

UmweltWissen – Klima und Energie

## Ozonschicht und Ozonloch



Die Ozonschicht ist das Schutzschild der Erde: Sie schützt uns vor ultravioletter Strahlung.

Ohne Ozonschicht wäre Leben auf der Erde, so wie wir es kennen, nicht möglich. Denn die Ozonschicht filtert die schädliche UV-C-Strahlung der Sonne fast vollständig aus und schwächt die etwas weniger gefährliche UV-B-Strahlung größtenteils ab. Zu starke ultraviolette Strahlung schädigt Haut, Augen sowie Erbgut und schwächt das Immunsystem.

### 1 Der Aufbau der Atmosphäre

Die Atmosphäre der Erde wird anhand des Temperaturverlaufs in mehrere Schichten eingeteilt. Die unterste Schicht, die **Troposphäre**, ist vom Wetter geprägt: Ständig durchmischen Winde die Luft, hohe Gehalte an Wasserdampf lassen Wolken entstehen. Mit den Niederschlägen werden Schad- und Spurenstoffe ausgewaschen. Die Troposphäre ist in den polaren Breiten etwa acht Kilometer mächtig. Zum Äquator hin nimmt ihre Mächtigkeit auf etwa 16 Kilometer zu. Die Lufttemperatur nimmt mit der Höhe um etwa 6,5 Grad Celsius pro Kilometer ab. Sie liegt an der Erdoberfläche durchschnittlich bei etwa plus 15 Grad Celsius, an der Obergrenze der Troposphäre bei etwa minus 60 Grad Celsius.

Durch die Absorption von ultravioletter Strahlung steigen die Temperaturen in der **Stratosphäre** bis in einer Höhe von etwa 50 Kilometer wieder an. Da die kühlere Luft unten bleibt, sind die Luftschichten der Stratosphäre sehr stabil und werden kaum durchmischt oder ausgetauscht. Deshalb reichern sich Schadstoffe in der Stratosphäre an. Schadstoffe und Verunreinigungen können nicht ausgewaschen werden, da 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.

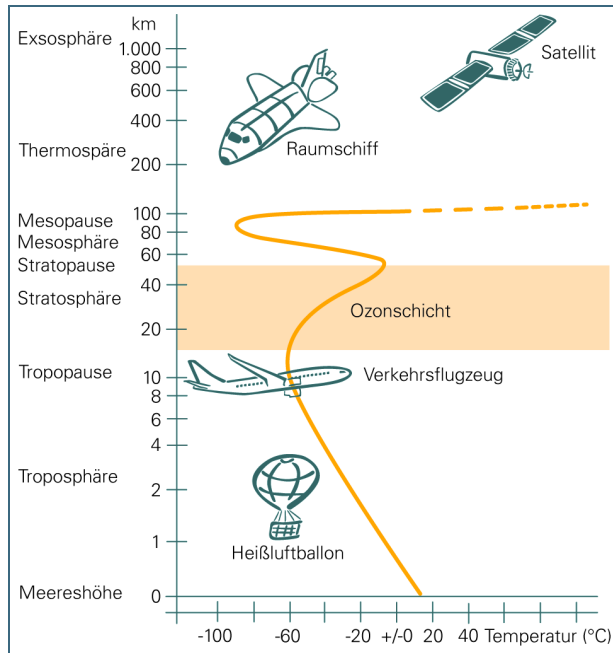


Abb. 1:  
Einteilung der Atmosphäre  
anhand der Lufttemperatur

Quelle: Fonds der Chemischen Industrie 1995, verändert

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

Über der Mesosphäre, in circa 85 Kilometer Höhe, liegt eine weitere Grenzschicht, die Mesopause. Darüber beginnt die **Thermosphäre**. Hier erscheinen die sogenannten Polarlichter. Das sind Leuchterscheinungen, die beim Auftreffen des Sonnenwindes auf die Erdatmosphäre über den Polen hervorgerufen werden. Die Luftteilchen in der Thermosphäre filtern die kosmische Strahlung des Weltraums (vorwiegend Elektronen und Protonen) und nehmen dadurch viel Energie auf. Dabei werden Temperaturen von 300 bis 1.500 Grad Celsius erreicht, die sich in einer raschen Bewegung der Luftteilchen zeigen. Da die einzelnen Teilchen aufgrund des geringen Luftdrucks durchschnittlich mehrere Kilometer voneinander entfernt sind, kann man ihre Wärme allerdings nicht spüren oder mit dem Thermometer messen, weil kaum mehr Luftteilchen gegen den Körper oder das Thermometer stoßen und Wärmeenergie übertragen. Ein Thermometer würde daher unter 0 Grad Celsius anzeigen.

