ETH zürich

ETH Library

Der Einfluss der Kopplung zwischen Transportvorgängen und chemischen Prozessen auf den Tagesgang des Ozons in der planetaren Grenzschicht über komplexer Topographie

Doctoral Thesis

Author(s):
Broder, Christoph Benedikt

Publication date:
1984

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-000309487

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

Diss. ETH Nr. 7501

DER EINFLUSS DER KOPPLUNG ZWISCHEN TRANSPORTVORGÄNGEN UND CHEMISCHEN PROZESSEN AUF DEN TAGESGANG DES OZONS IN DER PLANETAREN GRENZSCHICHT ÜBER KOMPLEXER TOPOGRAPHIE

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels eines

DOKTORS DER NATURWISSENSCHAFTEN

der

EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZUERICH

vorgelegt von

CHRISTOPH BENEDIKT BRODER

Dipl. Natw. ETH-Zürich

geboren am 26. 11. 1953

von

Berschis-Walenstadt

(SG)

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. H.U. Dütsch, Referent

Prof. Dr. H.C. Davies, Korreferent

1984

ZUSAMMENFASSUNG

Das Erscheinungsbild der Planetaren Grenzschicht über dem hügeligen Gelände des Schweizerischen Mittellandes wird untersucht.

Aufgrund der hervorragenden Korrelation zwischen den aufgetretenen Tageshöchsttemperaturen und gemessenen maximalen Ozonmischungsverhältnissen wird geschlossen, dass eine wesentliche smogphotochemische Beeinflussung der Luft im Messbereich stattfindet. Dieser Schluss wird durch die oftmalige Beobachtung von Ozonprofilen, welche innerhalb der einige hundert Meter dicken Grenzschicht stark erhöhte Konzentrationen gegenüber den Verhältnissen in der freien Troposphäre zeigen, eindrücklich bestätigt.

Eine statistische Analyse der nächtlichen Ozonverlustraten im Bereich der Grenzschicht unterhalb der Kretenhöhe der umgebenden Hügelzüge ergibt, dass homogene chemische Reaktionen für einen mittleren Anteil von 19 % (Extremwerte 4 %, 54 %) an diesen Zerstörungsraten verantwortlich sind, wobei der Effekt überwiegend der Reaktion zwischen Stickstoffmonoxid und Ozon zuzuschreiben ist.

Es wird gezeigt, dass die trockene Deposition von Ozon verantwortlich für die Ozonverlustraten nach Abzug des Anteils der homogenen Chemie ist. Dabei ist festzustellen, dass die trockene Deposition nachts in hügeligem Gelände weitaus effektiver ist als dies über ebener Topographie zu erwarten wäre. Es wird geschlossen, dass diese verstärkte Effektivität infolge des Auftretens eines lokalen Windsystems zustandekommt. Die Ozonzerstörung läuft dabei vornehmlich im Bereich von Hangwindschichten ab, und die resultierenden ozonarmen Luftmassen werden mit der über dem Talboden aus Kontinuitätsgründen auftretenden aufsteigenden Strömung in grössere Höhen verfrachtet und bewirken so die beobachtete Abnahme des Ozongehalts im unteren Teil der Grenzschicht. Das Auftreten eines lokalen Windsystems kann anhand von Messungen meteorologischer Parameter, insbesondere des Windes, bestätigt werden.

Für die Verhältnisse in den Bereichen der Grenzschicht oberhalb der Kretenhöhe der umgebenden Hügelzüge wird festgestellt, dass sie nicht allein durch Effekte im Bereich der lokalen Topographie, sondern auch durch solche im Bereich der zum Reusstal parallel verlaufenden Berg-Tal-Systeme geprägt sind. Dabei sind wesentliche Anteile an den in diesem Höhenintervall der PBL beobachteten Ozonzerstörungsraten, ein gewisser Anteil an den Abkühlraten und ein fast vollständiger Teil der Feuchtezunahmeraten auf Effekte bodennaher Prozesse zurückzuführen. Die Kopplung dieser bodennahen Vorgänge mit denjenigen oberhalb der Kretenhöhe wird dabei durch die infolge Wechselwirkung des mittleren Windfeldes mit der Topographie auftretenden Transportprozesse induziert.

Für die an einigen Tagen beobachteten nächtlichen Ozonmaxima wird geschlossen, dass sie meistens eher aufgrund regionalen bis überregionalen advektiven Transports als unter der Wirkung lokal induzierter Transportmechanismen zustande gekommen sind. Dabei scheint es, dass verschiedene Gebiete der Schweiz als Quellregionen für ozonreiche Luftmassen in Frage kommen.

Abschliessend wird festgehalten, dass die erhöhte Effektivität der trockenen Deposition in hügeligem Gelände Anlass zu einem Selbstreinigungsmechanismus der Atmosphäre gibt, der nicht nur auf Ozon beschränkt ist. Mögliche biologische Implikationen werden erwähnt, und die Folgerungen für die Lufthygienesituation in hügeligem Gelände werden gezogen.

SUMMARY

The physico-chemical structure of the planetary boundary layer over a particular region of the hilly terrain of the Swiss Plateau is investigated.

The daily maxima in temperature and ozone mixing ratio show a very strong correlation. From this fact and theoretical considerations it can be inferred that smog photochemistry related to ozone strongly influences the air at the measurement site. Moreover the air within the boundary layer often shows higher ozone mixing ratios compared with air in the free troposphere. The existence of these ozone rich layers further confirms the significant contribution of smog photochemistry.

A statistical analysis was undertaken of the rate of ozone loss at night. The results indicate that in the lower part of the boundary layer (i.e. below the ridge height of the surrounding hills) homogeneous chemistry accounts on average for 19 % (extreme values were 4 % and 54 %) of the observed ozone destruction rates. The main effect is due to the reaction between nitric oxide and ozone.

The remaining ozone destruction is attributable to the dry deposition of ozone at the surface. From a comparison with other related studies it is concluded that during the nighttime regime this process is much more effective in the hilly terrain around the measuring site than over horizontally homogeneous terrain. This increase in efficiency is linked to the influence of a local wind system. The occurrence and structure of this system are deduced from the measurements of several meteorological parameters (in particular wind speed and direction). The ozone destruction due to dry deposition occurs mainly in regions of nighttime downslope winds and hence the air reaching the bottom of the valley has a very low ozone content. It follows that the upward airflow associated with this local wind system gives rise to continuous ozone depletion within the lower part of the boundary layer.

The observations for the part of the boundary layer above the ridge line of the surrounding hills cannot be explained entirely by local effects. Here the additional influence of processes due to the complex topography on a more regional scale are felt.

Processes at the ground are recognized as contributing strongly to the observed ozone losses, the increase in humidity, as well as (but to a lesser extent) the cooling rates at these higher levels. The coupling of the surface layer effects with those in the upper part of the boundary layer is brought about by transport processes. These processes in turn are the result of the interaction beween the wind field and the topography.

It is argued that the late evening ozone maxima observed from time to time are a direct consequence of larger scale horizontal advective transport rather than being produced by local transport mechanisms.

It is further stressed that the increased effectiveness of the dry deposition in hilly terrain results in a self-cleaning mechanism of the atmosphere which needs not only be restricted to ozone. Possible biological implications are discussed and some conclusions about the resulting air quality situation are drawn.