

Kapitel 9

Fehlerdiskussion

9.1 Statistische Fehler

Alle in dieser Arbeit präsentierten Ergebnisse beruhen auf einer statistischen Analyse jeweils vieler Matchereignisse. In [Rex 1993] wurde gezeigt, daß der mit einem einzelnen Match verknüpfte statistische Fehler ($\Delta X O_3^*$) normalverteilt ist. Unter dieser Voraussetzung liefert die statistische Analyse auch Schätzungen für den statistischen Fehler des jeweilig berechneten Ergebnisses, der sich aus der Streuung der Daten ergibt. Diese Schätzungen für den statistischen Fehler sind bei allen Ergebnissen mit angegeben. Die in Abschnitt 5.5.3 beschriebenen Auswahlkriterien wurden eingeführt, um den statistischen Fehler so klein wie möglich zu halten. Aus den Abbildungen 5.19, 5.22 und 5.23 kann abgeschätzt werden, daß der statistische Fehler für ein den Auswahlkriterien entsprechendes Matchereignis etwa 10% beträgt.

9.2 Systematische Fehler

Mögliche systematische Fehler lassen sich nicht aus den Matchdaten selbst ableiten und wurden bislang nicht in der Darstellung der Ergebnisse berücksichtigt. In den folgenden Abschnitten folgt eine Abschätzung des Einflusses dieser Fehlerquellen.

9.2.1 Fehler der diabatischen Erwärmungsraten

Sind die in der Korrektur der diabatischen vertikalen Bewegung der Trajektorie verwendeten Erwärmungsraten ($d\Theta/dt$) systematisch falsch, führt das dazu, daß im zweiten Ozonsondenprofil systematisch in einem etwas über oder unter der wahren Position des Luftpakets gelegenen Niveau abgelesen wird. Da das Ozonmischungsverhältnis im Mittel nach oben ansteigt, würde dies zu einem systematischen Effekt auf den bestimmten Ozonabbau führen. Da der mittlere vertikale Gradient im Ozonmischungsverhältnis im untersuchten Bereich nach oben abnimmt, wäre dieser Effekt in den unteren Schichten stärker ausgeprägt. In den drei hier untersuchten Jahren war der mittlere vertikale Gradient des Ozonmischungsverhältnisses im Jahr 1992 am größten. Aus bislang unbekanntem Gründen war dieser Gradient im Jahr 1995 und besonders im Jahr 1996 bereits im Frühwinter wesentlich schwächer als in früheren Jahren [von der Gathen et al., 1996].

Um die Sensitivität der gefundenen Ozonabbauraten auf mögliche Fehler der verwendeten $d\Theta/dt$ zu untersuchen, wurde die Auswertung mit variiertem $d\Theta/dt$ wiederholt. Dabei wurden auf 150% vergrößerte und auf 50% verkleinertes $d\Theta/dt$ verwendet. Eine weitere Auswertung wurde ganz ohne Berücksichtigung der diabatischen Abkühlung durchgeführt. Abbildung 9.1 zeigt für den Winter 1992 die Ergebnisse dieser Berechnungen im Vergleich zu der Originalrechnung. Die Rechnung ohne diabatische Abkühlung produziert scheinbare Ozonproduktion

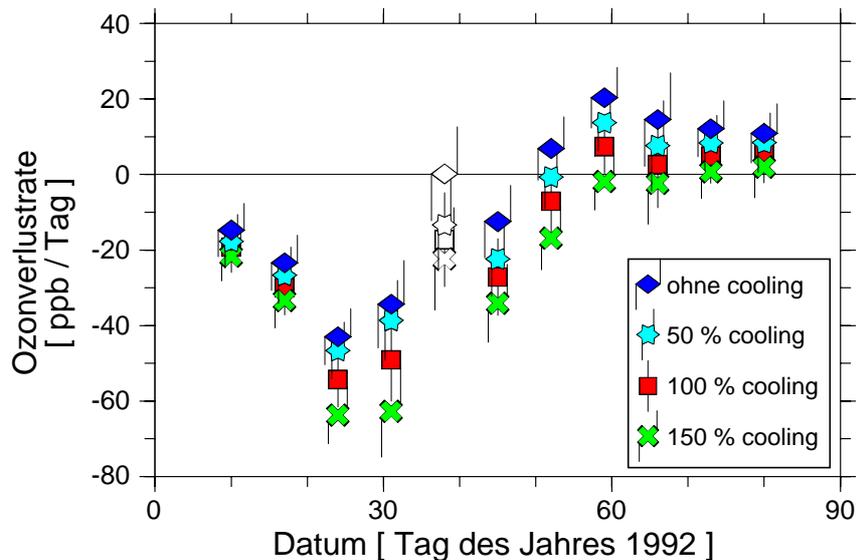


Abbildung 9.1: Wie Abbildung 7.3 mit zusätzlich eingezeichneten Ozonabbauraten, die sich ergeben, wenn die bei der Berechnung verwendeten diabatischen Raten (in der Legende kurz 'cooling' genannt) um die Hälfte vergrößert, halbiert oder ganz auf Null gesetzt werden.

