

Wolfgang SPANGL

Reports

UBA-93-073

Ozonprognose

**Möglichkeiten und Grenzen anhand von
Daten aus Illmitz, Sommer 1991**

Wien, März 1993

Bundesministerium für Umwelt,
Jugend und Familie



Impressum:

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

Druck: Riegelnik, 1080 Wien.

© Umweltbundesamt, Wien, März 1993.

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 3-85457-112-7

Zusammenfassung

Es wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit versucht, ein Modell zur Prognose der täglichen maximalen Ozonkonzentration mit Hilfe meteorologischer Parameter, die am selben Ort erfaßt werden, zu erstellen. Als wesentliche Einflußgrößen bieten sich die Maximaltemperatur und die täglicher Globalstrahlungssumme an, die erfahrungsgemäß mit der maximalen Ozonkonzentration hoch korreliert sind. Das Modell berechnet, ausgehend von maximaler Temperatur bzw. Globalstrahlungssumme sowie maximaler Ozonkonzentration eines Tages und der Temperatur- bzw. Globalstrahlungsprognose des folgenden Tages die maximale Ozonkonzentration des Folgetages.

Das Modell basiert auf linearer Regression zwischen maximaler Temperatur bzw. Globalstrahlungssumme und maximaler Ozonkonzentration. Es berücksichtigt keinerlei Transportprozesse.

Die Regressionsparameter wurden anhand von Daten der Meßstelle Illmitz des Sommers 1991 errechnet; für diesen Zeitraum wurde auch die Prognose erstellt und verifiziert. In 74% der Tage liegt der Prognosefehler zwischen -10 und +10 ppb. Bei hohen Ozonwerten überwiegt deutlich die Unterschätzung, da für Ozonspitzenwerte die lokalen Parameter Temperatur und Strahlung nicht allein ausschlaggebend sind.

Forecast Model for Daily Maximum Ozone Concentrations – Abstract

An attempt was made to establish a simple model for the forecast of daily maximum ozone concentrations, based upon daily maximum temperature and daily maximum ozone concentration and the forecasted maximum temperature of the following day. Alternatively to the maximum temperature the daily total irradiation sum was used. Both temperature and total irradiation show a strong correlation with maximum ozone concentrations.

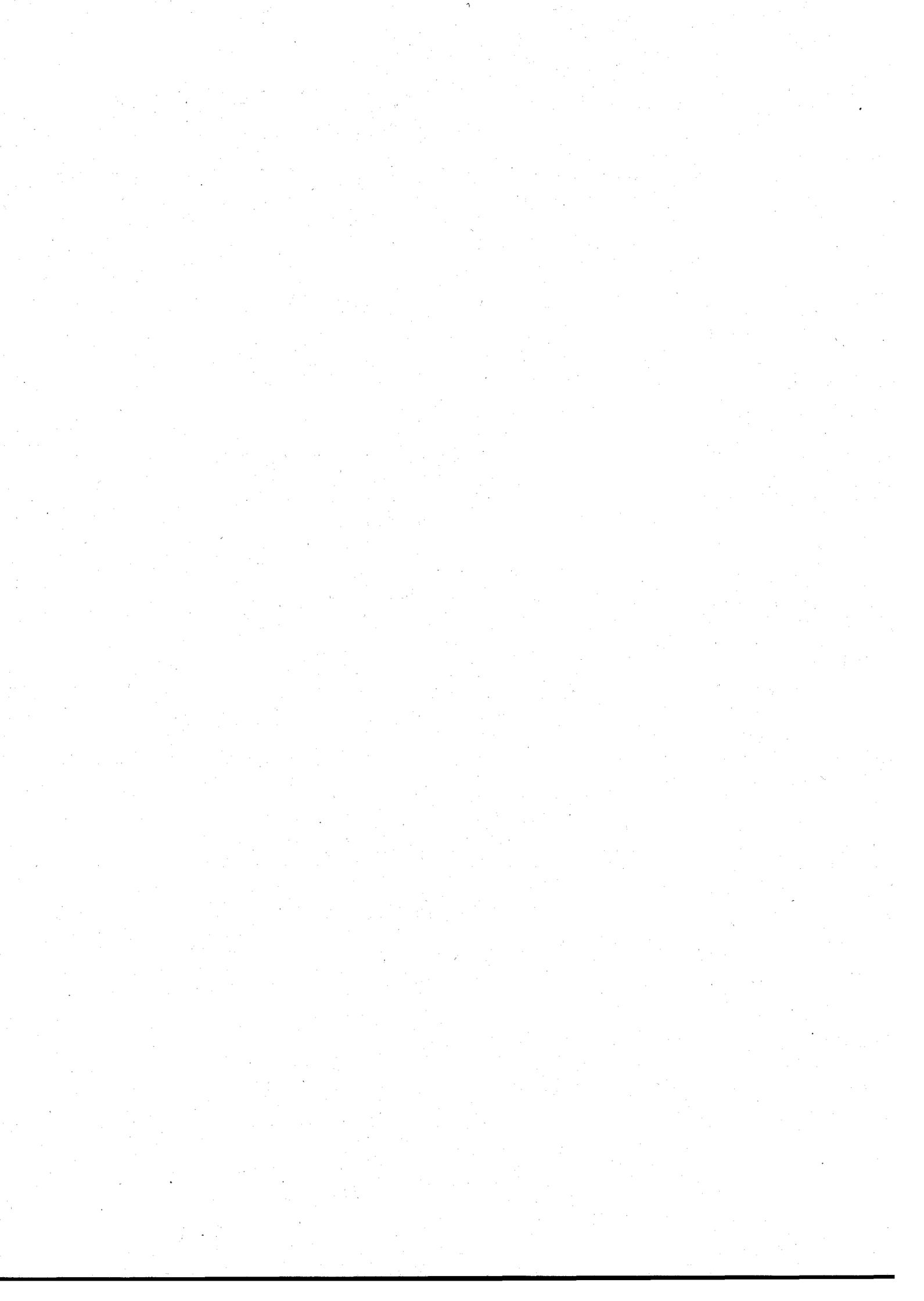
The model was based upon linear

regression. The coefficients were calculated using data of the monitoring site Illmitz from summer 1991; with the same data the forecast was calculated and evaluated.

About 74% of the days show forecast errors between -10 and +10 ppb. Days with high ozone concentration show underestimation of more than 10 ppb more frequently than days with low concentrations, since the highest ozone concentrations are strongly influenced by transport of ozone.

INHALTSVERZEICHNIS

1.	REGRESSIONSMODELL	1
2.	VERWENDETE DATEN	3
3.	OZONPROGNOSE	5
4.	ERGEBNISSE FÜR DREI-STUNDENMITTELWERTE (MW3)	7
4.1	Prognose für ausgewählte Fälle	7
4.2	Prognose für alle Tage	9
5.	ERGEBNISSE FÜR HALBSTUNDENMITTELWERTE (HMW)	20
5.1	Prognose für ausgewählte Fälle	20
5.2	Prognose für alle Tage	21
6.	REGRESSION VON MAXIMALEN OZONWERTEN (MW3) MIT DER TÄGLICHEN GLOBALSTRAHLUNGSSUMME	23
7.	PRÜFUNG DER PROGNOSEQUALITÄT	27
8.	ANALYSE VON FÄLLEN MIT SCHLECHTER OZONPROGNOSE	29
9.	ZUSAMMENFASSUNG	40



1. REGRESSIONSMODELL

Das Vorhersagemodell für die maximalen täglichen Halbstundenmittelwerte (HMW) oder Dreistundenmittelwerte (MW3) der Ozonbelastung berücksichtigt ausschließlich lokale Einflußfaktoren. Es wird davon ausgegangen, daß der Ozon-Spitzenwert lediglich von anderen an derselben Stelle gemessenen Größen, z.B. der maximalen Temperatur (T_{max}), abhängt. Der Transport (Advektion) von Ozon und dessen Vorläufersubstanzen kann daher nicht berücksichtigt werden.

Als Einflußgrößen für den Ozon-Spitzenwert werden im folgenden maximale Temperatur (T_{max}) sowie die tägliche Globalstrahlungssumme (TGSS) herangezogen. Beide Größen spielen in der Ozonchemie eine entscheidende Rolle; sowohl mit T_{max} als auch mit TGSS ist die Ozonbildung stark positiv korreliert. Für das Regressionsmodell wurde daher angenommen, daß die Änderung des maximalen täglichen Ozonwertes (HMW oder MW3) von einem Tag auf den folgenden von der Änderung der maximalen täglichen Lufttemperatur (HMW oder MW3) oder der täglichen Globalstrahlungssumme (TGSS) abhängt.

Erste Untersuchungen wurden bereits 1991 vom Umweltbundesamt durchgeführt, wobei neben der Abhängigkeit von T_{max} auch die Abhängigkeit der Ozonbildung von der TGSS, der Sonnenscheindauer sowie vom Tagesmittelwert der relativen Feuchte untersucht wurde; jedoch konnte die Einbeziehung dieser Größen keine Verbesserung der Prognosegenauigkeit herbeiführen, so daß im folgenden primär die Temperaturabhängigkeit beachtet wird; die Untersuchung der Abhängigkeit von der TGSS zeigt, daß diese Größe mit der maximalen Ozonbelastung keine bessere Korrelation aufweist als T.

Das Modell benötigt als Eingabegrößen T_{max} und O_3_{max} des Ausgangstages sowie T_{max} des Folgetages; daher eignet sich T_{max} , für welche im Rahmen der operationellen Wettervorhersage

recht gute Prognosen möglich sind, für das Regressionsmodell weitaus besser als TGSS oder die Sonnenscheindauer, für welche Vorhersagen praktisch nicht verfügbar sind.

Es wurde ein lineares Regressionsmodell aufgestellt in der Form:

$$O_3(i+1) = O_3(i) + a + b * [T(i+1) - T(i)]$$

Dabei sind a und b Regressionsparameter, die aus Daten der Vergangenheit berechnet werden müssen. Der Regressionsparameter a hat die Dimension ppb, b die Dimension ppb/K.

2. VERWENDETE DATEN

Die Bestimmung der Regressionsparameter a und b wurde anhand der Daten von Illmitz durchgeführt, die auch im Rahmen der Studien "Untersuchung der Korrelation von Ozonwerten an den Österreichischen Meßstellen und Einteilung Österreichs in Ozonüberwachungsgebiete", Report UBA-92-064 (W. Spangl), und "Ozon im Sommer 1991 - Ein Überblick", W. Spangl, UBA, 1993, verwendet wurden und den Zeitraum vom 6. Juni bis 7. September 1991 umfassen. Das Regressionsmodell wurde sowohl für HMW als auch MW3 angewandt.

Aus diesen Datensätzen wurden für Illmitz die Regressionsparameter sowohl für HMW als auch für MW3 für die Zeiträume Juni, Juli, August, September 1991 sowie den Gesamtzeitraum berechnet.

Aus den gesamten Daten wurden nach einschränkenden Kriterien folgende Untergruppen ausgewählt:

- Einschränkung der Tageszeit des Auftretens des maximalen HMW bzw. MW3
- Einschränkung der Prognose auf Tage, wo gegenüber dem Vortag Ozon und Temperatur eine gleichläufige Tendenz aufweisen, d.h. beide steigen oder fallen.

Diese Einschränkungen bedeuten eine Auswahl physikalisch sinnvoller Bedingungen; zum einen ist das einfache Regressionsmodell, das einen linearen Zusammenhang zwischen Ozonanstieg und Temperaturanstieg voraussetzt, sicher nicht für eine korrekte Prognose geeignet, wenn $O_3\text{max}$ und $T\text{max}$ von einem Tag auf den anderen gegenläufige Tendenzen aufweisen. Zum anderen sind physikalische Zusammenhänge zwischen O_3 - und T-Spitzenwerten bei Auftreten beider am Nachmittag zu erwarten,

während nächtliche Ozonspitzen nicht mit photochemischen Prozessen, sondern mit Transportprozessen in Beziehung stehen, und daher durch das Regressionsmodell nicht beschrieben werden können.

3. OZONPROGNOSE

Für die einzelnen Monate und den Gesamtzeitraum sowie für nach den oben genannten Kriterien ausgewählte Gruppen von Tagen wurden die Regressionsparameter berechnet und mit diesen für denselben Zeitraum die Ozonprognose durchgeführt. Weiters wurde für den gesamten Zeitraum die Ozonprognose mit den Regressionsparametern, die für einzelne Monate und bestimmte Auswahlkriterien berechnet wurden, erstellt.

Als Maß für die Güte der Vorhersage wurde der RMS-(Root mean square)-Wert der Abweichungen des prognostizierten vom gemessenen Ozonwert herangezogen.

Der RMS-Wert ist definiert als:

$$\text{RMS} = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{i,p} - x_{i+1,b})^2 \right]^{1/2}$$

$x_{i,p}$ Ozonkonzentration laut Prognose vom Tag i für den Tag i+1
 $x_{i+1,b}$ Beobachtete Ozonkonzentration am Tag i+1
n Anzahl der Werte

Der RMS-Wert hat die Dimension ppb.

Für jeden einzelnen Monat und den Gesamtzeitraum wurden folgende Fälle untersucht:

A - alle Tage

B - Tage, an denen die Maxima von Ozon und Temperatur zwischen 12.00 und 17.30 Uhr liegen

C - Tage, an denen Ozon und Temperatur gegenüber dem Vortag gleichläufige Tendenzen aufweisen

D - Tage, an denen die Maxima von Ozon und Temperatur zwischen 12.00 und 17.30 Uhr liegen und an denen Ozon und Temperatur gegenüber dem Vortag gleichläufige Tendenzen aufweisen (B + C).

Als "Sommer" wird der Gesamtzeitraum 6. Juni bis 7. September 1991 bezeichnet.

4. ERGEBNISSE FÜR DREISTUNDENMITTELWERTE (MW3)

Die oben genannten Fälle A bis D wurden für MW3 untersucht.

4.1 Prognose für ausgewählte Fälle

Für die Fälle A bis D und für die einzelnen Monate Juni bis August 1991 wurden die Regressionsparameter a und b berechnet, wobei für B bis D eine mehr oder weniger restriktive Auswahl erfolgt. Für diese ausgewählten Tage wurde mit den jeweils zugehörigen Regressionsparametern eine Prognose gerechnet und die Güte der Prognose geprüft.

Für September wurden keine Regressionsparameter bestimmt, da der Datensatz von sieben Tagen zu gering ist.

Tabelle 1 gibt für die 4 Fälle A bis D die Regressionsparameter a und b sowie den RMS-Wert der Abweichung der prognostizierten von den beobachteten Ozonwerten an.

Tabelle 1: Regressionsparameter und mittlere Abweichung (RMS-Wert) zwischen beobachteten und prognostizierten Ozonkonzentrationen in Illmitz für die Monate Juni bis August sowie Sommer 1991 für die Fälle A bis D

	Tage	a	b	RMS (Abweichung)
Juni A	25	1.118	1.872	7.81
Juni B	4	-0.541	0.787	8.00
Juni C	21	1.973	1.951	6.51
Juni D	3	0.110	1.041	2.31
Juli A	29	-1.947	4.182	10.11
Juli B	7	0.916	2.936	7.03
Juli C	24	-1.181	4.509	8.52
Juli D	5	0.737	3.106	7.49

Fortsetzung Tabelle 1

August A	31	0.638	2.386	7.77
August B	16	-0.201	0.531	4.73
August C	21	1.309	4.045	5.31
August D	9	0.617	1.651	1.68
Sommer A	90	-0.474	2.835	9.43
Sommer B	29	0.481	0.976	7.34
Sommer C	71	0.156	3.211	8.37
Sommer D	19	0.806	2.121	5.80

Auch bei Fall A konnten nicht alle Tage verwendet werden, da an einigen Tagen keine Daten von T oder von Ozon vorliegen (Ausfälle).

Bei negativem Regressionsparameter b (August B) liegt offensichtlich eine negative Korrelation zwischen Ozon- und Temperaturanstieg vor - Ozonkonzentrationsanstieg korreliert mit Temperaturabfall oder umgekehrt -, was dem Konzept des vorliegenden Modells grundlegend widerspricht.

Abbildungen 1 bis 3 zeigen den Verlauf der gemessenen und der prognostizierten Ozonkonzentration für Juni, Juli sowie August und September 1991, gerechnet mit Regressionsparametern für den Fall C.

Die einzelnen Kurven bzw. Symbole bedeuten:

- Zeit T max Zeitpunkt des Auftretens der maximalen Temperatur
- Zeit O₃ max Zeitpunkt des Auftretens der maximalen O₃-Konzentration
- T max maximaler MW3 der Temperatur
- O₃ max beob maximaler MW3 der beobachteten O₃-Konzentration

O_3 max prog prognostizierter maximaler MW3 der O_3 -Konzentration
 O_3 prog-beob Differenz O_3 max prog - O_3 max beob

Die linke Skala gilt für die beobachtete und die prognostizierte maximale Ozonkonzentration sowie deren Differenz (jeweils in ppb), die rechte für die Zeit des Auftretens der Maximalwerte von T oder Ozon (Zeit, 0.00 bis 24.00 Uhr), sowie T selbst (Grad C); die rechte Skala reicht bis 48, damit die linke und rechte Skala die gleiche Anzahl von Teilstrichen aufweisen.

