

GREENPEACE *Hintergrundinformation*

**Ozonschicht,
FCKW und
Ozonloch**

Grundlagen, aktuelle Situation
und Trends

März 1996

GREENPEACE Klimabereich, Hausanschrift: Große Elbstr. 39, 22767 Hamburg; Postadresse:
GREENPEACE e.V., 22745 Hamburg; Tel.: 040-30618-380, Fax: 040-30618-130; Datenzusammenstellung:
Öko-Recherche, Frankfurt; Überarbeitung: Dr. Oliver Worm; v.i.S.d.P.: Rosemarie Kraft

1. WAS IST DIE OZONSCHICHT ?

1.1. Die natürliche Ozonverteilung

Ozon ist ein natürliches Gas, das sich in einem bestimmten Teil der Erdatmosphäre, in der sogenannten **Stratosphäre** in 15 bis 50 km Höhe, unter Einfluß starker Sonnenstrahlung bildet. Mit Hilfe der Sonnenenergie verbinden sich dabei ein Sauerstoffmolekül (O_2) und ein Sauerstoff-Atom (O) zu Ozon (O_3). In der oberen Stratosphäre laufen dabei - vereinfacht - folgende Prozesse ab:

- Aus Luftsauerstoff bildet sich durch kurzwellige UV-C-Strahlung Ozon.
- Ozon selbst absorbiert mittelwellige UV-B-Strahlung und zerfällt dabei letztlich wieder zu Sauerstoff.

Im ungestörten Zustand stellen beide Prozesse ein Gleichgewicht mit einer bestimmten (von der Temperatur und der Sonneneinstrahlung abhängigen) Ozonkonzentration ein - in der Gesamtheit über die Stratosphäre "**die Ozonschicht**" genannt.

Das Ozon befindet sich somit in einer über mehrere Kilometer Höhe verteilten Schicht der Stratosphäre. Sie schützt die Erdoberfläche vor den UV-Strahlen der Sonne. Unter Normaldruck und bei 0 Grad Celsius wäre die gesamte Ozonschicht nur 3 bis 5 Millimeter dick. Aber ohne sie wäre kein Leben auf der Erde möglich.

Die natürliche Konzentration des Gesamt Ozons in der Atmosphäre (Maßeinheit: Dobson Unit, DU; siehe Kasten) ist je nach Ort und Zeit unterschiedlich. Sie hängt von den atmosphärischen Windverhältnissen ab. Die durchschnittliche Ozonkonzentration liegt bei 300 Dobson Units, sie variiert jedoch geographisch von etwa 230 bis 500 DU. Am niedrigsten ist sie über der Äquatorialzone, da die ozonreiche Luft vom Tropengürtel polwärts verfrachtet wird. Die höchsten Ozonkonzentrationen werden über der kanadischen Arktis und Sibirien gemessen.

Dobson Unit (DU): Maß für die Ozonmenge in der Lufthülle über einem geographischen Punkt. 100 DU entsprechen einer Schichtdicke von 1 Millimeter bei Normal-Luftdruck. Man rechnet also den Ozongehalt in der gesamte Luftsäule auf die Dicke der Schicht um, die die Ozonmenge unter dem Luftdruck einnehmen würde, der auf der Erdoberfläche herrscht.

Die Ozon-Verfrachtung erfolgt je nach Klima und Luftzirkulation schubweise. Es kommt daher zu einem ausgeprägten Jahresgang der Ozonkonzentration. Abb. 1 zeigt den Jahresgang für die meteorologische Meßstation Hohenpeißenberg seit 1991 (nach Ozonbulletin DWD 4/94).

Die Ozonkonzentration ist noch von anderen natürlichen Faktoren abhängig, so u.a. von der etwa alle zwei Jahre wechselnden Windrichtung in der Stratosphäre über dem Äquator, von der mit dem Sonnenfleckenzyklus zu- und abnehmenden Strahlungsintensität der Sonne (Solarstrom) und von der zeitweiligen Wirkung großer

Vulkaneruptionen, die u.a. Schwefelsäureteilchen ausstoßen, die den Ozonabbau fördern.

Fazit: Die Ozonschicht in der Atmosphäre über uns ist keine zu jeder Zeit und an jedem Ort einheitlich dicke Schicht, sondern sie unterliegt Schwankungen ihrer Dichte. Mit diesen natürlichen Schwankungen der Ozonschichtdicke können die Organismen gut leben. Etwas ganz anderes ist die zusätzliche Ausdünnung und Zerstörung der Ozonschicht durch den Menschen.

2. WODURCH WIRD DIE OZONSCHICHT ZERSTÖRT?

2.1. Ozonschicht-zerstörende Substanzen

Die Ozonschicht wird in zunehmendem Maße durch die Freisetzung von Chlor und Brom aus verschiedenen Halogenverbindungen (besonders FCKW, Halone und Methylbromid) zerstört.

Bei den FCKW handelt es sich um Fluorchlorkohlenwasserstoffe, die in der Kälte- und Klimatechnik oder als Treibgas zum Beispiel bei der Herstellung von Schaum- und Dämmstoffen in großen Mengen Verwendung fanden und z.T. noch finden. Halone (Bromchlorkohlenwasserstoffe) werden als Feuerlöschmittel verwendet. Methylbromid wird als Pestizid und zur "Bodenbegasung" eingesetzt.

FCKW und Halone sind äußerst stabile und langlebige synthetische Verbindungen. Sie tragen Chlor und Brom in die Atmosphäre ein. Wenn sie aus Kälteanlagen, Schaum- und Dämmstoffen oder Feuerlöschern freigesetzt sind, steigen sie langsam in die höheren Schichten der Atmosphäre auf. (Alle Gase verteilen sich durch sogenannte "Eddy-Diffusion" gleichmäßig in der Atmosphäre, sofern sie langlebig genug sind.) Dabei benötigen FCKW- und Halonmoleküle mindestens zehn Jahre, bis sie die Ozonschicht erreicht haben. Dort geraten sie unter "Beschluß" energiereicher UV-Strahlung. Sie spaltet die FCKW- und Halonmoleküle und setzt das ozonabbauende Chlor und Brom frei.

FCKW haben eine solch lange Lebensdauer, daß sie vom Boden bis in die Stratosphäre aufsteigen können. Dieser Prozeß dauert Jahre. Entsprechend lange nach ihrer Freisetzung tritt der Ozonerstörungseffekt der FCKW ein.

Das natürliche Gleichgewicht des Ozonauf- und -abbaus in der Stratosphäre wird somit durch die Freisetzung von bestimmten Schadstoffen gestört, die in der Wirtschaft (Industrie, Landwirtschaft, Verkehr etc.) und beim Konsum freigesetzt werden. Diese Spurenstoffe können katalytisch Ozon abbauen. Katalytischer Abbau heißt, daß diese Stoffe mit dem O_3 in der Weise reagieren, daß sie nach dessen Umwandlung in O_2 wieder unverändert vorliegen und der Abbauprozess von neuem beginnen kann. Dazu gehören insbesondere Chlor und Brom, die aus FCKW, H-FCKW (= teilhalogenierten FCKW), Halonen, Methylbromid und Methylchlorid stammen. Ein Chloratom kann auf diese Weise über zehntausend Ozon-Abbauzyklen in Gang setzen. Das Bromatom ist noch wesentlich

wirksamer als Chlor. Trotz der vergleichsweise geringen Bromkonzentration in der Stratosphäre gehen daher etwa 20 Prozent des Ozonabbaus auf Reaktionen mit Brom zurück. Neben Brom und Chlor spielen Stickoxide eine wichtige Rolle, die aus Verbrennungsprozessen, Bodenausgasungen (Lachgas) und dem Flugverkehr stammen.

Die wichtigsten natürlichen Chlor- und Bromquellen sind ozeanische Ausgasungen von Methylchlorid und Methylbromid, die aus biologischen Prozessen sowie aus Bränden von Biomasse stammen. Sie sind seit Jahrtausenden Bestandteil des natürlichen Gleichgewichts des Ozonauf- und -abbaus und haben insofern mit der menschengemachten Ozonschichtzerstörung nichts zu tun.

Anders die vom Menschen geschaffenen (anthropogenen) Chlor- und Bromquellen: Sie verursachen unter bestimmten atmosphärischen Bedingungen einen drastischen Abbau des Ozons. Anhand von Meßdaten des NASA-Satelliten UARS konnte berechnet werden, daß über 80 Prozent des Chlors in der Stratosphäre menschlichen Ursprungs ist.

Voll- und teilhalogenierte FCKW wurden in der Vergangenheit - und werden z.T. noch immer - in großen Mengen als Kältemittel für die Haushalts-, Gewerbe- und Industriekühlung, bei der Raum- und Fahrzeugklimatisierung, als Treib- und Isoliergas bei der Kunststoffschäumung, in Sprays und für andere Zwecke eingesetzt. Diese FCKWs sind so stabil, daß sie sich in den unteren Schichten der Atmosphäre praktisch nicht zersetzen. Erst in der Stratosphäre, bei starker UV-Strahlung, beginnt der Abbau. Ein großer Teil der FCKW ist in den letzten Jahrzehnten schon beim Gebrauch in die Atmosphäre freigesetzt worden oder bei der Verschrottung und "Entsorgung" von Geräten und Materialien ausgegast. Zum anderen Teil stecken sie noch als sog. "Bunker" in alten Schaumstoffen und Kühlgeräten, die auf Deponien verrotten oder noch in Betrieb sind. Bis vor kurzem wurden ungeheure Mengen an FCKW - 1988 im Maximum etwa 1,1 Millionen Tonnen - produziert und freigesetzt.

