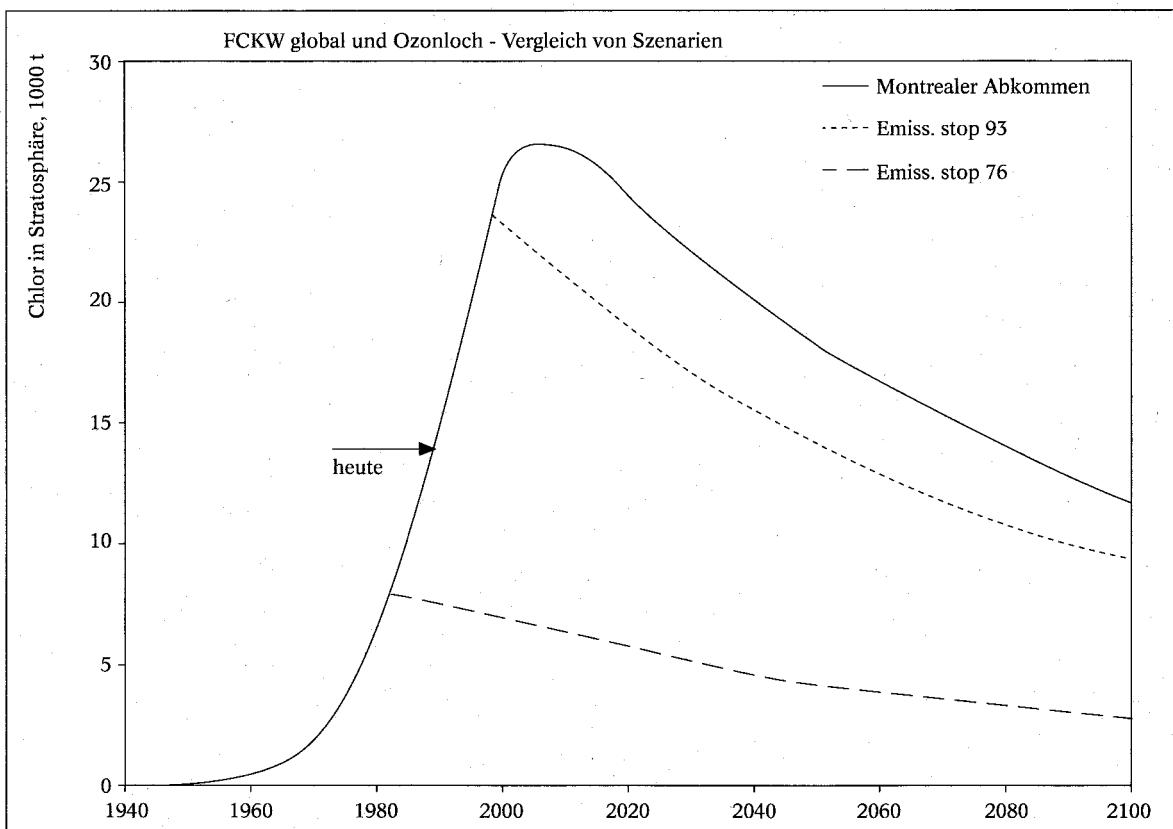
Stoppt den FCKW-Ausstoß!

1974 veröffentlichen die Atmosphärenchemiker Rowland und Molina ihren Bericht, daß Freone in der Stratosphäre die Vernichtung von Ozon auslösen.

1989 sieht das Montrealer Abkommen vor, daß die Unterzeichnerstaaten die Produktion von FCKW bis zum Jahre 1994 einstellen. Entwicklungsländer können die Erfüllung des Abkommens, um „grundlegende nationale Bedürfnisse zu decken“, um zehn Jahre verzögern.

1992 findet die Konferenz von Rio de Janeiro statt, bei der auf die Unterzeichnung des Montrealer Abkommens gedrungen wird. Den Entwicklungsländern soll ein Technologietransfer ermöglicht werden, um Ersatzstoffe für die ozonabbauenden Substanzen zu erhalten.

1994 haben bereits bis zum Mai 136 Staaten die Ursprungsfassung des Montrealer Abkommens unterzeichnet. Darunter auch bevölkerungsstarke Entwicklungsländer wie China und Indien.



Quelle: Umwelt- und Prognose-Institut Heidelberg, 1992

Aufgaben:

1. Vergleiche die drei Szenarien und beurteile die verschiedenen „Stopps“ zum Schutz der Ozonschicht, die theoretisch existiert hätten!
2. Wie wird die Kurve (Montrealer Abkommen II) sich entwickeln, wenn ein wirtschaftlich in der Entwicklung befindliches Land, wie z.B. China seinen Entwicklungslandstatus voll ausschöpft?
3. Lies das Info-Blatt über die Entwicklung des „Greenfreeze“-Kühlschranks! Diskutiere die Vorgehensweise der Umweltorganisation Greenpeace auch unter dem Aspekt, daß der wirtschaftliche Einsatzbereich der Ozonkiller-Substanzen noch sehr viel größer ist!

Greenfreeze – ein Öko-Krimi

Der erste Schritt: Durchbruch in Deutschland

Februar 1991: Auf der Haushaltsmesse Domotechnica in Köln wird Greenpeace auf die sächsische Firma dkk Scharfenstein aufmerksam, die ihre Kühlschränke als einzige Firma nicht mit FCKW, sondern mit pentangeschäumtem Polystyrol isoliert. Bei den von anderen Herstellern angekündigten angeblich FCKW-freien Geräten – als neues Kältemittel wird R134a gepriesen – sollen die Ozonkiller weiterhin in der Isolierschäumung verwendet werden. Das sächsische Unternehmen sieht im Greenpeace-Vorschlag, mit der Propan/Butan-Technik etwas ganz Neues auf den Markt zu bringen, eine Chance.

Juli 1992: Greenpeace investiert 26.000 DM, damit dkk Scharfenstein zehn Prototypen des ersten FCKW- und FKW-freien Kühlschranks produzieren und testen kann. Wolfgang Lohbeck taufte ihn „Greenfreeze“.

Ein Wettlauf mit der Zeit beginnt. Die Treuhand will die Firma dkk liquidieren; gleichzeitig geben die „Chlorreichen Sieben“ der westdeutschen Kühlschrankhersteller – Bosch, Siemens, Liebherr, Miele, Electrolux, AEG und Bauknecht – eine „freiwillige Selbstverpflichtung“ ab, FCKW durch R134a zu ersetzen und verkaufen ihre Kühlschränke als „Ökogeräte“.

August 1992: Greenpeace startet eine breit angelegte Anzeigenkampagne für „Greenfreeze“ und geht mit dem Kühlgerät kreuz und quer durch die Bundesrepublik auf Werbetour. Ziel ist, dkk Scharfenstein und „Greenfreeze“ die Zukunft zu sichern und die Ökologie der „Chlorreichen Sieben“ zu entlarven. Die Werbungskosten von 100.000 DM erweisen sich als gut angelegt: In nur vier Wochen gehen 65.000 Vorbestellungen ein, darunter Großbestellungen von Versandfirmen wie Neckermann. Die Treuhand muß von ihren Liquidationsabsichten Abstand nehmen, 540 Menschen behalten ihren Arbeitsplatz.

Erstmals hat Greenpeace ein Produkt mit allen Mitteln des modernen Marketings auf den Markt gebracht. Nicht alle Greenpeace-Förderinnen und Förderer waren zu Beginn von dieser Strategie begeistert. Wieso „verkauft“ ein gemeinnütziger Verein einen Kühlschrank? Doch das war ein Mißverständnis: Greenpeace hat keinen einzigen Kühlschrank verkauft, sondern allein die dkk. Die Treuhand hatte zu Beginn der Aktion zwar süffisant vorgeschlagen, die „reiche Organisation“ solle dkk doch übernehmen – ein Weg, den ein gemeinnütziger Umweltschutzverein schon aufgrund seiner Satzung und des Gemeinnützigkeitgesetzes nicht einschlagen kann und will. Greenpeace hat an „Greenfreeze“ keinen Pfennig verdient, alle Erlöse flossen direkt an dkk.

Oktober 1992: Greenpeace stellt seine Vorbestellungs-Aktion ein: Das vorläufige Ziel, der Erhalt von dkk Scharfenstein ist erreicht. „Greenfreeze“ funktioniert und findet Abnehmer. „Können oder wollen Sie nicht?“ fragt Greenpeace daher in einer Anzeigenserie, die westdeutsche Hersteller zum Umstieg auf Propan/Butan auffordert. Die Branche reagiert pikiert: Das Ostprodukt sei explosiv und ein Stromfresser.

Doch diese „Argumente“ sind allzu durchsichtig: In jedem „Greenfreeze“ steckt kaum mehr Gas als in einem Feuerzeug, und im Stromverbrauch bewegt sich der Ökokühlschrank bereits 1992 durchaus im Mittelfeld der Konkurrenzmodelle.

Februar 1993: Auf der Hausgerätemesse Domotechnica ist dkk Scharfenstein, inzwischen in „Forn“ umbenannt, nicht mehr der einzige Anbieter FCKW- und FKW-freier Kühlgeräte. Die Verunglimpfungskampagne der „Chlorreichen Sieben“ hat den Erfolg von Forn nicht stoppen können. Jetzt wollen einige unter ihnen den Sachsen die Schau stehlen. Bosch, Siemens, Liebherr und Miele haben erste „Greenfreeze“-Modelle im Sortiment und wollen darüberhinaus ihre gesamte Gerätepalette auf pentangeschäumtes Isoliermittel umstellen – eine technische Revolution. AEG isoliert und kühlt seinen angeblichen Ökokühlschrank hingegen nach wie vor mit dem Klimakiller R134a. Grund für Greenpeace, den Daimler-Benz-Ableger, der in ganzseitigen Anzeigen vollmundig erklärt, „Einer muß der erste sein“, mit der Variante „Einer muß der letzte sein“ auf der Messe zu empfangen.

Frühjahr 1994: Ein Jahr, nachdem die ersten großen Hersteller mit dem Umstieg begonnen haben, weiß nur Bauknecht nicht, was Kunden wünschen. Alle anderen führenden deutschen Elektrohersteller stellen ihre Geräte in Isolation und Kühlung auf Naturgase um. Damit ist endgültig Lohbecks Befürchtung vom Tisch, die auf der Domotechnica präsentierten Prototypen würden als Ökoalibi ein Nischendasein fristen. Das „Unmögliche“ ist plötzlich möglich – in ganz Deutschland.

Doch für das Greenfreeze-Team war seit der Kampagne klar: Der Ausstieg in Deutschland konnte nur ein erster Schritt sein. Denn die Zerstörung der Ozonschicht und des Klimas ist ein weltweites Problem.

Was mit dem Weltklima und dem Ozon passiert, entscheidet sich zu einem guten Teil in China, Indien, Südostasien und Lateinamerika.

Besonders in China spielt sich derzeit das gewaltigste „Wirtschaftswunder“ der neueren Geschichte ab, mit einer atemberaubenden jährlichen Wachstumsrate von mehr als zwölf Prozent und einem unaufhaltsamen Drang nach klassischen Statussymbolen und westlicher Technik. Bis heute haben die wenigsten der 1,1 Milliarden Chinesen einen Kühlschrank, der Absatz von jährlich rund sechs Millionen (1993) wird in den nächsten Jahren gewaltig ansteigen. Schon früh richtete Greenpeace das Augenmerk auf diesen Markt.

Der zweite Schritt: Aufbruch nach Fernost

April 1993: Greenpeace nutzt die Chance, „Greenfreeze“ auf dem Internationalen Peking Symposium für FCKW-Alternativen vorzustellen. Das in China ohnehin große Interesse an deutscher Technik kommt dabei sehr gelegen. „Greenfreeze“ erweist sich als Publikumsmagnet. Wenig später stellt Greenpeace das Ökogerät in Japan aus und knüpft auch erste Kontakte mit indischen Firmen. In Asien schlägt nicht allein das Ökogewissen, man ist vor allem an guter Technik interessiert. Nur Geräte, die West-Standards entsprechen, finden guten Absatz.

Beim Versuch, die „Greenfreeze“-Technik international durchzusetzen, stößt Greenpeace auf mächtige Gegner: Die großen Chemieunternehmen wie DuPont, Atochem und ICI wollen sich nicht ihr Geschäft mit den künstlichen FCKW-Alternativen verderben lassen. Eine wesentliche Verbündete ist hier die Weltbank. Sie verwaltet den Löwenanteil der Mittel, die den Entwicklungsländern von den Industriestaaten zum Schutz der Ozonschicht zur Verfügung gestellt werden.

Ein solcher Fond wurde schon 1990 von den rund 140 Mitgliedsstaaten des „Montreal-Protokoll zum Schutz der Ozonschicht“ beschlossen: Industriestaaten fördern als Geberländer den Ausstieg von Entwicklungsländern aus der FCKW-Technik. Doch die Weltbank finanzierte lediglich R134a und andere sogenannte teilhalogenierte Kohlenwasserstoffe als Ersatzmittel.

Dies ist kaum verwunderlich: Die technische Beratung der Weltbank-Projekte wird von einer kleinen Gruppe von Experten kontrolliert, die direkt oder indirekt von Chemie- oder Geräteherstellern abhängig sind.

Oktober 1993: Nach intensiver und zäher Lobbyarbeit gelingt Greenpeace dennoch bei der Weltbank der Durchbruch: Sie will von nun an die Anwendung von Naturgasen in Drittwelt-Länder zulassen. Mehr als 40.000 deutsche Greenpeace-Fördermitglieder haben die Weltbank zuvor mit Protestbriefen aufgefordert, diese Technik endlich zu unterstützen. Damit ist ein großes Hindernis für die globale Verbreitung der Propan/Butan-Technik, die billiger und besser ist als der künstliche Ersatz, aus dem Weg geräumt.

Februar 1994: Auch die Bundesregierung beteiligt sich inzwischen aktiv an der Verbreitung der „Greenfreeze“-Technik. Die Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), die Entwicklungshilfeprojekte des Bundes koordiniert und vor Ort durchführt, fördert in zwei Pilotprojekten den Bau von FCKW-freien Kühlschränken in China und Indien. Die deutsche Firma Liebherr, zur Zeit beim Umstieg auf eine Produktion mit Naturgasen, bereitet – auf Vermittlung von Greenpeace – einen Technologie-Transfer mit dem chinesischen Partner „Qingdao“ vor. Auch Firmen in Südamerika zeigen verstärkt Interesse an der neuen Technik.

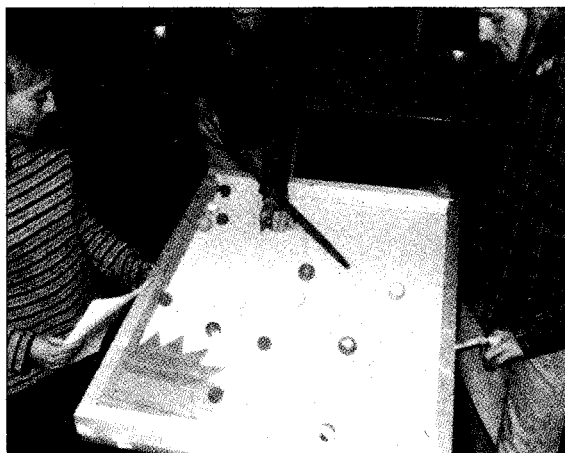
Die Propan/Butan-Technik ist auf dem besten Weg, den Weltmarkt zu erobern. „Bis auch die USA umgestellt haben, ist es nur noch eine Frage der Zeit“, so Greenpeace-Kampagner Wolfgang Lohbeck, der nach fünf Jahren harter Arbeit mit seinem Team zufrieden auf eine erfolgreiche Kampagne zurückblicken kann: „Greenfreeze“ ist nicht mehr zu stoppen!

Quelle: <http://www.greenpeace.de>, 1996

Noch eine Meldung: Chinas viergrößter Eissschrankproduzent stellt im Frühjahr 1996 drei Viertel seiner Produktion auf umweltfreundliche Kältemittel um. Jährlich sollen etwa 400.000 Kühlschränke vom Band laufen, die statt des ozonschädlichen FCKW das natürliche Gas Isobutan nutzen, erklärte die Firma „Haier“ mit Sitz in Qingdao. Haier und andere chinesische Hersteller haben zwar solche „Greenfreeze“-Schränke gebaut, seit Greenpeace die Technik 1993 auch in Fernost bekannt machte. Bislang wurde das Kältemittel aber von Hand eingefüllt, weshalb die Stückzahlen gering blieben. Für die Massenproduktion liefert die deutsche Firma „Liebherr“ jetzt eine Isobutan-Abfüllanlage an Haier. Auch „Kelon“, mit 1,2 Millionen Geräten jährlich Marktführer in China, hat für 1996 die Einführung eines FCKW-freien Kühlschranks angekündigt, ohne aber genaue Stückzahlen zu nennen. „Die Umstellung kommt in einem kritischen Moment“, sagt Rosi Kraft, Klima-Kampagnerin bei Greenpeace. In China werden in den nächsten acht Jahren 380 Millionen neue Geräte verkauft, die Hersteller wollen ihre Kapazitäten massiv erweitern.

Quelle: Greenpeace Magazin, 1996

„Wie die Ozonschicht immer dünner wird ...“ – ein Kugelstoßspiel –



Spielidee: Die Schülerinnen und Schüler übernehmen jeweils die Rolle eines Gasteilchens in der Stratosphäre. Außer Ozonteilchen befinden sich dort die nicht näher benannten Masseteilchen M. Durch auf der Erde produziertes FCKW haben sich Chlormoleküle in stratosphärischen Wolken angereichert. Nun geht es im Spielverlauf um die Reaktionen des Chlors mit Ozon im Frühjahrslicht.

Zeitbedarf: Bei kompletter Vorbereitung wird für den Spielablauf eine Einzelstunde benötigt.

Organisation des Spiels: Eine Spielgruppe besteht aus sieben Schülern. Wichtig: Jeder Spieler achtet nur auf seine eigenen Gasteilchen (Kugeln), da sonst die Stoßreaktionen nicht überblickt werden können.

1. Schülerin/Schüler: Rolle der „strahlenden Sonne“
2. Schülerin/Schüler: Ozon
3. Schülerin/Schüler: Chloratome
4. Schülerin/Schüler: Chlormonoxid
5. Schülerin/Schüler: Chlordioxid
6. Schülerin/Schüler: Masseteilchen M
7. Schülerin/Schüler: Protokollführung

In einer Klasse/einem Kurs werden damit 3-4 Spiele benötigt. Ist die Schülerzahl nicht durch sieben teilbar, ist folgende Regelung sinnvoll:

- a) Die Rollen von Ozon und dem Chloratom wird einer Person übertragen.

- b) Die Protokollführung wird zusätzlich vom Masseteilchen M oder von Chlordioxid übernommen.

Herstellung eines Spiels:

- 1 möglichst großer Schuhkarton mit Deckel
- 4 Holzplatten (2X4cm),
- 4 Holzdübel als Steckverbindung der Latten, (Lattenlängenmaße richten sich nach der Größe des Tisches, auf dem gespielt werden soll.)
- 19 Holzkugeln einer Größe, Durchmesser ca 3 cm
- 17 Holzkugeln einer nächsten Größe, Durchmesser ca 4 cm
- 1 große Holzkugel, Durchmesser ca 5 cm
- verschiedene Farben/Lasuren zum Einfärben der Holzkugeln
- 1 in Form von Sonnenstrahlen zugesägtes Dreieck aus Sperrholz, schräg eingepaßt in eine Lattenecke,
- behelfsweise etwas Klebeband
- 1 Holzstab von 50 cm Länge, rundlich konisch an einem Ende als Queue
- für jeden Schüler die jeweilige Spielkarte bzw. das Protokollblatt,
- 1 Stift

Für Umweltbildungszentren oder Schulen, die regelmäßig dieses Thema behandeln, lohnt sich die Herstellung von vier Spielen. Sie ermöglicht eine Spielaktivität ähnlich einem Billard-Spiel, welches bei Jugendlichen gut ankommt.

