

UmweltWissen

## Ozonschicht und Ozonloch



Start eines Ballons zur Messung der Ozonschicht über dem Südpol.

Die Ozonschicht ist das Schutzschild der Erde: Sie filtert die schädliche UV-C-Strahlung der Sonne fast vollständig aus und schwächt die etwas weniger gefährliche UV-B-Strahlung größtenteils ab. Zu starke UV-Strahlung schädigt Haut, Augen sowie Erbgut und schwächt das Immunsystem (► [UV-Strahlung – Wirkungen auf den Menschen](#)). Ohne Ozonschicht wäre das Leben auf der Erde, so wie wir es kennen, nicht möglich.

### 1 Der Aufbau der Atmosphäre

Die Atmosphäre der Erde wird anhand des Temperaturverlaufs in mehrere Schichten eingeteilt (siehe Abbildung 1). Die unterste Schicht, die **Troposphäre**, ist in den polaren Breiten etwa 8 km mächtig. Zum Äquator hin nimmt ihre Mächtigkeit auf etwa 16 km zu. Die Lufttemperatur nimmt mit der Höhe um etwa 6,5 °C pro km ab. Sie liegt an der Erdoberfläche durchschnittlich bei etwa +15 °C, an der Obergrenze der Troposphäre bei etwa –60 °C. In der Troposphäre spielt sich das Wetter ab: Ständig durchmischen Winde die Luft, hohe Gehalte an Wasserdampf lassen Wolken entstehen. Mit den Niederschlägen werden Schad- und Spurenstoffe aus der Troposphäre ausgewaschen.

Ab der Tropopause, der Grenzschicht zwischen der vom Wetter geprägte Troposphäre und der ruhigeren Stratosphäre, steigen die Temperaturen mit zunehmender Höhe wieder an. Der Temperaturanstieg, der sich bis an die Obergrenze der Stratosphäre in eine Höhe von etwa 50 km fortsetzt, wird durch die Aufnahme von Sonnenenergie verursacht, z. B. bei der Absorption von UV-Strahlung, bei der Wärme entsteht. Da die kühlere Luft unten bleibt, sind die Luftschichten der Stratosphäre sehr stabil und werden kaum durchmischt oder ausgetauscht. Dadurch können sich in der Stratosphäre Schadstoffe anreichern. Schadstoffe und Verunreinigungen können nicht ausgewaschen werden, weil Niederschläge nur in der darunter liegenden Troposphäre entstehen. Die Beseitigung von Schadstoffen erfolgt größtenteils durch chemische Umwandlung, wobei die Umwandlungsprodukte nur sehr langsam in die Troposphäre verfrachtet werden.

