

Wolfgang LOIBL

Reports

UBA-94-103

**Trendprognose der regionalen
Ozonmaxima unter Einbezug der
Temperaturdaten am Beispiel der
Ozonepisoden 1991 und 1992**

Wien, Oktober 1994

Bundesministerium für Umwelt,
Jugend und Familie



Autor:

Wolfgang Loibl (Hauptabteilung Umweltschutz, Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf)

Impressum:

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt, 1090 Wien, Spittelauer Lände 5
Druck: Berger, Horn

© Umweltbundesamt, Wien, Oktober 1994

Alle Rechte vorbehalten
ISBN 3-85457-203-4

Zusammenfassung

Ziel der Studie ist eine Analyse von Möglichkeiten der Anwendung statistischer Methoden für Prognosen der lokalen Ozonmaxima - der maximalen Halbstundenmittelwerte - anhand von Ozonmeß- und Temperaturdaten an ca. 80 Meßstationen und Daten für Juli und August 1992.

Das ausgewählte Prognosemodell besteht aus multiplen linearen Regressionsfunktionen. Für jede Meßstation wird eine eigene Prognosefunktion mit dem Ozonmaximum des Vortages und dem Temperaturwert des zu prognostizierenden Tages als unabhängige Variable berechnet. Damit wird für die meisten Meßstationen der Verlauf der Ozonmaxima mit hoher Treffergenauigkeit prognostiziert. Bei etwa 60 Prognosetagen des Hochsommers 1992 liegt der Prognosefehler zumindest an 50% der Tage innerhalb von ± 5 ppb und an 80 bis 90% der Tage innerhalb von ± 10 ppb. Prognosefehler größer als ± 10 ppb häufen sich bei einigen Stationen in exponierter Lage und sind auf die Tage extrem hoher Ozonmaxima beschränkt.

Die Kartendarstellung der Ozonmaxima für Österreich erfolgt anhand der Prognoseergebnisse von etwa 40 Meßstationen durch lineare Interpolation der Prognosewerte.

Summary

The purpose of this study was to analyse the feasibility of using statistical forecast methods to estimate daily maximum ozone concentrations using ozone and temperature data of about 80 monitoring stations in July and August 1992.

An appropriate model was developed consisting of multiple linear regression functions, which are calculated for every monitoring station. The independent variables are the maximum ozone concentration of the day before and the maximum temperature of the forecast day. For most monitoring stations the trend of the ozone maxima was forecasted with high accuracy. Results for 60 days show that the error is within ± 5 ppb during more than 50% of the forecast period and within ± 10 ppb during 80 to 90% of the forecast period. The errors higher than ± 10 ppb are concentrated on some monitoring stations in exposed positions and on some days of extreme high ozone maxima.

The results are graphically edited for Austria as maps by interpolating the forecasted ozone maxima for about 40 ozone monitoring sites using a linear interpolation algorithm.

Inhaltsverzeichnis

1.	Projektziel und Datengrundlagen	1
2.	Analyse der statistischen Abhängigkeiten zwischen Ozonmaxima und Temperaturmaxima	3
2.1	Korrelationsanalyse: Ozonmaxima vs. Temperaturmaxima	3
2.2	Korrelationsanalyse: Temperaturprognose vs. gemessene Temperaturmaxima und Ozonmaxima	4
2.3	Zeitreihenanalyse der Ozondaten	7
3.	Entwicklung eines Ansatzes zur statistischen Prognose der regionalen Ozonmaxima	9
3.1	Regressionsanalysen	9
3.2	Auswahl der Stationen für die Prognose	10
4.	Retrospektive Prognosen der Ozonmaxima für den Hochsommer 1992 für und die Tage der Ozonepisoden 1991	15
4.1	Darstellung des prognostizierten Ozonverlaufs in Diagrammen und Tabellen	15
4.1.1	Hochsommer 1992	15
4.1.2	Ozonepisoden 1991	27
4.2	Kartendarstellung der Ozonprognosen	29
5.	Resumé: Möglichkeiten und Grenzen der Prognose der Ozonmaxima mit statistischen Verfahren	56
5.1	Zur Qualität der Prognoseergebnisse	56
5.2	Möglichkeiten der Verbesserung der Prognosequalität	57
5.2.1	Modifikation der Prognosefunktionen	57
5.2.2	Auswahl alternativer Variablen	58
5.3	Zur räumlichen Darstellung der Ozonmaxima: Datenanforderungen, Möglichkeiten und Grenzen	60
	Literatur	62

Anhänge 1-5 erhältlich bei: Umweltbundesamt, Abt. Lufthygiene, DI Wolfgang Spangl, 1090 Wien, Spittelauer Lände 5, Tel. 31304/861 DW

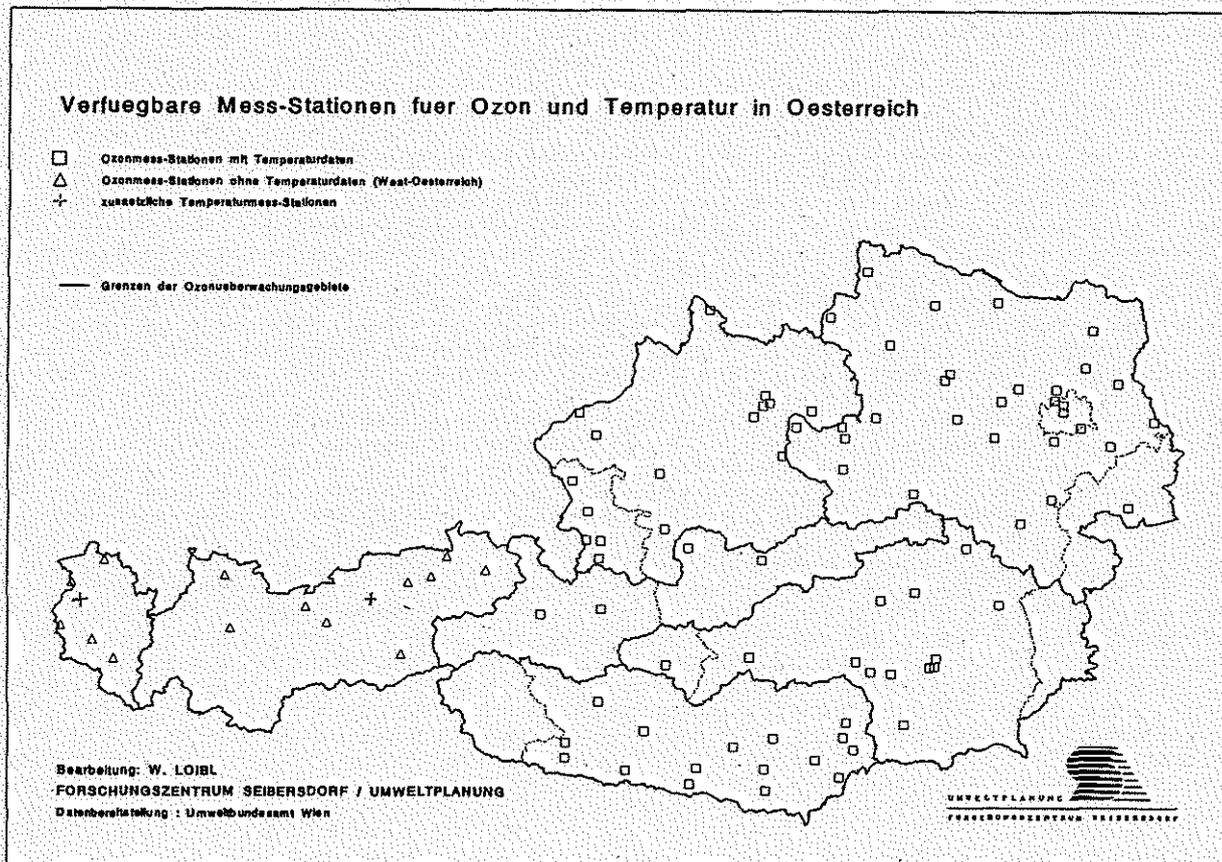
1. Projektziel und Datengrundlagen

Ziel des Projekts ist die Analyse der Möglichkeiten des Einsatzes statistischer Verfahren für die kurzfristige Prognose der lokalen Ozonmaxima - der maximalen Halbstundenmittelwerte - anhand von Ozonmeß- und Temperaturdaten als Alternative zum Einsatz von photochemischen und meteorologischen Modellen, sowie die Diskussion der Möglichkeiten und Grenzen derartiger Verfahren.

Als Daten wurden vom Auftraggeber zusätzlich zu den bereits vorliegenden Ozondaten die Temperaturdaten von 77 Meßstationen für Juli und August 1992 bzw. für die 9 Tage der bereits untersuchten Ozonepisoden 1991 zur Verfügung gestellt (vgl. LOIBL W. et al., 1992, 1993). Ergänzend dazu wurden für den Westen Österreichs die Temperaturdaten für 2 Wetterstationen (die allerdings nicht ident sind mit Ozonmeßstationen) zur Verfügung gestellt.

Die folgende Übersicht listet alle in die Analyse einbezogenen Meßstationen mit den entsprechenden Abkürzung auf. Abbildung 1 zeigt die räumliche Verteilung der Meßstationen, die für die Analyse verfügbar waren.

Abbildung 1: Karte der Meßstationen mit Ozon und Temperaturdaten



Übersicht: Ozonmeßstationen und Abkürzungen

Übersicht der Meßstationen

AMST	Amstetten / NÖ	PAUL	St. Paul i.L. / KTN
AFLU	Abt f Lufthygiene-UBA/Wien	PLAT	Graz - Platte / STMK
ANNA	Annaberg / NÖ	PILL	Pillersdorf / NÖ
BADI	Bad Ischl / OÖ	SALB	Salberg / STMK
BLEI	Bleiberg / KTN	RENN	Rennfeld / STMK
BERG	Graz-Schloßberg / STMK	SCHW	Schwechat / NÖ
DEUT	Deutschlandsberg / STMK	SCHO	Schöneben / OÖ
BRAU	Braunau / OÖ	SPIT	Spittal a.d.D. / KTN
DRAU	Oberdrauburg / KTN	STAN	St. Andrä i.L. / KTN
EXEL	Exelberg / Wien	STEY	Steyr / OÖ
FELD	Feldkirchen / KTN	STGG	Steyregg / OÖ
FERL	Ferlach / KTN	STIX	Stixneusiedl / NÖ
FUER	Fürnitz / NÖ	STLE	St. Leonhard a.F. / NÖ
FORS	Forsthof / NÖ	STOL	Stolzalpe / STMK
GAEN	Gänserndorf / NÖ	STPO	St. Pölten / NÖ
GABE	Gaberl / STMK	STRE	Strengberg / NÖ
GAIS	Gaisberg / SBG	STVA	St. Valentin / NÖ
GROS	Großgerungs / NÖ	TERN	Ternitz / NÖ
GRUN	Grundlsee / STMK	TRAU	Traun / OÖ
HAIN	Hainburg / NÖ	UNTE	Unterbergern / NÖ
HAUN	Haunsberg / SBG	TULN	Tulln / NÖ
HEID	Heidenreichstein / NÖ	VEIT	St. Veit a.d.G. / KTN
HERM	Hermagor / KTN	VELL	Obervellach / KTN
HOCH	Hochgösnitz / STMK	VILL	Villach / KTN
HWIN	Hallein - Winterstall / SBG	VOEL	Völkermarkt / KTN
ILLM	Illmitz / BGLD	VORH	Vorhof / STMK
IRNF	Irnfritz / NÖ	VOIT	Voitsberg / STMK
JAEG	Jägerwiese / Wien	WOLF	Wolfsberg / KTN
KLAG	Klagenfurt / KTN	WOLK	Wolkersdorf / NÖ
KLOS	Klosterneuburg / KTN	WRNE	Wr. Neustadt / NÖ
KOLL	Kollmitzberg / NÖ		
KOLO	St. Kolomann / SBG	HOEF*	Höfen - Lärchbichl / T
KREM	Krems / NÖ	KARW*	Karwendel / T
LENZ	Lenzing / OÖ	KUFS*	Kufstein / T
LIBE	Linz - Berufsschule / OÖ	SADR*	Innsbruck - Sadrans / T
LITU	Linz - Turm / OÖ	TJOH*	St. Johann i.T. / T
LEOB	Leoben / STMK	WORG*	Wörgl / T
LUEG	Paß Lueg / SBG	ZILL*	Zillertaler Alpen / T
MASE	Masenberg / STMK		
MATT	Mattighofen / OÖ	BLUD**	Bludenz / VBG
MICH	St. Michael i.L. / SBG	LUST**	Lustenau / VBG
MIST	Mistelbach / NÖ	SCHR**	Schruns / VBG
MURZ	Mürzzuschlag / STMK	SULZ**	Sulzberg / VBG
MOED	Mödling / NÖ		
NEBE	Nebelstein / NÖ	*	Temperatur von Jenbach
OSTR	Ostrong / NÖ	**	Temperatur von Dornbirn

2. Analyse der statistischen Abhängigkeiten zwischen Ozonmaxima und Temperaturmaxima

Eine Prognose mit statistischen Methoden erfordert das Vorhandensein eines möglichst engen statistischen Zusammenhang zwischen den Variablen, die in das Prognosemodell einzubinden sind. Die Analyse der statistischen Zusammenhänge erfolgt in den folgenden Kapiteln 2.1 und 2.2. Im Abschnitt 2.3 wird zusätzlich analysiert ob ein statistische Zusammenhang zwischen den täglichen Werten von Zeitreihen der Ozonmaxima gegeben ist, um nachzuweisen, ob Trendextrapolationen überhaupt möglich und sinnvoll sind.

2.1 Korrelationsanalyse:Ozonmaxima vs. Temperaturmaxima

Um die Sinnhaftigkeit einer Prognose der Ozonmaxima anhand der Temperaturmaxima bzw. der Ozonmaxima der Vortage zu überprüfen, wird der statistische Zusammenhang zwischen diesen Variablen untersucht. Die Korrelation bietet sich an, einen linearen Zusammenhang unabhängig von der Skalierung der Variablen *Temperatur* (0 bis ca. 35°C) und *Ozonkonzentration* (0 - >100 ppb), zu erfassen.

Der Pearson'sche Produktmoment Korrelationskoeffizient r^2 berechnet den statistischen Zusammenhang zwischen 2 Variablen x und y unabhängig von anhand folgender Gleichung :

$$r^2 = \frac{n\sum(x - \bar{x})^2 \cdot n\sum(y_t - \bar{y})^2}{((n\sum x^2 - n\bar{x}^2) \cdot (n\sum y^2 - n\bar{y}^2))^{1/2}} \quad (1)$$

Der Korrelationskoeffizient ist zwischen -1 und +1 normiert. Ein hoher Korrelationskoeffizient (nahe +1) weist auf einen hohen statistischen Zusammenhang (und damit in der Regel auf einen hohen kausalen Zusammenhang) zwischen den jeweiligen Variablen hin. Die folgende Tab. 1 zeigt das Ergebnis der Korrelationsanalyse. Der Korrelationskoeffizient r^2 beträgt bei einem Großteil der Stationen (wo Temperatur und Ozon gemessen wird) durchwegs 0.7 oder mehr beträgt. Nur knapp 10% der Stationen zeigen ein r^2 von weniger als 0.6.

Zusätzlich zur Korrelationsanalyse wurden Streudiagramme je Meßstation mit Ozon- versus Temperaturmaxima gegenübergestellt (vgl Anhang 1). Die Diagramme zeigen, ob ein r^2 durch eine breitere Streuung aller Werte geringer ist, oder nur durch einige Extremwerte und stellen ein weiteres Instrument dar, den statistischen Zusammenhang zweier Variablen zu beurteilen.

Tabelle 1: Korrelation : Ozonmaxima vs. Temperaturmaxima (Juli - August 1992)

Station Kurzbez.	Anzahl der Tage mit Daten	Korr.koeffizient r^2
TRAU	62	0.857
STGG	62	0.850
SPIT	62	0.843
BERG	62	0.828
MURZ	59	0.824
STEY	62	0.824
BRAU	62	0.816
HEID	46	0.815
PAUL	62	0.809
HWIN	62	0.800
LITU	62	0.797
TERN	62	0.797
BLEI	62	0.795
LEOB	59	0.793
STVA	57	0.791
LENZ	62	0.790
FORS	49	0.787
MATT	57	0.784
VOEL	62	0.784
SCHO	62	0.781
WRNE	58	0.781
GAIS	58	0.778
LIBE	59	0.769
PERG	62	0.767
KLAG	62	0.763
DEUT	62	0.758
BADI	60	0.755
KOLO	56	0.753
LUEG	60	0.752
NEBE	62	0.750
PILL	54	0.750
WOLF	62	0.747
ANNA	62	0.741
RENN	62	0.738
VEIT	58	0.733
HAIN	62	0.730
OSTR	60	0.728
IRNF	62	0.724
HAUN	62	0.723
AMST	62	0.722
MASE	51	0.721
PLAT	60	0.721
STAN	62	0.719
ILLM	62	0.711
GROS	60	0.700
SCHW	62	0.700
SALB	62	0.699
STPO	62	0.698
VOIT	61	0.694
MIST	58	0.693
STLE	62	0.692
FERL	62	0.680
FUER	62	0.680
MOED	62	0.680
VILL	62	0.670
WOLK	62	0.656
JAEG	62	0.651
GABE	61	0.637
KLOS	59	0.633
STRE	62	0.631
HERM	62	0.630
GRUN	61	0.626
UNTE	57	0.622
GAEN	56	0.616
KREM	62	0.611
FELD	59	0.602
EXEL	62	0.584
STOL	62	0.568
DRAU	62	0.554
STIX	62	0.541
AFLU	40	0.522
HOCH	33	0.494
KOLL	52	0.482
TULN	62	0.476
VORH	62	0.470
MICH	62	0.414
VELL	62	0.349

2.2 Korrelationsanalyse: Temperaturprognose vs. gemessene Temperaturmaxima und Ozonmaxima

Da als Eingabe für die Ozonprognosemodelle die prognostizierten Temperaturmaxima des jeweiligen Tages verwendet werden sollen, war es notwendig zu untersuchen, ob die Temperaturprognosen dazu ausreichend genaue Ergebnisse liefern. Zu dem Zweck wurden die Temperaturprognosen der ZAMG für Großräume (Bundesländer, Bundeslandgruppen) für die 20 Tage der Ozonepisoden 1992 analysiert.

Die von-bis-Prognosewerte je Bundesland(-gruppe) wurden den gemessenen Temperaturwerten aller relevanten Ozon-Meßstationen gegenübergestellt. Die umseitige Tab. 2 zeigt das Ergebnis dieser Überprüfung beispielhaft für einige Meßstationen, wobei jeweils nur der Temperaturwert mit dem besten Korrelationskoeffizienten angeführt ist. Die Variablen mit dem Namensteil TEMP 1 (z.B. BGL_TEMP1) enthalten die prognostizierten Minimalwerte der Temperaturmaxima des jeweiligen Bundeslandes, die Variablen mit dem Namensteil TEMP 2 enthalten die prognostizierten Höchstwerte der Temperaturmaxima. Es zeigt sich, daß für gewisse Stationen die Prognose des benachbarten Großraumes bessere Korrelationen liefert (z.B. Heidenreichstein mit Oberösterreich-Salzburg, Deutschlandsberg mit Kärnten).

Die Korrelationen der prognostizierten Temperaturmaxima mit den gemessenen Temperaturmaxima liegen fast durchwegs zwischen 0.8 bis 0.95, jene mit den Ozonwerten etwas darunter. Wenn man bedenkt, daß die zur Verfügung stehenden Temperaturprognosen nur allgemein für Großräume formuliert sind und nicht für einzelne Meßstationen gelten, ist die Aussagequalität der Prognosen als sehr hoch zu bezeichnen.

Anhand der Ergebnisse der Korrelationsanalyse, sowie anhand der Streudiagramme, kann somit festgestellt werden, daß sowohl die gemessenen wie die prognostizierten Temperaturmaxima sehr gut zur Prognose der Ozonmaxima herangezogen werden können.

Tabelle 2: Korrelation der prognostizierten Temperaturmaxima versus den gemessenen Ozon- und Temperaturmaxima für ausgewählte Großräume und Meßstationen

(Daten der Ozonepisoden 1992, Temperaturprognose der ZAMG, n=20)

Station/ Temperaturprognose	Pearsonkorrelation r^2	
	Ozon	Temperatur
Annaberg NOE_TEMP 1	0.629	0.914
Heidenreichstein OOE/SBG_TEMP 1	0.750	0.831
Hainburg BGL_TEMP 1	0.754	0.934
Ilmitz BGL_TEMP 2	0.824	0.943
Braunau OOE/SBG_TEMP 2	0.871	0.923
Hallein OOE/SBG_TEMP 2	0.928	0.938
Salberg STMK_TEMP 2	0.797	0.874
Deutschlandsberg KTN_TEMP 2	0.808	0.934
St. Michael OOE/SBG_TEMP 1	0.748	0.937
Ferlach KTN_TEMP 2	0.774	0.942

2.3 Zeitreihenanalyse der Ozondaten

Die häufigste Anwendung statistischer Prognoseverfahren ist die Trendextrapolation, wobei anhand der Entwicklung der vergangenen Werte die künftige Entwicklung abgeleitet wird. Dem Autor ist geläufig, daß die Ozonmaxima stark schwanken können und deshalb Trendextrapolationen zur Prognose des Ozonmaximums des Prognosetages ungeeignet sein werden.

Der Vollständigkeit halber wird jedoch geprüft, ob eine reine Trendprognose der Ozondaten sinnvolle Ergebnisse liefern kann. Zu dem Zweck wurde eine Zeitreihenanalyse der Ozonmaxima für die Tage des Juli und August 1992 durchgeführt.

Prognosemodelle anhand von Zeitreihen basieren auf der Autokorrelation oder auf gleitenden Mittelwerten (WILKINSON L., 1990). Der Einsatz gleitender Mittelwerte (moving average - Modelle) ist für die gegebene Problemstellung, nämlich die maximale Ozonkonzentration insbesondere für Zeiten extremer Ozonkonzentrationen so exakt als möglich vorauszusagen, ungeeignet.

Die auf Autokorrelation beruhenden, sogenannten autoregressiven Modelle versuchen den Wert zum Zeitpunkt aufgrund der vorangegangenen Werte (der Zeitpunkte $t-1$, $t-2$, ..., $t-n$) zu schätzen. Die Zeit dient lediglich zur Indizierung und hat keinen Einfluß auf das Prognoseergebnis. Die einfachste Form entspricht folgender Regressionsgleichung:

$$Ozon_t = x + y * Ozon_{t-1} + R \quad (2)$$

Dies ist eine einfache Geradengleichung mit dem Regressionskoeffizienten x als Abstand zum Ursprung und y als Anstieg der Geraden sowie dem Residuum R als stochastischen Fehler.

Der erfolgreiche Einsatz von autoregressiven Modellen erfordert das Vorhandensein von kontinuierlichen Trends. Um zu überprüfen, ob der Einsatz derartiger Modelle sinnvoll ist, wurde eine Analyse der Autokorrelation 1. bis 4. Ordnung durchgeführt. Autokorrelation 1. Ordnung heißt, daß die gegenseitigen statistischen Abhängigkeiten der zu prognostizierenden Werte (Zeitpunkt t) von den Werten des letzten Beobachtungszeitpunktes ($t-1$) überprüft werden. Bei der Autokorrelation 2. Ordnung erfolgt die Korrelation mit den Werten des Zeitpunkt $t-2$, bei der

Autokorrelation 4. Ordnung mit den Werten von $t-4$. Für den Test wurden einige Meßstationen herangezogen und die Autokorrelation 1 - 4. Ordnung berechnet.¹

Die Ergebnisse zeigen, daß lediglich die Autokorrelation 1. Ordnung - also die Korrelation der Meßdaten zweier benachbarter Tage - einen signifikanten statistischen Zusammenhang zeigt. Die Tabelle 3 enthält beispielhaft die Autokorrelationen der Meßdaten der Station Annaberg für 5 Tage: die Beziehung der Ozonmeßdaten von länger zurückliegenden Tagen ($Ozon : Ozon(t-3), Ozon(t-4)$) zeigen geringe bis sogar geringfügig negative Korrelationen.

Tabelle 3: Autokorrelationen 1. bis 4. Ordnung am Beispiel der Ozonmaxima der Station Annaberg, Juli bis August 1992

	OZON(t-4)	OZON(t-3)	OZON(t-2)	OZON(t-1)
OZON(t-4)	1.000			
OZON(t-3)	0.654	1.000		
OZON(t-2)	0.287	0.650	1.000	
OZON(t-1)	0.126	0.289	0.654	1.000
OZON(t)	-0.008	0.127	0.289	0.652

Damit ist statistisch nachgewiesen, daß reine Trendextrapolationen - das Berechnen der künftigen Werte anhand der Entwicklung der vergangenen Werte - unter Verwendung der Zeitreihen der Ozonmaxima keine sinnvollen Ergebnisse liefern.

Vielmehr muß versucht werden, andere Verfahren zur Prognose der Ozonmaxima einzusetzen, wofür die bereits auf statistische Abhängigkeit analysierten Variablen zur Verfügung stehen. Dies wird in Abschnitt 3 beschrieben.

¹ Die Autokorrelation wird anhand des Korrelationskoeffizienten von identen, um 1 bis n Fälle versetzten Zeitreihen quantifiziert. Die Zeitreihen der Meßstationen wurde zu dem Zweck 5 x dupliziert, um 1 bis 4 Tage zeitversetzt abgespeichert und miteinander korreliert.

3. Entwicklung eines Ansatzes zur statistischen Prognose der regionalen Ozonmaxima

3.1 Regressionsanalysen

Da Trendextrapolationen nicht sinnvoll sind, bietet sich als weiteres statistisches Prognoseverfahren die Regressionsfunktion an - wofür neben dem zu prognostizierenden Wert eine oder mehrere weitere Variablen notwendig sind, die eine entsprechende Kausalbeziehung zur künftigen Entwicklung des zu prognostizierenden Wertes aufweisen müssen.

Für eine derartige Prognose des Ozonmaximums stehen das Ozonmaximum des Vortages sowie das Temperaturmaximum des Prognosetages zur Verfügung. Nachdem mit Hilfe der Korrelationsanalysen der lineare Zusammenhang zwischen diesen Variablen nachgewiesen wurde, kann davon ausgegangen werden, daß multiple lineare Regressionsfunktionen mit dem Temperaturmaximum des Prognosetages und dem Ozonmaximum des Vortages sinnvolle Prognosen mit ausreichender statistischer Genauigkeit liefern werden. In einer vergleichenden Analyse unterschiedlicher Prognosemodelle anhand von - allerdings wenigen - Ozonmeßstationen im Westen der USA, wurde der Schluß gezogen, daß Regressionsmodelle gegenüber ARIMA-Modellen (kombinierte autoregressive und moving average-Modelle) die genauesten Prognoseergebnisse liefern (vgl. ROBESON M.S. u. STEYN D.G., 1990).

Die Modellannahme besteht darin, daß hohe Ozonmaxima des Vortages und hohe Temperaturwerte des Prognosetages auf entsprechend hohe Ozonmaxima des Prognosetages schließen lassen. Die Standardformel der hier verwendeten multiplen Regressionsgleichung ist folgende:

$$Ozon_t = x + y1 * Ozon_{t-1} + y2 * Temperatur_t + R \quad (3)$$

Die Regressionsgleichung beschreibt jene Gerade, deren Lage die geringste (quadratische) Abweichung von den Meßpunkten innerhalb des Merkmalsraumes erlaubt. Im Anhang 2 sind die Ergebnisse der Regressionsanalysen für alle Meßstationen dokumentiert.

Im Zuge der Regressionsanalysen wurden neben den Ozonwerten des Vortages sowohl die Temperatur als absoluter Betrag in °C wie auch die Temperaturdifferenz zwischen Vortag und Prognosetag als unabhängige Variable² untersucht (Gleichung 4).

²Die zu berechnende Variable (hier $Ozon_t$) wird abhängige Variable genannt, die bekannten Variablen, die die Ausprägung der abhängigen Variablen erklären bzw. berechnen, heißen unabhängige Variablen.

$$Ozon_t = x + y1 * Ozon_{(t-1)} + y2 * Temperaturdiff. t - (t-1) + R \quad (4)$$

Es zeigte sich, daß die Regressionsfunktionen mit den absoluten Temperaturmaxima der Prognosestage zu guten Ergebnissen führen (vgl. Abschnitt 4). Demgegenüber waren die Ergebnisse der Regressionsfunktionen mit der Temperaturdifferenz als zweite unabhängige Variable insgesamt weniger überzeugend. Die Korrelationskoeffizienten fallen geringer aus, die mittleren Abweichungen der prognostizierten von den gemessenen Werten sind größer (vgl. Anhang 3).

Weiters zeigen die Ergebnisse, daß es wichtig ist, Regressionen mit Intercept zu wählen. Regressionsfunktionen ohne Intercept - Regressionsgerade, die durch den Ursprung gehen - haben größere Standardfehler und beinhalten vor allem immer wieder negative Regressionskoeffizienten, die keine schlüssige Prognose zulassen.

Es wurde auch die Möglichkeit geprüft, für die Prognose regionale Mittel der Ozonmaxima aus mehreren Stationen zu berechnen, wie in einer aktuellen Studie zur Ozonsituation im Wiener Raum vorgeschlagen wird (vgl. STOHL A., KROMP-KOLB H., 1994). Dies verbessert zwar die Korrelation der zu verwendenden Variablen aus statistischer Sicht, führt aber zugleich zu einer Kappung der extremen Spitzen und Senken. Dadurch könnten keine Spitzenbelastungen für einzelne Meßstationen prognostiziert werden, was ja das Ziel dieses Prognoseansatzes ist. Nur bei der meßstationsbezogenen Prognose der Ozonmaxima von Prognosen ist also 1. eine nachvollziehbare Überprüfung der Prognoseergebnisse gewährleistet und sind 2. Kartendarstellungen der detaillierten räumlichen Verteilung der Ozonmaxima möglich.

3.2 Auswahl der Stationen für die Prognose

Die Stationsauswahl hat zum Ziel, möglichst repräsentative Stationen für die Regionen Österreichs auszuwählen, wobei der kausale Zusammenhang zwischen Ozonmaxima und den unabhängigen (bzw. erklärenden) Variablen Ozonmaxima des Vortages und Temperaturmaxima möglichst hoch sein soll.

Da die Korrelationsanalyse nur schwer eine eindeutige Auswahl der für die Prognose heranzuziehenden Meßstationen zuläßt - die Korrelationskoeffizienten liegen bei der Großzahl der Stationen sehr eng beieinander - erfolgt die Auswahl der Stationen im Zuge der Regressions-

analysen (vgl. 3.1) sowie unter Zuhilfenahme der Streudiagramme der Ozonmaxima vs. Temperaturmaxima (vgl. Anhang 1).

- Erstes Auswahlkriterium für den Einbezug der Stationen in das Prognosemodell war das Vorhandensein *positiver* Regressionskoeffizienten für die erklärenden Variablen gemäß Gleichung 3.

Wenn keine positiven Koeffizienten innerhalb der Prognosefunktion aufscheinen, kann die Modellannahme (vgl. Abschnitt 3.1) nicht umgesetzt werden. Nur jene Stationen, wo höhere Temperaturen und hohe Vortages-Ozonmaxima zu höheren Ozonmaxima des Prognosetages führen, gewährleisten sinnvolle Prognoseergebnisse.

- Als weitere Auswahlkriterien wurden der RMS-Error und der multiple Korrelationskoeffizient herangezogen.³ Der RMS-Error sollte bei hohem r^2 kleiner als 10 sein. Da die Skalierung des RMS-Errors der Skalierung der zu prognostizierenden Datenreihe entspricht, fordert das Auswahlkriterium einen mittleren Prognosefehler von weniger als ± 10 ppb. (Von Bedeutung ist nicht so sehr der enge lineare Zusammenhang zwischen den Variablen, sondern die möglichst geringe mittlere Abweichung der Meßpunkte von der Regressionsgeraden, was eine geringe Abweichung der Prognoseergebnisse von den tatsächlichen Meßdaten eher begünstigt.)
- Nach ersten Tests für die Kartenerstellung zeigte sich, daß die räumliche Dichte der Stationen für die flächenhafte Darstellung zu gering war. Weiters fehlten in Gebieten, wo hohe Ozonwerte gemessen wurden, Prognosestationen mangels statistischer Signifikanz, sodaß in diesen Räumen generell zu geringe Ozonwerte ausgewiesen wurden.

Deshalb wurden zusätzliche Stationen für die Prognose ausgewählt, wo der RMS-Error der Funktion zwar relativ größer war, die Position der Station jedoch entweder für die Kartenerstellung notwendig war, oder die Konzentrationswerte der Station entsprechend hoch waren, sodaß die Integration der Station ein besseres Gesamtbild der Belastungssituation lieferte. (Dies war z.B. bei der Station Jägerwiese der Fall, die trotz eines RMS-Errors von 17 ppb aufgenommen wurde.)

³ Der RMS-Error ist die mittlere Abweichung der berechneten Werte von den Meßwerten. Der multiple Korrelationskoeffizient ist ebenso zu interpretieren wie der einfache r^2 . Zum Unterschied zu diesem wird anstatt einer Variablen mit einer anderen, eine Variable mit einer Variablengruppe (hier 2 Variablen) in Beziehung gebracht.

