

**VERBESSERUNG STATISTISCHER
OZONPROGNOSEN MITTELS CLUSTERUNG
VON TRAJEKTOREN**



VERBESSERUNG STATISTISCHER OZON- PROGNOSEN MITTELS CLUSTERUNG VON TRAJEKTORIEN

**A. STOHL
H. SCHEIFINGER
H. KROMP-KOLB**

UBA-BE-023

Wien, Oktober 1994

Bundesministerium für Umwelt,
Jugend und Familie



A. Stohl, H. Scheifinger, H. Kromp-Kolb (Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien)

Impressum:

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt, 1090 Wien, Spittelauer Lände 5

© Umweltbundesamt, Wien, Oktober 1994

Alle Rechte vorbehalten
ISBN 3-85457-205-0

INHALT

1. EINLEITUNG	5
2. METHODIK	7
2.1. Dreidimensionale Clusterung von Ozon, Temperatur und Trajektorien	8
2.2. Trajektorienclusterung mit anschließender Regression	11
2.2.1. Trajektorienclusterung	11
2.2.2. Multiple Regression mit Temperatur und Ozonkonzentration des Vortags	17
3. ERGEBNISSE	19
3.1. Datengrundlage	19
3.2. Vergleich der prognostizierten mit den gemessenen Temperaturen	20
3.3. Zusammenhang Ozon - Wetterlage	22
3.4. Zusammenhang Ozon - Maximumtemperatur	27
3.5. Persistenz von Ozon	27
3.6. Ozonprognose	30
4. ÜBERPRÜFUNG DER PROGNOSEMETHODE	35
5. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSBEMERKUNGEN	39
6. LITERATUR	41
ANHANG A	43
ANHANG B	45
ANHANG C	51



1. EINLEITUNG

In den letzten Jahren wurde zunehmend klar, daß die Erhöhung der Konzentration des Ozon in der unteren Troposphäre eines der großen Umweltprobleme unserer Zeit darstellt. Die Ursache dafür muß in einer vermehrten anthropogenen Emission von Vorläufersubstanzen gesucht werden, welche zusammen mit der Sonnenstrahlung zu einer bedeutenden photochemischen Bildung des Ozon in bodennahen Luftschichten führt (z.B. Wege und Vandersee, 1991, National Research Council, 1991). Das Ozon ist aufgrund seiner stark oxidierenden Wirkung vor allem für Pflanzen, aber auch für den menschlichen Organismus hochtoxisch (Österr. Akad. d. Wiss., 1989; Prinz, 1988; Taylor, 1984).

Für die gesundheitsschädigenden Wirkungen am Menschen sind vor allem die hohen Spitzenkonzentrationen bedeutend, die meist während sogenannter Ozonepisoden auftreten. Bei bestimmten meteorologischen Rahmenbedingungen können in der Umgebung von Gebieten mit hohen Primärschadstoffemissionen extrem hohe Ozonkonzentrationen entstehen. Ihrer Prognose kommt deshalb besondere Bedeutung zu, da bei einer rechtzeitigen Vorhersage durch emissionsreduzierende Maßnahmen Spitzenwerte verhindert werden können.

Grundsätzlich stehen zwei Ansätze zur Erstellung einer Vorhersagemethode zur Verfügung, wobei ein Ansatz von einer Modellierung der physikalischen und chemischen Prozesse in der Atmosphäre ausgeht und der andere von einer statistischen Erfassung der Beziehungen zwischen der Ozonkonzentration und atmosphärischen Parametern. Beide Methoden haben sowohl Vor- als auch Nachteile.

Der Reiz der Modellprognose liegt in dem impliziten Verständnis der meteorologischen und chemischen Prozesse und dem Vorteil, die Wirkung von Emissionsreduktionen auf die Ozonkonzentration quantitativ zu überprüfen. Es kann daher z.B. mit Modellen für konkrete Fälle festgelegt werden, auf welches Niveau die Emissionen abgesenkt werden müssen, um eine Einhaltung von Grenzwerten zu ermöglichen. Der Nachteil der Modellprognose liegt in ihrer geringen Zuverlässigkeit, die ihren praktischen Nutzen stark einschränkt. So wird z.B. am RIVM (entspricht dem österreichischen UBA) in Holland zwar routinemäßig eine Modellprognose durchgeführt, das Hauptgewicht der endgültigen Prognose liegt aber bei einem statistischen Verfahren (deLeeuw, 1994).

Statistische Verfahren bieten zur Zeit noch eine etwas größere Zuverlässigkeit, weisen dafür aber den Nachteil auf, daß sie nur solange gültig sind, wie die äußeren Randbedingungen sich nicht ändern, d.h., daß sie auch nur sehr beschränkt zur Beurteilung der Wirksamkeit von Emissionsreduktionen herangezogen werden können. Außerdem sind sie nur begrenzt fähig, außergewöhnliche Situationen (z.B. seltene Ozonepisoden) zu erfassen, da deren seltenes Auftreten zu sehr kleinen Stichproben als Grundlage für statistische Aussagen führt. Gerade das Aufeinandertreffen mehrerer derartiger außergewöhnlicher Bedingungen kann Ozonepisoden verursachen. Als günstigste Strategie wird eine Kombination statistischer Verfahren mit Modellrechnungen betrachtet. Die vorliegende Arbeit beschränkt sich auf den statistischen Teil eines Gesamtkonzeptes und hat die Entwicklung eines verbesserten statistischen Verfahrens zur Ozonprognose zum Ziel.

Grundsätzlich können sehr unterschiedliche Parameter zur Ozonprognose herangezogen werden. Zum einen sind dies meteorologische Faktoren, zum anderen Parameter, die Emissionen beschreiben. Stohl und Kromp-Kolb (1994a) haben zum Beispiel gefunden, daß Ozonepisoden im Großraum Wien an Sonntagen aufgrund der Emissionsreduktion in der Stadt weniger häufig auftreten.

Zahlreiche meteorologische Faktoren beeinflussen die Ozonkonzentrationen. Dadurch werden Aussagen über anthropogen verursachte langfristige Ozone Trends erschwert (National Research Council, 1991; Cox und Shao-Hang Chu, 1993). Für die kurzfristige Prognose der Ozonkonzentrationen erweisen sich als besonders aussagekräftige Prädiktoren wurden

Temperatur, UV-Strahlung, Globalstrahlung und Windgeschwindigkeit (z.B. Feister und Balzer, 1991; Rappenglück et al., 1993; Vandersee et al., 1992). Besonders hoch ist die tägliche Maximumtemperatur mit der maximalen Ozonkonzentration korreliert, wobei der Zusammenhang über weite Konzentrationsbereiche annähernd linear ist.

Neben der Qualität der Korrelation der meteorologischen Faktoren mit der Ozonkonzentration ist für die Auswahl der Prädiktoren auch noch die Prognostizierbarkeit dieser Faktoren entscheidend. Parameter, die zwar eng mit Ozon korreliert, aber selbst nicht prognostizierbar sind, eignen sich nicht für eine statistische Analyse. Gerade die Maximumtemperatur ist aber sehr zuverlässig prognostizierbar, sodaß sie den für die Ozonprognose geeignetsten Parameter darstellt. Stohl und Kromp-Kolb (1994a) untersuchten neben der Temperatur noch einige andere in Frage kommende Prädiktoren (Globalstrahlung, Minimumtemperatur, Luftdruck, Windgeschwindigkeit, Wasserdampf-Mischungsverhältnis sowie den Vertikalgradient der potentiellen Temperatur). Von diesen Faktoren wurde neben der Maximumtemperatur nur noch die Minimumtemperatur als wertvoller, leicht prognostizierbarer Parameter gefunden. Da manche meteorologische Parameter in unmittelbarem Zusammenhang mit der Maximumtemperatur stehen, bringen sie wenig Zusatzinformation, obwohl sie für sich genommen eng mit Ozon korreliert sind (z.B. Globalstrahlung).

Der Weg einer Luftmasse, repräsentiert durch Trajektorien, bestimmt die Einbringung von Präkursoren in die Luftmasse und damit die maximal erreichbare Ozonkonzentration (Stohl und Kromp-Kolb 1994a, 1994b). Bisher wurden Trajektorien im Rahmen der statistischen Ozonprognose in der Regel nur zur groben Unterscheidung zwischen kontinentalen und maritimen Luftmassen verwendet (deLeeuw, 1994). Hier soll der Versuch unternommen werden, die über 24 Stunden relativ zuverlässig prognostizierbaren Trajektorien in die Ozonprognose miteinzubinden.

2. METHODIK

Auf Grund der guten Erfahrungen mit der täglichen Maximumtemperatur für die Ozonprognose wird sie auch in dieser Arbeit als einer der Prädiktoren verwendet. Als zweiter Prädiktor für die Prognose des dreistündigen Ozonmaximums wird das beobachtete Ozonmaximum des Vortags herangezogen, da die Persistenz der Ozonkonzentration beträchtlich ist (Feister und Balzer, 1991). Als dritter Prädiktor gehen schließlich die Trajektorien ein, über deren Bedeutung für die Ozonprognose aus der Literatur bisher nur wenig bekannt ist.

Die verwendeten Trajektorien basieren auf analysierten Windfeldern des Europäischen Zentrums für Mittelfristige Wettervorhersage (EZMW), die eine räumliche Auflösung von 1.5 Grad geografischer Breite bzw. Länge und eine zeitliche Auflösung von sechs Stunden haben. Daraus wurden 48stündige isobare (850 hPa) Rückwärtstrajektorien für mehrere Aufpunkte in Österreich berechnet. Mit diesen Trajektorien können nur regionalskalige Transportprozesse, nicht aber lokale Verlagerungen erfaßt werden. Die Prognose jener Ozonepisoden, die überwiegend aufgrund lokaler Ozonbildung zustande kommen, ist daher mit diesen Trajektorien grundsätzlich nicht möglich. Allerdings kann mit diesen Trajektorien die Neigung einer Wetterlage zur lokalen Ozonbildung besser als bisher charakterisiert werden.

Um die Trajektorien in die statistische Analyse einbinden zu können, wurden sie mittels Clusteranalyse nach Dorling et al. (1992) klassifiziert. Ziel der Clusteranalyse ist es, die Trajektorien in Gruppen aufzuteilen, wobei die Unterschiede der Trajektorien *innerhalb* einer Gruppe *minimiert*, die Unterschiede *zwischen* den Gruppen aber *maximiert* werden. Für jede der Gruppen werden die Korrelationen mit den anderen Prädiktoren gesondert ermittelt. Sind die Gruppen einmal festgelegt, kann jede prognostizierte Trajektorie eindeutig einer dieser Gruppen zugeordnet werden und so für die Ozonprognose herangezogen werden. Das Verfahren nach Dorling et al. (1992) besteht aus folgenden Schritten:

- 1) Auswahl von N (z.B. 30) sogenannten „Saat-Trajektorien“. Diese können weitgehend beliebig gewählt werden.
- 2) Jede der tatsächlichen Trajektorien wird der nächsten „Saat-Trajektorie“ zugeordnet und so Cluster gebildet. Das Distanzmaß dieser Zuordnung wird unten beschrieben. Nach der vollständigen Zuordnung der Trajektorien wird in jedem Cluster die Mitteltrajektorie berechnet. Sie ersetzt die jeweilige „Saat-Trajektorie“.
- 3) Da die Mitteltrajektorien mit den ursprünglichen „Saat-Trajektorien“ nicht übereinstimmen, befinden sich einige Trajektorien im falschen Cluster. Deshalb werden die Trajektorien erneut der nächsten Mitteltrajektorie zugeordnet. Danach wird wieder in jedem Cluster die Mitteltrajektorie berechnet. Das Verfahren wird so oft fortgesetzt, bis sich keine Änderungen in der Zuordnung mehr ergeben alle Trajektorien richtig zugeordnet sind.
- 4) Die mittlere quadratische Abweichung jeder Trajektorie von ihrer Clustermitteltrajektorie wird berechnet und über alle Trajektorien zur totalen mittleren quadratischen Abweichung aufsummiert. Diese ist ein Maß für die Güte der Clusterung.
- 5) Nun werden diejenigen zwei Cluster miteinander verschmolzen, deren Mitteltrajektorien den geringsten Abstand zueinander aufweisen. Wie in Punkt 3 werden alle Trajektorien dem Cluster der nächsten Mitteltrajektorie zugeordnet.
- 6) Punkt 4 wird wiederholt und so die mittlere quadratische Abweichung für N-1 Cluster berechnet.
- 7) Durch schrittweises Wiederholen von Punkt 5 wird die Zahl der Cluster solange reduziert, bis nur mehr ein Cluster übrigbleibt.
- 8) Dadurch erhält man für jede Clusteranzahl von N bis 1 eine totale mittlere quadratische Abweichung. Sie steigt mit sinkender Clusteranzahl immer mehr an, allerdings nicht immer gleichmäßig, sondern manchmal sprunghaft.

- 9) Bei der Wahl der optimalen Clusterzahl ist ein Kompromiß zwischen der Beibehaltung von viel Information durch eine möglichst große Clusterzahl und einer unkomplizierten praktischen Handhabung durch eine möglichst geringe Clusterzahl anzustreben. Dabei sind die mittleren quadratischen Abweichungen nützlich. Wenn sprunghafte Änderungen auftreten, sollte die einem Sprung folgende höhere Clusteranzahl gewählt werden, da durch die Hinzunahme des einen Clusters die praktische Handhabung nicht wesentlich erschwert wird, der Informationsgewinn aber beträchtlich ist.

Das Ergebnis des beschriebenen Clusterungsverfahrens ist sensibel auf das verwendete Distanzmaß. Als Distanz wurde in der vorliegenden Arbeit der Abstand der einzelnen Koordinatenpunkte auf einer polarstereografischen Projektion verwendet. Die sechsstündig vorliegenden Abstände wurden zu einem Gesamtabstand addiert. Da die letzten Stunden der Verlagerung für die Ozonkonzentrationen wahrscheinlich wichtiger sind als die weiter zurückliegenden wurden die Abstände mit einer geometrischen Reihe mit dem Faktor 0.6 gewichtet. Der Berechnung der Mitteltrajektorie eines jeden Clusters wurde ebenfalls das oben definierte Distanzmaß zugrunde gelegt. Als optimale Clusterzahl wurde 8 ausgewählt.

2.1. Dreidimensionale Clusterung von Ozon, Temperatur und Trajektorien

Mit dem angewandten Clusterungsverfahren lassen sich auch mehrdimensionale Clusterungen durchführen. Neben den Trajektorien wurden auch noch das Tagesmaximum der Temperatur und der maximale Dreistundenmittelwert (3MW) der Ozonkonzentration des Vortags mit einbezogen. Das Verfahren läßt sich unverändert anwenden, allerdings muß man ein geeignetes Distanzmaß finden, das die Parameter Ozon, Temperatur und Trajektorien zusammenfaßt. Dazu müssen die Streuungen in allen drei Parametern in eine einzige Gleichung einbezogen werden. Da zunächst eine Streuung von Ozon (in ppb) nicht mit einer solchen der Temperatur (in Grad Celsius) oder der Trajektorien vergleichbar ist, müssen die Streuungen normiert werden. Dazu wurden jeweils die Standardabweichungen von Temperatur, Ozonkonzentration und Abstand zur Gesamtmitteltrajektorie berechnet. Die für Einzelfälle auftretenden Abweichungen in allen drei Parametern wurden dann mit der Standardabweichung des jeweiligen Parameters normiert. Dadurch wurde den drei Parametern jeweils gleiches Gewicht gegeben. Ein Versuch mit unterschiedlichen Gewichten verbesserte die Qualität der Prognose kaum.

Ein Beispiel für das Ergebnis einer dreidimensionalen Clusterung für den Exelberg mit acht Clustern ist in Abbildung 1 wiedergegeben. Als Eingangsparameter für die dreidimensionale Clusterung wurde der maximale 3MW des Ozon vom Vortag, das aktuelle Tagesmaximum der Temperatur und die aktuelle Trajektorie herangezogen. Die Prozedur der Clusterung besitzt die Eigenschaft, die Wertebereiche aller drei Parameter so aufzutrennen, daß diese von Cluster zu Cluster verschieden sind und sich möglichst wenig überschneiden. So weist zum Beispiel Cluster 1 sehr niedrige Ozonkonzentrationen, mittlere Temperaturwerte sowie Trajektorien aus dem Westen auf. Cluster 2 zeigt niedrigere Temperaturen, höhere Ozonkonzentrationen und Trajektorien aus dem Nordwesten (Abbildung 1).

Man erkennt, daß die Clusterungsprozedur sehr gut in der Lage ist, hohe von niedrigen Ozonkonzentrationen zu unterscheiden. Zum Beispiel liegen selbst Median und Mittelwert von Cluster 8 höher als die 90. Perzentile aller anderen Cluster. In den Clustern 1-6 wird kein einziges Mal der Grenzwert von 100 ppb überschritten, in Cluster 7 nur ein einziges Mal. Hingegen wird in Cluster 8 in mehr als 10 % der Fälle 100 ppb überschritten.

