

Wolfgang LOIBL

Johann ZÜGER

Alexander KOPSCA

Österr. Forschungszentrum Seibersdorf

Reports

UBA-93-071

**Flächenhafte Ozonverteilung in Österreich
für ausgewählte Ozonepisoden 1991**

Plausibilitätsanalyse der Ozonmeßdaten

Wien, März 1993

Bundesministerium für Umwelt,
Jugend und Familie



Autoren: Wolfgang LOIBL
Johann ZÜGER
Alexander KOPCSA

Die Studie wurde vom Österreichischen Forschungszentrum Seibersdorf –
Hauptabteilung Umweltplanung im Auftrag des Umweltbundesamtes
erstellt.

Impressum:

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt, 1090 Wien, Spittelauer Lände 5.
Druck: Riegeltechnik, 1080 Wien.

© Umweltbundesamt, Wien, März 1993.
Alle Rechte vorbehalten
ISBN 3-85457-109-7

Zusammenfassung

Hauptaufgabe der vorliegenden Studie ist die Erstellung von Karten der tageszeitlichen Entwicklung der Ozonkonzentration in Österreich für 9 Tage hoher Ozonwerte des Jahres 1991 mittels Höhenabhängigkeitsfunktion und Kriging als Interpolationsverfahren.

Als Voraussetzung für die Kartenerstellung wurde ein Höhenmodell der relativen Höhe über Talboden als Bezugshöhe für die Ozon-Höhenabhängigkeit berechnet. In weiterer Folge wurde eine generell gültige Höhenabhängigkeitsfunktion für die Ozonkonzentration während der Ozonepisoden des Jahres 1991 entwickelt, die den Einfluß der Höhe sowie der Tageszeit auf die Ozonkonzentration wiedergibt. Mit Hilfe dieser Funktion wurden unter Verwendung des Relativhöhenmodells zeitspezifische und höhenspezifische Ozon-Normkonzentrationen berechnet. Davon ausgehend wurden die regionalen Abweichungen (Residuen) der Meßwerte von der höhennormierten Ozonkonzentration für ausgewählte Tage und Zeiten berechnet und mittels Kriging interpoliert. Durch die Vereinigung der Karten der Ozonnormkonzentration und der interpolierten Residuen wurden Ozonbelastungskarten für die Halbstundenmittelwerte von 9 Tagen aus den Episoden hoher Ozonkonzentration berechnet.

Als eigener Punkt wurde eine Plausibilitätskontrolle der Meßdaten durchgeführt, in deren Rahmen die Ausweisung von Ozonüberwachungsgebieten gemäß Ozongesetz, Vorschläge zur Optimierung der Meßstationsstandortwahl, und die Identifikation von Stationen mit redundanter Information sowie mit nicht repräsentativen Meßdaten erfolgte.

Summary

A method for interpolation of ozone data from the Austrian monitoring network has been developed. Starting from data of 9 days in summer 1991, when high ozone levels were observed, interpolation was performed using a model for height-dependence and Kriging techniques. The results, the diurnal variations of ozone in Austria, were presented in maps.

As a first step, the relative elevations, i.e. the elevations from the nearest valley grounds, were calculated for all of Austria. Using these relative elevations and ozone data from the network, an equation describing the dependence of ozone concentrations on elevation and daytime was established. The local differences (residuals) of ozone data from ozone concentration calculated by this equation were interpolated for specific days using Kriging techniques. Thus half-hourly maps of ozone concentrations over Austria were created for nine days in 1991.

Additionally, quality control was performed on the monitoring network data. Monitoring sites were identified, which produce non-representative or redundant data. Suggestions are presented to optimize the siting of the monitoring stations and to divide Austria into ozone-monitoring regions.

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkungen

1.	Datengrundlagen	1
2.	Abschätzung des Einflusses der relativen Seehöhe auf die Ozonkonzentration	1
2.1	Berechnung der relativen Höhe über dem Talboden als Ozonbezugshöhe	5
2.2	Quantifizierung des Einflusses der Höhe auf die Ozonkonzentration	6
2.2.1	Definition der Basisfunktion der Ozon-Höhenabhängigkeit	6
2.2.2	Ermittlung des Tagesganges für die Parameter der Höhenabhängigkeitsfunktion	8
3.	Plausibilitätskontrolle der Ozonmeßdaten anhand statistischer oder geostatistischer Verfahren	12
3.1	Prüfung der Stationen auf redundante Information	13
3.2	Plausibilitätskontrolle der Stationsdaten	15
3.3	Ermittlung der Regionen mit unzureichender Meßstationsdichte	16
3.4	Empfehlungen für den Einbezug ausländischer Meßstationen	19
4.	Berechnung der Ozonkarten für Halbstundenmittelwerte der neun ausgewählten Tage 1991	20
4.1	Grundlagen der Kartenerstellung	20
4.2	Exkurs: Kriging - eine Einführung	22
4.3	Ozonbelastungskarten mittels Höhenabhängigkeitsfunktion und Kriging	24
4.4	Ozonbelastungskarten mittels linearer Interpolation der Meßstationsdaten	49
5.	Resumé und Ausblick	53
	Quellenverzeichnis	54

Anhänge

- Anhang 1: Stationsübersicht
- Anhang 2: Durchschnittlicher Ozon-Tagesgang (9 Tage) aller Stationen
- Anhang 3: Häufigkeitsverteilung der Ozonkonzentration aller Stationen
- Anhang 4: Dendrogramm der Clusteranalyse

Vorbemerkungen

Die sommerliche Ozonbelastung wurde während der letzten Jahre in immer stärkerem Ausmaß zu einem zentralen Thema in der Umweltdiskussion. Als Konsequenz trat mit 1. Mai 1992 das "Ozongesetz" - Bundesgesetz für Maßnahmen zur Abwehr der Ozonbelastung und zur Information der Bevölkerung über hohe Ozonbelastungen (BGBl. 210/1992), in Kraft. Die Verordnung über die Einteilung des Bundesgebietes in Ozonüberwachungsgebiete trat mit 21. August 1992 (BGBl. 175/92) in Kraft. Die Verordnungen über das Ozonmeßnetzkonzept und über den täglichen Ozon-Luftgütebericht (BGBl. 231/1992) traten jeweils mit 4. November 1992 in Kraft.

Die rechtlichen Grundlagen machen es notwendig, die Ozonbelastung während des Sommerhalbjahres räumlich und zeitlich in ganz Österreich zu erfassen. Da die Erfassung nicht flächendeckend, sondern aus Kostengründen nur für eine beschränkte Anzahl von Meßpunkten erfolgen kann, ergibt sich die Notwendigkeit,

- * die Meßstandorte repräsentativ für die jeweilige Region zu wählen und
- * die Ozonkonzentrationen zwischen den Meßpunkten mittels geeigneter Verfahren zu berechnen.

Da die Ozonbelastung zwischen den Meßstationen - abhängig von der Höhe und der Tageszeit - kleinräumig stark schwanken kann, muß ein Verfahren eingesetzt werden, mit welchem die Ozonkonzentration - ausgehend von den vorhandenen Halbstundenmittelwerten des Ozonmeßnetzes - für beliebige Tageszeiten, kleinräumig mit ausreichender Genauigkeit berechnet und in Kartenform dargestellt werden kann. Bereits vor Erlass des Ozongesetzes und der Durchführungsverordnungen wurde hiezu vom Umweltbundesamt der Auftrag zu der nun vorliegenden Studie an das Forschungszentrum Seibersdorf erteilt.

Das Forschungszentrum Seibersdorf beschäftigt sich als Konsequenz der Erkenntnisse aus der Waldschadensforschung bereits seit 1985 mit dem Problem des bodennahen Ozons und seiner Vorläufersubstanzen. Im Jahr 1990 wurde eine gemeinsam vom Wissenschafts- und Umweltministerium beauftragte Studie zur Berechnung der räumlichen Emissionsverteilung von Vorläufersubstanzen des Ozons in Österreich abgeschlossen (ORTHOFFER R., LOIBL W. et al. 1990). Ergänzend dazu folgte die Studie "OZON in Österreich", welche ebenfalls von den beiden Ministerien gemeinsam beauftragt wurde. Im Teil 1 dieses Projektes erstellte das Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien die umweltmeteorologischen Grundlagen der räumlichen Verteilung der Ozonkonzentrationen und die allgemeinen Abhängigkeiten der Ozonkonzentration von der Geländehöhe anhand von österreichweiten Daten von 60 Meßstationen aus dem Jahre 1988 (RAU G., KOLB H.; 1991). Im Teil 2 entwickelte die Hauptabteilung Umweltplanung im Forschungszentrum Seibersdorf

Verteilungsmodelle und Flächeninterpolationsverfahren für die Kartendarstellung der Ozonkonzentration (LOIBL W., ORTHOFER R. et al., 1991).

Die vorliegende Arbeit baut auf den Ergebnissen dieser Studie auf und hat folgende konkrete Zielsetzungen:

1. **Erstellung von Karten der tageszeitlichen Entwicklung der Ozonkonzentration in Österreich für Tage hoher Ozonwerte des Jahres 1991 mittels Höhenabhängigkeitsfunktion und Kriging als Interpolationsverfahren** (ein geostatistisches Verfahren, welches sich für die Berechnung von Ozonkonzentrationsverteilungskarten anhand weniger Meßdaten bereits bewährt hat).
2. **Erstellung von Karten mittels linearer Interpolation für einen ausgewählten Tag der Ozonepisoden**, um einen Vergleich der Ergebnisqualität beider Methoden zu ermöglichen und zu prüfen, ob die einfacher durchführbare lineare Interpolation bei der gegebenen Meßstationsdichte und der Höhenabhängigkeit der zu interpolierenden Meßwerte sinnvolle Ergebnisse liefern kann.
3. **Plausibilitätskontrolle der Meßstationsdaten mittels statistischer und/oder geostatistischer Verfahren.**

Vom zeitlichen Ablauf her wurde der 3. Punkt vorgezogen und um einen Abschnitt zur "Abgrenzung von Ozonüberwachungsgebieten" erweitert. Die Ergebnisse dienten als Entscheidungshilfe für die Erstellung der Verordnung über die Einteilung des Bundesgebietes in Ozonüberwachungsgebiete und wurden vor dem Bundesländerarbeitskreis "Luftexperten der Bundesländer" im Juni 1992 präsentiert (vgl. LOIBL W. 1992). Die Arbeiten zur Abgrenzung von Ozonüberwachungsgebieten sind im vorliegenden Bericht nicht enthalten, diese Ergebnisse fanden Eingang in die Verordnung zur Abgrenzung der Überwachungsgebiete.

Die Punkte 1 und 2 befassen sich mit dem eigentlichen Ziel dieser Studie; der Erstellung von Karten der tageszeitlichen Ozonentwicklung ausgehend von Meßdaten.

Die Methode, die im Prinzip in der o.a. Studie "Ozon in Österreich" beschrieben ist, gliedert sich in folgende Arbeitsschritte:

- a) *Berechnung der Abhängigkeit der Ozonkonzentration von der Höhe über Talboden (Ozonbezugshöhe) und der Zeit für Episoden hoher Ozonkonzentration*
- b) *Berechnung des mittleren Höheneinflusses anhand der in a) entwickelten Funktionen*
- c) *Berechnung der regionalen Abweichung von der höhennormierten Ozonkonzentration für ausgewählte Tage und Zeiten der Ozonepisode und Interpolation dieser regionalen Residuen mittels Kriging*

d) Rückrechnung des Höheneinflusses mit Hilfe der genannten Funktionen und einem Höhenmodell der Ozonbezugshöhen

Die Bearbeitung der Studie erfolgte durch die Hauptabteilung Umweltplanung des Forschungszentrums Seibersdorf in enger Kooperation mit dem Umweltbundesamt (Abteilung für Lufthygiene) als Auftraggeber.

W. LOIBL war für Projektkonzeption und -leitung verantwortlich, verfaßte den Bericht, bearbeitete das Kapitel 3 - Plausibilitätskontrolle und wirkte bei der Kartenerstellung mit.

J. ZÜGER bewerkstelligte die Meßdatenintegration in das GIS, führte die Kriging-Interpolationen, die Residuenberechnungen, die Kartenerstellung durch und entwickelte die Visualisierungsprozeduren für die Präsentationen.

A. KOPCSA entwickelte die Höhenabhängigkeitsfunktion und approximierte die Parameter.

T. PIECHL berechnete als Beitrag zu Kapitel 3.3 die Abb 6. - Regionen mit unzureichender Meßstationsdichte.

Von seiten des Umweltbundesamtes waren R. BAUMANN, K. RADUNSKY und W. SPANGL kompetente Gesprächspartner, die beratend an der Studie mitwirkten.

1. Datengrundlagen

Die zur Verfügung stehenden Daten sind die Halbstundenmittelwerte der 100 Ozonmeßstationen der Länder und des Bundes für 95 Tage zwischen dem 5. Juni und dem 7. September 1991. Im Anhang 1 ist ein Verzeichnis der Stationen mit topographischen Informationen angeführt.

Vom Umweltbundesamt wurden aus dieser zur Verfügung stehenden Zeitreihe die Daten von 9 Tagen aus drei Episoden hoher Ozonwerte für die Erstellung von Karten der Ozontagesgänge ausgewählt: 25.6. - 27.6.1991, 11.7. - 13.7.1991 und 7.8. - 9.8.1991. Zusätzlich wurden für diese Tage Daten von insgesamt 18 benachbarten, ausländischen Stationen zur Verfügung gestellt, von denen 14 in die Berechnungen einbezogen werden konnten. Während dieser 9 Tage sind jeweils im gesamten Bundesgebiet bzw. in der nördlichen oder südlichen Hälfte hohe Ozonwerte aufgetreten.

2. Abschätzung des Einflusses der relativen Seehöhe auf die Ozonkonzentration

Bekanntlich entsteht Ozon durch photochemische Oxidation von Luftschadstoffen. In einer Reihe von Arbeiten, die sich mit Höhenprofilmessungen der Ozonkonzentration auseinandersetzen (z.B. BRODER B., GYGAX H.G. 1985, PUXBAUM H., GABLER K. et.al. 1991), konnte der Höheneinfluß auf die Ozonkonzentration nachgewiesen werden. Während andere Luftschadstoffe, wie z.B. SO_2 und NO_x mit steigender Höhe in ihrer Konzentration abnehmen, steigt die Ozonkonzentration überwiegend mit zunehmender Höhe an.

Die räumliche Verteilung, Höhe und Verlauf der Konzentration von Ozon in der unteren Troposphäre ist das Ergebnis unterschiedlicher Prozesse:

Ozonbildung

- photochemische Bildung von Ozon unterhalb der atmosphärischen Mischungsschicht aus Vorläufersubstanzen: unter Einwirkung von Sonnenlicht werden Sauerstoffmoleküle (O_2) durch flüchtige organische Verbindungen und Stickstoffoxide, die vor allem in Ballungsgebieten emittiert werden, zu Ozon (O_3) umgewandelt. Für Spitzenkonzentrationen in der unteren Troposphäre ist dies der wichtigste Beitrag.
- Ozonbildung in der freien Troposphäre durch Kohlenmonoxid und Methan unter Einwirkung von Sonnenlicht
- Eintrag von Ozon aus höheren Luftschichten (Stratosphäre)

Ozontransport

- Vertikaler Transport aus den Niederungen in die Bergregionen durch turbulente Durchmischung der unteren Luftschicht tagsüber
- großräumiger horizontaler Transport durch Luftmassenbewegungen

Ozonabbau

- Reaktion des Ozon mit Stickstoffmonoxid
- Reaktion mit Rezeptoroberflächen (trockene Deposition)

Der Abbau erfolgt vor allem in den Ballungsgebieten und hier vor allem in verkehrsnahen und damit NO_x -reichen Zonen, wobei in den Nachtstunden durch Inversion NO_x in Bodennähe konzentriert bleibt. In größeren Höhen wird Ozon infolge geringem oder fehlendem nächtlichen Transports von NO_x , sowie durch reduzierte Depositionsmöglichkeiten nur geringfügig abgebaut.

Daraus resultieren kleinräumig in Abhängigkeit von Höhe und Tageszeit stark schwankende Ozonkonzentrationen mit charakteristischen Tages- und Jahresgängen. So zeigen Tagesgang-Kurven der Ozonkonzentration der Sommermonate in Tal- und Beckenlagen ohne hohe Emittentenkonzentration einen ausgeprägten glockenförmigen Verlauf der Ozonwerte mit Maxima zwischen 13 und 14 Uhr. Mit zunehmender Höhe werden die Tagesgang-Kurven auf hohem Konzentrationsniveau immer flacher, ausgeprägte verkehrs- und industrienahe Meßstationen weisen hingegen flache Tagesgänge mit geringen Konzentrationswerten auf.

Die folgende Abbildung 1 zeigt den durchschnittlichen Tagesgang der Ozonkonzentration während der 9 Tage dreier Ozonepisoden an den Meßstationen. Anhand der Höhenstufen lassen sich die obigen Aussagen bezüglich der Tagesgänge verdeutlichen.

Die folgende Abbildung 1 zeigt den durchschnittlichen Tagesgang der Ozonkonzentration während der 9 Tage dreier Ozonepisoden an den Meßstationen. Anhand der Höhenstufen lassen sich die obigen Aussagen bezüglich der Tagesgänge verdeutlichen.

Von RAU und KOLB (1991) wurde dieser Höheneinfluß präzisiert als Einfluß der relativen Höhe, also der Höhe über Talniveau. Dieser aus Streuungsdiagrammen der Variablen "Relativhöhe" und "mittlere Ozontagesmaxima der Ozonepisoden 1988" empirisch abgeleitete Einfluß wurde im Teil 2 der Studie "Ozon in Österreich" (LOIBL W., ORTHOFER R. et al. 1991) mittels einer Funktion quantifiziert, wobei entsprechend den Ergebnissen von RAU und KOLB zwei Funktionen ermittelt wurden. Eine Funktion beschrieb die Höhenabhängigkeit der Ozonwerte im Alpenvorland und zeigte entsprechend dem Streuungsdiagramm einen ausgeprägten Anstieg, während die Höhenabhängigkeitskurve der Ozonwerte des Alpenraumes auf höherem Niveau begann und nur eine geringe Amplitude aufwies.

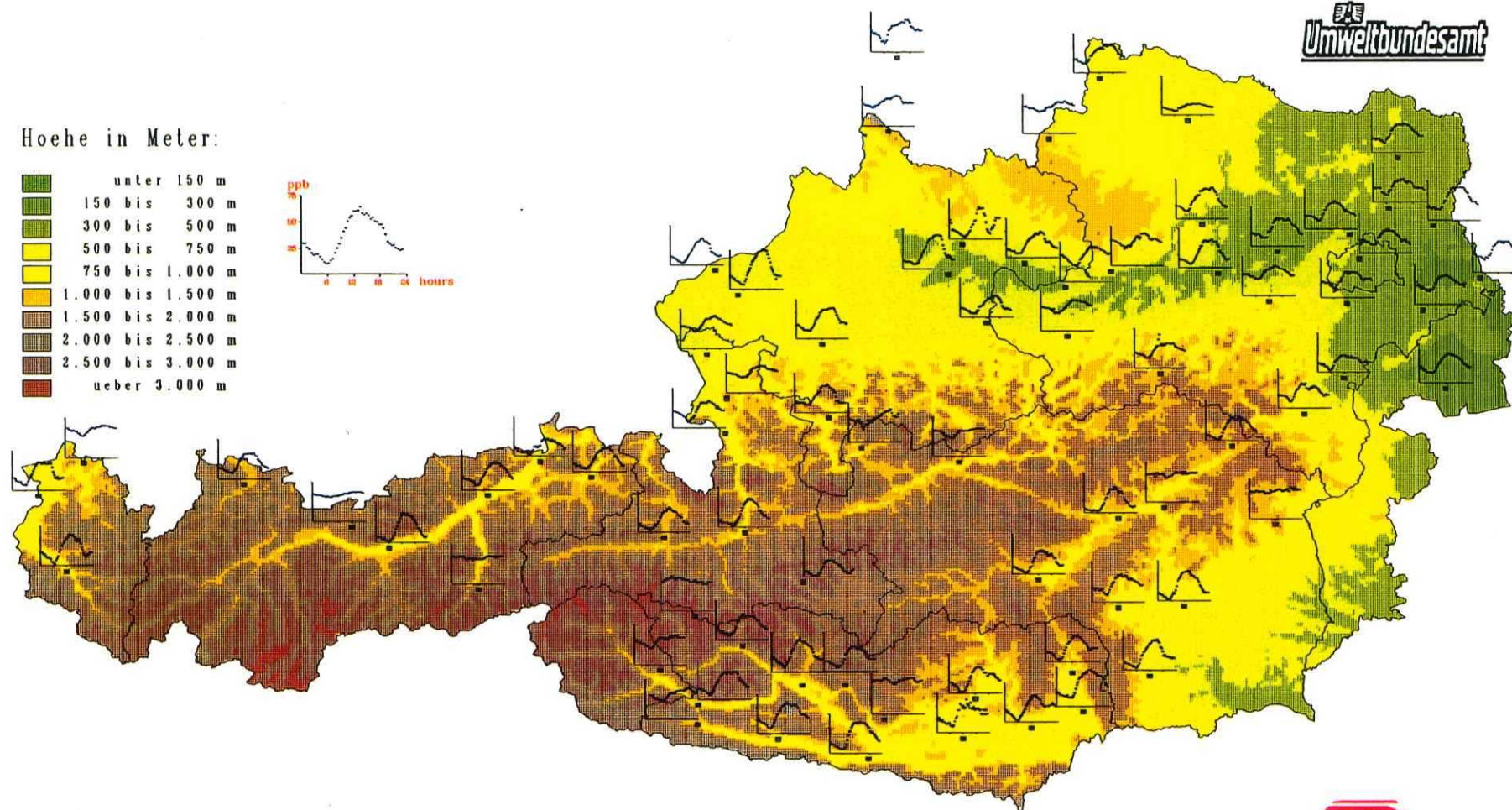
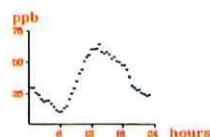
ABBILDUNG 1

MITTLERER TAGESGANG DER OZONKONZENTRATION von drei Ozon-Episoden (je 3 Tage) im Sommer 1991

Umweltbundesamt

Höhe in Meter:

	unter 150 m
	150 bis 300 m
	300 bis 500 m
	500 bis 750 m
	750 bis 1.000 m
	1.000 bis 1.500 m
	1.500 bis 2.000 m
	2.000 bis 2.500 m
	2.500 bis 3.000 m
	ueber 3.000 m



Bearbeitung: W. Loibl, J. Zueger

UMWELTPLANUNG 
FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

Gegenüber den Funktionen aus der genannten Arbeit ergaben sich für das vorliegende Projekt folgende neuen Anforderungen :

*** *Berechnung von zeitabhängigen Höhenabhängigkeitsfunktionen der Halbstundenmittelwerte der Ozonkonzentration***

In der Studie 1991 wurden Funktionen für die Tagesmaxima entwickelt, da damals das Ziel in der Erstellung von Karten für die Tagesmaxima der Ozonkonzentration lag. Für die gegenständliche Studie ist hingegen die raumzeitliche Entwicklung der Ozon-Halbstundenmittelwerte während dreier Ozonepisoden 1991 nachzuvollziehen, sodaß Funktionen zu entwickeln sind, die sowohl den Einfluß der Höhe als auch den der Tageszeit auf die Ozonkonzentration wiedergeben.

*** *Berechnung einer österreichweit einheitlichen Höhenabhängigkeitsfunktion (je Zeiteinheit)***

Der Arbeit von RAU und KOLB (1991) kommt vor allem das Verdienst zu, die Höhenabhängigkeit nicht nur innerhalb eines Höhenprofils an einem Berghang- also kleinräumig - nachgewiesen zu haben, sondern die Höhenabhängigkeit der Ozonkonzentration als generelle Abhängigkeit von der (relativen) Höhe über Talgrund präzisiert zu haben. In bezug auf die Quantifizierung der Höhenabhängigkeit erschien die Notwendigkeit zweier regional unterschiedlicher Höhenabhängigkeitsfunktionen wenig schlüssig, doch ließen die Ergebnisse damals keine andere Interpretation zu. Bereits im Resumée der Studie "Ozon in Österreich Teil 2" wird darauf hingewiesen, daß in weiterführenden Arbeiten die Abhängigkeit der Ozonkonzentration von der Höhe im Hinblick auf weitere Einflußfaktoren überprüft werden sollte, um zu einer österreichweit gültigen Höhenfunktion zu gelangen (vgl. LOIBL W., ORTHOFER R., et al. 1991, S. 80).

Im Verlauf der gegenständlichen Untersuchungen zur zeitlichen Höhenabhängigkeit der Ozonkonzentration zeigte sich, daß die Vermutung bezüglich weiterer Einflußparameter richtig war und daß eine der Ursachen für die damalige Notwendigkeit zweier Höhenabhängigkeitsfunktionen offensichtlich in der Ausklammerung der zeitlichen Komponente durch die Verwendung der Tagesmaxima für die Analyse der Höhenabhängigkeit lag.

2.1 Berechnung der relativen Höhe über dem Talboden als Ozonbezugshöhe

Eine sinnvolle flächige Interpolation von Daten kann nur erfolgen, wenn keine weiteren Einflußgrößen auf die Werte der Meßpunkte wirken als die Entfernung zwischen den Meßpunktpaaren. Dies ist für die Ozonmeßwerte durch die Höhenabhängigkeit nicht der Fall. Erst nach der Eliminierung des Höhentrends wird die Voraussetzung erfüllt, damit in weiterer Folge geostatistische Methoden für die flächenhafte Interpolation der Meßdaten eingesetzt werden können (siehe auch Kap. 4.2).

Die relative Höhe über Talboden als "Ozonbezugshöhe" wurde in der Studie 1991 von RAU und KOLB empirisch ermittelt. Als Bezugspunkt wurde der als meteorologisch relevant erachtete Bereich für jeden der Meßpunkte individuell festgelegt: das Donautal für die Alpenvorlandbereiche, der südostbayrische bzw. südböhmische Bereich für das Waldviertel, die Alpentäler bzw. der in Hauptwindrichtung liegende Talbereich für die alpinen Stationen.

Die Ozonbezugshöhe ist jedoch nicht nur für Meßstationsstandorte relevant. Für die Rückrechnung des Höheneinflusses für alle interpolierten Punkte sind die relativen Höhen flächendeckend notwendig, was nicht mehr empirisch zu lösen ist. Deshalb mußte ein vereinfachtes Verfahren entwickelt werden, das ausgehend von einem digitalen Höhenmodell (DHM) für Österreich (allerdings unabhängig von der Hauptwindrichtung) für jeden beliebigen Punkt in Österreich die relative Höhe über Talboden ermittelt. Die relative Höhe $h_r(x_o, y_o)$ am Meßpunkt (x_o, y_o) ergibt sich aus der Differenz der absoluten Seehöhe $h(x_o, y_o)$ am Meßpunkt von der Minimalhöhe $\min h(x, y)$ des darauf zu beziehenden Talbodens innerhalb einer Entfernung von 5000 m (5000 m wurden nach mehreren Tests als geeignete Maximalentfernung befunden):

$$h_r(x_o, y_o) = h(x_o, y_o) - \min_{(x, y) \in U} h(x, y) \quad (1)$$

wobei

$$U = \{(x, y) : \|(x_o, y_o) - (x, y)\| \leq 5000 \text{ m}\}$$

Entsprechend dieser Gleichung wird aus einem DHM für Österreich im 1000 m - Raster ein Modell der relativen Höhen als Höhenbezug für die Ozonkonzentration generiert. Um für einen beliebigen Punkt (x, y) die Ozonbezugshöhe zu berechnen, werden die Seehöhen aller Punkte im Höhenmodell überprüft, die vom gegebenen Punkt (x, y) in x- und y-Richtung innerhalb einer maximalen Entfernung von ± 5000 m - (also ± 5 DHM-Gittermaschen - demnach 11×11 Höhenpunkten) liegen. Die Bezugshöhe jedes Punktes (x, y) ergibt sich aus der Submatrix der zu jedem Punkt benachbarten Höhenwerte. Das Minimum der den Punkt umgebenden 11×11 - Submatrix des Höhenmodells wird als Ozonbezugshöhe herangezogen (vgl. LOIBL W., ORTHOFER R. et al., 1991). Die Generierung des Modells der Ozonbezugshöhen erfolgt mit Hilfe des Geographischen Informationssystems (GIS) ARC/INFO (ESRI, 1991).

2.2 Quantifizierung des Einflusses der Höhe auf die Ozonkonzentration

2.2.1 Definition der Basisfunktion der Ozon-Höhenabhängigkeit

Eine visuelle Analyse der zeitlichen Höhenabhängigkeit der Ozonkonzentration mittels Streudiagrammen der relativen Ozonhöhe und der mittleren Ozonkonzentration der 9 Ozonepisodentage zeigt deutlich einen zeitlichen Einfluß der Höhenabhängigkeit auf die Ozonkonzentration. Die in den Diagrammen eingezeichneten geschätzten Trendkurven verdeutlichen diese Aussage: in den Nacht- und Morgenstunden ist aus den Punktwolken ein deutlich steilerer Kurvenanstieg herauszulesen, der in den Mittags- und Nachmittagsstunden zu einer Geraden mit minimalem Anstieg verflacht (vgl. Abb. 2 und Anhang 2).

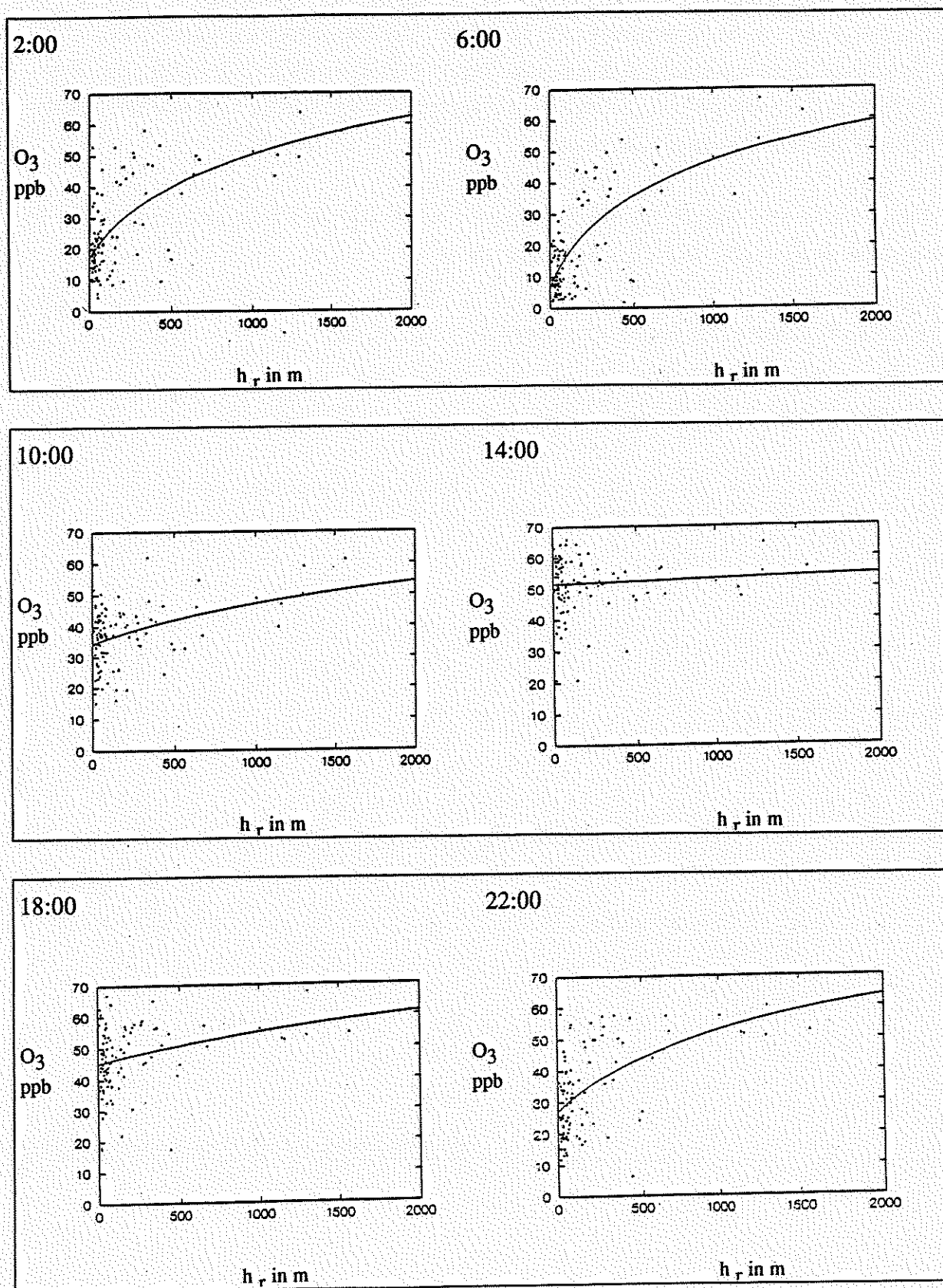
Um die zeitliche Entwicklung der Halbstundenmittelwerte der Ozonkonzentration in Abhängigkeit von der Höhe nachzuvollziehen, wird ein Modell (d.h. eine analytische Funktion) gesucht, welches den Einfluß der Höhe als auch jenen der Tageszeit auf die Ozonkonzentration wiedergibt. Darüber hinaus wird der Anspruch dahingehend erweitert, daß für alle Zeitpunkte dieselbe Funktion eingesetzt werden kann. Die Änderung der Zeit soll sich also in der Funktion nur durch Änderungen in den Parametern auswirken.

Wenn die relative Seehöhe mit $h_r(x,y)$ und die Ozonkonzentration mit $O(h_r(x,y))$ bezeichnet wird, so bietet sich für die oben angeführte Fragestellung folgende zweiparametrische Funktion an:

$$O(h_r(x,y)) = a \cdot \ln\left(\frac{h_r(x,y)}{100}\right) + b \quad (2)$$

Die im folgenden dargestellten Arbeiten zur Approximation der Höhenabhängigkeitsfunktion und deren grafische Auswertungen wurden mit dem Statistikpaket SYSTAT (WILKINSON L., 1990) durchgeführt.

Abb. 2: Mittlere Ozonkonzentration der 9 Episodentage 1991 und relative Höhe der Meßstationen zu 6 Zeitpunkten mit geschätzter Trendkurve

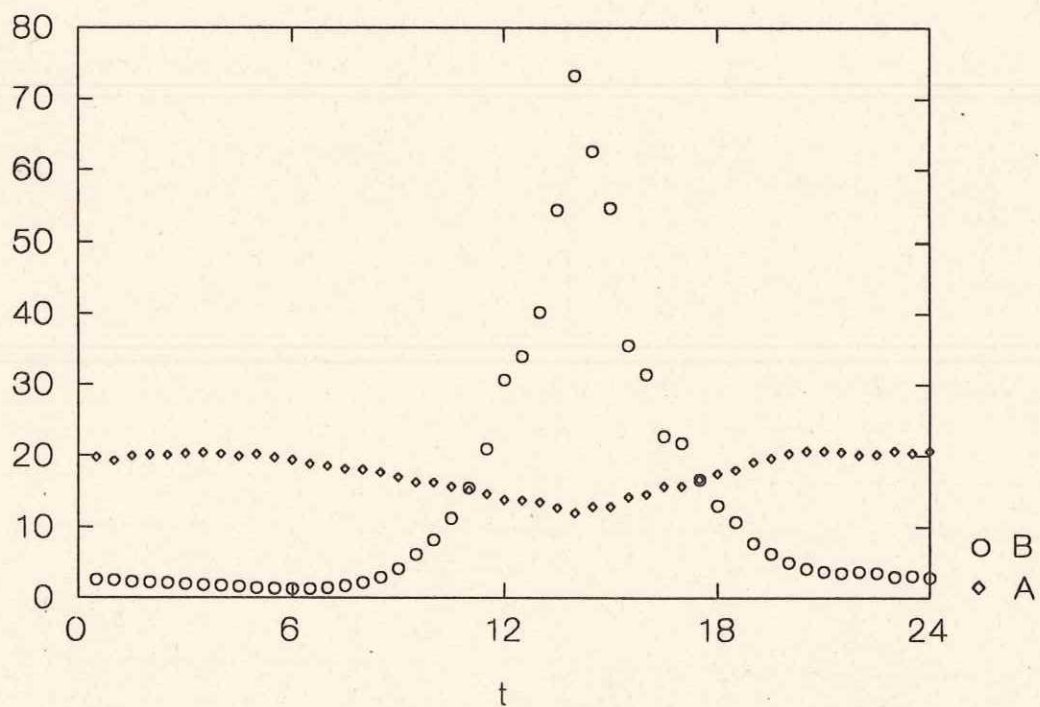


2.2.2 Ermittlung des Tagesganges für die Parameter der Höhenabhängigkeitsfunktion

Mit Hilfe der Parameterschätzung nichtlinearer Modelle (WILKINSON L., 1990) wird für jeden Meßzeitpunkt ein Parameterpaar (a, b) berechnet. Um eine allgemeingültige Funktion zu entwickeln, ist es notwendig, sich mit dem "Tagesgang" dieser Parameter zu befassen. Die Parameter der Funktion sind somit als zeitabhängige Größe $(a(t), b(t))$ zu betrachten, deren Verlauf über den Tag zu modellieren ist.