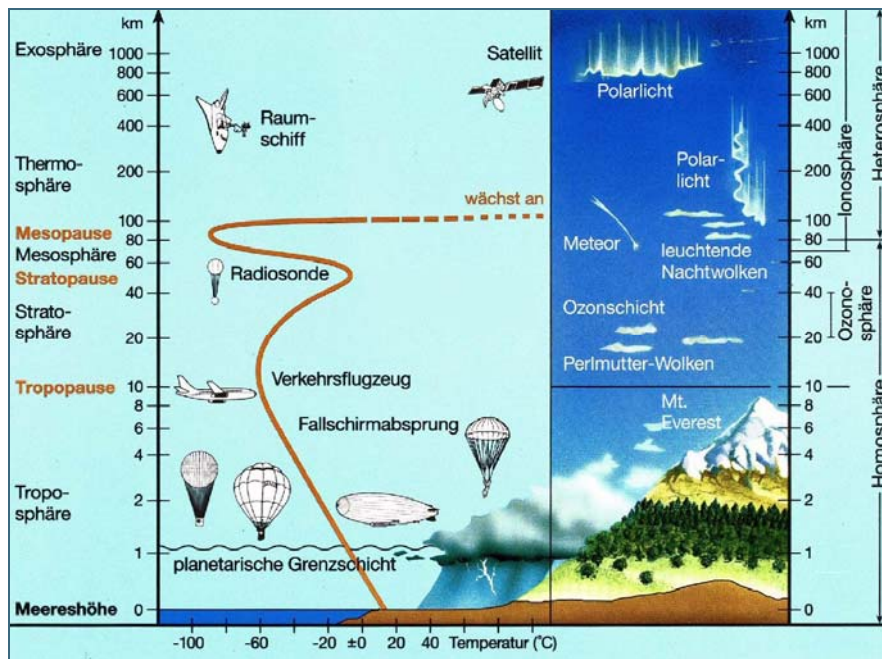


Abb. 1:  
Einteilung der Atmosphäre  
anhand der Lufttemperatur

Die **Mesosphäre**, von der Stratosphäre durch die Stratopause getrennt, reicht von etwa 50 km bis 85 km Höhe über der Erdoberfläche. Mit zunehmender Höhe nimmt der Luftdruck deutlich ab, sodass die Luft so dünn ist, dass kaum noch Sonnenenergie aufgenommen werden kann. Dadurch fällt die Temperatur mit zunehmender Höhe von circa 0 °C auf –110 °C. Die meisten Meteore, die auf die Erde stürzen, verglühen in der Mesosphäre als Sternschnuppen.

Über der Mesosphäre, in circa 85 km Höhe, liegt eine weitere Grenzschicht, die Mesopause. Darüber beginnt die **Thermosphäre**. Die Luftteilchen in der Thermosphäre filtern die kosmische Strahlung des Weltraums (vorwiegend Elektronen und Protonen) und nehmen dadurch viel Energie auf. Die Temperaturen von 300 bis 1500 °C, die dabei erreicht werden, äußern sich allerdings nur in der raschen Bewegung der Luftteilchen. Da die einzelnen Teilchen aufgrund des geringen Luftdrucks durchschnittlich mehrere Kilometer voneinander entfernt sind, kann man ihre Wärme nicht spüren oder mit dem Thermometer messen, weil kaum mehr Luftteilchen gegen den Körper oder das Thermometer stoßen und ihre Wärmeenergie übertragen. Ein Thermometer würde daher unter 0 °C anzeigen. In der Thermosphäre erscheinen die sogenannten Polarlichter, das sind Leuchterscheinungen, die beim Auftreffen des Sonnenwindes auf die Erdatmosphäre über den Polen hervorgerufen werden. Die äußerste Schicht der Atmosphäre, die den Übergang in das Weltall bildet, wird als **Exosphäre** bezeichnet.

## 2 Die Ozonschicht

Die **Ozonschicht** ist ein Teil der Stratosphäre, in der sich in etwa 15–50 km Höhe 90 % des atmosphärischen Ozons befinden. Die energiereiche UV-Strahlung der Sonne wandelt dort Sauerstoff (O<sub>2</sub>) in Ozon (O<sub>3</sub>) um. Ein Teil der UV-Strahlung, insbesondere UV-B, spaltet Ozon wieder in Sauerstoff, so dass sich ein chemisches Gleichgewicht zwischen Bildung und Abbau von Ozon ergibt, bei dem die Menge von Ozon annähernd gleich bleibt.

Der Ozongehalt der Atmosphäre wird in Dobson-Einheiten gemessen (DU, englisch: Dobson Units). Gedanklich geht man dabei von einer Säule aus, die aus der Atmosphäre „herausgeschnitten“ wird und die vom Erdboden bis zur Obergrenze der Atmosphäre reicht. Wenn aus dieser Luftsäule alle Gase außer dem Ozon entfernen würden, ergäbe das Ozon aus allen atmosphärischen Schichten eine nur wenige Millimeter dicke Ozonschicht. Unter mittlerem Atmosphärendruck entspricht die Dicke dieser Ozonschicht dem Zahlenwert für die Ozonmenge in DU: Ist die Ozonschicht 1 mm mächtig, dann beträgt der Ozongehalt 100 DU.

Im Mittel liegt der Ozongehalt der Atmosphäre etwa bei 310 DU. Die „Ozonschicht“ ist im Mittel also 3,1 mm mächtig. Von einem **Ozonloch** spricht man, wenn der Wert unter 200 DU sinkt, weil dann schädigende UV-Strahlung in größerem Maße zur Erde dringen kann.