Selbst bei Rückgang des FCKW-Verbrauchs ist wegen der langen Aufstiegs- und Lebensdauer das Maximum des Chlor- und Bromeintrags in die Stratosphäre und damit das Maximum des Ozonabbaus noch lange nicht erreicht. Gegenwärtige Prognosen der World Meteorological Organization (WMO) gehen davon aus, daß es frühestens um das Jahr 2005 erreicht sein wird.

Nach Greenpeace-Berechnungen wurden in der Bundesrepublik 1995 aus bestehenden Anlagen Substanzen mit einem ozonzerstörenden Potential in einer Menge freigesetzt, die annähernd 3.000 Tonnen FCKW-11-Äquivalenten entspricht. Dazu kam 1995 fast die gleiche Menge frisch eingesetzter FCKW (2.700 Tonnen FCKW-11-Äquivalente). Weitere anthropogene Chlor-Quellen waren u.a. Methylchlorid und Trichlorethan, bekannt aus der Metalloberflächenreinigung. Trotz der deutlichen Verminderung des FCKW-Verbrauchs in der Bundesrepublik wird der Eintrag von FCKW und H-FCKW in die Atmosphäre aus alten und neuen Produkten in den nächsten Jahren und Jahrzehnten noch weitergehen.

Anthropogene Brom-Quellen sind die Halone (Feuerlöschmittel) und Methylbromid, das u.a. bei der Verbrennung bleihaltigen Benzins, bei der Bodenbegasung und bei Brandrodungen freigesetzt wird. Methylbromid spielt in der Bundesrepublik eine

nachgeordnete Rolle, wird international aber noch in großem Umfang (Bodenbehandlung, Pflanzenschutz) verwendet. In der Bundesrepublik wurde die Freisetzung von Halonen aus alten Feuerlöschern und Feuerlöschanlagen, in denen sie nicht mehr verwendet werden dürfen, für 1995 auf etwa 200 Jahrestonnen geschätzt. Wegen des hohen ozonschichtzerstörenden Potentials der bromierten Halone entspricht dies etwa 2000 Tonnen FCKW-11.

2.2. Ozonabbau und Ozonschichtzerstörung - Haupttrends und -perspektiven

2.2.1. Die kontinuierliche Verminderung des Gesamtozons

Langfristige Meßreihen lassen einen seit den siebziger Jahren eindeutigen Trend zum Ozonabbau erkennen. **Der Ozonabbau betrifft alle Regionen der Erde und ist je nach Breitengraden unterschiedlich stark ausgeprägt.** Nur über der Äquatorialzone trifft dies wegen der dort hohen Ozon-Neubildung (starke Sonneneinstrahlung) nicht zu. Polwärts nimmt der Ozonverlust zu. Er hat sich in den letzten Jahren beschleunigt.

Die globale mittlere Ozonkonzentration lag für die Jahre 1964-1980 bei 306 Dobson Units (DU), für die Jahre 1984-1993 bei 297 DU, also 3 Prozent niedriger. Diese Werte schließen die großflächige Äquatorialzone ein. **Der Ozonverlust über Europa und Nordamerika (einschließlich der Pol-nahen Regionen) liegt nach Angaben der WMO seit den 70er Jahren bei etwa 10 Prozent.**

In Mitteleuropa wird die Konzentration des atmosphärischen Gesamtozons seit 1926 durch das Lichtklimatische Observatorium in Arosa gemessen. Die Jahresmittelwerte (Abb. 2) ergeben für die Jahre 1926 bis 1994 im Durchschnitt eine jährliche Ozonminderung um 0,06 Prozent, in den letzten Jahren mit wachsendem Tempo.

In Deutschland verfügen wir seit 1967 über eine Meßreihe vom Meteorologischen Observatorium Hohenpeißenberg (vgl. Abb. 3). Der langfristig gemittelte Trend des Ozonabbaus liegt hier bei 0,14 Prozent pro Jahr. Die Abbaurate in den letzten 15 Jahren liegt noch deutlich darüber. (Abb. 4)

2.2.2. Die "Ozonlöcher" über der Antarktis und der Arktis

Über der Antarktis, inzwischen auch über der Arktis, tritt jeweils im Frühling der Süd- bzw. Nordhemisphäre ein schlagartiger Abbau des stratosphärischen Ozons auf. **Ein Ozonabbau wird dann als Ozonloch bezeichnet, wenn für ein größeres Gebiet über die Höhe hinweg gemittelt das Ozon zu 50 Prozent zerstört ist und der Schwund über mehrere Wochen anhält.** Solche Ereignisse werden bisher nur über der Antarktis Jahr für Jahr beobachtet. Ähnliche Geschehnisse von kürzerer Dauer und Ausdehnung nennt die Wissenschaft "Mini-Ozonlöcher".

Abb. 5 gibt eine Meßreihe von der britischen Antarktis-Station Halley Bay wieder. Dort wird das Gesamtozon seit 1957 vom Boden aus gemessen. Die Abbildung zeigt die Abnahme der Oktobermittelwerte für das Gesamtozon gegenüber dem Jahres-Mittelwert für die Jahre 1957-1978. Diese Abnahme - das antarktische Ozonloch - ist von Jahr zu Jahr ausgeprägter und liegt mittlerweile bei 60 Prozent gegenüber den Durchschnittswerten der 60er Jahre. **Während des antarktischen Frühlings kann zeitweilig über dem Südpol überhaupt kein Ozon mehr gemessen werden.**

Über der Arktis tritt der gleiche Abbau-Prozeß auf, wenn auch nicht so deutlich ausgeprägt wie über der Antarktis. Seit 1988 liegen hierzu Meßdaten von der Koldewey-Station (Spitzbergen) des Alfred-Wegener-Instituts vor. Im Frühjahr 1995 wurde dort ein Ozonabbau gegenüber dem Jahres-Mittelwert von 20-30 Prozent gemessen. Auch hier wird die stratosphärische Ozonschicht von Jahr zu Jahr dünner und das Ozonloch größer.

In den 90er Jahren ist das Gesamtozon über Nordamerika, Europa und Sibirien im Winter/Frühjahr (Dezember-März) ungewöhnlich stark zurückgegangen. Dies gilt besonders für 1992/93 und 1994/95. Die Extrem-Ereignisse nehmen im längerfristigen Trend eindeutig zu. (Abb. 6)

2.2.3 Chemie der polaren Ozonschichtzerstörung

Das periodische Auftreten der "Ozonlöcher" über den Polkappen hängt mit den besonderen meteorologischen Bedingungen im arktischen (März/April) bzw. antarktischen Frühling (September/Oktober) zusammen. Sie fördern einen schubweisen Abbau der Ozonschicht.

Über der Antarktis bildet sich im dortigen Winter (Juni bis August) in der polaren Dauernacht ein stationärer **Kältewirbel** mit Temperaturen unter minus 80 Grad Celsius aus. Er bleibt in der Regel bis zum antarktischen Frühling stabil.

Dieser Kältewirbel schottet die Polarregion gegen den Zustrom ozonreicherer Luftmassen ab. Zugleich führt er zur Bildung von sogenannten "polaren stratosphärischen Wolken" (**Polar Stratospheric Clouds, PSC**). Diese PSC bestehen aus Eiskristallen (gefrorene Mischung aus Salpetersäure und Wasser). Das aus den FCKW, H-FCKW, Halonen sowie Methylbromid und -chlorid abgespaltene Chlor und Brom reagiert während der Polarnacht im Kältewirbel zu relativ stabilen "**Reservoirverbindungen**" wie Chlornitrat (ClONO_2), Bromnitrat (BrONO_2) oder Chlorwasserstoff (HCl). Da die oben erwähnten Eispartikel im Laufe der Zeit in tiefere Zonen der Stratosphäre absinken, entziehen sie der Stratosphäre Salpetersäure und Wasser ("**Denoxifizierung**"). Mit Aufkommen der Sonne im polaren Frühling (Energieinput) werden die Chlor- und Bromradikale aus den Reservoirverbindungen schlagartig freigesetzt. Da in der mittlerweile "salpetersäure-armen" Stratosphäre nur noch wenig Reservoirverbindungen neu gebildet werden können, greifen Chlor und Brom das Ozon ungehindert an (vgl. Abb. 7).

Messungen belegen diesen komplexen chemischen Ablauf. Sie zeigen mit Aufkommen des Sonnenlichts im Frühjahr einen drastischen Anstieg der ClO-Konzentrationen im Kältewirbel und einen gleichermaßen drastischen Abfall des Ozons.

Dieser Prozeß läuft an der Oberfläche der Eiskristalle in den PSC viel schneller ab als in der reinen ("homogenen") Gasatmosphäre. Da es hier um Kettenreaktionen geht, die an der Grenzfläche von festen Partikeln und Gasphase auftreten, wird von einer "heterogenen Chemie" gesprochen. Eine Rolle als Reaktionsort spielen auch Schwefelsäuretröpfchen. Dies ist besonders deshalb verhängnisvoll, weil z.B. bei großen Vulkanausbrüchen diese Schwefeltröpfchen die Rolle der PSC auch dort übernehmen, wo diese ansonsten fehlen.

Reservoirsubstanzen wie Chlornitrat können aus der Polarregion in gemäßigte Breiten verfrachtet werden, wo das Chlor freigesetzt und Ozon abgebaut wird.

Über der Arktis sind es die gleichen Mechanismen, die zur Zerstörung der Ozonschicht führen. Entscheidende Voraussetzungen sind auch hier die hohen Chlor- und Bromkonzentrationen in der Stratosphäre, die Ausbildung eines Kältewirbels mit PSC und die abrupte Chlor- und Bromfreisetzung durch die Sonneneinstrahlung im arktischen Frühling.

