

***Wie verändert sich die Ozonschicht am Nord- und  
Südpol und durch welche Einflüsse wird die  
Entwicklung beeinflusst?***

**Projektarbeit  
im Fach Vertiefenden Unterricht (VTU)**

**Anne-Frank-Schule  
Bargteheide**

**eingereicht bei  
Herrn Nickel, Herrn Hein und Frau Knies**

**Vorgelegt von  
Markus Kratz, Nicole Mergenthal, Marc-Alexander Westphal**

**Klasse 11a**

**Bargteheide, Juni 2006**

# Inhaltsverzeichnis

***Leitfrage:*** *Wie verändert sich die Ozonschicht am Nord- und Südpol und durch welche Einflüsse wird die Entwicklung beeinflusst?*

- ***Einleitung***

- ***Hauptteil***

1.) **Das Ozonloch**

2.) **Die Einflüsse für die Bildung des Ozonlochs am Nord- und Südpol**

2.1 Die Temperaturen am Nord- und Südpol

2.2 Polare Wirbel

2.3 Polare Stratosphärische Wolken

3.) **Die Veränderung der Ozonschicht am Südpol in den letzten Jahren**

4.) **Die Entwicklung der Ozonschicht am Nord- und Südpol in den nächsten Jahren**

4.1 Die verschiedenen Prognosen für die weitere Entwicklung des Ozonlochs

4.2 Unsere Prognose für die weitere Entwicklung

- **Schluss**

- **Bibliographie**

# Einleitung

Nachdem wir die Leitfrage „*Wie verändert sich der Ozongehalt in der Stratosphäre in den nächsten Jahren?*“ angefangen hatten zu bearbeiten, stellten wir mit Hilfe einiger Mitarbeiter vom Max-Planck-Institut fest, dass der Wissenschaft bestimmte Messwerte fehlen, um die Leitfrage weiter zu bearbeiten. Für die Bearbeitung der Leitfrage brauchten wir Werte für den Ozongehalt in der Stratosphäre für die ganze Welt, aber weil nur in bestimmten Gebieten der Ozongehalt gemessen wird, konnten wir keine Prognose für die nächsten Jahre erstellen.

Doch nach einer guten Beratung durch Björn Fock und Dieter Kasang kamen wir auf den Gedanken, die Veränderung der Ausdünnung der Ozonschicht an den Polen zu erforschen. Durch unsere veränderte Leitfrage „*Wie verändert sich die Ozonschicht am Nord- und Südpol und durch welche Einflüsse wird die Entwicklung beeinflusst?*“ haben wir die Möglichkeit mit vielen Universitäten und Instituten zusammen zu arbeiten, weil dieses Thema

(Ozonloch am Nord- und Südpol) sehr viele Forscher beschäftigt.

Kein Forscher kann genau sagen, wie sich das Ozonloch in den nächsten Jahren am Nord- und Südpol verändern wird. Viele Forscher behaupten, dass das Ozonloch am Nord- und Südpol sich durch bestimmte Einflüsse vergrößert. Andere Forscher stellen die Theorie auf, dass sich das Ozonloch an den Polen in den nächsten Jahren verkleinern wird. Bei unserer Arbeit sollte man darauf achten, dass wir uns auf den Nord- und Südpol spezialisiert haben, weil dort die Ausdünnung der Ozonschicht am höchsten ist.

Durch unsere Darstellung möchten wir zeigen, durch welche Einflüsse die Entwicklung von einem Ozonloch am Nord- und Südpol begünstigt wird. Außerdem soll die Veränderung des Ozonlochs der letzten 25 Jahren deutlich werden. Hinzu kommt noch, dass wir in unserer schriftlichen Ausarbeitung eine Prognose für die weitere Veränderung der Ausdünnung der Ozonschicht am Nord- und Südpol aufgestellt haben.

# Hauptteil

## 1.) Das Ozonloch

Das stratosphärische Ozon kommt in einer Konzentration von etwa 310 DU (Dobson Unit) in der Atmosphäre vor. Dobson Unit ist eine Maßeinheit für die Menge an Ozon in der Atmosphäre. Von einem Ozonloch spricht man, wenn der Wert unter 200 DU liegt. Die Ozonschicht, die sich in 20-30km Höhe befindet, ist für uns Menschen eine Art Schutzschild, weil sie die Einstrahlung von energiereichen UV-Strahlen weitgehend verhindert.

Doch durch die geringeren Ozonkonzentrationen in der Ozonschicht gelangen mehr schädigende und energiereiche UV-C-Strahlen bis zur Erdoberfläche.

Das erste Ozonloch wurde 1978 über der Südhalbkugel entdeckt. Die Ozonmenge über der Antarktis hatte über 40% abgenommen. Im Jahre 1992 wurde auch auf der Nordhalbkugel die Ausdünnung der Ozonschicht festgestellt. Für diese Ausdünnungen der Ozonschicht am Nord- und Südpol spielen verschiedene Einflüsse eine wichtige Rolle.

Wenn man von einem Ozonloch spricht, so meint man eine Ausdünnung der Ozonschicht, die durch den Ozonabbau bedingt durch chemische Substanzen, wie z.B. FCKW, entsteht.

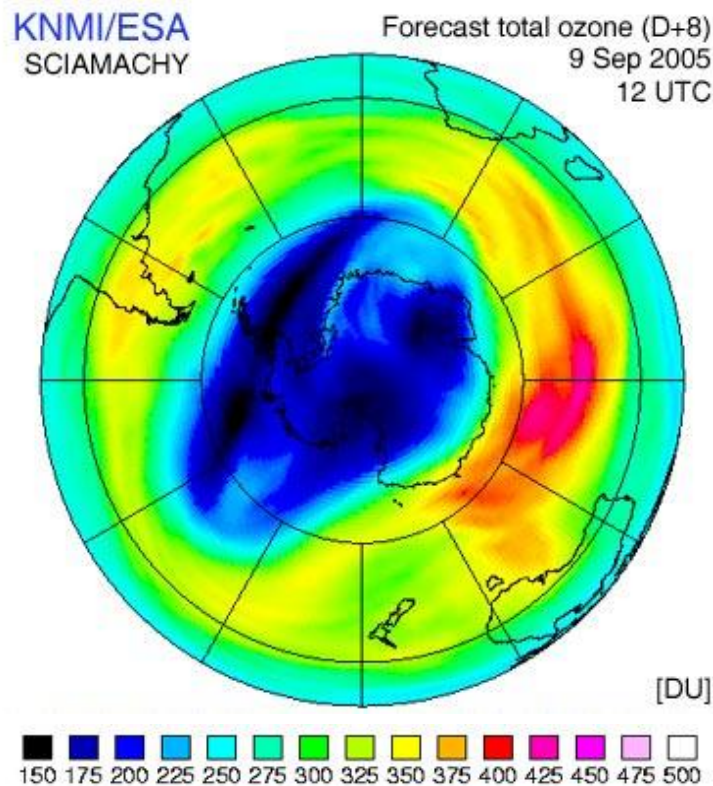


Abb. 1: Ozonloch über dem Südpol 9. Sep.2005,12UTC

Quelle: ESA, [http://www.esa.int/esaKIDSde/SEME2C7X9DE\\_Earth\\_1.html](http://www.esa.int/esaKIDSde/SEME2C7X9DE_Earth_1.html)

Abb. 1 zeigt die Ausdünnung der Ozonschicht am Südpol im September 2005. Man kann deutlich erkennen, dass die Ozonkonzentration am Südpol nur noch bei ca. 175, z.T. sogar bei 150 DU (Dobson Unit) liegt. In den niedrigeren Breiten liegt die Ozonkonzentration bei 300-400 DU.