Liegt die Zeit des Auftretens maximaler Ozonkonzentration und Temperatur sehr früh, wie z.B. in Abbildung 1 am 14. Juni und 18. Juni, so deutet das in den meisten Fällen darauf hin, daß nur sehr wenige Werte am Tagesanfang vorhanden sind und an diesem Tag die Werte weitgehend fehlen; fallweise lag auch die Situation vor, daß bei kalter Witterung tagsüber keine hohen Ozonwerte auftraten und das Maximum bereits in der Nacht erreicht wurde.

4.2 Prognose für alle Tage

Mit Hilfe der Regressionsparameter, die für die Fälle A bis D sowie für die Monate Juni bis August berechnet wurden, wurden Prognosen für den gesamten Zeitraum vom 6. Juni bis 7. September 1991 gerechnet.

Damit wurden Regressionsparameter auch für Zeiträume angewandt, für welche sie nicht berechnet wurden.

Tabelle 2 gibt die Regressionsparameter (a, b), die für Fall C für die Monate Juni bis September sowie Sommer 1991 berechnet wurden, und die mittlere Abweichung der prognostizierten von den beobachteten Ozonkonzentrationen (RMS [Abweichung]) für die Monate Juni bis September sowie Sommer 1991 an.

Fall C wurde gewählt, da er eine sinnvolle Auswahl von Tagen darstellt und relativ gute Prognosen liefert, aber keine so restriktive Einschränkung wie Fall D darstellt.

Die RMS-Werte für Fall C aus Tabelle 1 wären mit jenen für Juni C/Juni, Juli C/Juli usw. zu vergleichen. Die Unterschiede ergeben sich daraus, daß in Tabelle 2 alle Tage des Monats berücksichtigt wurden, in Tabelle 1 nur jene Tage, für welche die Regressionsparameter berechnet wurden. Die mittleren Abweichungen sind in Tabelle 2 größer, da auch für die Prognose ungeeignete Tage einbezogen wurden; es handelt sich dabei um Paare von Tagen, an denen eine negative Korrelation zwischen Ozon- und Temperaturmaximum auftritt.

Tabelle 2: Regressionsparameter a (ppb) und b (ppb/K) sowie die RMS-Werte der Abweichung der prognostizierten von den beobachteten Ozonwerten (ppb), und zwar aufgeschlüsselt nach einzelnen Monaten (Juni bis September) sowie für den Gesamtzeitraum (Sommer). Diese Werte wurden unter für Fall C ohne jene Tage berechnet, an denen wegen weitgehenden Fehlens der Meßdaten keine für den ganzen Tag repräsentativen Werte für den täglichen maximalen MW3 von T und O₃ bestimmt werden können (10., 11. und 13. Juli).

Parameter für	a	b	Prognose für				
			Juni	Juli	August	September	Sommer
			RMS (Abweichung)				
Juni C	1.973	1.951	7.96	11.15	8.09	10.71	8.81
Juli C	-1.181	4.509	13.56	8.33	9.33	6.66	10.55
August C	1.308	4.044	12.07	8.50	8.76	6.16	9.85
Sommer C	0.156	3.211	9.59	8.06	8.00	7.65	8.80

In Tabelle 3 werden die Ergebnisse der Prognose tabellarisch dargestellt. Die TGSS ist ein Maß für das Angebot an kurzwelliger Strahlungsenergie und indirekt für den Bedeckungsgrad, mithin auch für die Wetterlage.

Tabelle 3: Temperatur Tmax [°C], tägliche Globalstrahlungssumme TGSS [MJ/m².Tag], beobachtete maximale Ozonkonzentration [ppb] sowie prognostizierte maximale Ozonkonzentration [ppb] und Differenz zwischen beobachteter und prognostizierter Ozonkonzentration [ppb], gerechnet für die Fälle Sommer A und Sommer C.

Die Angabe von Kommastellen bei der beobachteten Ozonkonzentration entspricht nicht der Meßgenauigkeit; die Dezimalstellen entstehen bei der Berechnung der MW3 aus HMW.

Tage, an denen die Differenz zwischen prognostizierter und beobachteter maximaler Ozonkonzentration 10 ppb übersteigt, sind fett gekennzeichnet.

Datum	Tmax [°C]	TGSS MJ/[m ² .Tag]	O ₃ max beob. [ppb]	Regressionsparameter von			
				Sommer A O ₃ max prognostiziert [ppb]	Sommer C O ₃ max prognostiziert [ppb]	Sommer A O ₃ max (prog.)- -O ₃ max (beob.) [ppb]	Sommer C O ₃ max (prog.)- -O ₃ max (beob.) [ppb]
6.6.	19.8	15.74	45.8				
7.6.	20.3	17.15	45.7	46.8	47.6	1.1	1.9
8.6.	21.2	16.84	51.2	47.7	48.7	-3.5	-2.5
9.6.	22.4	22.05	59.0	54.2	55.3	-4.8	-3.8
10.6.	23.7	18.81	47.5	62.2	63.4	14.7	15.9
11.6.	19.6	9.35	43.2	35.5	34.6	-7.7	-8.6
12.6.	23.6	24.23	59.7	53.9	56.0	-5.8	-3.6
13.6.	25.6	21.62	58.8	64.9	66.3	6.3	7.6
14.6.	18.1	3.11	42.2	36.8	34.6	-5.4	-7.6
15.6.	23.9	19.89	48.0	58.4	61.2	10.4	13.2
16.6.	28.7	22.80	66.3	61.1	63.5	-5.2	-2.8

Fortsetzung Tabelle 3

17.6.	28.4	18.63	46.5	64.8	65.3	18.3	18.8
18.6.	19.3	12.68	37.5	20.4	17.6	-17.1	-19.9
19.6.	13.8	3.53	34.8	21.5	20.1	-13.3	-14.7
20.6.	22.0	24.41	52.5	57.5	61.2	5.0	8.7
21.6.	21.5	19.50	46.2	50.6	51.0	4.4	4.8
22.6.	22.8	24.19	57.5	57.9	60.1	0.4	2.6
23.6.	27.8	21.55	72.2	62.8	64.1	-9.5	-8.1
24.6.	28.1	21.90	54.8	72.7	73.5	17.9	18.7
25.6.	23.2	10.50	40.8	40.4	39.2	-0.4	-1.7
26.6.	28.0	14.55	54.5	53.9	56.3	2.7	1.8
27.7.	23.9	12.38	50.5	42.4	41.5	-8.1	-9.0
28.6.	20.2	21.55	46.3	39.6	38.9	-6.7	-7.5
29.6.	17.9	15.99	46.0	39.2	38.9	-6.8	-7.1
30.6.	20.6	24.99	47.8	53.4	55.1	5.6	7.3
1.7.	23.9	25.03	58.0	56.6	58.5	-1.4	0.5
2.7.	24.6	21.21	65.8	59.6	60.5	-6.3	-5.4
3.7.	24.7	19.43	55.5	65.5	66.2	10.0	10.7
4.7.	25.4	15.66	53.2	57.0	57.9	3.8	4.7
5.7.	29.0	21.47	74.5	62.9	64.9	-11.6	-9.7
6.7.	27.6	23.69	68.5	70.2	70.4	1.7	1.9
7.7.	28.6	23.92	72.5	70.8	71.8	-1.7	-0.7
8.7.	30.1	22.67	76.7	76.2	77.4	-0.5	0.7
9.7.	30.3	20.72*	51.0*	76.9	77.6	25.9	26.6
10.7.	29.6	20.84*	keine Werte				
11.7.	30.8	21.72	76.5	keine Prognose möglich			
12.7.	32.8	21.54	100.7	81.7	83.1	-19.0	-17.6
13.7.	23.1*	keine W.	44.4*	72.5	69.5	28.1	25.1
14.7.	28.3	14.79	62.5	58.6	61.2	-3.8	-1.3
15.7.	24.3	13.28	52.2	50.8	50.0	-1.4	-2.2
16.7.	27.0	18.93	61.7	59.4	61.1	-2.3	-0.6
17.7.	24.8	14.79	56.8	55.0	54.8	-1.8	-2.0
18.7.	23.0	18.41	60.7	51.2	51.1	-9.5	-9.6
19.7.	25.8	13.29	54.2	68.2	69.9	14.0	15.7
20.7.	22.7	4.15	33.0	44.8	44.2	11.8	11.2
21.7.	24.2	13.84	52.0	36.9	38.1	-15.1	-13.9
22.7.	24.1	17.55	58.5	51.3	51.9	-7.2	-6.6
23.7.	26.6	21.65	62.5	64.9	66.4	2.4	3.9
24.7.	27.5	15.68	62.8	64.7	65.6	1.9	2.8
25.7.	22.1	9.25	53.8	47.1	45.7	-6.7	-8.8
26.7.	20.8	12.17	37.5	49.2	49.3	11.7	11.8
27.7.	19.4	12.10	35.2	33.7	33.8	-1.5	-1.3
28.7.	19.4	3.57	33.2	34.7	35.3	1.5	2.1
29.7.	25.6	14.04	50.0	50.3	53.3	0.3	3.3
30.7.	26.6.	20.74	71.3	52.4	53.4	-18.9	-18.0
31.7.	24.5	11.34	50.8	64.9	63.7	14.1	13.8

Fortsetzung Tabelle 3

1.8.	21.8	10.28	40.7	42.7	42.4	2.0	1.7
2.8.	20.2	4.46	38.7	35.6	35.7	-2.9	-3.0
3.8.	21.5	5.67	40.3	41.7	42.8	1.4	2.5
4.8.	23.2	7.05	49.7	44.8	46.1	-4.9	-3.6
5.8.	22.6	12.74	41.5	47.4	47.7	5.9	6.2
6.8.	27.9	19.53	60.5	56.1	58.7	-4.4	-1.8
7.8.	29.7	20.20	64.3	65.2	66.5	0.9	2.2
8.8.	30.2	20.36	62.0	65.3	66.1	3.3	4.1
9.8.	28.7	18.11	65.5	57.1	57.2	-8.4	-8.3
10.8.	26.5	16.17	64.0	58.8	58.6	-5.2	-5.4
11.8.	29.5	18.26	52.5	72.3	74.1	19.8	21.6
12.8.	29.9	13.68	50.0	53.2	53.9	3.2	3.9
13.8.	24.1	15.85	52.5	33.1	31.5	-19.4	-21.0
14.8.	24.7	17.40	66.3	53.7	54.5	-12.6	-11.8
15.8.	24.3	15.36	73.2	64.6	65.0	-8.6	-8.2
16.8.	25.6	19.10	64.0	76.3	77.4	12.3	13.4
17.8.	27.0	16.00	67.5	68.4	69.7	0.9	2.2
18.8.	20.7	4.56	33.5	48.5	46.6	15.0	13.1
19.8.	22.9	17.54	50.0	39.3	40.8	-10.7	-9.3
20.8.	21.6	15.81	49.2	48.8	45.9	-3.4	-3.3
21.8.	21.4	8.06	52.8	48.1	48.6	-4.8	-4.2
22.8.	23.3	14.40	53.0	57.7	59.1	4.7	6.1
23.8.	24.8	14.65	61.0	56.8	57.9	-4.2	-3.1
24.8.	26.8	15.94	63.0	66.2	67.6	3.2	4.6
25.8.	25.6	16.45	58.8	59.3	59.5	0.5	0.6
26.8.	24.1	15.87	62.0	54.1	54.2	-7.9	-7.8
27.8.	21.0	13.94	44.2	52.7	52.1	8.5	7.9
28.8.	22.2	11.34	48.2	47.2	48.2	-1.0	0.1
29.8.	20.5	15.45	48.0	42.9	42.9	-5.2	-5.1
30.8.	22.0	17.48	53.8	51.6	52.8	-2.2	-1.0
31.8.	23.7	17.49	52.8	58.2	59.5	5.4	6.6
1.9.	23.9	16.46	53.7	52.9	53.6	-0.7	-0.1
2.9.	24.4	16.16	55.0	54.6	55.5	-0.4	0.5
3.9.	25.5	16.76	57.0	57.6	58.7	0.6	1.7
4.9.	26.6	16.72	67.3	60.0	60.6	-7.7	-6.7
5.9.	27.1	16.11	82.7	68.3	69.2	-14.4	-13.5
6.9.	19.9	5.20	46.5	61.9	59.8	15.4	13.3
7.9.	16.6	11.42	37.7	34.5	36.1	-3.2	-1.6

Mit * sind Werte gekennzeichnet, die aufgrund weitgehenden Ausfalls der Meßdaten an diesem Tag nicht repräsentativ sind.

Die RMS-Werte der Abweichungen sind in Tabelle 4 dargestellt (in ppb).

Tabelle 4: Mittlere Abweichung der prognostizierten von den beobachteten Ozonkonzentrationen für Fall C für die Monate Juni bis September sowie Sommer, sowie für Fall A für den Sommer 1991, gerechnet mit Regressionsparametern, die für den ganzen Sommer bestimmt wurden

	Juni	Juli	August	September	Sommer
Sommer A					9.42
Sommer C	9.59	8.06	8.01	7.66	8.80

Diese RMS-Werte wurden unter Ausschluß der krassen Fehlprognosen am 9. Juli und 13. Juli bestimmt; an diesen Tagen fehlen fast alle Werte, sodaß die wenigen vorhandenen Ozonwerte keine sinnvollen Eingangsdaten für das Modell darstellen. Unter Einbeziehung dieser Tage lauten die RMS-Werte für Juli und für den Sommer:

	Juli	Sommer
Sommer C	17.26	12.31

Die Regressionsparameter aus Fall C (Ausschluß jener Tage, an denen Tmax gegenüber dem Vortag zunimmt und O₃max abnimmt oder umgekehrt) liefern mithin etwas bessere Ergebnisse als Fall A; dies ist klar, da es sich um Parameter handelt, die aus physikalisch "sinnvollen" Daten errechnet wurden, während jene Tage, an denen Tmax gegenüber dem Vortag zunimmt und O₃max abnimmt oder umgekehrt, vom Regressionsmodell nicht beschrieben werden und daher den in den Regressionsparametern abgebildeten Sachverhalt verzerren.

Im folgenden wird daher stets auf Fall C Bezug genommen.

Für diesen Fall ergab sich an den folgend angeführten Tagen eine Fehlprognose um mehr als 10 ppb:

15.6., 17.6., 18.6., 19.6., 24.6., 3.7., 12.7., 19.7., 20.7.,
21.7., 26.7., 30.7., 1.8., 11.8., 13.8., 14.8., 18.8., 5.9.
und 6.9.,

d.h. an 19 Tagen (von 91 Tagen, an denen eine Prognose sinnvollerweise gerechnet werden kann); dies sind cirka 20 %.

Für die Regressionsparameter, die für einzelne Monate berechnet wurden, werden in Tabelle 5 jene Tage angeführt, an denen Fehlprognosen von mehr als 10 ppb auftraten.

Tabelle 5: Maximale Temperatur, beobachtete maximale Ozonkonzentration, prognostizierte maximale Ozonkonzentration sowie mittlere Abweichung zwischen beobachteter und prognostizierter maximaler Ozonkonzentration für die verschiedenen Fälle, für welche die Regressionsparameter berechnet wurden, für die Tage, an denen Fehlprognosen von mehr als 10 ppb auftreten.

Jene Fälle, z.B. Juni C, an denen für alle Tage des Sommers eine Prognose gerechnet wurde, sind mit + gekennzeichnet (Prognose entsprechend Abs. 4.2); für diese Fälle sind jene Tage, die das jeweilige Auswahlkriterium (B bis D) erfüllen, mit + gekennzeichnet.

Bei den anderen Fällen wurde (entsprechend Abs. 4.1) die Prognose nur für jene Tage gerechnet, mit welchen die Regressionsparameter erstellt wurden. Tage, die auch beim Fall Sommer C Abweichungen über 10 ppb aufweisen, sowie Abweichungen über 20 ppb sind in Tabelle 5 fett gekennzeichnet.

