

C4 Atmosphäre und Zirkulation



4.1 Ozon in der Stratosphäre

Ozonabbau – dokumentiert im Unterricht durch Satellitenbilder des Ozonsensors GOME (Global Ozone Monitoring Experiment) an Bord von ERS-2

4.1.1 Sachinformation

a. Die Atmosphäre als Schutzschicht der Erde

Die Atmosphäre ist in vielfacher Weise eine Schutzschicht. Ohne sie wäre z. B. die mittlere Jahrestemperatur nicht $+15^{\circ}\text{C}$, sondern eher -15°C . Der natürliche Treibhauseffekt der Atmosphäre ist für die Anhebung der Temperatur verantwortlich. Ohne eine Atmosphäre gäbe es keine Ozeane und ohne sie würde die Erdoberfläche durch die energiereiche UV-Strahlung so intensiv getroffen, dass sich uns bekannte Lebensformen auf dem Festland nie hätten entwickeln können. Diese Strahlung wird durch eine an Ozonmolekülen reiche Schicht in der Atmosphäre so weit absorbiert, dass sie nicht mehr lebensbedrohend wirken kann. Ozon absorbiert die lebensfeindliche UV-C-Strahlung ($\lambda < 280\text{ nm}$) und einen Großteil der UV-B-Strahlung ($280\text{ nm} < \lambda < 320\text{ nm}$). Hinweis: $1\text{ nm} = 0,000\,000\,001\text{ m}$.

Seit etwa einer Milliarde Jahren hat die irdische Atmosphäre etwa die gleiche Struktur wie sie heute vorliegt. Erst durch das Auftreten von Lebensformen im Meer wurde Sauerstoff gebildet und in die Atmosphäre abgegeben. Aus dem molekularen Sauerstoff wurde unter Einwirkung der UV-Strahlung des Sonnenlichts in größeren Höhen Ozon gebildet. Dabei erreicht das Ozon ein Konzentrationsmaximum in der unteren Stratosphäre bei etwa 25 km Höhe. Dieses Maximum ergibt sich aus den gegenläufigen Effekten der mit der Höhe abnehmenden Luftdichte und der mit der Höhe zunehmenden UV-Strahlung. Die Dicke der Ozonschicht nimmt seit Anfang der siebziger Jahre vielerorts stark ab. Dieser Trend ist aber nicht einheitlich, sondern regional und jahreszeitlich verschieden. Am stärksten ist die Ozonabnahme von September bis November über der Antarktis zu beobachten. Dort ist heute nur noch etwa ein Drittel der Ozonschicht aus den siebziger Jahren vorhanden, man spricht dort vom sogenannten Ozonloch. (Mit dem Begriff Ozonloch bezeichnet man eine Abnahme des Ozons um mehr als 50 Prozent gegenüber den in den 70er Jahren beobachteten Werten in einem bestimmten geographischen Bereich.) Aber auch auf der Nordhalbkugel sind während der Winter- und Frühjahrsmonate inzwischen Ozonverluste bis zu 8% innerhalb von 10 Jahren festzustellen. Die Karikatur **M 64 (C 4.1/Arbeitsblatt A 39)** macht auf das Problem des weltweiten Ozonabbaus aufmerksam.

b. Entstehung und Verteilung von Ozon in der Atmosphäre

Während molekularer Sauerstoff durch die Pflanzen in die Atmosphäre gelangt und neben molekularem Stickstoff der zweithäufigste Bestandteil der Atmosphäre (bis ca. 100 km Höhe) ist, muss das zur Ozonbildung in der Stratosphäre erforderliche Sauerstoffatom erst ständig gebildet werden. Dies geschieht durch die UV-Strahlung der Sonne, die in der Lage ist, ein Molekül Sauerstoff zu spalten.

Die Wellenlänge der UV-Strahlung muss dazu kleiner als 242,4 nm sein, damit die Strahlung genügend Energie besitzt, um das Sauerstoff-Molekül spalten zu können. Der größte Teil des Ozons wird daher in der Stratosphäre über den tropischen Regionen der Erde gebildet, weil hier die Sonneneinstrahlung das ganze Jahr über sehr intensiv ist.

Neben der vorhin beschriebenen Ozonbildung gibt es aber auch zahlreiche natürlich ablaufende Prozesse, die wieder zu einer Zerstörung mancher Ozonmoleküle führen. Insbesondere wird Ozon durch eine sehr energiereiche UV-Strahlung von unter 290 nm wieder abgebaut. Diese Reaktion bewirkt die bereits erwähnte Abschirmung der Erdoberfläche vor der gefährlichen UV-Strahlung. Das Wechselspiel von Bildung und Zerstörung des Ozons hat über Jahrtausende zu einer die Erde umhüllenden Ozonschicht geführt. Dabei befinden sich 90 % des Ozons in der Stratosphäre und die restlichen 10 % in der darunter liegenden Troposphäre, wenn man von dem kleinen Anteil absieht, der sich oberhalb von 50 km Höhe in der Mesosphäre befindet. Details der Schichtbildung sind auch von den dynami-

schen Bedingungen und damit von den Luftbewegungen in der Stratosphäre abhängig, denn Ozon hat in der Stratosphäre eine lange Lebensdauer in der Größenordnung von Monaten. Von wesentlichem Einfluss sind die stratosphärischen Luftbewegungen vom Äquator hin zu den beiden Polargebieten. Diese stratosphärischen Luftströme transportieren größere Mengen äquatorial erzeugten Ozons hin zu höheren südlichen und nördlichen Breiten. Die Lebensdauer der Ozonmoleküle ist in höheren Breiten zudem größer als über dem Äquator, da dort das Ozon aufgrund der geringen UV-Einstrahlung nicht so schnell wieder abgebaut werden kann. Dies führt in höheren Breiten zu einer Ozonanreicherung und am Äquator zu niedrigeren Werten des Gesamtozons. Das **Tafelbild** verdeutlicht diese Ozonverteilung und berücksichtigt die besondere Bedeutung des antarktischen Polarwirbels.