Anzahl und Bedeutung der Kugeln, Farb-vorschläge (siehe auch Spielkarten):

kleine Kugeln:

- 5 rote Chloratome
- 3 orangefarbene Masseteilchen M
- 11 blaue Sauerstoffmoleküle

mittlere Kugeln:

- 5 grüne Chlormonoxidmoleküle
- 1 hellblaues Chlordioxidmolekül
- 11 gelbe (oder holzfarbene) Ozonmoleküle

sehr große Kugel:

- 1 grünes Dichlordioxidmolekül

Spieldaufbau und -ablauf: Die Kanthölzer werden als Begrenzung für das Spielfeld zusammengesteckt. Der Karton selbst wird als Aufbewahrungsort für die Kugeln gebraucht. Die zurechtgesägte "Sonne" wird in der Ecke des Rahmens stabil, aber schräg befestigt. So können über die "Sonne" je zwei zusammengehaltene Kugeln ins Spielfeld gerollt werden. Dabei "spaltet" die Energie der Sonne dann das Molekül. Der Holzstab ist einem Billard-Queue vergleichbar. Beim Stoßen sind direkte, aber auch indirekte Stoßreaktionen nach Billardart sinnvoll. Das jeweils erste Zusammentreffen zweier Gastteilchen, die nach den Spielkartreffen eine Reaktion ergeben, wird ausgewertet und protokolliert. Nachfolgende Stöße bleiben unberücksichtigt. Die Kugeln werden gemäß der Anweisung auf den Spielkarten getauscht. Es darf erst weitergespielt werden, wenn die Protokollführung beendet ist. Der Spielverlauf ist am Anfang etwas langsam, weil jeder Spieler erst seine Rolle lernen muß, später wird das Spiel flotter. Das Spiel wird immer mit der Sonne gestartet. Es ist beendet, wenn die Ozonteilchen verbraucht sind. Auf dem Protokollblatt sind Aufgaben als Anregung zur Auswertung vorgegeben.

Herstellung der Spielkarten

Die Spielkarten sind in der Folge aufgeführt und müssen in der Anzahl der Spiele vervielfältigt werden. Werden andere Farben als vorgeschlagen gewählt, müssen die Farben auf den Spielkarten verändert werden. Um diese Stellen schnell aufzufinden, sind sie durch Kursivdruck hervorgehoben.

Das Protokollblatt zum Spiel befindet sich hinter den Spielkarten.

Die Spielanleitung – eigentlich ganz einfach

7 pro Spiel: 6 Schüler erhalten je eine Rollenkarte, 1 Schüler übernimmt die Rolle des Protokollführers. Der Protokollführer gibt zu Spielbeginn 16 Kugeln, nämlich 3 Masseiteilchen, 11 Ozonteilchen, 1 Chlorteilchen und 1 ClO-Teilchen ins Spielfeld. Dies ist bereits im Protokoll eingetragen. Jeder Schüler handelt im Spielverlauf so, wie es seine Rollenkarte vorschreibt. Wichtig: Jeder achtet nur auf seine eigenen Gastteilchen (Kugeln), da sonst die Stoßreaktionen nicht überblickt werden können.

Spielstart erfolgt immer mit der Sonne, danach ergibt der Zufall bzw. das Geschick, welche Rolle als nächstes weiterspielt. Dies ist jeweils am Ende der aktuellen Rollenkarte genannt und wird auch im Protokoll vermerkt.

Protokoll: Am Ende einer jeden Spielaktion wird die aktuelle Anzahl der noch vorhandenen Kugeln im Protokoll festgehalten. Die Spieler sagen dem Protokollanten an, welche Veränderungen sich bei den Kugeln ergeben haben. Dies steht ausführlich auf den Rollenkarten.

Der **Spießfluß** ist anfangs etwas zäh, weil ein jeder Spieler erst seine Rolle trainieren muß. Es sollten daher die Rollenkarten von den Spielern evtl. Schritt für Schritt abgearbeitet werden.

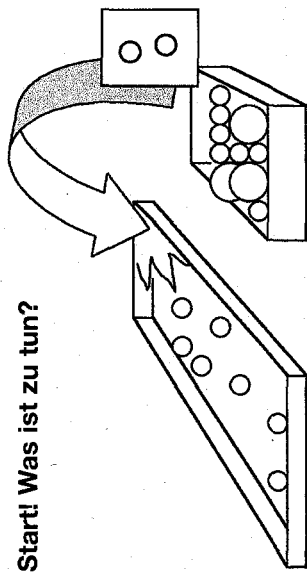
Spielende ist, wenn alle Ozonteilchen verbraucht sind, es kann aber auch eher abgebrochen werden.

Du spielst die Rolle der „strahlenden Sonne“!

Deine Energie spaltet Chlormoleküle, die in einer stratosphärischen Wolke „aufbewahrt“ sind. Diese Chlormoleküle stammen ursprünglich aus FCKW-Molekülen.

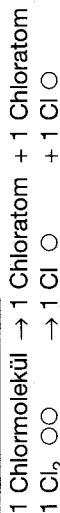
Die stratosphärische Wolke ist der Karton. Wenn du zwei rote Chloratome mit den Fingern zusammenhältst, hast du ein Chlormolekül in der Hand.

Start! Was ist zu tun?



1. Hole die zwei roten Kugeln aus dem Karton! Halte sie mit den Fingern zusammen.
2. Laß die Kugeln über die Sonnenklappe rollen!
3. Aufgepaßt! Hat eine der roten Kugeln eine gelbe im ersten Stoß getroffen? Dann ist jetzt Ozon dran!
4. Vergleiche im Protokoll! (Die zwei hinzugekommenen Chloratome sind im Protokollblatt schon eingetragen!)

Deine Reaktion ist:



Auch später heißt es „aufgepaßt“!

Was dann zu tun ist, steht auf der Rückseite?

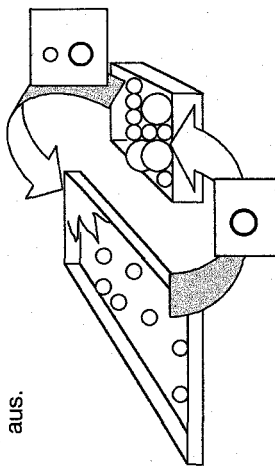
Diese Karte auf die Rückseite der Karte „Sonne“ kleben

weiterer Spielverlauf

Kommt eine sehr große grüne Kugel (Cl_2O_2) ins Spielfeld, bist du wieder an der Reihe!

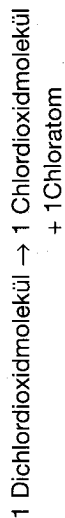
Was ist nun zu tun?

1. Nimm die sehr große, grüne Kugel aus dem Spielfeld und nimm dafür eine große, mittlere, hellblaue Kugel und eine kleine rote Kugel heraus.



2. Laß beide -mit den Fingern zusammengehalten- über die gelbe Sonnenklappe ins Spielfeld rollen.
3. Sag dem Protokollanten deine Rolle (Sonne), außerdem diese Änderungen:
 $- 1 \text{ Cl}_2\text{O}_2\text{-Molekül,}$
 $+ 1 \text{ ClO}_2$
 $+ 1 \text{ Cl-Atom}$
4. Dann ist Chlordioxid dran! (hellblaue Kugel) ○

Deine Reaktion ist jetzt:



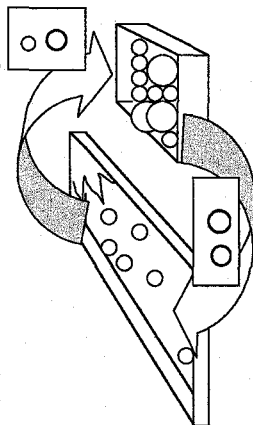
Aufgepaßt, Ozon!

Deine Moleküle (Kugeln) sind in diesem Spiel gelb. Sie müßt du immer im Auge behalten, denn sie spielen in der Stratosphäre eine besondere Rolle!

Was ist zu tun?

Wird eine deiner gelben Kugeln von roten Kugeln getroffen, ist's aus mit dir! Deine gelbe Kugel „Ozon“ muß das Spielfeld verlassen → Karton.

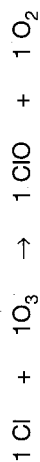
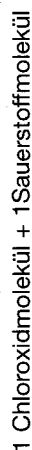
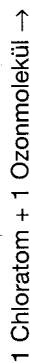
Stattdessen müßt du aus dem Karton eine blaue Kugel für molekularen Sauerstoff an beliebiger Stelle ins Spielfeld geben, ebenso eine grüne Kugel.



Bist du im ersten Zusammenstoß getroffen?

1. Dann tausche die Kugeln gemäß der Zeichnung
2. Sag dem Protokollanten deine Rolle (Ozon) und die deines Stoßpartners (Chlor), außerdem diese Änderungen:
 $- 1 \text{ Chloratom,}$
 $- 1 \text{ Ozonmolekül}$
 $+ 1 \text{ ClO-Molekül,}$
 $+ 1 \text{ Sauerstoffmolekül}$
3. Dann ist Chloroxid dran! (grüne Kugel) ○

Deine Reaktion ist:



Hochreaktiv bist du!

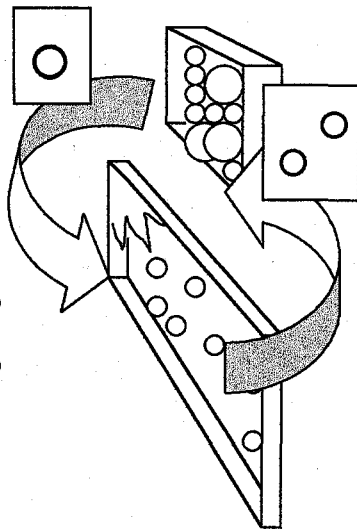
Du spielst die Rolle eines Chloroxidmoleküls (ClO), und du bist eine mittlere, *grüne* Kugel.

Was ist zu tun?

Versuche, eine *grüne* Kugel mit dem Stab gegen eine andere zu stoßen!

Stoßreaktion nicht gelungen? M ist an der Reihe!

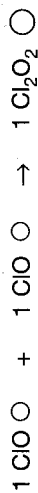
Stoßreaktion gelungen?



1. Tausche die Kugeln gemäß der Zeichnung!
2. Sag dem Protokollanten deine Rolle (Chloroxid), zudem diese Änderungen:
 $- 2 \text{ ClO-Moleküle,}$
 $+ 1 \text{ Cl}_2\text{O}_2\text{-Molekül}$
3. Dann ist die Sonne dran!

Deine Reaktion ist:

1 Chloroxidmolekül + 1 Chloroxidmolekül $\rightarrow$
 1 Dichlordioxidmolekül



Hochreaktiv bist du!

Du spielst die Rolle eines Chlordioxidmoleküls (ClO_2), und du bist eine *hellblaue* Kugel.

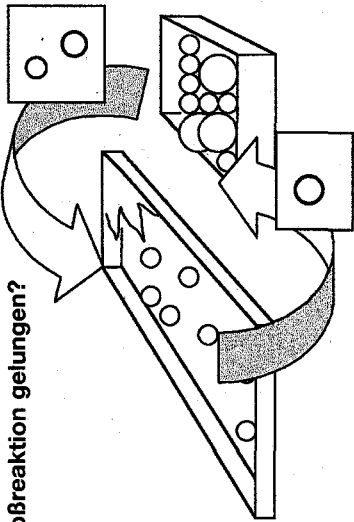
Was ist zu tun?

Stoße deine *hellblaue* Kugel so mit dem Stab, daß du M (orange) triffst.

Stoßreaktion nicht gelungen?

Dann ist M an der Reihe!

Stoßreaktion gelungen?



1. Tausche die Kugeln gemäß der Zeichnung
2. Sag dem Protokollanten deine Rolle (Chlordioxid), zudem diese Änderungen:
 $- 1 \text{ ClO}_2\text{-Molekül}$
 $+ 1 \text{ Chloratom,}$
 $+ 1 \text{ Sauerstoffmolekül}$
3. Dann ist das rote Chloratom dran!

Deine Reaktion ist:

1 Chlordioxid + 1 Masseteilchen $\rightarrow$

1 Chloratom + 1 Sauerstoffmolekül + 1M



Hochreaktiv bist du!

Du spielst die Rolle der Chloratome. Dich gibt es als *kleine, rote* Kugeln!

Was ist zu tun?

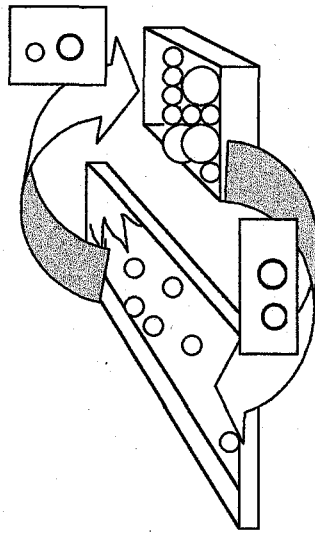
Dein Ziel ist es, gegen ein Ozonmolekül zu stoßen. Das sind die *gelben* Kugeln. Zu Beginn des Spiels geschieht dies meist von selbst. Im weiteren Spielverlauf mußt du die Stoßreaktion mit dem Stab auslösen. Du kannst wie im Billard-Spiel vorgehen.

Stoßreaktion nicht gelungen?

Dann ist M an der Reihe!

Stoßreaktion gelungen?

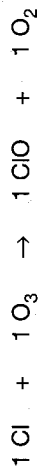
Dann überlaß alles weitere deinem Spielpartner Ozon (*gelbe* Kugel). Er tauscht die Kugeln und gibt die Protokollanweisung.
 Kontrolliere:



Deine Reaktion ist:

1 Chloratom + 1 Ozonmolekül $\rightarrow$

1 Chlordioxidmolekül + 1 Sauerstoffmolekül



M

Du spielst das unbekannte Masseteilchen M und wirbelst ganz schön wild in der Stratosphäre herum. Du bist durch *kleine, orangefarbene* Kugeln dargestellt und bringst Bewegung ins Spielfeld! Du verläßt als einzige Kugel nie das Spielfeld. Du bist nur Stoßpartner, aber kein Reaktionspartner.

Was ist zu tun?

Achte darauf, daß du mindestens jedes vierte Mal dran kommst. Du hast zwei Handlungsmöglichkeiten:

Stoßreaktion A:

Stoße mit dem Stab kräftig auf eine deiner Kugeln. Die zuletzt ins Rollen gebrachte Kugel spielt weiter.

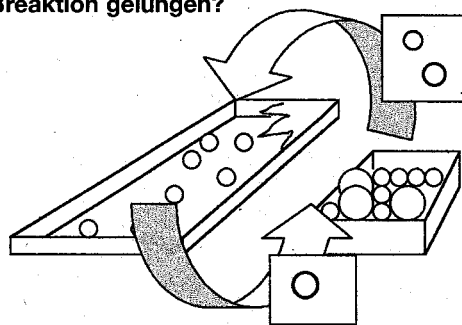
oder Stoßreaktion B:

Stoße so auf deine Kugel, daß die *hellblaue* Kugel (ClO_2 -Molekül) getroffen wird.

Stoßreaktion nicht gelungen?

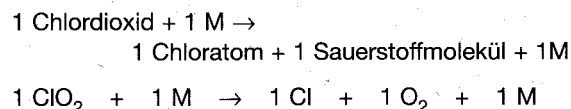
Dann ist die zuletzt ins Rollen gebrachte Kugel dran.

Stoßreaktion gelungen?



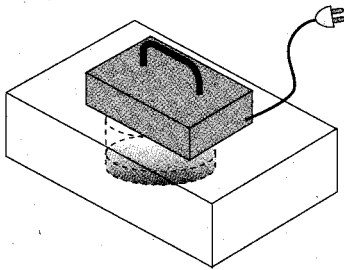
1. Dann tausche die Kugeln gemäß der Zeichnung
2. Sag dem Protokollanten deine Rolle (Masseteilchen), zudem diese Änderungen:
 - 1 ClO_2 -Molekül,
 + 1 Chloratom,
 + 1 Sauerstoffmolekül
3. Dann ist das **rote Chloratom** dran!

Deine Reaktion ist:



Es spielt gerade	Wenn die Aktion des Spielers gelungen ist, spielt als nächster...	Wenn die Aktion des Spielers nicht gelungen ist, spielt als nächster...
Sonne (Start) *	Ozon (<i>gelbe</i> Kugel) ○ ----- Chlordioxid (<i>hellblaue</i> Kugel) ○	Chlor (<i>rote</i> Kugel) ○ ----- entfällt
Sonne (im weiteren Spielverlauf) *		
Chlor (<i>rote</i> Kugel) ○	Chloroxid (<i>grüne</i> Kugel) ○	Masseteilchen M (<i>orangefarbene</i> Kugel) ○
Chloroxid (<i>grüne</i> Kugel)	Sonne *	Masseteilchen M (<i>orangefarbene</i> Kugel) ○
Chlordioxid (<i>hellblaue</i> Kugel) ○	Chlor (<i>rote</i> Kugel) ○	Masseteilchen M (<i>orangefarbene</i> Kugel) ○
Masseteilchen M (<i>orangefarbene</i> Kugeln) ○ Stoßreaktion gegen Chloroxid (<i>grüne</i> Kugel) ○ ----- Stoßreaktion gegen eigene Kugel	Chlor (<i>rote</i> Kugel) ○ ----- entfällt	Die zuletzt ins Rollen gebrachte Kugel spielt weiter ----- Die zuletzt ins Rollen gebrachte Kugel spielt weiter
Ozon (<i>gelbe</i> Kugel)	Chloroxid (<i>grüne</i> Kugel) ○	Masseteilchen M (<i>orangefarbene</i> Kugel)

Lebewesen werden durch UV-B-Strahlung geschädigt



Leicht angesäuerte Milch (Milch darf noch nicht sauer riechen) wird in ein Becherglas gegeben und kräftig mit

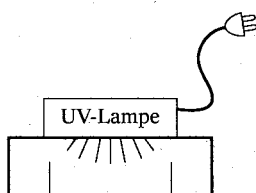
Methylenblau angefärbt. Ein Teil dieser Milch wird in eine flache Schale (Petrishale) gegossen. Der Boden der Schale sollte nur flach bedeckt sein. Unter einem Karton wird diese Milch mit UV-Licht 5 Minuten bestrahlt. (Dabei sollte kein Licht aus dem Karton heraustreten können, denn UV-Licht schädigt die Augen.) Anschließend wird die Milch in ein Reagenzglas ① gefüllt. Ein zweites Reagenzglas ② wird gleichhoch mit unbestrahlter Milch gefüllt. Anschließend werden beide Reagenzgläser in ein Wasserbad von ca 40 °C gestellt. Die Farbveränderung soll verfolgt werden.

Das Verschwinden der blauen Farbe beruht auf dem Stoffwechsel der Milchsäurebakterien. Bei

Gelingen des Versuches zeigt sich beim unbestrahlten Ansatz eine stärkere Entfärbung als bei der bestrahlten Milchprobe. Der Versuch kann dann so interpretiert werden, daß die Milchsäurebakterien durch UV-Licht in ihrem Stoffwechsel geschädigt werden bzw. sogar absterben. Letzteres kann nicht bewiesen werden, weil noch genügend Bakterien überleben und zum Verschwinden der blauen Farbe beitragen. Das Entfärben beruht auf der Überführung des blauen Methylenblau (oxidierte Form) in den farblosen Stoff Leukomethylenblau (reduzierte Form) während des Milchzuckerabbaus durch Glykolyse.

Tip: Für diesen Versuch braucht man ein gewisses „Fingerspitzengefühl“. Nicht immer hat die Milch den richtigen Säuerungsgrad. Daher empfiehlt es sich, verschieden alte Milchproben bereitzuhalten. In der Regel gelingt der Versuch mit gekühlter Milch (3,5 %, pasteurisiert und homogenisiert) in noch verschlossenen Verpackungen, wenn das Haltbarkeitsdatum schon mehrere Tage überschritten ist. Allerdings darf die Milch nicht stinken bzw. nicht eindeutig sauer riechen. Dann ist sie zu alt.

Lebewesen werden durch UV-B-Strahlung geschädigt



angesäuerte
Milch enthält



① vorher



① nachher



② vorher



② nachher

Milchsäurebakterien ernähren sich vom Milchzucker in der Milch. Unter den gegebenen Versuchsbedingungen verbrauchen sie für diesen Stoffwechsel dabei den blauen Farbstoff Methylenblau. Der Farbstoff ist ein Indikator (Anzeiger).



