

**Inhalt:**

1. Worum geht es ?
2. Was ist Ozon ?
3. Wie kommt es zum Abbau der Ozonschicht ?
4. Was ist das Ozonloch ?
5. Was sind die Umweltfolgen ?
6. Wie sind die Prognosen ?
7. Was bleibt zu tun ?
8. Quellen und Links?

Stand: März 2004
© Aléxandros Kiriazis

1. Worum geht es ?

Begriffe wie Ozon, Ozonloch oder FCKW, die noch vor einem Jahrzehnt lediglich den eingeweihten Wissenschaftlern bekannt waren, sind inzwischen in aller Munde. In fast jeder Diskussion über die modernen Umweltprobleme fällt früher oder später auch das Stichwort Ozon. Dabei muß allerdings unterschieden werden, welche der beiden voneinander unabhängigen Erscheinungen im Zusammenhang mit Ozon, gemeint ist: das Boden nahe Ozon beim sogenannten Sommersmog oder das Ozonloch in der Atmosphäre von dem im folgenden die Rede sein soll.

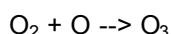
Bei Meinungsumfragen in Deutschland fand man heraus, dass sich die Bundesbürger im Vergleich zu anderen Umweltproblemen vom Ozonloch am meisten bedroht fühlten.

Das hatte bereits Auswirkungen auf die Urlaubsplanung: Neuseeland und Australien melden schon einen Rückgang bei der Zahl der Urlauber. Doch die Angst vor dem Ozonloch ist in der Regel diffuser Natur. Durch die Medien ist zwar inzwischen hinreichend bekannt, durch welche Stoffe das Ozonloch verursacht wird und wie man sie vermeiden kann doch der wissenschaftliche Mechanismus, und das reale und objektive Gefahrenpotential sind nicht bekannt.

Die folgende kurze, ganz bewusst einfach gehaltene Beschreibung solleinen Beitrag dazu leisten, dass Phänomen Ozonloch auch dem Laien verständlich zu erklären.

2. Was ist Ozon ?

Das Ozonmolekül selbst, kurz einfach Ozon (O₃) genannt, entsteht durch die Reaktion von Sauerstoffmolekülen (O₂) mit einem Atom Sauerstoff (O).



Während die Sauerstoffmoleküle seit etwa einer Milliarde Jahren durch Photosynthese in die Atmosphäre gelangen, kommen die

Halogenierte Kohlenwasserstoffe

Mit dem Begriff Halogene werden die chemischen Elemente Fluor, Chlor, Brom und Iod bezeichnet. Daraus ergibt sich für Ihre Verbindungen mit den Elementen Kohlenstoff und Wasser die Bezeichnung halogenierte Kohlenwasserstoffe.

Verbindungen mit Fluor, die sogenannten Fluorchlorkohlenwasserstoffe (kurz auch FCKW genannt) wurden vor allem in Spraydosen, Klimaanlage und anderen Kühlanlagen eingesetzt.

Halone sind die bromierten Varianten dieser Kohlenwasserstoffe Sie finden oft als Feuerlöschmittel Verwendung.

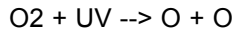
Methylbromid ist ein beliebtes und sehr häufig eingesetztes Mittel bei der Pilzbekämpfung in der Landwirtschaft, vor allem in den Entwicklungsländern.

Photosynthese

Vorgang in den Blättern von Pflanzen, bei dem mit Hilfe des Blattgrüns (Chlorophyll) und Sonnenlicht, Kohlendioxid aus der Luft in Zucker umgewandelt wird, der den Pflanzen als Nahrung dient. Dabei wird - quasi als Nebenprodukt- Sauerstoff an die Luft abgegeben.