Die folgende Tabelle 4 enthält die Regressionskoeffizienten, den multiplen Korrelationskoeffizienten r^2 , sowie den mittleren Standardfehler (RMS-Error) der Regressionsfunktionen für jene Meßstationen, welche für die Prognosestationen ausgewählt wurden.

Für Westösterreich standen keine Temperaturdaten je Ozonmeßstation zur Verfügung, sodaß mit je einer Temperaturmessung für Tirol und Vorarlberg das Auslangen gefunden werden mußte. Dabei zeigte sich, daß die größere Entfernung zwischen Ozonmeß- und Temperaturmeßstation bei entsprechender Auswahl von repräsentativen Temperaturmeßstationen sich kaum auf den multiplen r^2 und ebenso wenig auf den RMS-Error auswirkt.

Insgesamt zeigen die statistischen Maßzahlen, daß die Funktionen entsprechend gute Prognoseergebnisse liefern müßten. Die RMS-Fehler liegen überwiegend zwischen ± 6 und 8. Lediglich bei jenen Stationen, die zusätzlich in die Gruppe der Prognosestationen aufgenommen wurden, liegen sie bei 10 - 11. Die Station Jägerwiese mit 17 bildet eine Ausnahme - sie wurde aufgrund der hohen Ozonspitzen während des Sommers 1992 in die Auswahl miteinbezogen.

Die Regressionsgleichungen lassen sich kurz wie folgt beschreiben:

Die negativen Intercepts⁴ ergeben sich aus der Verteilung der Punktwolke mit hohen Ozonwerten bei relativ geringen Temperaturwerten im Merkmalsraum und dem statistischen Einfluß beider erklärenden Variablen auf die zu prognostizierende Variable. 0- oder positive Intercepts würden flachere Anstiege der Regressionsgeraden nach sich ziehen, was zu hohen negativen Abweichungen der Prognosewerte von den Meßwerten an Tagen hoher Ozonmaxima führen würde.

Die Regressionskoeffizienten der Vortagsozonmaxima liegen im Durchschnitt zwischen 0.25 und 0.4 mit Extremen von 0.006 (Pillersdorf), 0.037 (Illmitz) und 0.093 (Jägerwiese) bis 0.593 (Obervellach), 0.588 (St. Michael) und 0.564 (Zillertaler Alpen). Die Regressionskoeffizienten der Temperaturmaxima liegen im Durchschnitt zwischen 1.5 und 2.5 mit Extremen (vom 0.83 bis 3.01).

Der Einfluß beider erklärenden Variablen auf das zu prognostizierende Ozonmaximum entspricht beim Großteil der Stationen etwa dem Verhältnis 1 : 1.5 bis 1 : 3 mit Extremen von 1 : 0.7 bis 1 : 150 (Vortagsozonmaximum vs. Temperaturmaximum), wenn man die Skalierung von Ozon

⁴ Das Intercept ist der Abstand der Regressionsgeraden im Ursprung des Koordinatensystems. Ist das Intercept 0, geht die Regressionsgerade durch den Ursprung ($x=0, y=0$), ist es positiv liegt sie (bei $x=0$) über dem Ursprung, ist sie negativ, dann liegt sie unter dem Ursprung. Je höheren die Ozonwerte (bei gleicher Temperatur) sind, desto größer ist die Verschiebung der Regressionsgeraden nach links, was zu höheren negativen Intercepts führt

(bis 100 ppb) vs. Temperatur (bis 35°C) mit einem Verhältnis von ca. 3 : 1 berücksichtigt. Das weist darauf hin, daß die Temperaturmaxima als Indikator auf die künftigen Ozonmaxima wesentlich größeren Einfluß hat, als die Ozonmaxima des Vortages.

Bei den Stationen lassen sich zwischen östlichen (Tal-) Stationen und westlichen (Berg-)Stationen deutliche Differenzen des Einflusses beider Variablen feststellen, wie die oben angeführten Stationen mit Ihren Extremwerten zeigen.

Bei den Stationen in östlichen Tal- und Beckenlagen ist der Temperatureinfluß überdimensional hoch, was offensichtlich mangels geringerer statistischer Beziehung Ozonmaxima vs. Vortags-ozonmaxima (durch die hohen kurzfristigen Schwankungen mit häufiger Trendumkehr) und mangels besserer erklärender Variablen alternativ zur Temperatur zustande kommt.

In den Stationen im alpinen Raum ist es zum Teil - wie erwartet - umgekehrt. Hier sind zum einen die Temperaturwerte nicht so hoch wie in den Tal- und Beckenlagen, zum andern sind die Ozonwerte geringeren Schwankungen unterworfen, sodaß die Vortagsozonwerte den zu prognostizierenden Ozonwerten jeweils ähnlicher sind, als in den östlichen Beckenlagen mit ihren stärkeren meteorologischen Einflüssen auf die Ozonbildung.

Tabelle 4: Regressionsfunktionen für die Ozonprognose
(sortiert nach RMS-Error)

Stations Kurz-bez.	Intercept x	Regressionskoeffizienten für:		multipler Korr.-Koeff. r2	RMS-Error
		Ozonwert des Vortages y1	Temperatur an Meßstation y2		
ZILL	-2.165	0.564	0.999	0.644	5.1 **
IMST	-20.451	0.308	1.946	0.713	5.5 **
SALB	8.820	0.434	1.149	0.671	5.7
VILL	-3.412	0.400	1.360	0.638	6.1
DRAU	-3.636	0.454	1.193	0.567	6.3
TJOH	-11.242	0.335	1.648	0.659	6.3 **
HOEF	-18.243	0.247	2.017	0.707	6.4 **
SADR	-16.215	0.256	2.133	0.711	6.7 **
VEIT	-8.824	0.287	1.564	0.626	6.7
BRAU	-14.026	0.192	2.046	0.718	6.8
FUER	-1.205	0.365	1.432	0.605	6.8
BERG	-4.283	0.084	2.447	0.699	6.9
VELL	-2.247	0.593	0.831	0.508	7.1
HWIN	-15.655	0.183	2.751	0.768	7.2
MASE	18.450	0.200	1.703	0.563	7.3
BLEI	-13.582	0.275	2.161	0.712	7.4
ANNA	-0.189	0.390	1.611	0.673	7.5
MICH	-6.391	0.588	1.145	0.564	7.5
HEID	-0.104	0.141	2.027	0.678	7.6
LENZ	-9.915	0.256	2.122	0.702	7.8
TERN	-10.280	0.230	2.059	0.681	7.9
TRAU	-20.865	0.030	3.071	0.756	7.9
STEY	-16.152	0.075	2.530	0.746	7.9
DEUT	-9.010	0.192	2.220	0.636	8.3
SCHO	1.165	0.238	2.213	0.667	8.3
LEOB	-18.508	0.201	2.318	0.666	8.5
FORS	-2.576	0.163	2.206	0.643	8.7
NEBE	0.367	0.307	1.897	0.628	9.2
ILLM	0.260	0.037	2.388	0.513	9.3
FRAS	-1.622	0.387	1.650	0.567	9.7 *
SCHR	-6.591	0.303	2.071	0.530	10.1 *
MIST	-8.264	0.121	2.192	0.507	10.1
MOED	-6.648	0.177	2.196	0.533	10.2
SULZ	-8.062	0.212	2.233	0.494	10.7 *
HAIN	-17.121	0.046	2.828	0.553	11.0
PILL	-15.999	0.006	2.984	0.535	11.6
JAEG	-25.927	0.093	3.456	0.431	17.3

* In Vorarlberg Verwendung der Temperaturwerte der Station Dornbirn

** In Tirol Verwendung der Temperaturwerte der Station Jenbach

4. Retrospektive Prognosen der Ozonmaxima für den Hochsommer 1992 für und die Tage der Ozonepisoden 1991

4.1 Darstellung des prognostizierten Ozonverlaufs in Diagrammen und Tabellen

4.1.1 Hochsommer 1992

Die Prognose für das Jahr 1992 erfolgt für alle in Tab. 4 angeführten Meßstationen. Nochmals sei erwähnt, daß für die westösterreichischen Stationen keine Temperaturdaten an den Meßstationen zur Verfügung standen, sondern für Vorarlberg und Tirol jeweils Daten einer Wetterstation die jeweils in sehr unterschiedlicher Entfernung (bis 50 und mehr km) zu den entsprechenden Ozonmeßstationen liegen.

Im Zuge der Bearbeitung zeigte sich aber, daß die räumliche Nähe von Ozon- und Temperaturmeßstation nicht unbedingt wesentlich ist. Im allgemeinen - d.h. ohne den Anspruch der Berücksichtigung lokaler Spitzenwerte bei der Prognose - genügen sogar Temperaturwerte ohne konkreten Ortsbezug, wie sie für Großräume prognostiziert werden. (vgl. Tab. 2 im Abschnitt 2.2). Wichtiger als die Übereinstimmung des Ortes von Ozon und Temperaturmessung ist vielmehr, ob die zur Verfügung stehenden Temperatur-(prognose)-werte einen stabilen statistischen Zusammenhang (also hohem r^2 und damit hohem Erklärungswert für die Prognose) zu den Ozonmaxima sowie Funktionen mit geringem RMS-Error liefern.

Als Anhang 4 sind die Ergebnistabellen für alle ausgewählten Meßstationen beigelegt, wobei für jeden Prognosetag des Jahres 1992 die gemessenen Ozonmaxima, die prognostizierten Ozonmaxima, die gemessenen Temperaturmaxima und die Residuen dargestellt sind. Die Residuen sind Abweichungen der prognostizierten von den gemessenen Werten. In ihnen zeigt sich die Genauigkeit der Prognose. Die Werte sind nach den Residuen sortiert, um die Qualität der Prognoseergebnisse besser erfassen zu können.

Besonders aufschlußreich ist die graphische Darstellung der Ergebnisse in Form von Liniendiagrammen, wo der Verlauf der O_3 -Meßwerte, der O_3 -Prognosewerte, der Temperatur und der Residuen verglichen werden kann. Sie sind als Anhang 5 für alle Stationen beigelegt.

Insgesamt konnte festgestellt werden, daß die Residuen zumindest an 50% der Tage innerhalb von ± 5 ppb liegen; an 80 bis 90% der Tage liegen die Residuen innerhalb von ± 10 ppb. Das heißt, trotz mancher tages- und stationsspezifischer Abweichung wird beim Großteil der Meßstationen der Verlauf - insbesondere die Trends und deren Umkehr gut widerspiegelt. Für einen großen Teil der Meßstationen wird der Verlauf der Ozonmaxima ideal prognostiziert.

Dies gilt etwa für Traun, Braunau, Graz-Schloßberg, Annaberg, Oberdrauburg, die Zillertaler Alpen (obwohl die Temperaturmessung weit entfernt erfolgt!) und eine Vielzahl weiterer Stationen (vgl. Anhang 5). Für wenige Stationen in exponierten Lagen gilt allerdings, daß während der eigentlichen Ozonepisoden an den Spitzentagen die Prognoseergebnisse deutlich niedriger liegen als die gemessenen Maxima: z.B. die Meßstationen Illmitz, Fürnitz und Frastanz.

Insgesamt fällt auf, daß gegen Ende August die Prognoseergebnisse zwar meist innerhalb der 10 ppb - Bandbreite liegen, aber durchwegs höher sind, als die Meßwerte. Dies könnte auf die Ende August trotz hoher Temperaturen bereits deutlich geringere Globalstrahlung und damit abnehmende Ozonbildung zurückzuführen sein.

Die folgenden Liniendiagramme zeigen den Verlauf der Ozonmaxima während des Juli und August und den Verlauf der Prognoseergebnisse innerhalb einer Bandbreite von ± 5 bzw. 10 ppb beispielhaft für die oben angeführten Meßstationen.

Abbildung 2: Annaberg

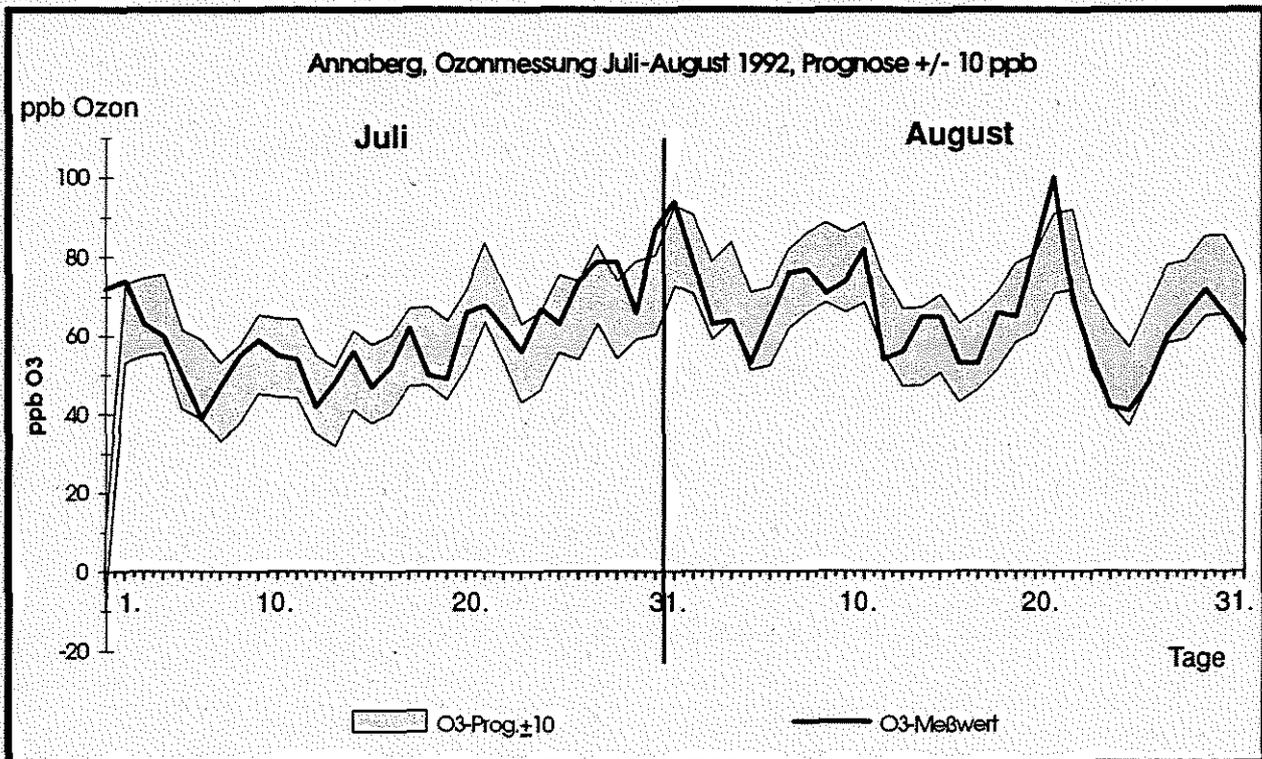
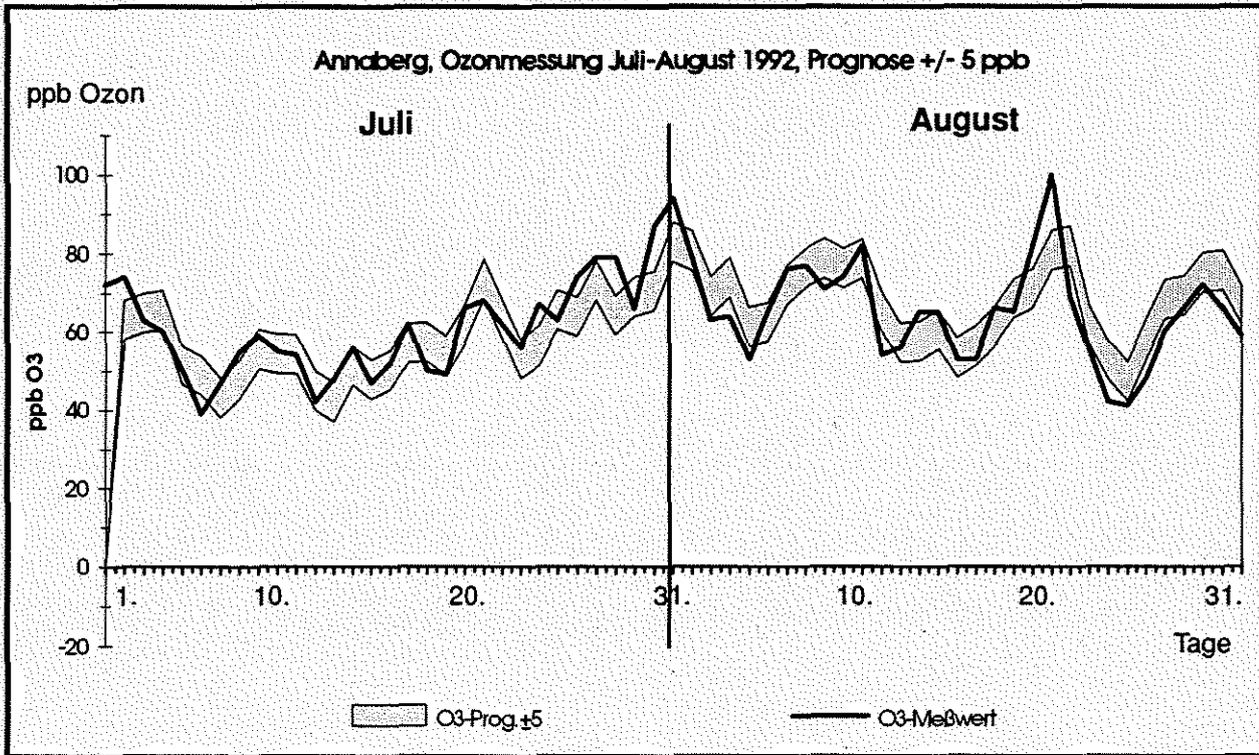


Abbildung 3: Illmitz

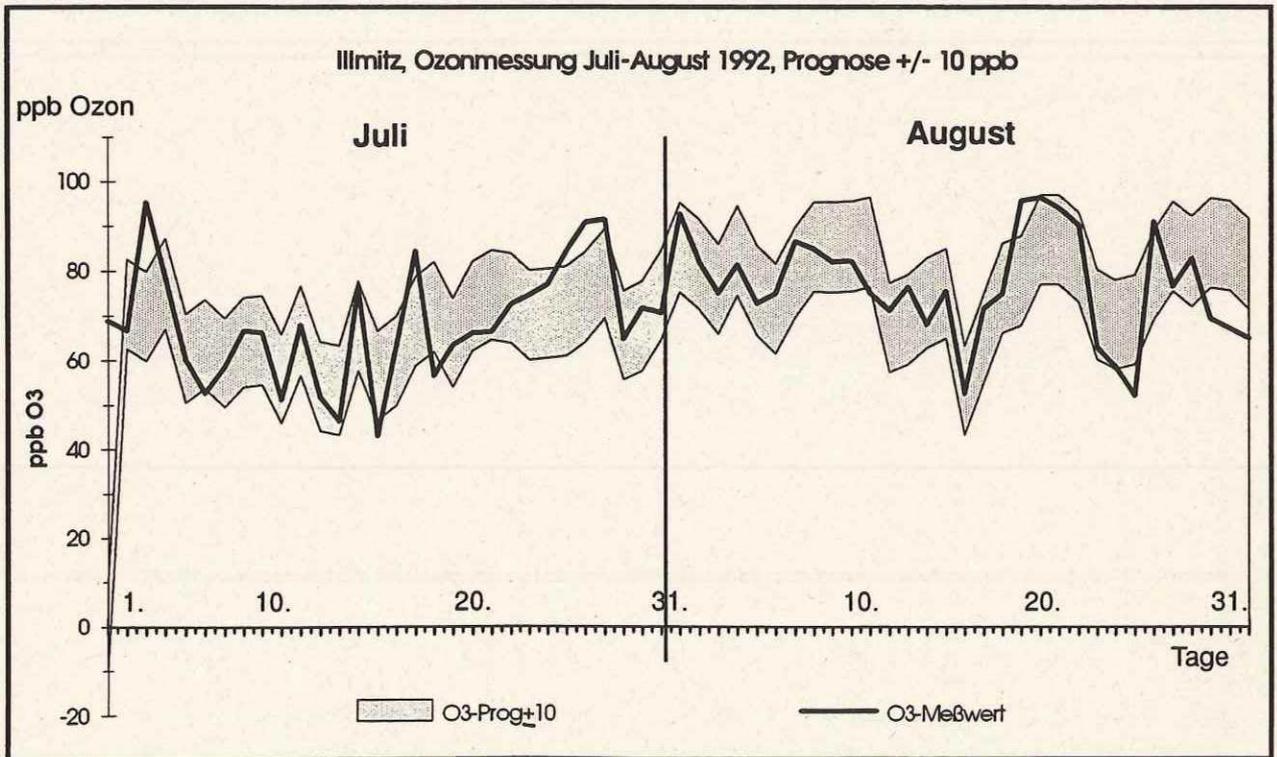
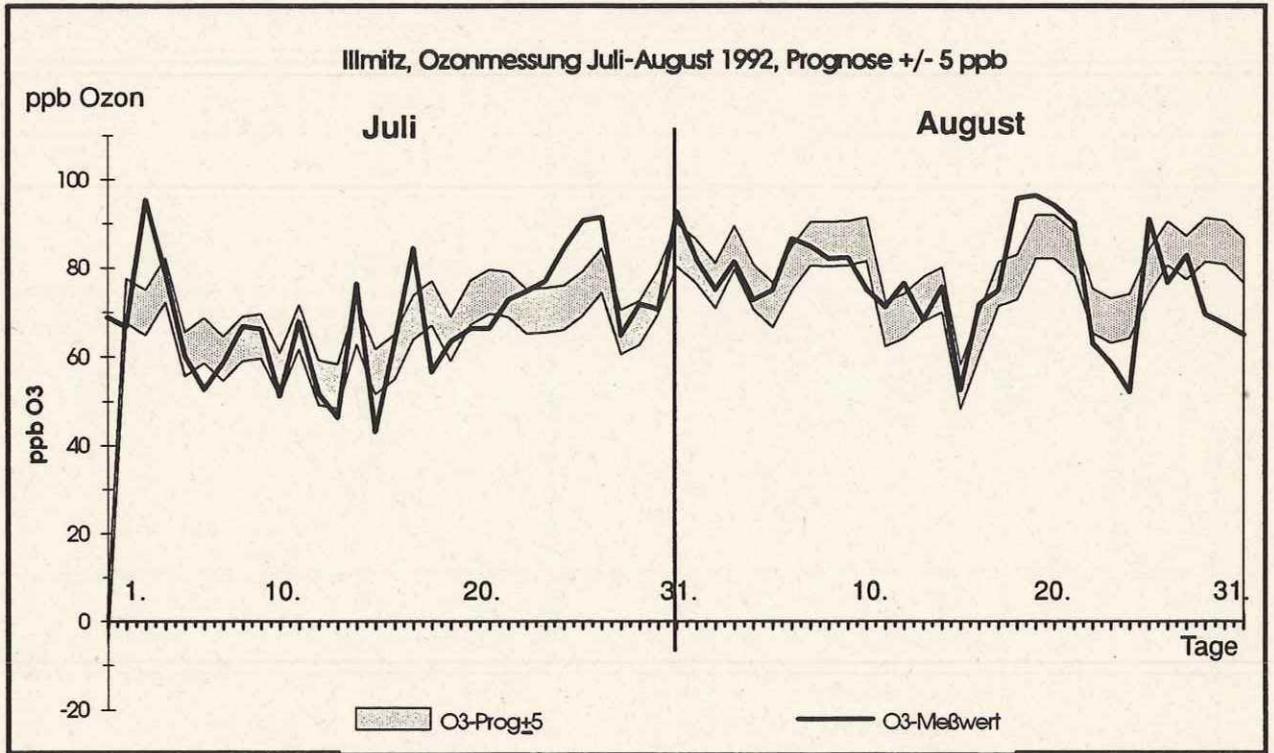


Abbildung 4: Fürnitz

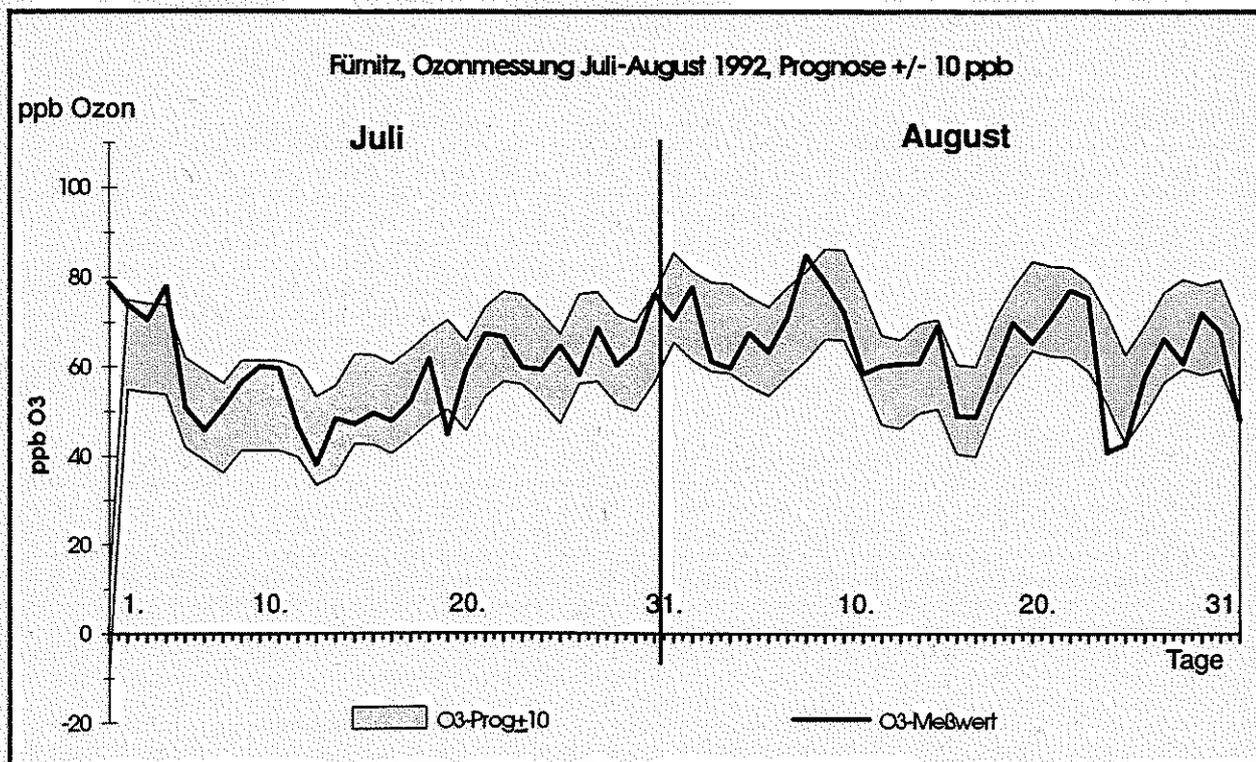
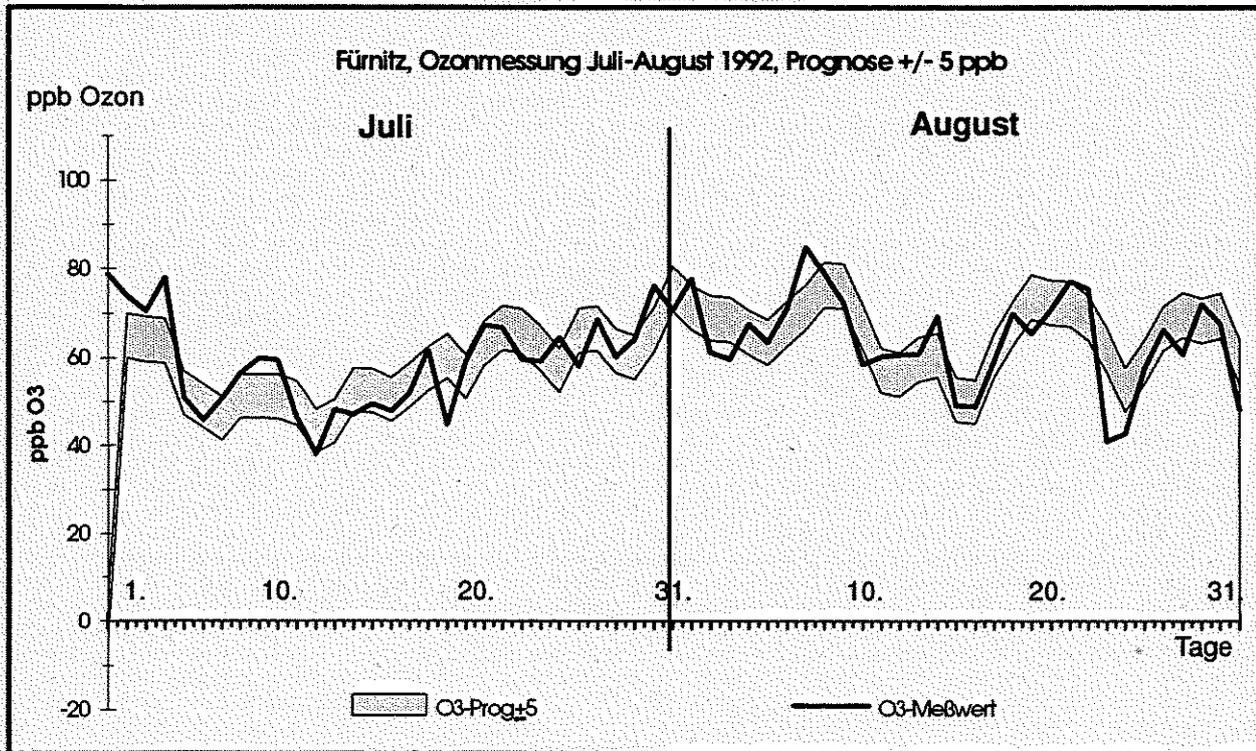
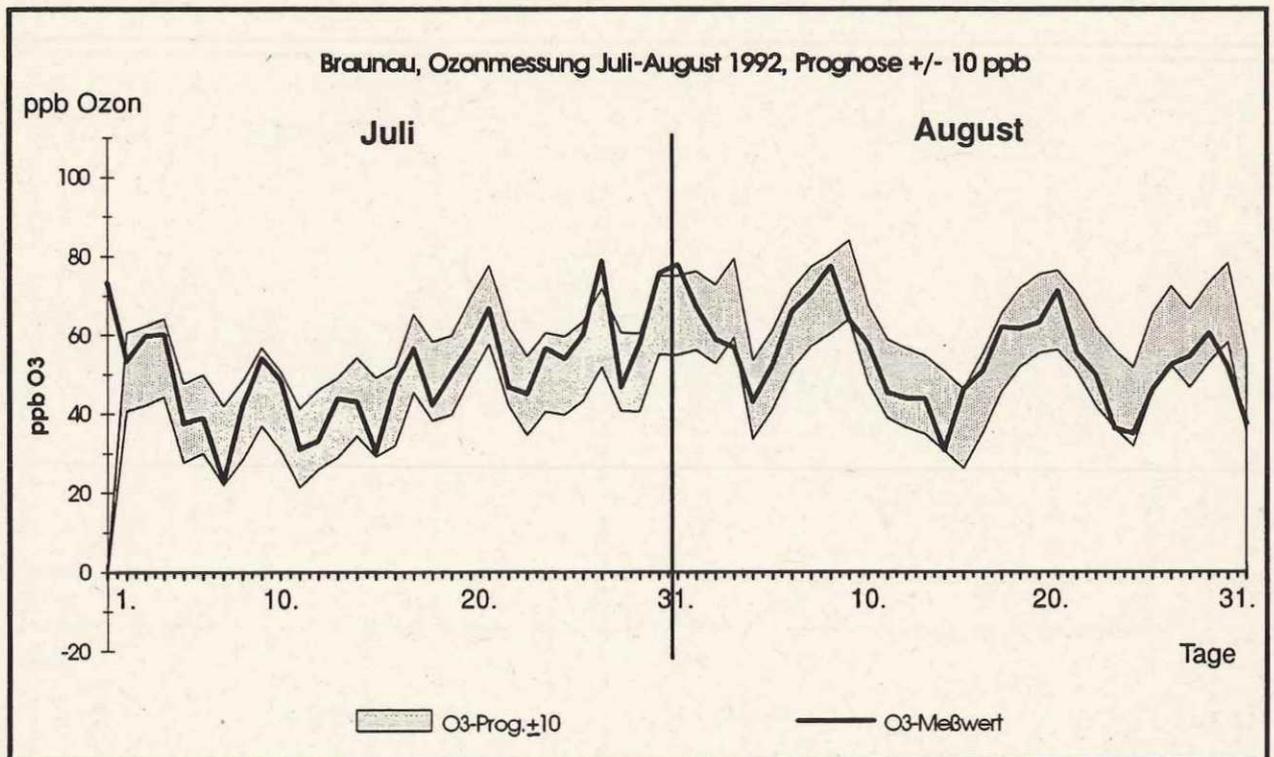
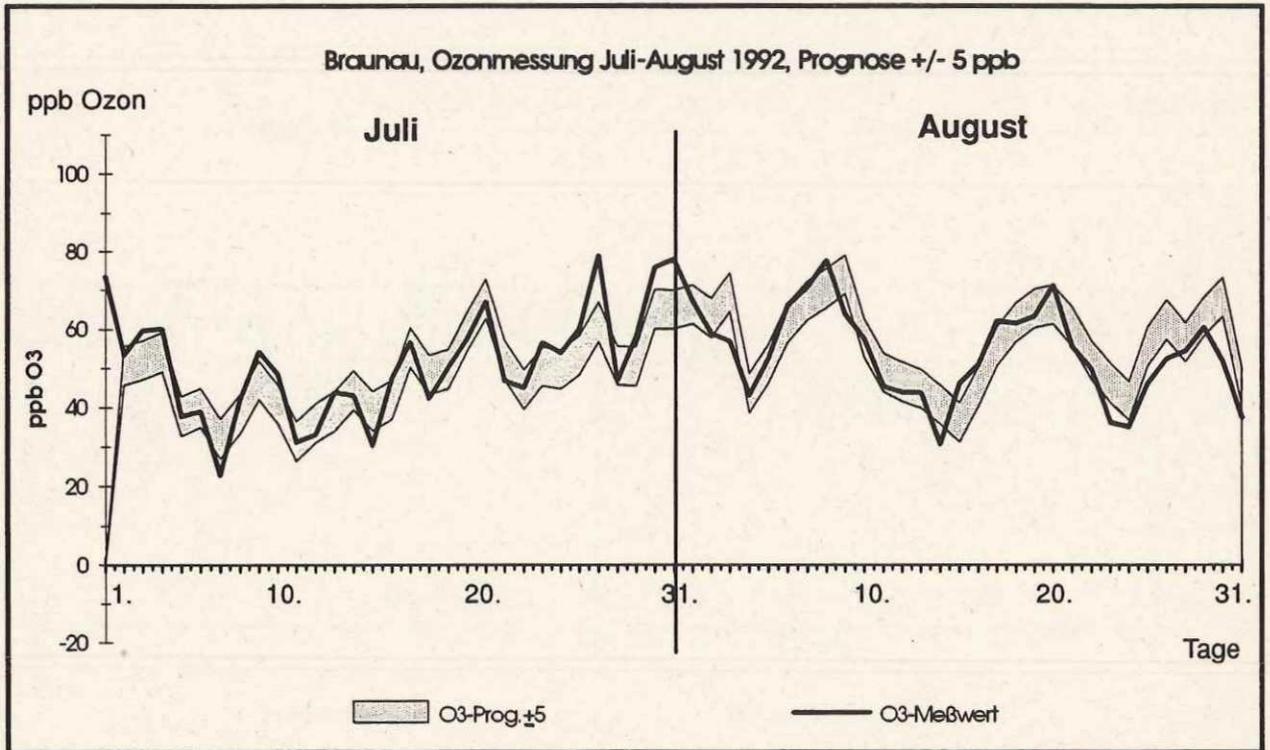