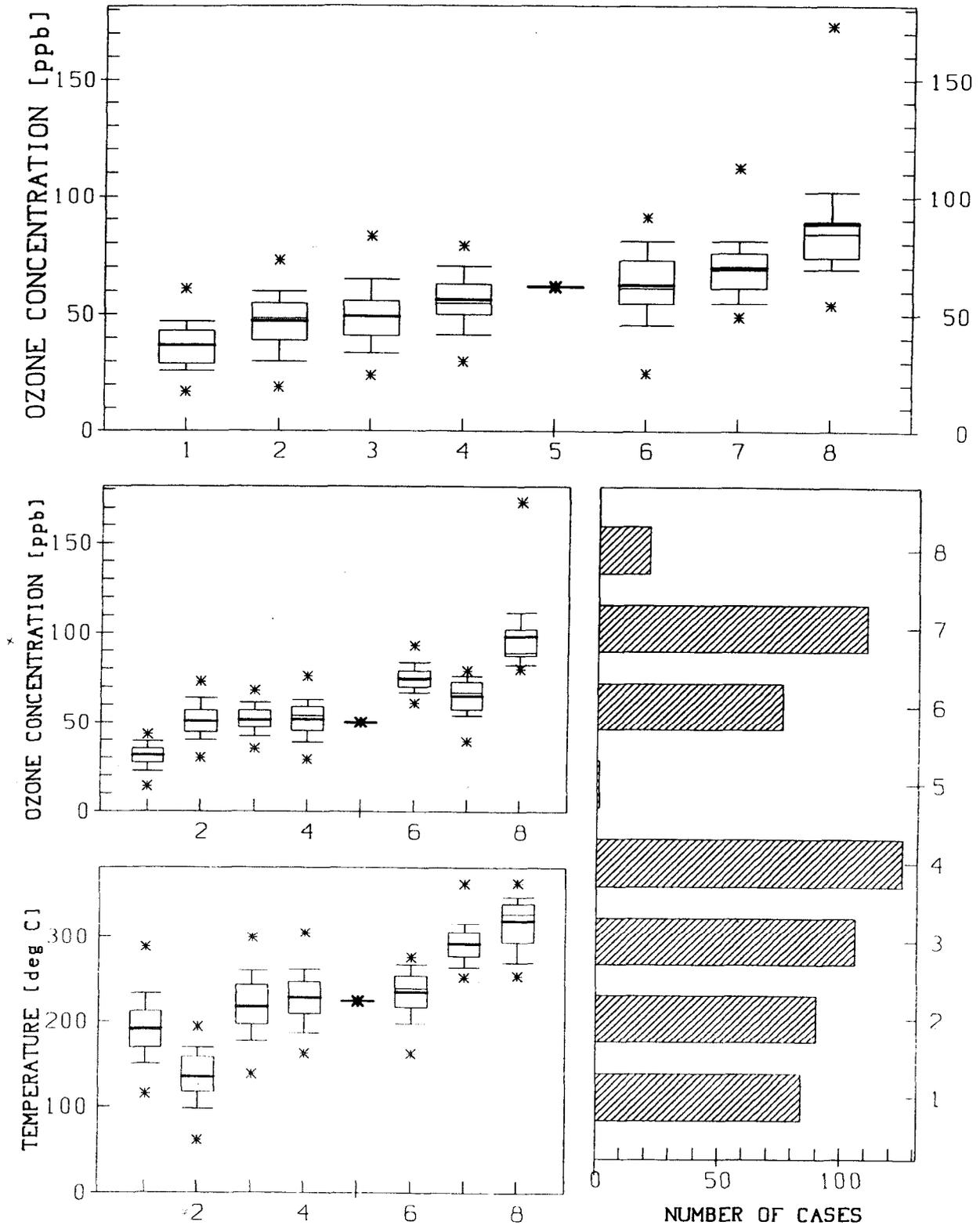
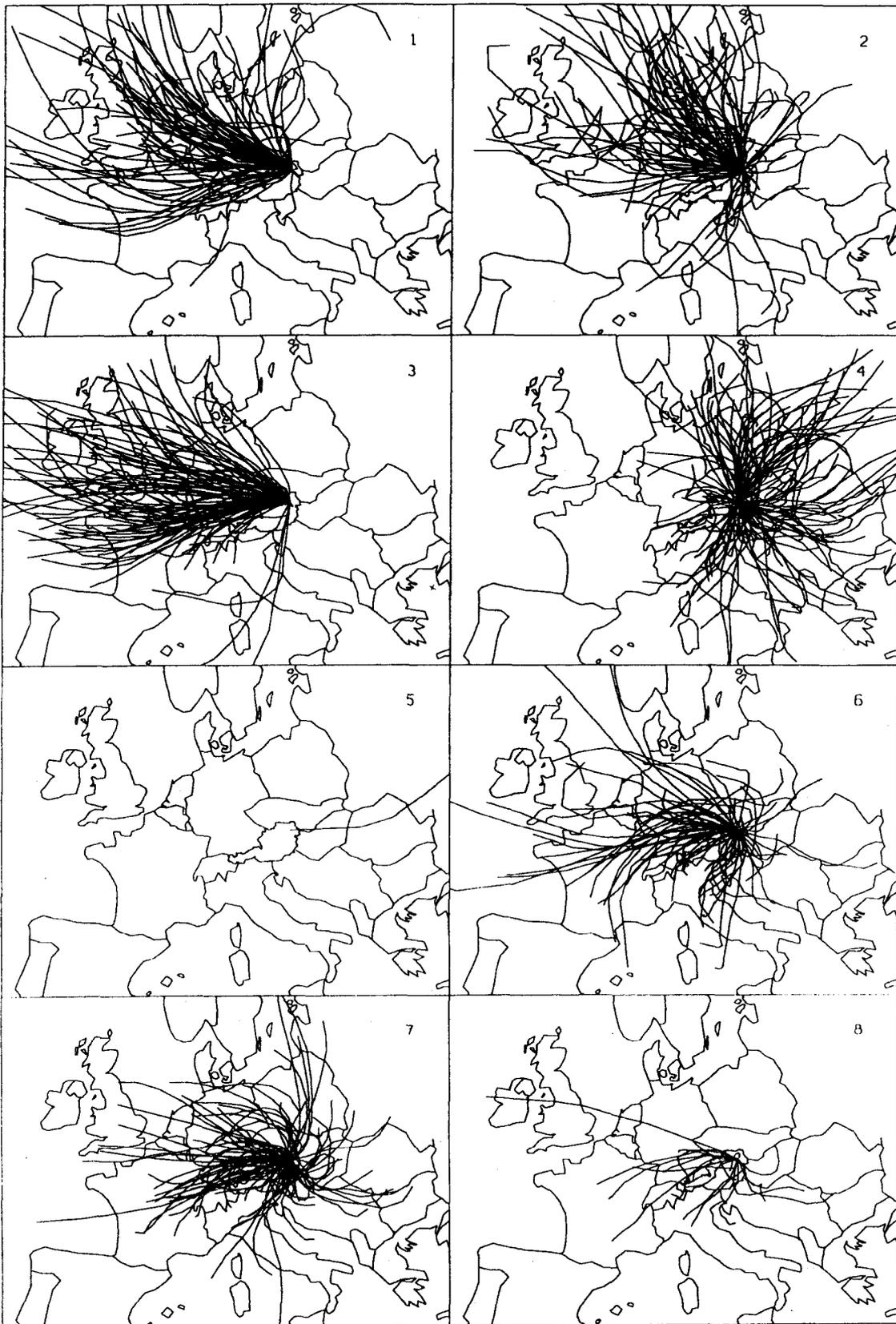


Abbildung 1: Darstellung des Resultates einer dreidimensionalen Clusterung für den Exelberg. Auf der linken Seite oben ist die „prognostizierte Ozonkonzentration“ dargestellt, in der Mitte die Ozonkonzentration des Vortags, links unten die Maximumtemperatur und Anzahl der Fälle in den einzelnen Clustern rechts unten. Auf der rechten Seite wurden die geclusterten Trajektorien geplottet.

EXELBERG



Die Verteilung von Temperatur und Ozon auf die einzelnen Cluster ist für jeden Cluster in Form sogenannter Box-and-Whiskers-Plots dargestellt. Es bedeuten

- Dicker Strich = Mittelwert
- „Flügel“ = 10. und 90. Perzentil
- Dünner Strich = Median
- Sterne = Minimal- und Maximalwert
- Balken = Gebiet zwischen dem 25. und dem 75. Perzentil

Der Vorteil dieser Methode besteht darin, daß man keine Punktwertprognose erhält, sondern die Unsicherheit der Prognose an der „prognostizierten“ Ozonverteilung unmittelbar ablesen kann. Ein schwerwiegender Nachteil besteht allerdings darin, daß die tatsächlichen Episoden nicht genügend scharf von den anderen Fällen abgetrennt werden. So liegen im 8. Cluster („Episodencluster“) 10 % der Fälle unterhalb von 70 ppb. Das liegt daran, daß auch die Eingangsgrößen Temperatur, Ozonkonzentration des Vortags und Trajektorien nicht genügend scharf getrennt werden. So treten im „Episodencluster“ Temperaturen ab 26°C auf. Die endgültige Prognose könnte sich zwar noch an den tatsächlichen Temperaturen orientieren und die Trefferrate deutlich erhöhen, dennoch scheint das Resultat nicht befriedigend. Aus diesem Grund wurde von der reinen, mehrdimensionalen Clusteranalyse abgegangen und eine Kombination mit linearer Regression verwendet.

2.2. Trajektorienclusterung mit anschließender Regression

Da mit multipler Regression von Temperatur und Ozon vom Vortag gute Erfahrungen vorliegen (Stohl und Kromp-Kolb, 1994a), andererseits die Trajektorien einer solchen aber nicht zugänglich sind, wurde das Prognoseverfahren in zwei Schritte aufgespalten. Zunächst wurde eine einfache Clusteranalyse der Trajektorien durchgeführt. Anschließend wurde für jeden einzelnen Cluster eine lineare multiple Regression in Abhängigkeit von der Ozonkonzentration des Vortags und der Temperatur gerechnet.

2.2.1. Trajektorienclusterung

Da die Trajektorien zum gleichen Zeitpunkt für verschiedene Endpunkte in Österreich nicht allzu unterschiedlich sind, wurde darauf verzichtet, die Trajektorienclusterung für jede Station getrennt durchzuführen. Daher wurde die Clusterung nur für den Sonnblick durchgeführt (Abbildung 2) und deren Resultat als eine für den Ostalpenraum gültige Wetterlagenklassifikation aufgefaßt.

Zunächst wurde geprüft, wie unterschiedlich die Trajektorien an verschiedenen Stationen innerhalb einer Wetterlage sein können. Dazu wurde den Trajektorien verschiedener Ozonmeßstellen jeweils die Clusternummer (=Wetterlage) der Trajektorie vom Sonnblick desselben Tages zugeordnet. Die so entstandenen Trajektoriengruppen wurden für jede Station geplottet und mit der ursprünglichen Trajektorienclusterung vom Sonnblick verglichen. Dazu wurden allerdings nur die Sommerhalbjahre 1992 und 1993 herangezogen, da für die meisten Stationen nur für diesen Zeitraum Trajektorien zur Verfügung standen. Die Gesamtzahl der Trajektorien in den einzelnen Clustern ist daher geringer und auch die prozentuale Verteilung auf die einzelnen Cluster ist unterschiedlich, da diese jahreszeitlich unterschiedlich ist (Tabelle 2).

Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen die Resultate für die Stationen Sulzberg (Vorarlberg) und Illmitz (Burgenland) für die Sommerhalbjahre 92 und 93. Sie stellen aufgrund ihrer geografischen Lage die in Österreich möglichen Extreme dar. Trotzdem ist zu erkennen, daß, abgesehen von einigen „Ausreißern“, die ursprüngliche Klassifikation gut wiederzuerkennen ist. Für alle anderen Stationen waren die Abweichungen von der ursprünglichen Klassifikation (meist weit) geringer. Diese Ähnlichkeit der zeitgleichen Trajektorien innerhalb von Österreich liegt wahrscheinlich größtenteils an der relativ groben Auflösung der verfügbaren EZMW-Windfelder, die Österreich nur mit einigen Gitterpunkten abdecken, begründet. Daher ist der Mehraufwand, der durch die Clusteranalyse der Trajektorien aller ausgewählten Stationen in Österreich verursacht wird, im Hinblick auf die Ozonprognose nicht wirklich zu rechtfertigen. Die Errechnung einer Trajektorienclusterung für die Sonnblickkoordinaten scheint ausreichend und es ist nicht notwendig, für jede Station, für die eine Ozonprognose zu erstellen ist, eine eigene Clusterung durchzuführen. Die hier erarbeitete Methode kann dadurch leichter auch auf in dieser Arbeit nicht betrachtete Stationen ausgeweitet werden. Weitere Vorteile in der Verwendung der Trajektorienclusterung auf der Grundlage der Sonnblickkoordinaten besteht darin, daß der Sonnblick etwa in der Mitte Österreichs liegt und daß im Rahmen des ALPTRAC-Projektes bereits seit 1990 durchgehend Trajektorien für den Sonnblick berechnet wurden. Die Clusterung wurde für den gesamten Zeitraum

durchgeführt, wodurch die Wahrscheinlichkeit größer ist, daß alle typischen Strömungsverhältnisse im Datensatz repräsentiert sind.

Eine für den Endpunkt Sonnblick gerechnete Trajektorie kann mit dem im Anhang wiedergegebenen FORTRAN-Programm einer der Wetterlagen zugeordnet werden. Diese Zuordnung ist sowohl aufgrund prognostizierter als auch aufgrund analysierter Trajektorien möglich.

Das Resultat der Clusterung kann als eine für den Ostalpenraum gültige „Wetterlagenklassifikation“ aufgefaßt werden, wobei jedem Tag eine „Wetterlage“ zugeordnet werden kann. Die „Wetterlagenklassifikation“ kann auch für in dieser Arbeit nicht behandelte Stationen verwendet werden kann.

Abbildung 2 zeigt die neun Wetterlagen, in welche die Trajektorien geclustert wurden. Für jeden Tag liegt für die 12 UTC-Trajektorie eine Einteilung in eine dieser Wetterlagen vor. Die Sequenz der Wetterlagen 1, 2, 3 und 9 können als eine Folge von Westströmungen mit abnehmendem Druckgradienten aufgefaßt werden. Ebenso kann man die Sequenz der Wetterlagen 4, 5 und 9 als Nordströmungen mit abnehmendem Druckgradienten ansehen. Die Wetterlagen 6 und 7 stellen Ostströmungen dar, Wetterlage 8 eine zyklonal geprägte Südwestströmung. Tabelle 1 gibt eine verbale Charakterisierung der einzelnen Wetterlagen, Tabelle 2 zeigt ihre Häufigkeit in den einzelnen Jahreszeiten. Man erkennt, daß im Sommer die Wetterlage 9 (gradientenschwach) über ein Drittel aller Fälle stellt, während die Wetterlagen 1 und 4 (starker Gradient) praktisch überhaupt nicht vorkommen. Sie haben ihre größte Häufigkeit im Winter.

