

A stylized black silhouette of a plant with three leaves and a circular base. The rightmost leaf contains a white chemical structure of a triatomic molecule, likely representing ozone (O₃).

**WWF-
Ozon-Kampagne**

Lutz Stäudel

Lufthülle aus dem Gleichgewicht

Experimente
Modellversuche
Informationen



Lufthülle aus dem Gleichgewicht

Impressum

Autor:
Dr. Lutz Stäudel, Gesamthochschule Kassel,
Fachbereich Biologie/Chemie

Redaktion:
Ernst Zachow; Jochen Kamien; Anja Jagsch

Illustrationen:
Angelika Bender, Fred Butzke

Druck:
Satz + Druck im Centrum, Bremen

Die WWF-Ozon-Kampagne bedankt sich beim
BUNDESMINISTER FÜR BILDUNG UND WISSENSCHAFT
für die Unterstützung.



WWF

© Umweltstiftung WWF-Deutschland

1993



Inhaltsverzeichnis

Hinweise zur Benutzung	2
0. Dynamische Systeme und ihre Störung	3
Die Lufthülle	3
Drei Arten von Störungen	5
1. Ozon (und andere Schadgase) in bodennahen Luftschichten	7
Vom "gesunden" Ozon zum Schadstoff Ozon	7
Bedingungen für die Bildung von Ozon in der Natur	8
Das Sauerstoff-Ozon-Stickstoffdioxid-Gleichgewicht	9
Das verschobene Sauerstoff-Ozon-Stickstoffdioxid-Gleichgewicht	10
Ozon - ein Problem nicht nur für die großen Städte	11
Hauptverursacher: Auto	14
Bodennahes Ozon: Gefahren für Mensch, Tier und Pflanzen	16
Ozon-Empfindlichkeit von Pflanzen	18
Bioindikatoren	19
Sinkende landwirtschaftliche Erträge durch Luftschadstoffe?	21
Erhöhte Ozonwerte - ein Rollenspiel	22
Informationsquellen	24
Handlungsmöglichkeiten/Untersuchungen/Aktionen	25
2. Ozon-Schutzschicht und Ozonloch	28
Die stratosphärische Ozonschicht als Schutz gegen harte UV-Strahlung	28
Der ewige Ozon-Sauerstoff-Kreislauf als Energiefilter	29
Bedeutung des Ozonfilters für das Leben auf der Erde: Schablonen-Test	30
Hautkrebs und Pflanzenschäden durch erhöhte UV-Strahlung	32
<hr/>	
Kopiervorlagen "Atmosphäre"	34
<hr/>	
Störung des Ozon-Sauerstoff-Kreislaufs durch aggressive Chemikalien	38
Veranschaulichungen zur stratosphärischen Ozonerstörung	41
FCKW-Teilchen als "Transportmittel" für reaktives Chlor	44
FCKW - der Aufstieg eines Produktes	45
Alternativen zu den FCKWs	46
3. Der Treibhauseffekt	49
Treibhaus Erde	49
Was macht ein Gas zum Treibhausgas?	51
Gase mit und ohne Treibhauspotential	53
Treibhausgase und ihre Verursacher: 1. Kohlendioxid	55
Treibhausgase und ihre Verursacher: 2. FCKWs	63
Treibhausgase und ihre Verursacher: 3. Methan und andere	64
Die Folgen des Treibhauseffektes	65
Maßnahmen	66
Anhang	
Literatur	67
Adressen	68
Reaktionsgleichungen	70
Die Atmosphäre in Übersicht	72



Hinweise zur Benutzung

Diese Begleitbroschüre zur WWF-Ozon-Kampagne wendet sich an die Betreuerinnen und Betreuer von Gruppen und Klassen, die an den Untersuchungen von Ozonschäden an Tabakpflanzen teilnehmen und/oder Aktionen in deren Umfeld durchführen.

Die Broschüre soll mit den enthaltenen Informationen zum besseren Verständnis der Probleme im Bereich der Atmosphäre beitragen. Neben einer ausführlichen Darstellung der Zusammenhänge zwischen bodennahem Ozon, dessen Entstehung und Wirkungen sind daher auch die Bereiche "Ozonschutzschicht und Ozonloch" sowie "Treibhauseffekt" als Themen aufgenommen.

Die Informationen werden unterstützt durch zahlreiche Skizzen und Modelle, z.T. zum Nachbauen, die die chemischen und physikalischen Sachverhalte auf einfache Weise erläutern sollen.

Zu jedem der drei Einzelbereiche werden zudem einige Versuche vorgeschlagen, die mit nicht zu aufwendigen Mitteln in Schulen und auch außerhalb zu realisieren sind. Während dafür in der Regel keine spezifische naturwissenschaftliche Ausbildung erforderlich ist, muß beim sog. Schablonentest gewährleistet sein, daß die Entsorgung der Agarplatten sachgemäß erfolgt.

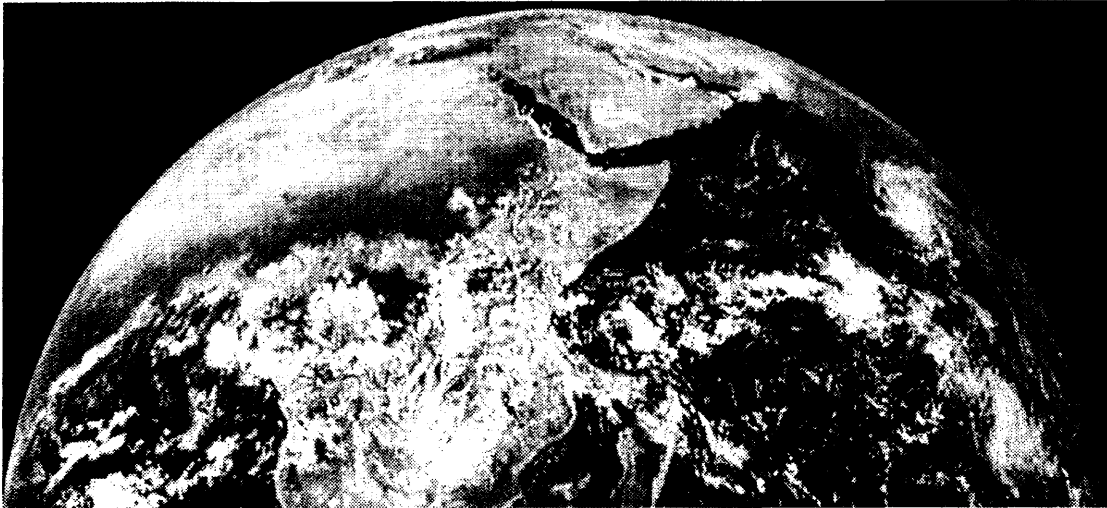
Wo es angebracht erschien, sind in der grau unterlegten Fußzeile weiterführende Ideen und Fragen angemerkt, die zu eigenen Aktivitäten mit der jeweiligen Gruppe anstiften sollen. Auf eine Formulierung der Informationen als Arbeitsblätter wurde dafür bewußt verzichtet, insbesondere wegen der Verschiedenheit der möglichen Zielgruppen.

Das im ersten Kapitel vorgeschlagene Rollenspiel sollte der jeweiligen örtlichen Situation angepaßt werden. Auch zu den beiden anderen Kapiteln sind ähnliche Spiele denkbar.

Beispiele für Aktionen sind im Anhang der Kampagnen-Broschüre wiedergegeben. Für viele Zusammenhänge können aber auch die er- oder bearbeiteten Informationen für eine nähere oder weitere Öffentlichkeit auf Wandzeitungen - z.B. als großformatige Graphiken - umgesetzt werden. Attraktiv könnte dies insbesondere dann sein, wenn parallel dazu die Ergebnisse der Tabakpflanzen-Untersuchungen dargestellt werden.

0. Dynamische Systeme und ihre Störung

Die Lufthülle



Als Astronauten erstmals die Erde aus größerer Entfernung als ganzes betrachten konnten, gehörte zu den beeindruckendsten Bildern die äußerst dünne Lufthülle, die unseren Planeten umgibt. "Empfindlich" und "verletzlich" kam sie ihnen vor, wahrscheinlich auch wegen des Wissens darum, daß allein diese dünne Lufthülle Leben ermöglicht.

Diese Eindrücke sind richtig und dennoch - was menschliches Handeln angeht - ohne Konsequenz geblieben.

Die uns umgebende Luft gehört zweifellos zu den wichtigsten Bedingungen des Lebens auf der Erde. Sie ermöglicht den gesamten Stoffwechsel der Lebewesen:

- * Pflanzen nehmen Kohlendioxid auf, bauen mit Hilfe der Sonne Kohlenhydrate und andere Verbindungen auf und produzieren als Nebenprodukt Sauerstoff
- * Tiere und Menschen ernähren sich - direkt oder indirekt - von diesen Pflanzenprodukten; durch stille Verbrennung von Kohlenhydraten und Fetten decken sie ihren Energiebedarf und verbrauchen dabei Sauerstoff.

Die Atmosphäre erfüllt darüberhinaus zahlreiche weitere Funktionen: Sie hält, wiederum mit Hilfe von Sonnenenergie, den Wasserkreislauf aufrecht: Verdunsten, Wolkenbildung, Regen, Abfluß zum Meer. Sie filtert das Sonnenlicht, sie verhindert die Auskühlung der Erdoberfläche.

Trotzdem gehören Luft und Lufthülle zu den Bereichen, die sich der Erfahrung und der Bearbeitung (im Unterricht) nur schwierig erschließen. Die allgegenwärtige Luft wird spontan nur in Extremsituationen wahrgenommen: wenn jemand außer Atem gerät, keine Luft bekommt, wenn es stürmt oder wenn es stinkt. Die Belastungen und Gefährdungen aber, um die es bei der WWF-Ozon-Kampagne geht, sind eher unsichtbar wie die Luft selbst. So wie die Arbeit mit den Tabakpflanzen als Bioindikatoren für die Belastung mit bodennahem Ozon "Unsichtbares" sichtbar machen soll und kann - die Auswirkungen erhöhter Ozonwerte in bodennahen Luftschichten -, so sollen die Informationen, Versuche und Anregungen in dieser Broschüre Bewußtsein schaffen für die vielfältigen Gefährdungen der Atmosphäre durch die Tätigkeit des Menschen und die Gefährdung aller Menschen durch die damit bewirkten Veränderungen.



Diese Veränderungen haben heute ein Ausmaß erreicht, das sofortiges Handeln notwendig macht, individuell und gemeinsam. Denn die Lufthülle wird seit Beginn der industriellen Revolution im letzten Jahrhundert vom Menschen nicht nur zum Atmen benutzt, sondern immer intensiver eingespannt für die Bedürfnisse von Zivilisation und Industrie: Verbrannt werden seitdem riesige Mengen fossiler Energieträger: Kohle, Erdöl und Erdgas. Den Sauerstoff dazu liefert die Atmosphäre; sie wird aber auch mit den Endprodukten dieser Verbrennung belastet, Kohlendioxid und ein halbes Dutzend ausgesprochen schädlicher Spurengase wie Schwefeldioxid, Stickoxide, Kohlenwasserstoffe u.v.a.. Dazu kommen mehrere tausend gasförmige Verbindungen aus Produktionsprozessen und Stoffe wie die FCKWs, deren vermutete Harmlosigkeit sich bald als Irrtum herausstellte.

Die Lufthülle als dynamisches System

Wahrscheinlich wegen des Eindrucks von unbegrenzter Weite des "Luftozeans" ging lange Zeit damit die Vorstellung von der unbegrenzten Belastbarkeit einher. Tatsächlich gilt auch für die Atmosphäre, daß "alles irgendwo bleibt" und auch Wirkungen zeigt, nicht immer sofort und nicht immer direkt sichtbar. Die Belastungen durch menschliche Aktivitäten greifen dabei an unterschiedlichen Stellen an, je nach emittierten Stoffen, deren Eigenschaften und Verweildauer in der Lufthülle und der Tiefe des Eingriffs in die Strukturen und Gleichgewichte.

Unter dem Gesichtspunkt dieser Störungen kann die Lufthülle als dynamisches System betrachtet werden, das mehrfach geschichtet ist. Für die Zwecke dieser Broschüre ist es ausreichend, zwischen Troposphäre und Stratosphäre zu unterscheiden.

Die Troposphäre umfaßt die unteren Luftschichten bis in eine Höhe von etwa 10 Kilometern, hier nimmt die Temperatur der Luft kontinuierlich mit der Höhe ab, hier spielt sich das Wettergeschehen ab, hier zirkulieren die meisten durch menschliche Aktivität verursachten Schadstoffe, bis sie wieder ausgewaschen oder durch Reaktionen mit anderen Luftbestandteilen abgebaut werden.

Die Stratosphäre umfaßt den Bereich zwischen 10 und 50 Kilometern. Entgegen früheren Vorstellungen von Einheitlichkeit (der die Stratosphäre ihren Namen verdankt), steigt die Temperatur hier wieder an, insbesondere durch die Reaktionen des Ozons mit der energiereichen UV-Strahlung von der Sonne.

Wie der stratosphärische Ozonabbau - das Ozonloch - durch FCKWs zeigt, sind diese Schichten nicht unabhängig voneinander: Gase aus der Troposphäre steigen bis in diese Höhen auf, fehlendes Ozon läßt die gefährliche UV-B-Strahlung bis zur Erdoberfläche gelangen und führt dort u.a. zu vermehrter Bildung von bodennahem Ozon usw. Kohlendioxid schließlich und der Anstieg von dessen Konzentration beeinflußt Klima und Wetter, Strahlungsintensität und Austausch von Luftmassen.

Drei Arten der Störungen

Trotzdem gibt es eine gewisse Berechtigung, die vom Menschen und seinen (industriellen/zivilisatorischen) Tätigkeiten verursachten Störungen der Lufthülle grob zu unterscheiden:

Die **Veränderungen der Zusammensetzung der Luftschichten in Bodennähe** sind überwiegend *temporär*; die durch Kraftwerke, Verkehr, Industrie und Haushalte emittierten Spurengase sind überwiegend kurzlebig: Schwefeldioxid, Stickoxide, Kohlenwasserstoffe und Reaktionsprodukte wie das bodennahe Ozon. Würden morgen alle Emissionen gestoppt, so wäre die Luft einige Wochen oder Monate später wieder frei von diesen Belastungen. Diese Luftschadstoffe sind aber verantwortlich für die unmittelbare Beeinträchtigung von Lebensmöglichkeiten: Pseudokrapp, Baumsterben und Gebäudeschäden. Sie wirken nicht nur als Gase, sondern ihre Folgeprodukte sammeln sich im Boden und Gewässern an und wirken auf Jahrzehnte hinaus (Saurer Regen / Bodenversauerung).

Zu **mittelbaren dauerhaften Verschlechterungen von Lebensbedingungen** kommt es durch eine andere Veränderung in der Gesamtzusammensetzung der Luft: Kohlendioxid aus fossilen Brennstoffen verschiebt das dynamische Gleichgewicht von Kohlendioxid (als Gas in der Luft, gelöst und chemisch gebunden im Wasser) und Kohlenstoff (in Form von Kohle, Erdöl, Erdgas und der stets im Umbau befindlichen Biomasse). Kohlendioxid aber speichert die Wärme besser als die Hauptbestandteile der Luft und führt zu einer Verstärkung des Treibhauseffekts, mit noch nicht in jedem Detail geklärten Auswirkungen.

Zu einer **dauerhaften und langfristigen Beeinträchtigung aller Lebensmöglichkeiten** trägt die reaktive (permanente) Veränderung der Zusammensetzung einzelner Luftschichten bei (FCKW - Ozonloch): Durch erhöhte UV-Einstrahlung verändern sich die allgemeinen Bedingungen in der Biosphäre.

Systeme im dynamischen Gleichgewicht können durch vereinfachte Modelle dargestellt werden, bei denen sich Stoffzufluß und Stoffabfluß die Waage halten.

Das hier gewählte Beispiel einer Tonne mit Ablauf und Zufluß zeigt:

1. Solange Zufluß und Ablauf von gleicher Größenordnung sind, stellt sich ein bestimmter Flüssigkeitsstand in der Tonne ein.

a) Vergrößert man den Zulauf, so steigt der Spiegel so lange, bis durch den vergrößerten (hydrostatischen) Druck auch mehr Wasser aus dem Auslauf fließt.

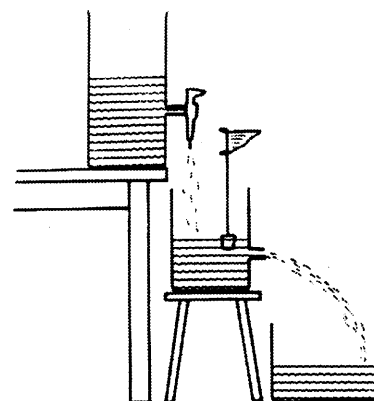
b) Vermindert man den Zulauf, so fällt der Spiegel so lange, bis der Auslauf entsprechend vermindert ist.

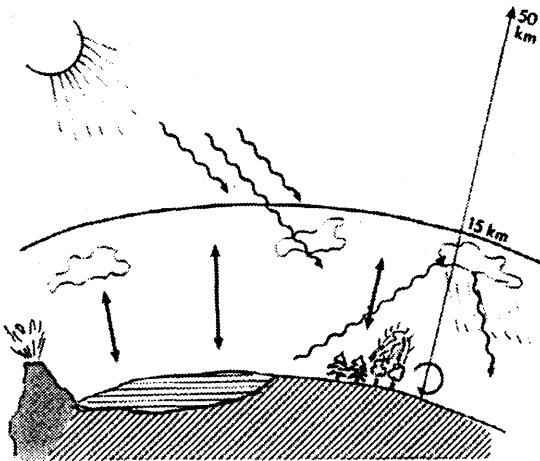
Das System kann also in gewissen Grenzen auf eine äußere Veränderung flexibel reagieren und eine neue Gleichgewichtslage herstellen.

2. Das System kann aber durch größere Störungen aus dem Gleichgewicht gebracht werden:

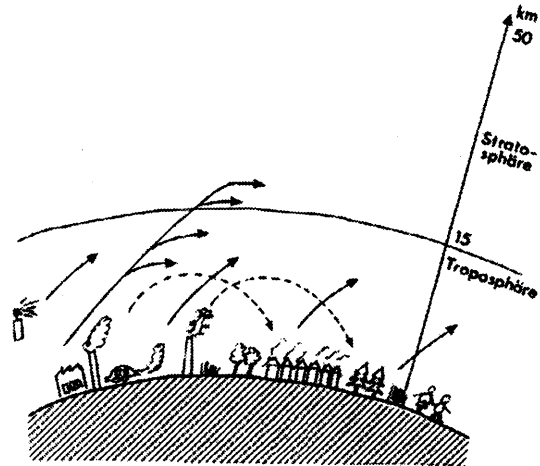
a) wenn der Zufluß sehr stark vermindert wird: die Tonne läuft trocken;

b) wenn der Zufluß sehr stark vergrößert wird: die Tonne läuft über.

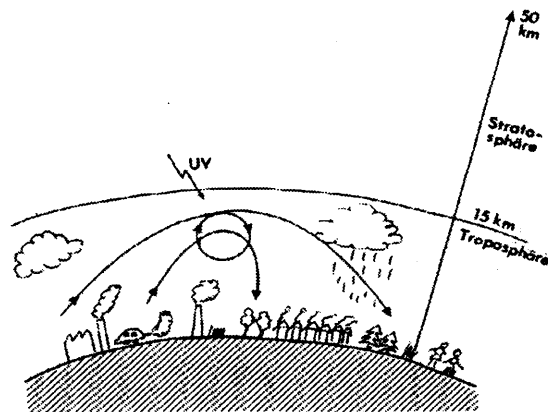




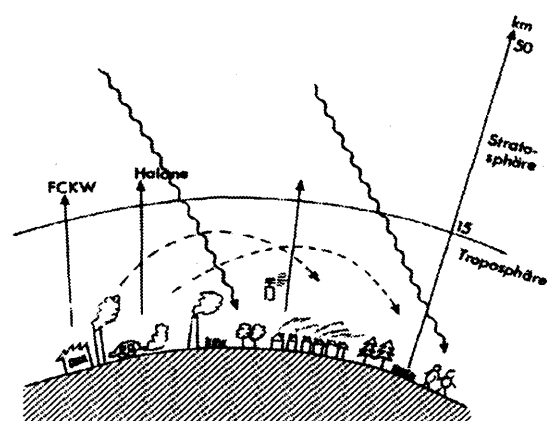
Natürliche Situation



Temporäre Luftbelastungen



Strukturelle Veränderungen durch neue Spurengase



Verschiebung der Zusammensetzung der Atmosphäre

Wie der stratosphärische Ozon-Sauerstoff-Kreislauf als Filter für energiereiche Strahlung funktioniert, wird in Kapitel 2 erklärt. Die Erwärmung der Stratosphäre ist also ein Nebeneffekt dieser Filterwirkung. Wenn die Ozonschutzschicht zerstört wird, z.B. durch FCKWs, dann hat das auch Folgen für den Wärmehaushalt der Stratosphäre.

1. Ozon (und andere Schadgase) in bodennahen Luftschichten

Vom "gesunden" Ozon zum Schadstoff Ozon



Ozon hatte früher einen guten Namen. In den Werbeprospekten der Luftkurorte im Harz, Spessart oder im Bayerischen Wald machte man damit Reklame: "Erholen Sie sich in unserer ozonreichen Mittelgebirgsluft!"



"Ozonhaltige Luft" war gleichbedeutend mit "gesunder Luft". Ozon in den sehr niedrigen natürlichen Konzentrationen galt als gesundheitlich unbedenklich, ja sogar als der Gesundheit der Stadtmenschen zuträglich. Tatsächlich findet mit Ozon angereicherte Atemluft auch in der Medizin Anwendung, und zwar bei Menschen, die in ihrem Beruf hohen Staubkonzentrationen ausgesetzt sind.

Feinstaub kann zu schweren Erkrankungen führen, besonders gefürchtet ist die Staublunge, die ähnlich wie Lungenkrebs oft zum Tode führt. Silikatstaub (in Porzellan- und Glasfabriken und in Bergwerken) setzt sich an den Lungenbläschen fest und behindert die Atmung. Um die Lunge wieder so zu aktivieren, daß sie den Staub abstößt, wurden beruflich gefährdete Personen in bestimmten Abständen in speziellen Räumen ozonhaltiger Luft ausgesetzt, jeweils einige Stunden lang.

Was - in geringsten Konzentrationen - als Heilmittel galt und gut für die körperliche Erholung sein sollte, ist in höheren Konzentrationen ein starkes Gift. Ozon reizt nämlich Lunge und Atemwege; je höher die Konzentration, desto heftiger der "Reiz", bis hin zur teilweisen Zerstörung des Lungengewebes.

Weil Ozon ein Gift ist, das sogar Kleinstlebewesen abtöten kann, wird es auch heute noch zur Desinfektion von Badewasser in Schwimmbädern benutzt. Die dort verwendeten Konzentrationen sind hoch genug, daß Krankheitskeime sich nicht ausbreiten können, und zugleich niedrig genug, daß ein gelegentlicher und zeitlich begrenzter Aufenthalt im Bad den Besuchern nicht schadet. Insbesondere schadet das andernfalls verwendete Chlor oder seine ebenfalls desinfizierend wirkende Verbindung Hypochlorit der menschlichen Lunge deutlich mehr, reizt zudem aber noch die Haut und kann allergische Reaktionen hervorrufen.

Beispiele aus dem eigenen Ort, aus dem Zeitungsarchiv, von Eltern, Großeltern zum Ozon-Bild früherer Jahre können eine interessante Bereicherung der Information darstellen, auch für eine mögliche Ausstellung.



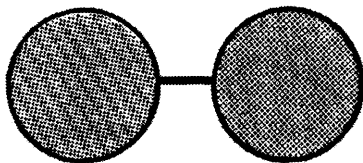
Bedingungen für die Bildung von Ozon in der Natur

Wenn es Ozon in der Luft schon vor den Blechlawinen der heutigen Zeit gab, wenn es sogar in Reinluftgebieten vorkam und vorkommt, aus welchen Quellen stammt es dann eigentlich? Einen ersten Hinweis darauf, wie und wo sich Ozon bevorzugt in der Natur bilden kann, geben die alten Werbeprospekte der Sommerfrischen; dort kommen folgende Bedingungen zusammen: die Höhenlage (im Mittelgebirge oder Hochgebirge), schönes Wetter, wenigstens während der sommerlichen Hochsaison, und oft ausgedehnte Waldgebiete.

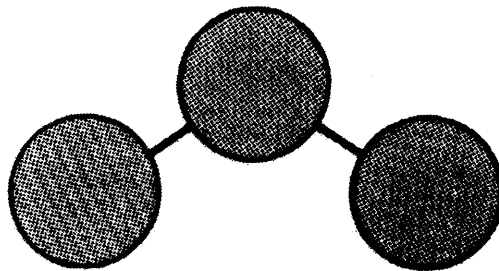
Schönes Wetter, das bedeutet viel Sonne; je höher ein Ort zudem liegt, desto intensiver ist die Sonnenstrahlung (ohne Sonnenschutz gibt es im Gebirge auch schneller einen Sonnenbrand als in der Ebene). Tannen und Fichten schließlich steuern ihren typischen Nadel(weihnachts)geruch bei, der herrührt von leicht-flüchtigen Inhaltsstoffen der Tannen- und Fichtennadeln, den Terpenen. Wie die Bestandteile des Benzins, die den durch menschliche Tätigkeit stark erhöhten Ozonpegel mitverursachen, gehören die Terpene zu den Kohlenwasserstoffen. Wichtigste Voraussetzung für die Ozonbildung aber sind die allerorten in geringsten Spuren vorhandenen Stickoxide, die zusammen mit Kohlenwasserstoffen und energiereicher Strahlung aus dem lebensnotwendigen Luftsauerstoff das aggressive Ozon bilden.

Etwas Ozon- und Sauerstoff-Chemie zum besseren Verständnis

Ozon und Sauerstoff sind enge Verwandte. Während die kleinsten Teilchen des Sauerstoffs der Atemluft aus zwei Sauerstoffatomen zusammengesetzt sind, bestehen die Ozonteilchen aus drei Sauerstoffatomen.



Luftsauerstoff



Ozon

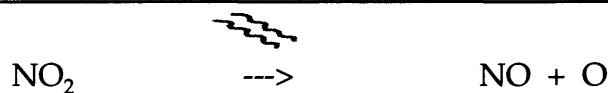
Unter normalen - natürlichen - Bedingungen werden in den bodennahen Luftschichten nur sehr wenige Sauerstoffteilchen in Ozon umgewandelt: Dem Sauerstoffgehalt der Luft von etwa 20% stehen lediglich 20 bis 40 µg Ozon gegenüber, das sind ca. 10 - 20 Milliardstel Raumteile. Mit anderen Worten: auf 10 bis 20 Millionen Sauerstoffteilchen kommt (zeitweise) ein Ozonteilchen.

Hinweise zur Umrechnung von "ppb" und "µg" finden sich in der Broschüre zur WWF-Ozon-Kampagne sowie im Abschnitt "Veranschaulichungen von Immissionskonzentrationen"

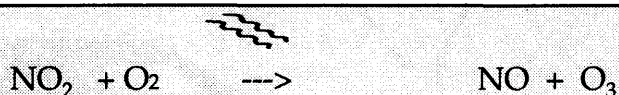
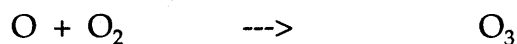


Das Sauerstoff-Ozon-Stickstoffdioxid-Gleichgewicht

Durchschnittlich eines von 20 Millionen Sauerstoffteilchen wird unter natürlichen Bedingungen in Ozon umgewandelt und zwar durch das überall in geringsten Spuren vorhandene Stickstoffdioxid*). Unter Sonneneinstrahlung zerfällt Stickstoffdioxid in Stickstoffmonoxid und ein reaktives Sauerstoffatom.



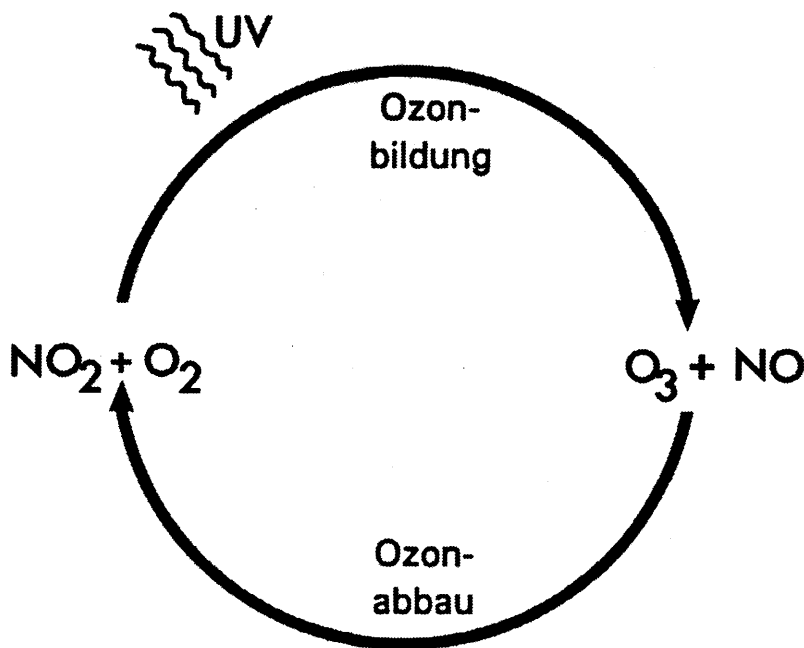
Dieses reaktive Sauerstoffatom reagiert mit einem zweiatomigen Sauerstoffteilchen und bildet so ein Ozonteilchen.



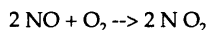
Zusammengefaßt läßt sich also schreiben:



Dieser Vorgang läuft aber auch in der Gegenrichtung ab; daher bleibt die Konzentration von Ozon unter natürlichen Bedingungen immer begrenzt.



*) Stickstoffdioxid entsteht aus Stickstoffmonoxid und Sauerstoff.

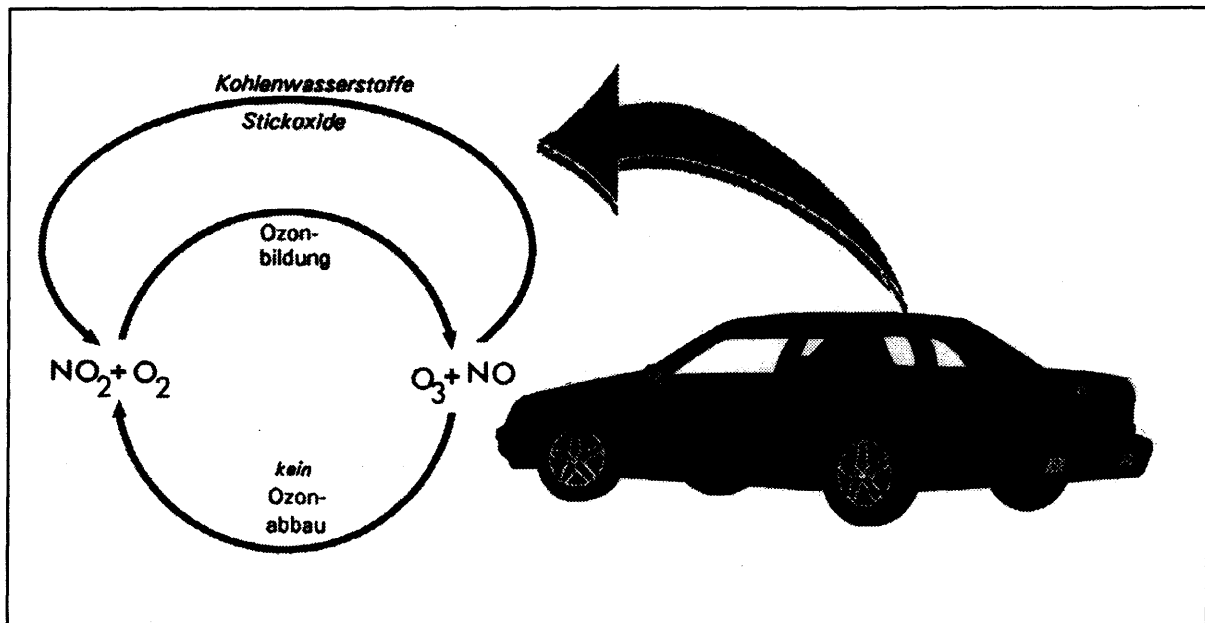


Natürliche Quellen für die sehr geringen Stickoxidkonzentrationen sind Blitz, bakterielle Tätigkeit und Brände.