Die folgende Abbildung 3 zeigt das Ergebnis der Schätzung der Kurvenparameter (a, b) aus den Verteilungen aller 48 Halbstundenmittelwerte:

Abb. 3: Tagesgang der Kurvenparameter $a(t)$ und $b(t)$



- a) Zur Modellierung der Zeitabhängigkeit des Parameters $a(t)$ wurde eine Funktion folgender Gestalt verwendet:

$$a(t) = a_1 + a_2 \cdot e^{-(t-a_3)^2 \cdot a_4} \quad (3)$$

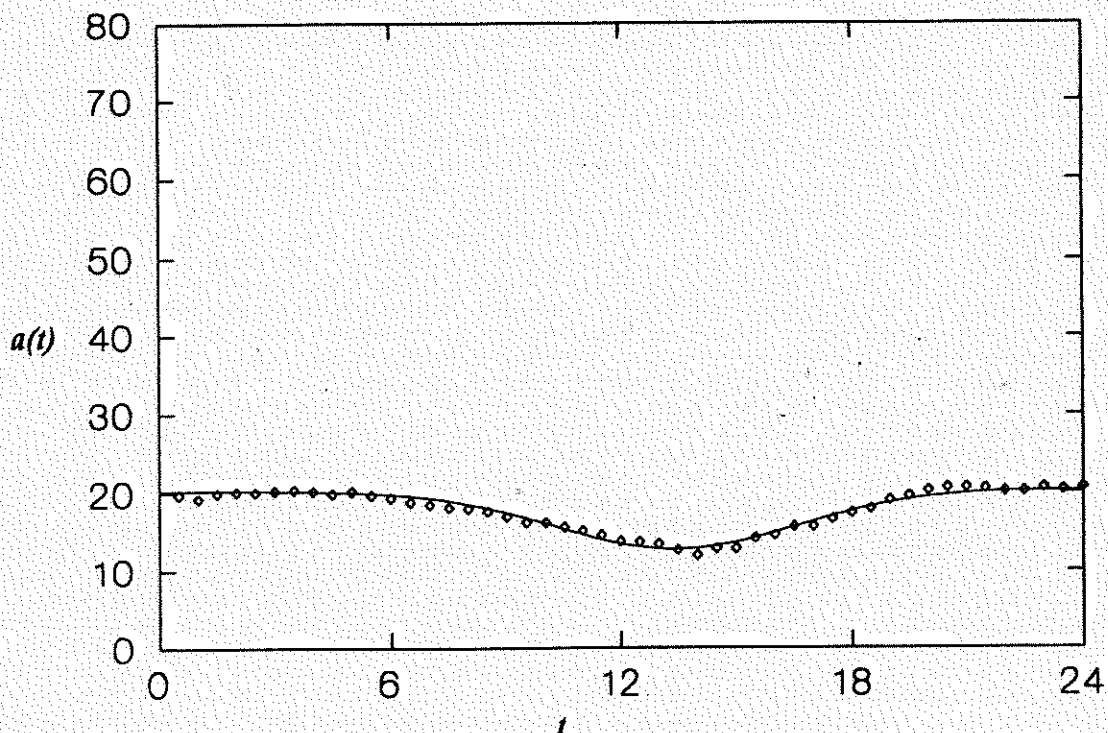
wobei t die Zeit in Dezimalnotierung von 0 bis 24 den tageszeitlichen Einfluß in der Funktion repräsentiert.

Die Approximation der Parameter nichtlinearer Modelle liefert für die a_i die folgenden Werte:

$$\begin{aligned} a_1 &= 20.30 \\ a_2 &= -7.50 \\ a_3 &= 13.40 \\ a_4 &= 0.05 \end{aligned}$$

Die folgende Abbildung 4 zeigt den zeitlichen Verlauf des Parameters $a(t)$ und die approximierte Kurve entsprechend obiger Funktion (3) mit den angeführten Parametern. Der Kurvenverlauf stimmt weitgehend mit dem Verlauf des aus der Approximation der Höhenabhängigkeitstrends resultierenden Parameter a überein.

Abb. 4: Tagesgang des Parameters $a(t)$ und Modellergebnis des Tagesganges



- b) Zur Modellierung der Zeitabhängigkeit des Parameters $b(t)$ wurde eine Funktion folgender Form entwickelt,

$$b(t) = \frac{b_1 \cdot t^2 + b_2 \cdot t + b_3}{b_4 \cdot t^2 + b_5 \cdot t + 10000} \cdot b_6 \cdot e^{-b_7 \cdot (t-b_8)} \quad (4)$$

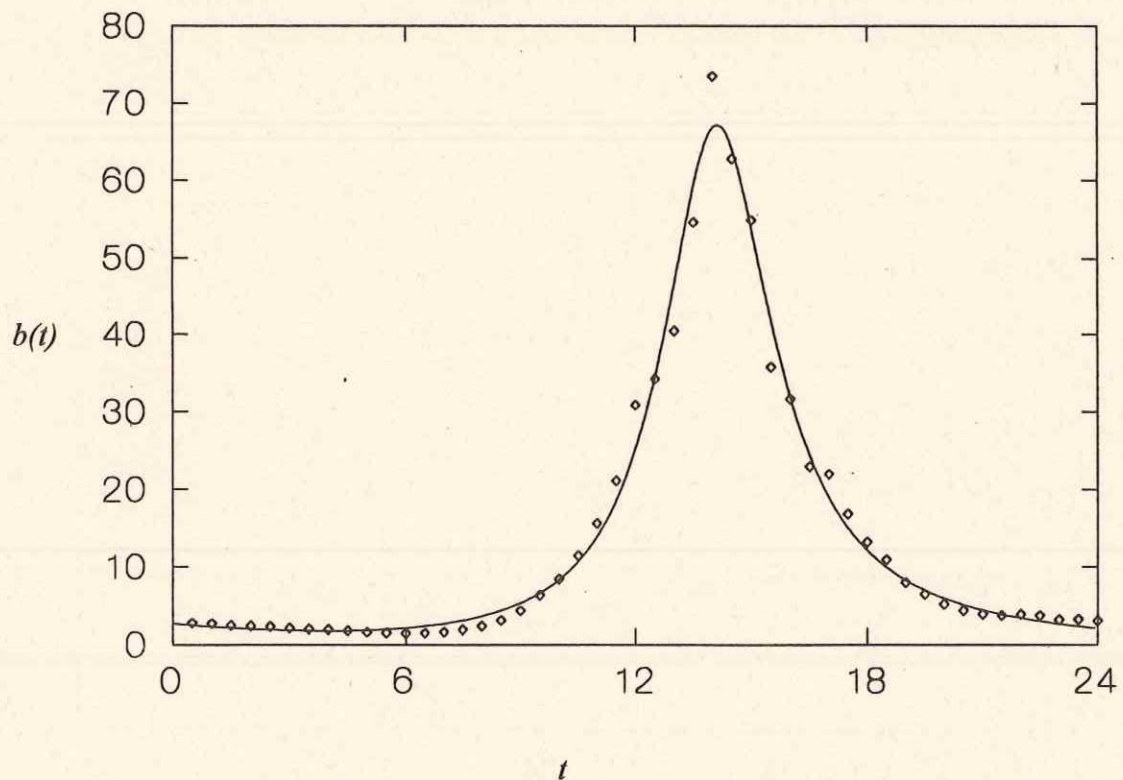
wobei t die Uhrzeit repräsentiert.

Die Approximation des Tagesgangs analog jener von $a(t)$ ergibt folgende Parameterwerte für die b_i :

$b_1 =$	503.57	$b_5 =$	1401.38
$b_2 =$	-4993.25	$b_6 =$	0.98
$b_3 =$	26545.56	$b_7 =$	0.122
$b_4 =$	49.85	$b_8 =$	0.234

Die folgende Abbildung 5 zeigt den zeitlichen Verlauf des Parameters $b(t)$ und die approximierte Kurve entsprechend Gleichung (4). Auch hier ist die Übereinstimmung in hohem Maße gegeben.

Abb. 5: Tagesgang des Parameters $b(t)$ und Modellergebnis des Tagesganges



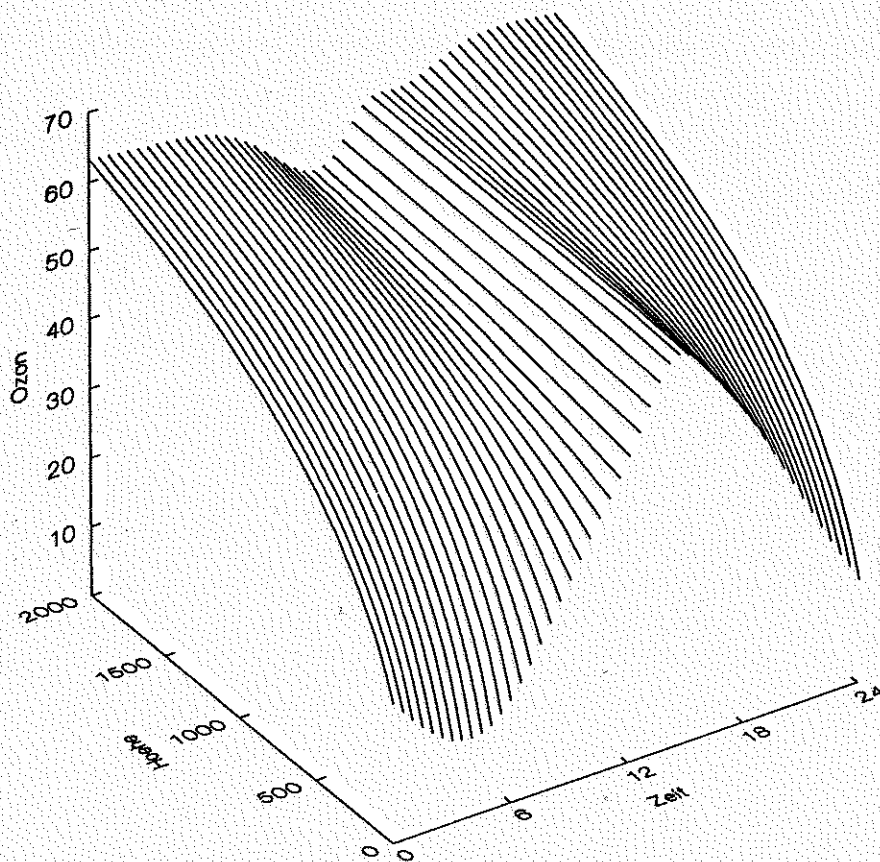
c) Das Gesamtmodell der Höhenabhängigkeitsfunktion

Durch Einsetzen der Gleichungen (3) und (4) für die Parameter a und b in die Gleichung (2) liegt eine Funktion $O(h_r(x,y),t)$ vor, anhand derer für jede Tageszeit und für jede relative Höhe $h_r(x,y)$ die Ozonkonzentration modelliert werden kann:

$$O(h_r(x,y),t) = a_1 + a_2 \cdot e^{-\frac{(t-a_3)^2 \cdot a_4}{b_4 \cdot t^2 + b_5 \cdot t + 10000}} \cdot \ln\left(\frac{h_r(x,y)}{100}\right) + \frac{b_1 \cdot t^2 + b_2 \cdot t + b_3}{b_4 \cdot t^2 + b_5 \cdot t + 10000} \cdot b_6 \cdot e^{-(b_7 \cdot (t-b_8))} \quad (5)$$

Die folgende Abbildung 6 zeigt die Funktion für die mittlere Ozonkonzentration bei gegebener Tageszeit und gegebener relativer Höhe während Episoden hoher Ozonwerte.

Abb. 6: Trendfläche der mittleren Ozonkonzentration in Abhängigkeit von Tageszeit und (relativer) Höhe



Forschungszentrum Seibersdorf / Umweltplanung

3. Plausibilitätskontrolle der Ozonmeßdaten anhand statistischer oder geostatistischer Verfahren

Die Plausibilitätskontrolle der Meßdaten erfolgt zur Erfüllung folgender Anforderungen:

- * Optimierung der Meßstations-Standortwahl: es wird geprüft, ob und welche Stationen ähnliche Tagesgänge beschreiben, also redundante Information liefern und bei räumlicher Nähe sowohl für das Meßnetz als auch für die Kartenerstellung entbehrlich wären, sofern auch die Höhe der Konzentration vergleichbar ist.
- * Identifikation von Meßstationen mit nicht repräsentativen oder fehlerhaften Meßergebnissen. Wie die Erfahrungen der Studie "Ozon in Österreich, Teil 2" zeigten, ist für die Kartengenerierung die Auswahl der in das Kriging-Sample einzubeziehenden Meßstationen von entscheidender Bedeutung auf das Interpolationsergebnis.
- * Darüber hinausgehend wird überprüft, welche Räume in Österreich - vor allem für die Kartenerstellung - nicht ausreichend mit Stationen versorgt sind. Weiters werden Empfehlungen über den Einbezug von ausländischen Meßstationen mit Angabe des Standortraumes und der Anzahl der für die Kartenerstellung wünschenswerten Stationen abgegeben.

Die Analyse erfolgte nur für die Meßdaten der vom Auftraggeber ausgewählten 9 Tage aus drei Episoden hoher Ozonwerte des Jahres 1991: 25.6. - 27.6., 11.7. - 13.7. und 7.8. - 9.8. 1991. Die Ergebnisse haben bei hohen Ozonkonzentrationen auch über die genannten Episoden hinausgehend Gültigkeit.

3.1 Prüfung der Stationen auf redundante Information

Als Ausgangsdatensatz wurde, wie bereits erwähnt, eine Datenmatrix mit 100 Variablen und 48 Halbstundemittelwerten von 9 Tagen verwendet (100 Meßstationen mit 432 Beobachtungsfällen). Als wesentliches Gruppierungsmerkmal für die Prüfung der Meßstationsergebnisse auf Redundanz wurde der Tagesgang gewählt, der durch den Korrelationskoeffizienten mit seinen Parametern Mittelwert und Standardabweichung gut beschrieben wird.

Die Redundanzprüfung erfolgte automatisiert mit Hilfe der Clusteranalyse. Die Ergebnisse wurden in der Folge unter Einsatz der Geostatistik empirisch überprüft. Allgemein kann die Clusteranalyse als Verfahren der multivariaten Statistik beschrieben werden, welches Merkmale aufgrund ihrer Ähnlichkeit bzw. Unterschiedlichkeit zu Gruppen zusammenfaßt.

Als Gruppierungskriterium für die zu analysierende Datenmenge wird ein sogenanntes Ähnlichkeits- oder Distanzmaß verwendet. Häufig wird hierfür der Pearsonsche Produktmoment-Korrelationskoeffizient verwendet. Er ist das Verhältnis der Kovarianz zweier Variablen zum Produkt ihrer Standardabweichung, ein Standardmaß zur Bestimmung des linearen Zusammenhanges zwischen den Merkmalen zweier Variablen, welches eine Gegenüberstellung von Variablen unterschiedlicher Wertebereiche zuläßt.

Der Zusammenhang zwischen 2 Variablen x und y läßt sich wie folgt errechnen (SAS, 1985):

$$r_{xy} = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x}) \cdot \Sigma(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\Sigma(x_i - \bar{x})^2 \cdot \Sigma(y_i - \bar{y})^2}} \quad (6)$$

Da der Korrelationskoeffizient normiert ist - also von +1 nach -1 reicht, können auch Variable mit unterschiedlichen Wertezeichen zueinander in Beziehung gesetzt werden. Die Überprüfung der Ähnlichkeit der 100 Meßstationen erfolgt auch hier anhand der Korrelationsmatrix. Ein Korrelationskoeffizient gegen +1 weist auf einen positiven (linearen) Zusammenhang hin, Werte um 0 auf keinen (linearen) Zusammenhang und Werte gegen -1 zeigen einen stark negativen linearen Zusammenhang. Die Korrelationskoeffizienten zweier Stationen, die sich ähnlich sind - deren mittlere Tagesgänge also etwa parallel verlaufen - weisen Werte gegen +1 auf, Werte um 0 zeigen keinen Zusammenhang und sind sich also im weitesten Sinn (zufällig) unähnlich, Werte gegen -1 weisen auf systematische Unähnlichkeiten hin, d.h. wenn z.B. eine Station hohe Werte aufweist, zeigt die andere grundsätzlich niedrige Werte.

Die Clustergenerierung erfolgt hier agglomerativ: Variablen mit jeweils ähnlicher Ausprägung werden demselben Subcluster zugeordnet bzw. werden sukzessive jene Subcluster zu Clustern höherer Ordnung vereinigt. Die Clusterbildung kann nach unterschiedlichen Vereinigungs- oder linkage-Verfahren erfolgen. Hier wird das "Complete linkage-Verfahren" eingesetzt. Mit diesem Algorithmus werden jeweils jene zwei Subcluster zu einem Cluster höherer Ordnung vereinigt, deren jeweils unähnlichste Variablen die größte Ähnlichkeit aufweisen. Das Verfahren tendiert dazu, kompakte, zellenförmige Cluster zu produzieren. Das Distanzmaß (zwischen den Clustern K und L) ist definiert mit (SAS, 1985):

$$D_{KL} = \max_{i \in C_K} \cdot \max_{j \in C_L} \cdot d(x_i x_j) \quad (7)$$

wobei

D_{KL}	=	Distanz zwischen Cluster K und L
$\max_{i \in C_K}$	=	Maximum des Merkmals i im Cluster K
$\max_{j \in C_L}$	=	Maximum des Merkmals j im Cluster L
$d(x_i x_j)$	=	Entfernung zwischen Merkmalen i und j

Nach der Auswahl des Distanzmaßes und des linkage-Verfahrens hat der Anwender eines Clusteranalyseprogrammes keinen Einfluß auf das Ergebnis. Die Zusammensetzung der Großcluster unterschiedlicher linkage-Verfahren ist einander üblicherweise weitgehend ähnlich, wenn auch die Zuordnung der Variablen zu Subclustern differieren kann.

Die Clusterzugehörigkeit wird nicht absolut festgelegt. Das Ergebnis der Analyse ist ein Clusterbaum oder Dendrogramm, anhand dessen die Cluster zu interpretieren sind. Je näher die "Äste" des Clusterbaumes beisammen liegen und umso kürzer die Astlänge bis zur nächsten Vereinigung ist, desto ähnlicher sind die an den Enden "sitzenden" Meßstationen in ihrem Tagesgang. Für die Frage nach der Redundanzprüfung von Meßdaten sind jedoch nicht die Cluster interessant, sondern nur jene untersten Äste des Clusterbaumes, welche die jeweils zueinander ähnlichen Stationen zu Subclustern zusammenfassen. Im Anhang 4 ist das Dendrogramm dieser Clusteranalyse - bedingt durch die hohe Stationszahl auf 4 Seiten fortlaufend - dargestellt. Die in der folgenden Liste angeführten Stationspaare bzw. Gruppen lassen sich aufgrund der Clusteranalyse als Stationen mit redundanter Information bezeichnen.

Bei der Auswahl, welche der beiden Stationen eliminiert werden sollen, wurden vor allem die Stadtstationen bzw. jene Stationen in deren Umkreis ohnehin eine weitere Meßstation liegt, gewählt. Weit entfernt liegende Stationspaare und Stationspaare verschiedener Bundesländer scheinen nicht auf. Bei Stationspaaren im Grenzbereich und Stationspaaren, von denen jeweils eine Station regelmäßig ausfiel, wurde keine der Stationen als entbehrlich ausgewiesen.

15 Stationen aus der folgenden Liste sind für die Kartenerstellung entbehrlich - diese sind **fett** gedruckt:

<i>Kärnten:</i>	St. Veit - Klagenfurt/Koschatstraße Spittal/Drau - Obervellach
<i>Niederösterreich:</i>	Unterbergern - St. Pölten - Krems Mistelbach - Gänserndorf Kollmitzberg - Ostrong
<i>Oberösterreich:</i>	Linz-Berufschulzentrum - Traun Braunau - Mattighofen
<i>Salzburg:</i>	Salzburg /Lehen - Hallein/Rehhofsiedlung St. Johann - Zell/See Hintersee - Haunsberg
<i>Steiermark:</i>	Graz West - Graz Süd Deutschlandsberg - Voitsberg Gaberl - Hochgössnitz
<i>Tirol:</i>	Innsbruck /Andechsstraße - St.Johann i.T.
<i>Vorarlberg</i>	Bludenz - Lustenau
<i>Wien:</i>	Stephansplatz - Währinger Straße - Zentralanstalt MG - Klosterneuburg (NÖ)

3.2 Plausibilitätskontrolle der Stationsdaten

Im Zuge der Überprüfung der mittleren Tagesgänge, (Anhang 2, Anhang 3), der Beurteilung der Clusteranalysenergebnisse (Anhang 4) und der Testläufe für die Interpolation (siehe 4.2) wurden einige Stationen als für die Interpolation unbrauchbar identifiziert.

Folgende 4 Stationen wurden aufgrund nicht repräsentativer Meßwerte - die entweder wegen des Standortes oder aufgrund von Meßfehlern auftraten - nicht für die Kartenerstellung herangezogen:

- * Zederhaus
- * Rothweinsdorf
- * Schwechat
- * Wr. Neustadt

3.3 Ermittlung der Regionen mit unzureichender Meßstationsdichte

Bei den Variogrammanalysen im Zuge der Krigingprozedur (vgl. 4.2) zeigte sich, daß für die zu interpolierenden Punkte der Einzugsbereich für die zu berücksichtigenden Stationen im Durchschnitt je nach Tageszeit zwischen 40 - 60 km beträgt. Stationen, die weiter entfernt liegen, haben nur mehr einen Minimaleinfluß auf das Interpolationsergebnis und werden nur dann zur Interpolation herangezogen, wenn im Einzugsbereich für den zu interpolierenden Punkt eine ungenügende Anzahl an Stationen zur Verfügung steht. Da während der Mittagsstunden der Einzugsbereich bis auf 30 km absinkt, sollte eine maximale Entfernung von 30 km zwischen Meßstationen und zu interpolierenden Punkten zur Erreichung repräsentativer Interpolationsergebnisse nicht überschritten werden. Beispielhaft sind in Tab. 1 die Ergebnisse der Variogrammanalyse für den 13. Juli angeführt. In Abbildung 7 sind die 30 km-Radien um die Meßstationen ausgewiesen. Weiß verbliebene Flächen zeigen jene Regionen, die im Hinblick auf die Interpolation der Meßdaten nicht ausreichend mit Meßstationen versorgt sind. Regionen mit intensivem Grauwert weisen auf entsprechende Überlappung der Stationseinzugsbereiche für die Interpolation hin.

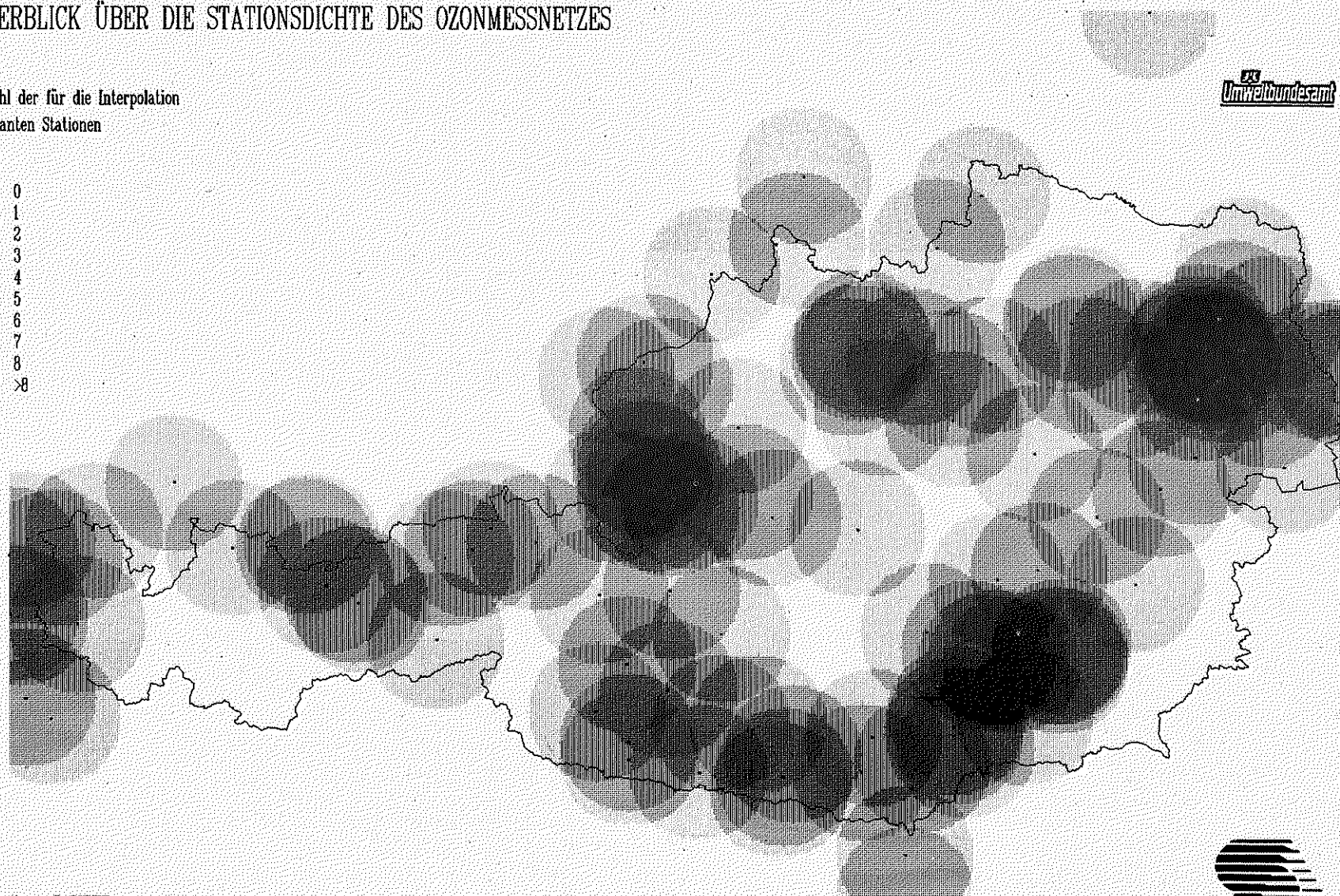
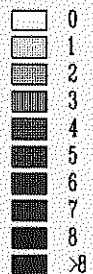
Tab. 1 Einzugsbereiche aus den Variogrammanalysen
für die Interpolation der Karten des 13. Juli 1991

Uhrzeit	Kriging - Einzugsbereich in km
2:00	50
4:00	50
6:00	50
8:00	80
10:00	40
12:00	30
14:00	50
16:00	80
18:00	60
20:00	40
22:00	50
24:00	40

ABBILDUNG 7

ÜBERBLICK ÜBER DIE STATIONSDICHTEN DES OZONMESSNETZES

Anzahl der für die Interpolation
relevanten Stationen



Umweltbundesamt

Bearbeitung: T. PIECHL

UMWELTPLANUNG
FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

Entsprechend obiger Ausführungen und aufgrund der Erfahrungen im Zuge der Testinterpolationen wird zur Verbesserung der Interpolationsergebnisse die Errichtung weiterer 13 Stationen bzw. die Verlegung von in 3.1 angeführten Stationen in folgende Regionen empfohlen:

<i>Burgenland:</i>	Bezirk Oberpullendorf Bezirk Güssing
<i>Niederösterreich:</i>	Bezirk Waidhofen/Thaya - Ost Bezirk Hollabrunn Bezirk Zwettl
<i>Oberösterreich:</i>	Bezirk Kirchdorf/Krems Bezirk Grieskirchen
<i>Steiermark:</i>	Bezirk Murau Bezirk Liezen - Ost Bezirk Feldbach
<i>Salzburg:</i>	Bezirk Zell/See - West
<i>Tirol:</i>	Bezirk Imst - Süd Bezirk Landeck - West

Um bei der Kartenerstellung nicht auf ausländische Stationen angewiesen zu sein, wären in Vorarlberg weitere 2 Stationen notwendig.

Für die Interpolationen wurden nur die in 3.2 genannten Stationen nicht für die Kartenerstellung herangezogen. Die anderen Stationen wurden alle einbezogen, selbst bei Überrepräsentation innerhalb der Region, da bei unterschiedlichen Stationen immer wieder einzelne oder mehrere Halbstundenmittelwerte fehlten und bei Weglassen der einen Station und fehlenden Daten der benachbarten Station für einzelne Räume kein gesichertes Interpolationsergebnis zu erzielen wäre.

3.4 Empfehlungen für den Einbezug ausländischer Meßstationen

Im Zuge der Kartenerstellung werden die Daten von 14 ausländischen Meßstationen miteinbezogen. Die Daten ausländischer Stationen sind bei Beachtung der in Kapitel 3.3 angeführten Empfehlungen in der Regel zwar nicht unbedingt erforderlich. Allerdings verbessern sie das Interpolationsergebnis in den Randbereichen von Österreich, sodaß sie vor allem für den Westen zu empfehlen, für Gesamtösterreich als wünschenswert zu bezeichnen sind.

Die Berücksichtigung der Daten folgender Stationen je Nachbarstaat wäre als Mindestanforderung für eine optimale Interpolation erwünscht, wobei der genaue Standort unerheblich ist, lediglich von industrie- und verkehrsbelasteten Stadtstationen sollte Abstand genommen werden:

<i>Schweiz</i>	3 Stationen westlich des Rheintales
<i>Süd-Deutschland</i>	2 Stationen nördlich von Tirol
<i>Italien (Südtirol)</i>	2 Stationen südlich von Tirol
<i>Slowenien</i>	2 Stationen südlich von Kärnten
<i>Südwest-Ungarn</i>	2 Stationen östlich des Mittel- bzw. Südburgenlandes
<i>Slowakei</i>	2 Stationen östlich der March
<i>Tschechien</i>	2 Stationen nördlich des Wald- bzw. Weinviertels

4. Berechnung der Ozonkarten für Halbstundenmittelwerte der neun ausgewählten Tage 1991

4.1 Grundlagen der Kartenerstellung

Nach den vorbereitenden Arbeiten - der Erstellung des Höhenmodells der Ozonbezugshöhen und der Approximation einer zeitabhängigen Funktion der Höhenabhängigkeit der Ozonkonzentration - stehen die Voraussetzung für die Kartenerstellung zur Verfügung.

Aus den Relativhöhen und der Tageszeit lassen sich anhand Gleichung (5) bereits Karten der durchschnittlichen Ozonkonzentrations-"Normverteilung" einer Episode hoher Ozonwerte des Sommers 1991 in ihrem Tagesgang bzw. für jeden Halbstundenmittelwert (HMW) errechnen. (Inwieweit die berechnete Höhenabhängigkeitsfunktion auch für künftige stärkere oder schwächere Ozonepisoden Gültigkeit hat, bzw. welche Änderungen an der Funktion notwendig sind, wird in Zukunft noch zu prüfen sein). Die tagesspezifischen Ozon-HMW's weichen aufgrund lokaler Einflüsse von den aus dem Höhenabhängigkeitsmodell errechneten Konzentrationswerten mehr oder weniger stark ab. Diese Abweichungen (Residuen) werden als Differenz zwischen dem jeweiligen Meßwert und dem mit der Höhenfunktion und der Relativhöhe der Meßstationen errechneten Wert quantifiziert.

Die Residuen $R(h_r(x,y),t)$ ergeben sich demnach anhand folgender Gleichung:

$$R(h_r(x,y),t) = M(h_r(x,y),t) - O(h_r(x,y),t) \quad (8)$$

wobei $M(h_r(x,y),t)$ = Meßwert der Station am Standort (x,y) in der Höhe h_r zum Zeitpunkt t
und

$O(h_r(x,y),t)$ = aus der Funktion errechneter Konzentrationswert der Station am Standort (x,y) in der Höhe h_r zum Zeitpunkt t

Die Generierung von Karten der Ozonbelastung läßt sich nun mit relativ geringem Zeitaufwand bewerkstelligen. Jede Ozonbelastungskarte setzt sich, vereinfacht dargestellt, aus 2 Ebenen zusammen:

- * aus einem "Höhenmodell" der Ozon-Normkonzentration (für die jeweilige Tageszeit),
- * überlagert mit dem "Höhenmodell" der lokalen Residuen von dieser Ozon-Normkonzentration des spezifischen Tages. (Deren Werte sind für die Standorte der Meßstationen bekannt und für die Räume zwischen den Meßstationen zu interpolieren.)

Für die Kartenerstellung liegen bereits folgende Grundlagen vor:

- a) Höhenmodell der Relativhöhen über Talboden
- b) Höhenabhängigkeitsfunktion.

Die konkreten Arbeitsschritte für die Kartenerstellung sind nun folgende:

- * Berechnung der höhennormierten Ozonkonzentration aus Höhenmodell und Höhenabhängigkeitsfunktion für die jeweilige Tageszeit.
- * Berechnung der Abweichung (Residuen) der für die Relativhöhen der Meßstationen errechneten Normkonzentration von den tatsächlich gemessenen.
- * Berechnung der regionalen Verteilung ausgehend von den lokalen Abweichungen an den Meßstationsstandorten. Die Interpolation dieser lokalen Abweichungen erfolgt mittels Kriging. Die geringe Meßstationsdichte wird mit diesen Verfahren unter der Annahme kompensiert, daß nicht nur die unmittelbar benachbarten Meßstationen Einfluß ausüben, sondern darüberhinausgehend auch jene in größerer Entfernung - allerdings mit entsprechender Gewichtung (vgl. hierzu 4.2).
- * Erstellung der Karten für die Halbstundenmittelwerte durch additive Verknüpfung der
 - Karte der Ozon-Normkonzentration für den jeweiligen HMW
 - Karte der interpolierten Residuen

Die Ozon-Normkonzentrationsdaten liegen für jedes Rasterfeld des Höhenmodells als 1x1 km Raster vor. Die Interpolation der Residuen erfolgte im selben Raster. Die Verknüpfung der beiden Datensätze erfolgt durch Addition der Werte der Rasterfelder mit gleichen Koordinaten.

4.2 Exkurs: Kriging - ein Überblick

Die Interpolation der Residuen erfolgt, wie bereits erwähnt, mittels Kriging, einem komplexen Interpolationsverfahren aus der Geostatistik, welches mit dem Softwarepaket GEOEAS-Geostatistical Environmental Assessment Software (ENGLUND E., 1988), sowie testweise mit der KRIGING-Prozedur innerhalb des GRID-Moduls der GIS-Software ARC/INFO (ESRI, 1991) durchgeführt wurde.

Unter geostatistischen Methoden sind Verfahren zu verstehen, die durch statistische Schätzungen eine räumliche Verdichtung von Punktinformationen bewirken. Geostatistische Methoden beruhen auf der Annahme, daß regionalisierte Variable $Z(x)$ eine bestimmte Struktur aufweisen: es ist ein statistischer Zusammenhang zwischen den Ausprägungen der Werte an einem Standort und den Ausprägungen an anderen Standorten in Abhängigkeit von deren Entfernung gegeben (vgl. DUTTER R., 1985).

Die räumliche Variation $Z(x)$ kann als Summe von 3 Komponenten verstanden werden (BURROUGH P.A., 1990):

- * die strukturelle Komponente $M(x)$ (z.B. ein statistischer (Mittel-)Wert oder ein Trend), die durch eine deterministische Funktion beschrieben wird,
- * eine räumliche korrelierende Komponente, mit lokaler Variation $E'(x)$ und
- * eine räumliche unabhängige Komponente E''

$$Z(x) = M(x) + E'(x) + E'' \quad (9)$$

Im hier vorliegenden Fall ist die strukturelle Komponente $M(x)$ gegeben durch die Höhenabhängigkeitsfunktion, die Abhängigkeit der Ozonkonzentration von der relativen Seehöhe. Die ortsabhängige Komponente $E'(x)$ (gemeinsam mit der stochastischen Störkomponente E'') stellt den Teil dar, der mit den Kriging-Verfahren behandelt wird.

