

Die Problematik des Ozonlochs

von Heinz Reuter, Wien

Einleitung:

Vor rund 600 Millionen Jahren kam es zur Bildung von Ozon in der Erdatmosphäre. Die Voraussetzung dafür war die Produktion von Sauerstoff durch einfache Pflanzen, die zu dieser Zeit bereits auf den Kontinenten vorhanden waren und die die damals bis in die untersten Luftschichten eindringende UV-Strahlungskomponente der Sonnenstrahlung ohne große Schädigungen aushielten. Organisches Leben konnte zu diesem Zeitpunkt nur in den Tiefen der Ozeane möglich sein, da in diese Schichten die UV-Strahlung nicht eindringt. Wir müssen festhalten, daß die lebensnotwendige Produktion von Sauerstoff und daher auch die Produktion von Ozon den Pflanzen zu verdanken ist. Man hat abgeschätzt, daß der durch die Photosynthese erzeugte Sauerstoff in der Erdatmosphäre einen Zyklus von etwa 2000 Jahren durchläuft.

Neben den Organismen sind auch Verbrennungsprozesse für den Sauerstoffverbrauch verantwortlich. Wiewohl die Sauerstoffproduktion nahe der Erdoberfläche stattfindet, kommt es zur Ozonbildung als Folge der UV-Strahlung erst in Höhen zwischen 25 und 50 km. Daher muß der (relativ schwere) Sauerstoff in diese Höhen gelangen. Dies geschieht durch thermische und turbulente Vertikaldurchmischung

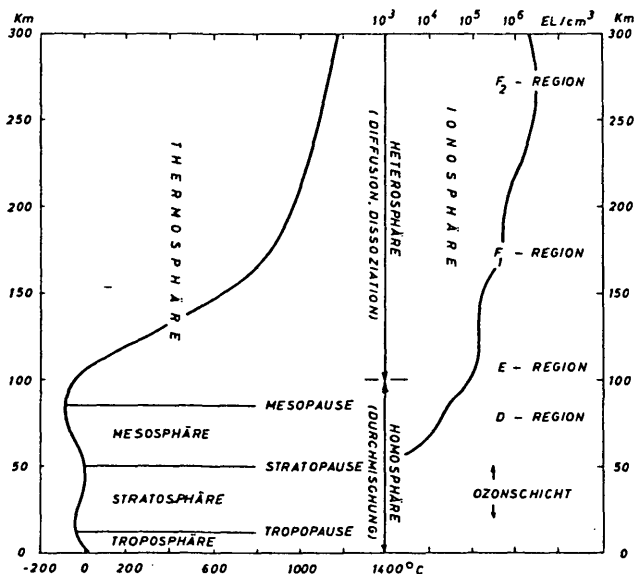


Abb. 1: Aufbau der Atmosphäre nach der Temperaturschichtung (links), nach der Zusammensetzung der Luft (mitte) und nach der Elektronendichteverteilung (rechts).

Noch zu Beginn unseres Jahrhunderts hatte man vermutet, daß in den höheren Luftschichten die Zusammensetzung der Atmosphäre von den leichten Elementen (Wasserstoff und Helium) beherrscht wird. Heute wissen wir, daß die Luft auch in den hohen Schichten eine den bodennahen Luftschichten sehr ähnliche Zusammensetzung aufweist.

Allerdings zeigt der Ozongehalt eine markante Vertikalstruktur mit maximaler Konzentration in der sogenannten Ozonschicht (25 bis 50 km Höhe) (Abb. 1). Der Gesamtgehalt von Ozon in der Atmosphäre ist im Vergleich zu den Hauptbestandteilen (Stickstoff und Sauerstoff) verschwindend gering. Er beträgt nur etwa 10^{-8} Volumprozent (Abb. 2). Doch ist der