Ende Februar und im März, was sehr unwahrscheinlich erscheint. Es ist demnach davon auszugehen, daß der wahre auf dem Fehler der verwendeten diabatischen Erwärmungsraten beruhende Fehler in der Ozonabbaurate deutlich kleiner ist, als die Spreizung der Kurven in Abbildung 9.1.

Abbildung 9.2 zeigt das Ergebnis der gleichen Rechnung für das Jahr 1995. Aus den oben geschilderten Gründen ist der Einfluß der verwendeten $d\Theta/dt$ auf den berechneten Ozonverlust in diesem Jahr nur minimal. Ein sehr ähnliches Ergebnis findet man auch für das Jahr 1996.

Die Raten $d\Theta/dt$ berechnen sich aus der Summe der Absorption solarer Einstrahlung und dem Nettoeffekt aus Emission und Absorption infraroter Strahlung. Dabei weist der solare Term einen ausgeprägten Tagesgang auf. Kurzwellige und infrarote Strahlungsterme werden bei der Berechnung der Erwärmungsraten getrennt behandelt und können unterschiedliche Fehler aufweisen, was zu einem Tagesgang im systematischen Fehler der Erwärmungsraten führen kann. So ein Effekt könnte Einfluß auf die bivariate Regression haben, die verwendet wurde, um zu zeigen, daß kein Ozonabbau in dunklen Bereichen entlang der Trajektorien auftritt. Auch hier wurde die Sensitivität des Ergebnisses auf gerade noch realistische Annahmen untersucht. Dabei wurde die Untersuchung auf den Winter 1991/92 beschränkt, der diesem Effekt gegenüber am sensitivsten sein sollte. Die bivariate Regression wurde auf die Ergebnisse folgender zusätzlicher Auswertungen angewandt, bei denen jeweils die verwendeten $d\Theta/dt$ während sonnenbeschienener Zeiten und während dunkler Zeiten einzeln variiert wurden:

1. 2 K / 24 h zusätzliche diabatische Erwärmung während sonnenbeschienener Zeiten.
2. 2 K / 24 h zusätzliche diabatische Abkühlung während sonnenbeschienener Zeiten.
3. 2,43 K / 24 h zusätzliche diabatische Erwärmung während sonnenbeschienener Zeiten und 0,5 K / 24 h zusätzliche diabatische Abkühlung während dunkler Zeiten.
4. 2,43 K / 24 h zusätzliche diabatische Abkühlung während sonnenbeschienener Zeiten und 0,5 K / 24 h zusätzliche diabatische Erwärmung während dunkler Zeiten.

Die Fälle 3 und 4 lassen das mittlere $d\Theta/dt$ in den verwendeten Luftmassen unverändert. Die Ergebnisse der bivariaten Regression ergaben sich wie folgt:

1. $L_s = -5,5 \pm 1,5$ ppb/Stunde
 $L_d = 0,4 \pm 0,4$ ppb/Stunde
2. $L_s = -8,6 \pm 1,7$ ppb/Stunde
 $L_d = 0,5 \pm 0,4$ ppb/Stunde
3. $L_s = -5,6 \pm 1,5$ ppb/Stunde
 $L_d = 0,2 \pm 0,4$ ppb/Stunde
4. $L_s = -8,1 \pm 1,6$ ppb/Stunde
 $L_d = 0,7 \pm 0,4$ ppb/Stunde

Es wurde demnach kein realistischer Fall gefunden, bei dem scheinbarer Ozonabbau im Dunkeln stattfindet.