Die äußerste Schicht der Atmosphäre wird als **Exosphäre** bezeichnet. Sie bildet den Übergang ins Weltall.

## 2 Die Ozonschicht

Die **Ozonschicht** ist ein Teil der Stratosphäre. Sie befindet sich etwa in 15 bis 50 Kilometer Höhe und enthält 90 Prozent des atmosphärischen Ozons. Die energiereiche ultraviolette Strahlung (UV-C) der Sonne wandelt dort Sauerstoff ( $O_2$ ) in Ozon ( $O_3$ ) um. Ein Teil der ultravioletten Strahlung, insbesondere die UV-B-Strahlung, spaltet Ozon wieder in Sauerstoff. So ergibt sich ein chemisches Gleichgewicht zwischen Bildung und Abbau von Ozon, bei dem die Menge von Ozon annähernd gleich bleibt.

Die restlichen zehn Prozent des Ozons 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. 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 das Ozon) entfernen würden, ergäbe das verbleibende Ozon aus allen atmosphärischen Schichten eine nur wenige Millimeter dicke Schicht. Unter mittlerem Atmosphärendruck entspricht die Dicke dieser Ozonschicht dem Zahlenwert für die Ozonmenge in Dobson Units: Ist die Ozonschicht ein Millimeter mächtig, dann beträgt der Ozongehalt 100 Dobson Units.

Im Mittel liegt der Ozongehalt der Atmosphäre etwa bei 310 Dobson Units. Die „Ozonschicht“ ist im Mittel also 3,1 Millimeter mächtig. Von einem **Ozonloch** spricht man, wenn der Wert unter 200 Dobson Units sinkt. Dann kann schädigende ultraviolette Strahlung in größerem Maße zur Erde gelangen.

## 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 ( $O\cdot + O_2 \rightarrow O_3$ ).

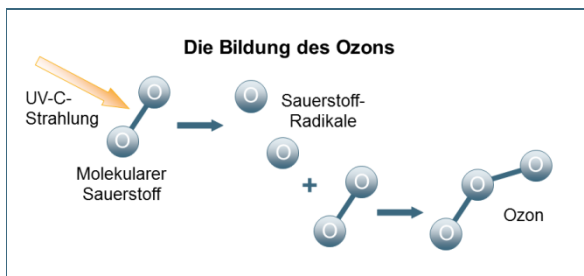


Abb. 2:  
Ozonbildung

Da in den sehr hohen Schichten der Atmosphäre sehr wenig Sauerstoff vorhanden ist und in die tiefer gelegenen Schichten kaum UV-C-Strahlung eindringt, sind die Bedingungen für die Ozonbildung nur in einem Teilbereich der Stratosphäre, etwa in 15 bis 35 Kilometer 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.

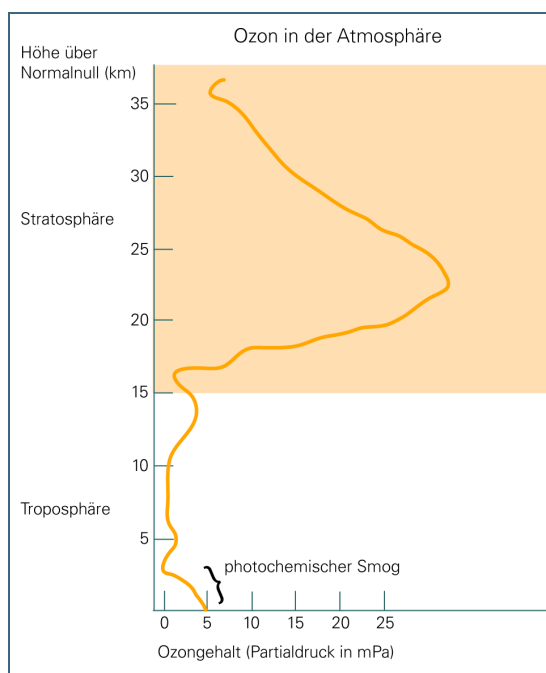


Abb. 3:  
Der Großteil des atmosphärischen Ozons befindet sich in der Stratosphäre in einer Höhe von etwa 15 bis 35 Kilometern.