Gas	Volumanteile	Anmerkungen
Stickstoff N ₂	0,7809	} 100 % } nach O. M. I. Publ. No. 71 Lausanne 1949, 225. } mit der Höhe zunehmend mit der Höhe abnehmend 0,05 - 0,6 · 10 ⁻¹² g cm ⁻³ 1,2 · 10 ⁻⁶ Massen % bis 7 km konstant, dann abnehmend
Sauerstoff O ₂	0,2095	
Argon A	0,0093	
Kohlensäure CO ₂	0,0003	
Neon Ne	1,8 · 10 ⁻⁵	
Helium He	5,24 · 10 ⁻⁶	
Krypton Kr	1,0 · 10 ⁻⁶	
Wasserstoff H ₂	5,0 · 10 ⁻⁷	
Xenon X	8,0 · 10 ⁻⁸	
Ozon O ₃	1,0 · 10 ⁻⁸	
Radon Rn	6,0 · 10 ⁻²⁰	} 2) 3) spektrosk. gelegentlich nachgewiesen2) } etwa 10 ⁻¹⁰ g cm ⁻³) wahrscheinlich nicht vorhanden
Jod J	0,3 - 4 · 10 ⁻¹⁰	
Methan CH ₄	2,2 · 10 ⁻⁶	
Stickstoffoxydul N ₂ O	5 · 10 ⁻⁷	
Schwefeldioxyd SO ₂	0 - 10 ⁻⁶	
Stickstoffdioxyd NO ₂	0 - 2 · 10 ⁻⁴	
Kohlenoxyd CO	Spuren	
Kochsalz NaCl		
Ammoniak NH ₃	-1)	

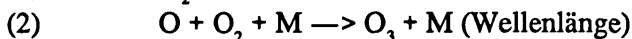
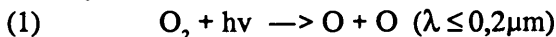
Abb. 2: Die chemische Zusammensetzung trockener Luft bis etwa 25 km.

“Ozonschild” wegen der Abschirmung der UV-Strahlung lebensnotwendig.

Messung des Ozongehaltes: Wie die Abb. 3 zeigt, hat Ozon eine markante Spektralbande im UV-Bereich, die eben für die erwähnte Wirkung verantwortlich ist. In der Tat werden auch die Messungen des Ozongehaltes der Atmosphäre zunächst spektrophotometrisch durchgeführt. Die Einheit für den Ozongehalt ist die sogenannte Dobson-Einheit (DU), wobei 300 DU einer 3 mm hohen O₃-Säule entsprechen. Neben der spektrophotometrischen Methode werden auch mit Ballon- oder Raketensonden, sowie mit Lidargeräten (Laserstrahl Radargeräten) Messungen durchgeführt, die vor allem zur Erfassung der Vertikalstruktur notwendig sind. Wir können hier auf die Meßmethodik nicht näher eingehen, wollen aber betonen, daß diese bei dem heutigen Stand der Meßtechnik in der Lage ist, gesicherte Informationen über den Ozongehalt zu liefern.

Grundlage der Ozonbildung und der Ozondestruktion in der Atmosphäre:

Die Ozonentstehung wird durch den Prozeß der Photolyse erklärt.



wobei unter M der sogenannte Stoßparameter zu

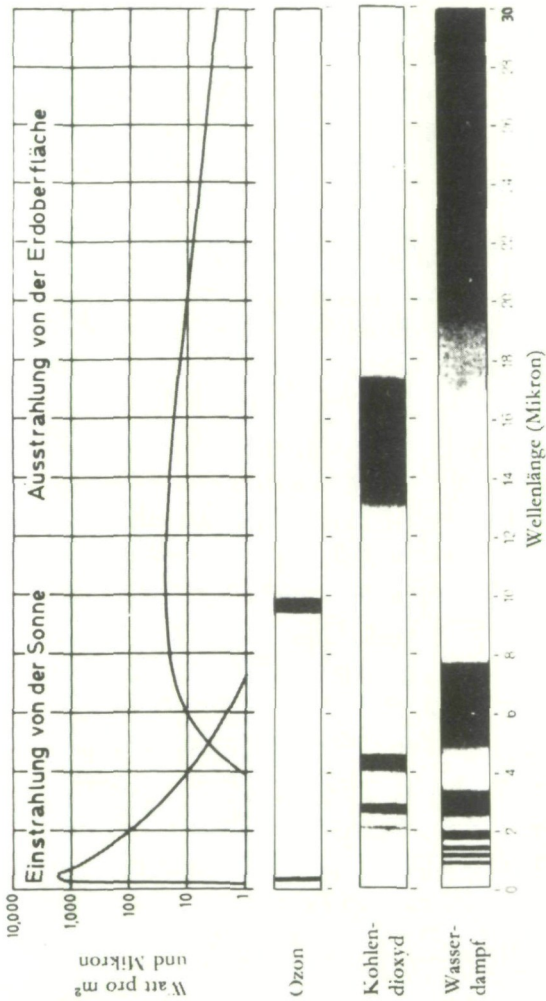
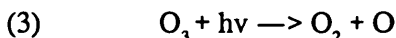