Datum	Tmax [Grad C]	O ₃ max beob. [ppb]	O ₃ max prog. [ppb]	O ₃ max (prog.) - -O ₃ max (beob.) [ppb]
<u>Juni A</u>				
10.6.	23.7	47.5	62.6	15.1
17.6.	28.4	46.5	66.8	20.3
24.6.	28.1	54.8	74.0	19.2
<u>Juni B</u>				
24.6.	28.1	54.8	71.9	17.1

Fortsetzung Tabelle 5

Juni C +

10.6.	23.7	47.5	63.5	15.0
17.6. +	28.4	46.5	67.6	21.1
24.6.	28.1	54.8	74.8	20.0
3.7.	24.7	55.5	67.9	12.4
5.7.	29.0	74.5	62.1	-12.4
12.7.	32.8	100.7	82.4	-18.3
19.7.	25.8	54.2	68.1	13.9
20.7.	22.7	33.0	50.0	17.0
21.7.	24.2	52.0	38.0	-14.0
26.7.	20.6	37.5	53.0	15.5
30.7.	26.6	71.3	53.9	-17.4
31.7.	24.5	50.8	69.2	18.4
13.8.	24.1	52.5	72.0	19.5
14.8.	24.7	66.3	55.6	-10.7
16.8.	25.6	64.0	77.6	13.6
18.8.	20.7	33.5	56.7	23.2
19.8.	22.9	50.0	39.8	-10.2
27.8.	21.0	44.2	57.9	13.7
5.9.	27.1	82.7	70.3	-12.4
6.9.	19.9	46.5	70.7	24.2

Juni D keine

Juli A

12.7.	32.8	100.7	82.9	-17.8
18.7.	23.0	60.7	47.2	-13.4
21.7.	24.2	52.0	37.5	-14.5
25.7.	22.1	53.8	38.3	-15.5
30.7.	26.6	71.3	52.2	-19.1

Juli B

30.7.	26.6	71.3	53.9	-17.4
-------	------	------	------	-------

Fortsetzung Tabelle 5

Juli C +

10.6.	23.7	47.5	63.7	16.2
11.6.	19.6	43.2	28.0	-15.2
14.6.	18.1	42.2	23.4	-18.8
15.6.	23.9	48.0	67.5	19.5
17.6.	28.4	46.5	63.5	17.0
18.6.	19.3	37.5	4.5	-33.0
19.6.	13.8	34.8	11.7	-23.1
20.6.	22.0	52.5	70.5	18.0
24.6.	28.1	54.8	72.6	17.8
27.6.	23.9	50.5	34.8	-15.7
28.6.	20.2	46.3	32.8	-13.5
12.7. +	32.8	100.7	84.3	-16.4
18.7.	23.0	60.7	47.4	-13.3
19.7.	25.8	54.2	72.2	18.0
21.7. +	24.2	52.0	38.8	-13.2
25.7. +	22.1	53.8	37.3	-16.5
30.7. +	26.6	71.3	53.3	-18.0
9.8.	28.7	65.5	53.8	-11.7
11.8.	29.5	52.5	76.7	24.2
13.8.	24.1	52.5	22.7	-29.8
14.8.	24.7	66.3	54.0	-12.3
15.8.	24.3	73.2	63.1	-10.1
16.8.	25.6	64.0	77.8	13.8
26.8.	24.1	62.0	50.9	-11.1
5.9.	27.1	82.7	68.5	-14.2

Juli D

30.7.	26.6	71.3	53.8	-17.5
-------	------	------	------	-------

August A

11.8.	29.5	52.5	72.0	19.5
13.8.	24.1	52.5	36.8	-15.7
14.8.	24.7	66.3	54.6	-11.7
16.8.	25.6	64.0	76.9	12.9
18.8.	20.7	33.5	52.5	19.0
19.8.	22.9	50.0	39.4	-10.6
27.8.	21.0	44.2	55.2	11.0

August B keine

Fortsetzung Tabelle 5

August C +

10.6.	23.7	47.5	65.6	18.1
11.6.	19.6	43.2	32.4	-10.8
13.6.	25.6	58.7	69.2	10.5
14.6.	18.1	42.2	29.4	-12.8
15.6.	23.9	48.0	67.2	19.2
17.6.	28.4	46.5	66.2	19.7
18.6.	19.3	37.5	11.2	-26.3
19.6.	13.8	34.8	16.7	-18.1
20.6.	22.0	52.5	69.2	16.7
24.6.	28.1	54.8	74.9	20.1
27.6.	23.9	50.5	39.2	-11.3
30.6.	20.6	47.8	58.6	10.2
3.7.	24.7	55.5	67.4	11.9
12.7.	32.8	100.7	85.9	-14.8
19.7.	25.8	54.2	73.4	19.2
21.7.	24.2	52.0	40.6	-11.4
25.7.	22.1	53.8	42.3	-11.5
30.7.	26.6	71.3	55.4	-15.9
31.7.	24.5	50.8	64.1	13.3
11.8.	29.5	52.5	77.8	25.3
13.8.	24.1	52.5	27.9	-24.6
14.8. +	24.7	66.3	56.2	-10.1
16.8.	25.6	64.0	79.7	15.7
5.9.	27.1	82.7	70.7	-11.9

August D keine

Sommer B

24.6.	28.1	54.8	73.0	18.2
30.7.	26.6	71.3	51.5	-19.8
16.8.	25.6	64.0	74.9	10.9
5.9.	27.1	82.7	68.3	-14.4

Sommer D

30.7.	26.6	71.3	52.9	-18.4
5.9.	27.1	82.7	69.2	-13.4

5. ERGEBNISSE FÜR HALBSTUNDENMITTELWERTE (HMW)

5.1 Prognose für ausgewählte Fälle

Analog Abs. 4.1 wurde eine Prognose für jene Tage gerechnet, mit deren Daten entsprechend den Auswahlkriterien A bis D die Regressionsparameter ermittelt wurden.

Zusätzlich zu den Fällen A - D wurden folgende Fälle untersucht:

E - Tage, an denen die HMW_{max} von Ozon und T zwischen 10.00 und 19.30 Uhr auftraten

F - Bedingungen E und C gemeinsam

Tabelle 6 gibt die Regressionsparameter und die mittlere Abweichung zwischen prognostizierter und beobachteter maximaler Ozonkonzentration für eine Auswahl dieser Fälle für die Monate Juni bis September sowie Sommer 1991 an.

Tabelle 6: Ergebnisse der Ozonprognose für verschiedene Fälle; "Tage" gibt die Anzahl der Tage an, an denen die Kriterien für den betreffenden Fall erfüllt sind; ferner sind die Regressionsparameter a und b sowie die mittlere Abweichung zwischen beobachteten und prognostizierten Ozonkonzentrationen angegeben.

	Tage	a	b	RMS (Abweichung)
Juni A	25	0.336	1.572	8.95
Juni B	10	0.697	2.124	8.88
Juni C	20	2.682	1.722	5.28
Juni D	8	1.819	2.378	3.94
Juni E	21	1.481	1.643	9.78
Juni F	16	3.858	1.792	5.19
Juli A	27	1.131	3.423	11.63
Juli B	15	0.418	3.299	10.69
Juli C	22	2.116	3.867	9.21
Juli D	11	0.274	4.035	10.96
August A	31	0.028	2.331	7.87
August C	25	0.261	2.911	6.19
August D	17	1.315	2.735	4.25
September A	6	-7.022	5.022	10.23
September D	5	9.105	9.627	9.75
Sommer A	90	0.077	2.249	9.89
Sommer C	72	1.087	2.532	7.95
Sommer D	41	1.359	3.007	7.26

5.2 Prognose für alle Tage

Mit den Regressionsparametern, die für einzelne Monate und einzelne Fälle, die eine Auswahl von Tagen bedingen, berechnet wurden, wurde die Prognose für den gesamten Sommer (alle Tage) gerechnet.

In Tabelle 7 ist für die Monate Juni bis September sowie den Sommer der mittlere Prognosefehler (RMS [Abweichung]) angegeben.

Tabelle 7: Mittlere Abweichung zwischen beobachteten und prognostizierten maximalen Ozonkonzentrationen für die Monate Juni bis September sowie Sommer 1991, gerechnet mit Regressionsparametern für verschiedene Monate und Fälle; "Tage" gibt die Anzahl der für die Prognose verwendeten Tage an.

	Tage	a	b	RMS (Abweichung)				
				Juni	Juli	August	September	Sommer
Juni A	90	0.336	1.572	8.95	22.18	8.85	10.17	14.57
Juni C	90	2.682	1.722	9.51	22.24	9.29	10.35	14.75
Juni D	90	1.819	2.378	9.96	21.97	8.82	8.61	14.53
Juli C	90	2.116	3.867	13.95	21.97	9.43	6.19	15.44
August C	90	0.261	2.911	10.83	21.81	8.60	7.29	14.56
Sommer C	90	1.087	2.532	10.09	21.89	8.66	8.12	14.48

6. REGRESSION VON MAXIMALEN OZONWERTEN (MW3) MIT DER TÄGLICHEN GLOBALSTRAHLUNGSSUMME

Das Regressionsmodell wurde für maximale Dreistundenmittelwerte der Ozonkonzentration mit der täglichen Globalstrahlungssumme (TGSS) anstelle der Temperatur gerechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 zusammengestellt.

Tabelle 8: Regressionsparameter a und b sowie mittlere Abweichung von beobachteter und prognostizierter maximaler Ozonkonzentration, die mit dem Regressionsmodell auf Basis der täglichen Globalstrahlungssumme gerechnet wurden, und zwar für den gesamten Sommer 1991.

Zum Vergleich sind die entsprechenden Werte für die Prognose auf Basis der Temperatur angegeben. Wo solche Werte nicht berechnet wurden, ist dies mit "-" gekennzeichnet.

	a	b	RMS (Abweichung)	
			Glob.Str.	T
Juni A	0.936	0.796	9.28	-
Juni C	-0.118	0.894	9.24	8.81
Juli C	-0.804	1.801	10.56	10.55
August C	1.646	1.460	9.71	9.85
September C	-9.769	3.314	19.88	-
Sommer A	0.352	0.980	9.20	-
Sommer C	-0.113	1.258	9.37	8.80
Sommer D	0.031	1.713	10.24	-

Der Vergleich mit den RMS-Werten der Prognose mittels Tmax zeigt, daß die Prognose auf Basis der Temperatur in den meisten Fällen bessere Ergebnisse liefert.

Die größten Fehlprognosen treten bei der täglichen Globalstrahlungssumme an denselben Tagen wie bei Prognosen auf Basis von T auf.

Für diese Tage sind zwar offensichtlich die Kriterien - gleichsinniger Verlauf von Tmax bzw. Globalstrahlung und O_3 max sowie zeitliche Auswahl des Ozon- bzw. Temperaturmaximums - erfüllt, dennoch besteht für diese Tage kein Zusammenhang zwischen maximaler Ozonkonzentration und Temperaturmaximum bzw. Globalstrahlungssumme.

Abbildungen 4 bis 6 zeigen für Juni, Juli sowie August und September die gemessenen und die auf Basis der Globalstrahlungssumme prognostizierten Ozonkonzentrationen.

Die einzelnen Kurven bzw. Symbole bedeuten:

Zeit O ₃ max	Zeitpunkt des Auftretens der maximalen O ₃ -Konzentration
Glob.Str.Summe	tägliche Globalstrahlungssumme
O ₃ max beob	maximaler MW3 der beobachteten O ₃ -Konzentration
O ₃ max prog	prognostizierter maximaler MW3 der O ₃ -Konzentration
O ₃ prog-beob	Differenz O ₃ max prog - O ₃ max beob

Die linke Skala gilt für die beobachtete und die prognostizierte maximale Ozonkonzentration sowie deren Differenz (jeweils in ppb), die rechte für die Zeit des Auftretens der Maximalwerte von Ozon (Zeit, 0.00 bis 24.00 Uhr) sowie die Globalstrahlungssumme (MJ/m².Tag); die rechte Skala reicht bis 48, damit linke und rechte Skala die gleiche Anzahl von Teilstrichen aufweisen.

Tabelle 9 stellt jene Tage zusammen, an denen die Prognose auf Basis der maximalen Temperatur und jene auf Basis der Globalstrahlungssumme für den Fall Sommer C Fehlprognosen von über 10 ppb lieferten.

Tabelle 9: Beobachtete maximale Ozonkonzentration [ppb], prognostizierte maximale Ozonkonzentration [ppb] und Abweichung von beobachteter und prognostizierter maximaler Ozonkonzentration [ppb] für die Prognose aufgrund der maximalen Temperatur (T) sowie aufgrund der täglichen Globalstrahlungssumme (TGSS), für Tage, an denen Fehlprognosen über 10 ppb auftreten. Fett angegeben sind jene Tage, an denen beide Prognosen Fehler über 10 ppb liefern. Alle Werte sind in ppb angegeben.

Datum	T			TGSS	
	O ₃ max (beob.)	O ₃ max (prog.)	Abweichung	O ₃ max (prog.)	Abweichung
10.6.	47.5	63.4	15.9	54.8	7.3
15.6.	48.0	61.2	13.2	63.2	15.2
16.6.	66.3	63.5	-2.8	51.6	-14.8
17.6.	46.5	65.3	18.8	61.0	14.5
18.6.	37.5	17.6	-19.9	38.9	1.4
19.6.	34.8	20.1	-14.7	25.9	-8.9
23.6.	72.2	64.1	-8.1	55.3	-16.9
24.6.	54.8	73.5	18.7	71.3	16.4
28.6.	46.3	38.9	-7.1	61.9	15.6
1.7.	58.0	58.5	0.5	47.8	-10.2
2.7.	65.8	60.5	-5.4	53.1	-12.8
3.7.	55.5	66.2	10.7	63.5	8.0
5.7.	74.5	64.9	-9.7	60.4	-14.1
12.7.	100.7	83.1	-17.6	76.2	-24.5
19.7.	54.2	69.9	15.7	54.1	-0.1
20.7.	33.0	44.2	11.2	42.6	9.6
21.7.	52.0	38.1	-13.9	45.1	-6.9
26.7.	37.5	49.3	11.8	57.4	19.9
30.7.	71.3	53.4	-18.0	58.3	-13.0
31.7.	50.8	63.7	13.8	59.4	8.6
5.8.	41.5	47.7	6.2	56.7	15.2
6.8.	60.5	58.7	-1.8	49.9	-10.6
11.8.	52.5	74.1	21.6	66.5	14.0
13.8.	52.5	31.5	-21.0	52.6	0.1
14.8.	66.3	54.5	-11.8	54.3	-12.0
16.8.	64.0	77.4	13.4	77.8	13.8
18.8.	33.5	46.6	13.1	52.0	18.5
21.8.	52.8	48.6	-4.2	39.3	-13.5
27.8.	44.2	52.1	7.9	56.5	15.3
4.9.	67.3	60.6	-6.7	56.9	-10.6
5.9.	82.7	69.2	-13.5	56.9	-10.5
6.9.	46.5	59.8	13.3	68.8	22.3
7.9.	37.7	36.1	-1.6	54.2	16.5

Die Abweichungen der prognostizierten von den beobachteten Werten sind im allgemeinen gleichsinnig, d.h. sowohl die Prognose auf Basis von T als auch von TGSS liefert zu hohe bzw. zu niedrige Werte; dies ist vor allem auch dann der Fall, wenn beide Prognosen extrem schlecht ausfallen.

7. PRÜFUNG DER PROGNOSEQUALITÄT

Jene Tage, an denen das Regressionsmodell sowohl für T als auch TGSS kraß versagt, machen deutlich, daß eine Simulation des maximalen Ozonwertes ausschließlich aufgrund lokaler Parameter in vielen Fällen nicht möglich ist und daß die Einbeziehung von Transportprozessen sowie von chemischen Prozessen für die genaue Simulation unerläßlich ist.

Tabelle 10 gibt die Anzahl der Tage an, an denen die Prognosefehler in einem bestimmten Bereich liegen.

Tabelle 10: Prognosefehler für die Fälle Sommer A und Sommer C.

Angegeben ist die Anzahl der Tage mit Fehlprognosen in den Bereichen: < -10 ppb, -10 bis 0 ppb, 0 bis +10 ppb, > +10 ppb.

Die Tabelle ist nach beobachteten Ozonkonzentrationen ≤ 60 ppb und > 60 ppb aufgegliedert.

	Sommer A		Sommer C	
	≤ 60	> 60	≤ 60	> 60
< -10ppb	4	4	4	4
-10 bis 0 ppb	25	15	22	15
0 bis +10 ppb	20	8	23	8
> +10 ppb	12	1	12	1
SUMME	61	26	61	26

Der Großteil der Fehler liegt im Bereich zwischen -10 und +10 ppb; bei den Fällen A und C sind es jeweils 74 %. Dabei überwiegen für Fall A und Ausgangswerte ≤ 60 ppb leicht die negativen Fehler (Unterschätzung), bei Fall C herrschen für

Ausgangswerte ≤ 60 ppb praktisch ausgeglichene Verhältnisse. Bei den Ausgangswerten > 60 ppb überwiegen in diesem Fehlerbereich jedoch ganz deutlich die Unterschätzungen, d.h. Fehler < 0 ppb.

Bei den Fehlprognosen mit einem Betrag über 10 ppb überwiegen bei den Ausgangswerten ≤ 60 ppb deutlich die Überschätzungen (Fehler $> +10$ ppb), bei Ausgangswerten > 60 ppb liegen umgekehrte Verhältnisse vor, die Unterschätzungen überwiegen stark.

Im ganzen ergibt sich das Bild, daß bei hohen Ozonkonzentrationen das Prognosemodell dazu neigt, am Folgetag zu niedrige Ozonwerte zu berechnen. In 14 % der Tage (A und C) liegen für Ausgangswerte > 60 ppb die Fehler unter -10 ppb, für kleine Ausgangswerte nur an 7 % der Tage. Demgegenüber führen 4 % der Prognosen mit Ausgangswerten > 60 ppb, aber 17 % der Prognosen für Ausgangswerte ≤ 60 ppb zu Überschätzungen von mehr als 10 ppb.

Dieses Verhalten liegt primär darin, daß extrem hohe Ozonwerte nicht nur durch lokale Prozesse, sondern auch durch Antransport von ozonreicher Luft bedingt sind.

8. ANALYSE VON FÄLLEN MIT SCHLECHTER OZONPROGNOSE

Anhand einer Analyse der meteorologischen Situation wird versucht, die Ursachen der schlechten Ozonprognosen herauszuarbeiten.

Abbildungen 7 bis 16 zeigen die Ozonkonzentration (O_3 , linke Skala in ppb) sowie die meteorologischen Parameter Temperatur (T, rechte Skala in 0.1 Grad C), Windgeschwindigkeit (Wige, rechte Skala in 0.1 m/s), Windrichtung (Wiri, rechte Skala in Grad) und Globalstrahlung (Glob.Str., linke Skala in 10 W/m²) für die Station Illmitz; angegeben ist jeder zweite Halbstundenmittelwert.