Etwa 90 % des in der Atmosphäre vorkommenden Ozons befinden sich in der Stratosphäre in einer Höhe von 15 bis 35 km. Die restlichen 10 % befinden sich in der Troposphäre. Obwohl Ozon ein gesundheitsschädliches Gas ist, sind die natürlich auftretenden Ozonkonzentrationen in unserer Atemluft unproblematisch. Bei hoher Abgasbelastung und starker Sonneneinstrahlung können sich jedoch gesundheitsschädlich hohe Ozongehalte in Bodennähe ergeben (► [Bodennahes Ozon](#)).

## 2.1 Bildung von Ozon

Die Bildung der Ozonschicht hängt im Wesentlichen von der **Anwesenheit von Sauerstoff** ( $O_2$ ) und der **Einwirkung energiereicher UV-C-Strahlung** ab. Zuerst spaltet energiereiche UV-C-Strahlung den molekularen Sauerstoff in zwei Sauerstoff-Radikale ( $O_2 \rightarrow O\cdot + O\cdot$ ). Dabei wird die UV-C-Strahlung vollständig absorbiert. Die Sauerstoff-Radikale sind äußerst reaktionsfreudig und verbinden sich mit anderen Sauerstoff-Molekülen zu Ozon ( $O\cdot + O_2 \rightarrow O_3$ ).



Abb. 2:  
Ozonbildung (WMO  
2003, verändert)

Da in den sehr hohen Schichten der Atmosphäre sehr wenig Sauerstoff ist und in die niedrigen Schichten kaum UV-C-Strahlung eindringt, sind die Bedingungen für die Ozonbildung nur in einem Teilbereich der Stratosphäre, in etwa 15 km bis 35 km Höhe, optimal. Für die Bildung von bodennahem Ozon, das aufgrund seiner Abhängigkeit von Sonnenlicht und Abgasen auch „photochemischer Smog“ genannt wird, sind die Bedingungen jeweils nur vorübergehend günstig.

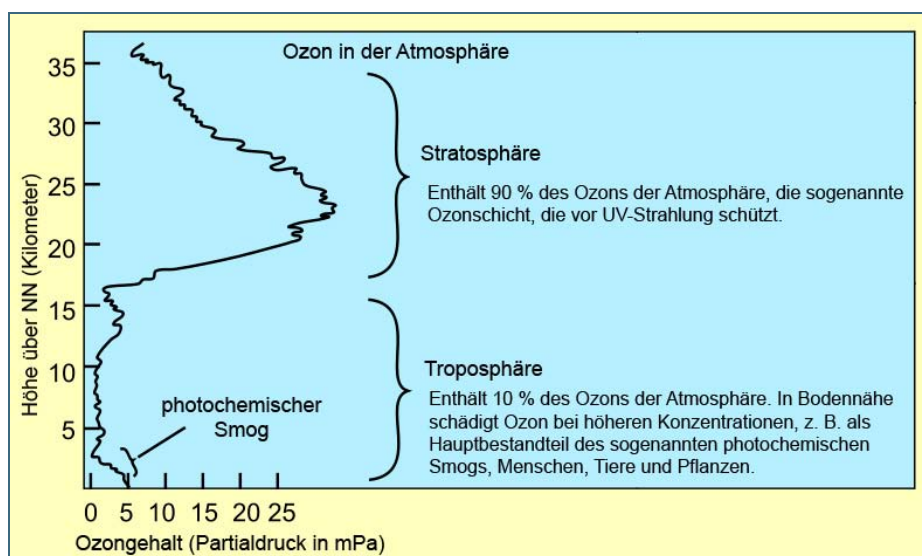


Abb. 3:  
Ozonverteilung: Der  
Großteil des atmosphärischen Ozons befindet sich in der Stratosphäre in einer Höhe von etwa 15 bis 35 km (NASA 2007, verändert).