Abbildung 5: Braunau



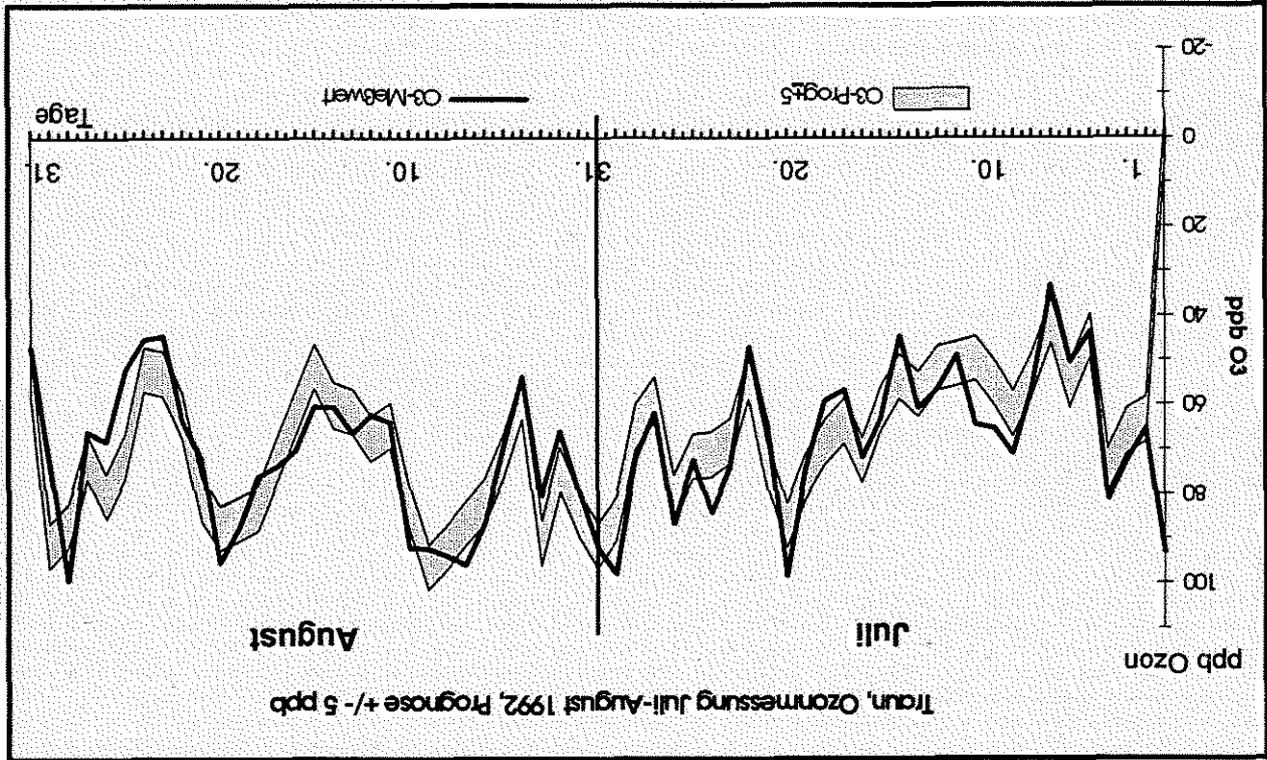
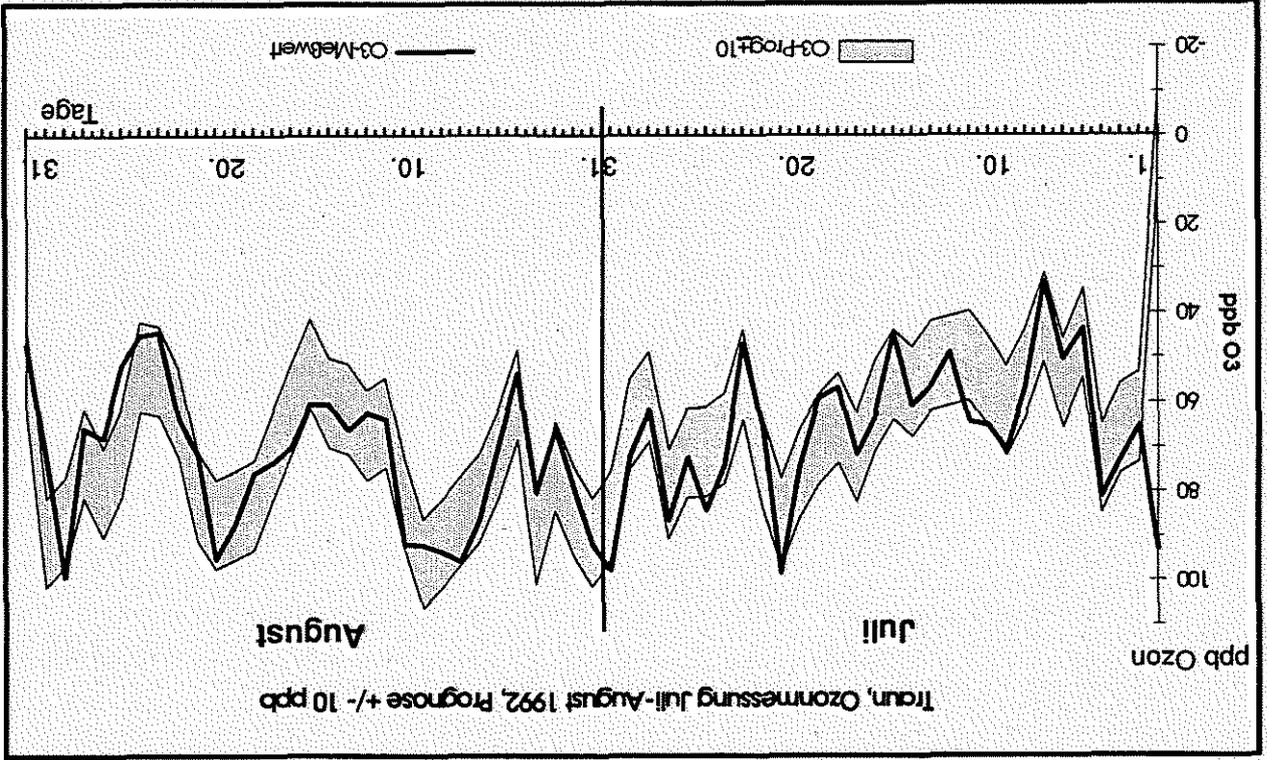


Abbildung 6: Traun

Abbildung 7: Graz-Schloßberg

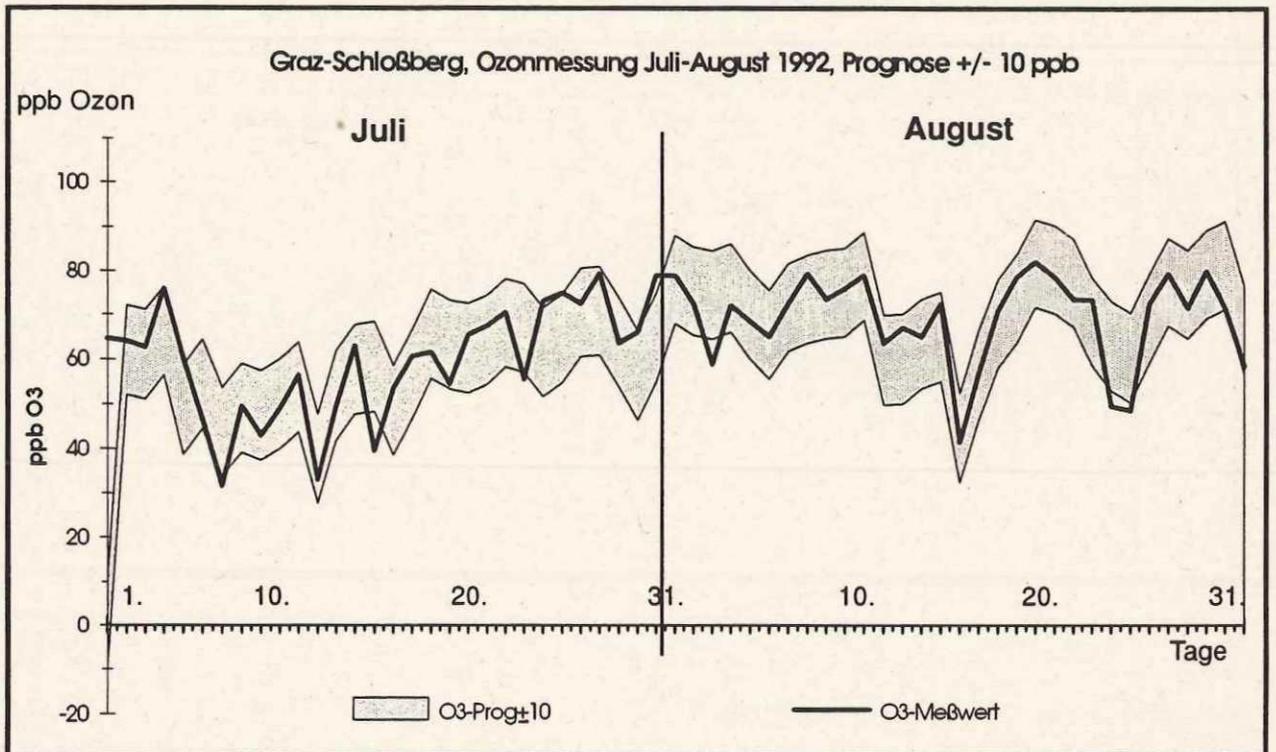
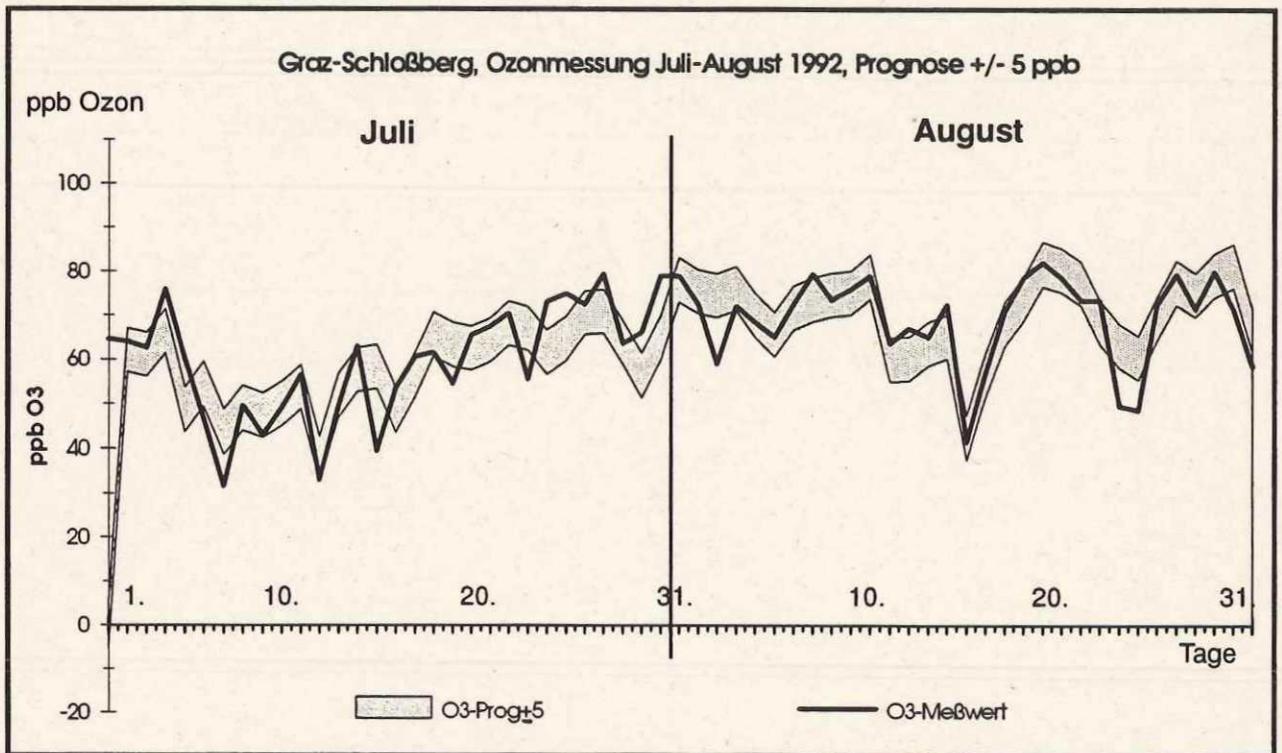


Abbildung 8: Oberdrauburg

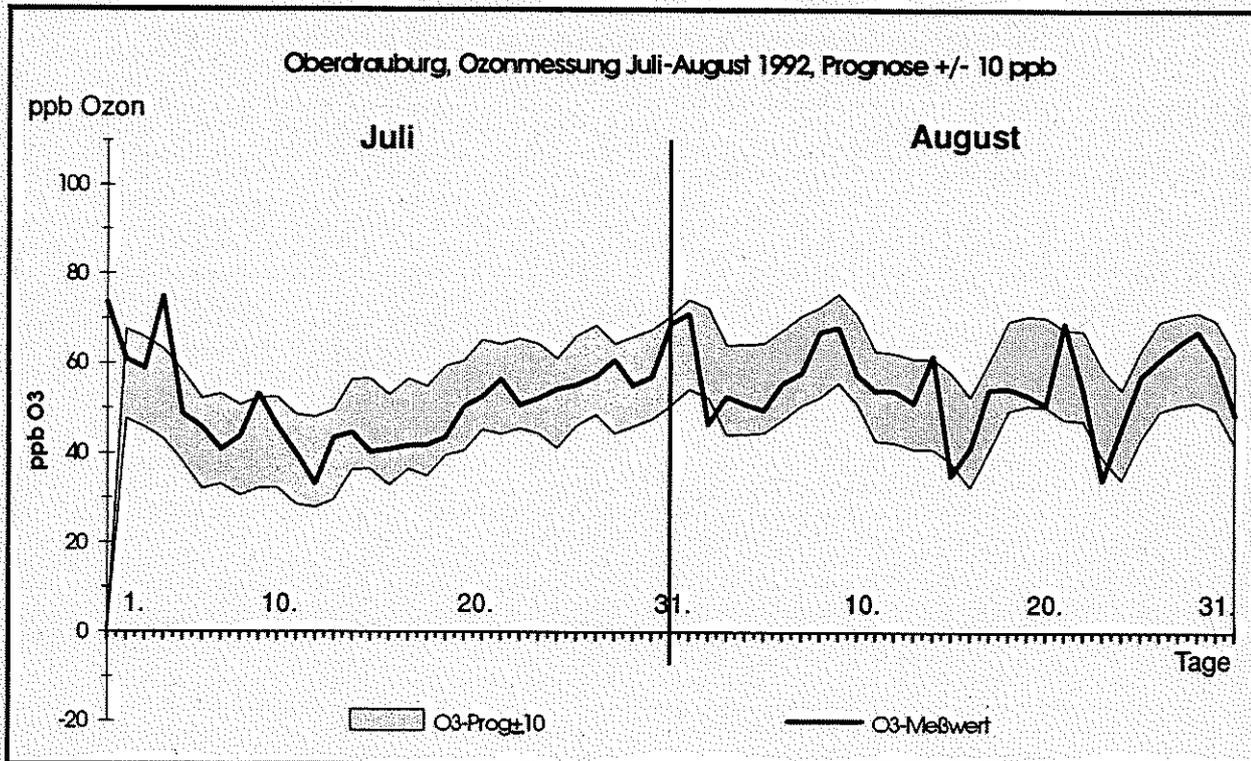
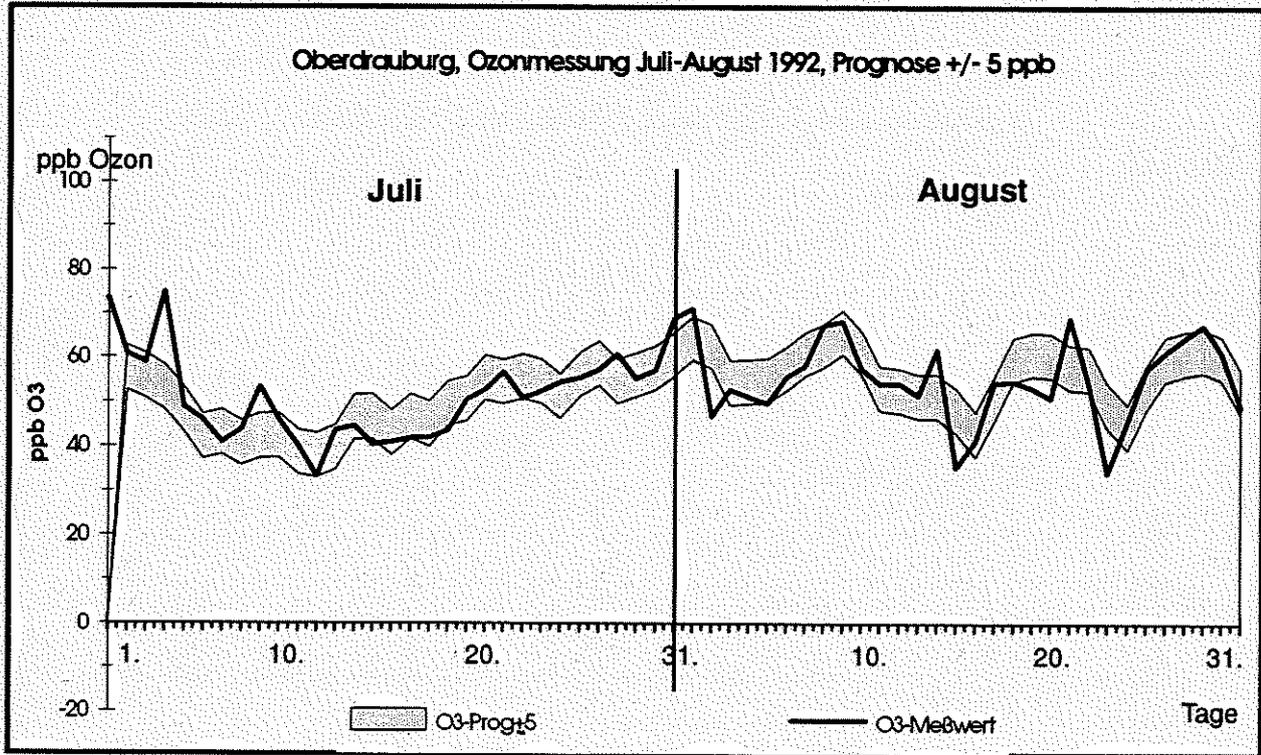


Abbildung 9: St. Michael im Lungau

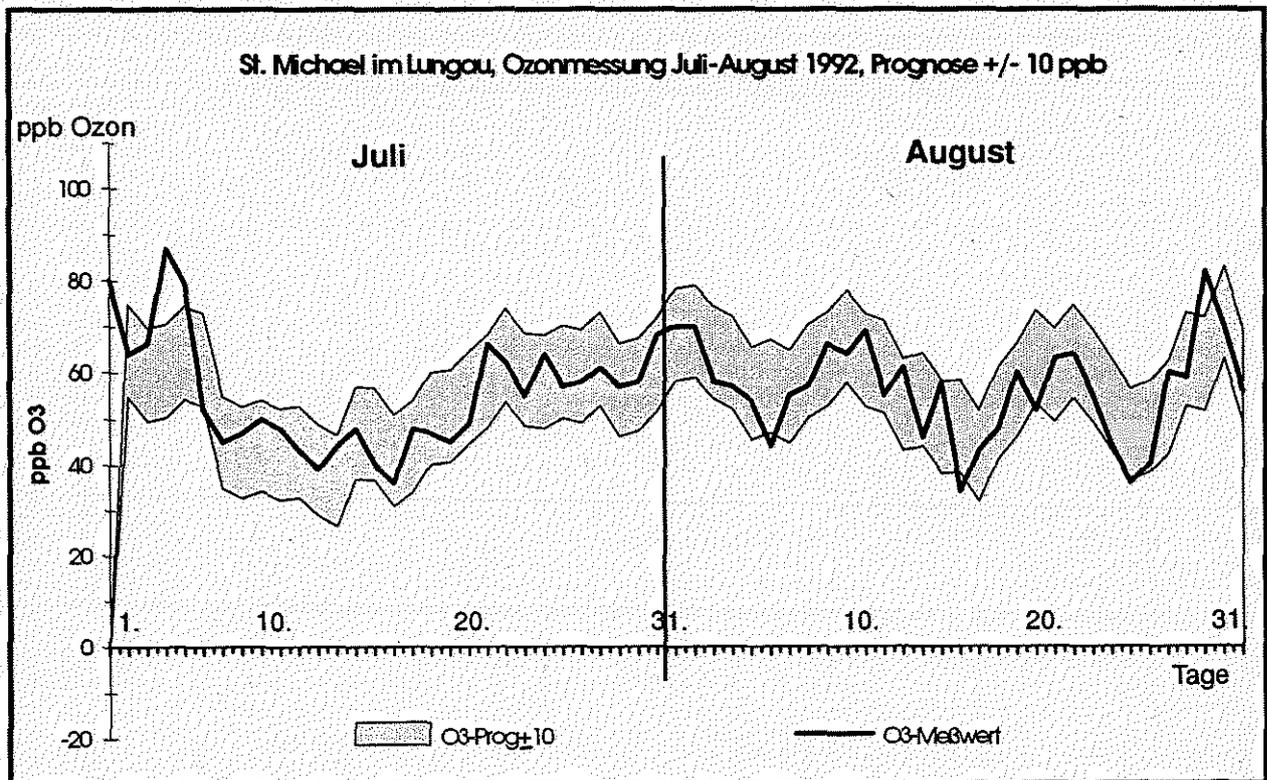
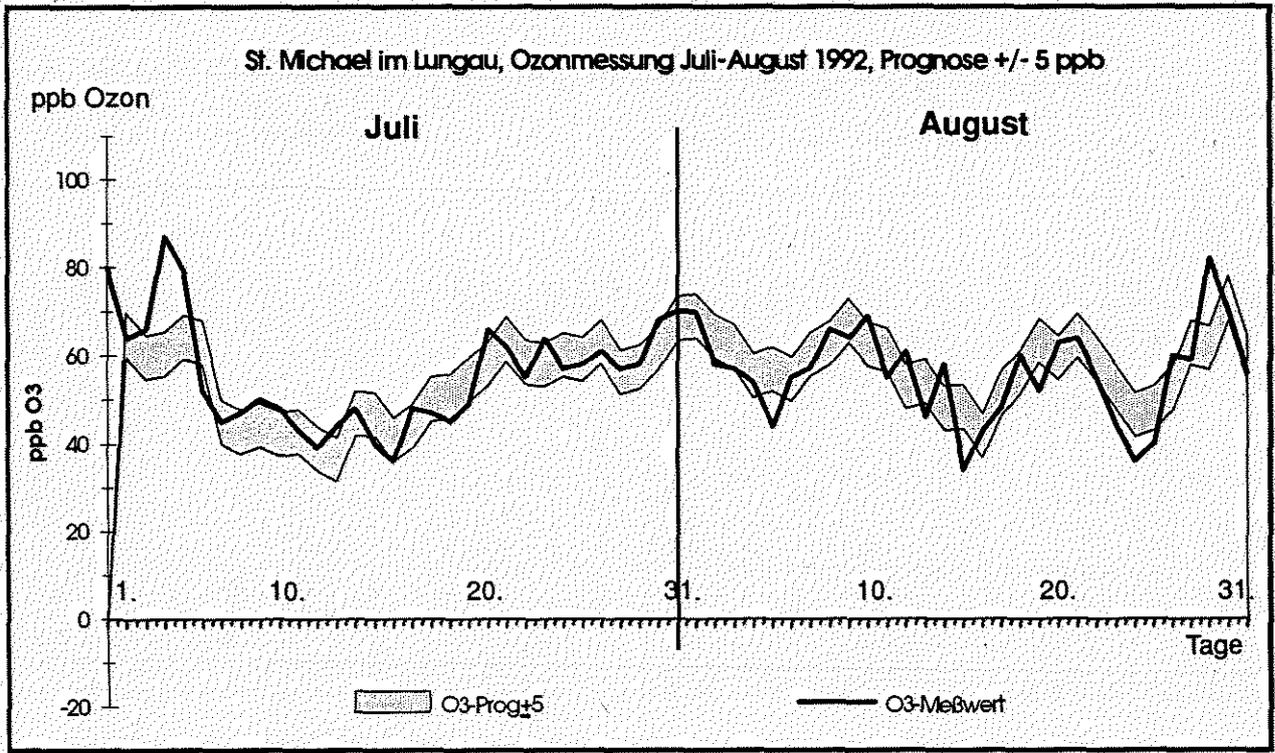


