

UBA-BE-080

BERICHTE

**MESSUNGEN DER OZONKONZENTRATION  
AUF DER RAX  
JUNI 1995 BIS OKTOBER 1996**



# **Messungen der Ozonkonzentration auf der Rax**

**Juni 1995 bis Oktober 1996**

**UBA-BE-080**

Wien, Dezember 1996

Bundesministerium für Umwelt, Jugend  
und Familie



Betreuung der Meßstelle: Ulrike Girbardt, Fritz Lagler  
Auswertung und Berichterstellung: Wolfgang Spangl

**Impressum:**

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

© Umweltbundesamt, Wien, Dezember 1996

Alle Rechte vorbehalten  
ISBN 3-85457-349-9

## Zusammenfassung

Das Umweltbundesamt führte zwischen Juni 1995 und Oktober 1996 auf der Rax in Niederösterreich (Seilbahn-Bergstation, Seehöhe ca. 1550 m) Messungen der Ozonkonzentration durch. Das Ziel der Messungen war die Erfassung der Ozonbelastung im Hochgebirge in den nordöstlichen Alpen.

Warnwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit, wie sie im Ozongesetz (0,200 mg/m<sup>3</sup> als MW3: ein Tag mit Überschreitung) sowie in der EU-RL 92/72/EWG (0,180 mg/m<sup>3</sup> als MW1: drei Tage mit Überschreitung) festgelegt sind, wurden auf der Rax - im österreichweiten Vergleich selten überschritten.

Die Ozonbelastung auf der Rax liegt hingegen, was den Mittelwert, die kumulative Belastung - in Hinblick auf die von der UN/ECE definierten „Critical Levels“ - und die Überschreitung von vegetationsbezogenen Schwellenwerten der EU und Wirkungsbezogenen Immissionsgrenzkonzentrationen (WIK) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften betrifft, im österreichischen und europäischen Spitzenfeld. So wurde der in der RL 92/72/EWG festgelegte Schwellenwert zum Schutz der Vegetation von 0,065 mg/m<sup>3</sup> als MW24 im Winter 1995/96 während 79% der Meßzeit überschritten, im Sommer 1996 während 82% der Meßzeit.

Gleichermaßen liegt die Meßstelle Rax in Hinblick auf den EU-Schwellenwert zum langfristigen Schutz der menschlichen Gesundheit im österreichischen Spitzenfeld.

Die auf der Rax registrierte Belastungssituation ist in ihrer Höhe und ihrem zeitlichen Verlauf jener an der 1618 m hoch gelegenen Station Rennfeld (bei Bruck a.d.M. in der Steiermark, ca. 50 km südwestlich) sehr ähnlich und kann als typisch für einen Hochgebirgsstandort in den Ostalpen angesehen werden. Der Vergleich mit anderen Meßstellen dieser Höhe zeigt, daß die Ozonbelastung im Hochgebirge horizontal sehr einheitlich ist. Die hohe Überschreitung vegetationspezifischer Schwellenwerte sowie von Critical Levels deutet auf ein hohes Risiko hin, dem der Wald im Hoch- und Mittelgebirge durch Ozon ausgesetzt ist.

Die Ozonbelastung auf der Rax repräsentiert ganz überwiegend die mitteleuropäische Hintergrundbelastung; ein Einfluß regional verstärkter Ozonbildung im Raum Wien auf die Rax konnte nur in Einzelfällen identifiziert werden.

Die Episode mit der höchsten Ozonbelastung auf der Rax am 19. April 1996 während einer langanhaltenden Hochdruckwetterlage - wobei mit 0,224 mg/m<sup>3</sup> der höchste MW3 in Österreich im Jahr 1996 gemessen wurde - könnte auf Eindringen stratosphärischer Luftmassen in die Troposphäre zurückzuführen sein. Eine eindeutige Ursachenzuordnung ist auf Basis des vorliegenden Datenmaterials nicht möglich, zumal Ozonbildung in der Abgasfahne Wiens als Ursache nicht auszuschließen ist. Dabei handelt es sich jedoch um den einzigen seit 1990 dokumentierten Fall, bei welchem das Eindringen stratosphärischer Luftmassen für das Auftreten von Ozonkonzentrationen im Bereich der Vorwarnstufe des Ozongesetzes verantwortlich sein könnte.

## Summary

From June 1995 to October 1996 the Federal Environment Agency conducted measurements of tropospheric ozone on the Rax (alt. 1550 m), a high Alpine site in south-eastern Lower Austria. The monitoring site was located in the building of the Rax suspension railway.

---

Alert values for the protection of human health were exceeded only on a few days (Pre-warning level of the Austrian Ozone law: One day in April 1996; the threshold value for the information of the public of the ozone directive 92/72/EEC: three days in April 1996).

The exceedance of the threshold for the protection of the vegetation given in the directive 92/72/EEC and of the Critical Levels, set by the UN/ECE reveal the extraordinary high ozone exposure of the vegetation in this high Alpine region, compared to most of Austria and Europe. The threshold value for the protection of the vegetation was exceeded in winter 1995/96 during 79% of the measurement time, in summer 1996 during 82%.

The threshold set by the EU for the long-term protection of human health, as well, was exceeded on the Rax rather frequently, compared to other regions of Austria.

The pollution by ozone on the Rax is, with respect both to the concentration level and the temporal variation, very similar to that on the Rennfeld (alt. 1618 m, approx. 50 km south-west from Rax). Obviously, ozone pollution in Alpine regions is horizontally very homogeneous.

The concentration measured on the Rax generally represents the central European background concentration. Enhanced photochemical build-up leeward to Vienna was identified only on single days.

The maximum peak values were measured in April 1996, with a maximum three hour mean value of  $224 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (April 19<sup>th</sup>), which was the highest value recorded in Austria in 1996. It can not yet be stated whether this extreme high concentration was due to a stratospheric intrusion of ozone - this assumption is supported by extraordinarily high  $^7\text{Be}$ -values in Vienna - or due to strong photochemical ozone build-up leeward to Vienna - which could be deduced from the trajectories reaching Rax. Anyway, this would have been the first incident of ozone concentrations around  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  since 1990 that could be attributed to a stratospheric intrusion.

# Messung der Ozonkonzentration auf der Rax

Juni 1995 bis Oktober 1996

## 1 Zielsetzung der Messung

Das Umweltbundesamt führte von Juni 1995 bis Oktober 1996 auf der Rax (Seilbahn-Bergstation) in 1550 m Seehöhe die Messung der Ozonkonzentration durch. Die Messungen dienten der Vorerhebung der Ozonbelastungssituation in diesem Höhenbereich (es handelte sich um die erstmalige Messung von Ozon im Hochgebirge in Niederösterreich)<sup>1</sup>; sie fanden in Kooperation mit dem Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Abt. B/10, statt.

Der Betreibergesellschaft der Rax-Seilbahn und des Berghotels Rax sei an dieser Stelle für das Zurverfügungstellen der Räumlichkeiten gedankt.

Zielsetzungen der Vorerkundungsmessung waren

- die Klärung der Frage, ob sich in der Höhe der Rax Ozonferntransport identifizieren läßt, welcher die Belastungssituation im Raum Wien beeinflusst;
- die Klärung der Frage, ob sich in der Höhe der Rax Auswirkungen photochemischer Ozonbildung in der Abgasfahne des Ballungsraumes Wien identifizieren lassen;
- die Kenntnis der Ozonbelastung in dieser Höhe im nordöstlichen Alpengebiet, insbesondere in Hinblick auf die Belastung des Waldes durch Ozon; die nächstgelegenen Meßstellen in vergleichbarer Höhe ist Rennfeld (1619 m) in der Steiermark, höher gelegene Meßstellen als Rax und Rennfeld finden sich erst in Kärnten (Gerlitzten, 1910 m) und Salzburg (Sonnblick, 3106 m); die höchstgelegene Meßstelle in Niederösterreich ist Payerbach (890 m).

## 2 Beschreibung der Meßstelle

Die Messung erfolgte im Gebäude der Bergstation der Rax-Seilbahn (Bodenniveau 1547 m). Die Ansaugleitung wurde durch ein Fenster im zweiten Stock ins Freie gelegt, die Ansaugung erfolgte ca. 15 m über Boden an der Nordwestseite des Gebäudes.

Das Gebäude der Seilbahn-Bergstation liegt exponiert am Nordrand des Rax-Plateaus, wo dieses steil ins Höllental abfällt. Die Umgebung des Gebäudes ist mit Gras bewachsen, Hochwald beginnt in ca. 100 m Entfernung im Westen und Süden.

---

<sup>1</sup> Die Meßergebnisse der Station Rax wurden nicht zur Information der Bevölkerung oder Auslösung der Vorwarnstufe laut Ozongesetz (BGBL. 210/92) herangezogen und nicht in die nationalen Berichte an die EU-Kommission gemäß RL 92/72/EWG einbezogen.