Über der Arktis sind die meteorologischen Bedingungen für die Reaktionsketten, die zum schlagartigen Ozonabbau führen, jedoch nicht so dauerhaft wie über dem Südpol. Zum einen ist es im Norden im Durchschnitt 10 Grad wärmer als über dem Südpol. Und zum anderen kommt es wegen der völlig anderen Wasser-Land-Verteilung in den hohen Breiten der Nordhalbkugel immer wieder zu atmosphärischen Störungen und Aufwärmungen während des Winter/Frühjahrs. Diese Aufwärmungen verhindern, daß der Kältewirbel mit der gleichen Regelmäßigkeit und Intensität auftritt. Damit sind auch die Bedingungen für eine dauerhafte Herausbildung von PSC, in denen der Ozonabbau besonders rasch und abrupt abläuft, nicht immer gegeben.

2.2.4 Das Ozonloch über der Nordhalbkugel

Während es leicht ist, auch für die nächsten Jahre große und wachsende Ozonlöcher über der Antarktis vorherzusagen, sind Prognosen für die Nordhalbkugel schwer abzugeben. Es ist eindeutig, daß mit den noch wachsenden Chlorkonzentrationen in der Stratosphäre der Ozonabbau insgesamt zunehmen wird. Ob sich dies im Winter/Frühjahr aber auch als Ozonloch mit 50 - 60prozentigem Ozonverlust über der Arktis manifestiert, ist entscheidend von den Temperaturverhältnissen abhängig. Kommt es im Winter zu einer größeren Zwischenerwärmung ("**major warming**"), bricht der Kältewirbel zumindest zeitweilig zusammen. Wenn es dagegen durchgehend kalt bleibt, können sich in der Stratosphäre über längere Zeit und gerade im Frühling PSCs bilden. Dann reißt das Ozonloch auf - so geschehen im Frühjahr 1995 und 1996 (siehe S. 13).

Ein "major warming" tritt im Winter nur unter bestimmten Bedingungen auf. Hier kommen der schon erwähnte elfjährige Solarzyklus und die periodische Richtungsänderung der Stratosphärenwinde über dem Äquator ins Spiel. Da diese Richtungsänderung etwa alle

zwei Jahre erfolgt, bezeichnet man sie auch als "**quasi-biennale Oszillation**" (QBO). Befindet sich der Solarzyklus im Minimum, wie das gegenwärtig der Fall ist (Abb. 8), kommt es nur dann zu einer großen Zwischenerwärmung, wenn die stratosphärischen Winde über der Äquatorialzone aus Osten kommen. Dies ist eine Erfahrungstatsache, die sich aus langfristigen Beobachtungen ergibt. Im Winter/Frühjahr 1994/95 (starker Ozonabbau über der Arktis) kamen die Stratosphärenwinde aus Westen. Auch im Winter 1995/96 trat diese Situation wieder auf. Der Polarwirbel bleibt dann kalt und stabil, und damit war ein erneuter massiver Ozonabbau über der Nordhalbkugel vorprogrammiert.

2.2.5 Treibhauseffekt und Ozonschichtzerstörung steigern sich wechselseitig

- **Der Treibhauseffekt erhöht das Risiko für die Bildung eines Ozonlochs:** Kohlendioxid (CO₂) und andere Treibhausgase (darunter vor allem die FCKW, H-FCKW und die als FCKW-Ersatz vorgesehenen Fluorkohlenwasserstoffe, FKW) heizen nicht nur künstlich unsere Atmosphäre auf, sondern sie fördern damit auch die Bedingungen für den Ozonabbau. Die Zunahme der Treibhausgase, die die Wärmeabstrahlung der Erde in der bodennahen Troposphäre absorbieren, vermindert nämlich die Wärmeabstrahlung in die Stratosphäre. Dort oben wird es damit kälter. Dieser Klima-Effekt ist inzwischen nachweisbar. Die größere Kälte in der Stratosphäre fördert die Bildung von PSCs und damit verbunden den raschen Ozonabbau. In der Stratosphäre erhöht schon eine geringe Temperaturverminderung im Winter die Wahrscheinlichkeit der PSC-Bildung und damit die Gefahr eines intensiveren Ozonabbaus.
- **Die Ozonzerstörung bedroht das Meeresplankton und steigert dadurch indirekt den Treibhauseffekt:** Die pflanzlichen Mikroorganismen der Meere (z.B. Algen) absorbieren große Mengen CO₂ und schleusen sie durch das Absinken abgestorbener Biomasse z.T. aus dem globalen CO₂-Kreislauf aus. Es wirkt also als eine "**CO₂-Senke**", die den Anstieg der Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre und damit den Treibhauseffekt abbremst. Die wegen des Ozonabbaus steigende Intensität der UV-B-Strahlung schädigt aber das Phytoplankton. Messungen in den biologisch produktiven Meeren der Antarktis während und nach dem Auftreten des Ozonlochs ergaben eine zeitweilige Verminderung der Biomasse des Phytoplanktons um 6-12 Prozent. Dem entspricht eine etwa gleich große Verminderung der CO₂-Bindung. Eine dauerhafte Verminderung der Phytoplankton-Produktivität um 10 Prozent könnte einem Ausfall an natürlicher CO₂-Absorption in der Größenordnung der gesamten künstlichen CO₂-Emissionen entsprechen.

3. WELCHE FOLGEN HAT DIE ZERSTÖRUNG DER OZONSCHICHT FÜR MENSCH UND BIOSPHÄRE?

Ozon ist die einzige Substanz in der Stratosphäre, die Sonnenstrahlung im Bereich von 200 - 315 Nanometer (nm) Wellenlänge absorbiert. Die Ozonschicht schützt damit die Erde gegen die zellschädigende UV-Strahlung. Die UV-Strahlungsbereiche werden nach ihrer biologischen Wirksamkeit unterschieden (Wellenlängen-Angabe in Nanometern):

UV-C:	100-280 nm; kurzwelliges, Bakterien abtötendes UV
UV-B:	280-315 nm; mittelwelliges, sonnenbrandwirksames UV
UV-A:	315-400 nm; langwelliges UV, hautbräunend

In der Stratosphäre wird normalerweise die solare UV-C-Strahlung vollständig (durch Sauerstoff) und die UV-B-Strahlung größtenteils (durch das Ozon) absorbiert. Die UV-A-Strahlung wird dagegen überhaupt nicht ausgefiltert.

3.1. Ozonabbau und UV-Strahlungsbelastung

Die Verminderung des Gesamt-Ozons führt zu einer Erhöhung der UV-B-Strahlungsintensität im Wellenlängenbereich zwischen 280 und 315 nm. Diese Zunahme der UV-B-Strahlung im kürzerwelligen Spektralbereich schädigt die Organismen. Dabei ist die biologische Wirkung wellenlängenabhängig. Sie nimmt mit einem wachsenden Anteil kurzwelliger, energiereicher ("harter") UV-Strahlung überproportional zu.

Wieviel UV-B die Erdoberfläche erreicht, hängt nicht nur von der Verminderung des Gesamt-Ozons ab, sondern auch von anderen Faktoren wie Wolken, UV-Absorption und -Streuung durch Tröpfchen und Partikel (Aerosole) in der Atmosphäre, von der Schwefeldioxid-Konzentration, dem Sonnenstand etc. Das Ozon der unteren Lufthülle der Erde (Troposphäre) absorbiert UV-Strahlung stärker als das stratosphärische Ozon. Dies hängt mit der stärkeren Streuung des einfallenden UV-Lichts in der Troposphäre zusammen. Eine Zunahme des troposphärischen Ozons könnte also u.U. den stratosphärischen Ozonabbau teilweise kompensieren. Da das bodennahe Ozon (**Sommersmog**, s. Kap. 5) aber nur einen geringen Prozentsatz des Gesamt-Ozons ausmacht, kommt dieser Effekt nur begrenzt zum tragen.

Meßergebnisse zeigen, daß die Abnahme des Gesamt-Ozons zu einem Anstieg der UV-B-Belastung führt. Überschlüssig gilt: Bei wolkenfreiem Himmel führt die Verminderung des Gesamt-Ozons um 1 Prozent zu einer Zunahme der biologisch wirksamen UV-B-Intensität um etwa 1,3 Prozent. Beim sonnenbrandwirksamen UV-B ergaben Messungen der Station Hohenpeißenberg bei einer einprozentigen Gesamt-Ozonabnahme eine Zunahme um rund 2 Prozent.

Unter dem Ozonloch der Polarregionen kommt es zu einer zeitweilig starken Erhöhung der UV-B-Intensität. Nach WMO-Angaben erhöhte sich die Strahlungsintensität am Südzipfel Südamerikas (bei einer durchschnittlichen Ozonverminderung um 15 Prozent, Oktoberwerte), bei 305 nm um 35 Prozent, bei 300 nm Wellenlänge um 85 Prozent.

In Mitteleuropa wird dieser Anstieg ebenfalls deutlich. Langfristdaten der Bergstation Jungfrauoch (Schweiz) ergaben für 1981-1989 eine durchschnittliche Zunahme der UV-B-Strahlung bei wolkenlosem Himmel um 11 Prozent (+/- 4 Prozent). Auch die UV-B-Meßdaten der Station Hohenpeißenberg, die seit 1990 vorliegen, zeigen eine Zunahme des UV-B. Eine kontinuierliche Messung des bodennahen UV wird in der Bundesrepublik vom Bundesamt für Strahlenschutz und dem Umweltbundesamt im Routinebetrieb erst

seit 1994 an vier Meßstationen durchgeführt. Seit August 1994 erstellt der Deutsche Wetterdienst eine UV-Prognose, die täglich über die zu erwartende UV-B-Belastung informiert.