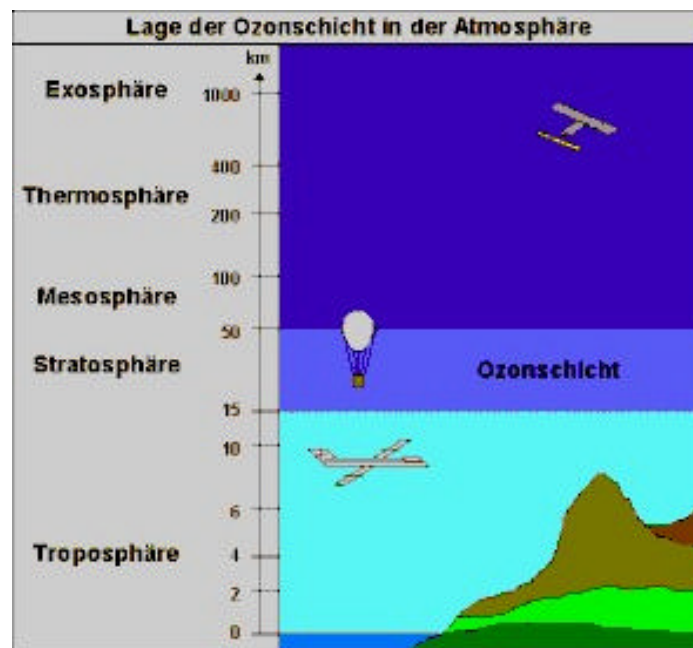
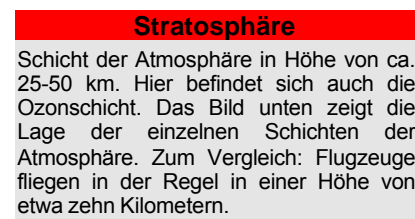
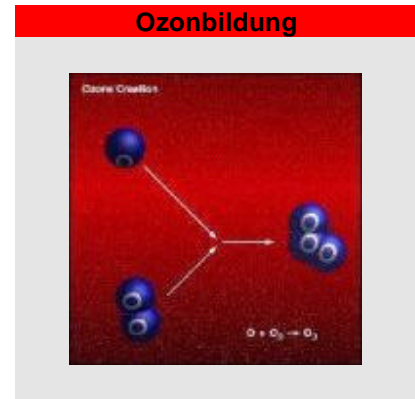


freien Sauerstoffatome nicht in den unteren Atmosphärenschichten vor. Die benötigten Sauerstoffatome werden erst in der Stratosphäre erzeugt, wo die UV-Strahlung der Sonne noch stark genug ist, die Sauerstoffmoleküle zu spalten.



Damit die UV-Strahlung die zur Spaltung der Sauerstoffmoleküle (O₂) erforderliche Energie besitzt, muss deren Wellenlänge kleiner als 242 nm sein. Strahlung dieser kleinen Wellenlänge dringt jedoch nur im geringen Umfang in die unteren Schichten der Atmosphäre vor. Das ist die Ursache dafür, dass sich das natürliche Ozon nur in den oberen Schichten der Stratosphäre bildet, die etwa in Höhe von 25 km beginnt.

Durch die Aufnahme von UV-Strahlung mit Wellenlängen von 170 bis 325 nm wird das Ozonmolekül rasch wieder zerstört. Dieser natürliche Prozess bildet die Abschirmung der Erdoberfläche vor der gefährlichen UV-Strahlung mit Wellenlängen von weniger als 320 nm. Am besten absorbiert das Ozon UV-Strahlung mit Wellenlängen unterhalb 290 nm. Ein Teil der sogenannten UV-A Strahlung, mit Wellenlängen zwischen 325 und 290 nm, kann daher die Oberfläche der Erde erreichen und auf Organismen einwirken.





3. Woher kommt der Abbau der Ozonschicht ?

1974 wiesen Forscher zum ersten Mal auf die mögliche Zerstörung der Ozonmoleküle durch Chloratome hin. Doch bis 1980 lies sich in den Messreihen, die seit dem Ende der 50er Jahre in der Antarktis durchgeführt werden, kein Hinweis auf einen einsetzenden Abbau an Ozon finden. Erst 1985 wurde erstmals die Entdeckung des Ozonlochs über der Antarktis mitgeteilt. Nachdem anfänglich nur über dem Südpol ein Ozonabbau beobachtet wurde, zeigten schließlich erstmals 1988 Messungen auch auf der nördlichen Erdhalbkugel Verlust an Ozon.

Inzwischen gilt es als gesichert, dass der Ozonabbau durch halogenierte Kohlenwasserstoffe verursacht wird. Abbauprodukte dieser Stoffe wurden in der Stratosphäre nachgewiesen, obwohl Sie dort von Natur aus nicht vorkommen.