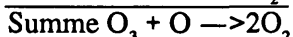
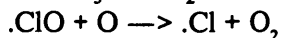
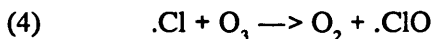
Abb. 3: Strahlungsintensität der Sonne bzw. der Erdoberfläche mit den dazugehörigen Absorptionsbanden des Ozons, des Kohlendioxyds und des Wasserdampfes.

verstehen ist, der bei der nicht chemisch umgesetzten Reaktion die überschüssige Energie von dem Reaktionspartner übernimmt. Als Stoßparameter können O_2 und N_2 Moleküle aber auch andere Komponenten fungieren.

Wie Chapman schon 1930 erkannt hat, findet nach Bildung von Ozon sofort wieder eine Zerstörung desselben eben durch die Absorption der UV-Strahlung statt, nämlich



was keinen Nettoverlust darstellt, weil sofort wieder die Reaktion (2) einsetzt. Neben dieser klassischen Ozonproduktion und Ozondestruktion spielen bei der Ozonvernichtung auch die sogenannten Radikale eine große Rolle. Darunter versteht man ungesättigte Elektronenbindungen. Grundsätzlich kommen als Radikale die verschiedensten Reaktionspartner in Frage. OH und $\cdot H_2O$ auch $\cdot NO$ und $\cdot NO_2$ sowie neuerdings vor allem, Cl und $\cdot ClO$. Wir wollen das an dem letztgenannten Radikal näher erläutern. Die Vorgänge können durch folgende Reaktionen beschrieben werden:



Wichtig ist dabei festzuhalten, daß der Reaktions-

partner .Cl erhalten bleibt. Ein Abbruch dieser Kettenreaktion kann nur durch andere Reaktionen erfolgen, z.B. .Cl mit Methan zu HCl (gasförmige Salzsäure). Wichtig ist auch die Tatsache, daß beim O_3 -Abbau die Bildung von neuem Ozon gedämpft wird, weil O-Atome verbraucht werden.

Es erhebt sich nun die Frage, woher die Stickoxyde, Cl-Atome und OH-Radikale in die Stratosphäre kommen, die Ozondestruktion über die erwünschte Reaktion (3) hinaus beschleunigen können.

Bei der Suche nach Vorgängen, die diese chemischen Substanzen produzieren, stieß man auf verschiedene Ursachen, die dafür verantwortlich gemacht werden können. In den Vordergrund des Interesses rückten naturgemäß die Abgase von Fabriken sowie der Kraftwagenverkehr. Hierbei wurde vornehmlich der Produktion von Stickoxyden Beachtung geschenkt. Wichtig bei der hier diskutierten Problematik waren Überlegungen, die sich damit beschäftigten, ob diese Schadstoffe wirklich bis in Höhen der Ozonschicht gelangen und ob nicht vor Erreichen der Ozonschicht chemische Reaktionen eintreten, die die Radikale unschädlich machen.

Einen besonderen Stellenwert im Reigen der für eine Ozondestruktion in Frage kommenden chemischen Verbindungen nehmen derzeit die CFK (ChlorFluor-Kohlenwasserstoffe) ein.

Wir wollen daher diesen Substanzen unser besonderes Augenmerk schenken, ohne die Bedeutung anderer für die Ozonzerstörung in Frage kommenden Stoffe gering einzuschätzen.