Das verschobene Sauerstoff-Ozon-Stickstoffdioxid-Gleichgewicht

Unter bestimmten Bedingungen kann erheblich mehr Ozon gebildet werden: nämlich dann, wenn Stickstoffmonoxid durch irgendeinen anderen Stoff wieder in Stickstoffdioxid umgewandelt wird: Dazu tragen - wiederum unter Einwirkung von Sonnenstrahlung - in der Luft vorhandene Kohlenwasserstoffe bei. Die Vorgänge dabei sind sehr kompliziert, für die Beurteilung des Ozonproblems ist es aber nicht erforderlich, diese Reaktionen im Detail zu kennen.*)



Zur Neubildung von Stickstoffdioxid aus Stickstoffmonoxid können praktisch alle Kohlenwasserstoffe beitragen, die Terpene des Nadelwaldes ebenso wie die Benzinreste aus den Autoauspuffen; während aber die Menge "Weihnachtsduftes" klar begrenzt ist, haben die Kohlenwasserstoffe aus dem Verkehrsbereich keine obere Grenze und übertreffen die Konzentrationen der natürlichen Kohlenwasserstoffe örtlich um das Tausend- bis Millionenfache.

Insgesamt hat sich die Ozonbelastung zwischen 1960 und 1990 in Mitteleuropa etwa verdoppelt. Besonders auf dem Lande hat sich die mittlere Ozonkonzentration erhöht, und zwar von 20 - 40 µg/m³ auf 40 bis 120 µg/m³.

In den Städten kommt es zu starken Schwankungen der Ozonkonzentrationen, und zwar aus folgendem Grund:

Die Motoren von PKWs und LKWs emittieren nicht nur unverbrannte Benzinbestandteile, sondern in noch größerem Maße Stickoxide, insbesondere das bereits erwähnte Stickstoffmonoxid NO. Dieses wirkt, wie bereits beschrieben, sowohl bei der Bildung von Ozon mit wie auch beim Ozon-Abbau. Daher kommt es überall dort, wo der Verkehr besonders dicht ist, zu einem ausgeprägten Tagesgang der Ozonbelastung.

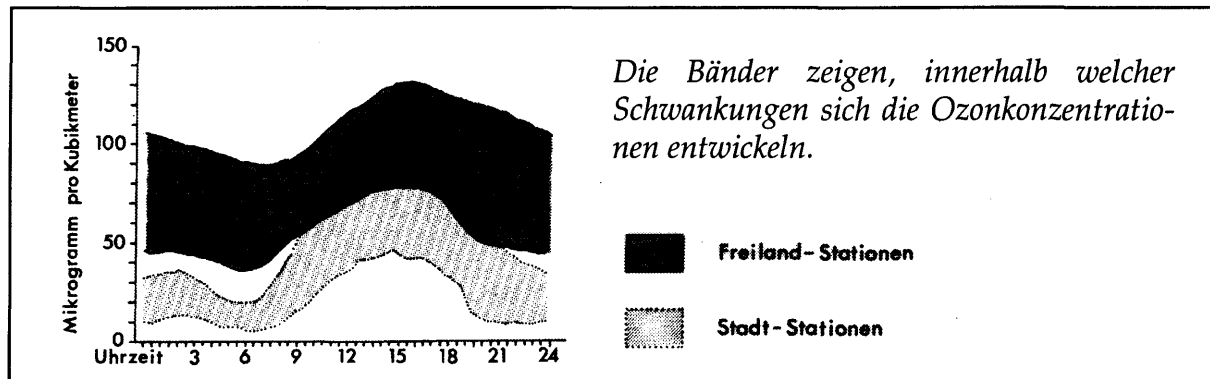
*) Weitere Informationen zu den einzelnen Reaktionsschritten im Anhang auf Seite 70/71.

Ozon - ein Problem nicht nur für die großen Städte

Seitdem es in Deutschland und seinen Nachbarländern zunehmend öfter zu ausgesprochenem "Sommersmog" gekommen ist, werden die Ozonkonzentrationen an vielen Orten durch staatliche Stellen gemessen. Daher weiß man inzwischen ziemlich genau, wann mit besonders hohen Ozonwerten zu rechnen ist.

An einem Sommertag in einer verkehrsreichen Großstadt sieht die Entwicklung der Ozonbelastung etwa wie folgt aus (hell unterlegter Bereich der Graphik): Morgens ist die Ozonkonzentration noch sehr gering. Durch den Verkehr werden Stickoxide und Kohlenwasserstoffe in die Luft emittiert; zusammen mit der zunehmenden Sonneneinstrahlung baut sich bis zum frühen Nachmittag eine hohe Ozonkonzentration auf. Die Werte sinken dann langsam wieder ab. Besonders in der Nacht wird Ozon durch das immer noch in der Luft vorhandene Stickstoffmonoxid abgebaut, bis die Belastung am Morgen des folgenden Tages wieder den niedrigsten Wert erreicht hat.

Wie hoch die Belastungsspitzen am Nachmittag werden, hängt dabei von verschiedenen Faktoren ab: von der Lage des betreffenden Ortes, der Höhe, der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit, und besonders auch davon, ob ein Luftaustausch durch Wind oder Thermik stattfindet oder nicht.



In sogenannten Reinluftgebieten - z.B. auf dem Lande bei geringer Belastung durch Verkehr, Kraftwerke oder Industrien - entwickeln sich die Ozonwerte deutlich anders:

* Weil wegen geringem Verkehrsaufkommen die Konzentration von Stickoxiden eher gering ist, bleibt der sonst in der Dunkelheit (durch Stickstoffmonoxid) bewirkte Ozonabbau aus.

* Weil aber durch die allgemein gestiegenen Kohlenwasserstoff-Konzentrationen (aus dem Verkehrsbereich) tagsüber das wenige vorhandene Stickstoffmonoxid (NO) ständig in NO₂ umgewandelt wird und dadurch eine stetige Ozonbildung ausgelöst wird, liegt das Niveau der Ozon-Belastung deutlich höher.

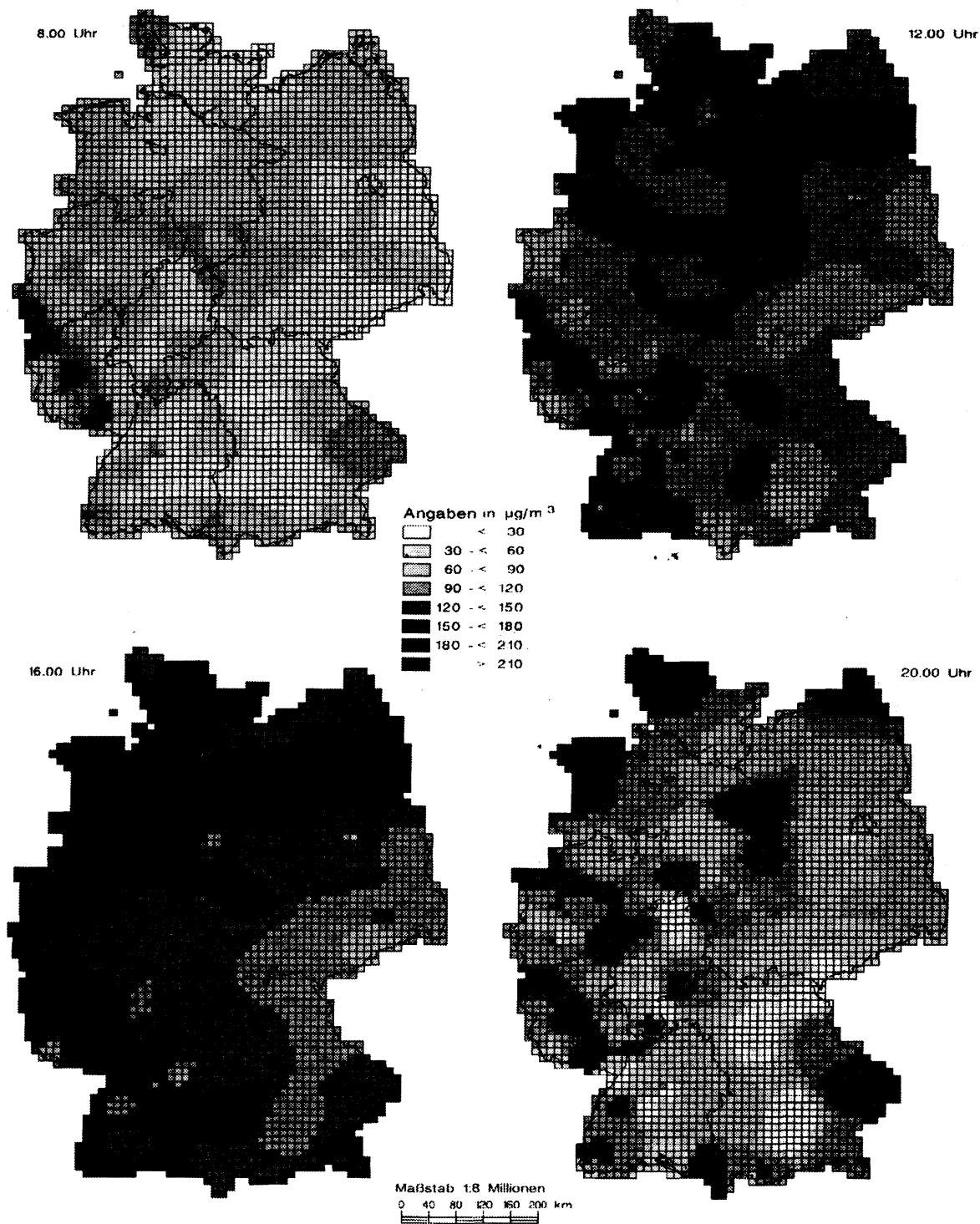
Als Folge sind die Ozonkonzentrationen in solchen (ländlichen) Gebieten ziemlich konstant, wegen Einflüssen aus anderen Regionen aber gegenüber früheren Jahren drastisch erhöht. Kommt es bei mittleren Windstärken zu starken Verschiebungen von ozon- oder kohlenwasserstoffbelasteter Luft aus den Ballungszentren, dann können in ländlichen Bereichen über Tage hinweg extrem hohe Ozonwerte festgestellt werden.

Je heißer und je weniger feucht, je höher und je weniger Wind, desto höher kann die Ozonbelastung steigen.



Ozon-Immissionen in der Bundesrepublik Deutschland und der DDR
Halbstundenmittelwerte vom 22.8.1987

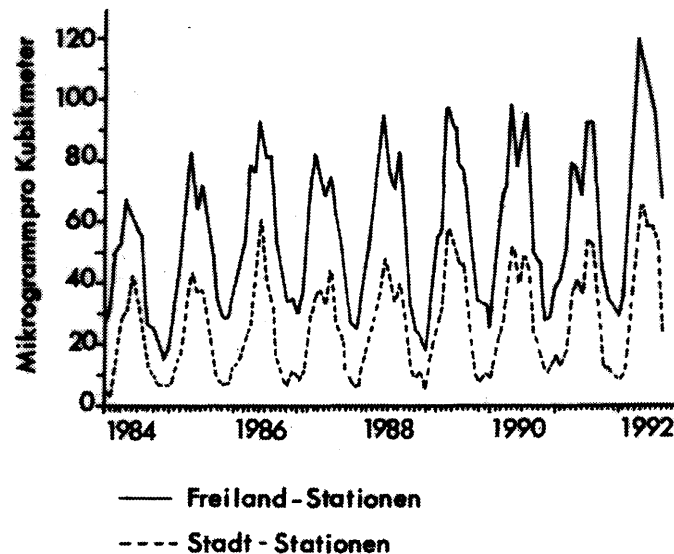
aus: Umweltbundesamt (Hrsg.): Daten zur Umwelt 1990/91



Mögliche Fragen zu den Ozonkarten vom 22.8.87:

- * Wo bauen sich die Ozonkonzentrationen am schnellsten auf?
- * Wie entwickelt sich die Ozonkonzentration in den Ballungszentren (Rhein-Main, Ruhrgebiet, Hamburg, Berlin, München, Stuttgart)?
- * Wo ist der abendliche Ozonabbau am langsamsten?

Wie die Tagesgänge der Ozonkonzentrationen zeigen, ist die durchschnittliche Belastung auf dem Lande nahezu doppelt so hoch wie in der Stadt. Das belegen auch die über verschiedene Meßstationen in Hessen gemittelten Monatsmittel für die Jahre 1984 bis 1992. Deutlich werden dabei sowohl die jahreszeitlichen Unterschiede wie auch die zunehmende Tendenz der Ozonbelastung.



Monatsmittelwerte aller Ozonmeßstationen in Hessen

Bei der doppelten Mittelung fallen jedoch die Spitzenwerte völlig heraus, die für sich genommen eine besondere Gefahr für Mensch, Tier und Pflanze darstellen. So wurden im August 1992 an 10 Stationen in Hessen Ozonwerte zwischen 300 und 360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen (jeweils über 2 Stunden).

Besonders in städtischen Wohngebieten, also in mittelbarer Nähe zu den dichtesten Verkehrsaufkommen, kommt es regelmäßig zu Höchstwerten um 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Das Verhältnis von Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen ist dort so ungünstig, daß die Ozonbildung maximal begünstigt und im Vergleich dazu der Abbau deutlich behindert ist.

Auch wenn ländliche und Waldgebiete inzwischen von Ozon Spitzenkonzentrationen fast ebenso betroffen sind wie die zentrumsnahen Bereiche, so kommt in den Städten zum Ozon noch eine Belastung mit aggressiven Chemikalien, die zusammen mit dem Ozon den sogenannten Photo-Smog bilden. Diese Art von Luftbelastung trat in den 40er Jahren erstmals in Los Angeles auf und wird deshalb auch Los Angeles-Smog genannt. Aus den Abgasen des dort besonders dichten Verkehrs und einer äußerst intensiven Sonneneinstrahlung (L.A. liegt auf der geographischen Breite von Marokko) entstehen zusätzlich "Photooxidantien". Diese Substanzen sind hauptsächlich chemisch veränderte Kohlenwasserstoffe; sie reizen die Schleimhäute und beeinträchtigen die Lungenfunktion.

Auch für den Standort Ihrer Schule, für die Gemeinde, die Stadt, den Landkreis gibt es mit großer Wahrscheinlichkeit Meßdaten zur Luftbelastung, oft auch detaillierte Ozonwerte. Daraus lassen sich z.B. eigene Graphiken erstellen und präsentieren.



Hauptverursacher: Auto

Die wichtigste Quelle für die Ozon-Vorläufer Stickoxide und Kohlenwasserstoffe (und Kohlenmonoxid) ist der Kraftfahrzeugverkehr. Aus den Auspuffrohren einer jährlich steigenden Zahl von PKWs und LKWs kommen unverbrannte Benzinbestandteile und eine immer noch zunehmende Menge Stickstoffmonoxid. Dazu einige Zahlen (für die alten Bundesländer):

Emissionen	1970		1989	
Stickoxid <i>davon aus dem Verkehrsbereich</i>	2,35 Mio t	0,80 Mio t	2,70 Mio t	1,60 Mio t
Kohlenwasserstoff <i>davon aus dem Verkehrsbereich</i>	2,90 Mio t	0,94 Mio t	2,55 Mio t	1,20 Mio t
Kohlenmonoxid <i>davon aus dem Verkehrsbereich</i>	14,5 Mio t	8,40 Mio t	8,25 Mio t	5,80 Mio t

Wie der Tabelle zu entnehmen ist, stieg der Ausstoß von Stickoxiden allen Maßnahmen zum Trotz (Einführung des Katalysators, Entstickung von Kraftwerksabgasen) weiter an, wobei der Zuwachs aus dem Verkehrsbereich die positive Entwicklung in Industrie und im Energiebereich weit überkompensiert. Bei den Kohlenwasserstoffen ist insgesamt ein Rückgang der Emissionen zu verzeichnen, jedoch haben auch hier die Emissionen aus dem Verkehrsbereich absolut und relativ zugenommen; Bereiche mit dichtem Verkehr sind heute aber stärker belastet als je zuvor. Auch beim Kohlenmonoxid, das ebenfalls an der Ozonentstehung Anteil hat, sind die Veränderungen längst nicht so positiv wie erwartet und notwendig.

Aggressives Ozon als Produkt einer aggressiven Technologie

Warum eigentlich hat die Einführung des Abgaskatalysators bei PKWs am Ausstoß von Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen nichts geändert? Zum einen wurden seit 1950 Jahr für Jahr jeweils mehr Kraftfahrzeuge zugelassen als in den Jahren zuvor, zuletzt alleine etwa 3 Millionen PKWs pro Jahr (1990). Auch hat sich die Kilometerleistung nach einem leichten Rückgang wieder verstärkt: es wird mehr gefahren, es wird öfter und es wird schneller gefahren. Mit einigem Recht kann die Ozonbelastung bodennaher Luftschichten als das aggressive Produkt einer aggressiven Technologie bezeichnet werden. Wir heutigen Menschen beanspruchen offensichtlich - ohne Rücksicht auf unsere Mit- und Umwelt - die uneingeschränkte Verfügung über mindestens einen PKW, um unseren Bedürfnissen nach einem Ortswechsel ohne Verzögerung nachkommen zu können. Dazu werden die notwendigen Rohstoffe und Energien zur Produktion ebenso schrankenlos eingesetzt, wie während des anschließenden Fahrbetriebs Benzin und Diesel. Weder Ölkrise noch verstärktes Umweltbewußtsein haben verhindern können, daß jede Generation von PKWs stärker und schneller wurde.

Daten zur Entwicklung des Verkehrsaufkommens, des KFZ-Bestandes und des Kraftstoffverbrauchs finden sich z.B. im "Statistischen Jahrbuch" und im jährlich erscheinenden (kostenlosen) Bericht "Mineralölwirtschaft in Zahlen" (Hamburg).

Lufthülle aus dem Gleichgewicht

Kaum ein Bruchteil dieser Anstrengungen wurde aufgewandt, um Energie einzusparen oder generelle umweltverträgliche Lösungen zu entwickeln. Vielmehr produzieren heutige Motoren wegen des Trends, die letzten Leistungsreserven zu mobilisieren, bei höheren Verbrennungstemperaturen mehr Stickoxide als jemals vorher. Dadurch gelangen erheblich gesteigerte Mengen in die Luft, nicht nur bei einer Fehlfunktion der Katalysatoren.

Die sprichwörtliche Aggressivität dieser Technologie kommt am deutlichsten zum Vorschein, wenn man bedenkt, daß sonst nur Blitze in der Lage sind, den reaktions-trägen Stickstoff der Luft zu aktivieren, zu spalten und mit Sauerstoff zu Stickoxiden umzusetzen. Deswegen dauerte es z.B. bis zum 1. Weltkrieg, bis es Fritz Haber zusammen mit Bosch gelang, sein Verfahren zur Herstellung von Ammoniak aus der Luft technisch umzusetzen. (Die als Endprodukt gewonnenen Nitrate dienten erst später zur landwirtschaftlichen Düngung; sie wurden zunächst zur Munitionsherstellung für den Krieg verwendet.)

Eine Technologie und Lebensweise, die hier Abhilfe schaffen will, muß sich in vieler Hinsicht mit weniger zufrieden geben:

- mit weniger schnellen Autos
- mit vermindertem Verkehrsaufkommen
- Umsteigen auf öffentliche Verkehrsmittel.
- ...

Warum wir auf unseren PKW (noch nicht) verzichten können...

Unsere jährliche Fahrleistung beträgt: km
davon täglich zur Schule / zur Arbeit: km
davon in der Freizeit etwa: km
davon im Urlaub: km

Gründe, die es uns schwer machen, auf das Auto in einem der genannten Bereiche zu verzichten:

Was sich ändern muß, damit ein Verzicht möglich ist:

Ähnliche Fragen können zur Stromverwendung (Kraftwerksemissionen) formuliert werden. Für beide Fälle gilt, daß die Förderung des verantwortlichen, planvollen Umgangs (Sparen, Ersetzen wenn möglich ...) wirksamer ist, als generelle Kritik.





Bodennahes Ozon : Gefahren für Mensch, Tier und Pflanzen

Der **Sauerstoff** in unserer Atemluft ist im allgemeinen ein wenig gefährlicher Stoff: Er ist so wenig reaktiv, daß Mensch und Tier ihn einatmen können und nach dem Transport im Blut zu Millionen von Körperzellen dort eine stille Verbrennung von Kohlenhydraten und Fetten stattfindet. Mit Sauerstoff wird aber nicht nur die Energie für Muskelbewegung und Körperwärme erzeugt, er unterstützt auch die Verbrennung von allen möglichen brennbaren Materialien in der Außenwelt, vom Wachs der Kerze bis zum Koks im Hochofen, und zwar unter gut kontrollierbaren Bedingungen. Spontane Entzündungen, Explosionen, Brände sind eher die Ausnahme.

Ganz anders das **Ozon**. Es ist als Teilchen instabil und gibt - in Berührung mit fast beliebigen anderen Stoffen - das dritte Sauerstoffatom leicht ab: Dieses ist äußerst reaktiv und verbindet sich spontan mit vorhandenen Reaktionspartnern. Auf diese Weise kann es - in Art einer teilweisen Verbrennung (Oxidation) - die Wände von tierischen und pflanzlichen Zellen angreifen und zerstören; aus dieser Reaktivität leitet sich auch die Verwendung von Ozon als Desinfektionsmittel in Hallenbädern ab.

In geringen Konzentrationen, also dann, wenn die körpereigenen Reparaturfunktionen schneller sind als die Zerstörungen, macht sich Ozon z.B. als unangenehme Reizung bemerkbar, bei höheren Werten sind die Schäden schwerer und bleibend.

Beim Menschen wurde festgestellt, daß etwa jeder zehnte besonders empfindlich gegenüber Ozon in der Luft ist. Solche Personen erfahren bereits Ozon-Konzentrationen über $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als deutlich unangenehm; gesunde Menschen, die nicht zu den 10 Prozent der besonders Betroffenen zählen, zeigen deutliche Symptome ab etwa $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Häufigste Beschwerden sind: Augenbrennen, Reizung der Atemwege (Husten), Schmerzen beim tiefen Einatmen, Kopfschmerzen, Konzentrationsstörungen und Abnahme der Leistungsfähigkeit.

Bei welcher Konzentration eine Schädigung beginnt und welche Belastung den Menschen zuzumuten ist, darüber gibt es große Meinungsverschiedenheiten, die sich auch in von Land zu Land unterschiedlichen Grenzwerten für Ozon in der Luft niedergeschlagen haben (siehe Tabelle nächste Seite). Der für die Bundesrepublik Deutschland geltende "**Vorsorgewert**" von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (es ergeht eine Warnung, wenn die Ozonbelastung zwei Stunden lang über diesem Wert liegt) erscheint im internationalen Vergleich als hoch; er wird in Kürze EG-weit gelten.

Welche Wirkungen eine andauernde Ozonbelastung auf den Menschen hat, also mit welchen chronisch-toxischen Folgen bei anhaltendem Anstieg des Grundpegels der Ozonwerte zu rechnen ist, darüber ist noch nichts genaues bekannt. Es wird jedoch befürchtet, daß entzündliche Veränderungen des Lungengewebes auftreten können, die wenigstens zum Teil nicht mehr rückgängig zu machen sind. Erwartet wird auch eine dauerhafte Beeinträchtigung der Lungenfunktion.

Maximale Ozonkonzentrationen in der Atemluft			
Gesetzliche Regelungen zum Schutz der menschlichen Gesundheit			
Land	Wert (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Zeitdauer (in Std.)	Bemerkungen
Los Angeles	400	1	Warnschwelle für Smogalarm
USA	240	1	darf an 1 Tag/Jahr überschritten werden
Dänemark	240	1	
Belgien	240	1	
Niederlande	240	1	darf an 5 Tg./Jahr überschritten werden
Italien	200	1	
Österreich	200	3	Vorwarnstufe
Deutschland	180	2	Warnung
Kanada	160	1	max. akzeptable Konzentration
Großbritannien	160	1	
Japan	120	1	Grenzwert
"	240	1	Warnschwelle für Smogalarm
Schweden	120	1	max. 1 Überschreitung/Monat
Schweiz	120	1	max. 1 Überschreitung/Jahr
Empfehlung der WHO*	150-200	1	
	100-120	8	

*Weltgesundheitsorganisation

Amtliche Empfehlungen / persönliche Schutzmaßnahmen

Bei Ozonwerten über $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, so die amtlichen Ratschläge in Deutschland, sollen "gesundheitlich empfindliche Personen vorsorglich ungewohnte und anstrengende körperliche Tätigkeiten im Freien vermeiden." Sporttreibenden wird empfohlen, "Ausdauerleistungen zu meiden".

Diese Maßnahmen haben das alleinige Ziel, die Belastung der Lunge mit Ozon zu vermindern. Denn beim Menschen - wie auch bei den Pflanzen - spielt neben der Höhe der Konzentration des Ozons in der Atemluft auch der Zeitraum eine Rolle, während dem der Organismus dieser Belastung ausgesetzt ist. Bei Sport oder anderen körperlichen Anstrengungen verstärkt sich die Atmung. Statt etwa $0,4 \text{ m}^3$ Luft atmet der Mensch dann bis zu 2 m^3 Luft pro Stunde ein - und konfrontiert seine Lunge mit der bis zu fünffachen Menge Ozon!

Für viele bleiben diese Ratschläge aber reines Wunschdenken, weil sie an der Realität des Alltags glatt vorbeigehen: "Nähmen wir die Warnungen vor erhöhten Ozonwerten tatsächlich ernst", so ein Bauleiter im Sommer 1992 im Raum Frankfurt, "dann dürfte heute keiner meiner Leute mehr einen Stein anrühren".

Gab es in den letzten Jahren Überschreitungen des Vorsorgewertes in der näheren Umgebung? An wievielen Tagen? Um welchen Wert?



Ozon-Empfindlichkeit von Pflanzen

Pflanzen reagieren in sehr unterschiedlichem Maße auf Ozon. Zwar lassen sich Nutz- und Wildpflanzen grob als *sehr empfindlich*, *empfindlich* und *weniger empfindlich* klassifizieren (siehe Tabelle), jedoch treten bereits innerhalb von Arten starke Unterschiede auf. Von großer Bedeutung für das Ausmaß der Schädigung sind neben Pflanzenart auch der konkrete Standort (Boden, Wasserversorgung etc.) und die klimatischen Verhältnisse.

Nutzpflanzen		
sehr empfindliche Zwiebel, Buchweizen, Hafer, Gerste, Roggen, Weizen, Tomate, Bohne, Luzerne, Tabak, Kartoffel, Spinat, Wein, Zuckermais, Weiß- und Rotklee	empfindliche Kohl, Endivie, Gurke, Mohrrübe, Petersilie, Erbse, Ackerbohne, Mais	weniger empfindliche Sellerie, Rübe, Erdbeere, Senf
Wildpflanzen mit einer Ozonempfindlichkeit		
ähnlich oder größer als <i>Bel-W3</i> Ackerwinde, Springkraut, Hopfen-, Stein- u. Weißklee, verschiedene Wickenarten	geringer als <i>Bel-W3</i> Schafgarbe, verschiedene Gräser, Gemeiner und Feldbeifuß, Hirtentäschelkraut, Hornkraut, Wiesenmargerite, Wilde Möhre, Ampferarten, Brennessel, Goldrute, Löwenzahn u.a.	

Da Pflanzen im Unterschied zu Mensch und Tier nicht aktiv atmen (im Sinne von "Luftholen"), gibt es keinen einfachen Zusammenhang zwischen Ozonkonzentration in der Umgebungsluft und Ausmaß der Schädigung.

Die Schädigung hängt in erster Linie von der Menge Ozon ab, die an die Wirkorte in der Pflanze gelangen. Daneben hat sich gezeigt, daß mehrmalige kurzzeitige Einwirkung hoher Ozonkonzentrationen stärker schädigend wirkt als eine vergleichbare niedrige Dauerbelastung. Besonders empfindlich sind Pflanzen während der Hauptwachstumsphase.

Die Ozonaufnahme wiederum ist abhängig von folgenden Faktoren: der Lufttemperatur und -feuchtigkeit, der Windgeschwindigkeit und der Intensität der Sonneneinstrahlung ("Globalstrahlung"). Die Zusammenhänge zwischen diesen Faktoren sind am besten erforscht für die bei der WWF-Ozon-Kampagne verwendete Tabakpflanze *Nicotiana tabacum* Bel-W3.

Bel-W3-Tabakpflanzen können somit als Bioindikatoren eingesetzt werden, mit deren Hilfe abgeschätzt werden kann, welche Schäden durch Ozon in bodennahen Luftschichten bei anderen Nutz- und Kulturpflanzen zu erwarten sind.

Bioindikatoren

Wie die *Nicotiana tabacum* Bel-W3 spielen Pflanzen bei der Untersuchung der Umwelt seit langem eine wichtige Rolle. Bekannte Methoden aus anderen Umweltbereichen sind z.B. die Flechtenkartierung und der Saprobienindex (bei der Gewässeruntersuchung).

Bei der Flechtenkartierung wird ein größeres, möglicherweise belastetes Gelände - z.B. ein Stadtviertel, ein Wohngebiet, eine Flur - systematisch darauf untersucht, ob und welche Flechten dort wachsen, in welchem Umfang, und ob bei bestimmten Arten Schädigungen oder Absterben zu beobachten sind. Da Flechten sehr empfindlich sind gegenüber Luftschadstoffen wie Schwefeldioxid und Stickoxiden, kann auf diese Weise eine präzise kartographische Aufnahme eines belasteten Gebietes durchgeführt werden, und zwar ohne sonstige technische Meßvorrichtungen. Damit erhält man eine Übersicht, welchen Belastungen z.B. Pflanzen ausgesetzt sind oder Menschen, die dort wohnen oder arbeiten.

Bei der Bestimmung Saprobienindex werden mit einem speziellen Käscher aus einem Gewässer Klein- und Kleinstlebewesen entnommen und klassifiziert. Der Hintergrund für diese Methode ist der, daß bestimmte Lebewesen wie Steinmückenlarven oder Schlammwürmer für ihren Lebensraum ganz bestimmte Bedingungen brauchen, also einen Mindestgehalt an Sauerstoff, oder einen nicht zu hohen Säuregehalt usw. Andere gedeihen wiederum gut, wenn das Wasser stark mit organischen Reststoffen belastet ist usw. Indem jeder Art ein bestimmter Wert zugeordnet ist, der dann mit der Häufigkeit des Vorkommens multipliziert wird, erhält man als Mittelwert eine Zahl zwischen 1 und 4, den sog. Saprobienindex. Dieser stellt ein Maß für die Gewässergüte dar. Während einzeln erhobene chemische Meßwerte nur Auskunft geben über den aktuellen Zustand eines Gewässers, stellt der Saprobienindex eine Art biologisches Gedächtnis dar, das Informationen über größere Zeiträume gibt.

Bei der Tabakpflanze Bel-W3 entstehen durch Einwirkung von Ozon bleibende Veränderungen der Blätter, die mit dem bloßen Auge wahrgenommen und mittels einfacher Methoden ausgewertet und beurteilt werden können (siehe das Beurteilungsblatt aus der Broschüre zur WWF-Ozon-Kampagne). Zwar gibt es keinen einfachen Zusammenhang zwischen Ozonkonzentration und Blattschädigung, dafür kann aber eine klare Aussage darüber gemacht werden, welche Schädigungen bei anderen Kultur- und Wildpflanzen zu erwarten sind, die den gleichen Bedingungen ausgesetzt sind. Wegen der Vielzahl von Faktoren ist dazu die Messung von Ozonkonzentrationen in der Umgebungsluft nämlich gerade nicht ausreichend. Die sichtbaren Blattschäden der Tabakpflanze können dazu beitragen, den Anteil des Schadstoffs Ozon an Ertragseinbußen, Wachstumsverzögerungen u.ä. bei Pflanzen zu beurteilen, die keine so sichtbaren Symptome zeigen wie Bel-W3.

