**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 90 (1999)

**Heft:** 11

**Artikel:** Ozon in unserer Atmosphäre : Messungen des Lichtklimatischen Observatoriums von Arosa

**Autor:** Weiss, Andrea / Staehelin, Johannes / Schill, Herbert

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-901949

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 13.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

# Ozon in unserer Atmosphäre

## Messungen des Lichtklimatischen Observatoriums von Arosa

Die enorme Industrialisierung seit dem Zweiten Weltkrieg wirkt sich langfristig auf unsere Erdatmosphäre aus. Lange Messreihen lassen schleichende Veränderungen mit möglicherweise schwerwiegenden Folgen rechtzeitig erkennen. Das Lichtklimatische Observatorium in Arosa liefert mit seinen ausserordentlich langen und zuverlässigen Messreihen einen wichtigen Beitrag für die Ozonforschung und für wissenschaftlich fundierte politische Entscheidungen.

### Die Entwicklung der Messstation

Die Ozonmessungen in Arosa begannen in den zwanziger Jahren. F. W. P. Götz, nachmaliger Titularprofessor an der Universität Zürich, forschte damals an den Auswirkungen der hochalpinen Umweltbedingungen auf die menschliche Gesundheit. Er selbst war als Folge eines Tuberkuloseleidens nach Arosa emigriert. Neben Wetter und Klima interessierte er sich für die Sonnenstrahlung im UV-B-Bereich (280 bis 320 nm) und deshalb für das atmosphärische Ozon. Um die Höhenverteilung und die Schwankungen des Ozons zu registrieren, wurden 1926 permanent Messinstrumente installiert. Diese nach ihrem Konstrukteur Dobson benannten Dobson-Spektrophotometer erlauben es, die Gesamtmenge des Ozons in einer Luftsäule der Atmosphäre zu messen. Sofern es die meteorologischen Bedingungen erlauben, werden solche Messungen seit 1926 mehrmals täglich durchgeführt. Zudem begann Götz bereits in den 30er Jahren mit Messungen des Ozons in Bodennähe, von dem er annahm, dass eine hohe Konzentration ein Zeichen für saubere Luft sei. Jahrzehntelang wurde das Ozon in Arosa aus wissenschaftlichem Interesse beobachtet, und so entstand die längste Gesamtozonmessreihe der Welt.

Die Nobelpreisträger Rowland, Molina und Crutzen warnten Mitte der 70er Jahre, dass Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW) und andere Substanzen den globalen Ozonschild zerstören. Schlagartig erwachte das öffentliche Interesse an der Veränderung der Ozonschicht, welche die Lebewesen vor der gefährlichen Sonnenstrahlung im UV-B-Bereich schützt. Beim Menschen führt diese Strahlung zu Sonnenbrand und Augenleiden, bei übermässiger Exposition zu Hautkrebs.

Die Messreihen von Arosa sind heute zur Beobachtung der Langzeittrends von weltweiter Bedeutung. Weil die Ozonzerstörung nur langsam erfolgt, ergab sich eine gewaltige messtechnische Herausforderung: Um verlässliche Aussagen über die Langzeitentwicklung des Ozons in mittleren Breiten machen zu können, muss die Drift der Messinstrumente geringer als ein Prozent pro Jahrzehnt sein. Die alten Messungen wurden sorgfältig homogenisiert, das heisst Instrumenteneffekte in den Messresultaten wurden bestmöglich unterdrückt. [1]

Heute ist die Station mit einem für die Ozonforschung weltweit einmaligen Instrumentenpark ausgerüstet. Sie wird von der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA) betrieben. Operationelle Qualitätskontrollen und mehrere gleichzeitig arbeitende Geräte erlauben, kleinste Abweichungen zwischen den Geräten nachzuweisen und Messmethoden und Datenqualität laufend zu optimieren. Daraus resultiert eine ausserordentlich gut abgesicherte Messreihe, die den Ansprüchen klimatologischer Untersuchungen genügt. Fluktuationen in der Messreihe sind nicht Instabilitäten eines Instruments, sondern widerspiegeln real ablaufende Vorgänge. Die Messergebnisse werden an das World Ozone Data Center in Kanada weitergeleitet, dort archiviert und der internationalen Forschung zugänglich gemacht.