9. bis 11. Juni

Überschätzung der Ozonkonzentration (siehe Abb. 7)

Am 9. Juni lag Österreich in einem flachen Hochdruckgebiet; dieser Tag wies in Illmitz wechselnde, meist geringe Bewölkung und mäßigen Nordwestwind auf. Gegen Abend drehte der Wind auf Süd bis Ost und wurde schwächer. Der Verlauf der Ozonkonzentration wies zwei Maxima auf, wobei das zweite, höhere um 20.00 Uhr (59 ppb) weder durch den Temperatur- noch den Globalstrahlungsverlauf zu erklären ist, sondern vermutlich durch Transportprozesse zustandekam.

Am folgenden Tag näherte sich eine Störungszone Österreich von Nordwesten; die Bewölkung nahm deutlich zu und damit die Globalstrahlung ab, gleichzeitig stieg jedoch, vermutlich durch Südwind bedingt, die Temperatur auf bis 23.7 Grad C (gegenüber 22.4 Grad C am Vortag). Die Ozonbelastung blieb mit maximal 48 ppb deutlich hinter jener des 9. Juni zurück, mithin führt die Prognose auf Basis der Temperatur zu einer

deutlichen Überschätzung der Ozonkonzentration, aber auch, wengleich nicht so kraß, jene aufgrund der täglichen Globalstrahlungssumme.

Grund dafür ist einerseits das Ozonmaximum des Vortages, das nicht durch lokale meteorologische Parameter bestimmt ist, andererseits die Temperaturzunahme des 10. Juni gegenüber der Abnahme der Globalstrahlung und der maximalen Ozonkonzentration an diesem Tag.

Der 11. Juni war geprägt vom Durchzug der Kaltfront und anschließender Kaltluftadvektion; sowohl Temperatur als auch Globalstrahlung sanken entsprechend, die Ozonkonzentration sank aber nicht im gleichen Ausmaß, sondern blieb bei cirka 30 ppb und wird daher bei der Prognose leicht unterschätzt.

16. bis 17. Juni

Überschätzung der Ozonkonzentration (siehe Abb. 8)

Am 16. Juni lag Österreich im Übergangsbereich zwischen einem Hoch über Osteuropa und einem Tiefdruckgebiet mit Zentrum über Dänemark, von dem sich eine Frontalzone über Mitteleuropa nach Spanien erstreckte; zusätzlich befand sich ein Tief über dem westlichen Mittelmeer. Der 16. Juni war in Ostösterreich von leichtem Südwind und mäßiger Bewölkung (1/8 bis 3/8) gekennzeichnet.

Die Frontalzone bewegte sich bis 17. Juni unter Ausbildung sekundärer Tiefzentren über Weißrußland und Süddeutschland nur geringfügig nach Osten. Im Laufe des 16. Juni frischte der Südwind in Ostösterreich auf und ging ab 22.00 Uhr in Nordwind über. Die Bewölkung nahm auf 4/8 bis 6/8 zu; der Wind war im Laufe des Vormittages eher unbeständig und drehte cirka ab 11.00 Uhr wieder auf Süd.

Der Verlauf der Globalstrahlung weist den 16. Juni als weitgehend wolkenfreien Tag aus, wohingegen am 17. Juni in den Morgenstunden in Illmitz dichte Bewölkung herrschte, die um 9.00 Uhr aufriß und erst wieder ab 14.00 bzw. 16.00 Uhr deutlich zunahm.

Demgegenüber war die Temperatur nicht vom Bedeckungsgrad abhängig; sie erreichte am 17. Juni sogar geringfügig höhere Werte als am 16. Juni (29 Grad C), was auf Warmluftadvektion durch den Südwind zurückzuführen ist.

Die Ozonwerte stiegen aber nicht entsprechend an, sondern blieben am 17. Juni auf dem Niveau der vorangegangenen Nacht zwischen 30 und 50 ppb mit einzelnen Spitzen, die nur teilweise auf die höhere Einstrahlung am Vormittag des 17. Juni zurückzuführen sind. An diesem Tag bestand praktisch keine Korrelation zwischen Temperatur und Ozonkonzentration, sieht man vom Abfall der Ozonwerte ab 17.00 Uhr ab. Es besteht aber auch kaum ein Zusammenhang zwischen Ozonkonzentration und Globalstrahlung, die am Vormittag hohe Werte erreichte; daher liefern beide Prognosen zu hohe Werte.

23. bis 25. Juni

Überschätzung der Ozonkonzentration (siehe Abb. 9)

Der Zeitraum 23. bis 25. Juni war von flacher Druckverteilung und Störungszonen gekennzeichnet, die wiederholt von Nordwest her Österreich durchzogen.

Der 23. Juni war ein in Ostösterreich weitgehend sonniger Tag, zunächst mit leichtem Ostwind, der circa um 21.00 Uhr mit dem Durchzug einer wenig wetterwirksamen Kaltfront auf West drehte. Der Bedeckungsgrad in Sopron (aus Eisenstadt liegen keine Werte vor) stieg von 2/8 um 12.00 Uhr auf 6/8 um 18.00 Uhr.

Der 24. Juni war zunächst sonnig, ehe eine mit Gewittern verbundene Frontalzone von Nordwesten her Österreich erreichte. Der Bedeckungsgrad betrug $2/8$ bis $4/8$, die vorherrschende Windrichtung war Südwest bis Nordwest. Die Windgeschwindigkeit blieb dabei immer unter 5 m/s.

Die Ozonkonzentration erreichte am 23. Juni 75 ppb, wobei der Verlauf weder durch die Temperatur noch die Globalstrahlung erklärt werden kann und die frühe Spitze um 12.00 Uhr vermutlich advektiv bedingt ist.

Die Ozonwerte blieben am 24. Juni deutlich niedriger mit Spitzen bei 60 ppb, obwohl die Temperatur - trotz Nordwestwind - etwas höher stieg als am Vortag; auch die - etwas geringere - Globalstrahlung kann die deutlich niedrigeren Ozonwerte nicht erklären.

In der Nacht vom 24. auf den 25. Juni zog - verbunden mit dem Einbruch einer Kaltfront - dichte Bewölkung auf; in Sopron wurden am 25. Juni $8/8$ Bedeckungsgrad gemeldet. Die Temperatur nahm nicht so stark ab wie in der Nacht zuvor und blieb den ganzen Tag um 20 Grad C. Die Globalstrahlung war äußerst gering, die Ozonwerte fielen im Lauf der Nacht bei konstant bleibender Temperatur weiter ab und blieben tagsüber bei circa 30 ppb.

Da die maximale Ozonkonzentration von einem Tag auf den nächsten deutlicher abnahm als die maximale Temperatur, ist sowohl die Prognose vom 23. auf den 24. Juni als auch vom 24. auf den 25. Juni auf Basis der maximalen Temperatur mit einer deutlichen Überschätzung der Ozonspitzenwerte verbunden.

Benutzt man die tägliche Globalstrahlungssumme für die Prognose, liefert dies für den 24. Juni aufgrund der hohen Globalstrahlungssumme - bei Abnahme der maximalen Ozonkonzentration - eine krasse Überschätzung, während die Prognose vom 24. auf den 25. Juni sehr genau ist.

11. und 12. Juli

Unterschätzung der Ozonkonzentration (siehe Abb. 10)

Der 11. bis 13. Juli stellt jene Episode mit den allgemein höchsten Ozonkonzentrationen in Österreich im Sommer 1991 dar, wobei die erhöhten Werte in einem weiten Gebiet von Vorarlberg bis Burgenland an der Alpennordseite auftraten; wenig betroffen waren der Raum Salzburg sowie Steiermark und Kärnten. Werte über 100 ppb traten an den Stationen Jägerwiese, Illmitz, Kollmitzberg und Unterbergern auf, wobei Jägerwiese die deutlich am höchsten belastete Station war. Für Illmitz fehlen leider vom 13. Juli die Daten.

Der 11. Juli war von einem großflächigen Hochdruckgebiet gekennzeichnet; von Westen näherte sich eine ausgedehnte Kaltfront, die am Morgen des 12. Juli über Westdeutschland und Frankreich lag und am Morgen des 13. Juli Vorarlberg erreichte; an diesem Tag traten Werte über 80 ppb nur noch in Nordostösterreich auf, der 14. Juli brachte das Ende dieser Ozonepisode.

Das Wetter in Österreich war sonnig, dunstig und schwül mit geringer Bewölkung und niedrigen Windgeschwindigkeiten.

In Illmitz war der 11. Juli ein typischer Schönwettertag mit schwachem südöstlichen Wind, der am Morgen des 12. Juli auf West bis Nordwest drehte.

Am 12. Juli stiegen die Ozonwerte in Illmitz deutlich über jene des Vortages mit Spitzen über 100 ppb um 13.00 und 17.00 Uhr. Zwar stieg die Temperatur am 12. Juli etwas höher (auf 33 Grad C gegenüber 31 Grad C am 11. Juli), doch sind damit die Ozonspitzen nicht zu erklären, ebensowenig durch den Verlauf der Globalstrahlung, die am Nachmittag dank aufkommender Bewölkung rascher abnahm als am Vortag. Die maximalen Ozonwerte des 12. Juli ebenso wie die relativ hohen minimalen Werte der folgenden Nacht (45 ppb gegenüber 5 ppb am Vortag) sind nur durch Advektion zu erklären.

18. bis 20. Juli

Überschätzung der Ozonkonzentration (siehe Abb. 11)

Im Zeitraum 18. bis 20. Juli herrschte über Mitteleuropa eher wechselhaftes Wetter mit häufigen Störungseinbrüchen und hoher Bedeckung.

Der 18. Juli war noch weitgehend sonnig; in Eisenstadt wurden an allen Terminen 4/8 Bedeckungsgrad gemeldet, doch war es in Illmitz bis zum Nachmittag (15.00 Uhr) sonnig. Es herrschte bis 22.00 Uhr mäßiger Nordwestwind mit bis zu 8 m/s, der dann abflaute und richtungsmäßig sehr unbeständig wurde.

Der Ozonverlauf des 18. Juli entsprach dem eines typischen Schönwettertages mit maximal 61 ppb.

Am 19. Juli lag eine Störungszone über Österreich; die Bedeckung in Eisenstadt betrug an allen Terminen 6/8. In Illmitz erreichte die Globalstrahlung zeitweise höhere Werte als am Vortag, die Temperatur erreichte bei geringem Tagesgang höhere Werte (26 Grad C) als am Vortag (23 Grad C); dennoch blieben - bedingt durch das geringe Strahlungsangebot - die Ozonwerte mit maximal 54 ppb deutlich unter jenen des 18. Juli.

Der 20. Juli war von noch dichterem Bewölkung (Bedeckungsgrad 6/8 in Eisenstadt, aber deutlich geringere Globalstrahlung in Illmitz als am Vortag) gekennzeichnet; bei nahezu gleichbleibender Temperatur sanken die Ozonwerte weiter ab und erreichten zu Beginn des 20. Juli ihr Minimum sowie ein Maximum von 33 ppb um 4.00 Uhr.

Die Prognose auf Basis der Temperatur führt vom 18. Juli auf den 19. Juli zu einer Überschätzung der Ozonspitzenwerte (Abweichung 15.7 ppb), da es bei Zunahme der maximalen Temperatur zu einer Abnahme der maximalen Ozonkonzentration kam, während jene auf Basis der Globalstrahlungssumme mit einer Abweichung von -0.1 ppb außerordentlich präzise ist; auch für

den 20. Juli - an dem die Ozonkonzentration gegenüber dem Vortag kraß abnahm - schneidet die Prognose auf Basis der Globalstrahlungssumme - die an diesem Tag sehr niedrig war - immer noch besser ab als jene auf Basis von T (-9.6 ppb gegenüber 11.2 ppb).

29. bis 31. Juli

Unterschätzung der Ozonkonzentration am 30. Juli, Überschätzung am 31. Juli (siehe Abb. 12)

Am 29. Juli lag Österreich zwischen einem Tiefdruckgebiet über der Adria und einem Hochdruckgebiet mit Zentrum über der Ostsee; der Bedeckungsgrad in Eisenstadt lag zwischen 2/8 und 4/8, es wehte mäßiger Nordwestwind. Am 30. Juli verlagerte sich das Adria-Tief nach Nordosten, in Österreich herrschte schwacher Hochdruckeinfluß mit sonnigem, windschwachem Wetter und Bedeckungsgraden von 1/8 bis 2/8. Die Temperatur stieg gegenüber dem Vortag leicht auf bis 27 Grad C (gegenüber 26 Grad C) an, die Ozonwerte nahmen jedoch deutlich infolge der erhöhten Einstrahlung zu; der Spitzenwert des 29. Juli betrug 50 ppb, am 30. Juli 71 ppb; dieser Tag war ein Schönwettertag mit einem relativ späten Ozonkonzentrationsmaximum. Die Prognose vom 29. auf den 30. Juli liefert daher auf Basis von T - aber auch von TGSS - eine krasse Unterschätzung der maximalen Ozonkonzentration. Vermutlich war Antransport ozonreicher Luft für die hohen Ozonwerte am 30. Juli verantwortlich.

Von Westen näherte sich eine Kaltfront, die am 31. Juli Österreich überquerte und zu hoher Bedeckung, geringer Einstrahlung und infolgedessen niedrigen Ozonwerten führte, während die Temperatur fast unverändert hoch blieb und am 31. Juli ein Maximum von 25 Grad C erreichte; demgegenüber betrug die maximale Ozonkonzentration nur 51 ppb, sodaß die Prognose aufgrund der maximalen Temperatur - wie auch, wenn gleich weniger stark, der TGSS - ein deutlich überhöhtes Ozonmaximum gibt.

10. bis 14. August

10. bis 11. August: Überschätzung der Ozonkonzentration (siehe Abb. 13)

12. bis 13. August, 13. bis 14. August: Unterschätzung der Ozonkonzentration (siehe Abb. 14)

Die Großwetterlage in diesem Zeitraum war von einem flachen Hochdruckgebiet über Mittel- und Südwesteuropa geprägt, in das vereinzelt mit nordwestlicher Höhenströmung atlantische Störungen eindringen. Gewitter waren häufig, die Bewölkungs- und Windverhältnisse sehr wechselhaft.

Die Tageshöchsttemperaturen lagen am 10. bis 12. August zwischen 27 und 30 Grad C, sanken dann nach Advektion von Kaltluft aus Nordwest auf 24 bis 25 Grad C ab. Die Verläufe der Globalstrahlung zeigen deutlich die unterschiedlichen, rasch variierenden Bewölkungsverhältnisse.

Vom 10. auf den 11. August sank die Ozonkonzentration deutlich ab (Maximum von 64 ppb auf 53 ppb), wohingegen die Temperatur, vermutlich bedingt durch Warmluftadvektion mit dem ab 11. August, 4.00 Uhr wehenden leichten Südwind, zunahm. Ebenso war die Globalstrahlungssumme am 11. August deutlich höher als am 10. August, sodaß beide Prognosen zu einer Überschätzung des Ozonspitzenwerts führen. Vermutlich waren Advektionsprozesse ozonarmer Luft für die Veränderung der Ozonkonzentration mitverantwortlich.

Am 12. August blieb die Ozonkonzentration - in Relation zur Temperatur - niedrig, allerdings waren die Spitzenwerte sowohl von T als auch von O₃ als auch die Globalstrahlungssumme ungefähr gleich hoch wie am Vortag, sodaß die Prognosen einen annähernd zutreffenden Ozonwert liefern.

Vom 12. auf den 13. August nahm die Temperatur deutlich ab (Maxima 30 Grad C bzw. 24 Grad C), während die Ozonkonzentration annähernd gleich blieb. Die Prognose auf Basis der maximalen Temperatur liefert daher für den 13. August eine deutliche Unterschätzung des Ozonmaximums um 21 ppb. Dagegen liefert die Prognose auf Basis der TGSS eine sehr präzise Prognose.

Vom 13. auf den 14. August nahm die Temperatur leicht zu, die Ozonwerte hingegen von 52 ppb am 13. August auf 66 ppb am 14. August stark zu; dies führt zu einer Unterschätzung des Ozonmaximums am 14. August bei der Prognose auf Basis der maximalen Temperatur; das gleiche tritt bei der Prognose auf Basis der TGSS auf.

Für die Verläufe von T und Ozon geben die in Illmitz beobachteten meteorologischen Parameter keine hinreichende Erklärung.

17. bis 19. August

Überschätzung der Ozonkonzentration (siehe Abb. 15)

Am 17. August lag Österreich am Rand eines flachen Hochdruckgebiets im Bereich einer schwach wetterwirksamen Frontalzone, die das sonnige Wetter in Illmitz nur wenig beeinträchtigte; Eisenstadt dagegen meldete 6/8 bis 8/8 Bedeckung. Temperatur (27 Grad C), Globalstrahlung und Ozon (77 ppb) hatten in Illmitz hohe Werte eines typischen Schönwettertages.