Der Ursprung der CFK ist in erster Linie in Kühlmitteln, im Treibgas von Spraydosen und in schaumförmigen Kunststoffen zu suchen. Ursprünglich hatte man die CFK sehr gelobt, weil sie ungiftig, geruchlos und "inert" also reaktionsträge sind. Man hatte dabei übersehen, daß einmal gerade diese Reaktionsträgheit zu einer Langlebigkeit führt, so daß auch noch nach Jahren diese Stoffe in der Atmosphäre vorhanden sind und zum anderen, daß UV-Strahlung sie zertrümmern kann. Gerade die Langlebigkeit bewirkt, daß die CFK allmählich in die Stratosphäre gelangen, wo die UV-Strahlung stark genug ist, um sie zerstören zu können, so daß sich $\cdot\text{Cl}$ und $\cdot\text{ClO}$ Radikale bilden, die dann die Reaktion (4) einleiten.

Die ersten diesbezüglichen Alarmmeldungen (Anfang der 70er Jahre) wurden wieder etwas abgeschwächt, weil man vermutete, daß die sogenannte Methan (CH_4)-Bremse wirksam werden könnte. Bei dieser Reaktion wird gasförmige Salzsäure (HCl) erzeugt, so daß die Ozonschicht nicht allzu stark abgebaut werden kann, weil die Radikale dabei verwendet werden.

Neuerdings hat allerdings Paul J. Crutzen, Direktor

des Mainzer Max-Planck-Institutes für Chemie, darauf hingewiesen, daß diese "Methanbremse" unter gewissen Bedingungen versagt, so daß Chlor und Chlormonoxyd ungehindert ihr zerstörendes Werk ausüben und Ozon vernichten können. Diese Bedingungen werden durch tiefe Temperaturen geschaffen, die tatsächlich im antarktischen Winter und Frühjahr in der Höhe der Ozonschicht auftreten können. Nach Crutzen sollen gewisse "Schlüsselprozesse" bei Temperaturen unter -70 Grad Celsius einsetzen, wobei aus Stickoxyden der Luft vermehrt Salpetersäure entsteht. Diese Salpetersäure, die bei höheren Temperaturen gasförmig vorliegt, sublimiert zusammen mit etwa der gleichen Menge Wasserdampf zu einem Aerosol, zu einem feinen Dunst aus festen, gefrorenen Partikeln. Solcherart werden der Luft Stickoxyde und Salpetersäure als gasförmige Bestandteile entzogen.

Dies hat aber zur Folge, daß die Konzentration eines anderen Spurengases, nämlich des Hydroxyl-Radikals $\cdot\text{OH}$ dramatisch ansteigt (nach Berechnungen von Crutzen bis zum hundertfachen seines ursprünglichen Wertes). Nun ist dieses OH-Radikal ungeheuer reaktionsfreudig. Es trägt unter normalen Umständen als "Waschmittel" zur Reinigung der Luft von schädlichen Spurengasen bei. In der Antarktis wirkt sich das übermäßig angereicherte OH-Radikal in einer kalten, von Stickoxyden und Salpetersäure weithin freien

Stratosphäre jedoch verhängnisvoll aus. Es baut nämlich die Salzsäure ab und setzt dadurch reaktive Chlorverbindungen frei, die dann über katalytische Reaktionen das Ozon aufzehren. Bei dieser Theorie ist das Kernproblem, ob die dabei angenommenen tiefen Temperaturen auch wirklich auftreten. Tatsächlich hat man in der antarktischen Stratosphäre in den letzten Jahren eine Temperaturabnahme festgestellt. Die Ursache ist nicht eindeutig geklärt. Eine Möglichkeit wären Staubakkumulierungen durch Vulkaneruptionen. Ob die Überlegungen von Crutzen den Tatsachen entsprechen, sollen demnächst Messungen in Nordschweden aufzeigen. Trifft die Kernaussage der Theorie zu, dann steht es ernst um die Ozonschicht.