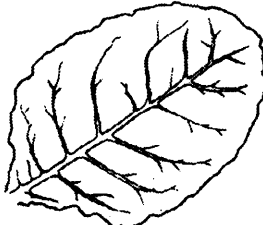
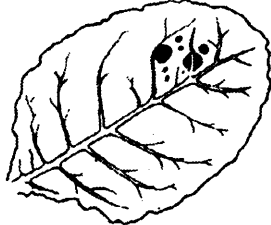
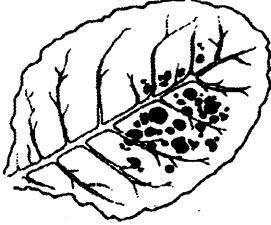
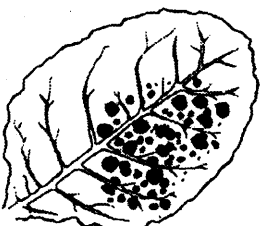
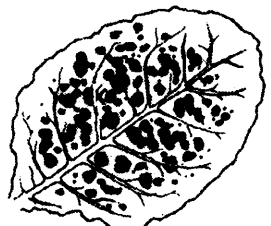
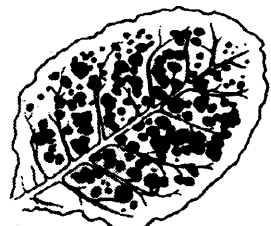



Foto: J. Kamiem/WWF



Am Beispiel der Bioindikatoren zeigt sich auch, daß die technischen Mittel zur Analyse der Umweltbelastung und möglichen Umweltschäden den komplexen Zusammenhängen nur im Ausnahmefall gerecht werden. Die Überbewertung von Messungen mit technischen Apparaturen im Vergleich zu Bioindikationsverfahren ist meist auf die scheinbare Exaktheit der Ergebnisse zurückzuführen. Tatsächlich sind die Verhältnisse in natürlichen Systemen so komplex, daß sie fast nie durch einfach technische oder mathematische Modelle nachgebildet werden können: Bei der Untersuchung von Luftbelastungen und ihren Wirkungen (aber auch beim Boden und beim Wasser) ist es trotz umfangreicher Forschungen bis heute nicht gelungen, synergetische Effekte genau zu beschreiben; d.h. in wie weit die Wirkung eines Stoffes (z.B. Ozon) durch das gleichzeitige Vorhandensein eines zweiten (z.B. Schwefeldioxid) verstärkt wird.

Fleckdichtekarte*)
zur Beurteilung der Schadensstufe bei Blättern der Tabakpflanze Bel-W3

		
„Schadensstufe“ 1 Keine Flecke	Schadensstufe 2 1-3% Flecke	Schadensstufe 3 4-10% Flecke
		
Schadensstufe 4 11-25% Flecke	Schadensstufe 5 26-50% Flecke	Schadensstufe 6 51-75% Flecke
		
Schadensstufe 7 >75% Flecke, Blattstruktur zerstört		

*) aus der Broschüre zur WWF-Ozon-Kampagne



Sinkende landwirtschaftliche Erträge durch Luftschadstoffe?

Inzwischen ist es unumstritten, daß Ozon die Entwicklung von Pflanzen negativ beeinflußt, auch bei "geringen" Dauerkonzentrationen unter 100 µg/m³. Während (noch) nicht bekannt ist, wie diese Schädigung durch andere Schadstoffe in der Luft verstärkt wird, gibt es Wissenschaftler, die vor einer "einseitigen Sichtweise" warnen. So müsse man alle Effekte menschlicher Tätigkeit berücksichtigen. Dazu gehört z.B. auch, daß durch Verbrennung fossiler Stoffe - Kohle, Gas und Erdöl - seit 150 Jahren große Mengen Kohlendioxid produziert worden sind. Die dadurch erhöhte Konzentration von Kohlendioxid in der Atmosphäre (siehe den Abschnitt "Treibhauseffekt") hätte einen zusätzlichen "Düngungseffekt". D.h. ohne diesen Düngungseffekt würden Weizen und Kartoffeln deutlich weniger wachsen, als dies heute der Fall ist. Auch die Erhöhung der Durchschnittstemperatur durch den Treibhauseffekt wäre noch nicht berücksichtigt, so daß eine alleinige Betrachtung der Wuchs- und Ernteschäden durch Ozon "nicht korrekt" sei.

Eine solche Argumentation muß nicht unbedingt zynisch sein. Weitergehende Fragen sind durchaus berechtigt, dann aber in alle Richtungen, z.B.:

- Welche Schäden für Boden, Trinkwasser und Nahrungsmittel sind mit der heute üblichen Art von Landwirtschaft verbunden? (Nebenprodukte bei Düngemittel- und Pestizidherstellung? Nitrate und Biozide im Grund- und Trinkwasser? Rückstände in der Nahrung? Monokulturen versus Artenvielfalt? ...)
- Ist die intensive, auf maximalen Ertrag ausgerichtete Wirtschaftsweise überhaupt zu vereinbaren mit Überlegungen zur Umweltverträglichkeit?
- Steht dem heutigen Energieeinsatz im Pflanzenbau (Maschinen, Transport, Chemikalien) überhaupt ein vertretbarer Nutzen gegenüber? Unabhängig von diesen Fragen im folgenden einige Zahlen zur Verminderung von landwirtschaftlichen Erträgen (abgeschätzt auf Basis eines komplizierten theoretischen Modells):

Ertragseinbußen bei Kulturpflanzen durch Ozonbelastung		
Grünland	4 - 20 %	
Winterweizen	0 - 1 %	bzw. 8 - 25 % (je nach Sorte)
Sommerweizen	6 - 24 %	bzw. 10 - 33 % (je nach Sorte)
Gerste	0 - 1 %	
Körnermais	0 - 2 %	
Runkelrüben	2 - 13 %	
Rübsen	5 - 20 %	
Raps	4 - 11 %	
Spinat	3 - 12 %	
Salat	4 - 13 %	
Tomaten	3 - 13 %	
Bohnen	5 - 17 %	
Wein	5 - 15 %	

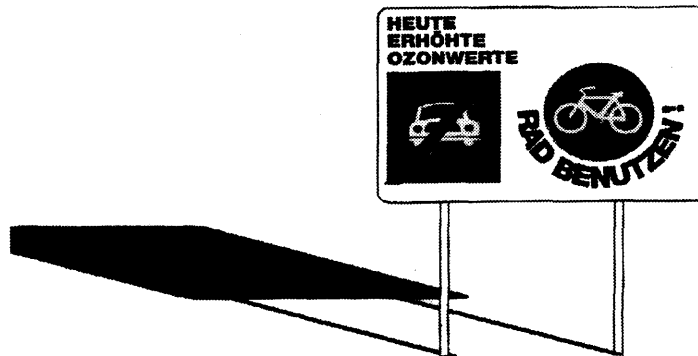
Ozon ist auch für die Entstehung von Waldschäden mitverantwortlich, das ist seit langem bekannt. Betroffen sind insbesondere die Spaltöffnungen von Nadeln und Blättern, wodurch der Wasserhaushalt der Pflanzen empfindlich gestört wird.



Erhöhte Ozonwerte - ein Rollenspiel

In Vorarlberg, in der Nähe des Bodensees, haben viele Gemeinden Schilder wie dieses aufgestellt:

Der Gemeinderat von Hintersee, einer kleinen Gemeinde in einem Gebirgstal mit lebhaftem Touristikverkehr - berät auf seiner heutigen Sitzung, ob auch hier solche Schilder angeschafft werden sollen.



Der Bürgermeister

möchte ein modernes Image für seinen Ort, dazu gehört auch Umweltbewußtsein. Er weiß, daß im letzten Sommer bei regem Verkehr und starker Sonneneinstrahlung in der Nachbargemeinde tatsächlich besorgniserregende Ozonkonzentrationen gemessen worden sind. Den Autoverkehr hätte er - wegen der Gäste im Sommer - gerne etwas vermindert.

Der Gastwirt

ist strikt gegen das Aufstellen von Ozonwarnschildern. Er glaubt, daß das schon bald den Umsatz schädigen wird. Denn ohne Auto ist Hintersee kaum zu erreichen, und die meisten Gäste, auch die auf der Durchreise, würden seiner Meinung nach in keinem Fall auf ihr Auto verzichten. Der Verzicht von einigen wenigen würde nur den Umsatz mindern aber nicht der Umwelt und der Gesundheit helfen.

Die Kinderärztin

warnt eindringlich vor den Gefahren durch erhöhte Ozonkonzentrationen. Sie weist darauf hin, daß im letzten Sommer viele Kinder mit Atembeschwerden bei ihr in Behandlung waren und daß mehr alte Leute als früher im Sommer gestorben sind. Sie argumentiert damit, daß der "Sommersmog" hauptsächlich durch den Autoverkehr und seine Abgase verursacht wird, wenn Sonne dazu kommt.

Die Pensionswirtin

hält das alles für Panikmache. Sie hat gelesen, daß es im Sommer schon immer höhere Ozonwerte gegeben hat. Ihr, so meint sie, hat das schließlich nichts geschadet. Und wenn das so schlimm wäre, dürften die Sommergäste auch nicht mehr auf die Berge steigen, weil dort noch mehr die Sonne scheint.

Der Trainer

vom örtlichen Sportverein hält die Schilder für Unsinn: Wenn man bei Sommersmog keinen Sport machen darf, weil das die Gesundheit gefährdet, und am Ende noch zu Hause bleiben soll, wie kann man dann den Leuten empfehlen, ihr Auto stehenzulassen und das Rad zu benutzen? Er meint, daß nur politische Maßnahmen eine Lösung bringen können und fühlt sich selber ziemlich hilflos.

Strukturen im (Rollen-)Spiel erfassen

Der Konflikt um die Ozonwarnschilder kann als charakteristisches Beispiel für die Struktur vieler Umweltprobleme betrachtet werden. Individuelle Lösungen als Dauerlösungen gibt es nicht, vereinzelt Maßnahmen sind ohne Nutzen - und doch sind die einzelnen Menschen gefordert, aktiv zu werden und die Situation zu verändern.

Einfacher als in trockenen Erörterungen des Für und Wider können Spieler und Zuschauer im Rollenspiel die nahezu paradoxe Situation erleben. Wird ihnen vorher hinreichend Zeit gegeben, um sich mit ihrer Rolle, der jeweiligen Argumentation und ihren Hintergründen - den sachlichen wie den handfesten Interessen - vertraut zu machen, so können nach dem Spiel auch Fragen bearbeitet werden, die sich für die konkrete Realsituation der SchülerInnen stellen, z.B.: - Was bringen Fahrverbote in der Stadt bei Ozonwarnung? (Natürlich nichts, denn dann fehlen abends und nachts die Stickoxide, die den Ozonabbau bewirken. Andererseits ist es gerade der Verkehr, der für die erhöhten Ozonwerte verantwortlich ist!)

Ist es sinnvoll, bei Ozonwarnung aufs Land zu fahren?

(Natürlich nicht, denn dort sind die Konzentrationen möglicherweise noch höher und halten während der Nacht noch an.)

Welche Maßnahmen sind politisch notwendig?

Welche Möglichkeiten haben die einzelnen Menschen?

(Autos stehen lassen und Radfahren ist gut, aber nicht unbedingt bei Ozonwarnung. Wenn viele ihre kleinen Wege mit dem Rad erledigen, vermindert das dauerhaft die Schadstoffbelastung der Luft; zusätzlich sind aber auch Radwege notwendig und ein System des öffentlichen Nahverkehrs, das auch die kleineren Orte bedient, preisgünstig ist und nicht zu langsam. Notwendig sind Geschwindigkeitsbeschränkungen, aber es hilft auch, wenn viele Autofahrer Tempo 120 einhalten. ...)

Welche Interessen verhindern eine rechtzeitige Veränderung?

Welche selbstverständlichen Erwartungen gibt es bei jedem einzelnen, die eine Veränderung des Verhaltens verhindern?

(Die Autoindustrie "ernährt" jeden 7. oder 8. Arbeitnehmer in Deutschland. Nicht nur für die Konzerne gibt es ein starkes Interesse, möglichst viele Autos zu verkaufen. Autos gehören einfach zum Alltag, oder? Zur Arbeit fahren, in den Urlaub, Verwandte besuchen, beweglich sein. Autos sind schön und sagen etwas über ihre BesitzerInnen aus. Schnell fahren macht Spaß. Und: Ich allein kann ja doch nichts erreichen!)

Ich kann mich schon selber schützen!

(Natürlich nicht, denn auch in geschlossene Räume dringt die Außenluft ein. Dabei reagiert zwar ein großer Teil des Ozons mit den Oberflächen von Wand und Fensterrahmen; aber wir können nicht den ganzen Sommer drinnen verbringen und wollen es auch nicht und brauchen es auch nicht zu wollen. Dafür müssen wir uns aber mit dem Problem auseinandersetzen und aktiv werden.)



Informationsquellen

Bürgerinitiativen, einige Parteien und nicht zuletzt Umweltverbände wie der WWF haben in der Vergangenheit dafür gesorgt, daß heute Informationen über Umweltbelastungen und Gefahren für Gesundheit für alle zugänglich sind.

Alle, die ein (neueres) Fernsehgerät besitzen, können sich mit Videotext solche aktuellen Informationen beschaffen. Auf Tafel 167 der 3. Programme informieren die Ministerien und Umweltämter aller deutschen Bundesländer aktuell über die Luftsituation (Österreich: ORF-Teletext mit aktuellen Tageswerten zur Luftgüte, Seiten 671 u. 672). Im Winterhalbjahr werden die Konzentrationen von Schwefeldioxid, Stickoxiden, Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen bei den wichtigsten Meßstellen eines Landes angegeben; während des Sommers kommen die Ozonwerte dazu, meist verbunden mit einer Vorhersage der wahrscheinlichen Entwicklung.

S167 167 hessentext

O Z O N - I N F O 2/3

Hessische Landesanstalt für Umwelt

Ozon-Werte am 5. August 1991, 15 Uhr
2-Std-Mittelwerte in Mikrogramm/cbm

Grenbenau	167
Königstein	136
Kassel-Bettenhausen	153
Kassel-Nord	136
Marburg	126
Nidda	142
Raunheim	161
Spessart	—
Viernheim	179
Wiesbaden-Mitte	109
Wiesbaden-Süd	117
Witzenhausen	101

S167 167 hessentext

O Z O N - I N F O 3/3

Hessische Landesanstalt für Umwelt

Vorhersage der Ozon-Entwicklung für den, 6. August 1991 in Mikrogramm/cbm (maximal erwartete 2-Std-Mittelwerte)

Nordhessen	130 bis 180
Mittelhessen	120 bis 170
Südhessen	130 bis 180
in Höhen über 350 m ...	140 bis 190

Bei Werten ab 180 Mikrogramm/cbm Luft sollten gesundheitlich empfindliche Personen anstrengende Tätigkeiten im Freien vermeiden. Bei weiter ansteigenden Ozonwerten können Augen- und Atemwegsreizungen sowie Kopfschmerzen auftreten.

Zusätzlich geben die meisten Bundesländer lufthygienische Monats- und Tagesberichte heraus, die allen Interessierten zur Verfügung gestellt werden. Anfragen können an die Stellen gerichtet werden, deren Adressen im Anhang aufgeführt sind.

Perspektiven für die weitere Entwicklung für die Konzentration des bodennahen Ozons anzugeben, ist sehr schwierig. Einerseits bestätigen alle Untersuchungen den steigenden Trend, andererseits ist das Auftreten von Sommersmog äußerst stark abhängig von der Witterung eines Sommers bzw. Jahres. Konkrete Vorhersagen sind daher schwerlich zu machen. Bleiben aber die notwendigen Maßnahmen aus, dann holt das Ozon uns früher oder später doch ein, spätestens im nächsten "Traumsommer".

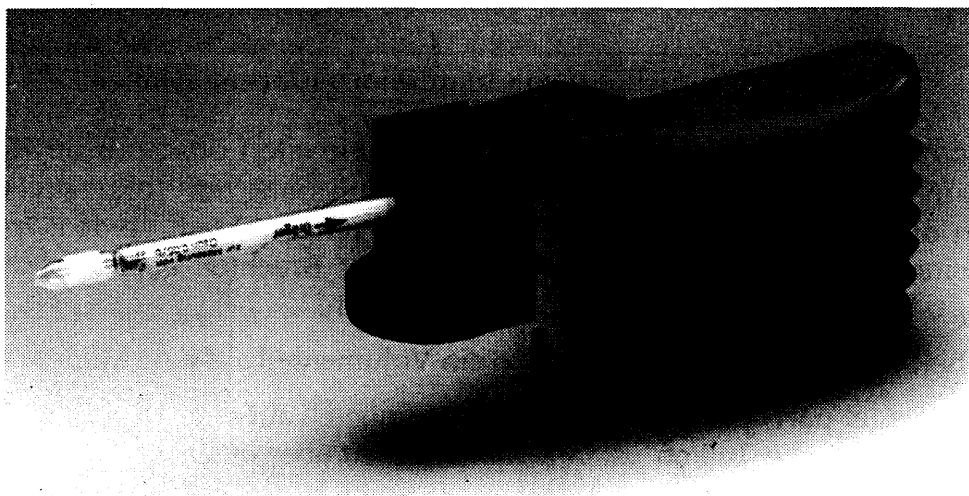
Handlungsmöglichkeiten / Untersuchungen / Aktionen

Der experimentelle Umgang mit Ozon ist schwierig. Ergänzend zu den Untersuchungen an Tabakpflanzen als *Bioindikatoren für die Ozonbelastung* und einer *Bearbeitung der gesellschaftlichen Hintergründe* z.B. mittels Rollenspielen wie dem vorgeschlagenen kann die *naturwissenschaftlich-technische Seite* durch eigene Ozonmessungen (bei entsprechender örtlicher Belastung) und einige andere Versuche erweitert werden.



Ozon-Messungen mit dem Dräger-Gasspürgerät

In vielen Schulen, Umweltzentren und anderen Einrichtungen gibt es ein leicht handhabbares Instrument zur Untersuchung der Luftbelastung: Das Dräger-Gasspürgerät. Dieses Gerät, eine Handpumpe, die über einen Gummibalg definierte Mengen Luft an- und dabei durch ein Meßröhrchen saugt, wurde für Messungen am Arbeitsplatz mit durchweg höheren Belastungen entwickelt. Inzwischen gibt es auch für einige atmosphärische Schadstoffe Meßröhrchen, die empfindlich genug sind, um die hier herrschenden geringen Konzentrationen zu erfassen.



Gasspürgerät mit Meßröhrchen

Bereits leicht erhöhte Ozonwerte können mit dem Röhrchen "Ozon 0,05/b" festgestellt werden. Bei 10 Pumphüben (das dauert etwa 4 Minuten) verfärbt sich die Chemikalienschicht im Röhrchen ab einer Ozonkonzentration von $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Konzentrationen unterhalb $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ können erfaßt werden, wenn die Zahl der Pumphübe von 10 auf 100 erhöht wird. Die Messung dauert dann allerdings 25 Minuten.

Die Meßröhrchen können im 10er-Pack beim Dräger-Werk Lübeck bzw. den regionalen Vertretungen zum Preis von etwa 75 DM bezogen werden. Der Packung wie auch dem Gasspürgerät liegt eine ausführliche Bedienungsanleitung bei. Die Farbänderung von hellblau nach weiß kommt durch eine Reaktion zustande, bei der das aggressive Ozon den Farbstoff Indigo (Jeansblau) oxidativ zerstört.

Gasspürgeräte können - falls nicht in Schule oder Umweltstation vorhanden - oft bei örtlichen Behörden (z.B. Gewerbeaufsichtsamt, Gesundheitsamt) ausgeliehen werden.



Modellreaktion Ozon/ Farbstofflösung

Zwar kann Ozon auch in Schullabors hergestellt werden (z.B. durch Benutzung eines Bandgenerators, dessen Hochspannung bei der Entladung Ozon entstehen läßt) und die oxidierende Wirkung gezeigt (z.B. indem man die ozonhaltige Luft aus der Umgebung des Bandgenerators durch eine Flüssigkeit saugt, die einen Farbstoff enthält - dieser wird durch Ozon oxidativ zerstört), die Gefährdung der TeilnehmerInnen und Zuschauer ist jedoch so einzuschätzen, daß von solchen Versuchen abgeraten wird.

Wie bereits erwähnt, hat Ozon ähnliche Eigenschaften wie Chlor; daher kann das chemische Verhalten von Ozon auch durch reaktive Chlorverbindungen veranschaulicht werden. Hierzu eignet sich z.B. eine Lösung von Natrium-Hypochlorit, das bis vor einiger Zeit als Bleichmittel (für Papier, weiße Wäsche u.ä.) benutzt worden ist. Hypochlorit-Lösungen zerstören z.B. Farbstoffe und greifen viele Oberflächen an.

Wegen der Gefahr von Chlorbildung dürfen solche Lösungen unter keinen Umständen angesäuert werden!

Hypochlorit darf nicht in die Hände von SchülerInnen gelangen!

Veranschaulichung von Immissionskonzentrationen

Ozonkonzentrationen werden in Deutschland (wie alle Luftschadstoff-Konzentrationen) in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ angegeben. Für eine Veranschaulichung der Volumenverhältnisse müssen diese Einheiten erst in Volumenanteile umgerechnet werden. "ppm" und "ppb" sind solche Größen, die angeben, welcher Bruchteil eines Volumens von einem gasförmigen (Schad-)Stoff eingenommen wird.

ppm heißt dabei parts per million, also ein Volumenteil auf eine Million,

ppb bedeutet parts per billion, also ein Volumenteil auf eine Milliarde (das englische "billion" ist mit "Milliarde" zu übersetzen).

1 ppb, also 1 Teil auf eine Milliarde Volumenteile, das ist ... ?

$$\begin{aligned}
 1 \text{ m}^3 &= 1 \text{ m} * 1 \text{ m} * 1 \text{ m} = \\
 &= 10 \text{ dm} * 10 \text{ dm} * 10 \text{ dm} = 1.000 \text{ dm}^3 \\
 &= 100 \text{ cm} * 100 \text{ cm} * 100 \text{ cm} = 1000.000 \text{ cm}^3 \\
 &= 1000 \text{ mm} * 1000 \text{ mm} * 1000 \text{ mm} = 1.000.000.000 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Daher bedeutet

$$1 \text{ ppm} = 1 \text{ cm}^3/\text{m}^3$$

$$\text{und} \quad 1 \text{ ppb} = 1 \text{ mm}^3/\text{m}^3$$

Zu fragen ist also, wieviel wiegt "1 Teil" Ozon?

Da 22,4 Liter Ozon $3 \cdot 16 = 48$ g wiegen würden*), wiegt 1 mm^3 2.143 μg .

1 ppb Ozon entspricht also ungefähr 2 μg Ozon/ m^3

*) Dies ergibt sich daraus, daß bei Normalbedingungen 1 Mol eines beliebigen Gases (das ist die chemische Grundeinheit der Stoffmenge) 22,4 Liter einnimmt und soviel Gramm wiegt, wie sich aus der Addition der Atomgewichte ergibt.

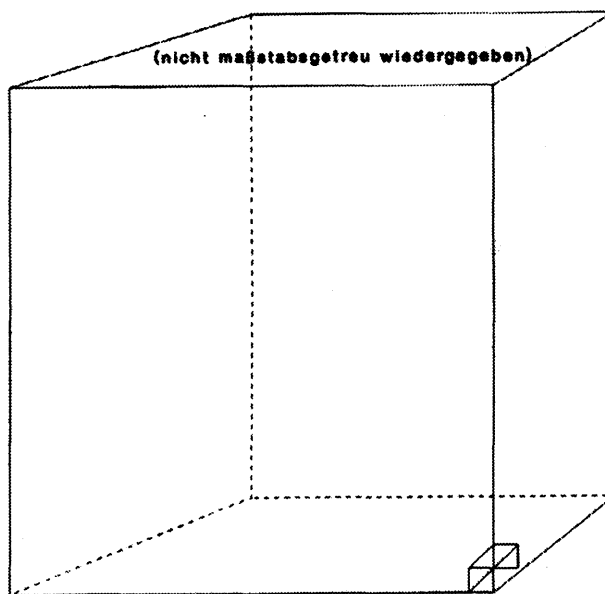
Für Ozon: Sauerstoff hat das Atomgewicht 16; da Ozon aus drei Sauerstoffatomen besteht, ist sein Mol-Gewicht $3 \cdot 16 = 48$ Gramm.

Damit lassen sich einfache Modelle zur Veranschaulichung von Ozonwerten herstellen. Ein Beispiel:



Im Sommer 1992 wurde an der Waldstation X ein Halbstundenmittelwert von $368 \mu\text{g}/\text{m}^3$ festgestellt, das entspricht $368 : 2 = 184 \text{ ppb}$ bzw. $184 \text{ mm}^3/\text{m}^3$.

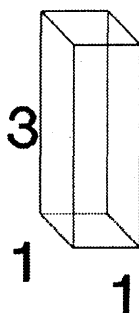
Stellt man einen Kubikmeter z.B. mit Holzleisten als Rahmen eines Würfels mit 1 Meter Kantenlänge dar, dann müsste der Ozongehalt als kleiner Würfel mit etwa 6 mm (genau 5,7 mm) Kantenlänge hineingehängt werden.



Oder:

Ein Waldarbeiter ist 5 Tage lang jeweils 6 Stunden einer Ozonkonzentration von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ausgesetzt, das sind etwa 100 ppb.

Wegen mittelschwerer körperlicher Arbeit atmet er stündlich 1 m^3 Luft ein und aus, das sind während der Woche $3000 \text{ ppb} = 3 \text{ ppm} = 3 \text{ cm}^3$ reines Ozon.





2. Ozon-Schutzschicht und Ozonloch

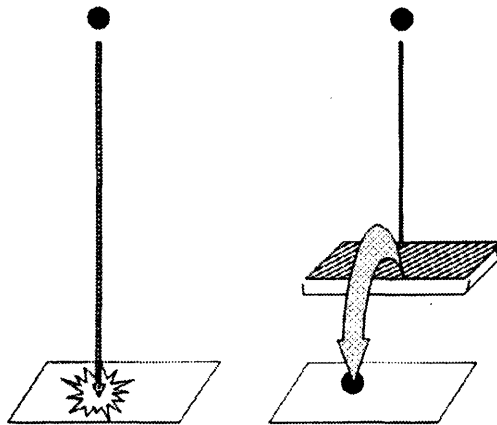
Die stratosphärische Ozonschicht als Schutz gegen harte UV-Strahlung

Von der Sonne erreicht uns auf der Erde nicht nur das sichtbare Licht und langwellige (infrarote) Wärmestrahlung, sondern auch kurzwellige, sehr energiereiche UV-Strahlung. Die Atmosphäre wirkt für diese Strahlung wie ein Filter: Der Großteil der für Lebewesen schädlichen Strahlen wird bereits in großen Höhen zurückgehalten bzw. in weniger energiereiche Strahlung umgewandelt. Praktisch alles Leben auf der Erde ist auf diese Situation eingestellt. Jede Zunahme des UV-Anteils bedeutet daher eine Veränderung der Lebensbedingungen der meisten Lebewesen zum schlechten.

Das Ozon in der Stratosphäre spielt für diese Filterwirkung eine wichtige Rolle.

Die Ozonschicht - etwa in 15 bis 50 km Höhe - wirkt dabei wie ein Puffer, der einen Teil der Strahlungsenergie abfängt und aufnimmt. Diese Funktion kann ein einfaches Beispiel verdeutlichen:

Auf ein Stück Fensterglas, das auf dem Boden liegt, läßt man aus 2 Metern Höhe eine 1 bis 1,5 cm dicke Stahlkugel fallen: Das Glas zerspringt durch den Aufprall. Beim zweiten Versuch (mit einer neuen Glasplatte) hält man 20 cm über die Glasplatte ein ebenso breites Holzbrett leicht geneigt in die Falllinie der Kugel. Die Kugel trifft jetzt zuerst das Brett und fällt dann - mit weniger Wucht - auf die Platte, ohne sie zu zerstören.

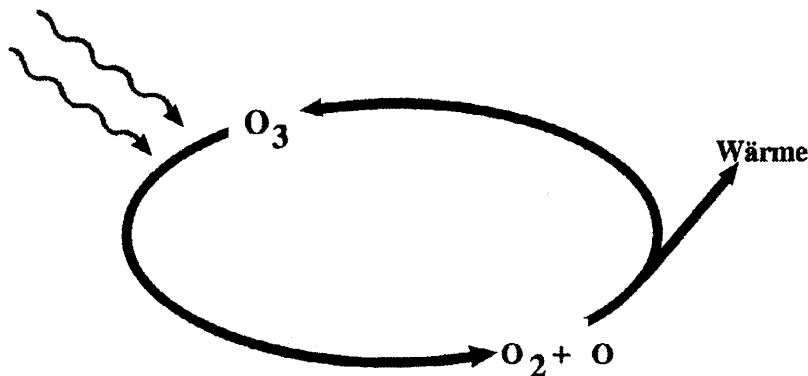


Das Holzbrett hat jetzt den energiereichen Fall der Kugel abgebremst, abgefedert; die Restenergie der Kugel ist nicht mehr so groß, daß das Glas zerstört wird. Die Energiedifferenz wird vom Brett "verschluckt", es wird dabei - an der Aufschlagstelle - ein wenig wärmer.

Die Ozonschutzschicht wirkt ganz ähnlich, wenn das Modell auch nicht in allen Einzelheiten wirklichkeitsgetreu ist: So darf man sich die Ozonschicht nicht als klar begrenzten Kugelmantel um die Erde vorstellen, sondern als viele Kilometer umfassende Zone, in der die bereits sehr dünne Luft ein wenig Ozon enthält. Strahlung kann man nicht ohne weiteres mit Stahlkugeln vergleichen, und die Ozonteilchen wirken auch nicht als Stoßdämpfer. Der äußerst wirksame Filtereffekt ist trotzdem sehr einfach zu verstehen.

Der ewige Ozon-Sauerstoff-Kreislauf als Energiefilter

Wie in den tieferen Schichten der Lufthülle wird auch in der Stratosphäre Ozon (aus drei Sauerstoff-Atomen) aus zweiatomigem Sauerstoff aufgebaut und wieder zu diesem abgebaut. Und wie dort spielt die Strahlung eine wichtige Rolle:



Trifft energiereiche UV-Strahlung (UV-C oder UV-B) ein Ozonteilchen, so wird die chemische Bindung des dritten Sauerstoffatoms zum Rest buchstäblich zerschlagen. Es bildet sich ein zweiatomiges Sauerstoffteilchen und ein einzelnes Sauerstoffatom. Die Energie der UV-Strahlung ist zunächst absorbiert.

Wenn die gebildeten Teilchen wieder aufeinandertreffen und (beim Stoß mit einem dritten Teilchen) Ozon zurückbilden, wird diese Energie als Wärme wieder frei. Genaugenommen bewegen sich das "rekombinierte" Ozonteilchen und sein Stoßpartner nach dem Stoß einfach schneller; weil aber eine schnellere Teilchenbewegung gleichbedeutend ist mit größerer Wärme, sind die ozonreichen Stratosphärenschichten wärmer als die Bereiche darunter und darüber.

Die gefilterte Strahlung hat jetzt den Anteil der "harten" UV-Strahlung verloren; was schließlich den Boden erreicht ist weniger energiereich und damit weniger schädlich als die ursprüngliche Strahlung - vorausgesetzt, die Ozonschicht wird nicht gestört oder gar zerstört.