Quelle: NASA 1999, S. 311, verändert

## 2.2 Abbau von Ozon

Der **Ozonabbau** erfolgt durch die energieärmere UV-B-Strahlung, die Ozon in Sauerstoff-Radikale und molekularen Sauerstoff spaltet ( $O_3 \rightarrow O \cdot + O_2$ ). Einige Substanzen, 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 Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) und Halogenverbindungen. 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 ultraviolette Strahlung in sogenannte **freie Radikale** gespalten. Diese verstärken als Katalysatoren den Ozonabbau. Das heißt, sie spalten Ozonmoleküle ohne selbst verbraucht oder verändert zu werden. 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 Prozent 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.

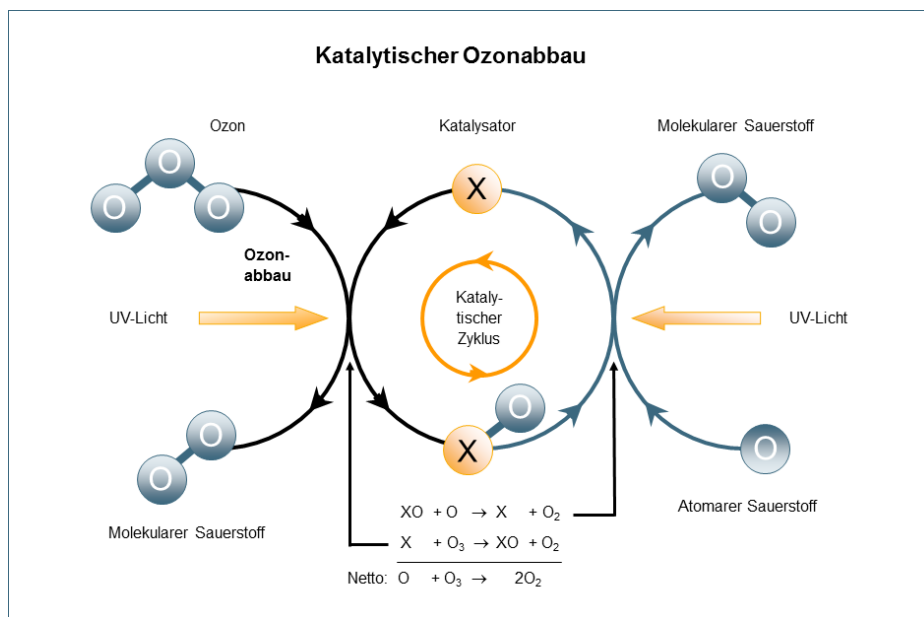


Abb. 4:  
Der Ozonabbau wird durch Katalysatoren verstärkt. Katalysatoren (X, zum Beispiel freie Radikale) werden dabei nicht verbraucht. Sie stammen zum Beispiel aus FCKW, Methan, Chlor- und Bromverbindungen.

Quelle: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2002, 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 Fluorchlorkohlenwasserstoffen 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, dass der Verlust (mehr oder weniger) ausgeglichen wird. Und durch das sommerliche Aussetzen des Polarwirbels, können zudem wieder ozonreichere Luftmassen einströmen.

