

**Abschlußbericht  
zu den Vorhaben**

**EPOS - Episodenrechnungen und Prozeßstudien  
zum Ozonhaushalt in der Stratosphäre**

und

**MESSTRO - Mesoskalige Simulation von  
Dynamik, Transport und Chemie in der unteren  
Stratosphäre und oberen Troposphäre**

Förderkennzeichen: 01 LO 9516/3

A. Ebel, J. Hendricks, J. Kowol-Santen,  
E. Lippert, G. Günther, F. Baier und H. J. Bock

Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln

**Abschlußbericht zum Projektteil:  
'EPOS - Episodenrechnungen und Prozeßstudien zum Ozonhaushalt  
der Stratosphäre'**

Förderkennzeichen: 01 LO 9516

A. Ebel, J. Hendricks, G. Günther und F. Baier

Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie

## 1 Einleitung

### 1.1 Aufgabenstellung

a) Simulation von Dynamik und Chemie der unteren Stratosphäre im Winter.

Das primäre Ziel des Vorhabens war die Untersuchung der Rolle von Chemie und Dynamik im Ozonabbau der winterlichen polaren Stratosphäre. Zu diesem Zweck war die Durchführung von Simulationen realer Episoden mit einer Zeitskala von 3-4 Monaten erforderlich. Es waren entsprechende Verfahren zu entwickeln, die es ermöglichen, Beobachtungs- und Analysedaten in die Modellrechnungen einzubeziehen. Die Modellrechnungen sollten dabei auch zur Interpretation und Analyse von Messungen eingestetzt werden. Weiterhin sollte das Modell im Rahmen des Projektes einem detaillierten Evaluationsprozeß unterzogen werden.

Ein weiterer Aufgabenbereich war die Durchführung von Modellvergleichen und Sensitivitätsstudien. Die Modellvergleiche waren in Zusammenarbeit mit anderen Modellierergruppen auszuführen. Mit Hilfe von Sensitivitätsstudien sollten Schlüsselparameter bestimmt werden. Durch entsprechende Verbesserungen in der Darstellung dieser Größen sollte die Prognosefähigkeiten des Modells erhöht werden.

b) Szenarienrechnungen und Prozeßstudien zur zukünftigen Entwicklung der stratosphärischen Ozonschicht.

Durch gezielte Variation von Anfangs- und Randbedingungen sowie durch die Variation von Prozessen sollten die Reaktionen der Modellatmosphäre auf sich wandelnde Bedingungen untersucht werden. Hierbei waren sowohl natürliche als auch anthropogener Einflüsse zu betrachten. Es sollte eine Prognose der zukünftigen Entwicklung der stratosphärischen Ozonschicht erstellt werden. Im Einzelnen war die Rolle von Vulkanausbrüchen, die Bedeutung von Änderungen im atmosphärischen Halogengehalt sowie das Ozonbildungspotential klimarelevante Spurengase zu analysieren.

## 1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Als grundlegendes Instrument zur Durchführung des Projektes diente eine mechanistische Version des COMMA-Modells (Cologne Model of the Middle Atmosphere), welche zur Simulation dynamischer Prozesse in der mittleren Atmosphäre konzipiert ist. Dieses Modell wurde von *Dameris und Ebel* [1990] zur Untersuchung der Wechselwirkung zwischen der QBO-Phase und der Entwicklung von Stratosphärenerwärmungen eingesetzt. Das Modell wurde ebenfalls für Szenarienrechnungen verwendet. So wurden die Auswirkungen des arktischen Ozonverlustes auf den Energiehaushalt und die Zirkulation der mittleren Atmosphäre untersucht [*Dameris et al.*, 1991]. Ebenfalls wurden entsprechende Untersuchungen zu den Folgen einer CO<sub>2</sub>-Verdopplung durchgeführt [*Berger und Dameris*, 1993; *Berger et al.*, 1994].

Zu Projektbeginn stand ebenfalls ein Transportalgorithmus zur Simulation des Transportes von atmosphärischen Spurengasen oder auch Tracern zur Verfügung [*Günther*, 1995]. Mit diesem Werkzeug konnten bereits vor Beginn des Projektes erste Simulationen realitätsnaher Episoden durch Einbezug von Satellitendaten der Winter 86/87 und 88/89 ausgeführt werden. Hierbei wurden Mischungs- und Transportprozesse am Rand des arktischen Polarwirbels sowohl qualitativ als auch quantitativ untersucht [*Günther*, 1995; *Günther und Dameris*, 1995].

Weiterhin wurde das Modell vor Beginn des Projektes mit einem Chemiemodul ausgestattet. Der entsprechende Chemiemechanismus, welcher auf dem von *Krüger und Fabian* [1986] vorgestellten Mechanismus basiert, umfaßt stratosphärische Gasphasenreaktionen sowie eine einfache Darstellung heterogener Chemie. Durch Verwendung von Beobachtungsdaten zur Initialisierung und ECMWF-Analysen zur Anpassung der Amplituden atmosphärischer Wellen konnte mit dieser COMMA-Version die Chemie der polaren Winterstratosphäre während realistischer Episoden simuliert werden [*Günther et al.*, 1996].