In der **Folie F 14-1**, welche die Situation für den 21. Oktober 1996 darstellt, ist vor dem Ozonloch (dunkelblau bis violett) der höhere Ozongehalt in höheren südlichen Breiten deutlich zu erkennen. Der Farbskala im unteren Bildteil sind die Werte der Gesamtozon-Konzentration in Dobson Units [DU] zu entnehmen (1 Dobson Unit entspricht einer Säulenhöhe von 0,01mm, die das Ozon unter Normalbedingungen – Null Grad Celsius und 1013 hPa – ausfüllen würde). Hinzu kommt, dass die stratosphärischen Luftströmungen während des Jahres unterschiedlich stark ausgeprägt sind. In den Monaten Oktober und November verläuft die stratosphärische Strömung vor allem in Richtung Südpol, während sie in den Monaten April und Mai vorwiegend die nördliche Hemisphäre mit ozonreichen Luftmassen versorgt. Solche dynamischen Vorgänge führen dazu, dass im Verlauf eines Jahres die Ozonschichtdicken sehr stark schwanken.

c. Zerstörung des stratosphärischen Ozons durch den Menschen

Vom Menschen erzeugte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) und Halone gelangen seit einigen Dekaden in die Troposphäre und reichern sich dort aufgrund ihrer langen natürlichen Lebenszeit, die im Bereich mehrerer Jahrzehnte liegt, an. Jedes Jahr wird durch Austauschprozesse vor allem in den Tropen ein Bruchteil davon in die Stratosphäre getragen. Starke Gewitter schleusen nämlich Luftmassen aus den unteren Schichten der Atmosphäre durch die Tropopause in die Stratosphäre. Der Ozonabbau in der Stratosphäre findet im Wesentlichen dann über folgende Prozesse statt:

Zunächst werden die in der Stratosphäre angekommenen, sonst sehr stabilen FCKWs und Halone durch die dort einfallende harte UV-Strahlung der Sonne aufgebrochen. Die entstehenden Bruchstücke sind bereits weniger stabil.

Durch Reaktionen der Fragmente mit den sonstigen Luftmolekülen werden neue Verbindungen erzeugt. Der überwiegende Anteil der neuen Verbindungen ist inaktiv und kann den Ozonhaushalt nicht drastisch beeinträchtigen. Doch durch die Luftströmungen in der Stratosphäre vom Äquator zu den Polen gelangen diese Verbindungen allmählich ebenfalls in die Nähe der Pole. Bei den kalten Temperaturen der Polarnacht werden diese inaktiven Verbindungen jedoch durch Reaktionen, die an der Oberfläche von Wolkenteilchen in einer polaren Stratosphärenwolke (PSW) stattfinden, in reaktive Chlorverbindungen übergeführt. (PSW's bilden sich in der unteren Stratosphäre bei Temperaturen unter -80°C .) Im folgenden Polarfrühling werden diese Verbindungen leicht durch das Licht der wiederkehrenden Sonne gespalten.

Dadurch werden nun ozonzerstörende katalytische Prozesse in Gang gesetzt, bei denen die ozonzerstörende Verbindung nach der Reaktion stets unverbraucht wieder zur Verfügung steht. Daher kommt es zu einem sehr drastischen Ozonabbau. In der Antarktis ist das Ergebnis dieser Prozesse jedes Jahr in den Monaten September und Oktober in Form des saisonalen Ozonlochs zu beobachten.

Die ozonabbauenden Reaktionen laufen dabei in der Antarktis nahezu wie in einem Reagenzglas ab, da der stark ausgebildete Polarwirbel in den Monaten September bis November eine Luftmassenzufuhr aus niederen Breiten verhindert. Erst Ende November verliert dieser Polarwirbel allmählich an Intensität und er bricht auf, so dass ein Luftmassenaustausch mit den niederen Breiten möglich wird (vgl. Beitrag auf der DVD **Raketen-Satelliten-Bilder** für die Jahre 1996 und 1997).



d. Auswirkungen von Vulkanausbrüchen auf das Gesamtozon in verschiedenen Breiten

Nicht nur vom Menschen erzeugte chemische Substanzen sorgen für den Ozonabbau in der Stratosphäre. Auch Naturereignisse wie der Ausbruch des Pinatubo im Juni 1991 tragen zum Rückgang des stratosphärischen Ozons in verschiedensten Breiten für einige Zeit bei.

Das Mainzer 2D-Klimamodell am Max Planck Institut zeigt die Auswirkungen des Pinatuboausbruchs für verschiedene Breiten auf der Nordhalbkugel. Die wechselnde Amplitude zeigt, dass der Ozonabbau vor allem im Winter und Frühjahr in den dargestellten Breitenbereichen stattgefunden hat. Erst mit Beginn des Jahres 1997 sind nach diesem Modell die Auswirkungen des Pinatuboausbruchs nicht mehr in größerem Ausmaß zu verspüren (C 4.1 / A 40 / M 66).

e. Die Auswertung von GOME-Daten für 1996/97 zur Beurteilung des Ozonabbaus

Untersucht wird die Gesamtozonverteilung auf der Erde, wie sie vom Ozonsensor GOME an Bord von ERS-2 für den Zeitraum Juni 1996 bis Juni 1997 aufgezeichnet wurde (vgl. **DVD Raketen-Satelliten-Bilder**).

Man kann die Zunahme des Gesamtozongehaltes auf der Südhalbkugel mit der geographische Breite bis etwa 60° S während aller Jahreszeiten feststellen. Diese Tatsache erklärt sich hauptsächlich durch die Luftbewegung im Bereich der Stratosphäre zu den Polen hin und der Existenz eines ausgeprägten Polarwirbels über der Antarktis.