3.2. Gesundheitsschäden

Wer sich viel im Freien bewegt, wird während einer Ozonloch-Periode einer erhöhten UV-Bestrahlung ausgesetzt. Speziell das UV-B kann zu einer Schädigung der Haut, des Auges und des Immunsystems sowie zu chronischen Effekten wie Krebserkrankungen führen. (Abb. 9 / 10)

Hautschädigung: UV-Strahlung um 300 nm ist besonders Sonnenbrand-wirksam. Langfristig bewirkt eine erhöhte UV-Bestrahlung ein vorzeitiges Altern der Haut ("Photoalterung").

UV-B-Bestrahlung schwächt das Immunsystem und die Körperabwehr bei Infektionskrankheiten.

Auge: UV-Strahlung bewirkt Entzündungen der Hornhaut (Keratitis) und Bindehaut (Konjunktivitis), und sie kann eine irreversible Trübung der Linsen auslösen ("grauer Star", Katarakt).

Krebsentstehung: Zusätzliche UV-Belastung erhöht das Risiko, an sog. Nichtmelanom-Hautkrebs zu erkranken. Hierbei spielt die Schädigung der DNS (Erbsubstanz) in den Hautzellen eine Rolle (Bildung von Thymidin-Dimeren, DNS-Mutation). Das kurzwellige, Sonnenbrand-auslösende UV-Licht um 300 nm Wellenlänge hat auch die größte Krebswirksamkeit. Besonders die UV-Belastung in den ersten zehn Lebensjahren (Sonnenbrand bei Kindern) steigert das individuelle Krebsrisiko. Die Zahl der Hautkrebserkrankungen ist in den letzten Jahren deutlich gestiegen. Auch die Bildung maligner Melanome (bösartiger Tumor mit Metastasen-Bildung) ist u.a. von der UV-Belastung abhängig. Das Bundesamt für Strahlenschutz geht davon aus, daß bei einer langfristigen Ozonabnahme um 1 Prozent die Häufigkeit bestimmter Hautkrebsarten (Nicht-Melanome) um 2 Prozent ansteigt.

3.3 Auswirkungen auf Organismen und Biosphäre

Terrestrische Pflanzen: Zwar können sich Pflanzen z.T. durch verstärkte Bildung von Pigmenten (Farbstoffen) gegen erhöhte UV-Bestrahlung schützen, und sie verfügen über einen Mechanismus, der z.T. UV-B-Strahlungsschäden an der DNS reparieren kann. Aber Untersuchungen an über 300 Pflanzenarten ergaben für mehr als die Hälfte Beeinträchtigungen beim Blatt- und Sproßwachstum, bei der Photosyntheseleistung und generell eine verminderte Biomasse, wenn sie erhöhter UV-B-Strahlung ausgesetzt wurden. Dies trifft auch im Freiland zu. In welchem Umfang ein Anstieg der UV-Belastung Ernteschäden bewirken kann, läßt sich noch nicht abschätzen. Die unterschiedlich starke Empfindlichkeit von Pflanzen gegen zusätzliche UV-Strahlung dürfte auch zu Verschiebungen im Artenspektrum führen.

Phytoplankton, Algen: Die im Wasser in großer Zahl vorkommenden pflanzlichen Kleinstlebewesen (Algen, Diatomeen, Cyanobakterien) dienen anderen Organismen als Nahrung und stehen am Anfang der Nahrungskette. Außerdem spielen sie eine wichtige Rolle im globalen Kohlendioxid-Haushalt. Sie sind gegenüber UV-B-Strahlung empfindlicher als Landpflanzen (die sich stärker anpassen und Schutzmechanismen entwickeln mußten). Geschädigt werden u.a. der Photosynthesemechanismus, das Orientierungsvermögen und die DNS des Phytoplanktons. Mit Auftreten des antarktischen Ozonlochs wurde ein Rückgang der phytoplanktischen Biomasse (und damit auch der CO₂-Absorption) von 6 - 12 Prozent gemessen; andere Abschätzung für verschiedene antarktische Seegebiete reichen sogar von 6 - 23 Prozent. Die Auswirkungen auf den CO₂-Kreislauf und die damit verbundene Verstärkung des Treibhauseffekts wurden schon erwähnt. Inzwischen konnte auch bei Großalgen ein Verminderung der Photosyntheseleistung nachgewiesen werden.

Als eine mögliche Folge der Phytoplanktonschädigung wird die Beeinträchtigung des Fischfangs diskutiert; auch beim Reisanbau dürfte die Schädigung der stickstoffbindenden und damit düngenden Cyanobakterien zu Ernteverlusten führen.

Tiere: Wirbellose Tiere des Meeres wie verschiedene Krebse, Krabben, Korallen, Schwämme u.a. reagieren sensibel und mit erhöhter Sterblichkeit auf steigende UV-Bestrahlung. Das gilt auch für die besonders empfindlichen Larvenstadien, die in der Antarktis und Arktis z.T. gerade zum Zeitpunkt des abrupten UV-Anstiegs im Frühjahr massenhaft auftreten. Bei Korallen wurden Ausbleicheffekte beobachtet.

Bei Fischen ist bekannt, daß UV-Strahlung die Größe und Überlebensfähigkeit der Larven direkt vermindert. Die Larven der Sardelle (einer der wichtigsten Nutzfische) leben fast ausschließlich in der obersten Wasserschicht (bis 50 cm Tiefe). Berechnungen für das nordamerikanische pazifische Schelf ergaben bei einer angenommenen 16-prozentigen Ozon-Verminderung im Juni eine Absterberate der Sardellen-Larven je nach Alter zwischen 50 und 100 Prozent.

Bei einer Reihe von Amphibien (Frösche, Kröten, Molche) wird weltweit ein Rückgang ihres Bestandes beobachtet. Zu den Ursachen dürfte auch die (zeitweilige) Zunahme der UV-Strahlung zu zählen sein, die zu einer Schädigung des Erbguts (DNS) in den oft in nur flachen Gewässern abgelegten Eiern führt. Viele Amphibien haben kein sehr hochentwickeltes System zur DNS-Reparatur. Außerdem wird bei ihnen eine UV-Schädigung des Immunsystems der Larven diskutiert.

4. IST DAS FCKW-PROBLEM MITTLERWEILE GELÖST?

Nein. FCKW-Anwendung und Ozonschichtzerstörung gehen weiter

Die Produktion und Neuanwendung der besonders "harten" FCKW soll nach den aktuell gültigen Bestimmungen des **Montrealer Protokolls** in den Industrieländern Ende 1995

beendet sein. Den Entwicklungsländern ist eine Schonfrist mit Ausstiegsdatum 2010 eingeräumt worden.

Auf Druck von Greenpeace erklärten sich die deutschen Hersteller von Dämmstoffplatten Ende 1995 bereit, freiwillig auf die Anwendung von H-FCKW in Dämmstoffen zu verzichten. Damit ist die sogenannte Gewerbekälte (Kühlanlagen in Supermärkten, industrielle Kühlhäuser, Gaststätten, Kleinhändler etc.) heute der größte verbleibende Anwender von FCKW und H-FCKW.

Die Bundesregierung sieht das FCKW-Problem "im Prinzip" als erledigt an. Tatsache ist aber: Trotz des deutlichen Rückgangs der globalen FCKW-Produktion werden weiter FCKW produziert, angewendet und freigesetzt, und zwar in der Größenordnung von immer noch einem Drittel des Höchststandes von 1988. In welchen Mengen das weltweit der Fall sein wird, ist dabei durchaus noch unklar.

- Erstens werden bereits genutzte FCKW erst in den nächsten Jahren aus vielen Anwendungsformen (Schäume, Kälte- und Klimaanlage usw.) beim Betrieb oder bei der Entsorgung frei. Allein durch Leckagen in den Kühlanlagen der Supermärkte entweichen jährlich rund 700 Tonnen FCKW und H-FCKW in die Atmosphäre.
- Zweitens bleibt bei sog. Altanlagen die FCKW-Anwendung und -Freisetzung weiter erlaubt, auch in der Bundesrepublik (Einsatz von recyceltem Alt-FCKW, sog. "Regenerat"). Und es gibt verschiedene Ausnahmegenehmigungen für den Einsatz neu produzierter vollhalogenerter FCKW.
- Drittens werden die FCKW-Kapazitäten in industrialisierten Dritte-Welt-Ländern weiter ausgebaut werden (in Indien und China geschieht dies bereits), da sie laut Montreal-Protokoll das Recht haben, bis zu 0,3 kg FCKW pro Kopf jährlich zu produzieren. Wenn den Entwicklungsländern beim Technologieumstieg nicht geholfen wird, wie es das Montreal-Protokoll vorsieht, kommen hier rasch große FCKW-Mengen zusammen.
- Viertens sind die zur Ozonschichtzerstörung beitragenden H-FCKW, die ein Wasserstoffatom im Molekül haben und daher nicht ganz so stabil und langlebig sind wie die anderen FCKW, weiterhin erlaubt, und zwar bis 2030 in OECD-Ländern (EU: bis 2015) und bis 2040 in Entwicklungsländern. Auch Methylbromid, das international in großen Mengen für Bodenbegasung und Pflanzenbehandlung eingesetzt wird, bleibt in Anwendung, obgleich in der Regel Alternativen existieren.
- Und fünftens werden heute auf dem Weltmarkt große Mengen frischproduzierter, aber als Regenerat deklarierter FCKW gehandelt (hauptsächlich aus Rußland).