Rätselhaftes Amphibiensterben

Eine Forschergruppe des amerikanischen Ökologie-Professors A. Blaustein erforschte seit 1979 die ökologischen Bedingungen für verschiedene Lurcharten sowie das Verhalten dieser Tiere im Kaskadengebirge, Oregon. Da die Wissenschaftler die Entwicklung der Tiere von der Eiablage bis zum ausgewachsenen Amphib verfolgten, entdeckten sie, daß befruchtete Eier massenhaft abstarben und im Verlauf von zehn Jahren auch der Bestand erwachsener Tiere fortwährend abnahm. Die Forscher untersuchten die Wasserqualität der Seen und Tümpel, fanden jedoch weder eine Verschmutzung noch einen erhöhten Säuregehalt des Wassers. Überraschenderweise entwickelten sich befruchtete Eier, die weiterhin im Wasser des jeweiligen Gewässers unter Laborbedingungen gehalten wurden, völlig normal. Es erhob sich der Verdacht, daß die ultraviolette Strahlung ein übermäßiges Amphibiensterben verursacht.

Dieser Verdacht gab den Anlaß für eine vergleichende Untersuchung, deren Ergebnis in der Tabelle zusammengefaßt ist. Die Versuche A und B sind 1994 am natürlichen Standort durchgeführt worden. Eine Versuchsvariante C, bei der die Käfige mit transparenter, UV-B durchlässiger Acetatfolie abgedeckt wurden, erbrachte ähnliche Ergebnisse wie B.

Amphibienart	Entwicklung des Laichs im natürlichen Gewässer	Gehalt von Photolyase im Ei	A (Käfig, abgedeckt mit transparenter Plastikfolie, die UV-B undurchlässig ist)	B (Käfig offen)	natürliches Verbreitungsgebiet
Königslaubfrosch <i>Hyla regilla</i>	kein Rückgang im Bestand	dreifacher Gehalt verglichen mit Kaskadenfrosch, sechsfacher Gehalt verglichen mit Nordkröte	kaum Absterben der befruchteten Eier	kaum Absterben der befruchteten Eier	Kaskadengebirge, USA, Staat Washington, 1200 m hoch
Kaskadenfrosch <i>Rana cascadae</i>	massenhaftes Absterben von befruchteten Eiern im Frühjahr 1993	gering	10 bis 20 % der befruchteten Eier sterben ab	über 40 % der befruchteten Eier sterben ab	Kaskadengebirge, USA, Staat Washington, 1200 m hoch
Nordkröte <i>Bufo boreas</i>	massenhaftes Absterben von befruchteten Eiern im Frühjahr 1993	gering	10 bis 20 % der befruchteten Eier sterben ab	über 40 % der befruchteten Eier sterben ab	Kaskadengebirge, USA, Staat Washington, 1200 m hoch
Querschnmolch <i>Ambystoma gracile</i>		wenig	45 % der befruchteten Eier sterben ab	90 % der befruchteten Eier sterben ab	Küstengebirge, USA, Staat Oregon, 180 m hoch

Anmerkungen:

1. Alle in dieser Tabelle betrachteten Arten laichen in flachen, seichten Gewässern ab.
2. Photolyase ist ein DNA-Reparaturenzym, das bei DNA-Schädigung durch UV-Licht wirksam wird. Es kommt in Algen und auch höheren Pflanzen sowie bei Fischen, Amphibien und Beuteltieren vor.
3. Im Staat Oregon hat sich in den letzten Jahren der schmarotzende Pilz *Saprolegnia* stark vermehrt und schwächt einige wasserlebende Tiere wie Fische.

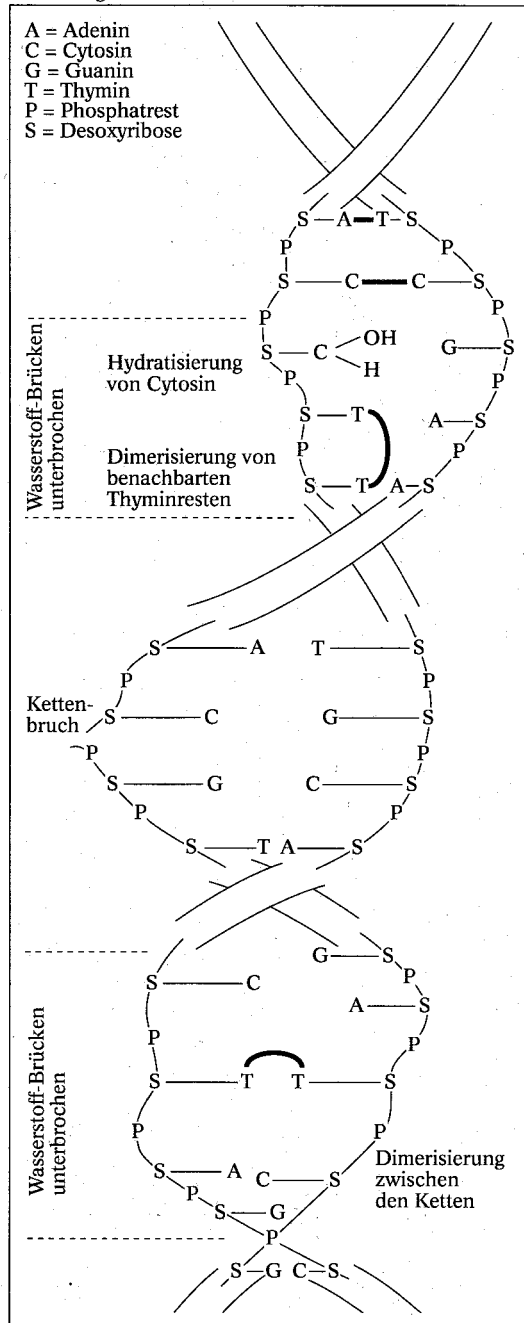
Tabelle, erstellt nach Blaustein/ Wake, 1995.

Fragen zur Graphik:

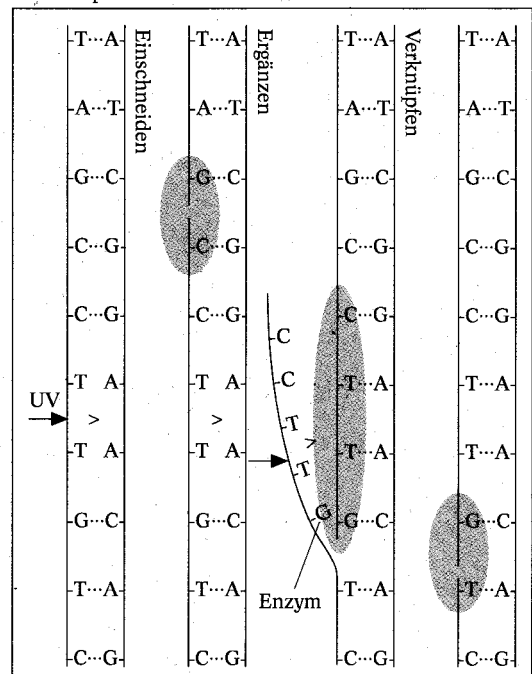
Werte die Tabelle aus und diskutiere den von den Forschern geäußerten Verdacht!

DNA ist UV-empfindlich

UV-bedingte Schäden in der DNA



DNA-Reparatur

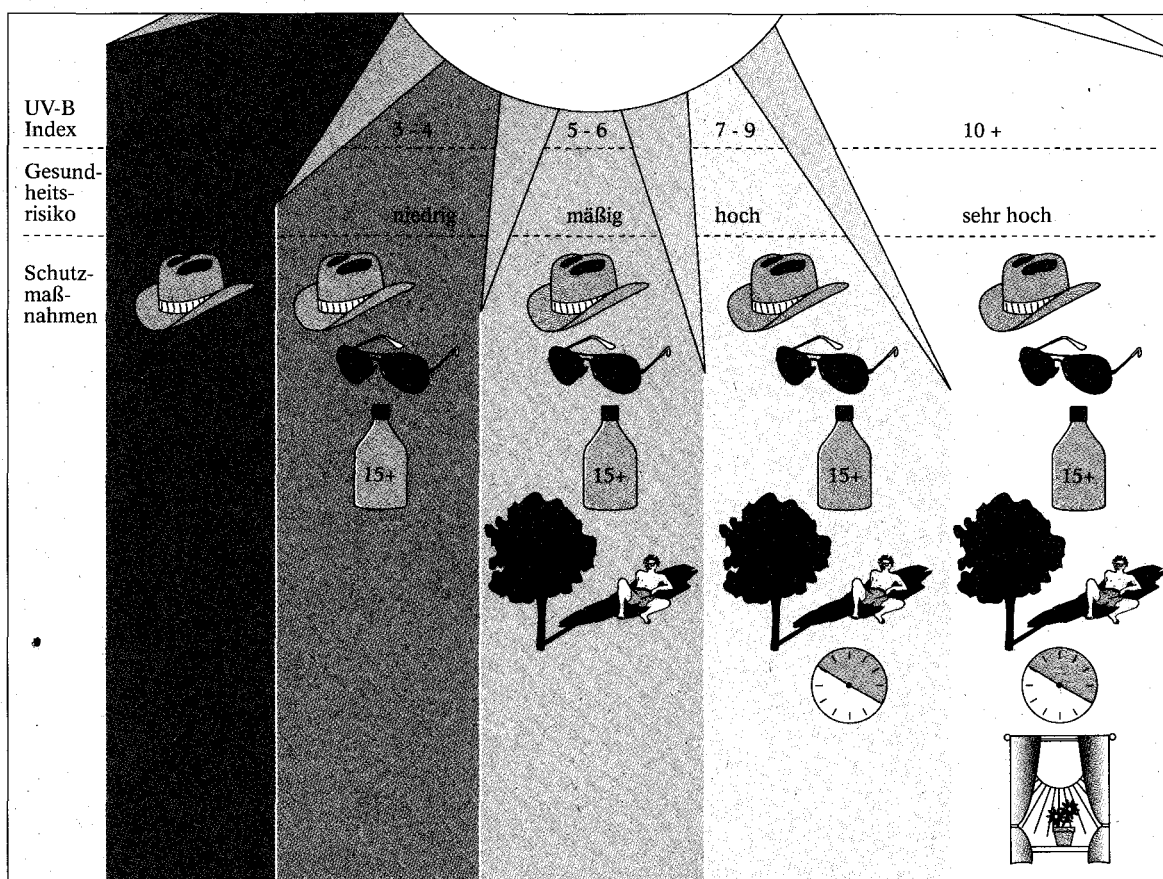


UV-B-Strahlung kann durch ihren Energieinhalt Wasserstoff-Brückenbindungen zwischen den komplementären Strängen lösen und eine Atombindung zwischen benachbarten Thymin-Basen entweder am gleichen Strang oder schräg gegenüber zwischen den komplementären Strängen erzeugen. Die meisten Lebewesen verfügen über ein äußerst funktionstüchtiges Reparatursystem, das entstandene Fehler 100%-ig repariert. Dabei dient der nicht geschädigte Strang als Kopiervorlage. Allerdings steht bei anwachsender Strahlenbelastung zu befürchten, daß die Schadstellendichte zu groß wird bzw. Fehler in den gegenüberliegenden Strängen zu eng stehen und dann die Reparatur nicht korrekt vollzogen werden kann. Auch kann das Reparatursystem überlastet werden, wie man von menschlichen Hautzellen weiß.

Leben mit erhöhter UV-B-Strahlung

„Between eleven and three, slip under a tree.“ Die Einwohner Neuseelands und Australiens kennen diesen Spruch, der sie mahnt, wegen der zugenommenen UV-B-Strahlung im Sommer die starke mittägliche Sonne zu meiden.

Wie stark Haut und Augen vor der zunehmenden UV-Strahlung zu schützen sind, hängt vom sogenannten UV-Index ab. Da vornehmlich Kinder den Aufenthalt im Freien lieben, ihre Haut aber besonders strahlungsempfindlich ist, gelten für sie erhöhte Schutzmaßnahmen. Ein bis zwei starke Sonnenbrände während der Kindheit und Jugend verdoppeln das Risiko für Melanomkrebs.

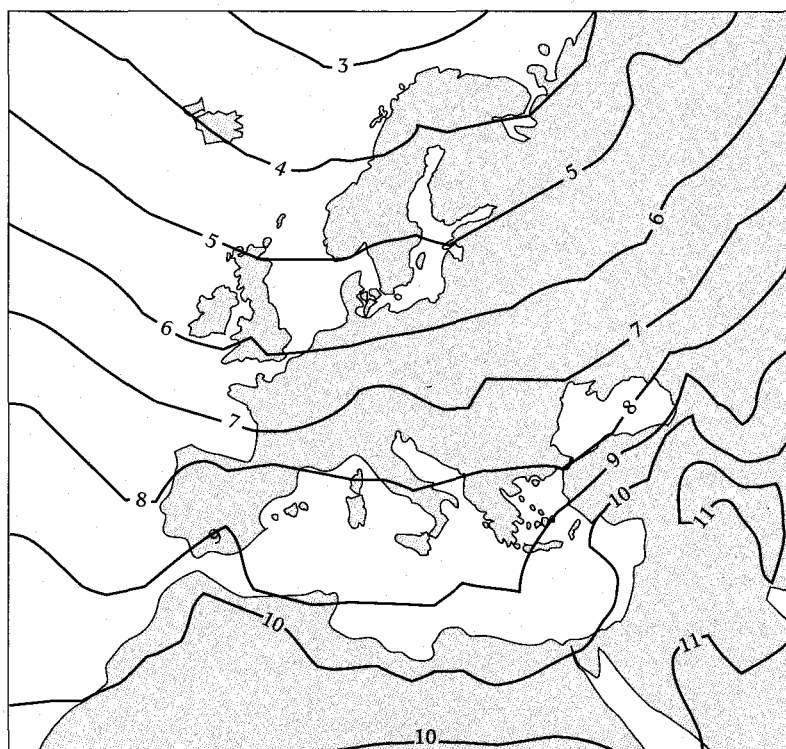
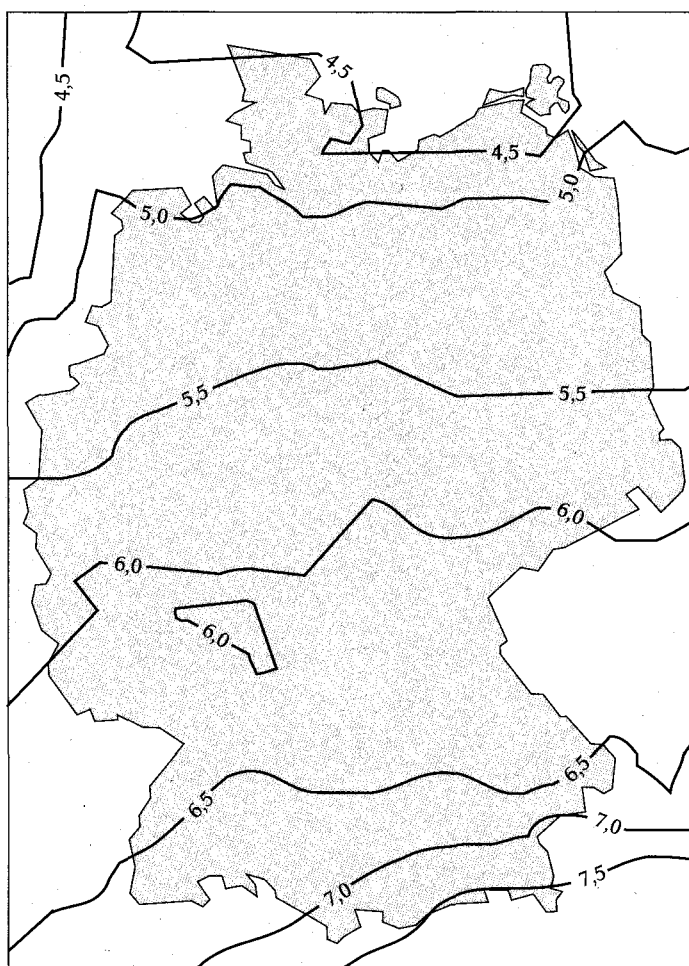


Quelle: EPA, USA, verändert

Aufgaben:

1. Informiere dich anhand der Grafik über Vorsichtsmaßnahmen bei den verschiedenen Index-Werten!
2. Welche Anschaffungen müßtest du vornehmen, um diesen Vorsichtsmaßnahmen zu entsprechen?
3. Du planst eine Reise nach Spanien im Monat Juli. Für diese Zeit ist ein UV-Index von 9 anzunehmen. Plane einen Urlaubstag! Was hast du dir für Unternehmungen vorgenommen? Wie arrangierst du diese Unternehmungen im Hinblick auf den UV-Index? Welche Unterschiede entdeckst du im Verhalten von Touristen und Einheimischen?

Der UV-Index



Der UV-Index ist ein Maß für die solare Bestrahlungsstärke und berücksichtigt deren Wirkung auf die menschliche Haut. Durch Multiplikation mit einem konstanten Faktor ergibt sich eine gut merkbare, dimensionslose Größe, deren Werte zwischen 0 (Minimum) und 12 (mittleres Jahresmaximum in tropischen Breiten) schwanken. Nach kanadischen Erkenntnissen ist ein solcher Wertebereich ähnlich informativ wie die Beaufort-Skala zur Angabe der Windstärke. Der UV-Index berücksichtigt neben der Bewölkung auch den Gesamt ozonegehalt der Atmosphäre sowie weitere relevante Umweltvariablen. Durch Bekanntmachung des UV-Index sollen Verhaltensänderungen bei der Bevölkerung in Gang gesetzt werden mit den Zielen einer Reduktion der Sonnenexposition und angemessenen Schutzmaßnahmen.

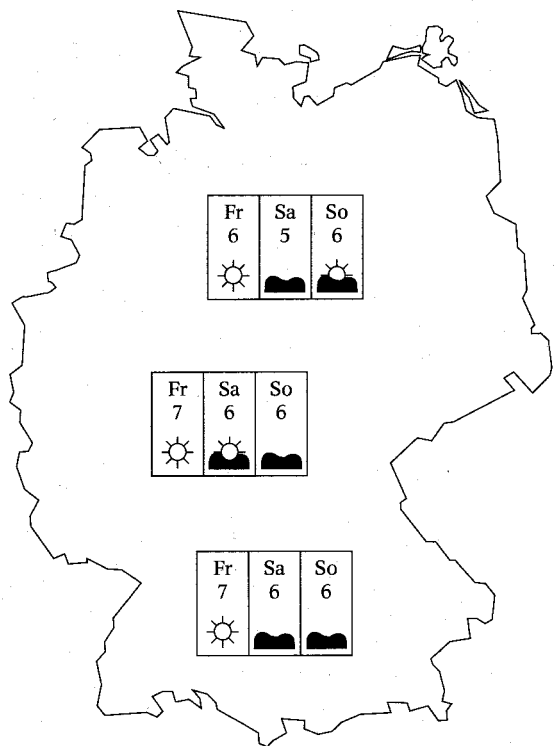
nach Staiger, Schubert, Vogel, 1997

Solarer UV-Index

Solarer UV-Index (UVI) Stand: 27. 06. 1996

BfS 3-Tages-Vorausschau UBA

Der UV-Index (UVI) ist eine international anerkannte Größe. Er beschreibt den Tagesspitzenwert der sonnenbrandwirksamen UV-Strahlung, die am Erdboden erwartet wird. An sonnigen Tagen liegt dieser Wert bei 13.00 Uhr.



☀ sonnig ☁ wolkig
☁ bedeckt ☁ regnerisch

Vorhersagegebiete:
Norden – Küstenbereich, norddeutsches Flachland
Mitte – Ruhrgebiet, Mittelgebirge, Bayerischer Wald
Süden – südliches Deutschland bis zum Alpenrand

Maximal mögliche UVI-Werte für Urlaubsgebiete:

Venedig 45 °N	8
Rom 42 °N	9
Mallorca 39 °N	9
Lissabon 38 °N	9
Palermo 37 °N	9
Antalya 37 °N	9
Kreta 35 °N	9
Kan. Inseln 30 °N	10
New York 41 °N	9
San Franzisko 38 °N	9
Bangkok 14 °N	12
Singapur 1 °N	10

B15\ISH\MG32\UP960627

Empfehlungen

Schutzhinweise und Zeiten bis zum Erreichen eines Sonnenbrandes gelte für den empfindlichen Hauttyp II bei ungebräunter Haut. Bei Personen mit empfindlicherer Haut können Sonnenbrände früher eintreten! Kinder sind generell vor starker Sonneneinstrahlung zu schützen. Bester Sonnenschutz sind Kleidung, Hut und eine gute Sonnenbrille. Bei hohem UVI: Mittagssonne meiden! Sonnenschutzmittel verwenden, deren Lichtschutzfaktor etwa dem doppelten UVI-Wert entspricht! Für Kinder und empfindliche Personen mindestens Lichtschutzfaktor 15 wählen.