Abbildung 10: Zillertaler Alpen

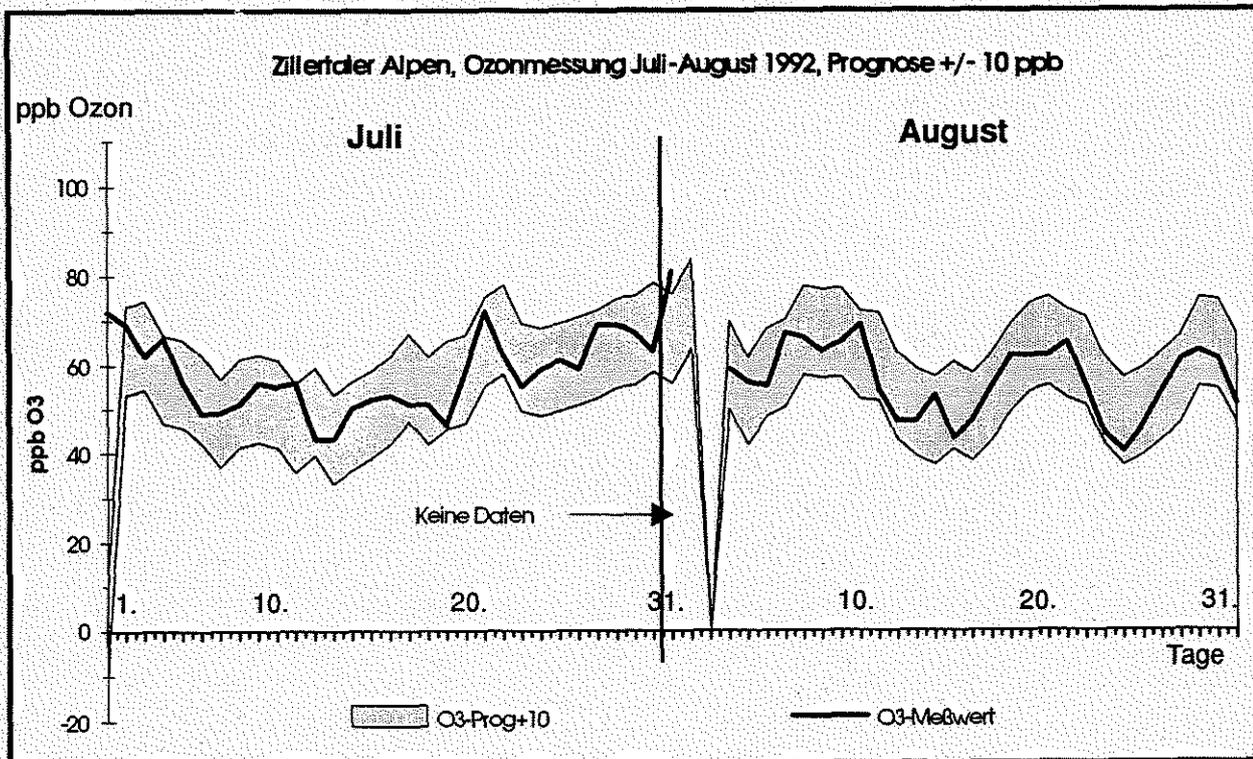
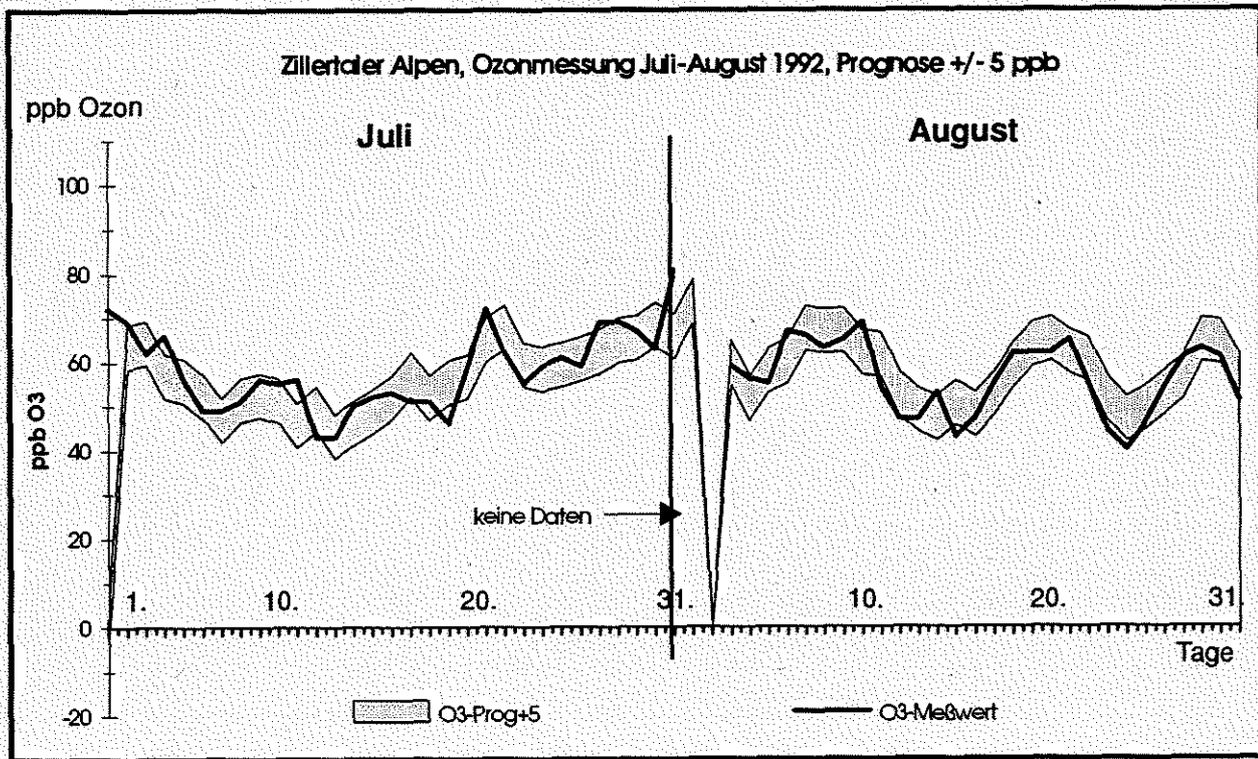
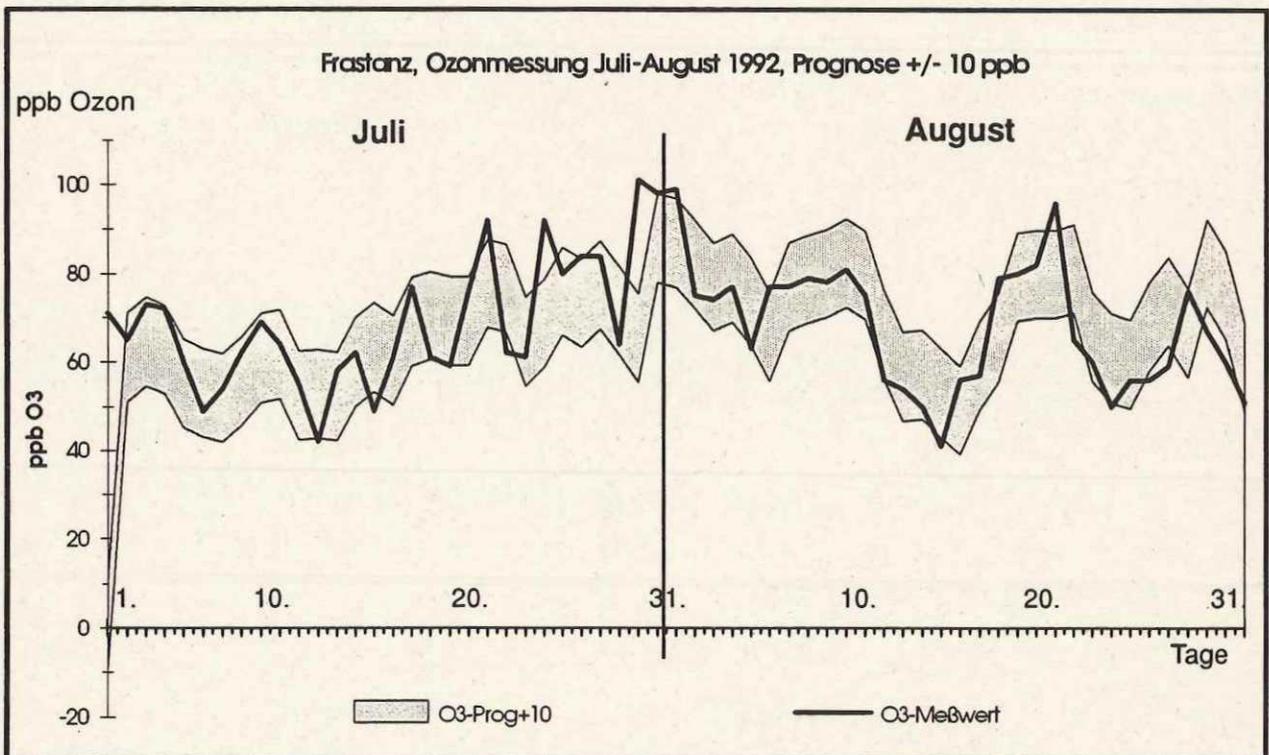
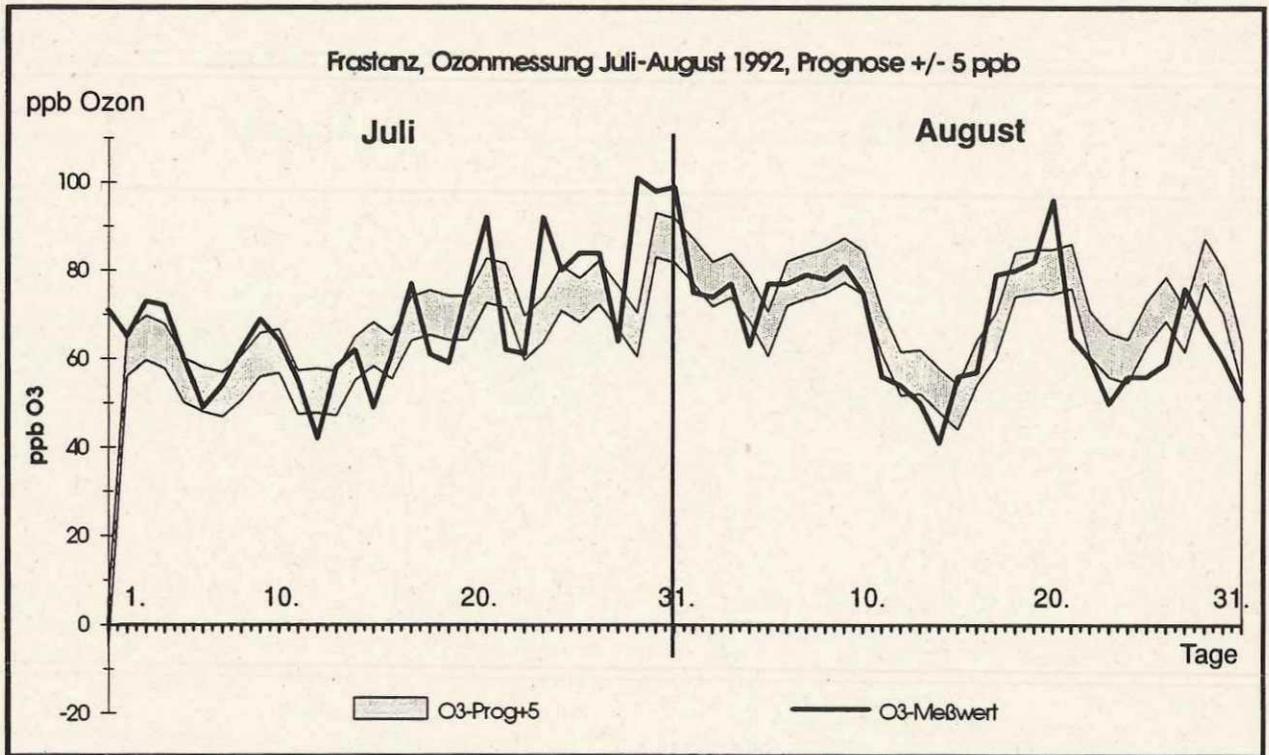


Abbildung 11: Frastanz



4.1.2 Ozonepisoden 1991

Für die Ozonepisoden des Jahres 1991 (siehe dazu LOIBL W. et al. 1992) wurden dieselben Funktionen wie für 1992 herangezogen. Es gab keine Möglichkeit, anhand der Daten 1991 neue Funktionen zu erstellen oder die bestehenden zu verbessern, da die zur Verfügung stehenden Daten keine statistisch gesicherten Aussagen zulassen - es standen lediglich Ozon- und Temperaturdaten für 9 Tage der Ozonepisoden 1991 zur Verfügung - Temperaturdaten für etwa 12 Meßstationen. Für jene Stationen, die Regressionsfunktionen mit hohem Korrelationskoeffizienten und relativ geringem RMS-Error aufwiesen, wurden die Prognosen gerechnet. Die folgende Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse für die 9 Tage des Jahres 1991 für einige Meßstationen.

Tabelle 5: Prognose der Ozonwerte für die Ozonepisoden 1991 für ausgewählte Meßstationen

MOED	Tag	Temperatur	Ozonwert	Prognose	Residuen
	910625	27.9	.	.	.
	910626	33.2	70.0	.	.
	910627	27.2	52.0	65.4	13.4
	910711	33.5	85.0	80.0	-5.0
	910712	37.1	98.0	89.8	-8.2
	910713	32.2	84.0	81.4	-2.4
	910807	32.6	81.0	77.1	-3.9
	910808	31.5	70.0	76.8	6.8
	910809	31.4	57.0	74.6	17.6
NEBE	Tag	Temperatur	Ozonwert	Prognose	Residuen
	910625	21.3	38.0	56.4	18.4
	910626	27.8	53.0	64.7	11.7
	910627	17.7	55.0	50.2	-4.8
	910711	29.0	72.0	76.2	4.2
	910712	31.6	81.0	82.4	1.4
	910713	25.8	74.0	74.1	0.1
	910807	27.8	66.0	70.6	4.6
	910808	25.6	64.0	69.1	5.1
	910809	19.9	59.0	57.7	-1.3
BRAU	Tag	Temperatur	Ozonwert	Prognose	Residuen
	910625	26.0	28.0	46.7	18.7
	910626	30.2	47.1	53.1	6.0
	910627	19.6	42.8	35.1	-7.7
	910711	32.7	77.8	65.2	-12.6
	910712	34.1	81.2	70.6	-10.4
	910713	28.3	61.4	59.4	-2.0

Tabelle 5: Fortsetzung

	910807	31.8	83.9	63.6	-20.3
	910808	31.2	87.6	65.9	-21.7
	910809	26.8	53.3	57.6	4.3
HWIN					
	Tag	Temperatur	Ozonwert	Prognose	Residuen
	910625	23.8	49.7	57.4	7.7
	910626	25.4	60.2	63.3	3.1
	910627	19.8	39.5	49.8	10.3
	910711	28.3	70.6	73.5	2.9
	910712	30.1	77.8	80.0	2.2
	910713	23.8	69.9	64.0	-5.9
	910807	28.8	65.4	74.7	9.3
	910808	27.4	67.9	71.6	3.7
	910809	23.1	78.4	60.3	-18.1
VILL					
	Tag	Temperatur	Ozonwert	Prognose	Residuen
	910624	.	61.9	.	.
	910625	31.1	81.8	63.6	-18.2
	910626	32.0	105.3	72.8	-32.5
	910710	.	53.8	.	.
	910711	30.1	.	59.0	.
	910712	33.5	64.8	.	.
	910807	30.6	76.8	62.4	-1.4
	910808	30.4	68.5	68.6	0.1
	910809	29.9	76.7	64.6	-12.0
PAUL					
	Tag	Temperatur	Ozonwert	Prognose	Residuen
	910625	26.2	51.2	62.2	11.0
	910626	27.7	82.9	66.5	-16.4
	910627	19.9	41.8	47.2	5.4
	910711	27.4	65.2	66.0	0.8
	910712	28.8	66.6	70.1	3.5
	910713	28.6	75.4	69.6	-5.8
	910807	27.5	59.8	66.3	6.5
	910808	27.7	61.8	66.9	5.1
	910809	27.7	64.1	67.0	2.9
SULZ					
	Tag	Temperatur	Ozonwert	Prognose	Residuen
	910625	27.1	39.0	61.9	22.9
	910626	28.6	43.0	64.	21.0
	910627	18.7	47.0	42.8	-4.2
	910711	31.3	70.0	73.2	3.2
	910712	31.7	81.0	77.5	-3.5
	910713	27.7	78.0	70.9	-7.1
	910807	30.2	82.0	70.8	-11.2
	910808	26.9	87.0	69.3	-17.7
	910809	22.6	61.0	60.8	-0.2

Anhand der Tabelle 5 wird deutlich, daß die Residuen an einigen Stationen zumindest während der einen oder anderen Ozonepisode 1991 deutlich höher als bei der Prognose der Ozonmaxima für 1992 sind. Dies kann darauf zurückzuführen sein, daß an den jeweils 3 Tagen der betrachteten 3 Ozonepisoden in den Regionen keine einheitliche Schönwetterperiode, sondern jeweils unterschiedliche Wetterbedingungen gegeben waren, die sich zum Teil nicht in dem Ausmaß in der Temperatur niederschlugen. Dazu kommt, daß die 9 Tage jeweils die extremen Situationen dieses Sommers zeigen, die von den Regressionsfunktionen des Jahres 1992 natürlich nicht in dem Ausmaß prognostiziert werden können.

Für die Prognosen der Ozonmaxima während der Ozonepisoden 1991 wurden keine Liniendiagramme erstellt, da die kurzen zusammenhängenden Zeitpunkte - jeweils 3 Tage - keine sinnvolle Darstellung zulassen.

4.2 Kartendarstellung der Ozonprognosen

Die Kartenerstellung für 14 Tage aus drei der Ozonepisoden 1992 erfolgt anhand der Prognoseergebnisse aller in Tab. 4 angeführten Meßstationen. Wie im Abschnitt 3.2 erläutert, erfordert die Kartendarstellung ein Abrücken von strengen statistischen Kriterien für die Auswahl der Meßstationen. Gerade Stationen mit nur lokaler Repräsentativität der Ozonbelastung zeigen häufig kurzfristig auftretende extreme Ozonmaxima und damit geringere statistische Beziehungen zu Temperatur und Ozonmaximum des Vortages. Doch gerade diese Ausreißer sollen soweit wie möglich prognostiziert werden, um auch eine kleinräumig gültige Karte der zu erwartenden Ozonbelastung erzeugen zu können.

Die Grundüberlegung bei der Erstellung von Prognosekarten war, analog dem Verfahren für die Generierung von Karten der Halbstundenmittelwerte der Ozonkonzentration vorzugehen, das im Forschungszentrum Seibersdorf während der letzten Jahre entwickelt wurde (vgl. LOIBL W. et al., 1991, 1992, 1993, 1994).

Das Verfahren beruht, angepaßt an die Ozonmaxima, auf folgendem Konzept:

- Anhand einer Höhenabhängigkeitsfunktion des Maximums der Ozonkonzentration und dem Höhenmodell der relativen Höhe über Talboden, werden die Standard-Ozonkonzentrationsmaxima österreichweit berechnet.
- Die prognostizierten Ozonmaxima an den ausgewählten Meßstationen werden dazu herangezogen, um die lokalen Abweichungen von den Standard-Ozonkonzentrationsmaxima zu berechnen.
- Diese Abweichungen werden in weiterer Folge räumlich interpoliert, und - als flächenhafte Abweichung - im Geographischen Informationssystem zur flächenhaften Standard-Ozonkonzentration hinzuaddiert, woraus sich die wahrscheinliche, österreichweite Verteilung der Ozonmaxima ergibt.

Für diese Arbeit wurde vorerst die Höhenabhängigkeit der Ozonmaxima überprüft, um Parameter für die Höhenabhängigkeitsfunktion zu finden, deren Kurve der Beziehung Ozonmaxima vs. Relativhöhe am ehesten entspricht.

Abbildung 12 zeigt das Ergebnis: Es ist kein signifikanter Höheneinfluß auf die Ozonmaxima festzustellen. Die Mittelwerte der Maxima für Juli und August streuen im Bereich von 0 bis 200 m relativer Höhe ebenso zwischen 50 und 70 ppb, wie die Stationen zwischen 400 und 1600 m relativer Höhe. Lediglich im Bereich zwischen 200 und 350 m sind einige Ausreißer festzustellen. Die Spannweite der Werte der Stationen in diesem Höhenabschnitt reicht von 55 bis 80 ppb, wobei nur 3 Stationen (von insgesamt 12) Werte über 70 ppb aufweisen.

Diese Tatsache hat sich bereits in den oben erwähnten Arbeiten (insbesondere in LOIBL W. et al., 1993) abgezeichnet, wo zwischen 12 und 14 h eine lediglich geringe Höhenabhängigkeit zu finden war, welche nur im Zusammenhang mit dem zeitlichen Verlauf der Ozonkonzentration mittels einer Funktion modelliert werden konnte.⁵ Für die Ozonmaxima wurde deshalb eine geringe Höhenabhängigkeit erwartet. Da jedoch keine Höhenabhängigkeit gefunden wurde, konnte auf die Anwendung des oben beschriebenen Ansatzes verzichtet werden und die Maxima der Meßstationen wurden ohne Höhenabhängigkeitsfunktion interpoliert. Die Interpolation erfolgt konkret entsprechend Gleichung (5) mittels "inverse distance weighting" einer linearen Interpolation unter Einbezug aller Stationen innerhalb eines Radius (hier 100 km) und einem Exponenten (hier 2) für die Gewichtung der Entfernung zur Quantifizierung des Einflusses der Stationsnähe auf den zu interpolierenden Punkt:

⁵ Die 12 bis 14 h sind beispielhaft angeführt und entsprechen dem Durchschnitt. Aus früheren Studien geht hervor, daß nicht alle Ozonmaxima österreichweit innerhalb der genannten Zeitspanne auftreten, sondern diese Maxima im Westen in den Berggebieten mit mehrstündiger "Verspätung" zu finden sind.

$$Ozon = \frac{\sum_{i=1}^n Ozon_i / d_i^2}{\sum_{i=1}^n 1 / d_i^2} \quad (4)$$

wobei $Ozon$ = interpolierter Ozonwert

$Ozon_i$ = Ozonwert an Ozonmeßstation i

d_i = Entfernung zwischen Ozonmeßstation und zu interpolierendem Punkt

n = Anzahl der Meßstationen innerhalb des Einzugsgebiets.

Die Abbildungen 13 - 26 zeigen Prognoseergebnisse für die Tage dreier Ozonepisoden des Jahres 1992 (11. Juli - 13. Juli, 28. Juli - 1. August und 19. August - 24. August.). Den Karten der gemessenen Ozonmaxima wurden jene der prognostizierten Ozonmaxima gegenübergestellt.

Die Kartendarstellung stimmen scheinbar in geringerem Ausmaß mit den Meßdaten überein als die in den Liniendiagrammen dargestellten Prognoseergebnisse mit einer Bandbreite von ± 10 ppb. Die Treffergenauigkeit geht in den Liniendiagrammen durch die Nähe der Linien des prognostizierten und des gemessenen Ozonverlaufs hervor. Diese Nähe zwischen Meßwerten und Prognosewerten kann in den Karten durch die Darstellung der Werte in Klassen nicht wiedergegeben werden. Wenn die Meß- und Prognosewerte einander ähnlich sind, aber in verschiedene Klassen fallen, wird die Form der Flächen gleicher Klassen in den Karten voneinander abweichen. Dadurch kann der Eindruck entstehen, daß die Prognosekarten ungenauer sind.

Unabhängig davon können lokale Senken und Spitzen, welche an Stationen gemessen wurden, die nicht in der Gruppe der Prognosestationen enthalten sind, nicht in den Karten wiedergegeben werden. Die Extremwerte an den Spitzentagen werden, selbst wenn in der Region Prognosestationen liegen, nicht erreicht - etwa am 30. Juli im oberösterreichischen Zentralraum oder am 31. Juli und am 20. August in Ostösterreich.

Die Darstellung von Prognosebandbreiten ist in konventionellen Karten nicht möglich - für die Zukunft müssen bessere Darstellungsformen überlegt werden, Bandbreiten in Kartenform auszuweisen. Eine gute Möglichkeit, die Güte der regionalisierten Ozonmaximaprognose retrospektiv darzustellen, bieten Differenzkarten, welche im Anschluß an die Prognosekarten in Farbe dargestellt sind (Abb. 27 - 35). Hier zeigt sich, daß auch über einen Großteil der

eigentlichen Ozonepisoden weite Flächen innerhalb einer Bandbreite von ± 5 bzw. 10 ppb liegen (hell- und dunkelgrün dargestellt). Am 30. und 31. Juli sowie am 20. August allerdings unter-schreitet die Prognose die tatsächlichen Werte über weite Räume um mehr als 15 ppb (blau). Ende August hingegen (21., 23., und 24. August) überschreitet die Prognose die tatsächlichen Ozonmaxima über weite Räume um bis zu 15 ppb, lokal sogar um über 20 ppb (rot).

Allgemein ist anhand der Kartendarstellung festzustellen, daß in den Mittelgebirgs- und hochalpinen Lagen bessere Prognoseergebnisse erzielt werden - die Differenzkarten zeigen für diese Räume fast durchwegs grüne Signaturen. Für Prognosestationen in östlichen Beckenlagen aber auch im Rheintal zeigen sich größere statistische Unsicherheiten, die größer sind als jene von so exponierten Stationen wie Graz-Schloßberg oder Gaisberg. Die Differenzkarten machen dies durch die immer wieder hellrot bis rot bzw. hellblau bis blau eingefärbten Signaturen für diese Flächen deutlich. Offensichtlich sind gerade die Ozonmaxima von Stationen in Tal- und Mittelgebirgslagen stärker von größeren lokalen Potentialen an Vorläuferstoffen und damit "hausgemachten" Faktoren abhängig, deren Einfluß kurzfristiger wirkt und gegebenenfalls stärker ist, als die Vorbelastung mit Ozon bzw. die (mittelbar durch die Temperaturentwicklung quantifizierte) meteorologische Situation.

Für die Ozonprognosen der Ozonepisoden des Jahres 1991 können keine Karten erstellt werden, da hierfür eine zu geringe Anzahl an Stationen zur Verfügung steht.

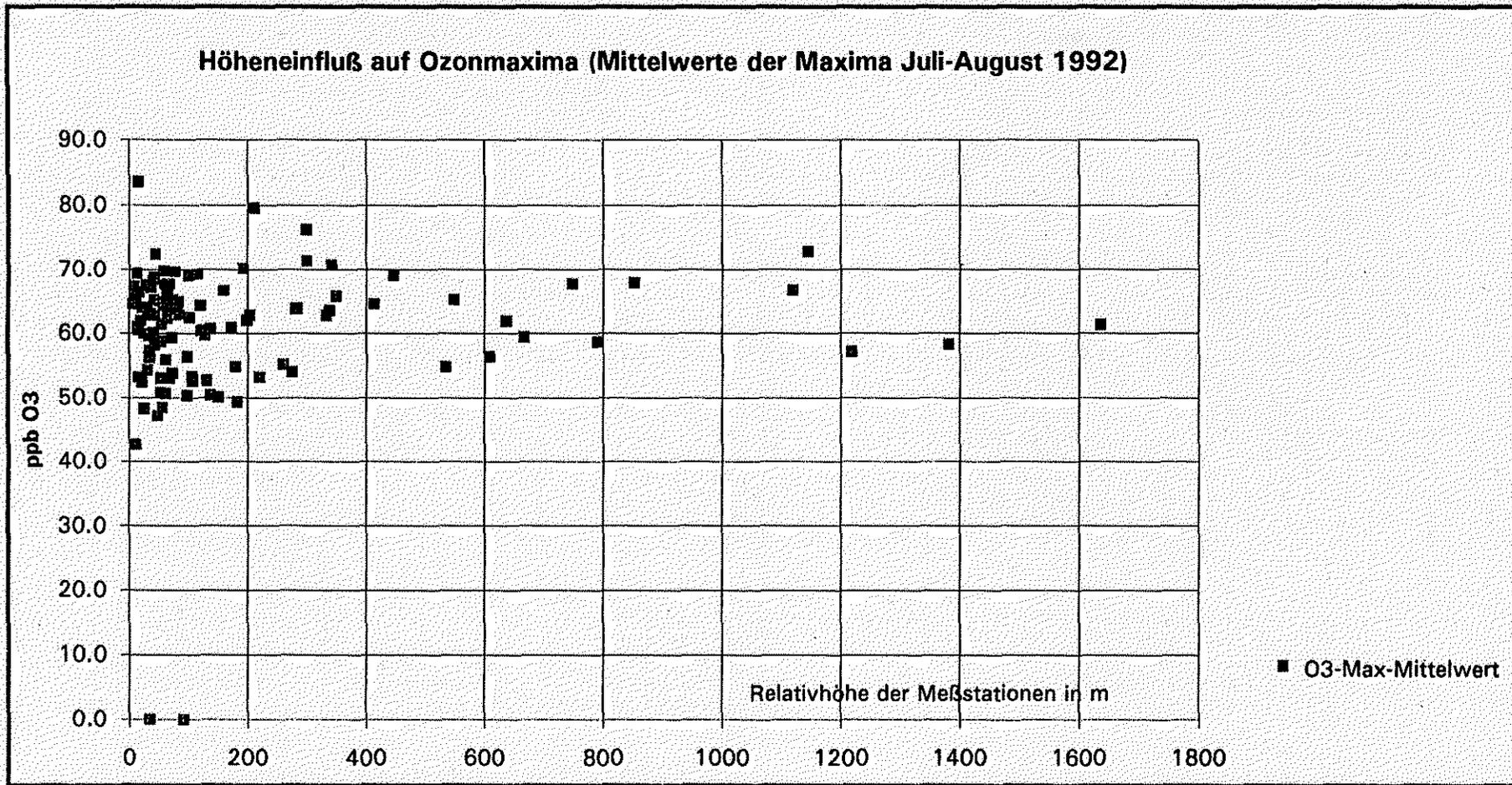
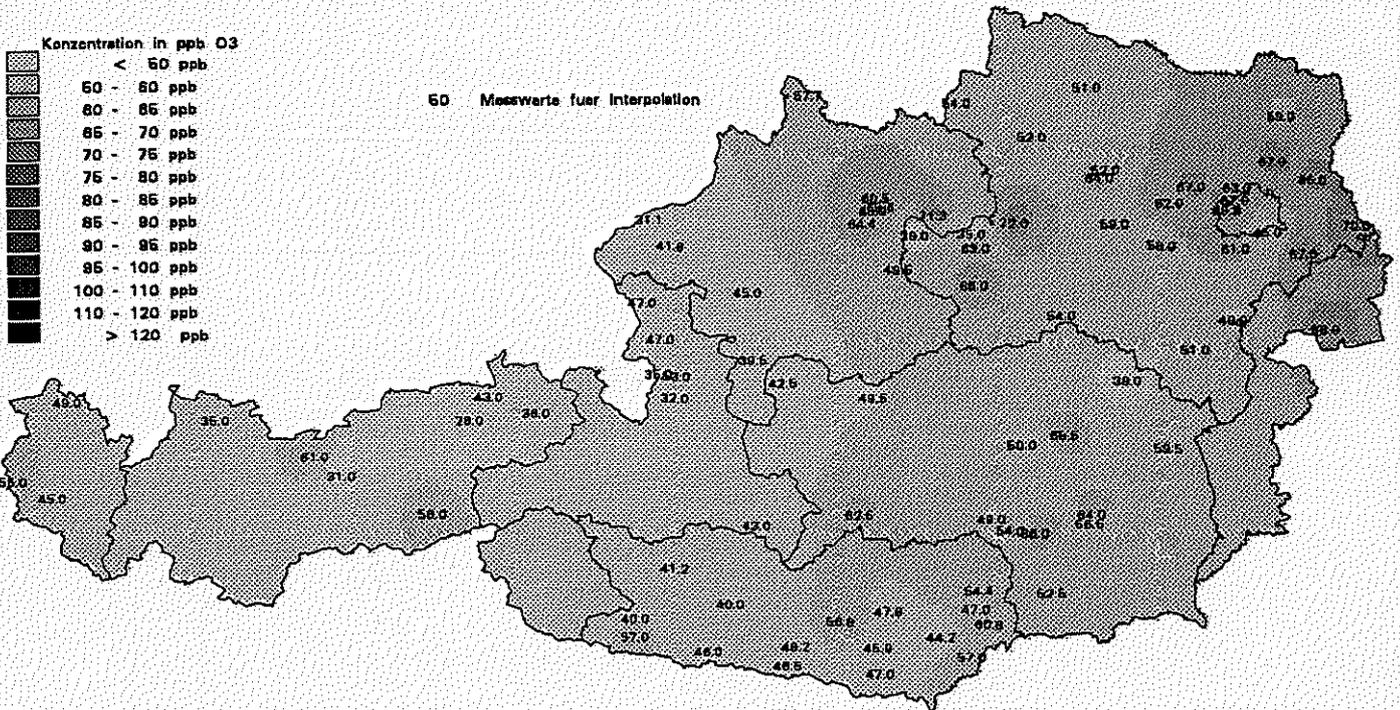


Abbildung 13: Prognosekarten

OZONMAXIMA IN ÖSTERREICH - MESSUNG UND PROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 11. Juli 1992



PROGNOSE ANHAND OZONMAXIMA DES VORTAGES UND TEMPERATURPROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 11. Juli 1992

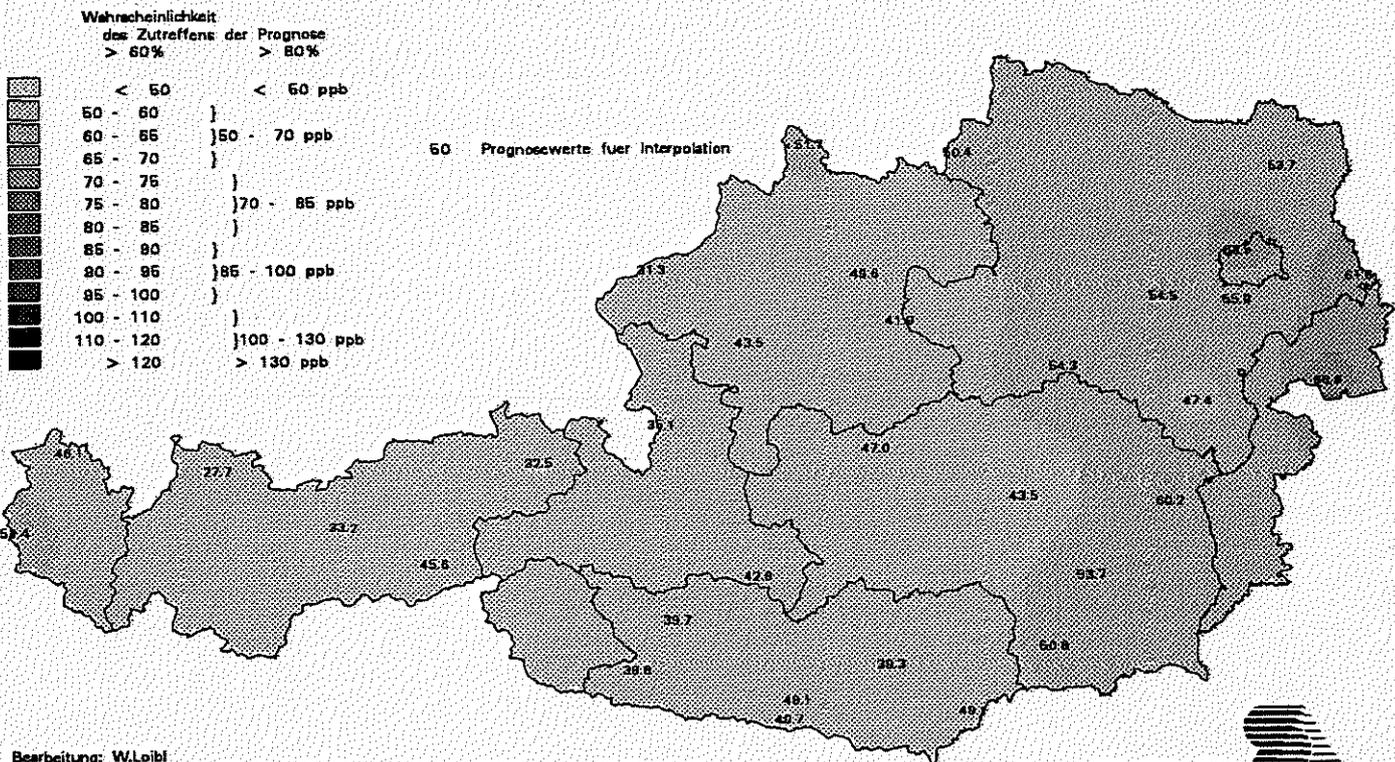
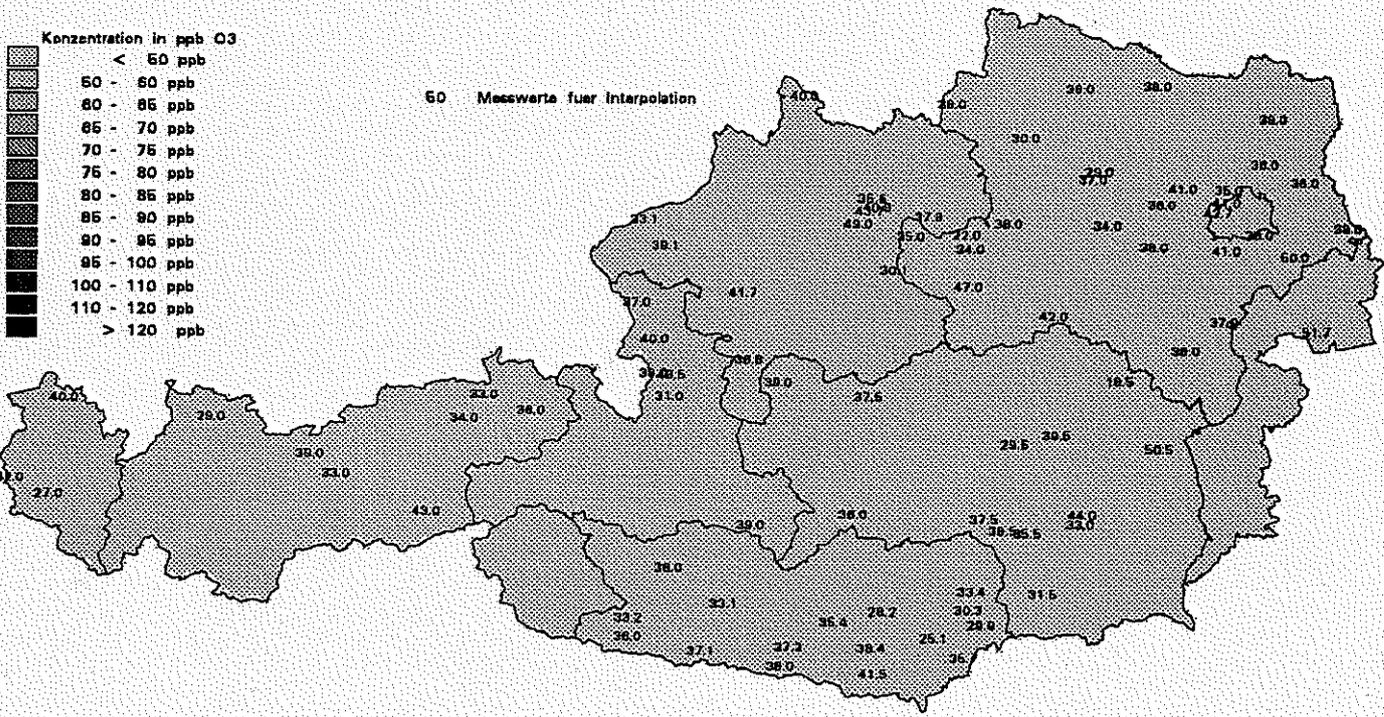


