

Lagrangian analysis of stratospheric ozone in mid-latitudes

Doctoral Thesis

Author(s):

Koch, Gisela

Publication date:

2003

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004512283>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Diss. ETH No. 14931

Lagrangian analysis of stratospheric ozone in mid-latitudes

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZURICH

for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by
GISELA KOCH
Dipl.-Math, Univ. Würzburg
born 16 February 1974 in Amberg
citizen of Germany

accepted on the recommendation of
Prof. Thomas Peter, examiner
Prof. Hennie Kelder, co-examiner
Prof. Johannes Staehelin, co-examiner

2003

Abstract

In the middle of the 1980s the Antarctic ozone-hole was discovered. Besides these very low ozone values that occur every year in spring as a consequence of anthropogenic ozone destruction over the south pole - and in a minor degree also over the North pole - also at mid-latitudes stratospheric ozone concentrations have been decreasing since the beginning of the 1970s.

The processes leading to mid-latitude ozone trends are not yet adequately known. The magnitude and significance of ozone trends changes depending on the time period. Furthermore, the large variability found in mid-latitude stratospheric ozone and the respective physical processes have to be adequately understood before long-term trends can be ascribed to anthropogenic or natural causes. The importance of atmospheric transport for the observed ozone variability becomes evident when the climatological global ozone distribution and its meridional gradients are considered. The life time of ozone in the lower stratosphere at mid-latitudes is very long.

Tropopause pressure has been commonly used as a proxy for dynamical changes for total ozone at mid-latitudes in empirical analyses. The processes involved in this correlation have been separated and quantified. Fast (in the order of some days) isentropic transport was found to play the most significant role for the well known relation between extratropical total ozone and tropopause pressure, a phenomenon, which is known since the 1920s.

Events with very low total ozone over mid-latitudes, so-called "mini-holes", have been interpreted as dynamically induced, confirming earlier studies. The negative ozone deviations in the column were found to be directly related to changes in ozone mixing ratio due to subtropical and polar origins of the air masses at different altitudes making use of climatological ozone profiles in the region of the origin of the air masses.

This study is based on a Lagrangian perspective. For this purpose we calculated 10-day backward trajectories for 16 altitude bands in the lower and middle stratosphere based on NCEP (National Centers for Environmental Prediction) reanalysis data for every ozone sonde launched at Payerne (Switzerland) between

1970 and 2001. The most important results can be summarized in the following: Long term fluctuations in ozone in the lowermost stratosphere over Payerne can be completely explained by changes in the frequency of the transport from subtropical or polar origin within the time horizon of 10 days (note that different from earlier periods long-term ozone trends in the lowermost stratosphere are no longer significant when the measurements are extended to 2001). In the middle stratosphere, the air masses advected from polar regions contained continuously less ozone since 1987, which could be caused by increasing Arctic ozone depletion, whereas a similar decrease in ozone from subtropical regions needs further investigation.

Polar ozone destruction has been attributed to anthropogenic release of chlorofluorocarbons ("CFCs") and other ozone depleting substances. With the Montreal Protocol 1987 (and its successive agreements) the complete phase out of CFCs was decided. However, it takes at least some decades until pre-industrial chlorine concentrations are reached again. The other crucial factor in predicting the future of the ozone layer is the observed stratospheric cooling in the lower stratosphere, which is induced by an increase in greenhouse gas concentrations, most notably in carbon dioxide and water, but also by the feedback of reduced ozone.

With a comprehensive trajectory analysis over the Northern hemisphere extratropics for the winter 1999/2000 the impact of polar ozone destruction on mid-latitude ozone trends in the early winter have been quantified including photochemical box-model calculations. A decline of -1% of mid-latitude ozone occurring before March was ascribed to ozone destruction inside the vortex and successive transport of these air masses to mid-latitudes. Future scenarios have been calculated under various assumptions concerning stratospheric cooling and chlorine loading.

Zusammenfassung

Mitte der 1980er Jahre wurde das antarktische Ozonloch entdeckt. Diese sehr niedrigen Ozonwerte treten jedes Jahr am Ende des polaren Winters vor allem über dem Südpol, in geringerem Ausmass aber auch über dem Nordpol auf. Diese Ozonzerstörung ist anthropogen verursacht. Zusätzlich hat die Ozonschicht seit den 1970ern auch über mittleren Breiten abgenommen.