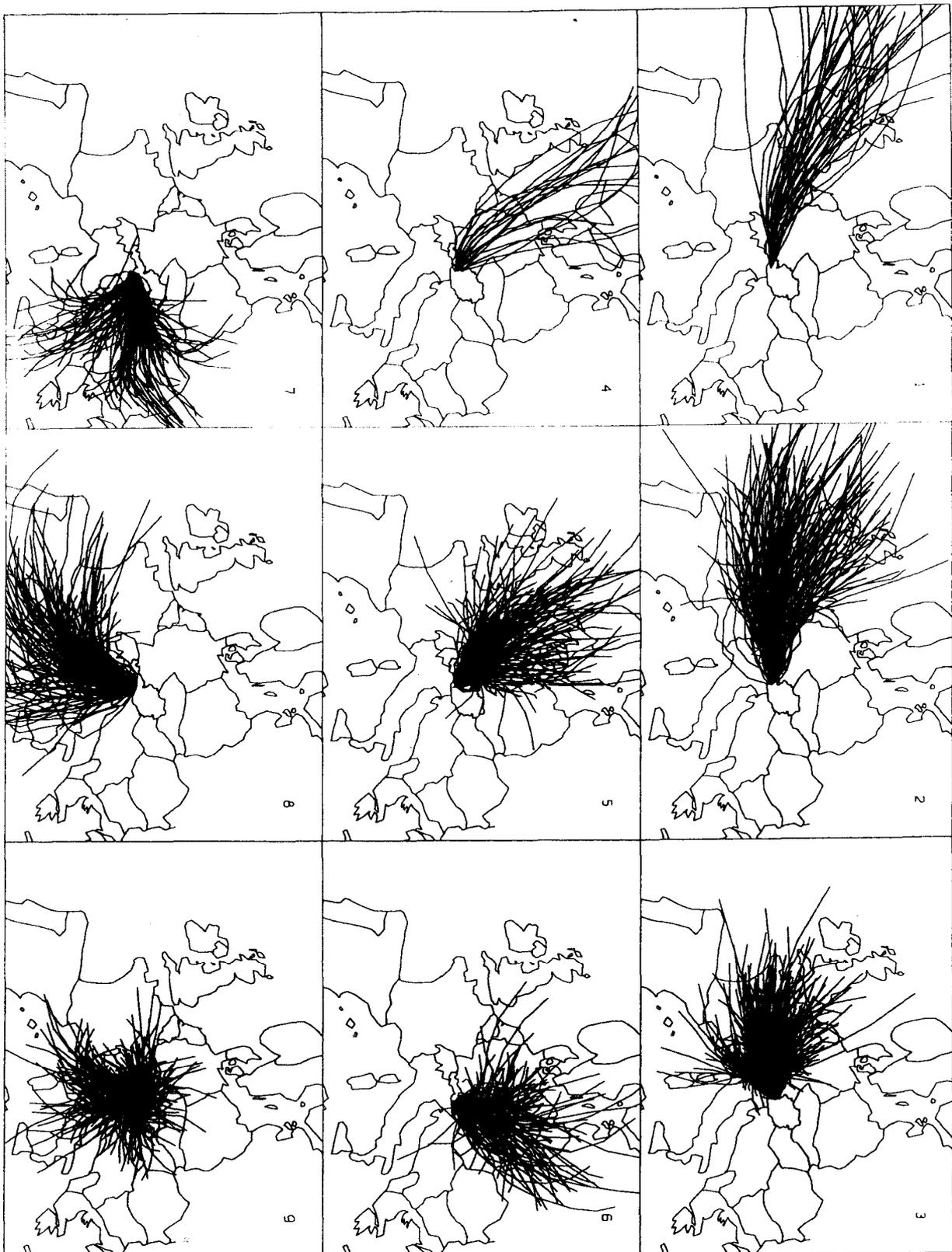


Abbildung 2: Trajektoriencluster der Station Sonnblick (gesamter Zeitraum).

sulzberg

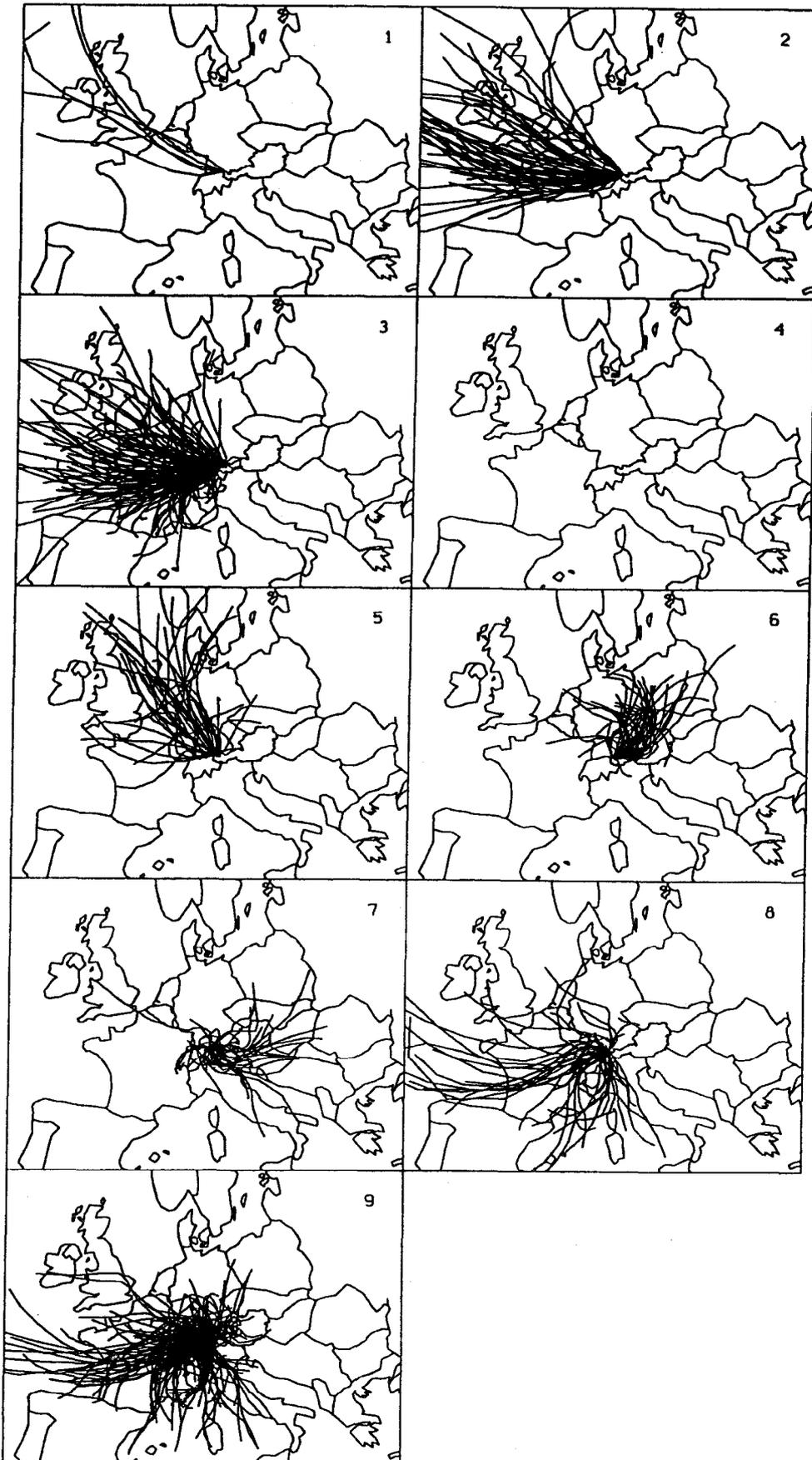


Abbildung 3: Trajektoriencluster der Station Sulzberg (Sommer 92 und 93) geclustert auf Grundlage der Clustereinteilung der Trajektorien vom Sonnblick.

Illmitz

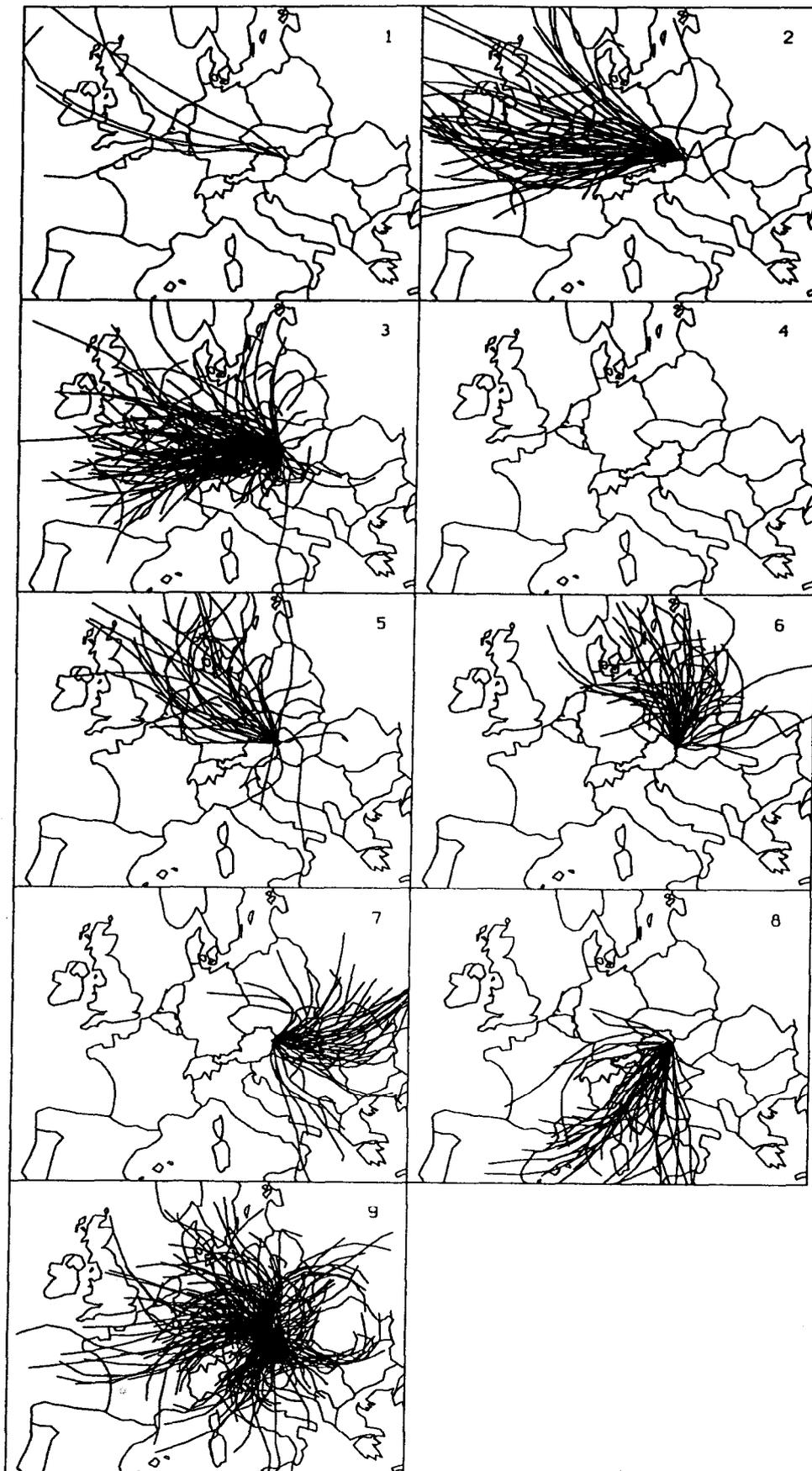


Abbildung 4: Trajektoriencluster der Station Illmitz (Sommer 92 und 93) geclustert auf Grundlage der Clustereinteilung der Trajektorien vom Sonnblick.

Tabelle 1: Verbale Charakterisierung der Wetterlagen

1	W bis NW, maritim, sehr hohe Verlagerungsgeschwindigkeit
2	SW bis NW, maritim, hohe Verlagerungsgeschwindigkeit
3	SW bis NW, maritim bis kontinental, niedrige Verlagerungsgeschwindigkeit
4	NW bis N, maritim, sehr hohe Verlagerungsgeschwindigkeit
5	NW bis N, maritim, hohe Verlagerungsgeschwindigkeit
6	N bis E, kontinental, niedrige Verlagerungsgeschwindigkeit
7	NE bis SE, kontinental, niedrige Verlagerungsgeschwindigkeit
8	S bis SW, maritim, Ursprung im Mittelmeer, zyklonale Krümmung
9	Gradientschwach, keine spezifische Richtung

Tabelle 2: Häufigkeit der Wetterlagen in den einzelnen Jahreszeiten

CLUSTER	WINTER	FRÜHLING	SOMMER	HERBST
1	3.5	1.6	0.0	1.5
2	7.5	9.8	7.6	8.6
3	29.5	18.7	27.5	26.1
4	2.4	0.7	0.0	0.1
5	5.8	13.2	10.9	7.1
6	7.5	9.8	10.4	2.2
7	9.3	10.9	1.6	7.2
8	6.3	6.7	4.8	17.4
9	28.1	28.6	37.2	29.8
Summe	100.0	100.0	100.0	100.0

2.2.2. Multiple Regression mit Temperatur und Ozonkonzentration des Vortags

Im Anschluß an die Trajektorienclusterung wurden für jede Wetterlage lineare Regressionen (Schönwiese, 1985) mit Temperatur und Ozonkonzentration des Vortags gerechnet. Die Korrelation zwischen der aktuellen Ozonkonzentration und der des Vortages gibt Auskunft über die Persistenz des Ozon und kommt einer Autokorrelation mit einer Verschiebung der beiden Zeitreihen um einen Tag gleich. Zur Beurteilung der gefundenen Beziehung wurde der Pearson'sche Korrelationskoeffizient r (variiert zwischen -1 und +1) herangezogen. Der quadrierte Korrelationskoeffizient r^2 gibt den Anteil der Varianz der abhängigen Variablen an, der aufgrund der gefundenen Beziehung durch die Varianz der unabhängigen Variablen erklärt werden kann. Nach der getrennten Untersuchung des Einflusses von Temperatur und Persistenz auf die Ozonkonzentration wurden die beiden Parameter in einer multiplen linearen Regression (Schönwiese, 1985; Kreyszig, 1991; Press et al., 1992) zur Ermittlung der endgültigen Prognosegleichung $O_3(i) = a + b \cdot T + c \cdot O_3(i-1)$ zusammengefaßt. Hierbei sind a , b und c die Regressionskoeffizienten, $O_3(i)$ die Ozonkonzentration, $O_3(i-1)$ die Ozonkonzentration des vorangegangenen Tages und T das aktuelle Tagesmaximum der Temperatur.

Da die Regression für jede Wetterlage einzeln gerechnet wurde, ergeben sich auch für jede Wetterlage unabhängig Regressions- und Korrelationskoeffizienten.



3. ERGEBNISSE

3.1. Datengrundlage

Für die Erarbeitung der Ozonprognose wurden die Ozondaten von 19 Ozonstationen verwendet. Die Auswahl der Stationen erfolgte - in Absprache mit dem Umweltbundesamt - so, daß möglichst keine stark lokal beeinflussten Stationen gewählt wurden. Weitere Kriterien waren die Verfügbarkeit einer ausreichend langen Meßreihe sowie eine möglichst günstige Abdeckung des gesamten Bundesgebietes und die Erfassung aller Ozonüberwachungsgebiete (Tabelle 3, Parameter 1 bis 19).

Die Ozonstationen wurden in drei Gruppen zusammengefaßt, wobei die Ozonsituation in Ostösterreich durch Pillersdorf, Gänserndorf, Hohe Warte, Exelberg, Illmitz, St. Leonhard, Graz Süd, Schöneben, Traun und Fumitz und in Westösterreich durch Haunsberg, St. Johann im Pongau, Kramsach, Sulzberg und Lustenau repräsentiert wird. Rennfeld, Sonnblick, Gerlitzten und Nordkette wurden als Bergstationen in einer eigenen Gruppe zusammengefaßt. Die Konzentrationsmittelwerte innerhalb jeder Gruppe wurden als Parameter 20 bis 22 (Tabelle 3) abgespeichert.

Aus den 48 Halbstundenmittelwerten eines jeden Tages wurde jeweils der maximale 3-Stundenmittelwert (3MW) berechnet. Eine Schwierigkeit stellten die unterschiedlichen Formate der Datensätze und Einheiten der Werte über unterschiedliche Zeitperioden dar. Zur Erleichterung der Berechnung der multiplen Korrelation wurden die Ozonwerte um einen Tag in die Zukunft verschoben als Parameter 29 bis 50 wiederholt.

Als Temperaturwerte wurden nicht die an den jeweiligen Stationen gemessenen Temperaturen, sondern regionale Mittelwerte verwendet. Die Temperaturprognosen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik stellen nämlich regional gültige Mittelwerte dar und die Prognose von Tagesmaximumtemperaturen werden für die Luftgütemeßstellen selbst nicht durchgeführt. Weiters sollen mit dieser Mittelbildung über mehrere Stationen lokale Besonderheiten ausgeglichen werden.

Der Temperaturmittelwert für Ostösterreich wurde aus den Meßwerten von Poysdorf, Schwechat Flughafen, Wiener Neustadt, Bad Gleichenberg, Graz Thalerhof, St. Pölten, Linz Hörsching und Klagenfurt gebildet und jener für Westösterreich aus den Werten der Stationen Salzburg Flughafen, Bischofshofen, St. Michael im Lungau, Lienz, Kufstein, Innsbruck, Bregenz und Feldkirch (Tabelle 3, Parameter 22 und 23).

Diese Synopstationen wurden u.a. deshalb ausgewählt, weil für sie an der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) ab 1993 sogenannte Model Output Statistics (MOS)-Prognosen vorliegen und auch in Zukunft verfügbar sein werden. Bei den MOS-Prognosen handelt es sich um Punktprognosen für Einzelstationen, die direkt auf die Modellergebnisse des Europäischen Zentrums für Mittelfristige Wettervorhersage (EZMW) zugreifen. Aus den MOS-Daten wurde die 24 stündige Prognose der Tagesmaxima extrahiert und wieder als Mittel über alle Stationen abgespeichert (Tabelle 3, Parameter 20 und 21).

Als eine weitere Art von Temperaturprognosen wurde das Tagesmaximum der Temperatur, wie es vom diensthabenden Meteorologen der Synopabteilung der ZAMG für den nächsten Tag vorhergesagt wurde, herangezogen (Tabelle 3, Parameter 51 bis 53). Im folgenden wird diese Prognose kurz ZAMG-Prognose genannt. Bei dem zur Verfügung stehenden Datensatz wurde leider keine Differenzierung für verschiedene Regionen Österreichs vorgenommen, sodaß die Werte als für ganz Österreich gültig betrachtet werden müssen. Es lagen jeweils Ober- und Untergrenze der Prognose des Temperaturmaximums vor. Aus ihnen wurde als dritter Parameter das arithmetische Mittel gebildet.