Abbildung 14: Prognosekarten

OZONMAXIMA IN ÖSTERREICH - MESSUNG UND PROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 12. Juli 1992



PROGNOSE ANHAND OZONMAXIMA DES VORTAGES UND TEMPERATURPROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 12. Juli 1992

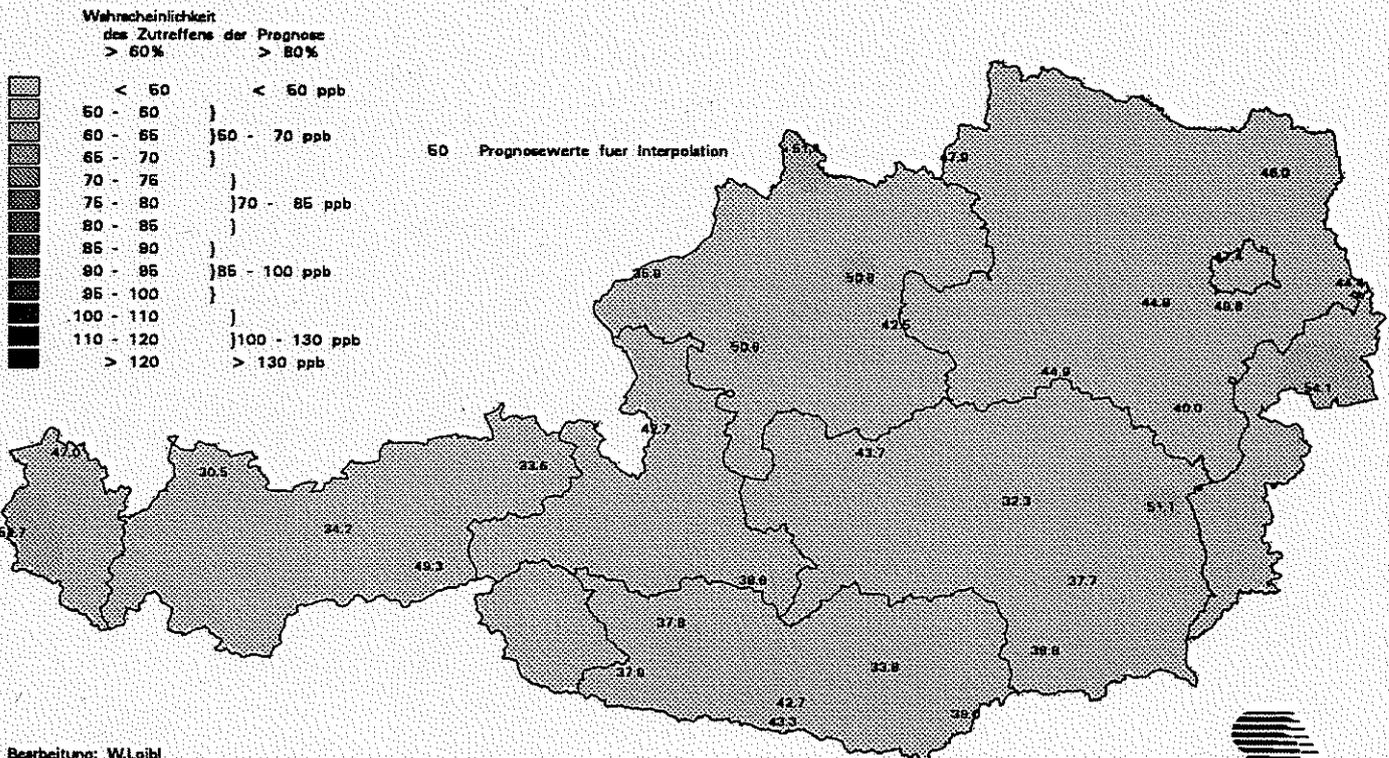
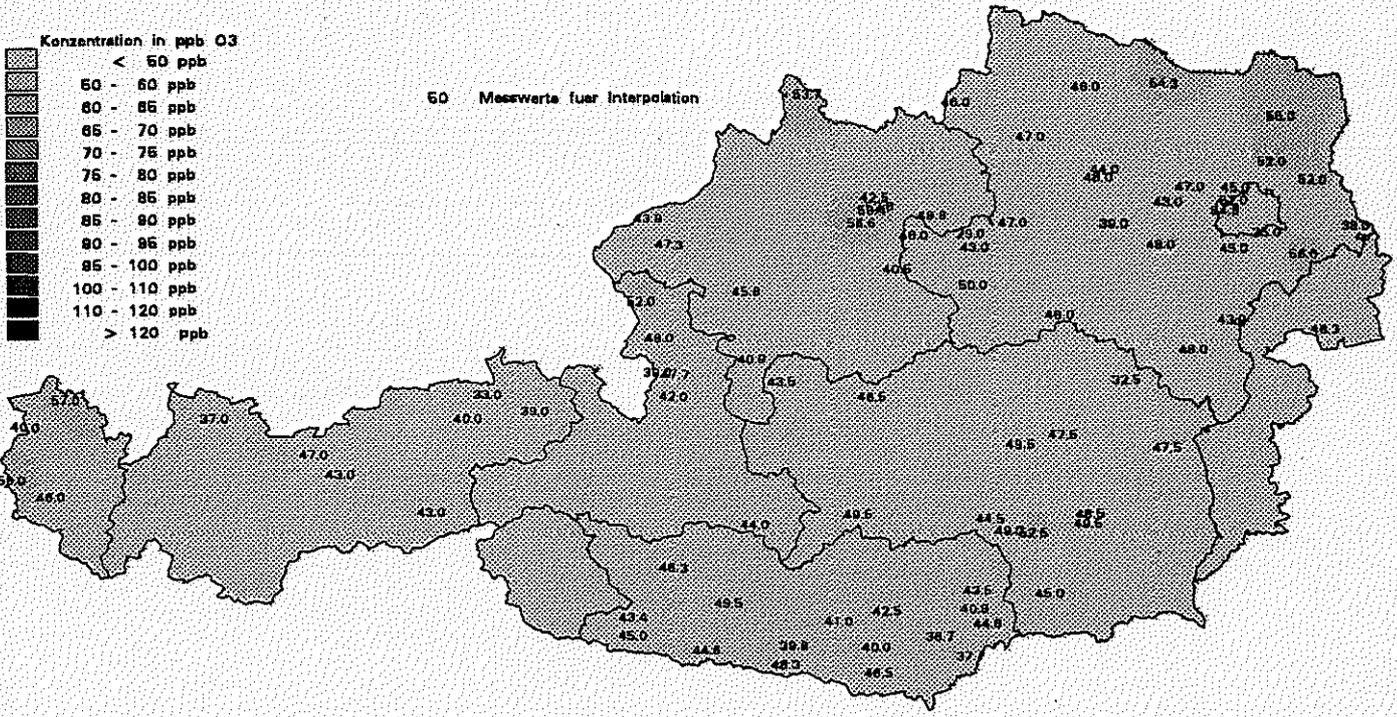


Abbildung 15: Prognosekarten

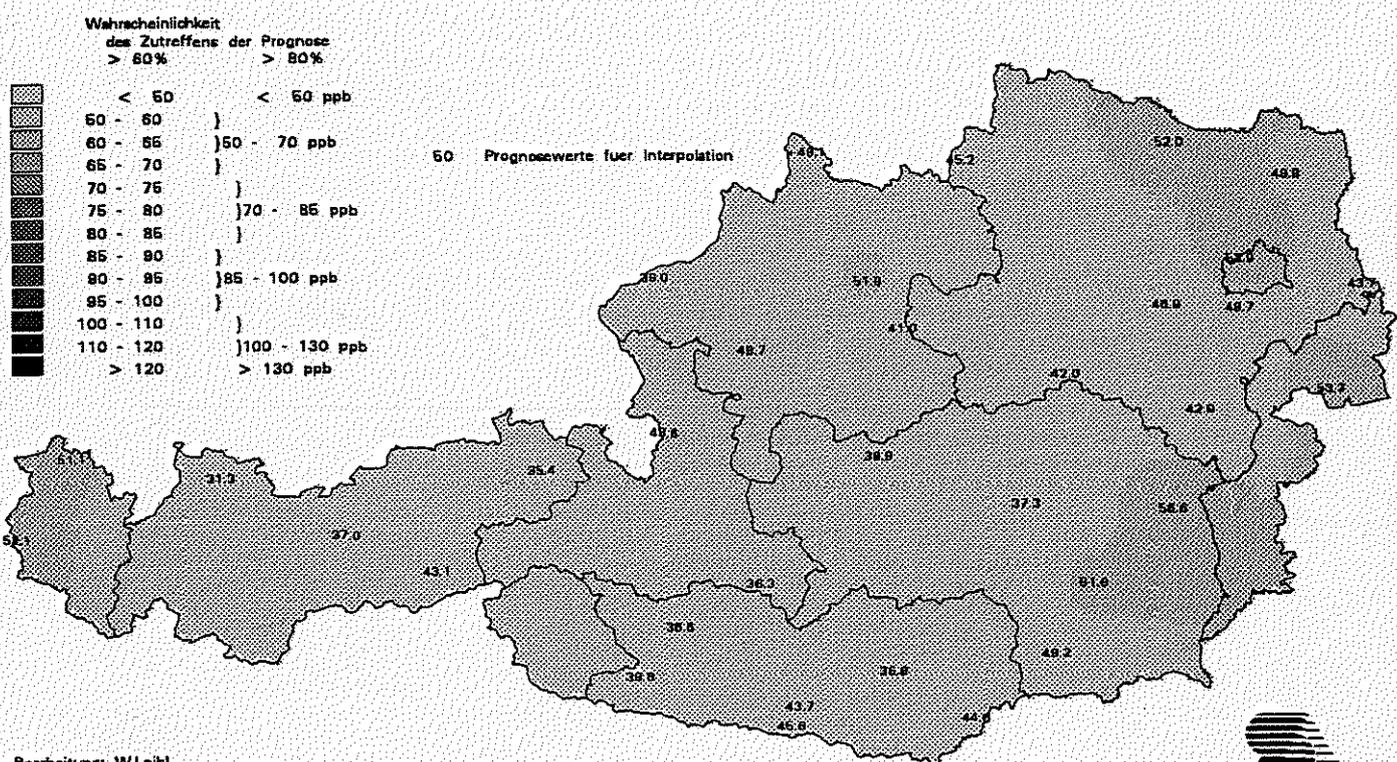
OZONMAXIMA IN ÖSTERREICH - MESSUNG UND PROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 13. Juli 1992



PROGNOSE ANHAND OZONMAXIMA DES VORTAGES UND TEMPERATURPROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 13. Juli 1992



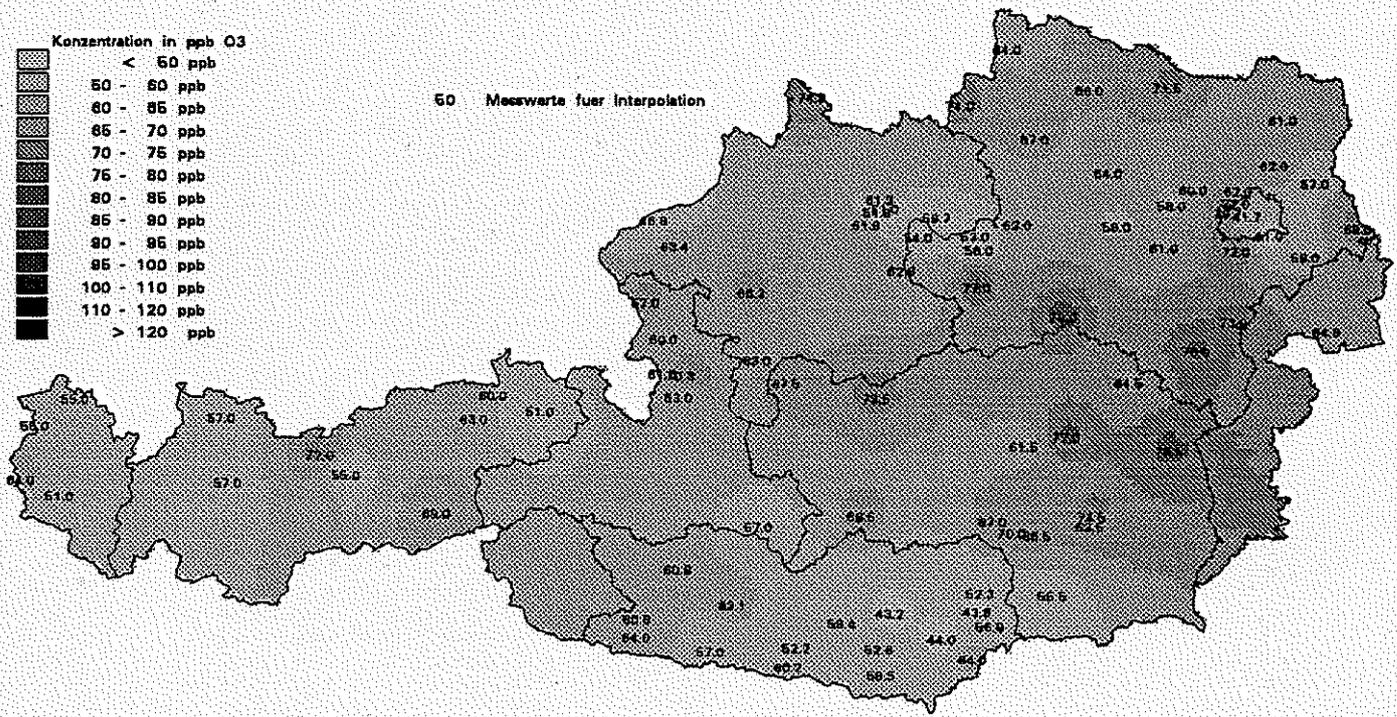
Bearbeitung: W.Loibl
 FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF / UMWELTPLANUNG
 Datenbereitstellung: Umweltbundesamt Wien



Abbildung 16: Prognosekarten

OZONMAXIMA IN ÖSTERREICH - MESSUNG UND PROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 28. Juli 1992



PROGNOSE ANHAND OZONMAXIMA DES VORTAGES UND TEMPERATURPROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 28. Juli 1992

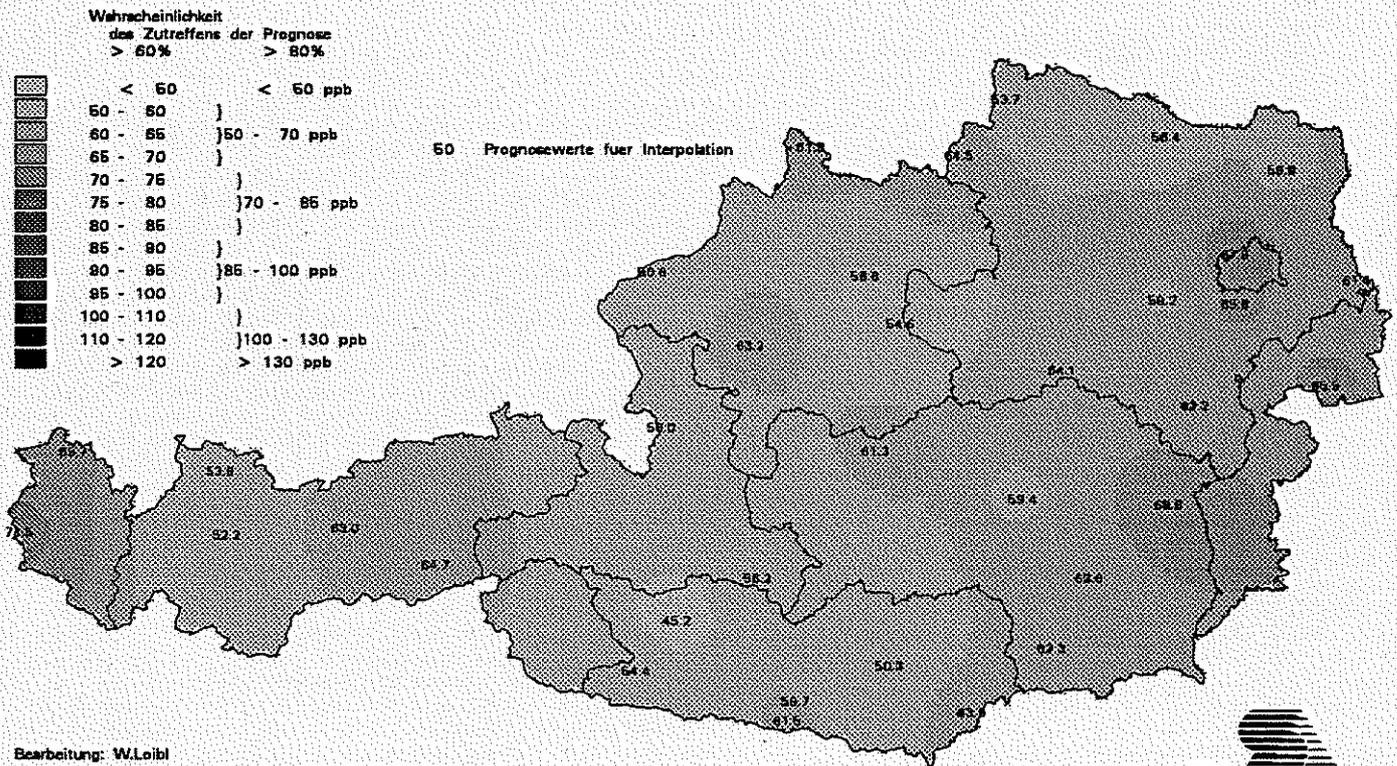
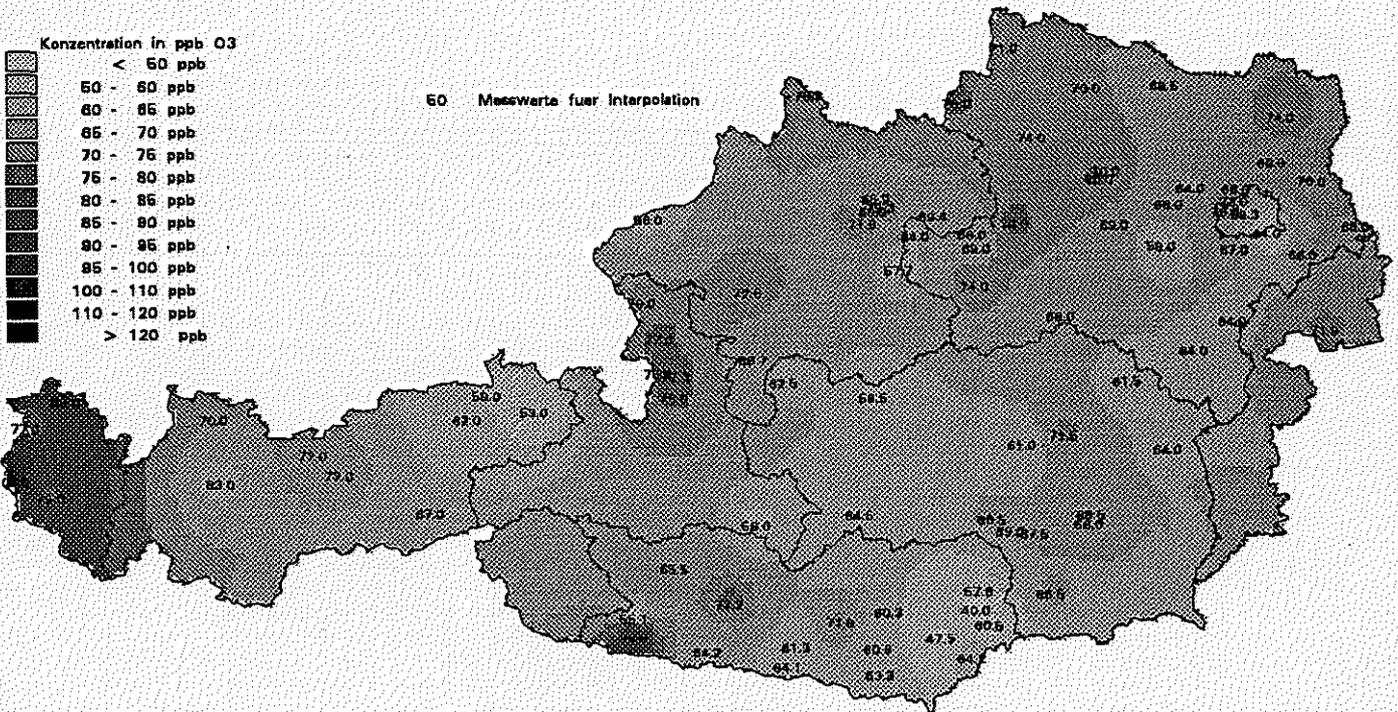


Abbildung 17: Prognosekarten

OZONMAXIMA IN ÖSTERREICH - MESSUNG UND PROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 29. Juli 1992



PROGNOSE ANHAND OZONMAXIMA DES VORTAGES UND TEMPERATURPROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 29. Juli 1992

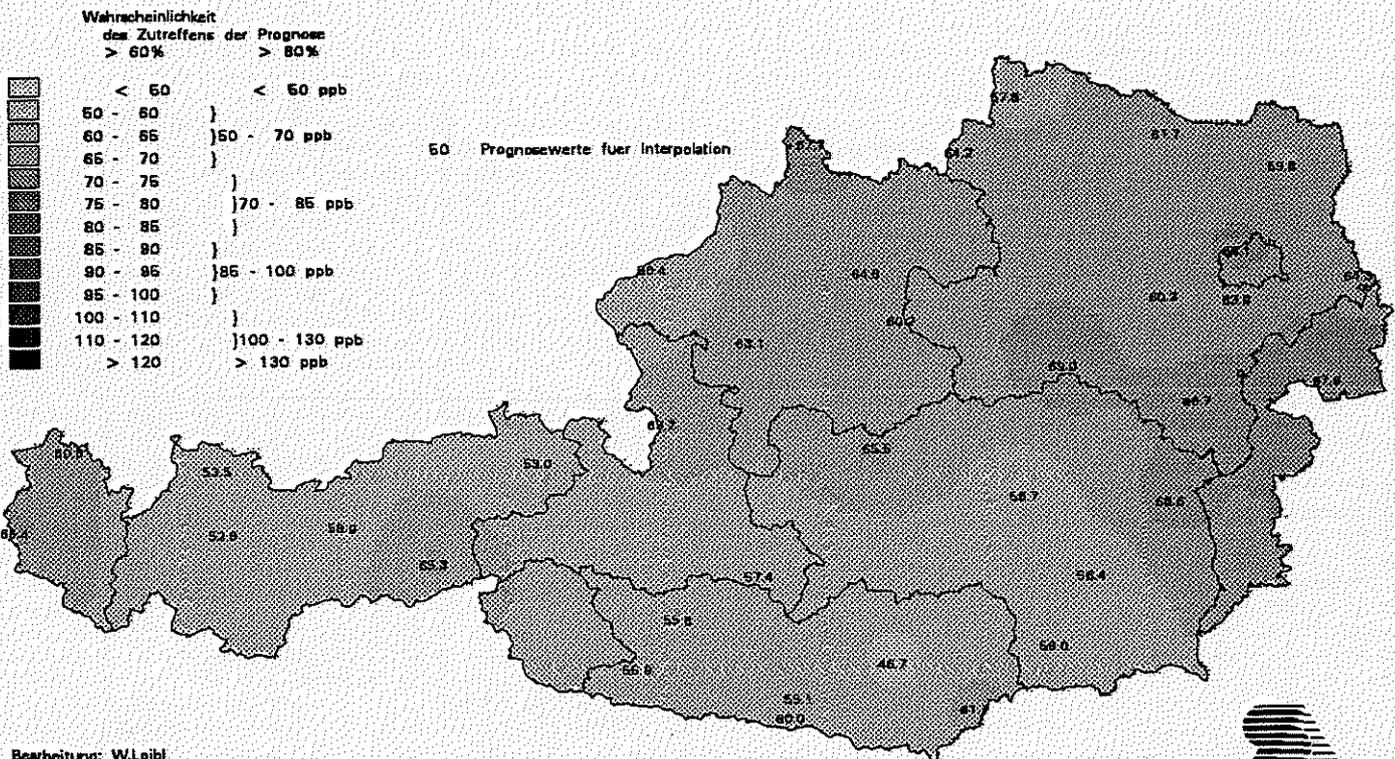
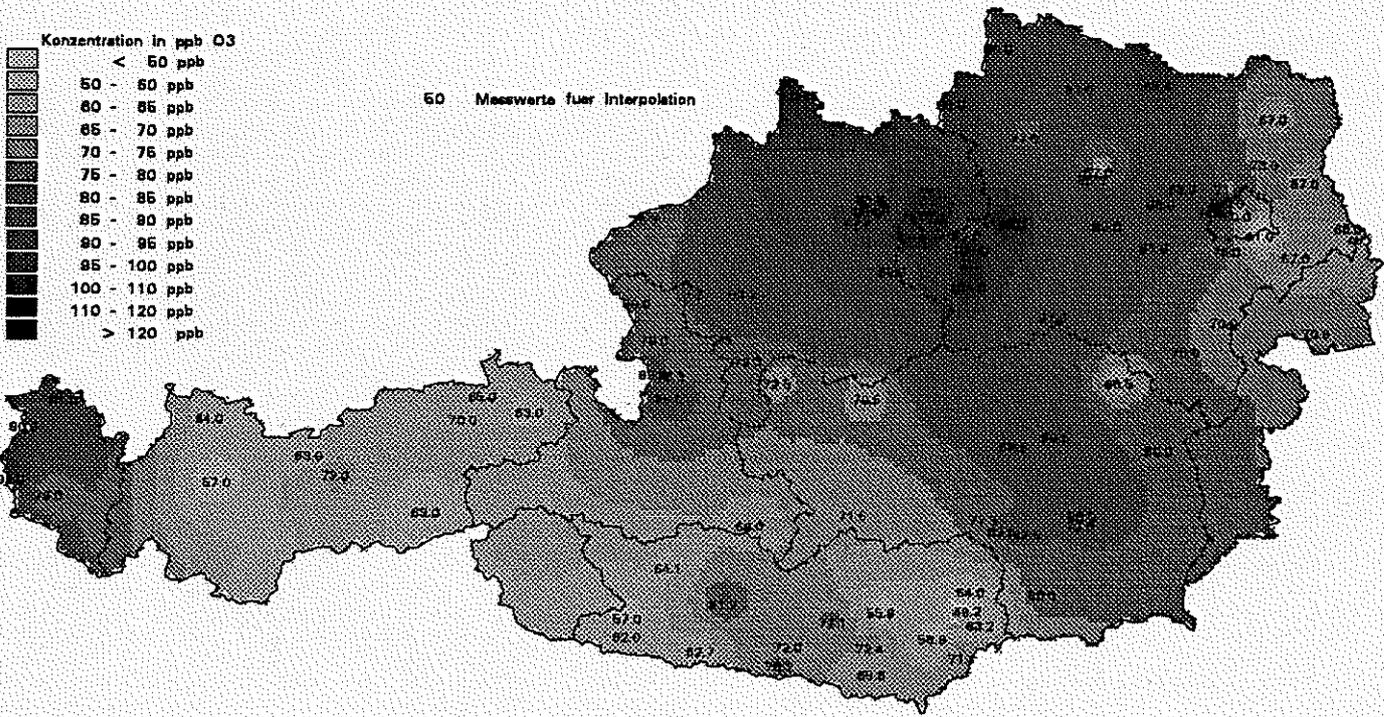


Abbildung 18: Prognosekarten

OZONMAXIMA IN ÖSTERREICH - MESSUNG UND PROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 30. Juli 1992



PROGNOSE ANHAND OZONMAXIMA DES VORTAGES UND TEMPERATURPROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 30. Juli 1992

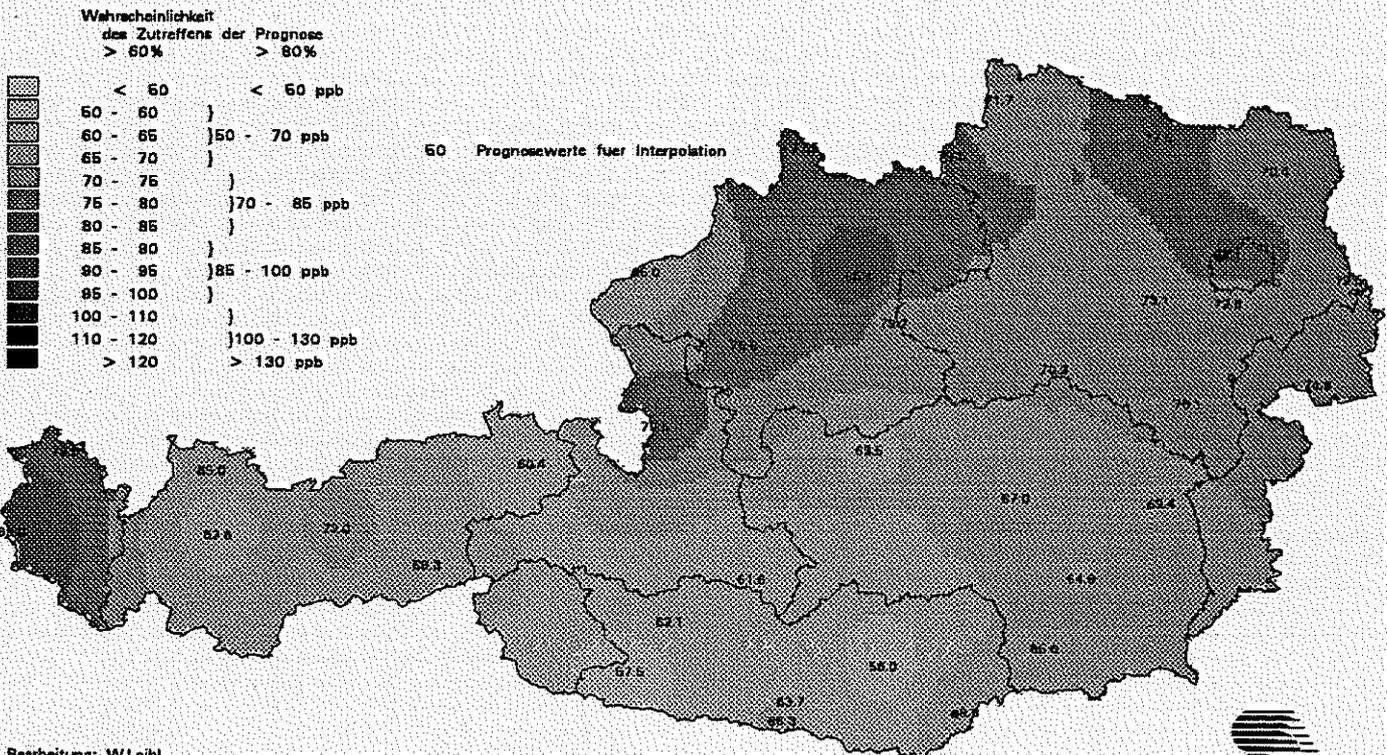
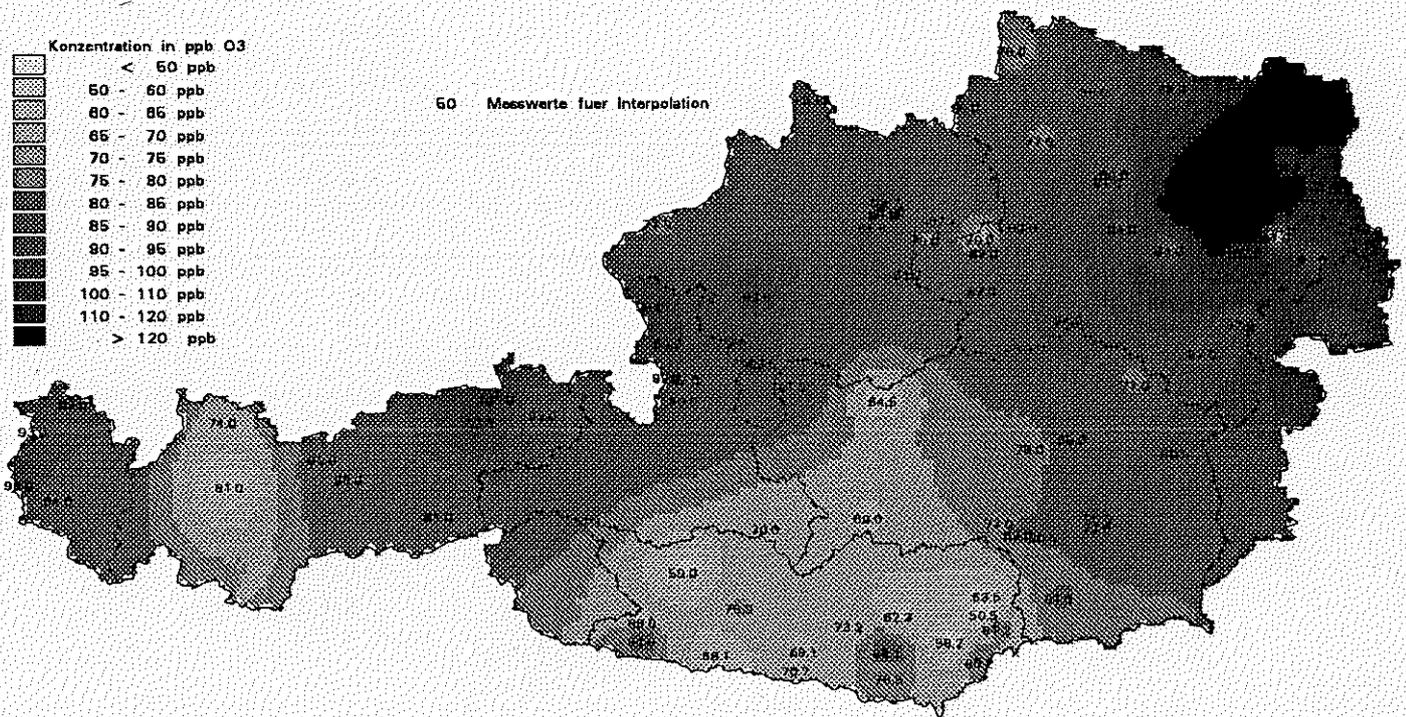