Die FCKW-Freisetzung ist noch keineswegs beendet. Das ist der Grund, warum alle Prognosen mit einem Fragezeichen zu versehen sind, die davon ausgehen, daß um das Jahr 2.000 das Maximum des Chlor- (und Brom-)Eintrags in die Stratosphäre und damit das Maximum der Ozonschichtzerstörung erreicht sein wird. Selbst wenn diese optimistische Annahme zutreffend sein sollte, wird sich die Ozonschicht nicht vor der Mitte des nächsten Jahrhunderts wieder erholt haben. Durch die großen Chloreinträge wird die Chemie der Stratosphäre gegenüber den natürlichen Verhältnissen

völlig verändert. Daher weiß auch niemand, ob diese Chemie nicht noch völlig neue Reaktionswege einschlagen wird.

5. HAT DIE OZONSCHICHTZERSTÖRUNG ETWAS MIT DEM OZONSMOG IM SOMMER (troposphärisches Ozon) ZU TUN?

Im Gegensatz zum stratosphärischen Ozon nimmt das Ozon der bodennahen Troposphäre durch menschliche Aktivitäten zu. Diese bodennahe Ozonzunahme kann den Gesamt Ozonabbau jedoch nicht ausgleichen. Bodennahes Ozon ist gesundheitsschädlich und deswegen keineswegs erwünscht. Es bildet sich unter Einwirkung von Sonnenlicht hauptsächlich aus Stickstoffoxiden und Kohlenwasserstoffen, die zum Großteil aus Auto-Abgasen und aus Industrieemissionen stammen (Sommersmog).

Das Zuviel an Ozon "unten" (Smog) und das Zuwenig an Ozon "oben" (Ozonloch) haben nur eines gemeinsam: Sie gefährden die Gesundheit von Mensch & Umwelt.

Zur Situation der Ozonschicht letztes Jahr:

1995 wurden die niedrigsten stratosphärischen Temperaturen über dem Nordpol seit 29 Jahren gemessen. In dieser Kälte konnte sich eine große Menge "Sprengsatz" an gespeicherten Ozonkillern "im Wartezustand" ansammeln. Diese Zeitbombe wurde von den ersten kräftigeren Strahlen der Frühlingssonne gezündet.

In der Konsequenz wurde 1995 erstmals auch über der Arktis eine Ozonzerstörung bisher unbekanntes Ausmaßes beobachtet: Die mittlere Ozonabnahme in 14 bis 20 km Höhe betrug 30 Prozent, im Kernbereich bis zu 50%.

Schon letztes Jahr warnten Wissenschaftler, daß die Situation sich in den nächsten Jahren noch verschlechtern könne. So müßten die Menschen in Kanada, Grönland, Nordeuropa und Sibirien jedes Jahr wieder mit einem Ozonloch rechnen. Auch Mitteleuropa kann betroffen sein, wenn der polare Wirbel sich als arktischer Ausläufer weiter nach Süden ausdehnt - so geschehen beispielsweise im Winter '91/92.

Das Ozonloch über der Antarktis erreichte im Herbst 1995 eine Rekordgröße von 20 Millionen Quadratkilometern (entspricht der doppelten Größe Australiens) und blieb über eine Rekordlänge von 40 Tagen stabil.

Zur Ozonsituation im Frühjahr '96:

Seit der Jahreswende 1995/96 herrscht eine Rekordkälte von minus 85 bis 95 Grad Celsius hoch über der Arktis. **Dadurch ist ab Mitte Februar 1996 eine Ozonzerstörung von auf der Nordhalbkugel bisher nicht beobachtetem Ausmaß in Gang gesetzt worden.** Über Schottland und Skandinavien entstanden sogenannte "Mini-Ozonlöcher".

Die WMO, das Ozonexpertengremium der Vereinten Nationen, spricht von einem Ozonabbau von für die Nordhalbkugel beispiellosem Ausmaß.

Der WMO-Satellit GOOS hatte an einigen Februar- und Märztagen von Grönland über Skandinavien bis Westsibirien einen Ozonverlust von über 45 Prozent festgestellt. Selbst über den Monat gemittelt lagen die Ozonkonzentrationen 20 bis 30 Prozent unter den Normalwerten. In diesem Frühling erfassten die WMO-Stationen die niedrigsten jemals registrierten Ozonwerte in dieser Region (unterhalb von 200 Dobson Units).

Trends für die nächsten Jahre:

Die stratosphärische Konzentration der Chlor- und Bromverbindungen wird in den nächsten Jahren weiter ansteigen. Selbst wenn jetzt weltweit alle FCKW sofort gestoppt würden, wäre das Maximum erst etwa im Jahr 2005 erreicht - das dicke Ende des Ozonlochs kommt erst noch.

Erst in der zweiten Hälfte des nächsten Jahrhunderts werden die Chlor-Konzentrationen in der Stratosphäre wieder auf ein Normalmaß zurückgegangen sein. Aber je länger die Ausstiegsfristen politisch verschleppt werden, desto weiter verschiebt sich die Erholung der Ozonschicht in die Zukunft.

Der Treibhauseffekt, der sozusagen wie ein "Deckel" über der unteren Atmosphäre liegt, verschärft die Situation: Dadurch, daß die Wärme in den unteren Luftschichten gefangen ist, kühlt der obere Teil der Atmosphäre stärker ab als im ungestörten Zustand. In einer kälteren Stratosphäre steigt jedoch die Wahrscheinlichkeit für einen anhaltenden polaren Wirbel - eine der Voraussetzungen für die Entstehung eines Ozonlochs.

GREENPEACE-FORDERUNGEN:

- **Ab sofort kein Einsatz ozon- und klimaschädigender Substanzen in Neuanlagen zur Kühlung und Tiefkühlung von Lebensmitteln in Supermärkten mehr.**
- **Sofortige Umstellung von Altanlagen auf umweltneutrale Kältemittel, wo dies technisch möglich ist.**
- **Jährliche Wartung und Dichtigkeitsprüfung aller Kälteanlagen.**
- **Verschärfung der bestehenden FCKW-Halon-Verbotsverordnung durch sofortiges Verbot aller H-FCKW.**
- **Verbot der klimaschädigenden FKW.**

- **Auch in der Isolierung der Tiefkühltruhen und Kühlregale dürfen keine FCKW, H-FCKW und FKW eingesetzt werden.**

QUELLEN & WEITERFÜHRENDE LITERATUR

A.R.Blaustein/D.B.Wake 1995: Das Rätsel des weltweiten Amphibiensterbens, Spektrum der Wissenschaft 6/1995, 58-63

M. Blumthaler/W. Ambach 1990: Indication of Solar Ultraviolet-B Radiation Flux in Alpine Regions, Science 249, 1990, 206-208

R.D. Bojkov et al. 1995: Further Ozone Decline during the Northern Hemisphere Winter-Spring of 1994-1995 and the new record Low Ozone over Siberia, Geophysical Research Letters 1995, in press

C. Brühl/P.J. Crutzen 1989: On the disproportionate Role of tropospheric ozone as a filter against solar UV-B Radiation, Geophysical Research Letters 16, 1989, 703-706

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) 1993: Sonne, Ozon, UV, Strahlenthemen 9/1993; BfS 1995: UV-Index contra Sonnebrand, Strahlenthemen 4/1995

J.H. Butler 1995: Methylbromide under scrutiny, Nature 376, 1995, 469-470

H. Claude et al.: Ozonbulletin des deutschen Wetterdienstes (OB), H. 1/1993 - 19/1995

U. Feister/U. Dehne 1994: UV-Strahlung und stratosphärisches Ozon, Bundesgesundheitsblatt 37, 1994, SH, 4-10

Greenpeace 1995: Keine Entwarnung für Ozonschicht und Erdklima. Verbrauchsprognose 1995 für FCKW, H-FCKW und FKW (Verf. Öko-Recherche), Hamburg 1995

D.-P. Häder et al. 1995: Effects of Increased Solar Ultraviolet Radiation on Aquatic Ecosystems, Ambio 24, 1995, 174-180

K. Hartmann 1995: Neue MAS-Ozon-Ergebnisse. Beitrag zum Statusseminar des deutschen Ozonforschungsprogrammes, Bonn 1995

G. Hegerl et al. 1994: Detecting anthropogenic Climate Change with an Optimal Fingerprint Method, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Report No. 142, Hamburg 1994

A.E. Jones/J.D. Shanklin 1995: Continued decline of total ozone over Halley, Antarctica, since 1985, Nature 376, 1995, 409-411

R. Matthes 1994: Gesundheitliche Gefahren der ultravioletten Strahlung, Bundesgesundheitsblatt 37, 1994, SH, 27-40

B. Naujokat et. al. 1995: The stratospheric Winter 1994/95: A Cold Winter with strong Minor Warming, Beilage zur Berliner Wetterkarte 81/95

H. Piazena/H. Meffert 1994: Humanbiologische und medizinische Wirkungen ultravioletter Strahlung, Bundesgesundheitsblatt 37, 1994, SH, 11-26

H. Rohde/P. Crutzen 1995: Climate and CCN, Nature 375, 1995, 111

M. Tevini 1993: UV-B Radiation and Ozone Depletion. Effects on Humans, Animals, Plants, Microorganisms, and Materials (M. Tevini Ed.), Boca Raton 1993

M. Tevini 1994: UV-B Effects on Terrestrial Plants and Aquatic Organisms, Progress in Botany 55, 1994, 174-190

R. Toumi et al. 1994: Nature 372, 1994, 348-351

UNEP 1994: UNEP, Environmental Effects of Ozone Depletion: 1994 Update, Nairobi 1994