UV-Index	Belastung	Sonnenbrand möglich:	Schutzmaßnahmen
8 und höher	sehr hoch	in weniger als 20 Minuten	unbedingt erforderlich
7-5	hoch	ab 20 Minuten	erforderlich
4-2	mittel	ab 30 Minuten	empfehlenswert
1-0	niedrig	unwahrscheinlich	nicht erforderlich

Sonne und Hauttyp

Das Risiko, einen Sonnenbrand zu erleiden, hängt wesentlich vom Hauttyp des Menschen und vom gewählten Sonnenschutz ab. Außerdem spielen die Aufenthaltsdauern im Freien, die Körperhaltung sowie die Lichtgewöhnung der Haut eine Rolle.

Die gegebenen Schutzempfehlungen und Zeiten orientieren sich an der Empfindlichkeit des hellhäutigen Menschen, die Sonne nicht gewöhnt ist (Hauttyp II: blonde Haare, graue, blaue oder grüne Augen). Bei dunkelhäutigen Menschen oder bereits sonnengewöhnter Haut können sich diese Zeiten mehr als verdoppeln. Für Hauttyp I sind die Zeiten kürzer (nähere Angaben über T-online).

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), 38201 Salzgitter, Postfach 100149, Tel.: 05341/225-280, Abruffax: 05341/225287, T-Online (KIT)*BfS#
In Zusammenarbeit mit: UBA; Umweltbundesamt, Berlin, DWD; Deutscher Wetterdienst. Offenbach/Potsdam

Quelle: Deutscher Wetterdienst, 1996

„Sonderkommission Strahlenschutz“ (1)

Die folgenden Vorschläge eignen sich gut für eine arbeitsteilige Gruppenarbeit und könnten mit einem Infostand enden. Ziel eurer Arbeit sollte sein, anderen verständlich zu machen, daß intensive Sonnenstrahlung ein Risiko für unsere Haut ist. Durch aktiven Sonnenschutz können wir das Risiko für unsere Haut und für unsere Augen mindern.

Ihr arbeitet in der „Sonderkommission Strahlenschutz“ an unterschiedlichen Fragestellungen und berichtet euch darüber gegenseitig in der Klasse. Die Ergebnisse eurer Gruppenarbeit könntet ihr später gut auf Plakaten an einer Pinnwand in der Schule oder als Infostand in der Fußgängerzone demonstrieren. Dies ist sicherlich eine sinnvolle Aktion vor den Sommerferien, denn auch in Mitteleuropa und erst recht in den Urlaubsregionen Südeuropas ist Sonnenschutz eine notwendige Maßnahme. Gerade am Urlaubsort beobachtet man viel falsches Verhalten in der Sonne!

Eine Übersicht über mögliche Aufgaben gibt die nachfolgende Aufstellung. Ihr solltet zu zwei bis vier Personen in einer Gruppe arbeiten. Es können gleiche Gruppenarbeiten mehrfach vergeben werden.



Überlegt, welche Eigenschaften Sonnenschutzkleidung aufweisen müßte!
Entwerft für euch eine angemessene und euch gefallende Sonnenschutzkleidung!
Welche Stoffqualitäten müßt ihr verwenden?
Informiert euch!

*kreative
Aufgabe*



Informiert euch im Kaufhaus und beim Optiker über Qualitätsunterschiede bei Sonnenbrillen!
Notiert Preise!
Laßt eure Sonnenbrillen beim Optiker testen!
Erstellt eine anschauliche Übersicht über eure Informationen und stellt alles in der Klasse vor!

*Recherche
und
Interview*



Informiert euch im Supermarkt, in der Drogerie und in der Apotheke über das Angebot von Sonnenschutzmitteln mit unterschiedlichem Lichtschutzfaktor! Notiert Preise!
Welche Empfehlungen zur Anwendung von Sonnenschutzmitteln verschiedenen Faktors geben die VerkäuferInnen bzw. gibt das Produkt selbst!
Haltet ihr die Beratung für sachlich angemessen?
Tauscht eure Ergebnisse mit der anderen Arbeitsgruppe Sonnenschutzmittel aus.

*Recherche
und
Interview*

„Sonderkommission Strahlenschutz“ (2)

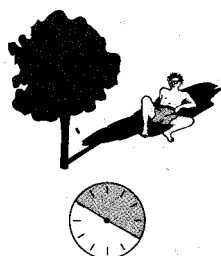


Nehmt ein großes Stück Zeitungspapier oder Butterbrotpapier und legt 4 kleine Scheiben aus Glas (z. B. Objektträger aus der Mikroskopie) auf das Papier. Markiert die Position der Scheiben durch Umranden mit einem Bleistift! Die erste Scheibe bleibt klar, auf die zweite Scheibe schmiert ihr ein Sonnenschutzmittel mit einem niedrigen Lichtschutzfaktor, z. B. 6 oder 8. Die dritte und vierte Scheibe wird mit je einem höheren Lichtschutzfaktor, z. B. 15 und 20 bestrichen. Setzt das Papier für 1, 2 oder 3 Tage der Sonne aus! Der Platz sollte gut besonnt, aber geschützt vor möglichen Witterungsänderungen sein. Was stellt ihr fest?

Experiment

Tip! Ihr könnt diesen Versuch im Hinblick auf eine Ausstellung auch sehr wirkungsvoll ausführen, wenn ihr eine große Scheibe Glas (20 x 20 cm mit geschliffenen Kanten!) nehmt und die Lichtschutzfaktoren der verschiedenen Sonnenschutzmittel jeweils als Zahl auf die Scheibe schreibt.

Tauscht eure Ergebnisse mit der anderen Arbeitsgruppe Sonnenschutzmittel aus.



Mit einem Luxmeter könnt ihr unterschiedliche Lichtstärken messen.

Meßt die unterschiedliche Strahlungsintensität im Schatten eines Baumes, eines Hauses, eines Sonnenhutes... und jeweils außerhalb.

Die Messungen solltet ihr morgens um acht Uhr, in der Mittagszeit und abends vornehmen.

Wiederholt eure Messung an weiteren Sonnentagen.

Experiment

Tip! Habt ihr kein Luxmeter zur Verfügung, könnt ihr ersatzweise auch den Belichtungsmesser für einen Fotoapparat einsetzen. Die Funktionsweise des Belichtungsmessers müßtet ihr euch wegen der Einbeziehung der Blendenzahl erklären lassen.

„Sonderkommission Strahlenschutz“ (3)



Daß die Tageszeit der Grund für eine unterschiedliche Strahlungsintensität ist, könntet ihr für die Ausstellung auf einem großen Tonkarton darstellen.

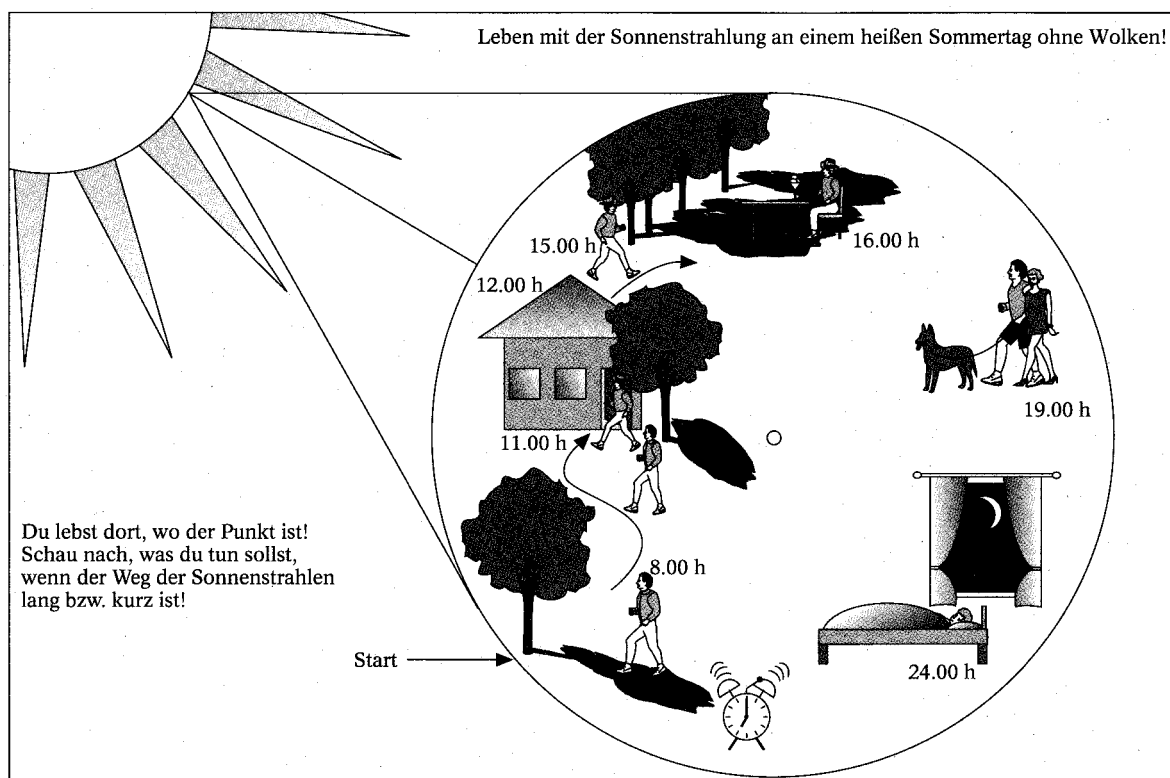
*Basteln
eines
Demonstra-
tionsmodells*

Montiert dazu eine Drehscheibe aus Karton so in Position zur gezeichneten Sonne, daß deren Strahlen auf die Scheibe fallen. Die Scheibe stellt den Erdball dar. Ein Punkt ist Symbol für unseren Standort.

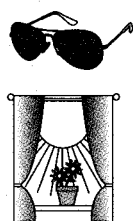
Ein ausgeschnittenes Rechteck gibt die Uhrzeit und empfohlene Verhaltensweisen am Standort an.

Bild und Uhrzeit müssen auf der Untergrundpappe paßgenau in Form der Drehscheibe vermerkt sein.

Auf dem Untergrundkarton zeichnet ihr von einem Punkt der Sonne geradlinig einige Lichtstrahlen in „alle“ Richtungen. Einer der Strahlen trifft den Startpunkt (8 Uhr), ein anderer fällt senkrecht von der Sonne auf die Erdoberfläche (12 Uhr), wieder ein anderer fällt seitlich vom Lot auf die Erdoberfläche (16 Uhr). Durch Drehen der Scheibe nach rechts wird der Tageslauf der Sonne simuliert. Die Sonne steht am höchsten, wenn der senkrecht auf die Erdoberfläche auftreffende Lichtstrahl das „Haus“ erreicht. Dann ist 12 Uhr, nach Sommerzeit 13 Uhr. Da der Weg des Lichtstrahls nun am kürzesten ist, ist die Lichtstrahlung intensiver.



„Sonderkommission Strahlenschutz“ (4)



Nehmt ein Stück Zeitungspapier oder Butterbrotpapier und legt eine kleine Scheibe Glas (z.B. einen Objektträger aus der Mikroskopie) darauf!

Experiment

Nehmt verschiedene Sonnenbrillen und schneidet Zeitungspapier in Form der Brillengläser sehr genau aus. Klebt das Zeitungspapier direkt hinter die beiden Brillengläser und legt die Brille in die Sonne.

Am Bügel der Brille könnt ihr noch ein kleines Stück Zeitungspapier ankleben und direkt besonnen.

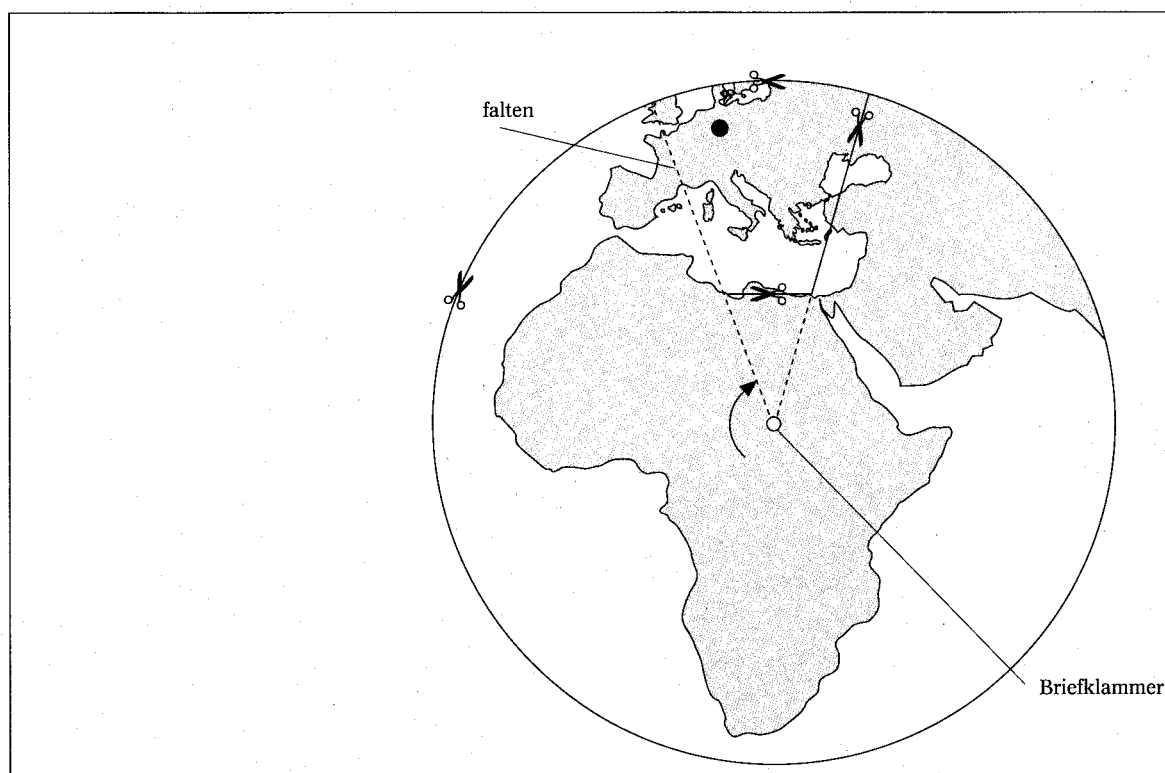
Setzt das Papier für 1, 2 oder 3 Tage der Sonne aus!

Was stellt ihr fest?

Achtung! Keine unbeklebten Brillengläser auf Papier in die Sonne legen.

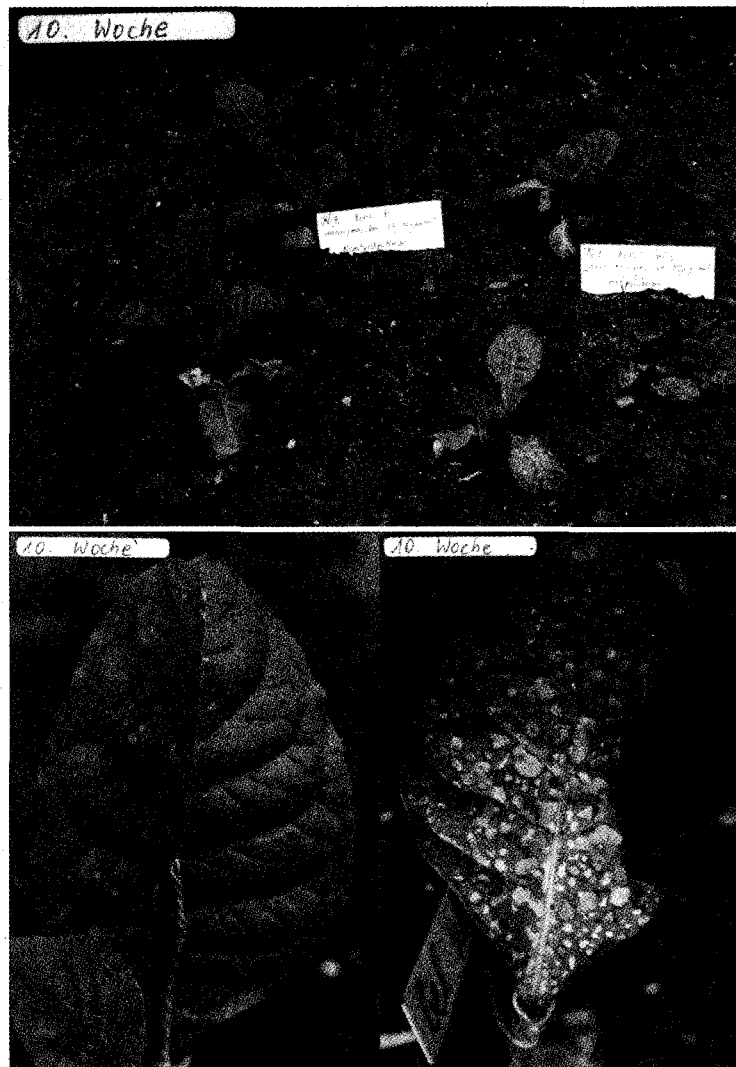
Die Wölbung des Glases könnte das Papier entzünden!

Drehscheibe „Erdkugel“, gehört zur vorigen Seite „Leben mit der Sonnenstrahlung an einem heißen Sommertag ohne Wolken“



Tabak – kein Meßinstrument, aber ein Anzeiger für Bodenozone!

Unter den vielen Tabaksorten, die gezüchtet werden, gab es Sorten, die leicht die „Braune-Flecken-Krankheit“ bekamen. Erst Jahre später erkannte man, daß diese Tabaksorten empfindlich auf erhöhte Bodenozonewerte reagierten. Solche Sorten haben keine Karriere als „Glimmstengel“ gemacht, wohl aber in der Wissenschaft! Heute werden sie gezielt als Bioindikatoren für Bodenozone eingesetzt.



Aufgaben:

1. Vergleiche die vier Pflanzen in der oberen Abbildung! Notiere die Unterschiede!
2. Die beiden unteren Abbildungen zeigen beginnende bzw. vorangeschrittene Fleckbildung. Überlege, wie du das Ausmaß der Schädigung quantitativ erfassen könntest?
3. Auch andere Pflanzen werden durch Ozon geschädigt. Zu den empfindlicheren Arten zählen beispielsweise die Schwarzkiefer und die Eberesche, die Getreidearten Hafer und Gerste sowie die landwirtschaftlichen Kulturpflanzen Tomate und Kartoffel. Diskutiere diese Angaben aus der Sicht eines Försters, eines Landwirts, eines Hobbygärtners und aus der Sicht eines „Nur-Bürgers“!

Viele Blätter wurden braun



(kat) Tabak – da denken die meisten an Zigaretten. Die Schüler des Biologie-Leistungskurses der Heinrich-Nordhoff-Gesamtschule denken seit kurzem bei Tabakpflanzen an Ozon. Denn „Tabakpflanzen als Ozonindikatoren“ lautete die Idee eines Projekts, initiiert vom WWF Bremen, unterstützt von der Naturerkundungsstation. Nach vier Wochen sind nun die Auswertungen abgeschlossen, die Bewertungsbögen bald auf dem Weg nach Bremen.

Am Klieversberg, in Fallersleben und direkt an der IGS haben die Schüler Versuchspflanzen postiert und die Belastung der verschiedenen Standorte verglichen. Die Höhe des Ozonwerts wird an der Schädigung des Blattes gemessen; braune Flecken zeigen die Blätter bei hoher Ozonbelastung – das Prinzip der Bioindikatoren. „Ist das Schadensstufe 2 oder drei?“ Tobias beugt sich mit dem Auswertungsbogen über „Bel w3“, die empfindlichere Testpflanze. Neben ihm liegt ein Zettel mit den Kriterien für die verschiedenen Schadensstufen: Der prozentuale Fleckenanteil ist entscheidend; kein leichtes Unterfangen für die Schüler.

Zehn Zentimeter groß waren die Pflanzen zu

Beginn des Projekts, mehr als kniehoch sind sie jetzt. „Wir hatten gehofft, daß die Pflanzen schneller wachsen“, sagt Kursleiter Hans Frank. Dennoch ihren Zweck erfüllt haben die Pflanzen. Bel w3 zeigt Ozonwerte ab 80 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft an. Für empfindliche Menschen bedeutet eine Belastung von 120 Mikrogramm bereits Kreislaufprobleme und Atemnot.