Etwa 85 Prozent der Chlorverbindungen und etwa die Hälfte der Bromverbindungen in der Atmosphäre sind menschlichen Ursprungs. Durch die solare UV-Strahlung in den oberen Schichten der Atmosphäre werden Chlor und Brom freigesetzt und greifen in den natürlichen Ozonkreislauf ein, indem sie mit dem atomaren Sauerstoff reagieren, der somit nicht mehr zur Ozonproduktion zur Verfügung steht. Fatalerweise wird am Ende des Prozesses wieder aktives Halogen gebildet, welches für weitere Abbaukreisläufe zur Verfügung steht. Es dauert sehr lange, bis dies durch andere Reaktionen eliminiert wird.

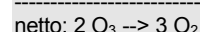
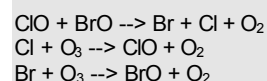
Begünstigt wird die Freisetzung der aktiven Halogene durch die im Winter und Frühjahr und in der Nähe der Erdpole häufig auftretenden Polaren Stratosphärenwolken. Die Wolken entstehen im Bereich der unteren Stratosphäre bei Temperaturen unterhalb von -78°C , also Temperaturen, die nur in der Nähe der Pole, vor allem am Südpol und im Winter erreicht werden.

Die Bildung der Stratosphärenwolken hängt eng zusammen mit den Luftströmungen um die Polargebiete herum, dem Vortex. Tatsächlich ist der Vortex der Grund dafür, dass der Ozonabbau hauptsächlich in der Antarktis erfolgt, obwohl mehr als 90 Prozent der halogenierten Kohlenwasserstoffe auf der nördlichen Halbkugel in die Luft abgegeben werden. In der nördlichen Hemisphäre tritt der arktische Vortex sehr viel seltener auf. Ausserdem ist er wegen der unter ihm liegenden, störenden Landmassen weniger stabil, als der Vortex in der Antarktis. Daher kommt es über dem Nordpol nicht zu so massiven Ozonverlusten, wie über dem Südpol.

Ein weiterer, allerdings ein nicht durch den Menschen verursachter, Faktor für den Abbau von Ozon sind die Sulfat-Aerosole. Das sind Tropfen von in Wasser gelöster schwefeliger Säure. Sie entstehen zum Beispiel bei großen Vulkanausbrüchen, die gewaltig genug sind, um Schwefeldioxid bis in die Stratosphäre zu katapultieren. So waren zuletzt beim Ausbruch des Pinatubo (Philippinen) im Juni 1991 deutliche Auswirkungen auf die Ozonmenge feststellbar.

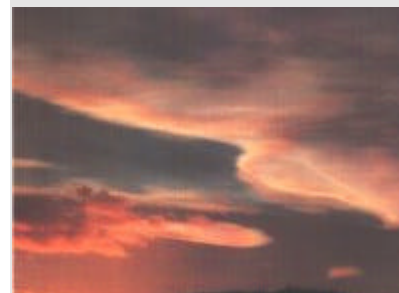
Katalytische Ozonzerstörung

In der Realität gibt es zahlreiche Mechanismen, die zur Ozonzerstörung beitragen. Welcher Vorgang tatsächlich abläuft, unterliegt nicht zuletzt auch saisonalen Schwankungen. Der folgende Ablauf kann daher nur als ein Beispiel dienen:



Polare Stratosphärenwolken

Diese Wolken bestehen aus Eiskristallen, die neben geringen Anteilen Schwefelsäure in der Hauptsache aus Salpetersäure und Wasser gebildet werden. Dabei ist die Salpetersäure entscheidend, da diese in der Lage ist, hohe Anteile des reaktiven Chlors an sich zu binden und für den Ozonabbau verfügbar zu halten.



Polare Stratosphärenwolken über Kiruna/ Nordschweden 1991 (Quelle: MPI / Spektrum der Wissenschaft, Heft 8/1991)

Vortex

Diese stabilen Luftwirbel entstehen durch die sehr geringe Sonneneinstrahlung während des polaren Winters und die dadurch bedingte Tiefdruckwetterlage. Die Luft innerhalb des Vortex kühlt stark aus, was die Bildung der Eispartikel, aus denen die Polaren Stratosphärenwolken bestehen, begünstigt.