Die Messung erfolgte mit einem Gerät der Type ML 8810. Folgende Tabelle gibt die technischen Kenndaten des Meßgerätes an.

Analysator	Monitor Labs 8810
Meßprinzip	UV-Absorption
Konzentrationsangabe	ppb
Untere Nachweisgrenze	2 ppb
Präzision	± 2 ppb
Ansprechzeit (T <sub>95</sub> )	180 s
Kalibrierung	mit TECO 49 PS

### 3 Auswertung

Die Auswertung der Ozonmeßdaten von der Rax schließt einen Vergleich mit den Meßstellen Ternitz, Payerbach, Forsthof, Exelberg, Wiesmath, Rennfeld, Masenberg, Salberg und Sonnblick ein. Der Vergleich mit diesen Meßstellen ordnet die Ozonbelastung auf der Rax in den großräumigen Kontext ein und gibt weiters Auskunft über ihre Vertikalverteilung.

Abbildung 1 zeigt die Lagen der Meßstellen.

Die Meßstellen Ternitz und Payerbach liefern zusammen mit Rax ein Vertikalprofil der Ozonkonzentration. Ternitz liegt im Steinfeld im südwestlichen Teil des Wiener Beckens, d.h. in der Ebene; Payerbach liegt auf einem Rücken unmittelbar östlich der Rax.

Forsthof liegt im zentralen Wienerwald und kann als repräsentativ für die großflächige Belastung im Wienerwald angesehen werden; Exelberg - am nordwestlichen Stadtrand Wiens - ist hingegen bei Südostwind unmittelbar von verstärkter Ozonbildung in der Abgasfahne Wiens betroffen.

Wiesmath liegt im Hügelland der Buckligen Welt im südöstlichen Niederösterreich.

Die steiermärkische Meßstelle Masenberg befindet sich am Alpenostrand bei Hartberg, Rennfeld in den Fischbacher Alpen bei Bruck an der Mur, Salberg an der Nordseite des Ennstales bei Liezen. Diese drei Meßstellen haben den Charakter von „Bergstationen“ mit relativ flachen Tagesgängen auf hohem Niveau. Während Masenberg und Rennfeld von großräumigem Luftmassentransport am Alpenostrand stark beeinflusst werden, stellt Salberg eine typische inneralpine Lage dar.

Die Station Sonnblick in den Hohen Tauern ist repräsentativ für die großflächige, von regionaler, anthropogen bedingter Ozonbildung weitestgehend unbeeinflusste Belastung. Tabelle 1 gibt die Lagebeschreibung dieser Ozonmeßstellen.

Tabelle 1: Lagebeschreibung der in den Vergleich mit Rax einbezogenen Ozonmeßstellen

	Seehöhe (m)	Lage	Nutzung der Umgebung
Exelberg	575	Hügelland, 60 m hoher Turm	Wald
Forsthof am Schöpfl	581	Hügelland, Kuppe	Wiese
Payerbach	890	Berggrücken	Wiese
Ternitz	380	Ebene, lockere Verbauung	Locker verbautes Wohngebiet
Wiesmath	738	Hügelland, Kuppe	Felder
Masenberg	1137	Berghang	Wiese, Wald
Rennfeld	1618	Bergkuppe	Alm, Wald
Salberg	1250	Hang	Wiese, Wald
Sonnblick	3106	Berggipfel	Gletscher, Fels

Die Auswertung erfolgt getrennt für das Winterhalbjahr 1995/96 (Oktober bis März) sowie für das Sommerhalbjahr 1996 (April bis September).

### 3.1 Statistische Auswertung

Für die oben genannten Meßstellen sind in Tabelle 2 Mittelwert, Standardabweichung und Schiefe<sup>2</sup> der Ozonkonzentration für das Winterhalbjahr 1995/96 und das Sommerhalbjahr 1996 angegeben.

Sowohl im Winter 1995/96 als auch im Sommer 1996 wies die Station Sonnblick mit 46 ppb (0,092 mg/m<sup>3</sup>) bzw. 57 ppb (0,114 mg/m<sup>3</sup>) den höchsten Mittelwert auf, gefolgt von Rennfeld mit 38 ppb (0,076 mg/m<sup>3</sup>) bzw. 49 ppb (0,098 mg/m<sup>3</sup>) und Rax mit 38 ppb (0,076 mg/m<sup>3</sup>) bzw. 50 ppb (0,100 mg/m<sup>3</sup>), die ebenfalls Hochgebirgs-Meßstellen sind. Der Halbjahresmittelwert zeigt sowohl im Winter als auch im Sommer eine gute „Korrelation“ mit der Seehöhe. Im Winter 1995/96 wiesen die Meßstellen Exelberg (18 ppb bzw. 0,036 mg/m<sup>3</sup>) und Ternitz (15 ppb bzw. 0,030 mg/m<sup>3</sup>) die niedrigsten Mittelwerte auf. Dies ist eine Folge der höheren NO-Belastung an diesen Standorten, wobei Ternitz zudem vergleichsweise oft von austauscharmen Inversionssituationen im Wiener Becken betroffen ist, die zu erhöhter NO-Belastung und niedriger Ozonbelastung beitragen. Exelberg wies im

<sup>2</sup> Die Schiefe ist ein Maß für die Abweichung der Verteilungsfunktion einer Wertemenge von der Gauß'schen Normalverteilung, d.h. der Abweichung des Medians vom Mittelwert. Bei positiver Schiefe ist der Mittelwert größer als der Median (d.h., es überwiegen gegenüber dem Mittelwert die kleineren Werte), bei negativer Schiefe ist der Mittelwert kleiner als der Median.

Sommer 1996 dagegen einen mit 34 ppb (0,068 mg/m<sup>3</sup>) vergleichsweise hohen Mittelwert auf, in dem sich die verstärkte Ozonbildung im Nahbereich des Großraumes Wien ausdrückt.

Die Standardabweichung ist erfahrungsgemäß an Bergmeßstellen mit geringer zeitlicher Variation der Konzentration niedriger als an solchen in der Ebene oder in Stadtnähe. Entsprechend wiesen Sonnblick (7 ppb im Winter 1995/96 bzw. 10 ppb im Sommer 1996), Rax und Rennfeld (10 ppb bzw. 13 ppb) die niedrigsten Standardabweichungen auf; im Winter wiesen Forsthof (15 ppb), Payerbach und Ternitz (14 ppb) die höchsten Standardabweichungen auf, im Sommer Ternitz (16 ppb) sowie Exelberg und Forsthof (15 ppb).

Erfahrungsgemäß zeigen Bergmeßstellen - v.a. außerhalb des Hochsommers - geringe bis negative Schiefewerte; an solchen Meßstellen liegt die Ozonkonzentration auf einem relativ konstant hohen Niveau mit „Ausreißern“ nach unten bei Advektion ozonarmer Luft; demgegenüber überwiegen an Meßstellen im Tal bzw. in der Ebene die niedrigen Werte, bei vergleichsweise kurzzeitigen Belastungsmaxima. Im Winter 1995/96 wiesen Sonnblick (-0,53), Rax und Rennfeld eine negative Schiefe auf, Ternitz mit 0,90 die größte positive Schiefe. Im Sommer 1996 war die Verteilung der Schiefewerte ausgeglichener mit minimal -0,04 am Salberg und maximal 0,46 in Payerbach bzw. 0,46 am Rennfeld.

Die Station Rax wies somit eine vergleichbare Ozonbelastung auf wie andere Meßstellen dieser Höhenlage im östlichen Alpenraum.

Tabelle 2: Verfügbarkeit, Mittelwert, Standardabweichung und Schiefe der Ozonkonzentration an den ausgewählten Meßstellen, Winter 1995/96 und Sommer 1996.

Oktober 1995 - März 1996

Meßstelle	Verfügbarkeit	Mittelwert	Standardabw.	Schiefe
	(%)	(ppb)	(ppb)	
Exelberg	75	18	13	0,52
Forsthof	98	24	15	0,62
Masenberg	94	34	11	0,17
Payerbach	97	30	14	0,25
Rax	97	38	10	-0,28
Rennfeld	98	38	10	-0,07
Salberg	98	31	11	0,14
Sonnblick	96	46	7	-0,53
Ternitz	97	15	14	0,90
Wiesmath	92	26	13	0,08

April - September 1996

Meßstelle	Verfügbarkeit	Mittelwert	Standardabw.	Schiefe
	(%)	(ppb)	(ppb)	
Exelberg	87	34	15	0,17
Forsthof	98	41	15	0,27
Masenberg	98	45	13	0,25
Payerbach	93	42	15	0,46
Rax	90	50	13	0,22
Rennfeld	96	49	13	0,45
Salberg	71	45	12	-0,04
Sonnblick	97	57	10	0,26
Ternitz	98	33	16	0,27
Wiesmath	92	43	13	0,08

### 3.2 Zeitlicher Verlauf

*Witterungsübersicht im nordöstlichen Alpenbereich - Juni 1995 bis September 1996*

Tabelle 3 gibt für die Monate von Juni 1995 bis September 1996 die Monatsmitteltemperatur (TM) und ihre Abweichung vom klimatologischen Mittelwert<sup>3</sup> (DTM) in °C sowie die monatliche Niederschlagssumme (RM) in mm sowie ihre Abweichung vom klimatologischen Mittelwert (DRM) in % an der Station Wiener Neustadt an.