Zum geringeren Teil wirkt der "Energiefilter" auch nach dem Fluoreszenzprinzip; dafür gibt es zahlreiche Beispiele im Alltag und im Labor:

Viele Waschmittel enthalten optische Aufheller, die UV-Strahlung in blaues Licht umwandeln. Damit soll im Sonnenlicht der stets vorhandene Gelbstich von weißer Wäsche übertönt werden; blau und gelb ergeben als Summe nahezu weiß. Besonders gut zu beobachten ist dieser Effekt in Diskotheken, die mit "Schwarzlicht" (UV)-Lampen arbeiten. Weiße Hemden oder Blusen erscheinen dann strahlend weißblau.

Das Fluoreszenz-Phänomen läßt sich vorführen, wenn man einen Stoff wie Fluorescein in wenig Alkohol und anschließend viel Wasser löst und die Lösung im dunklen Raum mit einer UV-Lampe bestrahlt.

Den Gehalt an optischen Aufhellern im Waschpulver kann man zeigen, indem man auf einen Teller etwas Zucker oder Salz schüttet, auf den anderen etwas Waschpulver und beide im dunklen Raum mit einer UV-Quelle bestrahlt.



Die Bedeutung des Ozonfilters für das Leben auf der Erde

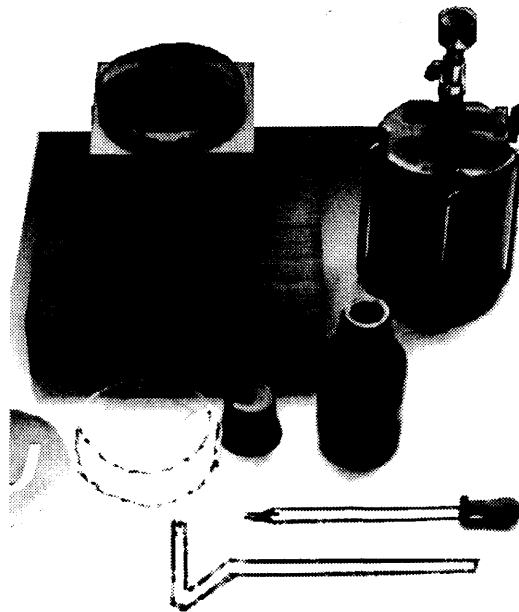
Wie schnell und nachhaltig UV-Strahlung in der Lage ist, Leben zu zerstören, zeigt ein Versuch mit Bakterienkulturen, die zum Teil bestrahlt werden.

Für dieses Experiment sind einschlägige biologische Kenntnisse wünschenswert. Werden Nähragarplatten und gebrauchsfertige Bakterienkulturen bereitgestellt, so ist der Versuch gefahrlos auch von Nicht-NaturwissenschaftlerInnen durchzuführen.

Der Schablonen-Test

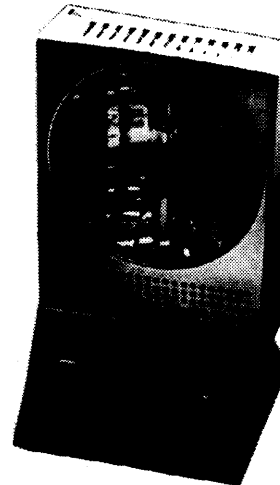
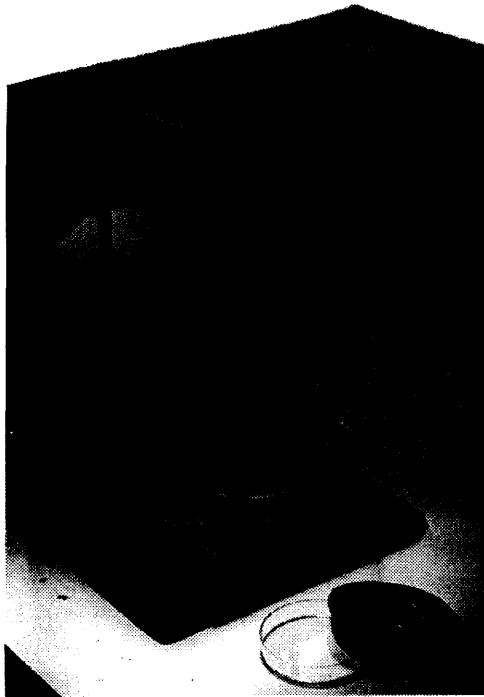
Material:

- Übernacht-Kultur von *E. coli* K 12 (*Escherichia coli**)
- UV-Quelle (z.B. Heimsonne)
- Schablone aus Pappe oder Metall mit beliebig ausgestanztem Muster (rund, Durchmesser 9 cm)
- sterile Nähragarplatten (s.u.)
- sterile Tropfpipette mit Hütchen
- Drigalski-Spatel
- Bunsenbrenner (oder Campinggasbrenner)
- Brutschrank



Zwei Nährbodenplatten und die dazu passenden Schablonen werden bereitgestellt und die Petrischalen beschriftet. Zur Herstellung einer keimfreien Umgebung wird ein Bunsenbrenner entzündet. Mit einer Tropfpipette wird der *E. coli*-Kultur etwas Flüssigkeit entnommen, davon zwei Tropfen in der Mitte des Nährbodens aufgebracht und anschließend mit dem Drigalski-Spatel verteilt ("plattiert"). Zum Abtrocknen werden die Bakterienplatten kurz in den Brutschrank gestellt (5 bis 10 Minuten). Danach wird die Schablone aufgelegt und der Nährboden mit UV-Licht bestrahlt. Die UV-Quelle wird dazu in 30 bis 40 cm Abstand (am besten über den Platten) gehalten bzw. aufgestellt. Die Belichtungszeit richtet sich nach der Strahlungsintensität. Bei einer Impulslampe sind 15 bis 30 Sekunden nötig, bei der Heimsonne 6 bis 8 Minuten nach einer Vorwärmzeit von 10 Minuten. Nach dem Belichten werden die Schablonen abgenommen, die Deckel aufgelegt und die Nährbodenplatten ca. 24 Stunden bei 37 °C in den Brutschrank gestellt. Die Auswertung erfolgt bei geschlossenem Deckel.

*) Der Versuch kann auch mit den leichter verfügbaren und einfacher handhabbaren Milchsäurebakterien durchgeführt werden. Dazu verdünnt man saure Milch - oder Joghurt - mit Wasser und bringt davon etwas auf die Nährplatten auf. Zum weiteren Vorgehen s.o.



Die Bestrahlung mit UV-Licht sollte im leicht abgedunkelten Raum erfolgen, auch dürfen die belichteten Bakterienplatten anschließend nicht mehr dem Tageslicht ausgesetzt werden. Die Bakterien E. coli verfügen, wie viele andere Lebewesen, über ein enzymatisches Reparatursystem, das leichte Schädigungen durch UV-Strahlung wieder rückgängig machen kann. Dieses Reparatursystem wird beim Bakterium E. coli durch sichtbares Licht ausgelöst. Nach dem Aufenthalt im Brutschrank zeigt sich, daß auf den belichteten Flächen der Platte keine Bakterienrasen gewachsen sind. Auf den unbelichteten Flächen erscheint E. coli K 12 metallisch glänzend.



Sicherheitshinweise

Das Bakterium E. coli K 12 ist für die Arbeit in Schulen - auch für die Schülerhand - zugelassen. Nicht für diesen Versuch verwendet werden dürfen "wilde" Bakterien. Alle Gerätschaften, die mit den Kulturen in Berührung kommen, sind zu sterilisieren, entweder durch Hitzebehandlung oder durch Eintauchen in Alkohol und Abflammen. Auf eine sorgfältige Vernichtung - Zwischenlagerung im Vernichtungsbeutel - durch Autoklavierung ist zu achten.

Beim Umgang mit UV-Quellen Augen schützen!



Hautkrebs und Pflanzenschäden durch erhöhte UV-Strahlung



Nicht nur über den Polen und zu bestimmten Jahreszeiten (antarktisches Ozonloch) hat der Ozon-Abbau inzwischen beträchtliche Ausmaße angenommen; Messungen über Europa haben ergeben, daß sich zwischen 1980 und 1992 ein durchschnittlicher Ozonverlust von 3 bis 4 % eingestellt hat; allein im März 1991 war ein (saisonaler) Schwund von 10 % zu verzeichnen.

Übereinstimmend sind Wissenschaftler in verschiedenen Teilen der Welt zu der Abschätzung gekommen, daß für jedes Prozent weniger Ozon in der Stratosphäre zwei Prozent mehr UV-B-Strahlung die Erdoberfläche erreicht.

Länder wie Australien oder Neuseeland, die der harten UV-B-Strahlung schon öfter und länger ausgesetzt waren, verzeichnen inzwischen eine Zunahme von Hautkrebs um 30 bis 40 %.

In Deutschland erkranken jährlich etwa 100.000 Menschen an Hautkrebs, für 2000 bedeutet dies den Tod. Es wird geschätzt, daß 900 Todesfälle davon auf die Wirkung der verstärkten UV-Strahlung zurückzuführen sind und daß bei einer dauerhaften Abnahme der Ozonkonzentration in der Stratosphäre um 10 % jährlich ca. 500 Todesfälle dazukommen.

Verantwortlich für die Krebsentstehung sind Brüche der Eiweißketten im Erbgut, ausgelöst durch UV B, das biologisch tausendmal wirksamer ist als die energiereichsten Anteile des UV-A. Beim Versuch der Zellen, die zerstörten Informationsketten der DNA wiederherzustellen, kommen Fehler vor, die zum unkontrollierten Zellwachstum führen können: Krebs.

Es ist leicht einzusehen, daß Ratschläge wie, die Sonne möglichst zu meiden, nur im Freizeitbereich leicht umzusetzen sind. Wie beim bodennahen Ozon kann sich der einzelne nur bedingt vor den Wirkungen erhöhter UV-Strahlung schützen.

Wie stark Pflanzen von der erhöhten UV-Strahlung betroffen sind, ist noch nicht zweifelsfrei geklärt. Bei verschiedenen Arten bewirkt der "UV-Streß" langsames Wachstum, spätere oder geringere Blütenbildung und weniger Ertrag. Betroffen sind offensichtlich alle wichtigen Nahrungspflanzen.

Ein besonderes und extrem schwerwiegendes Problem ruft die Wirkung der verstärkten UV-Einstrahlung auf die Kleinstlebewesen des Meeres - das Phytoplankton - hervor. UV-Licht beeinträchtigt Orientierungssinn, Bewegung und Fortpflanzung dieser Mikroorganismen.

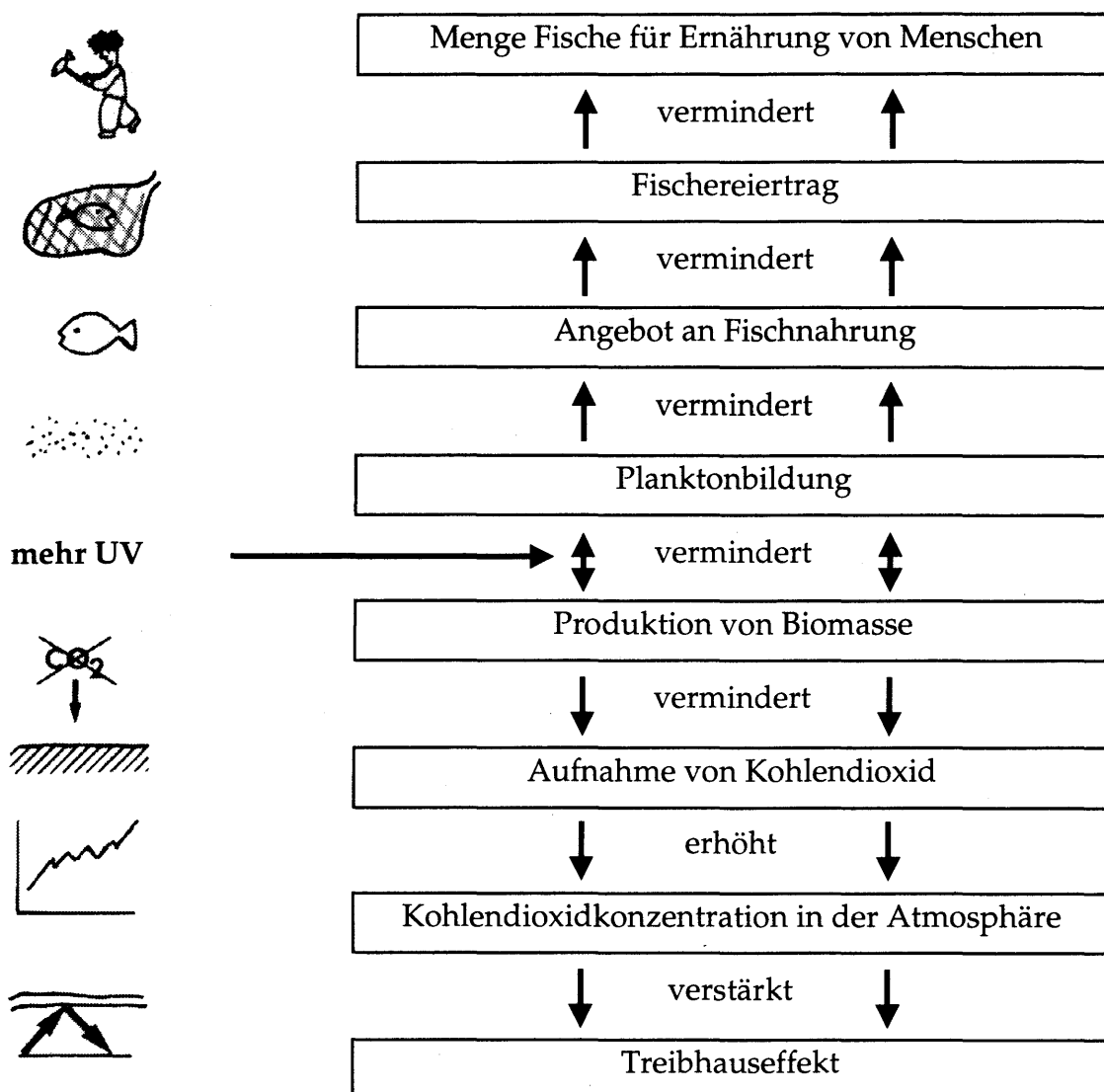
Lufthülle aus dem Gleichgewicht

Dies aber bedeutet einen generellen Rückgang der Produktion von Biomasse im Meer:

* Bei 15 % weniger Ozon (und damit 30 % mehr UV-Licht) wird bis zu 10 % des Planktons abgetötet. Weil die Kleinstlebewesen die Nahrungsgrundlage vieler Fischarten sind, wird als erstes der Fischereiertrag um einen ähnlichen Betrag sinken: bis zu sechs Millionen Tonnen Fisch jährlich weniger wären eine neue Katastrophe für viele arme Länder in Meeresnähe.

* Die geringe Produktion von Biomasse im Meer setzt sich aber nicht nur in den Nahrungsketten aufwärts fort, sondern hat noch ganz andere, weitergehende Wirkungen: verstärkt wird der globale Treibhauseffekt mit seinen, im Detail noch völlig unüberschaubaren, Auswirkungen.

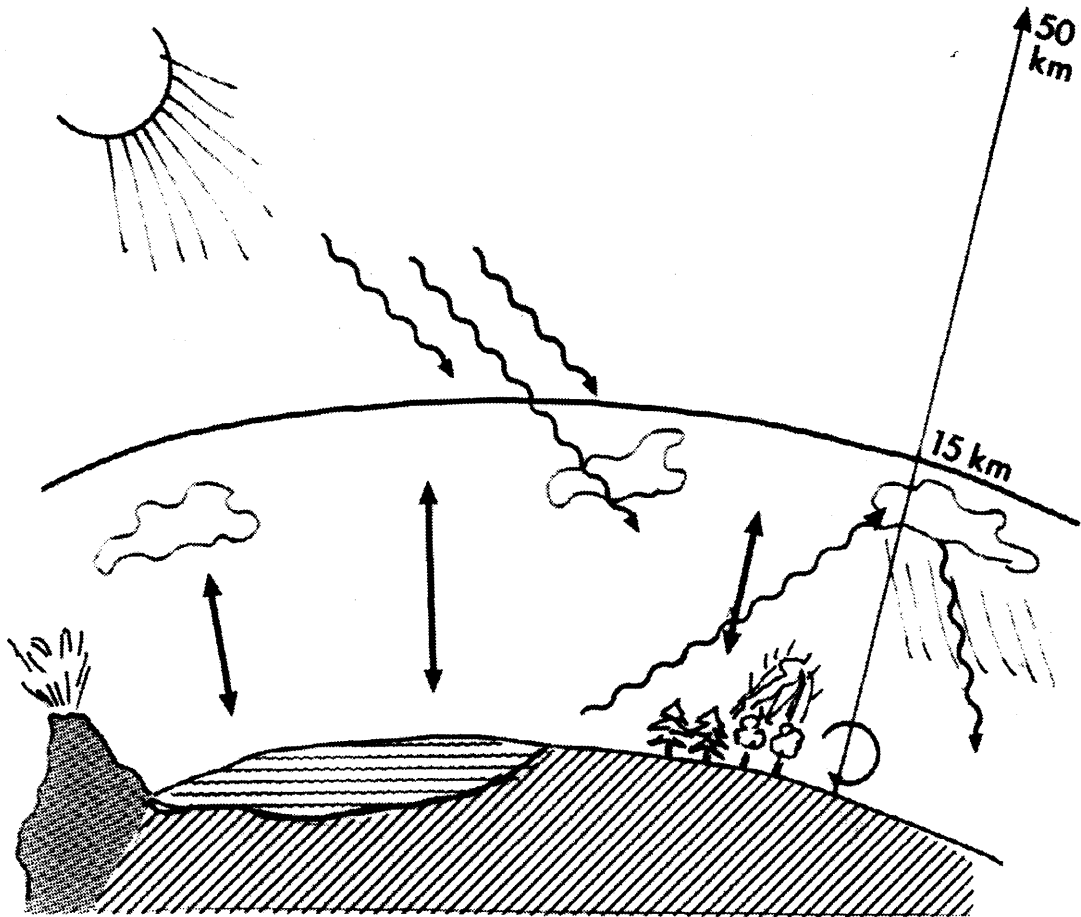
Denn: Weniger Biomasse bedeutet, daß auch weniger Kohlendioxid aus der Atmosphäre aufgenommen und gebunden wird.



Bereits eine weltweite Abnahme des Phytoplanktons um 10 % (entsprechend einer dauernden Ozonabnahme um 15 %) würde so viel Kohlendioxid weniger binden, wie durch menschliche Tätigkeit jährlich freigesetzt wird durch Verbrennung fossiler Energieträger (Kohle, Erdöl, Erdgas) und Brandrodung. Auf Dauer würde das Tempo der globalen Erwärmung gesteigert.



Kopiervorlage *Natürliche Situation*



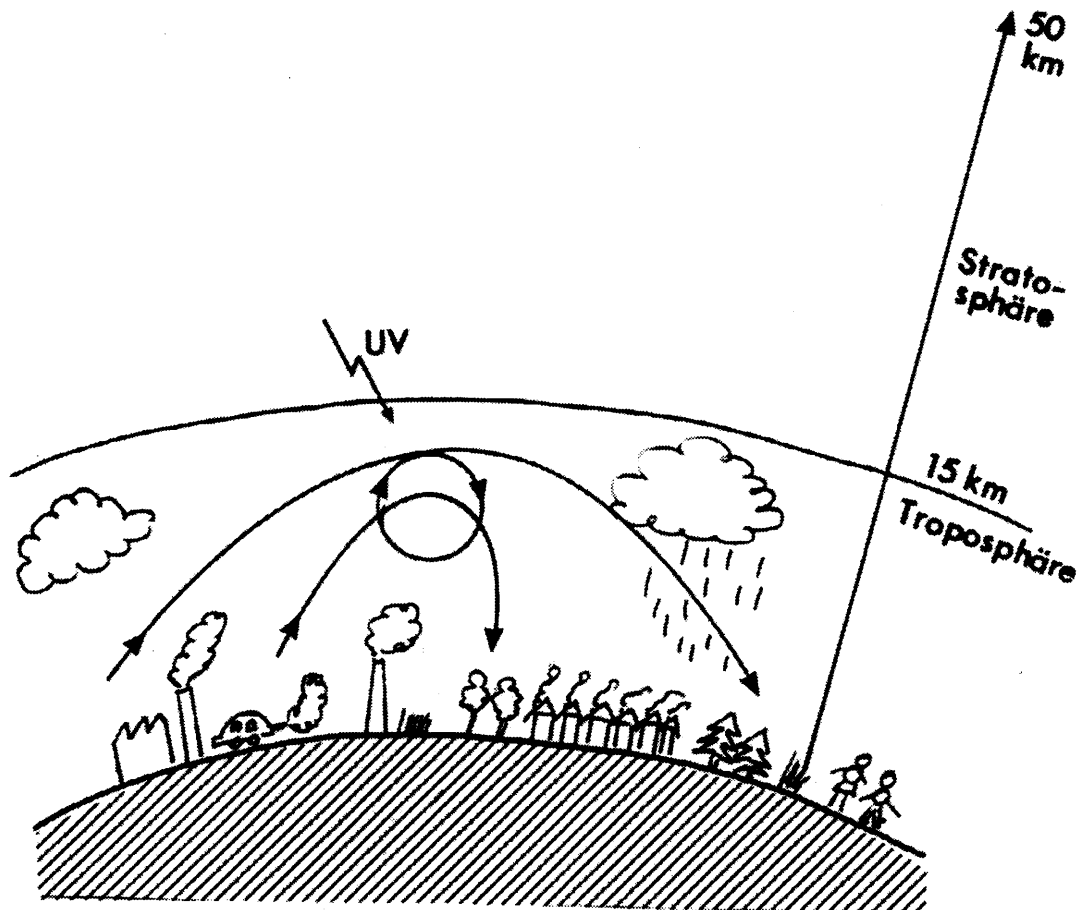
"Natürliche" Situation:

Atmosphäre im dynamischen Gleichgewicht

- | | |
|----------------|---|
| - Kohlendioxid | Quellen und Senken:
Pflanzen, Photosynthese und Abbau
Meere (Plankton und Lösungsprozesse)
Waldbrände
Mineralisierung |
| - Wasserdampf | Wasserkreislauf |
| - Strahlung | Ozonschicht als Filter
Natürlicher Treibhauseffekt |

Gleichgewicht ist elastisch / belastbar / verschiebbar

Störungen z.B. durch Vulkanausbrüche o.ä.



"Temporäre" Luftbelastungen:

Emissionen und Belastungen insbesondere in den bodennahen Luftschichten
z.B.

Schwefeldioxid aus Kraftwerken

Stickoxide aus dem Verkehrsbereich

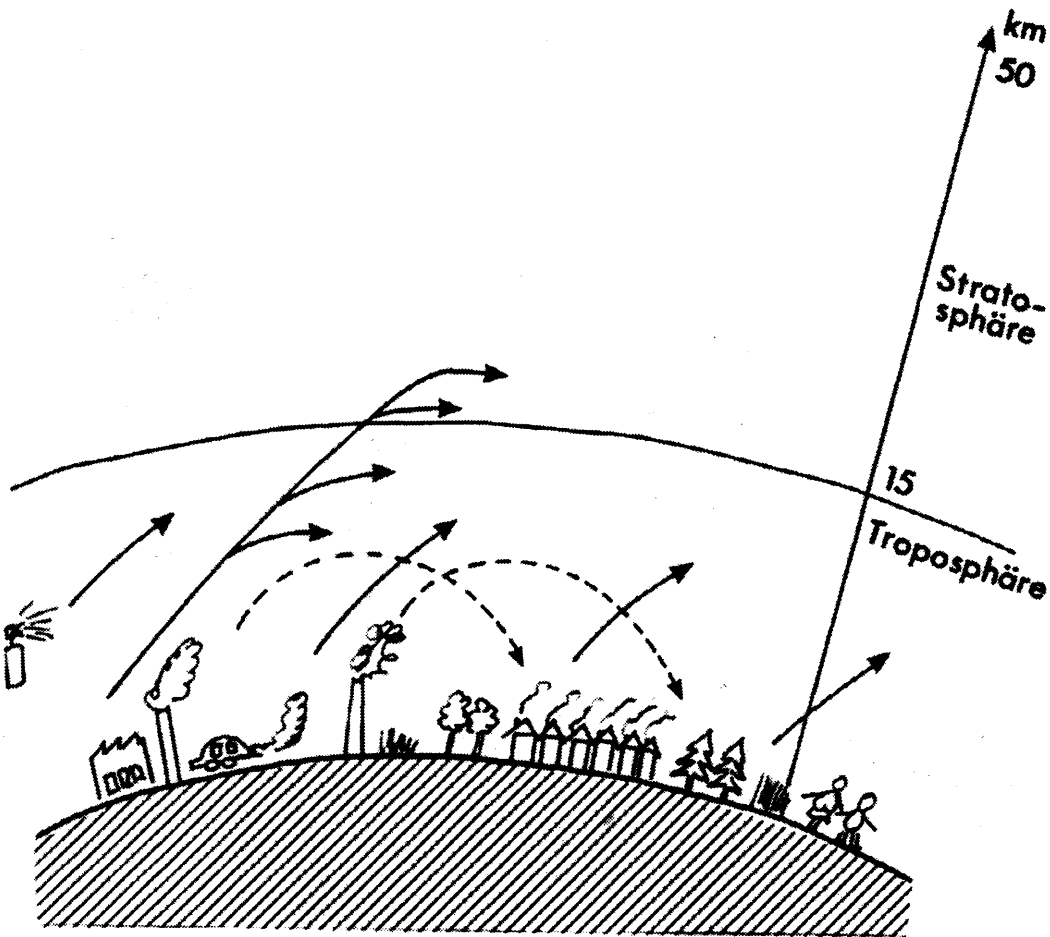
...

Ozon (bodennah) aus Sekundärreaktionen anderer
Luftschadstoffe

"temporär" weil unmittelbar abhängig von aktueller Emission
(würden Emissionen gestoppt, wäre diese Art Belastung nach wenigen
Wochen verschwunden)



Kopiervorlage Strukturelle Veränderungen durch neue Spurengase

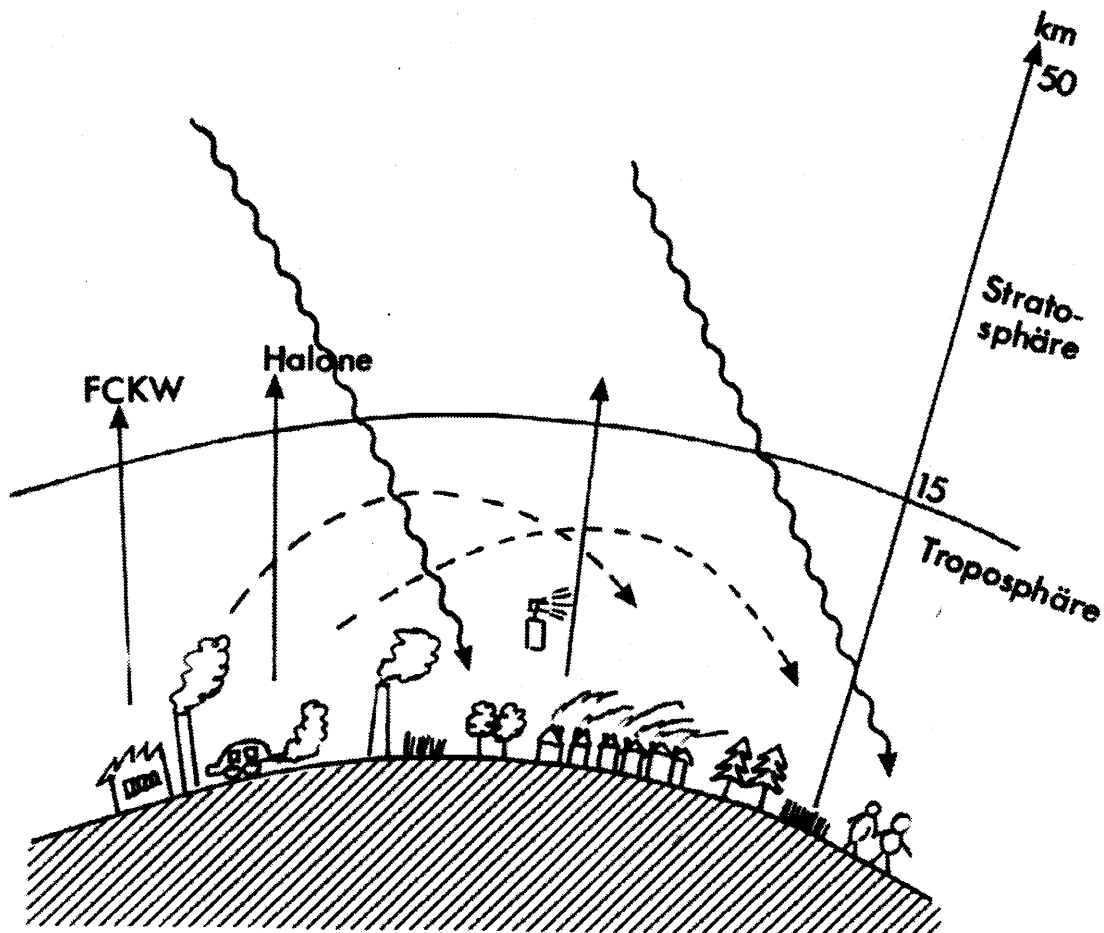


Strukturelle Veränderungen der Atmosphäre durch "neue" Spurengase

z.B.: Abbau des stratosphärischen Ozons durch FCKWs, Halone usw.

langfristige Auswirkungen auf das gesamte System, z.B.:

- erhöhte UV-Einstrahlung
- vermindertes Pflanzenwachstum
- verminderte Kohlendioxid-Bindung
- verstärkter Treibhauseffekt
- ...



Langfristige Veränderungen durch Verschiebung der Zusammensetzung der Atmosphäre

- mehr Kohlendioxid aus Verbrennungsprozessen
- mehr Methan aus Rinderzucht und Reisanbau
- mehr Lachgas (N_2O) aus chemisierter Landwirtschaft
- FCKWs, Halone, Kohlenwasserstoffe aus industrieller Produktion

d.h.: Emission langlebiger Spurengase und deren Verteilung über alle Schichten der Atmosphäre
führen zu einer Verstärkung des Treibhauseffekts mit einem Wirkungshorizont von einem Jahrhundert und mehr

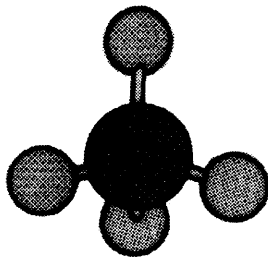


Störung des Ozon-Sauerstoff-Kreislaufs durch aggressive Chemikalien

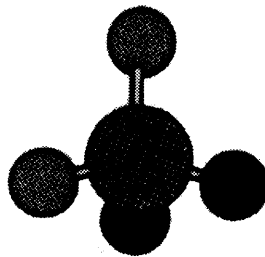
Die Ozonzerstörung in der Stratosphäre, das ist seit langem klar, wird hauptsächlich von den FCKWs bewirkt. Zum besseren Verständnis ist auch hier etwas Chemie von Nutzen:

FCKW ist die Abkürzung für Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoff(e). Das sind chemische Substanzen, die sich von den Kohlenwasserstoffen ableiten, jedoch sind hier alle Wasserstoffe durch Fluor oder Chlor ersetzt.

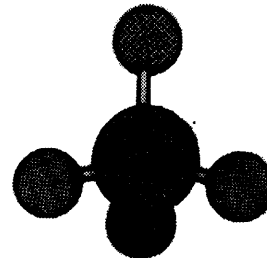
Die beiden meistproduzierten FCKWs F11 und F12 (gelegentlich auch als R11 und R12 bezeichnet) sind verwandt mit dem Methan.