Das Ozonloch

Entstehung – Folgen - Entwicklung

Eine weitere natürliche Quelle für grosse Mengen an halogenierten Kohlenwasserstoffen entdeckten Wissenschaftlerteams aus Japan, den USA und Deutschland. Sie fanden heraus, dass im Boden, in Salzmarschen und an den tropischen Küsten große Mengen der Substanzen Methylbromid und Methylchlorid gebildet werden.

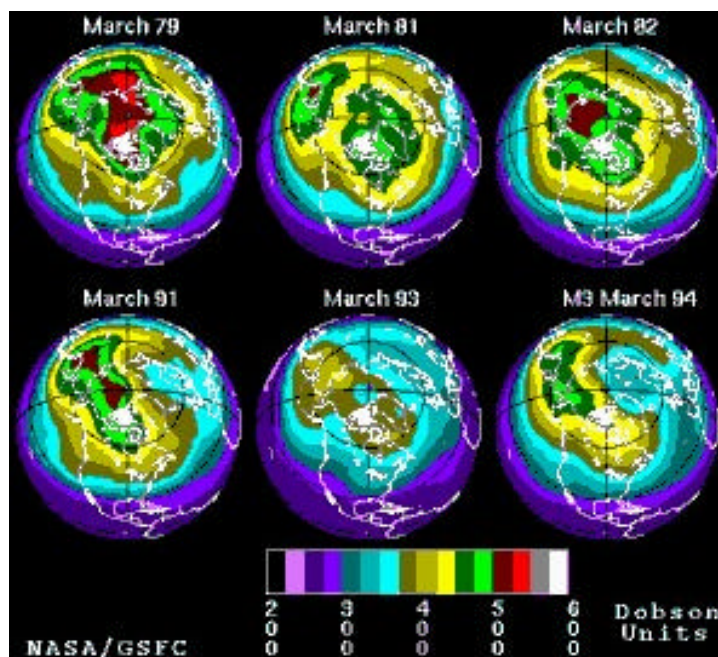
4. Was ist das Ozonloch ?

Die Ozonschicht ist nicht an allen Stellen auf der Erde gleich dick. Am dünnsten ist Sie über den Tropen zu den Polen hin wird sie immer dichter. Das Maß für die Stärke der Ozonschicht sind Dobson-Einheiten. Sie beträgt im Jahresmittel in den Tropen etwa 260 Dobson-Einheiten und in Mitteleuropa etwa 350 Dobson-Einheiten. Vor allem im Winter schwanken die Werte je nach den meteorologischen Bedingungen zwischen 200 und 500 Dobson-Einheiten. Fallen die Werte unter 200 Dobson-Units, wird von einem Ozonloch gesprochen.

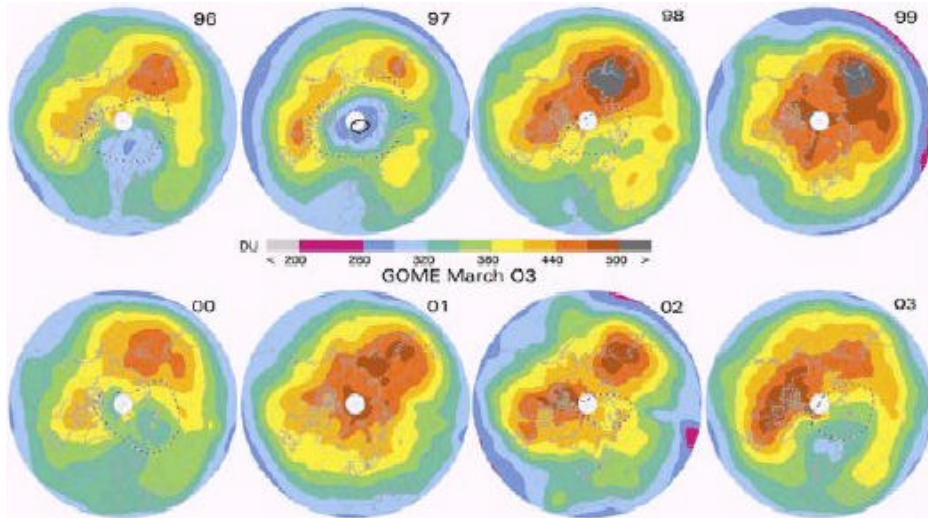
Dobson-Einheiten

Durch Messungen wurde in den 1920er Jahren die Ozonschicht durch den Engländer Dobson entdeckt. Ihm zu Ehren wird heute die Menge des Ozons in der Atmosphäre in Dobson Einheiten (engl.: Dobson Units = DU) angegeben. Eine Dobson Unit entspricht $2,69 \times 10^{16}$ Molekülen pro Quadratcentimeter, was einer drei Millimeter dicken Schicht bei Normaldruck entspricht.