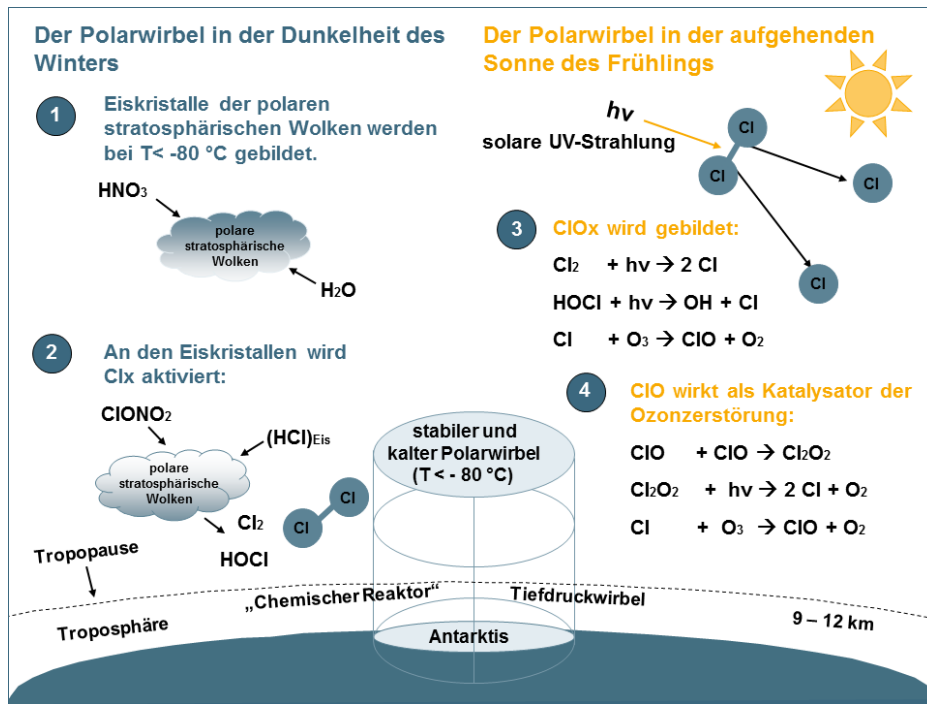


Abb. 5: Im Polarwirbel über der Antarktis kommt es im Frühjahr unter Einfluss der Sonne zu einem starken Ozonabbau mit Chlor als Katalysator. Das Chlor hat sich zuvor in der Kälte der Polarnacht gebildet. An den komplexen chemischen Reaktionen sind unter anderem FCKW-Zerfallsprodukte, Salpetersäure (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

Quelle: R. Gerndt, verändert  
<http://region.hagen.de/OZON/ICON/o3loch.gif>

### 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 zehn Grad Celsius 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

- Die Amerikaner Mario Molina und Frank Sherwood Rowland stellten **1974** zum ersten Mal in der Fachzeitschrift „Nature“ ihre Theorie vor, dass die Zunahme von Fluorchlorkohlenwasserstoffen in der Atmosphäre zum Abbau der stratosphärischen Ozonschicht führt.
- Das **Umweltprogramm der Vereinten Nationen** (United Nations Environment Programme, UNEP) berief **1977** in Washington eine Expertenkonferenz ein, auf der das Problem der Zerstörung der Ozonschicht erstmals auf internationaler Ebene erörtert wurde.
- Ein Forschungsteam des „British Antarctic Survey“ berichtete **1985** über eine Abnahme der Ozonschicht über der Antarktis und entdeckte damit das sogenannte „Ozonloch“.
- Im **Wiener Übereinkommen zum Schutz der Ozonschicht** wurde **1985** die zwischenstaatliche Zusammenarbeit in den Bereichen der Forschung und des Informationsaustausches vereinbart.

- **1987** wurde das **Montrealer Protokoll über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen** verabschiedet. Dieses Protokoll konkretisiert das Wiener Übereinkommen und legt für die beteiligten Staaten mengenmäßige Verpflichtungen zum maximalen Ausstoß von Fluorchlorkohlenwasserstoffen und Halonen fest. Bei den regelmäßigen Folgekonferenzen wurden die Vereinbarungen verschärft, Regelungen für die Übernahme neuer ozonschädlicher Stoffe eingeführt und die ausgehandelten Fristen für den Ausstieg aus den ozonschädlichen Substanzen erheblich verkürzt.
- In Europa wird das Montrealer Protokoll durch mehrere Verordnungen umgesetzt:  
Auf europäischer Ebene ist seit **2010** die **Verordnung über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen** (Verordnung (EG) Nr. 1005/2009) in Kraft. Die Verordnung muss nicht in deutsches Recht umgesetzt werden, denn sie ist unmittelbar gültig. Die Verpflichtungen bezüglich Fluorchlorkohlenwasserstoffen und teilhalogenierten Fluorchlorkohlenwasserstoffen gehen zum Teil deutlich über deutsche Anforderungen hinaus.  
  