WMO 1995: R. D. Bojkov, The Changing Ozone Layer, WMO/UNEP 1995

Die Gewerbekälte ist mit 4.000 Tonnen (H-)FCKW-Verbrauch der derzeit größte Verbraucher ozonzerstörender und klimaschädigender Kältemittel. Allein 1.000 Tonnen davon entfallen auf Supermärkte, wobei auch hier - wie beim ganz normalen Kühlschrank - schon heute umweltfreundliche Möglichkeiten der Kälteerzeugung existieren. Greenpeace bietet deshalb speziell zu diesem Themenkomplex das folgende Informationsmaterial an:

PUBLIKATIONEN IN DEUTSCHER SPRACHE:

- **Greenpeace Argumente FCKW: Ausstieg ohne Umstieg auf Treibhausgase**
Broschüre (A053), Hrsg.: Greenpeace e.V., Januar 1996; 24 Seiten
- **Greenpeace in Aktion: Greenfreeze weltweit - Chronologie einer umwelttechnischen Revolution**
Dokumentation (R0011), Hrsg.: Greenpeace e.V., Januar 1995; 8 Seiten
- **Verkaufskühlung ohne ozonschicht- und klimaschädigende Kältemittel - Die Chancen für umweltfreundliche Alternativen in deutschen Handelsketten**
Studie, Hrsg.: Greenpeace e.V., Februar 1996; 9 Seiten
Kapitel:
 1. Die Dringlichkeit der Kältemittelsubstitution im Lebensmittelverkauf
 2. Stand bei FCKW-Alternativen
 3. Zu den Hemmnissen für klimaneutrale indirekte Systeme
 4. Sekundärkreislauf mit Flo-Ice-Kälteträger
- **Keine Entwarnung für Ozonschicht und Erdklima - Verbrauchsprognose 1995 für FCKW, H-FCKW und FKW**
Studie (S0781), Hrsg.: Greenpeace e.V., Mai 1995; 60 Seiten
Auszug aus dem Inhaltsverzeichnis:
 - I. Kälte- und Klimatechnik
 - 1) Hausgeräte / 2) Gewerbekälte / 3) Industriekälte / 4) Fahrzeugklima (mobile Klimaanlage) / 5) Gebäude- und Raumklima / 6) Transportkälte
 - II. Kunststoffschäumung
 - 1) Polyurethanschaum / 2) Extrudierter Polystyrolschaum (XPS)
 - III. Asthmasprays
 - IV. FCKW und Tetrachlorkohlenstoff für Laborzwecke
 - V. Die Jahresemissionen von Alt-FCKW
 - VI. Für weitergehenden Schutz von Ozonschicht und Klima

BESTELLADRESSE

Bitte fordern Sie das gewünschte Material hier an:

Greenpeace e.V. - Kältekampagne
Claudia Ranft
22745 Hamburg

* Diese Literaturliste (Stand 9. Mai 1996) wird fortlaufend aktualisiert.

PUBLIKATIONEN IN ENGLISCHER SPRACHE:

- **Hydrocarbons and other progressive answers to refrigeration - Ways out of the destructive effects of halogenated refrigerants**
Reader, Hrsg.: Greenpeace e.V. (BRD), anlässlich der International CFC and Halon Alternatives Conference, Washington, D.C., Oktober 1995; 216 Seiten
Auszug aus dem Inhaltsverzeichnis:
 - I. Hydrocarbon Refrigerants in Home Refrigeration (White Goods) and Residential Air Conditioning
 - II. The Use of Hydrocarbons in Non-White Goods - Commercial and Transportation
 - III. The Use of Hydrocarbons in Non-White Goods and Air Conditioning
 - IV. Hydrocarbon Technology-Transfer to Non-OECD-Countries
 - V. Other related Technologies and Aspects

- **The Greenfreeze Story - A Story of a Solution which Governments ignored and Industry tried to stop**
Broschüre, Hrsg.: Greenpeace International, 1994; 18 Seiten

- **Supermarket Greenfreeze - Supermarket Refrigeration & the Environment**
Broschüre, Hrsg.: Greenpeace International; 23 Seiten; mit Adressen
Auszug aus dem Inhaltsverzeichnis:
 - Decision Time
 - Business as usual - the Dead End Road
 - Supermarkte Greenfreeze: Secondary Cooling / Flo-Ice / other Secondary Cooling Systems
 - Greenfreeze Refrigerants: Ammonia / Hydrocarbons / Air
 - Environmental Criteria: The Ozone Layer / The Greenhouse Effect / Environmental Protection Act / Organochlorines

- **Climbing out of the Ozone Hole - A Preliminary Survey of Alternatives to Ozone-Depleting Chemicals**
Studie, Hrsg.: Greenpeace International, Oktober 1992; 40 Seiten
Auszug aus dem Inhaltsverzeichnis:
 - I. The Crisis deepens: Recent Scientific Developments
 - II. HCFCs and HFCs: Part of the Problem, not Part of the Solution
 - III. Greenpeace's Response to the Ozone Crisis
 - IV. Refrigeration and Cooling
 - V. Solvents
 - VI. Aerosols
 - VII. Foams
 - VIII. Firefighting

- **The Ozone Layer Destroyers: Whose Chlorine and Bromine is it? A Greenpeace Inventory of Ozone Depleting Substance Production from 1986 to 1995**
Datensammlung, Hrsg.: Greenpeace International, November 1995; 43 Seiten
Auszug aus dem Inhaltsverzeichnis:
 - A. Summary
 - B. Introduction: Who Owns the Ozone Hole?
 - C. Methodology
 - D. Production Tables
 - E. Inventory of Production Plants

ABBILDUNGEN

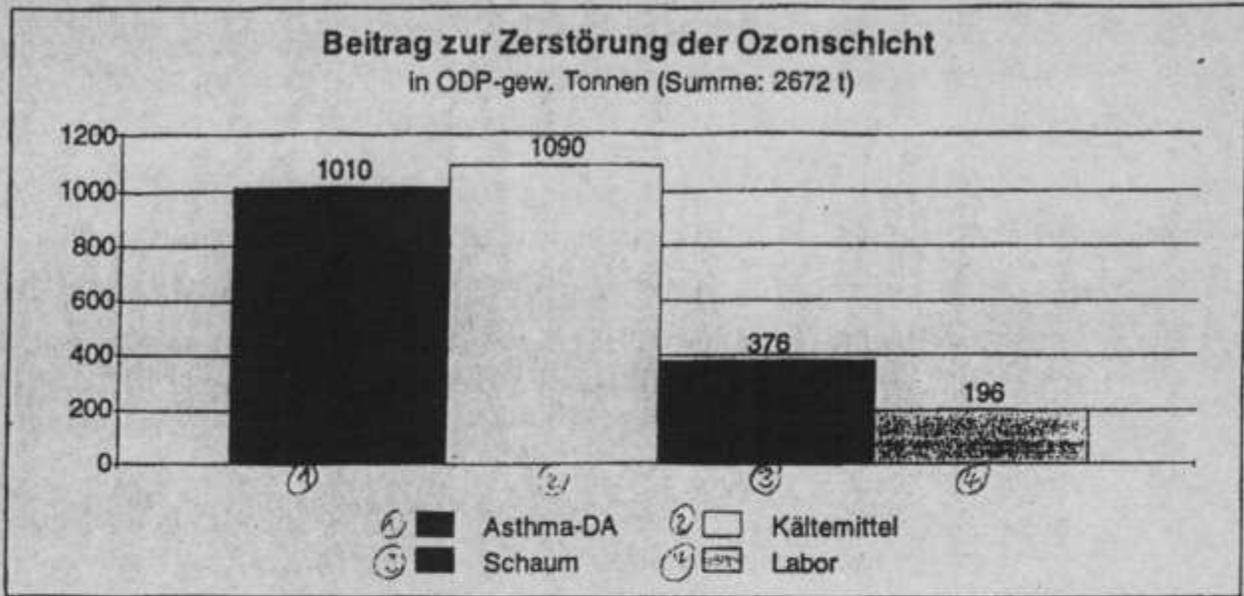


Abb. 1: Ozonschichtzerstörung durch FCKW-Freisetzung 1995 (Bundesrepublik)

1995 wurden in der Bundesrepublik FCKW- und H-FCKW mit einem Ozonschichtzerstörungspotential (ODP) von rd. 2700 Tonnen freigesetzt. Hauptbereiche: Kältemittel und Asthmadosieraerosole. Der ODP-Wert ist je nach Chlorgehalt und Stabilität der einzelnen FCKW bzw. H-FCKW unterschiedlich. Er wird auf FCKW 11 bezogen, dessen ODP gleich 1 ist. Nach: Greenpeace, Keine Entwarnung für Ozonschicht und Erdklima, Hamburg 1995