## 2.2 Abbau von Ozon

Der **Ozonabbau** erfolgt durch die energieärmere UV-B-Strahlung, die Ozon in Sauerstoff-Radikale und molekularen Sauerstoff spaltet ( $O_3 \rightarrow O\bullet + O_2$ ). Substanzen wie etwa Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), die zu einem großen Teil durch Industrie, Verkehr und Landwirtschaft freigesetzt werden, erhöhen den Ozonabbau. In den Polargebieten wird er zudem bei bestimmten klimatischen Bedingungen verstärkt, sodass dort die Ozonschicht besonders dünn ist.

### 2.2.1 Ozon abbauende Substanzen

Eine wichtige Rolle beim Abbau der Ozonschicht spielen FCKW und Halogenverbindungen (► [FCKW und FCKW-Ersatzstoffe](#)). Der Mensch setzt diese Gase in bedeutenden Mengen vor allem in der Industrie und durch den Verkehr frei. Auch Lachgas ( $N_2O$ ) und Methan ( $CH_4$ ) verstärken den Abbau der Ozonschicht. Methan entsteht beispielsweise beim Reisanbau und in der Viehzucht, Lachgas wird bei der Herstellung und Verwendung von Düngemitteln freigesetzt.

Wie der Sauerstoff werden auch die Ozon abbauenden Gase durch UV-Strahlung in sogenannte **freie Radikale** gespalten. Diese verstärken als Katalysatoren den Ozonabbau. Das heißt, sie spalten Ozonmoleküle ohne selbst verbraucht oder verändert zu werden (siehe Abbildung 4). Einzelne freie Radikale können so bis zu 100.000 Ozonmoleküle spalten. Vor allem Chlor- und Bromradikale haben eine starke Wirkung. Die aus Halogenverbindungen freigesetzten Chlor- und Bromradikale in der Stratosphäre sind zu rund 80 % menschlichen Ursprungs. Chlor- und Bromteilchen werden jedoch auch bei Vulkanausbrüchen in die Stratosphäre verfrachtet. Außerdem gelangen bei einem Vulkanausbruch große Mengen an Schwefeldioxid ( $SO_2$ ) in die Stratosphäre, das ebenfalls zum Ozonabbau beiträgt (siehe auch Abbildung 7).

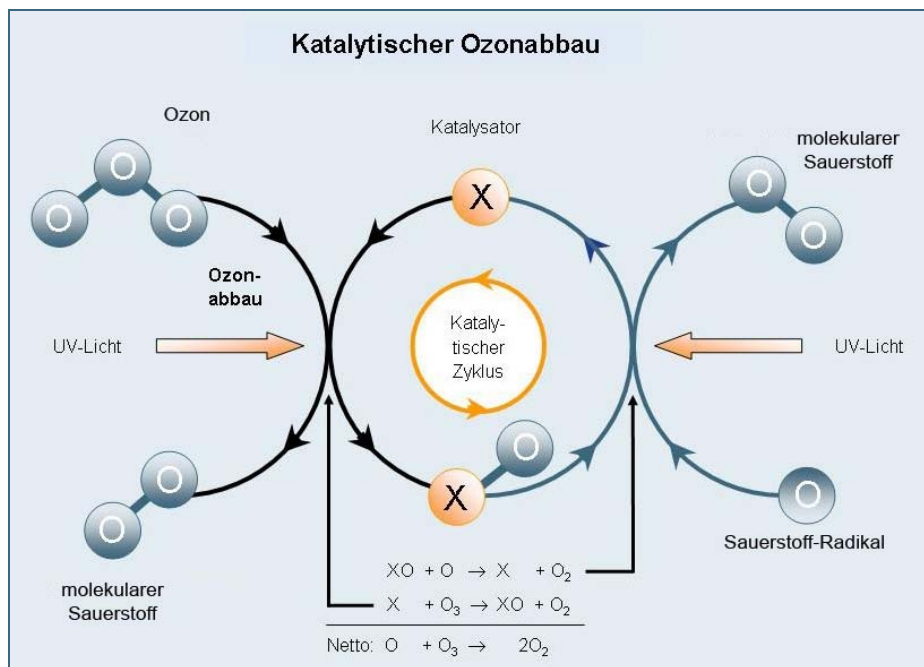


Abb. 4: Katalytischer Ozonabbau. Katalysatoren (X, z. B. freie Radikale) werden bei der Reaktion nicht verbraucht (WMO 2003, verändert).