Diese Verordnung wird durch weitere Verordnungen ergänzt: Durch die **Verordnung zu kritischen Verwendungszwecken für Halone** (Verordnung (EG) 744/2010) und durch die **Verordnung über wesentliche Verwendungszwecke geregelter Stoffe außer FCKW zu Labor- und Analyse Zwecke** (Verordnung (EG) 291/2011).
- In Deutschland wird das Montrealer Protokoll über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen durch die **Chemikalien-Ozonschichtverordnung**, die bereits **2006** in Kraft trat, umgesetzt.

Weitere Informationen:

- ▶ [Umweltprogramm der Vereinten Nationen](#)
- ▶ [Wiener Übereinkommen zum Schutz der Ozonschicht](#)
- ▶ [Montrealer Protokoll](#)
- ▶ [Verordnung \(EG\) Nr. 1005/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. September 2009 über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen](#)
- ▶ [Verordnung zu kritischen Verwendungszwecken für Halone \(Verordnung \(EG\) 744/2010\)](#)
- ▶ [Verordnung über wesentliche Verwendungszwecke geregelter Stoffe außer FCKW zu Labor- und Analyse Zwecke \(Verordnung \(EG\) 291/2011\)](#)
- ▶ [Chemikalien-Ozonschichtverordnung](#)

### 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 Dobson Units. Abhängig von den herrschenden Bedingungen kann sich das Ozonloch auf der **Südhalbkugel** bis über Südaustralien, Südafrika oder Südamerika erstrecken.



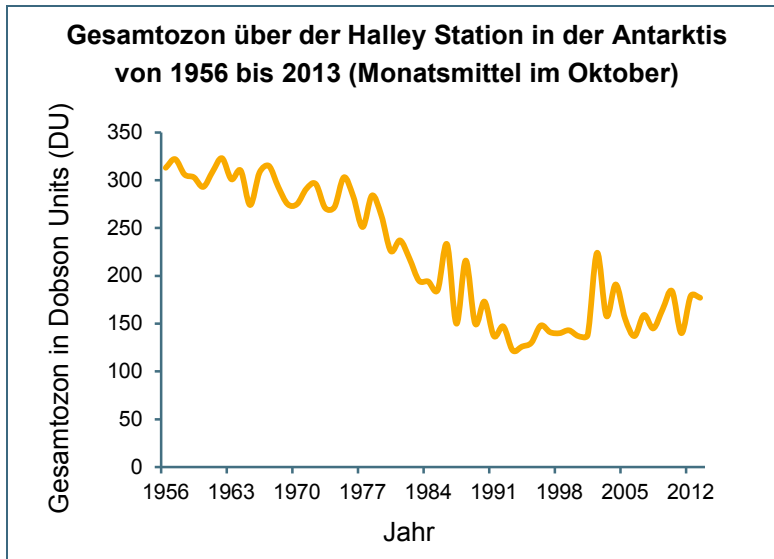


Abb. 6:  
Die Ozonwerte über der Antarktis nehmen seit Jahrzehnten ab. Seit Mitte der 1980er-Jahre tritt regelmäßig ein sogenanntes Ozonloch auf (Werte unter 200 Dobson Units).  
Daten: British Antarctic Survey, 2013.

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 Dobson Units 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. Dennoch ist die Ozonschicht noch immer dünner als während der 1970er- und 1980er-Jahre, als der starke Ozonschwund in der Stratosphäre einsetzte.