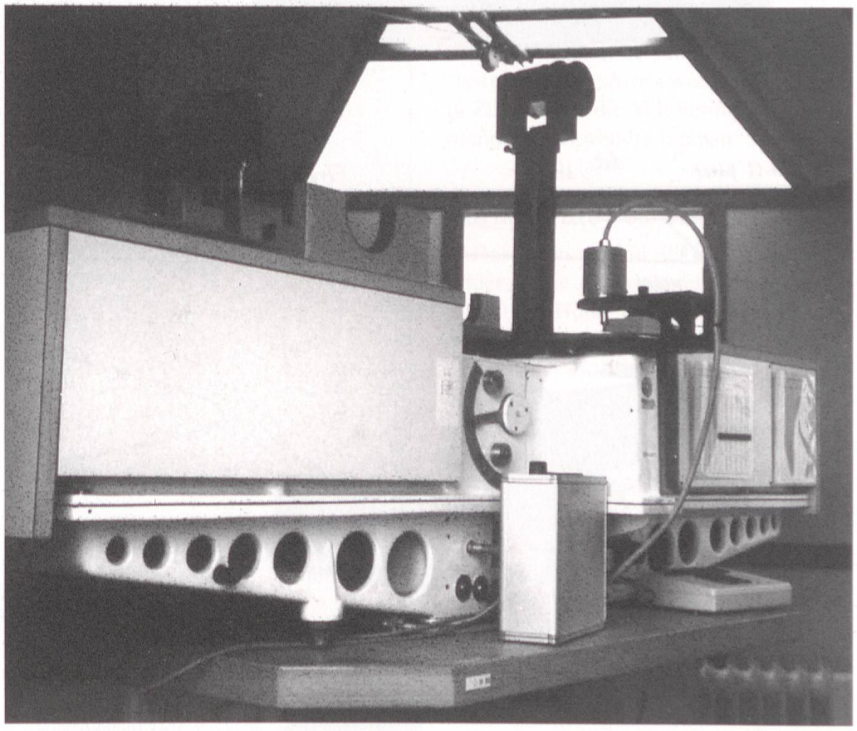


Bild 1 Das Dobson-Spektrophotometer D101 misst, wenn immer es die meteorologischen Bedingungen erlauben, das Gesamtozon und bei Sonnenauf- und Sonnenuntergang das Ozonprofil.

**Adresse der Autoren**
*Andrea Weiss* und Dr. *Johannes Staehelin*, Institut für Atmosphärenphysik der ETH Zürich, 8093 Zürich
*Herbert Schill*, Geosol, Eichenstrasse 52, 4054 Basel

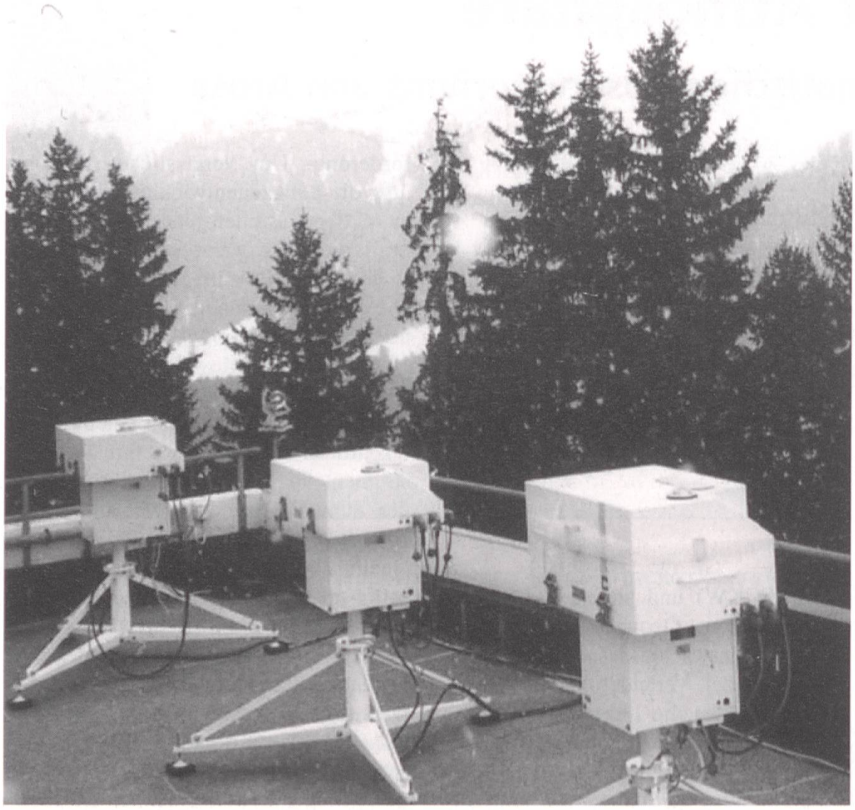


Bild 2 Die Brewer-Spektrophotometer sind vollautomatisiert. Drei gleichzeitig messende Geräte helfen bei der Früherkennung von technischen Problemen.

