

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Motivation

Die anthropogen verursachte Ozonabnahme in den Polarregionen („Ozonloch“) und den mittleren Breiten kann dramatische Auswirkungen auf die Biosphäre – das gesamte Leben auf der Erde – haben. Die aktuelle Klimaforschung befasst sich daher intensiv mit der Entwicklung der Ozonschicht. Das vollständige Verständnis sowie die adäquate Modellierung der chemischen Reaktionen, die zum Ozonabbau führen, ist hierbei ebenso von Interesse wie das Verständnis der dynamischen Prozesse. So sind Formation, Dauer und Kälte des stratosphärischen Polarwirbels die dynamischen Randbedingungen des chemischen Ozonabbaus in den Polarregionen. Die beobachtete Veränderung des Polarwirbels, die natürliche Jahr-zu-Jahr Variabilität der Stratosphäre, ist in der Nordhemisphäre auf Grund der stärkeren planetarischen Wellenanregung durch unterschiedliche Land-See Verteilung ausgeprägter als in der Südhemisphäre. Dadurch wird die Vorhersagbarkeit des chemischen Ozonabbaus in der Arktis limitiert. Um Unsicherheitsfaktoren für Zukunftsberechnungen zu minimieren und entsprechend ihrer Verlässlichkeit interpretieren zu können, wird die richtige Modellierung der Vergangenheit bzw. der Gegenwart an Beobachtungsdaten validiert und als eine Art Test genutzt.

Globale Ozonmessungen seit Ende der 1970er Jahre weisen einen negativen (Total-) Ozone trend im Jahresmittel auf, der mit einem negativen Temperaturtrend in der Stratosphäre korreliert ist (Randel und Wu, 1999) und Maxima an den Winterpolen hat. Abschätzungen aus den letzten acht arktischen Wintern weisen einen Ozongesamtsäulenverlust in den hohen Breiten auf, der zu ca. 2/3 auf chemische und beachtlicher Weise zu 1/3 auf dynamische Ursachen zurückzuführen ist (Rex, 2001). Dabei erwies sich der Winter 1999/2000 als rekordverdächtig mit einem lokalen Ozonabbau von maximal 60–70% (Chipperfield, 2000; Rex et al., 2002). Der Anstieg der Treibhausgase (CO_2 , H_2O , CH_4) ist im Zusammenhang mit der Entwicklung der Ozonschicht von großer Bedeutung. Die verschiedenen Modellierergruppen sagen diesbezüglich eine Erholung des Ozonlochs in der SH sowie eine verzögerte Erholung der Ozonschicht der NH bis zum Jahr 2030 vorher (Shindell et al., 1998; Austin et al., 2000; Brühl et al., 2000).

Für die beobachtete Ozonabnahme von maximal 6–12% Mitte der 1990er Jahre in den mittleren Breiten der Nordhemisphäre (Fioletov et al., 2002) spielen Transportprozesse,

die die Zufuhr polarer und tropischer Luftmassen in die mittleren Breiten regulieren, eine große Rolle. Diese Transportprozesse werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit untersucht.

1.2 Stand der Forschung

Die oben genannten Fragestellungen wurden bisher mit 2-D Modellen und 3-D Chemietransportmodellen (CTMs) untersucht. Dafür werden Vorhersagemodelle genutzt, die unter Verwendung von Wind und Temperatur aus globalen Beobachtungsanalysen Spurengase advehieren und dann an ein Chemiemodell gekoppelt werden. Ende der 1990er Jahre begannen die ersten Arbeitsgruppen vollständige Klimamodelle der mittleren Atmosphäre mit komplexen Chemiemodellen zu koppeln (Steil et al., 1998; Shindell et al., 1998; Austin et al., 2000; Schnadt et al., 2001). Dabei gibt es jedoch einige Schwächen, die die Zuverlässigkeit solcher Prognosen in Frage stellen. Ein limitierender Faktor für die Verlässlichkeit von Zukunftsszenarien ist neben dem Verständnis chemischer Reaktionen vor allem die numerische Modellierung des Spurengastransports. Heutzutage verwenden vollständige Zirkulationsmodelle ein angekoppeltes Transportmodul, was zusätzlich zu den physikalischen Grundgleichungen im spektralen Raum den Transport im Gitterpunktraum berechnet. Wie man sich leicht vorstellen kann, kommt es zu mehr oder weniger starken Abweichungen zwischen diesen unterschiedlichen Phasenräumen (Joeckel et al., 2001). Der meridionale Transport von (chemisch aktiven) Spurengasen, beschrieben durch die Brewer-Dobson Zirkulation (Brewer, 1949; Dobson, 1956), bestimmt sozusagen die Zufuhr des möglichen chemischen Reaktionspotentials für den Ozonverlust. Dabei sind zum einen das vertikale Absinken im Polarwirbel, zum anderen der horizontale Austausch durch Eddy Flüsse (*kleinskalige Wellen*) die bestimmenden Transportprozesse. Durch Abweichungen von der Meridionalzirkulation (dem ursprünglichen Bild der Brewer-Dobson Zirkulation), verursacht durch das Brechen planarer Wellen, kommt es zu verstärktem horizontalem Luftmassenaustausch.