### 2.2.2 Ozonabbau über der Antarktis

Über der Antarktis wird der Abbau von Ozon durch das Zusammenspiel zweier Faktoren verstärkt. Der erste Faktor ist die extreme Kälte der Polarnacht, die zur Bildung von Wolken in der Stratosphäre führt (polar stratospheric clouds, PSC). In den **stratosphärischen Wolken** werden unter den dort herrschenden stratosphärischen Bedingungen aus FCKW und anderen Stoffen Chlormoleküle ( $Cl_2$ ) freigesetzt.

Der zweite wichtige Faktor ist der **antarktische Polarwirbel**, der ebenfalls in der Polarnacht entsteht. Dieses Windsystem verhindert den Luftaustausch mit angrenzenden Luftschichten, so dass sich die Chlormoleküle in den stratosphärischen Wolken anreichern.

Wenn im Frühjahr die Sonne zurückkommt, wird das angereicherte Chlor zunächst in das Ozon abbauende Chloroxid (ClO) umgewandelt. Die Folge ist ein lawinenartiger Verlust von Ozon. Erst mit zunehmender Stärke der Sonneneinstrahlung bildet sich wieder so viel Ozon (siehe Abschnitt 2.1), dass der Verlust (mehr oder weniger) ausgeglichen wird. Und durch das sommerliche Aussetzen des Polarwirbels, können zudem wieder ozonreichere Luftmassen einströmen.

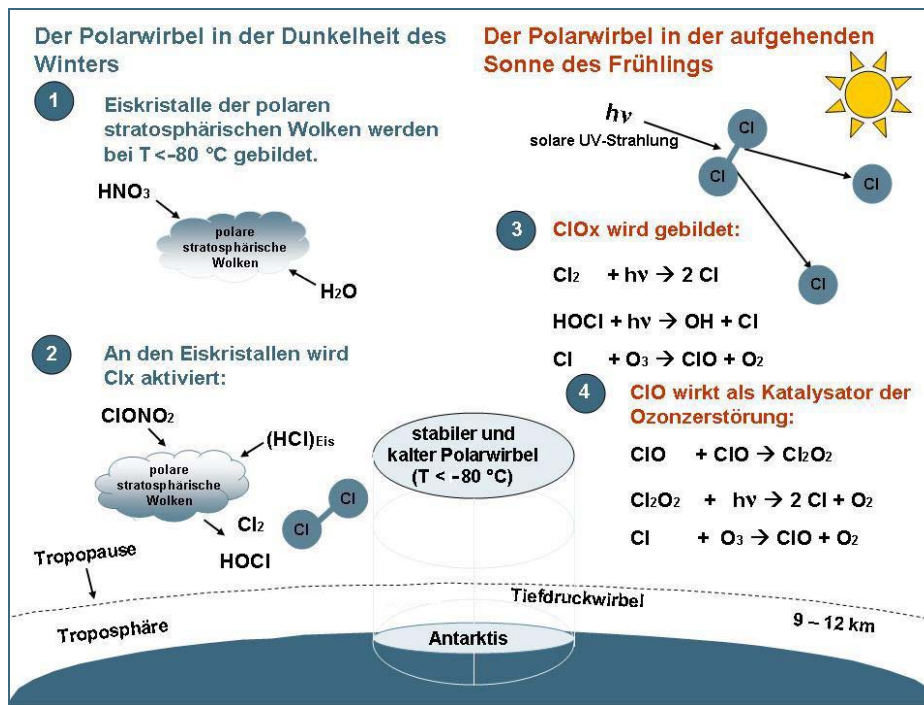


Abb. 5: Im Polarwirbel über der Antarktis kommt es im Frühjahr unter Einfluss der Sonne zu einem starken Ozonabbau mit Chlor als Katalysator. Das Chlor hat sich zuvor in der Kälte der Polarnacht gebildet. An den komplexen chemischen Reaktionen sind unter anderem FCKW-Zerfallsprodukte, Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ ) und Chlornitrat ( $\text{ClONO}_2$ ) beteiligt.