Am 18. August erreichte eine weitere Kaltfront Österreich, die mit stärkerer Bewölkung verbunden war, erkennbar an der ausgesprochen geringen Globalstrahlung - die in Summe 4.6 MJ/m².Tag ergab. Die Ozonwerte nahmen deutlich ab, das Maximum lag mit 33 ppb in den frühen Morgenstunden und wurde

tagsüber nur fast wieder erreicht. Die maximale Temperatur dagegen nahm vom 17. auf den 18. August lediglich von 27 auf 21 Grad C ab; dies führt zu einer klaren Überschätzung des Ozonmaximums für den 18. August, aber auch die Prognose auf Basis der TGSS führt zu einer Überschätzung.

Der 19. August war wieder ein ziemlich sonniger Tag mit einem Ozonmaximum von 50 ppb, für das beide Prognosen relativ gute Werte liefern.

4. bis 6. September

Unterschätzung der Ozonkonzentration (siehe Abb. 16)

Der Zeitraum 4. bis 6. September stellte die letzte Ozonepisode mit erhöhten Werten im nördlichen Österreich dar. Bereits am 3. September wurde an der Station Jägerwiese ein Wert über 100 ppb gemessen, desgleichen am 4. und 5. September. An diesem Tag wiesen mehrere Stationen in Wien und Umgebung Werte über 80 ppb auf, daneben aber auch Sulzberg (Vorarlberg) sowie mehrere Stationen des Wald- und Mühlviertels. Am 6. September brach in Nordostösterreich - mit Ausnahme von Jägerwiese - die Ozonkonzentration zusammen, wohingegen nun Vorarlberg Werte über 80 ppb (Sulzberg über 100 ppb) aufwies; daneben registrierten einige Kärntner Stationen erhöhte Werte (> 80 ppb).

Abbildung 16 zeigt den Verlauf der Ozonkonzentration sowie der meteorologischen Parameter für den 4. September, 12.00 Uhr, bis 6. September, 24.00 Uhr, in Illmitz.

Der 3. bis 5. September waren ausgesprochene Schönwettertage mit einem ausgedehnten Hochdruckgebiet über Mitteleuropa. Diese Tage wiesen schwache Winde aus Süd bis West auf, der Bedeckungsgrad lag an der Meßstelle Eisenstadt zwischen 0/8

und 2/8. Sowohl Temperatur und Globalstrahlung als auch Ozon wiesen an diesen Tagen einen ausgeprägten Tagesgang auf.

Die höchsten Ozonwerte traten in Illmitz - ebenso wie an den anderen Stationen Nordostösterreichs - mit cirka 85 ppb am 5. September auf. Diese Ozonspitze in Illmitz ist mit dem Regressions-Modell nicht vorhersagbar, sie entspricht keinem analogen Temperaturanstieg, vielmehr lag die Tageshöchsttemperatur am 5. September mit 27 Grad C genauso hoch wie am 4. September. Mithin kann die Ozonspitze vom 5. September nicht entsprechend vorhergesagt werden. Möglicherweise sind die hohen Ozonwerte in Illmitz am 5. September advektionsbedingt.

Bereits am 5. September setzte in Illmitz - wie in ganz Nordostösterreich - leichter Nordwind ein. Am Abend des 5. September - cirka ab 20 Uhr, erkennbar am Verlauf der Temperatur - trat dichte, niedrige Bewölkung auf, die eine von Norden kommende Kaltfront ankündigte.

Der 6. September war von dichter Bewölkung gekennzeichnet - 4/8 bis 8/8 in Eisenstadt -, erkennbar am Verlauf der Globalstrahlung.

Die Temperatur blieb die Nacht vom 5. auf den 6. September sowie am 6. September weitgehend konstant zwischen 16 und 18 Grad C. Um Mitternacht erfolgte ein leichter Temperaturanstieg auf 21 Grad C, verbunden mit einem Anstieg der Ozonkonzentration auf cirka 55 ppb, die vermutlich advektiv bedingt waren.

Am Vormittag des 6. September schien kurz die Sonne (7.00 bis 9.00 Uhr), was zu einem Anstieg der Temperatur sowie auch von O₃ führte, doch stiegen die Ozonwerte nie über 40 ppb und fielen dann wieder auf cirka 25 ppb ab.

Da die Temperatur im Vergleich zum Vortag nicht im gleichen Ausmaß abnahm, bringt das Regressionsmodell für den 6. September eine krasse Überschätzung der Ozonkonzentration.

9. ZUSAMMENFASSUNG

Die Prognose des täglichen Maximalwerts (HMW oder MW3) der Ozonkonzentration auf Basis der Regressionanalyse des Zusammenhanges zwischen maximaler Ozonkonzentration und maximaler Temperatur liefert im Mittel Fehlprognosen zwischen 8 und 11 ppb. Für verschiedene Regressionsparameter liegt an 74 % der Tage die Abweichung der prognostizierten von der beobachteten maximalen Ozonkonzentration zwischen -10 und +10 ppb. Signifikant ist das häufigere Auftreten von Unterschätzungen von mehr als 10 ppb, wenn die beobachtete Ozonkonzentration über 60 ppb liegt, während bei niedrigen Ozonkonzentrationen die Überschätzungen überwiegen.

Die Prognose auf Basis der täglichen Globalstrahlungssumme anstelle der Temperatur liefert ähnliche, ein wenig schlechtere Ergebnisse.

Operationell ist die Prognose auf Basis der Temperatur vorzuziehen, nicht nur wegen der Prognosegenauigkeit, sondern auch wegen der Verfügbarkeit einer Prognose des Temperaturmaximums, die von den Wetterdiensten routinemäßig erstellt wird. Demgegenüber ist eine Prognose der Globalstrahlungssumme nicht verfügbar.

Als Regressionsparameter sollten diejenigen verwendet werden, welche bei Verwendung aller Tage des Sommers 1991 unter Ausschluß jener Paare von Tagen, an denen die maximale T stieg und die maximale O₃-Konzentration sank oder umgekehrt, abgeleitet wurden (Fall Sommer C). Diese Werte sind am ehesten repräsentativ, während Regressionsparameter, die für einzelne Monate bestimmt wurden, durch die jeweilige meteorologische Situation weder für den ganzen Sommer 1991 noch für folgende Sommer als repräsentativ angesehen werden können.

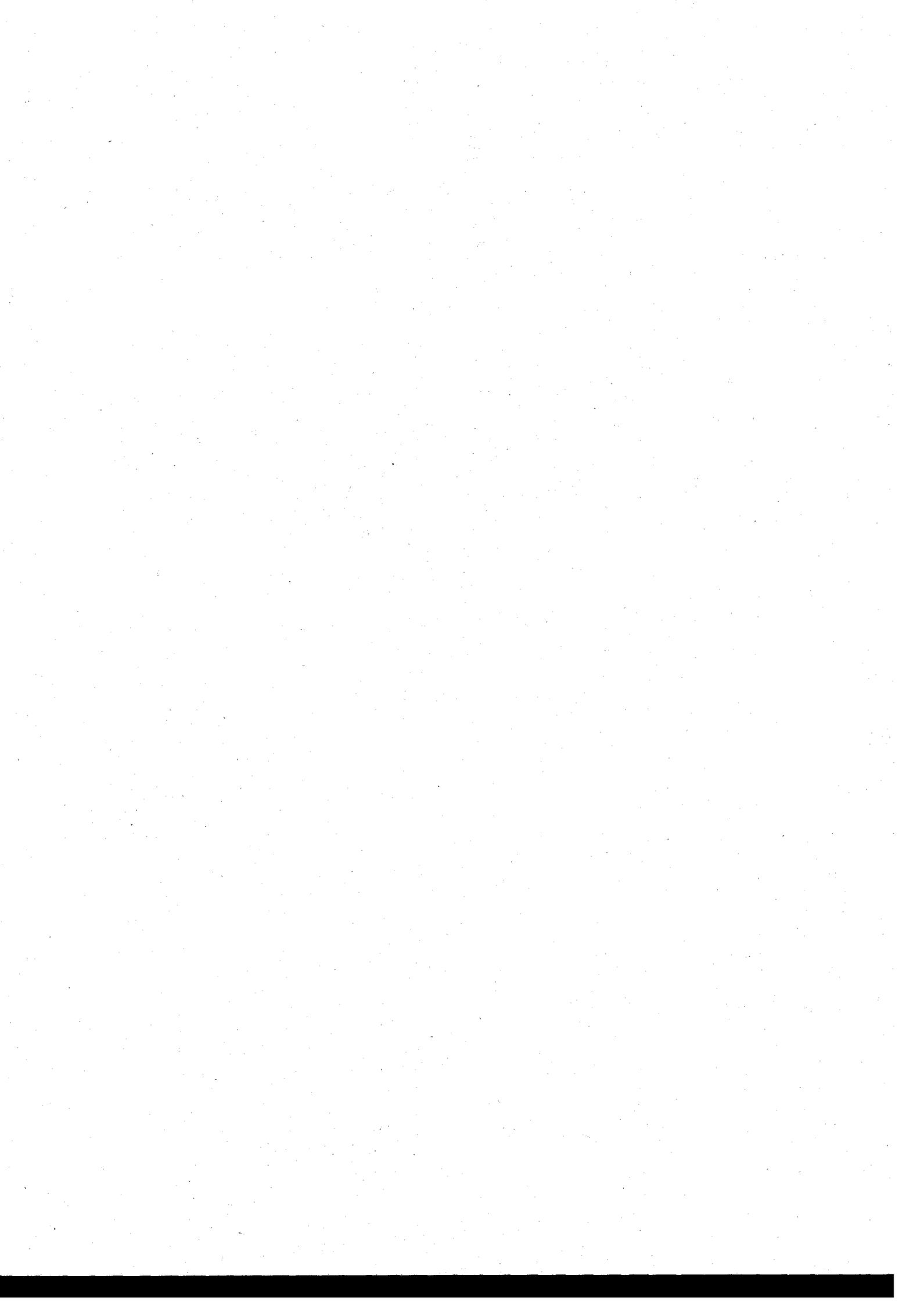
Deutliche Fehlprognosen treten vor allem in folgenden Fällen auf:

- 1 - Überschätzung der Ozonkonzentration, wenn bei verstärkter Bewölkung die Globalstrahlung und damit die Ozonbildung abnehmen, gleichzeitig - meist durch Warmluftadvektion (z.B. bei Südwind) bedingt - die Temperatur gleichbleibt oder ansteigt.
- 2 - Unterschätzung der Ozonkonzentration, wenn Ozonspitzen auftreten, die weder durch den Verlauf der Temperatur noch der Globalstrahlung bedingt sind, sondern durch Transportprozesse von Ozon oder seinen Vorläufersubstanzen zustandekommen.

Während die Fehler in Fall 1 aufgrund der lokalen meteorologischen Situation (Bewölkung) abschätzbar sind, sind die Fehler in Fall 2 nicht lokal bedingt. In diesen Fällen können nur komplexere Modelle, die horizontale und vertikale Transportprozesse sowie photochemische Prozesse berücksichtigen, zu sinnvollen Prognosen führen.

Notwendig wäre dazu die Kenntnis der großräumigen Verteilung von Ozon und seinen Vorläufersubstanzen (auch oberhalb der Mischungsschicht) sowie der Mischungshöhe und des großräumigen Windfeldes.

Solche Daten sollen im Rahmen des Projektes POP (Pannonisches Ozon-Projekt) (1994 bis 1996) erfaßt werden.