Kriging - bezeichnet nach dem südafrikanischen Geostatistiker D.G. Krige - ist das wesentliche Verfahren, mit welchem die Schätzung regionalisierter Variablen durchgeführt wird. Während bei der einfachen Interpolation räumlicher Daten jeweils nur die unmittelbar benachbarten Meßwerte für die Interpolation herangezogen werden, können beim Kriging alle (gewünschten) Werte der Stichprobe einbezogen werden, wobei der maximale Einflußbereich als Radius und der Grad des Einflusses durch die Distanzänderung durch das Variogramm vorgegeben wird.

Das Variogramm gibt die Streuung der Differenz der Konzentrationswerte an zwei Punkten in Abhängigkeit von ihrer Distanz an. Meßwerte an benachbarten Punkten werden relativ ähnlich sein (das bedeutet geringe Streuung der Differenz), die Werte an weit auseinanderliegenden Punkten werden voneinander unabhängig sein (große Streuung der Differenz). Anhand der Verteilung der Punkte im Variogramm wird eine sogenannte Variogrammfunktion approximiert, welche diesen Einfluß der Meßstationen auf die Änderung der Werte für die gesuchten (Interpolations-)Punkte nachvollzieht. Ausgehend von den Residuen der Ozonmeßstationen wird ein Schätzwert für jeden beliebigen Standort berechnet. Durch die Eliminierung des Höheneinflusses aus der Verteilung der Residuen in einer Fläche einheitlicher Ozonbezugshöhen können die (vom Kriging vorausgesetzten) ortsunabhängigen Erwartungswerte geschätzt werden.

Für die Auswahl der in die Variogrammanalyse einzubeziehenden Meßpunkte als auch der Form der Variogrammfunktion stehen in den Geostatistik-Softwarepaketen entsprechende Parameter zur Verfügung, die bereits in der Studie "Ozon in Österreich Teil 2" kurz erläutert wurden. Dort findet sich auch eine ausführliche Beschreibung des Kriging; bezüglich der theoretischen Grundlagen sei auf weiterführende Literatur verwiesen. (KOPCSA A., 1990, DUTTER R., 1985, ENGLUND E., 1988, AKIN H. et al., 1988).

4.3 Ozonbelastungskarten mittels Höhenabhängigkeitsfunktion und Kriging

Die folgenden 12 ganzseitigen Karten (Abb. 8 - 19) zeigen den Tagesgang der Ozonbelastung für den 13. Juli 1991 im Zweistundenintervall. Sie werden zur besseren Illustration für einen Tag in Farbe dargestellt. Die Ozontagesgänge weiterer zwei Tage (je einer aus der Juni- und August - Ozonepisode) im Zweistundenintervall folgen als Grauwertdarstellungen (Abb. 20 - 31). Die Karten stehen als Postscript-Dateien zur Verfügung, können bei Bedarf per Datenleitung übertragen werden und sind für den Ausdruck auf jedem postscriptfähigen Drucker bzw. Plotter mit ausreichend Speicher geeignet.

Die Visualisierung der Ergebnisse in Kartenform zeigt eindrucksvoll den Tagesgang der Ozonkonzentration für das gesamte Bundesgebiet. In den Nacht- und Vormittagsstunden ist - wie an allen Tagen mit hoher Ozonbelastung - eine ausgeprägte höhenabhängige Ozonverteilung festzustellen, die um Mittag sowie am Nachmittag einer relativ einheitlichen Ozonkonzentration mit kaum gegebener Höhenabhängigkeit weicht.

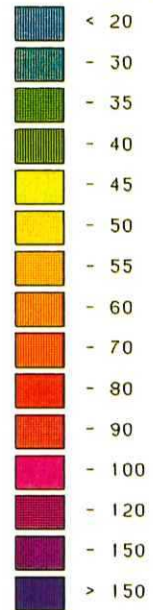
Der 13. Juli ist von einem deutlichen Ost-Westgefälle geprägt, wie es bei österreichweiten Schönwetterlagen typisch ist. Allerdings sind witterungsbedingte Ozonsenken festzustellen, eine Gewitterfront sorgte am 13. Juli in Salzburg sowie in Kärnten tagsüber für eine kurzfristige Abnahme der Ozonwerte. Die Kartenserie zeigt deutlich die raumzeitliche Auswirkung der Gewitterfront. Am 26. Juni zeigt sich die Ozonverteilung bei Schönwetter im südlichen Österreich. Nördlich des Alpenhauptkammes sind vor allem bis Mittag deutlich niedrigere Ozonwerte, die nur im Tullnerfeld Kärntner Spitzenwerte erreichen. Am 9. August sind ebenfalls im Süden sowie im Osten hohe Ozonkonzentration zu verzeichnen. Im Westen wie im Norden sind die Ozonwerte geringer ausgeprägt. Zwischen 18 und 20 Uhr sinken die Ozonwerte an allen Tagen in den Tallagen entsprechend ab. Die Konzentrationen in den Bergen bleiben auf relativ einheitlichem Niveau.

ABBILDUNG 8

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991

höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

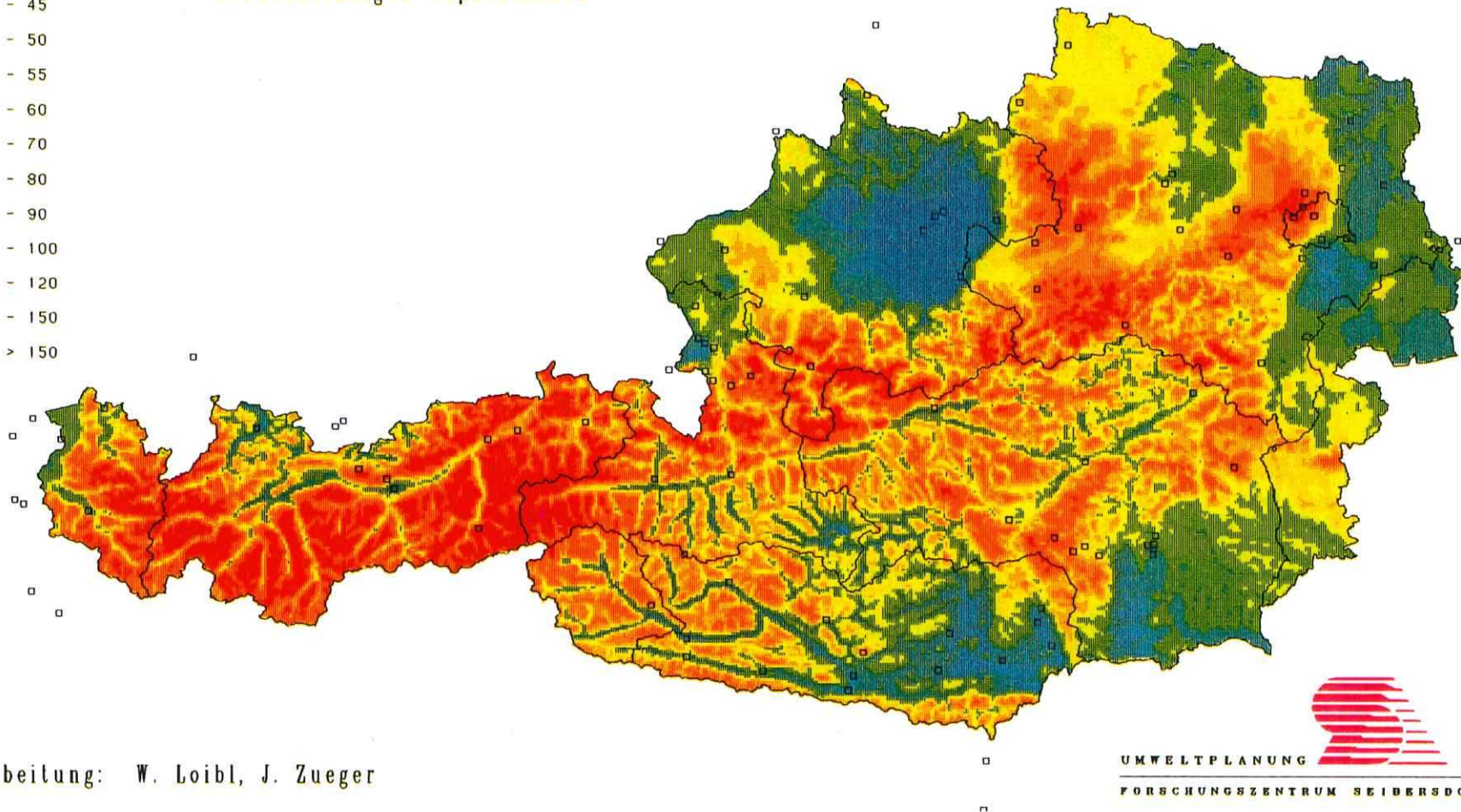
Ozon (ppb)



Zeit: 2.00 Uhr

□ berücksichtigte Meßstationen

 **Umweltbundesamt**



Bearbeitung: W. Loibl, J. Zueger

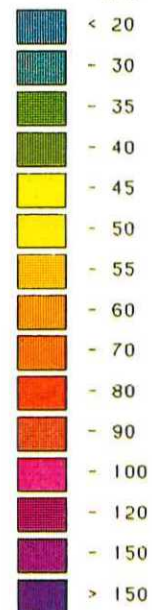
UMWELTPLANUNG 
FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

ABBILDUNG 9

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991

höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

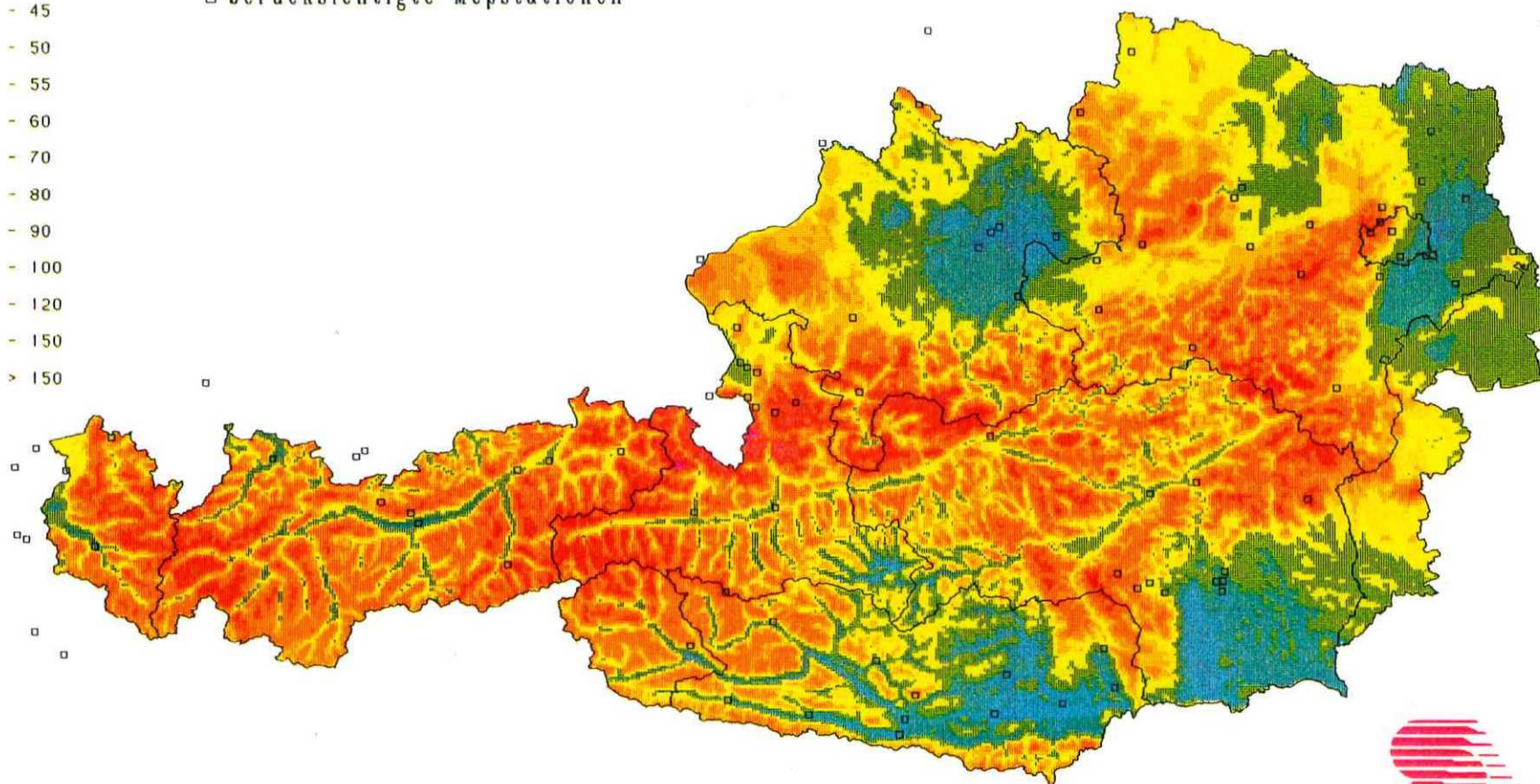
Ozon (ppb)



Zeit: 4.00 Uhr

□ berücksichtigte Meßstationen

 Umweltbundesamt



Bearbeitung: W. Loibl, J. Zueger

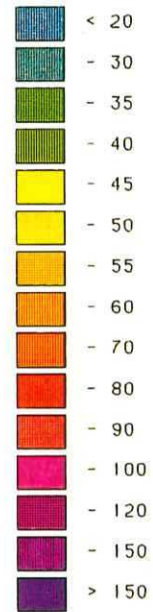
UMWELTPLANUNG 
FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

ABBILDUNG 10

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991

höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

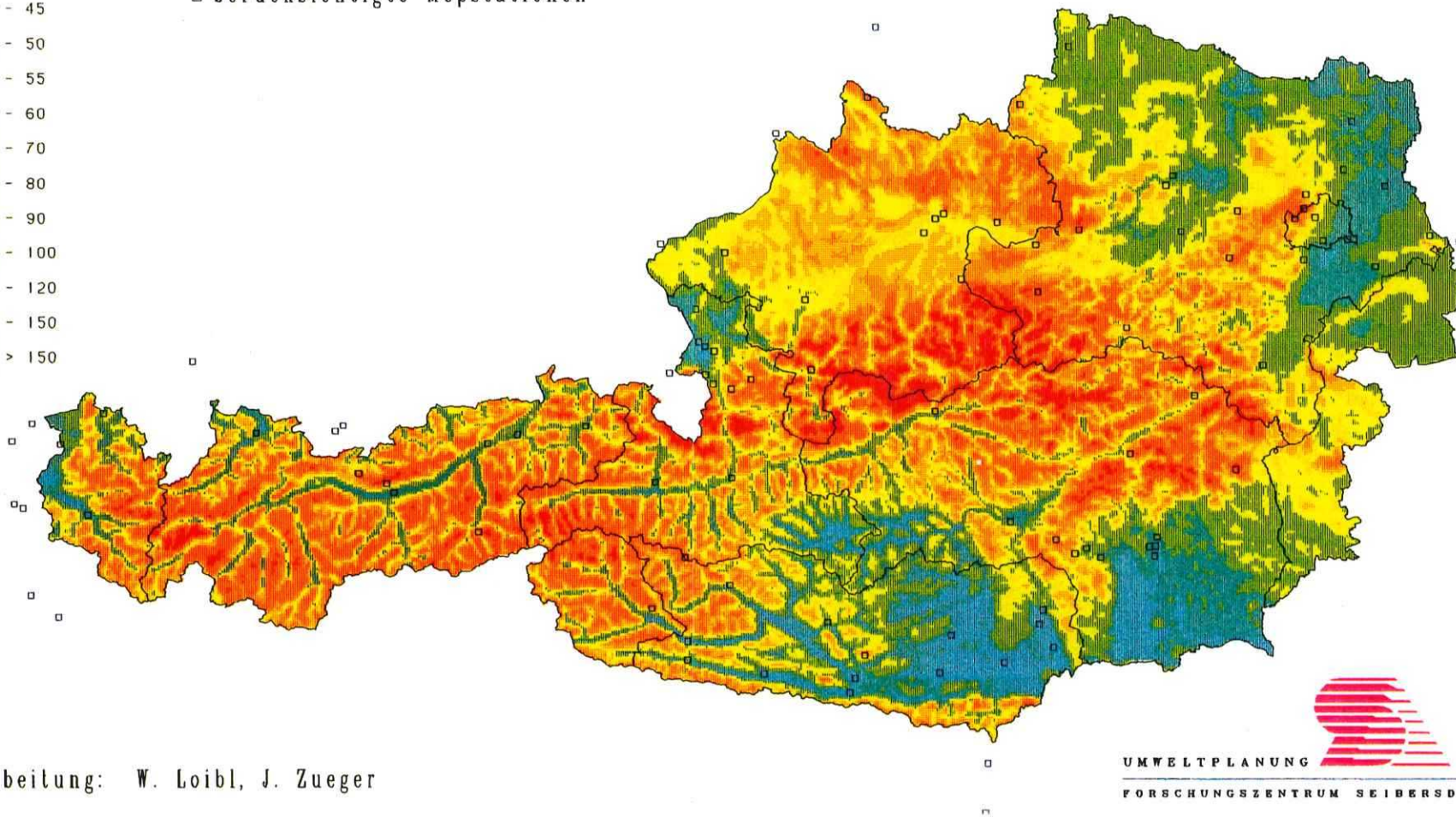
Ozon (ppb)



Zeit: 6.00 Uhr

□ berücksichtigte Meßstationen

 **Umweltbundesamt**



Bearbeitung: W. Loibl, J. Zueger

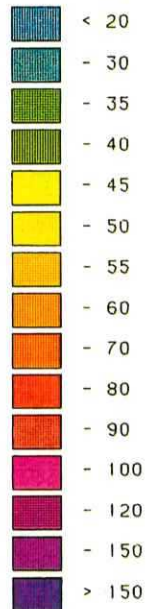
 **UMWELTPLANUNG**
FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

ABBILDUNG 11

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991

höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

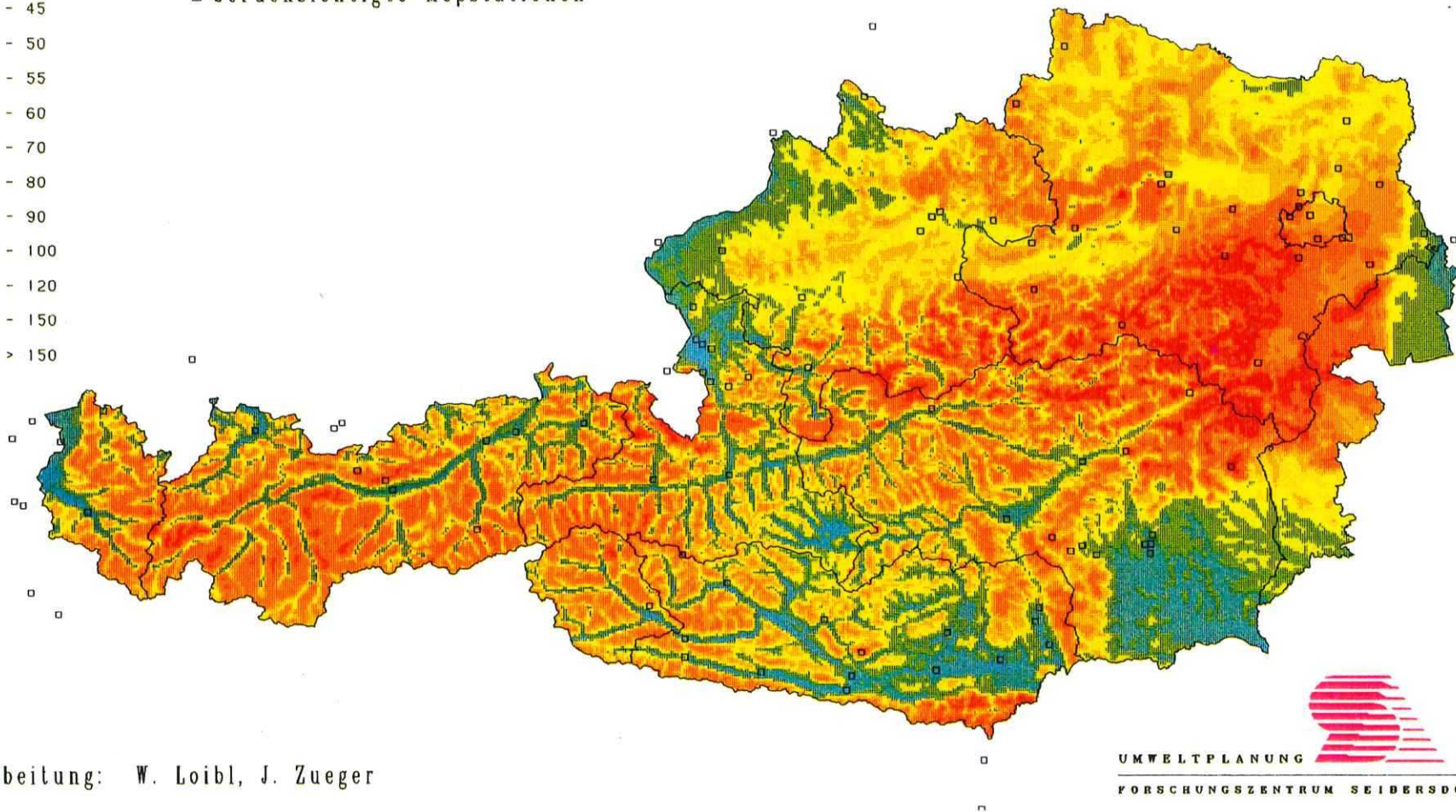
Ozon (ppb)



Zeit: 8.00 Uhr

□ berücksichtigte Meßstationen

 Umweltbundesamt



Bearbeitung: W. Loibl, J. Zueger

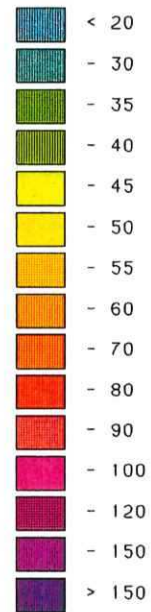
 UMWELTPLANUNG
FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

ABBILDUNG 12

ÖZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991

höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

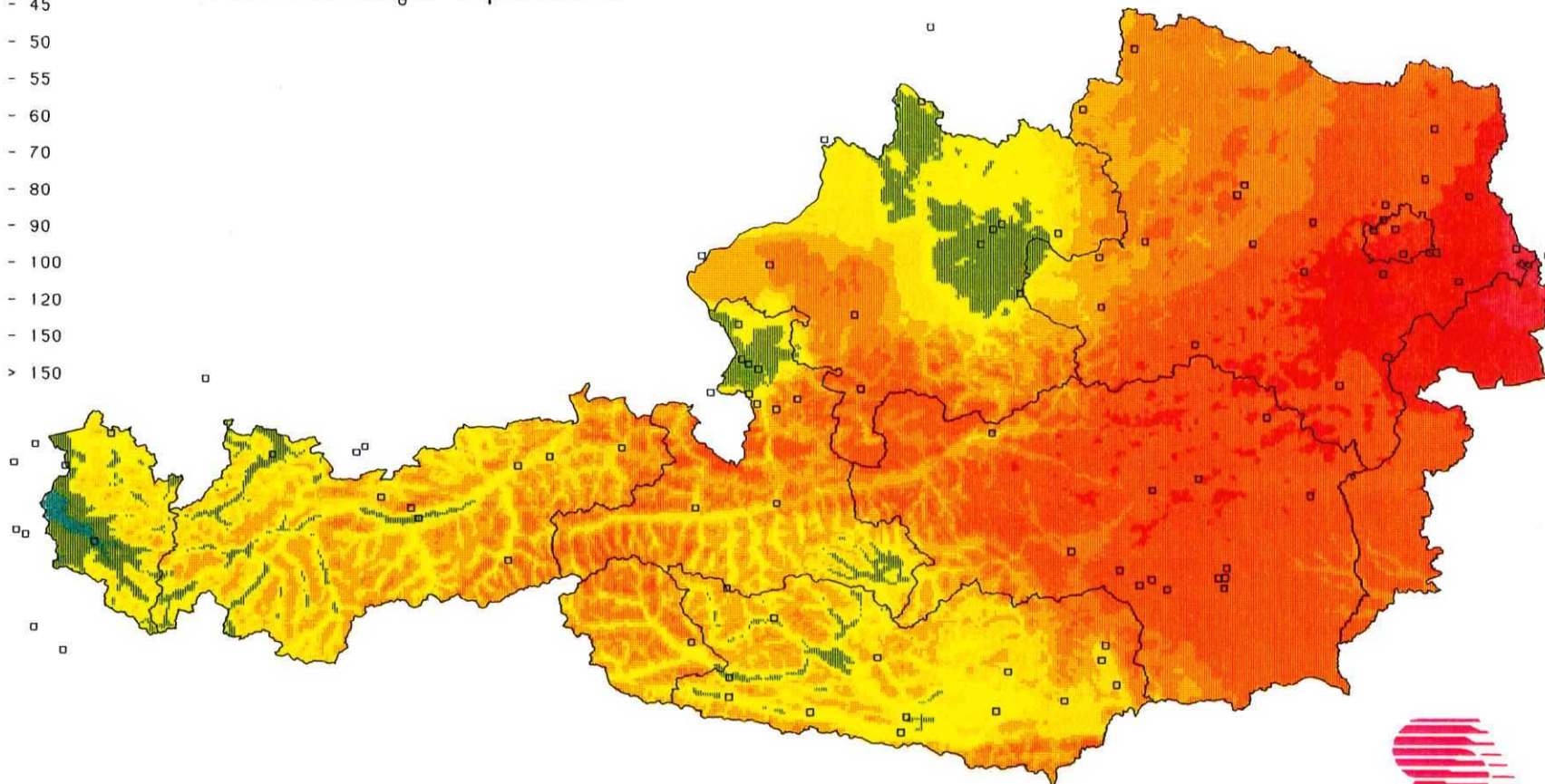
Ozon (ppb)



Zeit: 10.00 Uhr

□ berücksichtigte Meßstationen

 Umweltbundesamt



Bearbeitung: W. Loibl, J. Zueger

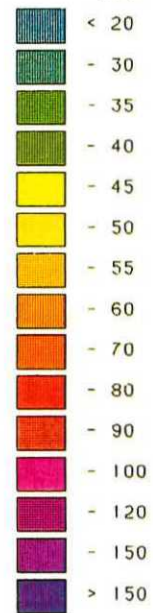
UMWELTPLANUNG 
FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

ABBILDUNG 13

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991

höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

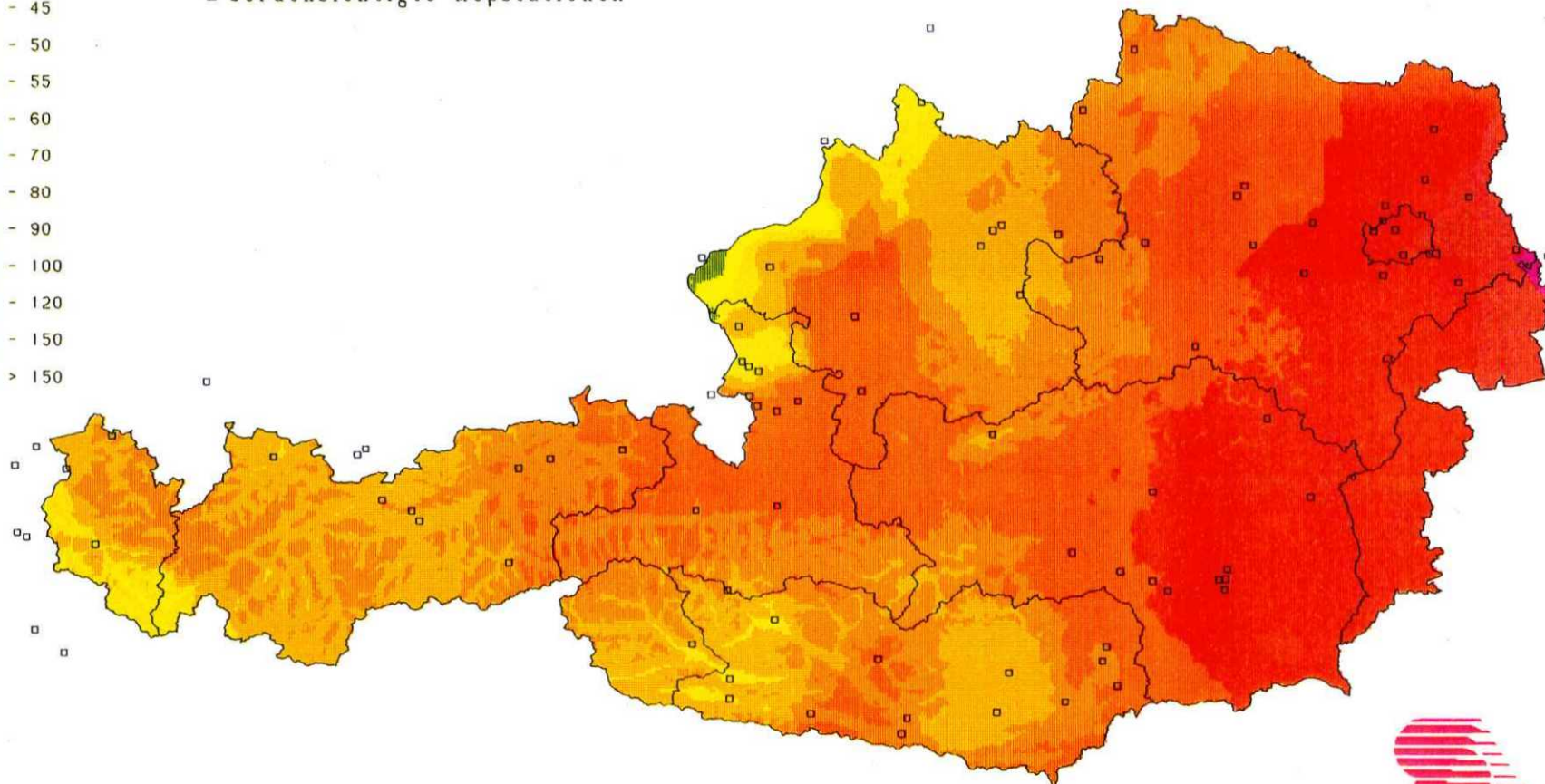
Ozon (ppb)



Zeit: 12.00 Uhr

□ berücksichtigte Meßstationen

 Umweltbundesamt



Bearbeitung: W. Loibl, J. Zueger

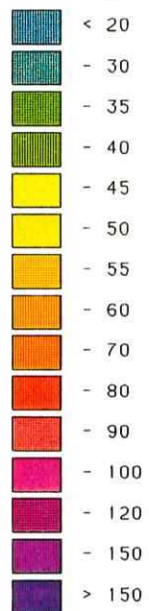
UMWELTPLANUNG 
FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

ABBILDUNG 14

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991

höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

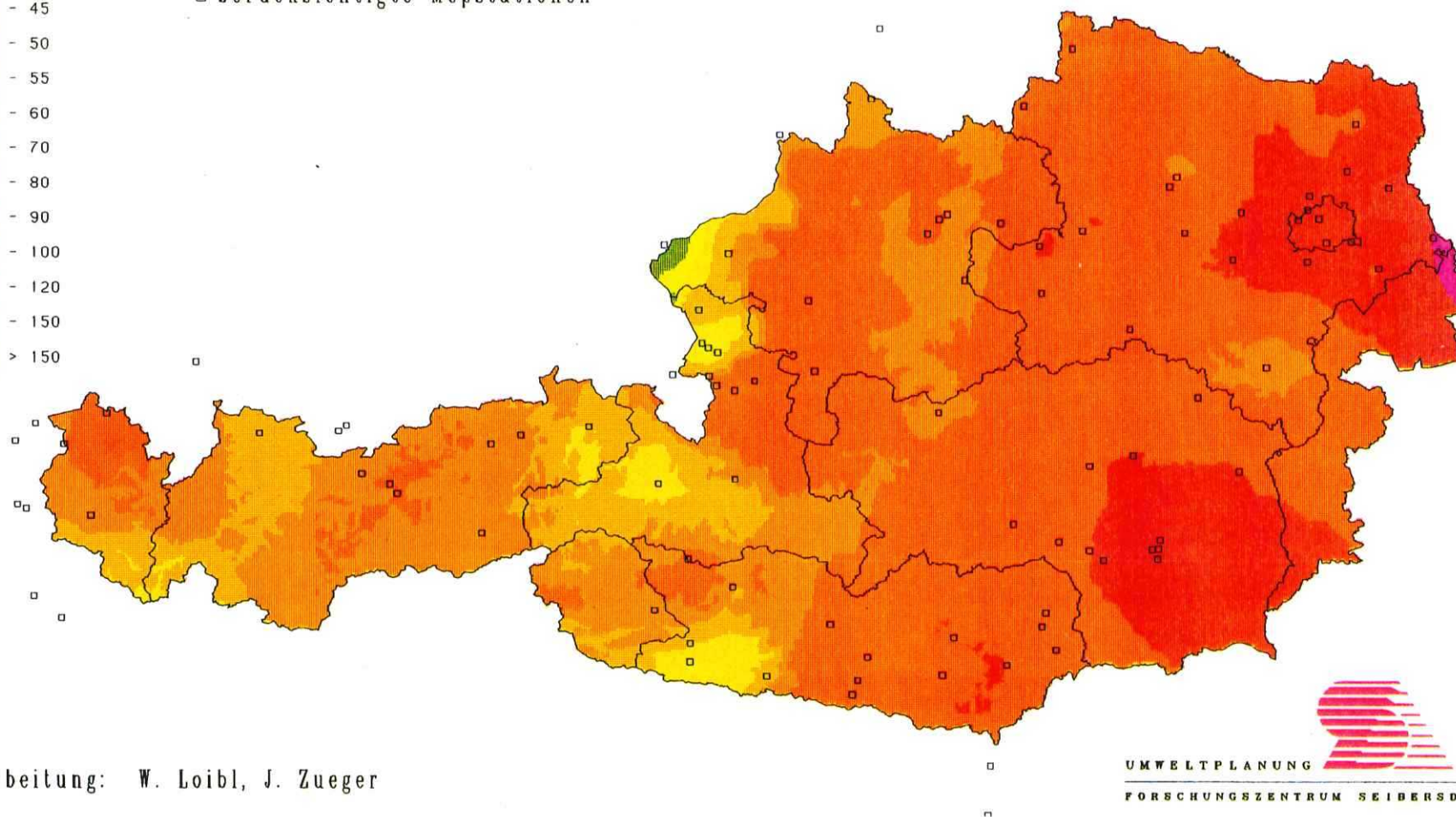
Ozon (ppb)



Zeit: 14.00 Uhr

□ berücksichtigte Meßstationen

 **Umweltbundesamt**



Bearbeitung: W. Loibl, J. Zueger

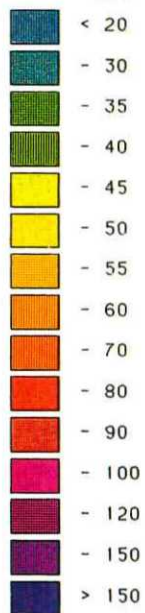
 **UMWELTPLANUNG**
FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