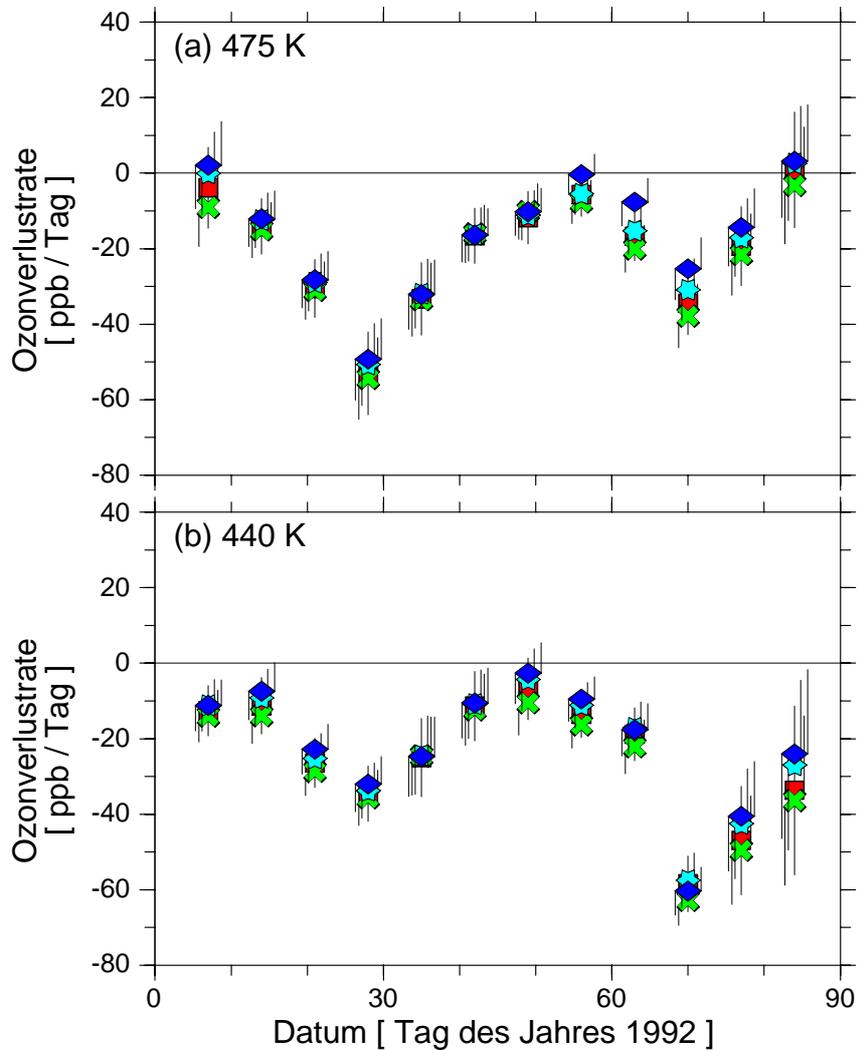


Abbildung 9.2: Wie Abbildung 9.1, jedoch für die Januar bis März 1995 erhaltenen Ozonabbauraten.

9.2.2 Überdeckung des Wirbels

Die vorgestellten Ergebnisse verstehen sich jeweils als über den Polarwirbel gemittelte Ozonabbauraten. Tatsächlich wurde aber natürlich nur entlang der verwendeten Trajektorienabschnitte gemittelt. Sind die Trajektorienabschnitte nicht gleichmäßig im Wirbel verteilt, gehen verschiedene Wirbelbereiche mit unterschiedlicher Wichtung in das Mittel ein. Da die Ozonabbauraten L_s häufig nicht über den Wirbel konstant sind, führt das zu einer Verfälschung der Mittelwerte. Da bei den Matchereignissen das jeweils vermessene Luftpaket zwischen beiden Messungen den Wirbel normalerweise ein- bis zweimal umrundet, ist die Mittelung entlang der PV Isolinien bei der Matchmethode automatisch sehr gut. Eine ungleichmäßige Beprobung der verschiedenen PV Intervalle ist jedoch möglich. In den Abbildungen 9.3, 9.4 und 9.5 sind die pPV-Werte der in verschiedenen Niveaus verwendeten Matchereignisse für alle untersuchten Zeiträume aufgetragen. Da in gleichen Intervallbreiten von pPV jeweils eine gleiche Teilfläche des Wirbels liegt, sollten bei gleichmäßiger Beprobung die Matchereignisse gleichmäßig über die in den Abbildungen gezeigte pPV / Datum-Fläche verteilt sein.

Während des Winters 1991/92 war die Beprobung des Wirbels während des Januars sehr gleichmäßig. Während Februar und März sind die innersten 20 Flächenprozent des Wirbels im Ergebnis unterrepräsentiert. Abbildung 7.5 zeigt, daß während des Februars L_s im Wirbelrand signifikant kleiner ist, als im erfaßten Teil des Wirbelkerns. Sollten auch die nicht berücksichtigten innersten 20% ein über dem Wirbelmittel liegendes L_s aufweisen, wird das Wirbelmittel der Ozonabbaurate in den Abbildungen 7.2 und 7.3 während des Februars eventuell leicht unterschätzt.

Auch im Winter 1994/95 wurde der Wirbel während Januar/Anfang Februar in allen Niveaus wieder recht gleichmäßig beprobt, wobei nur die innersten 10% (440 K) bzw. innersten 20% (475 und 490 K) des Wirbels unterrepräsentiert sind. Ein Vergleich mit dem in diesem Zeitraum