## 2.) Die Einflüsse für die Bildung des Ozonlochs am Nord- und Südpol

### 2.1 Die Temperaturen am Nord- und Südpol

Die Temperaturen am Nord- und Südpol haben einen großen Einfluss auf die Entstehung von Polaren Wirbeln und Polaren Stratosphärischen Wolken. Dadurch haben sie auch einen Einfluss auf die Entwicklung des Ozonlochs am Nord- und Südpol.

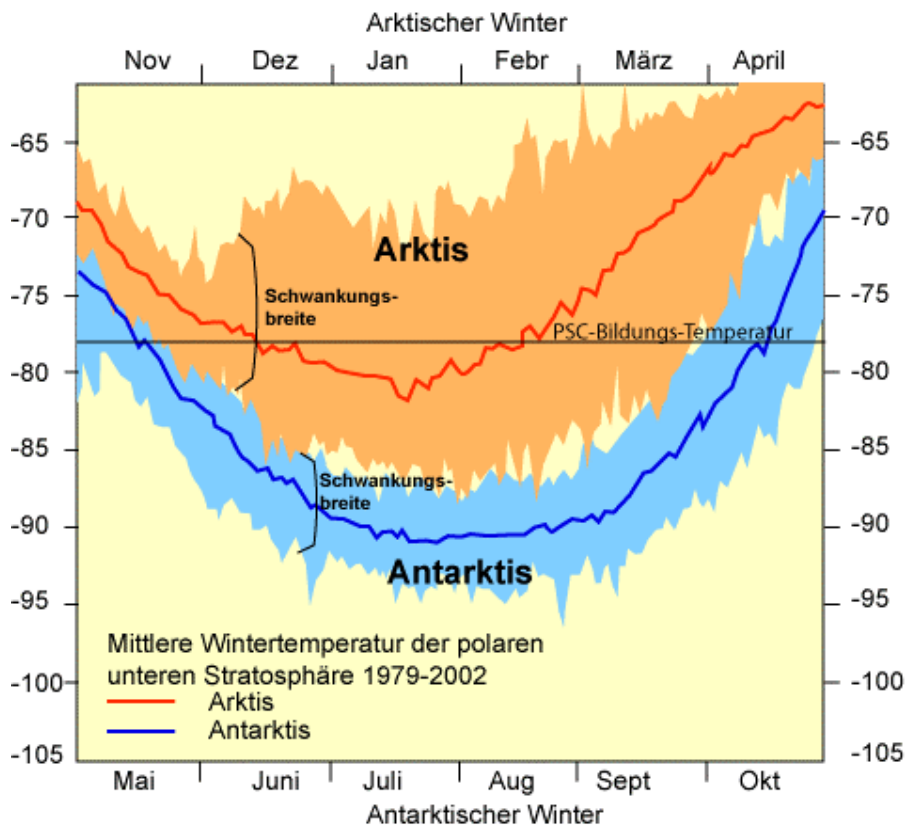


Abb. 2: Ozonabbau über der Arktis

Quelle: Dieter Kasang: Ozonabbau über der Arktis, <http://www.hamburger-Bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/bosch/themen/index.htm>

Auf der Abb. 2 kann man erkennen, dass der antarktische Winter mit ca. -95 Grad Celsius kälter als der arktische Winter mit ca. -85 Grad Celsius ist. Außerdem verdeutlicht die Abbildung, dass die polaren stratosphärischen Wolken bessere Voraussetzungen in der Antarktis als in der Arktis vorfinden und sie sich deshalb

häufiger in der Antarktis bilden. Die polaren stratosphärischen Wolken entstehen erst bei ca. -78 Grad.

Man kann sagen, dass die niedrigen Temperaturen ein sehr wichtiger Faktor für die Veränderung des Ozonlochs ist.

## 2.2 Die Polarwirbel

Der Polarwirbel erstreckt sich von der Tropopause bis in die Stratosphäre.

Durch die geringere Sonneneinstrahlung und durch die niedrigen Temperaturen an den Polen kommt es zu einer Abkühlung der Luftschichten. Die ca. -80°C kalten Luftmassen sinken aus

der Stratosphäre ab. Diese kalten Luftmassen werden durch die Corioliskraft, abhängig von den Polen, mit oder gegen den Uhrzeigersinn gedreht. Durch das Absinken der kalten Luftmassen entsteht ein Tiefdruckgebiet in der Stratosphäre, in das neue Luftmassen eindringen.

Die sich drehenden Luftmassen bilden eine Isolation, welche zur Folge hat, dass keine warme (und ozonreichere) Luft aus den niederen Breiten in den Strudel gelangt. Im Inneren des Polarwirbels kann ein eigenes Klima entstehen, und dies ist eine Grundvoraussetzung für die stratosphärischen Wolken und die Entstehung eines Ozonlochs.

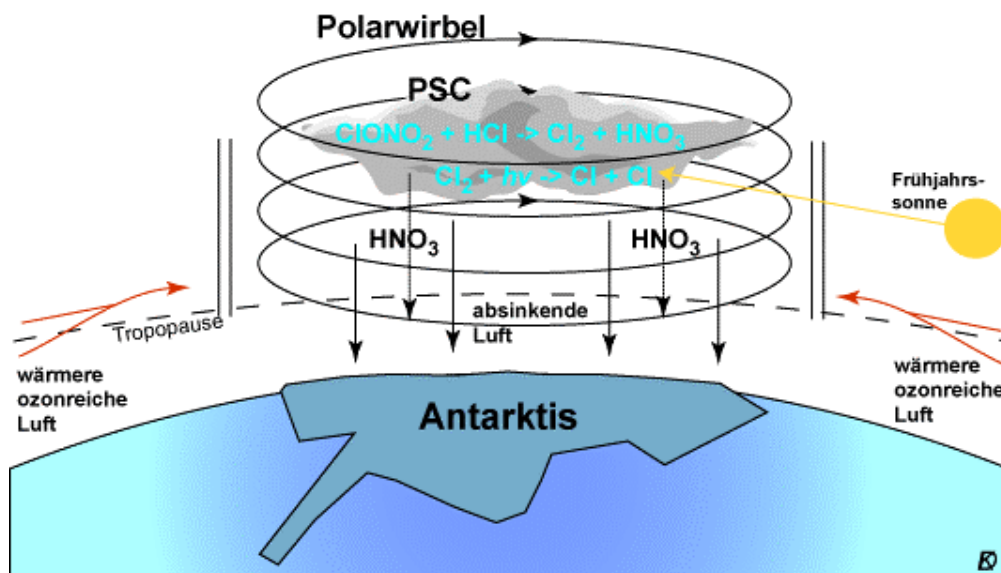


Abb. 3: Ursachen für das Ozonloch

Quelle: Dieter Kasang: Ursachen für das Ozonloch, <http://www.hamburgerbildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/bosch/themen/index.htm>

Die Abb. 3 stellt die Entstehung des Polarwirbels und der polaren stratosphärischen Wolken dar. Der Polarwirbel schafft die Voraussetzung für die Entstehung der polaren stratosphärischen Wolken und dadurch nimmt der Polarwirbel Einfluss auf die Ausdünnung der Ozonschicht am Nord- und Südpol.