Methan



Di-Chlor-di-Fluor-Methan (= F 12)



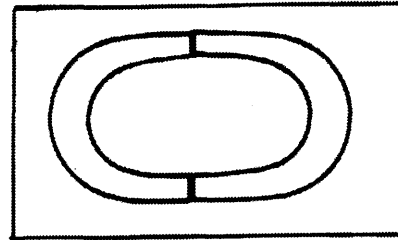
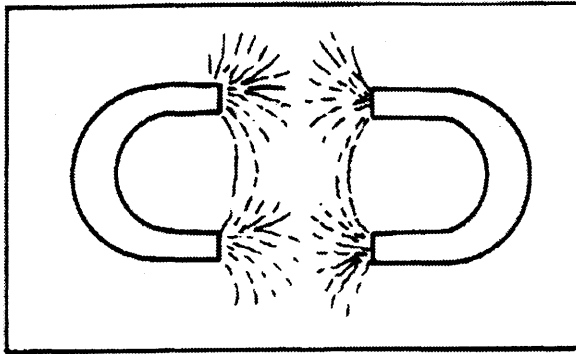
Tri-Chlor-Fluor-Methan (= F 11)

Im Unterschied zu den brennbaren Kohlenwasserstoffen (Benzin, Feuerzeuggas, Stadtgas) können FCKWs nicht entzündet werden und reagieren auch sonst praktisch nicht mit anderen Substanzen - was schließlich ihre so breite Verwendung bewirkte. Der Grund für diese Reaktionsträgheit liegt darin, daß die Verbindung mit Chlor oder Fluor chemisch der Oxidation, d.h. der Reaktion mit Sauerstoff ähnlich ist. Oxidierte Stoffe, z.B. Eisenoxid/Rost oder Kohlendioxid können nur unter großem Energieaufwand wieder in den nicht-oxidierten Zustand (Eisen / Kohle) zurückgeführt werden.

Den chemisch inerten Charakter von FCKWs - ihre Ungiftigkeit und Brennbarkeit - hat der Entdecker bzw. Erfinder Mitchel in den 30er Jahren recht eindrucksvoll der Öffentlichkeit demonstriert: Er atmete von dem Gas eine Lunge voll ein und blies damit dann eine Kerze aus.

Wie ein Stoff zugleich aus aggressiven Chemikalien wie Chlor oder Fluor gebildet und trotzdem reaktionsträge sein kann, verdeutlicht ein einfaches Modellexperiment:

Der Hufeisenmagnetversuch



Hufeisenmagnete

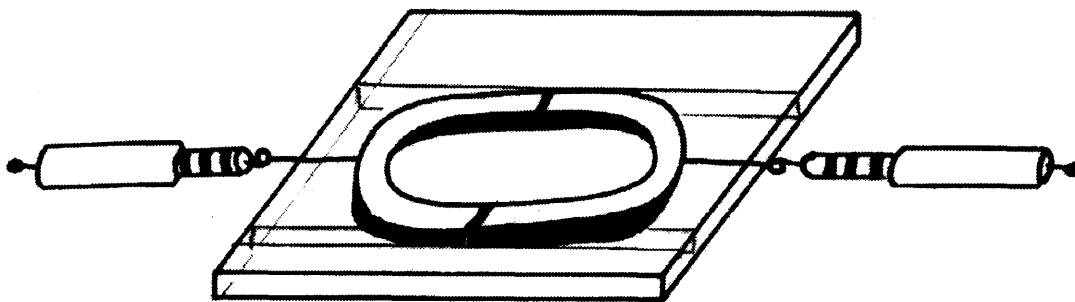
getrennt mit Feldlinien

kurzgeschlossen, ohne Feldlinien

Zwei Hufeisenmagnete werden in einer Führung aus Plexiglasscheiben so aufeinanderzubewegt, daß Nord- zu Südpol kommt und umgekehrt. Die Feldlinien der Magnete werden oben auf der Plexiglasscheibe mit Eisenfeilspänen sichtbar gemacht.

Am Schluß ziehen sich die Magnete so stark an, daß sie sich alleine aufeinander zu bewegen. Gleichzeitig verschwinden die Feldlinien fast vollständig, die gepaarten Magneten sind kurzgeschlossen und zeigen nach außen keine Wirkung mehr. Sie sind "inert".

Will man die Magnete wieder aktivieren, so muß man sie trennen und dazu eine bestimmte Kraft / Energie aufbringen. Die notwendige Kraft kann im Versuch mit zwei *Federwaagen* gemessen bzw. veranschaulicht werden.



Um die Veränderung der Feldlinien zeigen zu können, muß die Plexiglasscheibe während des Versuchs ständig leicht erschüttert bzw. angestoßen werden.

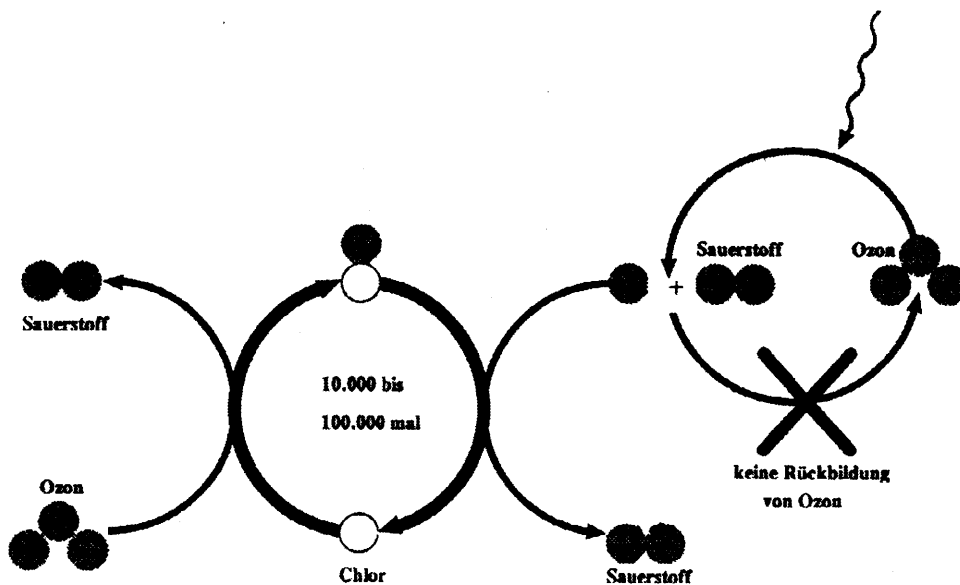


Den Magneten im Versuch entsprechen einerseits Chlor, andererseits der Rest des FCKW-Teilchens. Die aggressiven Eigenschaften des Chlors verschwinden, nachdem es im FCKW-Teilchen gebunden ist.

So große Energien, die zur Trennung dieser Bindung notwendig wären, stehen an der Erdoberfläche nicht zur Verfügung. Ist das FCKW-Teilchen allerdings erst einmal hoch genug in die Atmosphäre hinaufgewandert, so gibt es dort genügend Energie aus ungefilterter Strahlung, um das Chlor wieder abzuspalten. Als reaktives Chloratom - *Chlorradikal* - kann es jetzt sein Zerstörungswerk beginnen.

Der stratosphärische Ozonabbau durch Chlor

Die Reaktionen des stratosphärischen Ozonabbaus durch Chlor in 15 bis 50 km Höhe sind vielfältig und kompliziert. Sie lassen sich vereinfacht wie folgt darstellen:



Reaktives Chlor entzieht einem Ozonteilchen ein Sauerstoffatom und bildet ClO (und zweiatomigen Sauerstoff), im nächsten Schritt reagiert ClO mit einem weiteren Sauerstoff (aus dem Ozon-Sauerstoff-Kreislauf) und bildet das Chlorradikal zurück (sowie zweimal zweiatomigen Sauerstoff).

Da Reaktionen mit anderen Stoffen, die das Chlorteilchen neutralisieren, sehr selten sind, kann ein einzelnes Chlorradikal diesen Zyklus 1000 bis 100.000 mal durchlaufen und dabei jedesmal dem Ozon-Sauerstoff-Kreislauf Ozon entziehen und die Filterwirkung der Stratosphäre schwächen.

Erhöhte UV-Strahlung durch geschwächte Filterwirkung der Ozon-Schutzschicht hat u.a. auch den Effekt, daß unter der Wirkung der energiereichen Strahlung in Bodennähe aus Sauerstoff und verschiedenen Abgasbestandteilen bodennahes Ozon gebildet werden kann (vgl. Abschnitt 1).

Weniger (schützendes) Ozon oben heißt damit gleichzeitig mehr (zerstörerisches) Ozon unten.



Veranschaulichungen zur stratosphärischen Ozonzerstörung durch Chlor

Die Vorgänge in der Ozonschicht sind relativ komplex und lassen sich durch die bloße Wiedergabe von Formeln oder Reaktionsgleichungen nur schwer darstellen und fast gar nicht veranschaulichen. Insbesondere die katalytische Funktion des Chlors bedarf aber einer konkreten Darstellung, da sie sich dem begrifflichen Zugang am meisten verschließt und gleichzeitig zum Verständnis des riesigen Ozon-Zerstörungs-Potentials von Chlor wichtig ist. Die beiden nachfolgenden Vorschläge wurden in verschiedenen Situationen erprobt und erscheinen - wenn auch nicht voraussetzungslos - als angemessene Mittel für eine solche Veranschaulichung.

1. Ozonschicht und Ozonzerstörung im Rollenspiel

Eine günstige Voraussetzung für die Ozon-Spiele*) im Klassenzimmer besteht dann, wenn bereits andere Vorgänge auf Atom- oder Molekülebene zum Einsatz gekommen sind: z.B. können die Aggregatzustände und die Übergänge dazwischen leicht im Spiel veranschaulicht werden:

Feststoff - alle SchülerInnen halten sich gegenseitig an den Schultern fest (Kristall); wenn es wärmer wird, schwingen die Teilchen gegeneinander, der Feststoff dehnt sich aus. Ist die Temperatur hoch genug, lösen sich erste Teilchen-Schichten ab: *der Feststoff schmilzt*.

In der *Flüssigkeit* können sich die Teilchen schichten- und paarweise gegeneinander verschieben; je höher jetzt die Temperatur wird, desto heftiger wird diese Bewegung. Beim Siedepunkt lösen sich erste einzelne Teilchen aus der Flüssigkeit: *die Flüssigkeit verdampft*.

In der *Gasphase* bewegen sich die Teilchen unabhängig voneinander in allen Richtungen, stoßen zusammen und ändern entsprechend ihre Richtung ...

Spiel A: "Das Ozongleichgewicht"

Spielverlauf

24 bis 30 Spieler mit blauen Armschleifen (oder anderem Erkennungsmerkmal), ein Spielleiter.
(Alle Mitspieler verwandeln sich zu Sauerstoffatomen und verbinden sich mit Ozon.)

- Zuerst werden die Dreiergruppen ($=O_3$) gebildet, die sich auf einem angegrenzten Spielfeld (= "Ozonsphäre") an den Händen haltend bewegen - gehen, laufen, auf einem Bein springen (natürliche Bewegung der Ozonmoleküle).

- Nach einem Zeichen (Ruf, Pfiff) des Spielleiters (= UV-Licht), verlassen zwei bis drei Mitspieler ($=O^*$) ihre Dreiergruppe und bewegen sich ab nun allein durch die "Ozonsphäre".

- Auf ein weiteres Zeichen müssen sämtliche Zweiergruppen versuchen, einen einzelnen Mitspieler zu fangen (wobei es sich, als Variation, u. a. um denselben Mitspieler wie vorher handeln muß), damit wieder die ursprüngliche O_3 -Gruppe entsteht.

- als Spielergebnis liegt nun wieder dieselbe O_3 -Konzentration vor, wie zum Zeitpunkt der Ausgangssituation.

- Dieser Vorgang läßt sich beliebig oft wiederholen.

Fachinformation

Wenn Ozon (O_3) von ultravioletter Licht (UV-Strahlung von 190-220 nm Wellenlänge) getroffen wird, spaltet sich ein Sauerstoffatom (O) ab. Trifft nun dieses freie Sauerstoffatom auf ein weiteres freies Sauerstoffatom, entsteht ein Sauerstoffmolekül (O_2), es kann sich aber auch wieder Ozon bilden, wenn das freie Sauerstoffatom mit einem Sauerstoffmolekül reagiert. Kommt es zu einem Zusammenstoß zwischen einem freien Sauerstoffatom und einem Ozonmolekül (O_3), so können auch zwei Sauerstoffmoleküle entstehen.

Dieses Gleichgewicht kann auch gestört werden.

*) Dieter Pirker, Uwe Kozina: Ozon(bei)spiele. Unterrichtspraktisches zum Thema Ozon.
In: Umwelterziehung Nr. 1b/1993, S. 26-27 (hrsgg. von der ARGE Umwelterziehung Österreich, Wien)

Spiel B: "Das Ozonloch"



Spielverlauf

21 bis 27 Spieler mit blauen Armschleifen, zwei Spieler mit grünen Armschleifen (oder anderem Erkennungsmerkmal), ein Spielleiter.

- Zunächst werden, wie bei Spiel A, die blauen Dreiergruppen gebildet und die Spieler bewegen sich gleich wie vorher in der "Ozonsphäre".

Dazwischen befinden sich aber zwei grüne Spieler, die Chloratome (Cl^*) darstellen.

- Nach dem Zeichen des Spielleiters (Ruf, Pfiff), passieren zwei Dinge:

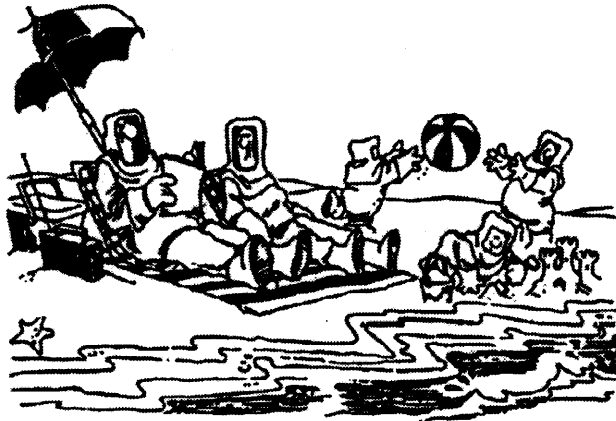
- einerseits ergreifen die beiden grünen Mitspieler je einen blauen Mitspieler der Dreiergruppe (O_3) und bilden mit diesem eine Zweiergruppe (ClO) und

- andererseits verlassen bei den restlichen Dreiergruppen drei Mitspieler (O^*) die Gruppe und bewegen sich allein durch die "Ozonsphäre".

- Auf ein weiteres Zeichen des Spielleiters trennen sich nun die grün-blauen Gruppen, und die Mitspieler bewegen sich allein im Raum.

- Auf das nächste Zeichen suchen sich zwei einzelne blaue Mitspieler und bilden eine blaue Zweiergruppe. Der letzte blaue Mitspieler (O^*) verbindet sich wieder mit einer Zweiergruppe zu einer Dreiergruppe.

- Dies wiederholt sich einige Male, wobei die neuen blauen Zweiergruppen immer zusammenbleiben. Schon nach wenigen Durchläufen gibt es keine Dreiergruppen mehr!



>Manchmal vermisse ich die Ozonschicht schon ein wenig.<

Fachinformation

In der Ozonsphäre werden durch das UV-Licht die Chlorverbindungen der FCKW aufgespalten und die reaktionsfreudigen Chloratome (Cl^*) freigesetzt. Diese entreißen dem Ozon (O_3) ein Sauerstoffatom, verbinden sich kurz mit diesem (ClO), verlassen diese Bindung aber wieder und greifen ein neues Ozonmolekül an. Diese Reaktionskette kann theoretisch bis zu 100.000 mal durchlaufen werden, bevor das Chloratom mit einem anderen Reaktionspartner reagiert. Chlor greift also in das Gleichgewicht zwischen Ozonbildung und -abbau ein.

Die "Arbeit" der Chloratome wird in Form des Ozonlochs über der Antarktis dokumentiert!

Das Lernziel besteht darin, daß über eine Spielregel ein chemischer Zusammenhang verdeutlicht und die Erkenntnisse durch das selbsttätige Probieren gefestigt werden.

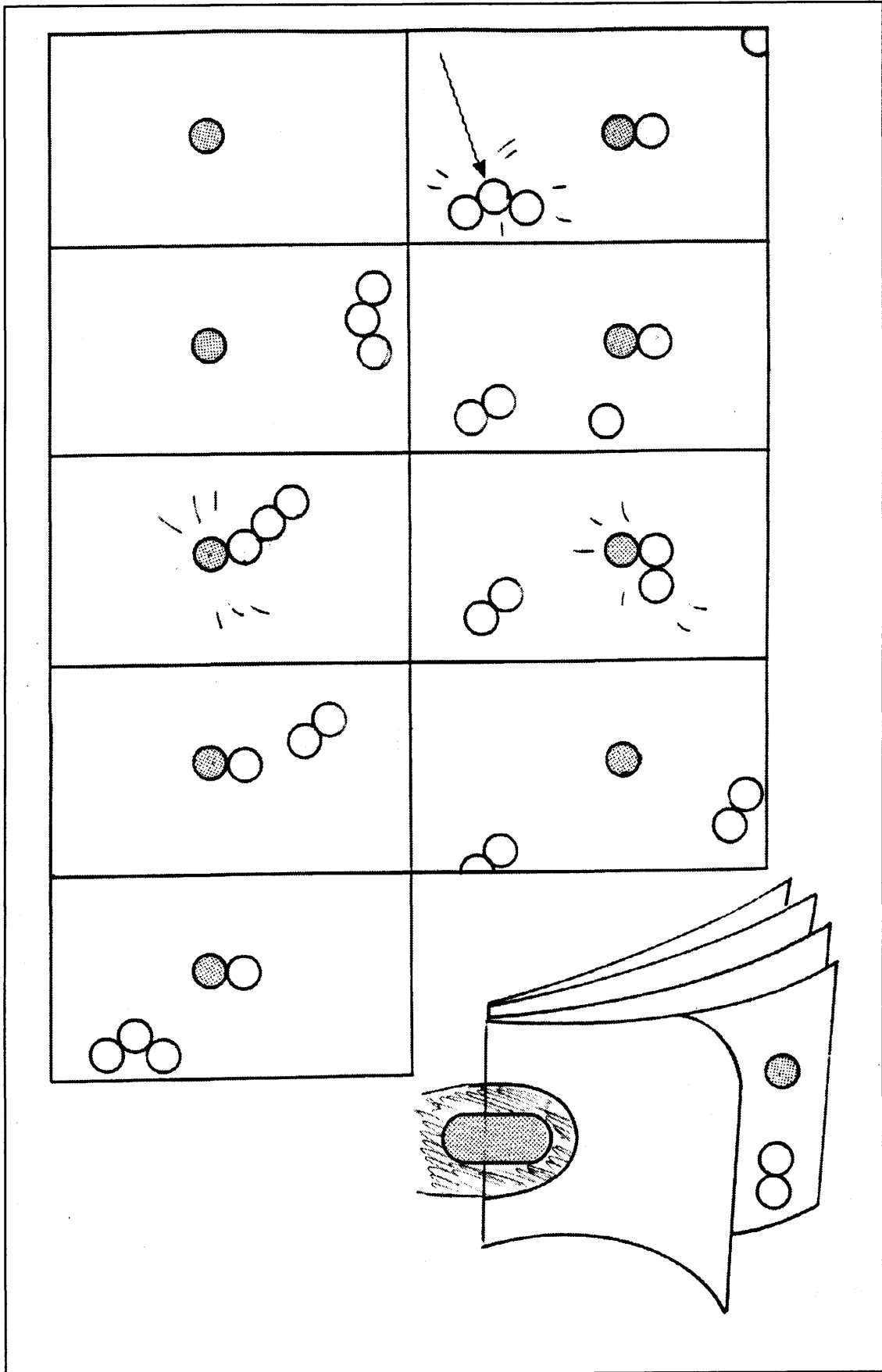
Diese Spielideen stehen hier stellvertretend für das fächerübergreifende Unterrichtsprinzip "Umwelterziehung" und sollen verdeutlichen, daß auch zwei normalerweise entfernte Fachinhalte wie Chemie und
Leibeseziehung in der Schule gemeinsam ein Thema erarbeiten können.

2. Selbstbaumodell zum stratosphärischen Ozonabbau durch Chlor

Eine weitere Möglichkeit zur Veranschaulichung des Ozonabbaus besteht darin, die in Teilchendarstellung ausgeführten Reaktionen auf kleine Papierkärtchen zu übertragen und damit ein Daumenkino zu bauen. Dazu werden verschiedene Reaktionsphasen und viele Übergänge dazwischen konstruiert, die in richtiger Reihenfolge sortierten Kärtchen seitlich geheftet und dann mit Hilfe des Daumens der rechten Hand die Reaktion ablaufen gelassen. Wichtig bei dieser Darstellung ist, daß die Ozon-Teilchen von außen ins Bild treten und als Sauerstoffteilchen wieder verlassen und daß erkennbar ist, daß es sich immer um das gleiche Chlorteilchen handelt.

Es empfiehlt sich, die Sauerstoffteilchen blau und das Chlor (gift-)grün auszumalen.

Der linke Rand muß mindestens 1,5 cm breit sein, damit die Kärtchen zusammengeheftet werden können, ohne daß etwas verdeckt wird.



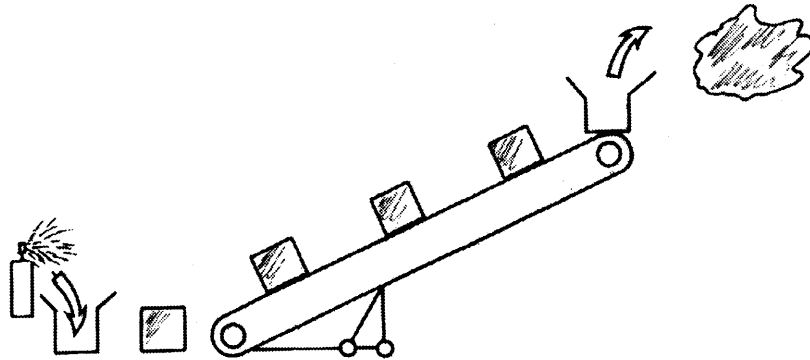


FCKW-Teilchen als "Transportmittel" für reaktives Chlor

Von ihrer Wirkung als Zerstörer der stratosphärischen Ozonschicht aus gesehen stellen die FCKWs praktisch (chemische) Transportmittel für reaktive Chlorteilchen dar. Während des Transportes gut "verpackt" und geschützt gegen Anfangsreaktionen durch in den niedrigen Luftschichten vorhandene Reaktionspartner wird Chlor sehr effektiv in große Höhen gebracht.

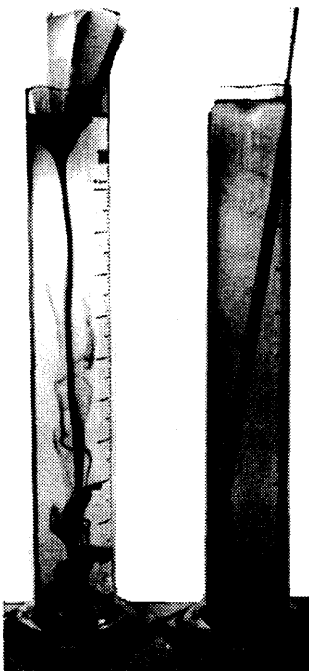
Zur Veranschaulichung das Bild eines Förderbandes: Unten wird Chlor mit Fluor und Kohlenstoff zum inerten FCKW verpackt und mit dem Band auf den Weg in die Höhe geschickt.

Oben angekommen wird das Päckchen durch äußere Kräfte wieder geöffnet (UV-Strahlung) und setzt reaktives Chlor wieder frei.



Das Bild vom Förderband zeigt gleich noch einen weiteren Aspekt der FCKW-Problematik: Auch wenn keine neuen FCKW-Päckchen auf das Band gelegt werden, geht der Transport noch eine Zeit lang weiter, so lange nämlich, bis alles oben angekommen ist und das Band leer ist.

Auch wenn keine neuen FCKWs mehr produziert und in die Atmosphäre entlassen werden, dauert es noch 10 bis 20 Jahre, bis die Konzentration von FCKWs und Chlor in der Stratosphäre (und damit die Ozonzerstörung) ihren Höhepunkt erreicht haben.



Das Bild vom Förderband hat aber auch seine Schwächen; denn nicht alles FCKW wird in die hohen Schichten der Atmosphäre gebracht, die produzierten und emittierten Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe werden vielmehr gleichmäßig in allen Schichten der Atmosphäre verteilt.

Weil FCKWs wesentlich schwerer sind als Luft, konnten sich Techniker und Naturwissenschaftler früher gar nicht vorstellen, daß dieser Verteilungsprozeß tatsächlich so vollständig stattfindet.

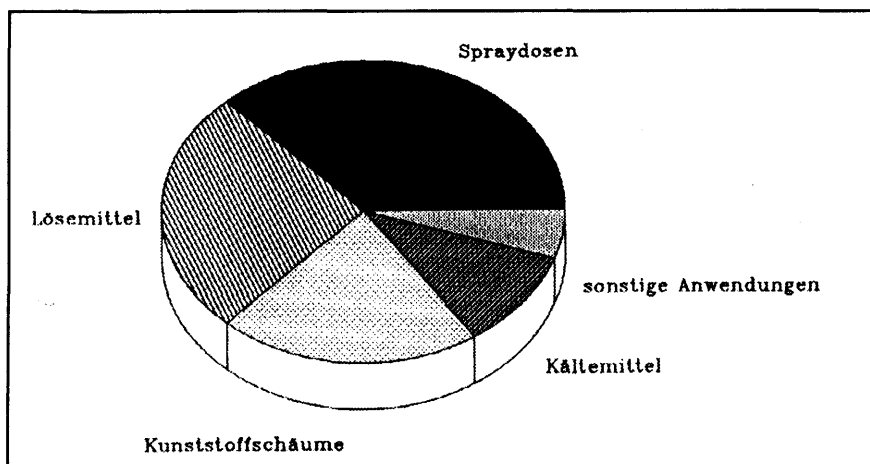
Ein einfacher Versuch kann aber zeigen, daß ein Aufsteigen entgegen der Schwerkraft durchaus möglich ist und auch stets - wenn auch langsam - stattfindet. Dazu wird auf den Boden eines hohen Glasgefäßes etwas kristallines Kaliumpermanganat gegeben und vorsichtig Wasser darübergegossen. Zu beobachten ist eine langsame Violettfärbung des gesamten Inhalts des Gefäßes (links).

FCKW - der Aufstieg eines Produktes

FCKWs werden in technischem Umfang erst seit den 50er Jahren produziert, die Kurve der Produktionszuwächse zeigte aber sehr bald steil nach oben. Die Gründe dafür lagen sowohl in der kostengünstigen Produktion wie in den vielseitigen Verwendungsmöglichkeiten.

Die FCKWs F 11 und F 12 werden durch Umsetzung von Methan mit Chlor und anschließender teilweiser Reaktion mit Fluor in einem relativ einfachen Verfahren hergestellt. Sieht man von den z.T. äußerst toxischen Nebenprodukten ab - chlorierte Kohlenwasserstoffe -, so war die Herstellung wegen des geringen Preises von Chlor und von Methan so billig, daß man es sich leisten konnte, FCKWs unmittelbar oder nach kurzer Verwendung in die Luft zu sprühen.

FCKWs sind nicht nur nicht brennbar, wegen der günstigen Lage der Siedepunkte können sie genutzt werden - als Treibgase, die bereits bei Zimmertemperatur verdampfen (in Spraydosen und als Blähmittel für Kunststoffschäume), - als Kühlmittel, da sie sich unter geringem Druck wieder verflüssigen lassen (F 12), - und als Entstaubungsmittel (an Stelle von Druckluft), z.B. um Platinen in der Elektronikbranche vor der Bearbeitung zu reinigen. Da die flüssigen FCKWs zudem gute Lösungsmittel sind, fanden und finden sie auch Verwendung in der Textilreinigung und in verwandten industriellen Bereichen.



FCKWs in der
Bundesrepublik
Deutschland

Die FCKW-Produktion lag Ende der 80er Jahre bei über einer Million Tonnen, allein in der Bundesrepublik wurden 10 bis 15 % dieser Menge hergestellt und fast ebensoviel verbraucht, d.h. in die Atmosphäre entlassen. Etwa je ein Viertel dieser Menge entfiel auf Treibmittel für Spraydosen, Blähmittel z.B. für Polyurethan-Schäume (Polstermöbel, Schuhsohlen u.ä.) und den Kältebereich; von 1960 bis 1990 stieg dabei die Zahl der pro Kopf und Jahr verwendeten Spraydosen von zwei auf zehn, davon die Hälfte im Kosmetikbereich.

Von den insgesamt 20 Millionen Tonnen FCKWs, die seit den 50er Jahren weltweit produziert worden sind, hat vermutlich erst die Hälfte ihren Weg in die Stratosphäre gefunden; der Rest befindet sich noch in höherer Konzentration in den niederen Luftschichten oder treibt noch Kühlaggregate in Haus, Supermarkt oder klimatisierten PKWs. D.h. auch dann, wenn sich die Vernunft tatsächlich durchsetzt und Produktion wie Anwendung von FCKWs in den nächsten Jahren gestoppt werden, kommt zur heutigen FCKW-Konzentration in der Stratosphäre in den nächsten 10 bis 15 Jahren noch einmal die gleiche Menge hinzu; so lange nämlich dauert die gleichmäßige Verteilung der Gase.



Alternativen zu den FCKWs

Angesichts jährlich sich ausweitender stratosphärischer Ozonverluste kam es seit Mitte der 80er Jahre zu einer Reihe von internationalen Beschlüssen zur Begrenzung der FCKW-Produktion. Während die meisten Industrienationen inzwischen durch eigene Regelungen die Herstellung von vollständig halogenierten FCKWs bis zum Ende des Jahrtausends einstellen werden, fängt die Produktion in einigen anderen Ländern erst im großen Stil an.

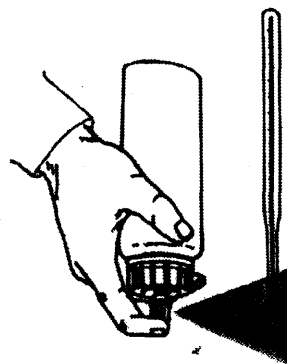
Im Gegensatz zu den Stellungnahmen der Industrie, die noch vor wenigen Jahren meinte, man könne nicht auf FCKWs verzichten, gibt es inzwischen in allen Anwendungsbereichen (alte oder neue) Lösungen:

Der Öko-Kühlschrank

Der Öko-Kühlschrank verzichtet gleich zweimal auf FCKWs: im Kühlsystem und in der Isolation.

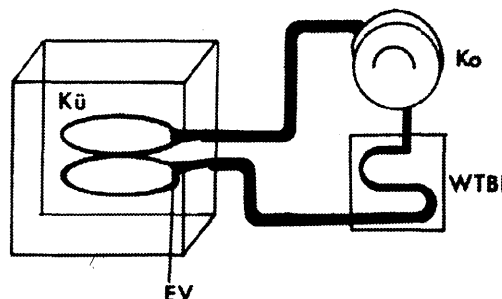
Zum Kühlen wird hier ein Gemisch aus Propan und Butan (beides leichte Kohlenwasserstoffe) verwendet, und zwar lediglich etwa 20 g pro Gerät.

Der Kühleffekt beim Verdampfen kann einfach vorgeführt werden, indem man eine Ampulle mit Feuerzeuggas auf den Kopf stellt und das flüssige Gas gegen ein Thermometer sprüht. Dabei kann die Temperatur bis auf -20°C sinken. Diese Abkühlung kommt dadurch zustande, daß beim Verdampfen des flüssigen Feuerzeug-Gas-Gemisches der Umgebung Wärme entzogen wird.



Beim Versuch mit dem Feuerzeuggas ist darauf zu achten, daß sich keine offenen Flammen in der Nähe befinden. Nach dem Versuch am besten lüften.

Ähnlich funktioniert das auch im Kühlschrank: Im Inneren wird das flüssige Kühlmittel verdampft und kühlt den Innenraum. Außerhalb an der Rückseite des Gerätes wird das Gas komprimiert und die gebildete warme Kühlflüssigkeit wieder abgekühlt.