Im südöstlichen Niederösterreich war der Juli 1995 in Hinblick auf das klimatologische Mittel der Vergleichsmonate um 2,7°C zu warm und sehr trocken; August 1995 sowie Juli und August 1996 wiesen Temperaturverhältnisse nahe dem klimatologischen Mittel auf. Der Winter 1995/96 war außergewöhnlich kalt, der Frühling 1996, v.a. April und Mai, bei durchschnittlichen Temperaturen außergewöhnlich niederschlagsreich.

Zusammenhänge mit der Ozonbelastung lassen sich zufolge der Abhängigkeit photochemischer Ozonbildung mit Temperatur und Sonnenscheindauer vor allem in den Sommermonaten feststellen. Ähnlich klare Zusammenhänge sind für den Frühling - in welchem es ebenfalls von Jahr zu Jahr zu sehr unterschiedlich hoher Ozonbelastung kommen kann - noch nicht identifiziert worden.

<sup>3</sup> Dies ist ein Mittelwert über die dreißig Jahre von 1961 bis 1990

Tabelle 3: Monatsmitteltemperatur (TM) und ihre Abweichung vom klimatologischen Mittelwert<sup>4</sup> (DTM) in °C sowie die monatliche Niederschlagssumme (RM) in mm sowie ihre Abweichung vom klimatologischen Mittelwert (DRM) in % an der Station Wiener Neustadt

	TM	DTM	RM	DRM
Juni 1995	16,8	-0,3	129	158
Juli 1995	22,0	2,7	22	25
August 1995	19,0	0,2	60	73
September 1995	14,5	-0,7	107	218
Oktober 1995	11,1	1,2	18	46
November 1995	1,9	-2,4	28	70
Dezember 1995	-0,8	-0,8	54	181
Jänner 1996	-2,9	-1,6	48	172
Februar 1996	-3,8	-4,7	29	101
März 1996	1,1	-3,4	24	69
April 1996	9,1	-0,7	74	161
Mai 1996	15,1	1,0	136	191
Juni 1996	18,3	1,2	95	117
Juli 1996	18,1	-1,2	63	72
August 1996	18,7	-0,1	87	105
September 1996	12,2	-3,0	128	261

Tabelle 4 sowie Abbildung 2 und Abbildung 3 geben die Monatsmittelwerte (MMW) der Ozonkonzentrationen an den Meßstellen Exelberg, Forsthof, Masenberg, Payerbach, Rax, Rennfeld, Salberg, Sonnblick, Ternitz und Wiesmath für die Monate Juni 1995 bis September 1996 an.

Mit Ausnahme von April 1996 wurden am Sonnblick stets die höchsten Monatsmittelwerte gemessen, die im Winter um 45 ppb, im Sommer um 55 ppb lagen. Bemerkenswert ist ein Monatsmittelwert von 67 ppb im Juni 1996.

Im April 1996 wies Rax mit 60 ppb einen etwas höheren MMW als Sonnblick mit 58 ppb auf. Die MMW auf der Rax liegen meist in einer sehr ähnlichen Höhe wie an der Meßstelle Rennfeld, aber etwas höher als am Salberg, am Masenberg und in Payerbach. Die in der Ebene gelegene Meßstelle Ternitz weist aufgrund der vergleichsweise niedrigen Ozonbelastung während der Nachtstunden die niedrigsten MMW auf.

---

<sup>4</sup> Dies ist ein Mittelwert über die dreißig Jahre von 1961 bis 1990

	Annaberg	Exelberg	Forstthof	Masenberg	Payerbach	Rax	Remnfeld	Salberg	Sonnblick	Ternitz	Wiesmath
Juni 95	36	40	34	45	43	44	47	38	56	26	42
Juli 95	42	56	50	56	60	57	58	48	60	40	57
August 95	26	50	40	50	48	55	52	45	58	34	51
September 95	21		31	39	34	40	40	33	48	23	37
Oktober 95	18		23	35	29	39	39	28	47	11	33
November 95	18	11	16	28	22	34	33	27	42	11	16
Dezember 95	28	11	15	28	22	33	31	25	41	9	15
Jänner 96	23	9	16	30	23	35	35	28	46	9	20
Februar 96	22	26	36	40	41	42	42	35	46	23	37
März 96	25	30	41	45	46	47	49	43	52	27	37
April 96	25	38	51	52	56	60	57	47	58	39	43
Mai 96	24	27	36	44	41	47	48	40	56	32	41
Juni 96	36	49	46	54	50	55	59	49	67	40	53
Juli 96	36	33	44	44	41	50	48	47	56	35	45
August 96	33	35	43	46	39	50	48	42	55	32	46
September 96	25	19	25	32	26	37	36		47	20	29

Tabelle 4: Ozon; Monatsmittelwerte Juni 1995 bis September 1996

Der außergewöhnlich kalte Winter 1995/96 wirkte sich lediglich an den niedrig bzw. emittentennah gelegenen Meßstellen Ternitz, Wiesmath und Exelberg durch sehr niedrige mittlere Ozonkonzentrationen aus. Mit zunehmender Höhe der Meßstelle fällt die jahreszeitliche Variation schwächer aus.

Bemerkenswert am Zeitverlauf ist weiters, daß an den Bergmeßstellen - v.a. Sonnblick, Rax, Rennfeld, Salberg, Payerbach und Forsthof - die MMW im Frühling und Frühsommer 1996 ein ähnliches Niveau erreichten wie im Hochsommer 1995, was dem Verlauf an den Meßstellen im außeralpinen Bereich und in den Tälern entgegenläuft, wo infolge der Witterung im Frühling und Sommer 1996 die mittlere Ozonbelastung - und deutlicher noch die kurzzeitigen Spitzenwerte - niedriger waren als im Sommer 1995. Bemerkenswert ist insbesondere die hohe mittlere Belastung am Sonnblick, wo im Juni 1996 der höchste MMW seit 1990 registriert wurde.

Die deutlichen Unterschiede der MMW zwischen April, Mai und Juni lassen sich nicht auf das mittlere Temperaturniveau zurückführen; die vergleichsweise niedrige Belastung im Mai 1996 könnte die Folge der sehr häufigen und intensiven Niederschläge im Norden und Nordosten Österreichs sein.

Tabelle 5 sowie Abbildung 4 und Abbildung 5 zeigen die maximalen Halbstundenmittelwerte (HMW) je Monat für die o.g. Meßstellen.

Die maximalen HMW je Monat zeigen allgemein den zu erwartenden Jahresgang, allerdings mit einigen bemerkenswerten Details. Von den betrachteten elf Meßstellen wies Exelberg - wo in der Abgasfahne Wiens im Sommer bei entsprechenden Windverhältnissen starke Ozonbildung auftritt - im Sommer 1995 mit über 100 ppb mit Abstand die höchsten Spitzenwerte auf, wohingegen diese im Sommer 1996 meist deutlich hinter jenen z.B. in Payerbach oder auf der Rax zurückblieben.

Im Sommer 1996 traten an keiner dieser Meßstellen mehr Werte über 100 ppb auf; die Spitzenwerte wurden in diesem Jahr bereits im April erreicht. Auf der Rax wurden am 19.4. 115 ppb gemessen, in Payerbach 102 ppb.

Ungewöhnlich hoch waren 1996 auch die Spitzenwerte am Sonnblick mit 90 ppb im April und 91 ppb im Juni 1996 gegenüber maximal 83 ppb im Sommer 1995.