Parameter 24 und 25 sind die den Trajektorien eines jeden Tages (Mitternacht und Mittag, davon nur Mittag verwendet) zugeordneten Wetterlagenklassen.

3.2. Vergleich der prognostizierten mit den gemessenen Temperaturen

Um den Einfluß der verschiedenen Verfahren zur Temperaturprognose auf die Ozonvorhersage abzuschätzen, wurden die in den Sommerhalbjahren prognostizierten und gemessenen Maximumtemperaturen verglichen. In Ostösterreich ist die Übereinstimmung der prognostizierten mit den gemessenen Temperaturen für die Zwecke der Ozonprognose zufriedenstellend. Sowohl die MOS-Prognose als auch die Obergrenze der ZAMG-Prognose stimmen gut mit den tatsächlich gemessenen Temperaturen überein (Abbildung 5).

Tabelle 3: Übersicht über das verwendete Datenmaterial. GZR steht für den gesamten Zeitraum und SHJ für Sommerhalbjahr.

	Parameter	Einheit	Station	Zeitraum	GZR		3 SHJ		Wm T (%)	Max	
					mTage	t Tage	mTage	tTage			
1	Ozon Maximaler 3MW	ppb	Hohe Warte	880901 - 921130	1551	1389	89.6	549	363	66.0	125.7
2	Ozon Maximaler 3MW	ppb	Illmitz	900101 - 930930	1369	1273	93.0	549	547	99.6	100.7
3	Ozon Maximaler 3MW	ppb	Sonnblick	880901 - 930831	1826	1637	89.6	549	443	80.7	89.8
4	Ozon Maximaler 3MW	ppb	Fuernitz	910605 - 930930	848	459	54.1	549	459	83.6	93.7
5	Ozon Maximaler 3MW	ppb	Gerlitzten	910605 - 930930	848	444	52.4	549	444	80.9	103.8
6	Ozon Maximaler 3MW	ppb	Graz Sued	910605 - 920930	583	274	47.0	549	274	50.0	84.9
7	Ozon Maximaler 3MW	ppb	Pillersdorf	920401 - 930930	548	355	64.8	549	355	64.7	101.3
8	Ozon Maximaler 3MW	ppb	Rennfeld	910605 - 930930	848	452	53.3	549	452	82.3	87.6
9	Ozon Maximaler 3MW	ppb	Sulzberg	910605 - 930930	848	457	53.9	549	427	77.8	105.7
10	Ozon Maximaler 3MW	ppb	Gaensemdorf	910605 - 930930	583	272	46.7	549	272	49.2	106.3
11	Ozon Maximaler 3MW	ppb	Haunsberg	910605 - 920930	848	277	32.7	549	277	50.5	104.8
12	Ozon Maximaler 3MW	ppb	Kramsach	910605 - 930930	583	278	47.7	549	278	50.6	100.0
13	Ozon Maximaler 3MW	ppb	Nordkette	910605 - 920930	583	272	46.7	549	272	49.2	77.2
14	Ozon Maximaler 3MW	ppb	Schoenbeben	910605 - 930930	583	278	47.7	549	278	50.6	96.8
15	Ozon Maximaler 3MW	ppb	St. Johann	910605 - 930930	583	278	47.7	549	278	50.6	91.7
16	Ozon Maximaler 3MW	ppb	St Leonhard	910605 - 930930	583	274	47.0	549	274	49.9	119.2
17	Ozon Maximaler 3MW	ppb	Traun	910605 - 930930	583	278	47.7	549	278	50.6	99.7
18	Ozon Maximaler 3MW	ppb	Lustenau	910605 - 930930	848	455	53.7	549	455	82.9	96.2
19	Ozon Maximaler 3MW	ppb	Exelberg	890101 - 930930	1714	1615	94.0	549	536	97.6	173.3
20	Temperatur Tagesmax. MOS	Grad C	Oesterreich Ost	930401 - 930930	183	182	99.5	549	182	33.2	32.5
21	Temperatur Tagesmax. MOS	Grad C	Oesterreich West	930401 - 930930	183	182	99.5	549	182	33.2	32.0
22	Temp. Tagesmax. SYNOP	Grad C	Oesterreich Ost	890101 - 930930	1734	1734	100.0	549	549	100.0	35.1
23	Temp. Tagesmax. SYNOP	Grad C	Oesterreich West	890101 - 930930	1734	1734	100.0	549	549	100.0	31.0
24	Wetterlagenkl. Mitternacht		Oesterreich	900301 - 930930	1369	1197	87.4	549	549	100.0	
25	Wetterlagenklassen Mittag		Oesterreich	900301 - 930930	1369	1197	87.4	549	549	100.0	
26	Ozon Tagesmaximum	ppb	Ostoesterreich	880109 - 930930	1855	1833	98.8	549	549	100.0	98.5
27	Ozon Tagesmaximum	ppb	Westoesterreich	910605 - 930930	848	461	54.4	549	461	84.0	90.8
28	Ozon Tagesmaximum	ppb	Bergstationen	880901 - 930930	1855	1716	92.5	549	522	95.1	83.3
29	Ozon Maximaler 3MW Vortag	ppb	Hohe Warte								
30	Ozon Maximaler 3MW Vortag	ppb	Illmitz								
31	Ozon Maximaler 3MW Vortag	ppb	Sonnblick								
32	Ozon Maximaler 3MW Vortag	ppb	Fuernitz								
33	Ozon Maximaler 3MW Vortag	ppb	Gerlitzten								
34	Ozon Maximaler 3MW Vortag	ppb	Graz Sued								
35	Ozon Maximaler 3MW Vortag	ppb	Pillersdorf								
36	Ozon Maximaler 3MW Vortag	ppb	Rennfeld								
37	Ozon Maximaler 3MW Vortag	ppb	Sulzberg								
38	Ozon Maximaler 3MW Vortag	ppb	Gaensemdorf								
39	Ozon Maximaler 3MW Vortag	ppb	Haunsberg								
40	Ozon Maximaler 3MW Vortag	ppb	Kramsach								
41	Ozon Maximaler 3MW Vortag	ppb	Nordkette								
42	Ozon Maximaler 3MW Vortag	ppb	Schoeneben								
43	Ozon Maximaler 3MW Vortag	ppb	St. Johann								
44	Ozon Maximaler 3MW Vortag	ppb	St Leonhard								
45	Ozon Maximaler 3MW Vortag	ppb	Traun								
46	Ozon Maximaler 3MW Vortag	ppb	Lustenau								
47	Ozon Maximaler 3MW Vortag	ppb	Exelberg								
48	Ozon Tagesmaximum Vortag	ppb	Ostoesterreich								
49	Ozon Tagesmaximum Vortag	ppb	Westoesterreich								
50	Ozon Tagesmaximum Vortag	ppb	Bergstationen								
51	24 h progn. Temp.max. Untergrenze	Grad C	Oesterreich	910401 - 930930	914	544	59.5	549	544	99.0	32.0
52	24 h progn. Temp.max. Obergrenze	Grad C	Oesterreich	910401 - 930930	914	544	59.5	549	544	99.0	37.0
53	24 h progn. Temp.max. MW	Grad C	Oesterreich	910401 - 930930	914	544	59.5	549	544	99.0	34.5

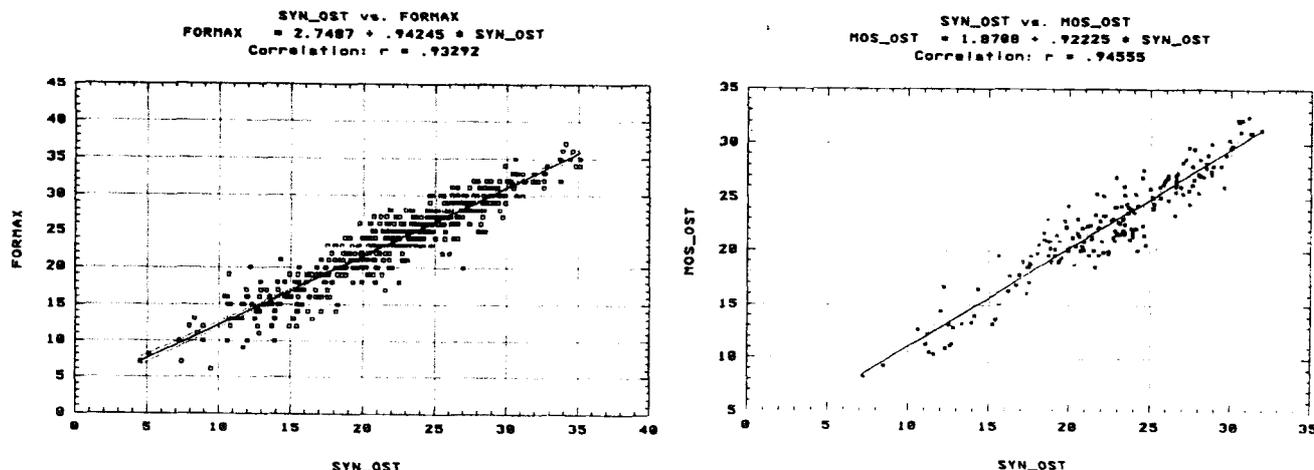


Abbildung 5: Streuplot und Regression zwischen dem Tagesmaximum der Temperatur in Ostösterreich und der Obergrenze der ZAMG-Prognose (links). Streuplot und Regression zwischen dem Tagesmaximum der Temperatur in Ostösterreich und der MOS-Prognose (rechts).

In Westösterreich ist die Übereinstimmung aufgrund der orografischen Gegebenheiten wesentlich schlechter. Am besten ist die Übereinstimmung zwischen Mittelwert der ZAMG-Prognose und den gemessenen Temperaturen (Abbildung 6). Allerdings können hier des öfteren Abweichungen zwischen prognostizierter und gemessener Temperatur von über 5°C auftreten, was einen deutlichen Einfluß auf die Ozonprognose hat. Noch etwas schlechter ist die MOS-Prognose.

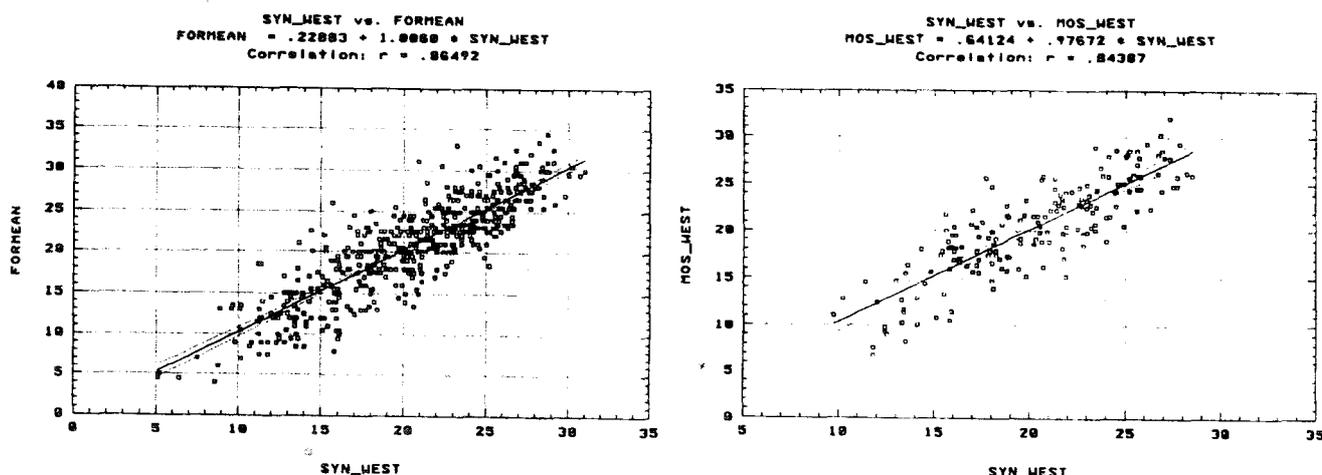


Abbildung 6: Streuplot und Regression zwischen dem Tagesmaximum der Temperatur in Westösterreich und dem Mittelwert der ZAMG-Prognose (links). Streuplot und Regression zwischen dem Tagesmaximum der Temperatur in Westösterreich und der MOS-Prognose (rechts).

Für die Ozonprognose wird daher empfohlen, für Ostösterreich die Obergrenze der ZAMG-Prognosen oder die MOS-Prognosen zu verwenden, für Westösterreich sollte der Mittelwert der ZAMG-Prognose verwendet werden. Unter Umständen wäre aber eine Kombination beider Prognosearten von Vorteil. Die MOS-Prognose dürfte bei gleichbleibender Wetterlage etwas besser sein, während sie das Ausmaß von Wetteränderungen aufgrund der im Verfahren enthaltenen Persistenz eher unterschätzt. Es wäre daher denkbar, im Normalfall die MOS-Prognose zu verwenden, sich aber bei Wetteränderungen eher auf die ZAMG-Prognose zu verlassen. Die endgültige Vorgehensweise müßte mit den Meteorologen der Abteilung für Synoptik der ZAMG abgeklärt werden.

3.3. Zusammenhang Ozon - Wetterlage

Zunächst wurde der Zusammenhang der Temperatur mit den Wetterlagen in den Sommerhalbjahren untersucht (Abbildung 7). Man erkennt deutlich, daß die Wetterlagen durch sehr unterschiedliche Wertebereiche der Temperatur charakterisiert sind. Die Temperaturen steigen mit zunehmendem kontinentalem Charakter der Luftmasse. Die höchsten Temperaturen finden sich in den Clustern 3 und 9.

Auch die Ozonkonzentrationen sind bei den einzelnen Wetterlagen sehr unterschiedlich (Abbildung 7). Bei den rein maritimen Wetterlagen treten nur niedrige Ozonkonzentrationen auf. Die Schwankung ist hier sehr gering, sodaß keinesfalls mit Grenzwertüberschreitungen zu rechnen ist. Bei den kontinental geprägten Wetterlagen ist die Schwankung der Ozonkonzentrationen sehr ausgeprägt. Es kommen sowohl äußerst niedrige als auch sehr hohe Ozonkonzentrationen vor. Zu Grenzwertüberschreitungen kommt es allerdings fast ausschließlich bei den Wetterlagen 3 und 9. Eine markante Ausnahme stellt die Station Gerlitzen dar. Hier werden sowohl die höchsten mittleren als auch die höchsten maximalen Ozonkonzentrationen bei der Wetterlage 8 erreicht, die an den übrigen Stationen durch mäßig hohe Ozonkonzentrationen gekennzeichnet ist.