Die Sequenz zeigt, dass das Ozonloch über einem großen Teil der Antarktis für ca. 2 Monate im dortigen Frühjahr besteht. Die zeitliche Veränderung des Ozonlochs und seiner Gestalt ist zu erkennen. Der Polarwirbel in der Stratosphäre rotiert, wie dies bei einem Tiefdruckgebiet auf der Südhalbkugel üblich ist, im Uhrzeigersinn und neigt oft dazu, sich in niedere Breiten auszudehnen. Durch diese Gestaltänderungen erreicht der Polarwirbel gelegentlich auch dichter besiedelte Gebiete.

Die zeitliche Abfolge des Gesamtozongehalts (ermittelt von GOME) über der Georg Neumayer-Station (71° S; 8° W) zeigt, wie die Ozonabnahme über der Station im August einsetzt und wie die Ozonwerte ihren tiefsten Stand im frühen Oktober erreichen (C 4.1/ A 40/ M 67). Die Werte liegen für diesen Termin am Südpol etwa nur noch bei 100 Dobson Units [DU], über der Georg Neumayer-Station bei ca. 145 DU.

Interessant ist auch, dass die Kurve von einer kürzeren periodischen Oszillation überlagert wird. Diese Überlagerung verdeutlicht die ständige Veränderung der Gestalt des Ozonlochs.

Ein Vergleich der Ozondaten für die Nordhalbkugel am 31. März 1997 (gemessen von GOME) mit den CIRA-Daten für März (COSPAR International Reference Atmosphere beruht auf Nimbus 7/ TOMS-Messungen der Nasa für den Zeitraum vom 11.1978 bis 10.1982) zeigt Erstaunliches (F 14-2).

Im März 97 liegen die Ozonwerte im Bereich des Nordpols um 30% niedriger, als dies dem Mittel für den Monat März (für die Jahre 1979 bis 1982) entspricht. Seit Beginn der satellitengestützten Ozonmessung vor rund 20 Jahren wurde ein derartiger Abbau in der nördlichen Polarregion noch nicht registriert. Das Zusammentreffen verschiedener Faktoren ist eine wichtige Voraussetzung für einen Ozonabbau dieses Ausmaßes:

- ausreichende Kälte (ca. -80° C zur Bildung der PSWs),
- Sonneneinstrahlung und die Existenz eines stabilen polaren Wirbels in der Stratosphäre, der die kalten Luftmassen von der umgebenden Atmosphäre über einen längeren Zeitraum isoliert.

Diese Bedingungen sind auf der Nordhalbkugel wegen der unregelmäßigen Land-Meer-Verteilung nur selten erfüllt. Eine stärkere Durchmischung der Luftmassen ist im Bereich der Arktis die Regel.

Hinweis: Da GOME für seine Messungen Sonnenlicht benötigt, können keine Daten bei Dunkelheit gewonnen werden. Weiße Flächen sind daher Bereiche, in denen Datenlücken auftreten.

f. Der Ozonabbau in der Arktis

Dr. M. Rex vom Alfred-Wegener-Institut in Potsdam konnte im Winter 95/96 zwei Effekte beobachten, die für die Arktis von Bedeutung sind bzw. unter Umständen an Bedeutung gewinnen werden.

Der erste Effekt – die so genannte Chlornitratfalle – tritt auf, wenn die Temperaturen in der Stratosphäre lang anhaltend tief sind, aber nicht -90°C erreichen. Hier wird nach einer anfangs sehr starken Aktivierung von Chlor durch Reaktionen an den PSW-Oberflächen das Chlor schließlich deaktiviert. Dadurch nehmen die Ozonabbauraten trotz weiterhin tiefer Temperaturen und dem Vorhandensein von PSWs ab.

Die Chlornitratfalle ist in der Antarktis nicht von Bedeutung, da sie dort von einem zweiten Effekt verhindert wird. Fallen die Temperaturen nämlich auf etwa -90°C , wie es für die winterliche Stratosphäre der Antarktis typisch ist, kondensieren in den PSWs so große Partikel, dass sie relativ schnell „ausschneien“ (Hinweis: d. h. sedimentieren). Dadurch werden weite Teile der Stratosphäre denitrifiziert und dehydriert, und eine Rückführung des Chlors in reaktionsträge Verbindungen wird weit über den Zeitraum der tiefen Temperaturen hinaus verzögert.

g. Ozonforschung – eine wichtige Aufgabe für die Zukunft

Mit dem Stop von FCKW-Freisetzen im Jahr 1996 wird der Gehalt an Chlorverbindungen in der Stratosphäre langfristig deutlich zurückgehen. Wissenschaftler gehen davon aus, dass etwa ab dem Jahr 2050 der ursprüngliche Zustand der Ozonschicht wiederhergestellt sei. Allerdings ist es dazu notwendig, durch finanzielle Unterstützung und durch Technologietransfer den Entwicklungsländern den Einstieg in Ersatztechniken zu ermöglichen. Übrigens ist durch den Stopp der FCKW-Produktion das Ozon-Problem noch nicht gelöst. Methylbromid (CH_3Br) und vor allem Lachgas (N_2O), das von Organismen in den Böden und in den Meeren produziert wird, werden in Zukunft vermutlich die Ozonschicht beeinträchtigen. Auch der zunehmende Flugverkehr in großen Höhen könnte eine Wirkung auf die Ozonschicht haben. Deshalb ist es wichtig, das Wissen über die Ozonschicht weiter zu vervollständigen und bisher noch ungeklärte Gegebenheiten wie z. B. die kurzfristigen Ozonveränderungen, die allein aufgrund von Verteilungsprozessen entstehen, besser zu erforschen. Erst wenn die wichtigsten Zusammenhänge erkannt sind, kann wirksam an weiteren Lösungsstrategien gearbeitet werden.

4.1.2 Das Thema im Unterricht

Das Thema bietet sich vor allem in der Oberstufe ab Jahrgangsstufe 11 an. In der Regel kann der Stoff dann auch fächerübergreifend, z. B. zusammen mit Chemie, dargeboten werden. Mit Hilfe der Karikatur **M 64/ A 39** lässt sich das Thema schülergerecht aufgreifen. Mit einfachen Schemadarstellungen kann die Ozonentstehung und die Höhenverteilung des Ozons erläutert werden.