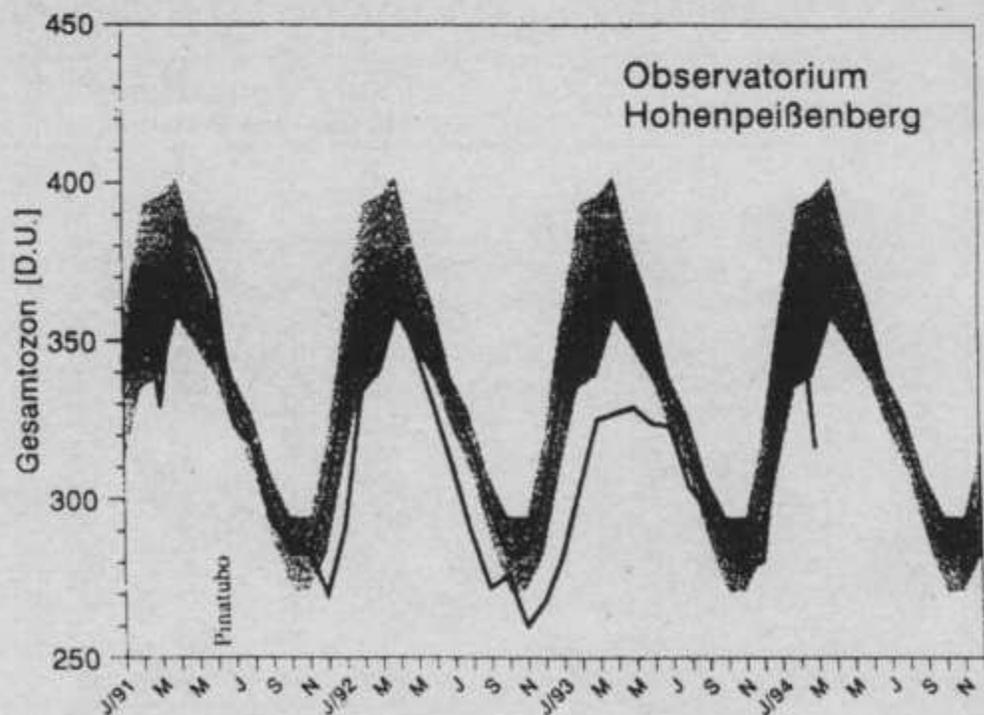


Abb. 2: Monatsmittelwerte des Gesamtozons über der Meteorologischen Station Hohenpeißenberg seit 1991

Die Monatsmittelwerte des Gesamtozons über Hohenpeißenberg zeigen nicht nur die jahreszeitlichen Schwankungen, sondern auch die Abweichung der gemessenen Werte (fette Linie) vom langjährigen Mittel (dünne Linie). Sie gehen weit über die natürliche Schwankung (grauer Bereich) hinaus - Ausdruck des anthropogenen Ozonabbaus. Nach: Ozonbulletin des Deutschen Wetterdienstes Nr.4/1994

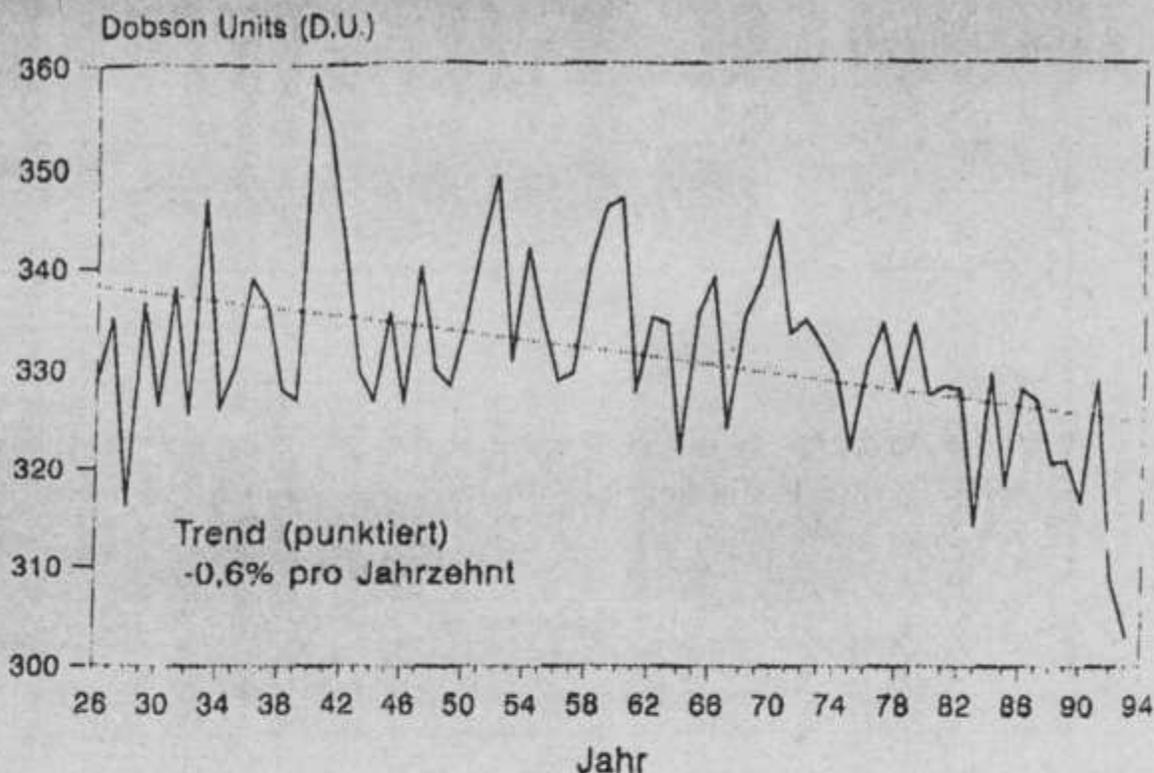


Abb. 3: Jahresmittelwerte des Gesamtozons über Arosa

Die Trendlinie ergibt einen Ozonverlust pro Jahrzehnt von 0,6 Prozent. Besonders augenfällig: die starken Einbrüche seit den 70er Jahren. Nach: Ozonbulletin des Deutschen Wetterdienstes Nr. 13/1994

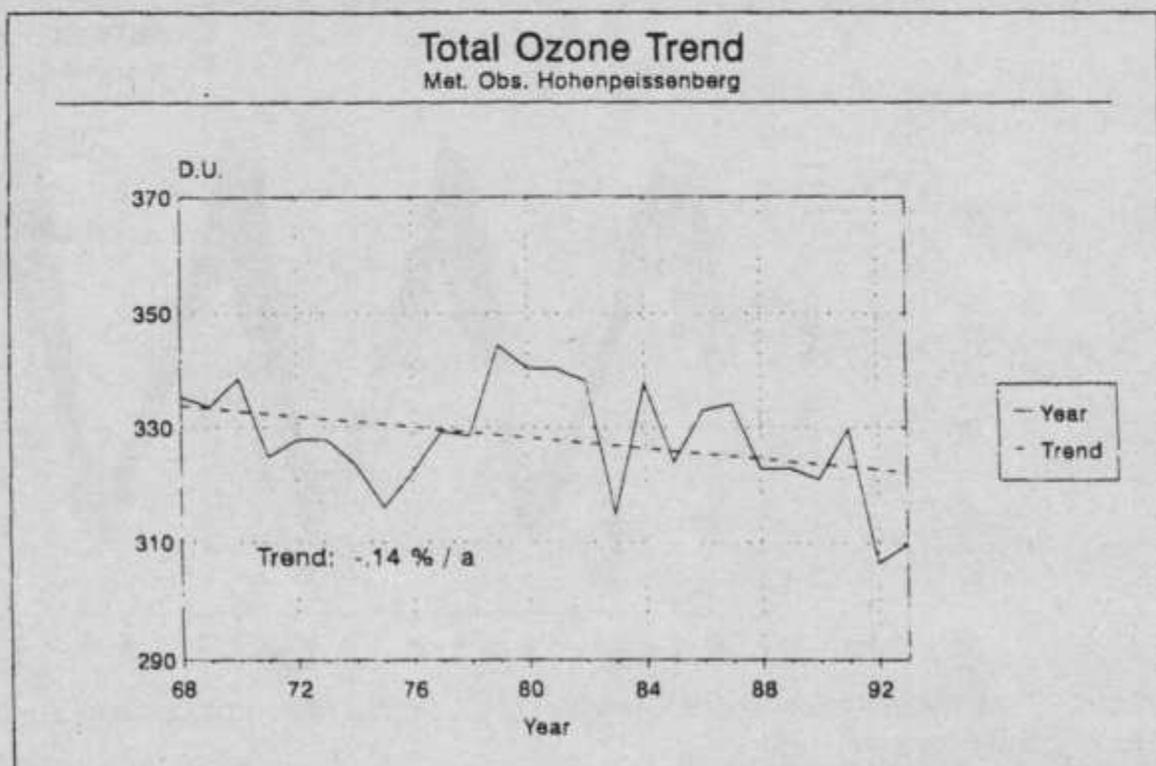


Abb. 4: Jahresmittelwerte des Gesamtozons über Hohenpeißenberg

Die Trendlinie ergibt einen jährlichen Ozonverlust von 0,14 Prozent. Nach: Ozonbulletin des Deutschen Wetterdienstes Nr. 1/1993

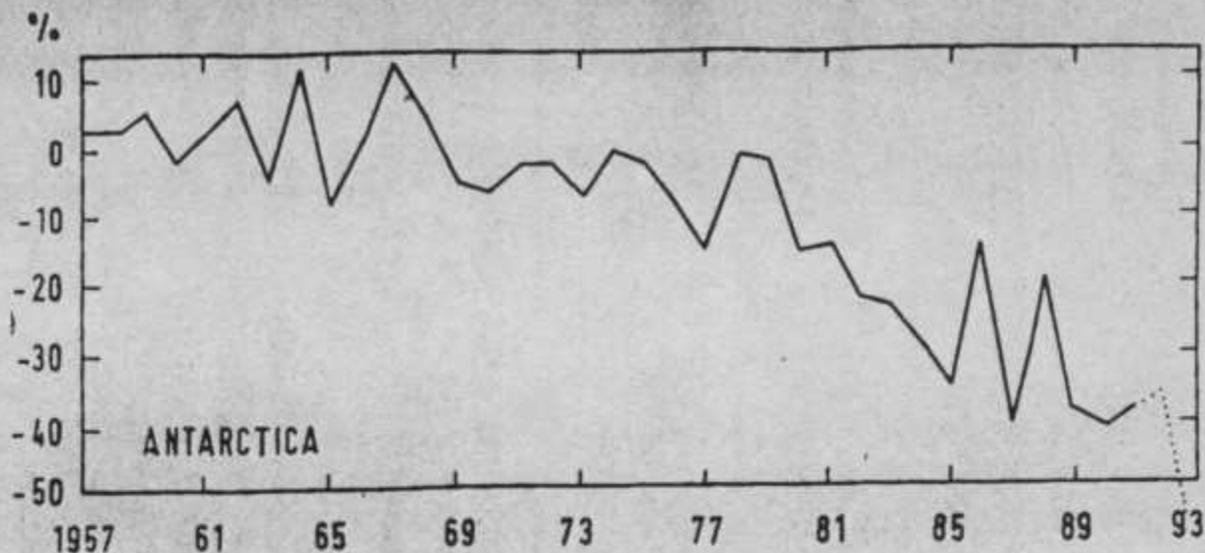


Abb. 5: Veränderungen des Gesamtozons über Halley Bay, Antarktis

Oktoberverwerte (Frühling der Südhemisphäre). Deutlich erkennbar: die zunehmende Intensität des Ozonabbaus in den 80er Jahren.