## 1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Der Ablauf des Vorhabens erfolgte weitestgehend gemäß der im Antrag dargestellten Planung. Im einzelnen war vorgesehen und wurde durchgeführt:

I. Weiterentwicklung des Modells / Modellvergleiche / Evaluation:

- Erhöhung der Auflösung.
- Weiterentwicklung der Photolysebibliothek.
- Aktualisierung des Chemiemoduls.
- Entwicklung von Schnittstellen und Verfahren zur Steuerung des Modells durch Analysedaten.

- Durchführung von Modellvergleichen mit anderen Modellierergruppen.
- Vergleich der Modellergebnisse mit Beobachtungsdaten.

## II. Durchführung und Analyse von Episodensimulationen:

- Durchführung von Simulationen realer nordhemisphärischer Winterepisoden.
- Analyse von Dynamik und Chemie der arktischen Stratosphäre während der betrachteten Episoden.
- Einfluß der Dynamik des Polarwirbels auf die chemische Entwicklung der Stratosphäre. Charakterisierung der Wechselwirkung zwischen hohen und niederen Breiten.

## II. Durchführung und Analyse von Szenarienrechnungen:

- Untersuchung der chemischen Wirkung unterschiedlicher stratosphärischer Aerosoltypen und Aerosolbelastungen.
- Untersuchung der chemischen Auswirkungen von Variationen des stratosphärischen Halogengehalts.
- Prognose der zukünftigen Entwicklung der Ozonschicht auf Basis der Szenarienrechnungen.

Weiterhin waren Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen globalem Erwärmungs- und Ozonzerstörungspotential klimarelevanter Spurengase geplant. Aufgrund der Verlagerung des Projektschwerpunktes zur Untersuchung arktischer Winterepisoden wurde dieser Punkt nicht bearbeitet. Satt dessen wurde - entsprechend neuerer Erkenntnisse zur Mikrophysik und Chemie stratosphärischer Partikel - größeres Gewicht auf die Szenarienrechnungen zur chemischen Wirkung stratosphärischer Aerosole gelegt.

## 1.4 Zusammenarbeit

Ziel des Vorhabens EPOS war die Durchführung von Episodenrechnungen und Prozeßstudien zum Ozonhaushalt der Stratosphäre. Um dieses Ziel erreichen zu können, war eine enge Zusammenarbeit mit Arbeitsgruppen innerhalb sowie auch außerhalb des Ozonforschungsprogrammes des BMBF (OFP) erforderlich.

Zusammenarbeit bestand mit der Arbeitsgruppe Prof. Dr. Labitzke (Freie Universität Berlin). Im Rahmen dieser Kooperation wurden dem Projekt EPOS unter anderem Analysedaten zur Verfügung gestellt.

Mit der Arbeitsgruppe Dr. Jacobi (Universität Leipzig) bestand ein reger Datenaustausch, der es ermöglichte, COMMA-Simulationen dynamischer Parameter mit Meßergebnissen zu vergleichen.

Im Rahmen einer Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Prof. Dr. Brasseur (NCAR, Boulder Colorado) wurde dem Projekt EPOS eine Bibliothek von Photolysekonstanten zur Verfügung gestellt.

Mit der Arbeitsgruppe Dr. O'Neill (U.K. met. office) wurden ebenfalls Daten ausgetauscht. Dem Projekt Epos wurden hierdurch Satellitendaten zu dynamischen Parametern der Atmosphäre zugänglich.

Das Rechenzentrum der Universität zu Köln (RRZK) sowie das Zentralinstitut für angewandte Mathematik (ZAM) des Forschungszentrums Jülich stellten dem Projekt Rechen- und Speicherkapazität zur Verfügung. Das RRZK half weiterhin bei der Visualisierung der anfallenden großen Datenmengen.

Es bestand ebenfalls eine enge Zusammenarbeit mit anderen Arbeitsgruppen am Institut für Geophysik und Meteorologie der Universität zu Köln, insbesondere dem EURAD-Projekt.

Zusammenarbeit bestand weiterhin mit Arbeitsgruppen der Universitäten Moskau und Sankt Petersburg. Hierbei wurde insbesondere zu Fragen der Stratosphärendynamik korrespondiert. Untersuchungen der Ozonvariabilität anhand von Satellitendaten wurden unterstützt. Ein Moskauer Gastwissenschaftler wurde in die Anwendung des COMMA-Modells eingearbeitet.

## **2 Weiterentwicklung des Modells / Modellvergleiche / Evaluation**

### **2.1 Allgemeines**

Um die Durchführung der in Kapitel 1.1 beschriebenen Untersuchungen zu ermöglichen, waren zahlreiche Modifikationen am einzusetzenden Modell COMMA anzubringen. Hierbei diente die in Kapitel 1.2 charakterisierte Modelversion als Grundlage.

Im Hinblick auf eine qualitative Verbesserung der Simulationen dynamischer und auch chemischer Prozesse der mittleren Atmosphäre, wurde eine Erhöhung der räumlichen Auflösung des Modellgitters vorgenommen. Zum einen wurde die zonale Auflösung des dem Modell zugrundeliegenden geographischen Gitters von 16 auf 64 Längen erhöht. Zum anderen wurde eine Modellversion mit einer variablen vertikalen Auflösung entwickelt und zur Durchführung von Referenzsimulationen eingesetzt. Hierbei wurde eine Vertikalauflösung von 2.8 km, statt 5.6 km in der Standardmodellversion, gewählt. Die weiteren Modifikationen werden im folgenden zusammengefaßt, wobei zwischen Weiterentwicklungen an Modellteilen zur Simula-