Diese dynamischen Prozesse werfen im Zusammenhang mit der beobachteten Ozonabnahme in den mittleren Breiten folgende Fragen auf: Welchen Anteil haben dynamische bzw. chemische Prozesse am beobachteten Ozontrend in den mittleren Breiten? Welche Rolle spielt dabei die chemisch aktivierte Luft aus polaren Breiten? Welcher Anteil ergibt sich aus insitu Ozonzerstörung? Gibt es Zirkulationsänderungen auf Grund des Treibhausgasanstiegs? Die Beantwortung dieser Fragen ist Gegenstand der aktuellen Ozonforschung.

Die bisherigen Modelluntersuchungen zu diesem Gebiet haben gezeigt, dass die simulierten Transportprozesse von der horizontalen Auflösung des jeweiligen Modells abhängen. Beispielsweise untersuchten Edouard et al. (1996) den Einfluss der horizontalen Auflösung auf den berechneten Ozonverlust mit einem 2D-Transportmodell, wobei sich für den Winter 1994/95 ein Unterschied von 40% im Ozonverlust ergab. Eine ähnliche Untersuchung von Searle (1998) fand dagegen eine schwächere Sensitivität auf die horizontale Auflösung des Modells. Auch Klimamodelle und Wettervorhersagemodelle liefern nicht die gleichen Ergebnisse, wenn man sie mit unterschiedlicher Gitterpunktmaschenweite

integriert. Genausowenig kann man erwarten, dass die beobachteten Verhältnisse realistischer simuliert werden, wenn die horizontale und vertikale (räumliche) Auflösung im Modell erhöht wird. So untersuchten Boer und Lazare (1988) den Einfluss der horizontalen Auflösung auf das simulierte Klima und stellten keine erkennbaren Verbesserungen bei höherer Auflösung fest. Wiederum in anderen Modelluntersuchungen führte eine feinere horizontale Auflösung zu einer Verminderung des Kältepolproblems („Cold Pole Bias“) in der Winterstratosphäre (Hamilton et al., 1999). Die unterschiedlichen Reaktionen von Modellen auf eine Erhöhung der räumlichen Auflösung sind auch in der Verwendung physikalischer Parametrisierungen zu suchen.

1.3 Ziel und Aufbau der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist es, anhand von Beobachtungen und Modellstudien ein besseres Verständnis spezifischer Transportphänomene in der mittleren Stratosphäre zu erlangen. In Zusammenhang mit diesen spezifischen Transportphänomenen soll der bisher „nicht gut quantifizierte“ (Tropopausen Workshop, SPARC Newsletter No. 17, 2001) Transport von Spurengasen im Berliner Modell untersucht und quantifiziert werden.

In dieser Arbeit wurde ein spektrales „state of the art“ Klimamodell der mittleren Atmosphäre verwendet, das mit einem Transportschema für Spurengase gekoppelt ist. Die Ergebnisse dieser Arbeit dienen als Voruntersuchung bzw. Interpretationshilfe für die derzeit in der Arbeitsgruppe durchgeführten gekoppelten Chemie-Atmosphären-Modellläufe. Um die Auswirkungen der Modellauflösung auf den Transport und damit auch auf die chemischen Prozesse zu analysieren, wurde im Rahmen dieser Arbeit die horizontale Auflösung im Berliner Modell von T21 ($5.6^\circ \times 5.6^\circ$ Gitterpunktauflösung) auf T42 ($2.8^\circ \times 2.8^\circ$) erhöht. Hierbei wurde der Einfluss der horizontalen Auflösung auf globale Transportprozesse und spezifische Transportstrukturen untersucht. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Transportprozessen während der Existenz des arktischen Polarwirbels in der mittleren Stratosphäre, da dieser die dynamischen Randbedingungen des Spurengastransports bzw. des chemischen Ozonabbaus vorgibt.

Die Arbeit ist folgendermaßen aufgebaut:

Zunächst wird die globale Zirkulation im Hinblick auf den Spurengastransport und die wichtigsten Beobachtungen von spezifischen Transportphänomenen beschrieben, die als Grundlage für die Modellvalidierung dienen sollen (Kapitel 2). Darauffolgend werden das hier verwendete Berliner GCM und die für diese Untersuchung notwendigen Modellcodeänderungen vorgestellt, sowie die durchgeführten Simulationen skizziert (Kapitel 3). Als Interpretationshilfe für die Transportuntersuchungen wird das Modellklima im Vergleich zu den beiden unterschiedlichen Modellauflösungen (T21 und T42) analysiert (Kapitel 4). Anschließend werden die Transportuntersuchungen in Form von Fallstudien der T21 und T42 Auflösung miteinander verglichen (Kapitel 5). Resultierend aus diesen Ergebnissen wird die Modellvalidierung spezifischer Transportprozesse mit der T42 Auflösung exemplarisch an einem arktischen Modellwinter untersucht (Kapitel 6). Schließlich wird eine globale Klimatologie spezifischer Transportprozesse präsentiert, die mit Beobachtungsdaten verglichen und im Hinblick auf den Ozontrend in den mittleren Breiten diskutiert wird (Kapitel 7). Die Ergebnisse dieser Arbeit werden zusammengefasst und es wird ein Ausblick für zukünftige Arbeiten gegeben (Kapitel 8).