Hier lag auch der Reiz des Versuchs: praktisch nachvollziehen zu können, was Ozon verursacht. „Jetzt kann man die Beziehung zum Menschen herstellen“, meint Frauke. „Wo die Pflanzen geschädigt werden, reagieren auch wir.“ Hat das direkte Erleben von Umweltzerstörung nun auch Einfluß auf das eigene Verhalten, bleibt das Auto stehen? „Ich fahre öfter mit dem Fahrrad.“ Wie Tobias reagieren nicht alle: „Viele Kollegen finden das Projekt interessant – doch der Parkplatz ist rappellvoll.“ Hans Frank wird nachdenklich: „Es sind eben zwei Schritte: Verstehen und dann auch umsetzen.“

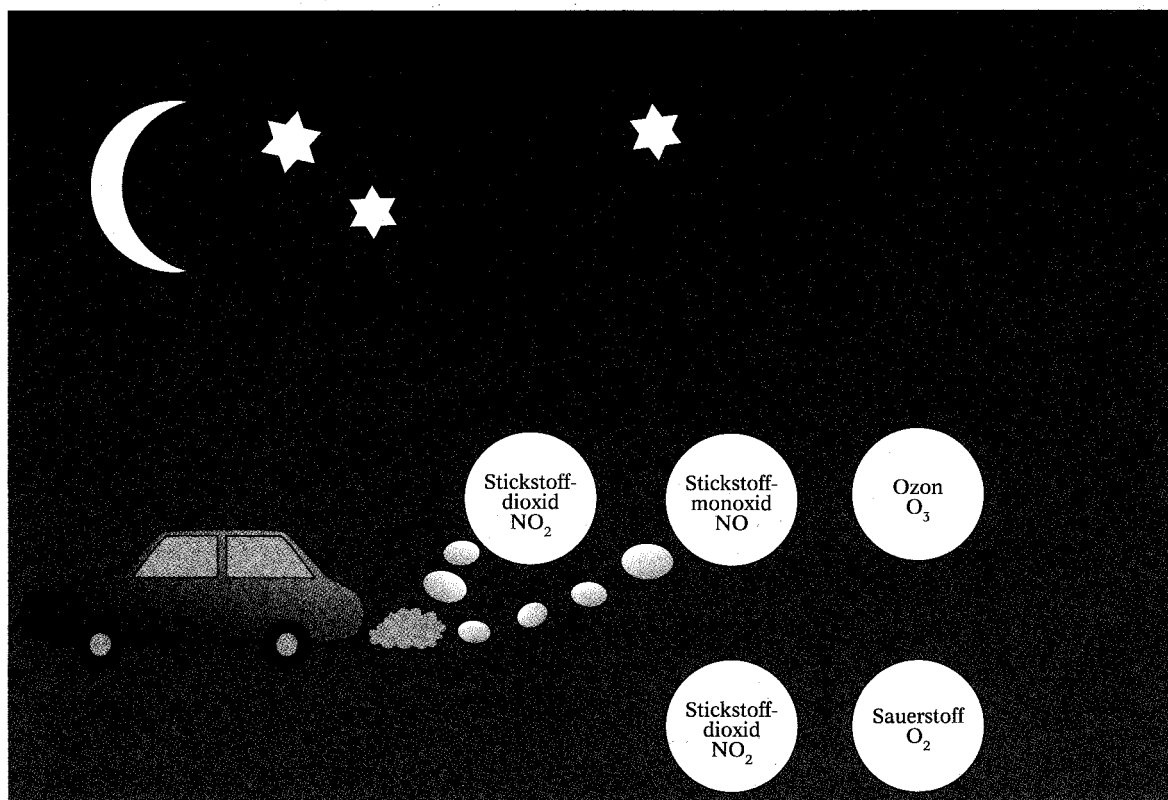
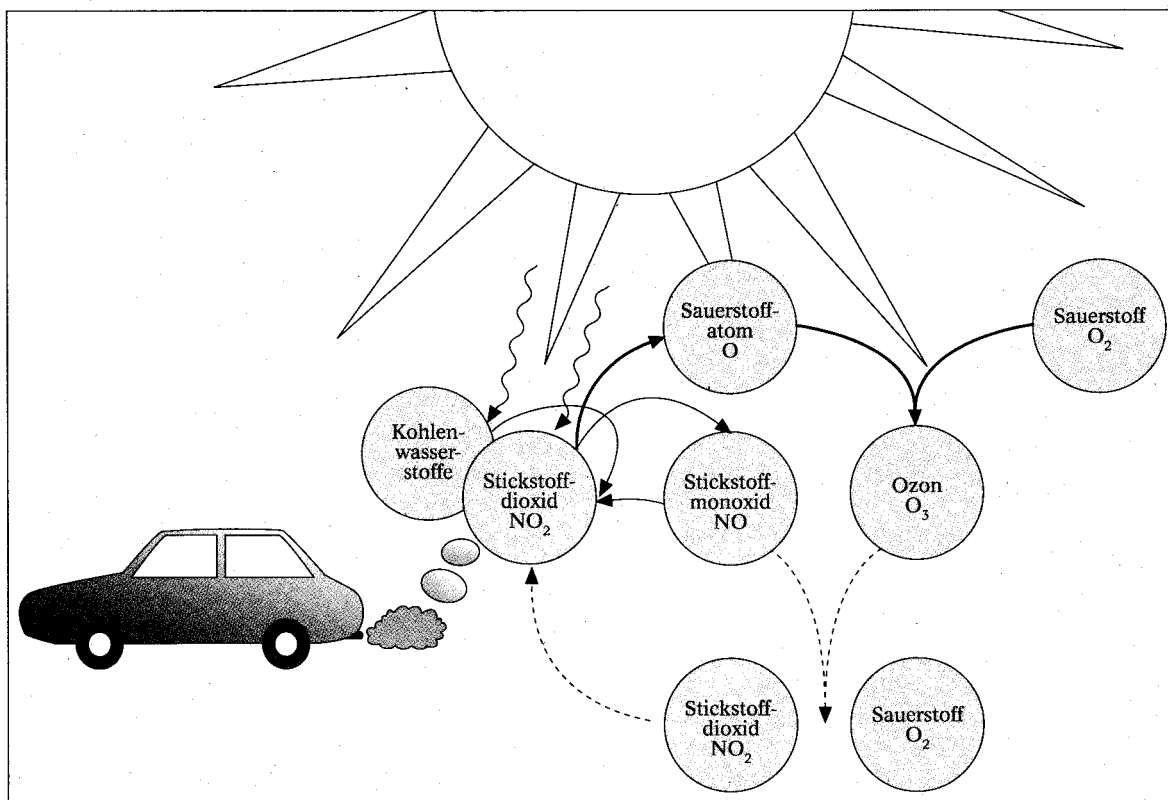
Das Projekt ist abgeschlossen. Was aber geschieht mit den Tabakpflanzen? Frauke lacht.. „Vielleicht gibt es sie ja bald: die Heinrich-Nordhoff-Gesamtschul-Zigaretten.“

Quelle: Wolfsburger Allgemeine Zeitung vom 17.6.1993

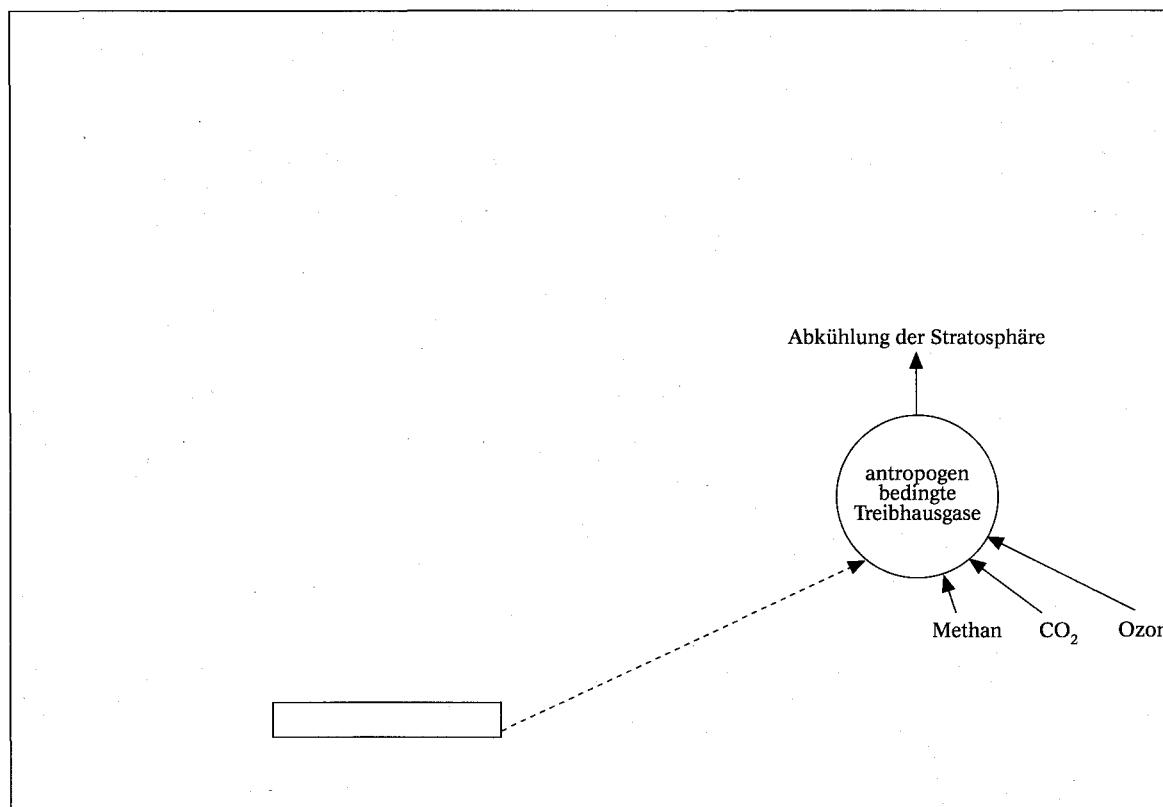
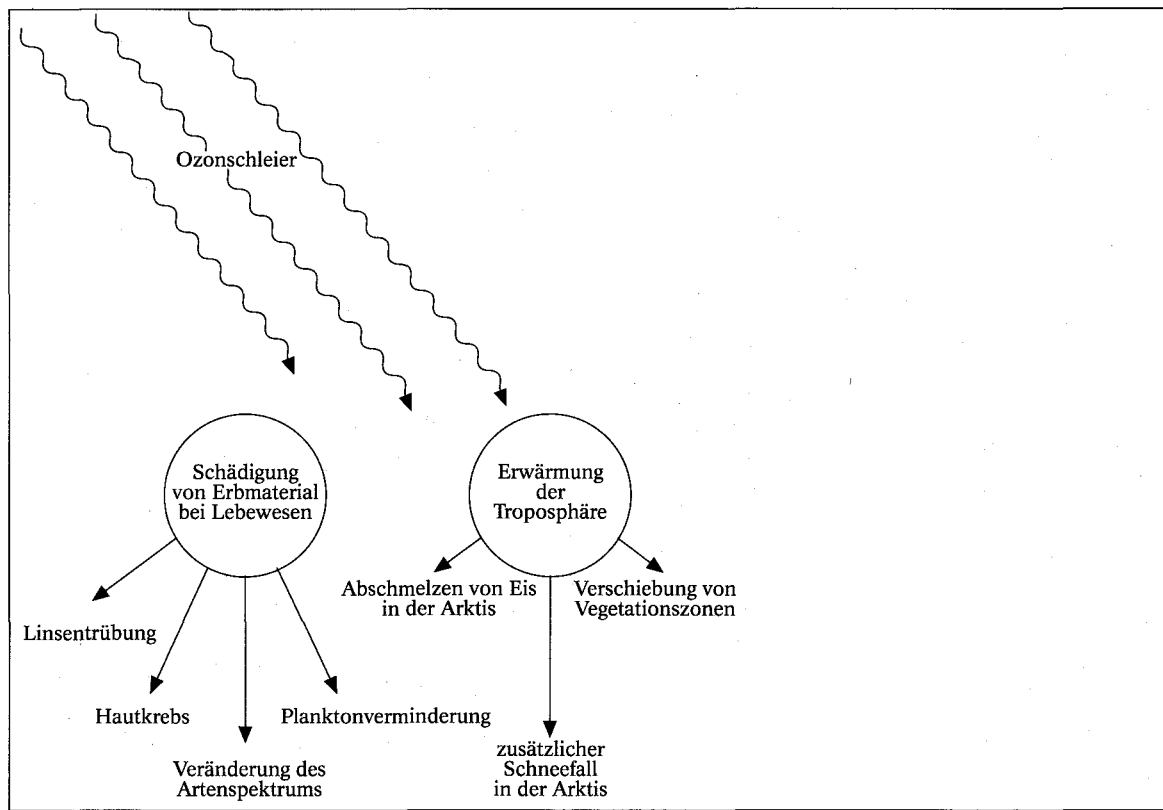
Aufgaben:

1. Welche Informationen gibt euch dieser Bericht einer Lokalzeitung über die WWF-Ozonkampagne? Beschreibt das Projekt dieser Schüler!
2. Diskutiert untereinander euer Interesse an einem solchen Projekt!
3. Welche öffentlichkeitswirksamen Aktionen könntet ihr über das Projekt hinaus unternehmen? Das Ziel sollte sein, zum einen eine breitere Öffentlichkeit zu informieren und zum anderen das individuelle Fahrverhalten zu ändern!
4. Nähere Informationen zum Projekt „Tabakpflanzen als Bioindikatoren für Ozon“ erhaltet ihr bei: Regionales Umweltbildungszentrum „Naturerkundungsstation Wolfsburg“, Im Holze 40, 38444 Wolfsburg, Tel. 05361/282055

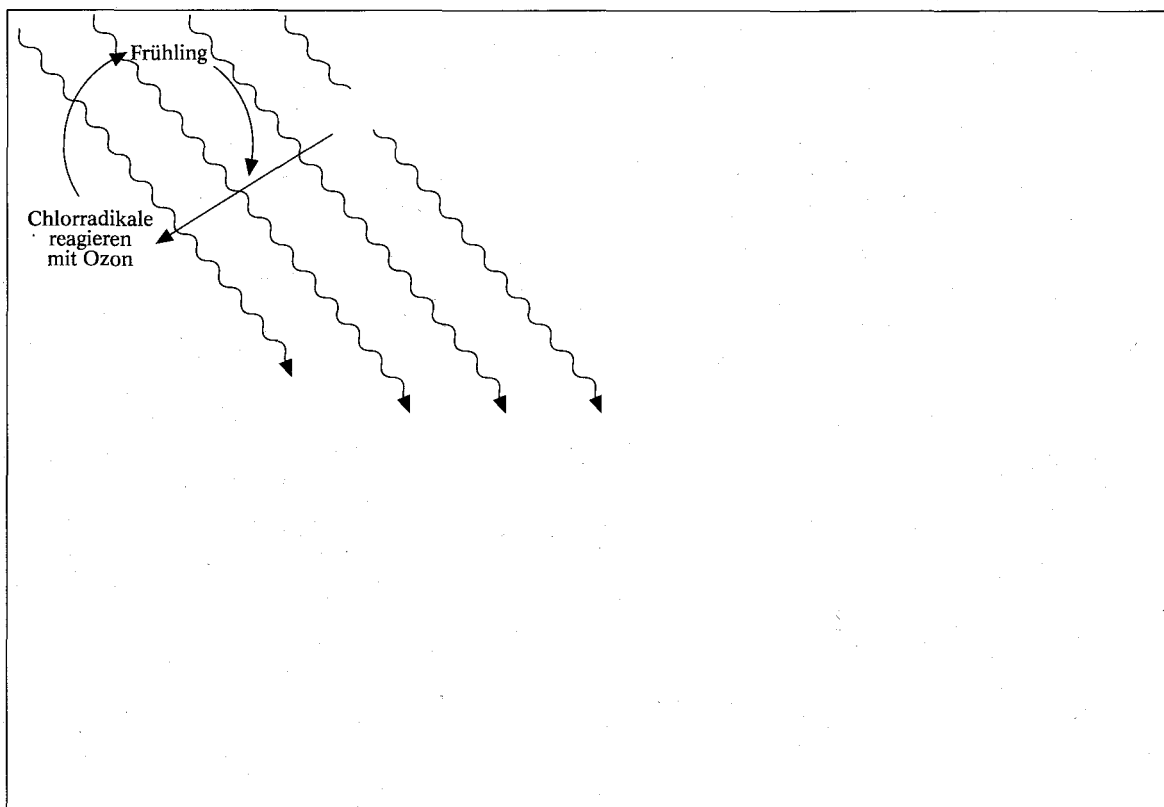
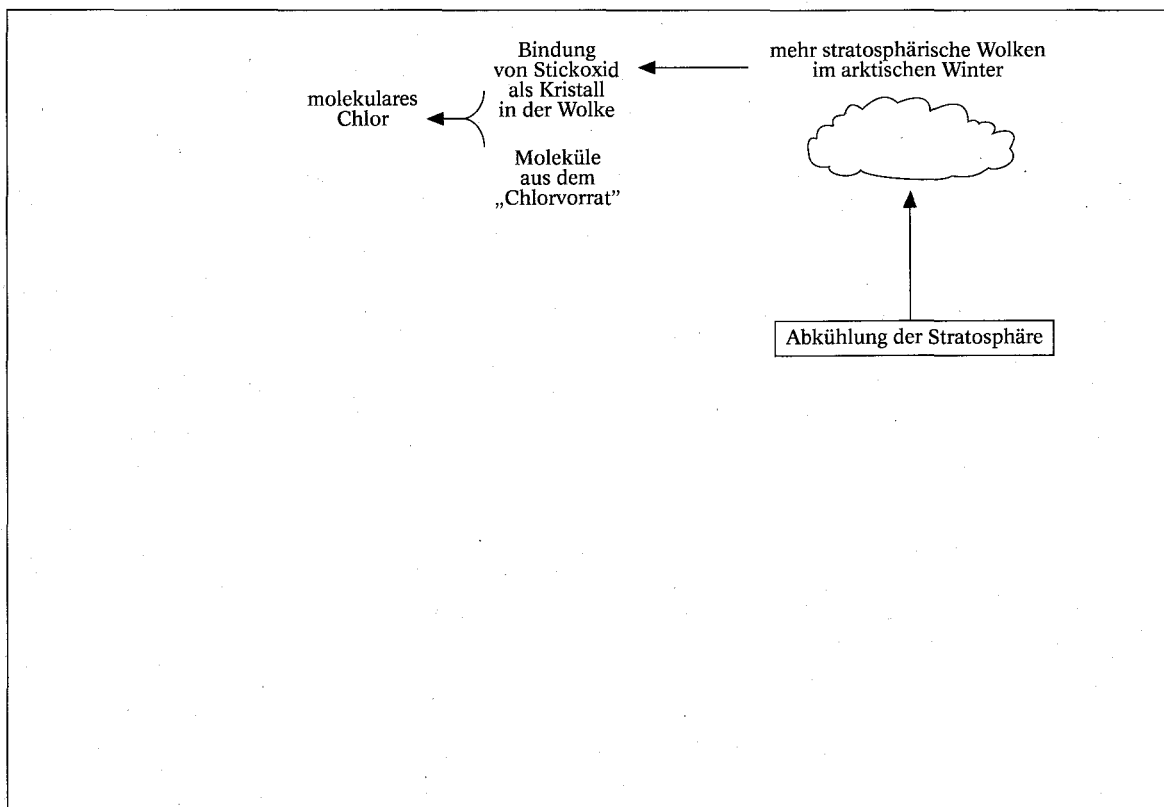
Bodenozonbildung und -abbau



Ozonloch und Treibhauseffekt im Zusammenhang (Folie 1+2)



Ozonloch und Treibhauseffekt im Zusammenhang (Folie 2+3)



4. Folgen des Klimawandels für Mensch, Erde und Umwelt – und was dagegen getan werden kann

Sachinformationen

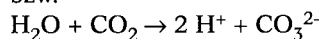
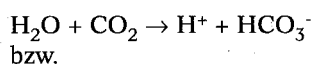
In welchem Umfang der Ausstoß von Treibhausgasen und von Spuren solcher Stoffe, die die Ozonschicht schädigen können, tatsächlich die Lebensbedingungen auf der Erde verändern oder vermindern, ist immer noch Gegenstand wissenschaftlicher Auseinandersetzungen. Insbesondere, weil die ersten Modellbildungen und Computerberechnungen noch sehr fehlerhaft waren und zu zum Teil falschen Schlußfolgerungen führten, gibt es immer noch Fachleute, die Effekte und Wirkungen ganz ausschließen oder zumindest für kaum relevant halten. Demgegenüber hat sich die Mehrzahl der Klima- und Ozonforscher den Standpunkt zueigen gemacht, daß man auf eine endgültige Klärung dieser Fragen nicht warten könne, weil es dann bereits zu spät sei.