Abbildung 19: Prognosekarten

OZONMAXIMA IN ÖSTERREICH - MESSUNG UND PROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 31. Juli 1992



PROGNOSE ANHAND OZONMAXIMA DES VORTAGES UND TEMPERATURPROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 31. Juli 1992

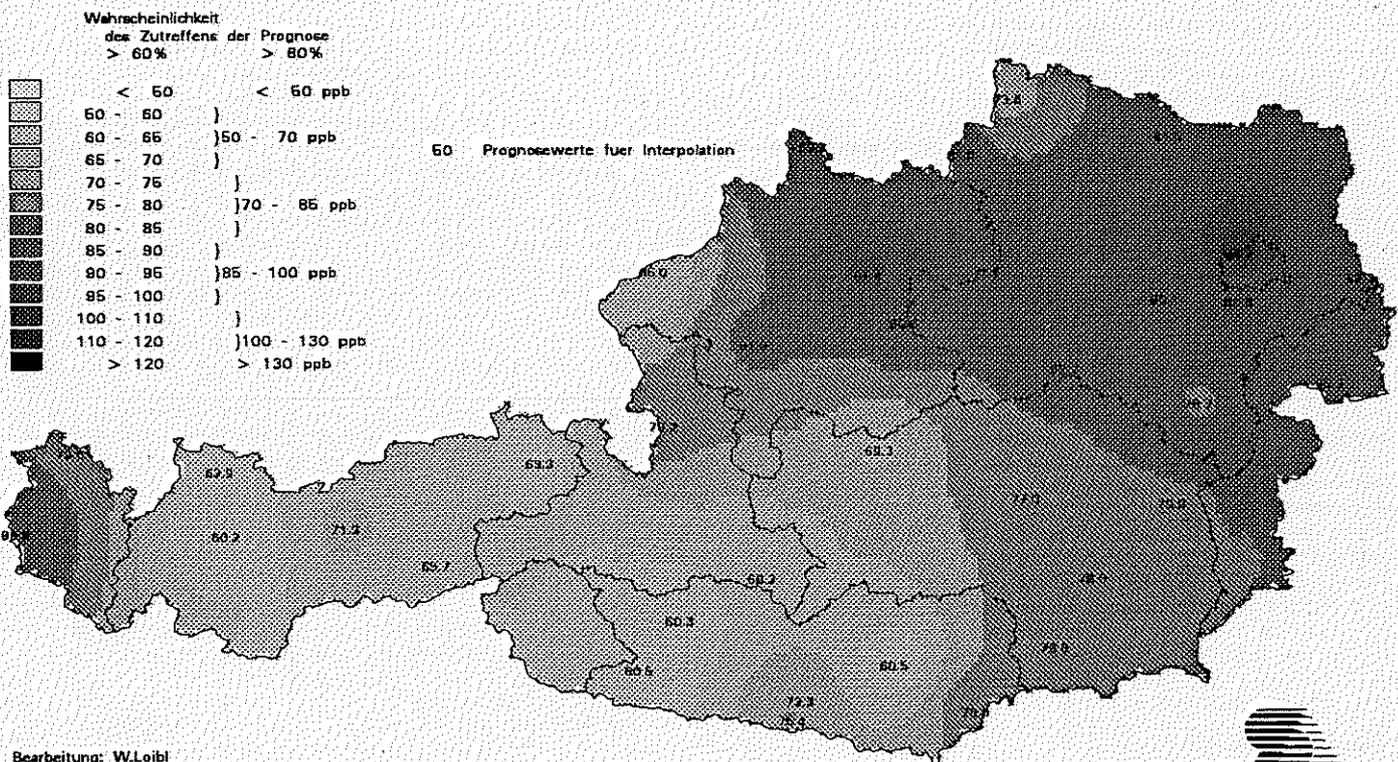
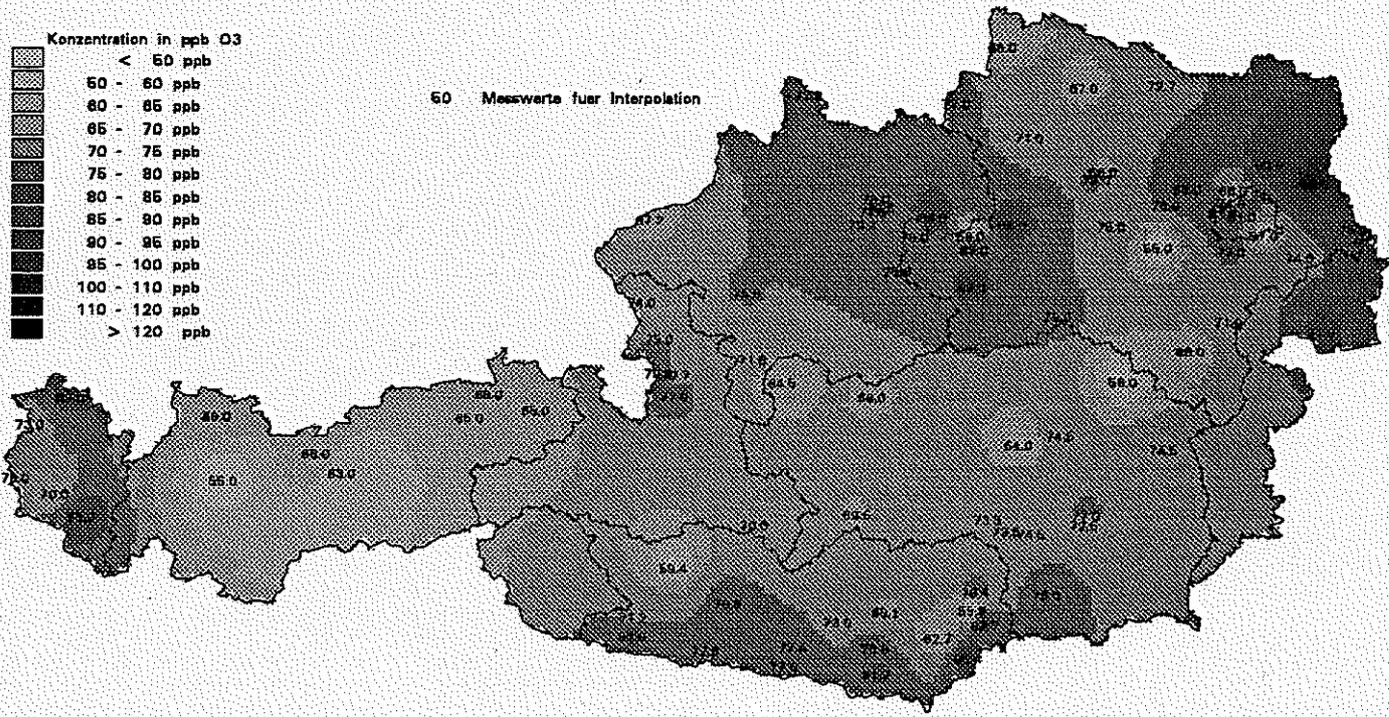


Abbildung 20: Prognosekarten

OZONMAXIMA IN ÖSTERREICH - MESSUNG UND PROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 1. August 1992



PROGNOSE ANHAND OZONMAXIMA DES VORTAGES UND TEMPERATURPROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 1. August 1992

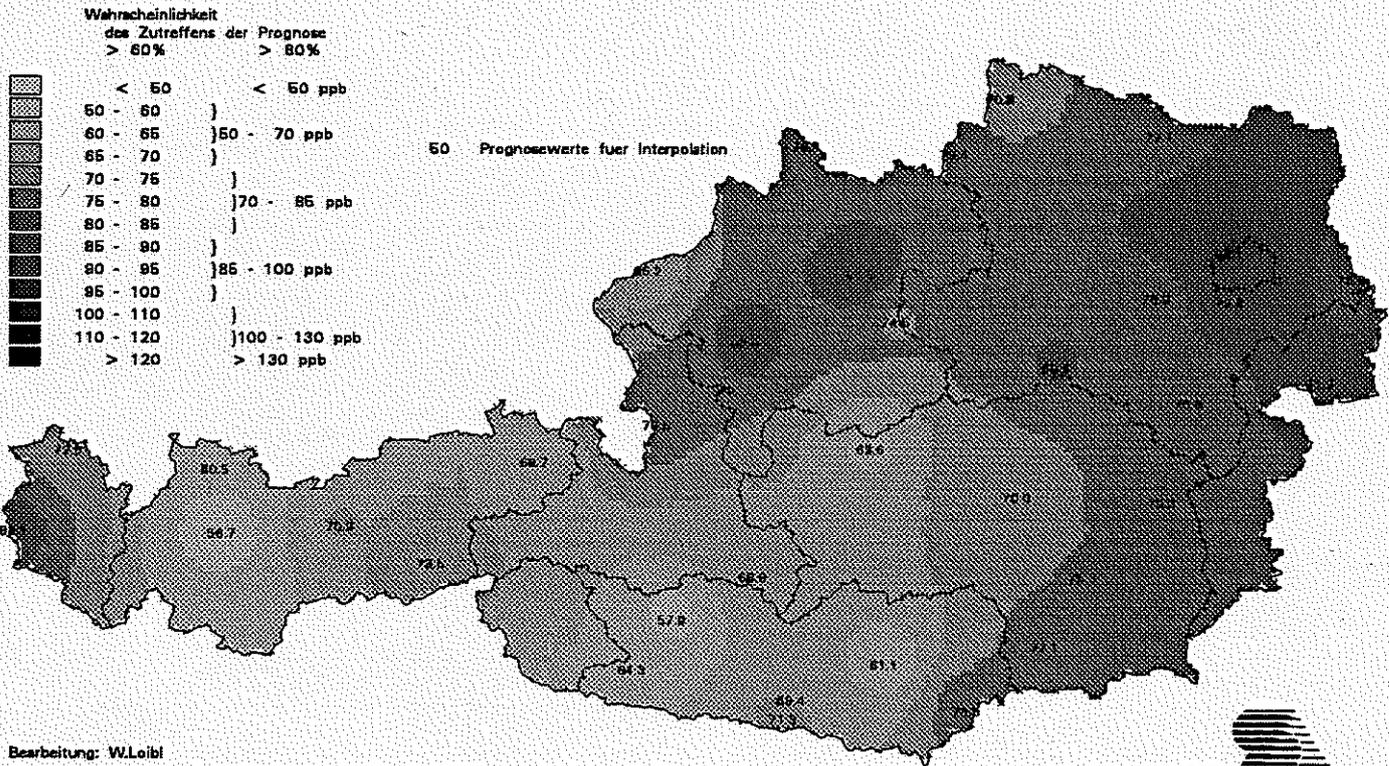
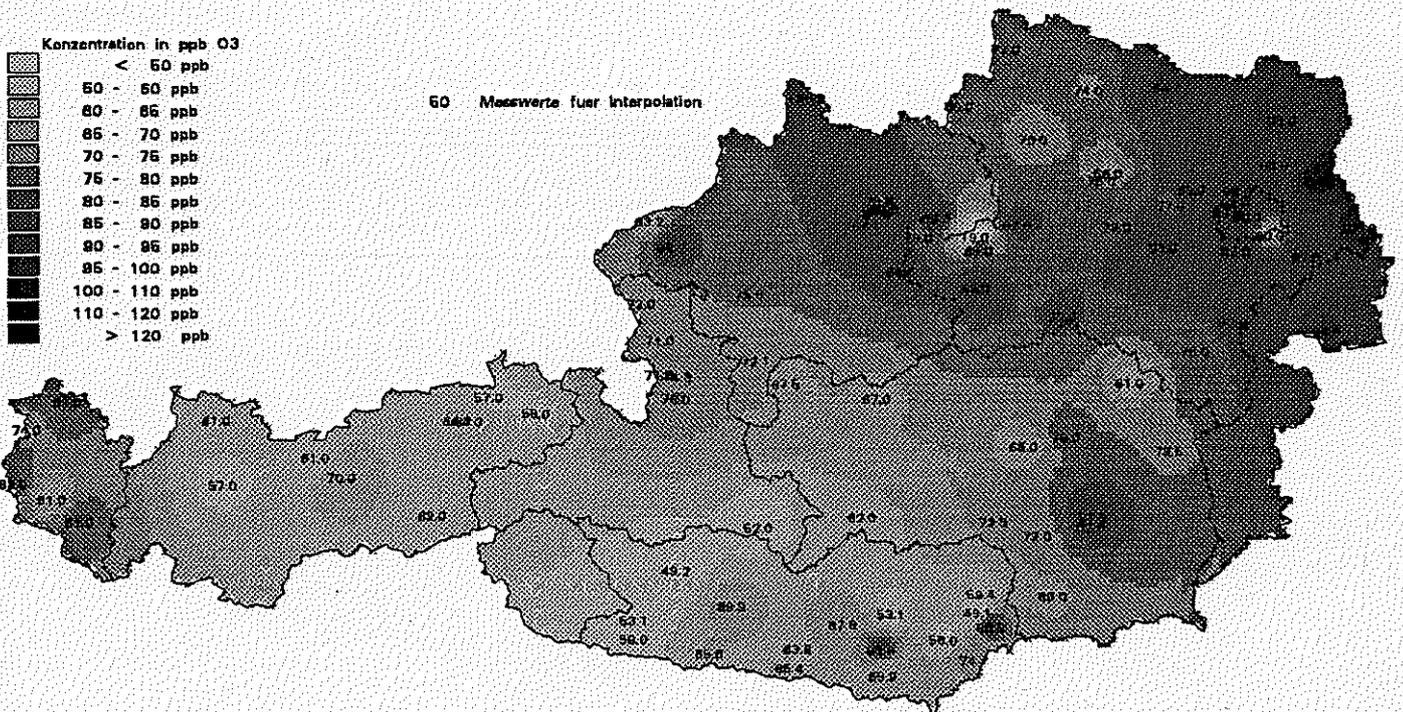


Abbildung 21: Prognosekarten

OZONMAXIMA IN ÖSTERREICH - MESSUNG UND PROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 19. August 1992



PROGNOSE ANHAND OZONMAXIMA DES VORTAGES UND TEMPERATURPROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 19. August 1992

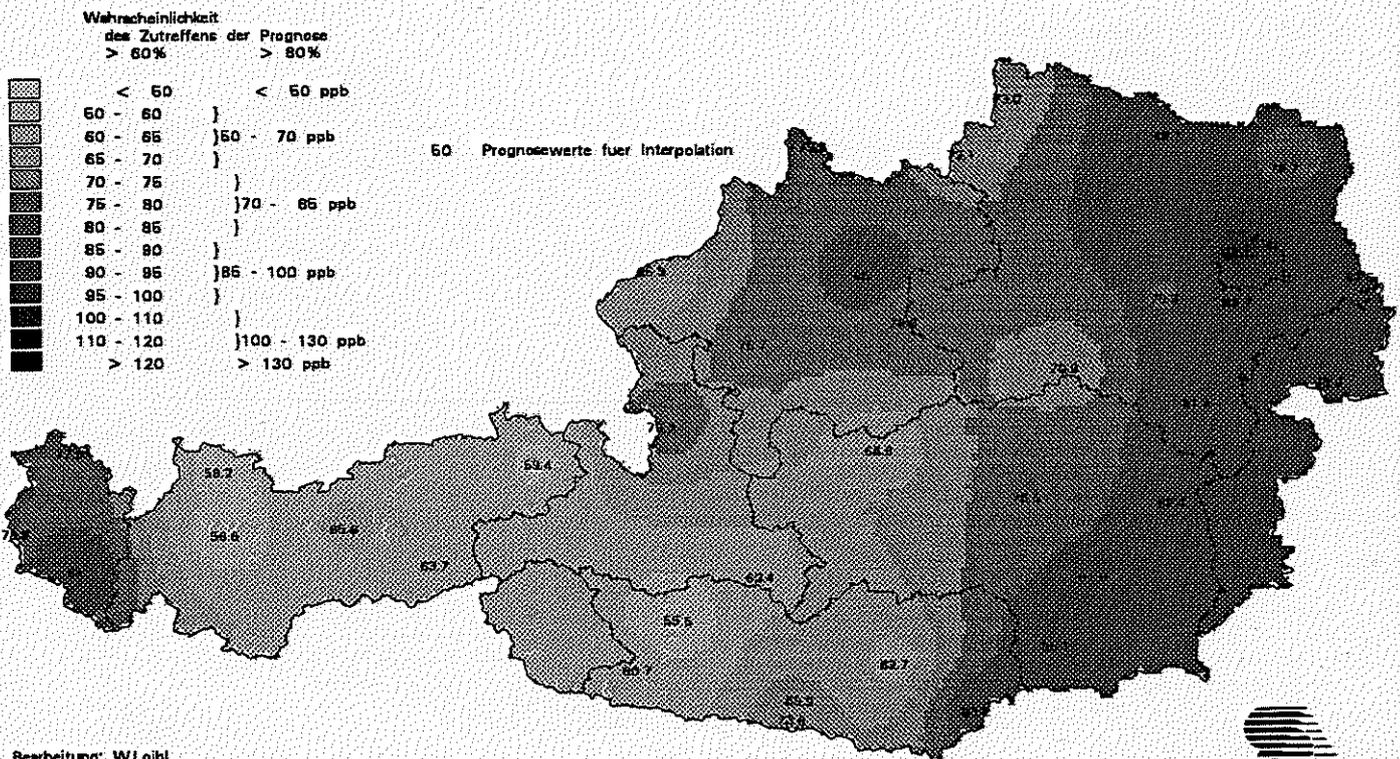
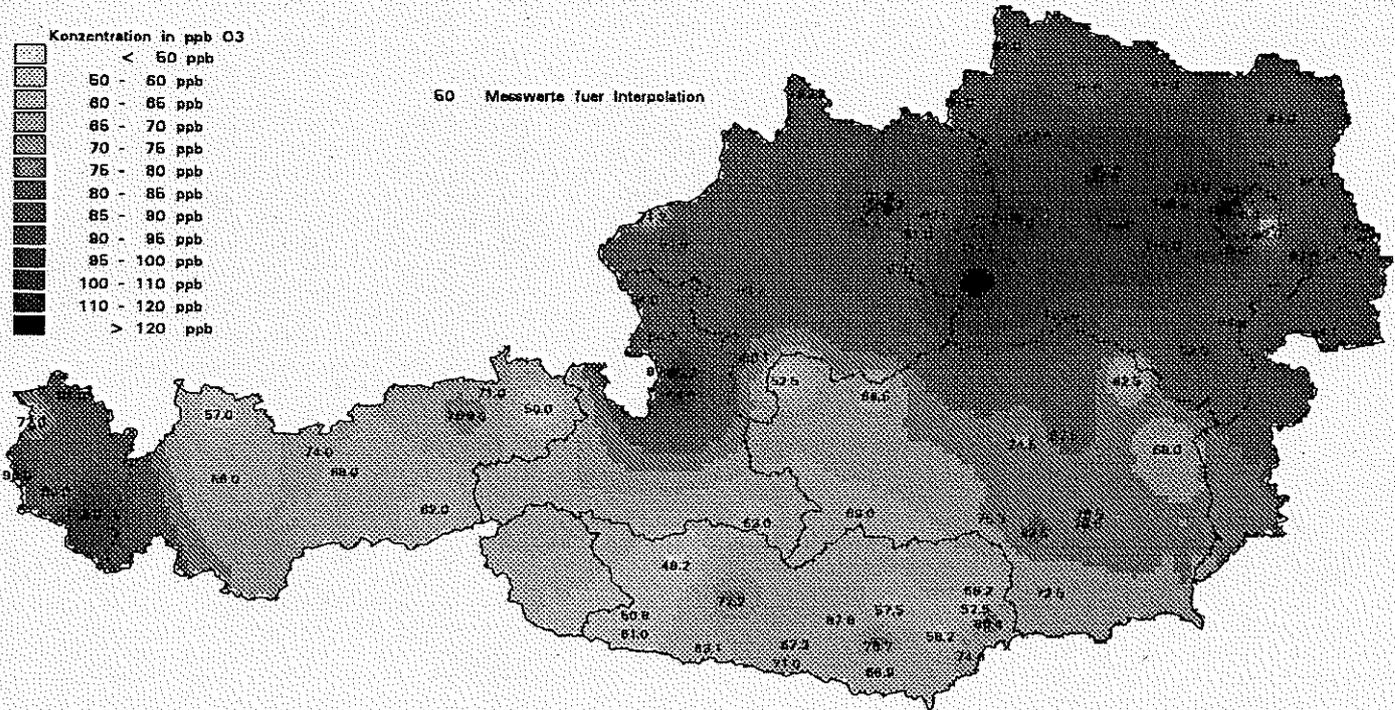


Abbildung 22: Prognosekarten

OZONMAXIMA IN ÖSTERREICH - MESSUNG UND PROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 20. August 1992



PROGNOSE ANHAND OZONMAXIMA DES VORTAGES UND TEMPERATURPROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 20. August 1992

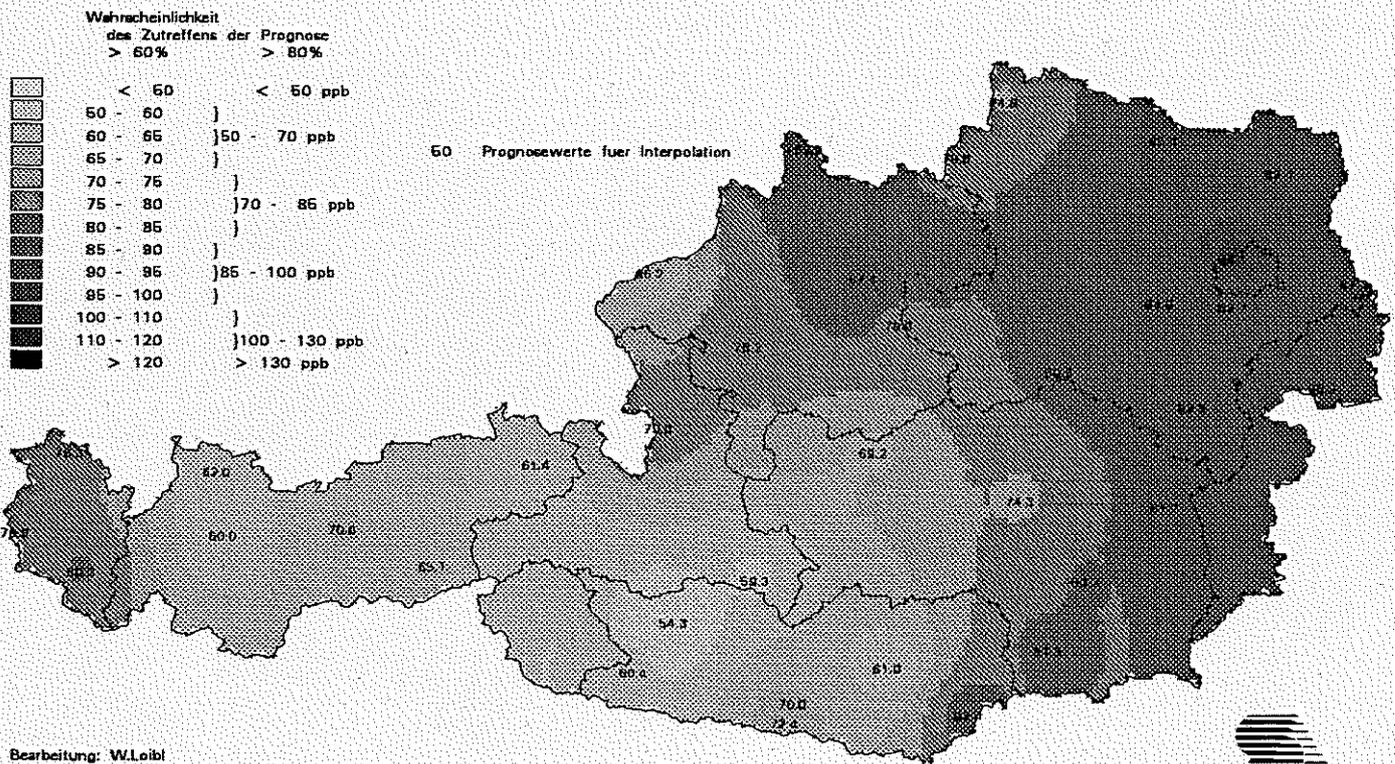
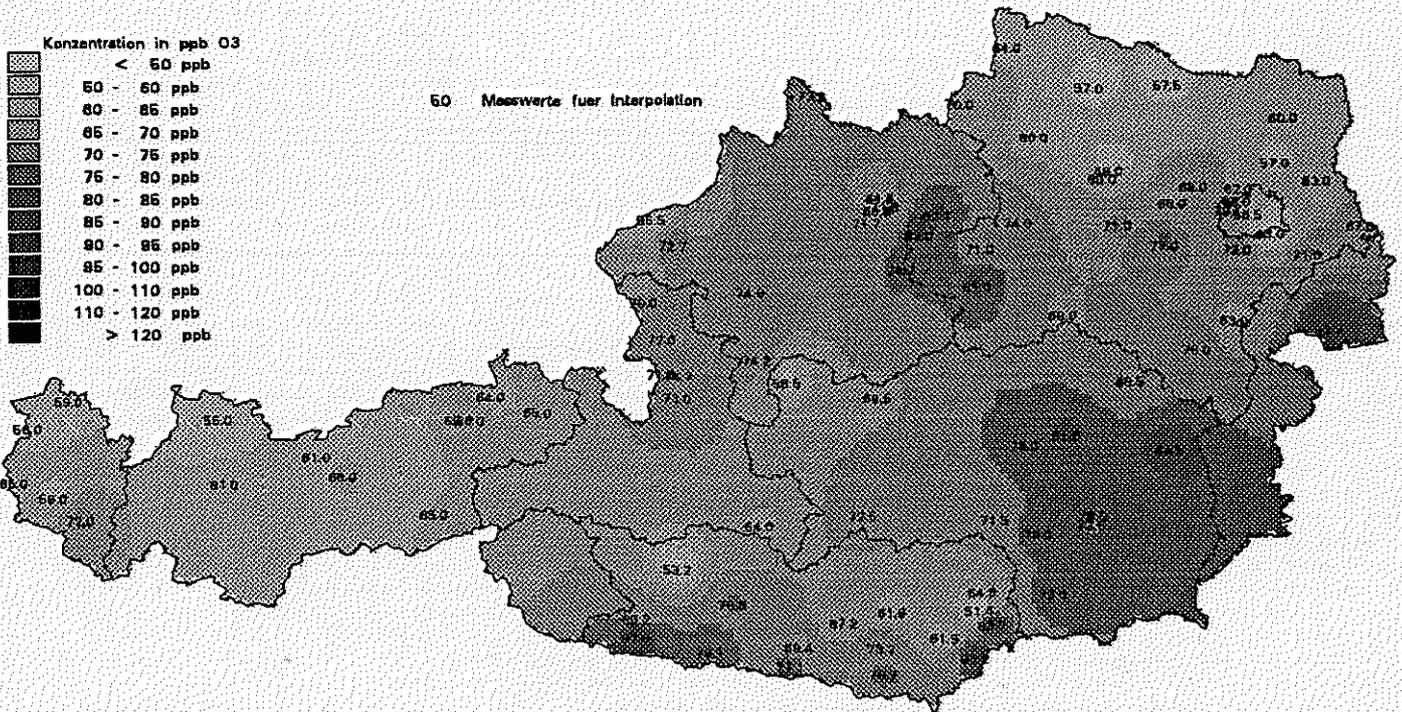


Abbildung 23: Prognosekarten

OZONMAXIMA IN ÖSTERREICH - MESSUNG UND PROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 21. August 1992



PROGNOSE ANHAND OZONMAXIMA DES VORTAGES UND TEMPERATURPROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 21. August 1992

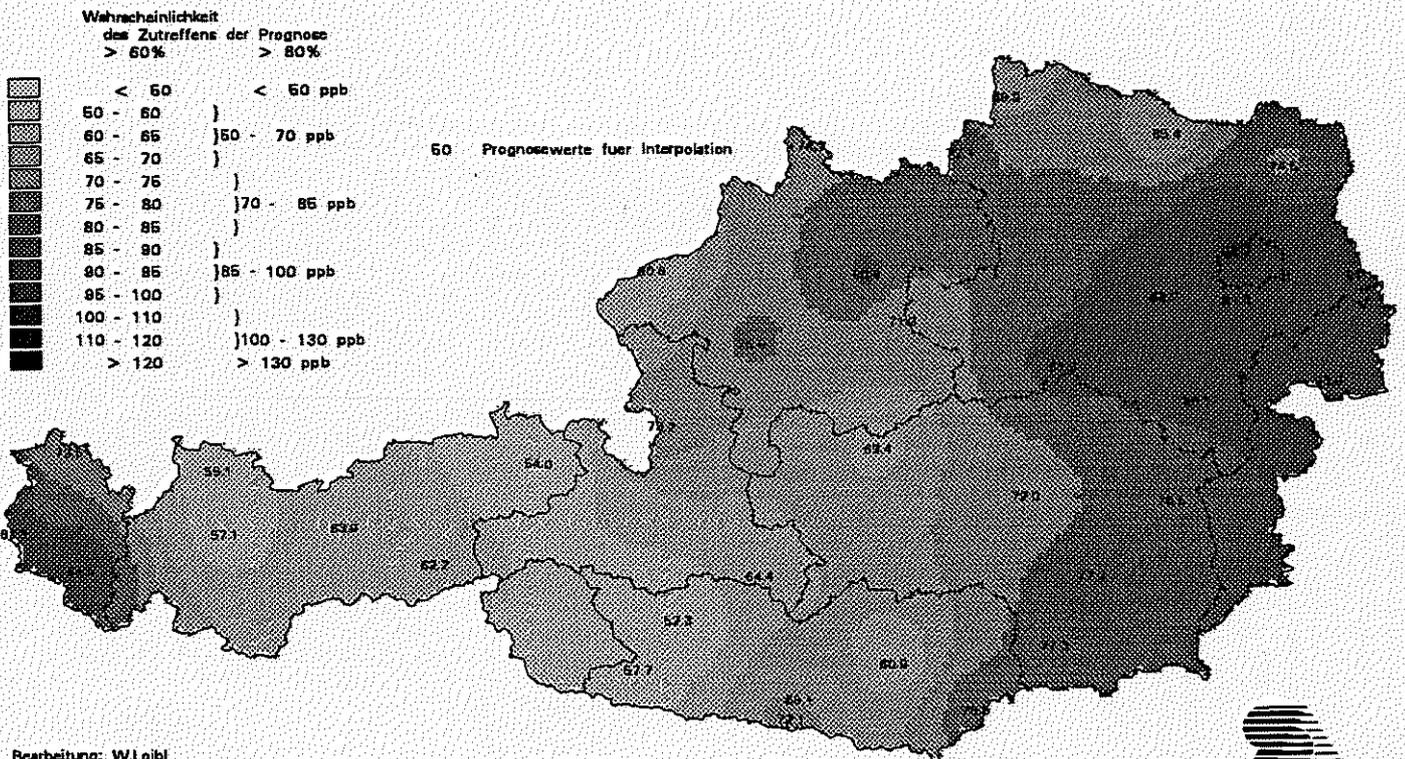
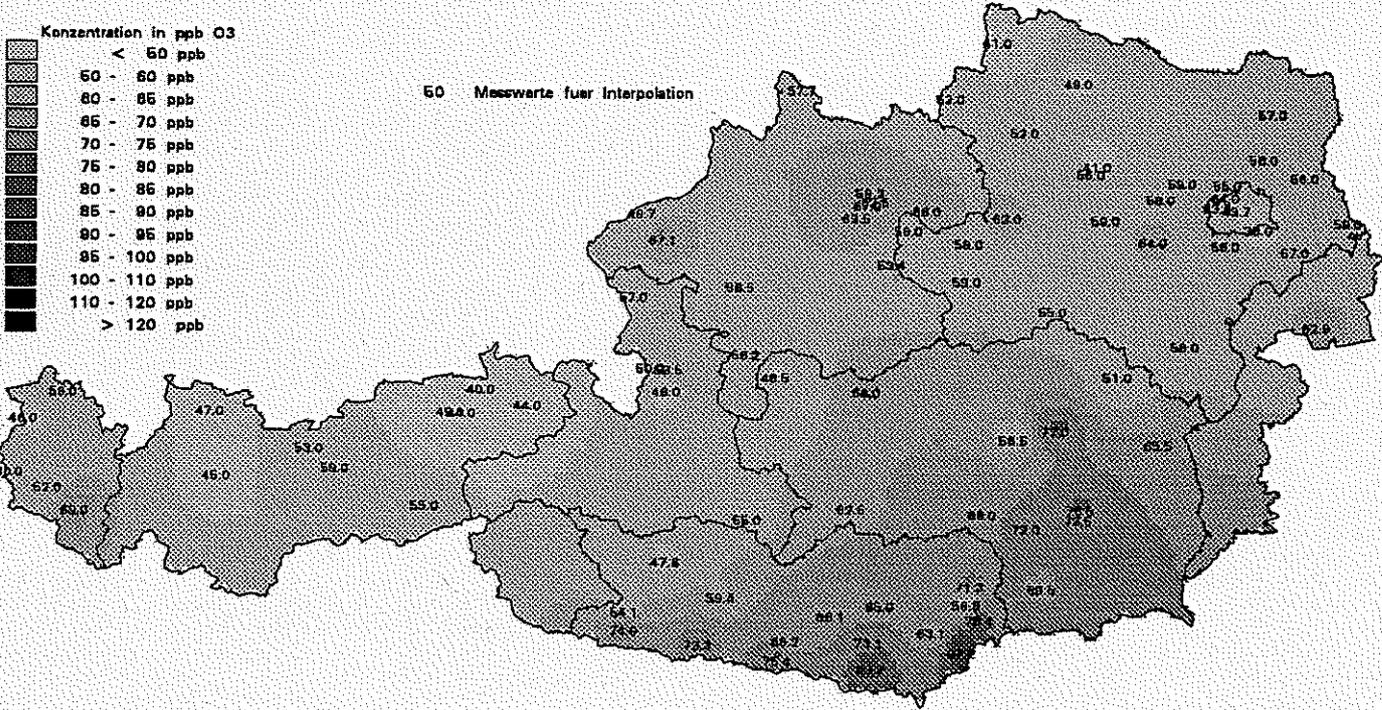