ABBILDUNG 15

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991

höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

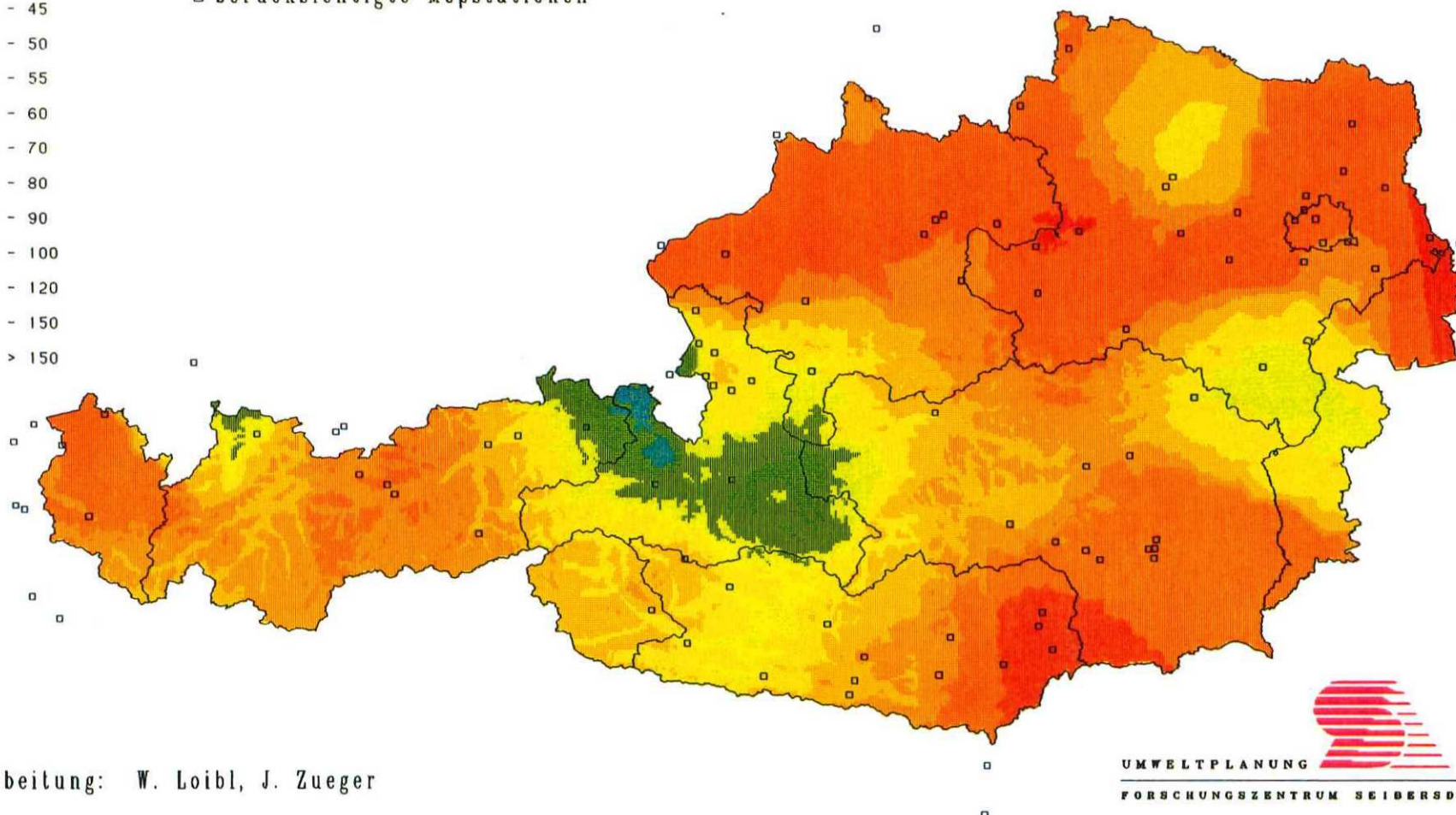
Ozon (ppb)



Zeit: 16.00 Uhr

□ berücksichtigte Meßstationen

 Umweltbundesamt



Bearbeitung: W. Loibl, J. Zueger

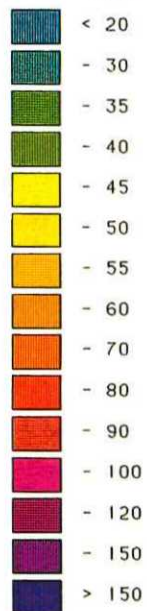
UMWELTPLANUNG 
FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

ABBILDUNG 16

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991

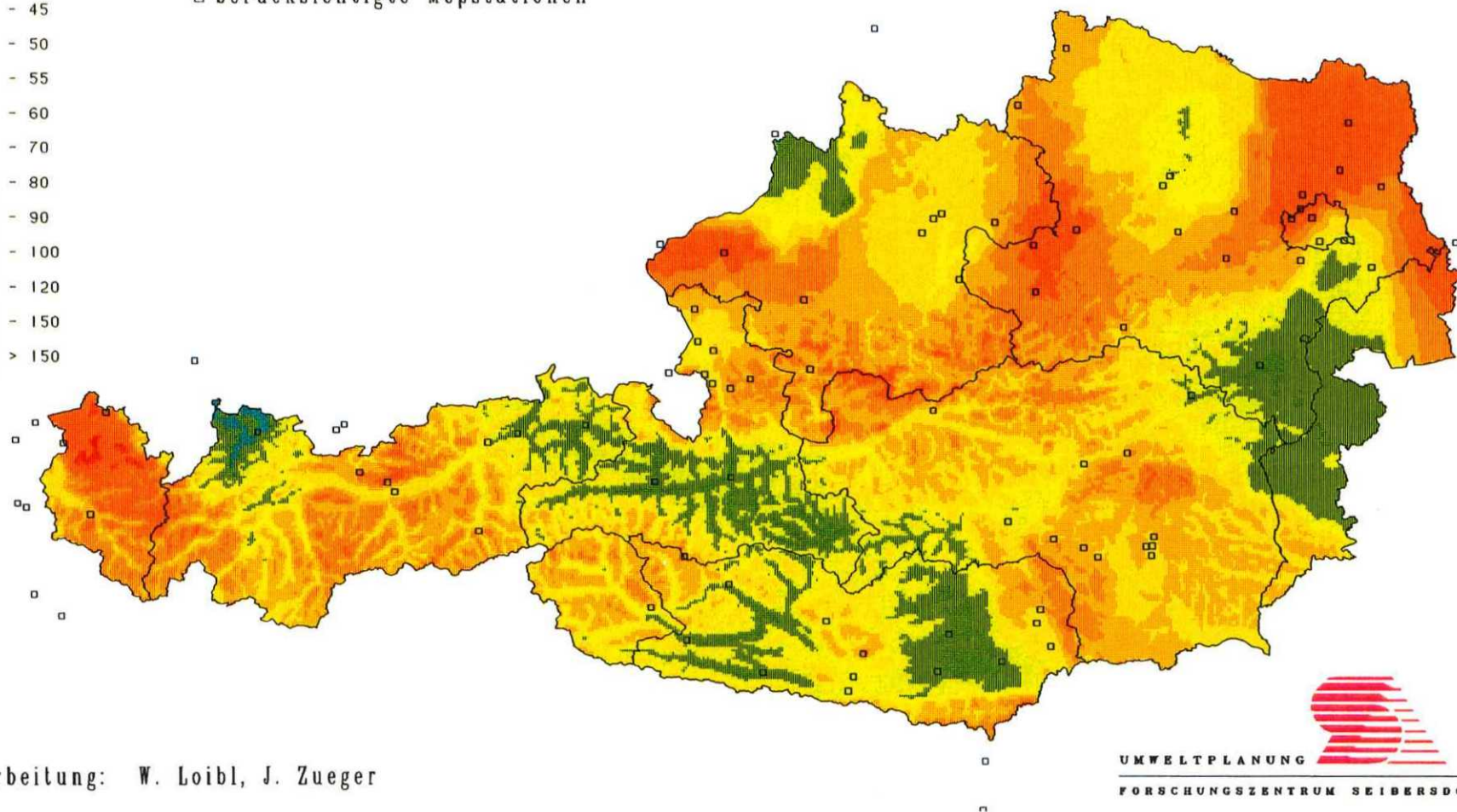
höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

Ozon (ppb)



Zeit: 18.00 Uhr

□ berücksichtigte Meßstationen



 Umweltbundesamt

Bearbeitung: W. Loibl, J. Zueger

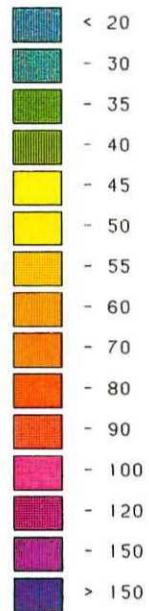
UMWELTPLANUNG 
FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

ABBILDUNG 17

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991

höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

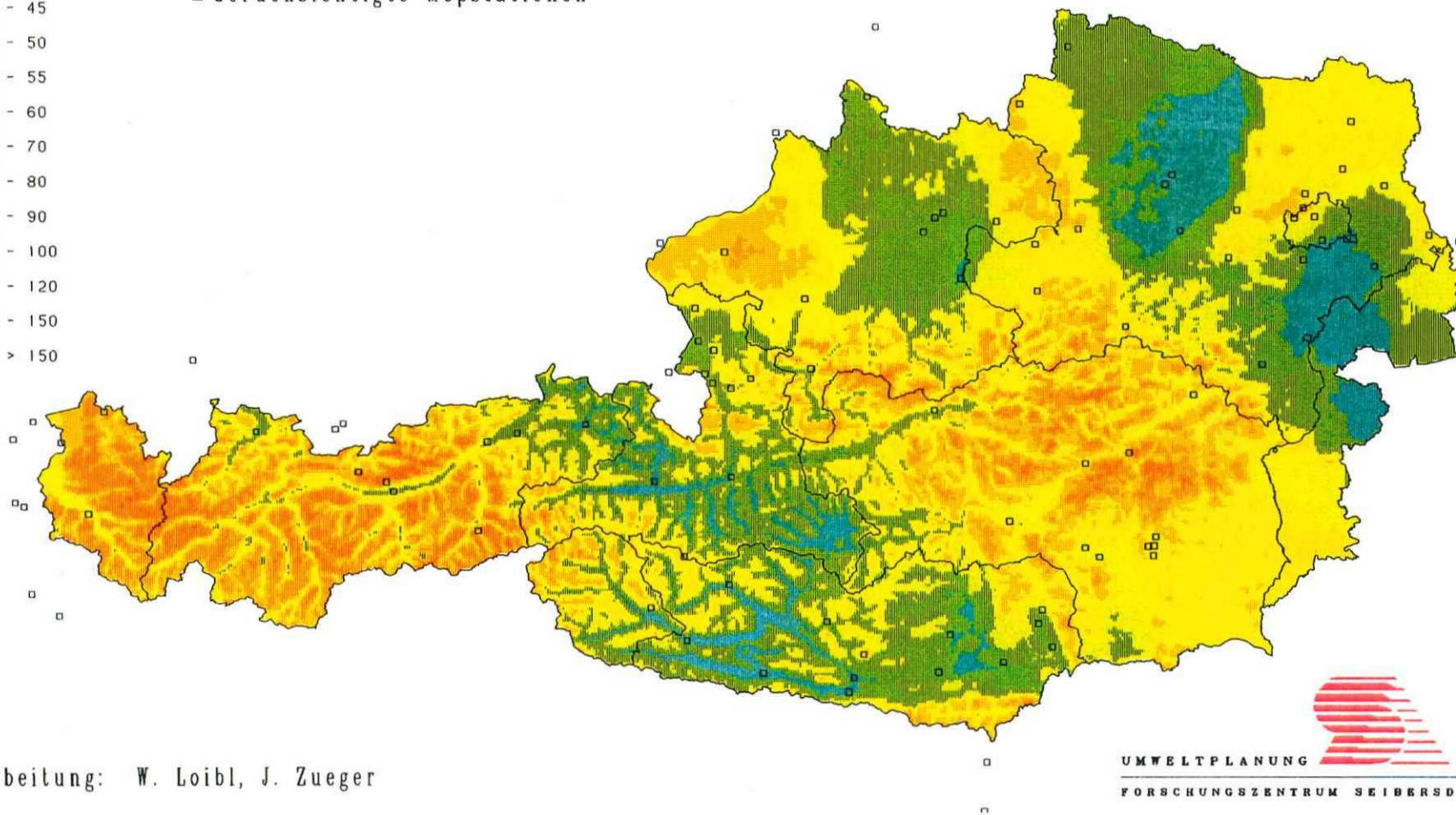
Ozon (ppb)



Zeit: 20.00 Uhr

□ berücksichtigte Meßstationen

 Umweltbundesamt



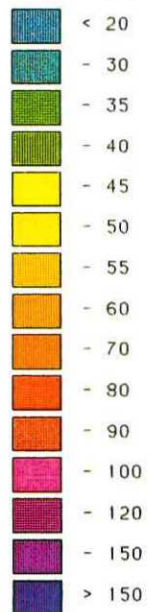
Bearbeitung: W. Loibl, J. Zueger

UMWELTPLANUNG 
FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991

höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

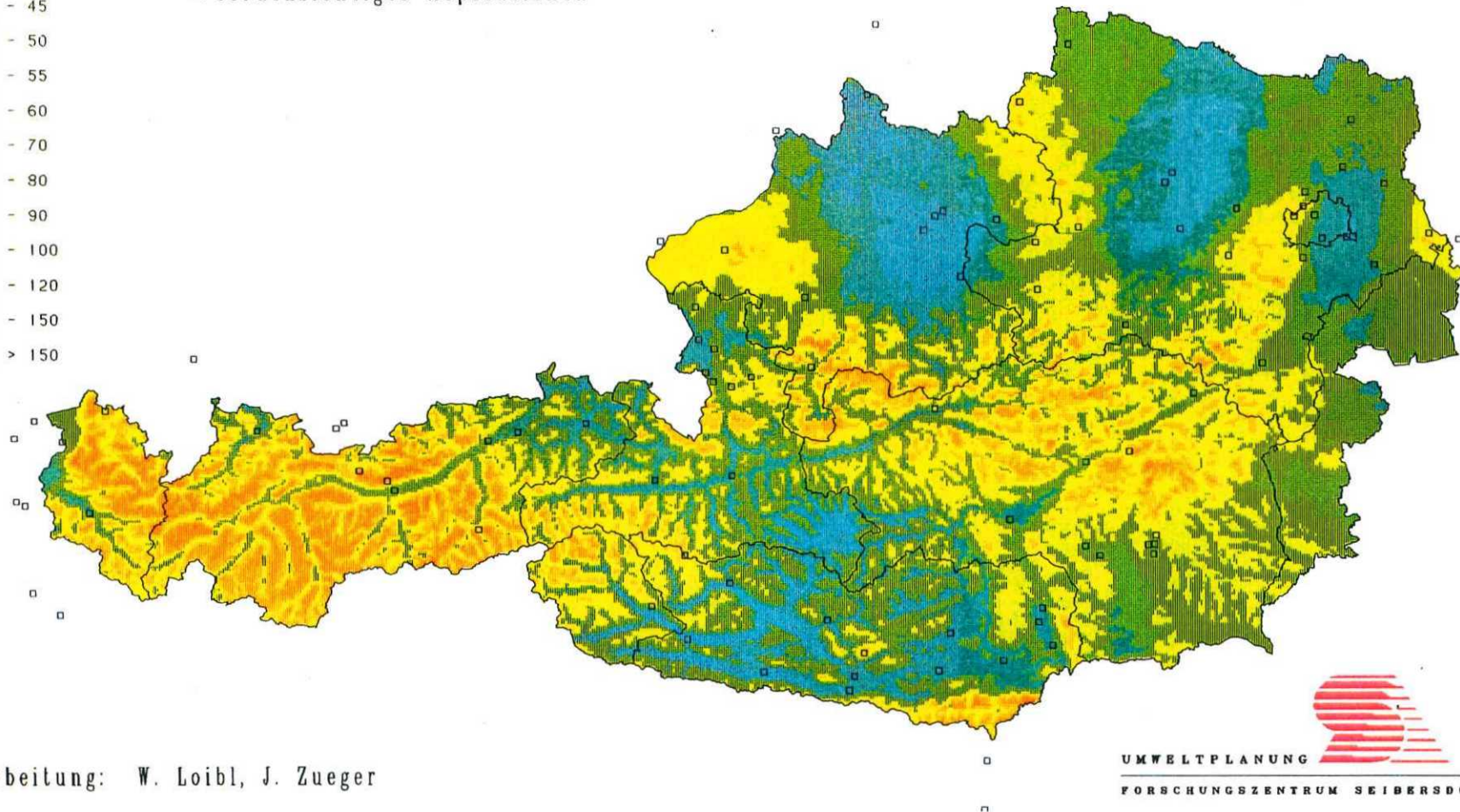
Ozon (ppb)



Zeit: 22.00 Uhr

□ berücksichtigte Meßstationen

Umweltbundesamt



Bearbeitung: W. Loibl, J. Zueger

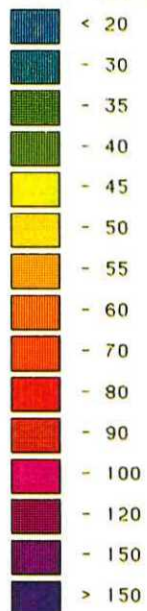
UMWELTPLANUNG
FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

ABBILDUNG 19

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991

höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

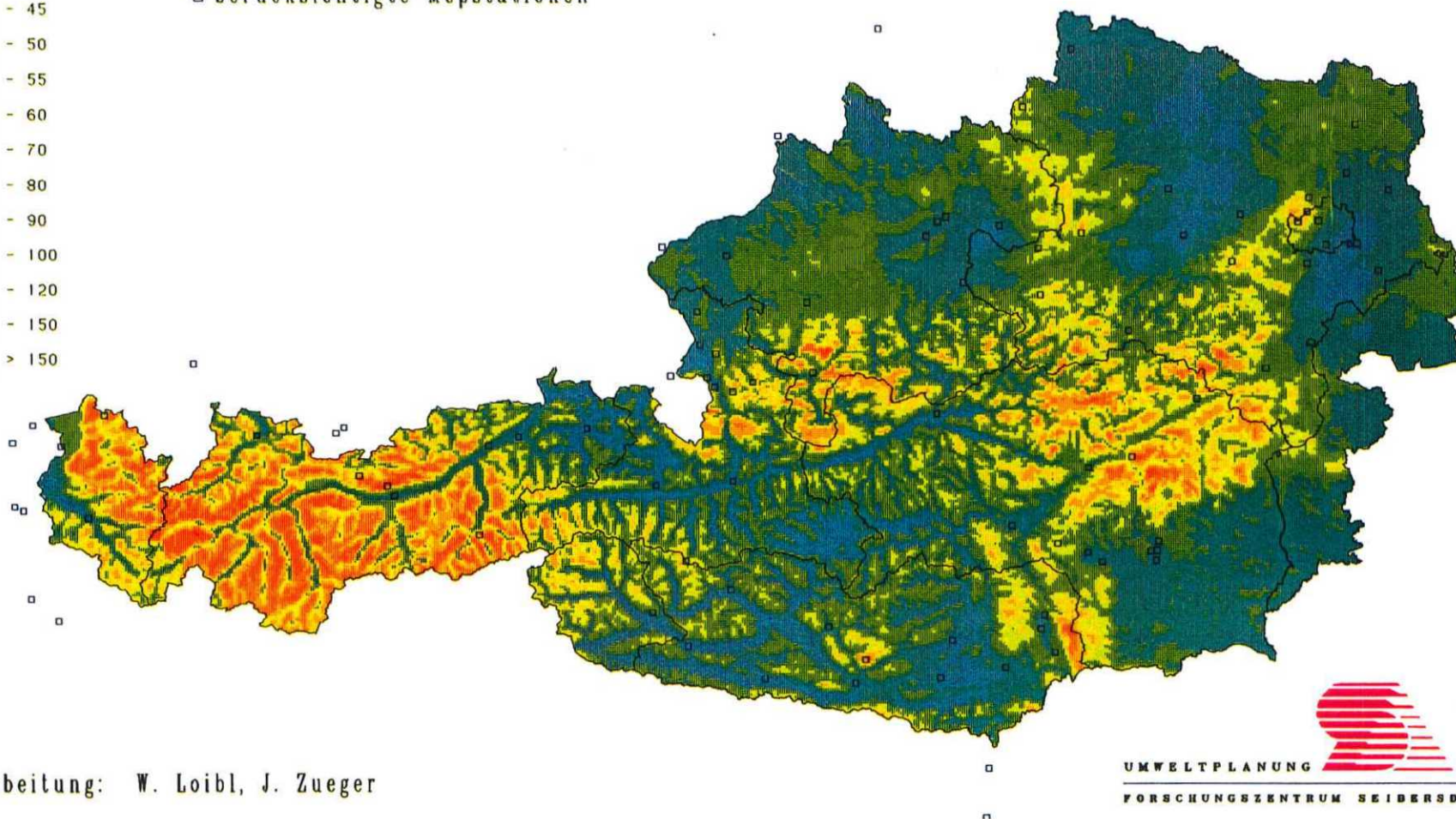
Ozon (ppb)



Zeit: 24.00 Uhr

□ berücksichtigte Meßstationen

 **Umweltbundesamt**



Bearbeitung: W. Loibl, J. Zueger


UMWELTPLANUNG
FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

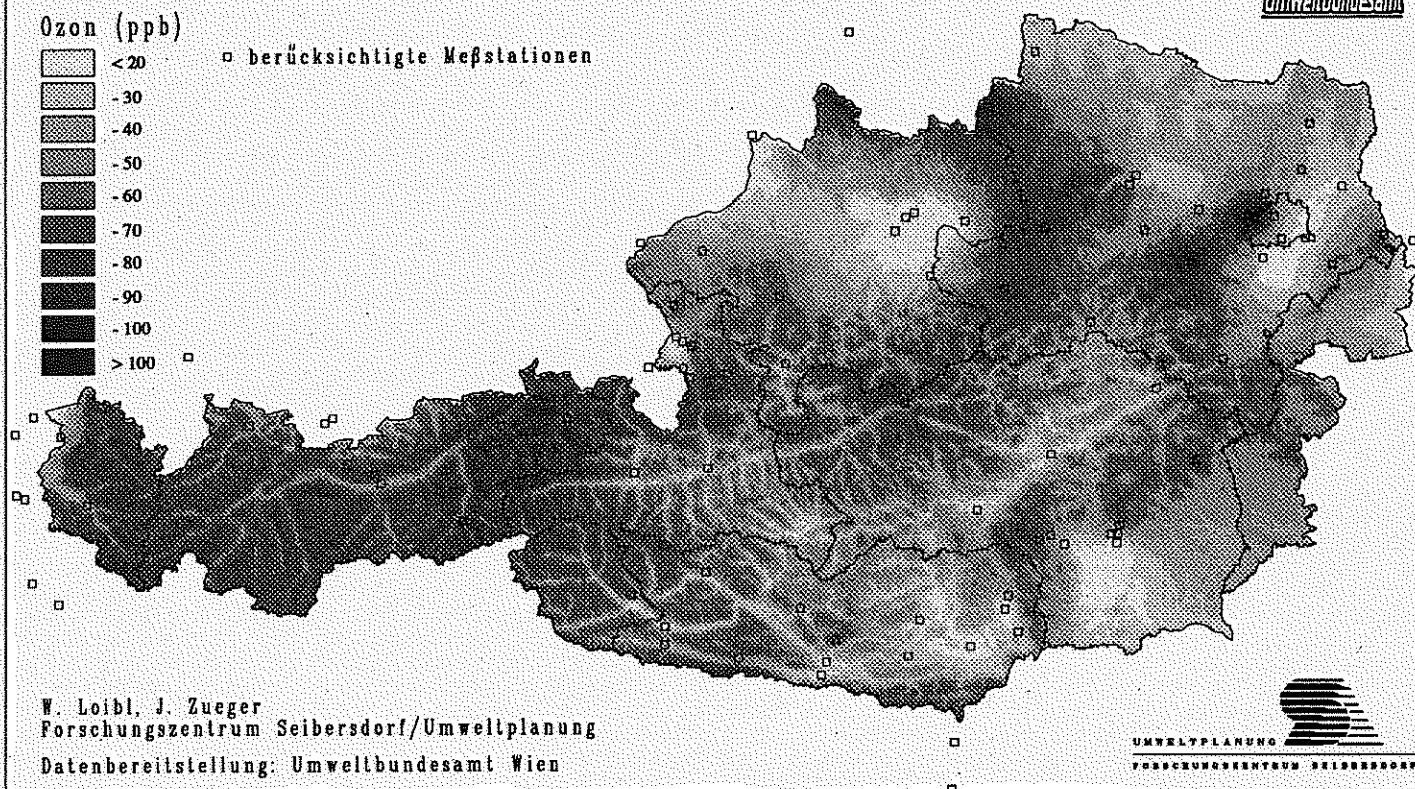
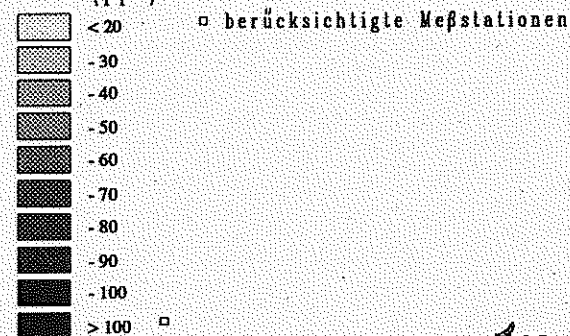
Abbildung 20

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991

Höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

Zeit: 2.00 Uhr

Ozon (ppb)



Umweltbundesamt

W. Loibl, J. Zueger
Forschungszentrum Seibersdorf/Umweltplanung
Datenbereitstellung: Umweltbundesamt Wien

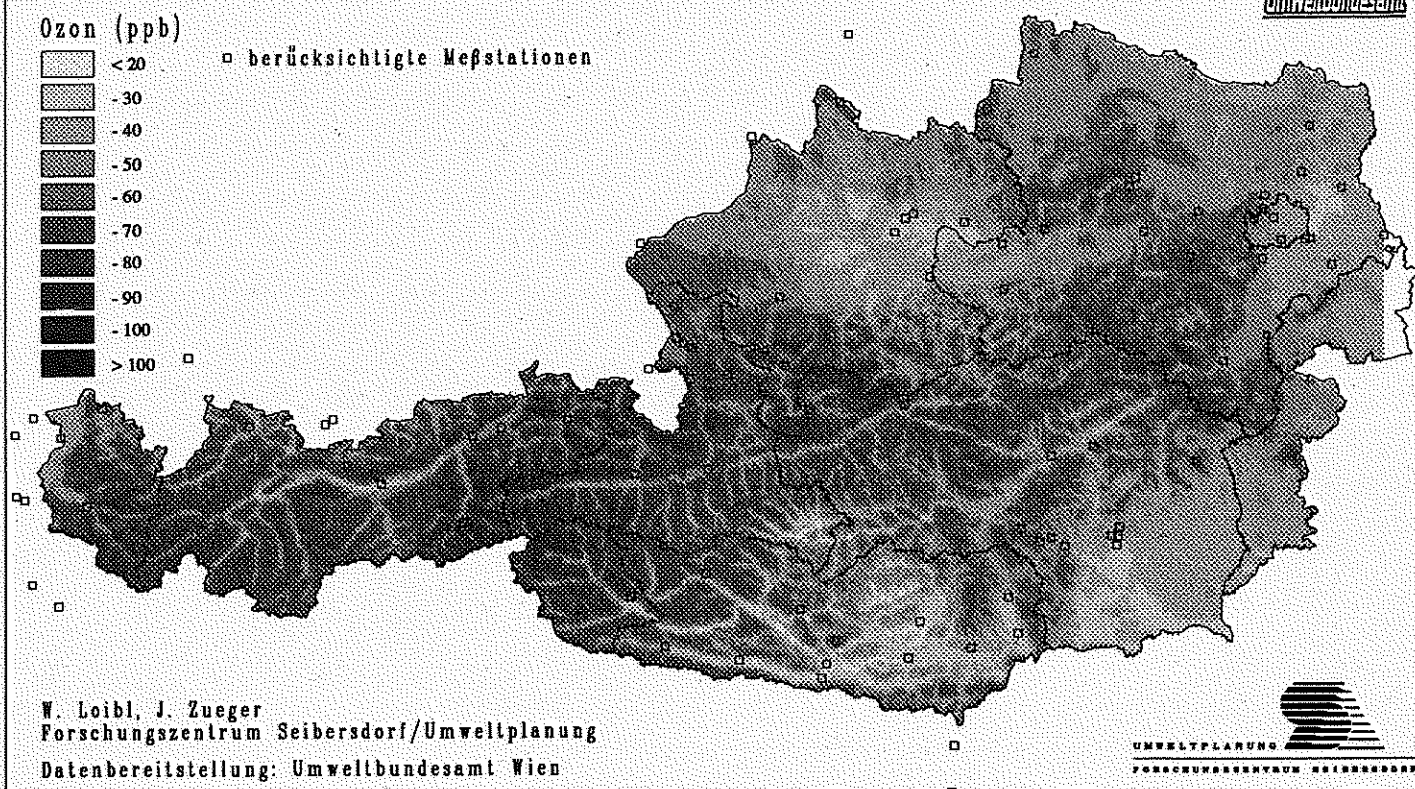
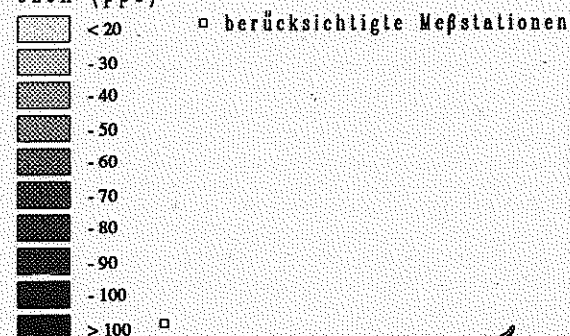
UMWELTPLANUNG
FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991

Höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

Zeit: 4.00 Uhr

Ozon (ppb)



Umweltbundesamt

W. Loibl, J. Zueger
Forschungszentrum Seibersdorf/Umweltplanung
Datenbereitstellung: Umweltbundesamt Wien

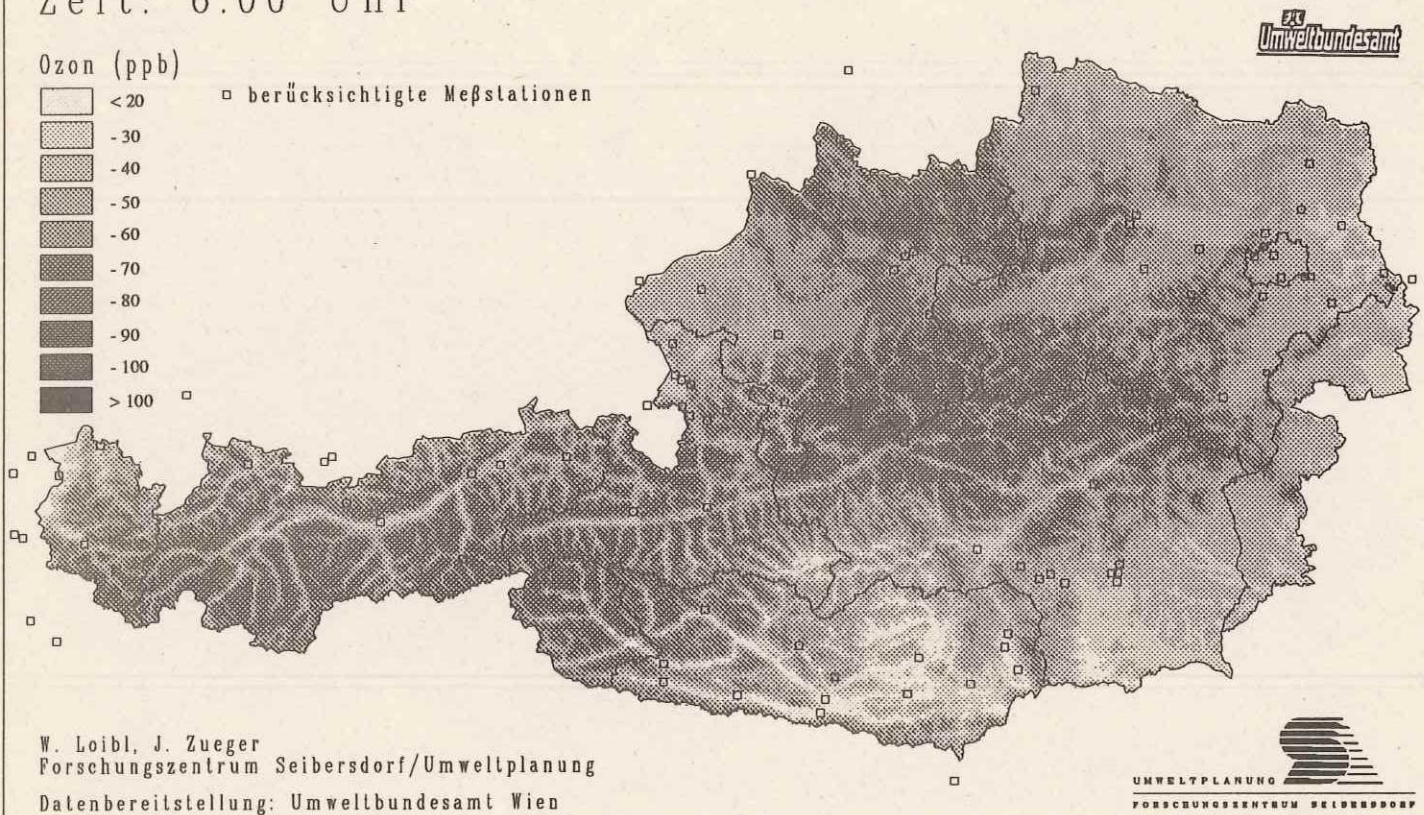
UMWELTPLANUNG
FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

Abbildung 21

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991

Höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

Zeit: 6.00 Uhr



OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991

Höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

Zeit: 8.00 Uhr

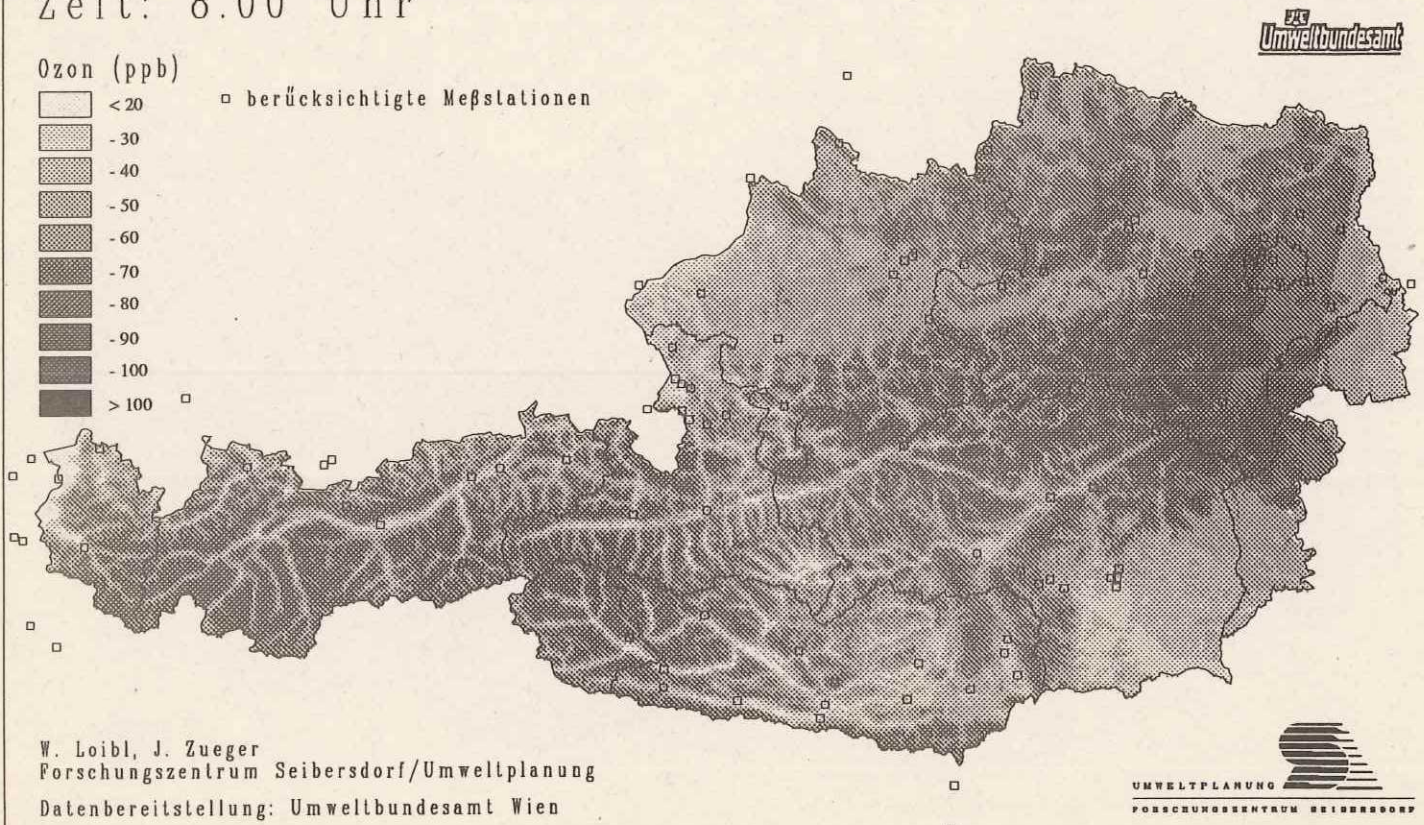


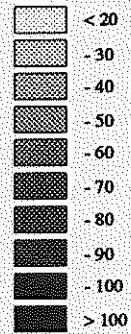
Abbildung 22

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991

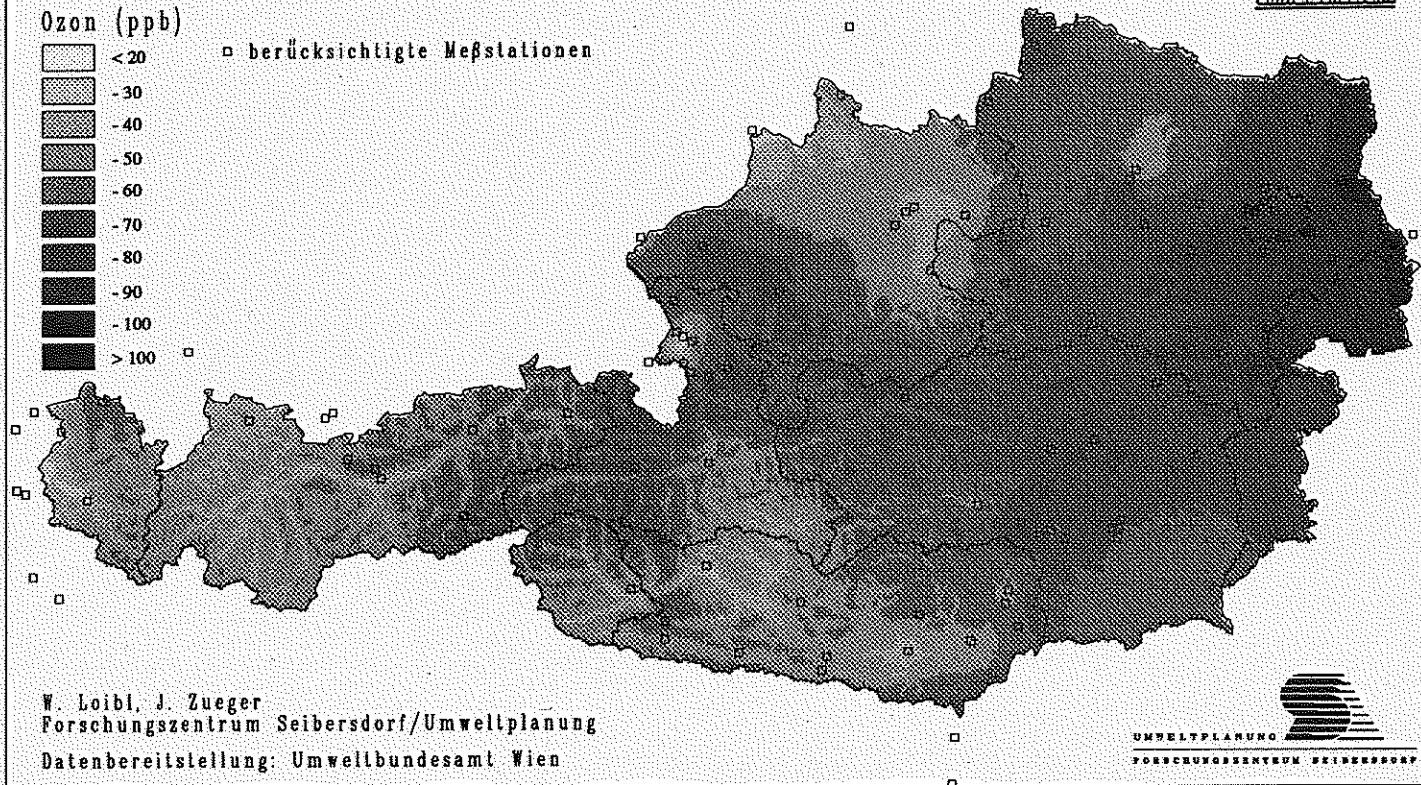
Höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