Illmitz, Juni 1991, Fall C

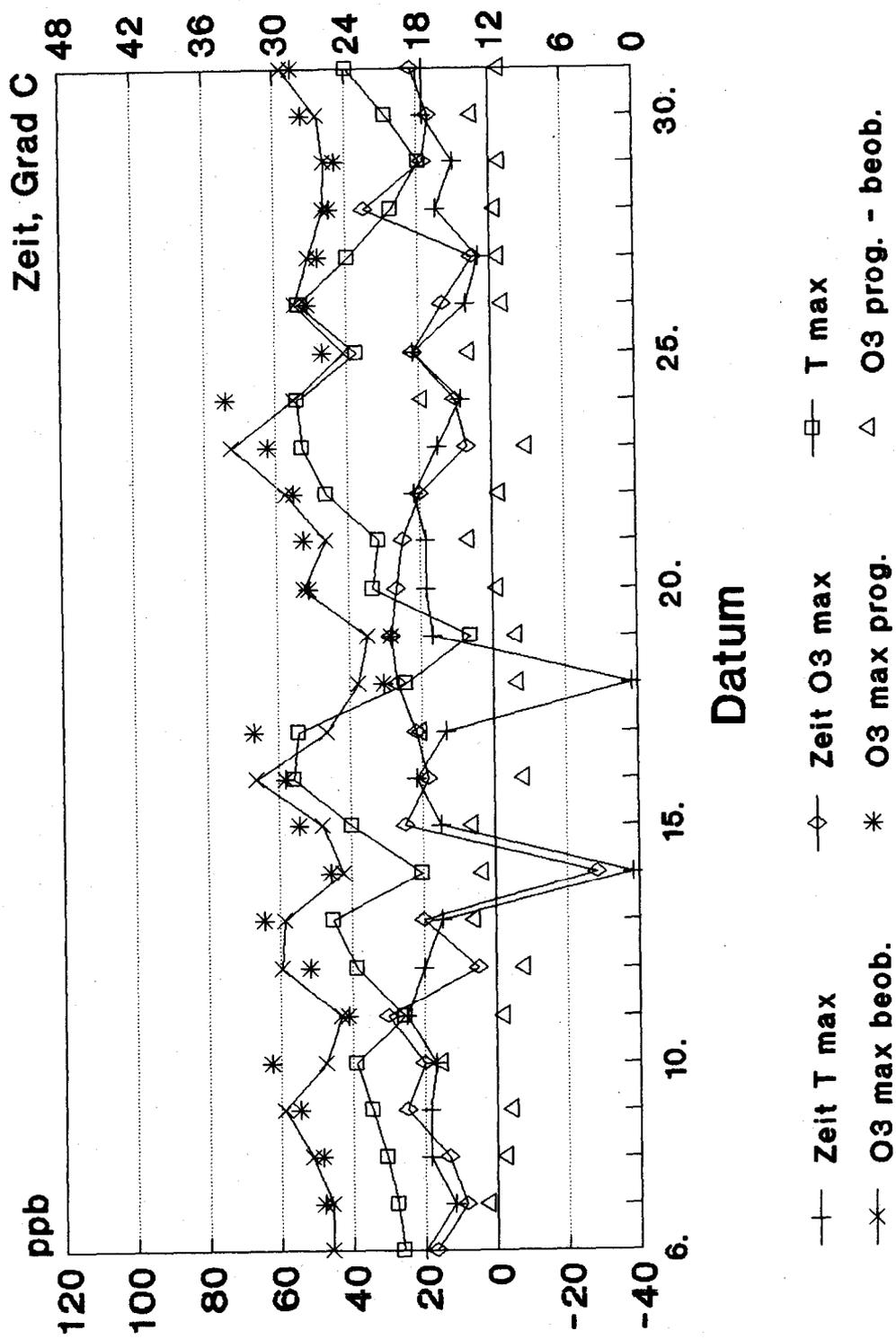


Abb. 1

Illmitz, Juli 1991, Fall C

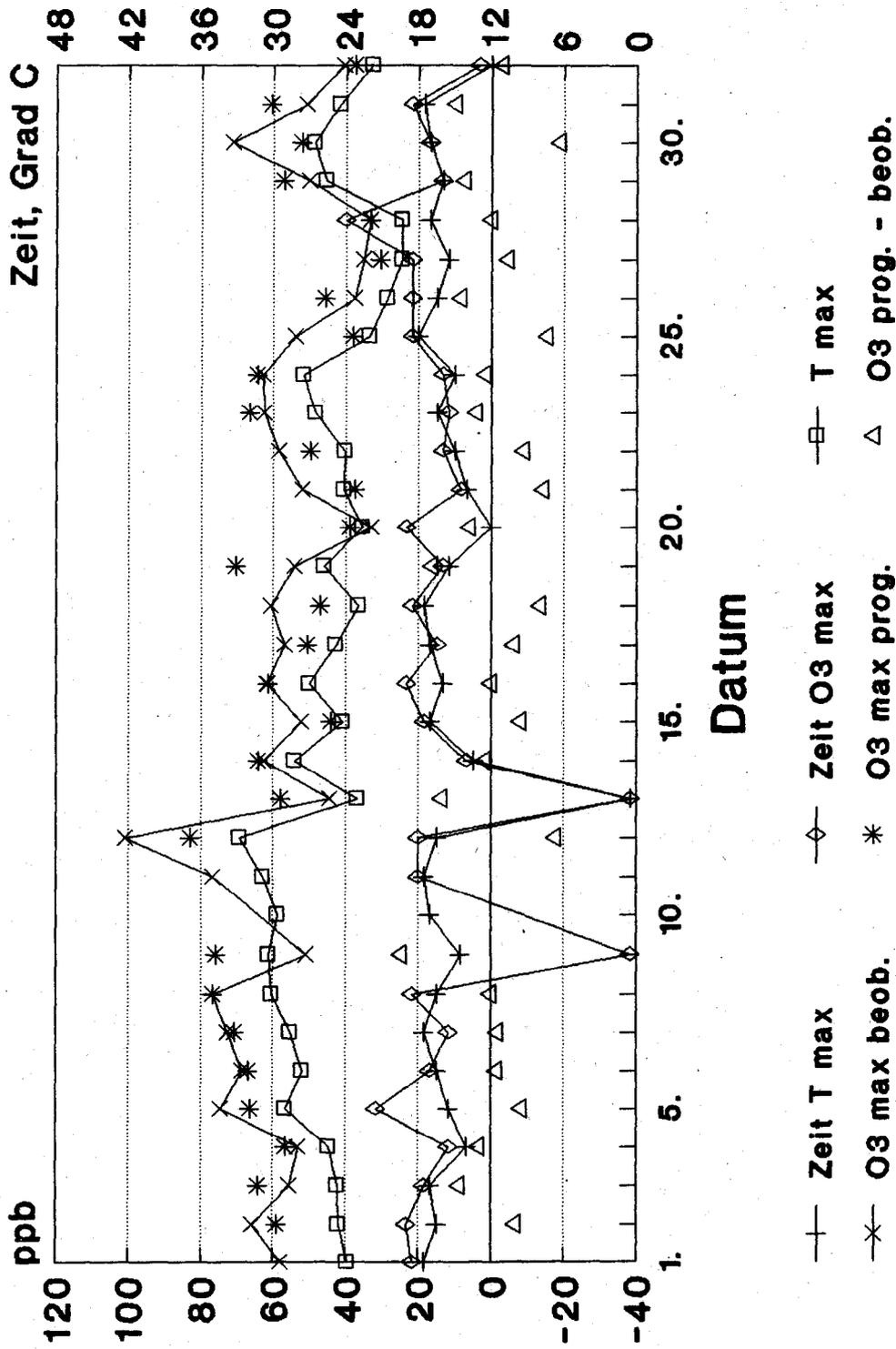


Abb. 2

Illmitz, August u. Sept. 1991, Fall C

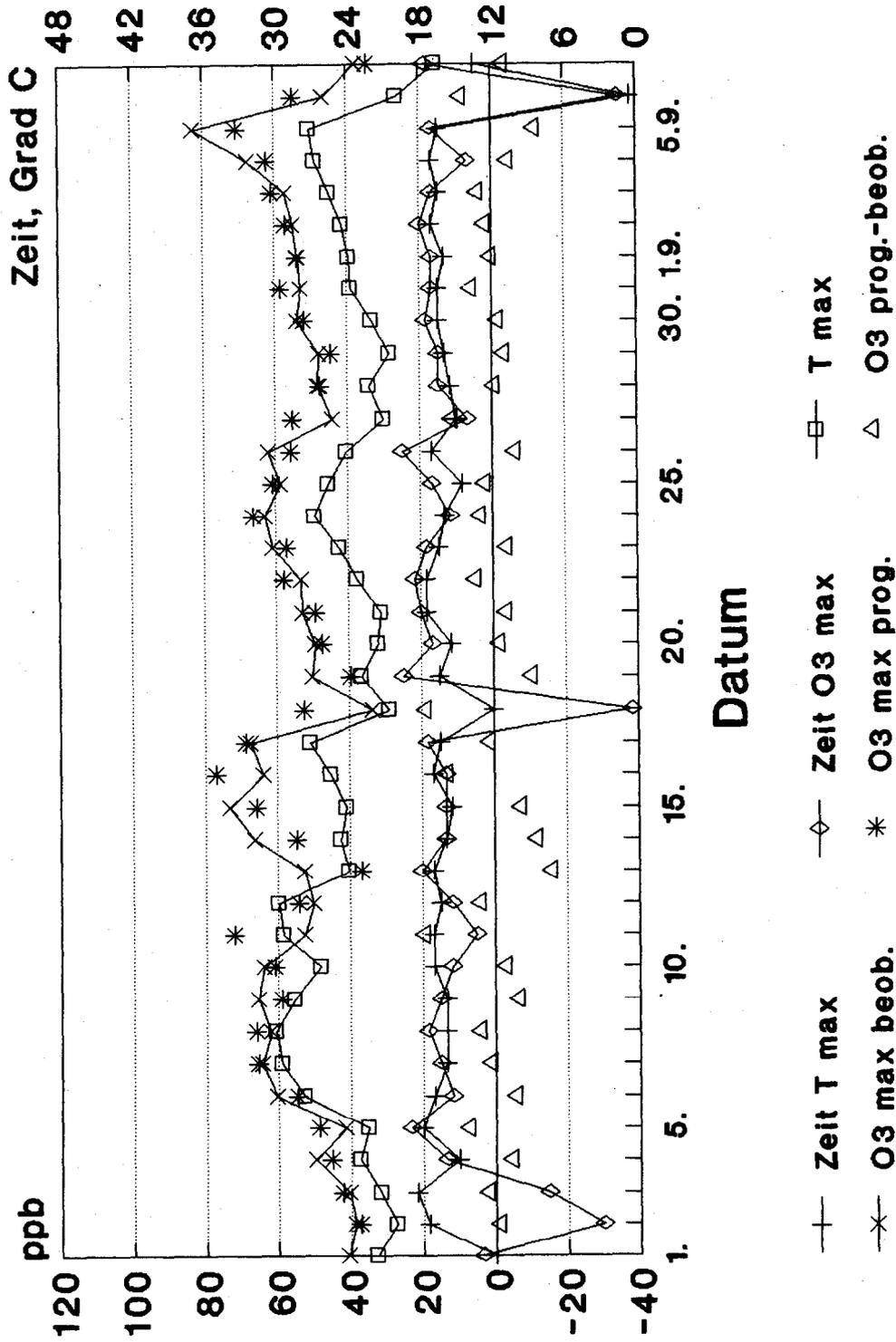


Abb. 3

Illmitz, Juni 1991, Fall C

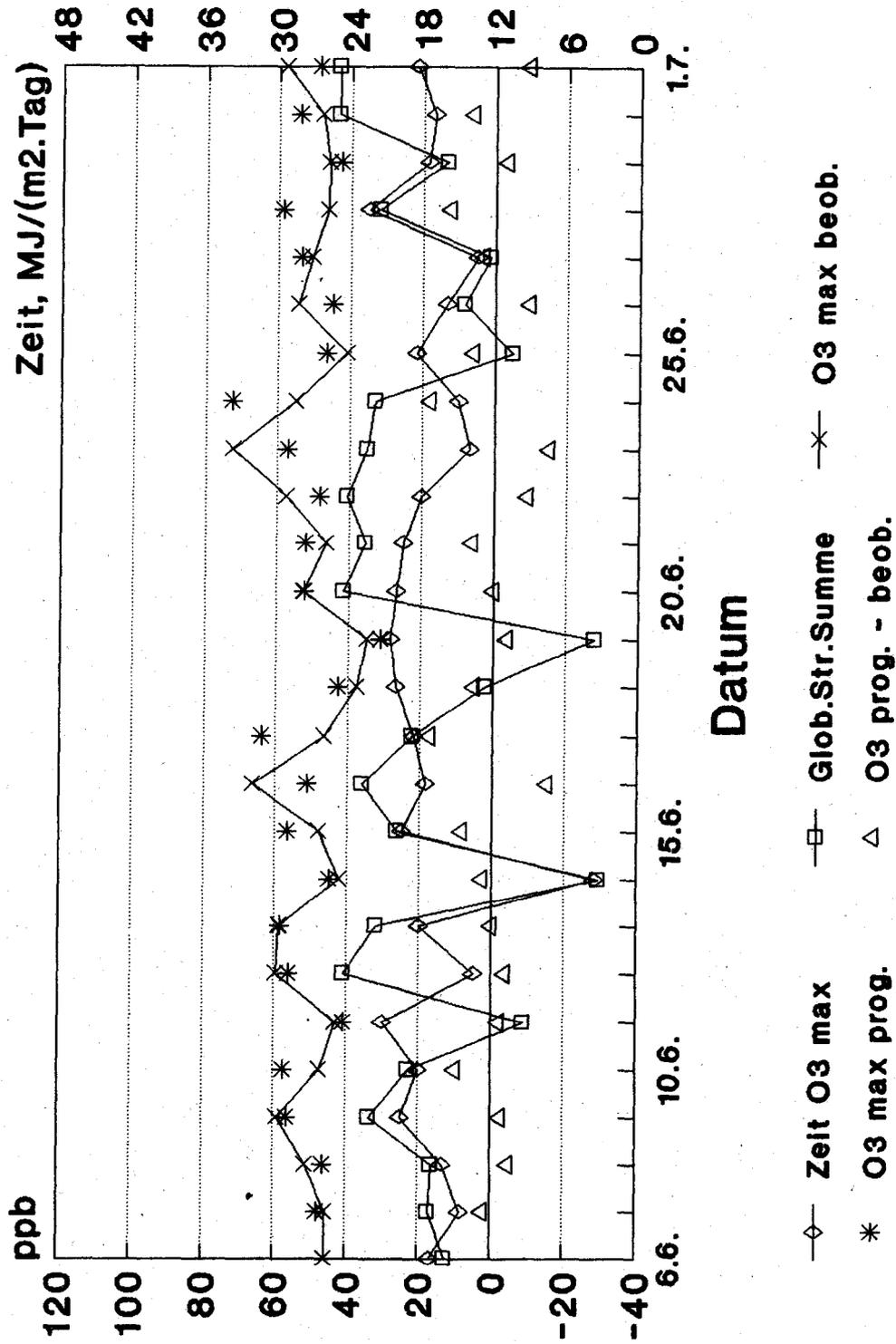


Abb. 4

Illmitz, Juli 1991, Fall C

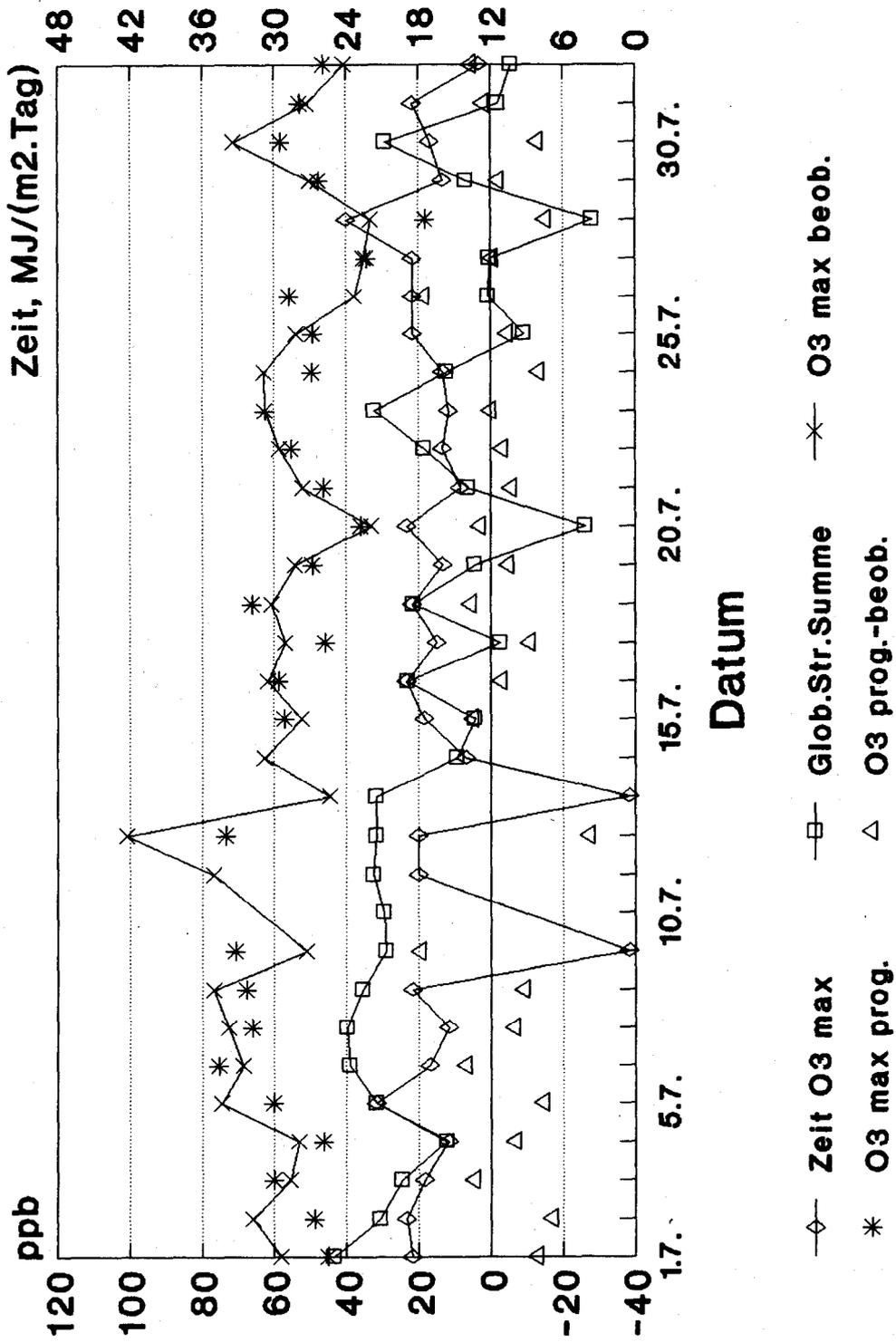


Abb. 5