Die Erklärung der Maßeinheit Dobson Unit (DU) sollte möglichst anschaulich erfolgen und auf einem Arbeitsblatt für den Schüler gesichert werden (**Arbeitsblatt A 41**). Ist der Stockwerkbau der Atmosphäre bereits bekannt, so kann den Schülern die Ozonverteilung auf der Südhalbkugel am 21. Okt. 1996 präsentiert werden (**F 14-1**). Fragen wie z. B. :

- Wie sieht die natürliche Ozonverteilung auf der Erde aus?
- Wie ist die Maßeinheit für die Ozonmessung definiert?

ermöglichen zusammen mit dem vorliegenden Material ein „entdeckendes Lernen“.

Dabei ist es ratsam, die natürliche Ozonverteilung – ohne Einfluss des Menschen – in einem Tafelbild (vgl. **Tafelbild** : Natürliche Ozonverteilung in der Atmosphäre) zu skizzieren.

Der Beitrag der **DVD Raketen-Satelliten-Bilder** über die Gesamtozonwerte auf der Erde (farbkodiert) durch den Ozonsensor GOME vom Juni 1996 bis zum Juni 1997 ermöglicht ein genaues Studieren der Entstehung und Auflösung des Ozonloches über der Antarktis bzw. eine Beobachtung des Ozonabbaus über der Arktis im Frühjahr des Jahres 1997. Darüber hinaus wird mit der Folie **F 14-2** ein Vergleich der Ozondaten, die von GOME am 31. März 1997 ermittelt wurden, mit den CIRA-Daten für den Bereich der Arktis möglich. Diese Region findet bei den Schülern aufgrund der räumlichen Nähe zu Europa besonderes Interesse. Vertiefend kann das Material **M 67/ A 40** sowie das Material **M 66/ A 40** zum Ozonabbau nach dem Ausbruch des Pinatubo herangezogen werden.



Das Arbeitsblatt „Ein Teufelskreis“ (A 42) ermöglicht es, auf die verstärkte UV-B-Strahlung infolge des Ozonabbaus einzugehen. Mit dem Text auf dem Arbeitsblatt kann man den von den Wissenschaftlern vermuteten, aber noch nicht eindeutig bewiesenen und quantifizierten Zusammenhang zwischen Ozonabbau und Treibhauseffekt aufzudecken versuchen.

Kann man die vorliegenden Materialien durch aktuelle Daten aus dem Internet ergänzen?

Die Daten des GOME-Instrumentes auf dem Satelliten ERS-2 können jeweils vom Vortag für Europa, für die Nordhalbkugel bzw. die Südhalbkugel über das ATMOS USER CENTER beim DFD (Internetadresse: <http://wdc.dlr.de/sensors/index.html>) abgerufen werden. Ebenso sind dort die Aufzeichnungen der amerikanischen Instrumente TOMS, TOVS und HALOE zu erhalten.

Auf der Homepage des TOMS-Instrumentes (Internetadresse: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>) findet man neben einem Archiv mit Ozonkarten bereits aufbereitete Multimedia-Anwendungen zum Thema Ozon. Ferner gibt es die Möglichkeit, für jeden Ort auf der Erde (durch Eingabe seiner geographischen Koordinaten) und für einen gewählten Zeitpunkt die betreffenden Gesamtozonwerte abzurufen.

Über das Alfred-Wegener-Institut (Internetadresse: <http://www.awi-bremerhaven.de/MET>) können meteorologische Beobachtungsdaten (z. B. Messungen der Lufttemperatur, des Ozonpartialdruckes, der zonalen und meridionalen Windgeschwindigkeiten) von der Georg Neumayer-Station in der Antarktis und von der Koldewey-Station auf Spitzbergen bezogen werden.

Die Verteilung des Phytoplanktons im Bereich der Meere kann mit Hilfe von Satellitendaten beurteilt werden (Internetadresse: <http://seawifs.gsfc.nasa.gov>). Die Homepage des TOMS-Instrumentes (siehe oben) gibt zudem Auskunft über die Auswirkungen der zunehmenden UV-B-Strahlung.

Aufgaben:

1. Welche Bedingungen haben im Bereich der Arktis im März 1997 im Vergleich zu den CIRA-Daten zu einem derartigen Ozonabbau geführt?
2. Je höher der Ozongehalt in der Gesamtsäule durch die Atmosphäre ist, umso weniger UV-Strahlung trifft die Erdoberfläche am Grunde dieser Säule.
Wovon hängt der Anteil der auf der Erdoberfläche eintreffenden UV-Strahlung ab, wenn man von einem gleichbleibenden Ozongehalt ausgeht?
3. Der Ozonabbau im Bereich der Stratosphäre und der zusätzliche Treibhauseffekt durch das Treibhausgas CO₂ können sich eventuell verstärken.
Welche Bedeutung kommt dabei den großen Phytoplanktonmassen im Meer zu? Informieren Sie sich anhand des Textes auf dem **Arbeitsblatt A 42!** Welche Rolle könnte eine mögliche Zunahme der UV-B-Strahlung spielen?