Zeit: 10.00 Uhr

Ozon (ppb)



□ berücksichtigte Meßstationen



W. Loibl, J. Zueger
Forschungszentrum Seibersdorf/Umweltplanung
Datenbereitstellung: Umweltbundesamt Wien

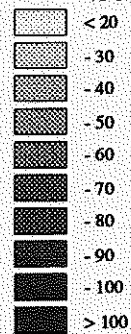
UMWELTPLANUNG
FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991

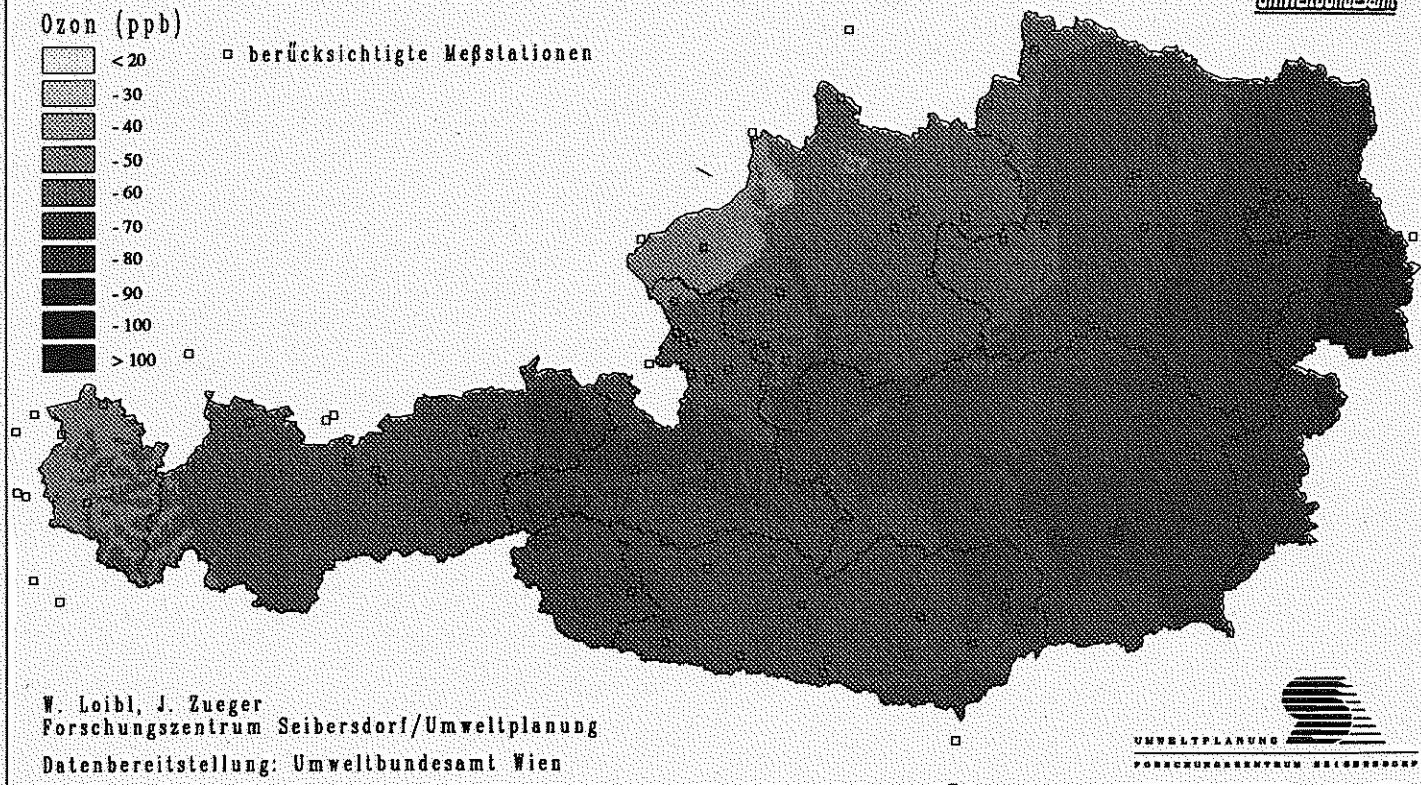
Höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

Zeit: 12.00 Uhr

Ozon (ppb)



□ berücksichtigte Meßstationen

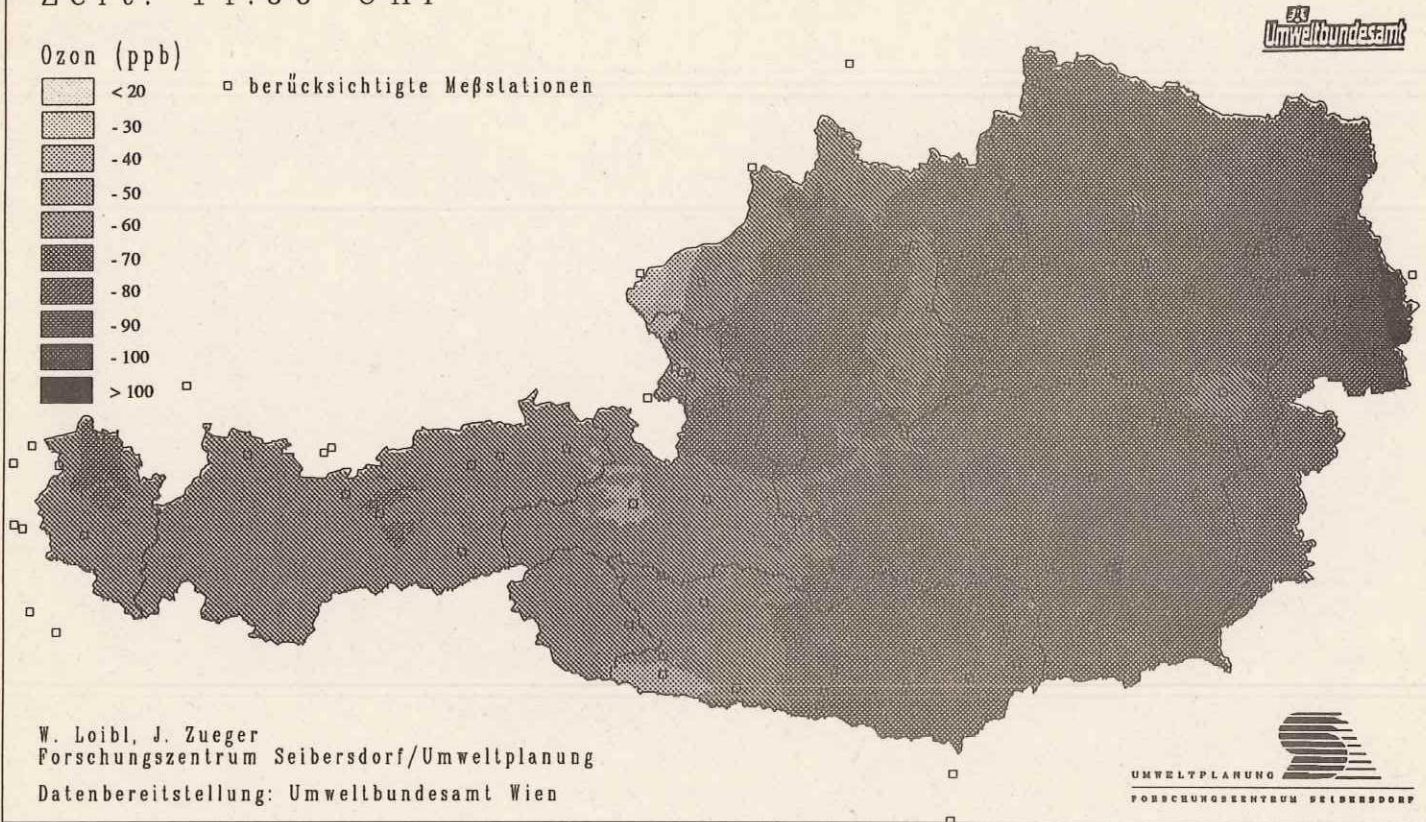


W. Loibl, J. Zueger
Forschungszentrum Seibersdorf/Umweltplanung
Datenbereitstellung: Umweltbundesamt Wien

UMWELTPLANUNG
FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

Abbildung 23

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991 Höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte Zeit: 14.00 Uhr



OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991 Höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte Zeit: 16.00 Uhr

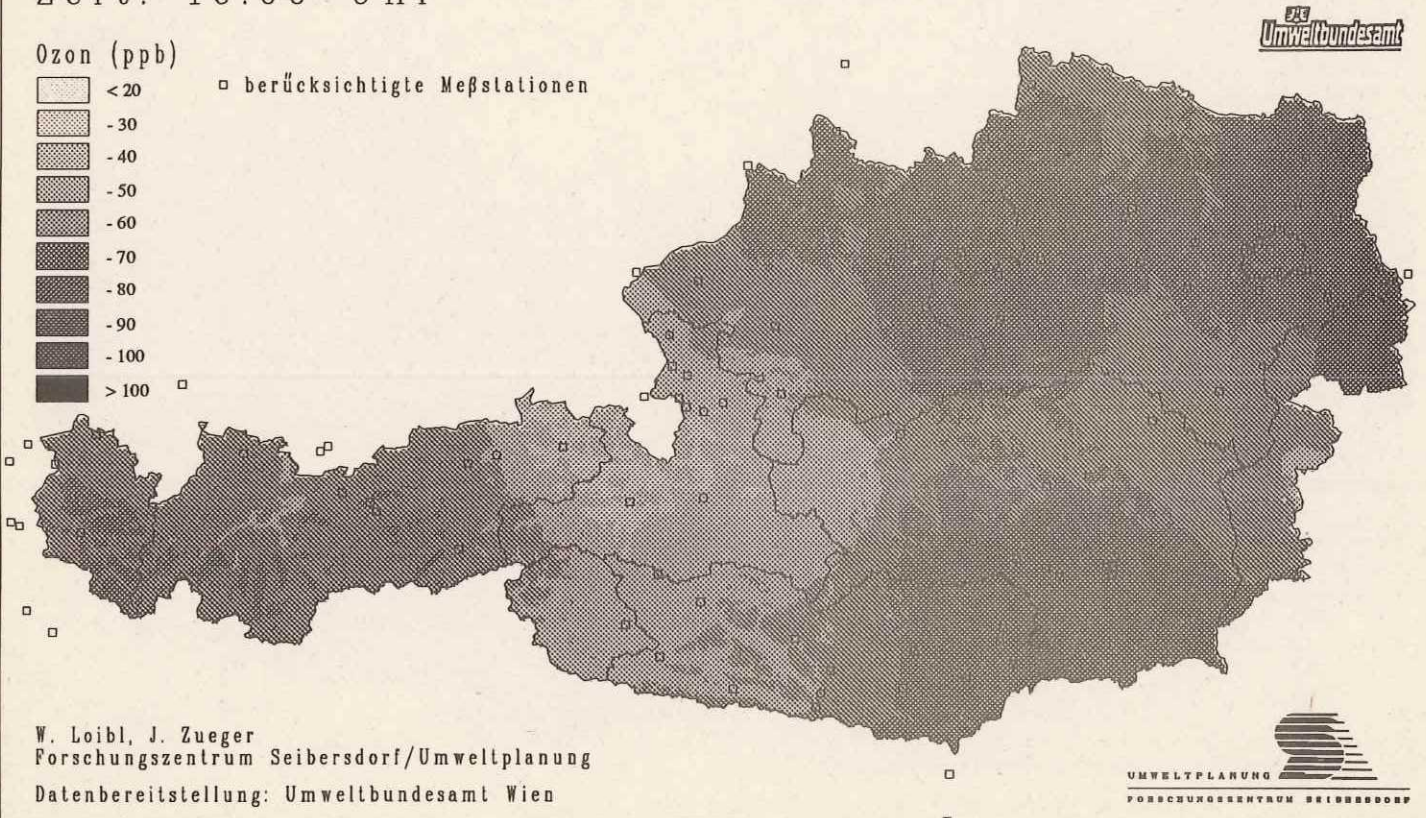


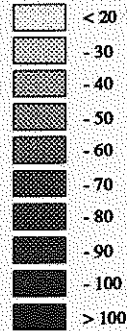
Abbildung 24

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991

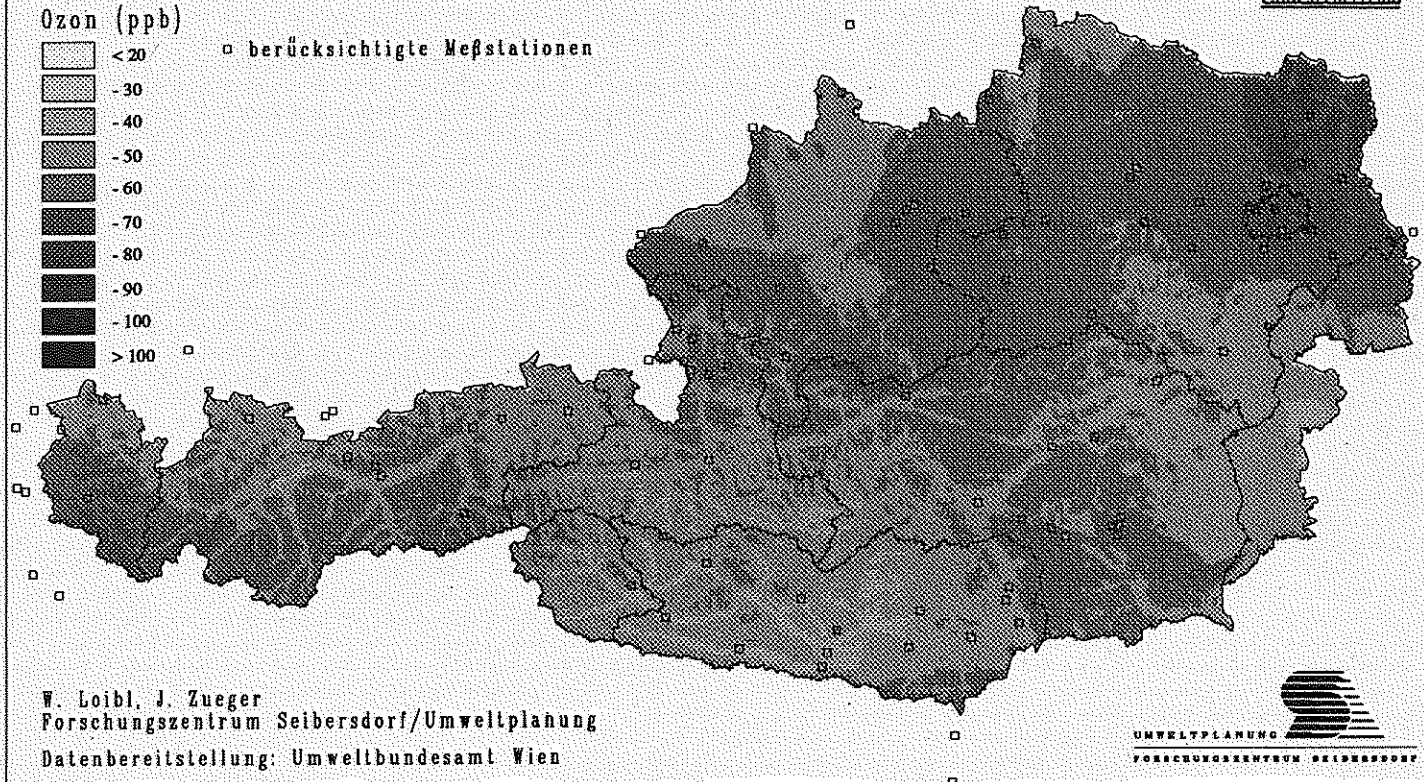
Höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

Zeit: 18.00 Uhr

Ozon (ppb)



□ berücksichtigte Meßstationen



W. Loibl, J. Zueger
Forschungszentrum Seibersdorf/Umweltplanung
Datenbereitstellung: Umweltbundesamt Wien

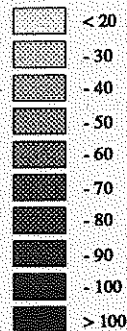
UMWELTPLANUNG
FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991

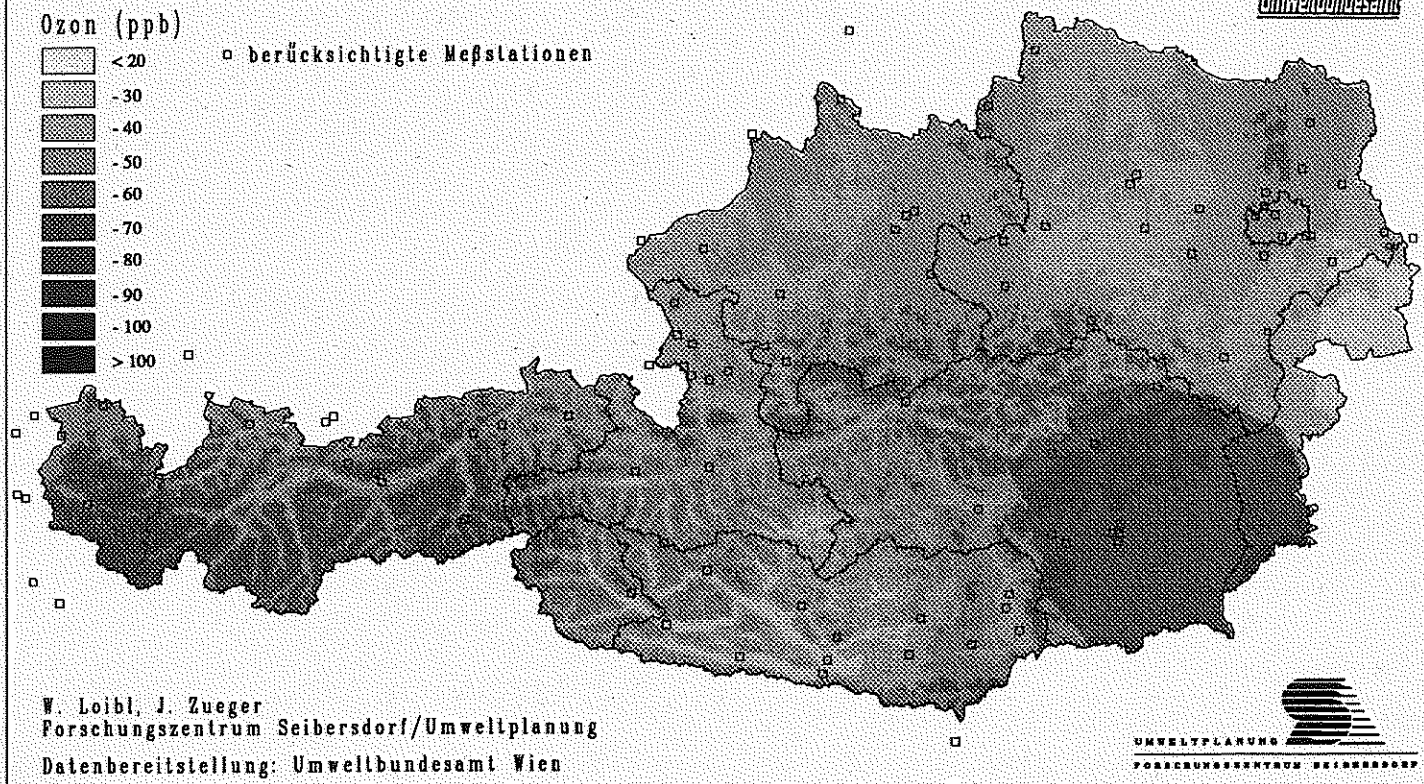
Höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

Zeit: 20.00 Uhr

Ozon (ppb)



□ berücksichtigte Meßstationen

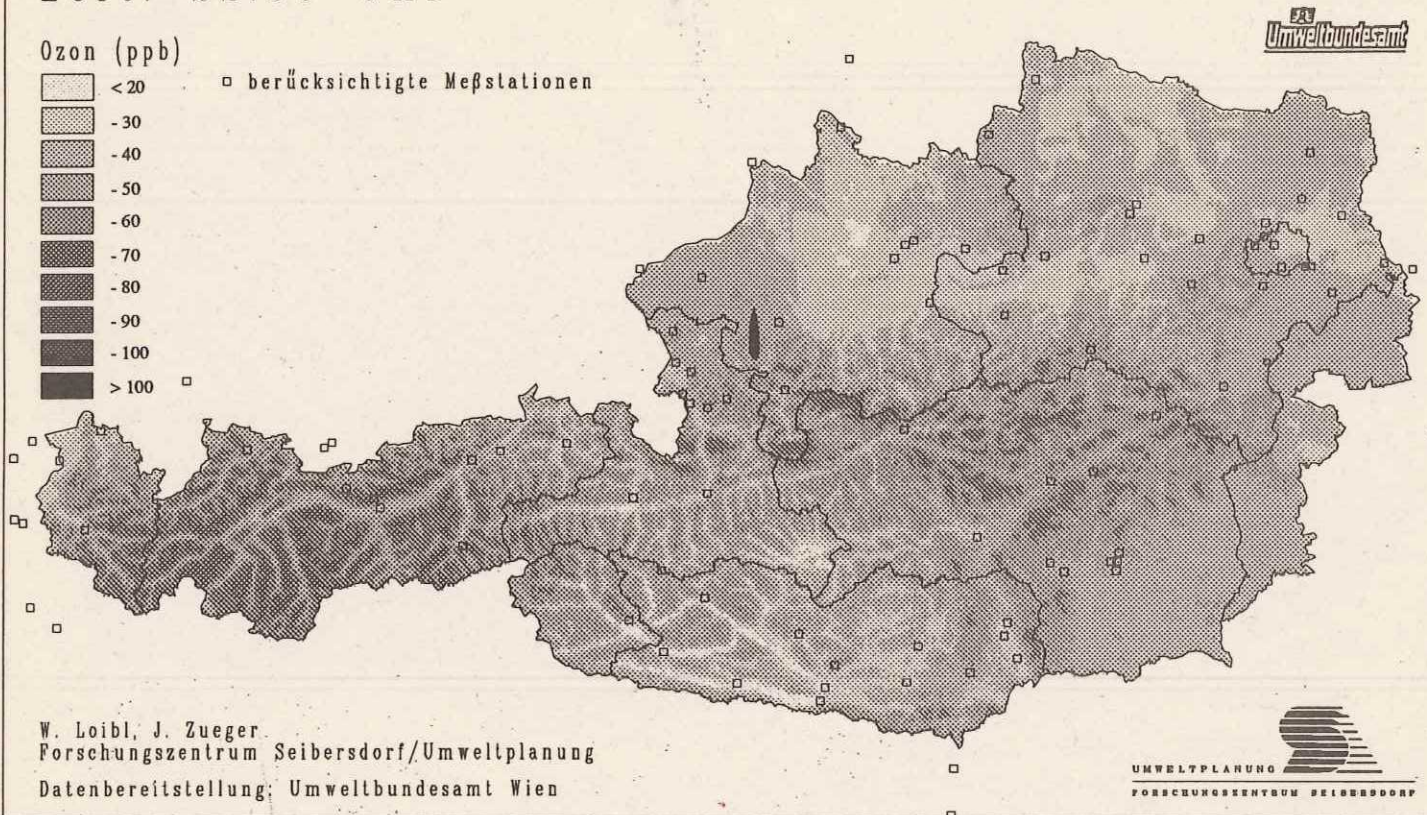


W. Loibl, J. Zueger
Forschungszentrum Seibersdorf/Umweltplanung
Datenbereitstellung: Umweltbundesamt Wien

UMWELTPLANUNG
FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

Abbildung 25

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991
 Höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte
 Zeit: 22.00 Uhr



OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991
 Höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte
 Zeit: 24.00 Uhr

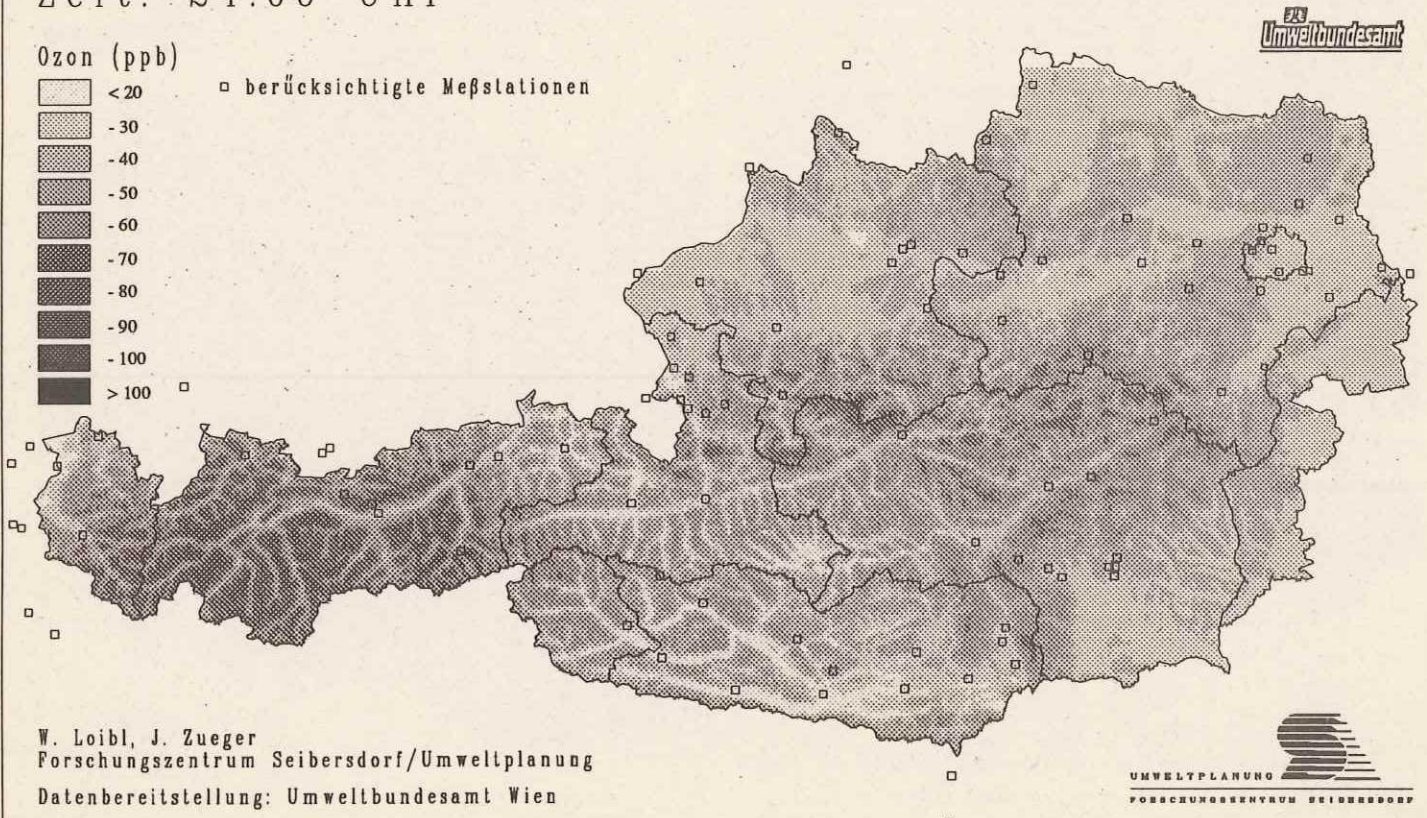


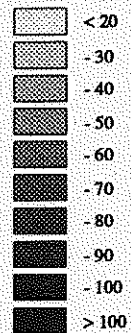
Abbildung 26

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 9. AUG. 1991

Höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

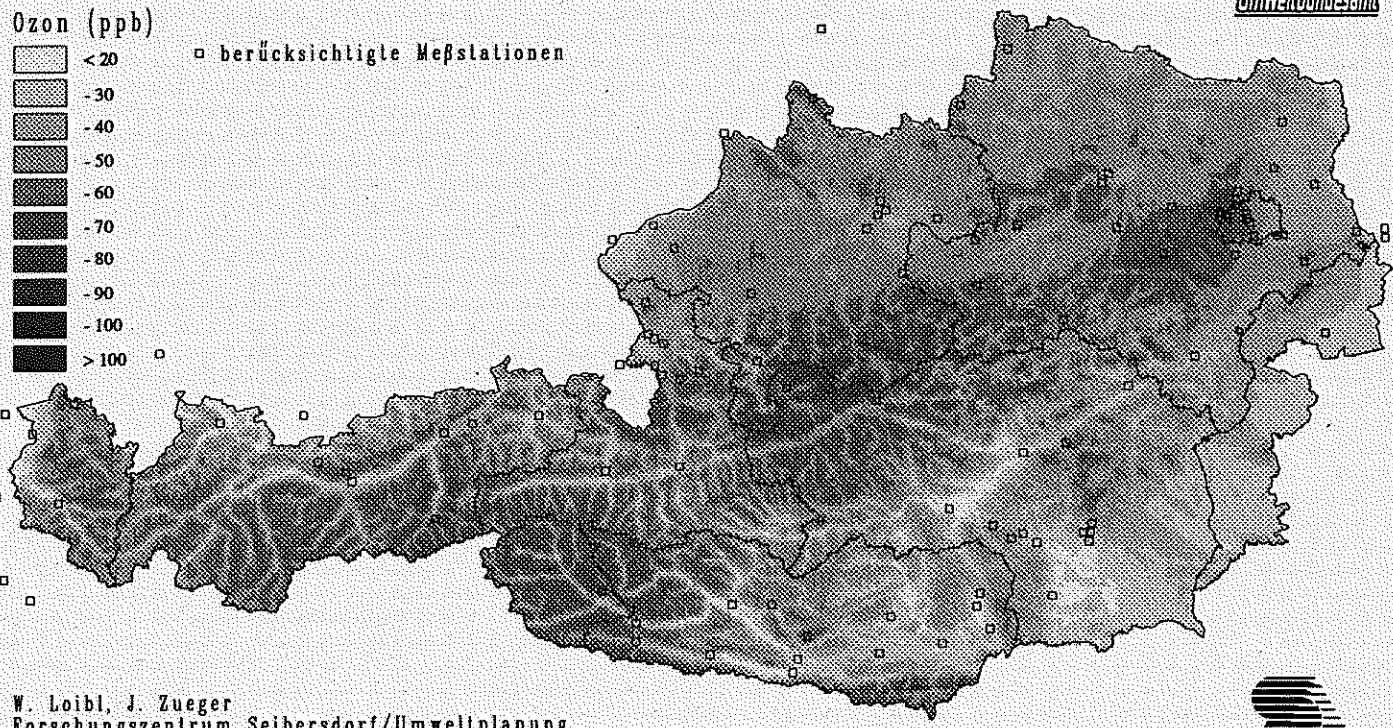
Zeit: 2.00 Uhr

Ozon (ppb)



□ berücksichtigte Meßstationen

Umweltbundesamt



W. Loibl, J. Zueger
Forschungszentrum Seibersdorf/Umweltplanung
Datenbereitstellung: Umweltbundesamt Wien

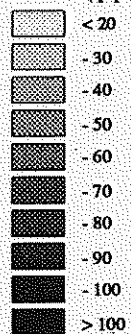
UMWELTPLANUNG
FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 9. AUG. 1991

Höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

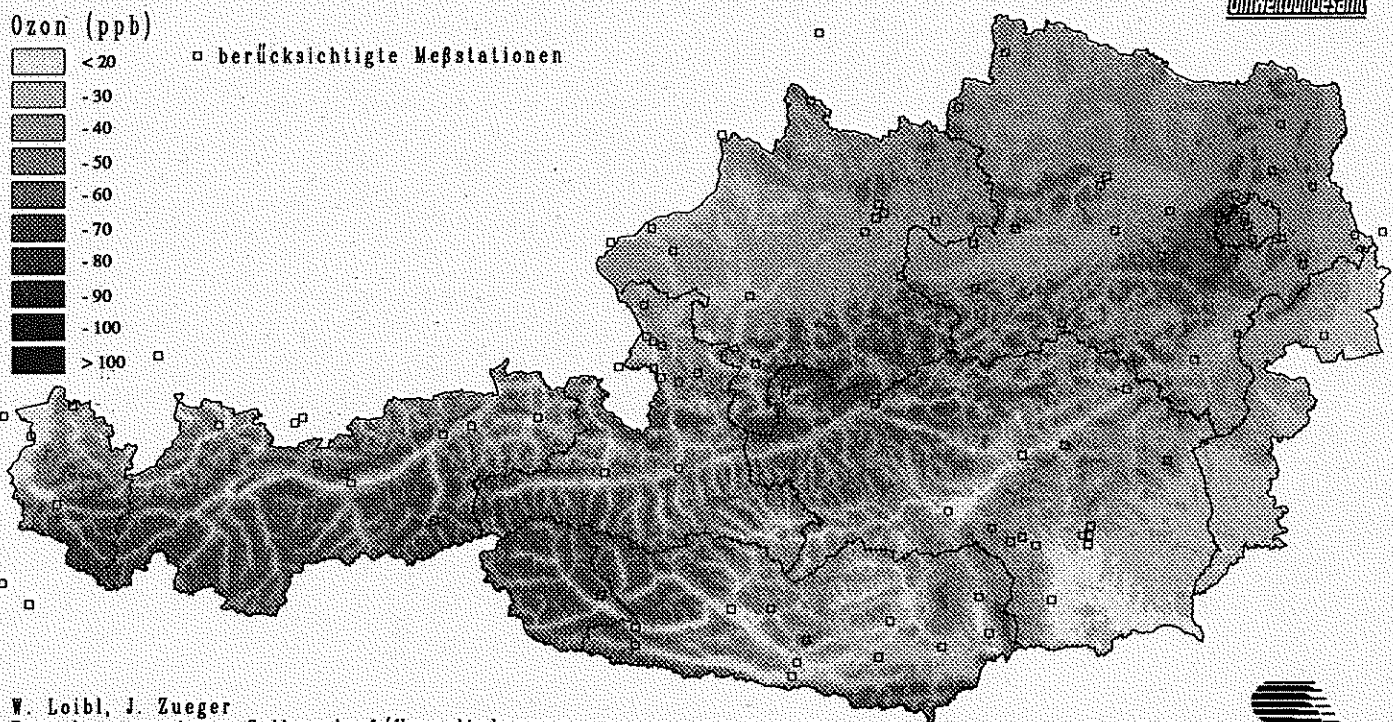
Zeit: 4.00 Uhr

Ozon (ppb)