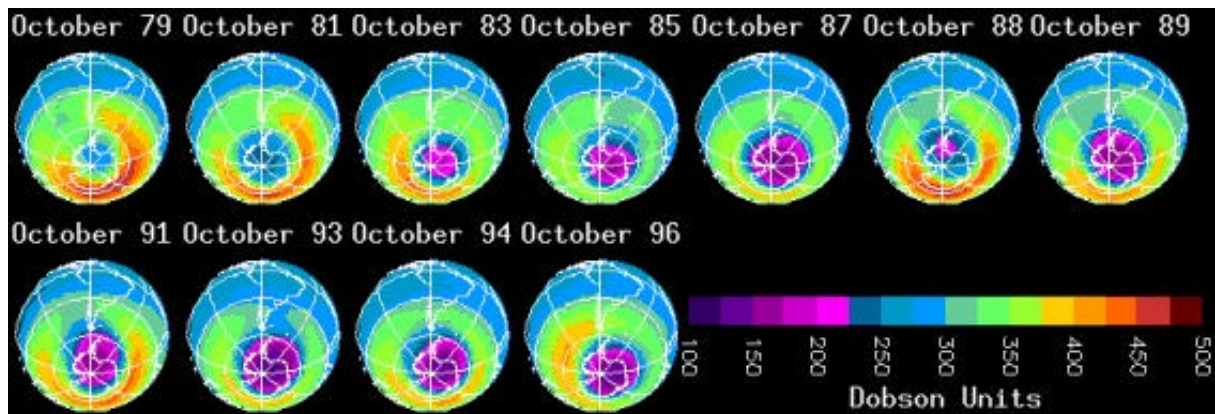
Wie oben beschrieben, wird während des polaren Winters die Ozonschicht durch die Bildung der Polaren Stratosphärenwolken besonders stark stark ausgedünnt. Nachdem die Sonne wieder über den Horizont tritt und genügend Energie in die polaren Gebiete einstrahlt, bricht der Vortex zusammen. Es strömt wieder ozonreiche Luft ein, die das Ozonloch auffüllt. Das Ozonloch über dem Südpol ist also kein permanentes, sondern ein saisonales Phänomen. Noch bis Ende der 70er Jahre wurden im Oktober, dem Monat in dem das Ozonloch am größten ist, etwa 330 Dobson-Einheiten mit natürlichen Schwankungsbreiten von etwa 20 Dobson-Einheiten gemessen. Inzwischen liegen die Oktoberwerte im Mittel zwischen 100 und 150 Dobson-Einheiten.



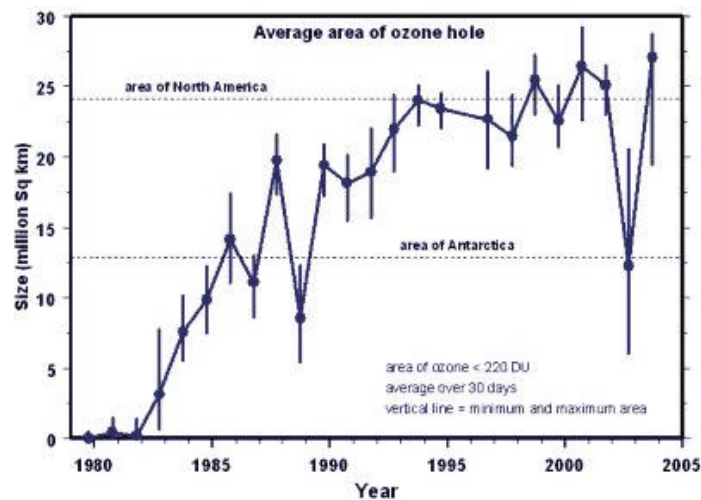
Die Entwicklung des Ozonlochs über der Arktis (Nordpol) 1979 - 1994