Tatsächlich beobachtete Ozonwerte:

Da die letzte Entscheidung über die Spekulationen bezüglich einer Zerstörung der Ozonschicht nur die direkten Messungen liefern können, wollen wir aus den vorliegenden Meßergebnissen zwei Standorte herausgreifen. Einmal die in Mitteleuropa am Observatorium Hohenpeissenberg in der B.R.D. durchgeführten Beobachtungen und zum anderen solche aus der Antarktis. Aus der Abb. 4 ist zunächst der jährliche Gang des Gesamtozons über Hohenpeissenberg im Mittel für die Jahre 1967 bis 1985 dargestellt

(Dobson-Einheit und Standardabweichung). Man erkennt den deutlichen Jahresgang mit einem Maximum im Frühjahr und einem Minimum im Herbst.

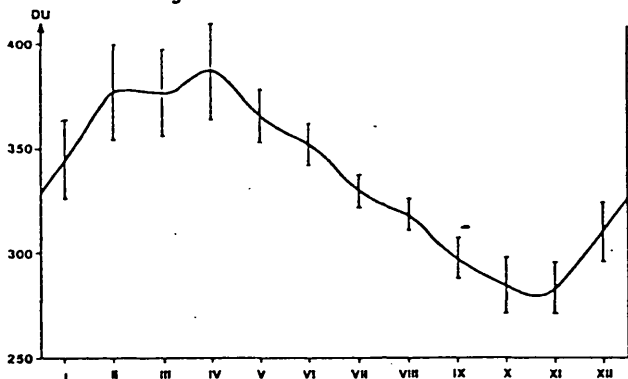


Abb. 4: Der jährliche Gang des Gesamt ozons über Hohenpeissenberg für die Jahre 1967 - 1985. Die vertikalen Balken stellen die 2- σ -Standardabweichung der Monatsmittel dar. Sie zeigen eine doppelt so große Variabilität während des Winters und Frühlings im Vergleich zum Sommer und Herbst.

Die Abb. 5 vermittelt eine Einsicht in die vertikale Verteilung des Ozons als Jahreszeitenmittel und die Temperaturverteilung in Abhängigkeit von der Höhe. Bemerkenswert ist sowohl die ausgeprägte Ozonschicht in Höhen zwischen 20 und 24 km und die Tatsache, daß in Bodennähe ebenfalls nahezu gleich hohe Ozonwerte wie in der eigentlichen Ozonschicht vorhanden sind.

— 82 —

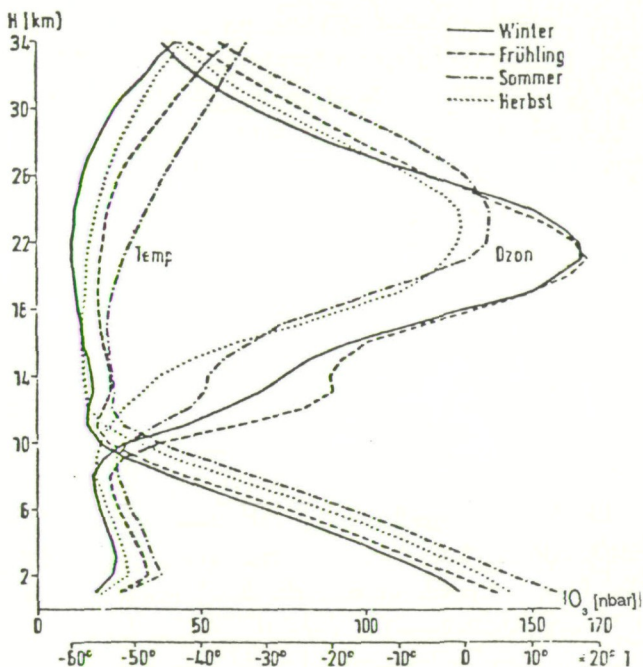


Abb. 5: Vertikalprofile der Jahreszeitenmittel von Temperatur und Ozon: Hohenpeißenberg 1967 - 1984.