□ berücksichtigte Meßstationen

Umweltbundesamt



W. Loibl, J. Zueger
Forschungszentrum Seibersdorf/Umweltplanung
Datenbereitstellung: Umweltbundesamt Wien

UMWELTPLANUNG
FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

Abbildung 27

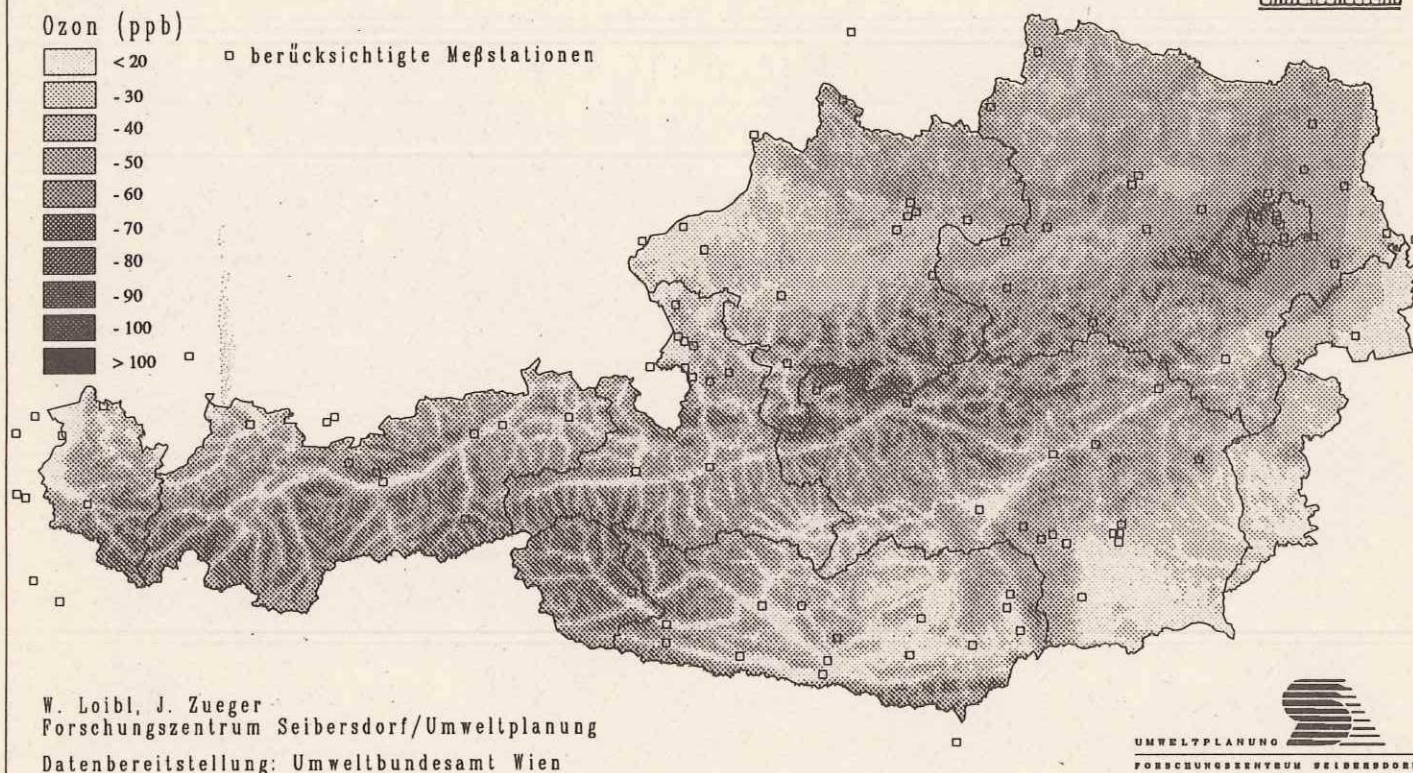
OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 9. AUG. 1991

Höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

Zeit: 6.00 Uhr

im Auftrag von:

Umweltbundesamt



OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 9. AUG. 1991

Höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

Zeit: 8.00 Uhr

im Auftrag von:

Umweltbundesamt

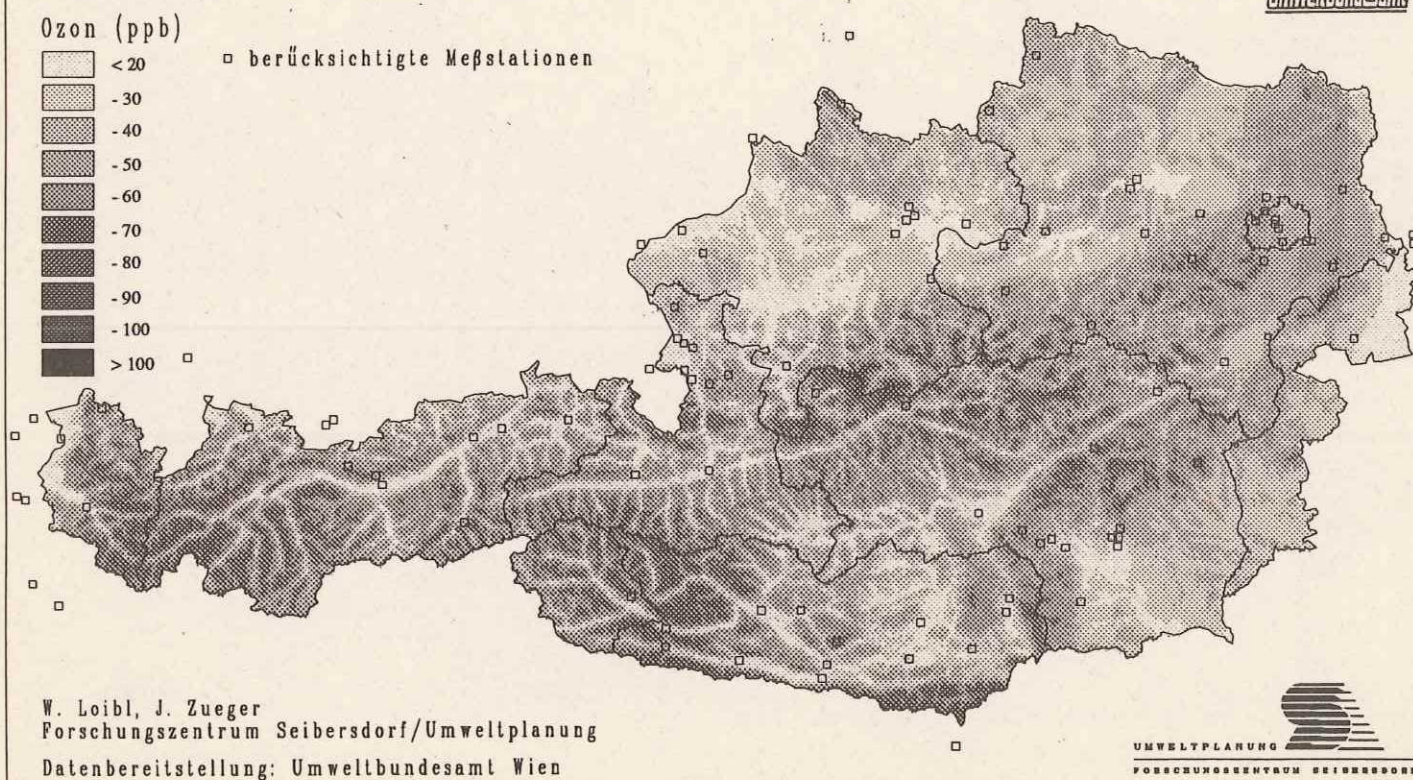


Abbildung 28

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 9. AUG. 1991

Höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

Zeit: 10.00 Uhr

Ozon (ppb)



Umweltbundesamt

W. Loibl, J. Zueger
Forschungszentrum Seibersdorf/Umweltplanung
Datenbereitstellung: Umweltbundesamt Wien

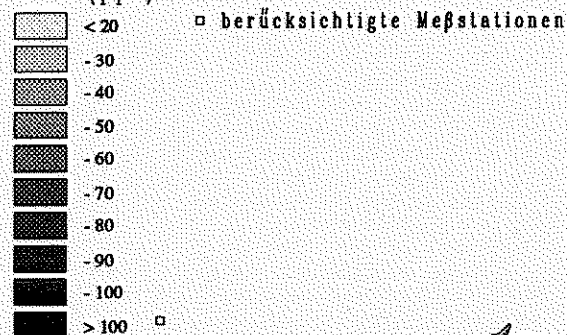
UMWELTPLANUNG
FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 9. AUG. 1991

Höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

Zeit: 12.00 Uhr

Ozon (ppb)



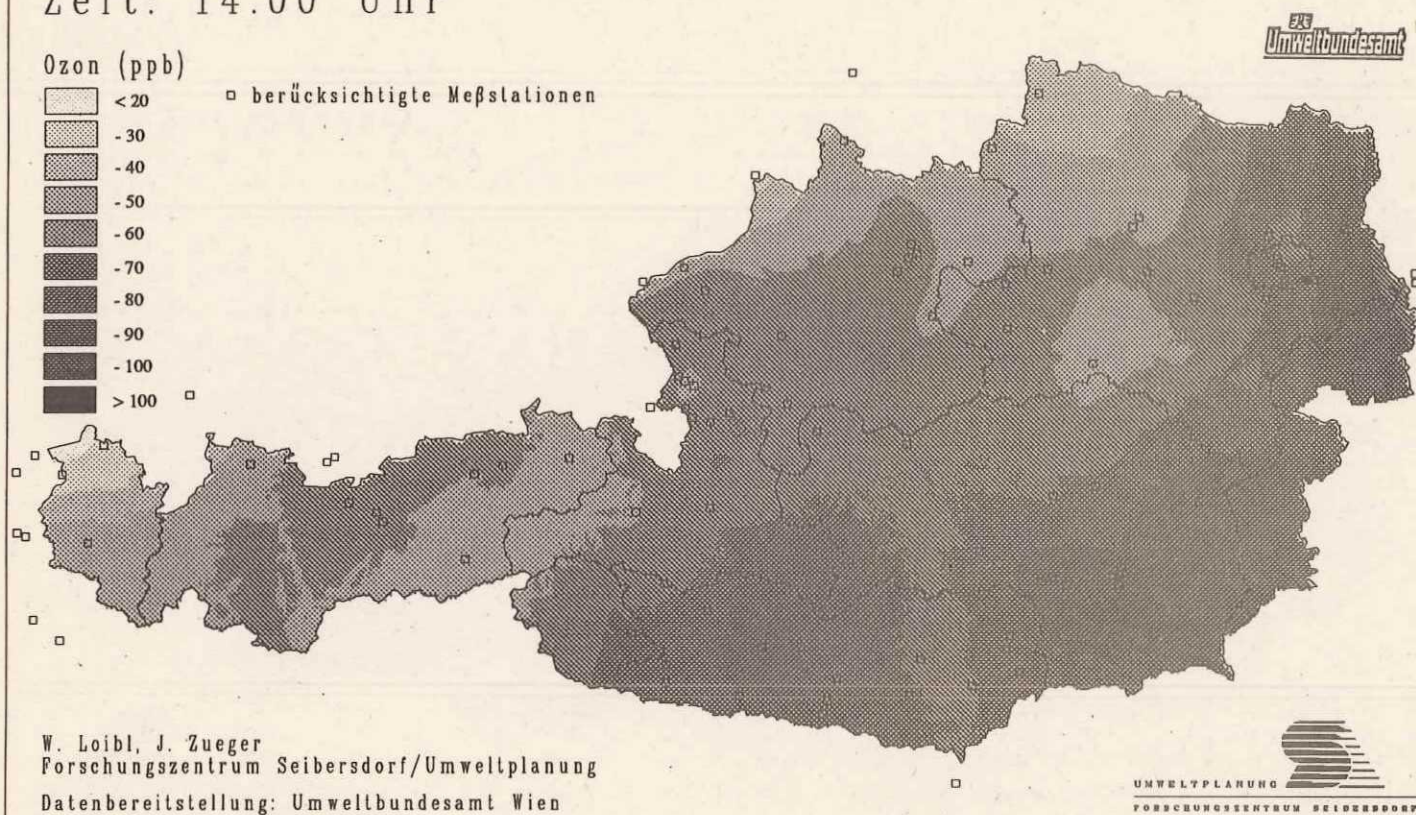
Umweltbundesamt

W. Loibl, J. Zueger
Forschungszentrum Seibersdorf/Umweltplanung
Datenbereitstellung: Umweltbundesamt Wien

UMWELTPLANUNG
FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

Abbildung 29

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 9. AUG. 1991
 Höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte
 Zeit: 14.00 Uhr



OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 9. AUG. 1991
 Höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte
 Zeit: 16.00 Uhr

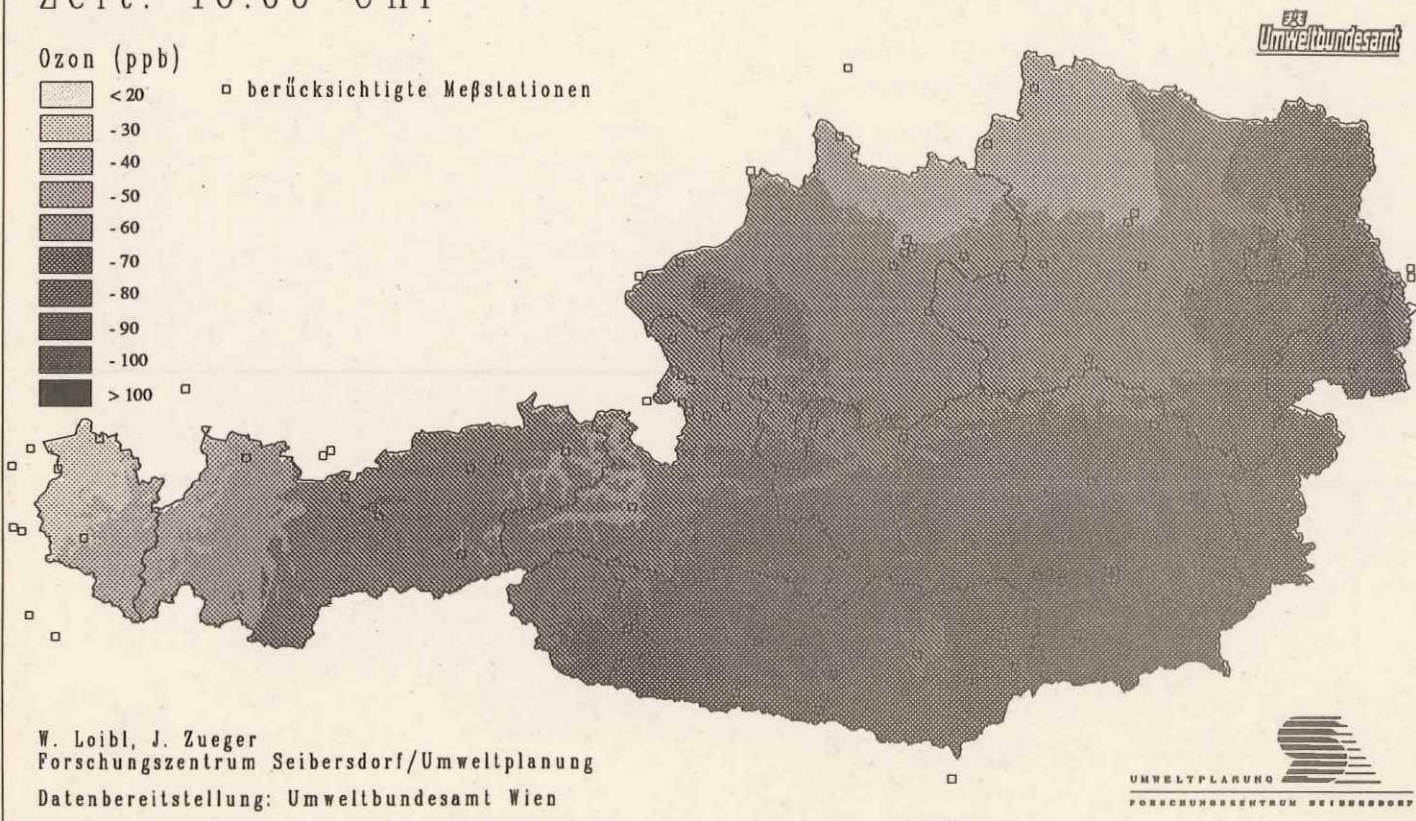
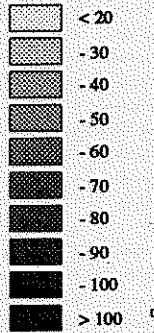


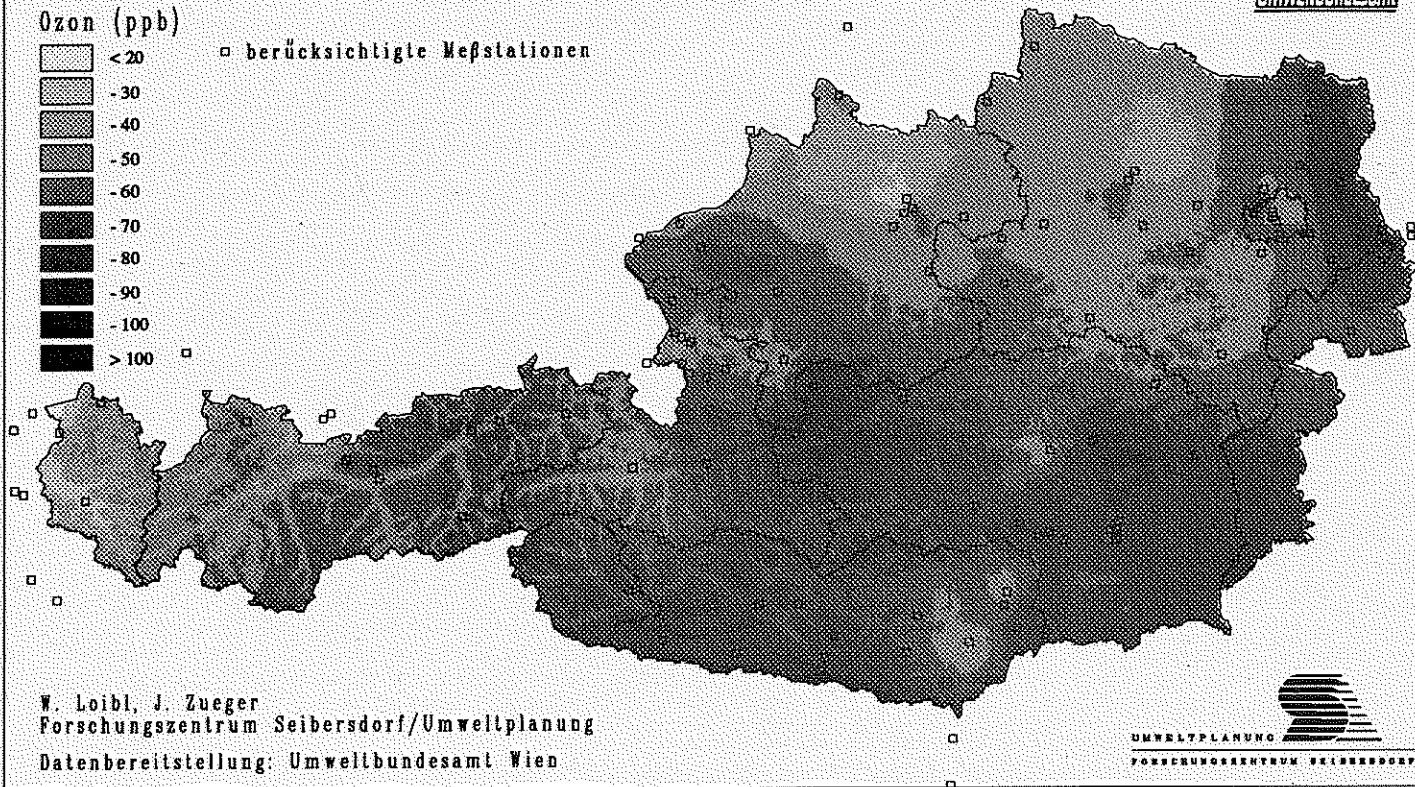
Abbildung 30

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 9. AUG. 1991
 Höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte
 Zeit: 18.00 Uhr

Ozon (ppb)



□ berücksichtigte Meßstationen

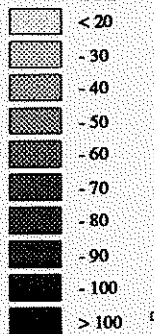


W. Loibl, J. Zueger
 Forschungszentrum Seibersdorf/Umweltplanung
 Datenbereitstellung: Umweltbundesamt Wien

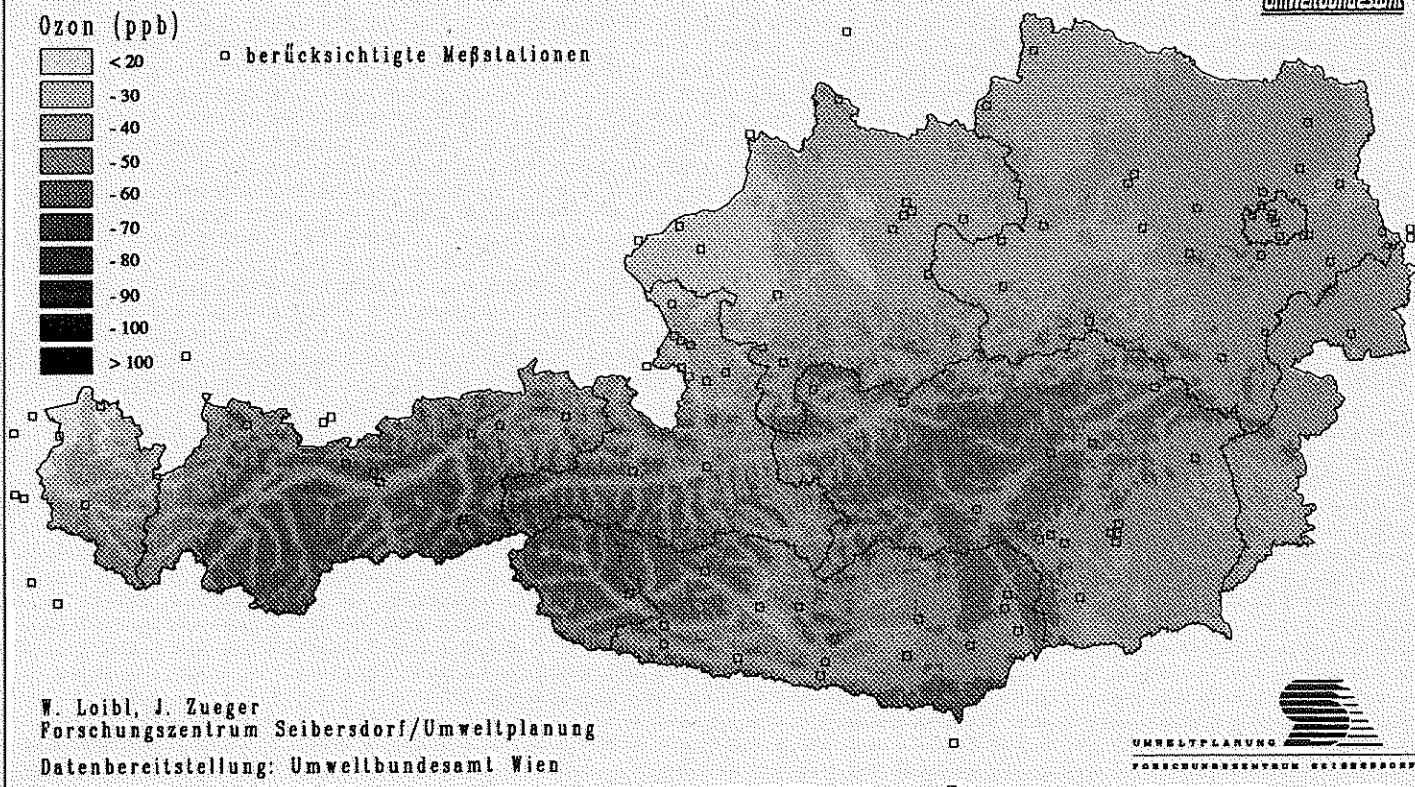
UMWELTPLANUNG
 FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 9. AUG. 1991
 Höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte
 Zeit: 20.00 Uhr

Ozon (ppb)



□ berücksichtigte Meßstationen

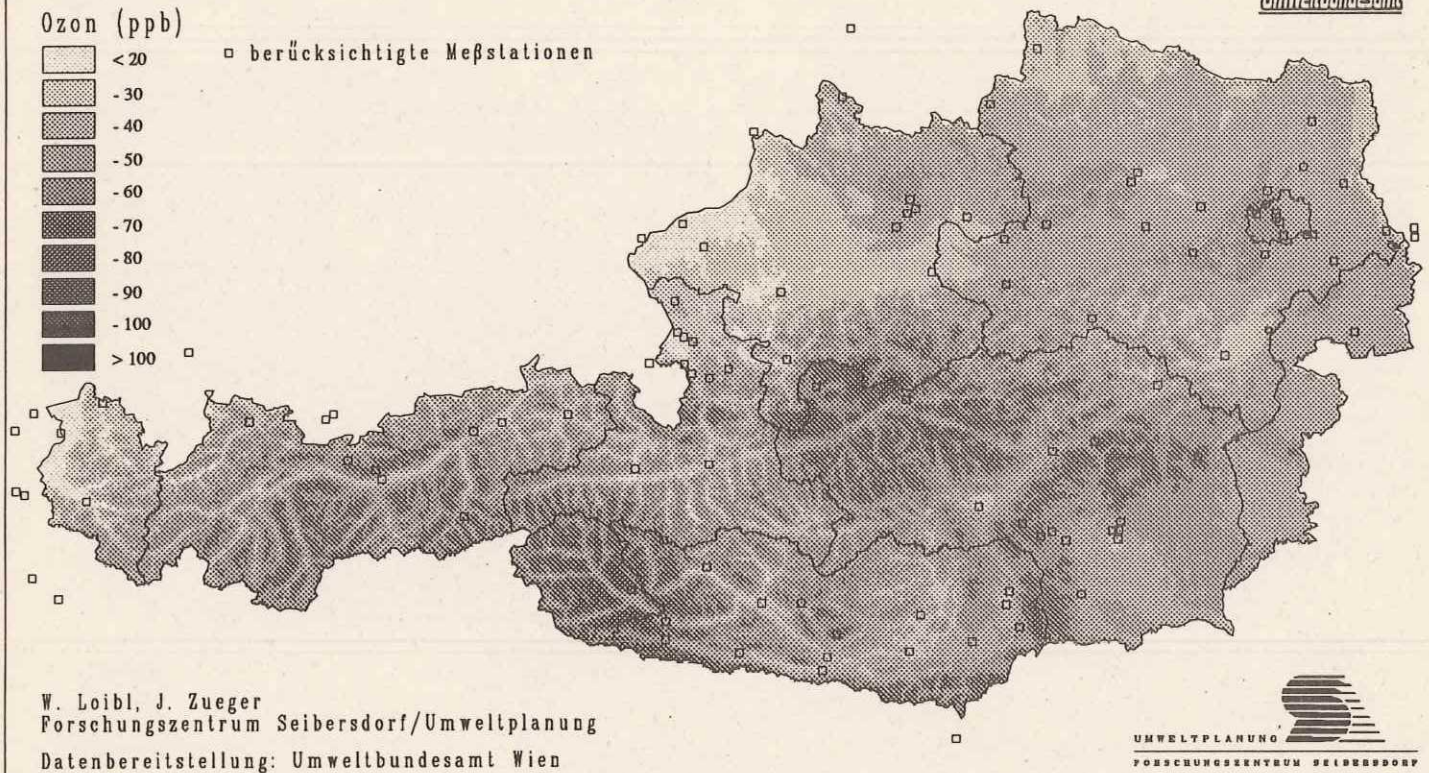


W. Loibl, J. Zueger
 Forschungszentrum Seibersdorf/Umweltplanung
 Datenbereitstellung: Umweltbundesamt Wien

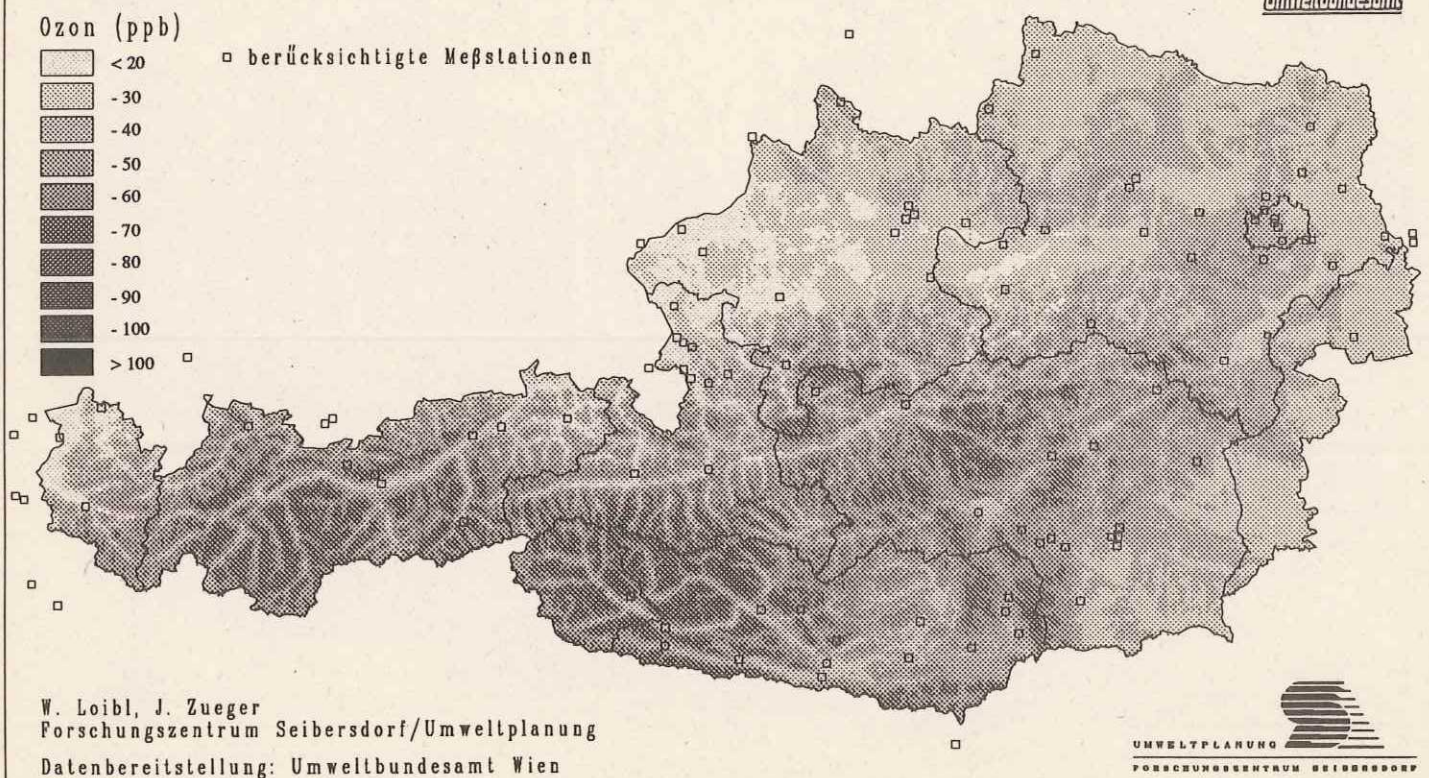
UMWELTPLANUNG
 FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

Abbildung 31

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 9. AUG. 1991
 Höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte
 Zeit: 22.00 Uhr



OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 9. AUG. 1991
 Höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte
 Zeit: 24.00 Uhr



4.4 Ozonbelastungskarten mittels linearer Interpolation der Meßstationsdaten

Neben der Kartenerstellung mittels Höhenabhängigkeitsfunktion und Kriging wurden testweise für den Ozontagesgang des 13. Juli 1991 auch Karten mittels einfacher linearer Interpolation erzeugt. Die folgenden Abbildungen 32 und 33 zeigen zwei Karten aus dieser Serie, die eindeutig nachweisen, daß eine derartige Interpolation keine sinnvollen Ergebnisse liefert. Hierzu wurden zum Vergleich beide Kartenvarianten der Ozonbelastung für zwei Halbstundenmittelwerte eines Tages gegenübergestellt.

Zuallererst fällt auf, daß die lineare Interpolation lediglich bis zur konvexen Hülle der äußersten Meßstationen reicht. Im Südosten des Bundesgebietes fehlen Ozonmeßstationen, ausländische Stationen sind gleichfalls keine vorhandenen, sodaß die Grenze der Interpolation entlang der äußersten Meßpunkte verläuft. Im übrigen Bundesgebiet liegen ausreichend Stationen in Grenznähe bzw. im benachbarten Ausland, sodaß die Interpolation dort bis an die Staatsgrenze reicht. Der Einbezug von ausländischen Stationen im Grenzbereich ist bei der Verwendung der linearen Interpolation daher unbedingt notwendig, um für das gesamte Bundesgebiet interpolieren zu können.

Das wesentliche Beurteilungskriterium für die Karten ist allerdings die Güte des Interpolationsergebnisses. Vor allem in den Regionen, wo zwischen den Meßstationen große Entfernungen und große Höhendifferenzen liegen, weichen die Ergebnisse von der Realität offensichtlich empfindlich ab:

- * Die Abbildung 32 zeigt, daß die höheren Ozonwerte in den Nachtstunden im Bereich der Niederen Tauern mangels geeigneter Bergstationen in diesem Raum nicht entsprechend abgebildet werden. Es wird lediglich ein Gefälle zwischen den Ozonkonzentrationswerten der Meßstationen wiedergegeben. In Nordtirol ist das Ergebnis aufgrund der Stationen im Berg- und Talbereich und der geringen Entfernung zwischen den Stationen entsprechend besser. Dort weichen die Ergebnisse beider Interpolationsverfahren in geringerem Ausmaß voneinander ab. Die untere Karte der Abb. 32, die mit der in dieser Studie entwickelten Methode erzeugt wurde, zeigt einen schlüssigen Verlauf der Ozonkonzentration mit Berücksichtigung des Höheneinflusses.
- * Die Abbildung 33 zeigt die Interpolation für die Ozonbelastung um 14 Uhr. Die Abweichung zwischen den beiden Interpolationsverfahren ist zu dieser Zeit wesentlich geringer. Zur Mittagszeit ist die Höhenabhängigkeit der Ozonkonzentration ausgesetzt; eine lineare Interpolation auch quer über große Gebirgszüge hinweg liefert bei entsprechender Stationszahl realistische Ergebnisse.

Daraus folgt, daß ein lineares Interpolationsverfahren nur dann zulässige Ergebnisse liefert, wenn ein dichtes Meßnetz jeweils in den Tal- und Bergregionen vorhanden ist und weiters eine Einschränkung auf Tageszeiten mit geringer Höhenabhängigkeit erfolgt.

Für Räume ohne ausgeprägte Niveauunterschiede - wie Holland oder Norddeutschland - kann angenommen werden, daß die lineare Interpolation bei ausreichender Stationsdichte für den gesamten Tagesgang ausreichend repräsentative Ergebnisse liefert. Für Österreich liefert die lineare Interpolation zur flächigen Darstellung der Ozonkonzentration hingegen keine der Realität entsprechenden Resultate.