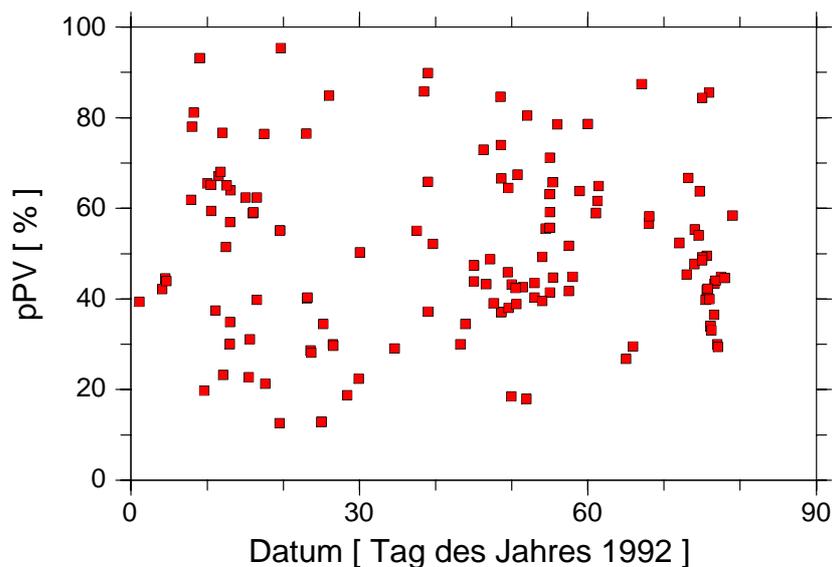


Abbildung 9.3: Die Lage aller in Abbildung 7.2 verwendeten Matche in der pPV/Datum-Fläche.

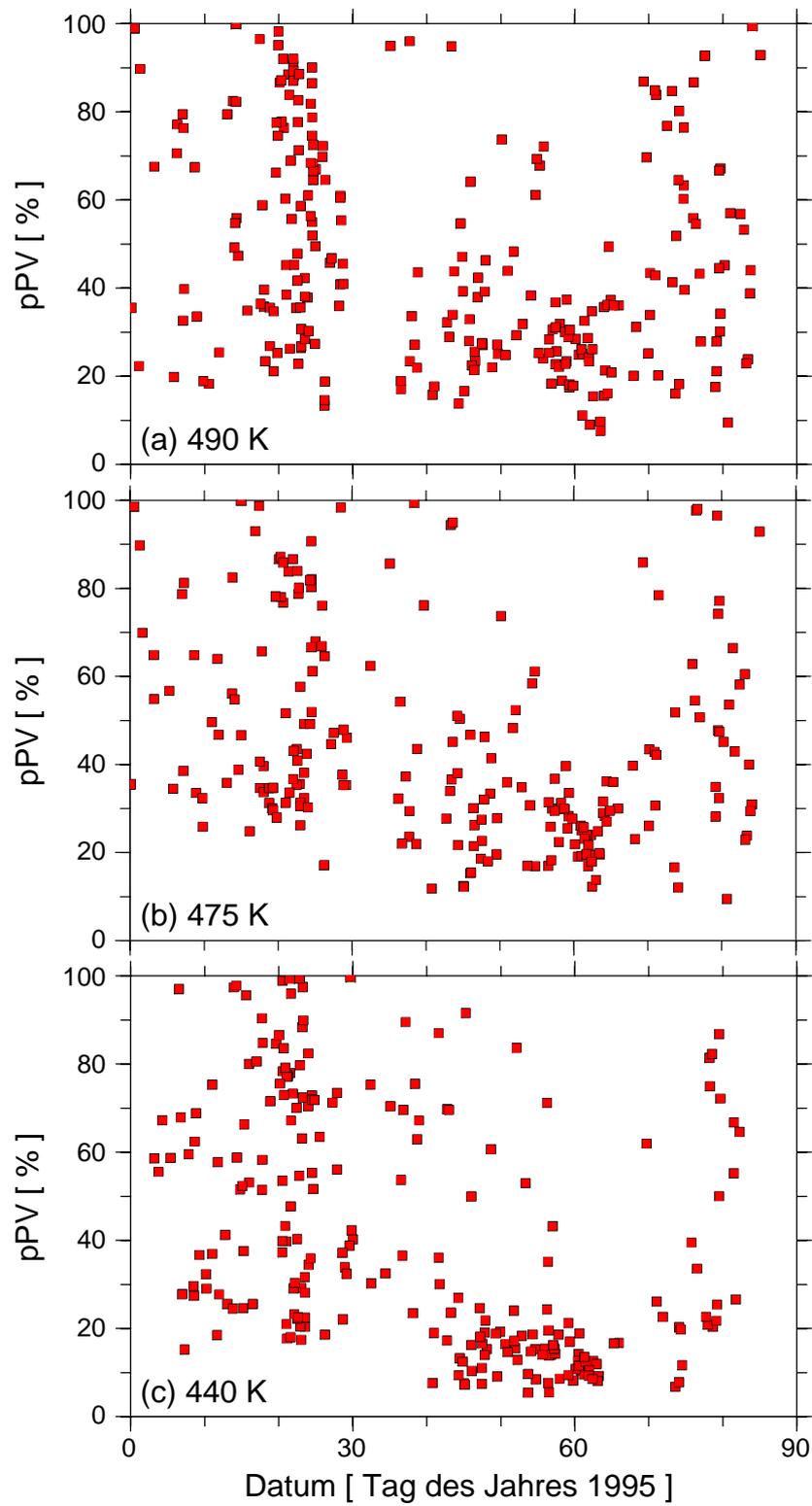


Abbildung 9.4: Die Lage aller in Abbildung 7.7(a-c) verwendeten Matche in der jeweiligen pPV/Datum-Fläche.