Klimamodelle zum Treibhauseffekt

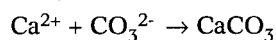
Wie schwierig Vorhersagen sind, zeigt die Geschichte der Klimamodelle, die in den letzten 20 Jahren entwickelt, verworfen und verbessert worden sind.

Am Anfang stand ein einfaches 1:1-Modell. Jede Emission von CO_2 sollte danach zum Treibhauseffekt in dem Umfang beitragen, wie es ihrer Menge entspricht. Die Folgen nach diesem Modell lauteten: das Eis an Nord- und Südpol würde abschmelzen und der Meeresspiegel würde – da das Südpoleis nicht im Ozean schwimmt, sondern auf einem Gebirge liegt – steigen und tiefergelegene Regionen der Erde überfluten. z. B. Bangla-Desch, Holland, Teile der norddeutschen Tiefebene.

Nachdem durch erste systematische Messungen herausgefunden wurde, daß der zusätzliche Treibhauseffekt deutlich geringer ist, als es dem Energieverbrauch und der CO_2 -Emission entspricht, wurden die Weltmeere als korrigierender Faktor eingeführt. Tatsächlich wirken die Wasserflächen als Puffer für die CO_2 -Zunahme. Etwa die Hälfte des emittierten CO_2 wird vom Wasser aufgenommen und bildet Hydrogencarbonate bzw. Carbonate:



wobei das gebildete Carbonat zu einem gewissen Teil weiter gebunden werden kann, etwa als Kalk oder in verwandten Verbindungen:



Später wurde noch eine weitere kleine Korrektur in entgegengesetzter Richtung angebracht: Wasser kann umso weniger von einem Gas lösen, je wärmer es ist (beim Erwärmen verliert Mineralwasser seine „Kohlensäure“). Der Treibhauseffekt vermindert also die Pufferwirkung der Meere.

Als nächstes wurde die verstärkte Verdunstung in die

Berechnungen einbezogen: Je wärmer, desto mehr Wasserdampf gelangt in die Atmosphäre. Hier wirkt das Wasser in zweifacher, sehr unterschiedlicher Weise: Als treibhausaktives Gas verstärkt es den Treibhauseffekt; wenn es kondensiert, bildet es Wolken. Ein zunehmend bedeckter Himmel verhindert, daß die Sonneneinstrahlung in vollem Umfang die Erdoberfläche erreicht. Auf diese Weise wird der Treibhauseffekt wiederum abgeschwächt.

Völlig unübersichtlich werden die Modelle, wenn weitere Faktoren in die Betrachtung einbezogen werden. So gibt es Gründe für die Annahme, daß eine kleine Klimaverschiebung die großen Meeresströmungen aus ihrer Bahn lenken könnte. Der Golfstrom z. B. bringt warme Wassermassen aus dem Golf von Mexiko bis an die Nordspitze Europas und beeinflusst dabei das Klima in Großbritannien und im ganzen meeresnahen Festland. Sein Motor sind die Temperaturunterschiede: Nahe des Nordpols kühlen die Wassermassen ab und sinken in die Tiefe. Warmes Wasser strömt nach, ähnlich wie beim Druckausgleich zwischen atmosphärischen Tiefs und Hochs. Wenn sich nun das Wasser um den Pol etwas erwärmt, könnte dieser Pumpmechanismus versagen, der Golfstrom bleibt aus, und in Nordeuropa wird es deutlich kälter!

Die Argumente, welche die vermehrte Verdunstung betreffen, lassen das Steigen des Meeresspiegels wieder fragwürdig werden: Vermehrte Niederschläge, insbesondere abseits des Äquators, könnten zu einer starken Eisbildung an den Polen führen. Diese würden zwar von der Fläche her kleiner, zugleich aber in die Höhe wachsen.

Aus der Perspektive der möglicherweise zuerst betroffenen Länder und Regionen sind diese widersprüchlichen Aussagen wenig beruhigend. Und so haben insbesondere die kleinen Inselstaaten auf verschiedenen Konferenzen gedrängt, endlich bei der Emission von CO_2 weltweit wirksame Maßnahmen zu ergreifen. Wie groß die Bereitschaft für die notwendigen politischen Entscheidungen hier ist, wird die Zukunft zeigen.

Prognosen zur Ozonschicht

Auch bei der Ozonschicht und ihrer bereits fortgeschrittenen Zerstörung gibt es noch keine einheitliche Einschätzung. Anders als beim Kohlendioxid gibt es hier jedoch eine technische Lösung: Da inzwischen viele preisgünstige Alternativen zu den FCKWs zur Verfügung stehen, konnten die internationalen Abkommen hier sogar in Richtung auf einen völligen Ausstieg aus der Produktion beschleunigt werden. Allerdings unterlaufen einige Hersteller diese Regelungen, indem sie ihre Produktionsstätten in den Industrieländern zwar schließen, dafür aber neue in den durch Ausnahmen geöffneten Ländern insbesondere der 3. Welt neu bauen und in Betrieb nehmen.

Im Unterschied zur Treibhausfrage ist die Feststellung der Folgen hier wesentlich klarer und drängender. Nachdem in Ländern wie Australien und Neuseeland, aber auch in den südlichen Regionen Südamerikas bereits vermehrt Hautkrebs und andere Schädigungen von Haut und Augen aufgetreten sind, gibt es eine starke politische Lobby für das schnelle Verbot von FCKWs und anderen Ozonschädlingen.

Synergie-Effekte

Bei einem Blick auf die Prognosen von internationalen Institutionen wird deutlich, daß es keineswegs nur um die Einzelsubstanzen wie CO₂ oder FCKWs geht, vielmehr werden die möglichen Synergismen diskutiert, also die Verstärkung von negativen Wirkungen durch Wechselwirkung von verschiedenen Faktoren. Ein Beispiel hierfür ist die Kopplung des Ozonabbaus mit der Fähigkeit der Meere, zusätzlich CO₂ zu binden: Weniger Ozon in der Stratosphäre bedeutet mehr harte UV-Strahlung, diese vermindert das Wachstum des oberflächennahen Planktons in den Meeren. Geringere Biomassenbildung aber bedeutet weniger CO₂-Bindung und damit einen verstärkten Treibhauseffekt.

Solche Synergieeffekte werden aber auch über diese beiden Faktoren hinaus diskutiert, und die Wirkungen sind keineswegs auf die globalen Zusammenhänge begrenzt, sondern dürften schon bald lokale Auswirkungen zeigen. Eine Befürchtung ist, daß die Ernten weltweit rückläufig sein könnten. Hierfür kommen wiederum mehrere Faktoren in Frage: UV-Strahlung schädigt die Pflanzen besonders während der Hauptvegetationsperiode, veränderte klimatische Parameter wie Regenmenge, Sonnenscheindauer (Bewölkung!). Durchschnittstemperaturen bedeuten, daß die Standortanpassung der Pflanzen nicht mehr in vollem Umfang gegeben ist und die Wachstumsbedingungen sich verschlechtern. Die entsprechenden Folgen werden unter dem Stichwort *Verschiebung von Klimazonen* zusammengefaßt und diskutiert.

Kritische Beobachter haben den Slogan geprägt „Bäume haben keine Füße“ mit der Bedeutung, daß die möglicherweise notwendige Verschiebung von Vegetationszonen nicht im gleichen Tempo erfolgen kann, wie die Veränderung der klimatischen Bedingungen. Bereits heute wird in diesem Zusammenhang mit dem zusätzlichen Aussterben bedrohter Arten gerechnet, und zwar bei Pflanzen und Tieren. Letzteren wird nämlich durch veränderte Klimazonen mit den dann nicht mehr existierenden Pflanzen die Lebensgrundlage entzogen.

Als Trugschluß könnte sich auch die Vorstellung erweisen, daß die Klimazonen sich lediglich um einige hundert Kilometer verschieben; zu erwarten ist vielmehr, daß die Veränderungen qualitativer Art sein könnten und *grundsätzlich veränderte Lebensbedingungen* herstellen. Auch hierzu gibt es übrigens abwiegelnde Stimmen, die auf die großen Veränderungen im Zuge der Eiszeiten und schon der Zwischeneiszeiten verweisen. Nach den in diesem Zusammenhang vertretenen Auffassungen ist die ständige Veränderung Teil der globalen und insbesondere erdgeschichtlichen Dynamik, in deren Verlauf Arten verschwinden und entstehen und Meere mit Gebirgen den Platz tauschen.

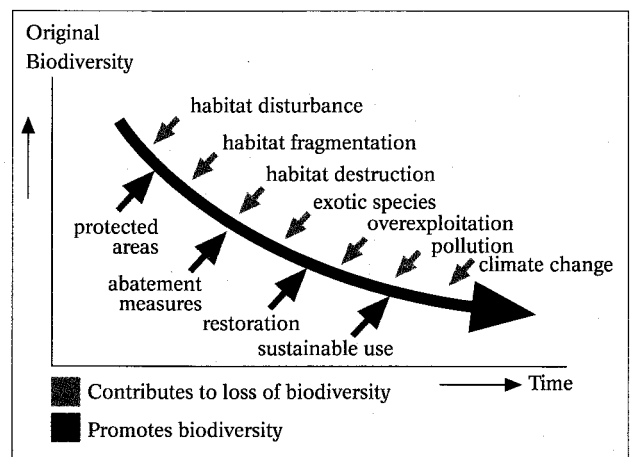
Tatsächlich verkennt diese Argumentation zweierlei: Zum einen könnten die durch menschliche Aktivitäten ausgelösten Veränderungen in einem Tempo verlaufen, das es vorher nicht gegeben hatte, zum anderen „vergißt“ dieser Vergleich, daß inzwischen Milliarden von Menschen von dem Bestand sensibler biologischer Systeme abhängen.

Soziale und politische Folgen

Bereits vorausschauende Politiker der 70er Jahre haben davon gesprochen, daß die Ost-West-Problematik zur Jahrhundertwende durch die Nord-Süd-Frage und ihre Spannungen abgelöst werden würde. Elemente für diese Widersprüche zwischen den reichen Ländern des Nordens und dem armen „Süden“ sind bereits in der Kolonialzeit angelegt und zeigen sich heute in der deutlich unterschiedlichen Verfügungsmöglichkeit über Ressourcen, Technologien und die Umwelt. Bereits ohne Treibhausfolgen und Ozonzerstörung ist die Umwelt in vielen der Länder, die uns Rohstoffe liefern und zu unserem Wohlstand beitragen, weiter zerstört als bei uns. Und die globalen Effekte werden sich, darüber gibt es keinen Streit, dort deutlich stärker auswirken als bei uns.

Welche Folgen aus dieser Zuspitzung der ökologischen und sozialen Lage zu erwarten sind, kann gegenwärtig noch gar nicht abgesehen werden. Sicher sind die Ströme von Zuwanderern auch als ein erstes Sympton zu bewerten, denn oft sind es drastisch verschlechterte Lebensbedingungen, die zu Ausbruch von Unruhen führen und zur Flucht.

Eine Zusammenschau der Faktoren, die schon im Bereich der Artenvielfalt wirksam werden können, gibt die nachstehende Graphik aus dem UNEP-Bericht 1997. Es wird deutlich, daß hier viele andere Ursachen eine Rolle spielen, z.B. die Landschaftszersiedlung durch immer mehr wachsende Städte oder auch die ungebremste landwirtschaftliche Ausbeutung von Böden. Umweltfaktoren wie Schadstoffbelastung und Klimaveränderung könnten aber bislang reversible Prozesse unumkehrbar machen, jedenfalls nach menschlichen Zeitmaßstäben gerechnet.



Unterrichtspraktische Hinweise

Mit Katastrophen läßt sich kein Unterricht machen, zumindest nicht in dem Sinn, daß die Schülerinnen und Schüler anschließend bereit wären, sich konstruktiv mit den Vorgängen in ihrer Umwelt einzusetzen und aktiv zu werden. Daher ist die Sensibilisierung für die möglichen und drohenden Veränderungen zwar nötig, ebenso die sachliche und – so weit möglich – fachliche Durchdringung der Zusammenhänge; daneben müssen den Lernenden aber bereits jetzt Handlungsmöglichkeiten eröffnet werden, die sich auf ihr konkretes Umfeld beziehen, sollen sie sich nicht frustriert von dem Bild einer untergehenden Welt abwenden.

Die Materialien in diesem Kapitel sollen daher beides bewirken: Eine Argumentation stützen, die die möglichen Veränderungen nicht verdrängt und vorhandene Hinweise auf diese Veränderung aufgreift; zum anderen verschiedene Felder (beispielhaft) aufzeigen, wo Aktionen und strukturelle Veränderungen möglich sind und auch von den Schülerinnen und Schülern mitgetragen werden können.

Ergänzend zu den in den Materialien wiedergegebenen Beispielen werden im folgenden Hinweise auf interessante bzw. geglückte Aktionen gegeben sowie auf Informationen und Veröffentlichungen, die für das Thema interessant sein könnten. Je nach Schwerpunkt der eigenen Aktivitäten können sich Lehrkraft oder Lerngruppe die entsprechenden Informationen selbst besorgen.

Literatur

A. Didaktik und Methodik:

Fritz Heidorn, Ernst Zachow: *Verkehrte Welt. Von der Freizeit-Mobilität zur Verkehrswende.* Umweltservice WWF – Schroedel Schulbuchverlag, Hannover 1996

Klimabündnis Niedersächsischer Schulen e.V., Goebenstraße 3a, 30161 Hannover.

Wilfried Buddensiek: *Unsere Schule unter der Lupe. Ökologisches Denken und Handeln im Alltag.* Deutscher Sparkassenverlag Stuttgart 1995

Klima-Bündnis: *77 Klima-Bündnis-Ideen. Beispiele aus der kommunalen Bildungs- und Öffentlichkeitsarbeit zum Nachdenken, Nachlesen und Nachschlagen.* Frankfurt 1996

Dorette Fischer u.a.: *Die Klima-Experimentier-Werkstatt. Experimente, Informationen, Aufträge und Projekte.* AOL Verlag / Verlag Die Werkstatt, Lichtenau / Göttingen 1996

Born, Manfred, u.a.: *Nachhaltige Entwicklung. Zum richtigen Umgang mit natürlichen Ressourcen,* Hannover 1997, Schroedel Verlag 1997.

Landesinstitut für Schule und Weiterbildung (Hrsg.): *Handbuch Die Zukunft denken – die Gegenwart gestalten.* Beltz Verlag, Weinheim 1997

Peace Child International: *Rettung Planet Erde. Kinder der Welt zum Umweltgipfel in Rio.* Unicef. Bibliographisches Institut Brockhaus, Mannheim 1994

Arbeitsgemeinschaft Natur- und Umwelterziehung ANU (Hrsg.): *Schützt die Erdatmosphäre.* Maximilian Verlag Herford 1992

B. Fachliches Hintergrundwissen:

Christian-Dietrich Schönwiese: *Klima im Wandel. Von Treibhauseffekt, Ozonloch und Naturkatastrophen.* rororo Sachbuch Nr. 9555, Reinbek b. Hamburg, 1994.

Bernd Diekmann, Christian-Dietrich Schönwiese: *Der Treibhauseffekt rororo Sachbuch Nr. 8512,* Reinbek b. Hamburg, 1992.

Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages (Hrsg.): *Klimaänderung gefährdet globale Entwicklung. Zukunft sichern – Jetzt handeln.* Economia Verlag / Verlag C.F. Müller, Bonn / Karlsruhe 1992.

BUND / MISEREOR (Hrsg.): *Zukunftsfähiges Deutschland. Ein Beitrag zu einer global nachhaltigen Entwicklung. Studie des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie.* Birkhäuser Verlag, Basel/Boston/Berlin 1996.

Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des Deutschen Bundestages (Hrsg.): *Die Industriegesellschaft gestalten. Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen.* Economia Verlag, Bonn 1994.

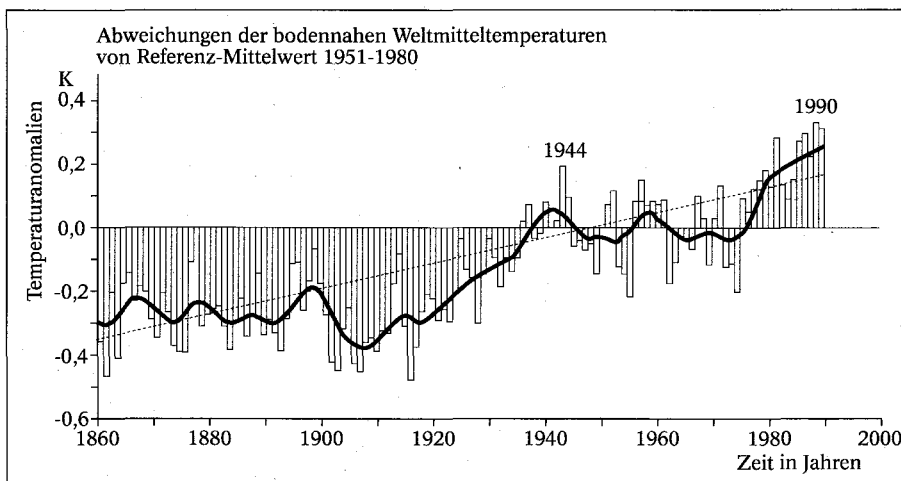
StromDiskussion: *Klimaschutz durch Energievernunft. Maßnahmen zur CO₂-Minderung in Deutschland weltweit.* IZE, Postfach 700561, 60596 Frankfurt/M.

Erste Anzeichen eines Klimawechsels: Die Veränderung der Weltmittel- temperatur

Von den Temperaturen eines einzelnen Jahres – und noch dazu mit den subjektiven Erfahrungen aus einem einzigen Land – auf die Veränderung des Klimas zu schließen ist nicht möglich. Oft folgt auf mehrere heiße Sommer in Mitteleuropa ein verregneter, und „schlechtes Wetter“ in Deutschland heißt nicht automatisch Regen und kühle Witterung in Italien oder Norwegen. Will man feststellen, ob tatsächlich Veränderungen des Klimas stattfinden, so muß über lange Zeiträume und an vielen Orten der Erde gemessen und das Wetter beobachtet werden.

Ein erstes, ernstes Anzeichen für eine Klimaveränderung ist der Trend, der sich bei der Weltmitteltemperatur (in Bodennähe) feststellen läßt. Die Graphik zeigt die Abweichungen des Jahresmittelwertes von einem 30-Jahres-Mittelwert (1951-1980):

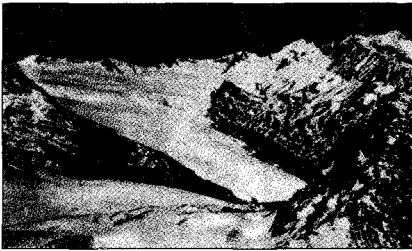
Die Balken entsprechen dem jeweiligen Jahr, die dick eingezeichnete Kurve stellt einen gleitenden Mittelwert dar, bei dem die jeweils letzten 5 Jahre zusammengefaßt worden sind; die gestrichelte Linie zeigt den berechneten Trend, dem die einzelnen Mittelwerte bzw. die Welttemperatur insgesamt in etwa folgt.



Aufgaben:

- Um wieviel Grad hat sich die Weltmitteltemperatur von 1860 bis 1990 erhöht?
Welche Temperaturerhöhung wäre für das Jahr 2050 zu erwarten, wenn der Trend sich unverändert fortsetzt?
- Bei den Mitteltemperaturen für einzelne Jahre gibt es oft regelrechte Einbrüche. Solche „kühlen“ Jahre treten häufig als Folge von Vulkanausbrüchen auf: Deren Staub kreist mehrere Jahre in hohen Luftschichten um die Erde und vermindert die Sonneneinstrahlung. Recherchiere die wichtigsten Vulkanausbrüche der letzten 100 Jahre. Welche kannst du der Graphik zuordnen?

