

1 Einleitung

Mit dem Anstieg der Sauerstoffkonzentration in der Erdatmosphäre, der vor etwa 2 Milliarden Jahren begann und vor ca. 350 Millionen Jahren abgeschlossen war, bildete sich auch die Ozonschicht [e.g. Brasseur et al., 1999]. Das Ozon absorbiert einen Großteil der solaren UV-B Strahlung ($\lambda=280-315$ nm), die deshalb nur abgeschwächt zum Erdboden gelangen kann. Erst unter dem Schutz der Ozonschicht breiteten sich höher entwickelte Organismen an Land aus; die Biosphäre reagiert deshalb empfindlich auf erhöhte UV-B Einstrahlungen. Die energiereichen Photonen der UV-B Strahlung können große organische Moleküle wie die DNA oder Proteine zerstören und damit zu Zellveränderungen bei Menschen, Tieren und Pflanzen führen. Die Entdeckung des Ozonlochs über der Antarktis durch Chubachi [1984] und Farman et al. [1985] rief deshalb ein starkes öffentliches Interesse und große Besorgnis hervor, und es ergab sich die Frage, ob ein ähnliches Phänomen auch über der Arktis stattfinden kann. Dies könnte zu einer erhöhten UV-B Einstrahlung in der sehr viel dichter besiedelten Nordhemisphäre führen.

Den Befürchtungen über die mögliche Ausbildung eines Ozonlochs auch über der Arktis folgten zahlreiche Meßkampagnen und Modellstudien, die den Nachweis erbrachten, daß chemischer Ozonabbau auch in der Arktis stattfindet [Hofmann et al., 1989; Manney et al., 1994; von der Gathen et al., 1995; Rex et al., 1997b]. Während jedoch im antarktischen Winter durch chlor- und bromkatalysierten Ozonabbau regelmäßig die Ozonkonzentration in ganzen Höhenschichten unter die Nachweisgrenze sinkt, fällt der arktische Ozonabbau bislang eher moderat aus. Dieser Unterschied wurde auf die verschiedenen meteorologischen und dynamischen Gegebenheiten zurückgeführt, und zwar in erster Linie auf die stratosphärischen Wintertemperaturen, die in der Arktis deutlich höher liegen als in der Antarktis.

Die Chlorbelastung der Stratosphäre und damit das Potential zur Ozonzerstörung wird trotz der internationalen Abkommen, die den Ausstieg aus der Produktion ozonschädigender Stoffe regeln, während der nächsten Dekaden aller Voraussicht nach noch auf einem hohen Niveau bleiben [WMO, 1995; 1999]. Während dieser Zeit werden vermutlich die stratosphärischen Temperaturen der limitierende Faktor für das Ausmaß der Ozonzerstörung in der Arktis bleiben. Auf diesem Hintergrund wird zunehmend der Zusammenhang zwischen der globalen Klimaänderung und dem stratosphärischen Ozonverlust diskutiert. So deuten Modellstudien darauf hin, daß die zunehmende Konzentration der sogenannten Treibhausgase die arktische Stratosphäre abkühlen und dadurch die Erholung der Ozonschicht verzögern könnte [Shindell et al., 1998; Danilin et al., 1998]. Auch der Ozonverlust selbst kann zu einer Abkühlung führen, und sich dadurch selbst verstärken [MacKenzie und Harwood, 2000]. Beobachtungen zeigen, daß in den vergangenen 30 Jahren die geographische Ausdehnung besonders niedriger Temperaturen in der arktischen Stratosphäre bereits merklich angestiegen ist [Pawson und Naujokat, 1997]. Die genaue Beziehung zwischen der Temperatur und dem chemischen Ozonverlust ist ein zentrales Thema dieser Arbeit.

Die Arbeit baut auf dem von von der Gathen et al. [1995] und Rex et al. [1999] eingeführten Verfahren *Match* zur Quantifizierung von chemischem Ozonabbau in der Arktis auf. Dabei werden Ozonsondenstarts in einem Netz von Sondierungsstationen der Nordhemisphäre zeitlich so koordiniert, daß eine möglichst große Anzahl mehrfach beprobter Luftpakete entsteht. Aus den Mehrfachmessungen läßt sich anschließend in einem Lagrangeschen Verfahren der chemische Ozonabbau bestimmen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde in den Wintern 1997/98 und 1998/99 jeweils eine solche Koordinierung vorgenommen, sowie zusätzlich die Daten der vorhergehenden Kampagne des Winters 1996/97 ausgewertet. Während der Winter 1996/97 relativ kalt war, und durch eine besonders stabile Zirkulation in der Nordhemisphäre auffiel, waren die beiden Winter 1997/98 und 1998/99 für die 90er Jahre ungewöhnlich warm. Dieser Umstand bot die Gelegenheit, im Rahmen dieser Arbeit den chemischen Ozonverlust in der Arktis unter sehr unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen zu untersuchen und zu vergleichen. Dabei wurde erstmals auch die Temperaturgeschichte individueller Luftpakete mit in die Auswertung und Interpretation der Meßergebnisse einbezogen.

Die mittlerweile acht Jahre umfassende Zeitreihe der mit der Matchmethode erzielten Daten wurde weiterhin genutzt, um erstmals die direkte Temperaturabhängigkeit des chemischen Ozonverlustes in der Arktis anhand von Beobachtungsdaten zu analysieren. Dafür wurde für eine Höhenschicht die Temperaturgeschichte aller mehrfach beprobten Luftpakete der vergangenen sechs Jahre untersucht, und der chemische Ozonverlust in Abhängigkeit von der minimalen durchlaufenen Temperatur bestimmt.

Neben den saisonalen starken Ozonverlusten in den Polargebieten ist eine globale Abnahme der Ozonschichtdicke zu beobachten, die im Zeitraum von 1979 bis 1991 je nach Jahreszeit und Hemisphäre etwa zwischen 2% und 4% pro Dekade lag. Mittlerweile hat sich dieser Trend allerdings stark abgeschwächt [WMO, 1999]. Unbestritten ist, daß dieser Ozonrückgang durch große Vulkanausbrüche moduliert wurde. Ob diese Kopplung aber mehr chemischer oder dynamischer Art ist, konnte bisher noch nicht zufriedenstellend geklärt werden. Ein direkter experimenteller Nachweis für *in-situ* Ozonverlust außerhalb des arktischen bzw. antarktischen Polarwirbels steht bisher noch aus. Auf diesem Hintergrund wurde die Möglichkeit untersucht, die Matchmethode auch in mittleren Breiten anzuwenden.

Im folgenden Kapitel 2 werden die grundlegenden Größen, die in der Arbeit verwendet werden, definiert und erläutert, sowie die chemischen und dynamischen Mechanismen, die im Zusammenhang mit dem chemischen Ozonabbau in der Stratosphäre stehen, erklärt. Kapitel 3 beschreibt die in dieser Arbeit verwendete Methode zur Quantifizierung des chemischen Ozonabbaus. In Kapitel 4 werden die Ergebnisse für den quantitativen chemischen Ozonabbau innerhalb des Polarwirbels für die Winter 1996/97, 1997/98 und 1998/99 vorgestellt, und im Vergleich mit anderen Wintern betrachtet. Kapitel 5 beschäftigt sich mit dem Zusammenhang zwischen den Ozonverlustraten und der Temperaturgeschichte der Luftpakete. In Kapitel 6 wird der Versuch beschrieben, die Matchmethode auch außerhalb des Polarwirbels anzuwenden.