Literatur:

- Bittner, M. u. a.: Monitoring of polar ozone depletion using ERS-2 GOME. Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum Oberpfaffenhofen, 1997
- Bittner, M. u. a.: Analyse der Dynamik der Atmosphäre anhand von Ozonsäulendichten aus GOME Daten. DFD Oberpfaffenhofen, 1997
- BMB+F: Ozonschicht über Europa. Ergebnisse deutscher und internationaler Ozonforschung, Bonn 1997
- Brühl, C.: Stratosphärischer Ozonabbau. In: Geographie und Schule, Heft 101, 1996
- von der Gathen, P. u. a.: Anthropogene Ozonverluste in nördlichen Breiten. AWI 1997
- Gerndt, R.: Zerstörung des stratosphärischen Ozons. Internet-Beitrag (<http://www.hagen.de/OZON>)
- ISB: Schutz der Erdatmosphäre. Lehrerhandreichung, München 1997
- Neumann-Mayer, U. P. u. a.: Die Wüsten der Meere. Arbeit mit Aufnahmen des Coastal Zone Color Scanner von Nimbus 7. In: Geographie heute, Heft 137, S.26-31
- Rex, M.: Der Ozonabbau in der arktischen Stratosphäre. Ergebnisse einer neuen Messstrategie (Match). Dissertation im Fachbereich Geowissenschaften der Freien Universität Berlin, 1997

Folie 14-1:

Ozongehalt auf der Südhalbkugel mittels GOME

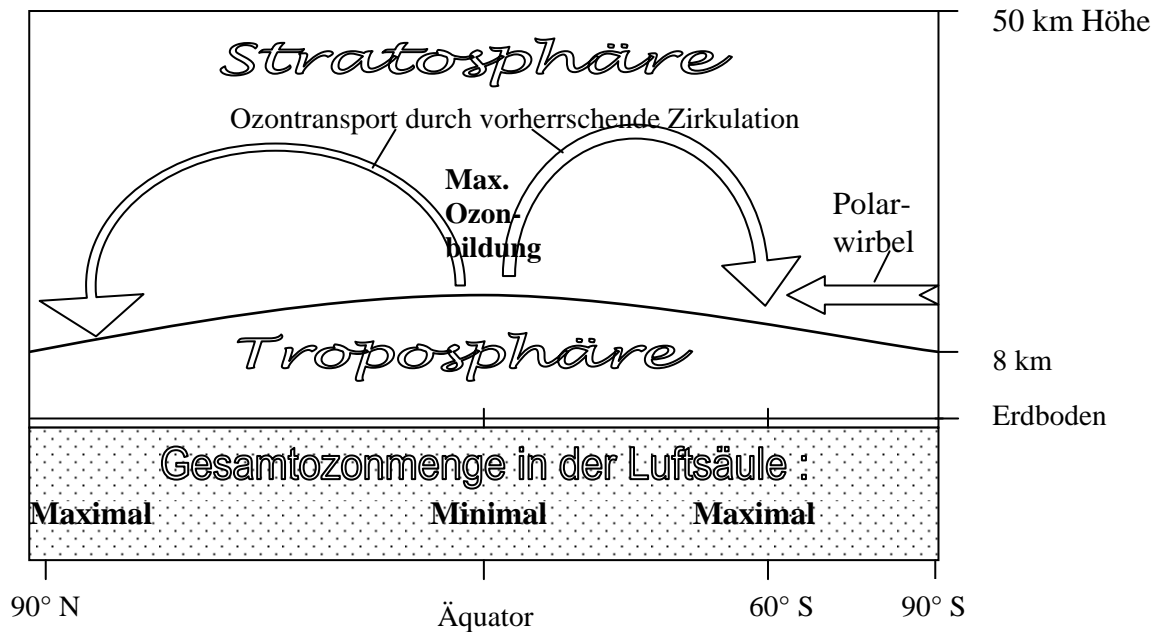
Quelle: DFD Oberpfaffenhofen

Folie F 14-2:

Ozongehalt - GOME-Daten und CIRA-Daten im Vergleich

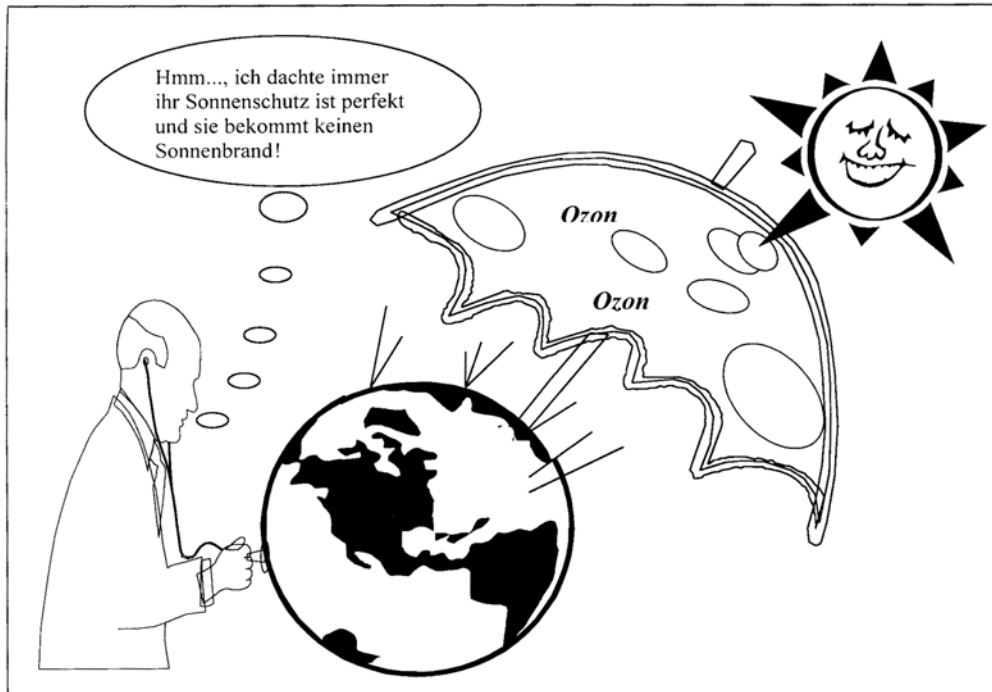
Quelle: DFD Oberpfaffenhofen

Tafelbild: Natürliche Ozonverteilung in der Atmosphäre



C. 4.1	Karikatur Ozonschicht	A 39
--------	-----------------------	------

M 1: Karikatur: Die Ozonschicht als Sonnenschutz (eigener Entwurf)



Aufgaben:

1. Welche Auswirkungen hat das Ozon auf die energiereiche UV-Strahlung?
2. Welche Auswirkungen hätte das Fehlen der Ozonschicht?
3. Wo weist die Ozonschicht bereits heute Schwachstellen auf?