Die Entwicklung des Ozonlochs über der Arktis (Nordpol) 1996 – 2003



Die Entwicklung des Ozonlochs in der Antarktis (Südpol)



Fläche des Ozonlochs über der Antarktis (Südpol)



5. Was sind die Umweltfolgen ?

Die unmittelbare Gefahr durch die dünnere Ozonschicht besteht in der verstärkten UV-Strahlung, die bis zum Boden vordringen kann. Wieviel UV-Strahlung zusätzlich bis auf den Erdboden gelangt, kann nicht exakt gemessen werden, da die Stärke der UV-Strahlung auch durch das Wetter und durch die Luftverschmutzung beeinflusst wird. Als Faustregel gilt, dass durch jedes Prozent weniger Ozon, 2% mehr UV-Strahlen den Erdboden erreichen, was wiederum zu einem Anstieg der Hautkrebsrate um 3% führt.

Der Mensch kann diese Strahlung nicht wahrnehmen, doch sie kann verheerende Auswirkungen auf lebende Organismen haben. Durch die fehlende Wahrnehmung, werden die Zerstörungen allerdings in der Regel erst dann erkannt, wenn sie bereits eingetreten sind.

Wie stark die Wirkung der Strahlung auf den Organismus ist, hängt von der Wellenlänge dieser Strahlung ab. Je kleiner die Wellenlänge, desto grösser ist ihre Energie und desto grösser sind die biologischen Wirkungen. Selbstverständlich spielt auch die Expositionsdauer eine wesentliche Rolle. Untersuchungen haben ergeben, dass das genetische Erbmaterial von Lebewesen extrem empfindlich ist gegenüber der UV-Strahlung im Wellenlängenbereich von 200 bis 323 nm, also genau jenem Bereich, für den das Ozon der wesentliche Filter ist. Die Absorption des Ozons ist so gut, dass bereits in den ersten 3% der Ozonschicht, 90% von der einfallenden UV-B-Strahlung absorbiert wird. Insgesamt werden etwa 97 bis 99% der UV-B-Strahlung absorbiert.

Die unmittelbaren Folgen der vermehrten UV-B-Strahlung auf den Menschen sind:

- Sonnenbrand
- Hautkrebs
- Augenschäden

Der derzeit diagnostizierte Hautkrebs hat jedoch noch nichts mit der Ausdünnung der Ozonschicht zu tun. Experten zufolge, führt erst eine jahrelange kontinuierliche Schädigung der Haut zum Hautkrebs, so dass mit einer Ozon bedingten Erhöhung der Krebsrate frühestens nach 10 Jahren zu rechnen wäre. Das bei weißhäutigen Völkern schon seit längerem eine erhöhte Rate an Hautkrebs zu registrieren ist, führen Dermatologen in erster Linie auf unsinniges Freizeitverhalten zurück. Wobei manche Studien Nahe legen, dass die Anwendung von Sonnenschutzmitteln gar

nicht vor Hautkrebs schützt, sondern sogar mit einem erhöhten einem erhöhtem Risiko verbunden sein könnte. Das Tragen des Sonnenschutzes reduziert zwar die UV-B Expositionen, bietet aber wenig Schutz vor der UV-A Exposition, die aber wichtig bezüglich des Melanom Risikos ist.

Doch es ist nicht nur der Mensch ist betroffen. Die veränderte UV-Strahlung wirkt auch auf andere Organismen ein. Insbesondere an

UV-Strahlung:

UV ist die Abkürzung für Ultraviolett. Es handelt sich um eine kurzwellige Licht-Strahlung, die unterhalb des sichtbaren Lichtes liegt und die vom Menschen nicht wahrgenommen werden kann. Es werden drei UV Bereiche unterschieden:

UV-A - Strahlung (400-330 nm)
UV-B - Strahlung (330-290 nm)
UV-C - Strahlung (<290 nm)

Unter den normalen atmosphärischen Bedingungen erreicht im wesentlichen nur sichtbares Licht und die UV-A Strahlung die Erdoberfläche. Die UV-B Strahlung wird zum größten Teil von der Ozonschicht abgeschirmt. Die UV-C Strahlung, dringt nicht bis auf den Boden vor, da sie nicht nur vom Ozon, sondern auch durch den atmosphärischen Sauerstoff absorbiert wird.