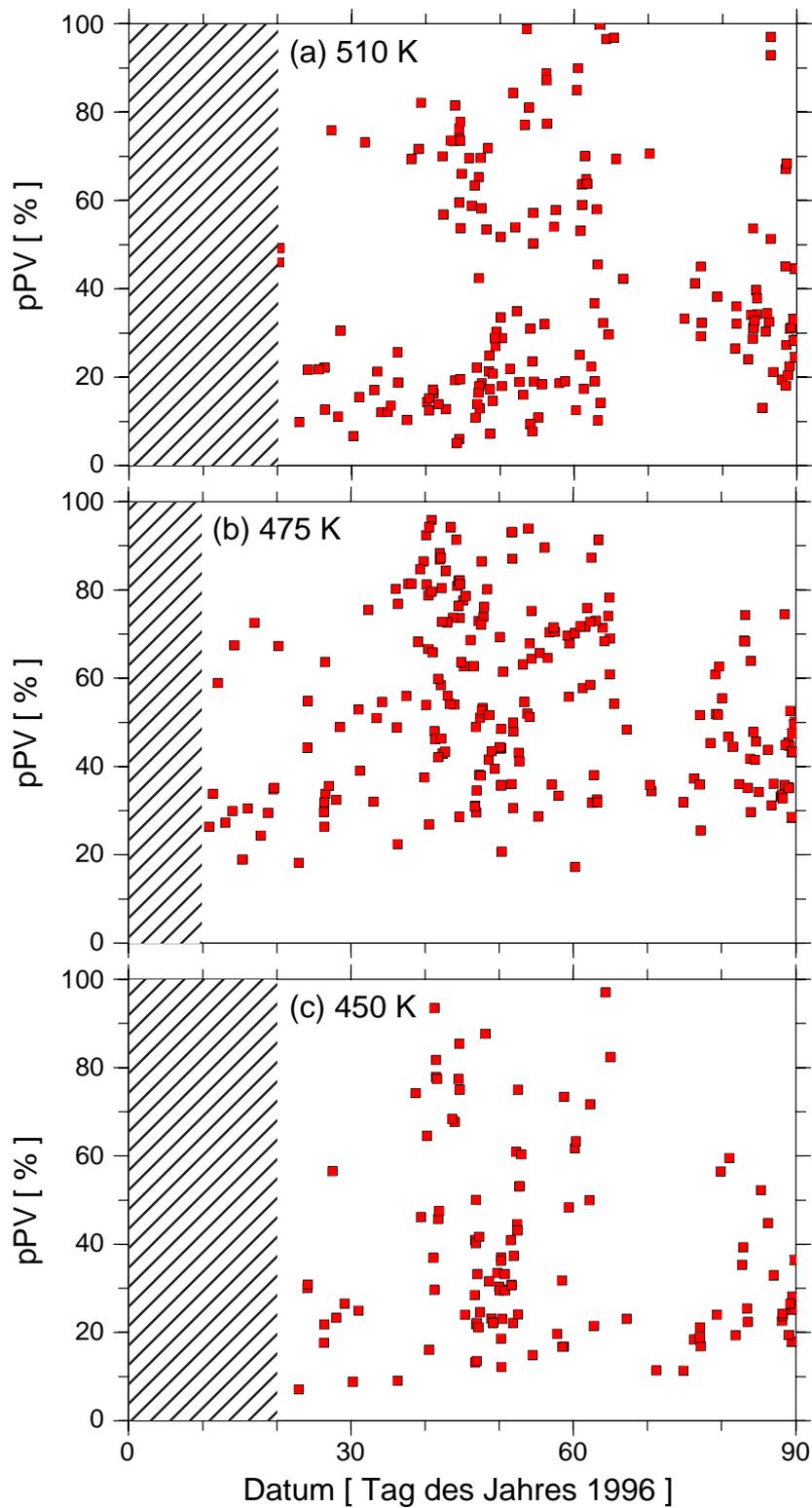


Abbildung 9.5: Für drei in Abbildung 7.15 dargestellte vertikale Bereiche die Lage der jeweilig verwendeten Matche in der pPV/Datum-Fläche. Bereiche, die wegen ungenügender Dichte an Matchen nicht ausgewertet wurden, sind hier schraffiert.