Illmitz, August u. Sept. 1991, Fall C

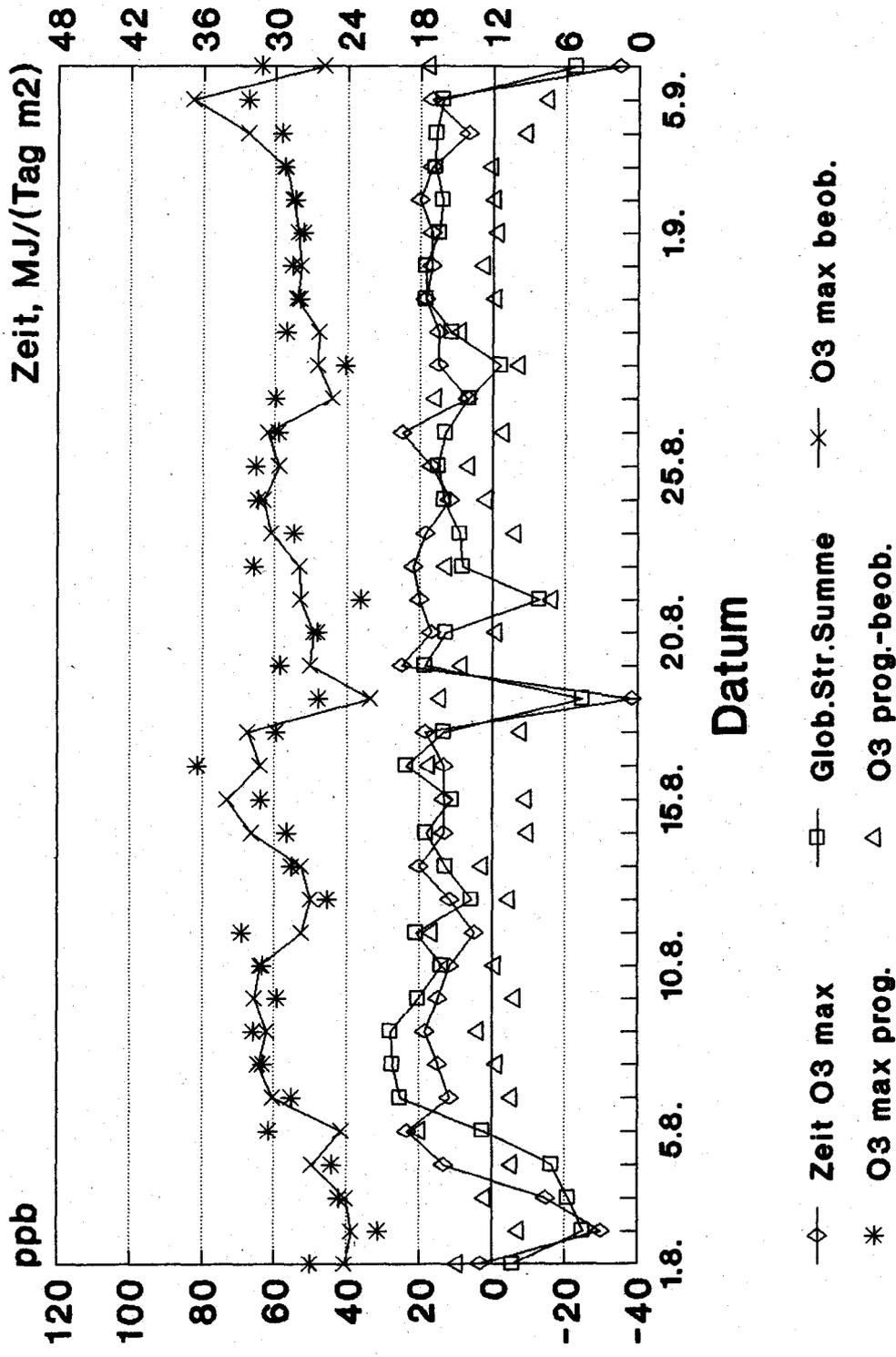


Abb. 6

Illmitz

9. - 11. 6. 1991

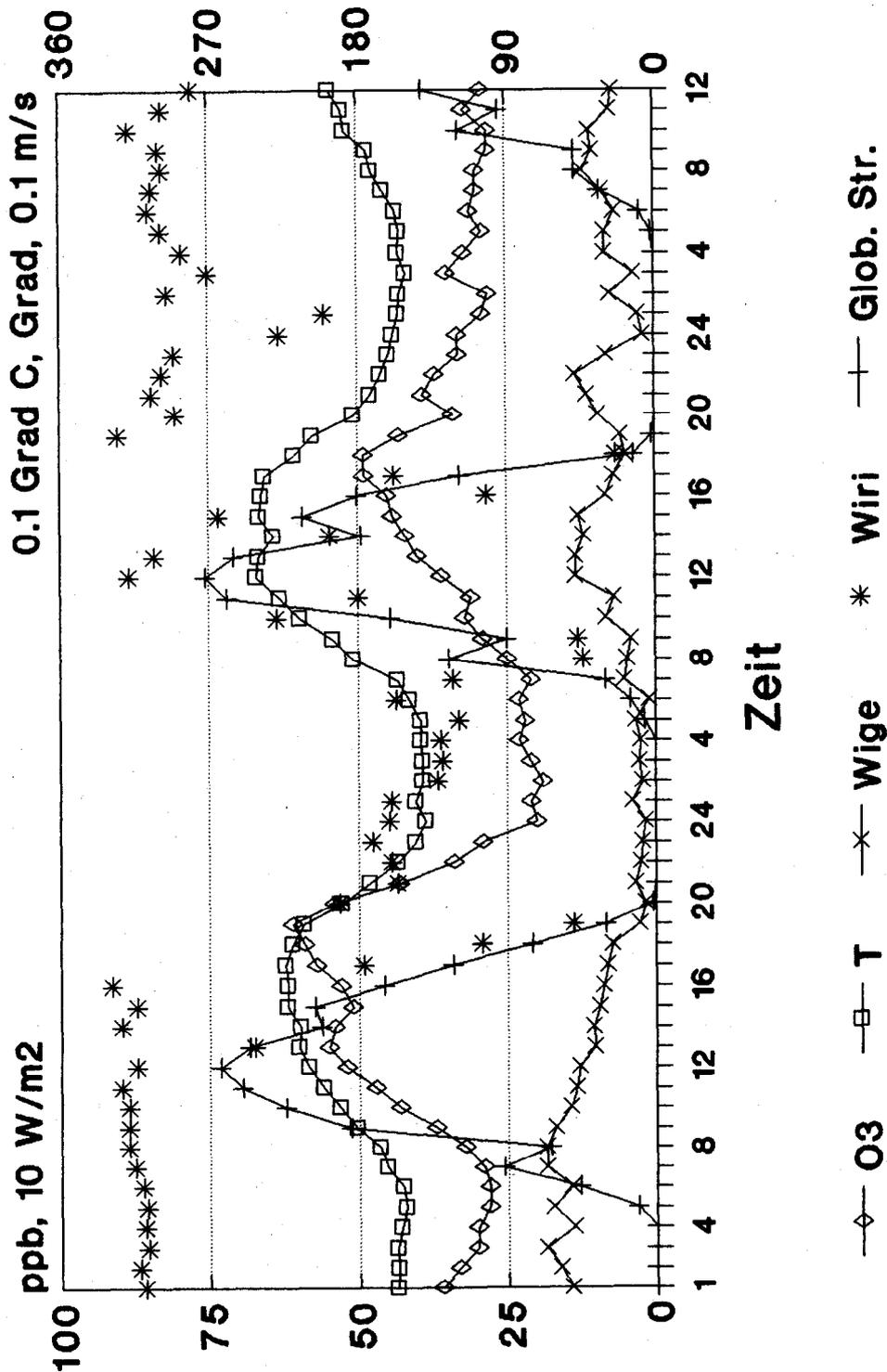


Abb. 7

Illmitz

16. - 17. 6. 1991

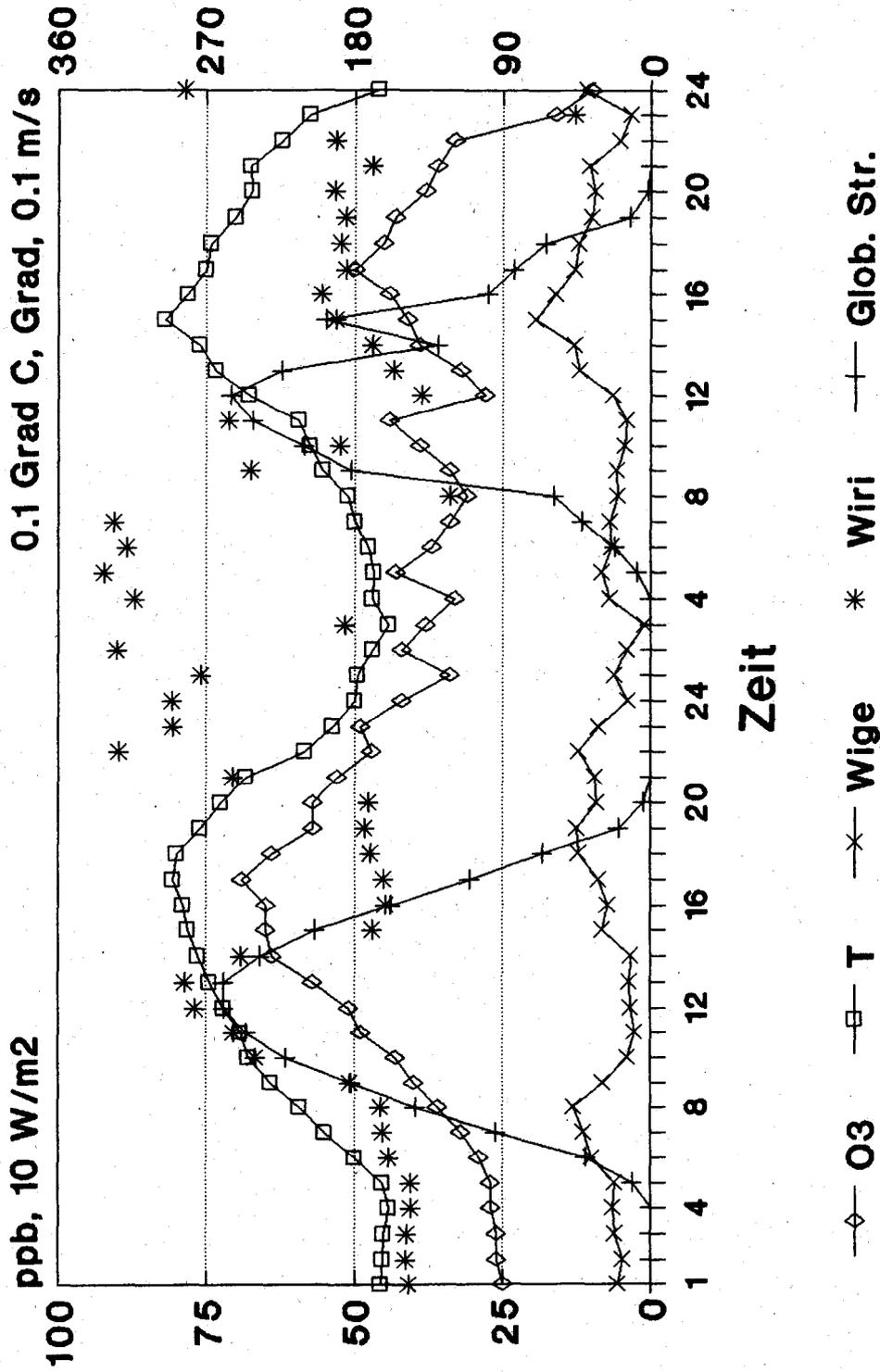


Abb. 8

Illmitz

23. - 25. 6. 1991

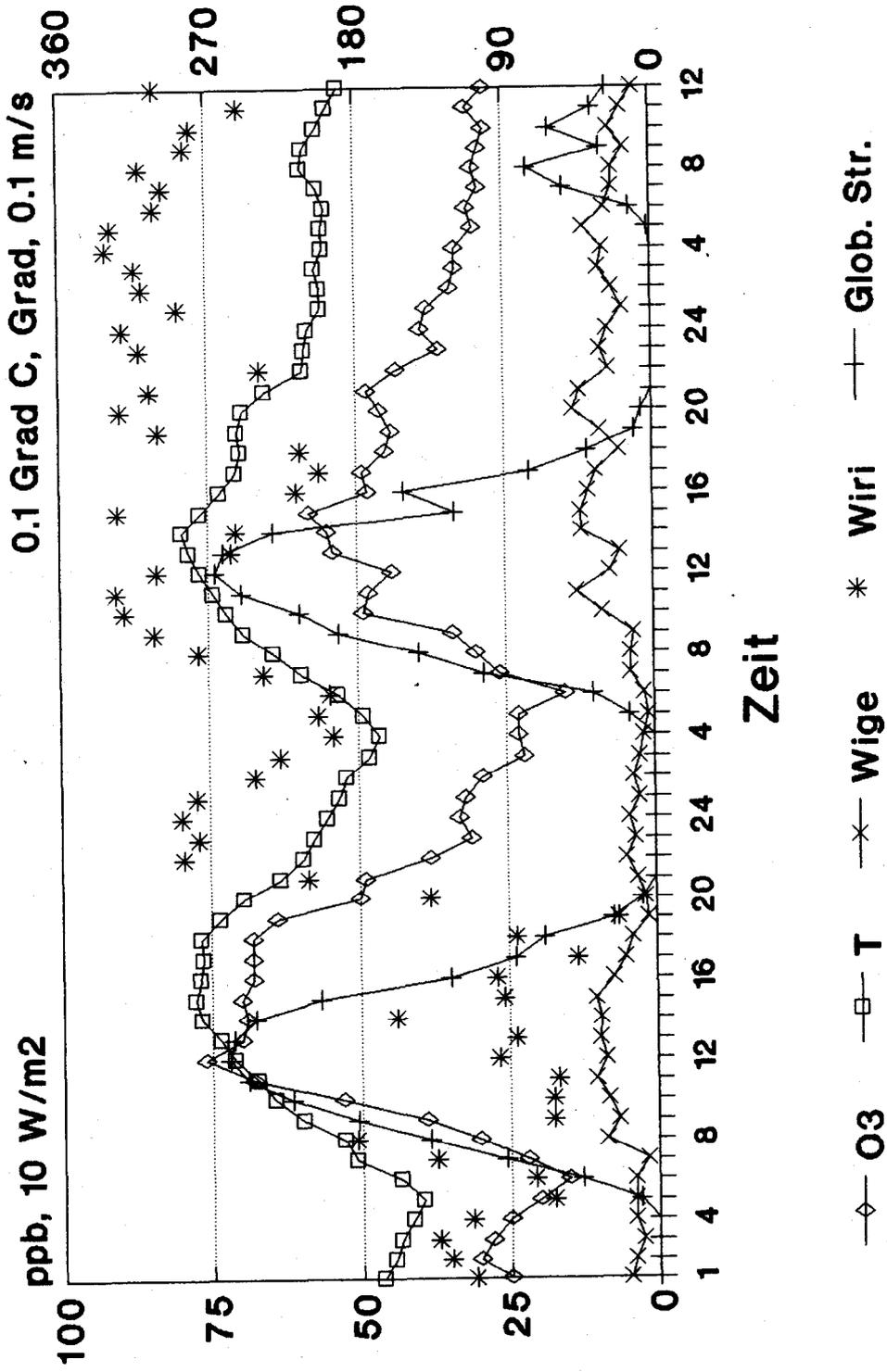


Abb. 9

Illmitz

11. - 12. 7. 1991

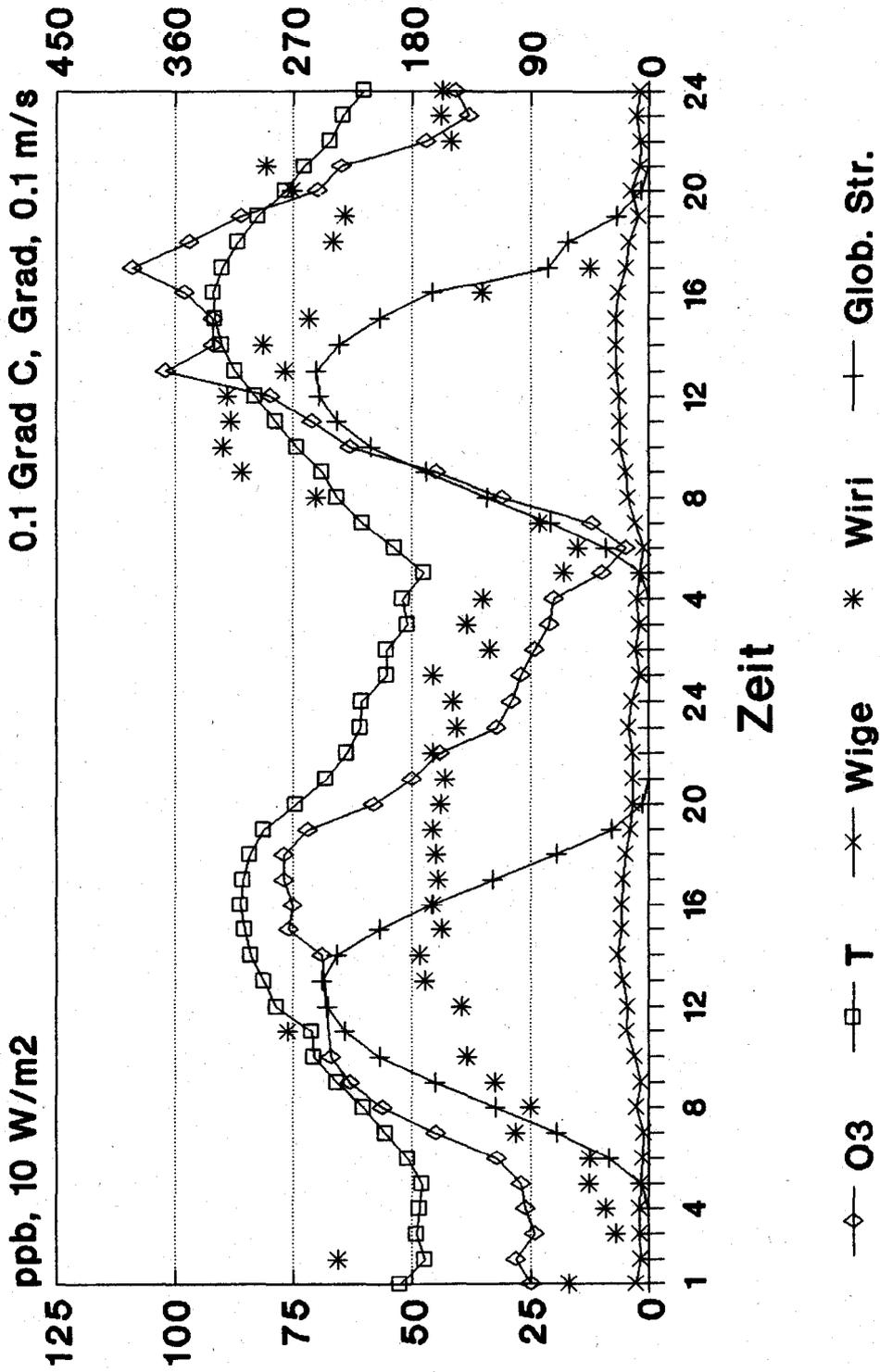