## 2.3 Polare Stratosphärische Wolken

*Vorkommen der Polaren Stratosphärischen Wolken:*

Polare Stratosphärische Wolken (PSC - Polar Stratospheric Clouds) treten in der Stratosphäre in einer Höhe zwischen 20km und 30km auf. Die PSC entstehen durch sehr geringe Temperaturen innerhalb der Polarwirbel; deshalb bilden sich die PSC in den kalten Gebieten.

Es werden zwei verschiedene Typen von Polaren Stratosphärischen Wolken unterschieden.

*Nitric Acid Trihydrate-Wolken (NAT-Wolken):*

Die NAT-Wolke besteht aus einer Mischung von Wasser und Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ ) und bildet sich bei  $-78,15^\circ\text{C}$ . Bei tieferen Temperaturen können die NAT-Wolken weiter wachsen und dann auch relativ geringe Mengen an Salzsäure und Schwefelsäure aufnehmen.

Die NAT-Wolken treten sehr großflächig in der Stratosphäre auf.

*Perlmutterwolken:*

Die Perlmutterwolke besteht aus reinen Wasser-Eiskristallen. Sie bildet sich bei tieferen Temperaturen, ab  $-85^\circ\text{C}$  bis  $-90^\circ\text{C}$ . In den Teilstücken des Polaren Wirbels dehnt sich die Luft mit einer Aufwärtsbewegung aus und kühlt dabei ab. Dadurch kann Wasserdampf kondensieren und schließlich erstarren. Deshalb bilden sich durch die niedrigen Temperaturen die Polaren Stratosphärischen Wolken.

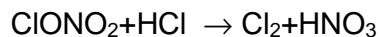
Durch die große Teilchengröße sind die Eiskristalle sehr schwer und deshalb sinken die Perlmutterwolken in die Troposphäre ab. Deswegen findet man die Perlmutterwolke auch in der Troposphäre. Allerdings wird der wasserarmen Stratosphäre über den Polen durch die Perlmutterwolke noch mehr Wasser entzogen.

Dieser Wolkentyp hat meistens ein linsenförmiges Aussehen und tritt nur kleinräumig auf.

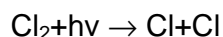
*Funktion der Polaren Stratosphärischen Wolken:*

Die niedrigen Temperaturen und die Polarwirbel führen dazu, dass sich die PSC am Nord- und Südpol bilden.

Die besondere Bedeutung der PSC für die Entstehung eines Ozonlochs besteht darin, dass auf den Oberflächen der Partikel chemische Reaktionen stattfinden, die Chlorreservoirmoleküle, die das schädliche Chlor binden, in Chlormoleküle umwandeln. Bei der Reaktion reagieren Chlornitrat ( $\text{ClONO}_2$ ) und Salzsäure ( $\text{HCl}$ ) miteinander.



Durch die Reaktion entsteht ein Chlormolekül und Salpetersäure. Dies ist zunächst unproblematisch für die Ozonschicht. Das Chloratom wird jedoch am Ende der Polarnacht durch die ersten Sonnenstrahlen in Chlornradikale gespalten, die dann zum Ozonabbau führen. Die Chlornradikale sind sehr reaktionsfreudig und deshalb sehr gefährlich für das stratosphärische Ozon.



Im Umfeld der Polaren Stratosphärischen Wolken wird das gesamte Chlornitrat umgewandelt. Außerdem sinken größere PSC-Partikel während des polaren Winters ab und entfernen dabei fast vollständig die Salpetersäure aus der Ozonschicht. Dies führt zu einem Problem, weil aus Salpetersäure unter der Einwirkung von Sonnenstrahlung Stickstoffdioxid entsteht. Stickstoff ist wichtig für die Aufnahme von Chlornitrat, weil bei der Reaktion von Chlornitrat Chlormonoxid mit dem Stickstoffdioxid reagiert. Je weniger Salpetersäure vorhanden ist, desto weniger Stickstoffdioxid steht deshalb für den Wiedereinbau von Chlornitrat zur Verfügung.

Salpetersäure + Sonnenlicht → Stickstoffdioxid

Stickstoffdioxid + Chlormonoxid → Chlornitrat

Durch die entfernte Salpetersäure kann kein Stickstoffdioxid entstehen und das bedeutet, dass mehr Chlornitrat die Ozonschichtzerstörung erhöhen.

Die Temperaturen der Stratosphäre sind nicht nur für die polaren Winde und für die Entstehung der PSC von großer Bedeutung, sondern sie beeinflussen auch die Reaktivität von Chlor, die bei niedrigen Temperaturen besonders hoch ist. Die höheren Temperaturen reduzieren die Reaktionszeit mit dem Ozon.

Deshalb hat die Temperatur in der Stratosphäre auch einen großen Einfluss auf die Ausdehnung des Ozonlochs, dessen Größe durch die dort herrschende Temperatur entschieden wird.

### **3.) Die Veränderung der Ozonschicht Südpol in den letzten Jahren**

Diese Betrachtung der Veränderung der Ozonschicht beschränkt sich ausschließlich auf den Südpol. Die ersten Aufnahmen von der Ozonschicht über dem Südpol entstanden im Jahre 1980.

Die Aufnahme aus dem Jahre 1980 zeigt die erste Abnahme der Ozonschicht über dem Südpol. Der Ozongehalt über dem Südpol liegt bei 175-250 DU (Dobson Unit).

Die Aufnahme aus dem Jahre 1985 zeigt eine deutliche Veränderung der Ozonschicht über dem Südpol. Es ist auffällig, dass sich die Ausdünnung der Ozonschicht bis zum Kap Horn von Südamerika ausgedehnt hat.

Die Ozonschicht direkt über dem Südpol weist eine niedrige Ozonkonzentration von ca. 150 DU auf. Am Rand der Antarktis ist eine Abnahme des Ozongehaltes zu erkennen, weil der Ozongehalt auf einen Wert von 200 DU gesunken ist.



