

Diss. ETH No. 13635

**Anthropogenic and Dynamic Contributions
to Ozone Trends of the Swiss Total Ozone,
Umkehr and Balloon Sounding Series.**

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZURICH

for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by
ANDREA K. WEISS
Dipl.-Geophys. TU Karlsruhe
born 28 February 1972 in Dresden
citizen of Germany

accepted on the recommendation of
Prof. T. Peter, examiner
Dr. N. R. P. Harris, co-examiner
Dr. J. Staehelin, co-examiner

Abstract

The mechanisms and amounts of ozone profile trends (i.e., height dependent trends in the troposphere and stratosphere), are still under discussion in the ozone community. Here a new trend analysis has been performed with the Swiss long-term total ozone and ozone profile series, giving special considerations to the North Atlantic Oscillation (NAO). This is a climatic pattern governing tropopause pressure over Europe and the Atlantic, which in turn influences the ozone distribution.

The two Swiss ozone profiling techniques used at Arosa and Payerne yield contradicting trend results in the middle stratosphere. This questions the instrumental stability of the series. Stability checks and break detection show a behavior which could be due to numerous badly defined breaks in the Umkehr measurements of Arosa and the balloon soundings of Payerne, or a continuous change possibly of natural origin. Umkehr instrument stability can be confirmed with the supplementary Umkehr instruments at Arosa. Still, it is possible that the whole Umkehr method is subject to drifting. With satellite data from SAGE and SBUV a judgment concerning stability has been attempted but can not yield general conclusions. Confidence in the stability of the Payerne soundings is restored by their ability to resemble dynamically caused ozone changes.

Such dynamical changes have been found to contribute significantly to ozone trends. For the analyzed period (1968-1996) about half of the lower stratospheric trends in winter and spring are to be attributed to dynamics, and about a third of the trend in total ozone over Switzerland. The analysis is expanded to a station in Iceland where the predicted effect of dynamics is an increase of ozone (in contrast to Switzerland

where it is a decrease).

The anthropogenic trends caused by man-made ozone depleting chemicals, were determined with a new statistical stepwise regression model. It accounts for season- and height-dependent natural influences as tropopause pressure, North Atlantic Oscillation (NAO), Arctic Oscillation (AO), Quasi-Biennial Oscillation (QBO), aerosol loading, and solar cycle. The statistically significant influences constitute the particular model applicable for the different parts of the ozone profile which are chosen according to the Umkehr layers.

In conclusion, anthropogenic trends in mid-latitudes of the Northern Hemisphere should be estimated taking into account at least one dynamical proxy. Tropopause pressure is suggested as the most appropriate one. The largest effect occurs in the lower stratosphere in winter and spring.

Zusammenfassung

Die Ursachen und das Ausmass der Ozonprofillrends (d.h. der höhenabhängigen Langzeitveränderungen in der Troposphäre und Stratosphäre) sind Gegenstand aktueller Forschung. In dieser Arbeit wird eine neue Trendanalyse der schweizerischen Gesamtozonreihe und der Ozonprofilreihen präsentiert. Dabei wird erstmals der Einfluss der Nord-Atlantischen Oszillation (NAO) berücksichtigt. Die NAO ist eine wichtige Klimavariablen, die auch den Tropopausendruck über Europa und dem Atlantik bestimmt, welcher wiederum die Ozonverteilung beeinflusst.

In Arosa und Payerne werden seit Jahrzehnten mit zwei verschiedenen Methoden operationell Ozonprofile über der Schweiz gemessen. Diese Umkehrmessungen und Ballonsondierungen zeigen widersprüchliche Trends in der mittleren Stratosphäre, was ihre instrumentelle Stabilität in Frage stellt.

Statistische Tests zeigen eine Vielzahl von schlecht definierten Brüchen zwischen den Umkehrmessungen von Arosa und den Ballonsondierungen von Payerne. Diese könnten auch eine kontinuierliche Drift zwischen den beiden Messmethoden widerspiegeln, welche möglicherweise atmosphärischen Ursprungs ist. Durch Vergleiche der verschiedenen Messinstrumente von Arosa konnte die Stabilität der Umkehrmessreihe bestätigt werden. Die Möglichkeit, dass die gesamte Umkehrmethode einer Drift unterliegt, bleibt bestehen.

Um die Stabilität der Umkehr und der Ballonsondierungen zu beurteilen, wurden satellitengestützten Messungen (SAGE und SBUV) herangezogen, welche jedoch keine allgemeinen Schlüsse zulassen. Für

die Stabilität der Sondierungen spricht, dass sie dynamisch bedingte Ozonänderungen gut widerspiegeln.

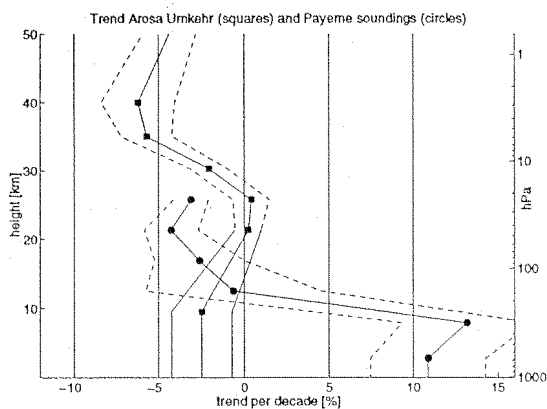
Die Dynamik der Atmosphäre erwies sich als wichtiger Faktor für die Ozontrends. Dynamischen Veränderungen erklären etwa die Hälfte der mit den Sondierungen gemessenen Ozontrends in der unteren Stratosphäre im Winter und Frühling der betrachteten Zeitperiode (1968-1996). Das entspricht etwa einem Drittel des Gesamtozontrends. Dies wurde durch die Trendanalyse der Gesamtozonreihe von Arosa belegt.