Phytoplankton

Als Phytoplankton wird der pflanzliche Anteil des maritimen Planktons bezeichnet, der zur Photosynthese fähig ist. Neben Algen werden Protozoen und Cyanobakterien zum Phytoplankton gezählt. Phytoplankton ist bei weitem der wichtigste Primärproduzent im offenen aquatischen Bereich. Die produzierte Menge an organisch gebundenem Kohlenstoff wird auf ca. 12-19 Milliarden Tonnen jährlich geschätzt. Phytoplankton gilt als Basis der Nahrungskette im Ozean. Es stellt die Hauptnahrung für den Krill dar, der wiederum die Grundlage für die im Ozean lebenden Säugetiere bildet.

Cyanobakterien

Cyanobakterien sind Mikroorganismen, die vor allem in Feuchtgebieten und beim Reisanbau vorkommen. Sie tragen dort entscheidend dazu bei, daß der im Boden gebundene Stickstoff für die Pflanzen verfügbar gemacht wird. Das Wachstum, Entwicklung und verschiedene andere physiologische Reaktionen der Bakterien werden vom solaren UV beeinflusst.



Niederen Pflanzen und Mikroben lassen sich direkte Schäden nachweisen. Bei höheren Pflanzen sind die Wirkungen vor allem in der Änderung des Wachstumsverhaltens und anderer physiologischen Prozesse zu beobachten. Bei höherer UV-B Intensität sind weltweite Ernterückgänge zu erwarten.

Kontrovers wird weiterhin die Interpretation von Daten über die UV-B-Wirkung auf das antarktische Phytoplankton diskutiert. Die Schätzungen der Abnahme der gesamten Biomassenproduktion gehen bis zu 12%. Veränderungen in der Gemeinschaftsstruktur des Phytoplanktons konnten schon nachgewiesen werden, was Konsequenzen für die Nahrungskette haben könnte.

An Cyanobakterien wurde nachgewiesen, dass der Mechanismus der Fixierung des Stickstoffs durch UV-B Strahlung gestört wird. Weitere Effekte konnten unter anderem festgestellt werden bei der Entwicklung von Amphibienlarven, Seeigeln und Korallen.

Andererseits wurden gerade in der Flora und Fauna der Arktis und Antarktis auch äußerst erstaunliche Resistenzen gegen die UV Strahlen festgestellt. So sind die arktische Wirbeltiere wie Pinguine, Robben und Seevögel durch Federn und Fell sehr gut geschützt. Auch ihre Augen sind als Anpassung an die drohende Schneeblindheit besser geschützt, als die ihrer nicht polaren Verwandten.

6. Wie sind die Prognosen ?

Die aktuellen Messungen zeigen, dass die durch die künstlich verursachte Reduktion der Ozonschicht weiterhin noch zunimmt, auch wenn der steile Anstieg gestoppt zu sein scheint. Global beträgt die Verminderung der Ozonschicht seit Mitte der 60er Jahre ca. 5% (Stand ca. 2000).

In Montreal verabschiedeten die Vereinten Nationen 1987 die erste Vereinbarung zur Reduktion der globalen Produktion von Ozon zerstörenden Substanzen. Die Forderungen wurden 1992 im Kopenhagener Nachtrag nochmals verschärft. Bis heute haben über 130 Staaten die Verträge unterzeichnet, in deren Folge die weltweite Produktion von FCKW seit 1989 von mehr als einer Million auf 240.000 Tonnen (1996) gesunken ist. Seit 1995 sinkt die FCKW Konzentration in der bodennahen Luftschicht.

Infolge der gegenwärtigen internationalen Vereinbarungen wird erwartet, dass der anthropogene Einfluss eliminiert werden kann und so am Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts ein Maximum und etwa ab 2020 ein langsamer Rückgang der Ozonproblematik eintritt.

Unter der Annahme, dass alle anderen Randbedingungen gleich bleiben, wird erwartet, dass die Ozonschicht Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts zu ihren normalen Erscheinungsbild zurückkehrt.