## Die Ozonschicht über dem Südpol im Jahre 1980

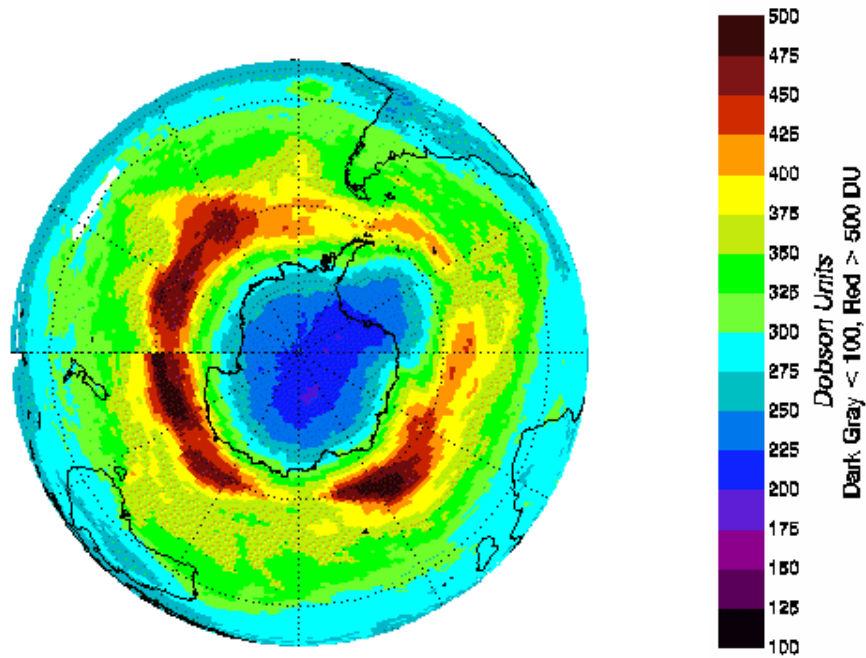


Abb.4: Ozonschicht über dem Südpol 1980

Quelle: Nasa, <http://www.theozonehole.com/ozoneholehistory.htm> (2005)

## Ozonkonzentration über dem Südpol im Jahre 1985

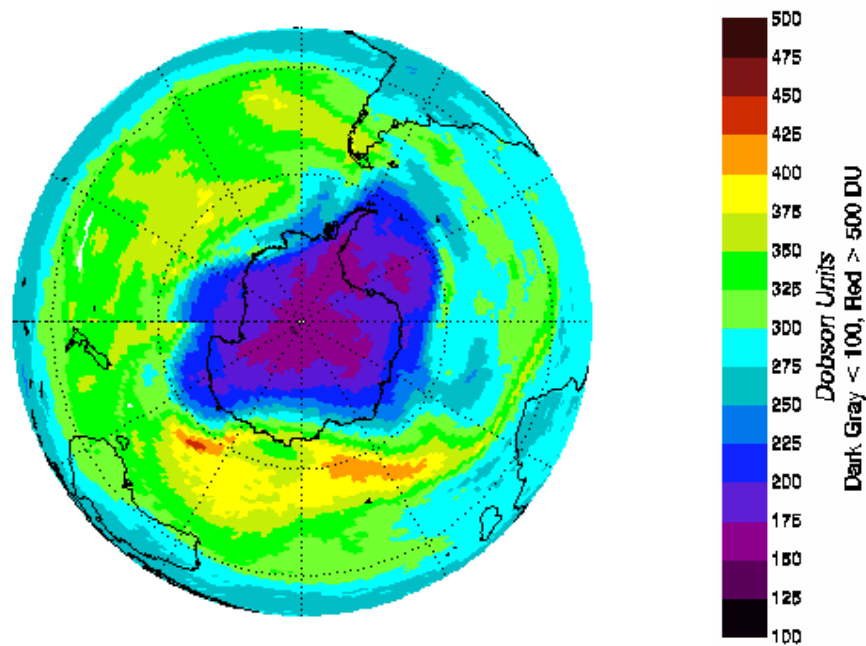


Abb.5 : Ozonkonzentration über dem Südpol 1985

Quelle : Nasa, <http://www.theozonehole.com/ozoneholehistory.htm> (2005)

Jahre später hat sich das Ozonloch weiter in Richtung Kap Horn ausgedehnt. Sehr auffallend ist die extreme Abnahme der Ozonkonzentration direkt über dem Südpol auf ca. 100 DU.

### Ozonkonzentration über dem Südpol im Jahre 1991

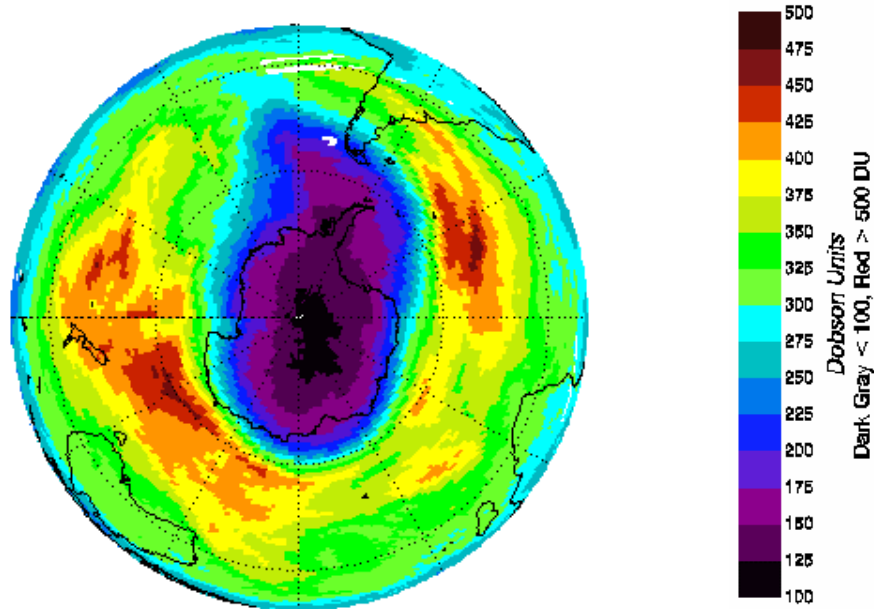


Abb.6 : Ozonkonzentration über dem Südpol 1991  
Quelle : Nasa, <http://www.theozonehole.com/ozoneholehistory.htm> (2005)

