



Doctoral Thesis

Atmospheric thermal radiation over the South Pole

Author(s):

Allen-Heuberger, Renate <<van>>

Publication Date:

1995

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-001448488> →

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](#).

**ATMOSPHERIC THERMAL RADIATION
OVER THE SOUTH POLE**

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH
for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by
RENATE VAN ALLEN-HEUBERGER

Dipl. Natw. ETH
born October 30th 1962
citizen of Elfingen, AG



accepted on the recommendation of
Prof. Dr. A. Ohmura, examiner
Prof. Dr. F.J. Murcray (Univ. of Denver, Denver), co-examiner
Dr. C. Fröhlich (World Radiation Center, Davos), co-examiner

1995

Accepted for publication in Zürcher Geographische Schriften,
No. 61, 1995, Verlag Geographisches Institut ETHZ Zürich

ABSTRACT

Year-round measurements of mid-infrared atmospheric emission were conducted at the South Pole during 1990, 1992 and 1993. The spectrometer used to collect emission spectra covers the 550-1650 wavenumber region (6 to 18 microns) with one wavenumber resolution. The instrument was mounted outside, in a thermally insulated enclosure, on the roof of "Skylab", the tallest building at Amundsen-Scott South Pole Station. The atmosphere was viewed at three different elevation angles: 15°, 30° and 45°; and each observing sequence included views of two high emissivity blackbody sources at different temperatures to provide calibration of the linear radiometric system. Sky observations were recorded twice per day, with additional observations initiated by an operator when special conditions existed. The spectra were analyzed for information about stratospheric chemistry, precipitable water content and thermal emission of clouds, blowing snow and ice crystals. The data presented in this thesis are from 1992, when an observer made concurrent visual observations, which enhances the value of the data by identifying cloud types and atmospheric conditions.

Different calibration methods were compared using one or two blackbodies for reference. The complex arithmetic algorithm suggested by Revercomb et al. (1988) corrects for anomalous phase effects caused by the emission of the beamsplitter, and allows the retrieval of absolute radiance spectra with an accuracy of $\pm 2.5\%$.

The spectra were integrated over four spectral regions and the main contributors for each region were analyzed; clouds and ice particles, temperature and water vapor. The CO₂ region correlates strongly with the surface temperature ($R^2=0.96$). The regions between 735-1300 cm⁻¹ are affected mainly by clouds. The observed meteorological conditions for each measurement were classified into eleven categories of cloud types and/or obstruction by ice particles. The monthly average of the integrated radiance (I), at 45° elevation angle, for each category was calculated and the contribution of different cloud types was retrieved. The average clear-sky case has an integrated radiance of 2.62 W m⁻² sr⁻¹. High clouds increase I by an average of 1.63 W m⁻² sr⁻¹, middle clouds by 5.43 W m⁻²

sr^{-1} and low clouds add $8.56 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ in the year-round average. In the region beyond 1300 cm^{-1} the spectra contain mostly water vapor features. In this region, integrated radiance and precipitable water content both correlate with the surface temperature, making it difficult to assess the contribution of water vapor to the radiation budget.

The low water vapor content of the atmosphere at the South Pole allows the observation of stratospheric gases and the change in their concentration during the long absence of sunlight of the austral winter. The precipitable water vapor for clear-sky cases was calculated and a good correlation with the surface temperature was found. The values range from 0.2-0.8 mm and agree with the yearly average of the radiosonde data, although the individual comparisons between the data retrieved from spectra and radiosonde data do not show a strong correlation.

Nitric acid column abundance was retrieved for 1992. A large seasonal change of the total column of nitric acid (HNO_3) vapor was observed. During the austral summer, the HNO_3 column abundance was about 2×10^{16} molecules/ cm^2 . There was a small increase in the fall. A rapid decrease of 50% was observed in late June, soon after the stratospheric temperature reached the threshold for formation of type I polar stratospheric clouds (PSCs). By early July, the stratospheric temperature was cold enough to form type II PSCs, and the HNO_3 column decreased to 7×10^{15} molecules/ cm^2 . Measured nitric acid values in the spring remained extremely low even after the stratosphere warmed well above PSC temperatures. This may indicate permanent removal of HNO_3 by gravitational settling, or long-term sequestering in large particles. Normal summer values were not observed until the vortex dissipated allowing the lateral transport of HNO_3 to the south polar region.