### 2.2.3 Ozonabbau über der Arktis

Ähnlich wie über der Antarktis verstärken auch die klimatischen Bedingungen über der Arktis den Ozonabbau. Generell ist der Ozonabbau über der Arktis jedoch geringer, weil sich aufgrund der um etwa  $10\text{ °C}$  höheren Temperaturen weniger stratosphärische Wolken bilden und dadurch weniger Chlormoleküle abgegeben werden. Außerdem verhindern quer liegende, hohe Gebirge die Entstehung eines stabilen Polarwirbels, sodass sich das Chlor während der Winter im Vergleich zum Südpol weniger stark anreichert.

## 3 Das Ozonloch

### 3.1 Entdeckung des Ozonlochs und Schutz der Ozonschicht

**1974:** Die Amerikaner Mario Molina und Frank Sherwood Rowland stellen zum ersten Mal in der Fachzeitschrift „Nature“ ihre Theorie vor, dass die Zunahme von FCKW in der Atmosphäre zum Abbau der stratosphärischen Ozonschicht führt.

**1977:** Das [Umweltprogramm der Vereinten Nationen](#) (United Nations Environment Programme, UNEP) beruft in Washington eine Expertenkonferenz ein, auf der das Problem der Zerstörung der Ozonschicht erstmals auf internationaler Ebene erörtert wird.

**1985:** Ein Forschungsteam des „British Arctic Survey“ berichtet über eine Abnahme der Ozonschicht über der Antarktis und entdeckt damit das sogenannte „Ozonloch“.

**1985:** In der ► [Wiener Konvention](#) zum Schutz der Ozonschicht wird die zwischenstaatliche Zusammenarbeit in den Bereichen der Forschung und des Informationsaustausches vereinbart.

**1987:** Verabschiedung des ► [Montrealer Protokolls](#) über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen. Dieses Protokoll konkretisiert die ► [Wiener Konvention](#) und legt für die beteiligten Staaten mengenmäßige Verpflichtungen zum maximalen Ausstoß von FCKW und Halonen, die auch treibhauswirksame Stoffe sind (► [FCKW und FCKW-Ersatzstoffe](#)), fest. Bei den Folgekonferenzen wurden die Vereinbarungen verschärft, Regelungen für die Übernahme neuer ozonschädlichen Stoffe eingeführt und die ausgehandelten Fristen für den Ausstieg aus den ozonschädlichen Substanzen erheblich verkürzt. Folgekonferenzen fanden 1990 in London, 1992 in Kopenhagen, 1995 in Wien, 1997 in Montreal und 1999 in Peking statt (► [Status der Ratifizierung](#)).

### 3.2 Entwicklung der Ozonwerte

Da Bildung und Abbau von Ozon mit der Sonneneinstrahlung zusammenhängen, ergeben sich tages- und jahreszeitliche Schwankungen des Ozongehalts. Vor allem in den Polargebieten gibt es einen deutlichen Jahresrhythmus. Aufgrund der oben beschriebenen klimatischen Bedingungen treten geringe Ozongehalte, und damit auch Ozonlöcher, besonders gegen Ende des Winters und in den Frühjahrsmonaten auf.

Über der **Antarktis** sind die Ozonwerte im September und Oktober am geringsten. Seit Mitte der 1980er-Jahre liegen sie in diesen beiden Monaten regelmäßig unter 200 DU. Abhängig von den herrschenden Bedingungen kann sich das Ozonloch auf der **Südhalbkugel** bis über Südastralien, Südafrika oder Südamerika erstrecken.