	Annaberg	Exelberg	Forsthof	Masenberg	Payerbach	Rax	Rennfeld	Salberg	Sonnblick	Ternitz	Wiesmath
Juni 95	58	101	67	77	85	71	80	70	71	66	81
Juli 95	67	119	82	83	98	85	85	88	83	85	90
August 95	53	114	77	83	95	82	85	77	77	74	89
September 95	41		64	63	68	55	63	54	64	59	67
Oktober 95	41		50	59	71	57	57	50	66	56	55
November 95	33	33	39	49	42	54	48	43	52	37	38
Dezember 95		35	39	45	48	48	46	39	54	37	37
Jänner 96	56	32	44	48	45	50	49	44	62	36	40
Februar 96	45	58	81	76	73	67	70	61	70	74	66
März 96	45	54	72	71	72	68	77	61	68	63	63
April 96	50	90	100	97	102	115	97	85	90	94	80
Mai 96	64	68	69	72	80	78	80	80	80	74	76
Juni 96	74	87	81	80	91	86	89	78	91	80	94
Juli 96	61	54	68	70	68	73	75	67	71	65	68
August 96	54	69	86	75	70	82	75	60	71	72	80
September 96	47	55	61	53	50	61	57	0	62	47	54

Tabelle 5: Ozon - Maximale Halbstundenmittelwerte pro Monat

### **3.3 Mittlere Tagesgänge**

Mittlere Tagesgänge der Ozonkonzentration werden für die in Tabelle 1 genannten Ozonmeßstellen für das Winterhalbjahr 1995/96 sowie das Sommerhalbjahr 1996 diskutiert. Sie zeigen die räumlichen und zeitlichen Unterschiede bzw. Ähnlichkeiten der Ozonbelastung an diesen Meßstellen.

Abbildung 6 zeigt die mittleren Tagesgänge der Ozonkonzentration an den Meßstellen Exelberg, Forsthof und Rax, Abbildung 7 an den Meßstellen Masenberg, Payerbach, Ternitz und Rax, Abbildung 8 an den Meßstellen Rax, Rennfeld, Salberg, Sonnblick und Wiesmath, jeweils für das Winterhalbjahr 1995/96. Analog zeigen Abbildung 9 bis Abbildung 11 die mittleren Tagesgänge der entsprechenden Meßstellen für das Sommerhalbjahr 1996.

Die mittleren Tagesgänge zeigen die bekannte, charakteristische Abhängigkeit von der Seehöhe. Im Hochgebirge sind sie - bei generell höherem Konzentrationsniveau - flacher als im Tal oder in der Ebene.

An den Meßstellen Rax, Rennfeld, Masenberg und Payerbach ist im Winter ein flaches Minimum am späten Vormittag zu beobachten, welches eine Folge von Transport ozonärmerer Luft aus den nahegelegenen Tälern ist, sobald vertikale Durchmischung einsetzt. Dieses Konzentrationsminimum ist im Sommer - infolge stärkerer Durchmischung - deutlicher ausgeprägt, zudem tritt im Sommer noch ein flaches Maximum infolge lokaler Ozonbildung am späten Nachmittag auf. An der Station Sonnblick ist im Winterhalbjahr kein Tagesgang zu beobachten, im Sommer hingegen ein sehr flaches Minimum tagsüber.

Ternitz als typische Meßstelle der Ebene zeigt sowohl im Winter wie im Sommer einen sehr ausgeprägten Tagesgang, wobei morgens ein flaches Minimum auftritt und ein dem Temperaturverlauf folgendes Maximum am späten Nachmittag.

Die Meßstellen Exelberg, Forsthof, Payerbach, Salberg und Wiesmath weisen eine Zwischenstellung auf, an denen bei generell niedrigerem Konzentrationsniveau als an den „Bergmeßstellen“ ein deutlicher ausgeprägtes Absinken der Konzentration am Vormittag zu beobachten ist als an diesen.

Die Meßstelle Rax weist sowohl im Winter als auch im Sommer einen sehr ähnlichen mittleren Tagesgang auf wie die Station Rennfeld.

An den Meßstellen Rax, Payerbach und Ternitz - die innerhalb einer horizontalen Distanz von 20 km ein „Höhenprofil“ darstellen - ist im Winter im Mittel zu jeder Tageszeit eine Zunahme der Ozonkonzentration mit der Höhe zu beobachten.

Im Sommer erreicht Ternitz nachmittags im Mittel mit ca. 44 ppb die gleiche Konzentration wie Payerbach, die aber noch etwas unter jener auf der Rax (ca. 50 ppb) bleibt.

Die Amplitude des mittleren Tagesganges bewegt sich im Winter in Ternitz zwischen einem Minimum von 9 ppb und einem Maximum von 24 ppb, in Payerbach zwischen 28 ppb und 32 ppb, auf der Rax zwischen 36 und 39 ppb. Im Sommer variiert der mittlere Tagesgang an der Station Ternitz zwischen 21 und 44 ppb, in Payerbach zwischen 37 und 45 ppb, auf der Rax zwischen 46 und 53 ppb.

### 3.4 Überschreitung von Grenz-, Schwellen- und Richtwerten

#### 3.4.1 Gesetzliche Grenzwerte, Schwellenwerte der EU-Richtlinie, Wirkungsbezogene Immissionsgrenzkonzentrationen

Die Grenzwerte der (Vor-) Warnstufen des Ozongesetzes (BGBl. 210/1992) sind als Dreistundenmittelwerte (MW3) definiert und lauten:

Vorwarnstufe	0,200 mg/m <sup>3</sup>	100 ppb
Warnstufe 1	0,300 mg/m <sup>3</sup>	150 ppb
Warnstufe 2	0,400 mg/m <sup>3</sup>	200 ppb

Die EU-Richtlinie 92/72/EWG über die Luftverschmutzung durch Ozon sieht folgende Schwellenwerte vor:

	mg/m <sup>3</sup>	ppb	Mittelwert-Art
Gesundheitsschutz	0,110	55	MW8 <sup>5</sup>
Schutz der Vegetation	0,200	100	MW1
Schutz der Vegetation	0,065	32,5	MW24 <sup>6</sup>
Unterrichtung der Bevölkerung	0,180	90	MW1
Auslösung des Alarmsystems	0,360	180	MW1

Die Österreichische Akademie der Wissenschaften hat zum Schutz der menschlichen Gesundheit und zum Schutz der Vegetation folgende Wirkungsbezogene Immissionsgrenzkonzentrationen (WIK) erarbeitet.

<sup>5</sup> MW8\*: Vier MW8 über die Perioden 0.00 - 8.00, 8.00 bis 16.00, 16.00 bis 24.00 sowie 12.00 bis 20.00 Uhr.

<sup>6</sup> Tagesmittelwert

	mg/m <sup>3</sup>	ppb	Mittelwert-Art
Schutz der menschlichen Gesundheit	0,10	50	MW8
Schutz der menschlichen Gesundheit	0,12	60	HMW
Schutz der Vegetation	0,06	30	MW8
Schutz der Vegetation	0,06	30	VPM-MW7 (9.00-16.00) <sup>7</sup>
Schutz der Vegetation	0,15	75	MW1
Schutz der Vegetation	0,30	150	HMW

### 3.4.2 Überschreitung von Grenzwerten des Ozongesetzes

An der Meßstelle Rax wurde der Wert der Vorwarnstufe am 19. April 1996 mit einem maximalen MW3 112 ppb (0,224 mg/m<sup>3</sup>) überschritten. Es war dies die erste Überschreitung des Wertes der Vorwarnstufe im Jahr 1996 in Österreich. Der auf der Rax gemessene maximale MW3 war der höchste, welcher 1996 in Österreich auftrat.

Die Meßstelle Rax wurde als Forschungsmeßstelle betrieben, deren Meßwerte nicht für die aktuelle Information bzw. Warnung der Bevölkerung gemäß dem *Ozongesetz* (BGBl. 210/1992) herangezogen wurden.

Tabelle 6 gibt den maximalen MW3 und den maximalen MW1 (entsprechend RL 92/72/EWG, s.u.) für die 10 ausgewählten Meßstellen im Zeitraum von Oktober 1995 bis September 1996 an.

Tabelle 6: Maximaler MW3 und maximaler MW1 in mg/m<sup>3</sup> (Okt. 1995 bis Sept. 1996)

	Maximaler MW3	Maximaler MW1
Exelberg	0,159	0,174
Forsthof	0,196	0,196
Masenberg	0,188	0,190
Payerbach	0,199	0,202
Rax	0,224	0,225
Rennfeld	0,192	0,193
Salberg	0,167	0,170
Sonnblick	0,177	0,181
Ternitz	0,185	0,187
Wiesmath	0,185	0,188

---

<sup>7</sup> Mittelwert der Siebenstundenmittelwerte (9 bis 16 Uhr) über die Vegetationsperiode (April - Oktober)

### 3.4.3 Überschreitung von Schwellenwerten der EU-RL 92/72/EWG

Tabelle 7 gibt für die in Tabelle 2 genannten Meßstellen für das Winterhalbjahr 1995/96 und das Sommerhalbjahr 1996<sup>8</sup> die Überschreitungshäufigkeit der EU-Schwellenwerte zum Gesundheitsschutz, zum Schutz der Vegetation und zur Information der Bevölkerung, sowie von Wirkungsbezogenen Immissionsgrenzkonzentrationen (WIK) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW) zum Schutz der menschlichen Gesundheit und zum Schutz der Vegetation an.