Die Prozesse, die zur Ozonabnahme über mittleren Breiten führen, sind Gegenstand aktueller Forschung. Das Ausmass und die Signifikanz der Ozontrends hängen von der beobachteten Zeitperiode ab. Zudem müssen die grosse Variabilität im stratosphärischen Ozon und die verursachenden physikalischen Prozesse erkannt und verstanden werden, bevor Langzeittrends anthropogenen oder natürlichen Ursachen zugeschrieben werden können. Transportprozesse sind für die beobachteten Ozonschwankungen von grosser Bedeutung, da die klimatologische globale Ozonverteilung starke meridionale Gradienten aufweist und Ozon in der unteren Stratosphäre eine sehr lange Lebenszeit hat.

Seit den 1920er Jahren weiss man, dass zwischen Tropopausendruck und Ozon ein Zusammenhang besteht. Der Tropopausendruck wird häufig als erklärende Variable für das Gesamt Ozon in mittleren Breiten benutzt. Die Prozesse, die an dieser Korrelation beteiligt sind, wurden separiert und quantifiziert. Transportprozesse entlang Isentropen in der zeitlichen Grössenordnung von einigen Tagen spielen bei dieser Korrelation die wichtigste Rolle.

Sehr niedrige Gesamt Ozonwerte über mittleren Breiten, so genannte "Minilöcher", wurden dynamischen Ursachen zugeschrieben, was sie Resultate bisheriger Untersuchungen bestätigt. Die negativen Ozonabweichungen in der Gesamtsäule konnten direkt mit Änderungen im Ozonmischungsverhältnis in Verbindung gebracht werden. Diese Veränderungen sind durch die subtropische oder polare Herkunft der Luftmassen bedingt.

Diese Arbeit basiert auf einer Lagrange'schen Sichtweise. Es wurden für jedes in Payerne (Schweiz) gemessene Ozonprofil der letzten 32 Jahre 10-Tages Rückwärtstrajektorien auf Isentropen in der unteren und mittleren Stratosphäre berechnet. Diese Berechnungen basieren auf NCEP Reanalysedaten. Eines der

wichtigsten Resultate dieser Studie zeigt, dass die Ozonfluktuationen in der untersten Stratosphäre dem Transport von Luftmassen aus den Subtropen oder Polarregionen zugeschrieben werden können. Die in diesem Höhenbereich beobachteten Ozonabnahmen sind jedoch (im Gegensatz zu früheren Arbeiten, die kürzere Zeitperioden berücksichtigen) nicht signifikant. Zudem zeigt die Arbeit den Einfluss der polaren Ozonzerstörung auf die Ozonabnahme in der mittleren Stratosphäre über mittleren Breiten während der letzten 15 Jahre. Auch Luftmassen, die aus niedrigeren Breiten nach Payerne transportiert werden, zeigen eine Abnahme im Ozongehalt, zu deren Klärung jedoch weitere Untersuchungen benötigt werden.

Die polare Ozonzerstörung wird auf den anthropogenen Ausstoss von Fluorchlorkohlenwasserstoffen ("FCKWs") und anderen ozonzerstörenden Substanzen zurückgeführt. Mit dem Montreal-Protokoll 1987 und seinen Folgeabkommen wurde der vollständige Stop des Ausstosses an FCKWs beschlossen. Es wird jedoch mindestens einige Jahrzehnte dauern bis vor-industrielle Chlorkonzentrationen wieder erreicht werden. Der weitere entscheidende Faktor bei der Vorhersage der Ozonschicht ist das beobachtete Abkühlen der Stratosphäre, das durch einen Anstieg der Treibhausgas-Konzentrationen, vor allem Kohlendioxid und Wasser, verursacht wird. Darüberhinaus trägt auch das Ozon selbst, bzw. dessen Abnahme zu einer Temperaturenniedrigung bei.

Mittels einer umfassenden Trajektorienanalyse, die photochemische Box-Modell-Berechnungen beinhaltet, wurde der Einfluss der polaren Ozonzerstörung auf Ozontrends im Januar und Februar 2000 in den mittleren Breiten quantifiziert. Ozonzerstörung innerhalb des polaren Vortex und Einmischung dieser Luftmassen in die mittleren Breiten verursachten eine Abnahme von -1% des Ozons in mittleren Breiten in der unteren und mittleren Stratosphäre. Darüber hinaus wurden Zukunftsszenarien unter verschiedenen Annahmen bezüglich der stratosphärischen Abkühlung und der Chlorfracht berechnet.