M 65: Informationsblatt zu den Folien **F 16-1** und **F 16-2:**

Messung des Ozongehalts auf der Südhalbkugel mittels **GOME**- bzw. **CIRA**-Daten

Seit April 1995 befindet sich das europäische **Global Ozone Monitoring Experiment GOME** in einer sonnensynchronen polaren Erdumlaufbahn an Bord des ERS-2 Satelliten der ESA. Aufgabe des Instruments ist die kontinuierliche und globale Vermessung des Ozons. GOME „sieht“ senkrecht durch die Atmosphäre hindurch auf den Erdboden. Als Strahlungsquelle dient die Sonne (GOME kann daher nur am Tag messen). Entlang der Sichtlinie des Instruments sammelt GOME die von der Atmosphäre oder dem Erdboden reflektierte Strahlung in einem bestimmten Spektralbereich ($0,24 - 0,79 \mu\text{m}$) mit einer hohen Auflösung. Alle Ozonmoleküle, die auf dieser Sichtlinie liegen, schwächen die Strahlungsintensität ab. Vergleicht man nun dieses abgeschwächte Spektrum mit dem Spektrum des direkten Sonnenlichts, kann aus der Stärke der spektralen Abschwächung auf die gesamte Menge der entlang der Sichtlinie vorkommenden Ozonmoleküle geschlossen werden. Das Ergebnis ist das Gesamt ozon entlang der Sichtlinie von GOME (Definition Dobson Unit vgl. **Arbeitsblatt A 41**).

Die **COSPAR International Reference Atmosphere** beruht auf Nimbus 7/TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer)-Messungen der NASA für den Zeitraum Nov. 1978 - Oktober 1982 und ist die derzeit aktuellste breit akzeptierte Klimatologie. Zu beachten ist, dass die CIRA-Daten Mittelwerte darstellen! In der CIRA-Abbildung ist also der Mittelwert für den Monat März für die Jahre 1979 bis 1982 dargestellt.

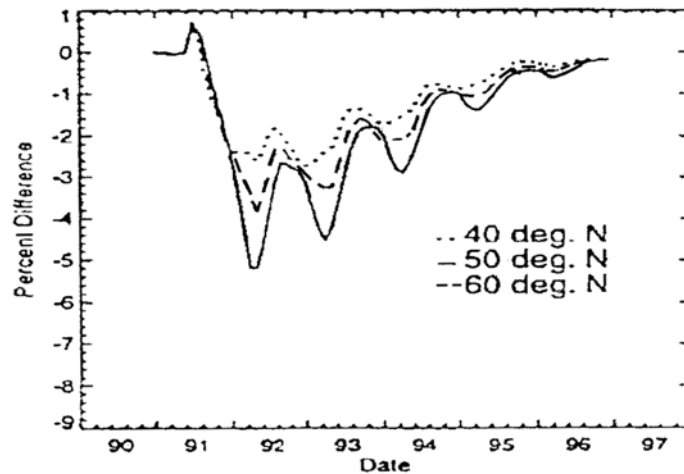
Quelle: Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum Oberpfaffenhofen

Aufgaben:

1. Wie kommt es zu höheren Gesamt ozonkonzentrationen mit zunehmender geographischer Breite?
2. Welche Ozonwerte werden am 21.10.1996 längs des Nullmeridians vom Äquator bis zum Südpol angenommen?

C. 4.1	Gesamtozongehalt	A 40
--------	------------------	------

M 66: Auswirkungen des Pinatubo-Ausbruchs auf das Gesamtozon in verschiedenen nördlichen Breiten (berechnet mit dem Mainzer 2D-Modell)

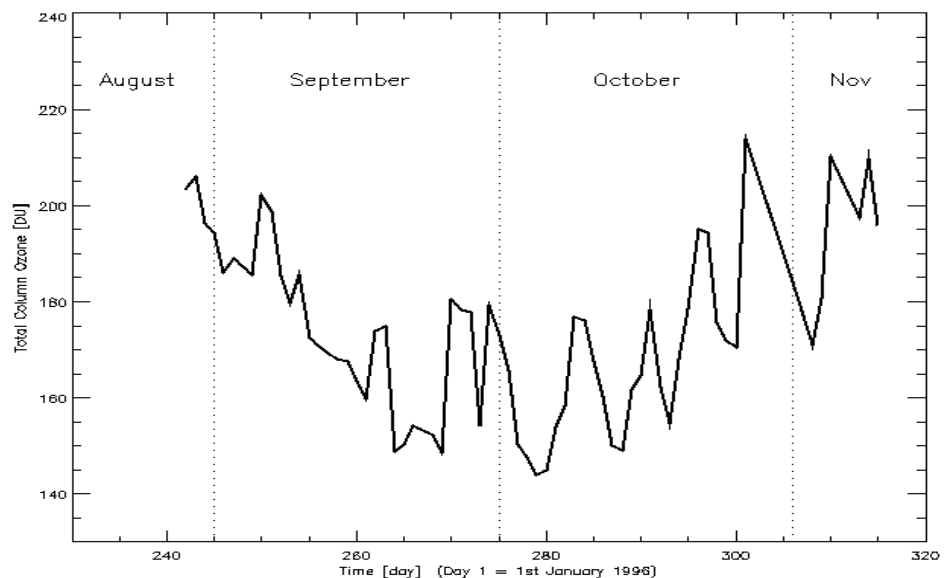


Quelle: Brühl, Christoff: Stratosphärischer Ozonabbau. S. 101

Aufgaben:

1. Stellen Sie die Lage des Pinatubo im Atlas fest und beschreiben Sie seine Lage im Vergleich zu den anderen Vulkanen auf der Erde!
2. Beschreiben Sie die Auswirkungen des Pinatubo-Ausbruchs auf das Gesamtozon in verschiedenen Breiten nach dem Mainzer 2D-Modell (hinsichtlich der Zeitskala und der Prozent-Skala)!

