

# Kapitel 1

## Einleitung

### 1.1 Motivation

Spätestens seit der Entdeckung des antarktischen Ozonlochs durch Chubachi [1984] und Farman et al. [1985] ist die globale Ozonschicht in der öffentlichen Diskussion. Ein wesentlicher Grund hierfür ist, daß eine abnehmende Ozonschichtdicke direkte Auswirkungen auf die Biosphäre hat. Die Ozonschicht absorbiert einen großen Teil der von der Sonne auf die Erde einstrahlenden UV-B ( $\lambda = 290\text{-}315\text{ nm}$ ) Strahlung. Unter diesem Schirm hat sich die Biosphäre der Erde entwickelt und ist an die Intensität der UV-B Strahlung angepaßt, die nach der Ozonabsorption noch verbleibt. Bei einem Prozent Abnahme der Ozonschichtdicke nimmt die Intensität dieser Strahlung um etwa 2 Prozent zu [Chubarova, 1996]. Durch eine Erhöhung der Intensität der UV-B Strahlung kann es zu Schäden in weiten Bereichen der Biosphäre kommen. Als direkte Auswirkungen auf Menschen und höhere Tiere werden das vermehrte Auftreten von Hautkrebs, Schäden an den Augen und Infektionen diskutiert [van der Leun, 1995]. Der Einfluß einer erhöhten UV-B Belastung auf Pflanzen variiert stark zwischen den verschiedenen Arten. Zu den direkten Auswirkungen zählen eine unterschiedlich starke Hemmung des Wachstums bis hin zu Krüppelwachstum und das vermehrte Auftreten von Krankheiten. Dadurch kann indirekt das Gleichgewicht innerhalb der verschiedenen Biotope verschoben werden, was bisher unabsehbare Auswirkungen nach sich ziehen kann. Eine Verminderung der landwirtschaftlichen Produktion ist möglich [van der Leun, 1995]. Der direkte Einfluß auf ozeanische Lebensformen findet hauptsächlich nahe der Oberfläche statt. Hier ist der Lebensraum des Phytoplanktons, dessen Primärproduktion etwa 30 % der weltweiten Produktion tierischen Eiweiß darstellt. Studien belegen, daß sie durch erhöhte UV-B Belastung reduziert wird [van der Leun, 1995].

Die mit dem Ausdruck 'Ozonloch' verbundenen Vorgänge spielen sich jedes Jahr im Winter bis Frühjahr in einem unbesiedelten Bereich über der Antarktis ab. Dort haben die oben beschriebenen Auswirkungen der Abnahme der Ozonschichtdicke auf die Biosphäre nur einen begrenzten direkten Einfluß auf den Menschen. Eine tendenzielle Abnahme der Ozonschichtdicke wird aber auch über den dicht besiedelten mittleren Breiten beobachtet, wobei der negative Trend auf der Nordhemisphäre am größten ist [Stolarski et al., 1992; Solomon et al., 1996]. Dieser Trend ist allerdings nur knapp signifikant und nicht zu vergleichen mit dem starken Signal des antarktischen Ozonlochs.

Seit dem Auftreten des Ozonlochs über der Antarktis wird intensiv diskutiert, ob ein Ozonverlust ähnlichen Ausmaßes auch über der Arktis stattfinden kann. Die Arktis ist im Vergleich zu der Antarktis dicht besiedelt und die Luftmassen, in denen so ein Ozonverlust auftreten könnte, driften in den meisten arktischen Wintern für begrenzte Zeiten auch über Mitteleuropa. Sollte

in diesen Luftmassen eine dem antarktischen Ozonloch vergleichbare Ozonzerstörung stattfinden, könnte das direkte Konsequenzen für die Menschen der Arktis haben, aber auch für die mitteleuropäische Bevölkerung, Landwirtschaft und Struktur der Ökosysteme.