Abb. 10

Illmitz

18. - 20. 7. 1991

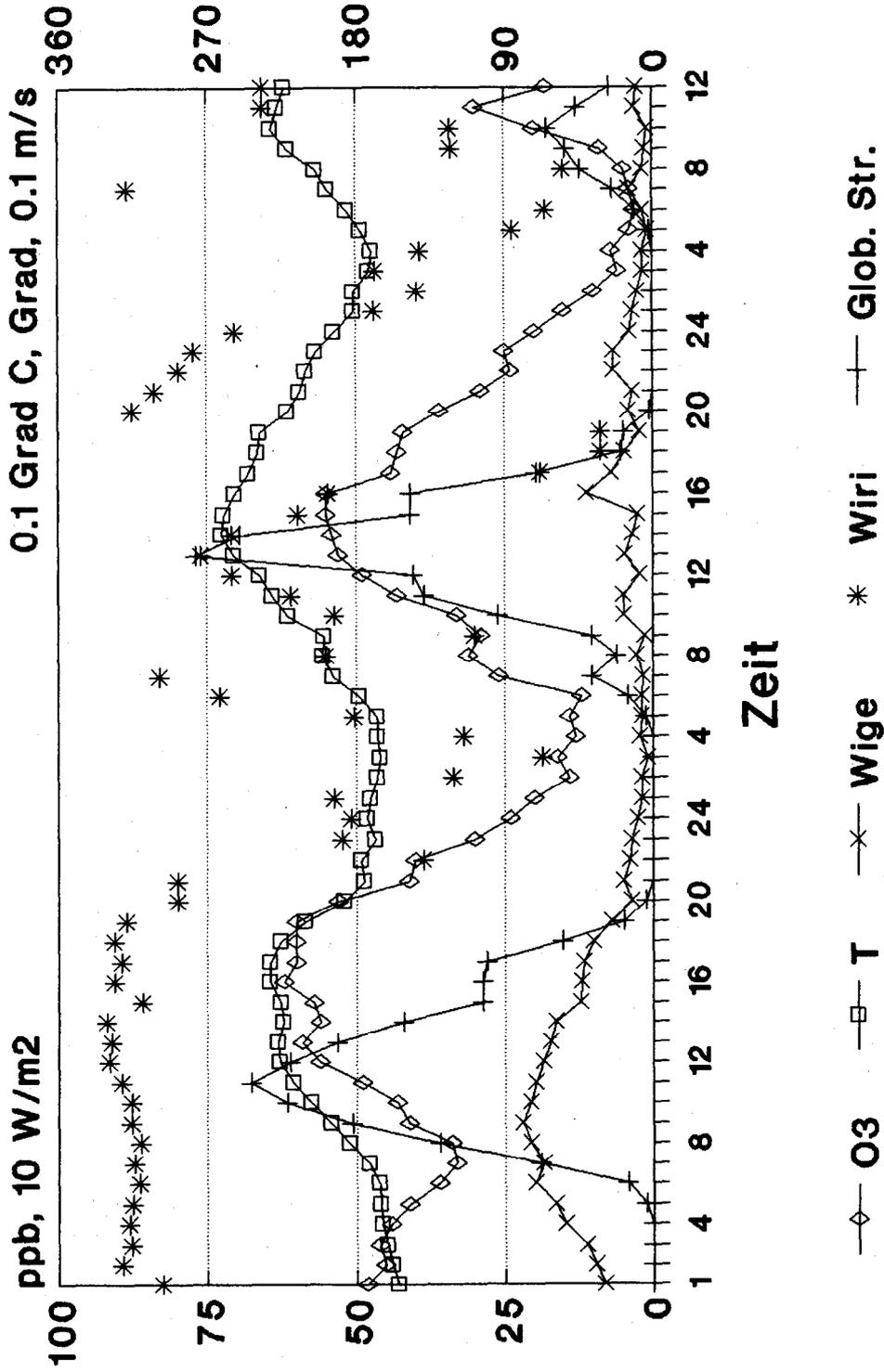


Abb. 11

Illmitz

29. - 31. 7. 1991

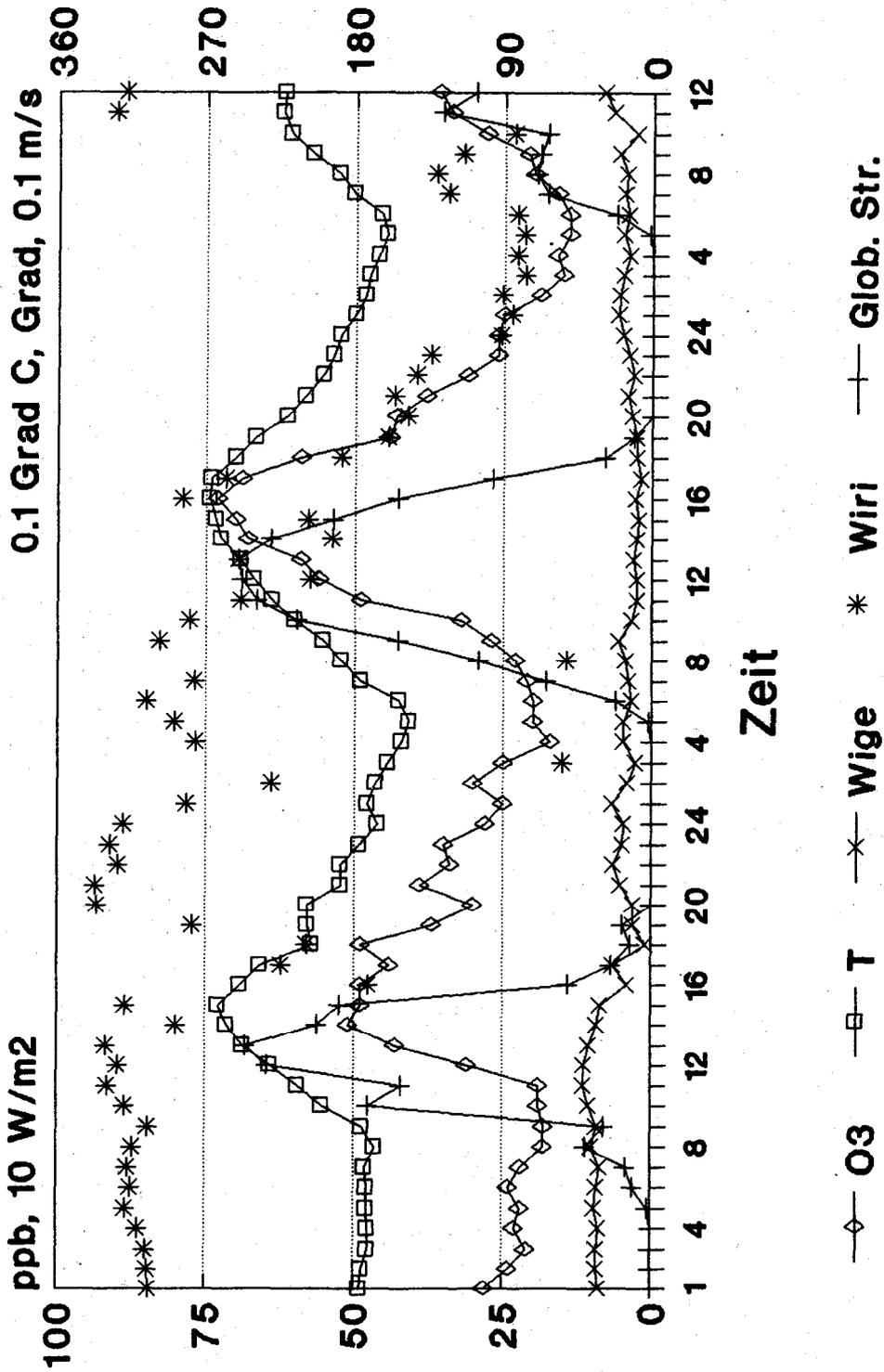


Abb. 12

Illmitz

10. - 12. 8. 1991

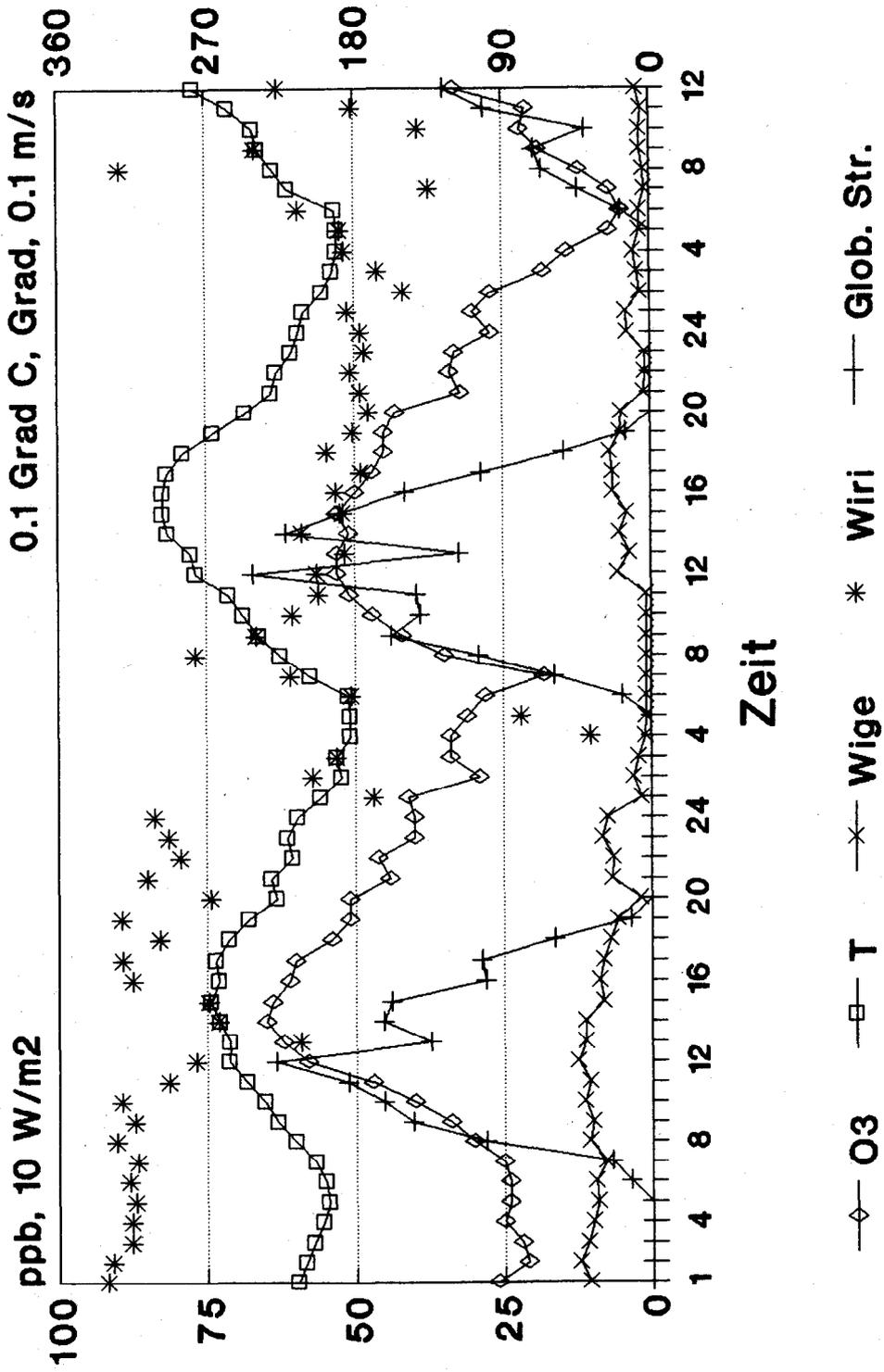


Abb. 13

Illmitz

12. - 14. 8. 1991

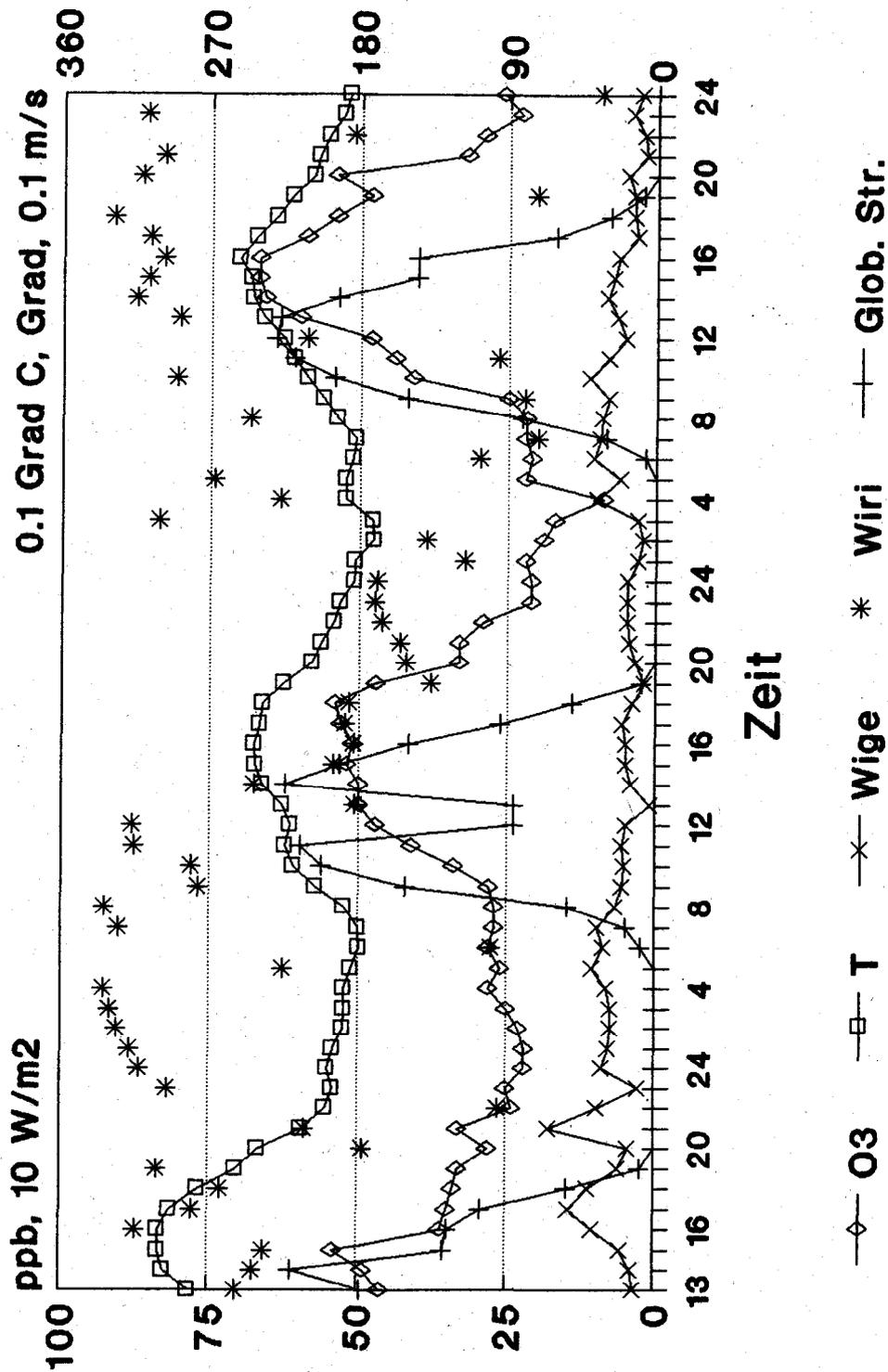


Abb. 14

Illmitz

4. - 6. 9. 1991

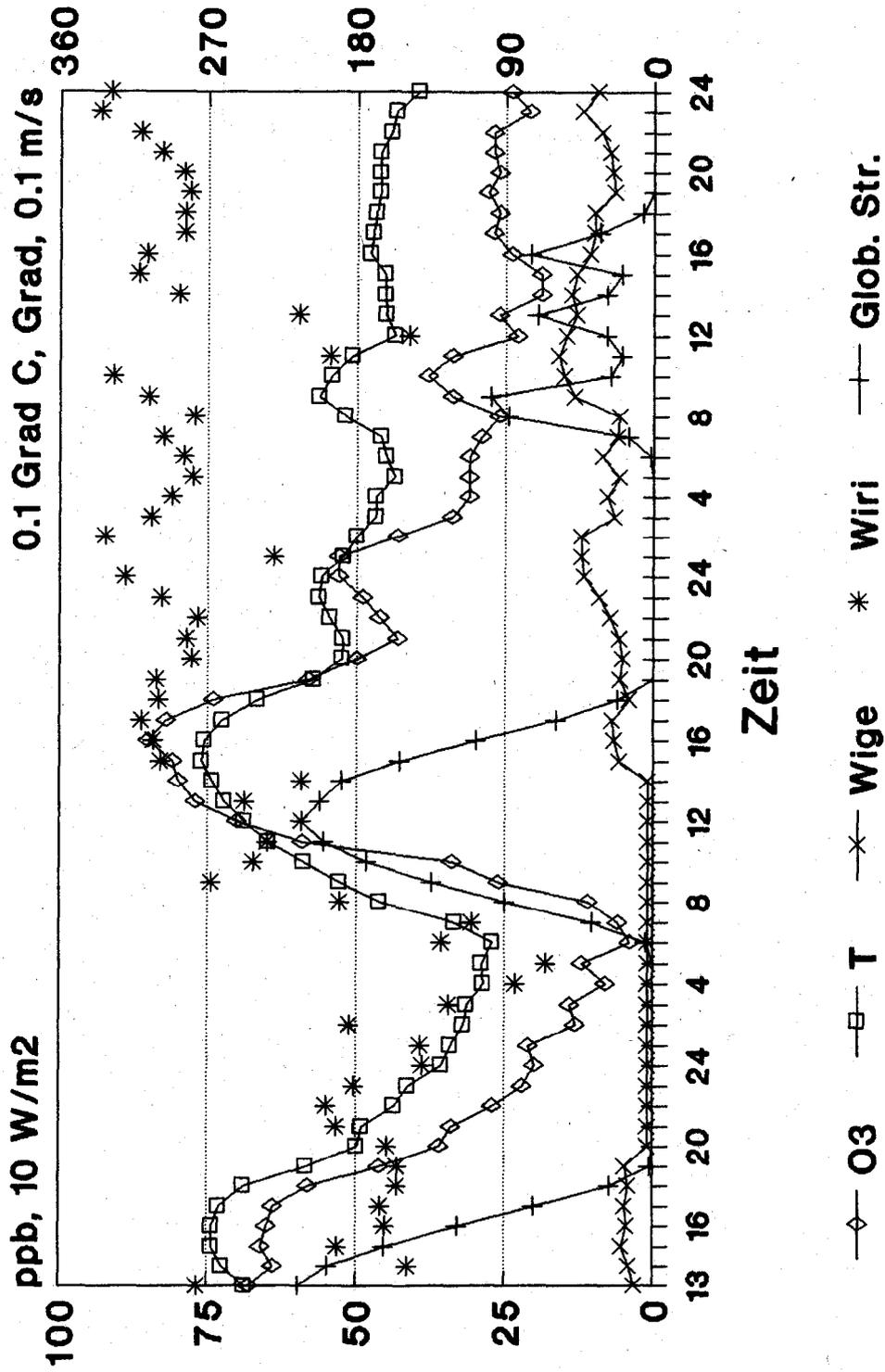


Abb. 16