Nach Prüfung des TÜV Rheinland gehen von der geringen Menge (brennbarem) Kühlmittel keine Sicherheitsgefahren aus.

Zum zweiten verzichtet der Hersteller des Öko-Kühlgeräts auf FCKWs in der Wärmeisolation. Die meisten noch im Haushalt befindlichen Kühlschränke sind mit einem Kunststoffschäum isoliert, bei dessen Herstellung FCKWs als Blähmittel verwendet worden sind. Ohne FCKWs muß die isolierende Schicht etwas dicker werden, die Belastung der Umwelt nimmt dafür erheblich ab.

Alternativen in anderen Bereichen

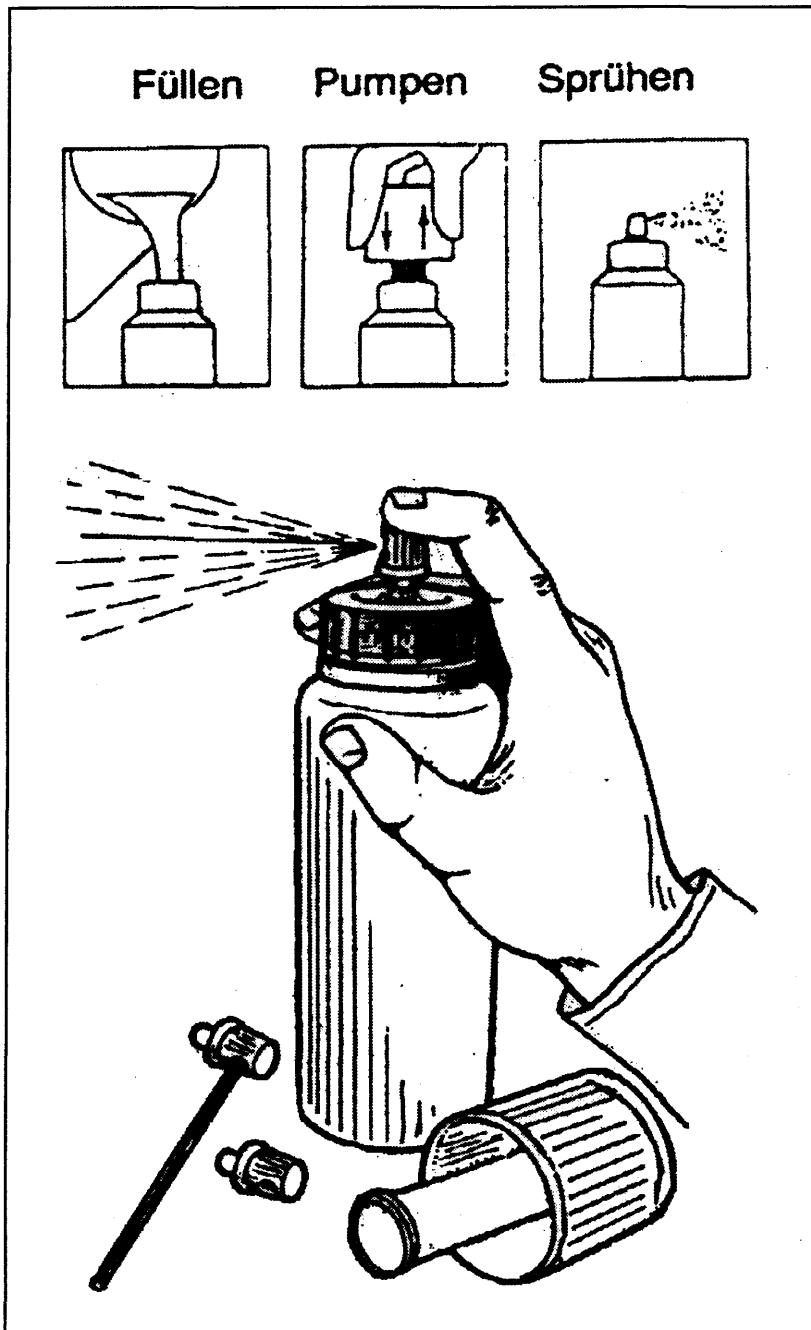
Für die **Entfettung von Metallteilen** in der industriellen Fertigung konnten die FCKWs als Lösungsmittel überwiegend durch Tensidlösungen ersetzt werden, im einfachsten Fall durch Seifenlauge.

Bei der **Entstaubung von Werkteilen** wird Preßluft verwendet.

An Stelle der 1976 eingesetzten 50.000 Tonnen FCKW in **Spraydosen** konnte in vielen Anwendungsbereichen zum bewährten **Pumpspray** zurückgekehrt werden. Hier wird entweder Luft direkt in das Gefäß mit der zu zerstäubenden Flüssigkeit bzw. Lösung hineingedrückt und beim Ausströmen durch ein Ventil fein verteilt; oder aber durch Pumpen wird ein leichter Überdruck erzeugt, der anschließend ein kontinuierliches Sprühen erlaubt.

In einigen Fällen, wo der zu zerstäubende Stoff im Gefäß gelöst sein muß (und Wasser nicht als Lösungsmittel infrage kommt), kommen wiederum **Butan** und **Propan** zur Anwendung. Durch technische Maßnahmen ist auch hier die Brandgefahr weitestgehend verbannt worden.

Pumpspraygefäße gibt es inzwischen von vielen Herstellern.



Zur Demonstration eignen sich am besten handelsübliche Blumenspritzen.



Eine sicherlich falsche Alternative ist das Setzen auf teilhalogenierte FCKW-Ersatzstoffe. Diese für den Kälteaggregatbereich von der Herstellerseite und chemischer Industrie favorisierten Kühl- und Treibmittel gelangen zwar nicht bis in die Stratosphäre, weil sie chemisch längst nicht so stabil sind wie die (vollständig halogenierten) FCKWs und daher bereits auf dem Weg in die höheren Luftschichten abgebaut werden können, sie tragen aber im gleichen Maß wie die FCKWs oder sogar stärker zum Treibhauseffekt bei.

Perspektiven

Wie in keinem anderen Bereich zeigt sich bei den FCKWs, daß der weitere Abbau der Ozonschicht nur durch konsequente Vermeidung erreicht werden kann.

Ersatz-Techniken und -Stoffe müssen nicht nur hinsichtlich ihrer Ozon-Schädigung geprüft werden, sondern hinsichtlich aller Eigenschaften und Wirkungen in der Umwelt. Nicht nur die FCKW-Spraydose ist umweltschädlich, auch die Handpumpdose, wenn sie nur einmal benutzt wird und dann zum Abfall kommt. Denn für jede neue Dose werden Rohstoffe und Energie benötigt, fallen toxische Produktionsabfälle an und wächst der Müllberg.

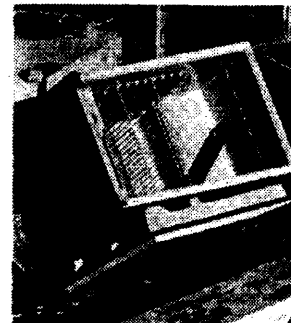
Recyceln schließlich kann für die FCKWs nur bedeuten, daß die Produktion eingestellt und die existierenden Stoffmengen sorgfältig aufgefangen, falls nötig wiederverwendet und schließlich gründlich entsorgt (d.h. chemisch zerstört) werden.

KÜHLSCHRANKENTSORGUNG IN DER SCHWEIZ

Vignetten gegen FCKW

Genf (taz) — Praktischer Umweltschutz unter möglichst breiter Mitverantwortung und Beteiligung der Bevölkerung — darin ist die Schweiz seit langer Zeit international führend. Jüngstes Beispiel ist die unerwartet große Resonanz auf ein seit Anfang 1992 bestehendes Angebot zur umweltfreundlichen Entsorgung von Kühlschränken. Soweit nicht aus allerjüngster Produktion, enthalten deren Kälteaggregate und Isolationschäume Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe, kurz FCKWs. Und die greifen bekanntlich die Ozonschicht an. Die Eidgenossen rücken den FCKWs mit demselben Instrument zu Leibe, mit dem sie auch den Unterhalt ihrer Autobahnen finanzieren. Mit Vignetten. Durch den Erwerb einer solchen Kühlschrank-Plakette zum Preis von 67 Franken erhalten die Käufer die Garantie, daß ihr Gerät umweltgerecht entsorgt wird. Die Vignette deckt alle Kosten von der Abholung alter Kühlschränke in den Haushalten über die Lagerung in Sammelstellen bis zur Wiederverwertung der Altstoffe ab. Acht Betriebe in allen Schweizer Regionen stellen die Entsorgung sicher. Seit Anfang des Jahres wurden bereits 100.000 Vignetten verkauft — weit mehr als die für das Konzept verantwortliche „Stiftung Entsorgung Schweiz“ erwartet hatte. Bis zum Jahresende rechnet man mit dem

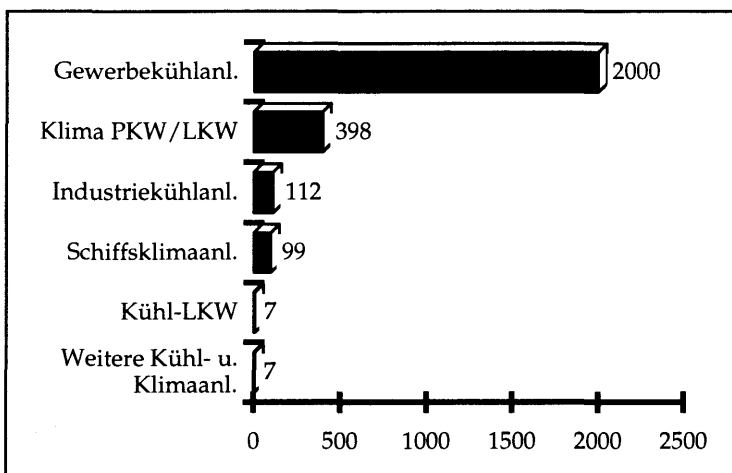
Absatz von bis zu weiteren 100.000 Vignetten. Damit würden dann immerhin 200.000 der 250.000 Kühlschränke, die bisher jährlich ausrangiert werden, umweltfreundlich entsorgt. Blicke es bei dieser jährlichen Verkaufsrate für die Vignette, wären die derzeit rund fünf Millionen in Betrieb befindlichen eidgenössischen Kühlschränke bis etwa zum Jahr 2015 umweltfreundlich entsorgt. Doch die Stiftung hofft, daß der Absatz noch steigt, wenn die Regierung



So nicht! Foto: Stiebing/Zenit

die Vignette von der Umsatzsteuer befreit und diese dadurch billiger würde. Ab 1994 verbietet die Schweiz die Verwendung von FCKWs bei der Kühlschrankproduktion völlig. Andreas Zumach

Das Beispiel Schweiz - TAZ vom 24.8.92



Welchen Umfang die "Altlasten" haben, zeigt die nebenstehende Graphik: Insgesamt mehr als 2,5 Millionen Tonnen FCKWs!

nach: Focus 3/1993, S.120



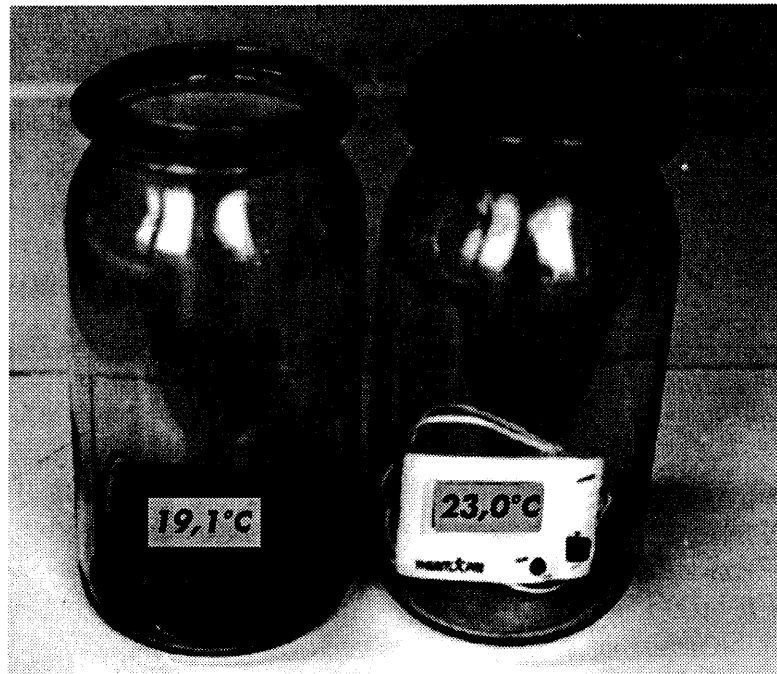
3. Der Treibhauseffekt

Treibhaus Erde

Mit Frühbeet und Treibhaus werden empfindliche Nutzpflanzen vor ungünstiger Witterung geschützt - der deutsche Begriff "Treibhaus" und das englische "Greenhouse" tragen das Wachsen und Grünen sogar in ihrem Namen. Und so funktioniert es: Ein Glasdach, durchlässig für das Sonnenlicht, läßt die Energie der Sonnenstrahlung ins Treibhaus hinein, verhindert aber, daß die erwärmte Luft entweicht.

Treibhaus = mehr Wärme

Zwei Einmachgläser werden nebeneinander auf einem Tisch am Fenster in die Sonne gestellt, das eine offen, das andere mit dem passenden Deckel verschlossen. In beide Gläser stellt man jeweils ein passendes Thermometer (hier: einfache Digitalthermometer). Es zeigt sich sehr schnell, daß die Luft im geschlossenen Glas viel wärmer wird als im offenen.



Auch der Treibhauseffekt der Erdatmosphäre hat eine ausgesprochen positive Funktion: Ohne Atmosphäre - ohne Luft - könnten Mensch und Tier nicht nur nicht atmen, an der Erdoberfläche würde zudem große Kälte herrschen. Zwar wäre die Erde nicht so kalt wie der Mond, der praktisch alle Energie, die ihn als Licht von der Sonne erreicht, wie ein Spiegel wieder in den Weltraum zurückstrahlt; trotz der Eigenwärme aus dem heißen Inneren der Erde wären die Temperaturen tagsüber 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, einige Gase, die nur in geringen Mengen (als sogenannte Spurengase) vorkommen, sind jedoch besonders "treibhauswirksam". Dazu 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).

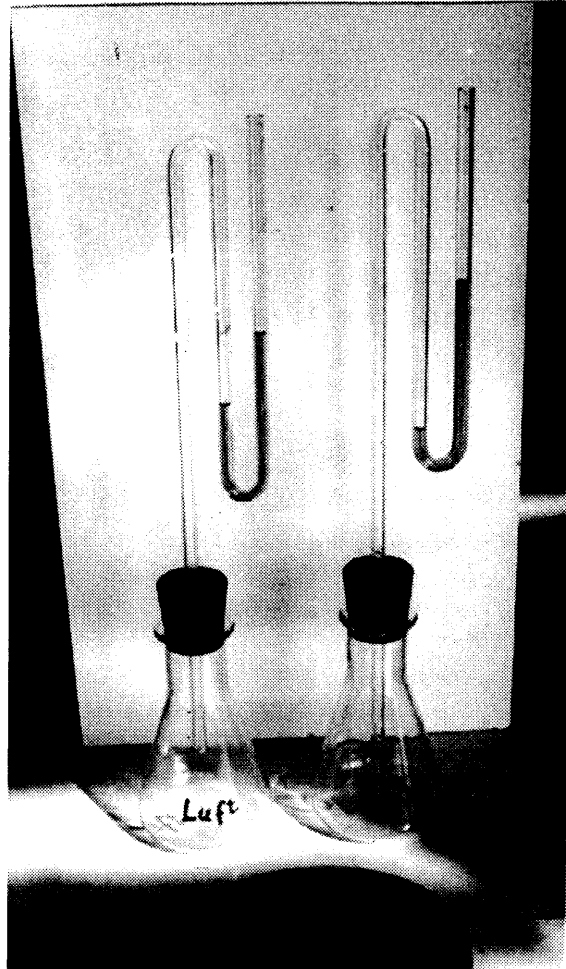


Wie der (natürliche) "Treibhauseffekt" zustande kommt, zeigt ein weiterer Versuch:

Treibhauswirkung durch Kohlendioxid

Im folgenden Versuch werden Luft und Kohlendioxid hinsichtlich ihrer Fähigkeit verglichen, Wärme "festzuhalten", die von außen in ein Gefäß eingestrahlt wird. Die zuvor verwendeten Einmachgläser mit Thermometer eignen sich hierzu nicht, die Unterschiede zwischen den beiden Gasen sind zu gering und müssen mit einer empfindlicheren Apparatur nachgewiesen und angezeigt werden:

In zwei gleichgroße Glasgefäße - am besten Erlenmeyerkolben aus der Chemiesammlung - füllt man einmal Luft, in das andere Kohlendioxid. Die Kolben werden mit einem Gummistopfen mit Manometerrohr verschlossen. In dem Röhrchen befindet sich eine angefärbte Flüssigkeit, die ihren Stand verändert, wenn das Gas im Kolben sein Volumen verändert, sich z.B. ausdehnt. Die Kolben werden nebeneinander auf einen Tisch gestellt und aus gleicher Entfernung mit einer Rotlicht-Lampe bestrahlt. Weil Kohlendioxid die rote Wärmestrahlung besser absorbieren und in Wärme umsetzen kann, erwärmt sich das Gas in diesem Kolben etwas schneller, es dehnt sich aus, wo- durch sich die Flüssigkeit im Manometerröhrchen schneller verschiebt als beim Kolben mit Luft.



Einige technische Ratschläge:

Als Flüssigkeit für das Manometerröhrchen kommt z.B. 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. Kohlendioxid läßt man am einfachsten aus einer Druckpatrone eines Siphons ausströmen. Mit etwas Geschick kann auch Kohlendioxid aus einer Sprudelflasche verwendet werden. Wieviel CO_2 darin enthalten ist, zeigt ein über den Flaschenhals gezogener Luftballon, der sich beim Schütteln aufbläst. Da Kohlendioxid schwerer ist als Luft, kann es in das offene Gefäß "gegossen" werden. NaturwissenschaftslehrerInnen können CO_2 auch durch Reaktion von Kalk mit Salzsäure herstellen.



Die Treibhauswirkung der Atmosphäre kommt also nicht durch irgendwelche Stoffe zustande, die sich wie Deckel darüberlegen, vielmehr wandeln die treibhausaktiven Gase Wärmestrahlung immer und überall in Wärme um und verhindern dadurch, daß sich die durch die Sonneneinstrahlung erwärmte Erdoberfläche und die unteren Luftschichten zu stark abkühlen.

Was macht ein Gas zum Treibhausgas?

Die Umwandlung von Licht / Sonnenstrahlung in Wärme ist ein alltäglicher aber ziemlich komplizierter Vorgang. Daher zur Erinnerung einige Informationen über Stoffe, ihre kleinsten Teilchen und Wärme:

Temperatur - Wärme - Ausdehnung von Gasen

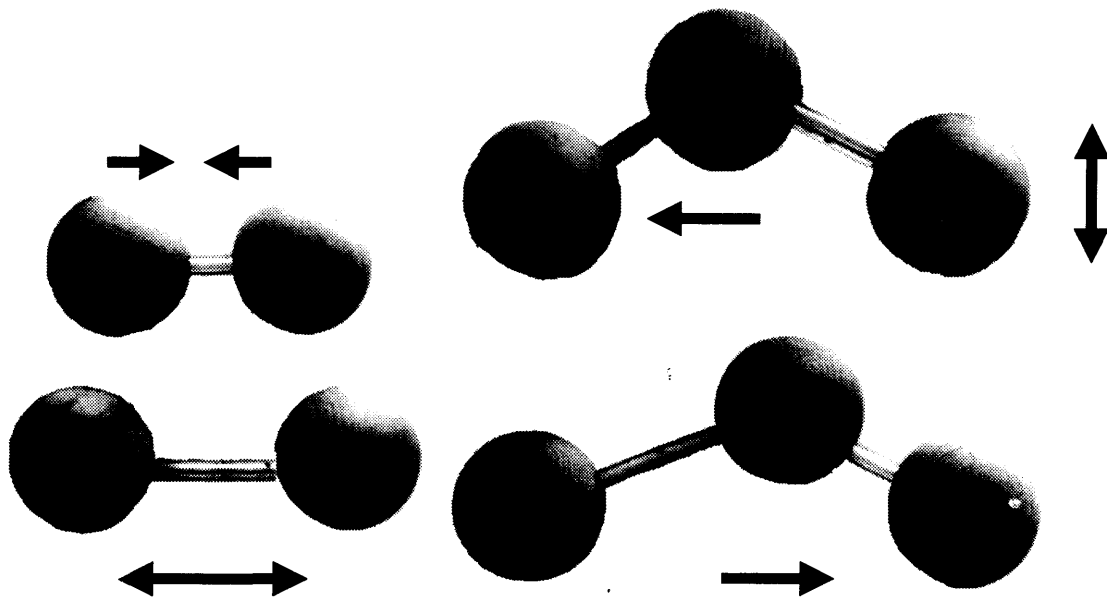
Wenn man im Versuch zum Treibhauseffekt durch Kohlendioxid gleichzeitig die Temperatur und die Ausdehnung des Gases im Kolben mißt, kann man feststellen, daß Temperaturerhöhung und Ausdehnung zusammenhängen. Erwärmung eines Gases kommt zustande durch heftigere Bewegung seiner kleinsten Teilchen; dies bewirkt zugleich, daß das Gas mehr Raum in Anspruch nimmt und sich ausdehnt (bzw., wenn das nicht möglich ist: daß bei Erwärmung sich der Druck erhöht).

Ein Luftballon wird halb aufgeblasen, zugebunden und zur Seite gelegt. Wenn seine Temperatur in etwa gleich mit der Zimmertemperatur ist, nimmt man ihn zwischen die Hände oder hält ihn unter heißes Wasser: er dehnt sich aus. - Legt man ihn auf Eis oder taucht ihn in Eiswasser, so wird er kleiner.

Ähnlich ist es bei festen Stoffen: In einem kalten Stück Eisen bewegen sich die Teilchen weniger als in einem heißen; in Festkörpern führen die Teilchen dabei Schwingungen aus, bleiben aber bezogen auf ihre "Nachbarn" am selben Platz. Wird ein fester Stoff, z.B. Eis, stärker erwärmt, dann schmilzt er: die Teilchen bewegen sich so heftig, daß sie ihre "Plätze" verlassen und sich gegeneinander bewegen. Wird noch mehr erhitzt, dann verliert die Flüssigkeit auch ihren letzten Zusammenhalt: Die Teilchen bewegen sich unabhängig voneinander, sie gehen in die Gasphase - die Flüssigkeit kocht und verdampft; die Teilchen fliegen in alle Richtungen und erfüllen als Gas den ihnen zur Verfügung stehenden Raum.

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

Neben der Bewegung durch den Raum (je schneller, desto wärmer) können die kleinsten Teilchen von Gasen (und Flüssigkeiten) sich auch noch "inwendig" bewegen. Dazu müssen diese kleinsten Teilchen aber mindestens aus zwei Atomen aufgebaut sein. Es ist leicht zu verstehen, daß es für diese Art "Bewegung" um so mehr Möglichkeiten gibt, je komplizierter diese Teilchen aufgebaut sind: Die Atome können wechselweise aufeinander zu oder voreinander weg oder in eine dritte Richtung schwingen oder sich auch drehen.

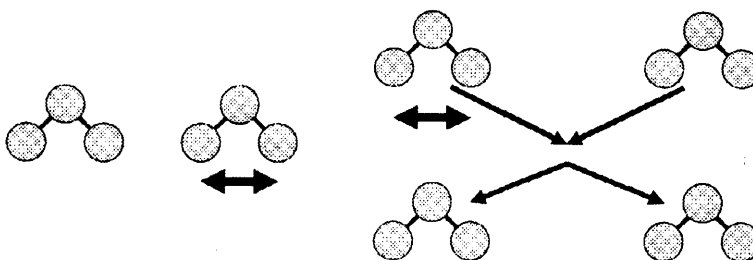


Beispiele für "Molekülschwingungen"

Diese Schwingungsmöglichkeiten sind hauptsächlich dafür verantwortlich, daß Gase Strahlungsenergie/Licht aufnehmen und in Wärme umwandeln können. Bestimmte Teilchen können dabei nur Licht von ganz bestimmter Energie (d.h. von bestimmter Farbe) aufnehmen und umwandeln.*)

Vereinfacht und bildlich sieht das so aus:

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.



nach dem Stoß: beide Teilchen mit höherer Geschwindigkeit

*) Zur Erinnerung:

Bei stratosphärischem Ozon ist die Energie des eingefangenen UV-Lichtes so groß, daß das Teilchen nicht nur anfängt zu schwingen, sondern auseinanderbricht.

Bei der Bildung des bodennahen Ozons fängt ein Stickstoffdioxid-Teilchen energiereiche Strahlung ein und spaltet sich danach in NO und O.



Gase mit und ohne Treibhauspotential

Gering treibhaus-aktive Gase		Stark treibhaus-aktive Gase	
Sauerstoff	O ₂	Wasserdampf	H ₂ O
Stickstoff	N ₂	Kohlendioxid	CO ₂
		Methan	CH ₄
		FCKWs	z.B. CFCl ₃ (F 11)
		Distickstoffoxid	N ₂ O
		Ozon	O ₃

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 (O₂) und Stickstoff (N₂) am schwächsten, deutlich stärker Wasserdampf (H₂O), Kohlendioxid (CO₂), das Stickoxid N₂O und ausgesprochen stark die komplizierteren Moleküle wie Methan (CH₄) und seine schweren halogenierten Verwandten, die FCKWs wie CF₂Cl₂ oder CFC₁₃.

Der natürliche Treibhauseffekt, der in erdgeschichtlichen Zeiten entstanden ist und der Leben auf der Erde überhaupt erst möglich macht, wird durch die Emission von stark treibhausaktiven Spurengasen so verstärkt, daß gravierende Klimaveränderungen erwartet werden müssen.

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 %	65Jahre
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



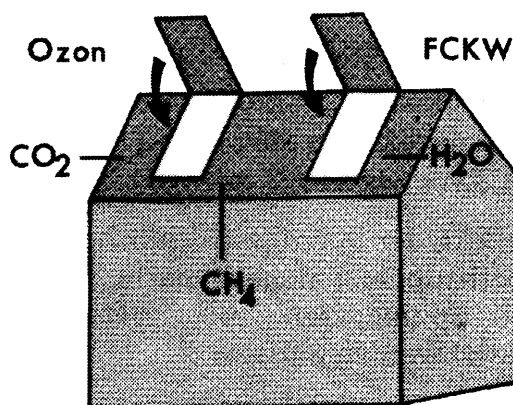
Daß Stoffe wie die FCKWs 3000 bis 7000 mal stärker zum Treibhauseffekt beitragen als Kohlendioxid, kann am realen Treibhausmodell erklärt werden:

Klimawirksame Gase aus industrieller Aktivität schließen die "offenen Fenster" im Treibhaus

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 dabei hauptsächlich nur in einem bestimmten Frequenz- bzw. Energiebereich; dazwischen gibt es sozusagen Lücken, durch die IR-Strahlung ohne Behinderung durchtreten kann.

Im Treibhausmodell könnte dies so dargestellt werden:



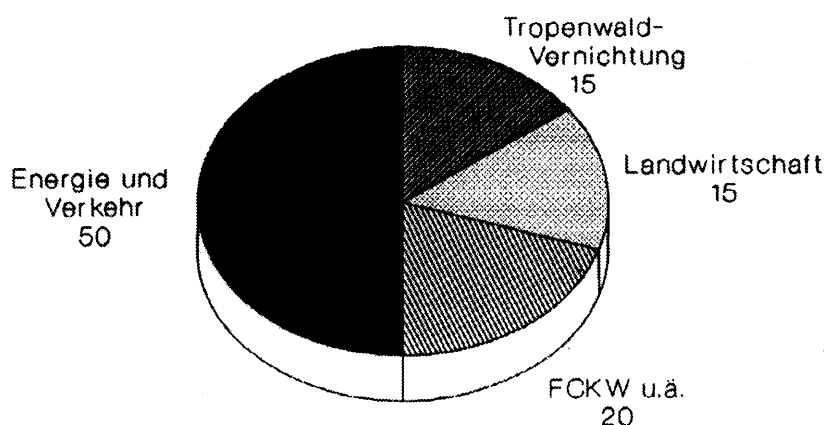
Jedes klimawirksame Gas deckt einen bestimmten Teil der Oberseite des Hauses ab, dazwischen aber besitzt das Dach noch schmale Öffnungen, offene Fenster. Mehr Kohlendioxid oder Wasserdampf macht das Dach zwar dicker (entsprechend einer Doppelverglasung), die Fenster aber bleiben offen. Erst die Gase aus industrieller Produktion (FCKWs) sowie die verschiedenen Abgase aus Fabriken, Kraftwerken und dem Verkehr (in den niederen Luftschichten) 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 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.

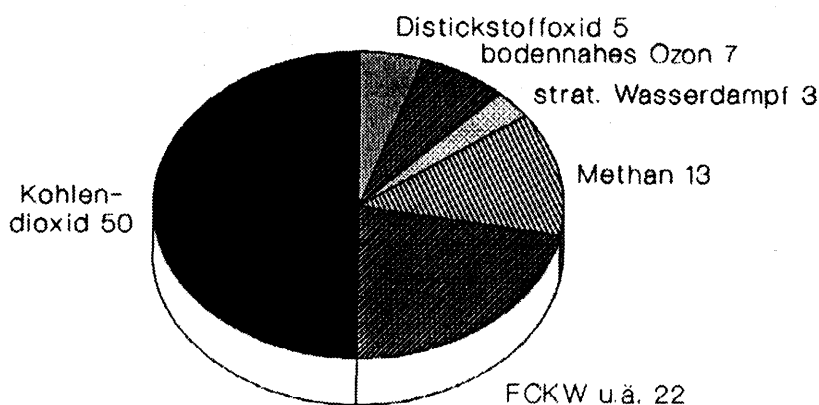
Mit einem solchen Modell können ähnliche praktische Versuche durchgeführt werden wie die auf S. 49 dargestellten.