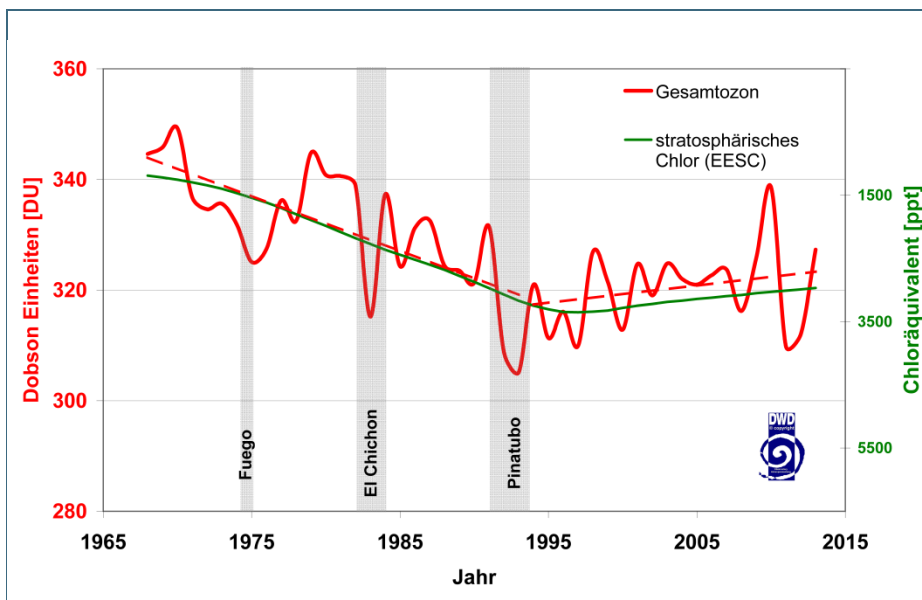


Abb. 7:  
Zeitlicher Verlauf der Jahresmittelwerte des Gesamtozons am Hohenpeißenberg seit 1967 mit Trendlinie (gestrichelt). Der kurzfristige Einfluss von Vulkanausbrüchen auf den Ozongehalt der Atmosphäre ist deutlich erkennbar (siehe Markierungen). Der Verlauf der stratosphärischen Chlorkonzentration (grüne Linie) ist umgekehrt dargestellt, so dass die Verläufe von Ozon- und Chlorkonzentration besser vergleichbar sind.

Wie wir mittlerweile wissen, wurde der Abbau von Ozon in den 1970er- bis 1990er-Jahren nicht ausschließlich durch steigende Belastungen der Atmosphäre mit Chlor und Brom verursacht. Mindestens ein Drittel des Ozonverlusts und ein Großteil der Schwankungen lassen sich durch andere Faktoren wie etwa Veränderungen der Höhe der Tropopause, atmosphärische Zirkulationsmuster (zum Beispiel die Nord-Atlantik-Oszillation, NAO) oder die Aktivität der Sonne erklären. Diese Faktoren haben auch einen großen Anteil an der Ozonzunahme der letzten Jahre. Der beginnende Chlorrückgang aufgrund des Montrealer Protokolls (1987) konnte erst wenig zur Ozonzunahme beitragen.

### 3.3 Verstärkung der ultravioletten Strahlung

Zu starke ultraviolette Strahlung ist schädlich für Menschen, Tiere und Pflanzen. Als Faustregel gilt: In Deutschland führt die Verminderung des Ozons um ein Prozent zu einer Zunahme der UV-B-Strahlung um etwa 1,5 Prozent. So ist der Ozongehalt über Bayern in den letzten 40 Jahren um etwa zehn Prozent gesunken, während die ultraviolette Strahlung durchschnittlich um etwa 15 Prozent stärker wurde. Allerdings steigt die UV-B-Belastung bei sehr starkem Ozonverlust, etwa im Bereich eines Ozonlochs, überproportional an.

Der größte Anstieg der Strahlung erfolgt regelmäßig im Frühjahr, also gerade in der Jahreszeit, in der Menschen und Pflanzen sonnenengewohnt und damit besonders UV-empfindlich sind. Sogenannte Ozon-Minilöcher können für zwei bis vier Tage eine noch stärkere Erhöhung der ultravioletten Strahlung verursachen. Wissenschaftlichen Prognosen zufolge wird sich die ultraviolette Strahlung in Bayern noch für einige Jahrzehnte auf dem jetzigen hohen Niveau halten. Erst um 2050 ist damit zu rechnen, dass die ultraviolette Strahlung wieder auf das Niveau von 1970 zurückgehen wird.

Weitere Informationen:

Tagesaktuelle UV-Warnungen: ► [www.uv-index.de](http://www.uv-index.de).