Erste Anzeichen eines Klimawechsels: Abschmelzende Gletscher und Naturkatastrophen



Als Anzeichen für steigende Temperaturen gilt die Beobachtung, daß die Gletscher der Alpen sich immer weiter „zurückziehen“. Das Abschmelzen am talseitigen Ende hat unter anderem den „Ötzi“ wieder ans Licht gebracht, einen Alpenbewohner der Frühzeit, der durch einen Unfall unter den Schnee geraten ist und schließlich vom Eis, abgeschlossen von Luft und in der Kälte, über die Jahrtausende konserviert worden ist.

Ein anderes Anzeichen ist die *Zunahme von Unwettern* weltweit. Diese Zunahme hat derartige Ausmaße erreicht, daß die großen Versicherungsunternehmen wie Lloyds in London ihre Prämien für die Versicherung in diesem Bereich nahezu verdoppelt haben. Laut Münchener Rückversicherungsgesellschaft AG, der weltweit größten Versicherung für die Risiken von „normalen“ Versicherungen, kletterte die Zahl von großen Schäden von 577 (1995) auf 600 im Jahr 1996. Man registrierte 200 schwere Stürme, 170 Überschwemmungen, 50 Erdbeben, 30 Vulkanausbrüche sowie 150 andere Katastrophen wie Waldbrände, Dürren, Hitze- und Kältewellen, Erdbeben und Lawinen. Schwerstes Sturmereignis war 1996 der Hurrican Fran im Nordosten der USA. Er richtete Schäden in Höhe von 3 Milliarden Dollar an, von denen etwa die Hälfte versichert war.

Bei Naturkatastrophen kamen 1996 11.000 Menschen ums Leben, der gesamte Schaden wird auf 60 Milliarden Dollar geschätzt. Da nur ein Bruchteil

aller Schäden versichert war, beliefen sich die von den Versicherungen weltweit zu tragenden Entschädigungen auf rund 9 Milliarden Dollar.

Im Vergleich zu den 60er Jahren hat die Münchener Rück rund fünfmal mehr Naturkatastrophen gezählt. Die Schäden sind dabei achtmal so hoch geworden. Wegen der Zunahme der Ereignisse versichern manche Gesellschaften bestimmte Schadensfälle nicht mehr, z.B. schließt die Nationwide Insurance Enterprise (USA) keine Gebäude mehr an der amerikanischen Ostküste zwischen Texas und Maine, wo sich die Sturmschäden gehäuft haben.

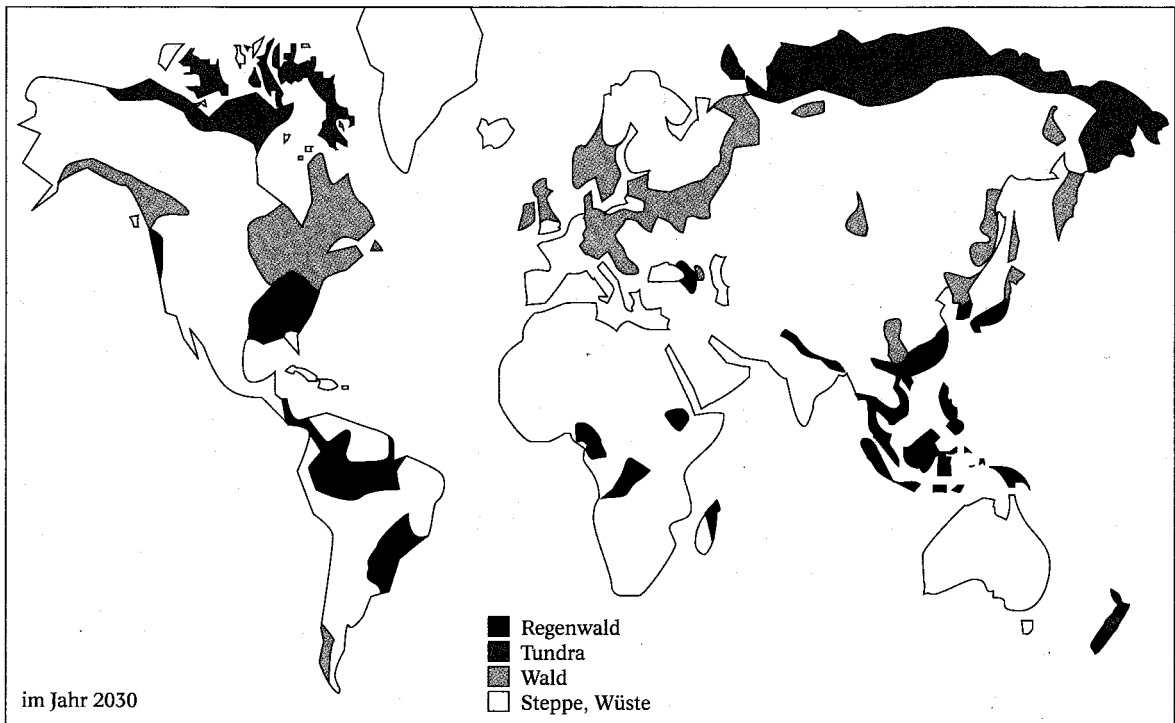
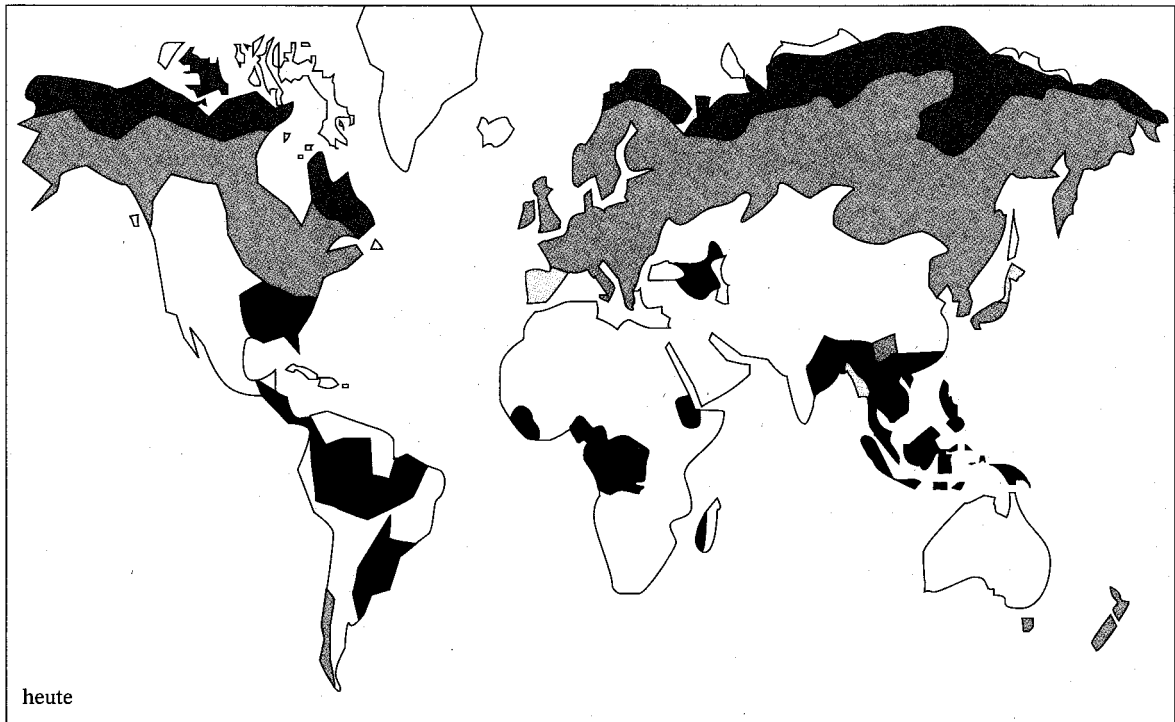
Den Zusammenhang zwischen Treibhauseffekt und Unwetter kann man sich etwa wie folgt vorstellen: CO_2 wird zum allergrößten Teil in Bodennähe emittiert; daher heizen sich die Luftmassen am Boden deutlich mehr auf als die oberen Luftschichten. Dadurch wachsen auch die Temperaturunterschiede zwischen Boden und höherer Atmosphäre – die thermischen Luftbewegungen werden heftiger und die Turbulenz des Wettergeschehens nimmt zu. Wasserdampf, der in immer größere Höhen getragen wird, bildet leichter Hagel, die gegeneinander bewegten Luftmassen entladen die aufgebauten Spannungen in heftigen Gewittern.

Erhöhte Temperaturen sollten nach Ansicht einiger Klimaforscher dazu führen, daß mehr Wasser aus den Meeren verdunstet und insgesamt die Niederschläge zunehmen. Auch dies könnte zu mehr und heftigeren Unwettern führen.

Aufgaben:

1. Welche Katastrophen könnten deiner Meinung nach mit einer Klimaänderung in Zusammenhang stehen, welche nicht?
2. Gab es im letzten Jahr ein Ereignis in deiner Nähe / in Deutschland, das durch ähnliche Ursachen ausgelöst sein könnte?
3. Woher kommt der Begriff „Naturkatastrophen“ und wie hat sich seine Bedeutung bereits schon geändert?
4. Versuche etwas über die veränderten Versicherungsprämien (Hagel- und Sturmschäden, Überschwemmungen) herauszufinden. Welche Informationen hat der Wetterdienst zu Naturereignissen in den letzten 10, 20, 30 Jahren?

Klima und Ernteerträge

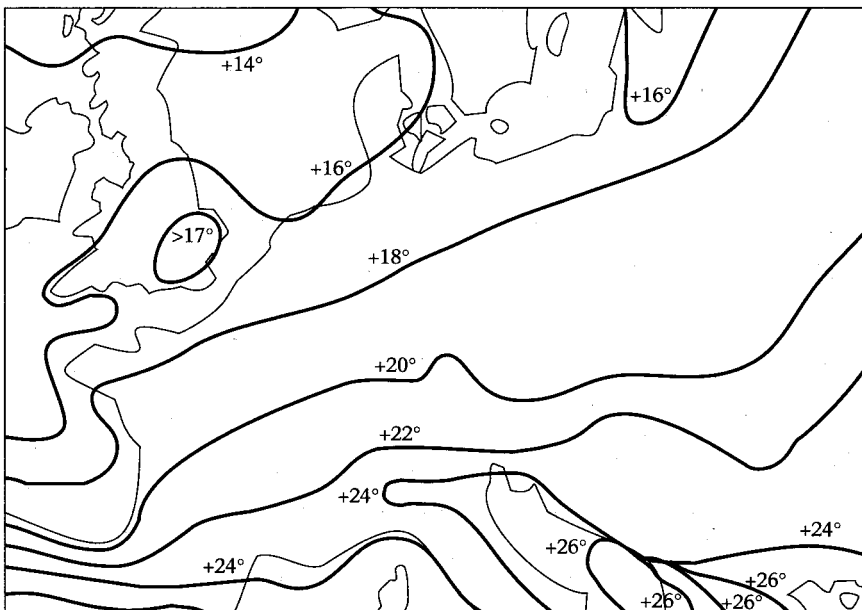
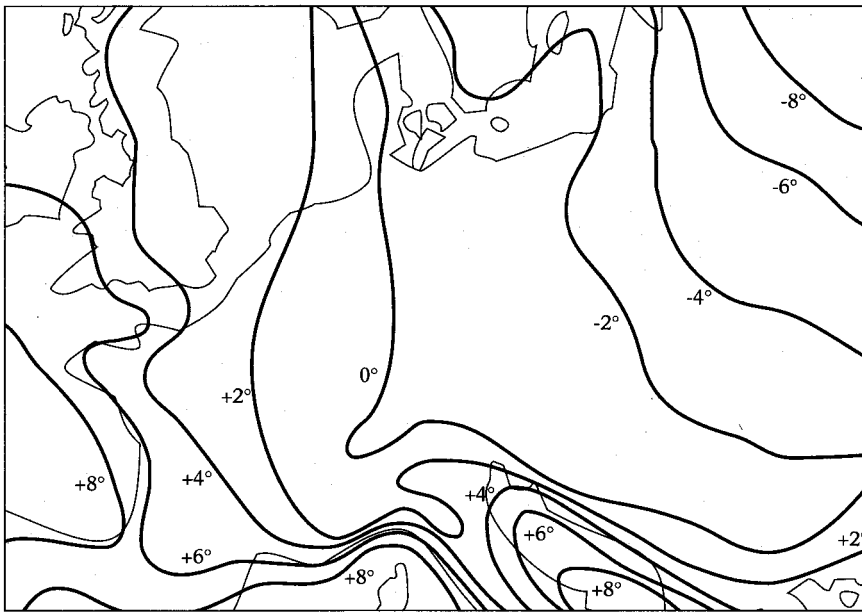


Die Karte zeigt mögliche Folgen einer globalen Erwärmung und von Umweltbelastungen.

Aufgaben:

1. Welche Regionen der Erde sind besonders betroffen?
2. Was weißt Du über die Bevölkerungsdichte und den Lebensstandard in dieser Region?
3. Welche Folgen kannst Du Dir für diese Region vorstellen?

Bäume haben keine Füße



Eine Erwärmung um durchschnittlich ein Grad Celsius bedeutet:

- daß sich eine Klimazone verschiebt,
- daß sich die Lebensbedingungen für Pflanzen und Tiere verändern,
- daß bestimmte Klimainseln ganz verschwinden.

Aufgaben:

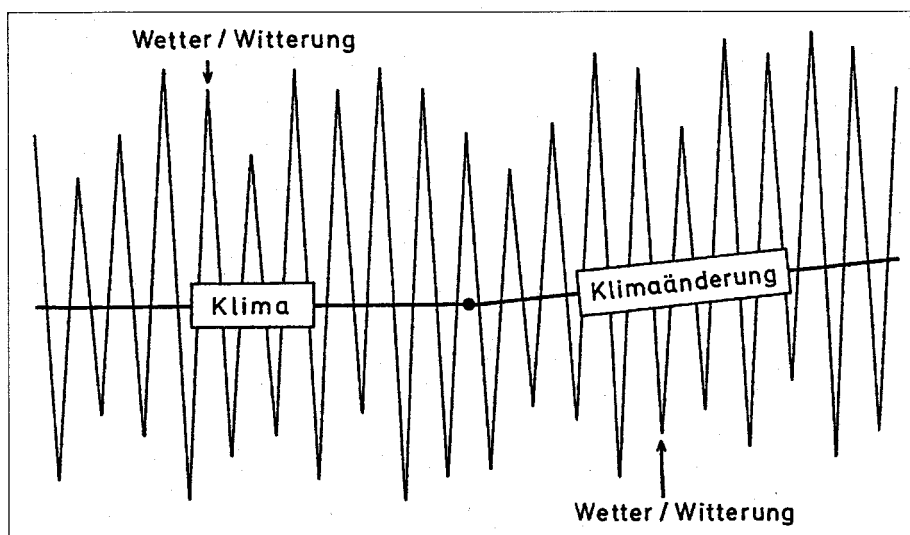
1. Welche Folgen kannst Du Dir für Ernteerträge und Anbaubedingungen vorstellen?
2. Wenn Bäume und Sträucher den sich verschiebenden Klimazonen hinterherwandern könnten, wie schnell müßten sie sich „bewegen“ (bei einer Erwärmung von 0,1 Grad pro Jahr)?
3. Welche Möglichkeiten haben Pflanzen überhaupt, sich an veränderte Umweltbedingungen anzupassen?

Beobachten und abwarten – oder Vorhersagen wagen?

Auch wenn vieles darauf hindeutet, daß durch menschliche/technische Aktivitäten ein zusätzlicher Treibhauseffekt zustandekommt und sich die Atmosphäre langsam aber sicher aufheizt – *mit letzter Sicherheit* können die Klimaforscher eine solche Aussage noch nicht machen. Verglichen mit den Temperaturschwankungen über die Jahrhunderte hinweg sind die in den letzten 30 Jahren beobachteten Veränderungen noch zu gering bzw. ist der Beobachtungszeitraum noch zu kurz.

Fatalerweise ist eine letzte Sicherheit erst dann zu gewinnen, wenn es für Maßnahmen zu spät ist und eine unumkehrbare Klimaverschiebung stattgefunden hat. Das wird zwar nicht bedeuten, daß der Kölner Dom in den Fluten des Nordmeeres versinkt (Titelbild des SPIEGEL von 1987), auch werden in Deutschland keine Zitronen blühen, die Veränderungen werden vielmehr komplex sein und sind nicht in allen Konsequenzen absehbar.

Die Graphik zeigt, wie schwierig es ist, aus den Veränderungen des Wetters den Trend herauszubekommen, der anzeigt, ob tatsächlich bereits eine langfristige Veränderung begonnen hat oder nicht.



Aus den Wetterbeobachtungen versuchen die Wissenschaftler ein Modell zu entwickeln, mit dem sie den künftigen Verlauf bzw. die Veränderung des Klimas vorhersagen können. Diese Modelle mußten mehrfach verändert werden, weil immer neue Faktoren in die Betrachtung einbezogen worden sind. Die letzten Berechnungen zeigen folgendes Bild:

- * Die Erwärmung wird etwas langsamer erfolgen als ursprünglich angenommen.
- * Sie wird die südlichen und mittleren Breiten mehr betreffen als den Norden.
- * Verändern wird sich die Verteilung der Niederschläge: Weniger in Äquatornähe und mehr an den Polen.
- * Durch verstärkte Schneefälle wird das Eis an Nord- und Südpol eher wachsen als abschmelzen, eine Überflutung der Flachländer findet vorerst nicht (dauerhaft) statt.
- * Jedoch sind vermehrt Unwetter, Gewitter, Stürme und Sturmfluten zu erwarten. Ursache dafür ist eine gestörte Temperaturschichtung der Troposphäre.
- * Betroffen hiervon werden in erster Linie die bevölkerungsreichen Mündungsdeltas der großen Ströme, also z. B. Bangla-Desh.
- * In den gemäßigten Breiten wird es eine Verschiebung der Klimazonen geben mit Effekten wie Ernteeinbußen, Niedergang bestimmter Biotope („Wie schnell können Bäume wandern?“) usw.
- * Möglicherweise sind diese Veränderungen insgesamt wesentlich größer als bisher vermutet, weil sie erst

Aufgaben:

1. Vergleiche die schematische Skizze mit den tatsächlichen Temperaturdaten.
Welche Ähnlichkeiten kannst du feststellen, welche Unterschiede sind erkennbar?

Umkehr – auf allen Wegen

Immer noch steigen die Emissionen von CO₂ weltweit an, immer noch werden fossile Rohstoffe wie Erdöl, Kohle und Erdgas in zunehmenden Mengen verbrannt, immer noch werden große Mengen kurzlebiger Produkte und Verpackungen hergestellt, die Ressourcen und Energie verbrauchen – und trotzdem gibt es an vielen Stellen Zeichen für eine Veränderung.

Eine große Anzahl von Städten und Gemeinden in Europa haben sich zu einem *Klimabündnis* zusammengeschlossen, das alle Möglichkeiten prüfen will, um Energie einzusparen oder zu ersetzen, damit der Treibhauseffekt gebremst werden kann. Partner dieser Gemeinden auf der „anderen Seite“ sind die indigenen Völker der südamerikanischen Regenwaldregion.