Abbildung 24: Prognosekarten

OZONMAXIMA IN ÖSTERREICH - MESSUNG UND PROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 22. August 1992



PROGNOSE ANHAND OZONMAXIMA DES VORTAGES UND TEMPERATURPROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 22. August 1992

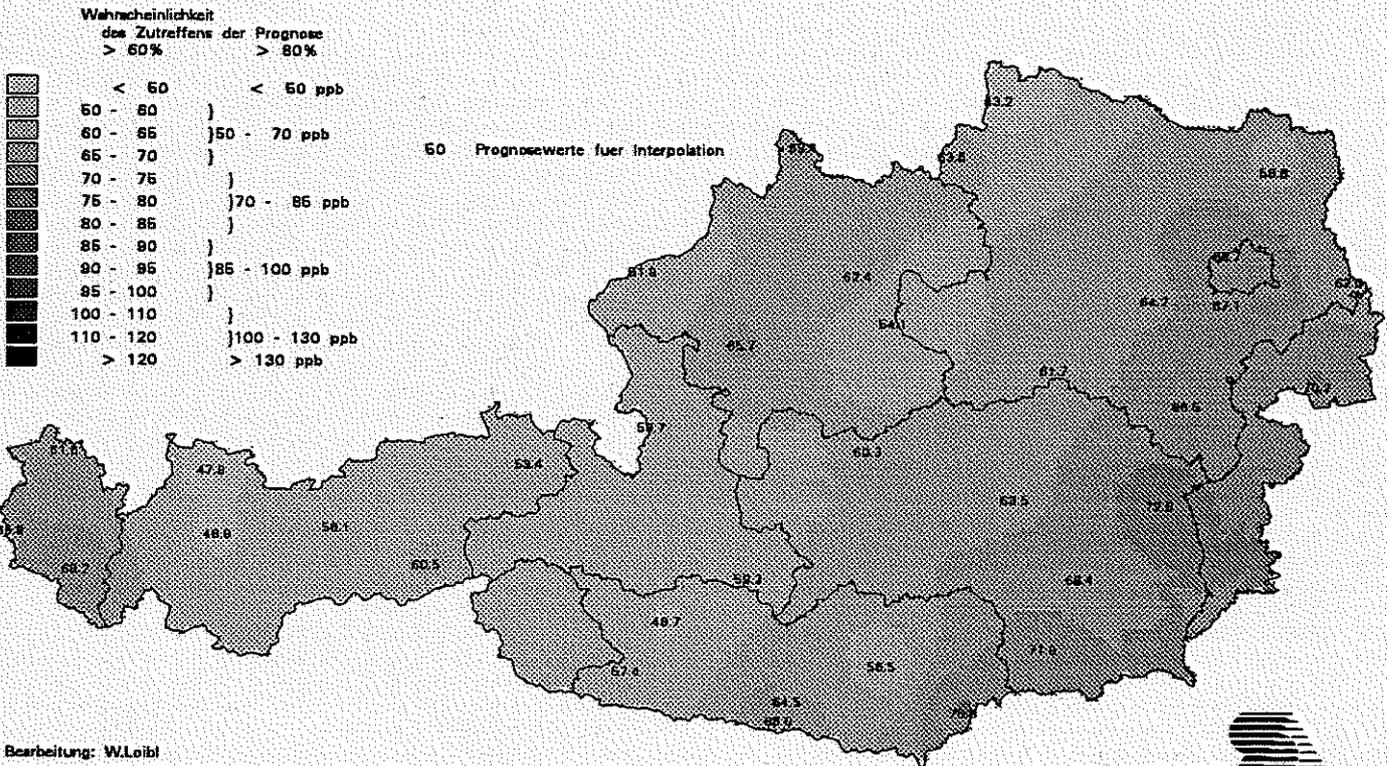
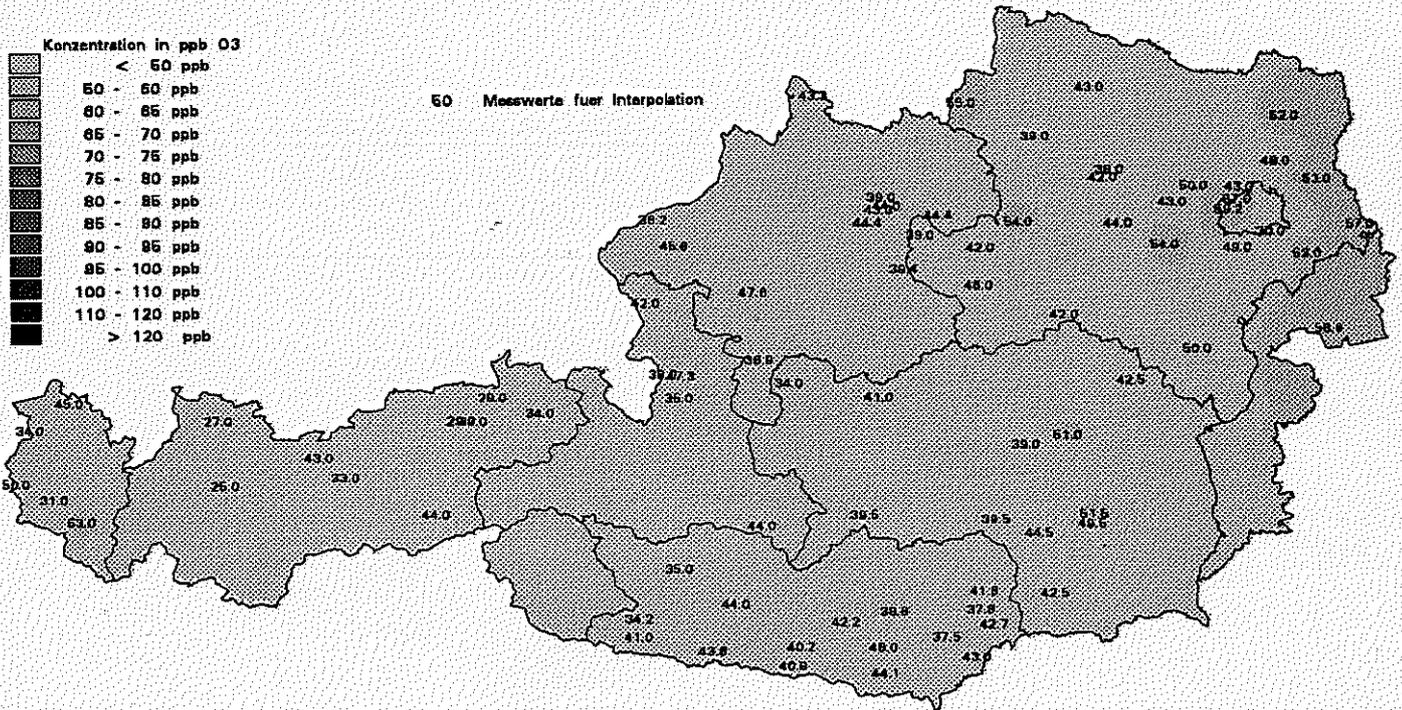


Abbildung 25: Prognosekarten

OZONMAXIMA IN ÖSTERREICH - MESSUNG UND PROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 23. August 1992



PROGNOSE ANHAND OZONMAXIMA DES VORTAGES UND TEMPERATURPROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 23. August 1992

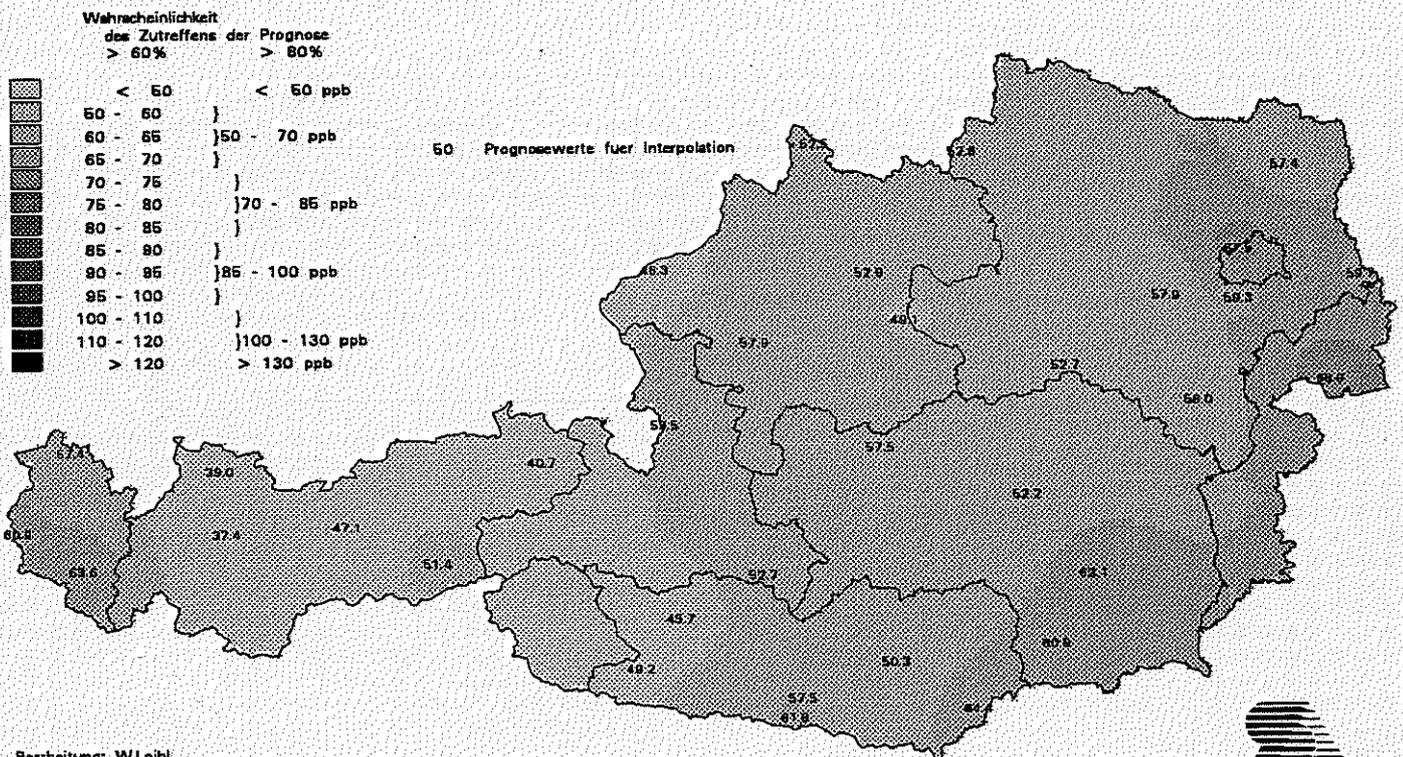
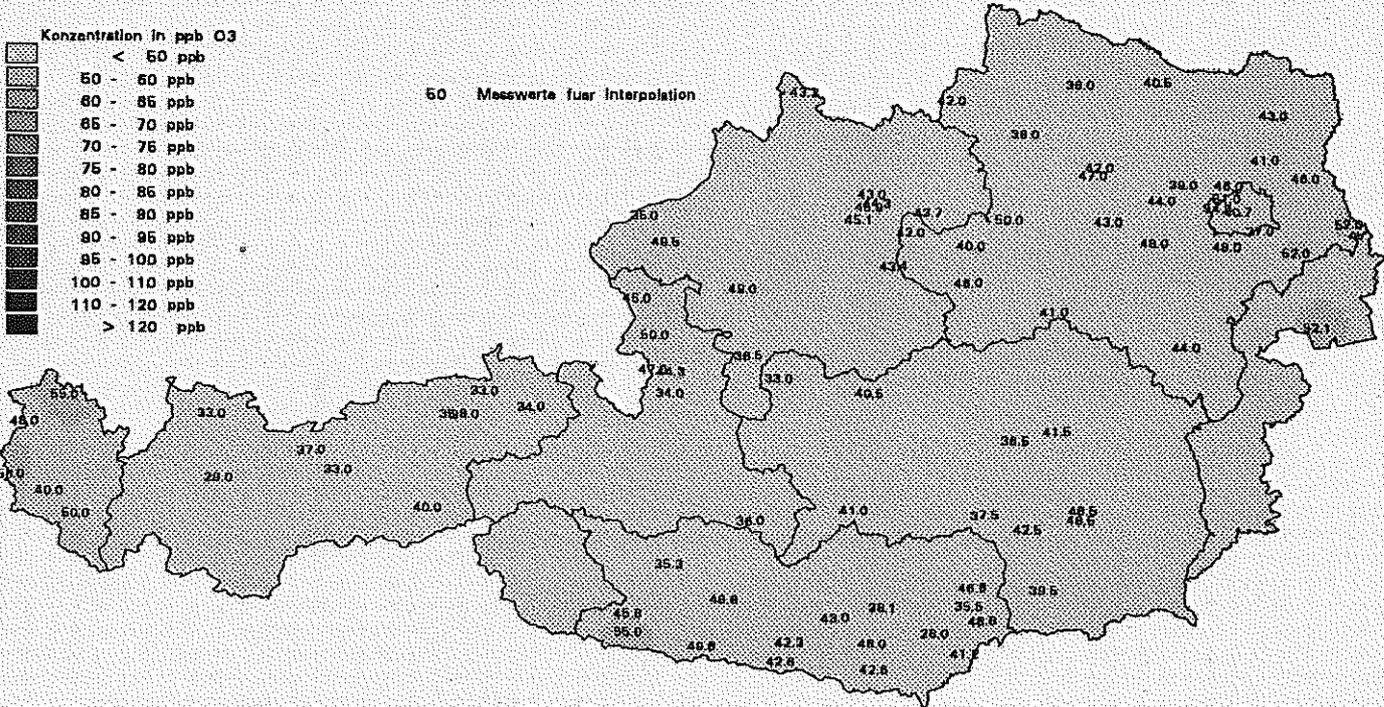


Abbildung 26: Prognosekarten

OZONMAXIMA IN ÖSTERREICH - MESSUNG UND PROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 24. August 1992