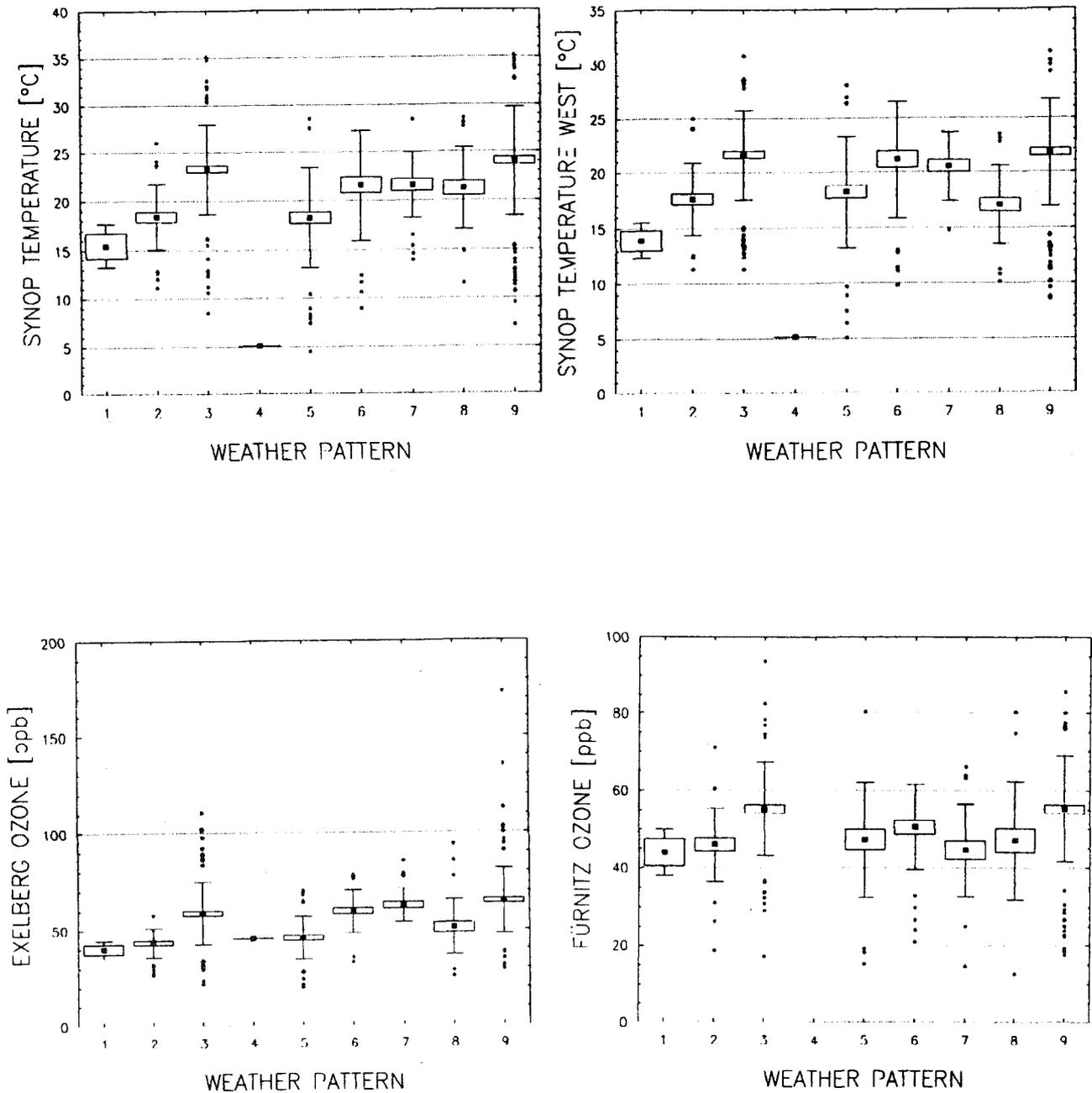
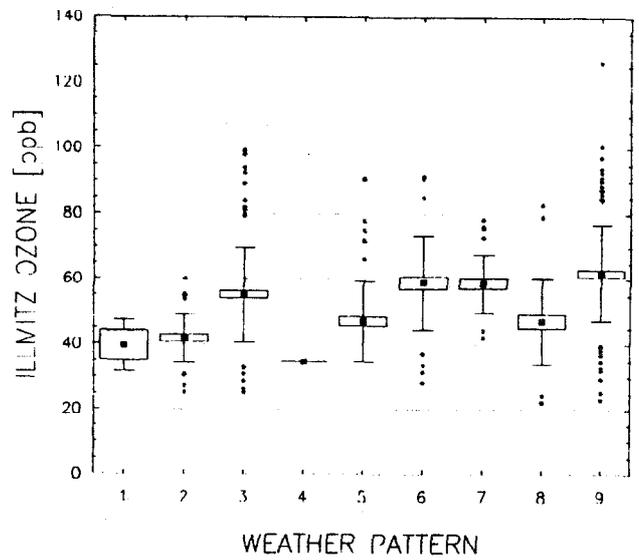
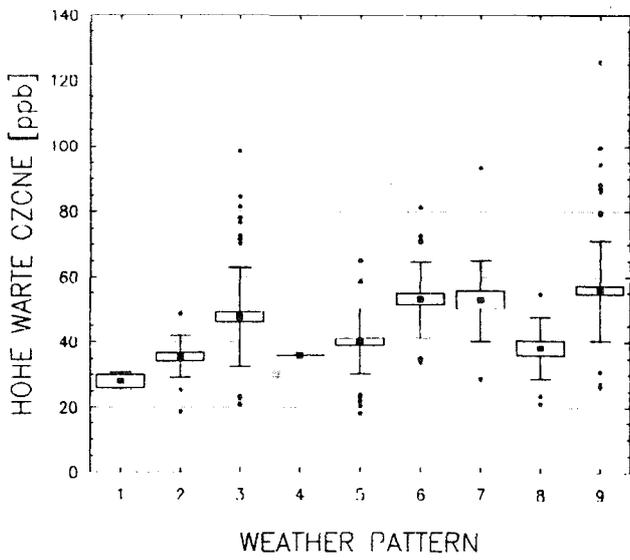
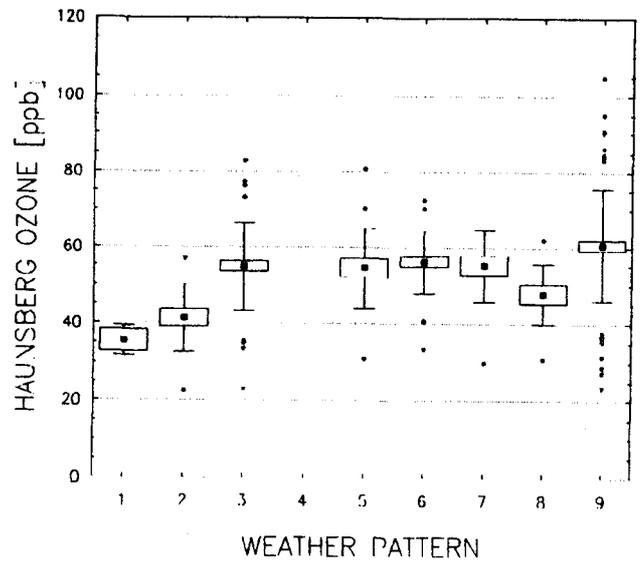
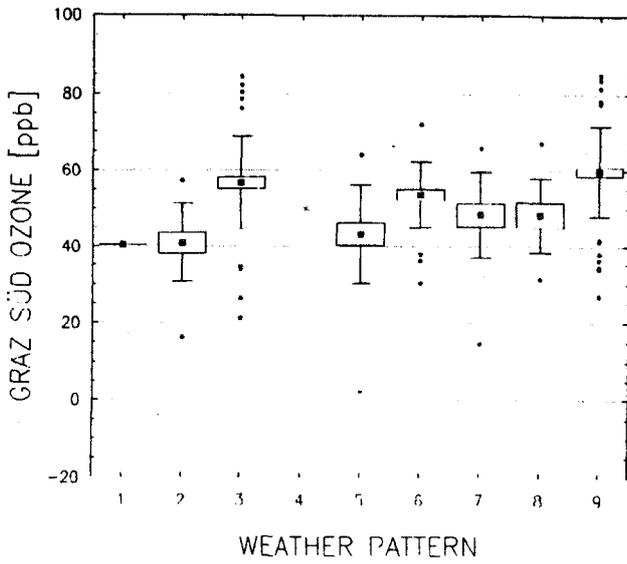
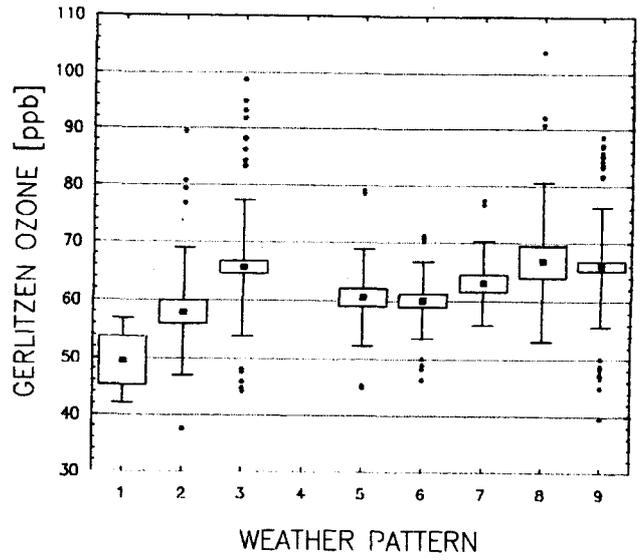
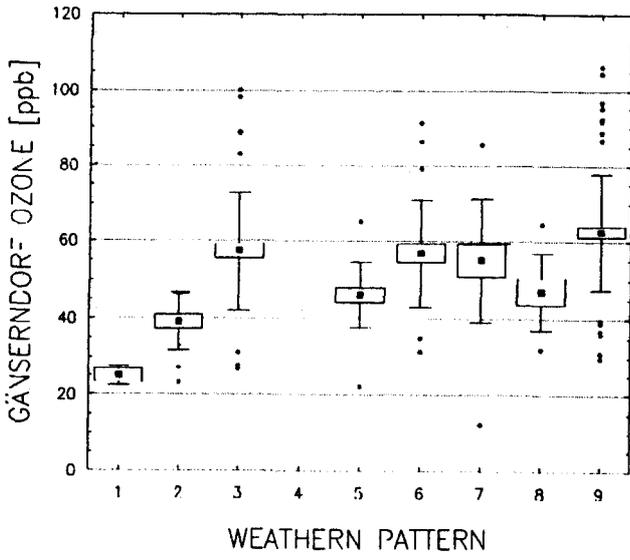
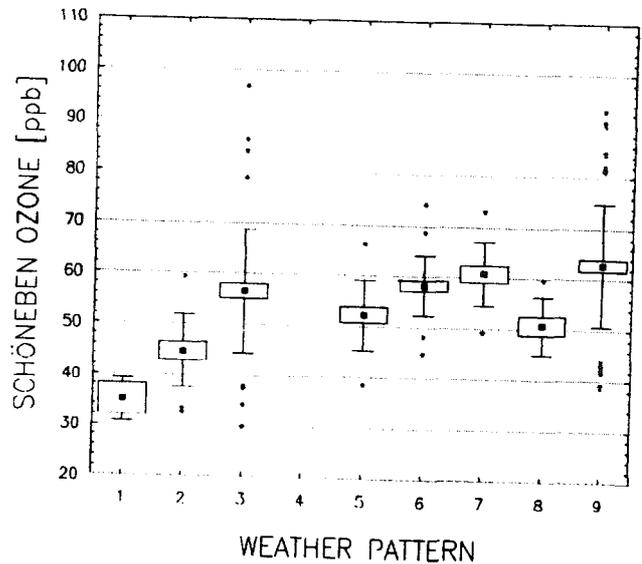
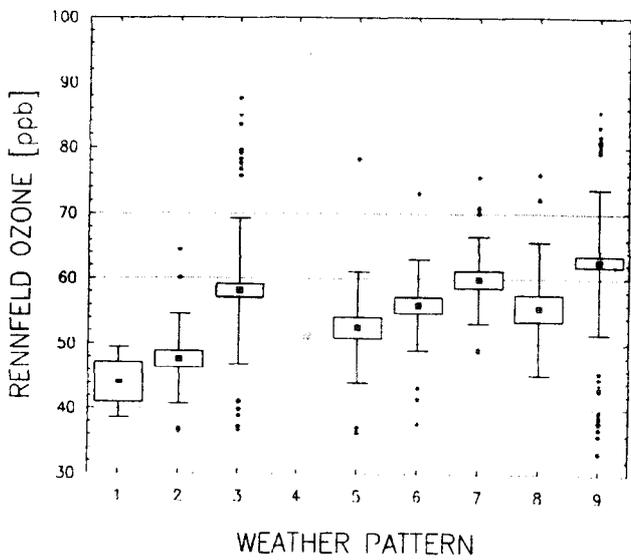
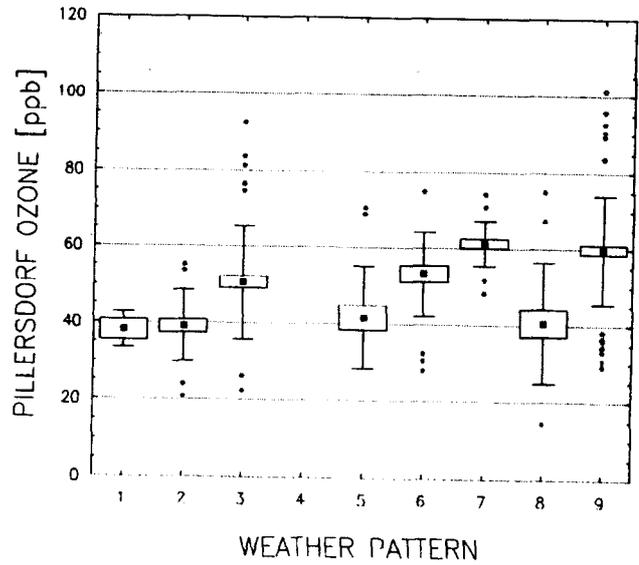
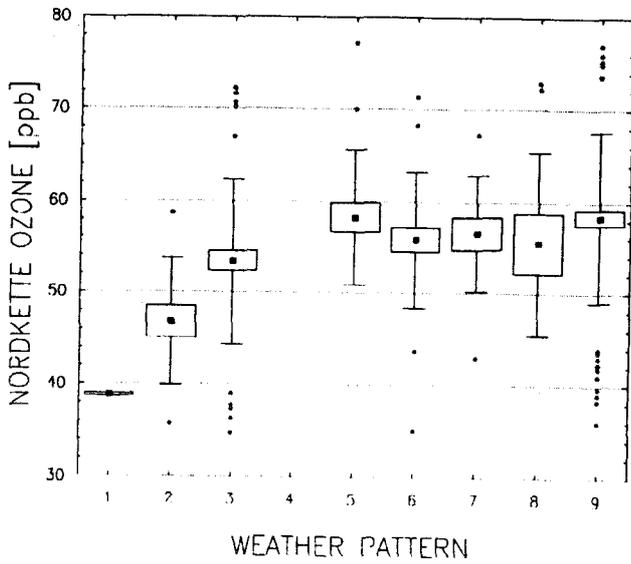
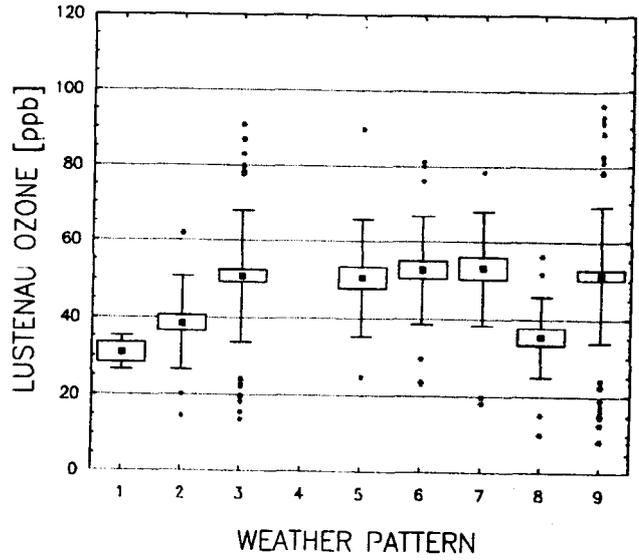
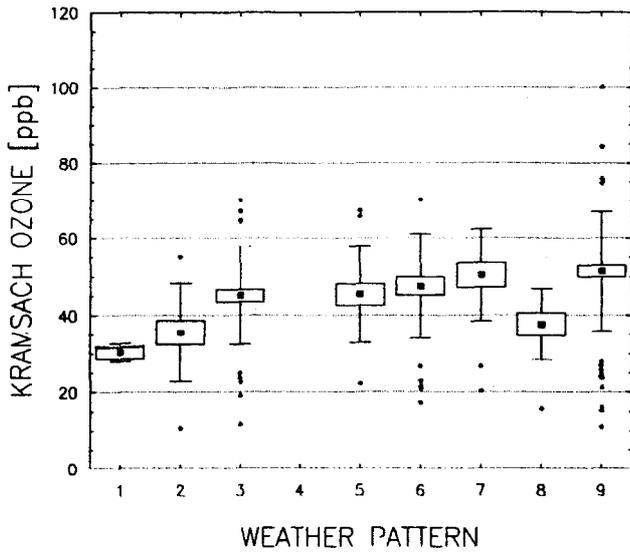


Abbildung 7: Tagesmaxima der Temperatur und von Ozon während des Sommerhalbjahres für Ost-österreich in Abhängigkeit von der Wetterlage. In dieser Darstellung gibt der Mittelpunkt der Box den Mittelwert an, die Box den Standardfehler des Mittelwerts und die Flügel die Standardabweichung. Zusätzlich sind alle Fälle geplottet, die mehr als 1.5 Standardabweichungen vom Mittelwert entfernt sind. Die Abbildung wird auf den folgenden Seiten fortgesetzt.