M 67: Gesamtozongehalt (ermittelt von GOME) über der Georg Neumayer-Station (71°S, 8°W) von Aug. - Nov. 1996



Quelle: DFD, Oberpfaffenhofen

Aufgaben:

1. In welcher Weise rotiert das Ozonloch um den Südpol?
2. Geben Sie Gründe dafür an, dass die Gesamtkurve von einer kürzeren periodischen Oszillation überlagert wird!

C. 4.1

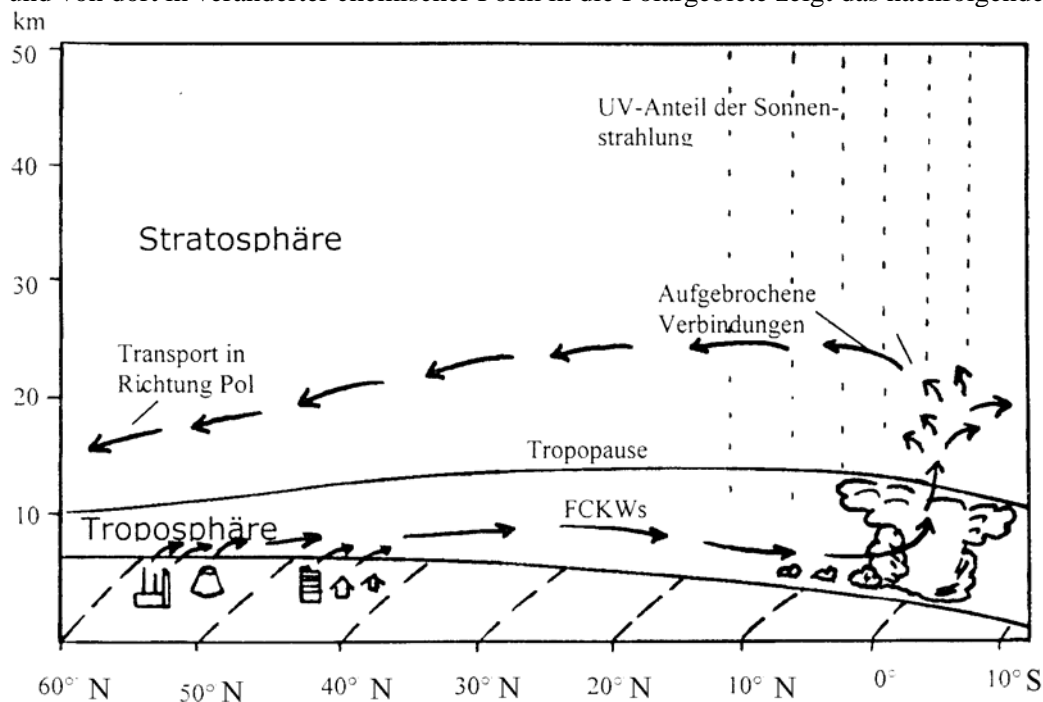
Ozonabbau in der Stratosphäre

A 41

Seit circa einer Milliarde Jahren hat die irdische Atmosphäre etwa die gleiche Struktur, wie sie heute vorliegt. Erst durch das Auftreten von Lebensformen im Meer wurde **Sauerstoff** gebildet und in die **Atmosphäre** abgegeben. Aus dem molekularen Sauerstoff wurde unter Einwirkung der **UV-Strahlung** des Sonnenlichtes **Ozon** gebildet. Dabei erreicht das **Ozon** ein Konzentrationsmaximum in der unteren Stratosphäre bei etwa 25 km Höhe. Dieses Maximum ergibt sich aus den gegenläufigen Effekten der mit der Höhe abnehmenden Luftdichte und der mit der Höhe zunehmenden UV-Strahlung. Die Dicke der Ozonschicht nimmt seit Anfang der siebziger Jahre unter dem Einfluss menschlicher Aktivitäten im globalen Mittel um etwa 3,5 % pro Jahrzehnt ab. Dabei gibt es erhebliche regionale Unterschiede. Am stärksten ist die Ozonabnahme im September und Oktober über der **Antarktis** zu beobachten. Dort ist heute nur noch etwa ein Drittel der Ozonschicht aus den siebziger Jahren vorhanden, man spricht dort vom so genannten Ozonloch (Mit dem Begriff Ozonloch bezeichnet man eine Abnahme des Ozons um mehr als 50 Prozent gegenüber den in den 70er Jahren beobachteten Werten in einem bestimmten geographischen Bereich).

