

**Der Ozonabbau in der arktischen
Stratosphäre:
Ergebnisse einer neuen Meßstrategie (Match)**

**Markus Rex
Juni 1997**

Dissertation
Eingereicht im Fachbereich Geowissenschaften
der Freien Universität Berlin

Eingereicht am 26. Juni 1997

Datum der Disputation: 4. September 1997

1. Gutachter: Prof. Dr. Karin Labitzke

2. Gutachter: Dr. habil. Steven Pawson

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
Verzeichnis der abschnittsübergreifend verwendeten Variablen	7
1 Einleitung	10
1.1 Motivation	10
1.2 Bisher erreichter Wissenstand	11
1.3 Ziel der vorliegenden Arbeit	11
2 Grundlegende Größen	13
2.1 Meßgrößen für Ozon	13
2.2 Die potentielle Temperatur als Höhenskala	14
2.3 Meßgrößen für die potentielle Vorticity	17
2.3.1 Normierte potentielle Vorticity	17
3 Ozon in der polaren Stratosphäre	19
3.1 Die Chapman Chemie	19
3.2 Katalytische Ozonabbauzyklen	20
3.3 Meteorologische Prozesse in der winterlichen polaren Stratosphäre	22
3.4 Die gestörte Chemie der winterlichen polaren Stratosphäre	25
3.5 Ozon im antarktischen und arktischen Polarwirbel	27
4 Methoden zur Messung chemischen Ozonabbaus	35
4.1 Über den Polarwirbel gemittelt Ozon	35
4.2 Verwendung von inerten Tracern	36
4.2.1 N ₂ O als Tracer für die diabatische Zirkulation	36
4.2.2 Hintergrundaerosol als Tracer für Einmischungsvorgänge in den Wirbel	36
4.2.3 Ozon/Tracer-Korrelation	36
4.3 Kombination von Ozonmessungen mit Transportmodellen	37
5 Match-Kampagnen zur Messung chemischen Ozonabbaus	39
5.1 Geeignete Meßgeräte für Match	40

5.1.1	Funktion der Ozonsonden	42
5.2	Match-Auswertung der Ozonsondendaten des Winters 1991/92	46
5.3	Koordinierte Match-Kampagnen in den Wintern 1994/95 und 1995/96.	46
5.4	Koordinierung während der Match-Kampagnen.	48
5.4.1	Kampagnenablauf	48
5.4.2	Prozeduren zur Steuerung der Kampagne.	49
5.4.2.1	Nahe Echtzeit Trajektorienrechnungen während der Kampagne	52
5.4.2.2	Auswahlkriterien für die Beurteilung von möglichen Match- Ereignissen	53
5.4.3	Beispiel für das Zustandekommen eines Matches.	55
5.5	Prozeduren zur Datenauswertung nach der Match-Kampagne	57
5.5.1	Trajektorienrechnungen zur Datenauswertung	58
5.5.1.1	Abdrift der Sonden	58
5.5.1.2	Korrektur Diabatischer Effekte.	60
5.5.2	Berechnung der Matche.	63
5.5.3	Auswahl der Matche für die Auswertung	65
6	Meteorologie der arktischen Winter 1991/92, 1994/95 und 1995/96	71
6.1	Definition des Polarwirbels.	71
6.1.1	pPV als Koordinatensystem im Wirbel.	73
6.2	Abschätzung der Bereiche mit PSC-Bedingungen	75
6.3	Abschätzung des diabatischen Absinkens im Wirbel	75
6.4	Berechnung der mittleren Sonnenscheindauer pro Tag im Polarwirbel	76
6.5	Stabilität des Polarwirbels, QBO und Solarzyklus	76
6.6	Die Polarwirbel der drei untersuchten Winter.	77
6.6.1	Winter 1991/92	77
6.6.2	Winter 1994/95	80
6.6.3	Winter 1995/96	83
7	Chemische Ozonverluste in den Wintern 1991/92, 1994/95 und 1995/96	89
7.1	Berechnung der Ozonverlustraten während sonnenbeschienener Zeiten	89
7.2	Berechnung von Tagesmitteln der Ozonverlustraten	91

7.3	Der Winter 1991/92.....	92
7.3.1	Zeitlicher Verlauf der Ozonabbaurate.....	92
7.3.2	Höhenprofil der Ozonabbaurate.....	94
7.3.3	PV-Profil der Ozonabbaurate.....	95
7.3.4	Über den Winter akkumulierter Ozonverlust.....	96
7.4	Der Winter 1994/95.....	97
7.4.1	Zeitlicher Verlauf der Ozonabbauraten.....	97
7.4.2	Höhen/Zeitschnitt der Ozonabbaurate.....	100
7.4.3	Verlust in der Ozonsäule.....	104
7.4.4	PV-Profil der Ozonabbaurate.....	106
7.4.5	Über den Winter akkumulierter Ozonverlust.....	106
7.5	Der Winter 1995/96.....	107
7.5.1	Höhen/Zeitschnitt der Ozonabbaurate.....	107
7.5.2	PV-Profil der Ozonabbaurate.....	109
7.5.3	Über den Winter akkumulierter Ozonverlust.....	109
7.6	Tagesgang der Ozonabbaurate.....	115
8	Diskussion	125
8.1	Diskussion der beobachteten Ozonverluste.....	125
8.1.1	Diskussion des generellen Verlaufs des gefundenen Ozonabbaus anhand der grundlegenden Mechanismen polaren Ozonverlusts.....	125
8.1.2	Rückschlüsse auf den Grad und den Verlauf der Chloraktivierung.....	126
8.1.3	Beobachtete Merkmale der Deaktivierungsphase.....	128
8.1.4	Die chemischen Mechanismen der Deaktivierungsphase.....	129
8.1.5	Modellstudien.....	131
8.1.6	Auswirkungen von Denitrifizierung auf den Ozonabbau in der Arktis.....	135
8.2	Konsequenzen für den arktischen Ozonverlust und Vergleich mit der Antarktis... ..	136
8.3	Bewertung der arktischen Ozonverluste.....	138
9	Fehlerdiskussion	139
9.1	Statistische Fehler.....	139
9.2	Systematische Fehler.....	139

9.2.1 Fehler der diabatischen Erwärmungsraten	139
9.2.2 Überdeckung des Wirbels	142
9.2.3 Mögliche Drift der Trajektorien	145
9.3 Vergleich der Ergebnisse mit anderen Arbeiten	145
Fazit und Ausblick	149
A Tabelle der Stationen	150
Literaturverzeichnis	154