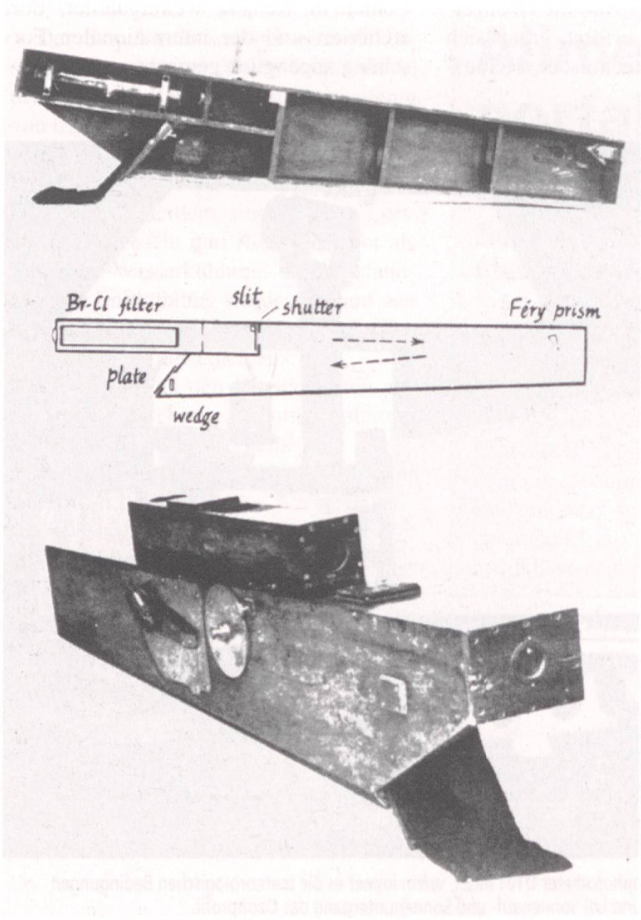



Bild 3 Das Dobson-Spektrophotometer Nr. 2 war 1926–1945 im Einsatz.

Am Institut für Atmosphärenphysik der ETH Zürich werden Veränderungen des atmosphärischen Ozons untersucht. Während in der Stratosphäre, in rund 10–50 km Höhe, der Ozonabbau besorgniserregend ist, gibt es in Bodennähe das Problem der Ozonzunahme. Die Luftverschmutzung – hervorgerufen durch Industrie und Verkehr – hat in solchem Masse zugenommen, dass unsere Lungen durch den zusätzlichen Ozonreiz in der Atemluft angegriffen werden. Allerdings ist diese hausgemachte Ozonmenge verschwindend klein gegenüber dem Ozon der Stratosphäre.

In Arosa werden das Gesamtozon, das Ozonprofil und die Ozonwerte in der Atemluft gemessen. Die Verfahren beruhen alle hauptsächlich auf der unterschiedlichen Absorption von Ozon in verschiedenen Spektralbereichen des Lichtes.

## Gesamtozonmessungen

Für die Gesamtozonmessungen werden in Arosa zwei teilautomatisierte Dobson-Spektrophotometer (Bild 1) und drei vollautomatische Brewer-Spektrophotometer (Bild 2) betrieben.

Beim heutigen Dobson-Gerät werden genau wie früher (Bild 3) Wellenlängen des Sonnenlichtes verglichen, von denen eine stark und eine schwach von Ozon absorbiert wird. Man misst das Intensitätenverhältnis, das Prinzip ist in Bild 4 dargestellt. Das Licht fällt durch ein Fenster ein und wird durch ein Prisma in seine Spektralfarben zerlegt. Schlitze separieren zwei interessierende Wellenlängen. Der stärkere Strahl wird dann auf das Herzstück des Instrumentes, die optischen Keile, gelenkt. Dort wird seine Intensität durch das Verschieben der Keile solange geschwächt, bis beide Strahlen am Photomultiplier denselben Strom auslösen. Die Stellung des Keils ist das Mass für das Intensitätsverhältnis der beiden Wellenlängen. Eine ausgeklügelte Konstruktion verhindert Temperatur- und Streulichteffekte. Zur Verminderung von Störeffekten der Atmosphäre (Aerosole) werden heute bei den Dobson-Geräten zwei Wellenlängenpaare vermessen. Messungen mit Dobson-Geräten verlangen direktes Sonnenlicht, wenigstens für einige Minuten.

Das vollautomatische Brewer-Spektrophotometer beruht nicht auf Differenzmessung, sondern auf der direkten Intensitätsmessung von fünf Wellenlängen, die durch ein holographisches Gitter getrennt worden sind. Damit kann auch der atmosphärische Gehalt von $SO_2$ bestimmt werden.

## Profilinformation

Mit denselben Geräten, wie sie für die Gesamtozonmessung eingesetzt werden, lassen sich Informationen über die Höhenverteilung des Ozons gewinnen. Hierfür misst man nicht das direkte Sonnenlicht, sondern das Zenithimmelslicht, welches für unsere Augen hauptsächlich blau ist. Kontinuierlich wird das Intensitätsverhältnis von zwei Wellenlängen bestimmt, und zwar während mehrerer Stunden bei aufgehender oder untergehender Sonne. Das Intensitätsverhältnis kehrt sich bei einem Sonnenstand von etwa 2 bis 5 Grad über dem Horizont um. Daher heisst das Verfahren Umkehrmessung. Aus dem Verlauf des Intensitätsverhältnisses kann man ein grobes Ozonprofil bestimmen [2], also abschätzen, wie das Ozon mit der Höhe verteilt ist (Bild 5). Da Wolken die Messungen mehr oder weniger stark stören, erhält man nur bei gutem Wetter verlässliche Profilinformationen. Mit Korrekturalgorithmen wird versucht, die Anzahl der brauchbaren Messtage zu erhöhen.