in den verschiedenen Wirbelbereichen gemessenen L_s (Abbildung 7.13a) zeigt, daß dadurch das Wirbelmittel der Ozonverlustrate in diesem Zeitraum eventuell leicht überschätzt wird. Während einer kürzeren Phase zum Monatswechsel Februar/März beruhen die Ergebnisse fast ausschließlich auf Matchereignissen in den inneren 50% des Wirbels. Da aber bereits vorher L_s schon in allen Bereichen des Wirbels sehr weit zurückgegangen war (Abbildung 7.13b), dürfte das keine Auswirkung auf das sehr kleine Wirbelmittel von L_s während dieser Periode haben. Im März ist die Beprobung des Wirbels oberhalb von 440 K wieder sehr gleichmäßig. In 440 K ist allerdings der Wirbelkern im Ergebnis etwas überrepräsentiert. Da in dieser Phase des Winters die PSC-Bedingungen im wesentlichen im Wirbelkern unterschritten wurden, erscheint es plausibel, daß L_s in diesem Zeitraum dort größer war als im Wirbelmittel. Es existieren während dieser Phase jedoch nicht genügend Matche, um diese Vermutung aus den Matchdaten überprüfen zu können. Sollte L_s während dieses Zeitraums tatsächlich zum Wirbelkern hin zugenommen haben, würden die Wirbelmittel von L_s in dieser Phase etwas überschätzt werden.

Im Winter 1995/96 wurde während des Januars in 475 K sowohl der äußere Wirbelrand, als auch der innerste Kern schwächer beprobt. In den anderen Niveaus kamen in diesem Zeitraum nicht genügend Matche für eine sinnvolle Auswertung zusammen. Im Februar wurde der Wirbel in allen Niveaus recht gleichmäßig abgedeckt, wobei nur in 475 K der innerste Wirbelkern nicht erfaßt wurde. Da L_s in diesem Zeitraum aber nur wenig mit PV variierte (Abbildung 7.21a), dürfte dies kaum Einfluß auf das berechnete Wirbelmittel von L_s haben, welches in 475 K allenfalls leicht überschätzt wurde. Im März sind dann in allen Niveaus sowohl Wirbelrand als auch Wirbelkern in den Daten unterrepräsentiert. Nach Abbildung 7.21b dürfte das erneut zu einer leichten Überschätzung des Wirbelmittels der Ozonabbaurate führen.

9.2.3 Mögliche Drift der Trajektorien

Da das mittlere Ozonmischungsverhältnis im Wirbel in der Regel eine gewisse Korrelation mit PV aufweist (welche sich aber durchaus in verschiedenen Phasen des Winters ändern kann), würde ein systematischer Effekt auf die berechneten Ozonabbauraten zu erwarten sein, falls die für Match verwendeten Trajektorien systematisch zu kleineren oder größeren PV Werten drifteten. In [Rex, 1993] wurde gezeigt, daß die während des Winters 1991/92 verwendeten Trajektorien kein systematisches Driften über PV-Isolinien hinweg zeigten.

Auch die während 1994/95 und 1995/96 verwendeten Trajektorien wurden einem solchen Test unterzogen. Dabei wurde für unterschiedliche Zeit- und Höhenintervalle jeweils für alle Match-Ereignisse in dem entsprechenden Intervall die Differenz des PV-Wertes auf der Trajektorie zum Zeitpunkt der ersten und der zweiten Ozonsondenmessung gebildet. Die Mittelwerte und Streuungen dieser Differenzen wurden untersucht. Dabei fand sich in keinem Fall ein signifikant von Null verschiedener Mittelwert der Differenzen. Für 92 Matche im Januar 1995 zwischen 470 und 480 K betrug der Mittelwert der nPV Differenz zwischen End- und Anfangspunkt z.B. $-0,36 \text{ s}^{-1}$, die Streuung der Mittelwerte betrug $3,15 \text{ s}^{-1}$. Aus dieser Streuung wird der 1σ Fehler des Mittelwerts zu $\pm 0,33 \text{ s}^{-1}$ abgeschätzt.

9.3 Vergleich der Ergebnisse mit anderen Arbeiten

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit mit denen anderer Studien verglichen. Wegen der starken vertikalen und zeitlichen Variabilität der Ozonabbauraten ist bei einem solchen Vergleich auf eine genaue Übereinstimmung der jeweiligen Untersuchungsgebiete und Zeiträume zu achten. Die Match-Methode erlaubte die Bestimmung der Abbauraten in relativ großer vertikaler und zeitlicher Auflösung. Die gefundenen maximalen Raten wirken

daher auf den ersten Blick häufig größer als die anderer Arbeiten. Dies ist jedoch meist darauf zurückzuführen, daß in diesen Arbeiten über längere Zeiträume gemittelt wird, wodurch kleinere maximale Raten auftreten. In diesem Abschnitt werden daher die Ergebnisse von Match jeweils in gleicher Weise gemittelt, bevor sie mit denen anderer Arbeiten verglichen werden. Die jeweils verwendeten Methoden der anderen Arbeiten sind in Kapitel 4 beschrieben.