In der Tat hat die Zunahme des Ozongehaltes in den bodennahen Luftschichten in den letzten Jahren vor allem die Umweltschützer alarmiert, da dieses Ozon mit größter Wahrscheinlichkeit u.a. indirekt durch den Kraftwagenverkehr (Produktion von Stickoxyden) verursacht und auch für Vegetationsschäden

verantwortlich gemacht werden kann. In der Abb. 6 schließlich ist die mittlere Ozonverteilung in Abhängigkeit von der Vertikalen für die Jahre 1967 bis 1984 aufgetragen. Man erkennt daraus, daß in Mitteleuropa zumindest bis 1984 der Ozongehalt zugenommen hat und zwar in allen Höhen.

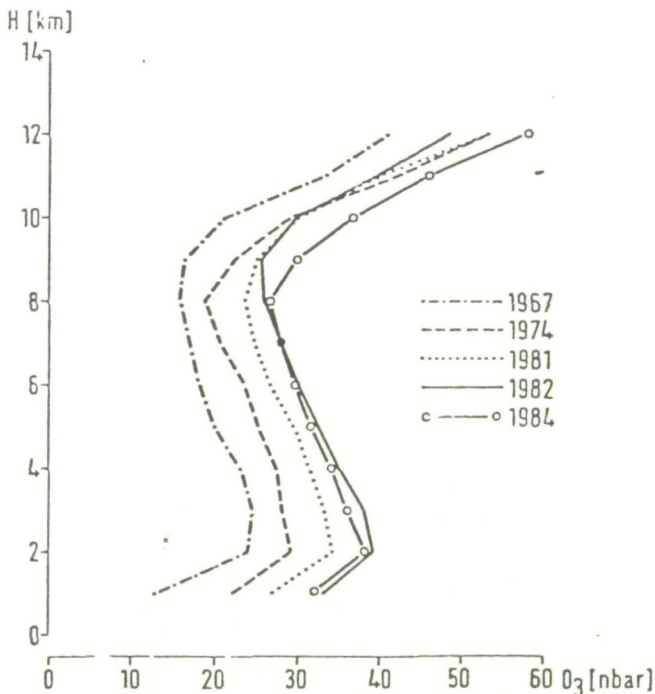


Abb. 6: Mittlere Ozonverteilung 1 km - 12 km Hohenpeißenberg 1967 - 1984.

— 84 —

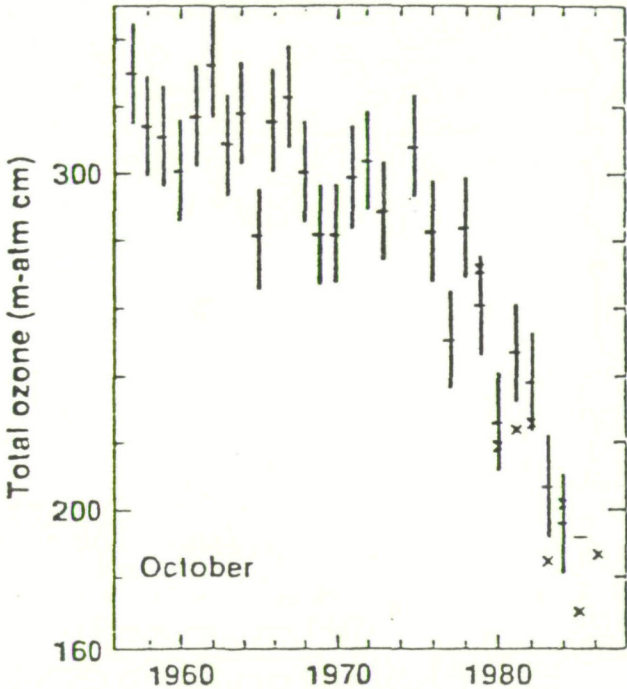


Abb. 7: Mittelwerte des totalen Ozongehaltes für den Monat Oktober, gemessen über der Antarktis in den Jahren 1957 bis 1986.

