

Einleitung

Die stratosphärische Ozonschicht ist für die Biosphäre lebensnotwendig, da durch sie der ultraviolette Anteil der solaren Strahlung absorbiert wird. Wenn die energiereiche UV-Strahlung mangels Ozon durch die Atmosphäre gelangt, können vielfältige Schäden auftreten, welche den Lebensraum des Menschen direkt und indirekt beeinflussen. Während der Mensch sich z.B. mit Sonnencreme gegen die energiereiche UV-Strahlung schützen kann, sind Pflanzen und Tiere ihr schutzlos ausgesetzt, und auch das aquatische Ökosystem wird durch die erhöhte Strahlung stark beeinflusst. Angefangen bei Schäden an Phytoplankton und Fischlarven wird durch diese biologische Störung die gesamte aquatische Nahrungskette beeinflusst, an deren Ende auch der Mensch steht. Ohne Ozonschicht als Schutzschild gegen die solare UV-Strahlung wäre Leben auf der Erde nicht möglich.

Seit Beginn der 80er Jahre wird in jedem Frühling über der Antarktis ein Ozonloch beobachtet, also der Abbau von Ozon in der polaren Stratosphäre. In den letzten Jahren tritt dieses Phänomen auch in der arktischen Stratosphäre auf. Der Unterschied zwischen beiden Hemisphären kommt durch die ausgeprägtere dynamische Aktivität in der Nordhemisphäre zustande. Dabei spielen nicht nur makroskalige Ereignisse mit einer Größenordnung von 10^3 bis 10^4 km eine Rolle, sondern insbesondere auch mesoskalige Prozesse am Rand des polaren Wirbels mit Größenordnungen von 10^1 bis 10^2 km. Die für den arktischen Ozonabbau bedeutende mesoskalige Dynamik des Polarwirbels motiviert die vorliegende Arbeit.

In der Atmosphärenphysik ist man darauf angewiesen, Feldmessungen und Theorie zusammenzuführen, um die komplexen atmosphärischen Prozesse erklären zu können. Durch die Modellierung der beobachteten Prozesse ist es möglich, Aussagen über ihre Ursachen zu treffen. Auch die Ozon-Forschung ist diesen Weg gegangen. Angefangen bei der Beobachtung des Ozonabbaus über der Antarktis und der Erkenntnis, dass anthropogene Emissionen dafür verantwortlich sind, wurde schließlich die wichtige Rolle der polaren Stratosphärenwolken (*polar stratospheric clouds*, PSCs) erkannt, an deren Oberflächen die ozonzerstörenden Substanzen aktiviert werden. Aufgrund der unterschiedlichen dynamischen Aktivität des Polarwirbels in Nord- und Südhemisphäre

sind die Entstehungsbedingungen für PSCs und damit die Voraussetzung für einen bedeutenden Ozonabbau in der Arktis im Gegensatz zur Antarktis nicht in jedem Winter gegeben.

Das Kältegebiet des arktischen Polarwirbels erreicht nur selten Temperaturen, die tief genug zur Bildung von PSCs sind. Es werden jedoch häufig PSCs mit einer Ausdehnung im Bereich der Mesoskala beobachtet, die auf die Existenz kleinräumiger Strukturen hindeuten. Die mesoskalige Dynamik spielt daher eine entscheidende Rolle für die Entstehung polarer Stratosphärenwolken in der Nordhemisphäre und dementsprechend auch für den arktischen Ozonabbau. Ungeklärt ist dabei bislang die Frage, welche dynamischen Prozesse die Entstehung von polaren Stratosphärenwolken in der Nordhemisphäre begünstigen können. Die vorliegende Arbeit widmet sich daher der Untersuchung von polaren Stratosphärenwolken im Zusammenhang mit mesoskaligen Prozessen, um die möglichen beteiligten Faktoren aufzuzeigen. Dazu wird eine Brücke geschlagen zwischen der physikalischen Meßmethode Lidar (*Light Detection and Ranging*) und den meteorologischen Ansätzen der Atmosphärendynamik, so dass sich eine Kombination aus Feldmessung und Theorie ergibt.

Die Arbeit gliedert sich einerseits in die Grundlagen zu den polaren Stratosphärenwolken und der angewendeten Meßmethode Lidar, und andererseits in die Auswertung der beobachteten PSC-Ereignisse unter makroskaligen und mesoskaligen Gesichtspunkten.

Der Zusammenhang von Chemie und Dynamik in der polaren Stratosphäre wird in den einleitenden Kapiteln zur stratosphärischen Ozonschicht, der Dynamik des Polarwirbels und der Partikelbildung polarer Stratosphärenwolken erläutert. Die Auswertung der polaren Stratosphärenwolken beruht auf Lidarmessungen von PSCs in Sodankylä (Finnland) und Ny-Ålesund (Spitzbergen), die ich während der Winter 1997/1998, 1998/1999 und 1999/2000 durchgeführt habe. Diese Messungen bilden die Grundlage der vorliegenden Arbeit. Das Meßprinzip des Lidar, die beiden Lidarsysteme sowie die Auswertung der Lidarsignale werden in Kapitel 4 beschrieben. Daran anschließend wird ein Überblick über die unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen in der arktischen Stratosphäre während der drei Meßwinter gegeben. Da der Winter 1999/2000 durch einen sehr stabilen Polarwirbel mit tiefen Temperaturen gekennzeichnet war, traten PSCs über einen langen Zeitraum auf. Diese mit dem Lidarsystem in Ny-Ålesund beobachteten PSC-Ereignisse werden in Kapitel 6 analysiert. Im folgenden werden erstmals die Beobachtungen aus Sodankylä und Ny-Ålesund verglichen. Die beiden Stationen unterscheiden sich durch ihre relative Lage zum polaren Wirbel. Während zumeist das Zentrum des polaren Wirbels über Ny-Ålesund liegt, befindet sich der Rand des Polarwirbels häufig über Sodankylä. Dadurch sind Unterschiede in den beobachteten PSC-Ereignissen bemerkbar, deren Ursache in dynamischen Prozessen am Wirbelrand liegen. Den Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit bilden daher drei Ansätze, die polaren

Stratosphärenwolken in Verbindung mit mesoskaligen Prozessen am Polarwirbelrand zu erklären: die stratosphärischen Leewellen, die Filamentstrukturen am Wirbelrand und die differentielle Verteilung von stratosphärischem Wasserdampf innerhalb des Polarwirbels. Diese Ansätze sind ein erster Schritt, widersprüchliche PSC- und Temperaturmessungen durch dynamische Prozesse zu erklären. Die Entwicklung verschiedener Lösungsansätze zur Problematik ist sinnvoll, da eine zuverlässige Prognose des zukünftigen Ozonabbaus nur möglich ist, wenn alle beteiligten Faktoren bekannt sind.

Ziel dieser Arbeit ist es daher, die Meßergebnisse des Feldexperiments Lidar und die dynamischen Aspekte der arktischen Stratosphäre zu verknüpfen, um so ein schlüssiges Bild über die Entstehung von polaren Stratosphärenwolken in der Nordhemisphäre zu erlangen.