Zusätzlich wird von Payerne aus der Ozongehalt der Atmosphäre mit Sonden gemessen, die an Wetterballonen befestigt bis in eine Höhe von 35 km Höhe in die Stratosphäre steigen. Während der Messung wird Umgebungsluft durch eine elektrochemische Sonde gepumpt, die die Ozonkonzentration registriert und an die Bodenstation zurückfunkt. Beide Messmethoden liefern den Ozongehalt der Atmosphäre als Funktion der Höhe über dem Erdboden. Warum sich die Resultate bisweilen widersprechen, konnte noch nicht geklärt werden und ist zurzeit Gegenstand von Untersuchungen an der ETH Zürich.

Ergänzt wird unser Wissen durch Satelliten, die täglich ein fast globales Bild des Gesamtozons, teilweise auch Ozonprofile, liefern. Von Bord des Satelliten ERS-2 des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) misst das Gome-Instrument global Ozon und erlaubt täglich einen Blick auf das lokal variierende Ozon über Europa (http://auc.dfd.dlr.de/GOME/latest_europe.html). Mit dem Instrument Earth Probe an Bord des Satelliten Toms lässt sich sehr deutlich das Ozonloch über der Antarktis verfolgen. Im Oktober 1998 erreichte es neue Rekordmasse (http://jwocky.gsfc.nasa.gov).

Durch die Kombination mehrerer Messmethoden können systematische Fehler entdeckt und die Zuverlässigkeit der Messergebnisse erhöht werden. Basisstationen wie Arosa werden daher auch in Zukunft für die Validierung von Satellitendaten notwendig bleiben.

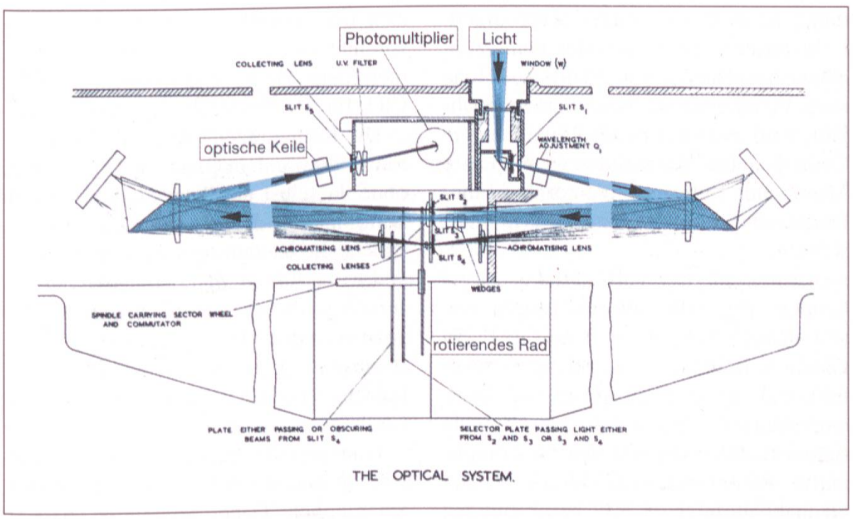



**Bild 4 Schema eines Spektrophotometers**

Sonnenlicht wird durch ein Prisma in sein Spektrum zerlegt. Danach fällt das Licht auf ein rotierendes Rad (Bildmitte) mit exakt angebrachten Schlitzen. Diese separieren abwechselnd bestimmte Wellenlängen, deren Intensität am Photomultiplier gemessen werden. Aus dem Intensitätsverhältnis dieser speziellen Wellenlängen kann man die Menge des Gesamtozons bestimmen.