Die Ozonbeobachtungen über der Antarktis zeigen allerdings ein anderes Resultat (Abb. 7). Während bis zu Anfang der 70er Jahre keine auffallende Tendenz festzustellen war, setzte ab 1974 ein deutlicher Abfall des Ozongehaltes der Atmosphäre ein, der zu einer

Reduzierung um etwa 30 % der ursprünglich vorhandenen Menge führte. Nach den neuesten Messungen soll sich diese Tendenz (allerdings etwas verlangsamt) fortsetzen. Nun muß man bei den Messungen im Polargebiet bedenken, daß in der (langen) Polarnacht eine Ozonproduktion durch Photolyse gemäß Formel (1) und (2) nicht stattfinden kann, so daß am Ende der Polarnacht immer ein "Ozonloch" zu erwarten ist. Das Bedenkliche an den Beobachtungen in den letzten Jahren war, daß dieses Loch größer wurde und sich nicht mehr ganz im polaren Sommer geschlossen hat. Die Spekulationen über die Ursache dieser offensichtlichen Ozondestruktion waren und sind heute noch sehr zahlreich. Wir haben hier nur über die wichtigsten diesbezüglichen Aspekte berichtet.

Der Vollständigkeit halber seien hier noch die Beobachtungen mitgeteilt, die durch den Polarumlaufsatelliten NIMBUS 7 vorgenommen wurden. Diese Messungen wurden seit 1978 auf zwei Arten und zwar mittels SBUV (Solar Backscattered Ultra-Violet) und TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) durchgeführt. Leider handelt es sich dabei nur um Trendbeobachtungen und nicht um exakte Messungen (absolute Werte). Man hat versucht, diese vom Satelliten-gewonnenen Resultate durch Vergleich mit Bodenbeobachtungen zu objektivieren, was allerdings keine absolut gesicherten Angaben liefert. Das Resultat

ergab im Zeitraum 1978 - 1985 für die mittleren Breiten summativ eine Abnahme von Ozon um etwa 2,5 %. Man muß dabei jedoch bedenken, daß gerade in dieser Beobachtungsperiode eine Abnahme der Sonnenaktivität von einem Maximum zu einem Minimum der Sonnenflecken stattfand, was auf Grund von theoretischen Überlegungen eine Reduktion des Ozongehaltes bis zu einem Wert von 2 % erklären könnte. Weitere Daten von Satelliten zeigen, daß sehr wahrscheinlich in den letzten Jahren die Temperaturen zwischen 45 und 55 km Höhe leicht zurückgegangen sind, was nach theoretischen Untersuchungen einer Reduktion von Ozon bis zu einem Wert von 10% erklären könnte.

Schlußfolgerungen:

Zusammenfassend müssen wir folgendes feststellen: Die Meldungen einer deutlichen Abnahme des Ozongehaltes über der Antarktis dürfen nicht verharmlost werden. Wiewohl die eigentliche Ursache noch nicht restlos geklärt ist, spielen sicher dabei anthropogene Aktivitäten d.h. die Produktion verschiedener Schadstoffe eine große Rolle. Ein besonderer Stellenwert kommt den CFK (Chlor-FluorKohlenwasserstoffe) zu. Daher ist eine Reduzierung dieser vornehmlich in Spraydosen verwendeten Mittel ein Gebot der Stunde. Man muß sich allerdings darüber im Klaren sein,

daß die CFK lange Zeit benötigen, um in die Stratosphäre zu gelangen, so daß eine Reduzierung in Bodennähe erst nach längerer Zeit eine Wirkung in der Höhe zeigen wird. Man muß aber darüber hinaus bedenken, daß auch andere Schadstoffemissionen zur Zerstörung der Ozonschicht beitragen können, so daß in einem Verbot der Verwendung der CFK nicht das Allheilmittel für eine Verhinderung einer weiteren Ozonreduktion zu sehen ist. Aufschluß über diese recht komplizierte Materie können nur weitere Messungen, Beobachtungen und theoretische Überlegungen bringen.

Anschrift des Verfassers:

Univ. Prof. Dr. Heinz Reuter

Institut für Meteorologie und Geophysik

Hohe Warte 38, 1190 Wien

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1991

Band/Volume: [129](#)

Autor(en)/Author(s): Reuter Heinz

Artikel/Article: [Die Problematik des Ozonlochs. 71-87](#)