Welche Maßnahmen sinnvoll und möglich sind, zeigt die folgende Liste in Auswahl:

- * Klimaschutz muß als kommunale Aufgabe verantwortet werden.
Die Gemeinden sollen entsprechende Ziele aufstellen und verabschieden und eine Selbstverpflichtung für bestimmte Maßnahmen und Sparziele eingehen.
- * Es müssen Konzepte und Programme zum Klimaschutz erarbeitet werden:
für den Verkehrsbereich, für den Energiebereich, dafür, wie Erfolg oder Mißerfolg überprüft werden können.
- * Klimaschutz muß bei Planungen berücksichtigt werden.
z.B. bei der Stadtentwicklung und der Verkehrsentwicklung, durch Verkehrsminderung, durch Vorschriften zur Energieeinsparung bei der Bebauung.
- * Der Kraftfahrzeugverkehr muß vermindert werden,
durch Verkehrsberuhigung im Innenstadtbereich und durch intelligente Parkraumkonzepte, durch bessere Auslastung von Fahrzeugen, durch autofreie Wohngebiete.
- * Energieeinsparung durch bauliche Maßnahmen und Vorschriften.
Verbesserung des Wärmeschutzes in Mietwohnungen und bei Wohnungseigentum, Förderung effektiver Heizungsanlagen.
- * Förderung des Fußgänger- und Radverkehrs.
Verbesserung des Fußwegenetzes und Ausbau der Radwege.
- * Erhöhung des Anteils der öffentlichen Nahverkehrsmittel.
Verbesserung des ÖPNV-Angebots, Erschließung der Region mit öffentlichen Verkehrsmitteln.
Attraktives Tarifsysteem im ÖPNV, Komfortsteigerung, Beschleunigung und Verringerung der Umweltbelastungen durch öffentliche Verkehrsmittel.
- * Energieeinsparung in kommunalen Gebäuden durch verändertes Verhalten, Verbesserung des Wärmeschutzes und der Beheizung kommunaler Gebäude, durch Stromsparmaßnahmen in kommunalen Gebäuden.
- * andere öffentliche Bereiche:
Effizienzsteigerung bei der Straßenbeleuchtung
Berücksichtigung des Klimaschutzes in der kommunalen Beschaffung.
Verringerung der Umweltbelastungen durch den kommunalen Fuhrpark.
Energiesparpläne für spezielle kommunale Einrichtungen (Schwimmbäder, Sport- und Kulturstätten ...).
- * Anreize zur CO₂-Einsparung.
- * Wärmeschutz beim Neubau von Wohngebäuden und im Gebäudebestand.
- * Ausbau von Nah- und Fernwärme.
- * Verbesserung der Kraftwerkstechnik.
- * Nutzung erneuerbarer Energien.
- * Zusammenarbeit mit Gewerbebetrieben mit dem Ziel Energieeinsparung (Verkehr, Verbrauch).
- * Unterstützung von Energiesparmaßnahmen bei Privathaushalten.
Energiesparberatung für private Haushalte.
Anreize zum sparsamen Strom- und Wärmeverbrauch, Aktionsprogramme zum Energiesparen.
Motivation zu klimaschonendem Konsumverhalten, Aktionen und Anreize zum „Leben ohne Auto“.
- * Information und Öffentlichkeitsarbeit.
- * Zusammenarbeit mit anderen Kommunen, Erfahrungsaustausch.

Aufgaben:

1. Erkundige Dich, ob deine Stadt/Gemeinde sich an das Klimabündnis angeschlossen hat.
2. Welche Maßnahmen zum Energiesparen sind in deinem Ort beschlossen worden?
3. Welche Maßnahmen könnten für deine Schule sinnvoll sein, was könnte deine Klasse dazu beitragen?

Mein Treibhaus-Alltag

Auch wenn niemand dich persönlich für den Treibhauseffekt verantwortlich machen kann, zur seiner Verminderung kann jeder und jede durch das eigene Verhalten beitragen.

- Damit klar wird, welches Verhalten eher sinnvoll ist als anderes, mußt du erst einmal herausfinden,
- was genau du während eines Tages tust und
 - welche Bedeutung das bzgl. Energie und CO₂ hat.

Uhrzeit	Tätigkeit	Art der Fortbewegung	benutzte/konsumierte Stoffe

- Überlege, wo du überall Energie in Anspruch genommen hast, z.B.
- beim Duschen, beim Händewaschen mit warmem Wasser,
 - beim Essen (indirekt z.B. indem du Orangenmarmelade aus Spanien gegessen hast),
 - in der Schule durch Raumheizung oder Benutzung des Aufzugs,
 - beim Fahren mit Bus oder Straßenbahn.

Erstelle eine Übersicht, in die du diese Ergebnisse einträgst.

Erstelle dann deinen persönlichen Energiesparplan; dabei kannst du dir optimale Möglichkeiten für die Umwelt aufschreiben aber auch das, was für dich leicht zu realisieren ist.

Energiesparplan für		
Bereich	optimale Lösung	für mich akzeptable Lösung
Fortbewegung		
Verhalten (Licht, Heizung, Elektrogeräte)		
Ernährung		

Kontrolliere Deine Erfolge wöchentlich!
Was konntest du verbessern, was nicht?
Was hat dich daran gehindert?

Treibhausgas aus Motoren – und was davon eingespart werden könnte

Ob jemand mit dem Auto zur Arbeit fährt, ob ein LKW Äpfel aus Italien bringt, ob eine Familie in den Urlaub fährt oder fliegt – jeder mit einem PKW, LKW oder Flugzeug zurückgelegte Kilometer produziert eine bestimmte Menge Kohlendioxid.

Wieviel, das hängt ab

- vom Benzin- oder Dieserverbrauch,
- von der Zuladung bzw. Auslastung des Fahrzeugs,
- von einer Reihe weiterer Umstände (z.B. sind Kurzstreckenflüge ungünstiger als längere).

Aus der Verbrennungsgleichung für die Reaktion von einem Treibstoff wie Oktan mit dem Sauerstoff

der Luft läßt sich berechnen, daß **aus 1 Liter Benzin ca. 2,6 kg Kohlendioxid entstehen, das sind bei Normalbedingungen ca. 1300 Liter gasförmiges CO₂!**

Überflüssige Vielfahrer?

Weil manche Produkte in bestimmten Ländern billiger einzukaufen sind als im eigenen Land, werden große Mengen von Waren kreuz und quer durch Europa – und darüber hinaus transportiert. Das Beispiel zeigt, wie es beim Fruchtjoghurt eines bestimmten Herstellers um 1991/2 ausgesehen hat – viel davon hat sich bis heute nicht geändert!

Aufgaben:

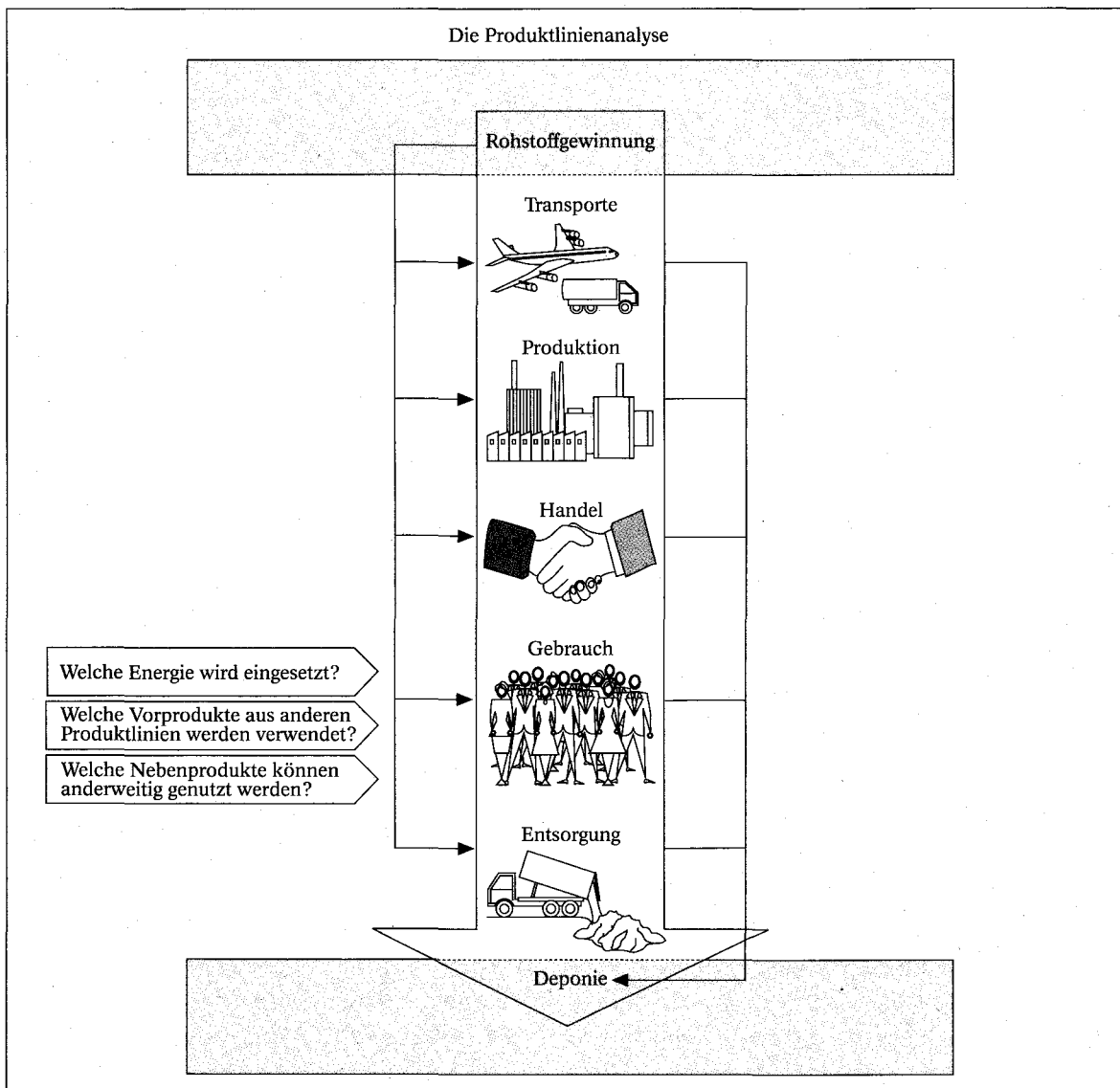
1. Berechne, wieviel CO₂ für eine Lastwagenladung Fruchtjoghurt freigesetzt wird!
Finde heraus, wieviel CO₂ für einen einzelnen Becher entstehen! Fülle eine Plastiksack mit der entsprechenden Menge Luft! (zu deiner Information: ein LKW verbraucht ca. 35 l Dieselkraftstoff für 100 km; erkundige dich, wieviel Fracht ein 34-Tonner in der Regel zuladen kann)
2. Wieviel CO₂ läßt sich einsparen, wenn
 - die kurzen Wege zum Kiosk, zur Schule, in die Innenstadt, zum Sportplatz nicht mit dem Auto, sondern mit Fahrrad oder zu Fuß zurückgelegt werden? Gehe von einem Durchschnittsverbrauch von 8 Litern Benzin im Stadtverkehr aus!
 - wenn ein PKW bei der Fahrt zur Arbeitsstelle nicht mit einer, sondern mit drei Personen (Fahrgemeinschaft) besetzt ist. Gehe hier von einer Entfernung von 10 km aus, die täglich hin und zurück gefahren werden müssen. Wie groß ist die Ersparnis bei 230 Arbeitstagen im Jahr?
 - wenn eine Familie an Stelle von zwei kürzeren Urlaubsaufenthalten – z. B. in Österreich – einen längeren einplant und so einmal die Hin- und Rückfahrt einspart? Versuche, das Ergebnis für eine Entfernung von 200, 500, 1000 Kilometern bzw. für die Strecke zwischen deinem Wohnort und einem eurer bisherigen Urlaubsziele in CO₂ pro Person auszurechnen und zu veranschaulichen!

Die Produktlinienanalyse – erkenne die versteckten Energien

Energie wird nicht nur überall dort eingesetzt, wo sichtbar Maschinen arbeiten oder Fahrzeuge sich bewegen. Tatsächlich wird zur Herstellung praktisch aller Produkte Energie verwendet, für die einen mehr, für die anderen weniger.

Um diese versteckten Energien - aber auch die eingesetzten Rohstoffe und die bei Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines Produktes anfallenden Reststoffe und Schadstoffe – erfassen zu können, wurde das Verfahren der Produktlinienanalyse entwickelt. Das Schaubild zeigt, daß auf jeder Stufe gefragt wird, welche Energie- und Rohstoffmengen eingeschleust werden und welche als Abfälle übrig bleiben.

Auch wenn es schwer ist, für diese Bilanz entlang des Lebensweges eines Produktes genaue Daten zu erhalten, so hilft dieses Verfahren doch, z. B. zwischen zwei Produkten unterschiedlicher Herkunft zu entscheiden oder abzuschätzen, welche Wahl bezogen auf die Umwelt günstiger ist als die anderen Alternativen.



Aufgabe:

1. Stelle je eine Produktlinienanalyse auf für einen Gegenstand aus deinem schulischen Alltag, dem Freizeitbereich und dem Bereich Ernährung.

Beispiele und Vorschläge für Aktionen (1)

Den ökologischen Rucksack sichtbar machen

Als ökologischen Rucksack bezeichnet man die nicht sichtbaren Belastungen der Umwelt, die von einem Produkt ausgehen.

Für viele Produkte lassen sich die aufgewandten Energiemengen gut abschätzen, entweder die Energie, die bei der Produktion aufgewandt worden ist oder diejenige, die für den Transport verbraucht worden ist. Diese Energiemenge kann den Produkten konkret gegenübergestellt werden. Dies kann nach entsprechenden Berechnungen in verschiedenen Formen geschehen:

- Einer Schale Erdbeeren, die im Winter z.B. aus Südafrika geliefert wird, wird die verbrauchte Treibstoffmenge in einer Flasche zugeordnet (aus Sicherheitsgründen gelb angefärbtes Wasser benutzen).
- Einer Kiwi aus Neuseeland wird die beim Transport 'produzierte' CO₂-Menge in großen Plastiksäcken gegenübergestellt.
- Einer Rolle Haushalts-Aluminiumfolie wird die zur Herstellung des Rohaluminiums benötigte Menge Strom als Glühlampe gegenübergestellt oder das (wegen der nur 40%igen Ausbeute bei der Stromerzeugung aus Kohle) 2 1/2-fache Äquivalent an Steinkohle.

Die Ausstellung kann durch ein Quiz für die Besucher attraktiver gemacht werden. So können sie z.B. schätzen, wieviel CO₂ sie bei der Fahrt zur Schule mit dem PKW emittiert haben. Bei richtiger Schätzung (selten) erhalten sie ein Zertifikat. Bei falscher Schätzung müssen sie entsprechend viele Luftballons aufblasen. (Wer mit einem PKW, der 8 Liter Benzin auf 100 km verbraucht, 500 Meter fährt, verbraucht dabei 0,04 Liter. Daraus entstehen bei der Verbrennung 52 Liter CO₂, das sind z.B. 10 große Luftballons.)

Das Klimabündnis / Lokale Agenda 21

Viele Städte und Gemeinden sind Mitglied im Klimabündnis, seit kurzem haben zahlreiche andere Kommunen in Zusammenhang mit der Agenda 21 erklärt, für eine zukunftsfähige und nachhaltige Entwicklung einzutreten. In beiden Fällen sind die Stadt- bzw. Gemeindeverwaltungen oft bereit, sich zusammen mit der Schule für entsprechende Aktionen bzw. Maßnahmen einzusetzen. In einigen Bundesländern gibt es seit 1997 spezielle Programme zur finanziellen Förderung geeigneter Projekte. Diese reichen von Energiesparmaßnahmen über Schulpartnerschaften mit der 'Dritten Welt' bis hin zur Gestaltung von Ausstellungen oder Veranstaltungen.

Informationen zum Klimabündnis gibt es unter der Adresse Philipp-Reis-Straße 84, 60486 Frankfurt/M. Über die Agenda 21 informieren die Broschüren:

- * Erdgipfel 1992, Agenda für eine nachhaltige Entwicklung. Eine allgemein verständliche Fassung der Agenda 21 und der anderen Abkommen von Rio. Veröffentlicht vom Centre for Our Common Future, rue des Pâquis, 1201 Genf, Schweiz.
- * Forum Umwelt und Entwicklung (Hsrg.): Lokale Agenda 21. Ein Leitfadens. Bonn 1996. Bezug über: Forum Umwelt und Entwicklung, Am Michaelshof 8-10, 53177 Bonn

Verkehrte Welt

Beispiele für Aktionen zum Verkehrsbereich im Umfeld der Schule sind ausführlich dargestellt in: Verkehrte Welt (siehe Literaturhinweise S. 85). Thema eines Aktionstages kann z.B. sein:

- * der Schulweg und die hierfür benutzten Verkehrsmittel,
- * das Freizeitverhalten bezogen auf Verkehr und Verkehrsmittel,
- * Radwege und Sicherheit,
- * Verkehr und Energieverbrauch, Verkehr und Klima.

Handlungsfeld Schule

Die Schule als täglicher Lebensraum von SchülerInnen und LehrerInnen bietet sich besonders für gemeinsame Maßnahmen und Aktionen an. Mögliche Aktivitäten sind:

- * Maßnahmen und Einführung von Verhaltensregeln zum Einsparen von elektrischer Energie (Beleuchtung, Heißwasserbereitung usw.),
- * Maßnahmen zur Einsparung von Heizenergie (gezieltes Lüften, Einbau bzw. Nutzung von Thermostaten, intelligente Steuerung der Heizungsanlage bezogen auf die Nutzungszeiten der Gebäude, ggf. Ersatz von älteren Heizungsanlagen),
- * Maßnahmen zur Wärmedämmung,
- * Aktive Nutzung der Sonnenenergie, z.B. durch Sonnenkollektoren oder durch Photovoltaikanlagen.

Für viele dieser möglichen Aktivitäten, die alle indirekt in Zusammenhang mit aktivem Klimaschutz stehen, gibt es inzwischen Förderungsprogramme, die bei den zuständigen Schulämtern bzw. Ministerien zu erfragen sind. Auch wenn die Installation verschiedener Einrichtungen wie z.B. von Sonnenzellen nicht durch die Schülerinnen und Schüler selbst ausgeführt werden kann, gibt es im Vorfeld solcher Projekte eine Vielzahl von Möglichkeiten für Eigenaktivitäten, von einem Check des Ist-

Beispiele und Vorschläge für Aktionen (2)

Zustandes über öffentlichkeitswirksame Aktionen bis hin zu Hilfsarbeiten beim Aufbau.

Eine Checkliste für die eigene Schule könnte z. B. wie folgt aussehen (ohne Verkehrsbereich):

- Wie wird die Schule geheizt?
- Welche Brennstoffe werden verwendet, in welcher jährlichen Menge?
- Wieviel CO₂ wird dabei freigesetzt?
- Wie ist die Heizung eingestellt? Wie sind die Temperaturen in den Klassenzimmern, auf den Fluren, im Lehrerzimmer?
- Welche Steuerungseinrichtungen gibt es? Wie sind sie eingestellt?
- Wie wird Warmwasser bereitet?
- Welche anderen Energieverbraucher gibt es in der Schule? Kühlschränke, Kopierer, ... Gibt es Geräte mit Stand-by-Schaltung?
- Welche Maßnahmen erscheinen möglich? Wer muß hierzu befragt werden?

Niedersächsische Schulen im Klimabündnis (KlinSch)

Beispiele wie Schulen ihren Energieverbrauch und Kosten reduzieren können, gibt es seit langem unter dem Dach eines Klimabündnisprojektes in Niedersachsen. Ein wichtiger Bestandteil der dort abgeschlossenen Verträge zwischen Schule und Schulträger bzw. Schulaufsicht ist die Zusage, daß ein Teil der eingesparten Kosten der Schule wieder zugute kommt und insbesondere für weitere klimarelevante Maßnahmen zur Verfügung steht. Eine Übersicht über die durchgeführten Projekte findet sich in:

Klima, Kommune, Konsum. Möglichkeiten der Schule, einen Beitrag zu leisten. Dokumentation der 4. Tagung des „Klimabündnis Niedersächsischer Schulen“ am 25. 9. 1996 in Hannover.

Bezug: Klimabündnis Niedersächsischer Schulen e.V., Goebenstraße 3a, 30161 Hannover.

Total Tote Dose

Schülerinnen und Schüler des Göttinger Max-Planck-Gymnasiums gründeten 1987 eine Arbeitsgemeinschaft für Umweltfragen. Sie nahmen Anstoß an den Mülleimern der Schule, die sich Pause für Pause mit den Einwegverpackungen der Schulmilch füllten. Diskussionen mit Eltern, Lehrern, Hausmeistern und der Stadtverwaltung und schließlich ein Boykott der Schulmilch brachten eine Änderung. Mitte April 1987 fiel der Milchverkauf eine Woche lang aus, statt dessen verkauften die Schülerinnen und Schüler Milch und Fruchtsäfte aus Mehrwegflaschen. Nach weiteren Protesten mit deutlichen Umsatzeinbußen für die Molkereien und einem Beschluß des Göttinger Stadtrates stellte der Milchhof Göttingen im April 1990 auf Mehrwegflaschen um.

Die zum Teil sehr kreativen Aktionen dieser Auseinandersetzung stellt das Jugendaktionshandbuch „Abfall – Total tote Dose – Eine Aktion zum Mitmachen“ vor: *Dosenvorhang / Tütentauschaktion Stofftasche gegen Plastiktüte / Müllberg auf dem Marktplatz / Mehrweg – Einweg – ein optischer Vergleich / Straßentheateraktion / Müllfrühstück.*

3-507-76 424-5