Für den Winter 1991/92 können die Match-Ergebnisse mit dem von Browell et al. [1993] aus Lidardaten abgeschätzten akkumulierten Ozonverlust verglichen werden. Browell et al. [1993] schätzen den chemischen Ozonverlust in 460 K innerhalb des Polarwirbels zwischen dem ersten Satz ihrer Messungen (14. Januar bis 23. Januar 1992) und ihrem zweiten Meßdatensatz (19. und 20. März 1992) mit 23 % innerhalb des Polarwirbels ab. Ihre Definition des Polarwirbels ($PV > 27,5$ PVU in 460 K, das entspricht 33 s^{-1} nPV) umfaßt einen etwas größeren Bereich als die in der vorliegenden Arbeit verwendete Definition. Sie machen keine Aussage darüber, auf welche Referenzgröße sich ihre prozentuale Angabe bezieht. Wird das von ihnen angegebene mittlere Januarprofil als Referenz verwendet, erhält man aus der prozentualen Angabe in dem angegebenen Zeitraum einen akkumulierten Verlust von etwa 0,72 ppmv Ozon. Die Match-Analyse ergab in dem gleichen Zeitraum und Höhenbereich einen Verlust von 0,89 ppmv. Bei Berücksichtigung der Tatsachen, daß die verwendeten Definitionen des Wirbelrand etwas unterschiedlich sind und daß Browell et al. [1993] nur einen kleinen Teil der innerhalb des Wirbels gelegenen Luftmassen beprobt haben, sind diese beiden Ergebnisse konsistent.

Für den Winter 1994/95 sind mehrere Abschätzungen des chemischen Ozonverlusts veröffentlicht bzw. zur Veröffentlichung eingereicht worden. Manney et al. [1996b] verwendete Daten von MLS und Transportrechnungen. Sie definieren den Polarwirbel in 465 K als den Bereich mit PV Werten größer als 30 PVU. Dies sind etwa 34 s^{-1} nPV was der in der vorliegenden Arbeit verwendeten Definition recht gut entspricht. Manney et al. [1996b] fanden einen chemischen Ozonverlust von 0,5 ppmv auf der 465 K Isentrope zwischen dem 21. Dezember 1994 und dem 1. Februar 1995. Werden die Ozonverlustraten von Match auf dem gleichen Niveau zwischen dem 1. Januar und dem 1. Februar 1995 integriert, ergibt sich ein Ozonverlust von $0,55 \pm 0,15$ ppmv. Nimmt man an, daß kein wesentlicher Ozonverlust zwischen dem 21. und 31. Dezember 1994 stattgefunden hat, stimmen die Werte beider Methoden sehr gut überein. Die Annahme ist aufgrund des in dieser Zeit mangelnden Sonnenlichtes sehr plausibel. Über den Februar 1995 schätzten Manney et al. [1996b] einen akkumulierten Verlust von 0,3 bis 0,4 ppmv auf der 465 K Isentropen ab. Die Match-Analyse ergibt im gleichen Zeitraum und Höhenbereich einen Ozonverlust von $0,41 \pm 0,24$ ppmv. Die Analyse von Manney et al. [1996b] endet am 8. März. Für die ersten acht Märztag fanden sie in 465 K keinen signifikanten Ozonverlust. Die Matchanalyse findet in diesem Zeitraum $0,16 \pm 0,09$ ppmv Ozonverlust auf der 465 K Isentropen. Der weitaus größere Teil des Ozonverlusts, der im März von der Match-Analyse gefunden wurde, fand nach dem 8. März statt. Zusammenfassend kann die Übereinstimmung der Ergebnisse der vorliegenden Arbeiten mit denen von Manney et al. [1996b] als sehr gut bezeichnet werden.

Braathen et al. [1996] verwenden das über den Wirbel gemittelte Ozonmischungsverhältnis, welches von Ozonsonden gemessen wurde. Als Polarwirbels wird in 475 K der Bereich mit PV Werten größer als 42 PVU bezeichnet, was 42 s^{-1} nPV entspricht. Dies sind etwa die inneren 80 Flächenprozent des in der vorliegenden Arbeit als Polarwirbel bezeichneten Bereichs. Braathen et al. [1996] zeigten, daß das von den Sonden gemessene mittlere Ozonmischungsverhältnis im Wirbel in 475 K zwischen dem 18. Januar und dem 24. Februar 1995 mit einer durchschnittlichen Rate von $1,1 \pm 0,1$ %/Tag abnahm. Auf den gleichen Zeitraum und Höhenbereich bezogen betrug die mittlere von Match gemessene prozentuale Ozonabbaurate $0,82 \pm 0,17$ %/Tag. Auf