### Ozonkonzentration über dem Südpol im Jahre 1998

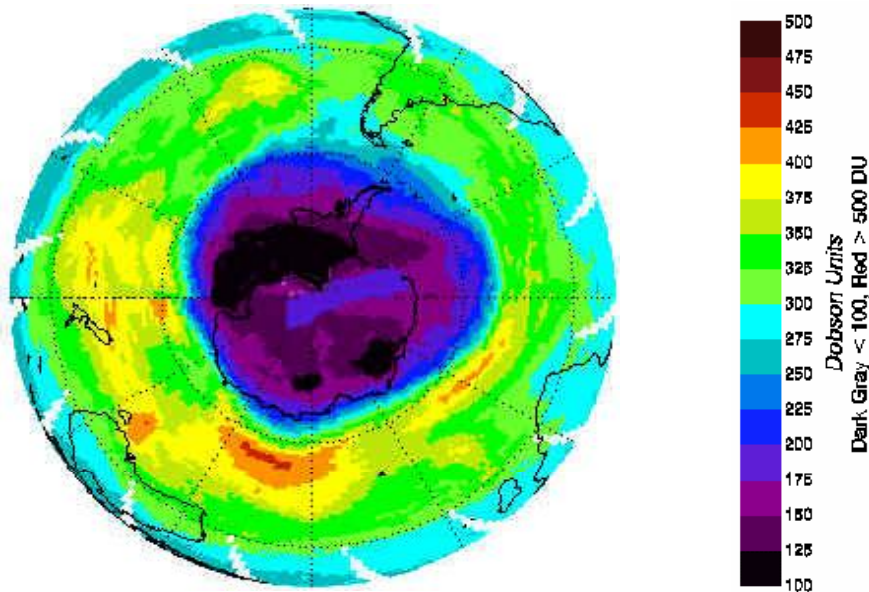


Abb.7: Ozonkonzentration über dem Südpol 1998  
Quelle : Nasa, <http://www.theozonehole.com/ozoneholehistory.htm> (2005)

Im Jahre 1998 hat sich das Ozonloch weiter ausgedehnt. Die Ozonkonzentration in Richtung Pazifischer Ozean ist auf einen Wert von 100 DU gesunken. Im Allgemeinen ist die Ozonkonzentration über dem Südpol gesunken.

Die folgende Grafik stammt aus dem Jahr 2005. Die Ausdünnung der Ozonschicht hat sich in Richtung Pazifischer Ozean verschoben, wie auf der Grafik dargestellt ist. Die Ozonkonzentration hat sich in Richtung Kap Horn auf 300 DU erhöht. Im Allgemeinen hat sich die Ozonschicht über dem Südpol erholt, weil sich im Gegensatz zu 1998 der Ozongehalt auf 200 DU erhöht hat.

### Ozonkonzentration über dem Südpol im Jahre 2005

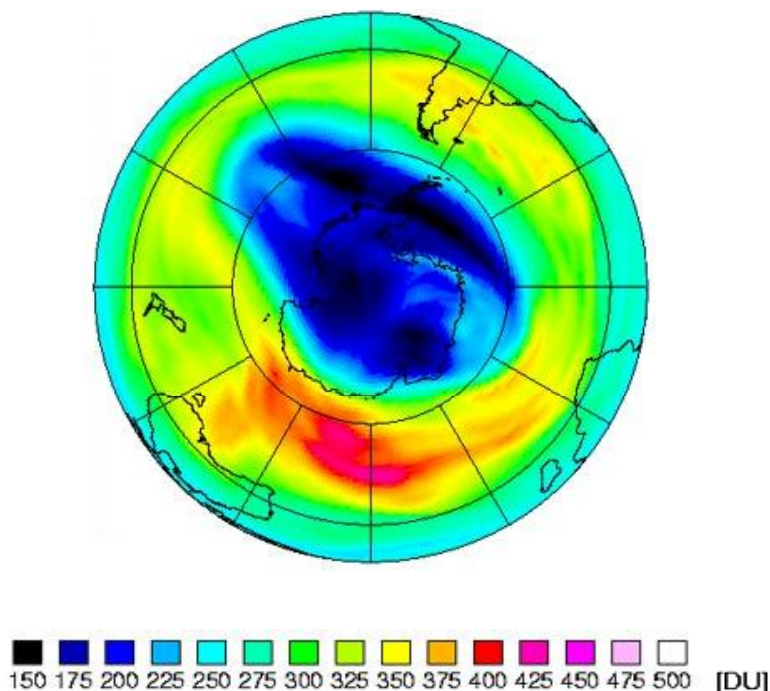


Abb.8 : Ozonkonzentration über dem Südpol 2005  
Quelle : ESA, [http://www.esa.int/esaKIDSde/SEME2C7X9DE\\_Earth\\_1.html](http://www.esa.int/esaKIDSde/SEME2C7X9DE_Earth_1.html)

Die Grafiken sind nach Auffälligkeiten ausgesucht und deshalb zeigen sie den Verlauf der Ozonkonzentration in unregelmäßigen Jahresabständen. Durch die Grafiken wird dargestellt, dass sich das Ozonloch von 1980 bis 2000 vergrößert hat, weil die Ozonkonzentration abgenommen hat. Ab 2000 erhöht sich die Ozonkonzentration am Südpol wieder. Dies liegt zum Einen daran, dass verschiedene Maßnahmen getroffen wurden (FCKW-Verbot, Montreal-Protokoll), um die Vergrößerung des Ozonlochs zu stoppen. Zum anderen waren die Wetterverhältnisse in diesen Jahren für die Bildung von PSCs ungünstig, so dass der Ozonabbau schwächer ausfiel. Untersuchungen des Deutschen Wetterdienstes zeigen jedoch, dass im Oktober 2006 das Ozonloch so groß wie nie zuvor war. In günstigeren Wetterbedingungen gab es wieder mehr PSCs. Der Chlorgehalt veränderte sich im Vergleich zu den vorangegangenen Jahren jedoch kaum, was zu einem erhöhten Ozonabbau führte.

## **4.) Die Entwicklung der Ozonschicht am Nord- und Südpol in den nächsten Jahren**

### **4.1 Die verschiedenen Prognosen für die weitere Entwicklung des Ozonlochs**

Es gibt zwei verschiedene Prognosen für die Entwicklung des Ozonlochs am Nord- und Südpol. Einerseits kann sich das Ozonloch durch die Auswirkungen der bereits getroffenen Maßnahmen verkleinern. Andererseits kann sich die Ausdünnung der Ozonschicht auch verstärken, da die Voraussetzungen zur Bildung bzw. zum Abbau des Ozons von vielen unterschiedlichen Faktoren und Prozessen abhängen. Diese beeinflussen sich wiederum gegenseitig, so dass die genauen Auswirkungen nicht vorhersagbar sind.

Die Prognose, dass sich das Ozonloch verkleinern wird, wird durch den zunehmend geringeren Einsatz der Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW) erklärt, weil durch das FCKW-Verbot der Abbau von stratosphärischem Ozon vermindert wird.

Nach Meinung einiger Forscher soll die Erholung des Ozonlochs ab 2008 beginnen. Es soll sich um einen Prozess von 40-50 Jahren handeln, bis sich das Ozonloch über dem Nord- und Südpol geschlossen hat, weil es ca. 10-30 Jahre dauert, bis die ozonzerstörenden Stoffe in der Ozonschicht angekommen sind. Folglich dauert es auch ebenso lange, bis die Information einer geringeren Konzentration dieser Stoffe in den betroffenen Schichten angekommen ist.