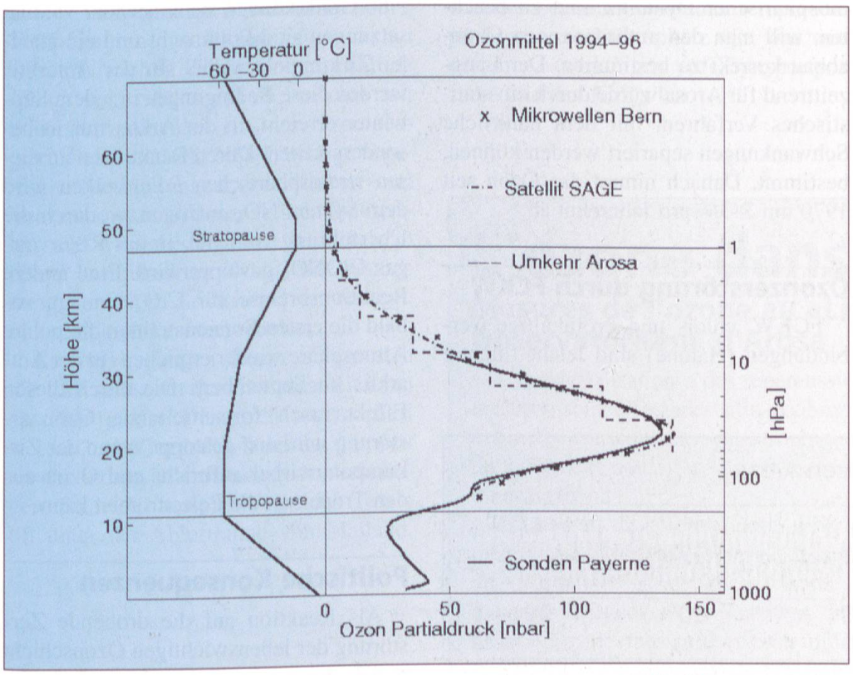



**Bild 5 Temperatur- und Ozonprofil über der Schweiz, zusammengesetzt aus unterschiedlichen Messverfahren.**

Das Maximum des Ozonpartialdruckes liegt bei etwa 23 km, der Partialdruck beträgt hier im Mittel rund 130 nbar. Ein sekundäres Maximum deutet sich kurz über der Tropopause an. Dies ist bedingt durch den Zustrom von ozonreicher Luft aus höheren Breiten.

## Variabilität des Ozons

Das Ozon wird in der Stratosphäre gebildet. Diese Atmosphärenschicht liegt in 10–50 km Höhe, und damit oberhalb der Schicht, in der das Wetter stattfindet (Troposphäre). Mit steigender Höhe gibt es mehr kurzwellige Strahlung. Sie spaltet Sauerstoffmoleküle $O_2$ in zwei einzelne Sauerstoffatome, welche sich dann an ein intaktes Sauerstoffmolekül anlagern und Ozon ($O_3$) bilden.

In den Tropen ist die Sonneneinstrahlung am stärksten, und es wird am meisten $O_3$ gebildet, welches allerdings dort wegfliesst. So wie Wasser vom Berg ins Tal fliesst, strömt auch das Ozon vom Ort seiner Entstehung senkrecht zu den Isobaren (Linien gleichen Drucks) in die Richtung niedrigeren Drucks. Das in den Tropen gebildete Ozon fliesst daher in

Richtung mittlerer und höherer Breiten. An den Polen, den Punkten mit dem niedrigsten Luftdruck, sollte sich das Ozon ansammeln wie in einem See. Allerdings verhindert hier der sogenannte Zirkumpolarwirbel im Winter den Zufluss. Innerhalb des Wirbels wird daher nur Ozon abgebaut und keines nachgeliefert. Dieses Brewer-Dobson-Modell erklärt gut die natürliche Ozonverteilung auf der Erde: weniger Ozon direkt über den Polen, maximales Gesamtozon in hohen Breiten, jahreszeitliche Schwankungen in unseren Breiten und wenig Ozon in den Tropen. Ausser durch die Jahreszeiten wird der Ozongehalt auch von der Wetterlage beeinflusst. Zu den längerfristigen Schwankungen kommen daher noch starke tägliche Schwankungen des Ozongehalts.

Neben der grossräumigen Umverteilung spielen auch kleinere Mischungsvorgänge eine Rolle: Sie sind für das natürliche, ursprünglich in der Stratosphäre gebildete Ozon in der Troposphäre verantwortlich und bestimmen das Ozonprofil der Atmosphäre. Modellrechnungen [3] ergaben, dass heute etwa ein Drittel des Ozons der freien Troposphäre anthropogenen Ursprungs ist, wobei bei Smogsituationen ein Vielfaches der durchschnittlichen Ozonmenge aus der Luftverschmutzung resultieren kann.

Abgesehen von den interessanten Vorgängen in der Stratosphäre, zu denen Ozon einen Schlüssel liefern kann, gibt es in der Gesamtozonreihe von Arosa (Bild 6) noch eine beängstigende Entwicklung: Das Ozon nimmt langsam ab.

## Ozontrends

Seit den siebziger Jahren ist eine Abnahme des Ozonschildes zu beobachten. Am dramatischsten ist die Ozonzerstörung über der Antarktis, wo jährlich neue Rekorde verzeichnet werden müssen. Im Oktober 1998 erreichte das Ozonloch der Antarktis die noch nie gemessene Grösse von 26 Millionen Quadratkilometern, was etwa das Fünffache der Fläche Europas ist. Das Gesamtozon erreichte Werte unter 100 DU. Messungen des vertikalen Profils im Ozonloch zeigen, dass auf der Höhe des natürlichen Maximums (15–20 km) die Ozonkonzentrationen unter die Detektionsgrenze abfallen.