► [Sonne\(n\) mit Verstand ... statt Sonnenbrand – Mit Vorsicht-Sonne genießen](#)

## 4 Fazit

Sehr niedrige Ozonwerte, wie sie in den 1990er-Jahren in unseren Breiten gemessen wurden, sind seltener geworden. Obwohl die Ozon abbauenden Substanzen in der Atmosphäre weniger werden, gehen Wissenschaftler davon aus, dass die gegenwärtige Erholung der Ozonschicht von anderen Faktoren getrieben wird. Die internationalen Abkommen zum Schutz der Ozonschicht werden ihre Wirkung erst gegen Mitte oder Ende des Jahrhunderts entfalten, weil viele Ozon abbauende Substanzen sehr langlebig sind. Bis dahin bleibt die Ozonschicht generell anfällig und es können jederzeit wieder kritische Werte erreicht werden.

## 5 Literatur und Links

BRITISH ANTARCTIC SURVEY (2013\*): ► [Provisional mean total ozone at Halley \(approximately corrected to Bass-Paur\)](#)

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

(2013\*): ► [Ozonschicht / Ozonloch](#)

CLAUDE H., STEINBRECHT W., KÖHLER U.:

(2006): [Entwicklung der Ozonschicht](#). In: Deutscher Wetterdienst: Klimastatusbericht 2006. PDF, 191 S.

(2007): [Entwicklung der Ozonschicht](#). In: Deutscher Wetterdienst: Klimastatusbericht 2007. PDF, 109 S.

DEUTSCHER WETTERDIENST:

(2005): [Ungewöhnliche kalte Stratosphäre verursacht starke Ozonverluste im arktischen Winter 2004/2005](#). Ozonbulletin des Deutschen Wetterdienstes, Nr. 104, PDF, 2 S.

(2008): [Entwarnung bei der Ozonschicht?](#) Ozonbulletin des Deutschen Wetterdienstes, Nr. 119, PDF, 2 S.

(2013\*): ► [Liste aller bisher erschienenen Ozonbulletins](#)

(2013\*): ► [Allgemeine Informationen zur Klimaüberwachung](#)

(2013\*): ► [UV-Gefahrenindex – Vorhersage](#)



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

EUROPÄISCHE UNION (2013\*): ► [Protection of the Ozone Layer](#)

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

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA 1999): [EOS Science Plan](#), S. 311. PDF, 388 S.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA 2002): [Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002 – Twenty Questions and Answers About the Ozone Layer](#), Q.16. PDF, Q. 38.

R. GERNDT: Grafik zum Polarwirbel über der Antarktis. ► <http://region.hagen.de/OZON/ICON/o3loch.gif>

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.

(2013\*): ► [Regelungen zu ozonabbauenden Stoffen](#)

(2013\*): ► [Regelungen zu fluorierten Treibhausgasen](#)

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](#)

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO):

(2003): [Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002](#). PDF.

(2007): [Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2006](#). PDF.

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

\* Zitate von online-Angeboten vom 27.11.2013

## 6 Weiterführende Informationen

UmweltWissen-Publikationen:

► [Bodennahes Ozon](#)

► [Erdwärme – die Energiequelle aus der Tiefe](#)

► [Oberflächennahe Geothermie](#)

► [Windenergie in Bayern](#)

► [Internationale Klimaschutzpolitik](#)

► [Klimaschutzpolitik in Deutschland und Bayern](#)

► [Klimawandel – Warum ändert sich unser Klima?](#)

► [Erforschung und Vorhersage des Klimawandels](#)

Ansprechpartner: ► [http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/0\\_ansprechpartner.pdf](http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/0_ansprechpartner.pdf)

Weitere Publikationen zum Umweltschutz im Alltag: ► [www.lfu.bayern.de/umweltwissen](http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen).

### Impressum:

#### Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg

Telefon: 0821 9071-0

Telefax: 0821 9071-5556

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

Internet: <http://www.lfu.bayern.de>

#### Postanschrift:

Bayerisches Landesamt für Umwelt  
86177 Augsburg

#### Bearbeitung:

Ref. 12 / Peter Miehle, Dr. Katharina Stroh, Guido Ulbrich, Uwe Mackes

#### Bildnachweis:

© ccvision.de: Titelbild

© H. Claude, DWD, Hohenpeißenberg: Abb. 7

LfU: Abb. 1, 2, 3, 4, 5 und 6

#### Stand:

Neufassung 2004

Überarbeitung 2009

Aktualisierung Februar 2014

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden. Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – wird um Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars gebeten.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Broschüre wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Diese Broschüre wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 122220 oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto:direkt@bayern.de) erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.