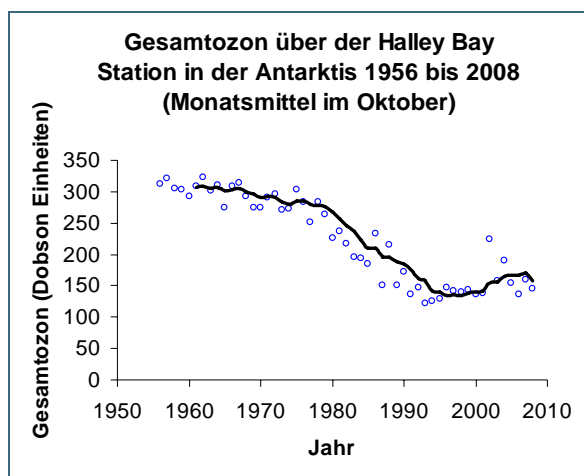


Abb. 6:  
Gesamtozon über der Halley Bay Station in der Antarktis 1956–2008 (Monatsmittel im Oktober). Quelle: [British Antarctic Survey](#), 2009.

Auch über der **Arktis** ist die Ozonschicht über Jahrzehnte hinweg dünner geworden. Allerdings sind die Ozonverluste von Jahr zu Jahr und auch regional sehr unterschiedlich. Auf der **Nordhalbkugel** kamen Ausläufer des Ozonlochs beispielsweise im März 1996 mit Werten um 200 DU bis nach Norddeutschland. Eine ähnliche Situation gab es auch im Frühjahr 2005.

Lässt man den Einfluss des Ausbruchs des Pinatubo (Philippinen) in den Jahren 1992/93 außer Acht, dann scheint sich die Ozonschicht seit 1997 zu erholen. Dieser weltweite Trend lässt sich auch in Bayern messen (siehe Abbildung 7). Dennoch ist die Ozonschicht noch immer dünner als während der 1970er- und 1980er-Jahre, als der starke Ozonschwund in der Stratosphäre einsetzte.



## 5 Weiterführende Informationen aus der Reihe UmweltWissen

- ▶ [FCKW und FCKW-Ersatzstoffe](#)
- ▶ [UV-Strahlung – Wirkung auf den Menschen](#)
- ▶ [Treibhausgase](#)
- ▶ [Erdwärme](#)
- ▶ [Cleverer Umweltschutz – Energiesparen](#)
- ▶ [Internationale Klimaschutzpolitik](#)
- ▶ [Klimaschutzpolitik in Deutschland und Bayern](#)
- ▶ [Sonnenenergie](#)
- ▶ [Klimawandel – Warum ändert sich unser Klima?](#)
- ▶ [Erforschung und Vorhersage des Klimawandels](#)

## 6 Literatur

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT:

(1997): Umweltpolitik – Vierter Bericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag über Maßnahmen zum Schutz der Ozonschicht. Bonn

(2000): Aktuell – Schutz der Ozonschicht. Berlin

CLAUDE H., STEINBRECHT W., KÖHLER U.:

(2006): ▶ [Entwicklung der Ozonschicht](#). In: Deutscher Wetterdienst: Klimastatusbericht 2005. Abgerufen: 08.05.2009.

(2007): ▶ [Entwicklung der Ozonschicht](#). In: Deutscher Wetterdienst: Klimastatusbericht 2007. Abgerufen: 08.05.2009.

DEUTSCHER WETTERDIENST:

(2005): ▶ [Ungewöhnliche kalte Stratosphäre verursacht starke Ozonverluste im arktischen Winter 2004/2005](#). Ozonbulletin des Deutschen Wetterdienstes, Nr. 104. Abgerufen: 08.05.2009.

(2008): ▶ [Entwarnung bei der Ozonschicht?](#) Ozonbulletin des Deutschen Wetterdienstes, Nr. 119. Abgerufen: 08.05.2009.

ENQUETE-KOMMISSION „SCHUTZ DER ERDATMOSPHERE“ (1994): Mehr Zukunft für die Erde – Nachhaltige Energiepolitik für dauerhaften Klimaschutz. Schlussbericht. Economica. Bonn.

FONDS DER CHEMISCHEN INDUSTRIE (1995): Umweltbereich Luft. Folienserie 22. Frankfurt.