Der Schwellenwert zur Information der Bevölkerung wurde an der Meßstelle Rax im Sommerhalbjahr 1995 und im Winter 1995/96 nicht überschritten, im Sommer 1996 an 3 Tagen, dem 19., 20. und 21. April.

Der Schwellenwert zur Auslösung des Alarmsystems von  $0,360 \text{ mg/m}^3$  als MW1 wurde an der Meßstelle Rax, aber auch an allen anderen Meßstellen in Österreich nicht überschritten.

Der Schwellenwert zum Gesundheitsschutz wurde im Sommer 1995 (auf der Rax während einer Meßperiode von nur 101 Tagen) an 47 Tagen überschritten (26% der gültigen MW8\*), im Winter 1995/96 an 10 Tagen (2% der gültigen MW8\*), im Sommer 1996 an 75 Tagen (26% der gültigen MW8\*).

Eine vergleichbare Überschreitungshäufigkeit wies im Sommer 1996 Rennfeld (67 Tage) auf, wohingegen Forsthof, Masenberg, Payerbach und Wiesmath im Sommer 1996 nur an 37 bis 47 Tagen Überschreitungen registrierten.

Der Schwellenwert zum Schutz der Vegetation von  $65 \text{ µg/m}^3$  als MW24 (TMW) wurde im Sommer 1995 (101 Tage) an der Station Rax an 99 Tagen überschritten, im Winter 1995/96 an 143 Tagen (79%), im Sommer 1996 an 150 Tagen (82 %). Damit liegt die Rax gemeinsam mit Masenberg (Sommer 1996: 156 Tage, 86%), Rennfeld (164 Tage, 90%) und Salberg (115 Tage, 63%) im österreichischen Spitzenfeld, was die Überschreitung des Schwellenwertes zum Schutz der Vegetation betrifft.

Der Schwellenwert zum Schutz der Vegetation von  $0,200 \text{ mg/m}^3$  als MW1 wurde an der Station Rax an einem Tag, dem 19. April 1996, überschritten.

### 3.4.4 Überschreitung von Wirkungsbezogenen Immissionsgrenzkonzentrationen der Österreichischen Akademie der Wissenschaften

Beispielhaft werden in Tabelle 7 die Überschreitungshäufigkeiten des HMW von  $0,120 \text{ mg/m}^3$  zum langfristigen Schutz der menschlichen Gesundheit sowie des MW8 von  $0,060 \text{ mg/m}^3$  zum Schutz der Vegetation im Winter 1995/96 sowie im Sommer 1996 diskutiert.

Die WIK zum Schutz der menschlichen Gesundheit (HMW von  $0,120 \text{ mg/m}^3$ ) wurde an der Station Rax im Sommer 1995 (101 Tage) an 52 Tagen (22% aller gültigen HMW) überschritten, im Winter 1995/96 an 8 Tagen (1% aller gültigen HMW), im Sommer 1996 an 74 Tagen (18% aller gültigen HMW). Die

---

<sup>8</sup> Das Sommerhalbjahr 1995 ist in Tabelle 7 nicht angeführt, da die Ozonmessung auf der Rax von Juni bis September 1995 nur 101 Tage umfaßte (Verfügbarkeit 55%).

Überschreitungshäufigkeit liegt damit ähnlich hoch wie am Rennfeld (64 Tage, 17%), aber deutlich höher als am Masenberg und allen niedriger gelegenen Meßstellen einschließlich dem Exelberg.

Die WIK zum Schutz der Vegetation (MW8 von 0,060 mg/m<sup>3</sup>) wurde im Sommer 1995 an allen 101 Tagen (96% der gültigen MW8) überschritten, im Winter 1995/96 an 172 Tagen (80% der gültigen MW8), im Sommer 1996 an 168 Tagen (90% der gültigen MW8). Die Überschreitungshäufigkeit war damit im Sommer 1996 ähnlich hoch wie am Rennfeld (181 Tage, 93%), am Salberg (133 Tage, 88%) und am Masenberg (175 Tage, 88%). Im Winter 1995/96 wies Rennfeld eine ähnlich hohe Überschreitungshäufigkeit auf (169 Tage, 78%), Salberg und Masenberg hingegen eine deutlich niedrigere.

Anzumerken ist, daß Sonnblick aufgrund der konstant hohen Belastung bei allen Werten die höchsten Überschreitungshäufigkeiten zeigt, was allerdings für diesen Standort außerhalb des Siedlungs- und Waldgebietes nicht relevant ist.

### **3.5 Kumulative Ozonbelastung**

Im Rahmen der Konvention über weiträumige grenzüberschreitende Luftverschmutzung (Convention on long-range transboundary air pollution, CLRTAP) der UN/ECE wurden bzw. werden Protokolle zur Vereinbarung europaweiter Emissionsreduktionen von Luftschadstoffen erarbeitet. Als Basisarbeit für das derzeit vorbereitete 2. Stickstoff-Protokoll wird u.a. die Belastung von Pflanzen durch Ozon bewertet.

Zur Beurteilung der Schädigung bzw. Gefährdung von Pflanzen wurde als Ergebnis von Forschungsarbeiten innerhalb der ECE die kumulative Ozonbelastung festgelegt, zu deren Berechnung die Einstundenmittelwerte über einer bestimmten cut-off-Konzentration summiert werden (AOT = Accumulated Exposure Over Threshold); als optimale cut-off-Konzentration wurden 40 ppb identifiziert. Die kumulative Ozonbelastung wird durch Summierung der Überschreitung von 40 ppb (als Einstundenmittelwert) berechnet, wobei der Bezugszeitraum für Wald die Tageslichtstunden der Monate April bis September, für Landwirtschaftliche Nutzpflanzen, Wiesen und natürliche Vegetation (ohne Wald) der Monate Mai bis Juli umfaßt.

Als Critical Level bezeichnet man jene kumulative Belastung, bei deren Überschreitung mit statistischer Signifikanz Ertrags- bzw. Zuwachseinbußen an den jeweiligen Rezeptorpflanzen beobachtet werden können. Tabelle 8 gibt für die verschiedenen Rezeptorpflanzen Berechnungsvorschrift und Critical Level an.

Tabelle 8: Berechnungsvorschrift und Critical Level

Rezeptor	Berechnungsvorschrift	Critical Level
Waldbäume	Überschreitungssumme des MW1 über 40 ppb, April - September, Tageslichtstunden	10 ppm*h
Landwirtschaftliche Kulturen, Weiden, natürl. Vegetation (ohne Wald)	Überschreitungssumme des MW1 über 40 ppb, Mai - Juli, Tageslichtstunden	3 ppm*h

Als Tageslichtstunden wird der Zeitraum mit einer Globalstrahlung über 50 W/m<sup>2</sup> definiert.

Die Überschreitung der für den jeweiligen Rezeptor definierten Critical Levels wird als Exceedance bezeichnet. Ziel der Maßnahmen, die innerhalb der C-LRTAP zur Reduktion der Emission von Ozonvorläufersubstanzen ausgearbeitet werden, ist es, die Exceedance der Critical Levels europaweit langfristig auf null zu reduzieren.

Die kumulative Ozonbelastung für Waldbäume bzw. für Landwirtschaftliche Kulturen, Weiden, natürl. Vegetation (ohne Wald) gemäß den oben genannten Berechnungsvorschriften, sowie die Überschreitung (Exceedance) der jeweils relevanten Critical Levels sind für den Sommer 1996 in Tabelle 9 angegeben.

Tabelle 9: Kumulative Ozonbelastung (ppb\*h) entsprechend den Berechnungsvorschriften der UN-ECE und Überschreitung der Critical Levels für Wald sowie für Landwirtschaftliche Nutzpflanzen, Weiden und natürliche Vegetation (ohne Wald).

Station	Verfügbarkeit (%) für den jeweiligen Rezeptor		Landwirtschaftliche Nutzpflanzen, Weiden, natürliche Vegetation		Wald	
	Getreide	Wald	AOT40	Exceedance	AOT40	Exceedance
Exelberg	94	91	5.654	2.654	8.952	0
Forsthof	99	99	8.478	5.478	15.946	5.946
Masenberg	100	100	11.979	8.979	19.824	9.824
Payerbach	99	95	9.101	6.101	15.847	5.847
Rax	87	90	13.769	10.769	24.910	14.910
Rennfeld	100	97	15.756	12.756	24.815	14.815
Salberg	79	73	8.877	5.877	15.279	5.279
Sonnblick	99	99	25.443	22.443	40.023	30.023
Ternitz	99	99	7.415	4.415	12.761	2.761
Wiesmath	99	94	11.385	8.385	17.022	7.022

Die Meßstelle Rax wies im Sommer 1996 kumulative Ozonbelastungen auf, die im österreichweiten Vergleich im Spitzenfeld lagen und jenen an der Station Rennfeld

sehr ähnlich sind. Sieht man von der oberhalb jeglicher Vegetation gelegenen und daher in Hinblick auf diese Belastungsmaße nicht relevanten Meßstelle Sonnblick ab, so traten unter den 11 betrachteten Stationen an den Meßstellen Rax (24,9 ppm\*h für Wald) und Rennfeld (24,8 ppm\*h) die mit Abstand höchsten kumulativen Ozonbelastungen auf. Ein mittleres Belastungsniveau wiesen Masenberg (19,8 ppm\*h) und Wiesmath (17,0 ppm\*h) auf, eine vergleichsweise niedrige kumulative Belastung wies Ternitz (12,8 ppm\*h) auf. Eine ähnliche Abhängigkeit von der Seehöhe zeigt die kumulative Ozonbelastung für Landwirtschaftliche Kulturen, Weiden und natürl. Vegetation (ohne Wald) mit 13,8 ppm\*h auf der Rax, 12,0 ppm\*h auf dem Masenberg und 7,4 ppm\*h in Ternitz.