Über der Arktis werden nicht derart starke Ozonzerstörungen festgestellt. Das liegt vor allem an den wärmeren Temperaturen und dem weniger stabilen Zirkumpolarwirbel. Für die Arktis hat sich daher das Wort «Miniloch» eingebürgert.

In unseren Breiten findet der Ozonabbau hauptsächlich in 30–40 km Höhe statt. Vorübergehend, besonders im Frühjahr, wird auch auf 15–20 km Höhe eine Ozonabnahme beobachtet, wenn polare Minilöcher aufgrund meteorologischer Einflüsse in unsere Breiten transportiert werden.

Ausserdem sind Vulkaneffekte zu erkennen. Bei sehr grossen Eruptionen, (Pinatubo, Philippinen 1991, und El Chichon, Mexiko 1982) gelangt Schwefeldioxid in die Stratosphäre. Die dann entstehenden Schwefelsäure-Aerosole liefern reaktive Oberflächen für komplizierte Reaktionen, die ihrerseits den Ozonabbau durch FCKW beschleunigen [4]. Weil Aerosole aus der Stratosphäre langsam heraus sinken, verschwindet dieser Effekt nach einigen Jahren. Des weiteren wird ein eventueller Einfluss der Sonnenaktivität auf die Ozonbildung diskutiert. Verschiedene Parameter atmosphärischer Dynamik sind zu beachten, will man den anthropogenen Ozonabbau korrekt zu bestimmen. Der Langzeittrend für Arosa wurde durch ein statistisches Verfahren, mit dem natürliche Schwankungen separiert werden können, bestimmt. Danach nimmt das Ozon seit 1970 um 2–3% pro Jahrzehnt ab.

## Ozonzerstörung durch FCKW

FCKW, chlor- und bromhaltige Verbindungen (Halone) sind leicht flüchtig und chemisch inert (sehr reaktionsträge). Das macht sie einerseits für die Technik interessant, andererseits hat dies zur Folge, dass sie in der bodennahen Umgebungsluft nicht abgebaut werden. Erst wenn sie in die Stratosphäre gelangen, werden sie durch die dort vorhandene kurzwellige Strahlung photochemisch aufgespalten. Es entstehen Chlor- und Bromradikale, die Ozon angreifen. Ozonzerstörende Kettenreaktionen werden durch die Kettenträger $ClO_x$ $HO_x$, $NO_x$, $BrO_x$ ausgelöst, wobei das x für die Anzahl der Sauerstoffatome steht und bestimmte Werte zwischen 0 und 3 annehmen kann. Heute sind hauptsächlich die $ClO_x$ für den Ozonabbau verantwortlich.

Die Kettenträger wirken als Katalysatoren und wandeln Ozon und O zu $O_2$ um, ohne da selbst abgebaut zu werden. Ein komplizierter Reigen von Reaktionen, welche die Kettenträger freisetzen, ineinander überführen, und in unreaktiven Reservoirgasen speichern, bestimmt das Ausmass der Ozonzerstörung [5]. Als Bremse wirkt zum Beispiel die Überführung von $ClO_x$ in das Reservoirgas $ClONO_2$.

Quantitative Aussagen zur Ozonzerstörung sind nur mit numerischen Modellen möglich. Dabei zeigte sich, dass in den beobachteten Ozonlöchern noch ein effektives Prinzip den Ozonabbau verstärkt [6]. Diesen «Turbo» liefern die stratosphärischen Polarwolken, die aus Eis und Salpetersäure bestehen. Nur bei sehr tiefen Temperaturen, von mindestens – 80 Grad, können sie entstehen. Voraussetzungen sind Polarnacht und ein stabiler Zirkumpolarwirbel. In der Antarktis werden diese Bedingungen in jedem Südwinter erreicht, in der Arktis nur in besonders kalten. Durch Reaktionen an diesen stratosphärischen Polarwolken wird dem System $NO_x$ entzogen, wodurch die Überführung von $ClO_x$ in das Reservoirgas $ClONO_2$ gestoppt wird. Eine andere Reaktionsbremse für $ClO_x$ versagt, sobald die ersten Sonnenstrahlen die polare Atmosphäre wieder erreichen (in der Antarktis im September). Die durch diesen Effekt rasch fortschreitende Ozonzerstörung wird erst gestoppt, wenn der Zirkumpolarwirbel aufbricht und Ozon aus den Tropen an die Pole strömen kann.