Die Prognosen der Experten, die der Meinung sind, dass sich das Ozonloch in den nächsten Jahren schließt, unterscheiden sich darin, dass noch weitere Faktoren zur Wiederherstellung der Ozonschicht angegeben werden.

Man ist sich einig, dass der verringerte Ozonabbau im Zusammenhang mit dem beschlossenen Rückgang der ozonzerstörenden Emissionen von FCKW's steht. Deutlich wird hervorgehoben, dass ohne das Montréal-Protokoll sich das Ozonloch um das Zehnfach vergrößert hätte.

Doch die am stärksten vertretene Meinung ist, dass sich das Ozonloch zunächst weiter vergrößern wird. Die NASA spricht ganz klar davon, dass sich die Schließung des Ozonlochs verzögern könnte, auch wenn alle Bedingungen der internationalen Vereinbarung eingehalten werden.

Grund dafür sind zwei Faktoren. Der erste Faktor ist die verlangsamte Abnahme der atmosphärischen Chlorbelastung.

Im Jahre 2002 wurde angenommen, dass die Bromkonzentration leicht aber stetig abnimmt. Doch diese Ansicht ist heute überholt, weil es eine unerwartet hohe und anhaltende Brombelastung aus Halonen gibt. Diese Halonemissionen sind seit 1988 unverändert weiter gestiegen und liegen 50% höher als angenommen. Zur Verdeutlichung der Problematik:

Zum einen gibt es Halon-1211, das in Handfeuerlöschern vorhanden ist. Das Ozonzerstörungspotenzial liegt bei den Halonen dreimal so hoch wie das der FCKW's. Das Halon-1301 ist in Raumlöschanlagen vorhanden und hat das zehnfache Ozonzerstörungspotenzial wie FCKW's.

Gerade China hat eine hohe Produktion von Halonen. Es verdreifachte seine Herstellung von 1993 bis 1997. Seit 1998 geht die Produktion leicht zurück. Jedoch wird die Bromkonzentration vorläufig nicht abnehmen, weil das Halon-1211 eine Lebensdauer von 10 Jahren hat. Doch Halon-1301 ist eine größere Gefährdung für

die Ozonschicht, nicht nur auf Grund des höheren Ozonzerstörungspotenzials, sondern auch wegen der Lebensdauer von 40 Jahren.

Deshalb kann man sagen, dass der Rückgang der atmosphärischen Chlorbelastung aufgrund gesenkter FCKW-Emissionen durch erhöhte Bromkonzentration wieder ausgeglichen wird.

Außerdem sind die Angaben zu FCKW-Emissionen nur teilweise richtig, weil sie nicht die illegalen Emissionen enthalten, die jedoch ebenso zu einer hohen Chlorbelastung führen.

Der zweite Faktor, weshalb die Erholung der Ozonschicht möglicherweise Jahre länger dauern wird, als bisher angenommen, ist die Abkühlung der Stratosphäre.

Ein Grund für die beobachteten zunehmend niedrigeren Temperaturen in der Stratosphäre ist die steigende Konzentration der troposphärischen Treibhausgase, weil sie die von der Erdoberfläche ausgehende Wärmestrahlung, die sonst auch die Stratosphäre erreichen würde, zur Erde reflektieren. Eine Abkühlung der antarktischen und arktischen Stratosphäre um 5°C wird in Betracht gezogen. Diese Abkühlung bedeutet eine stärkere Bildung von Polaren Stratosphärischen Wolken, wodurch ein höherer Abbau von Stratosphärischen Ozon entsteht. Der zweite Grund liegt im stratosphärischen Ozonabbau selbst, der ebenfalls zu niedrigeren Temperaturen in der Stratosphäre führt, da Ozon Sonnenstrahlung absorbiert. Dadurch wird ein sich selbst verstärkender Prozess geschaffen, der für die Ausdünnung der Ozonschicht über dem Nord- und Südpol sorgt.

Hiermit im Zusammenhang wird angenommen, dass sich der Polarwirbel verstärken wird. Die Auskühlung der Stratosphäre über den Polen erhöht die Geschwindigkeit und die Stärke des Polarwirbels, so dass die planetaren Wellen, die sich außerhalb des Polarwirbels bewegen, abgeblockt werden. Diese planetaren Wellen transportieren wärmere und ozonreichere Luft Richtung Pol und sind im Frühjahr entscheidend für den Zusammenbruch des winterlichen Polarwirbels.

Es wird deutlich, dass beide Theorien darüber, wie sich das Ozonloch am Nord-Südpol entwickeln könnte, von verschiedenen Einflüssen und Faktoren ausgehen. Man kann aber heute nicht genau sagen, welche der beiden Theorien in den Jahren 2050 oder 2100 zutreffen.

## **4.2 Unsere Prognose für die weitere Entwicklung**

Unsere Theorie zur Veränderung des Ozonloches am Nord- und Südpol ist, dass es sich erst vergrößern und sich anschließend im Laufe der Jahre schließen wird. Dabei spielen mehrere Faktoren eine wichtige Rolle. Einer der wichtigsten Faktoren ist die durch den Menschen verursachte globale Erwärmung, die dazu führt, dass die Troposphäre und Stratosphäre abkühlen. Durch die Abkühlung werden bessere Voraussetzungen für die Bildung von Polaren Stratosphärischen Wolken geschaffen, weil durch die Zunahme von Treibhausgasen die Temperatur in der Stratosphäre gesenkt wird. Bis 2010 haben Modelle vom Max-Planck-Institut eine Abkühlung um 0,5-1,5 °C im Vergleich zu 1992-2000 errechnet, was zur Folge hat, dass sich das Ozonloch bis 2010 vergrößert<sup>1</sup>.