ÖKORECHERCHE (2000): Ozonschicht, FCKW und UV-Belastung im 21. Jahrhundert. Darstellung für interessierte Laien. Studie im Auftrag von Greenpeace. Frankfurt am Main.

UMWELTBUNDESAMT (2001): Daten zur Umwelt. Der Zustand der Umwelt in Deutschland 2000. Berlin.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (1997): [Environmental Effects of Ozone Depletion](#). Interim Summary 1997. Abgerufen: 08.05.2009.

UNIVERSITY OF CAMBRIDGE (1999): ▶ [The Ozon Hole Tour](#). Abgerufen: 08.05.2009.

VEREINTE NATIONEN (1985): ▶ [Wiener Übereinkommen zum Schutz der Ozonschicht](#). Abgerufen: 08.05.2009.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO):

(2003): ▶ [Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002](#). Abgerufen: 08.05.2009.

(2007): ▶ [Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2006](#). Abgerufen: 08.05.2009.

ZELLNER R., PETER T., DÄMMER K., QUINTERN L. (2000): Deutsche Ozonforschung. Dokumentation des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Worms

## 7 Ozonschicht und Ozonloch im Internet

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: ► [Ozonschicht / Ozonloch](#)

Deutscher Wetterdienst: ► [Ozon-Bulletin](#), ► [Klimastatusbericht](#) und ► [UV-Index-Vorhersagen](#)

Europäische Union: ► [Protection of the Ozone Layer](#)

NASA: ► [Total Ozone Mapping Spectrometer](#) (aktuelle Daten zur Ozonschicht)

## 8 Ansprechpartner

Für Einzelfallberatungen bei konkreten Anliegen zum Umwelt- und Gesundheitsschutz vor Ort oder in Ihrer Nachbarschaft sind in der Regel Ihr Landratsamt bzw. Ihre Stadt- oder Gemeindeverwaltung zuständig. Bitte fragen Sie dort nach dem passenden Ansprechpartner.

Private Anfragen an das Bayerische Landesamt für Umwelt richten Sie bitte an unser Bürgerbüro:

E-Mail: [oeffentlichkeitsarbeit@lfu.bayern.de](mailto:oeffentlichkeitsarbeit@lfu.bayern.de)

Fragen und Anregungen zu Inhalten, Redaktion und Themenwahl der Publikationen von UmweltWissen sowie Anfragen bezüglich Recherche und Erstellung von Materialien für die Umweltbildung/-beratung richten Sie bitte an:

UmweltWissen am Bayerischen Landesamt für Umwelt:

Telefon: 0821 / 9071 – 5671

E-Mail: [umweltwissen@lfu.bayern.de](mailto:umweltwissen@lfu.bayern.de)

Internet: [www.lfu.bayern.de/umweltwissen](http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen)

### Impressum:

#### Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg

Telefon: (08 21) 90 71-0  
Telefax: (08 21) 90 71-55 56  
E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)  
Internet: [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)

#### Bearbeitung:

Ref. 12:  
UmweltWissen: Peter Miehle,  
Dr. Katharina Stroh, Guido Ulbrich;  
Uwe Mackes

Stand:  
Juli 2009  
Links:  
März 2011

#### Bildnachweis:

Fonds der Chemischen Industrie, Frankfurt am Main: Seite 2.  
Hans Claude / Deutscher Wetterdienst: Seite 7  
LfU: Seiten 3 oben, 4, 5 und 6.  
Mark Boland / National Oceanic and Atmospheric Administration, USA ([public domain](#)): Seite 1 oben.  
NASA / wikimedia ([public domain](#)): Seite 3 unten

Sie haben diese Veröffentlichung auf Papier, wollen aber auf die verlinkten Inhalte zugreifen?

Die jeweils aktuellste Ausgabe finden Sie im Internet unter:

► [www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw\\_48\\_ozonschicht\\_ozonloch.pdf](http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw_48_ozonschicht_ozonloch.pdf) oder

► [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de): UmweltWissen > Klima und Energie.