Die kumulative Ozonbelastung lag 1996 auf einem ähnlichen Niveau wie 1995; so wurde 1995 auf dem Rennfeld eine kumulative Ozonbelastung für Wald von 23,3 ppm\*h erreicht, auf dem Masenberg 23,3 ppm\*h, in Wiesmath 22,6 ppm\*h, in Ternitz 11,2 ppm\*h.

Auch 1994 und 1995 lag die kumulative Ozonbelastung auf dem Rennfeld im österreichischen Spitzenfeld, lediglich deutlich übertroffen von der Station Gerlitzen (1995 32,1 ppm\*h für Wald).

Geht man davon aus, daß die kumulative Ozonbelastung auf dem Rennfeld jener auf der Rax üblicherweise sehr ähnlich ist, so läßt sich festhalten, daß die kumulative Ozonbelastung auf der Rax sowohl für Wald als auch für Landwirtschaftliche Kulturen, Weiden, natürl. Vegetation (ohne Wald) im österreichweiten Vergleich sehr hoch ist und der Critical Level für Wald um das ca. Zweieinhalbfache, jener für Landwirtschaftliche Kulturen, Weiden, natürl. Vegetation (ohne Wald) um das Viereinhalbfache überschritten wird.

## 4 Fallstudien

Die im folgenden näher analysierten Fallstudien behandeln Episoden erhöhter Ozonbelastung. Sie umfassen eine kurze Darstellung der meteorologischen Situation und eine Interpretation der Ursachen der Ozonbelastung.

### 4.1 11. August 1995

Am 11. August 1995 wurden im Rahmen des Pannonischen Ozon-Projektes umfangreiche Messungen im Ozonüberwachungsgebiet 1 unter Einschluß zweier bemannter, mit Meßgeräten ausgerüsteter Flugzeuge durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Messungen sind im Bericht UBA-96-137<sup>9</sup> im Detail dargestellt.

Die Ozonverteilung an diesem Tag ist insoferne von speziellem Interesse, als die Ausbreitung einer „Ozonfahne“ im Lee von Wien weit nach Süden in den Bereich zwischen Schneeberg und Ödenburger Gebirge verfolgt werden konnte.

#### *Wetterlage*

Ein Hochdruckgebiet mit Kern über Südkandinavien bestimmte am 11.8. das Wetter in Mitteleuropa. In 500 hPa erstreckte sich ein Höhenkeil von Italien bis zur Nordsee.

---

<sup>9</sup> Pannonisches Ozon-Projekt (POP), Teilprojekt Daten & Experimente“, Dokumentation der im Sommer 1995 durchgeführten Messungen und deren Ergebnisse, UBA-96-137.

Die bereits seit Ende Juli beobachtete Höhendruckverteilung hielt weiter an. Während am Boden in Ostösterreich schwacher Nordwind wehte, wurde großräumig warme Luft von Südwesten nach Mitteleuropa gebracht. Österreich war am 11.8. fast wolkenlos, die Maximaltemperatur lag bei 28°C.

### *Ozonbelastung*

In Niederösterreich und im Nordburgenland wehte am 11.8. Nord- bis Nordwestwind. Die Ozonkonzentration erreichte in Oberösterreich und im westlichen und nördlichen Niederösterreich ziemlich einheitlich Spitzenwerte von 70 bis 75 ppb. Über Wien sowie südöstlich davon traten die höchsten Ozonkonzentrationen auf; maximal wurden 129 ppb (HMW) in Wien-Lobau erreicht. In Payerbach stieg die Konzentration auf 92 ppb; 80 ppb wurden weiters in Eisenstadt, Illmitz, Wiener Neustadt, Rax und Wiesmath überschritten. Als Ursache der erhöhten Ozonbelastung im Lee von Wien kann somit regionale Ozonbildung angenommen werden.

Das Flugzeug erfaßte in 700 bis 900 m Höhe über dem Wienerwald relativ heterogene Ozonkonzentrationen zwischen 60 und 75 ppb, über dem Tullnerfeld wurden bis zu 80 ppb beobachtet. Bei einer Vertikalsondierung nördlich von Tulln (ab 11.10 Uhr) wurde bis in ca. 1400 m Höhe eine Ozonkonzentration um 70 ppb beobachtet, bis 1900 m sank sie gleichmäßig auf 45 ppb. Zwischen Schwechat und Wiener Neustadt wurden nach 11.50 Uhr in ca. 500 m Ozonwerte von 75 bis 80 ppb gemessen.

Nachmittags lag die Ozonkonzentration über dem westlichen Wiener Becken bei 85 bis 90 ppb (14.30 Uhr), über dem östlichen Wiener Becken sowie östlich und nördlich von Wien bei 80 ppb, westlich von Wien bei 70 bis 75 ppb. Die NO<sub>2</sub>-Konzentration war südlich von Wien mit bis 3 ppb gegenüber dem Hintergrund von ca. 1,5 ppb erhöht, ebenso die mit der NO<sub>2</sub>-Konzentration gut korrelierende NMKW-Konzentration. Bis ca. 15.40 Uhr stieg die Ozonkonzentration über dem zentralen Wiener Becken, d.h. unmittelbar im Lee von Wien, auf bis zu 98 ppb. Großflächig lag die Ozonkonzentration über dem Marchfeld und dem Weinviertel zwischen 84 und 87 ppb. Beim Überfliegen von Wien wurden NO<sub>2</sub>-Konzentrationen bis 5 ppb gemessen; die Ozonkonzentration stieg von Wien südwärts an und erreichte über dem zentralen Wiener Becken 101 ppb.

Bis ca. 18 Uhr wurde die Abgasfahne Wiens mit dem Flugzeug über dem südöstlichen Niederösterreich und dem Nordburgenland mehrmals gequert und bis über die Bucklige Welt und das Ödenburger Gebirge verfolgt. Ozonwerte über 100 ppb wurden zwischen Wiener Neustadt und Eisenstadt (um 17.00 Uhr) beobachtet. Im Bereich zwischen Gloggnitz und Siegraben lag die Konzentration über 95 ppb. Die NO<sub>2</sub>-Konzentration war in dieser „Ozonfahne“ mit 2,4 bis 4 ppb hoch.

Über den Alpen westlich von Wiener Neustadt lag die Ozonkonzentration bei 75 bis 85 ppb. Auf der Rax wurden zwischen 19.00 und 24.00 Uhr Konzentrationen um 80 ppb gemessen, in Payerbach um 90 ppb.

Das zweite Flugzeug erfaßte in Bodennähe ebenfalls dieses Belastungsbild. Über dem nordwestlichen Burgenland lag die Ozonkonzentration bis in ca. 1600 m sehr einheitlich bei 90 bis 95 ppb, darüber war ein abrupter Sprung auf 75 ppb in 1690 m und 57 ppb in 1760 m festzustellen; derartige Konzentrationen wurden bis in 2150 m beobachtet. Eine weitere Vertikalsondierung nordöstlich von Wiener Neustadt erbrachte zwischen ca. 1000 m und 1400 m einen Übergang von ca. 90 auf ca. 60 bis 65 ppb.

Diese Ergebnisse sowie der deutliche Konzentrationsgradient zwischen Payerbach und Rax deuten darauf hin, daß die Rax am 11.8. im oberen Teil der Mischungsschicht lag und von Ozonbildung in der stärker mit primären Schadstoffen angereicherten Mischungsschicht weniger betroffen war.

Erhöht war am 11.8. die Belastung auch in der Steiermark mit bis 85 ppb auf dem Rennfeld. Angesichts der hohen Ozonkonzentration über dem südöstlichen Niederösterreich ist Ozonverfrachtung von dort sehr wahrscheinlich.