PROGNOSE ANHAND OZONMAXIMA DES VORTAGES UND TEMPERATURPROGNOSE

Maximale Halbstundenmittelwerte am 24. August 1992

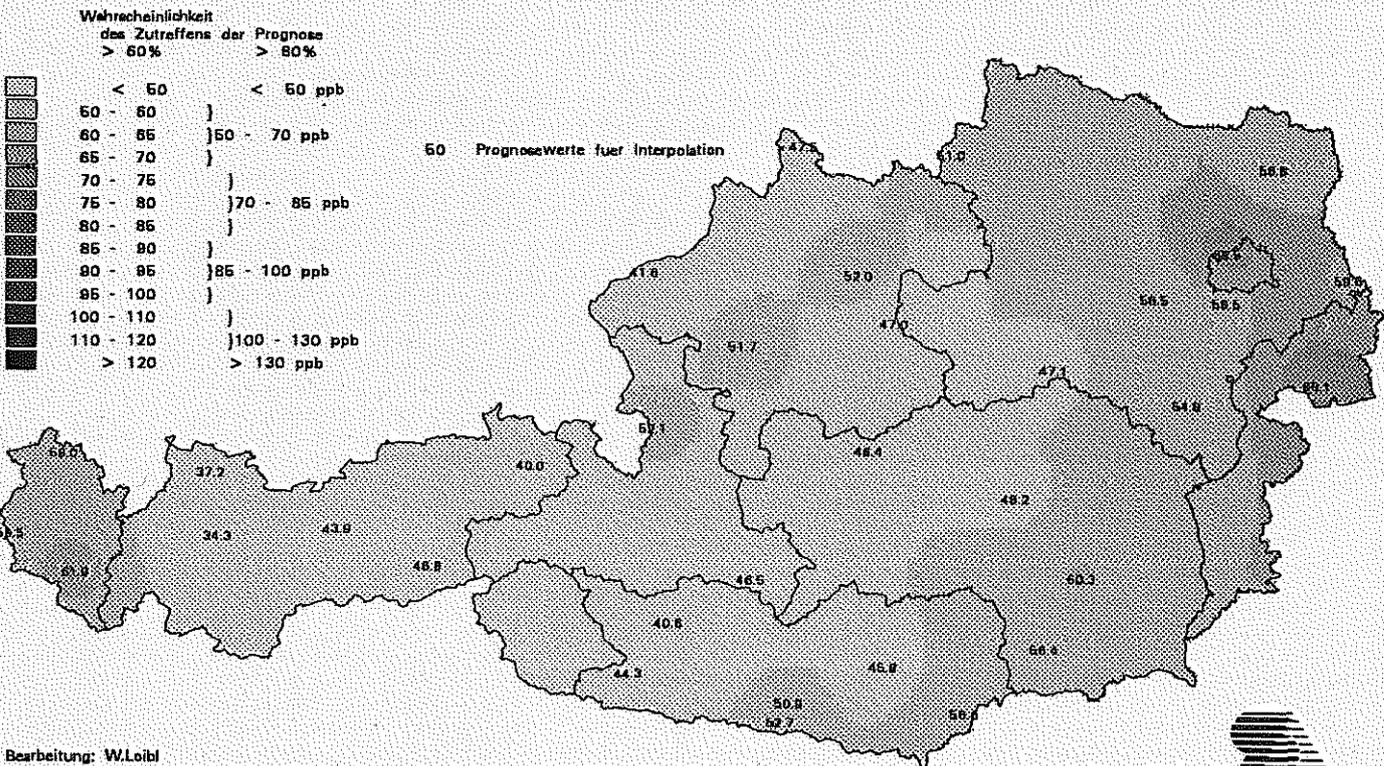


Abbildung 27: Differenzkarten

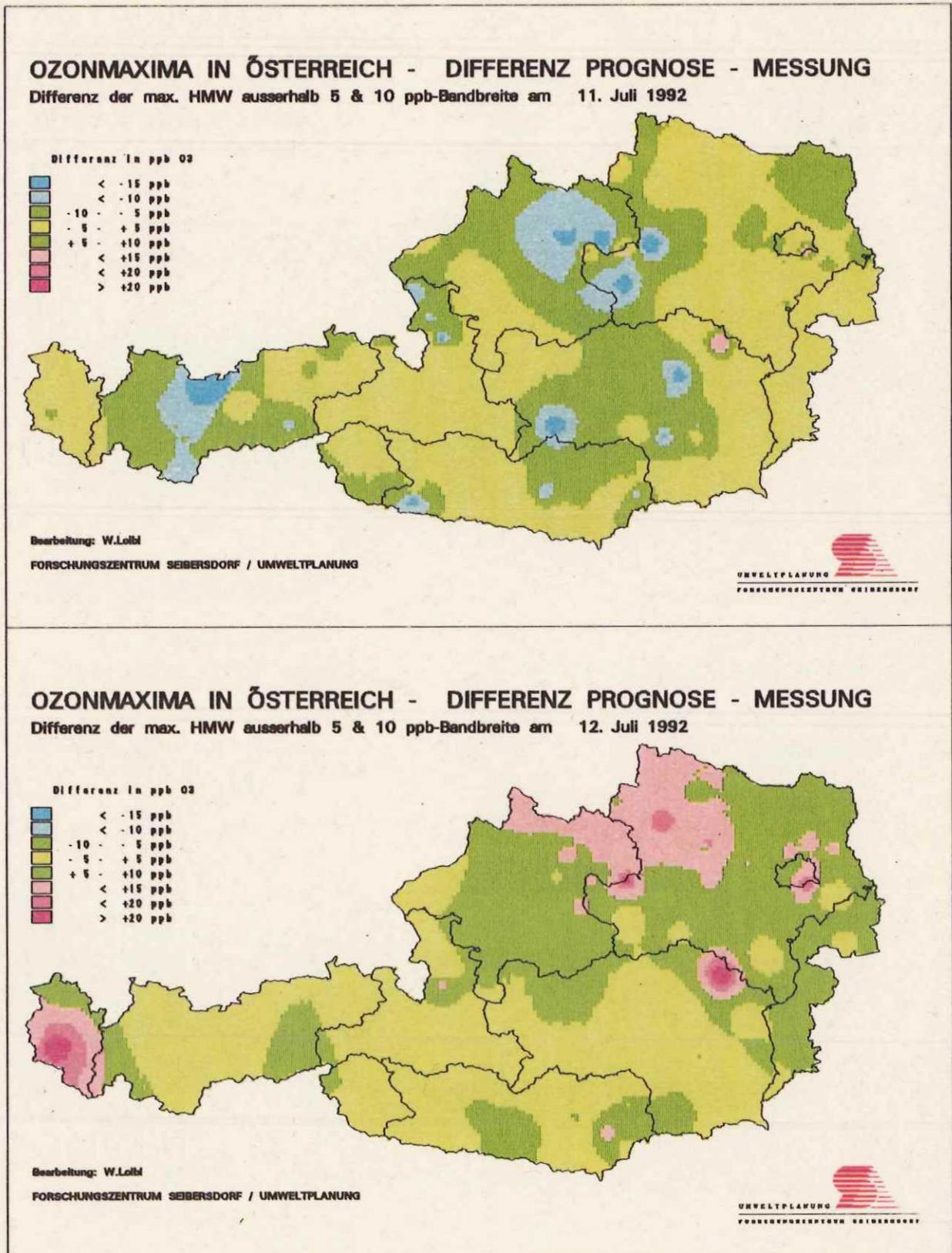


Abbildung 28: Differenzkarten

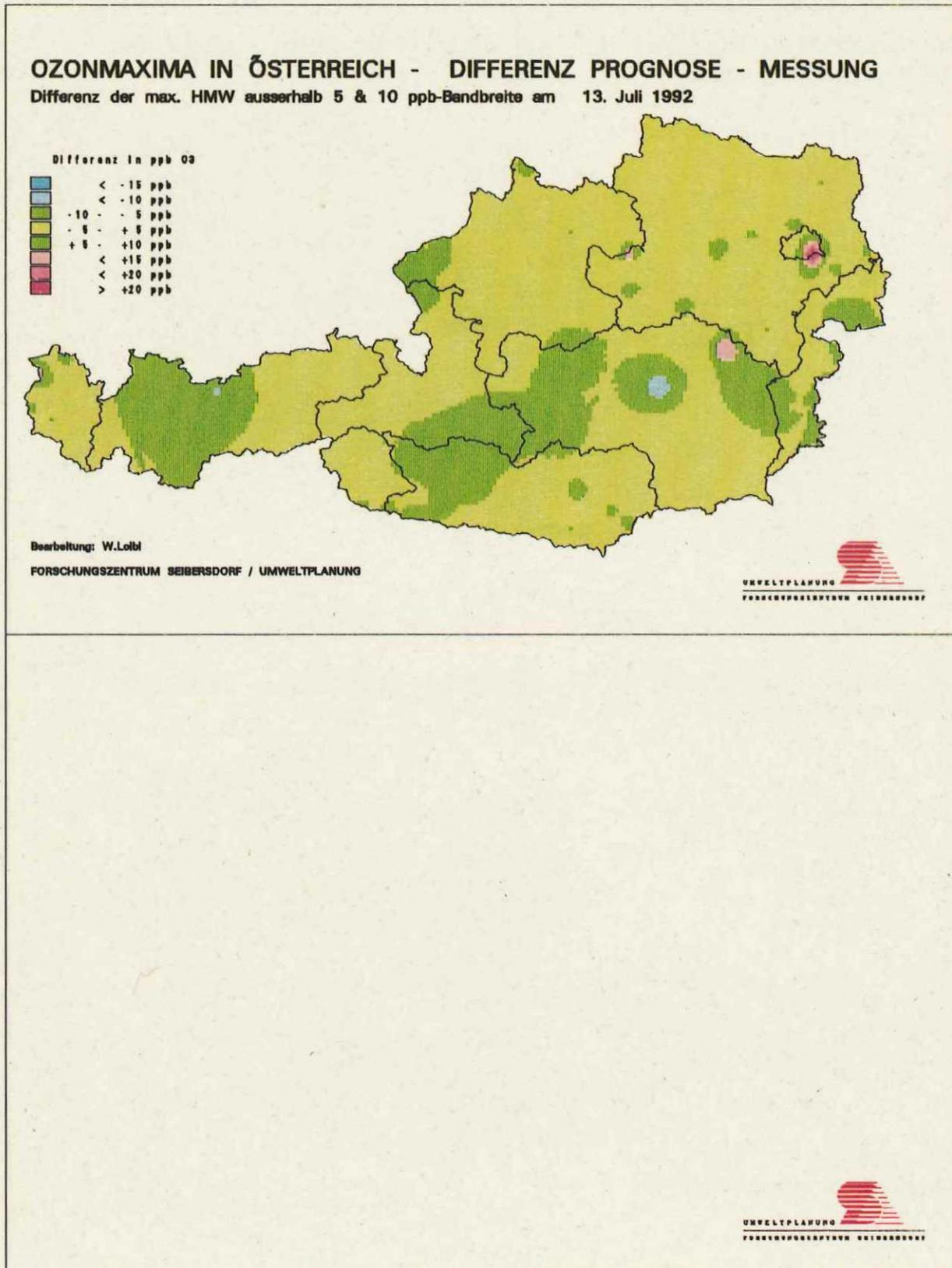


Abbildung 29: Differenzkarten

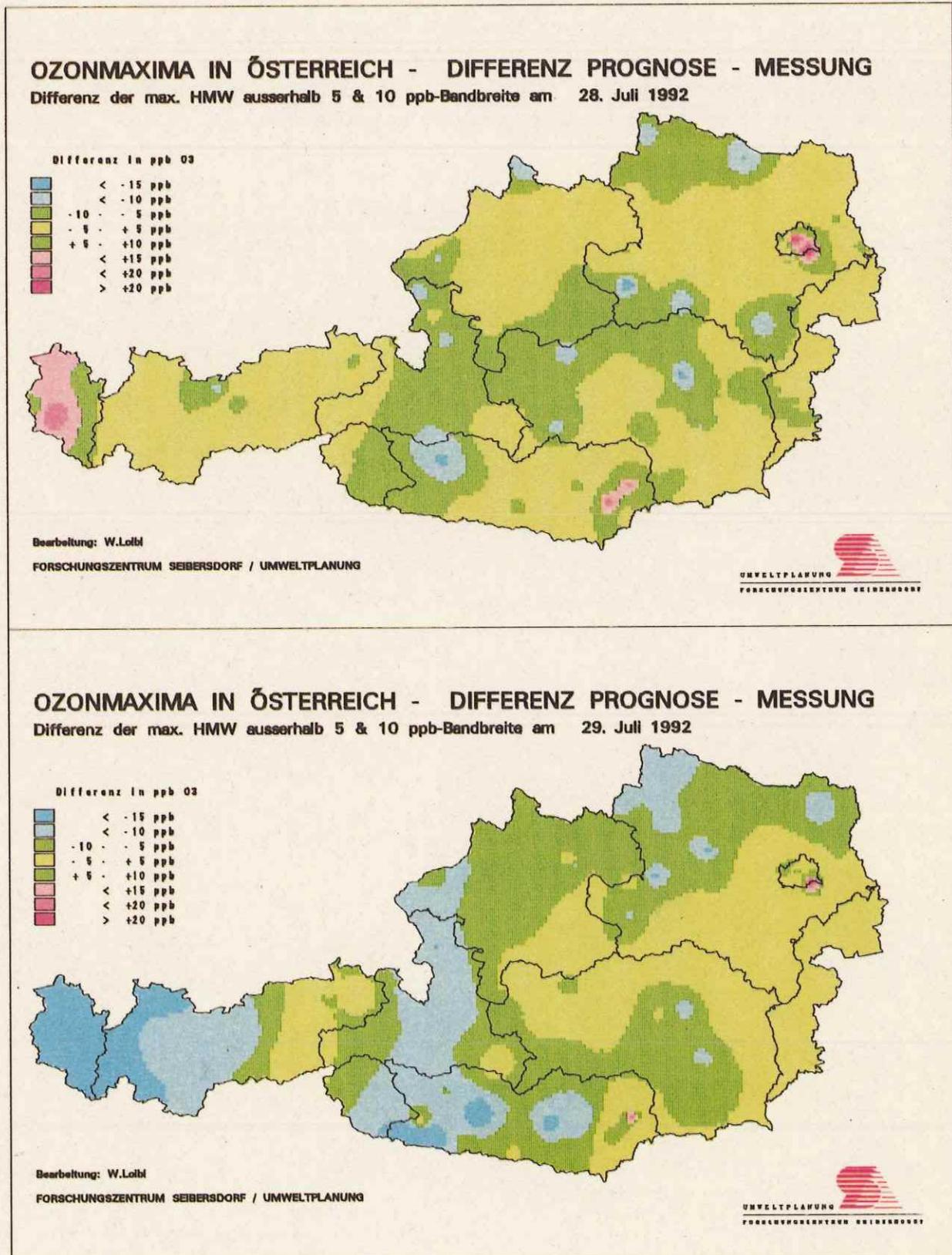


Abbildung 30: Differenzkarten

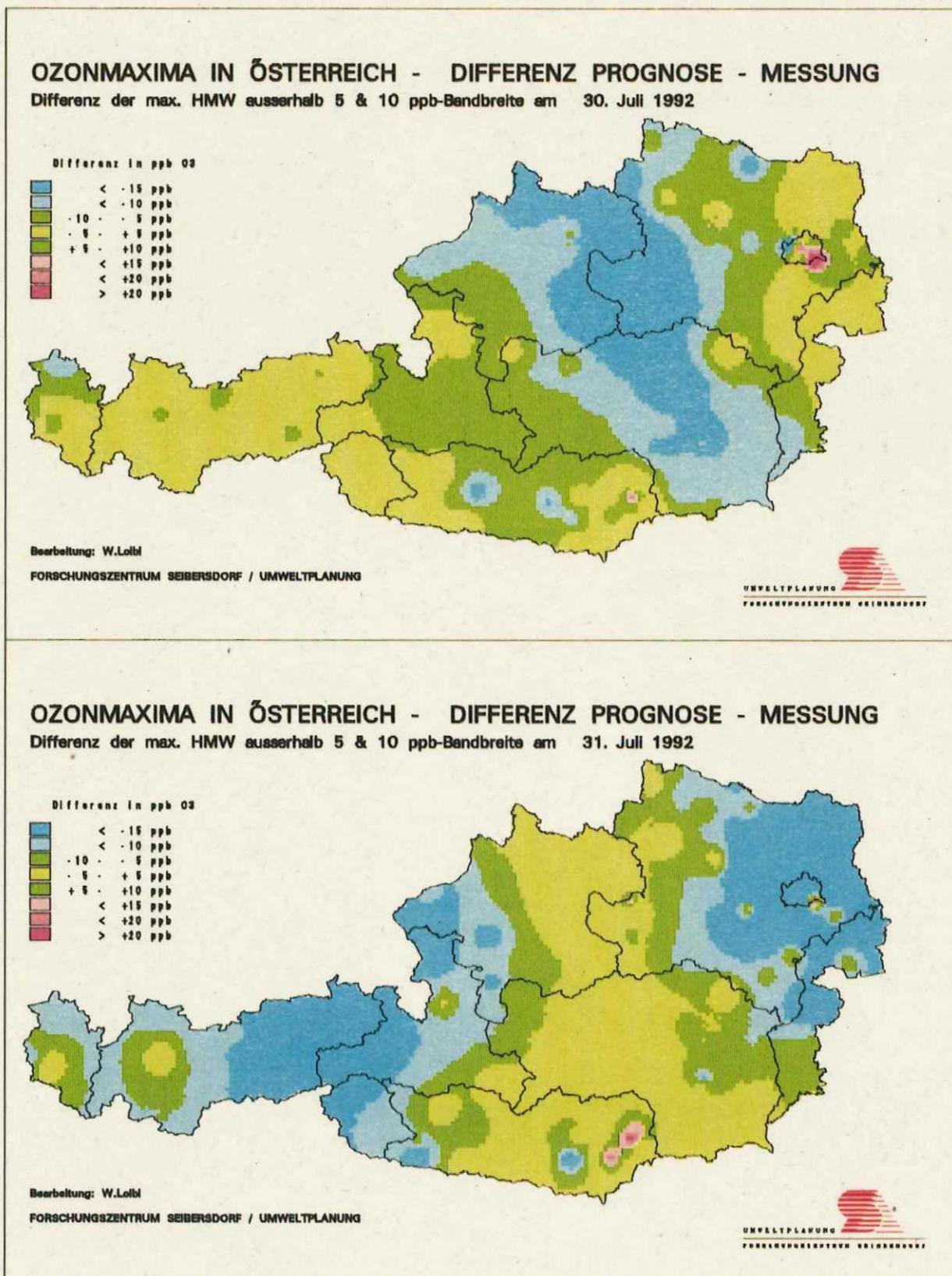


Abbildung 31: Differenzkarte

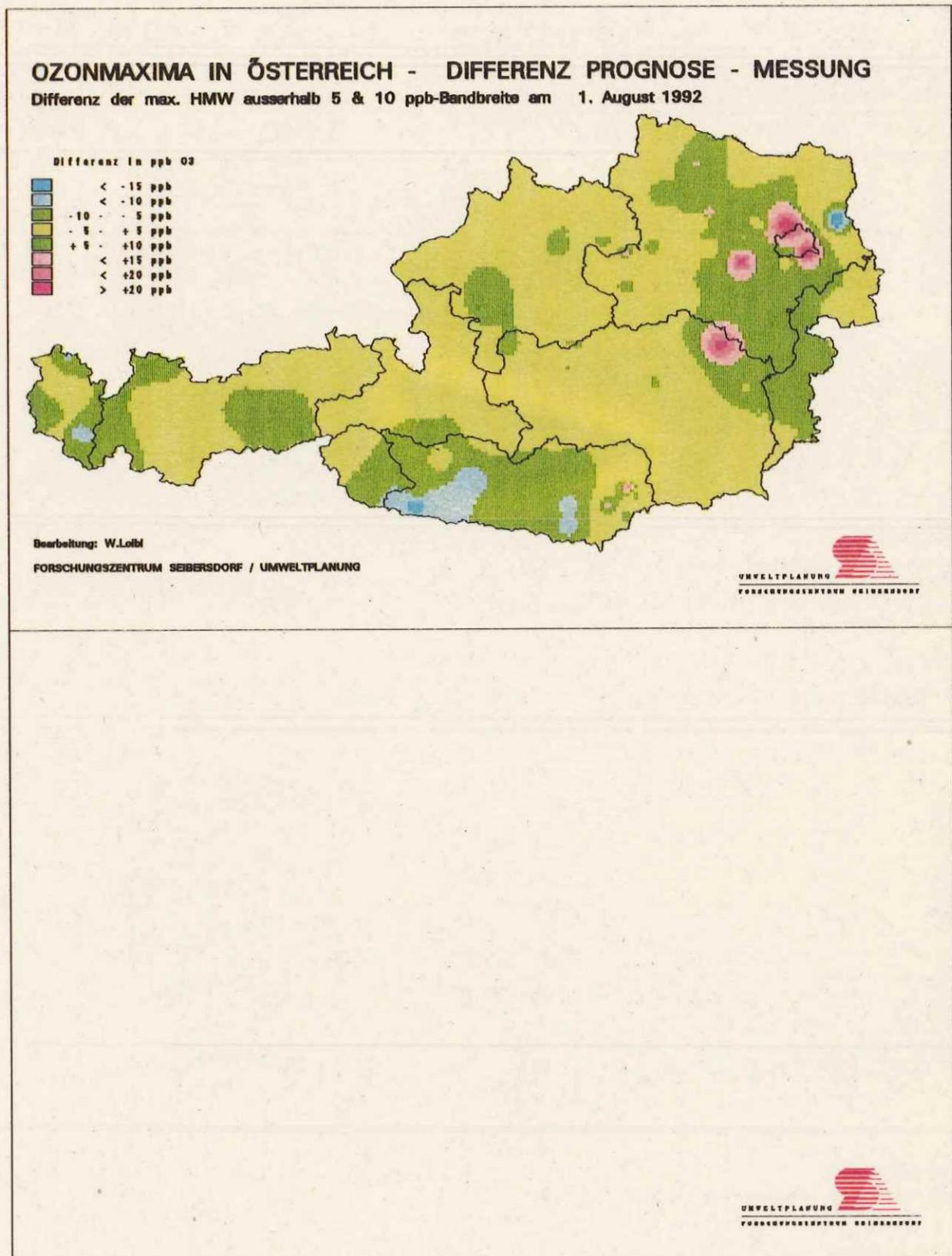


Abbildung 32: Differenzkarte

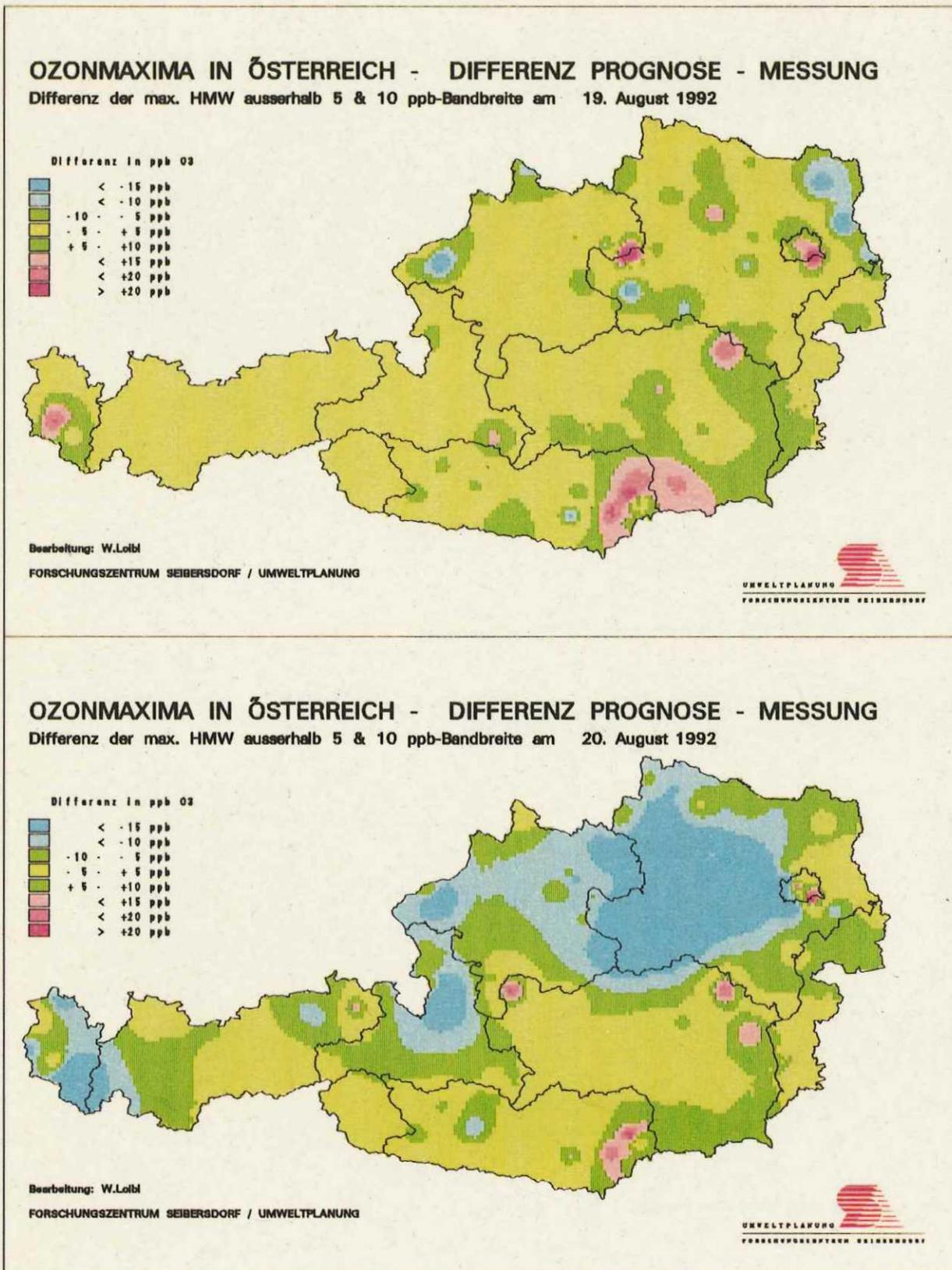


Abbildung 33: Differenzkarte

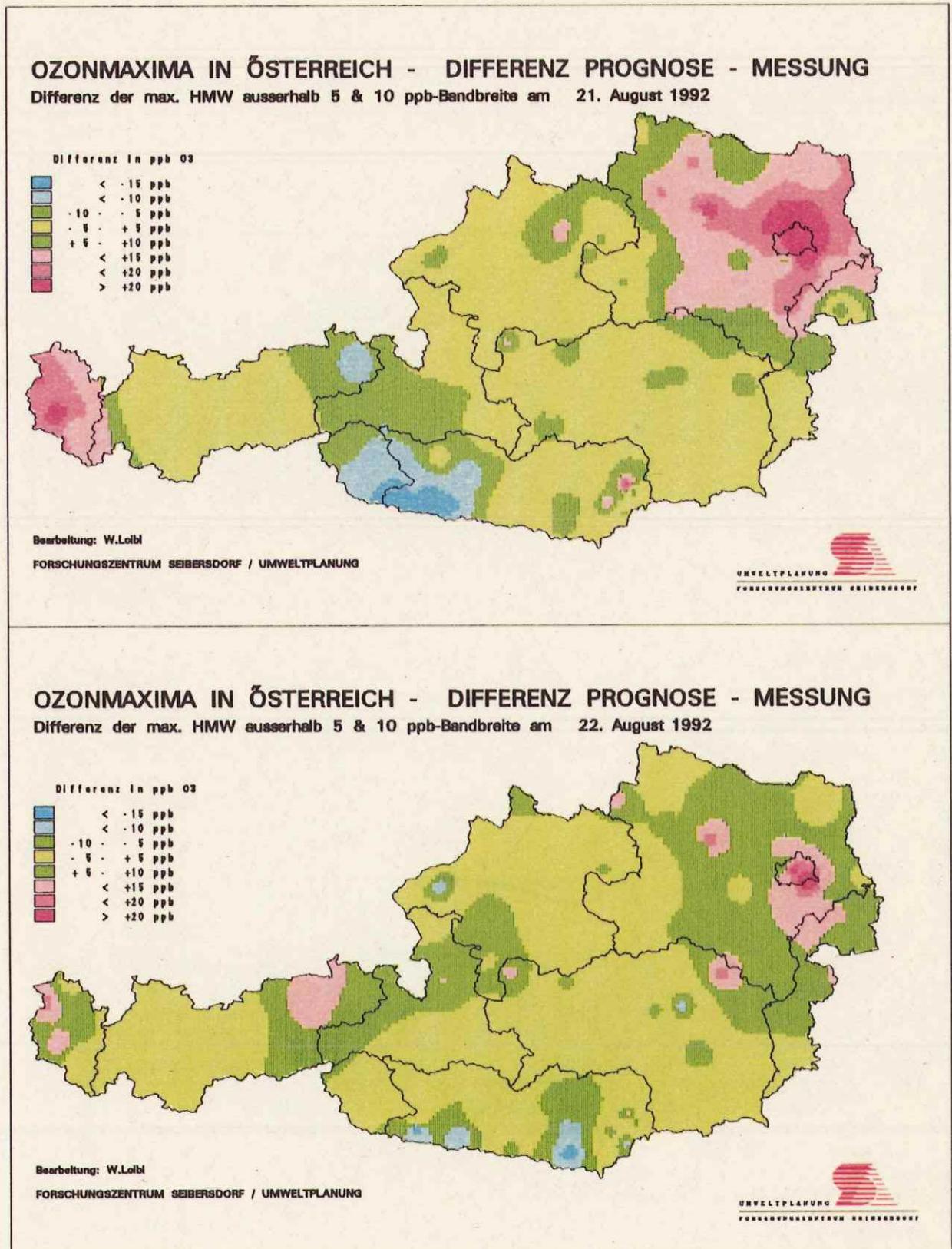
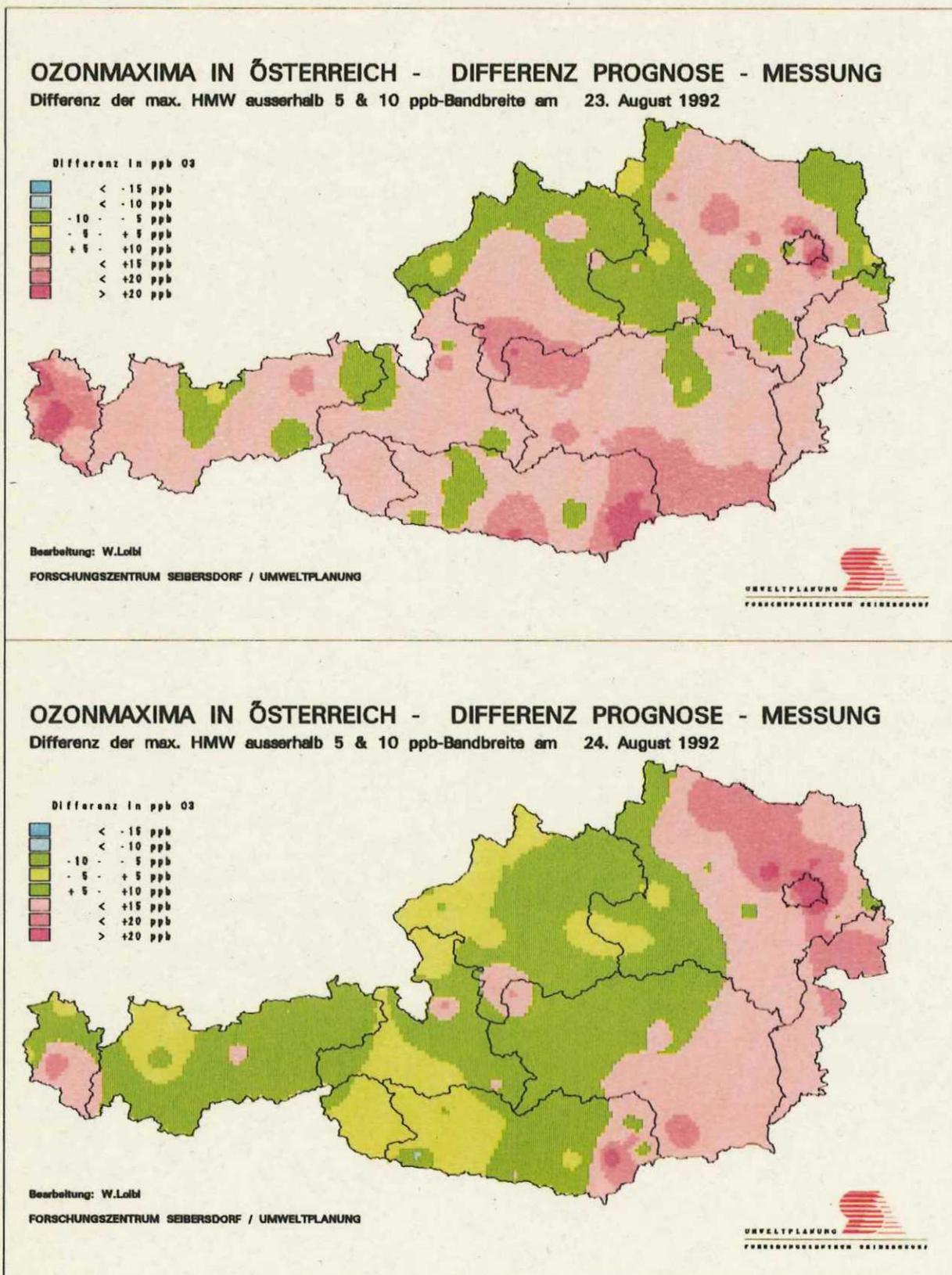


Abbildung 34: Differenzkarte



5. Resumé: Möglichkeiten und Grenzen der Prognose der Ozonmaxima mit statistischen Verfahren

5.1 Zur Qualität der Prognoseergebnisse

Die vorliegende Arbeit zeigt, daß mit Hilfe einfacher statistischer Verfahren und mit geringem Datenaufwand relativ genaue, österreichweite Kurzfristprognosen der Ozonmaxima erstellt werden können.

Die Regressionsfunktionen haben sich für die Prognose weitestgehend bewährt, vor allem mit der Erkenntnis, daß derartige Funktionen die durchschnittliche Beziehung Ozon vs. Temperatur widerspiegeln. Selbst Extremsituationen (aus statistischer Sicht singuläre Ereignisse, die von derartigen Verfahren an sich nicht prognostiziert werden können) können in gewissem Ausmaß vorausgesagt werden.

Für einen großen Teil der Meßstationen wird der Verlauf der Ozonmaxima, auch trotz starker Schwankungen dieser Werte, mit hoher Treffergenauigkeit prognostiziert. Die Schwankungen werden in überwiegendem Maß (oft ohne Zeitverzögerung) wiedergegeben. Die Trendumkehr wird zum Großteil auf den Tag genau vorhergesagt.

Anhand der Ergebnisse für immerhin etwa 60 Prognosestage des Hochsommers 1992 zeigte sich, daß die Residuen zumindest an 50% der Tage innerhalb von ± 5 ppb liegen; an 80 bis 90% der Tage liegen die Residuen innerhalb von ± 10 ppb.

In der Praxis bedeutet dies, daß (zumindest) jeden 2. Tag die Prognose auf ± 5 ppb genau erfolgt. Bei vielen Stationen ist allerdings an jedem 9. bis 10. Tag der Prognosefehler größer als ± 10 ppb, wobei die maximale Abweichung im Durchschnitt 15 ppb beträgt (vgl. Anhang 3).

Diese 10 bis 20 % der Tage zeigen die Grenzen des Verfahrens auf. Gerade an jenen Tagen, an denen unerwartet hohe Ozonspitzen bzw. unerwartet geringe Ozonmaxima auftreten, wird der Anstieg bzw. das Absinken der Ozonmaxima mit geringerer Intensität prognostiziert.

Für die Zukunft sollte versucht werden, auf statistischem Weg die extremen Ozonspitzen zeitlich und quantitativ besser zu prognostizieren, wofür nachstehende Vorschläge gemacht werden.

5.2 Möglichkeiten der Verbesserung der Prognosequalität

Es gibt grundsätzlich zwei Möglichkeiten, die Prognosequalität ausgehend von dem hier gewählten Verfahren zu verbessern: Erstens die Optimierung der Funktion mit den zur Verfügung stehenden Variablen und zweitens die Erweiterung der Auswahl der erklärenden Variablen für die Prognosefunktionen. Beide Aspekte werden in der Folge behandelt.

5.2.1 Modifikation der Prognosefunktionen

Um die Extremwerte besser mit statistischen Verfahren prognostizieren zu können, stehen bei derartigen Regressionsmodellen zwei Alternativen zur Auswahl:

1. *Die Modifikation der Prognosefunktionen unter Beibehaltung der Linearität.*

Wenn modifizierte Regressionskoeffizienten einen steileren Anstieg der Regressionsgeraden bewirken, werden die Residuen an den Spitzentagen abnehmen. Die Prognosen werden an diesen Tagen somit an die tatsächlichen Meßdaten näher herankommen. Allerdings können dann die Ergebnisse an den Tagen mittlerer Ozonmaxima häufiger (jedoch nicht wesentlich) überschätzt werden.

2. *Die Modifikation der Prognosefunktionen unter Verlassen der Linearität.*

Nichtlineare Prognosefunktionen, deren Kurve bis gegen 28°C nahezu linear entsprechend der bisherigen Funktionen verläuft, jedoch darüber hinaus steiler ansteigt, wären bei dem Großteil der analysierten Stationen vorstellbar (Vgl. hierzu die Diagramme in Anhang 1). In diesem Fall werden die Ergebnisse an Tagen geringer bis mittlerer Ozonbelastung den bisherigen entsprechen, die Wahrscheinlichkeit, daß die Ozonwerte bei erwarteten hohen Temperaturen unterschätzt werden, wird jedoch sinken. Allerdings kann bei untypischen Wettersituationen - etwa hohen Temperaturen trotz Bewölkung - eine relativ hohe Überschätzung der Ozonmaxima nicht ausgeschlossen werden.

Es ist denkbar, daß eine Kombination der Verwendung der bisherigen Funktionen für den Großteil der bisherigen Stationen und der Modifikation von Prognosefunktionen für hoch belastete Stationen in Beckenlagen v.a. Ostösterreichs mit steilerem Anstieg ab Temperaturen über 28°C, die Qualität der Prognoseergebnisse bei der Kartendarstellung auch für extreme Ozonmaxima verbessern kann.

5.2.2 Auswahl alternativer Variablen

Für einzelne Meßstationen mit deutlich schlechterer Prognosequalität kann die Ursache für das Auseinanderklaffen der statistischen Beziehungen der in der Prognosefunktion verwendeten Variablen an einzelnen Tagen nur mit ausreichendem Wissen über die meteorologischen Vorgänge und möglichen photochemischen Prozesse während der dargestellten Ozonepisoden beurteilt werden. (vgl. z.B. SPANGL W., 1993, STOHL A., KROMP-KOLB H., 1994).

Aufgrund der hier zur Verfügung stehenden Unterlagen wurde versucht, aus statistischer Sicht einige Schlüsse zu ziehen, die im Hinblick auf die Weiterentwicklung des Prognoseansatzes von Bedeutung sind:

- Anhand der vorliegenden Prognoseergebnisse kann angenommen werden, daß an den Spitzentagen bzw. an manchen Tagen der Trendumkehr die Temperatur ein zu träger Indikator für eine noch genauere Prognose der Ozonmaxima ist. ⁶
- Weiters stellt sich die Frage, ob die Temperaturmaxima auch außerhalb der hochsommerlichen Periode ebenso stabile statistische Beziehungen zu den Ozonmaxima aufweisen. ⁷
- Für die Prognose von Ozonmaxima außerhalb des Hochsommers kann es notwendig sein, zur Temperatur alternative oder ergänzende Variablen für die Ozonprognose heranzuziehen.
- Lokal bedingte Ozonspitzen oder -senken, oder gar von der allgemeinen Ozonsituation abweichende Werte, werden auch in Zukunft nicht bzw. (erstere) nur in beschränktem Ausmaß prognostiziert werden können

Aus der einschlägigen Literatur geht hervor (vgl. etwa KELLY K., 1991), daß unterschiedlichste meteorologische Parameter die Ozonbildung beeinflussen, die sich in der Temperatur nur bedingt

⁶ So kann z.B. die Temperatur für einige Zeit konstant bleiben, auch wenn sich bereits Bewölkung einstellt und damit die Globalstrahlung und mit dieser die Ozonbildung entsprechend abnimmt. Andererseits kann trotz klaren Himmels bei hoher Globalstrahlung die Temperatur bei entsprechenden Druck- und damit Windverhältnissen nicht oder nur gering ansteigen, die Ozonbildung hingegen aufgrund der ungehindert einfallenden Globalstrahlung jedoch stärker ansteigen.

⁷ Hohe Temperaturen im Spätsommer sind unabhängig von der bereits schwächeren Globalstrahlung (die ihr Maximum zum Zeitpunkt der Sommersonnenwende erreicht) und kommen demnach in geringerem Ausmaß als im Frühsommer als Indikator für hohe Ozonmaxima in Frage.

oder gar nicht ausdrücken - z.B. Hochdruck, atmosphärische Schichtung, Konvektion etc. Nach persönlichen Informationen durch Mitarbeiter der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), besteht die Möglichkeit zusätzliche Variablen heranzuziehen, die auch entsprechend prognostizierbar sind. Dadurch ließe sich eine weitere Verbesserung der Ozonprognose mit statistischen Mitteln erzielen.

Die zusätzlich in Betracht zu ziehenden, prognostizierbaren Indikatoren - sind folgende (vgl. KAISER A. u. KRESS CH., 1993):

- Globalstrahlung,
- Windgeschwindigkeit,
- Niederschlag
- relative Luftfeuchte
- Bewölkungsintensität
- Showalterindex (der die Labilität der Luftschichtung und damit die Neigung zu Niederschlägen beschreibt)

Die Korrelation der angeführten Variablen mit der Ozonkonzentration ist zu prüfen. Regressionsanalysen mit hoch korrelierenden Variablen würden zeigen, ob das Prognoseverfahren bessere Ergebnisse liefert und über den Hochsommer hinaus universeller eingesetzt werden kann.

Bezüglich der Auswahl der alternativen Variablen für die Ozonprognose zeigt sich, daß die Standorte, für welche alternative meteorologische Variablen auszuweisen sind, nicht unbedingt mit den Ozonmeßstationen ident sein müssen. Im Idealfall genügt es, repräsentative Standorte oder Standorträume auszuweisen, für welche diese Variablen dann Gültigkeit haben und zu den Ozonmaxima der benachbarten Meßstationen einen stabilen statistischen Zusammenhang aufweisen. Um Unsicherheiten auszuschließen, wird allerdings empfohlen, zumindest in der Testphase so viele Meßstationen als möglich mit Ozon- und meteorologischen Daten für die Prognose zur Verfügung zu haben.

5.3 Zur räumlichen Darstellung der Ozonmaxima: Datenanforderungen, Möglichkeiten und Grenzen

Für die Kartenerstellung ist bezüglich der Datenanforderungen folgendes zusammenzufassen:

Der Plan, relativ wenige, repräsentative Stationen für die Prognose heranzuziehen und den Höheneinfluß mittels Höhenabhängigkeitsfunktion und Höhenmodell zu integrieren, konnte nicht realisiert werden. Die Auswahl weniger, großräumig repräsentativer Stationen für die Flächeninterpolation würde die spezifischen lokalen Spitzenwerte übergehen und nicht der Realität entsprechende Prognosekarten generieren. Auch die Auswahl der Stationen mit traditionell hohen Ozonmaxima alleine kann zu Verfälschungen führen. So würde, wenn etwa nur jene exponierten Stationen ausgewählt werden, für die Räume zwischen diesen Stationen ebenso hohe Ozonwerte ausgewiesen, wie für diese exponierten Lagen der Meßstationen.

Die Stationswahl erfolgt in 2 Schritten: zuerst werden repräsentative Stationen für jeden Großraum in akzeptabler Entfernung mit statistisch zuverlässigen Beziehungen der Ozonmaxima zu den Variablen des Prognosemodells ausgewählt. Dann werden zusätzliche Stationen ausgewählt, an welchen häufig hohe Ozonspitzen gemessen werden, auch wenn der statistisch günstige Vertrauensbereich bei diesen nicht in dem Ausmaß gegeben ist.

Als statistische Kriterien für die Auswahl von Ozonprognosestationen gelten folgende:

1. positive Regressionskoeffizienten bei positiv mit den Ozonmaxima korrelierten Variablen für die Prognosefunktion,
2. geringe Standardfehler und
3. hohe multiple Korrelationskoeffizienten.

Aus den Notwendigkeiten der Flächeninterpolation der Ozonmaxima für die Kartendarstellung sind zusätzliche Stationen unabhängig von der Erfüllung der statistischen Auswahlkriterien in diese Gruppe zu integrieren, die

1. in Regionen liegen, wo im näheren Umkreis aus statistischen Gründen noch keine Station ausgewählt wurde
2. an der Staatsgrenze liegen, wenn im näheren Umkreis aus statistischen Gründen noch keine Station ausgewählt wurde,
3. häufiger hohe, lokale Ozonmaxima aufweisen.

Die vorliegende Studie zeigt, daß die Ozonmaxima zumindest im Hochsommer keine Höhenabhängigkeit aufweisen. Im Zuge weiterer Untersuchungen ist dies nochmals zu verifizieren, wobei auch Zeitreihen außerhalb des Hochsommers untersucht werden sollten.

Die Kartendarstellungen stimmen in geringerem Ausmaß mit den Meßdaten überein, als die in den Liniendiagrammen dargestellten Prognoseergebnisse mit einer Bandbreite ± 10 ppb. Die Prognosegenauigkeit zeigt sich in den Liniendiagrammen durch einen weitgehend parallelen Verlauf und der Nähe der Linien des prognostizierten und des gemessenen Ozonverlaufs. Diese Nähe zwischen Meßwerten und Prognosewerten kann in Karten durch die Darstellung der Werte in Klassen nicht wiedergegeben werden. Lokale Senken und Spitzen, welche an Stationen gemessen werden, die nicht in der Gruppe der Prognosestationen enthalten sind, können ebenfalls nicht wiedergegeben werden. Lokale Senken sind unbedeutend, doch ist es wichtig, alle Stationen mit lokalen Spitzen in die Gruppe der "Prognosestationen" zu integrieren. Grundsätzlich ist zu diskutieren, ob jene für Ozonmessung sowie für Prognose nicht repräsentative Stationen - im wesentlichen Schwechat, Müzzuschlag, St. Andrä i.L., Völkermarkt, die aufgrund der Umgebungsbelastung unterdurchschnittliche Werte liefern- nicht verlegt werden sollten, um an anderer Stelle sinnvoller eingesetzt zu werden.

Für die Darstellung von Prognosebandbreiten müssen für die Zukunft bessere Visualisierungsformen überlegt werden.

Literatur

- Bahrenberg G. u. Giese E.; 1975, Statistische Methoden und ihre Anwendungen in der Geographie. Stuttgart.
- Billeter E.P. u. Vlach V.; 1981, Zeitreihenanalyse. Würzburg
- Kaiser A. u. Kress Ch.; 1993, Handbuch zur Interpretation der meteorologischen Prognosewerte. Meteorologische Beratung im Rahmen des Ozongesetzes. ZAMG. Wien.
- Kelly K. (ed); 1991, Rethinking the ozone problem in urban and regional air pollution. National Research Council. Committee on Tropospheric Ozone Formation and Measurement. Washington D.C.
- Loibl W., Orthofer R. et al.; 1991, Ozon in Österreich, Teil 2: Verteilungsmodelle und Flächeninterpolationsverfahren zur synoptischen Darstellung in Kartenform. ÖFZS-A--2177. Seibersdorf.
- Loibl W., Züger J., Kopcsa A.; 1992, Flächenhafte Ozonverteilung in Österreich für ausgewählte Ozonepisoden 1991. Plausibilitätsanalyse der Ozonmeßdaten. ÖFZS-A--2436. Seibersdorf.
- Loibl W., Züger J., Kopcsa A.; 1993, Darstellung des Ozonverlaufs während der Ozonepisoden 1992 und Analyse der Stationen je Überwachungsgebiet auf redundante Information, ÖFZS-A--2783. Seibersdorf.
- W. Loibl, W. Winiwarer, A. Kopcsa, J. Züger, R. Baumann; 1994, Estimating the Spatial Distribution of Ozone Concentrations in Complex Terrain using a Function of Elevation and Day Time and Kriging Techniques: in Atmospheric Environment. im Druck.
- Rau G. u. Kolb H.; 1991, Ozon in Österreich Teil 1: Datenanalyse. Institut f. Meteorologie und Geophysik. Universität Wien.
- Robeson S. M. u. Steyn D.G.; 1990; Evaluation and comparison of statistical forecast models for daily maximum ozone concentrations. in: Atmospheric Environment Vol 24 B, No 2, pp 301-312.
- Spangl W.; 1993; Ozonprognose, Möglichkeiten und Grenzen anhand von Daten aus Illmitz, Sommer 1991. UBA - Report UBA-93-073. Wien.
- Stohl A. u. Kromp-Kolb H.; 1994, Analyse der Ozonsituation im Großraum Wien, Öster. Beiträge zu Meteorologie und Geophysik. ZAMG Wien.
- Umweltbundesamt; 1992, Karte der Ozonüberwachungsgebiete. Wien.
- Wilkinson L.; 1990, Systat, the System for Statistics, Evanston , Illinois.