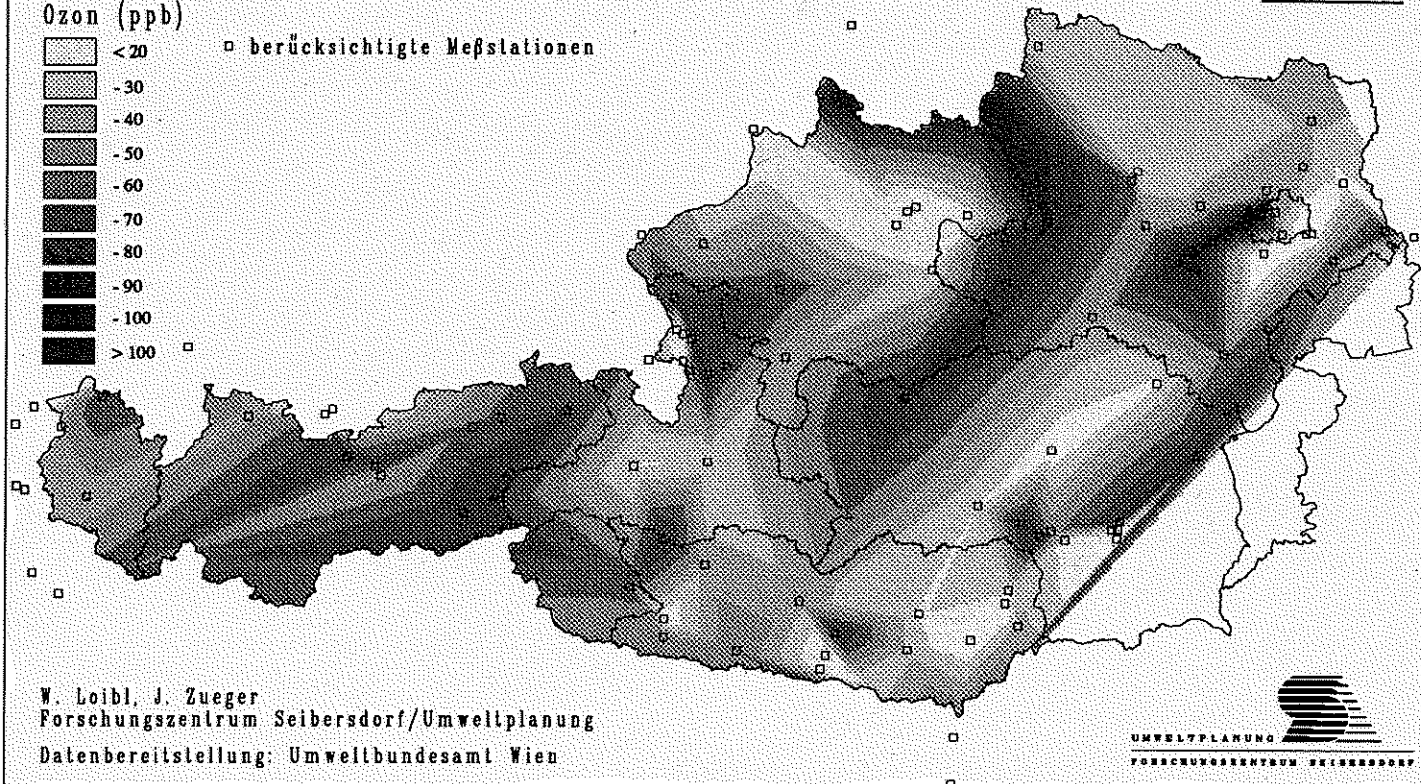
Abb. 32: Karte lineare Interpolation - Kriging 2:00

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991

Linear interpolierte Werte

Zeit: 2.00 Uhr

Ozon (ppb)



W. Loibl, J. Zueger
Forschungszentrum Seibersdorf/Umweltplanung
Datenbereitstellung: Umweltbundesamt Wien

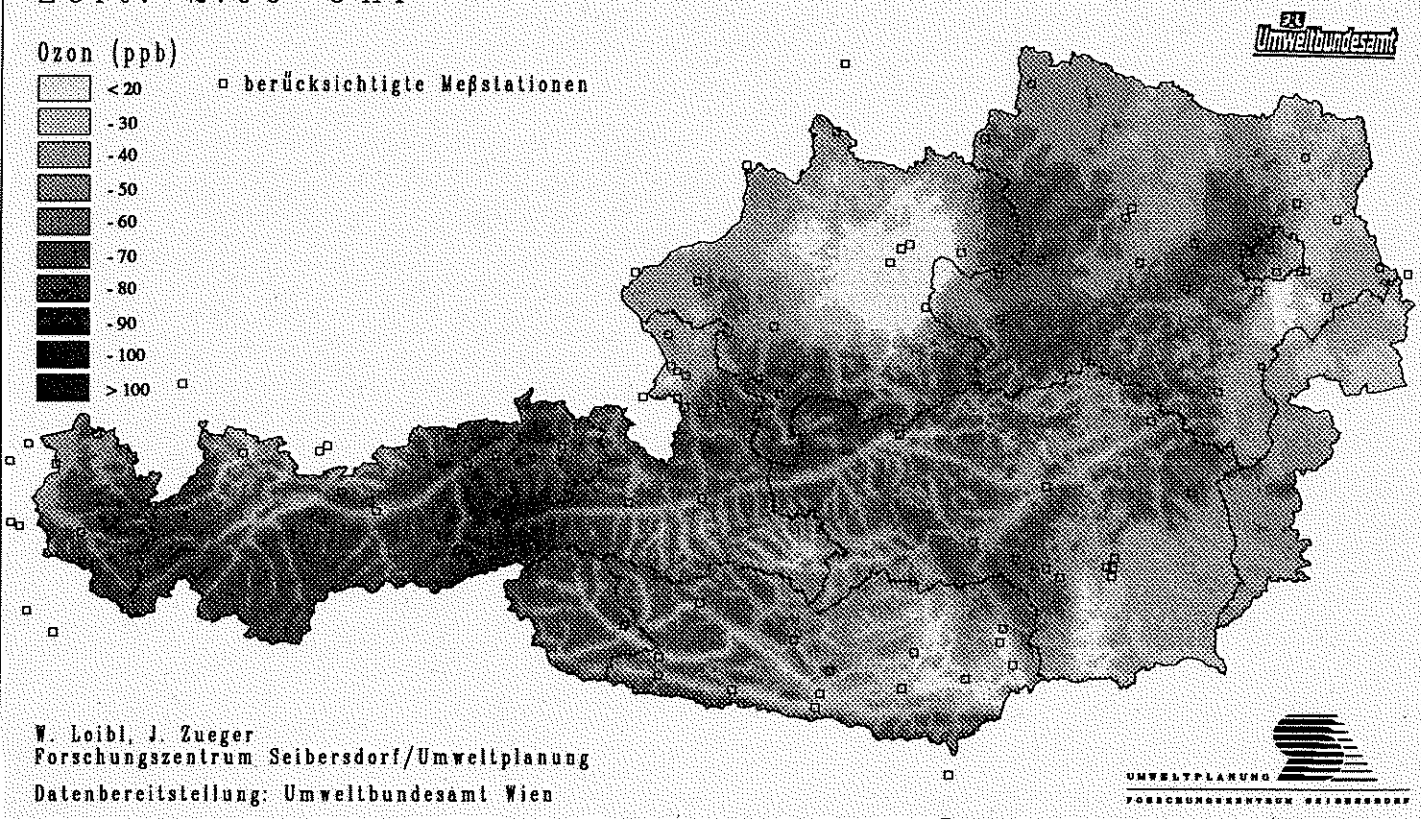
UMWELTPLANUNG
FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991

Höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

Zeit: 2.00 Uhr

Ozon (ppb)



W. Loibl, J. Zueger
Forschungszentrum Seibersdorf/Umweltplanung
Datenbereitstellung: Umweltbundesamt Wien

UMWELTPLANUNG
FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF

Abb. 33: Karte lineare Interpolation - Kriging 14:00

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991

Linear interpolierte Werte

Zeit: 14.00 Uhr

Umweltbundesamt

Ozon (ppb)

< 20

□ berücksichtigte Meßstationen

- 30

- 40

- 50

- 60

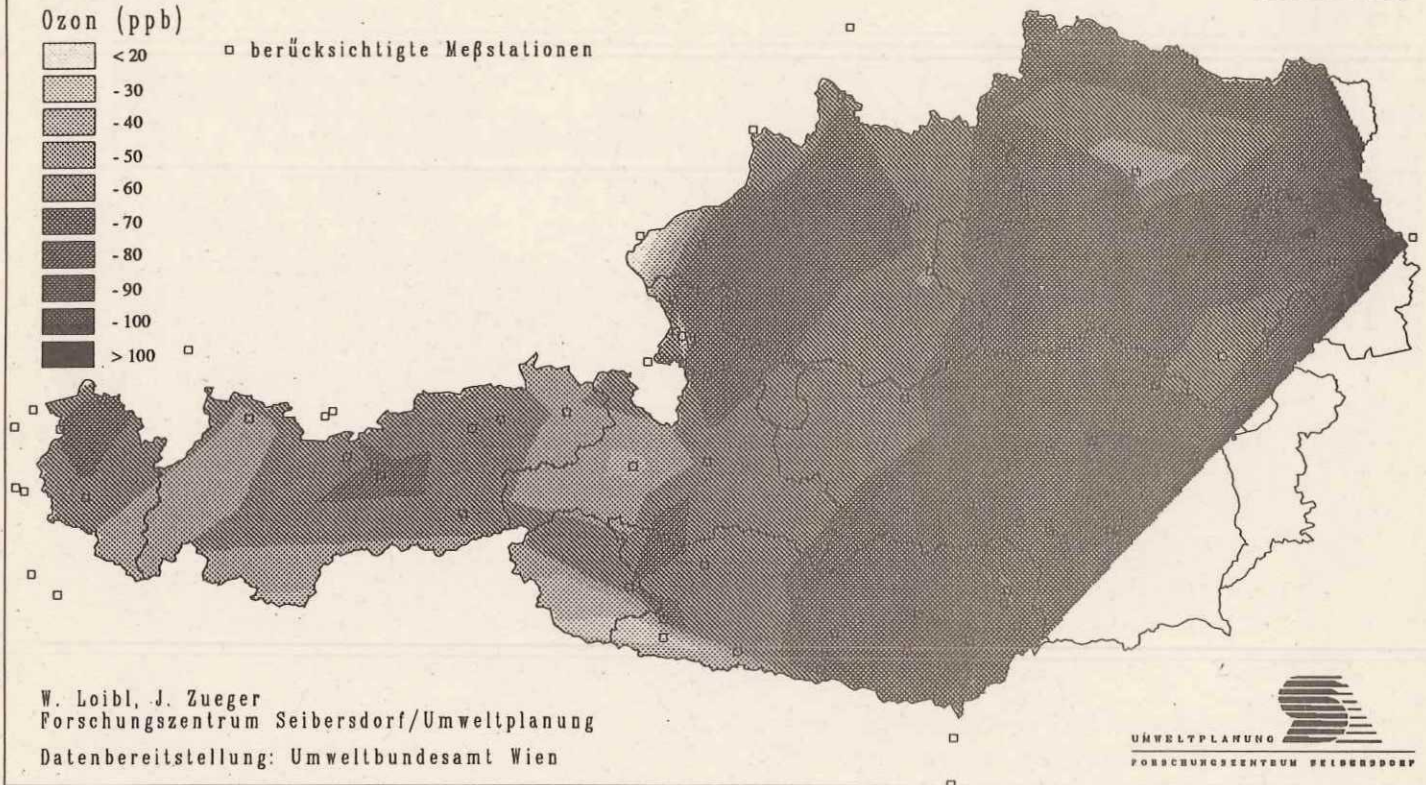
- 70

- 80

- 90

- 100

> 100



W. Loibl, J. Zueger
Forschungszentrum Seibersdorf/Umweltplanung
Datenbereitstellung: Umweltbundesamt Wien

Umweltplanung
Forschungszentrum Seibersdorf

OZONKONZENTRATIONSVERTEILUNG AM 13. JULI 1991

Höhenkorrigierte, mittels Kriging interpolierte Werte

Zeit: 14.00 Uhr

Umweltbundesamt

Ozon (ppb)

< 20

□ berücksichtigte Meßstationen

- 30

- 40

- 50

- 60

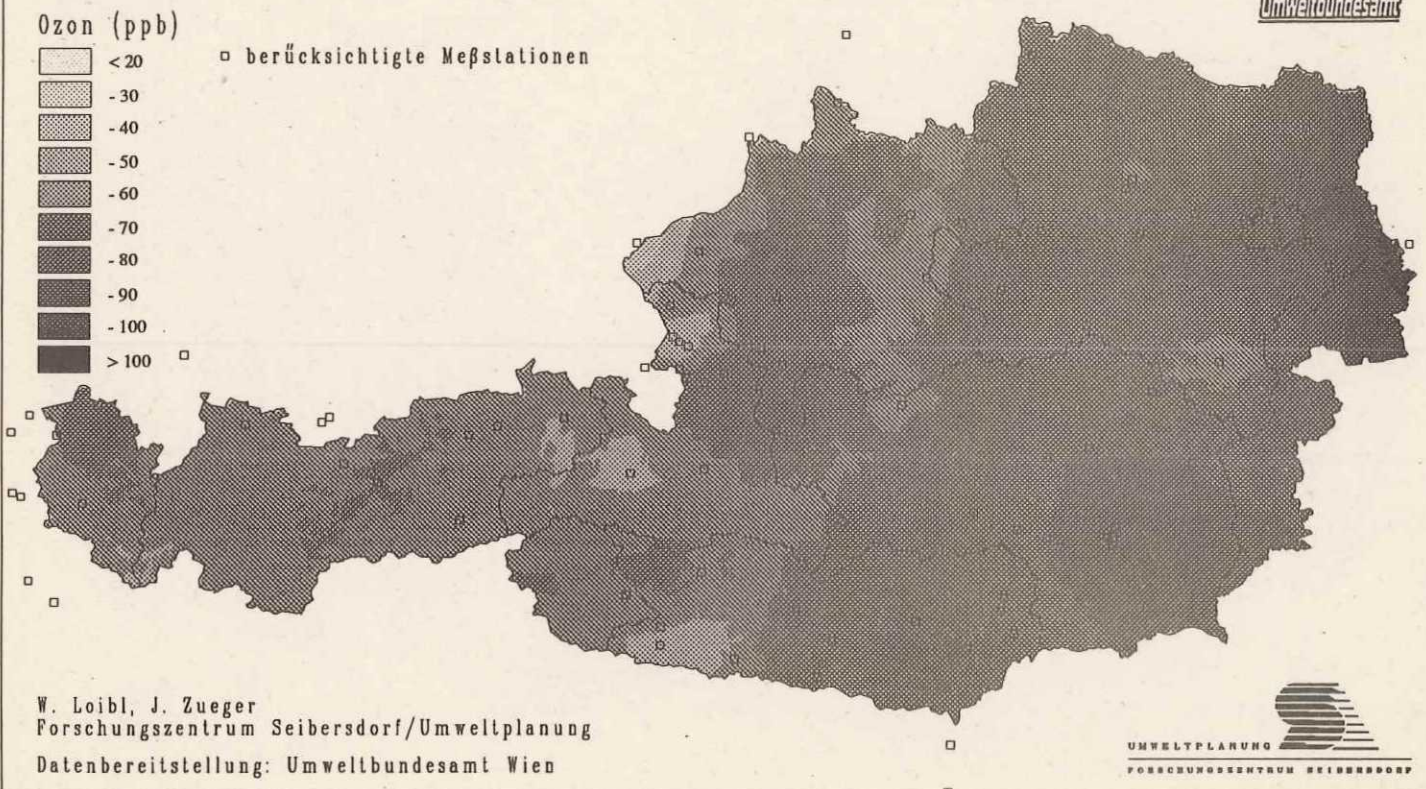
- 70

- 80

- 90

- 100

> 100



W. Loibl, J. Zueger
Forschungszentrum Seibersdorf/Umweltplanung
Datenbereitstellung: Umweltbundesamt Wien

Umweltplanung
Forschungszentrum Seibersdorf

5. Resumé und Ausblick

Das Verfahren kann nun als weitgehend ausgereift für die routinemäßige Erstellung von Ozonbelastungskarten angesehen werden. Der zeitliche Aufwand pro Karte beträgt derzeit etwa 20 Minuten, wobei den größten Anteil allerdings der Datentransfer zwischen den verschiedenen Rechnern und die Datenkonversion für die eingesetzten Programme erfordert:

PC	- Datenübernahme, Ergänzung mit Meßpunktkoordinaten
↓	
Workstation	- Normkonzentrationsberechnung aus DHM, Residuenberechnung
↓	
PC	- Kriging der Residuen
↓	
Workstation	- Vereinigung der Normkonzentrations- und Residuenverteilung , Kartenerstellung
↓	
Drucker/Plotter	

Derzeit ist es noch notwendig, daß eine mit der Theorie und Praxis des Kriging vertraute Fachkraft die Kartenproduktion begleitet, um die Variogrammfunktion anzupassen. Die Festlegung der Variogramm- und Krigingparameter erfordern noch einiges an interaktiver Steuerung, um eine gültige Interpolation zu erzielen.

Für den zukünftigen routinemäßigen Einsatz der Kartenerstellung sollte das Verfahrens ohne Mitwirken eines Statistikers lauffähig sein und noch rascher zum gewünschten Ergebnis führen. Hierzu sind folgende Weiterentwicklungen notwendig :

- * Überprüfung der Höhenabhängigkeitsfunktion anhand unterschiedlicher Ozonepisoden über zumindest 2 Jahre und auch Perioden schwächerer Ozonkonzentration
- * weitere Automatisierung des Verfahrens im Hinblick auf selbständige Parametrisierung der Interpolationsprozedur
- * Anpassung und Vereinigung der unterschiedlichen Programme auf einem Rechner

Die Karten können bereits jetzt als Postscript-Dateien beliebig per Datenfernübertragung versendet werden und nach weiterer Konversion bei Bedarf in öffentliche Informationsmedien integriert werden. Auf diese Weise kann eine umfassende Information über die Luftbelastung mit Ozon flächendeckend für Österreich bereitgestellt werden, sodaß dem Ozongesetz und dessen Verordnungen bestmöglich entsprochen werden kann. Im Extremfall kann die aktuelle Ozonverteilung halbstündlich aktualisiert in Kartenform zur Verfügung stehen.

Quellenverzeichnis

Akin H., Siemens H. (1988) Praktische Geostatistik, Berlin

Broder B., Gyax H.A. (1985) The Influence of locally induced wind systems and formation on the effectiveness of nocturnal dry deposition of ozone, in: Atmos. Environment 19, 1985, pp.1627-1637

Burrough P.A. (1990): Environmental Assessment, Workshop Paper, EGIS 1990, Amsterdam

Dutter R. (1985) Geostatistik , Eine Einführung mit Anwendungen; Stuttgart

Englund E. (1988) GEO-EAS User's Guide, U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Monitoring Systems Lab. EPA/600/4-88/033a, Las Vegas 1988

ESRI - Environmental Systems Research Institute (1991); ARC/INFO Command Reference Guides .

Fahrmeier L., Hamerle A. (Hrsg) (1984) Multivariate statistische Verfahren
Berlin, New York

Geymayer G. (1992) Zeitreihen der Ozonmeßdaten, unveröff. bereitgestellt vom
Umweltbundesamt Wien

Hartigan J.A. (1975) Custering Algorithms, New York

Kopcsa A. (1990) Statistische Analyse regionalisierter Variablen. ELA-Bericht Nr. 33, OEFZS

Loibl W. (1992) Flächenhafte Ozonverteilung in Österreich für Ausgewählte Ozonepisoden
1991, Plausibilitätsanalyse der Ozonmeßdaten - Zwischenbericht OEFZS A-2334

Loibl W., Orthofer R. et al. (1991) Ozon in Österreich Teil 2: Verteilungsmodelle und
Flächeninterpolationsverfahren zur synoptischen Darstellung in Kartenform, OEFZS-A-2177

Orthofer R., Loibl W. et al. (1990) Flüchtige Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe in Österreich:
Regionalisierte Emissionsinventur und Strategien zur Emissionsminderung - Endbericht.
OEFZS-A- 2065

Puxbaum H., Gabler K., Smidt S., Glattes F. (1991) A One Year Record of Ozone Profiles in
an Alpine Valley in: Atmos. Environment 25A-9, 1991, pp 1759 - 1666

Rau G., Kolb H. (1991) Ozon in Österreich Teil 1: Datenanalyse

SAS Institute (1985) SAS Users Guide Statistics, Version 5 Edition, Cary, NC, USA

Umweltbundesamt (1992) Karte der Ozonüberwachungsgebiete

Wilkinson L. (1990) SYSTAT: The System for Statistics; Evanston, IL, USA

ANHÄNGE

ANHANG 1

Stationsübersicht

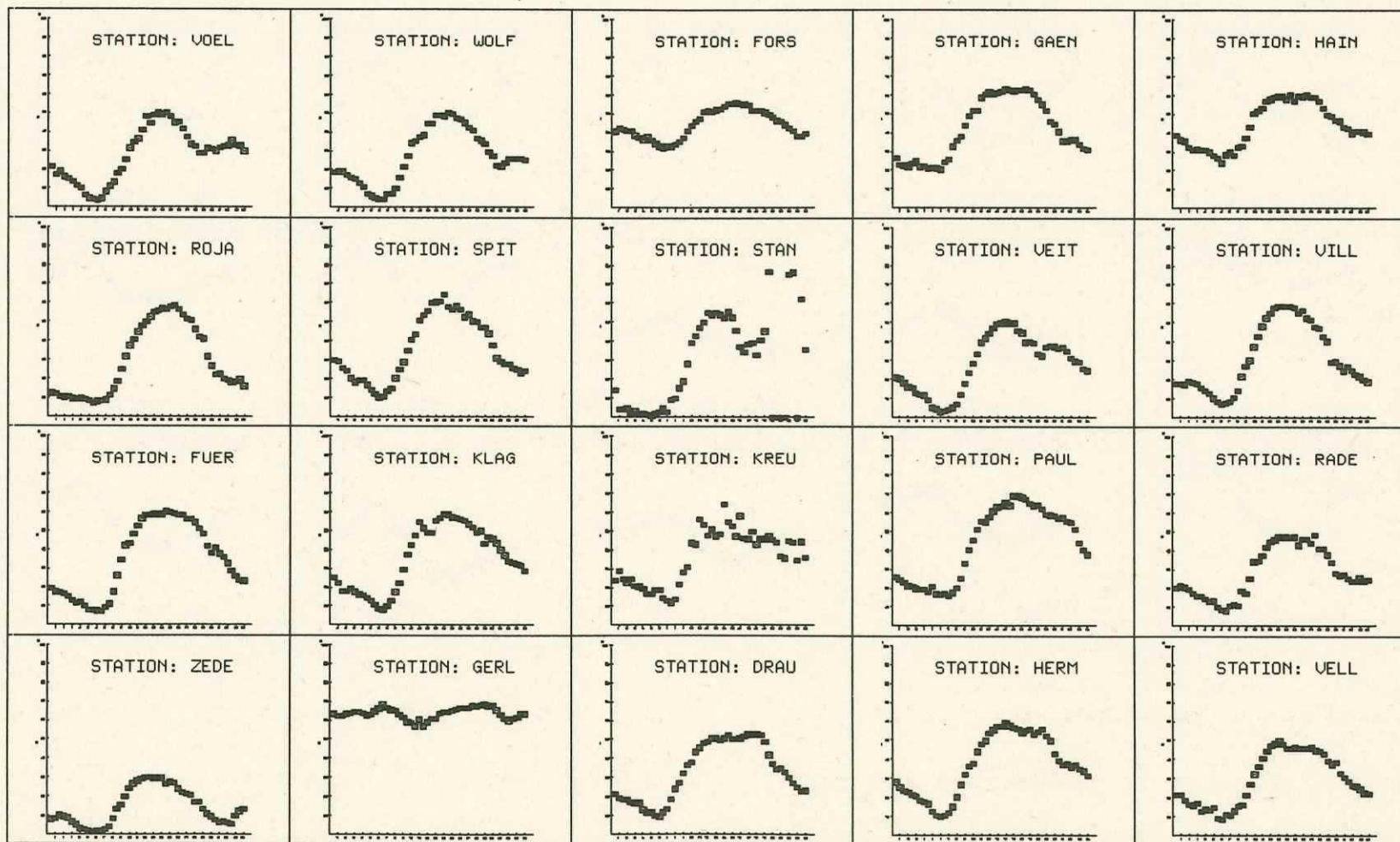
See- Code	höhe	Standort	Standorttyp
ILLM	117	ILLMITZ	Grünland, in der Nähe Agrargebiet
FUER	515	FÜRNITZ - BAHNHOFSTRASSE	Industriegebiet, Siedlungsgebiet
GERL	1900	GERLITZEN - STEINTURM	Erholungs- und Schigebiet
HERM	580	HERMAGOR - GAILTALSTRASSE	Städtisches Wohngebiet
KLAG	440	KLAGENFURT - KOSCHATSTRASSE	Städtisches Wohngebiet, Autobahnzubringer
ROJA	420	KLEIN ROJACH - OZONSTATION	Ackerfläche, Ländliches Wohngebiet
KREU	550	KREUZBERGL - OZONSTATION	Erholungsgebiet, Wald
DRAU	612	OBERDRAUBURG - BUNDESSTRASSE	Städtisches Wohngebiet
VELL	686	OBERVELLACH - OZONSTATION	Städtisches Wohngebiet
RADE	720	RADENTHEIN EVANGELISCHE KIRCHE	Siedlungsgebiet
SPIT	560	SPITTAL - 10.OKTOBERSTRASSE	Städtisches Wohngebiet
STAN	430	ST.ANDRÄ - VOLKSSCHULE	Städtisches Wohngebiet
PAUL	540	ST.PAUL - HERZOGBERG	Land- und forstwirtschaftlich genutztes Gebiet
VEIT	475	ST.VEIT - OKTOBERPLATZ	Städtisches Wohngebiet
VILL	490	VILLACH - TIROLERBRÜCKE	Städtisches Wohngebiet
VORH	1020	VORHEGG	Agrargebiet, Weideland, Streusiedlung
VOEL	460	VÖLKERMARKT - UMFHRUNGSSTRASSE	Städtisches Wohngebiet
WOLF	460	WOLFSBERG - HAUPTSCHULE	Ballungsgebiet
EXEL	575	EXELBERG	Grünland, Wald
GAEN	161	GÄNSERNDORF	Agrargebiet
HAIN	165	HAINBURG	Parkplatz, Agrargebiet
ROTH	556	IRNFRITZ	Agrargebiet (ländlich)
JOAC	880	JOACHIMSBERG	Agrarfläche
KLOS	200	KLOSTERNEUBURG	Stadtgebiet
KOLL	465	KOLLMITZBERG	Weideland
KREM	190	KREMS	Sportanlage im Stadtgebiet
MIST	250	MISTELBACH	Agrargebiet
MOED	210	MÖDLING	Sportanlage im Stadtgebiet
NEBE	1017	NEBELSTEIN	Wald, Forstwirtschaft
OSTR	570	OSTRONG	Agrar- und Forstgebiet
FORS	581	SCHÖPFL FORSTHOF	Agrargebiet und Weideland
SCHW	158	SCHWECHAT	Sportanlage im Stadtgebiet
STIX	210	STIXNEUSIEDL	Ortsgebiet (ländlich) Agrarfläche
STRE	220	STREITHOFEN	Agrargebiet

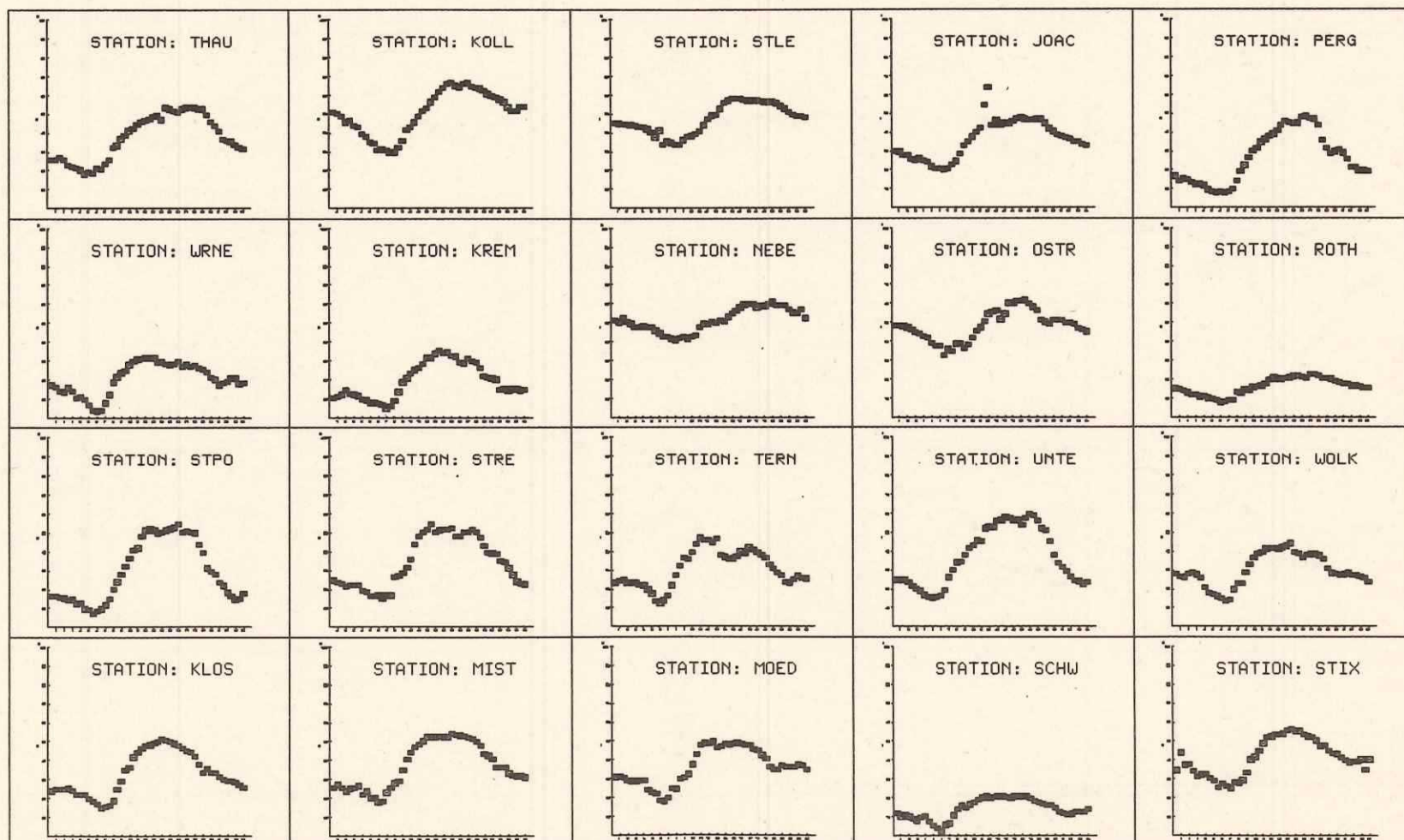
STPO	270	ST. PÖLTEN	Sportanlage im Stadtgebiet
STLE	790	ST.LEONHARD AM WALD	Agrargebiet
TERN	380	TERNITZ	Industriegebiet
THAU	560	THAURES	Agrargebiet, Wald
UNTE	194	UNTERBERGERN	Agrargebiet
WOLK	190	WOLKERSDORF	Agrargebiet am Ortsrand
WRNE	265	WR.NEUSTADT	Sportanlage im Stadtgebiet
BADI	460	BAD ISCHL	Wohngebiet
BRAU	363	BRAUNAU	Nahbereich Agrargebiet, in 500-800m Entfernung Industrie und Stadt
LENZ	510	LENZING	Wohngebiet, aufgelockerte Bebauung
LIBE	274	LINZ-BERUFSSCHULZENTRUM	Stadtwohngebiet, Industrie ab 700-800m
LITU	255	LINZ-24ER-TURM	überwiegend Autobahn, 10-20 m Abstand (in 250 m Wohngebiet)
MATT	438	MATTIGHOFEN	Siedlungsgebiet
PERG	247	PERG	Agrargebiet
PRAC	600	PRACHATICE	Wohngebiet (Betrieb in ca. 500m Entfernung)
SCHO	920	SCHÖNEBEN	Wald, Wiesen
STEY	307	STEYR	Wohnungsgebiet in Vororten
STGG	335	STEYREGG-WEIHLEITEN	Landwirt.u.Einfamhäuser 1-2 km entfernt v.Industrie(VÖEST,Chemie Linz)
TRAU	274	TRAUN	Wohngebiet in Vororten
HREH	435	HALLEIN-REHHOFSIEDLUNG	Landwirtschaft und aufgelockertes Wohngebiet
HWIN	650	HALLEIN-WINTERSTALL	Wald, Industrienähe
HINT	840	HINTERSEE	Wald, Forst
HAUN	730	NUSSDORF AM HAUNSBERG	Agrargebiet, Wald
GAIS	1010	SALZBURG GAISBERG ZISTELALM	Wiese,Wald
SLEH	455	SALZBURG-LEHEN	Dichtes gemischtes Wohngebiet
SALZ	430	SALZBURG-STERNECKSTRASSE	Stadtgebiet,gemischtes Wohngebiet,Verkehrsbeeinflussung
SONN	3105	SONNBLICK	Ödland, Gletscher
STJO	620	ST.JOHANN BEZIRKSHAUPTMANNSSCHAF	Bezirksstadt, gemischtes Wohngebiet
KOLO	1020	ST.KOLOMAN - KLEINHORN	Agrargebiet
ZEDE	1205	ZEDERHAUS	Dorf, Land- und Forstwirtschaft, nahe Tauernautobahn
ZELL	780	ZELL AM SEE BEZIRKSHPTM.	Fußgängerzone
DEUT	357	DEUTSCHLANDSBERG	Städtisches Wohngebiet
GABE	1549	GABERL	Grünland, Alm
PLAT	661	GRAZ PLATTE	Wald, Wiese, Aussichtsturm
BERG	450	GRAZ SCHLOSSBERG	Wald, Park im Stadtzentrum
SUED	345	GRAZ SÜD	Vorort eines städtischen Ballungsraumes, Garten
WEST	367	GRAZ WEST	Vorort eines städtischen Ballungsraumes, locker bebaut