## Politische Konsequenzen

Als Reaktion auf die drohende Zerstörung der lebenswichtigen Ozonschicht wurde unter der Schirmherrschaft der UNO das Protokoll von Montreal erarbeitet. Schrittweise wurden, unter dem Druck des alljährlich wachsenden Ozonloches, weltweit die ozonzerstörenden

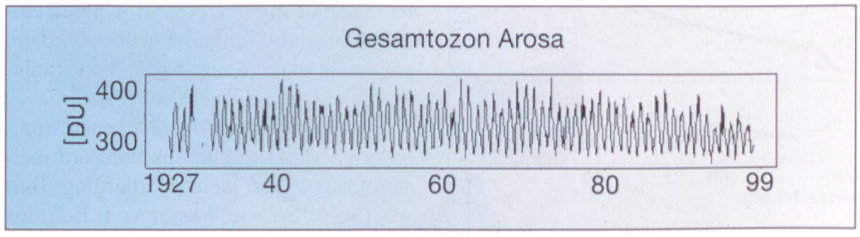



**Bild 6 Auffälligstes Merkmal der Ozonreihe von Arosa ist der starke Jahresgang. Ausserdem erkennt man eine längerfristige Abnahme seit den siebziger Jahren. Sie wirkt sich hauptsächlich bei den Jahresmaxima, also den Frühjahrswerten, aus.**

Die Einheit DU beschreibt, wieviel tausendstel Zentimeter das gesamte atmosphärische Ozon einnehmen würde, wenn es sich in einer Schicht an der Erdoberfläche unter Normaldruck und Normaltemperatur befände.

Chemikalien verboten. Wegen den ausserordentlich langen Verweilzeiten werden die Konzentrationen der Ozonkiller in der Stratosphäre aber erst nach der Jahrtausendwende sehr langsam abnehmen. Das heisst aber noch nicht, dass sich auch das Ozon erholt. Eine Rückkopplung mit dem Treibhauseffekt könnte nämlich bewirken, dass wegen veränderter meteorologischer Bedingungen die Ozonzerstörung effektiver wird und die Grösse des Ozonlochs zunächst noch weiter anwachsen wird. Diese Hypothese ist derzeit Gegenstand der Forschung.

## Troposphärisches Ozon

Die bodennahen Messungen von Arosa dokumentieren eine grosse Zunahme des Ozons. Ursache sind die seit dem Zweiten Weltkrieg stark gestiegenen anthropogenen Emissionen von Stickoxiden, Kohlenmonoxid und reaktiven organischen Verbindungen.

Während man die Politik zum Schutze des stratosphärischen Ozons als sinnvoll und hoffentlich erfolgreich bezeichnen kann, gibt es zur Bekämpfung des troposphärischen Ozons noch viel zu tun. Die Troposphärenchemie unterscheidet sich von der Stratosphärenchemie grundsätzlich: erstens in der Zusammensetzung der Luft, zweitens im Angebot an kurzwelliger Strahlung. Das Ozon kann wegen fehlender kurzwelliger Strahlung nicht wie in der Stratosphäre aus Sauerstoff entstehen. Hier sind die Stickoxide, welche durch Verbrennungen bei sehr hohen Temperaturen (Automotoren) erzeugt werden, wichtig. Die Sonnenstrahlung spaltet vom $NO_2$ ein O ab, welches mit Sauerstoffmolekülen ($O_2$) zu Ozon reagiert. Dabei entsteht NO. Flüchtige organische Verbindungen (aus Farben und Verdünnungsmitteln sowie von Tankstellen und Verkehrsabgasen) bewirken in einem komplizierten Zyklus die Neubildung von $NO_2$. So wird Ozon erzeugt, ohne Stickoxid zu verbrauchen.

Erst nach einigen Tagen reinigt sich die Luft selbst. In der Zwischenzeit kann sie über grosse Distanzen transportiert werden, und Gegenden belasten, die weit ab der industriellen Ballungszentren liegen. So leidet beispielsweise das Tessin oft unter der Abluftfahne von Mailand. Trotz Einführung von Katalysatoren werden in der Schweiz häufig die Grenzwerte für Ozon überschritten. Hier müssen auch europaweite Beschränkungen im Strassenverkehr durchgesetzt werden – politisch keine leichte Aufgabe.

## Ozon als Treibhausgas

Am meisten Schwierigkeiten macht in wissenschaftlicher und politischer Hinsicht der Treibhauseffekt. Seine Auswirkungen sind sehr schwer vorauszusehen. Seine Ursachen sind so vielfältig und fundamental (hoher Brennstoffverbrauch der Menschheit, vor allem in den Industrieländern), dass wirksame Gegenmassnahmen politisch sehr schwer durchsetzbar sind. Neben den wichtigen Treibgasen $H_2O$ und $CO_2$, sowie Methan, tragen auch Ozon und FCKW zum Treibhauseffekt bei.

Ozon wirkt in verschiedenen Höhen unterschiedlich auf den Strahlungshaushalt der Erde. Auf Tropopausenhöhe[1] ist Ozon ein starkes Treibhausgas. Seine Langzeitentwicklung und deren Auswirkungen sind aktuelle Forschungsthemen. Ozon wird von Forschern auch beobachtet, um die Variabilität der Atmosphäre zu untersuchen. Man verspricht sich Erkenntnisse zum Austausch von Troposphäre und Stratosphäre. Auch die komplizierte Ozonchemie hält vielleicht noch Überraschungen bereit. Wichtig ist, die Veränderungen im Ozonprofil zu erfassen, denn durch seine Absorbtionseigenschaften bestimmt Ozon das Temperaturprofil unserer Atmosphäre mit, was wiederum Auswirkungen auf Transportprozesse und das Klima hat.