Treibhausgase und ihre Verursacher : 1. Kohlendioxid



Ursachen des Treibhauseffekts nach Herkunftsbereichen (in %)



Ursachen des Treibhauseffekts nach Stoffen (in %)

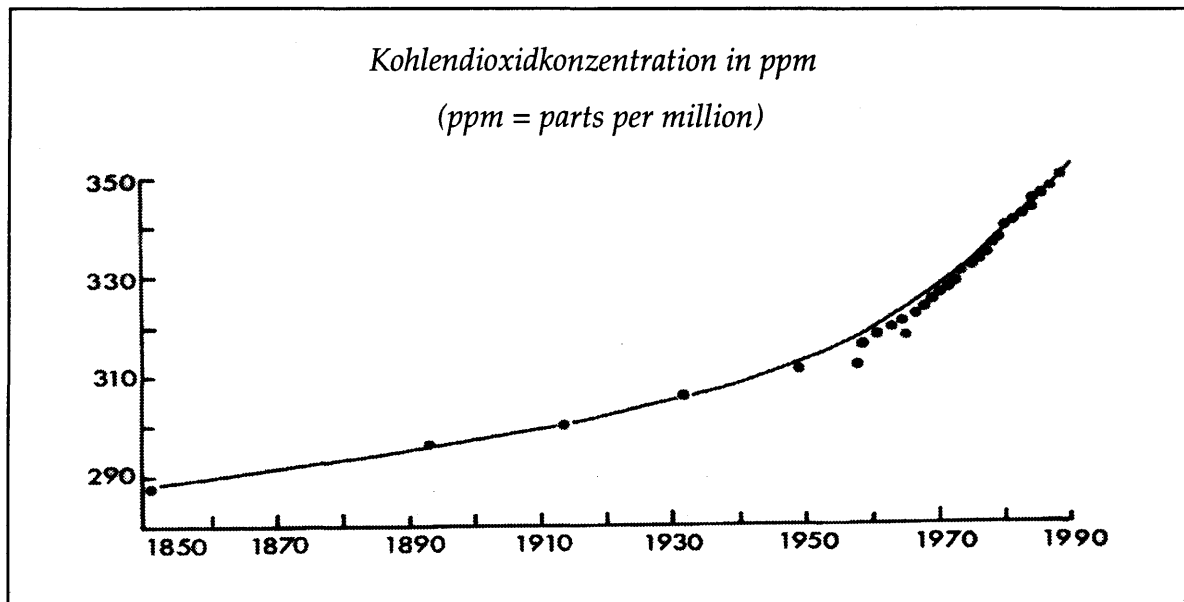
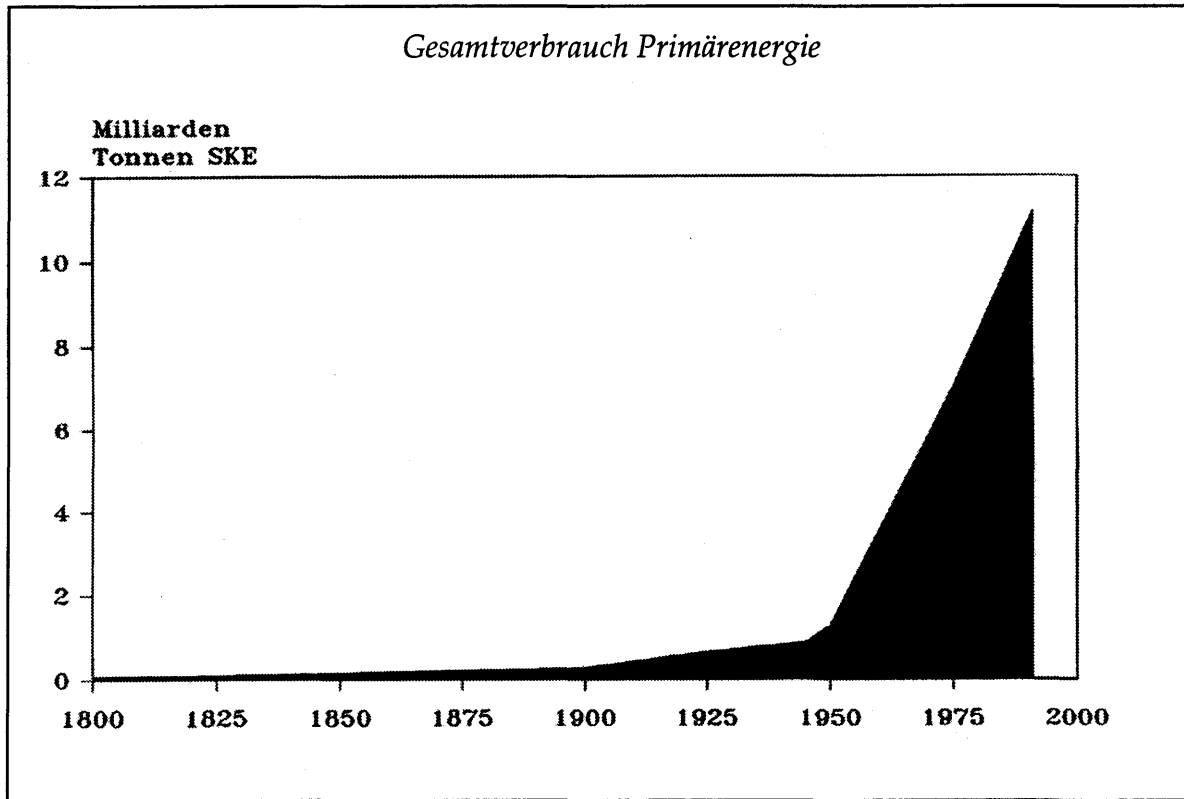
Die Graphiken zeigen, daß der Bereich von **Verkehr und Energie** bzw. die Emission von Kohlendioxid die Hälfte des menschengemachten Treibhauseffekts ausmachen. Jährlich werden bei **Verbrennungsprozessen** aller Art weltweit 6 Gigatonnen Kohlenstoff als Kohlendioxid (22 Gigatonnen CO₂) in die Atmosphäre emittiert; Kraftwerke sind daran zu 2/5, die Industrie, Heizungsanlagen und Verbrennungsmotoren in Kraftfahrzeugen zu je einem Fünftel beteiligt. Durch **Waldrodung** wird eine weitere Gigatonne Kohlenstoff das sind 1.000.000.000 t jährlich als CO₂ (3,7 Gt) freigesetzt.

Zwar ist der Kohlenstoff/Kohlendioxid-Umsatz der natürlichen Kreisläufe mindestens 25 mal größer, die Störung durch die Tätigkeit des Menschen ist seit der Industrialisierung jedoch unverkennbar und hat das natürliche dynamische Gleichgewicht inzwischen so weit aus der Balance gebracht, daß der Zustand vor Beginn der industriellen Revolution auf Jahrhunderte hinaus nicht mehr erreicht werden kann. Tatsächlich hat die Menschheit - genauer die Industrienationen der nördlichen Halbkugel - es geschafft, bereits nach knapp 150 Jahren den größten Teil der in Jahrmillionen gebildeten fossilen Brennstoffe zu verheizen, zu verstromen und neuerdings zu verfahren. Was dem Kohlenstoff-Kohlendioxid-Kreislauf über riesige Zeiträume in Form von Kohle, Erdöl und Erdgas entzogen worden ist, wird jetzt in wenigen Menschengenerationen wieder frei. Dem explosiv gestiegenen Energieverbrauch steht daher eine ebenso kontinuierliche Zunahme der Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre gegenüber.

Gibt es eine Möglichkeit, sich Gigatonnen Kohle überhaupt vorzustellen?
 ... als Lastwagen-, Güterzugs- oder Schiffsladungen?



Im Vergleich zeigt sich, daß der Verbrauch fossiler Energieträger und die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre deutlich zusammenhängen.



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 immerhin die Hälfte der jeweiligen Jahresemissionen aufgenommen haben, physikalisch im Wasser gelöst oder gebunden in der Biomasse.

Ist die CO₂-Konzentration eigentlich im Winter oder im Sommer höher? Und wie ist es auf der Südhalbkugel?

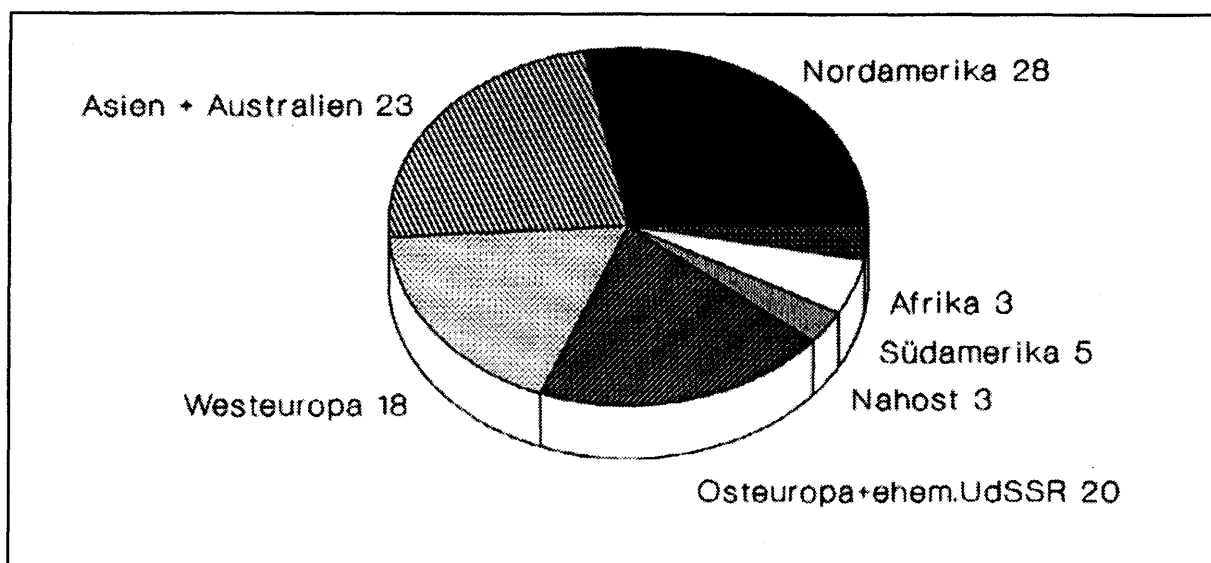
Lufthülle aus dem Gleichgewicht

Der Kohlendioxid-Anstieg ist unmittelbare Folge unserer veränderten Lebensweise:

- * Mobilität z.B. bedeutet Millionen Autos, Tonnen Stahl und Kohle, die Entwicklung ganzer Industrien;
- * Komfort heißt durchgehend geheizte Wohnungen und Klimaanlage am Arbeitsplatz und im Kaufhaus;
- * Wohlstand wird nicht nur als Bruttosozialprodukt gemessen, sondern - im internationalen Vergleich - in Tonnen Steinkohlen-Einheiten.
- * Um fossile Energieträger gibt es sogar Kriege ...

Während noch vor 200 Jahren 90 Prozent aller notwendigen Energien durch Muskelkraft von Mensch und Tier bereitgestellt wurden, beträgt der "biologische" Anteil heute weniger als 10 Prozent. Technische Energie wird überall dort eingesetzt, wo es irgend möglich erscheint, vom Hebekran über die elektrische Schuhputzmaschine bis zur automatisch sich öffnenden Tür des Supermarktes, von den elektronischen Medien nicht zu reden.

Die Analyse des Energieverbrauchs nach Ländern zeigt, daß fast 90 % von den Industriestaaten der Nordhalbkugel konsumiert werden. Die ärmeren Länder sind längst nicht im gleichen Umfang industrialisiert. Bei den in den vergangenen Jahren abgehaltenen Klimakonferenzen hat sich gezeigt, daß die Vertreter der Dritten Welt nicht bereit sind, die Energieverschwendung der wirtschaftlich führenden Nationen auf ihre Kosten austragen zu lassen. Es ist daher damit zu rechnen, daß der Energieverbrauch weltweit weiter steigen wird. Eine Begrenzung des Energieverbrauchs in den USA, Kanada, Japan und in der EG ist deshalb umso wichtiger.



Energieverbrauch nach Regionen der Erde

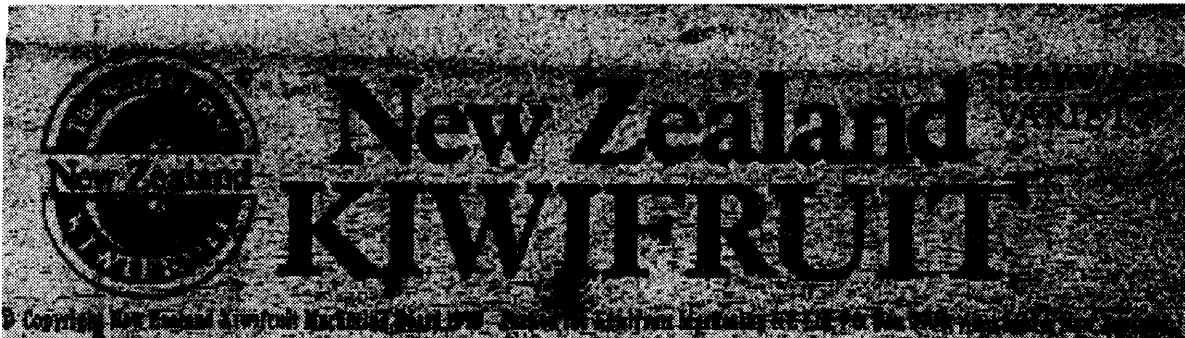


Alles ist verfügbar (oder scheint verfügbar zu sein); angesichts Bewegungsmangel und Umweltbelastung spielt dies eine besondere Rolle in Bereich der persönlichen Lebensführung und dem Wunsch nach Gesundheit.

Gesunde Ernährung - Vitamine - Obst auch im Winter frisch auf den Tisch - auch aus fernsten Ländern: Getragen von solchen Vorstellungen ist es in den vergangenen Jahrzehnten zu einer wesentlichen "Bereicherung der Speisekarte" gekommen, insbesondere durch exotische Früchte.

"Gestern gepflückt, heute da" ist aber nur machbar mit hohem Technologie- und Energieaufwand. Bananen aus Mittelamerika konnten noch (grün) auf die lange Schiffsreise gehen, Kiwis aus Neuseeland legen 20.000 km im Flugzeug zurück, bis sie in der Obstschale landen.

Kiwis aus Neuseeland: Zu welchem Preis?



Ein düsengetriebenes Frachtflugzeug verbraucht auf dem Weg von Neuseeland nach Frankfurt ca. 200.000 l Treibstoff. Es kann (hoch angesetzt) 100 t Fracht befördern; etwa 10% davon wiegt die Verpackung der Waren, verbleiben 90.000 kg.

Für den Transport von 1 kg Frachtgut werden somit $200.000 : 90.000 = 2,2$ Liter Kerosin verbrannt (entsprechend 1,65 kg Kerosin, Dichte $0,75 \text{ g/cm}^3$). Ein Liter Treibstoff hat einen Energiegehalt/ Brennwert von 32.800 KJ (KiloJoule).

Eine Kiwifrucht wiegt ca. 80 g und hat einen verwertbaren Energiegehalt/Nährwert von 150 KJ (KiloJoule)/100 g.

Beim kurzen Genuß einer Kiwi zum Nachtisch stehen sich also gegenüber:

* **120 KJ an Nährwert** (allerdings werden Kiwis nicht deswegen, sondern wegen ihres Geschmacks und Vitamingehalts gegessen)

* $32.800 \text{ KJ/l} * 2,2 \text{ l/kg} * 0,08 \text{ kg} = 5773 \text{ KJ}$, die für den Transport (allein mit dem Flugzeug) aufgewendet werden.

Für jede Kiwi entstehen aus dem Kerosinanteil von 132 g folgende Abgase:

ca. **400 g Kohlendioxid** und ca. 200 g Wasserdampf.

Auch dieser Vergleich hinkt, denn Treibstoffe und Erdöl kann man nicht verzehren. Er ist zudem unvollständig, denn

- * Energie und Rohstoffe werden auch zum Bau von Flugzeugen, Flughäfen usw. gebraucht;
- * Flugzeuge emittieren als Abgase nicht nur Kohlendioxid und Wasser, sondern auch Schadstoffe wie Stickoxide und Kohlenwasserstoffe;
- * Nicht in die Überlegungen einbezogen sind die sonstigen energetischen Kosten: der Transport vom Erzeuger zur Verladestation, vom Entladen zum Großmarkt, zum Einzelhandel usw. (siehe das folgende Beispiel "Erdbeerjoghurt").



Die weitere Verschleuderung von Energieressourcen in solchem Umfang führt voraussichtlich schon bald dazu, daß auf unserer Speisekarte nicht nur die Exoten fehlen. Angesichts von Dürre und Hunger in vielen Teilen der Welt ist dieser Umgang mit Energie aber nicht bloß eine ökologische, sondern auch eine moralische Frage.

Freie Fahrt für alle Waren

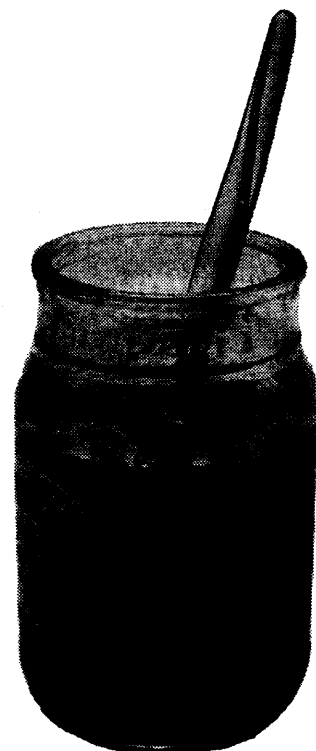
Seit Anfang 1993 gibt es einen ungehinderten Warenverkehr in der EG: Tomaten aus Spanien oder Holland, in Italien veredelter Parmaschinken (vormals oft deutsches Schwein), Oliven aus Griechenland; aber auch Grundnahrungsmittel, die irgendwo ein paar Pfennige billiger sind, werden durch halb Europa gefahren, vorzugsweise mit dem LKW. Daß auch vor dem Wegfall der Handelsgrenzen Produkte und ihre Rohstoffe sehr reisefreudig waren, zeigt die Analyse des VCD-Magazins fairkehr (Heft 7/1992; siehe auch: Zeit-Magazin Nr.5/93) am Beispiel des Erdbeerjoghurts.

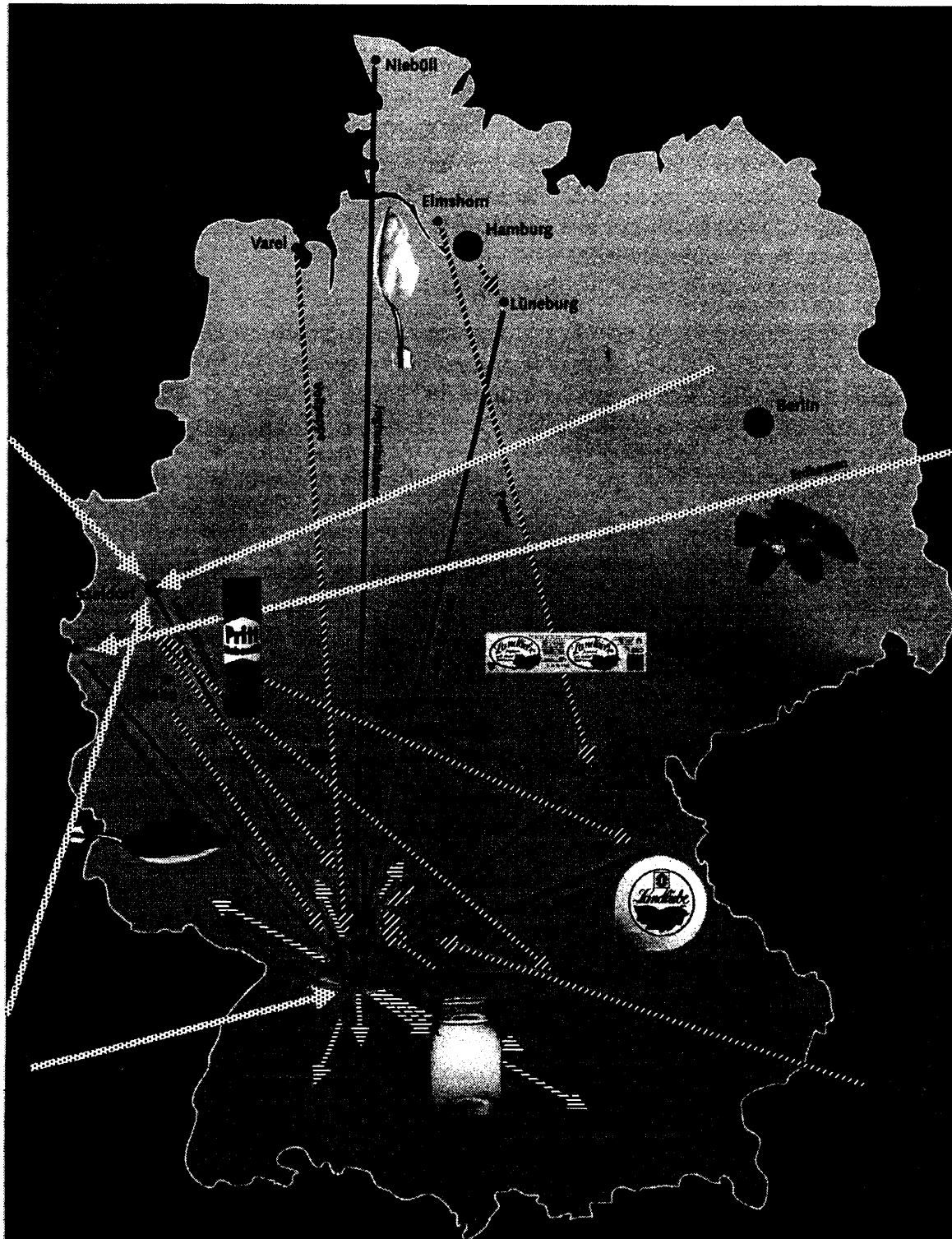
"So klein und schon so weit rungekommen"

Einzelteile des Fruchtjoghurts und seiner Verpackung treffen aus verschiedenen Ländern in Stuttgart ein. Sie haben bis dahin schon eine lange Reise hinter sich:

Milch	36 km
Fruchtzubereitung	1246 km
Joghurtkulturen	920 km
Zucker	107 km
Glas	746 km
Alu-Platine	864 km
Etikett	948 km
Steige	402 km
Zwischenlage	647 km
Stretchfolie	406 km
Leim (Etiketten)	639 km
Leim (Steigen)	734 km

Insgesamt haben sie eine Strecke von 7695 km zurückgelegt.





-
-

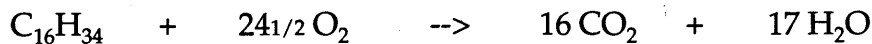
Karte verändert nach: fairkehr Nr. 8/92, S.14

Der Frühstücksjoghurt ist sicher nicht der einzige Vielfahrer. Eine ähnliche Analyse könnte für viele Produkte im Regal des Supermarktes erstellt werden. Wie sieht demgegenüber die ökologisch vertretbare Alternative aus? Welche Wege haben die Waren im Bioladen zurückgelegt?

Die CO₂-Kosten des Warenverkehrs

Ein 34-Tonner verbraucht auf 100 km je nach Geschwindigkeit und Straßenbeschaffenheit zwischen 28 und 45 Litern Dieselkraftstoff.

Wieviel Kohlendioxid (und Wasserdampf) bei der Verbrennung des Kraftstoffs im Motor entstehen, läßt sich aus der Reaktionsgleichung ableiten. Dazu muß man wissen, daß "Diesel" zwar ein Gemisch aus vielen verschiedenen Kohlenwasserstoffen ist, zum großen Teil aber aus Hexadekan besteht. Die Dichte von Dieselkraftstoff beträgt etwa 0,85 g/cm³. Hexadekan ist ein Kohlenwasserstoff, dessen kleinste Teilchen jeweils aus 16 Kohlenstoff- und 34 Wasserstoffatomen bestehen.



Die Gewichtsverhältnisse erhält man, wenn man für die Teilchen die Atomgewichte in Gramm einsetzt:

$$\begin{array}{rcl} (16 \cdot 12 + 34 \cdot 1) + (24,5 \cdot 32) & \rightarrow & 16 \cdot (12 + 2 \cdot 16) + 17 \cdot (2 \cdot 1 + 16) \\ 226 + 784 & \rightarrow & 704 + 306 \end{array}$$

Aus 226 g Dieselkraftstoff entstehen also 704 g Kohlendioxid.

Wegen der Dichte von 0,85 wiegt ein Liter Diesel 850 g.

Aus einem Liter entstehen daher $(704 : 226 \cdot 850) = 2648$ g Kohlendioxid.

Beim Minimalverbrauch von 28 l/100 km verbrennt der LKW also

$$(7695 \cdot 28 / 100) = 2154,6 \text{ Liter}$$

und erzeugt dabei

$$(2154,6 \cdot 2648) = 5705380,8 \text{ g CO}_2, \text{ das sind } 5,7 \text{ Tonnen!}$$

Beim Maximalverbrauch von 45 l/100 km sind es 3462,8 Liter und 9,2 Tonnen CO₂.

Der Kohlendioxid-Nachweis

a) Im Labor wird auf einer feuerfesten Unterlage in einem flachen Gefäß (Porzellschale o.ä.) etwas Benzin verbrannt (zum Löschen einfach mit passendem Deckel abdecken oder Sand darüber streuen).

Die Verbrennungsgase werden durch eine Waschflasche gesaugt, die Calciumhydroxidlösung (gelöster gelöschter Kalk) enthält. Es entsteht sehr schnell ein dichter Niederschlag von Kalk.

Material

Porzellschale, Trichter, Schlauchstücke, Wasserstrahlpumpe oder andere Pumpe (alte Aquariumpumpe), Calciumhydroxidlösung (Achtung: reizt Haut und Augen, Spritzer sofort mit viel Wasser abwaschen!)

b) Kohlendioxid aus dem Auspuff

Durch Auslaufenlassen einer definierten Wassermenge aus einem Behälter wird eine bestimmte Luftmenge aus dem Auspuff eines laufenden PKWs durch eine Waschflasche mit Calciumhydroxidlösung (s.o.) gesaugt. Die schnell auftretende Trübung kommt von ausgefällten Calciumcarbonat.



EUROCOM

126,5 MIO. † AUTOABGASE BEDROHEN UNS JÄHRLICH. WANN GEHEN SIE ENDLICH VOM GAS?

Wenn wir weiterhin so sorglos mit der Erdatmosphäre umgehen, wird uns allen bald der Atem stocken.

Kein Wunder. Denn was Autos allein in Deutschland zur Luftverschmutzung beitragen, sorgt im wahrsten Sinne des Wortes für „dicke Luft“: Jährlich 119 Millionen Tonnen Kohlendioxid, 6,1 Millionen Tonnen Kohlenmonoxid, 1,4 Millionen Tonnen Stickoxide. So geht's nicht weiter.

Wir alle müssen umdenken. Wir müssen lernen, unsere Verkehrsmittel sinnvoller und überlegter zu gebrauchen. Und wesentlich häufiger Busse und Bahnen zu nutzen. So wie es täglich 25 Millionen Fahrgäste tun.

Je mehr Menschen umdenken, desto besser für uns alle. Viele sind schon auf dem richtigen Weg.

Wann gehen Sie endlich vom Gas?



**ZEIT ZUM UMDENKEN
BUSSE & BAHNEN**

Eine Initiative des Verbandes Deutscher Verkehrsunternehmen und der Deutschen Bundesbahn.

Anzeige der ÖPNV-Träger

Rechenbeispiele zum Kohlendioxid-Ausstoß, z.B. für eine Ausstellung oder eine Broschüre:

- | | | |
|-------------------------------------|---|-------------------|
| * Zeitung mit PKW vom Kiosk geholt | = | ? CO ₂ |
| * die tägliche Fahrt zum/zur | = | ? CO ₂ |
| * Drei Wochen Dänemark / Italien | = | ? CO ₂ |
| * Heizung (eines Einfamilienhauses) | = | ? CO ₂ |



Treibhausgase und ihre Verursacher : 2. FCKWs



Neben negativen Auswirkungen auf die Ozon-Schutzschicht tragen FCKWs auch zur Verstärkung des Treibhauseffektes bei, und zwar im Vergleich zu ihrer Menge stärker als Kohlendioxid (siehe Tabelle S. 48).

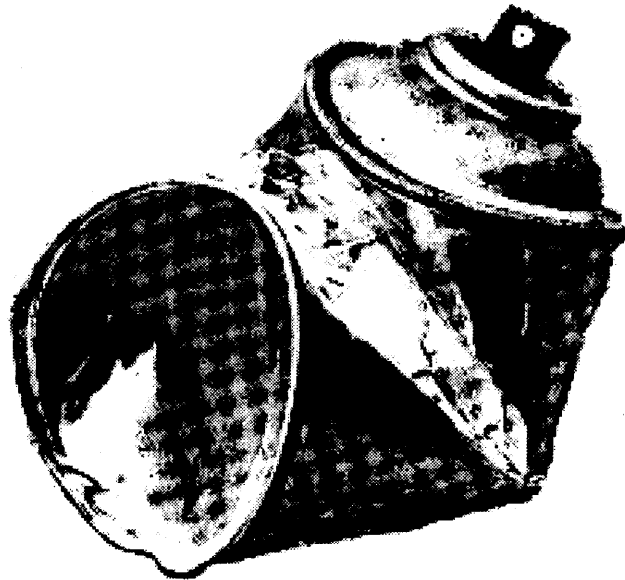
Warum hat niemand die mit diesem universell eingesetzten synthetischen Produkt verbundenen Risiken vorhergesehen?

Generell ist festzustellen, daß synthetische chemische Produkte Jahrzehnte lang als zentraler Bestandteil des Fortschritts betrachtet wurden. Es war lange Zeit verpönt, mögliche Folgen zu bedenken und zu benennen; auch die kritische Sicht Einzelner war meist auf das konkrete Umfeld gerichtet (Arbeitsschutz, Gesundheit der Anwohner, ... der Anwender). Öko-System-Wirkungen sind erst seit wenigen Jahrzehnten ein Thema und Gegenstand von Untersuchungen. Der Gedanke "Alles bleibt irgendwo" war noch in den 70er Jahren revolutionär.

Praktisch gilt für die FCKWs, daß unsichtbare Gase wenig Fragen aufwerfen; es fand eine Überbewertung des chemisch inerten Charakters statt (dabei wurde aber verkannt, daß FCKWs ohne Reaktion - d.h. ohne Abbau ! - ja irgendwo hätten bleiben müssen).

Die Nichteinbeziehung von Reaktionsmöglichkeiten in hohen Atmosphärenschichten hat jedoch einen besonderen Grund: Es konnte sich zunächst niemand vorstellen, daß FCKWs dorthin gelangen.

Erste Warnungen vor FCKW-Gefahren gab es übrigens bereits Anfang der 70er Jahre. Es dauerte aber mehr als ein Jahrzehnt, bis die kritischen Analysen innerhalb des wissenschaftlichen Bereiches Gehör fanden. Inzwischen gibt es (fast) weltweit Produktionseinschränkungen.



In Deutschland dürfen ab 1994 keine FCKWs mehr hergestellt werden; in der EG gilt das Produktionsverbot ein Jahr später.

Zu bedenken ist bei den FCKWs, daß in Kühlaggregaten und deren Isolation, sowie in Schaumstoffen noch große Mengen ruhen oder umlaufen. Diese kommen erst später in die Atmosphäre; und es wird womöglich weitere Jahrzehnte dauern, bis alle FCKWs sich bis zur Stratosphäre hinauf verteilt haben - und der Treibhauseffekt sein Maximum erreicht.

Bedenklich ist, daß Industrie und Politik zur Zeit immer noch auf teilhalogenierte Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe als Ersatzstoffe für die vollhalogenierten FCKWs setzen, trotz Kenntnis des teilweise sogar höheren Treibhauspotentials. Daß die im Vergleich ökologisch wesentlich günstigeren Propan-Butan-Gemische noch keine umfassende Anwendung finden, liegt allein in wirtschaftlichen Gründen.



Treibhausgase und ihre Verursacher : 3. Methan und andere

Auch **Methan** - Hauptbestandteil des Erdgas - erfüllt die Voraussetzungen für die treibhausaktiven Substanzen: seine kleinsten Teilchen bestehen aus 5 Atomen (CH_4) und können daher Strahlung in Wärme umwandeln; es ist beständig genug, um längere Zeit in der Atmosphäre zu verbleiben.

Quellen für Methan sind

- * Lecks bei der Erdgasförderung
- * Emissionen bei der Rinderzucht
- * Emissionen beim Reisanbau

Den größten Anteil hat dabei der Reisanbau - übrigens die einzige treibhausrelevante Emissionsquelle, die im Zusammenhang steht mit einer drastisch gewachsenen Weltbevölkerung - mit 150.000.000 Tonnen Methan pro Jahr. Auch unter Berücksichtigung der Tatsache, daß Methan den Treibhauseffekt 20 bis 25 mal stärker fördert als Kohlendioxid, ist der Gesamteffekt durch Methan dennoch geringer als beim Kohlendioxid: Dieses bleibt bis zu 20 mal länger als Methan in der Atmosphäre, und: aus menschlicher Tätigkeit kommen jährlich 20 Milliarden Tonnen davon in die Luft.

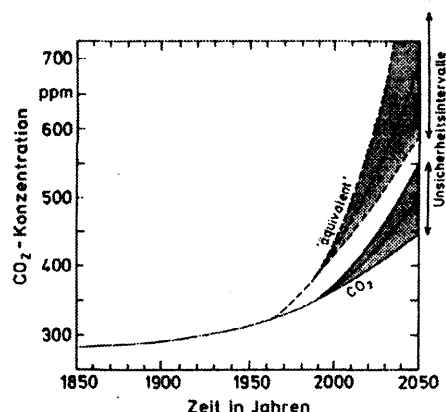
Der nächstgrößere Anteil Methan kommt mit 100 Millionen Tonnen (von insgesamt 300 bis 700 Millionen Tonnen) aus der Viehhaltung: Vor der Verarbeitung zu Steaks oder Hamburgern entlassen insbesondere die Mägen der Rinder große Mengen Methan in die Luft.