#### **4.2 19. bis 22. April 1996**

##### *Wetterlage*

Am 19.4. bestimmte ein kräftiges Hochdruckgebiet mit Kern über den Alpen das Wettergeschehen in Mitteleuropa; im 500 hPa-Niveau erstreckte sich ein Höhenkeil von Südwesteuropa bis Polen. Über Nordskandinavien lag ein hochreichendes Tief, dessen Kaltluft aber nicht über Südschweden hinaus südwärts drang.

Über Östösterreich herrschte schwache nördliche Strömung. Die Tageshöchsttemperaturen lagen bei wolkenlosem Himmel und sehr starken Tagesgängen um 21°C; bemerkenswert war die Trockenheit der Luft, nachmittags lag die relative Feuchte gebietsweise um 20%.

Am 20.4. änderte sich die Wetterlage kaum, es blieb bei starkem Hochdruckeinfluß wolkenlos. Die Tageshöchsttemperaturen erreichten in Österreich 25°C; die großräumige schwache Nordströmung mit Advektion sehr trockener Luft hielt an.

Diese Wetterlage hielt auch am 21.4. an. In Ostösterreich ging die nördliche Strömungslage im Lauf des Tages in eine südliche über, wobei windschwache Verhältnisse mit uneinheitlichem Wind auftraten. Großräumig wurde dann trockene, warme Luft von Süden in den Alpenraum geführt; in Wien wehte mäßig stärker Südostwind. Die Tageshöchsttemperaturen lagen bei wolkenlosem Himmel um 25°C.

Bei Verlagerung des Hochdruckgebietes nach Osten und Annäherung einer von den Britischen Inseln bis Spanien reichenden Tiefdruckzone verstärkte sich am 23.4. der Südwind in Mitteleuropa; während in Ostösterreich Tageshöchsttemperaturen um 26°C erreicht wurden, stiegen sie in Mittel- und Norddeutschland bis über 29°C. Der Himmel war nach wie vor wolkenlos.

##### *Ozonbelastung*

Die Ozonkonzentration lag auf der Rax am 19.4. morgens bei ca. 70 ppb und stieg bis 18 Uhr auf 115 ppb; der maximale MW3 dieses Tages betrug hier 112 ppb und war der höchste, der im Jahr 1996 gemessen wurde. Zwischen 13 und 24 Uhr lag die Konzentration auf der Rax über 100 ppb und sank dann abrupt auf ca. 75 ppb ab. Die Meßstelle Payerbach zeigte einen meist durchwegs parallelen Verlauf, wobei um 18 Uhr maximal 98 ppb auftraten; auch in Ternitz stieg die Ozonkonzentration deutlich über das großflächige Belastungsniveau und erreichte um 17 Uhr 90 ppb. Die meisten Meßstellen im nordöstlichen Alpengebiet registrierten relativ konstante Konzentrationen von 70 bis 80 ppb; am Sonnblick lag die Konzentration bei 65 bis 70 ppb.

Der Wind wehte während der Episode erhöhter Ozonkonzentration auf der Rax zunächst von Nordosten und drehte um 18 Uhr auf Südwesten. Der um Mitternacht auf der Rax - und etwas später in Payerbach und auf dem Rennfeld - beobachtete Konzentrationsrückgang ging nicht mit einer Änderung der Windverhältnisse einher.

Eine eindeutige Interpretation der ungewöhnlich hohen Ozonbelastung im südlichen Niederösterreich ist mit dem vorliegenden Datenmaterial nicht möglich.

- Da die Trajektorien, welche am 19.4. die Rax erreichten, Wien überquerten, könnte verstärkte photochemische Ozonbildung im Lee von Wien eine Ursache der erhöhten Ozonbelastung gewesen sein, wobei jedoch stets ein deutlicher Konzentrationsgradient zum Boden hin auftrat. Auch in Mödling (70 ppb) und Wiener Neustadt (85 ppb) traten Maximalwerte über dem Belastungsniveau des Weinviertels auf. Die strahlungsreiche, wolkenlose Hochdruckwetterlage könnte trotz relativ niedriger Temperatur derartige Ozonbildung ermöglichen.
- Auf der anderen Seite sprechen mehrere Indizien für die Möglichkeit von Ozontransport aus der Stratosphäre. Als Indikator für den Luftmassentransport von der Stratosphäre in Bodennähe kann die Konzentration der radioaktiven Isotops Beryllium-7 ( $^7\text{Be}$ ) herangezogen werden, welches durch Einwirkung der Kosmischen Strahlung in der Stratosphäre gebildet wird<sup>10</sup>. In den letzten Jahren lag in Wien im Jahresmittel die  $^7\text{Be}$ -Konzentration - diese wird in Form von Wochenmittelwerten bestimmt - bei 3 bis 4 mBq/m<sup>3</sup><sup>11</sup>. Tabelle 9 gibt die  $^7\text{Be}$ -Konzentration für den Zeitraum März bis Mai 1996 an, wobei der deutlich erhöhte Wert im Zeitraum 15. bis 22. April auffällt. Im April erreicht die  $^7\text{Be}$ -Konzentration jedes Jahr ihr Maximum, was auf gehäuftes Eindringen stratosphärischer Luft in die untere Troposphäre im Frühling hindeutet. Die geringsten  $^7\text{Be}$ -Konzentrationen werden im Herbst gemessen.

Das Eindringen stratosphärischer Luft in die Troposphäre erfolgt an sog. Tropopausenfaltungen, welche meist im Zusammenhang mit Kaltfronten auftreten, an deren Vorder- und Rückseite die Tropopause (d.h. die Grenzfläche zwischen Tropo- und Stratosphäre, welche über Europa im Frühling in einer Höhe von durchschnittlich 10 km liegt) unterschiedliche Höhe aufweist. Im gegenständlichen Fall könnte dies an der Südseite des über Skandinavien liegenden Tiefdruckgebiets erfolgt sein. Die dreidimensionalen Trajektorien für Ostösterreich für den Zeitraum vom 18. bis 20. April bewegen sich über Südsandinavien ostwärts und biegen über der Ostsee nach Süden ab. Sie zeigen über den Zeitraum von 96 h deutliche Absinkbewegung von ca. 4000 m, was darauf hindeutet, daß das Eindringen stratosphärischer Luft entsprechend früher stattgefunden haben muß.

---

<sup>10</sup> Die Meßdaten der  $^7\text{Be}$ -Konzentration wurden dem Autor vom Bundesministerium für Gesundheit und Konsumentenschutz, Abt. III/7, Dr. E. Henrich, freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

<sup>11</sup> Die Konzentration radioaktiver Stoffe wird in der Aktivitätseinheit Bequerel pro Kubikmeter angegeben.

Tabelle 9: <sup>7</sup>Be-Konzentration in Wien im März, April und Mai 1996.

Zeitraum	<sup>7</sup> Be-Konzentration in mBq/m <sup>3</sup> .
11.3. - 18.3. 1996 <sup>12</sup>	2,15
18.3. - 25.3. 1996	4,83
25.3. - 1.4. 1996	3,90
1.4. - 9.4. 1996	3,81
9.4. - 15.4. 1996	5,67
15.4. - 22.4. 1996	8,59
2.4. - 29.4. 1996	5,25
29.4. - 6.5. 1996	3,22
6.5. - 13.5. 1996	4,03
13.5. - 20.5. 1996	3,93

Am 20. und 21.4. blieb die Ozonkonzentration im Ostalpengebiet mit 80 bis 100 ppb ungewöhnlich hoch.

Bei uneinheitlichem Wind könnte hierfür im Wienerwald und Wiener Becken am 20.4. Ozonbildung im Lee von Wien die Ursache gewesen sein; so trat in Forsthof am 20.4. ein maximaler HMW von 95 ppb auf.

Im südlichen und östlichen Österreich drehte der Wind am 20.4. auf Südwest, wodurch ozonreiche Luft von Norditalien nach Österreich verfrachtet wurde. In der Nacht vom 20. auf den 21. April stieg die Ozonkonzentration in Vorhegg (Westkärnten) über 100 ppb, am 21.4. kurzzeitig auch in Graz-Platte. Dieser großflächige Ozontransport dürfte hauptverantwortlich für die hohe Ozonbelastung am Rennfeld (97 ppb am 21.4. morgens und nachmittags), am Masenberg (97 ppb am 21.4. abends), auf der Rax (95 ppb am 21.4. abends), in Payerbach (102 ppb am 21.4. abends) und in Forsthof (100 ppb am 21.4. mittags, 97 ppb abends) gewesen sein; auch am Sonnblick war die Konzentration mit maximal 90 ppb am 21.4. abends ungewöhnlich hoch.

Das Eindringen stratosphärischer Luftmassen bietet keine plausible Erklärung für derart großflächiges Auftreten erhöhter Ozonkonzentration, sodaß Ozontransport von Oberitalien her als wahrscheinlichste Ursache angesehen werden kann.