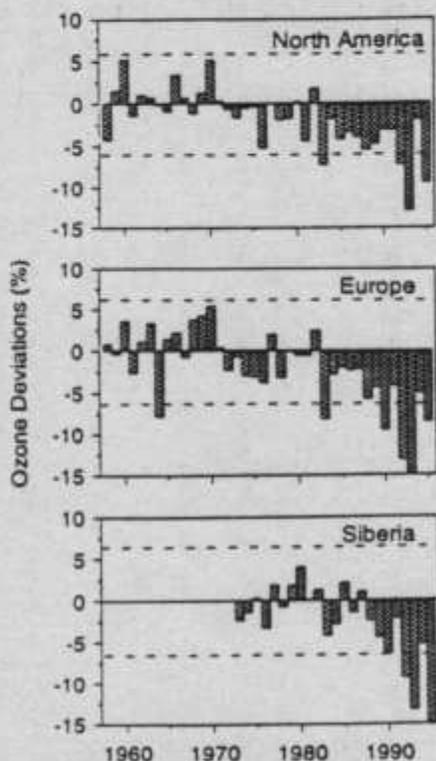


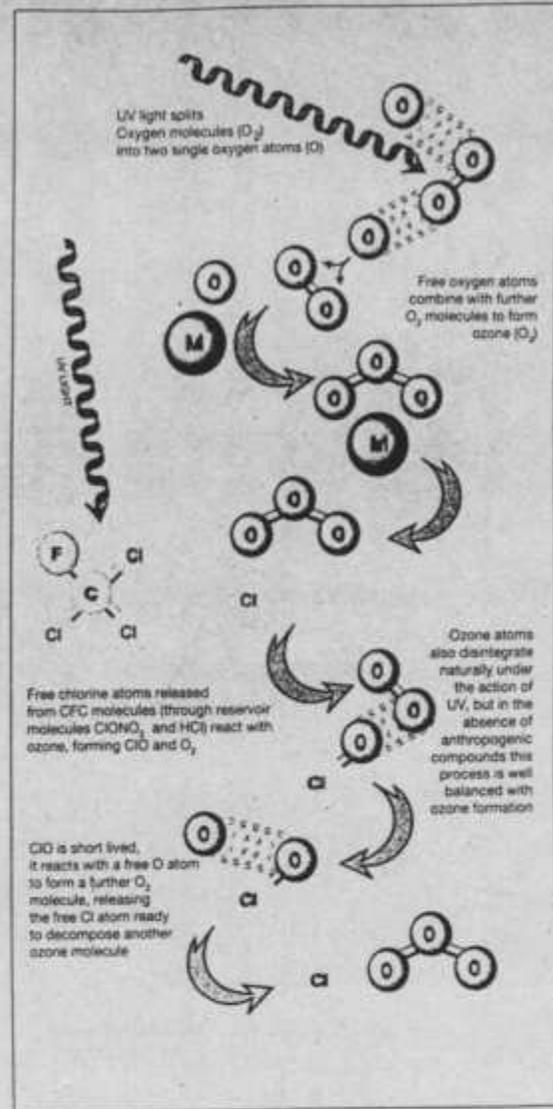
Figure 1. Histogram of seasonal (DJFM) mean total ozone deviations (in %) from the long-term seasonal averages for the three continental regions. The dotted line indicate $\pm 2\sigma$ limit.

Abb. 6:

Abweichung des Gesamtozon im Winter vom langjährigen Mittel über Nordamerika, Europa und Sibirien

Abweichung des Gesamtozons vom langjährigen Mittel in Prozent. Die gestrichelte Linie gibt den Bereich der doppelten Standardabweichung vom natürlichen Mittelwert an. Seit den 80er Jahren häufen sich über der Nordhalbkugel im Winter (Dezember bis März) ungewöhnlich starke Ozoneinbrüche - Indiz der anthropogenen Ozonschichtzerstörung. Nach: Geophysical Research Letters Nov. 1995

Abb. 7: Mechanismus des Ozonabbaus;
Nach: WMO, The Changing Ozone
Layer, Geneva 1995



JAN+FEB: OCCURRENCE OF MAJ. MID-WINTER WARMINGS
IN THE QBO WEST = ■ OR EAST = ⊙ PHASE

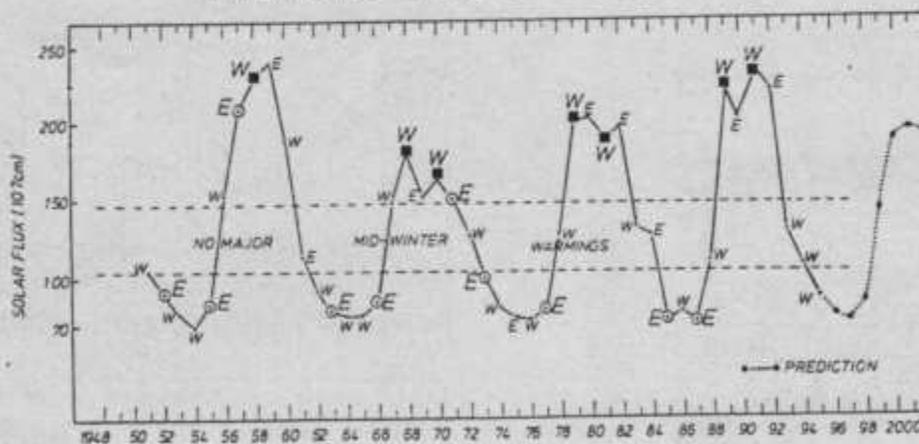


Abb. 8: Solarzyklus, QBO und Wintererwärmung

Die Kurve gibt den elfjährigen Solarzyklus mit schwankender Strahlungsintensität der Sonne wieder. E bzw. W: Ost- oder Westorientierung der stratosphärischen Winde über dem Äquator. Die Windrichtung wechselt etwa alle zwei Jahre (QBO). Die Wintererwärmungen sind als schwarzer Kasten oder gepunkteter Kreis angegeben. Es zeigt sich: Bei QBO-West tritt eine Wintererwärmung nur bei maximaler Strahlungsintensität der Sonne auf. Ende 1995 herrscht QBO-West; der Solarzyklus bewegt sich auf sein Minimum zu. Daher ist nicht mit einer Zwischenerwärmung im Winter zu rechnen, was starken Ozonabbau über der Nordhemisphäre wahrscheinlich macht. Nach: Beilage zur Berliner Wetterkarte 81/1995

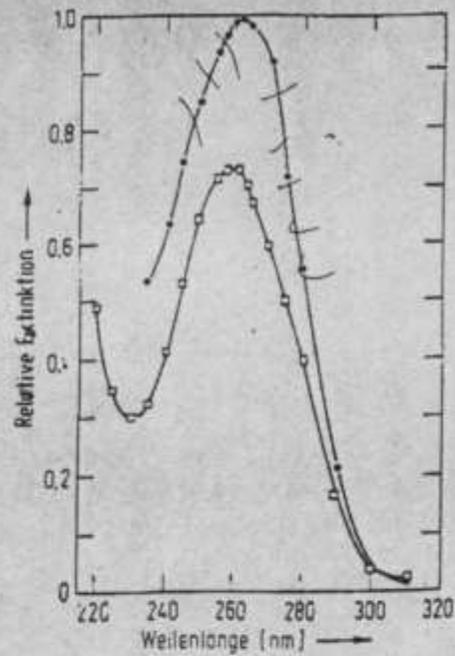


Abb. 9: UV-Absorption der DNS

Sprunghafter Anstieg der Strahlungsabsorption der DNS im UV-B-Bereich. Ursache strahlungsinduzierter DNS-Mutation. Nach Matthes 1994.

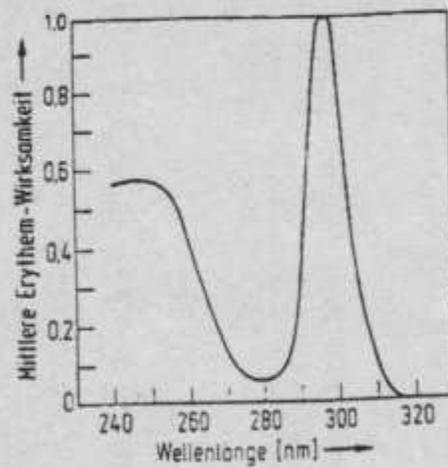


Abbildung 4: Relative spektrale Wirksamkeit der UV-Strahlung für die Auslösung eines Erythems [56].

Abb. 10: Auslösung von Sonnenbrand durch UV-B

Das UV-B ist als Auslöser von Erythem (Sonnenbrand) besonders wirksam. Nach Matthes 1994.