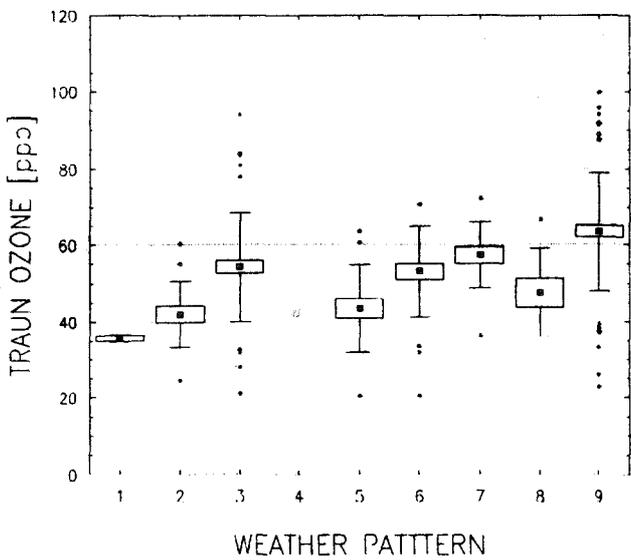
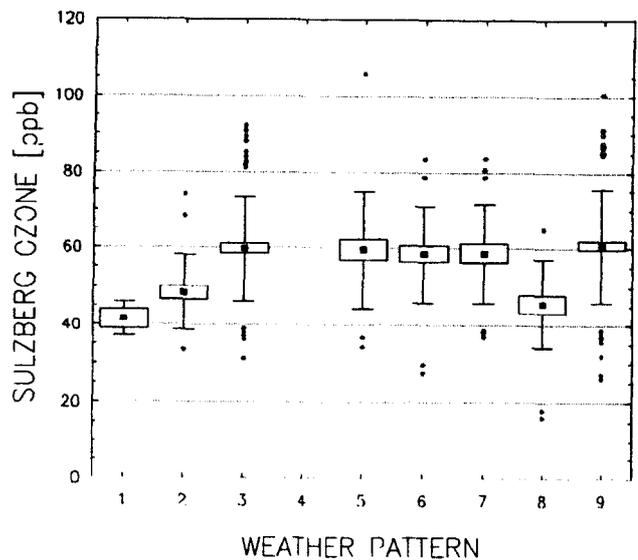
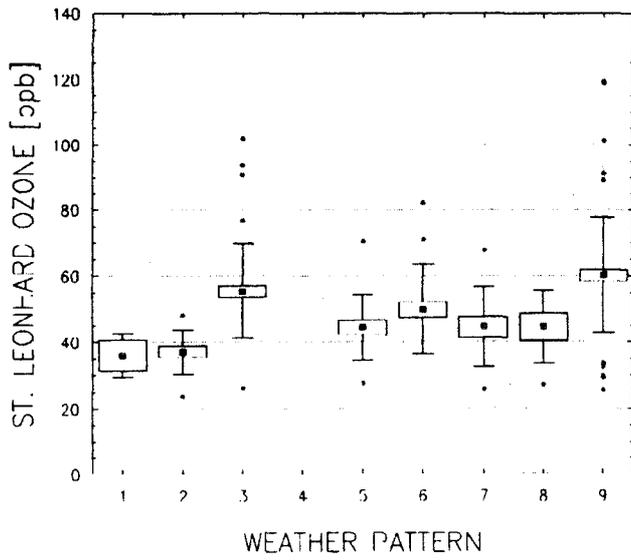
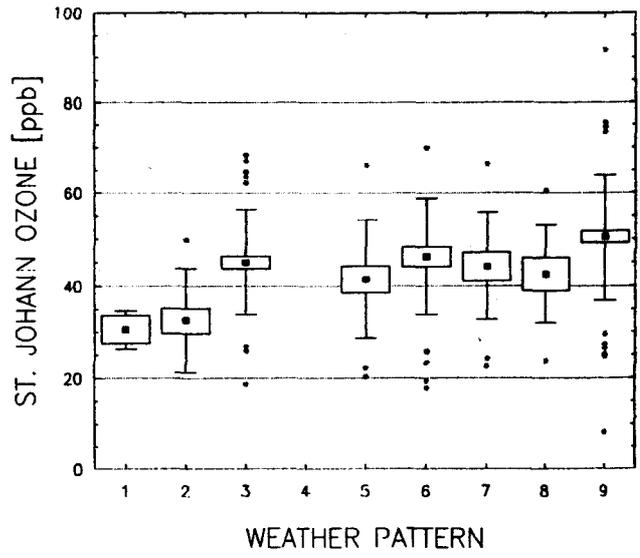
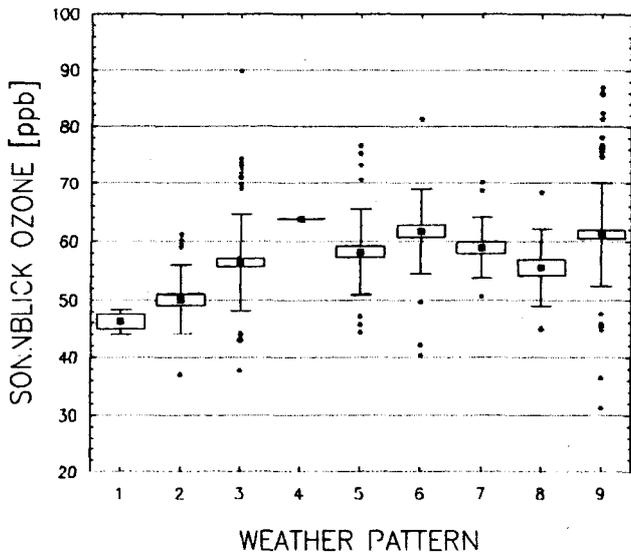


Tabelle 5: Häufigkeit (%) der Differenzen in 5 ppb-Intervallen zwischen gemessenen und "prognostizierten" Ozonkonzentrationen für die verschiedenen Stationen. EX+ILL+PILL bezeichnet das Mittel der Maxima der Stationen Exelberg, Illmitz und Pillersdorf.

ppb	<-20	<-15	<-10	<-5	-5 bis +5	>+5	>+10	>+15	>+20
EXELBERG	1.2	4.0	8.5	16.7	41.3	15.3	7.5	3.8	1.8
FUERNITZ	2.3	3.8	5.1	13.5	48.6	15.5	6.7	3.1	1.5
GAENSERNDORF	1.1	6.4	9.4	14.7	38.9	15.8	8.3	2.3	3.0
GERLITZEN	1.2	1.8	4.2	12.0	61.0	12.9	3.5	2.1	1.4
GRAZ SUED	2.6	5.6	2.6	12.4	50.0	18.0	6.8	1.5	0.4
HAUNSBURG	0.4	3.7	6.6	13.3	52.0	13.3	6.6	3.3	0.7
HOHE WARTE	1.4	3.2	11.0	16.3	39.0	16.7	8.3	1.1	3.0
ILLMITZ	1.4	3.1	8.5	14.8	45.7	12.4	8.2	3.4	2.4
KRAMSACH	0.7	5.1	9.9	14.3	41.0	15.4	9.2	2.9	1.5
LUSTENAU	3.6	6.1	10.1	10.3	38.0	13.9	9.4	5.6	2.9
NORDKETTE	0.0	1.5	4.5	14.3	57.5	17.3	3.0	1.9	0.0
PILLERSDORF	1.7	3.5	8.6	14.4	45.5	12.1	9.2	2.9	2.0
RENNFELD	0.5	1.4	6.3	15.8	53.5	16.3	4.7	1.6	0.0
SCHOENEBOEN	1.5	4.4	6.2	13.9	48.7	14.7	7.3	2.2	1.1
SONNBLICK	0.0	0.6	3.3	12.9	65.7	13.9	2.7	0.6	0.2
ST. JOHANN	2.6	4.8	8.4	13.9	38.1	19.4	7.7	4.0	1.1
ST. LEONHARD	0.7	3.4	7.1	15.7	46.6	16.0	6.7	2.2	1.5
SULZBERG	0.7	2.4	9.6	15.1	44.7	15.3	7.8	3.3	1.1
TRAUN	5.1	4.4	9.2	10.6	36.3	21.6	6.2	4.8	1.8
EX+ILL+PILL	0.3	2.9	6.2	17.1	49.9	12.1	7.7	3.2	0.3

Insgesamt fällt auf, daß die Korrelation umso schlechter wird, je häufiger sich lokal verursachte Episodenfälle während des betrachteten Zeitraums ereignen. So ist die Korrelation für das Gesamtjahr wesentlich höher als nur für das Sommerhalbjahr, da hier die Episoden weniger ins Gewicht fallen. Weiters ist die Korrelation bei den höchsten Temperaturen sicherlich am niedrigsten.

Für den Exelberg sowie für die drei zusammengefaßten Stationen wurden Untersuchungen der Trefferquote der Prognose von Episoden durchgeführt. Als Episoden wurden in drei Schritten Konzentrationen von über 70, über 80 bzw. über 100 ppb definiert.

Vier Fälle wurden unterschieden:

- Episode eingetreten und prognostiziert.
- Episode eingetreten, aber nicht prognostiziert.
- Episode prognostiziert, aber nicht eingetreten.

Episode weder eingetreten noch prognostiziert. Tabelle 6 und Tabelle 7 zeigen, daß Episoden durch diese Methode nur sehr unzuverlässig prognostiziert werden können. Insbesondere die 5 bzw. 8 Fälle über 100 ppb wurden kein einziges Mal richtig erfaßt. Andererseits hätte es zweimal Fehlalarm gegeben, ohne daß tatsächlich eine Episode eingetreten wäre. Während in der Mehrzahl der Fälle die Prognose, wie sie mit der oben beschriebenen Methode erzielt werden kann, durchaus von zufriedenstellender Qualität ist, versagt die Methode - so wie alle anderen einfachen Methoden - bei den besonders interessanten, da hohen Konzentrationen, aus.

Tabelle 6: Trefferquote der Ozonprognose für den Exelberg für die Fälle mehr als 70, 80 bzw. 100 ppb.

	>70 ppb		>80 ppb		>100 ppb	
	JA	NEIN	JA	NEIN	JA	NEIN
VORHERGESAGT EINGETRETEN						
JA	69	58	15	30	0	8
NEIN	30	446	8	548	2	593

Tabelle 7: Trefferquote der Ozonprognose für die mittlere Ozonkonzentration in Exelberg, Illmitz und Pillersdorf für die Fälle mehr als 70, 80 bzw. 100 ppb.

	>70 ppb		>80 ppb		>100 ppb	
	JA	NEIN	JA	NEIN	JA	NEIN
VORHERGESAGT EINGETRETEN						
JA	33	31	7	12	0	5
NEIN	15	260	6	314	2	332

4. ÜBERPRÜFUNG DER PROGNOSEMETHODE

Zur Überprüfung der Prognosemethode und der Stabilität der Regressionskoeffizienten wurde die multiple Regression für jene Stationen, für die ausreichend Daten vorhanden waren, unter Ausschluß der Verwendung der Daten des Sommerhalbjahres 1993 noch einmal wiederholt. Daran anschließend wurde eine „Prognose“ für 1993 erstellt. Für diese „Prognose“ waren leider keine prognostizierten Wetterlagen verfügbar, sodaß wieder die beobachteten verwendet wurden. Für die Temperaturen wurden sowohl Synop-Temperaturen als auch MOS- und ZAMG-Prognosen verwendet. Die Verwendung von Synop-Temperaturen erlaubt die Abschätzung der Stabilität der Regressionskoeffizienten. Die MOS- und ZAMG-Prognosen erlauben eine Abschätzung der zusätzlichen Unsicherheiten aufgrund der Verwendung von Temperaturprognosen.

Hier werden vor allem die Ergebnisse für den Exelberg besprochen, da hier eine sehr lange Zeitreihe zur Verfügung stand. Die Korrelation der gemessenen und der prognostizierten Konzentrationen aufgrund der Synop-Temperaturen beträgt 0.82 und liegt damit sogar noch höher als für die gesamte Periode. Das ist wahrscheinlich auf das weitgehende Fehlen von Ozonepisoden im Jahr 1993 zurückzuführen, welche die Korrelation sonst stören. Auch die Verwendung von ZAMG-Prognose ($r=0.81$) oder MOS-Prognose ($r=0.78$) verschlechtern die Prognosegüte relativ wenig. Allerdings ist zu bemerken, daß die hohen Konzentrationen im Sommer 1993 eher unterschätzt, die niedrigen eher überschätzt werden. Insgesamt ist jedoch die Übereinstimmung zwischen prognostizierten und gemessenen Konzentrationen zufriedenstellend wie auch der Vergleich der Zeitreihen (Abbildung 12 bis Abbildung 14) zeigt. Die Verwendung der Prognosetemperaturen hat nur geringe Auswirkungen auf die Zeitreihe. Nur im September werden die Konzentrationen aufgrund der Verwendung der Prognosetemperaturen noch etwas stärker überschätzt.

Als weitere Beispiele der Prognoseprüfung zeigen Abbildung 15 und Abbildung 16 die Zeitreihen für eine Station im Westen Österreichs (Sulzberg) sowie für eine Bergstation (Sonnblick), die aufgrund der ZAMG-Temperaturprognose ermittelt wurden.

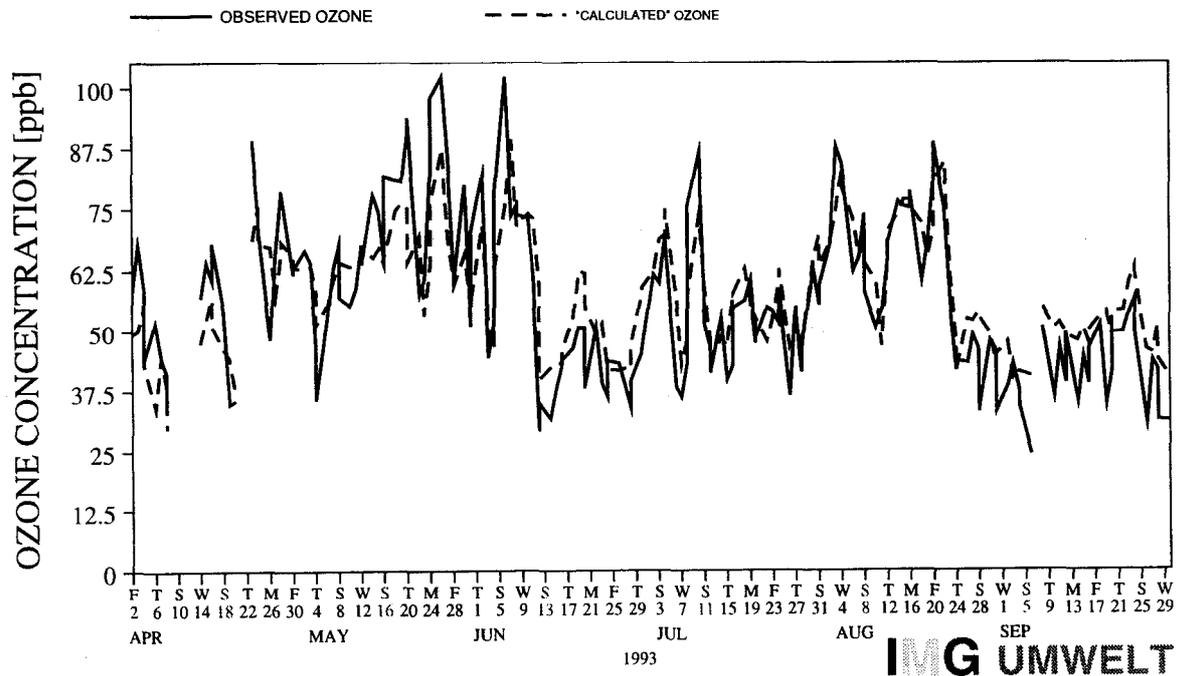


Abbildung 13: Vergleich zwischen der Zeitreihe des gemessenen täglichen maximalen 3MW der Ozonkonzentration und der Zeitreihe der auf Grundlage der Tagesmaxima der Temperatur (Mittel aus den Synopstationen von Ostösterreich) prognostizierten täglichen maximalen 3MW der Ozonkonzentration für das Sommerhalbjahr 1993 an der Station Exelberg.

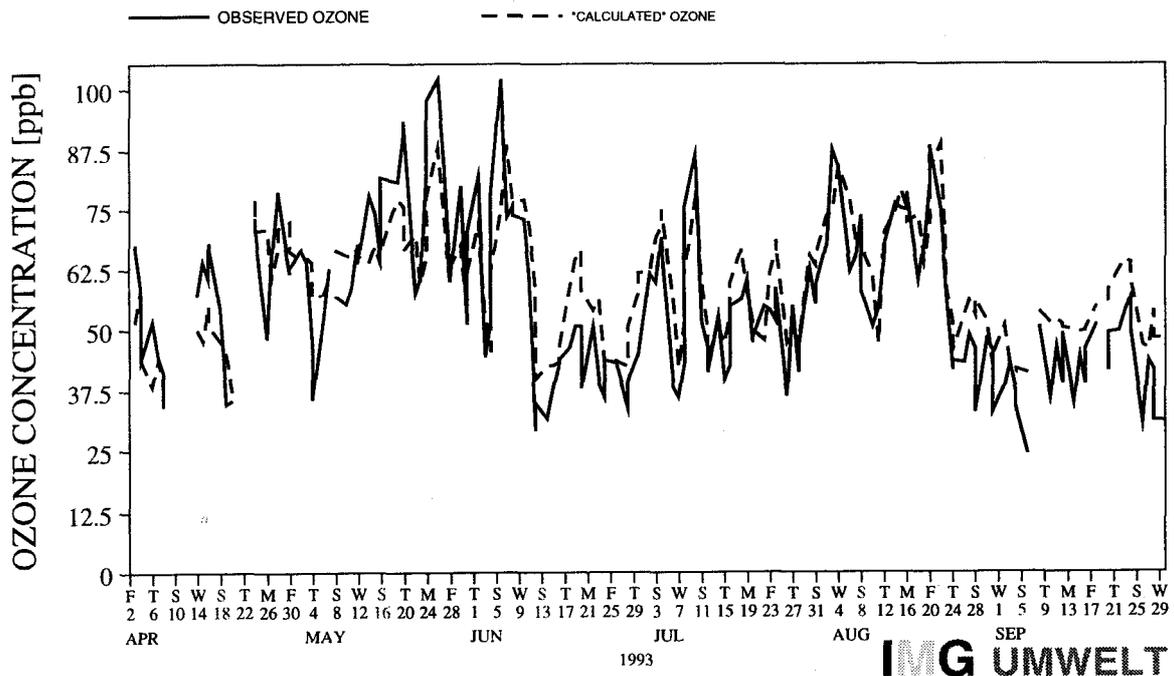


Abbildung 14: Wie in Abbildung 13, die Berechnung erfolgte auf Grundlage der ZAMG-Prognose.