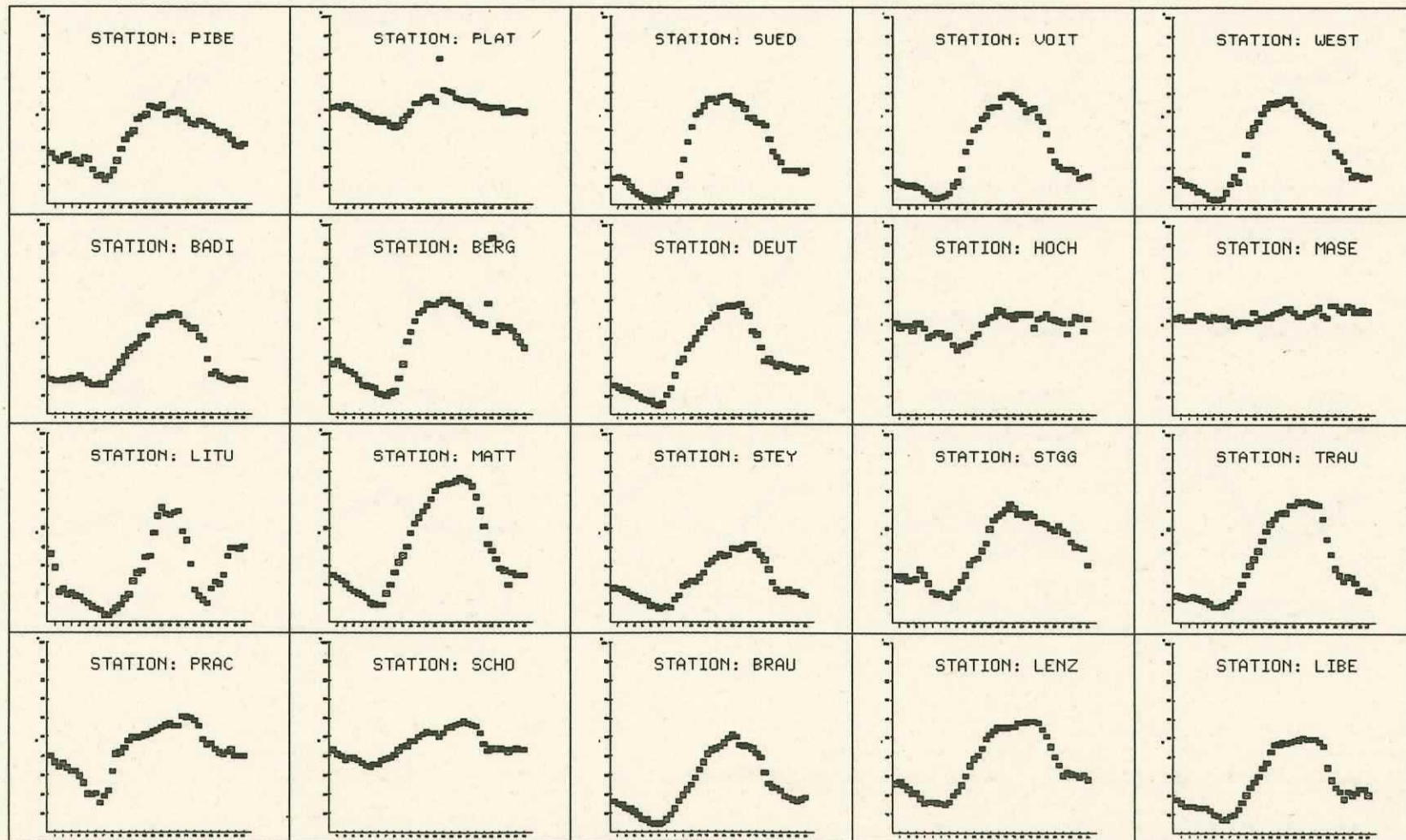
GRUN	954	GRUNDLSEE	Forst, Wald
HOCH	900	HOCHGÖSSNITZ	Grünland, Wald
JUBU	730	JUDENBURG	Städtisches Wohngebiet
LEOB	540	LEOBEN	Städtisches Wohngebiet
MASE	1260	MASENBERG	Grünland, Wald
MURZ	720	MÜRZZUSCHLAG	Städtisches Wohngebiet
PIBE	600	PIBER	Grünland
RENN	1629	RENNFELD	Grünland, Wald
SALB	1200	SALBERG	Grünland, Wald
VOIT	375	VOITSBERG	Städtisches Wohngebiet
GAIM	1250	GAIMBERG ZABERNIG	Wald
HOEF	880	HÖFEN LÄRCHBICHL	Wald
INNS	570	INNSBRUCK-ANDECHSSTRASSE	Städtisches Wohngebiet
KARW	1730	KARWENDEL WEST	Grünland
KRAM	600	KRAMSACH ANGERBERG	Agrargebiet
KUFS	520	KUFSTEIN BAUMGARTNERSTRASSE	Stadtgebiet
NORD	1960	NORDKETTE	Hochalpine Felsregion
TJOH	660	ST.JOHANN HEIMATMUSEUM	Städtisches Wohngebiet, nahe stark frequentierter Verkehrsfläche
WORG	510	WÖRGL - STELZHAMERSTRASSE	Städtisches Wohngebiet
ZILL	1910	ZILLERTALER ALPEN	Hochalpine Felsregion
BLUD	580	BLUDENZ-RATHAUS	Städtisches Wohngebiet
LUST	410	LUSTENAU WIESENRAIN	Ortsrand
SULZ	1020	SULZBERG GMEIND	Grünland, in weiterer Entfernung Siedlung
JAEG	520	HERMANNSKOGEL	Wald, nahe städtischer Ballungsraum
LAAB	250	LAAERBERG	Randgebiet eines städtischen Ballungsraumes
LOBA	150	LOBAU	Randgebiet eines städtischen Ballungsraumes, Wald
STEF	173	STEPHANSPLATZ KERZENKAMMER	Städtischer Ballungsraum
AFL	188	WÄHRINGER STRASSE	Städtischer Ballungsraum, verkehrsfern
ZAMG	207	ZENTRALANSTALT	Stadtrand Villenviertel

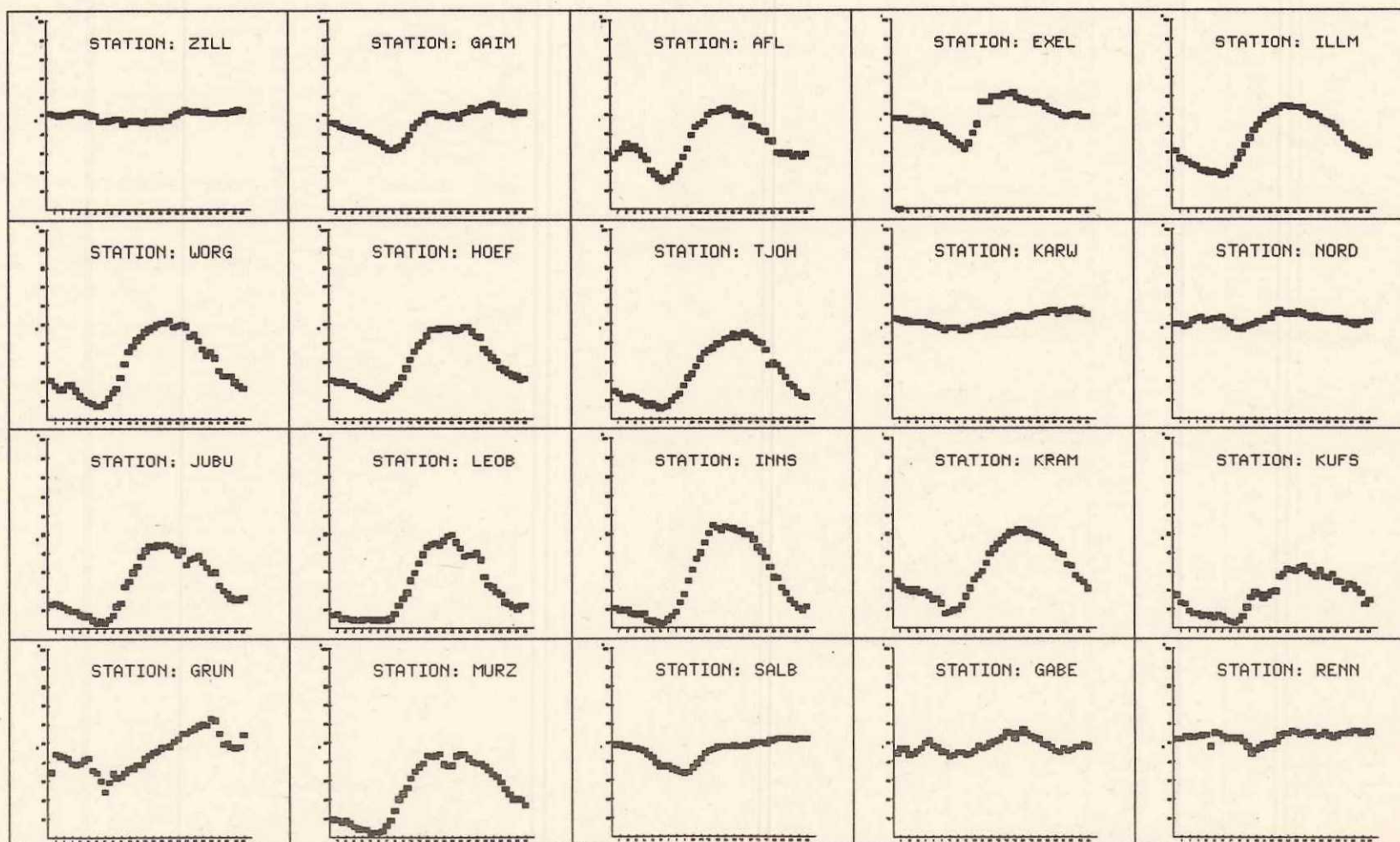
ANHANG 2

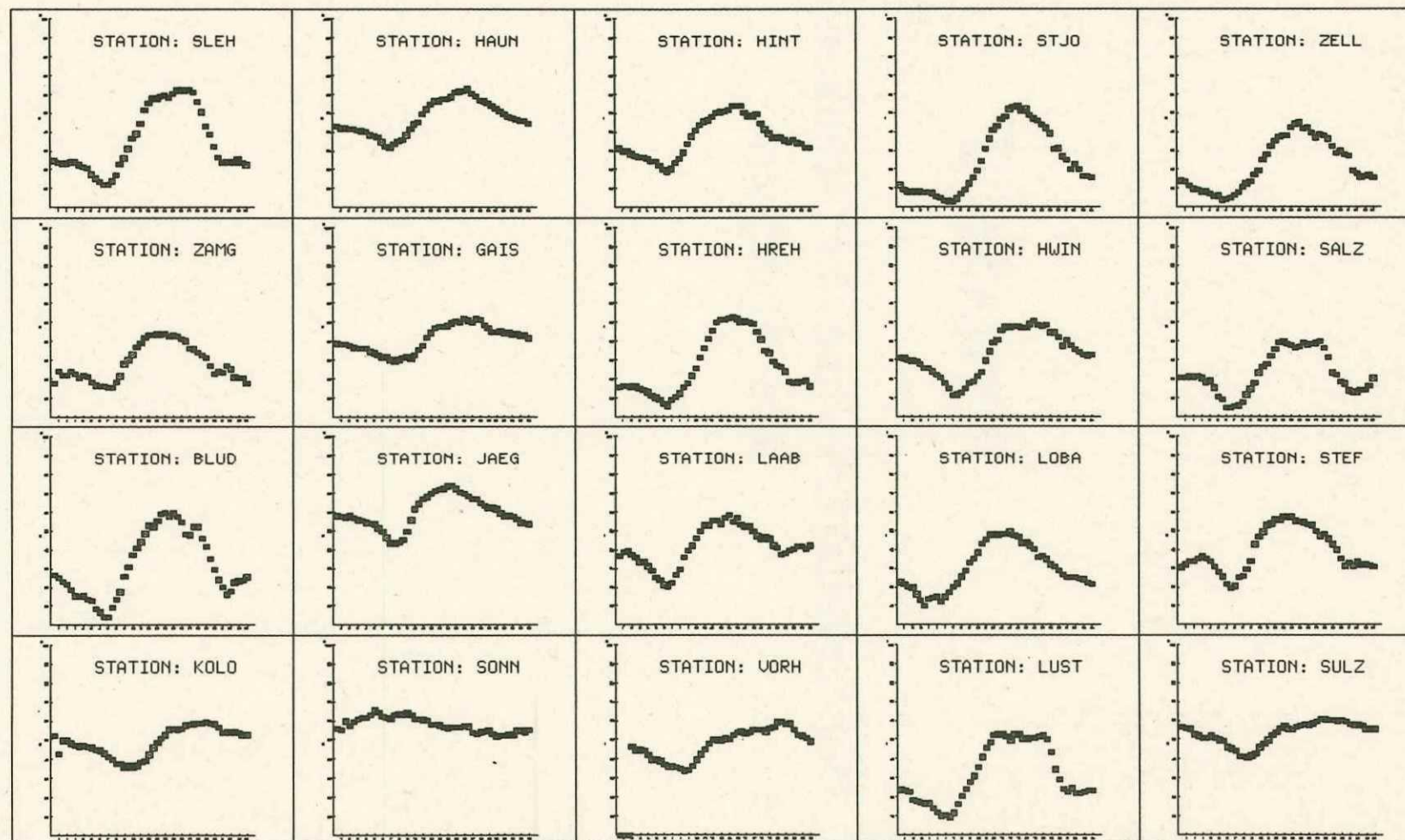
**Durchschnittlicher Ozon-Tagesgang
(9 Tage) aller Stationen**





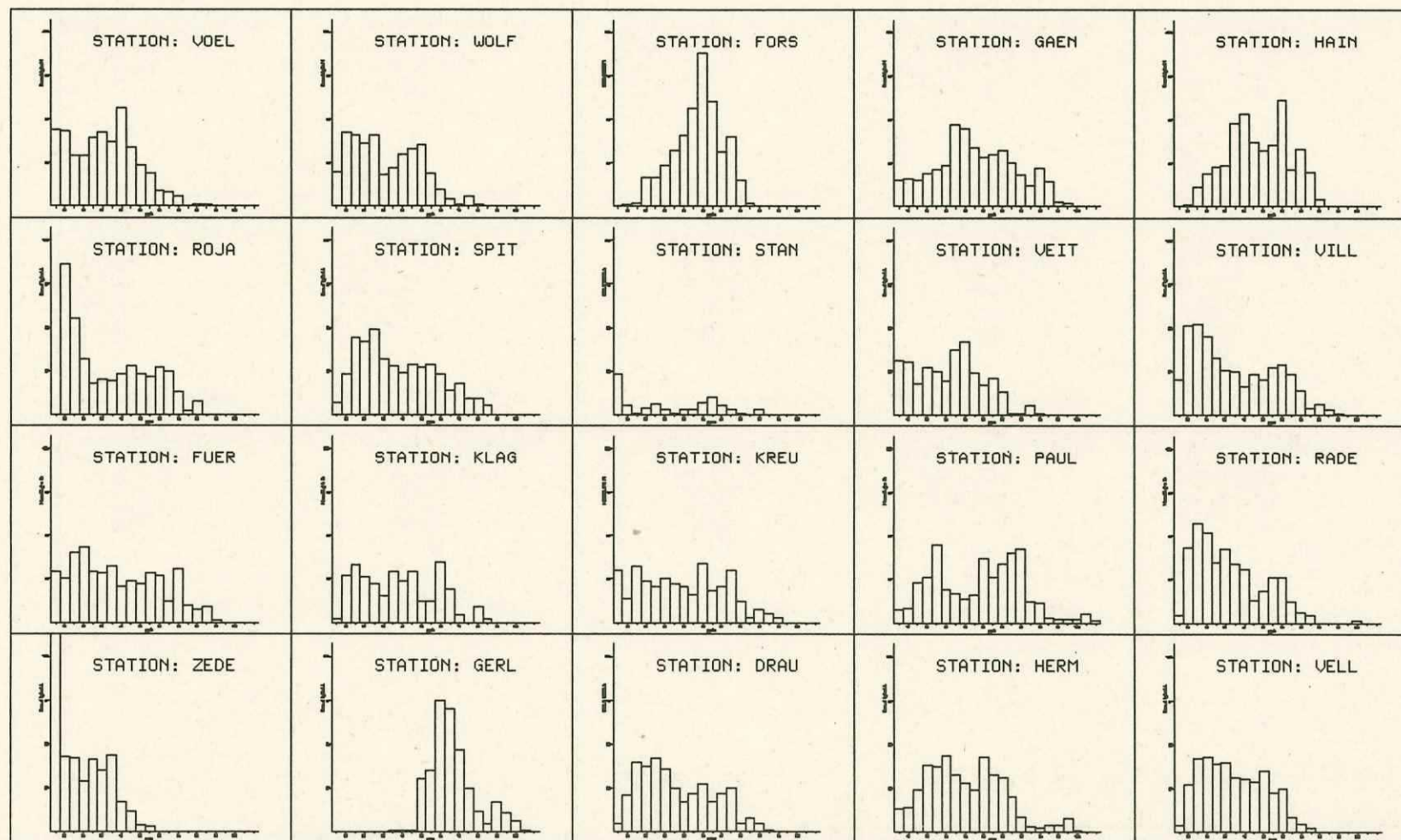


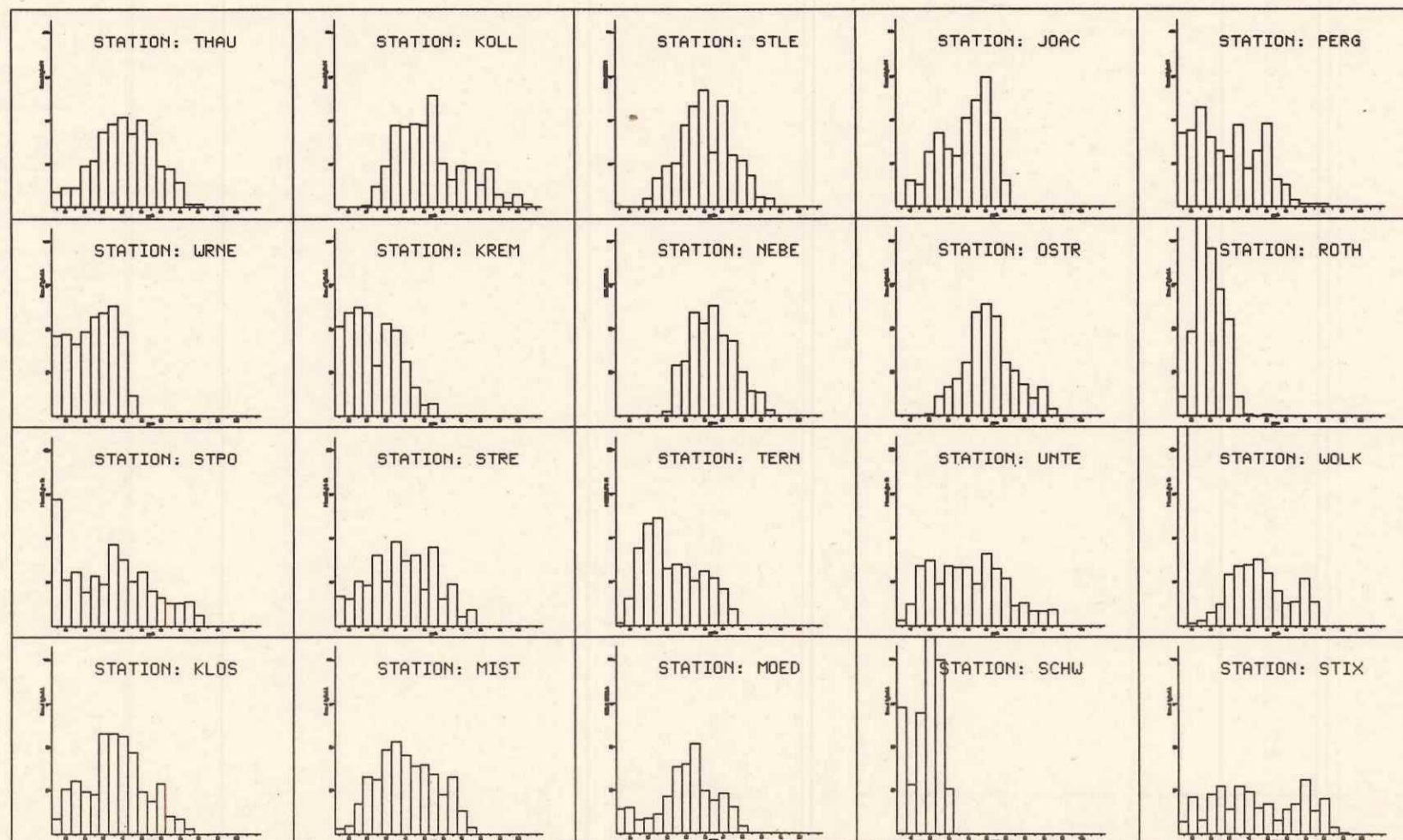


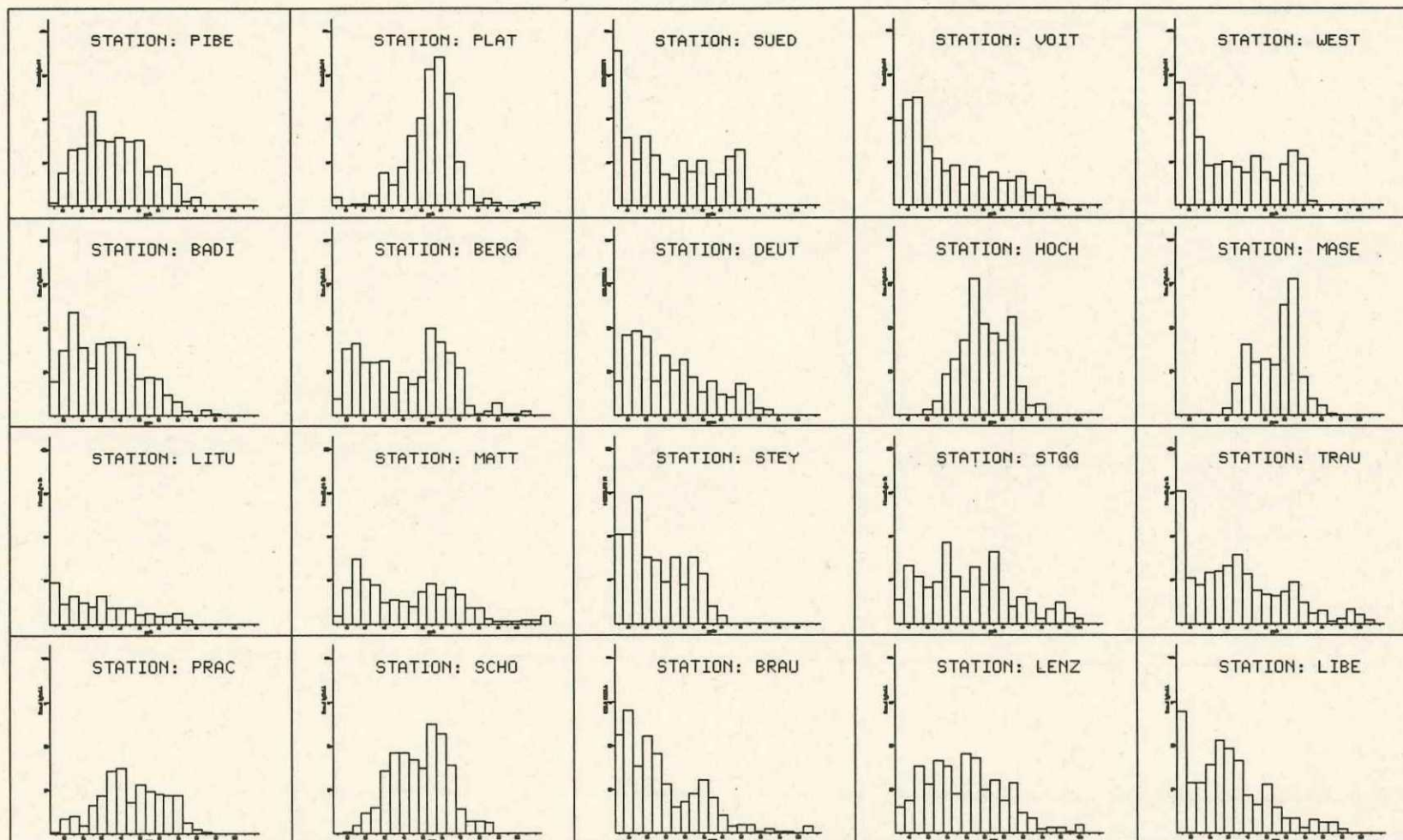


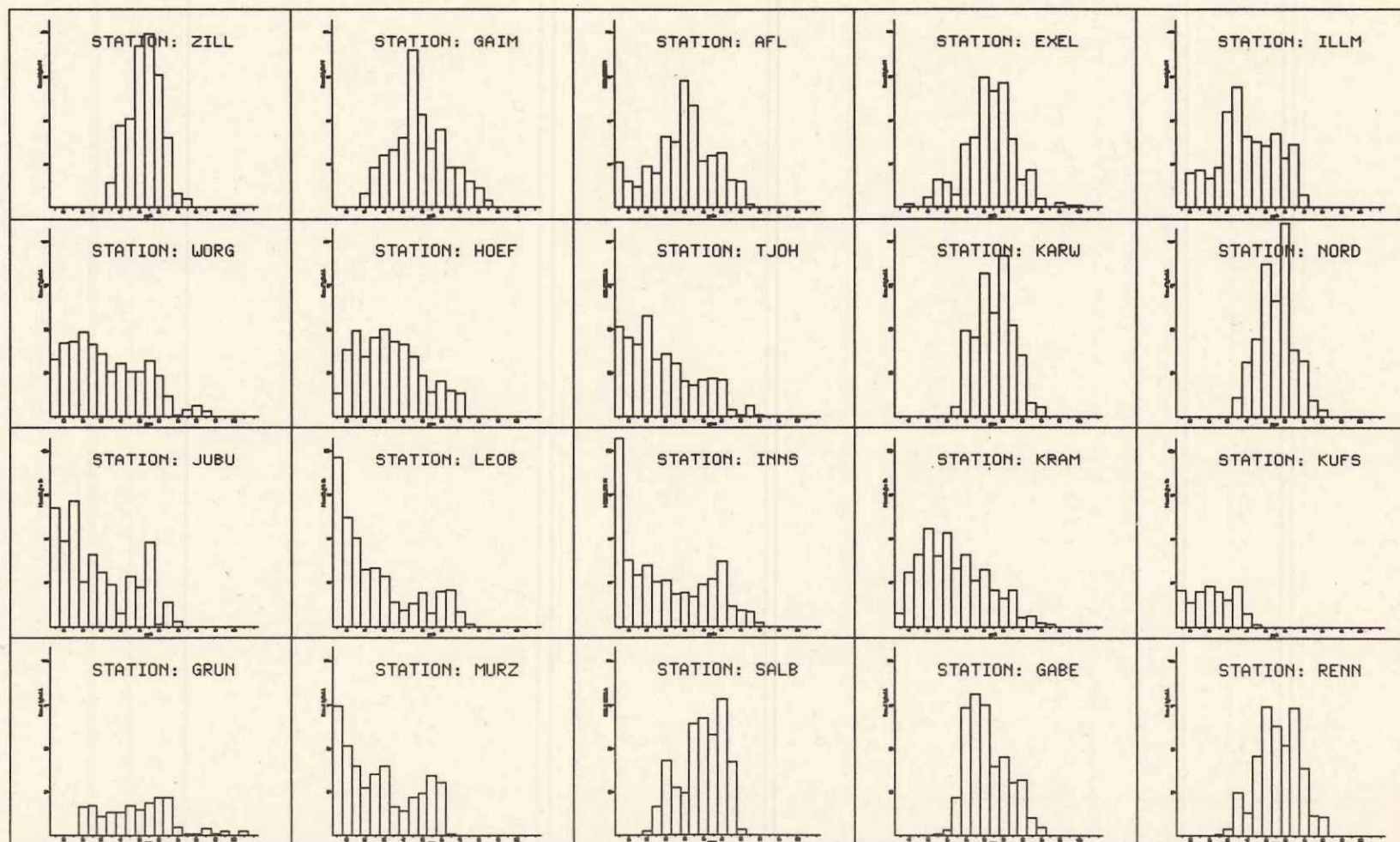
ANHANG 3

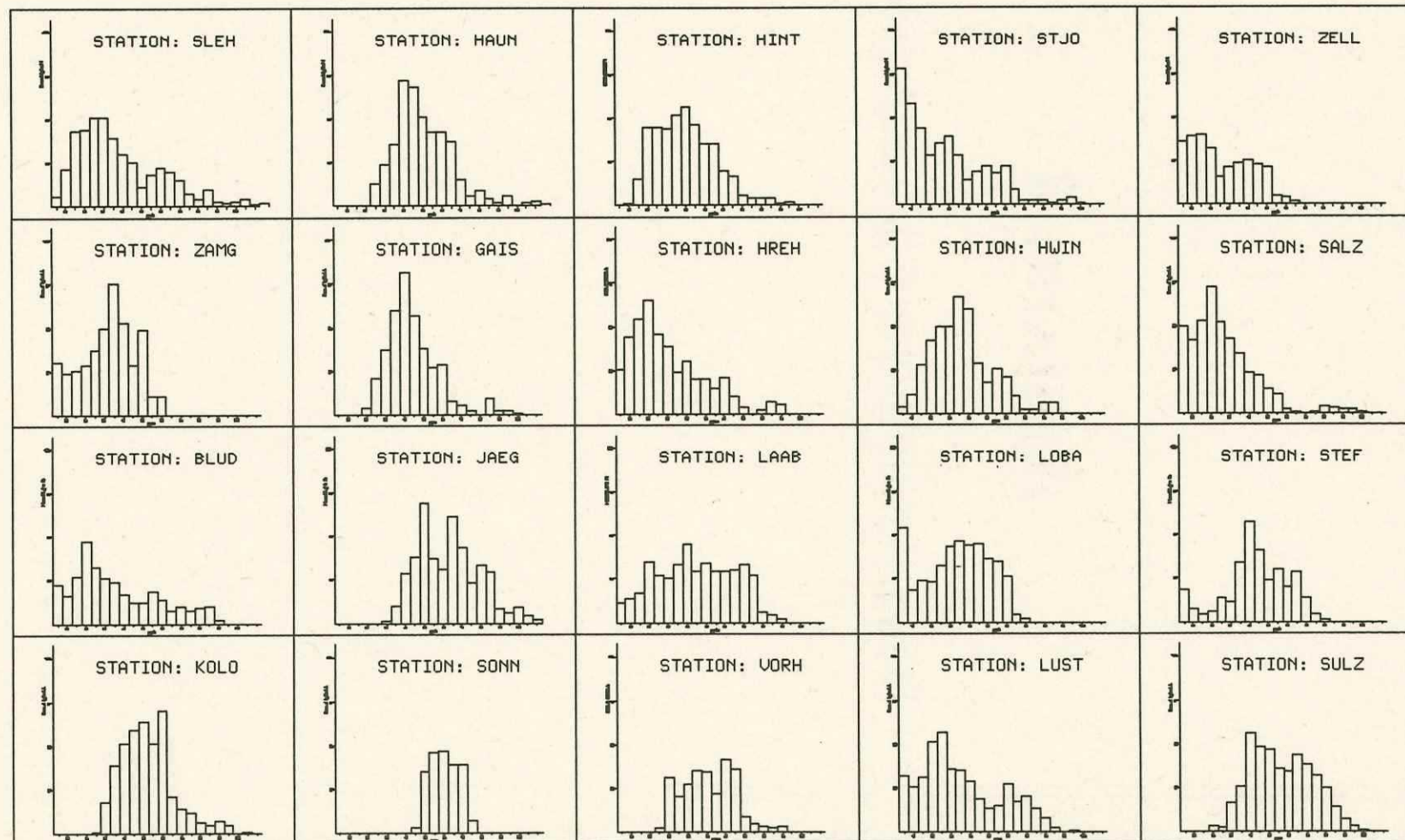
Häufigkeitsverteilung der Ozonkonzentration aller Stationen











ANHANG 4

Dendrogramm der Clusteranalyse

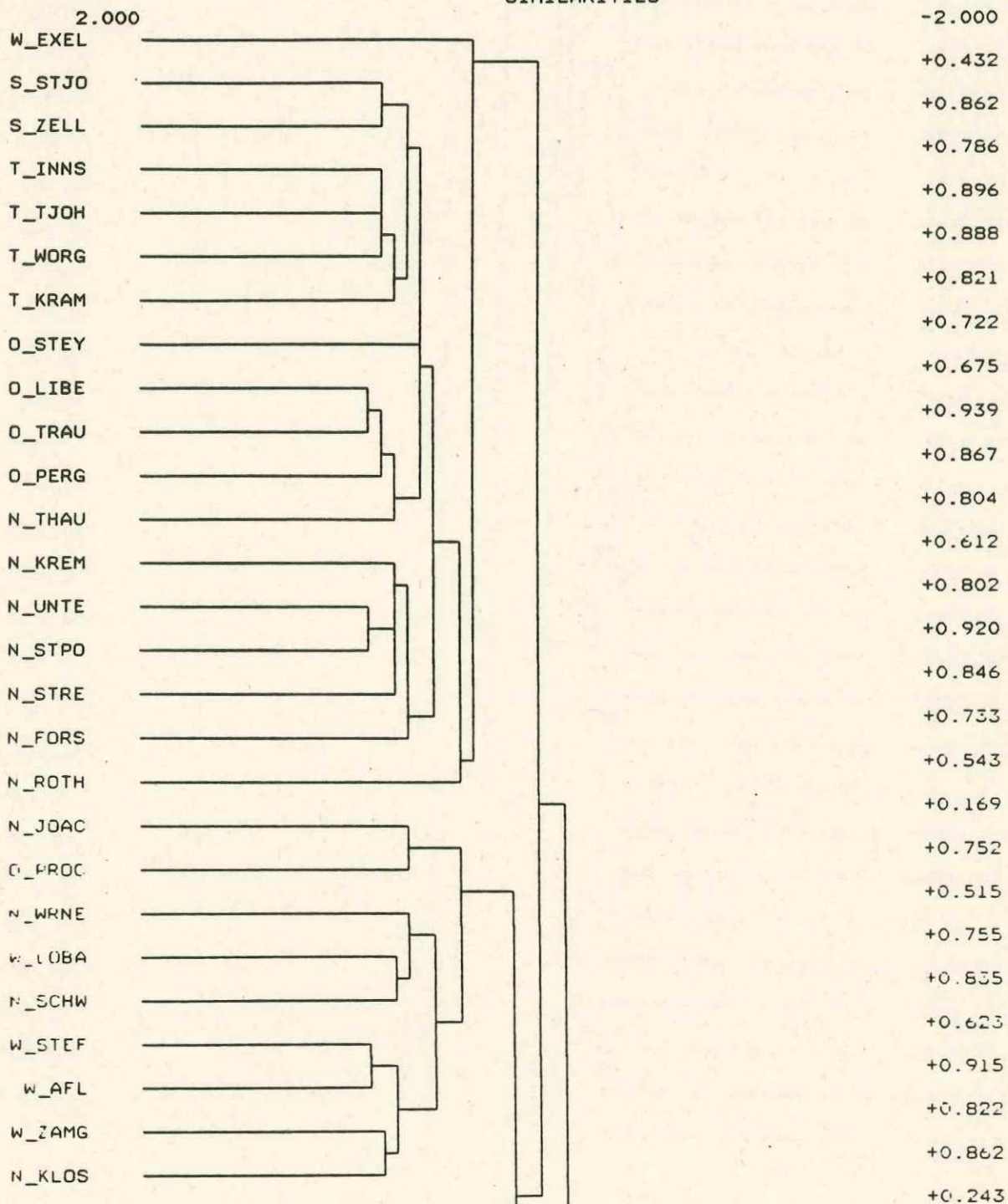
Tabelle 1: Dendrogramm der Clusteranalyse aller Meßstationen der 3 Ozonepisoden 1991

* Forschungszentrum Seibersdorf - Hauptabteilung Umweltplanung - W. Loibl *
 * Beiträge zur Ozon-Regionsabgrenzung, Prüfung der Stationen auf Redundanz *

Clustering aller Stationen - alle 3 Episoden 1991
 COMPLETE LINKAGE METHOD (FARTHEST NEIGHBOR)

TREE DIAGRAM

SIMILARITIES



Fortsetzung Tabelle 1

* Forschungszentrum Seibersdorf - Hauptabteilung Umweltplanung - W. Loibl *

* Beiträge zur Ozon-Regionsabgrenzung, Prüfung der Stationen auf Redundanz *

S_ZEDE		+0.553
K_VOEL		+0.867
K_VEIT		+0.906
K_KLAG		+0.808
K_VILL		+0.931
K_FUER		+0.869
K_WOLF		+0.620
ST_PIBE		+0.812
K_RADE		+0.712
K_DRAU		+0.770
ST_DEUT		+0.944
ST_VOIT		+0.903
ST_WEST		+0.960
ST_SUED		+0.923
K_ROJA		+0.829
K_SPIT		+0.858
K_VELL		+0.730
ST_LEOB		+0.902
ST_JUBU		+0.874
ST_MURZ		+0.833
B_ILLM		+0.517
K_HERM		+0.859
K_PAUL		+0.773
ST_BERG		+0.720
K_KREU		+0.054
S_GAIS		+0.795
S_HWIN		+0.849
S_HAUN		+0.606
S_SALZ		

Fortsetzung Tabelle 1

* Forschungszentrum Seibersdorf - Hauptabteilung Umweltplanung - W. Loibl *

* Beiträge zur Ozon-Regionsabgrenzung, Prüfung der Stationen auf Redundanz *

O_LENZ		+0.762
O_BRAU		+0.871
O_MATT		+0.958
S_SLEH		+0.904
S_HREH		+0.936
O_BADI		+0.821
W_LAAB		+0.428
N_MIST		+0.777
N_GAEN		+0.905
N_TERN		+0.697
S_HINT		+0.615
N_HAIN		+0.835
O_SCHO		+0.743
N_WOLK		+0.308
O_STGG		+0.651
T_HOEF		+0.521
V_BLUD		+0.804
V_LUST		+0.898
V_SULZ		-0.062
N_NEBE		+0.790
N_KOLL		+0.642
N_OSTR		+0.831
N_STLE		+0.355
S_KOLO		+0.823
T_KARW		+0.733
ST_SALB		+0.746
T_ZILL		+0.459
T_NORD		+0.792
		+0.094

Fortsetzung Tabelle 1

* Forschungszentrum Seibersdorf - Hauptabteilung Umweltplanung - W. Loibl *

W_JAEG +0.683

ST_MASE +0.764

ST_RENN +0.601

ST_GABE +0.801

ST_HOCH +0.237

T_GAIM +0.588

ST_PLAT -0.621

K_GERL +0.411

S_SONN +0.411