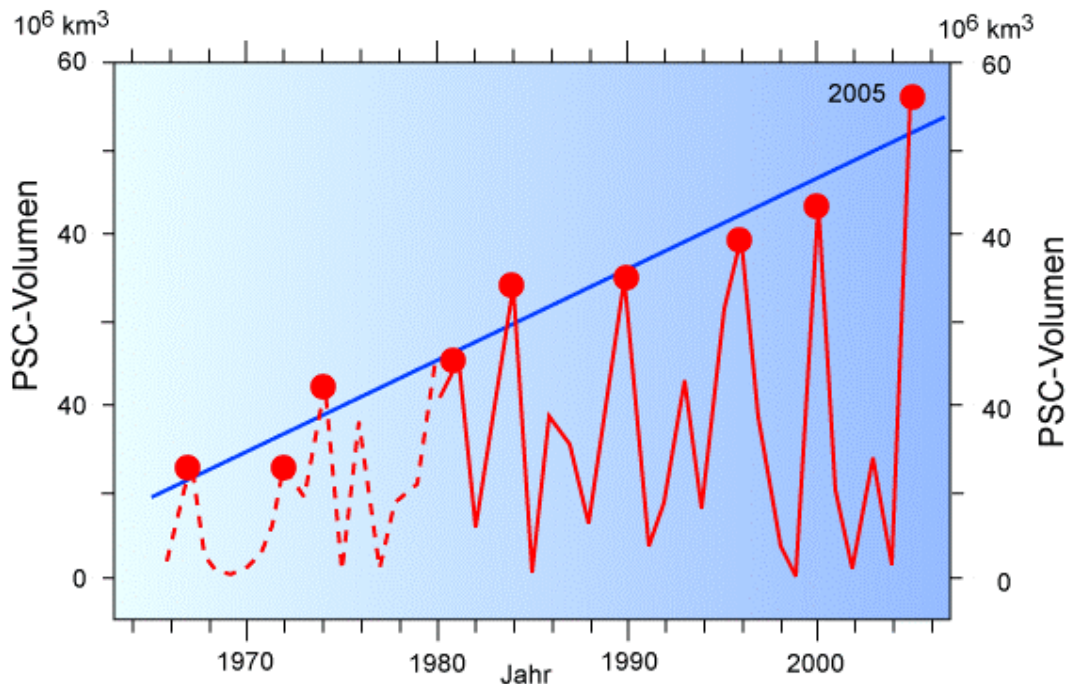


Abb.9 : „Wann schließt sich das Ozonloch ?“  
 Quelle : Dieter Kasang, <http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/bosch/themen/index.htm>

Diese Grafik veranschaulicht, wie die Stratosphärische Wolke von der Temperatur in der Stratosphäre abhängig ist. Man kann deutlich erkennen, dass durch niedrigere Temperaturen das Volumen der Polaren Stratosphärischen Wolken zunimmt. Man kann daraus schließen, dass sich das Volumen der Stratosphärischen Wolken bis ins Jahr 2010 weiter vergrößern wird und dadurch auch das Ozonloch erweitern wird.

Aufgrund von verschiedenen Internationalen Vereinbarungen (Montreal-Protokoll, Chlorverbot) wird sich das Ozonloch ab 2010 langsam schließen. Die verschiedenen Vereinbarungen, wie z.B. das Montreal-Protokoll, führen dazu, dass der Ausstoß von ozonzerstörenden Stoffen sich im Laufe der Jahre deutlich verringern wird.

Die Abb. 10 erläutert den Rückgang von Chlor und FCKW's bis ins Jahr 2100. Man kann deutlich erkennen, dass der Chlorgehalt von 3000ppt im Jahr 2010 auf einen Wert von ca. 1250ppt (ppt=Parts per Trillion, Messeinheit von FCKW) im Jahr 2100 sinken wird. Die FCKW's sinken ebenfalls ab dem Jahr 2010 bis 2100. Dieser Prozess geht über einen längeren Zeitraum, weil die ozonzerstörenden Stoffe ca. 10 Jahre benötigen, um die Stratosphäre zu erreichen.

Jedoch spielen weitere Faktoren, die unberechenbar sind, eine nicht zu unterschätzende Rolle bei der Ozonzerstörung. Einen großen Einfluss haben Vulkanausbrüche, die die Temperaturen am Nord- Südpol beeinflussen können.

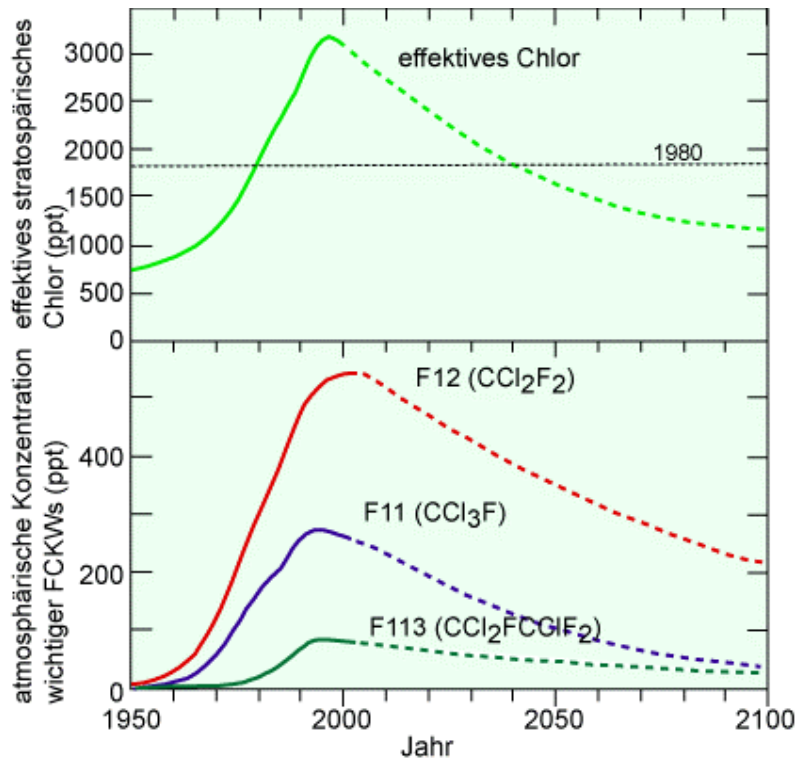


Abb. 10 : „Ozonabbau über der Arktis“  
 Quelle : Dieter Kasang, <http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/bosch/themen/index.htm>

Die Abb. 11 veranschaulicht die Auswirkung eines Vulkanausbruches auf die Temperaturen in der Stratosphäre. Solche Naturereignisse können die Schließung des Ozonlochs beschleunigen, weil die entstehende Wärme die Abkühlung der Stratosphäre verlangsamt und dadurch die Bildung von Stratosphärischen Wolken behindert wird. Allerdings hält die Wirkung von Vulkanausbrüchen nur 1-2 Jahre an. Daher haben die Menschen durch Emission Ozon gefährdender Substanzen und die globale Erwärmung wohl den größeren Einfluss.

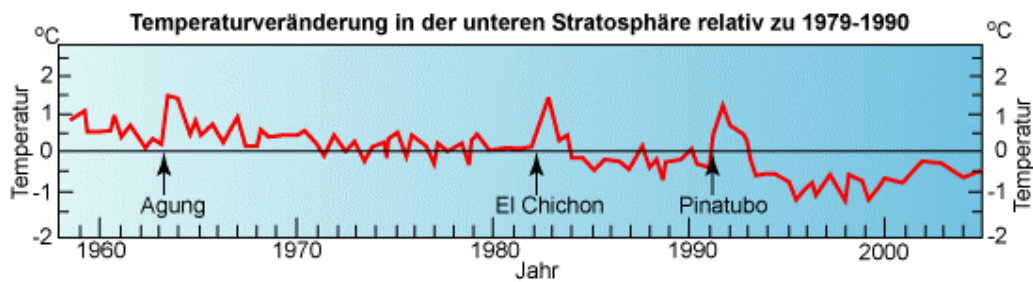


Abb. 11 : „Ozonveränderung und Klimawandel“  
 Quelle : Dieter Kasang, <http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/bosch/themen/index.htm>

# Schluss

*(weiterführender Ausblick)*

Wir haben uns bis Juli dieses Jahres auf die Leitfrage „Wie verändert sich die Ozonschicht am Nord- und Südpol und durch welche Einflüsse wird die Entwicklung beeinflusst?“ konzentriert. Unsere Gruppe hat sehr intensiv mit Forschern aus verschiedenen Institutionen zusammengearbeitet, und dadurch sind immer neue Fragen bei der Bearbeitung der Leitfrage aufgekommen.