## **1.2 Bisher erreichter Wissenstand**

Wegen der möglichen schwerwiegenden Folgen einer Ozonzerstörung in der Arktis wurde die Ozonschicht in diesem Bereich seit Entdeckung des antarktischen Ozonlochs intensiv untersucht. Erste Hinweise auf eine Ozonabnahme wurden von den arktischen Wintern 1988/89, 1989/90 und 1991/92 berichtet [Hofmann et al., 1989; Evans, 1990; Proffitt et al., 1990; Schoeberl et al., 1990; Hofmann und Deshler, 1991; Proffitt et al., 1993; Waters et al., 1993a]. Der Nachweis chemisch bedingten Ozonverlusts in der Arktis wird allerdings durch eine sehr starke natürliche Variabilität der Ozonschicht über der Arktis erschwert. Durch Transporte von Luftmassen unterschiedlichen Ozongehalts, kommt es in der Arktis zu schnellen Änderungen der Ozonkonzentration, auch wenn keine chemische Prozessierung vorliegt. Daher können diese frühen Arbeiten nur als Hinweise auf eine chemisch bedingte Ozonreduktion gewertet werden. Mit der Entwicklung von Verfahren, welche die Auswirkungen solcher Transporteffekte berücksichtigen, ist es seitdem gelungen, chemischen Ozonabbau in der Arktis zweifelsfrei nachzuweisen. Dieser Nachweis wurde erstmals für den Winter 1991/92 geführt [Browell et al., 1993; Rex, 1993; von der Gathen et al., 1995; Rex et al., 1996a].

Eine Quantifizierung des arktischen Ozonabbaus ist durch die erwähnten Auswirkungen von Transporteffekten bisher nur in Ansätzen gelungen, wobei erst während des Zustandekommens der vorliegenden Arbeit verschiedene erfolgversprechende Verfahren entwickelt wurden. Eine Übersicht über die entsprechende Literatur und die verwendeten Methoden wird im Kapitel 4 gegeben. Alle verwendeten Verfahren haben es jedoch bisher nicht ermöglicht, die chemische Ozonabbaurate in einem arktischen Winter detailliert, zeitlich und höhenaufgelöst zu beobachten. Die meisten Verfahren erlaubten nur eine Abschätzung des über den Winter akkumulierten Verlusts oder ergaben nur Ergebnisse in einer Höhenschicht.

## **1.3 Ziel der vorliegenden Arbeit**

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, eine Methode zu entwickeln und anzuwenden, die es erlaubt, ein detailliertes, zeitlich und höhenaufgelöstes Bild der Ozonabbaurate in einem arktischen Winter zu erhalten. Dazu baut die Arbeit auf dem von Rex [1993] und von der Gathen et al. [1995] eingeführten Lagrangeschen Verfahren zum Nachweis chemischer Ozonverluste auf. Bei diesem Verfahren werden Ozonsondenmessungen miteinander verknüpft, die jeweils in der gleichen Luftmasse stattgefunden haben. Bislang basiert dieses Verfahren auf zufälligen Ozonsondenmessungen. Die vorliegende Arbeit erweitert diese Methode derart, daß nun aktiv im Rahmen einer Kampagne Lagrangesche Messungen durchgeführt werden. Dies bedingt die Entwicklung einer Echtzeitkoordinierung von vielen hundert Ozonsondenstarts eines großen Netzwerkes von Stationen. Um dies zu ermöglichen ist die während des European Arctic Stratospheric Ozone Experiments (EASOE) begonnene Integration der etwa 35 nationalen Ozonsondenstationen in der Arktis und nördlichen mittleren Breiten zu einem kooperierenden einheitlichen Netzwerk fortzusetzen. Weiterhin sind die bestehenden Ressourcen verschiedener Europäischer Institutionen zusammen mit diesem Stationsnetzwerk zu einer Infrastruktur zusammenzufügen, die die Überwachung der Bahnen bereits beprobter Luftmassen erlaubt und gezielte weitere Sondenstarts in diese Luftmassen hinein ermöglicht. Zu den zu verknüpfenden Ressourcen gehören neben dem Stationsnetzwerk selbst die Analyse- und Vorhersagedaten des

Europäischen Zentrums für Mittelfristige Wettervorhersage (EZMW), schnelle Trajektorienrechnungen (nahe Echtzeit) des Meteorologischen Instituts der Freien Universität Berlin (FU) und Strahlungstransportrechnungen der Universität Cambridge.

Mit Hilfe des erhaltenen Bildes des arktischen Ozonverlusts ist die chemische Situation in der arktischen Stratosphäre einzuschätzen sowie eine Überprüfung unseres bisherigen Verständnisses der dem Ozonverlust zugrundeliegenden Mechanismen durchzuführen.