Materialschäden

Schäden durch verstärkte UV-Strahlung lassen sich nicht nur in der belebten Natur nachweisen oder vorhersagen. Auch viele Gebrauchsgenständen sind betroffen. Forschergruppen wiesen Einflüsse auf Acrylate, Polystyrene, Polyethylene und Polypropylene nach. Bei Polycarbonaten wurde z.B. ein verstärktes Vergilben festgestellt. Bei den genannten Kunststoffen handelt es sich um Materialien, die in vielen Dingen des täglichen Bedarfs verarbeitet sind.

Internationale Vereinbarungen

1978

Verbot der Produktion von FCKW in den USA

1987

Montreal: Reduktion der FCKW-Produktion bis 1999 um 50%

1990

London: Einstellung der Produktion von FCKW bis 2000

1992

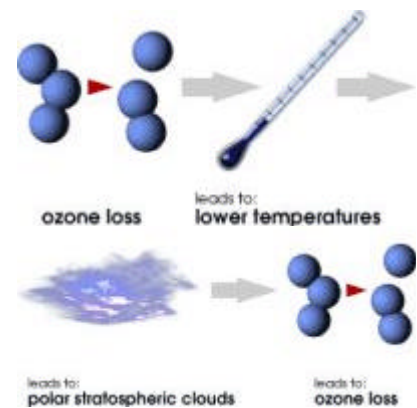
Kopenhagen: Produktion der FCKW bis 1994 um 75% reduzieren, bis Januar 1996 ganz einstellen (Übergangszeit bis 2006 für essentielle Fälle und für den Bedarf in Entwicklungsländern)



Entstehung – Folgen - Entwicklung

Untersuchungen der NASA zufolge, könnte sich das Schliessen des Ozonlochs jedoch verzögern, da es zu Interaktionen mit anderen klimatischen Phänomenen kommen kann. Wie die Graphik rechts zeigt, führt Ozonverlust in der Stratosphäre zu niedrigen Temperaturen. Diese verstärken jedoch den Ozonverlust, was nun wiederum zu niedrigeren Temperaturen führt.

An dieser Stelle greift das Phänomen Treibhauseffekt ein. Auch die Treibhausgase sorgen für eine weitere Abkühlung der Stratosphäre, da sie die Strahlung, die sonst die Stratosphäre erwärmt, zur Erde reflektieren. Da sich der Treibhauseffekt laut Aussage der NASA Wissenschaftler in den kommenden Jahren verstärken wird, kühlt sich die Stratosphäre weiter ab und das derzeitige Ungleichgewicht in der Ozonschicht wird verlängert.



7. Was bleibt zu tun ?

Weiterhin muss das Hauptbestreben darauf ausgerichtet sein, die Produktion und den Einsatz von FCKW zu verringern. Ungeachtet der vorhandenen Ersatzstoffe steigt der Bedarf an FCKW in den Entwicklungsländern weiter an. In manchen Staaten, zum Beispiel in den Staaten der ehemaligen Sowjetunion, werden FCKW trotz des Verbotes weiter produziert. Ausserdem dürfen eine Reihe Substanzen, von denen bekannt ist, dass sie die Ozonschicht schädigen, immer noch produziert werden, z.B. Methylbromid, ein Pilzvernichtungsmittel, das vor allem in Entwicklungsländern eingesetzt wird und noch bis 2005 verwendet werden darf. Es wird diskutiert, durch ein dichtes Netz von Messstellen herauszufinden, in welchen Regionen noch halogenierte Kohlenwasserstoffe produziert werden. Mit Druck auf die Regierungen könnte dies dann sicher begrenzt werden.

Doch obwohl die halogenierten Kohlenwasserstoffe hierzulande weitgehend aus den Schaumstoffen und Spraydosen eliminiert sind, besteht auch noch Handlungsbedarf. Zum Beispiel werden noch immer zahllose Kühlaggregate mit FCKW betrieben, das durch Leckagen oder bei unsachgemäßer Entsorgung in die Atmosphäre entweicht. Als Alternativen bieten sich hier Propan oder Ammoniak als Kühlmittel an.

8. Quellen und Links

- **Zentrum für Atmosphärenwissenschaft**
(<http://www.atm.ch.cam.ac.uk>)
- **NASA**
(<http://www.nasa.gov>)
- **Rüdiger Gerndt: Zerstörung des stratosphärischen Ozons**
(http://region.hagen.de/OZON/ozon_i.htm)
- **Bild der Wissenschaft online: Aktuelle Berichterstattung**
(<http://www.wissenschaft.de>)