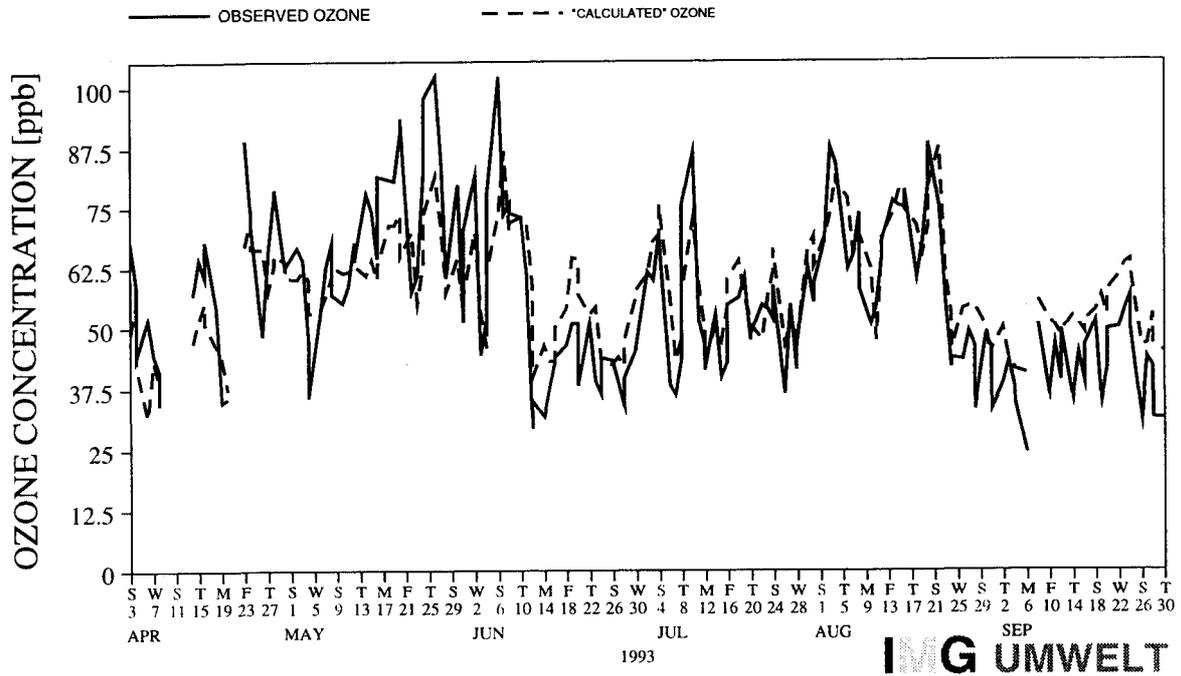


Abbildung 15: Wie in Abbildung 13, die Berechnung erfolgte auf Grundlage der MOS-Prognose.

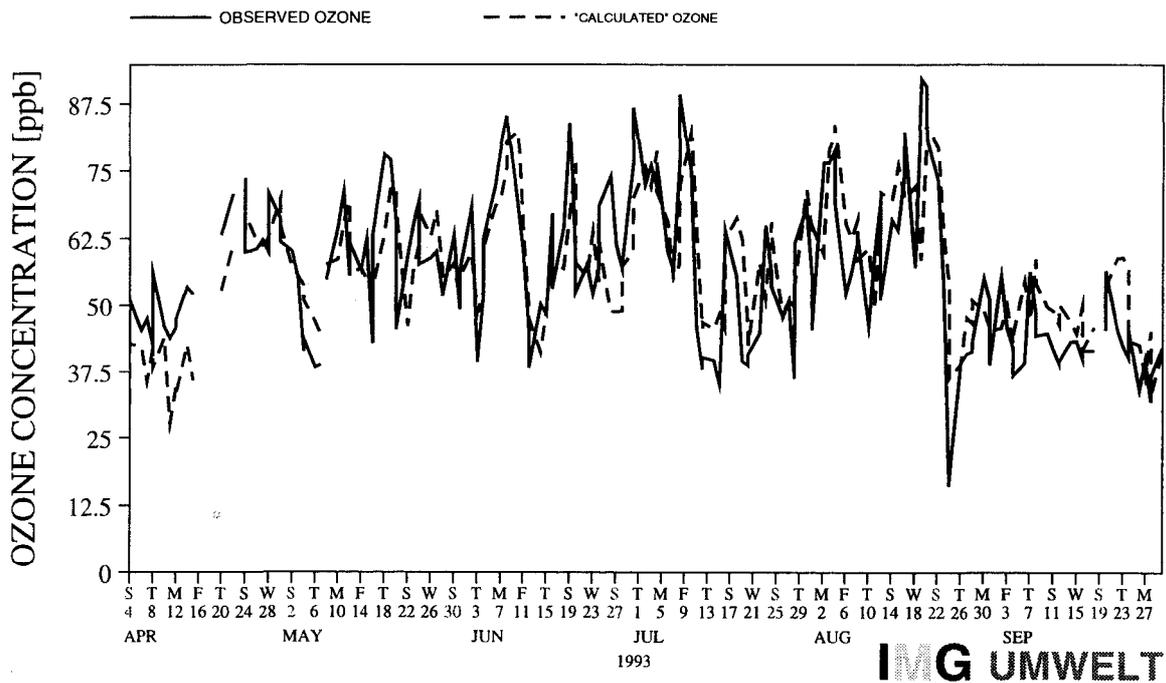


Abbildung 16: Wie in Abbildung 13, hier aber für die Station Sulzberg.

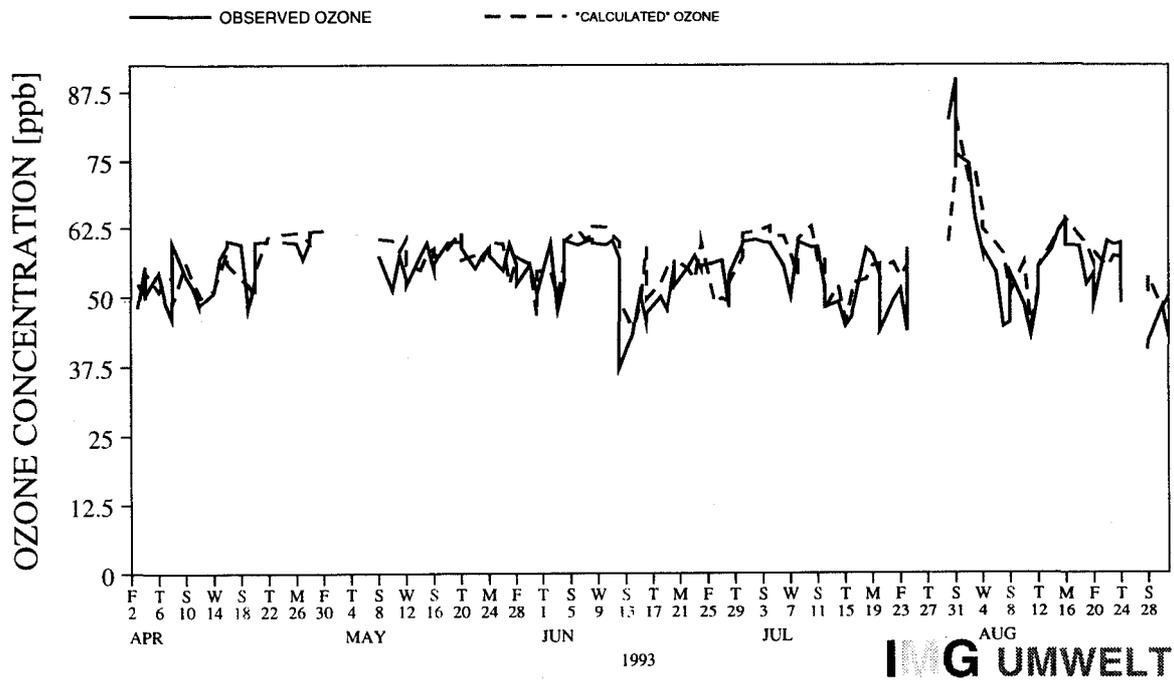


Abbildung 17: Wie in Abbildung 14, hier aber für die Station Sonnblick.

5. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSBEMERKUNGEN

Lineare Regression zur Prognose von maximalen Ozonkonzentrationen aus Vortagskonzentrationen und Temperaturen können verbessert werden, wenn großräumige Luftmassen-trajektorien berücksichtigt werden. Eine Clusteranalyse isobarer Trajektorien aus den Windfeldern des ECMWF - Modells ergab optimale Ergebnisse bei 9 Klassen, die im wesentlichen kontinentale und maritime Luftmassen trennen und unterschiedliche Verlagerungsgeschwindigkeiten aufweisen.

Abgesehen von Ozonepisoden sind die in dieser Arbeit erhaltenen Resultate zufriedenstellend. Der Fehler liegt an allen Stationen in mehr als zwei Drittel aller Fälle unterhalb von ± 10 ppb. Für die meisten Stationen ist der Fehler noch wesentlich geringer. So liegt der Fehler am Sonnblick in über 92% der Fälle innerhalb des 10 ppb-Bereichs. Bei der Umsetzung der Korrelationen in Prognosen überlagern sich allerdings noch die Prognosefehler in den Eingangsdaten.

Im allgemeinen sind die Prognosen sicherer für

- kontinentale Luftmassen (bessere Korrelation mit Temperatur und Ozonkonzentration des Vortages),
- geringere Verlagerungsgeschwindigkeiten (höhere Persistenz),
- den Osten Österreichs (bessere Temperaturprognosen),
- räumlich gemittelte Konzentrationen (statt Einzelstationen) und
- Situationen, in denen der lokale Beitrag abgeschätzt werden kann.

Lokale Prognosen, insbesondere kleinräumig beeinflusster Stationen (z.B. im Lee von Wien) sind aufgrund der generalisierten Eingangsdaten (vor allem Trajektorien) ohne Zusatzinformation nicht möglich.

Prognosen von Episoden (Konzentration über etwa 70 ppb) entziehen sich ebenfalls dieser einfachen Prognosemethode, da in manchen Fällen der lokale Anteil an der Ozonproduktion einen entscheidenden Beitrag leisten kann.

Nur bei Vorliegen prognostischer Windfelder mit sehr hoher räumlicher (< 10 km) und zeitlicher Auflösung (< 1 Stunde) können auch Extremereignisse, wie sie durch das Überqueren von städtischem Gebiet verursacht werden, im Prinzip prognostiziert werden. Die zur Zeit mögliche Auflösung der Windfelder ist dafür noch bei weitem zu grob. Ein wesentlicher Fortschritt in der statistischen Prognose von Ozonepisoden ist daher in näherer Zukunft noch nicht zu erwarten.

Abgesehen von der Verwendung hochaufgelöster Windfelder könnte man versuchen, durch die Verwendung zusätzlicher bzw. anderer Parameter die regionalskalige Prognosequalität zu erhöhen. Ein zusätzlicher Prognoseparameter müßte zwei Eigenschaften erfüllen, um eine Verbesserung der Prognose zu ermöglichen: Er müßte sehr deutlich mit Ozon korreliert sein und umgekehrt dürfte er mit der Maximumtemperatur in keiner strengen Beziehung stehen. Diese zwei Bedingungen werden derzeit von keinem routinemäßig mit hoher Zuverlässigkeit prognostizierbaren Parameter gut erfüllt (Stohl und Kromp-Kolb, 1994a).

Durch die Wahl anderer, insbesondere nichtlinearer, Regressionsfunktionen ist vermutlich auch kein allzu großer Fortschritt zu erzielen, da die Korrelationen sowohl mit Temperatur als auch mit der Ozonkonzentration des Vortags annähernd linear sind. Auch bei hohen Temperaturen bzw. hohen Ozonkonzentrationen ist kein eindeutiges Abweichen von der Linearität festzustellen. Vielmehr steigt hier die Streuung sehr stark an.

Will man die Prognosequalität für Episoden deutlich anheben, müssen andere Verfahren, meist mit einem entsprechend größeren Aufwand, herangezogen werden. Statistische Extremwertverfahren, Mustererkennungsprozeduren unter Verwendung neuronaler Netze (Knötig 1992) oder physikalische-chemische Simulationsmodelle könnten für die Prognose herangezogen werden.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß der gegenwärtige Stand der Ozonprognose, sieht man von den lokalen episodenhaften Extremereignissen ab, durchaus zufriedenstellend ist. Für die Zukunft liegt die größte Herausforderung aber sicherlich gerade in der richtigen Prognose dieser seltenen, aber besonders wichtigen Extremereignisse.

6. LITERATUR

- Cox W.M. und Shao-Hang Chu (1993): Meteorologically adjusted ozone trends in urban areas: a probabilistic approach. *Atmos. Environ.* 27B, 425-434.
- DeLeeuw F. (1994): Persönliche Mitteilung.
- Dorling S.R., T.D. Davies and C.E. Pierce (1992): Cluster analysis: a technique for estimating the synoptic meteorological controls on air and precipitation chemistry - method and applications. *Atmos. Environ.* 26A, 2575-2581.
- Feister U., Balzer K. (1991): Surface ozone and meteorological predictors on a subregional scale. *Atmos. Environ.* 25A, 1781.
- Knötig G (1992): Simulation neuraler Netzwerke anhand praktischer Beispiele. Diplomarbeit an der Sozial- und Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Universität Wien.
- Kreyszig E. (1991): Statistische Methoden und ihre Anwendung, 7. Auflage. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen.
- National Research Council (1991): Rethinking the ozone problem in urban and regional air pollution. National Academy Press, Washington, DC.
- Österreichische Akademie der Wissenschaften(1989): Photooxidantien in der Atmosphäre - Luftqualitätskriterien Ozon. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie.
- Press H.W., Teukolsky S.A., Vetterling W.T., Flannery B.P. (1992): Numerical recipes in FORTRAN - The art of scientific computing, Second Edition. Cambridge University Press, Cambridge.
- Prinz B. (1988): Ozone effects on vegetation. In: I.S.A. ISAKSEN (ed.), Tropospheric Ozone. D. Reidel Publishing Company.
- Rappenglück B., K. Kourtidis and P. Fabian (1993): Measurements of ozone and peroxyacetyl nitrate (PAN) in Munich. *Atmos. Environ.* 27B, 293-305.
- Rau G., Kolb H. (1991): Ozon in Österreich. Abschlußbericht zum Forschungsauftrag GZ 39.000/2-23/89, Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung.
- Schönwiese CH. (1985): Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler. Gebr. Bornträger, Berlin-Stuttgart.
- Stohl A. und H. Kromp-Kolb (1994a): Analyse der Ozonsituation im Großraum Wien. *Österr. Beiträge zu Meteorologie und Geophysik*, Heft 8.
- Stohl A. and H. Kromp-Kolb (1994b): Origin of ozone in Vienna and surroundings, Austria. *Atmos. Environ.* 28, 1255-1266.
- Taylor C.O. (1984): Organismal responses of higher plants to atmospheric pollutants: photochemical and other. In: M. Treshow (ed.), *Air Pollution and Plant Life*. John Wiley and Sons Ltd.
- Vandersee W., Wege K., Weigl E. (1992): Photochemische Ozonproduktion am Hohenpeißenberg - Der Zusammenhang zwischen Strahlung und Ozon. *Meteorol. Zeitschrift*, N.F. 1,186-194.
- Wege K., Vandersee W. (1991): Ozonbeobachtungen am Nordrand der Alpen. *Meteorol. Rdsch.* 44, 138-146.
- Wotawa G., Stohl A., Kromp-Kolb H. (1993): Trajektorienanalyse für Wien und Niederösterreich während einer Ozonepisode am 31.7.1992. Bericht an das Umweltbundesamt.