Die Trendanalyse wurde auf eine Station in Island ausgedehnt, für welche der umgekehrter Einfluss der NAO theoretisch vorhergesagt wurde. Das Ergebnis bestätigt, dass sich dort das Gesamtozon durch den dynamischen Einfluss erhöhte (im Gegensatz zur Schweiz, wo es sich verringerte).

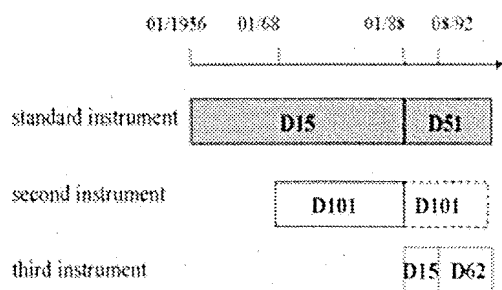
Die anthropogenen Trends (d.h. durch Emissionen ozonzerstörender Substanzen verursacht) wurden mit einem verbesserten schrittweisen Regressionsmodell bestimmt. Die jahreszeitliche Abhängigkeit und die Höhenabhängigkeit der natürlichen Einflüsse auf das Ozon wurden in das Modell einbezogen. Bei diesen natürlichen Einflüssen handelt es sich um den Tropopausendruck, die Nord-Atlantische Oszillation (NAO), die Arktische Oszillation (AO), die Quasi-Biennale Oszillation (QBO), den stratosphärischen Aerosolgehalt und die Sonnenaktivität. Das Ozonprofil wurde entsprechend der Umkehrschichten unterteilt und so eine höhenabhängige Trendanalyse mit den jeweils signifikanten Einflüssen durchgeführt.

Die wichtigste Schlussfolgerung ist, dass zur Bestimmung der anthropogenen Ozontrends in den mittleren Breiten der Nordhemisphäre die Dynamik der Atmosphäre berücksichtigt werden muss. Zur Beschreibung der Dynamik wird der Tropopausendruck als die geeignetste Grösse vorgeschlagen. Die Dynamik beeinflusst die Trends am stärksten in der unteren Stratosphäre im Winter und im Frühling.

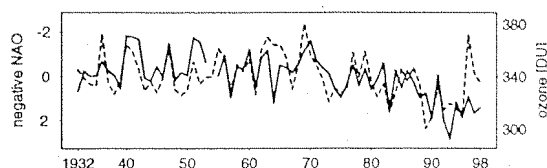
Executive Summary



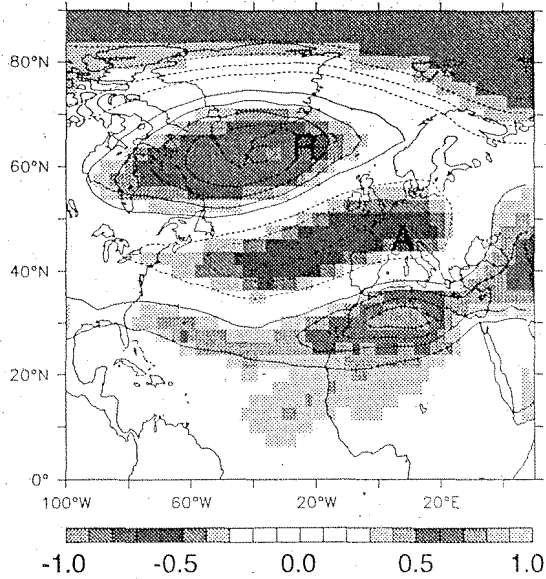
Umkehr measurements of Arosa and balloon soundings of Payerne yield different ozone trends.



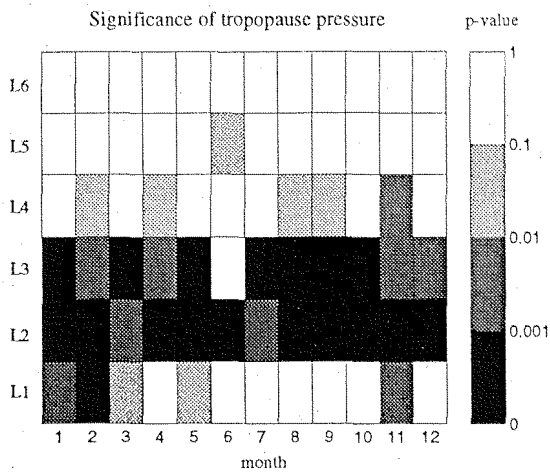
Homogeneity checks confirm the stability of the standard Umkehr instruments.



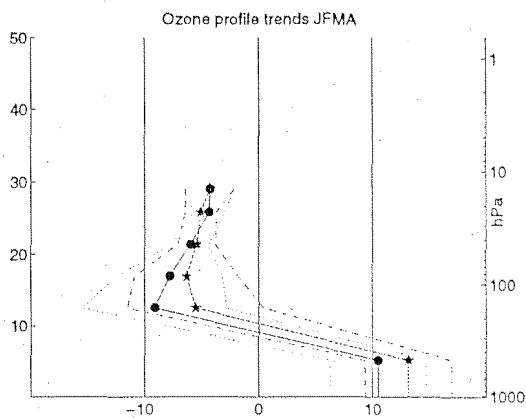
The North Atlantic Oscillation (NAO) index is anticorrelated with the total ozone over Arosa.



The North Atlantic Oscillation (NAO) controls tropopause pressure over Europe and the North Atlantic region.



New estimates for contributions of natural factors to ozone variability were found. Tropopause pressure is highly significant throughout the year in the lower stratosphere.



Dynamics attribute to about half of the winter and spring lower stratospheric ozone trends in Switzerland.