ZUSAMMENFASSUNG

In den Jahren 1990, 1992 und 1993 wurden ganzjährige Messungen der infraroten atmosphärischen Emission am Südpol durchgeführt. Mit einem Spektrometer wurden Spektren von 550-1650 cm^{-1} (6-18 μm) mit einer Auflösung von 1 cm^{-1} gemessen. Das Instrument wurde in einer wärmeisolierenden Hülle auf dem Dach des höchsten Gebäudes der Amundsen-Scott Südpol Station montiert. Die Atmosphäre wurde unter drei Zenitwinkeln beobachtet: 75°, 60° und 45°. Während jeder Beobachtung (normalerweise zweimal täglich) wurden auch Spektren von zwei Schwarzkörpern mit unterschiedlichen Temperaturen gemessen, um die Kalibrierung des linearen radiometrischen Systems zu ermöglichen. 1992 fanden gleichzeitig meteorologische Beobachtungen statt, damit die Wolkentypen und die atmosphärischen Bedingungen in den Spektren identifiziert werden können. Die gesammelten Daten geben Auskunft über die thermale Emission von Wolken, Schnee und anderen Eiskristallen. Die Spektren wurden analysiert, um Information über stratosphärische Chemie, Wassergehalt und Infraroteigenschaften der Wolken zu erhalten. In dieser Arbeit werden die Daten von 1992 präsentiert.

Verschiedene Eichungsmethoden mit einem oder zwei Schwarzkörpern wurden verglichen. Der von Revercomb et al. (1988) entwickelte komplexe Algorithmus berücksichtigt anomale Phaseneffekte und erzielt eine Genauigkeit in der totalen Strahlendichte von $\pm 2.5\%$.

Die Spektren wurden in vier spektralen Bereichen integriert und die Hauptemittenten (Wolken und Eispartikel, Temperatur und Wasserdampf) für jeden Teil analysiert. Die CO_2 -Region (600-735 cm^{-1}) korreliert stark mit der Oberflächentemperatur ($R^2=0.96$). Die Bereiche zwischen 735-1300 cm^{-1} sind vor allem von Wolken beeinflusst. Die beobachteten meteorologischen Bedingungen wurden in elf Kategorien nach Wolkentypen und Eispartikeln eingeteilt. Der monatliche Mittelwert der integrierten Strahlendichte (I) unter 45° Zenitwinkel wurde für jede Kategorie berechnet und der Beitrag verschiedener Wolkentypen wurde bestimmt. Der mittlere wolkenlose Fall hat eine integrierte Intensität von 2.62 $\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$. Bei hohen Wolken steigt I im Mittel um 1.63 $\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$, bei mittleren Wolken um 5.43 $\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$, und bei tiefen Wolken um 8.56 $\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$ an.

Im Bereich zwischen 1300 und 1600 cm^{-1} beinhalten die Spektren hauptsächlich Emissionslinien von Wasserdampf. Da die integrierte Strahldichte und der Wassergehalt der Atmosphäre mit der Temperatur korrelieren ist es schwierig, den Einfluss des Wasserdampfes auf die Strahlungsbilanz zu bestimmen.

Der geringe Wassergehalt der Atmosphäre am Südpol ermöglicht die Beobachtung stratosphärischer Gase und die Änderung in deren Konzentration während der langen Abwesenheit von Sonnenlicht im Winter. Der Wassergehalt wurde für wolkenlose Tage berechnet und eine gute Korrelation mit der Oberflächentemperatur gefunden. Die Werte sind zwischen 0.2-0.8 mm und stimmen mit den jährlichen Mittelwerten der Radiosonden überein.

Die Konzentration von Salpetersäure (HNO_3) wurde für wolkenlose Messungen bestimmt. Eine ausgeprägte jahreszeitliche Schwankung konnte beobachtet werden. Im südhemisphärischen Sommer waren die HNO_3 Werte ca. 2×10^{16} Moleküle/ cm^2 und stiegen etwas an im Herbst. Ein abrupter Fall von 50% wurde Ende Juni beobachtet, kurz nachdem die Stratosphäre die kritische Temperatur für die Formation von polarstratosphärischen Wolken (PSCs) vom Typ I erreichte. Anfangs Juli war die Stratosphäre kalt genug für die Formation von Typ II PSCs, und die HNO_3 Werte sanken auf 7×10^{15} Moleküle/ cm^2 . Im Frühling blieben die gemessenen HNO_3 Werte extrem klein obwohl sich die Stratosphäre über die PSC Temperaturen erwärmte. Dies bedeutet, dass HNO_3 entweder durch Ausfall oder durch langzeitige Überführung in grosse Partikel entfernt worden ist. Normale, ortsübliche Werte wurden erst beobachtet nachdem der Polarwirbel aufbrach und der laterale Transport von HNO_3 ermöglicht war.