Bei der Ausarbeitung der Entwicklung des Ozonlochs kamen viele neue Kriterien auf, die man dabei beachten muss. In der nächsten Zeit könnten wir uns vorstellen, dass unsere Gruppe sich noch intensiver mit der Darstellung der Ozonentwicklung beschäftigt, weil wir unsere Ergebnisse verbessern möchten. Hinzu kommt, dass man den Menschen die Folgen und Auswirkungen des Ozonlochs sehr deutlich zeigen muss, z.B. durch Veröffentlichungen. Außerdem finden wir es wichtig, dass die Menschen wissen, welche Einflüsse sie selbst auf die Entwicklung des Ozonlochs am Nord- und Südpol haben.

Wir haben durch die Ausarbeitung der Leitfrage eine eigene Prognose erstellt, die wir in den laufenden Jahren weiter analysieren wollen, damit wir unsere Prognose gegenüber den anderen Prognosen besser verteidigen können. Trotzdem ist es sehr schwer, in der Wissenschaft alle diese Themen zu bearbeiten, da die Wissenschaft immer neue Fragen aufwirft.



# *Bibliographie*

## ***Bücher, Zeitungsartikel und Lexika:***

Bammel, Dr. K.; Fallert - Müder, Dr. A. ; Kilian, Dr. U.; u. a. (2003): Naturwissenschaft und Technik (Der Brockhaus-Verlag). Stichwort: Ozonloch S. 1476-1477

Bartels, S.; Karcher, R. ; Nagel, S. (Redaktion) (1999): Lexikon der Chemie (Band 2), Stichwort: Ozon S.453

Bauer, S. (2005): Globale Gefährdung. In Information zur politischen Bildung Nr.287 S. 11

Grau, J.; Reichhold, J.H.; Frankenberg, P. (1992): Naturencyklopädie der Welt = Die Grosse Bertelsmann Lexikothek. Stichwort: Ozonloch S.174-175

Kazianka, C.; Welker, C (1997) von Anton bis Zylinder – Das Lexikon für Kinder. Der Kinderbuchverlag. S.334

Prof. Dr. Follmann, G.; Prof. Dr. Wolf, H.; u. a (1991): Das neue große farbige Lexikon, Bassermann Verlag. Stichwort: Ozonschicht S.516

Strzysch, M.; Weiß, Dr. J. (1989): Meyers Grosses Taschenlexikon (6. Auflage) Stichwort: Ozon S. 184

Schürmer, Prof. Dipl. – met. H.; Buschner, Prof. Dr. ,W.; Cappel, Dipl. – Met. A.; u. a. (1989): Wetter und Klima = Meyers Lexikonverlag Mannheim(Hrsg.), Stichwort: Ozonschicht S. 24-25

## ***Internetrecherche:***

Ozon-Bulletins: „ Stichwort: Globale Ozontrends und Wetterlagen“  
URL: <http://www.dwd.de/de/FundE/Observator/MOHP/hp2/ozon/bulletin.htm> (2006)

MPI für Chemie Mainz: Ozonabbau“  
URL:<http://www.espere.net/Germany/water/deozonesdeplde.html>

Claudia Hinz: „Polare Stratosphärische Wolken“  
URL: <http://meteoros.de/psc/psc.htm> (30.11.1999)

AWI: „Bestimmung der chemischen Ozonverluste in der arktischen Stratosphäre“  
URL:<http://www.awi-bremerhaven.de/www-pot/atmo/match/match-d.html> (15.9.2004)

Nasa: „Stratospheric Ozone Depletion“  
URL:<http://www.nas.nasa.gov/About/Education/Ozone/> ( 14.1.2002)

Ozon-Bulletins: „ Stichwort: Veränderung des Ozonlochs“  
URL:<http://www.dwd.de/de/FundE/Observator/MOHP/hp2/ozon/bulletin.htm> (2006)

Climate Prediction Center: „Stratosphere“  
URL:[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere/sbuv2to/ozone\\_hole.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere/sbuv2to/ozone_hole.shtml)  
(29.8.2005)

NASA: „The Ozone Hole“  
URL:<http://www.theozonehole.com/ozoneholehistory.htm> (2005)

Hamburger Bildungsserver: „Ozonschicht und Ozonloch“  
URL:<http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/bosch/themen/index.htm> (7.6.06)

Bayerisches Landesamt für Umweltschutz: „Ozonschicht und Ozonloch“  
URL:<http://www.bayern.de/fu> (2004)

Booth, C. R.: „Das natürliche Ozongleichgewicht“  
URL:<http://www.ozonrecherche.de/deutsch/03/03Kap1.html> (1997)

Chomski, B.: „Das Ozonloch“  
URL:<http://www.was-ist-das-ozonloch.de/html/ozon2.html> (26.9.05)

Glossar: „Lexikon der Ozonstörung 1“  
URL:<http://www.region.hagen.de> (Stand 26.08.1999)

Spiegel Online: „Zerstörung der Ozonschicht möglicherweise gestoppt“  
URL:<http://www.spiegel.de/wissenschaft/erde/0,1518,372169,00.html> (30. August 2005)

Universität – Graz: „Ozon in der Atmosphäre“ „Ozongehalt“  
URL:<http://www.UNIgraz.at/esv/imissienschutz/00066477.title.html> (12.2.02)

### ***Bilder und Grafiken:***

Hamburger Bildungsserver: „Ozonschicht und Ozonloch“  
URL:<http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/bosch/themen/index.htm> (7.6.06)

NASA: „The Ozone Hole“  
URL:<http://www.theozonehole.com/ozoneholehistory.htm> (2005)

Climate Prediction Center: „Stratosphere“  
URL:[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere/sbuv2to/ozone\\_hole.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere/sbuv2to/ozone_hole.shtml)  
(29.8.2005)

NASA: „The Ozone Hole“  
URL:<http://www.theozonehole.com/ozoneholehistory.htm> (2005)

URL:<http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/bosch/themen/index.htm> (7.6.06)

Grau, J.; Reichhold, J.H.; Frankenberg, P. (1992): Naturezyklopädie der Welt = Die Grosse Bertelsmann Lexikothek. Stichwort: Ozonloch S.174-175

Kanton Basel-Landschaft: „Ozonloch“

URL:<http://www.baselland.ch/docs/bud/lufthygiene/Klima/ozonlochauswirkung.gif+imgrefur> (27.09.2005)

Nasa: „Wo ist die Ozonschicht?“

URL:<http://www.earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/...>

Seilnacht T.: „Abnahme der Ozonkonzentration“

URL:<http://www.seilnacht.com/Diagramm/Ozonloch.gif> (27.09.2005)