Als langlebige Stickstoffverbindung spielt als Treibhausgas das **Distickstoffoxid** N_2O eine wichtige Rolle. Hauptquelle ist die chemisierte Landwirtschaft. Durch Überdüngung und bakteriellen Abbau des überschüssigen Stickstoffs entsteht N_2O , aber auch aus Verbrennungsprozessen verschiedenster Art, z.T. wegen des Stickstoffgehaltes der fossilen Brennstoffe, zum Teil auf Grund der Verbrennungsbedingungen.

Ozon trägt insbesondere als Reaktionsprodukt verschiedener anderer Schadgase in den unteren Luftschichten zum Treibhauseffekt bei.

Eine besondere Rolle spielt schließlich der **Wasserdampf** aus Flugzeugabgasen. Während in den unteren Etagen der Troposphäre zusätzlich produzierter Wasserdampf ohne besonderen Effekt in den Wasserkreislauf eingeht, bleibt der Wasserdampf aus den Turbinen der hochfliegenden Jets längere Zeit in den hohen Luftschichten und trägt zum Treibhauseffekt bei.

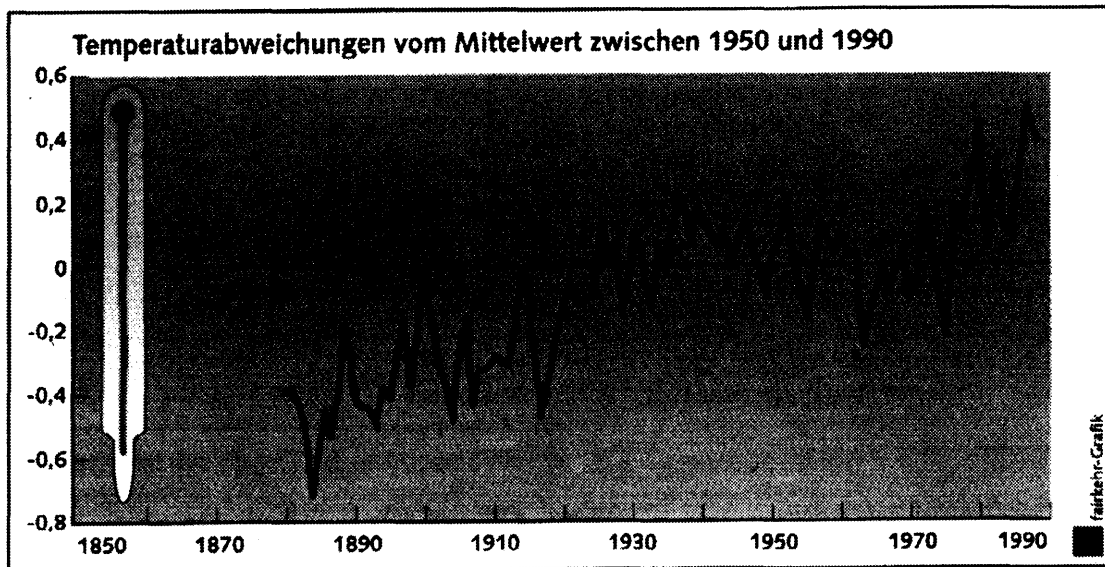
Alle Treibhausgase zusammengenommen und ausgedrückt in Äquivalenten von Kohlendioxid zeigt die Grafik *) ein beängstigendes Bild: Während die CO_2 -Konzentration für sich genommen bis zum Jahr 2050 einen Wert zwischen 450 ppm und 550 ppm erreichen wird, kommen durch die anderen Gase nochmals 150 bis 400 ppm hinzu.



*) Verändert nach: Christian-Dietrich Schönwiese, Klima im Wandel, Stuttgart 1992, S. 140

Die Folgen des Treibhauseffektes

Verglichen mit den Temperaturschwankungen zwischen Eiszeiten und erdgeschichtlichen Warmzeiten sind die heute festzustellenden Klimaveränderungen noch äußerst gering. Auch wenn die Schwankungen auf einen steigenden Trend hinweisen, so ist die Veränderung mit den zur Verfügung stehenden Mitteln noch nicht zweifelsfrei festzustellen.



Grafik aus: fairkehr, 8/92, S.26

Zwar hat sich in den letzten Jahrzehnten die mittlere Temperatur der Ozeane signifikant erhöht, auch gibt es ein leichtes Ansteigen des Meeresspiegels, jedoch sind alle diese Veränderungen noch im Rahmen der "normalen" Schwankungen des Klimageschehens. Fatalerweise ist eine letzte Sicherheit erst dann zu gewinnen, so der Klimaforscher Schönwiese, 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.

Daß immer noch einige Politiker und Fachleute einen Effekt der Treihausgasemissionen bestreiten, hat verschiedene Gründe: Zum einen sind handfeste wirtschaftliche Interessen dafür verantwortlich, denn jede Begrenzung z.B. des Kohlendioxidausstoßes bedeutet verminderte Umsätze in bestimmten Bereichen; zum anderen wurden die Klimamodelle, die eine Veränderung vorhersagen, sehr häufig revidiert und nachgebessert. Die ersten Modelle bezogen sich ausschließlich auf die Atmosphäre und kamen (von heute aus betrachtet) zu deutlich überzogenen Ergebnissen. Die spätere Einbeziehung der Ozeane - genauer der warmen oberen Wasserschichten - führte zu einer deutlichen Abschwächung der erwarteten Effekte, u.a. durch die Aufnahme von CO_2 aus der Luft und einen Austausch von Wärme. Einbezogen wurden u.a. auch die Sonnenfleckentätigkeit und verschiedene andere Faktoren wie die Tätigkeit von Vulkanen, die immer wieder als (Haupt-)Ursache für die Temperaturschwankungen verantwortlich gemacht wurden.



Die letzten Berechnungen zum Treibhauseffekt zeigen folgendes Bild:

- * Die Erwärmung etwas wird 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 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 mit großer zeitlicher Verzögerung stattfinden.

Maßnahmen

In erster Linie gilt auch hier - wie in allen anderen Umweltbereichen - die Regel: Vermeiden! Vermeiden heißt hier eine drastische Reduktion des Verbrauchs von Energie auf Basis von fossilen Brennstoffen, beim Verbrennungsmotor in PKW und LKW, bei der Stromerzeugung in Kohle-, Öl- und Gaskraftwerken, beim Heizen und in der industriellen Technik. Die möglichen Maßnahmen

- Auto stehen lassen und Rad benutzen, wo immer es geht
 - Energie sparen durch moderne Geräte mit sparsamen Technologien
 - Wärmedämmung im Wohnungsbau
- sind noch lange nicht ausgeschöpft. Insbesondere aber müssen Brennstoffe zu einem Preis verkauft werden, der ihre Folgekosten in der Umwelt mitberücksichtigt. Solange Benzin immer noch billiger ist als Mineralwasser, wird sich am Kohlendioxidausstoß durch den PKW-Verkehr wenig ändern. Vom Staat ist zu fordern, daß mehr Geld in die Forschung und Entwicklung von Technik auf Basis erneuerbarer Energiequellen zu investieren ist: Sonnenenergie - Kollektoren wie Solarzellen, Wind- und Wasserkraft ...

Mit Ökosteuern auf du und du

Die CO₂-Abgabe

Auf dem Umweltgipfel in Rio wurde sie von der Bundesregierung groß angekündigt, doch nun ist sie zumindest in Bonn vom Tisch: die Kohlendioxid-Steuer. Nach Plänen der EG-Kommission sollte eine CO₂-Steuer auf den Energieträger Öl erhoben werden, durch den hauptsächlich CO₂-Emissionen verursacht werden. Zunächst war eine Abgabe von drei Dollar je Barrel Öl (das sind 159 Liter) vorgesehen, die stufenweise bis zum Jahr 2000 auf zehn Dollar erhöht werden sollte. Die Kommission in Brüssel hoffte, damit den Ausstoß von Kohlendioxid bis zur Jahrtausendwende auf dem Niveau von 1990 stabilisieren zu können.

Kohlendioxid gilt als eine der Hauptursachen für die sich anbahnende Klimakatastrophe. Die Bundesregierung, die ursprünglich den Vorstoß der Kommission unterstützen wollte, hat mittlerweile einen Rückzieher gemacht. Sie glaubt, die Wirtschaft und den Verbraucher in der momentanen Situation nicht mit zusätzlichen Abgaben belasten zu können.

Der Grundgedanke dieser Ökosteuer besteht darin, die Ölpreise zu erhöhen, um einen reduzierten Verbrauch und eine bessere Nutzung fossiler Energie herbeizuführen. Die CO₂-Steuer schafft dauerhafte Anreize für die Industrie, umweltfreundlichere Technologien zu

entwickeln und bei der Produktion zu verwenden, so lautet das Argument. Gleichzeitig bekamen auch die VerbraucherInnen am Portemonnaie zu spüren, welchen Beitrag sie zur Klimakatastrophe leisten.

Sparsamere Autos und weniger Fahrten wären zum Beispiel erhoffte Wirkungen. Entscheidend für den Erfolg ist die Höhe der CO₂-Steuer. Nur wenn sie hoch genug ist, um teurere, aber umweltfreundlichere Technologien lukrativ zu machen, ist sie sinnvoll. Ansonsten wäre sie lediglich ein Kassenfüller für den Staat, und die Umwelt diene nur als Alibi.

Die Einnahmen der CO₂-Steuer sollten in den Umweltschutz investiert werden. In Frage kämen Maßnahmen, die zusätzlich den CO₂-Ausstoß vermindern helfen, wie der Ausbau des öffentlichen Nahverkehrs. Dagegen wäre es abzulehnen, wenn diese Steuereinnahmen dem Verschmutzer wieder zukommen würden.

Das Bundesfinanzministerium hatte dies früher geplant, indem es als Ausgleich für die CO₂-Steuer die Kilometerpauschale für Autofahrer erhöhen wollte. Durch solche Ausgleichsmaßnahmen würde sich der Druck auf den Verschmutzer wieder verringern, sich umweltkonform zu verhalten. Die CO₂-Steuer verlore an Wirkung.

André Tomfort



Quellenangaben

ARGE Umwelterziehung (Österreich): Umwelterziehung. Sonderheft 1b/93 "Dem Ozon auf der Spur". Wien 1993

Drägerwerk AG (Hrsg.): Dräger-Röhrchen Handbuch. Lübeck 1991 (8. Ausgabe)

Hessische Landesanstalt für Umwelt (Hrsg.): Lufthygienischer Monatsbericht August 1992. Wiesbaden 1992

Hessische Landesanstalt für Umwelt (Hrsg.): Auswirkungen von Ozon auf Pflanzen. Bewertung hessischer Ozonprofile. Reihe Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz, Heft Nr. 143, Wiesbaden 1992

Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten / Hess. Ministerium für Jugend, Familie und Gesundheit (Hrsg.): Problem Ozon. Informationen zur Ozonbelastung am Boden während der Sommermonate. Wiesbaden 1992

Jürgen Nakott: Sonnenbrand. In: Bild der Wissenschaft 6/1992, S. 38 - 42

Chr.-D. Schönwiese: Klima im Wandel. Tatsachen, Irrtümer, Risiken. Stuttgart 1992

Umweltbundesamt (Hrsg.): Daten zur Umwelt 1990/91. Berlin 1992

Umweltbundesamt (Hrsg.): Klimaveränderung und Ozonloch. Zeit zum Handeln. Berlin 1990

VCD: fairkehr, verschiedene Ausgaben

ZEIT-Magazin, verschiedene Ausgaben

Hinweise auf weitere Materialien zum Thema

AG Naturwissenschaften sozial: Luft zum Leben, I. Methoden zur Messung der Luftbelastung. Marburg 1990

AG Naturwissenschaften sozial: Wetterbeobachtung - Klima - Klimagefahren. Marburg 1992

Bundesminister für Bildung und Wissenschaft (Hrsg.): Schutz der Erdatmosphäre - eine Herausforderung an die Bildung. Bonn 1990

BUND: Globus-Begleithefte zur ARD-Fernsehreihe

Deutscher Bundestag: Enquetekommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre". Bonn 1990

IZE (Hrsg.): Stromdiskussion. Sonderheft "Weltklima in Gefahr?" Frankfurt 1989

Naturwissenschaften im Unterricht - Chemie: Themenheft "Luft und Luftreinhaltung". Heft 4/91

Schriftenreihe der Arbeitsgemeinschaft Natur- und Umwelterziehung e.V. (Hrsg.): Band 4 "Schützt die Erdatmosphäre!", Herford o.J.

Sebastian Hellweger, Willi Roer: Ozonloch. Mülheim 1989

Institut für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht (FWU): in Vorbereitung (Mitte 1993) sind Filme zu den Themen: Ozon/Ozonloch, Treibhauseffekt, FCKW



Adressen von Ministerien, Institutionen und Verbänden,

die weitere Auskunft zu Fragen der Luftbelastung geben können bzw. Materialien dazu bereithalten:

DEUTSCHLAND

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Referat Öffentlichkeitsarbeit,
Postfach, 5300 Bonn 1

Bundesministerium für Forschung und Technologie, Referat 521 (Klima- und
Atmosphärenforschung), Postfach 200240, 5300 Bonn 2

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Referat Öffentlichkeitsarbeit,
Postfach 120629, 5300 Bonn 1 BUND - Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.,
Im Rheingarten 7, 5300 Bonn 3

Deutsche Meteorologische Gesellschaft e.V., Sekretariat, Mont Royal, 5580 Traben-Trarbach

Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre", Deutscher Bundestag, Bundeshaus, 5300 Bonn 1

Informationsstelle Umwelt, Gesellschaft für Umwelt und Gesundheit (GSF),
Ingolstädter Straße 1, 8042 Neuherberg

Umweltbundesamt, Bismarckplatz 1, 1000 Berlin 33

Umweltstiftung WWF Deutschland, Hedderichstraße 110, 6000 Frankfurt/M. 70

Umweltstiftung WWF Deutschland - Fachbereich Umweltbildung. c/o Ökologiestation,
Am Güthpol 9, 2820 Bremen 70

In den Ländern:

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz, Lindenstraße 20 - 25, 1000 Berlin 61

Umweltbehörde der Freien und Hansestadt Hamburg, Steindamm 22, 2000 Hamburg 26

Ministerium für Natur, Umwelt und Landesentwicklung des Landes Schleswig-Holstein,
Grenzstraße 1 - 5, 2300 Kiel 14

Der Senator für Umweltschutz und Stadtentwicklung, Hinter dem Ansgarikirchhof 14, 2800 Bremen 1

Niedersächsisches Umweltministerium, Archivstraße 2, 3000 Hannover

Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen,
Schwannstraße 3, 4000 Düsseldorf 30

Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten,
Mainzer Straße 8, 6200 Wiesbaden

Ministerium für Umwelt und Gesundheit des Landes Rheinland-Pfalz,
Kaiser-Friedrich-Straße 7, 6500 Mainz

Ministerium für Umwelt des Saarlandes, Hardenbergstraße 8, 6600 Saarbrücken

Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg, Kernerplatz 9, 7000 Stuttgart

Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen,
Rosenkavalierplatz 2, 8000 München 81

Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg,
Albert-Einstein-Straße 42 - 46, O-1561 Potsdam

Ministerium für Umwelt des Landes Mecklenburg-Vorpommern, Schloßstraße 6 - 8, O-2750 Schwerin

Ministerium für Umwelt und Naturschutz des Landes Sachsen-Anhalt,
Pfälzer Straße, O-3024 Magdeburg

Ministerium für Umwelt und Landesplanung des Landes Thüringen,
Richard-Breslau-Straße 11 a, O-5082 Erfurt

Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung, Ostra-Allee 23, O-8012 Dresden

ÖSTERREICH

Bundesministerium für Umwelt, Jugend & Familie, Radetzkystr. 2, 1031 Wien, Tel. 0222/711578



- * Ab Juni 93 wird ein Tonbanddienst installiert (Nr. noch nicht bekannt)
- * Kostenlos erhältliche Broschüren/Publikationen:
 - "Betrifft Ozon", 1992 - nur noch in geringer Auflage
 - "Umweltferienkalender" mit O₃-Informationen für alle Bundesländer, 1992
 - "Ozoninformationspaket", 1992 - wird aktualisiert
 - "Informationsbroschüre - Ozon" - erscheint im Juni 93!

Umweltbundesamt Wien, Spittelauer Lände 5, 1090 Wien, Tel. 0222/31304/860

- * Mündliche "Ozon-Auskunft"
- * Kostenlose Publikationen aus der "Blau-weißen-Reihe" über bestimmte einzelne Luftschadstoffe

Ozon-Informationsstellen u. Luftgüteberichte - Tonbanddienste in den Ländern

Wien, MA 22, Umweltschutz, Ebendorfer Str. 4, 1010 Wien, Tel. 0222/4000/8820

Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Abt. B/10,
Operngasse 21, 1040 Wien, Tel. 0222/53110/4444

Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Abt. Immissionsschutz,
Goethestr. 86, 4020 Linz, Tel. 0732/1510
"Ozon-Auskunft" direkt - Grünes Telefon: 0732/2720/3300

Amt der Salzburger Landesregierung, Abt. 16, Referat für Umweltschutz,
Michael-Pachler-Str. 36, 5020 Salzburg, Tel. 0662/1526

Amt der Steiermärkischen Landesregierung, FA Ia, Referat Luftgüteuntersuchung,
Landhausgasse 7, 8100 Graz, Tel. 0316/1526

Amt der Kärntner Landesregierung, Abt. 15 - Umweltschutz, UA Luftreinhalteung,
Flatschacher Str. 70, 9020 Klagenfurt, Tel. 0463/1550

Amt der Tiroler Landesregierung, Abt. III f 3,
Bürgerstr. 36, 6020 Innsbruck, Tel. 0512/1552

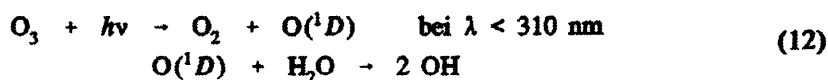
Umweltinstitut des Landes Vorarlberg, Monfortstr. 4, 6901 Bregenz, Tel. 05574/1552

Amt der Burgenländischen Landesregierung, Abt. XIII/4 - Maschinenbau,
7000 Eisenstadt, Tel. 02682/2888



Die Bildung von bodennahem Ozon - Eine ausführliche chemische Darstellung *)

Die Bildung von anthropogenem "Überschuß-Ozon" wird vom Hydroxylradikal OH katalysiert, das sich in vergleichbar großen Mengen aus atomarem aktiviertem Sauerstoff und Wasser (Wassermoleküle sind in der Regel die dritthäufigsten Moleküle in der Troposphäre) bei der Photolyse von Ozon

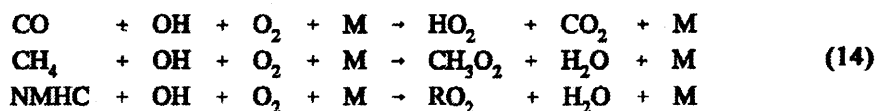


und bei der Photolyse von Salpetriger Säure

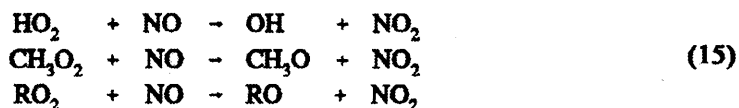


bildet.

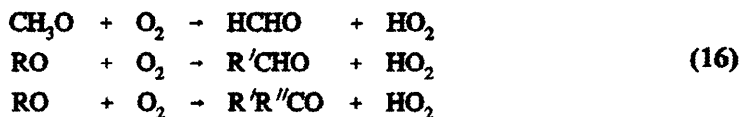
Die katalytische Oxidation von NO zu NO₂ wird über die Oxidation von CO, CH₄ oder NMHC ausgelöst.



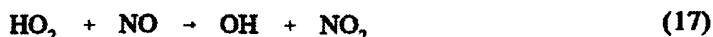
Die gebildeten Peroxyl-Radikale reagieren mit NO zu NO₂.



Die in Reaktion (15) entstehenden Alkoxy-Radikale reagieren mit O₂ zu Aldehyden oder Ketonen und Hydroperoxyl-Radikalen, wobei die Photolyse der Aldehyde und Ketone eine Kettenverzweigung darstellt, die zu weiteren Hydroperoxyl-Radikalen führt.

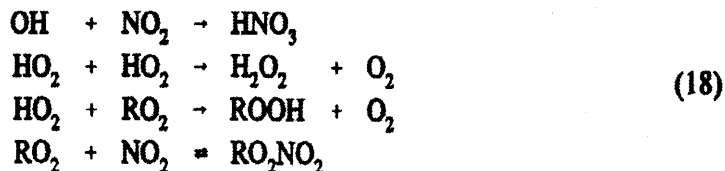


Das Hydroperoxyl-Radikal reagiert mit NO zu NO₂ unter Rückbildung des Hydroxyl-Radikals.



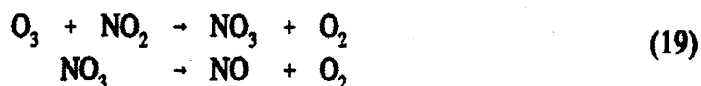
*) Aus: Hess. Landesanstalt für Umwelt (Hrsg.), Auswirkungen von Ozon auf Pflanzen. Wiesbaden 1992, S. 6-8

Kettenabbruchreaktionen sind die Bildung von Wasserstoffperoxid H_2O_2 , Carbonsäuren $ROOH$, Salpetersäure HNO_3 , etc. Die Reaktion von Peroxyl-Radikalen RO_2 mit NO_2 zu Peroxyalkylnitrat, deren wichtigster Vertreter das Peroxyacetylnitrat PAN ist, ist eine Gleichgewichtsreaktion und damit im engeren Sinne keine Kettenabbruchreaktion.



Man kann die Summe dieser Reaktionen (6,7, 12-17) als autokatalytische Ozonbildung auffassen. Folge dieser autokatalytischen Reaktion ist theoretisch ein lawinenartiges Anwachsen der Ozonkonzentration (Abb. II-1).

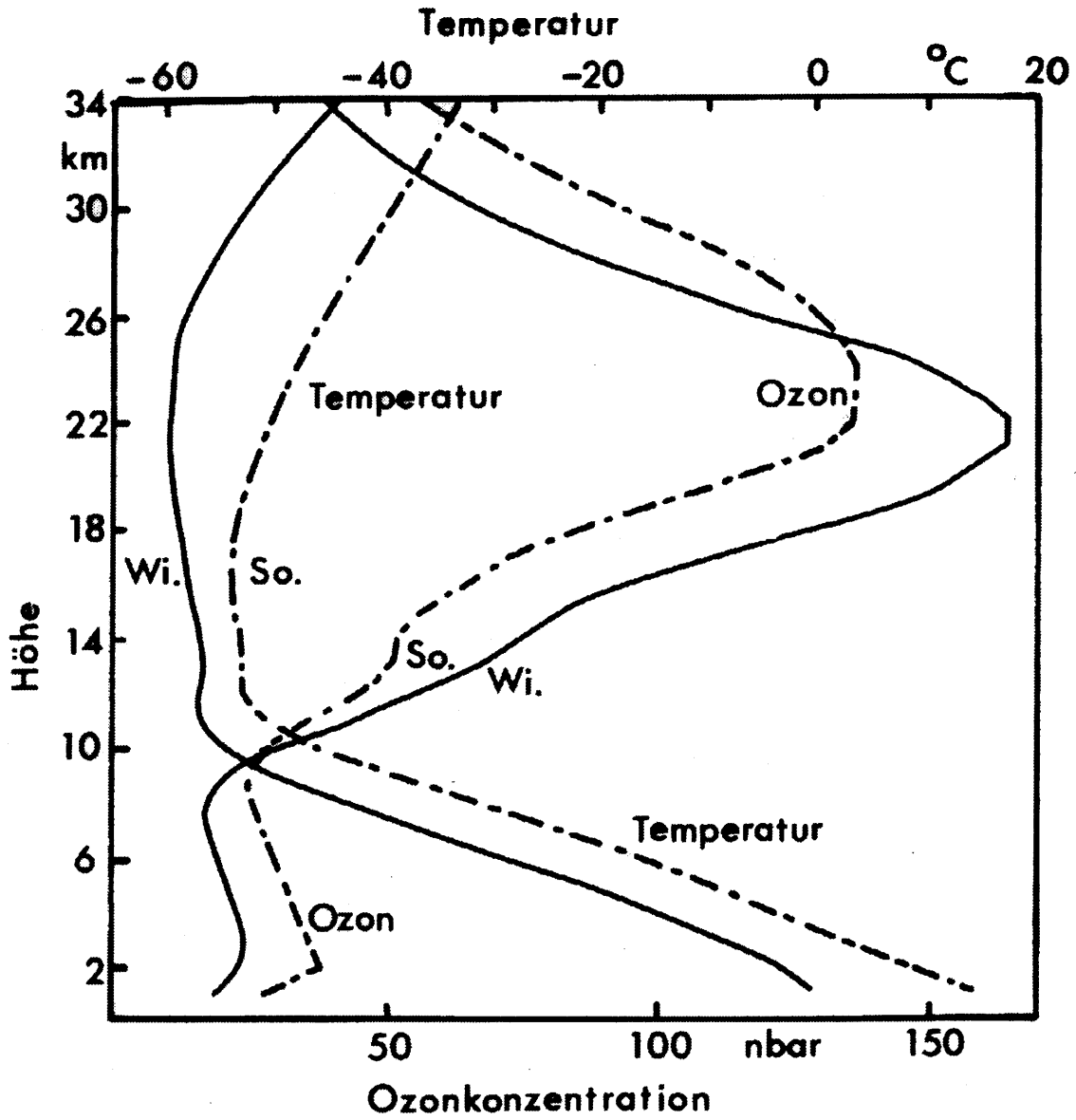
Aus Reaktion (16) wird außerdem deutlich, daß die O_3 -Bildung über die NO_2 -Bildung in belasteten Atmosphären mit der Entstehung von Aldehyden verknüpft ist. Aldehyde sind typische Bestandteile des photochemischen Smogs. Die in Reaktion (8) beschriebene Reaktion zweiter Ordnung ist eine wichtige Senke für Ozon. Daneben tritt in belasteten Atmosphären noch eine weitere Reaktion mit Stickstoffoxiden ein:



Die O_3 -Konzentrationen in der belasteten Atmosphäre sind also das Ergebnis zweier gegenläufiger Reaktionen, von denen die eine (Bildung) nur bei ausreichendem Sonnenschein und die andere (Zerfall) ständig abläuft. Die Bildungsreaktionen verlaufen dabei schneller als die Zerfallsreaktionen.



Die Atmosphäre in Übersicht*)



*) Nach: Christian-Dietrich Schönwiese, Klima im Wandel, Stuttgart 1992, S. 122



"Jugend schützt Natur"

Mach' mit!

Hallo Leute! Hattet Ihr in Eurer Gruppe schon viele gute Ideen für ein Umweltschutzprojekt, doch es fehlte bisher die Unterstützung?



Das ist jetzt kein Problem mehr.

Der WWF fördert gemeinsam mit der AOK bundesweit Schüler- und Jugendgruppen, die sich für den Natur- und Umweltschutz engagieren. Mit fachlichem Rat und finanzieller Hilfe bekommen Jugendliche die Möglichkeit, Umweltschutzprojekte in die Tat umzusetzen.

Und so wird es gemacht:

Zu Eurer Idee - z.B. Klimaprojekt zur WWF-Ozon-Kampagne, Artenschutz- oder Tropenwaldaktion, Recyclingprojekt oder Biotopanlage - überlegt Ihr die notwendigen Planungsschritte. Mit diesen Plänen im Kopf geht es zur AOK. Dort erhaltet Ihr einen Förderantrag, den Ihr ausgefüllt bei der AOK abgebt. Die AOK schickt den Antrag an den WWF, der ihn beurteilt und die Fördersumme festlegt.


Mit Eurem Projekttagbuch, das auch die Verwendung der Mittel dokumentiert, nehmt Ihr automatisch an einem Wettbewerb teil. Die interessantesten Projekte haben die Chance, mit dem "Großen Panda" ausgezeichnet zu werden.

Also nichts wie ran. An mangelnder Unterstützung soll Euer Umweltschutzprojekt nun nicht mehr scheitern.

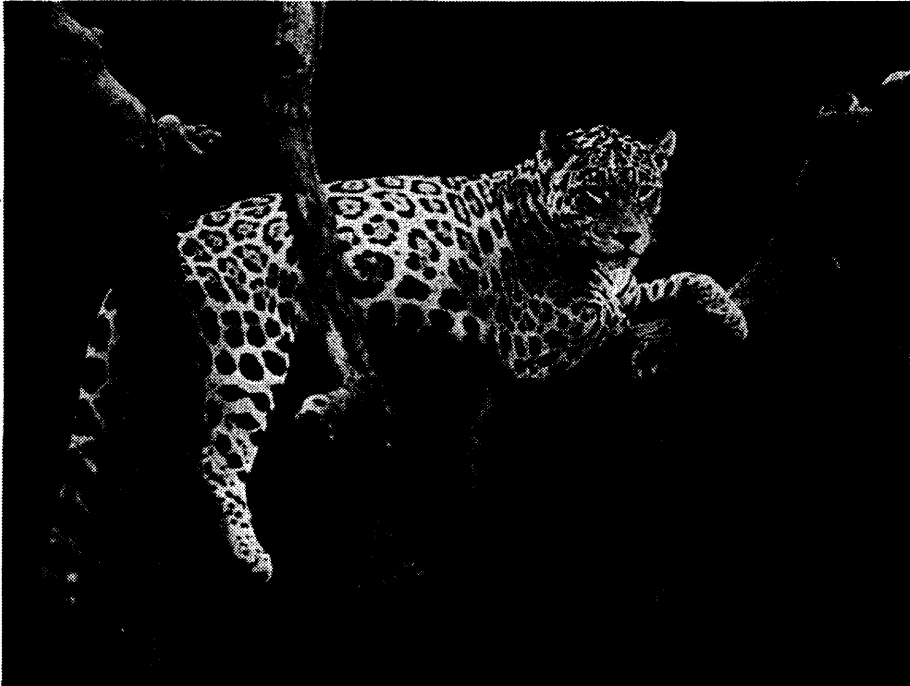
O₃, FCKW, CO₂, SO₂, SOS.



Längst hat der blaue Planet auf Satellitenfotos einen Grauschleier. Denn mit dem Ozonloch schwindet sein Schutzschild. Gifte und Gase aus Spraydosen, Auspuffrohren und Schornsteinen nehmen uns den Atem.

Deshalb kämpft der WWF für drastische Luftschadstoff-Reduzierungen und verbesserte Techniken.  WWF

Mensch, die Zeit drängt.



Der Natur ihren Lauf Unterrichtsmaterialien für die Schule

Waldsterben, die Zerstörung der Ozonschicht, Wasser- und Luftverschmutzung sind nur einige der Schlagworte zur globalen Bedrohung unserer Umwelt. Daher greifen viele Lehrerinnen und Lehrer diese Themen in der Schule auf: denn nur eine intensive Beschäftigung mit den Fragen zur Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen für Menschen, Tiere und Pflanzen kann die Ursachen für die Umweltschädigungen transparent machen sowie Handlungsmöglichkeiten und Perspektiven aufzeigen.

Um die Umwelterziehung in der Schule zu unterstützen, bietet der Schroedel Schulbuchverlag in Zusammenarbeit mit der Umweltstiftung WWF-Deutschland mit der Reihe UMWELT-SERVICE praxiserprobte Unterrichtsmaterialien mit vielen Hintergrundinformationen und Tips, Arbeitsblättern und Kopiervorlagen an.



Schroedel Schulbuchverlag GmbH
Hildesheimer Straße 202-206, 3000 Hannover 81, Telefon (0511) 83 88-0