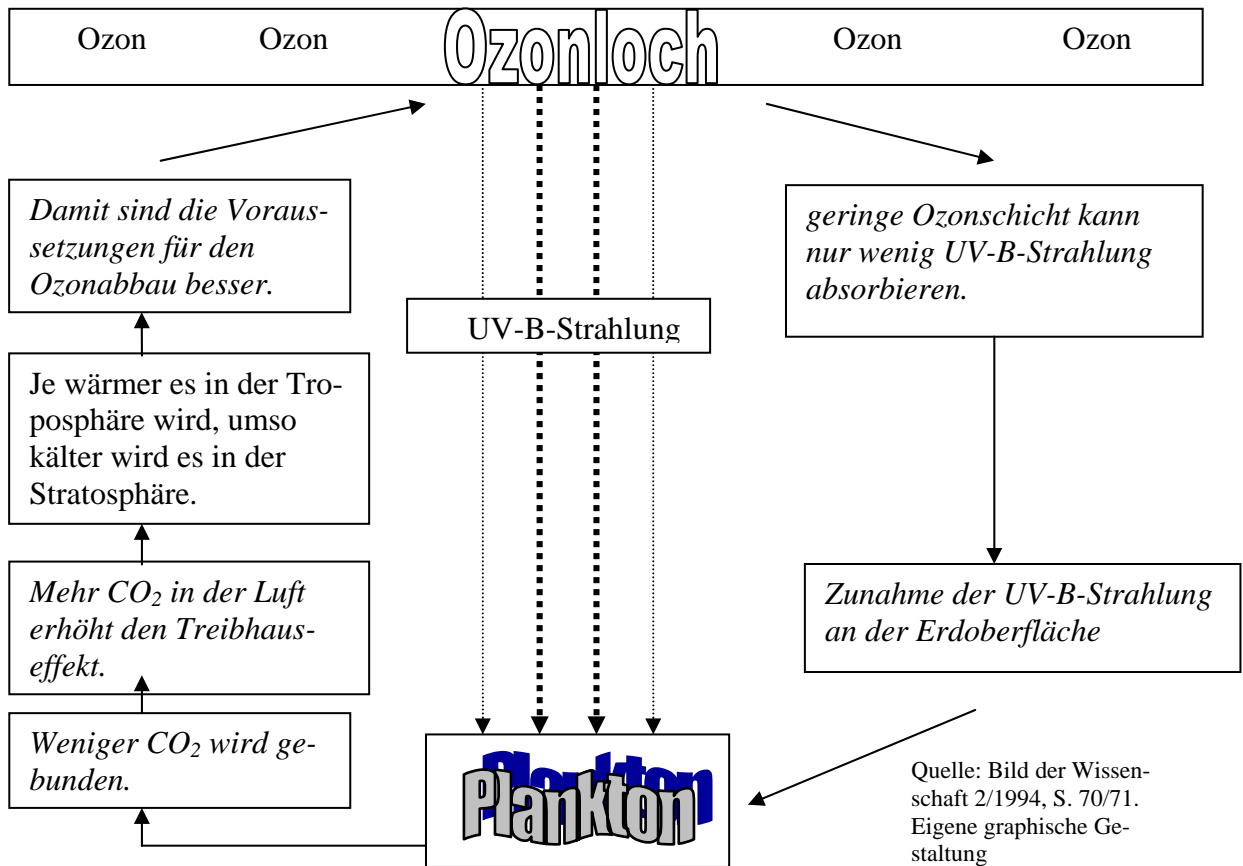
Die Einheit, mit der die Menge des in der Atmosphäre vorhandenen Ozons angegeben wird, heißt **Dobson Unit (DU)**. Im Mittel kommt Ozon in einer Konzentration von etwa 330 DU in der Atmosphäre vor. Würde man alles Ozon aus der Luftsäule über unseren Köpfen (also vom Erdboden bis zur Oberkante der Atmosphäre) in der Nähe des Erdbodens unter einem Druck von einer Normalatmosphäre (1013 hPa) und bei einer Temperatur von 273 K (0° C) ansammeln können, würde sich ein „Ozon-Ozean“ von nur etwa 3 mm Höhe (genau: 3,3 mm) ergeben. Einer Höhe der imaginären Ozonschicht von einem Millimeter entsprechen also gerade 100 DU. In Höhen mit der höchsten Ozonkonzentration sind etwa 10 Ozonmoleküle pro 1 Million Luftmoleküle zu finden. Es liegt eine Ozonkonzentration von **10 parts per million** (10 ppm) vor.

Den Weg der FCKWs aus den Industriezonen der gemäßigten Breiten über den Äquator in die Stratosphäre und von dort in veränderter chemischer Form in die Polargebiete zeigt das nachfolgende Bild.

**Aufgaben:**

1. Erkläre, warum in allen geographischen Breiten Ozon in der Stratosphäre abgebaut wird!
2. Warum setzt sich der Ozonabbau trotz Reduzierung der Verwendung von FCKWs fort?

C. 4.1	Ein Teufelskreis ?	A 42
--------	---------------------------	------



Auswirkungen des Ozonabbaus in der Stratosphäre auf wasserbewohnende Lebewesen:

Nicht die tropischen Regenwälder liefern die Hauptmasse des von Mensch und Tier benötigten Sauerstoffs, sondern das Phytoplankton der Weltmeere. Insofern ist der Einfluss von UV-Strahlung auf das pflanzliche Plankton mit Recht besonderen Untersuchungen unterzogen worden. Bisher scheint gesichert zu sein, dass die pflanzlichen Lebewesen ihr Bewegungsverhalten verändern und gerade günstige Lichthorizonte im Wasser verlassen. Es konnte nachgewiesen werden, dass innerhalb des Ozonlochbereiches hohe Produktivitätsverluste auftraten, d. h., es wurden weniger Biomasse (Kohlehydrate, Fette, Eiweiße) und Sauerstoff erzeugt. Es gibt ferner Hinweise, dass auch in anderen Meeresgebieten (außerhalb des Ozonloches also) die augenblickliche UV-B-Strahlung negative Effekte auf die marine Nahrungsmittelproduktion hat. Das Phytoplankton steht am Beginn der Nahrungskette: Ein Verlust an Biomasse entzieht selbst den größten (Speise)Fischen die Nahrung.

Eine weitere Auswirkung erhöhter UV-B-Strahlung darf nicht übersehen werden: Ozeane nehmen gewaltige Mengen an Kohlenstoffdioxid auf. Bei der Photosynthese des Phytoplanktons wird dieses Gas als Ausgangsprodukt verbraucht. Eine Minderung der Aktivität der Pflanzen führt zwangsläufig indirekt zu einem Anstieg der atmosphärischen Konzentration von Kohlendioxid. Dies wiederum wird zur Verstärkung des Treibhauseffektes beitragen. Erste Zahlen aus den Berechnungen von Planktonforschern verdeutlichen die Situation: Bei einem Rückgang der schützenden Ozon-Konzentration um 16 % reduziert sich die Biomassenproduktion in den Weltmeeren um 5 bis 10 %; diese Meere können dann jährlich bis zu 6 Milliarden Tonnen Kohlenstoffdioxid weniger binden.

Quelle: Staatsinstitut für Schulpädagogik und Bildungsforschung: Schutz der Erdatmosphäre. S. 29 / 30