## Weltweites Beobachtungsprogramm

Im Jahre 1989 erarbeitete die Weltorganisation für Meteorologie das Programm «Global Atmosphere Watch» (GAW). Das Ziel ist ein weltweites Beobachtungsnetz, mit dem sich die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre und damit zusammenhängende physikalische Eigenschaften überwachen lassen. Die SMA-Meteo Schweiz und die ETH Zürich sind an diesem Programm beteiligt. Das Lichtklimatische Observatorium Arosa liefert eine langjährige, sorgfältig erhobene Datengrundlage. Diese langen Messreihen sind «gute Aktien», die mit der Zeit immer wertvoller werden.

## Literatur


[1] *J. Staehelin, A. Renaud, J. Bader, Peters, Hoegger, Giroud, Schill:* Total Ozon series at Arosa (Switzerland). Homogenization and Data. Comparison. Journal Geophysical Research 103(1998), 5827–5841.

[2] *C. L. Mateer, J. J. De Luisi:* A new Umkehr inversion algorithm. Journal Atmospheric and Terrestrial Physics 54 (1992) 5, 537–556.

[3] *G.-J. Roelofs, J. Lelieveld, R. van Dorland:* A three-dimensional chemistry/general circulation model simulation of anthropogenically derived ozone in the troposphere and its radiative climat forcing. Journal Geophysical Research 102 (1997) D19 , 23389–23401.

[4] *D. J. Hofmann, S. Solomon:* Ozone Destruction through heterogeneous chemistry following the eruption of El Chichón. Journal Geophysical Research 94 (1989), 5029–5041.

[5] *M. J. Molina, F. S Rowland:* Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone. Nature 249 (1974), 810–812.

[6] *S. Solomon, R. R. Garcia, F. S. Rowland, D. J. Wuebbles:* On the depletion of Antarctic Ozone. Nature 321 (1986), 755–758.


# L'ozone dans l'atmosphère

## Mesures de l'ozone au «Lichtklimatisches Observatorium» d'Arosa

L'industrialisation a des répercussions sur l'atmosphère. De longues séries de mesures sont effectuées afin d'observer les changements lents, qui pourraient avoir des conséquences catastrophiques. Des mesures d'une précision de l'ordre du pour-cent sont nécessaires pendant des décennies en vue d'une politique d'enrayement.

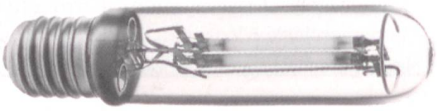
D'une part, la colonne totale d'ozone donne des informations sur le rayonnement UV-B atteignant la surface terrestre. La série des mesures de l'ozone total et de son changement indiquent l'ampleur de la dégradation de l'ozone par les CFC dans nos latitudes. Deuxièmement, des mesures de l'ozone de surface sont effectuées. L'ozone dans cette couche inférieure de l'atmosphère augmente à cause de la pollution. En plus, les variations à long terme de l'ozone avec l'altitude sont importantes pour le climat. Les longues et fiables séries de mesures du «Lichtklimatisches Observatorium» d'Arosa fournissent les moyens indispensables pour la recherche sur l'ozone.

[1] Die Tropopause ist die Luftschicht in der Atmosphäre zwischen Tropo- und Stratosphäre. Je nach geographischer Breite befindet sie sich in einer Höhe von 8 (Pole) bis 18 km (Äquator).

SYLVANIA

## DOPPELTE LEBENSDAUER, HALB SO VIELE PROBLEME

Super Natriumdampf-Hochdrucklampen (SHP-S) haben eine recht lange Lebensdauer. Dennoch kann das Auswechseln zu starken Verkehrsbehinderungen führen, wenn z.B. Fahrstreifen oder ganze Strassen gesperrt werden müssen. Die revolutionären Sylvania SHP Twinarc S Lampen mit 2-Brennersystem, brauchen im Gruppenaustausch nur alle 4, oder sogar nur alle 6 Jahre (250W/400W) ausgewechselt zu werden. Wartungs- und Verwaltungskosten werden damit um 50% reduziert. Die etwas höheren Anschaffungskosten für die SHP Twinarc S sind jedoch bereits nach dem ersten Jahr amortisiert. Zudem zünden die SHP Twinarc S sofort nach einem Stromunterbruch und sind dadurch noch zuverlässiger. Die doppelte Lebensdauer der SHP Twinarc S halbiert wirklich Ihre Probleme.



**Sylvania, eine Quelle der Inspiration.**

SYLVANIA LIGHTING S.A., 4 CHEMIN DES LECHERES, CH-1217 MEYRIN. TEL: +41 (0) 22 719 85 80 FAX: +41 (0) 22 719 85 81