ANHANG A

Nachfolgendes FORTRAN-Programm ordnet jede Trajektorie einem Cluster zu. Die 12-UTC 850 hPa-Trajektorien dienen der Wetterlagenklassifikation. Input-Daten sind die geografischen Koordinaten in 6stündigem Abstand einer 48-Stunden-Rückwärtstrajektorie mit Endpunkt Sonnblick.

```

program welaklassifikation

integer lwela,lwela2,msteps
parameter(msteps=9)
real xlon(msteps),ylat(msteps),distmin,distmin2

open(20,file='trajektorie',status='old')

do 10 k=1,msteps
10  read(20,'(8x,2f9.4)') xlon(k),ylat(k)

call zuordnung(xlon,ylat,lwela,lwela2,distmin,distmin2)

write(*,*) 'Die heutige Wetterlage ist Nummer ',lwela
write(*,*) 'Die zweitnaechste Wetterlage waere Nummer ',lwela2
write(*,*) 'Das Verhaeltnis der Distanzen ist: ',distmin/distmin2
write(*,*) 'Je kleiner dieser Wert, desto sicherer ist die '
write(*,*) 'Zuordnung zu Wetterlage Nummer ',lwela

end

*****
C Diese Subroutine ordnet die Trajektorie mit den geografischen
C Koordinaten xlon(msteps), ylat(msteps) (=Laenge, Breite in Dezimalgrad)
C einer Wetterlage zu.
C Autor: Andreas Stohl, 21. Mai 1994
*****

subroutine zuor
nung(xlon,ylat,lwela,lwela2,distmin,distmin2)
integer lwela,lwela2,number,msteps
parameter(msteps=9,number=9)
real xlon(msteps),ylat(msteps)
real x(msteps),y(msteps),weights(msteps),dist,distmin,distmin2
real xclust(number,msteps),yclust(number,msteps)

data weights/1.,.68,.4624,.3144,.2138,.1454,.0989,.0672,.0457/
C Projektion auf polarstereografische Koordinaten
*****

do 5 k=1,msteps
5  call ECGRID(x(k),y(k),xlon(k),ylat(k))
C Einlesen der Clustermitteltrajektorien
*****

open(177,file='clustmean',status='old')
do 10 j=1,number
10  read(177,'(i1,18f10.3)') j,
+ xclust(j,k),k=1,msteps), (yclust(j,k),k=1,msteps)
close(177)

C Suchen des naechsten und zweitnaechsten Trajektorienclusters
*****

```

```

distmin=9999999.
lwela=0
lwela2=0
do 20 j=1,number
  dist=0
  do 30 k=1,msteps
30    dist=dist+weights(k)*sqrt((x(k)-xclust(j,k))**2+
+    (y(k)-yclust(j,k))**2)
    if (dist.lt.distmin) then
      lwela2=lwela
      distmin2=distmin
      lwela=j
      distmin=dist
    endif
20  continue

return
end

```

C KONVERSION GEOGR. KOORD. IN POLARSTEREOGR. KOORD. (EZMWF)

```

SUBROUTINE ECGRID (X,Y, RLA,PHI)

c  Umwandlung(LAMDA/PHI) --> (X,Y)
C  von Chr. Kress
C  lamda (= RLA) und phi in Dezimalgrad
AUSF = 999999.
PD= 79.25631898* TAND(45.-PHI/2.)
X= PD*SIND(RLA) +27.
Y= + (PD*COSD(RLA) - 6.)
RETURN
END

```

CLUSTERMITTELTRAJEKTORIEN

1			33.970	32.418	30.195	27.669	24.927
	22.121	19.425	16.846	14.485	24.430	24.234	23.847
	21.443	20.018	18.870	18.066	17.428		22.846
2			33.970	33.138	32.105	30.873	29.440
	27.810	26.066	24.306	22.572	24.430	24.408	24.440
	24.433	24.150	23.666	23.092	22.473		24.482
3			33.970	33.498	33.012	32.552	32.119
	31.682	31.210	30.669	30.061	24.430	24.520	24.621
	24.796	24.857	24.874	24.807	24.657		24.710
4			33.970	32.964	31.676	30.483	29.412
	28.342	27.296	26.306	25.324	24.430	23.619	22.173
	17.728	15.442	13.502	11.984	10.682		20.053
5			33.970	33.578	33.108	32.625	32.153
	31.666	31.154	30.623	30.079	24.430	24.101	23.759
	22.715	22.018	21.212	20.333	19.431		23.294
6			33.970	34.250	34.522	34.795	35.040
	35.229	35.323	35.307	35.176	24.430	24.177	23.770
	22.463	21.733	21.041	20.390	19.789		23.173
7			33.970	34.412	35.080	35.926	36.806
	37.591	38.242	38.753	39.101	24.430	24.574	24.660
	24.936	25.072	25.136	25.089	24.912		24.790
8			33.970	33.817	33.578	33.123	32.547
	31.850	31.107	30.341	29.568	24.430	25.086	25.945
	28.021	28.856	29.465	29.863	30.093		26.988
9			33.970	33.872	33.781	33.695	33.608
	33.517	33.421	33.310	33.181	24.430	24.569	24.685
	24.877	24.976	25.079	25.171	25.248		24.783

ANHANG B

Regressions- und Korrelationskoeffizienten der Ozonprognosegleichungen

$$O_3(i) = a + b \cdot T + c \cdot O_3(i-1).$$

n ist die Anzahl der Fälle und r der Korrelationskoeffizient. ALL gilt für die Regression aufgrund des Gesamtsample ohne Berücksichtigung der Wetterlagenklassifikation, 1-9 für die einzelnen Wetterlagen, Total Correlation gibt r und r^2 für die totale Korrelation über das Gesamtsample mit Berücksichtigung der Wetterlagen.

Sind die Koeffizienten gleich 0, so sind die Koeffizienten von ALL zu verwenden.

EXELBERG

	n	r	r^2	a	b	c
ALL	603	0.748	0.560	4.061	1.142	0.487
1	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	44	0.448	0.201	25.703	0.291	0.239
3	156	0.791	0.626	-6.428	1.541	0.499
4	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	73	0.547	0.299	17.993	0.283	0.469
6	50	0.691	0.477	20.375	0.946	0.326
7	31	0.608	0.370	25.051	0.918	0.289
8	34	0.719	0.517	4.061	1.011	0.435
9	211	0.711	0.506	12.250	0.999	0.449

TOTAL CORRELATION: 0.787 0.619

FUERNITZ

	n	r	r^2	a	b	c
ALL	451	0.703	0.494	5.715	0.789	0.541
1	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	33	0.407	0.166	30.127	-0.141	0.372
3	122	0.710	0.504	5.791	0.678	0.626
4	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	31	0.379	0.144	12.943	1.356	0.154
6	37	0.632	0.399	19.119	0.696	0.346
7	27	0.726	0.527	-24.310	2.075	0.495
8	23	0.763	0.582	-0.596	0.754	0.549
9	175	0.779	0.607	3.967	0.619	0.647

TOTAL CORRELATION: 0.739 0.546

GAENSERNDORF

	n	r	r^2	a	b	c
ALL	265	0.746	0.557	1.078	1.467	0.373
1	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	16	0.537	0.288	17.727	1.179	0.007
3	64	0.658	0.433	-6.549	1.809	0.336
4	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	20	0.682	0.465	18.115	1.150	0.099
6	32	0.782	0.612	12.751	1.240	0.315
7	14	0.845	0.714	-6.131	1.048	0.707
8	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	110	0.728	0.530	7.051	1.066	0.470

TOTAL CORRELATION: 0.779 0.607

GERLITZEN

	n	r	r ²	a	b	c
ALL	433	0.704	0.496	14.163	0.554	0.582
1	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	33	0.445	0.198	32.075	0.028	0.413
3	116	0.720	0.518	1.238	0.543	0.817
4	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	30	0.523	0.274	29.424	0.281	0.406
6	36	0.709	0.503	21.853	0.285	0.538
7	23	0.885	0.783	4.384	0.165	0.875
8	23	0.695	0.483	13.923	0.587	0.562
9	169	0.740	0.548	17.332	0.577	0.523

TOTAL CORRELATION: 0.729 0.531

GRAZ SUED

	n	r	r ²	a	b	c
ALL	266	0.686	0.471	9.368	1.358	0.242
1	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	15	0.397	0.158	58.262	-0.005	-0.339
3	66	0.614	0.377	8.620	1.544	0.175
4	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	20	0.453	0.205	7.455	0.300	0.609
6	33	0.711	0.506	24.806	0.580	0.322
7	14	0.759	0.576	-17.832	1.887	0.495
8	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	109	0.713	0.508	12.734	1.259	0.257

TOTAL CORRELATION: 0.747 0.558

HAUNSBURG

	n	r	r ²	a	b	c
ALL	271	0.757	0.573	1.903	1.440	0.399
1	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	16	0.298	0.089	27.664	0.449	0.135
3	67	0.674	0.454	4.413	1.264	0.394
4	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	19	0.748	0.560	7.278	2.164	0.055
6	33	0.678	0.460	26.603	0.602	0.312
7	14	0.934	0.872	5.973	1.043	0.512
8	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	112	0.779	0.607	-8.203	1.962	0.379

TOTAL CORRELATION: 0.791 0.626

HOHE WARTE

	n	r	r ²	a	b	c
ALL	436	0.713	0.508	4.407	1.066	0.429
1	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	28	0.398	0.158	23.230	0.238	0.212
3	102	0.679	0.461	-4.968	1.394	0.422
4	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	65	0.480	0.230	20.404	0.445	0.278
6	46	0.717	0.514	18.366	0.434	0.514
7	20	0.581	0.338	11.629	1.882	0.015
8	19	0.342	0.117	23.704	0.631	0.052
9	153	0.730	0.533	5.478	1.083	0.439

TOTAL CORRELATION: 0.760 0.578

ILLMITZ

	n	r	r ²	a	b	c
ALL	621	0.735	0.540	5.992	1.131	0.439
1	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	44	0.434	0.188	37.955	-0.385	0.217
3	160	0.699	0.489	4.542	1.053	0.482
4	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	76	0.642	0.412	15.158	1.082	0.237
6	51	0.786	0.618	10.995	1.057	0.449
7	33	0.770	0.593	14.177	1.386	0.251
8	34	0.767	0.588	-3.471	1.170	0.470
9	219	0.732	0.536	12.103	0.890	0.478

TOTAL CORRELATION: 0.779 0.607

KRAMSACH

	n	r	r ²	a	b	c
ALL	273	0.742	0.551	-5.511	1.427	0.450
1	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	16	0.469	0.220	16.703	0.153	0.434
3	67	0.711	0.506	-4.225	1.264	0.460
4	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	20	0.711	0.506	-12.964	1.678	0.518
6	33	0.697	0.486	8.862	1.004	0.397
7	14	0.860	0.740	-24.536	2.841	0.305
8	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	113	0.764	0.584	-15.330	1.887	0.433

TOTAL CORRELATION: 0.765 0.585

LUSTENAU

	n	r	r ²	a	b	c
ALL	445	0.752	0.566	-5.950	1.646	0.413
1	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	31	0.487	0.237	6.569	1.235	0.260
3	118	0.723	0.523	-11.547	1.888	0.405
4	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	32	0.783	0.613	-7.049	2.322	0.285
6	38	0.742	0.551	6.870	1.054	0.494
7	27	0.789	0.623	-0.342	1.294	0.515
8	22	0.702	0.493	6.312	0.767	0.337
9	174	0.780	0.608	-9.697	1.716	0.432

TOTAL CORRELATION: 0.776 0.602

NORDKETTE

	n	r	r ²	a	b	c
ALL	266	0.716	0.513	10.492	0.709	0.531
1	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	16	0.779	0.607	21.909	0.002	0.489
3	66	0.668	0.446	8.698	0.539	0.619
4	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	20	0.735	0.540	18.143	0.698	0.433
6	30	0.613	0.376	24.288	0.489	0.389
7	13	0.920	0.846	7.062	1.157	0.441
8	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	111	0.687	0.472	10.821	1.047	0.397

TOTAL CORRELATION: 0.743 0.552

PILLERSDORF

	n	r	r ²	a	b	c
ALL	347	0.749	0.561	5.083	0.648	0.628
1	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	30	0.627	0.393	21.114	-0.044	0.420
3	92	0.715	0.511	3.646	0.735	0.590
4	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	18	0.515	0.265	13.274	0.332	0.528
6	26	0.635	0.403	17.877	0.446	0.504
7	24	0.612	0.375	40.427	-0.095	0.397
8	19	0.824	0.679	-5.068	0.392	0.758
9	135	0.738	0.545	13.067	0.644	0.533

TOTAL CORRELATION: 0.795 0.632

RENNFELD

	n	r	r ²	a	b	c
ALL	443	0.760	0.578	10.012	0.816	0.506
1	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	33	0.462	0.213	32.074	-0.052	0.308
3	120	0.658	0.433	10.933	0.939	0.430
4	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	30	0.672	0.452	12.438	0.511	0.563
6	35	0.663	0.440	22.982	0.401	0.447
7	26	0.639	0.408	10.122	0.654	0.603
8	23	0.874	0.764	2.994	0.781	0.582
9	173	0.802	0.643	12.331	0.802	0.493

TOTAL CORRELATION: 0.786 0.618

SCHOENEUBEN

	n	r	r ²	a	b	c
ALL	273	0.652	0.425	14.547	0.882	0.390
1	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	16	0.360	0.130	31.696	0.054	0.259
3	67	0.586	0.343	8.113	1.333	0.269
4	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	20	0.609	0.371	26.647	0.435	0.313
6	33	0.498	0.248	34.126	0.219	0.347
7	14	0.668	0.446	31.253	0.264	0.414
8	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	113	0.652	0.425	13.287	0.876	0.435

TOTAL CORRELATION: 0.698 0.487

SONNBLICK

	n	r	r ²	a	b	c
ALL	481	0.717	0.514	14.091	0.290	0.647
1	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	38	0.534	0.285	46.293	-0.660	0.290
3	130	0.658	0.433	16.203	0.227	0.628
4	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	52	0.572	0.327	22.713	0.486	0.446
6	45	0.745	0.555	23.312	0.254	0.537
7	24	0.499	0.249	35.119	0.098	0.374
8	24	0.797	0.635	14.460	0.166	0.666
9	164	0.738	0.545	13.736	0.244	0.683

TOTAL CORRELATION: 0.752 0.566

ST. JOHANN

	n	r	r ²	a	b	c
ALL	273	0.673	0.453	-0.619	1.337	0.373
1	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	16	0.249	0.062	21.578	0.725	-0.045
3	67	0.548	0.300	7.679	1.047	0.308
4	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	20	0.613	0.376	1.629	0.937	0.466
6	33	0.712	0.507	10.671	0.874	0.388
7	14	0.637	0.406	-18.361	2.466	0.221
8	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	113	0.680	0.462	-5.615	1.592	0.374

TOTAL CORRELATION: 0.698 0.487

ST. LEONHARD

	n	r	r ²	a	b	c
ALL	268	0.842	0.709	-6.853	1.620	0.414
1	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	16	0.704	0.496	13.187	1.471	-0.059
3	67	0.818	0.669	-13.418	1.840	0.425
4	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	19	0.785	0.616	5.086	1.023	0.398
6	33	0.848	0.719	5.023	0.842	0.570
7	14	0.848	0.719	-34.445	3.139	0.199
8	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	111	0.811	0.658	-10.712	1.923	0.359

TOTAL CORRELATION: 0.854 0.729

SULZBERG

	n	r	r ²	a	b	c
ALL	450	0.777	0.604	1.787	1.550	0.401
1	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	31	0.432	0.187	22.820	0.909	0.185
3	121	0.737	0.543	2.128	1.364	0.457
4	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	31	0.842	0.709	-7.789	2.568	0.307
6	37	0.718	0.516	15.096	1.077	0.372
7	27	0.785	0.616	-3.119	1.501	0.519
8	23	0.771	0.594	-2.270	1.261	0.460
9	177	0.806	0.650	0.030	1.790	0.344

TOTAL CORRELATION: 0.797 0.635

TRAUN

	n	r	r ²	a	b	c
ALL	273	0.692	0.479	4.475	1.428	0.318
1	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	16	0.352	0.124	24.562	0.584	0.163
3	67	0.619	0.383	-2.112	1.584	0.306
4	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	20	0.439	0.193	15.308	0.636	0.329
6	33	0.468	0.219	27.846	0.566	0.263
7	14	0.732	0.536	22.307	0.824	0.311
8	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	113	0.714	0.510	1.962	1.809	0.244

TOTAL CORRELATION: 0.733 0.537

EXELBERG + ILLMITZ + PILLERSDORF

	n	r	r ²	a	b	c
ALL	339	0.794	0.630	2.959	0.943	0.567
1	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	30	0.499	0.249	30.560	-0.122	0.273
3	89	0.809	0.654	-0.426	1.049	0.577
4	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	18	0.511	0.261	11.802	0.486	0.505
6	26	0.719	0.517	13.800	0.676	0.528
7	24	0.667	0.445	28.574	0.601	0.329
8	19	0.835	0.697	-5.856	0.816	0.629
9	130	0.801	0.642	9.374	0.819	0.545

TOTAL CORRELATION: 0.838 0.702