der 435 K Isentrope fanden Braathen et al. [1996] einen Rückgang des Ozonmischungsverhältnisses mit einer mittleren Rate von $1,0 \pm 0,1$ %/Tag zwischen dem 10. Januar und dem 10. April 1995. In der kürzeren Periode vom 1. März bis zum 21. März 1995 fanden sie eine mittlere Rate der Ozonabnahme von $2,5 \pm 0,6$ %/Tag. Werden die chemischen Ozonverlustraten von Match auf dieser Isentrope über die gleichen Zeiträume gemittelt, ergeben sich $1,2 \pm 0,2$ %/Tag bzw. $2,9 \pm 0,4$ %/Tag. Im allgemeinen ergibt sich während der hier betrachteten Zeiträume eine recht gute Übereinstimmung zwischen den chemischen Ozonverlustraten und der Abnahme des Ozonmischungsverhältnisses auf einer Isentrope im Wirbel. Dabei sind jedoch im unteren Bereich die Ozonabnahmeraten etwas kleiner, als die in der vorliegenden Arbeit berichteten chemischen Ozonverluste. Der Hauptgrund hierfür ist höchstwahrscheinlich diabatischer vertikaler Transport von höherem Ozonmischungsverhältnis in die Isentrope hinein. Der Austausch von Luftmassen über den Wirbelrand ist als weiterer schwer kalkulierbarer Faktor zu berücksichtigen.

Müller et al. [1996] verwenden die Korrelation von Ozon mit Methan zur Bestimmung chemischer Ozonverluste. Sie berichten konsistent mit dem hier gezeigten Ergebnis lokale Ozonverluste von 'über 50 %' bis Ende März 1995. Als Verlust in der Ozonsäule erhalten sie bis Ende März 85 ± 16 DU. Dieser Wert ist signifikant kleiner als der in der vorliegenden Arbeit berichtete chemische Verlust in der Gesamtsäule, welcher 127 ± 14 DU beträgt. Als Grund für diese Diskrepanzen kommen eine ungleichmäßige Beprobung des Polarwirbels durch die bei Müller et al. [1996] verwendeten HALOE Daten oder Mischungsprozesse über den Wirbelrand in Betracht. Diese können einen schwer einschätzbaren Effekt auf die Analyse von Müller et al., [1996] haben (siehe Kapitel 4). Ein kleinerer Teil der Abweichung kann auch darauf beruhen, daß Müller et al. [1996] nur die in der Säule zwischen 350 K und 550 K auftretenden Ozonverluste erfaßt, während in der vorliegenden Arbeit auch der Bereich 550 bis 600 K noch mit einem kleinen Teil am Verlust in der Gesamtsäule beteiligt war.

Goutail et al. [1997] verknüpften SAOZ Messungen mit Transportmodellrechnungen. Wie Braathen et al. [1996] verwenden sie 42 PVU in 475 K als Außengrenze des Polarwirbels. Sie berichten einen akkumulierten Verlust in der Ozongesamtsäule von 160 ± 20 DU von Ende Dezember bis Ende März. Der in der vorliegenden Arbeit erhaltene Wert für den chemischen Verlust der Ozongesamtsäule im gleichen Zeitraum beträgt 127 ± 14 DU. Der von Goutail et al. [1997] angegebene Wert ist größer, die Fehlerbalken überlappen jedoch noch.

Die chemischen Ozonverluste des Winters 1995/96 wurden bisher von zwei Arbeiten behandelt. Manney et al. [1996a] untersuchten den Zeitraum 29. Januar bis 3. März mit MLS-Daten und Transportrechnungen und fanden in 465 K eine über diesen Zeitraum gemittelte chemische Ozonabbaurate von 22 ppbv/Tag. Werden die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit in der gleichen Isentrope über den gleichen Zeitraum gemittelt, ergibt sich eine mittlere Rate von 20 ± 4 ppbv/Tag, also eine sehr gute Übereinstimmung.

Müller et al. [1997] untersuchten die Ozon/Methan Korrelation in den Daten von HALOE und berichten vom Winter 1995/96 ca. 2,9 ppmv in 450 K als maximalen chemischen Verlust in einer Höhenschicht zwischen Ende Januar und dem 10. April 1996. Dieser Wert liegt merklich über dem Verlust von $2,4 \pm 0,3$ ppmv im gleichen Zeitraum und Höhenbereich, der sich in der vorliegenden Arbeit aus einer Analyse der Matchdaten ergab. Als mögliche Ursachen für die Differenz kommen die bereits oben genannten Gründe in Betracht.

Als Fazit dieses Abschnitts kann festgestellt werden, daß in der Regel recht gute Übereinstimmungen vorliegen, wo ein Vergleich der vorliegenden Ergebnisse mit denen anderer Studien möglich ist, die Chemie und Dynamik quantitativ trennen. Dies gilt besonders für Vergleiche der Ergebnisse mit denen, die mit dem Verfahren von Manney et al. [1996] und Manney et al. [1996b] gewonnen wurden. Da sich bei diesem Verfahren sowohl die Art der Ozonbeobachtung als auch die der Auswertung der Daten beträchtlich von den Mitteln unterscheiden, die in der vorliegenden Arbeit verwendet wurden, läßt diese Übereinstimmung das Vertrauen in die Ergebnisse wachsen. Merkliche, teilweise signifikante Abweichungen der Ergebnisse treten allerdings zu den Arbeiten auf, die Ozonabbau mit Hilfe von Tracerkorrelationen bestimmen.