In der Nacht vom 21. auf den 22.4. ging die Ozonkonzentration etwas zurück und lag auf der Rax am Nachmittag des 22.4. bei maximal 81 ppb, sie erreichte in Payerbach 90 ppb und am Rennfeld 87 ppb. Am Abend des 22.4. sank die Belastung sann weiter unter 70 ppb ab, vor allem im Hochgebirge, was mit dem Eindringen kühler, feuchter Luft von Westen in Verbindung stand.

---

<sup>12</sup> Beginn bzw. Ende der Messung jeweils ca. 7.30 Uhr.

### **4.3 2. bis 3. Juni 1996**

#### *Wetterlage*

Am 2. und 3. Juni lag Österreich unter einer scharfen Luftmassengrenze, die sehr warme, von Süden herangeführte Luft von kalter Luft im Westen trennte.

Am 2.6. erstreckte sich ein schmaler Höhenkeil von Nordafrika bis Polen, der sich am 3.6. noch weiter nordostwärts ausdehnte. Im 500 hPa-Niveau trat über Österreich sehr starker Südsüdwestwind auf. Eine Frontalzone erstreckte sich vom Baltikum über Mitteleuropa bis zum westlichen Mittelmeer, welche an der Alpennordseite „hängenblieb“, was hier zu kleinräumiger Tiefbildung führte. Diese Frontalzone war teilweise okkludiert, sie hatte im Alpenraum den Charakter einer Kaltfront. An ihrer Rückseite kam es zu teilweise sehr intensiven Niederschlägen. Diese Front lag am 2.6. morgens westlich von Linz und in Westösterreich an der Alpennordseite; am 3.6. morgens lag sie knapp westlich von Wien und hatte die Westalpen bereits überquert. Infolge von Einfließen kalter Luft kam es am 3.6. über dem westlichen Mittelmeer zu Zyklonogenese. Ungefähr im 850 hPa Niveau drang Warmluft von Süden über die Bodenfront hinaus nach Deutschland vor, was dort die Niederschlagstätigkeit verstärkte.

Vor der Front wehte am Boden schwacher Südsüdostwind, in den Alpen Süd- bis Südwestwind. Die Tageshöchsttemperatur lag am 2.6. vor der Front bei 26 bis 28 °C, hinter der Front um oder unter 20 °C. Am 3.6. wurden vor der Front noch bis 27 °C erreicht, hinter ihr selten über 20 °C.

Am 4.6. drang die Kaltluft östlich der Alpen nach Südosten vor, sodaß sich auch hier Nordwestwind durchsetzte.

#### *Ozonbelastung*

Auf der Rax wurde am 2.6. ein maximaler HMW der Ozonkonzentration von 79 ppb erreicht, am 3.6. 84 ppb, womit die Meßstelle im österreichischen Spitzenfeld lag. Die Konzentration lag auf der Rax - bei durchwegs parallelem Verlauf - ca. 15 ppb niedriger als auf dem Rennfeld; auch Payerbach wies eine im zeitlichen Verlauf sehr ähnliche Ozonbelastung auf. An den Bergmeßstellen stieg die Ozonkonzentration ab 2.6. morgens (9 Uhr) kontinuierlich an und erreichte ihren Höchstwert auf dem Rennfeld um 23 Uhr (90 ppb), auf dem Masenberg um 21 Uhr (80 ppb), auf der Rax um 2 Uhr am 3.6. (82 ppb), in Payerbach um 22.30 Uhr (77 ppb). Auf dem Sonnblick stieg die Ozonkonzentration im selben Zeitraum ebenfalls an, sie lag meist über jener der anderen Meßstellen, wurde aber abends vom Rennfeld „eingeholt“.

Der Wind kam auf dem Rennfeld und auf der Rax am 2.6. meist ungefähr von Süden und drehte ab ca. 21 Uhr auf West. Am 3.6. drehte ca. um 7 Uhr der Wind über Nord auf Nordost, später Ost. Der Frontdurchzug läßt sich in den Ostalpen daher ca. um 7 Uhr lokalisieren.

Bereits früher, um 4 Uhr, brach - nach einem Maximum von 91 ppb - auf dem Sonnblick die Ozonkonzentration ein und sank bei sehr unregelmäßigem Verlauf auf minimal 53 ppb. Ein vergleichbarer Einbruch folgte auf der Rax um ca. 7 Uhr und auf dem Rennfeld und dem Masenberg - wesentlich schwächer - um 9 Uhr. Bei Nordost- bis Nordwind pendelte sich die Konzentration tagsüber auf dem Rennfeld bei 75 bis 80 ppb ein, auf der Rax bei 75 ppb, wo sie aber ab 15 Uhr weiter sank und ca. 55 ppb erreichte, d.h. das auch am Alpennordrand gemessene Konzentrationsniveau.

Vergleichsweise stark war der Einbruch der Ozonkonzentration am Exelberg, in Forsthof und auf dem Salberg. So stieg auf dem Exelberg die Konzentration in der Nacht vom 2. auf den 3.6. bis 4.30 Uhr auf 70 ppb und fiel bis 8 Uhr auf 30 ppb; sie stieg bei Nordostwind bis 14 Uhr wieder auf ca. 50 ppb.

Die Station Ternitz erreichte tagsüber sehr ähnliche Ozonkonzentrationen wie Payerbach und Rax, nachts hingegen den für ihre Lage charakteristischen Abfall. Allerdings waren in der Nacht vom 2. auf den 3.6. die Ozonkonzentrationen hier mit 35 bis 45 ppb deutlich höher als in den Nächten davor (15 bis 25 ppb) und danach (25 bis 30 ppb).

Die betrachtete Episode war von starker Südsüdwestströmung gekennzeichnet, mit der bis in mindestens 3000 m Höhe (Sonnblick) hoch belastete Luft nach Süd- und Ostösterreich gebracht wurde. Die atypischen Konzentrationsverläufe an allen Berg- und Hügelmeßstellen mit Maxima in den Nachtstunden belegen klar das Dominieren von Ozonfernttransport.

Die Kaltfront, welche am Morgen des 3.6. Ostösterreich von Norden her überquerte, brachte zunächst einen deutlichen Konzentrationseinbruch, sie führte insgesamt im Gebirge zu einem Konzentrationsrückgang von ca. 80 bis 85 ppb auf ca. 70 ppb. Ein derartiges Konzentrationsniveau erreichte am 3.6. auch die Station Ternitz - bedingt durch vertikalen Austausch - , während weiter nördlich gelegene Meßstellen wie Exelberg und Forsthof 50 ppb kaum überschritten. Dort dürften starker Wind und einsetzender Regen zu stärkerem Ozonabbau beigetragen haben, der auf der Rax erst nachmittags und auf dem Rennfeld erst gegen Mitternacht einsetzte.

#### **4.4 9. bis 11. Juni 1996**

##### *Wetterlage*

Vom 9. bis 11.6. war das Höhendruckfeld (500 hPa) von einem Hoch mit Kern über dem Balkan und mäßiger Südwestströmung über dem Alpenraum gekennzeichnet.

Am Boden herrschte sehr flache Luftdruckverteilung, wobei großräumig Südwestströmung überwog, mit der feuchte und sehr warme Luftmassen nach Mitteleuropa verfrachtet wurden.

Am 9. und 10.6. lag eine Luftmassengrenze an der Alpennordseite und über dem östlichen Mitteleuropa, wobei es am Alpennordrand zu kleinräumiger Tiefbildung kam. Südöstlich der Luftmassengrenze wehte Süd- bis Südostwind, nordwestlich davon Westwind. Insgesamt war es infolge des Hochdruckeinflusses eher wolkenarm; die Luftmassengrenze war nicht mit frontaler Bewölkung verbunden. Während es in der sehr feuchten Luft nordwestlich der Luftmassengrenze zu starker Gewitterbildung und teilweise sehr intensiven Niederschlägen kam, war es an ihrer Südostseite trocken. Die Tageshöchsttemperatur lag im Südosten bei 31 °C, nordwestlich der Luftmassengrenze bei 25 bis 28°C.

Am 10.6. verstärkte sich von Westen her der Hochdruckeinfluß über Mitteleuropa. Advektion sehr feuchter und warmer Luft führte über weiten Teilen Mitteleuropas zu starker Gewitterbildung. Am 10.6. wehte zeitweise auch südöstlich der relativ stationären o.g. Luftmassengrenze Nordwind; d.h., die Alpen wurden von Nordwesten her umströmt. Die Tageshöchsttemperaturen lagen um 29°C.

Am 11.6. lag nach wie vor eine Luftmassengrenze am Alpennordrand und dem Weinviertel. Südöstlich von dieser wehte schwacher Südwestwind, nordwestlich von ihr Nordwestwind. Die Advektion warmer, feuchter Luft von Südwesten hielt an; über

weiten Teilen Mitteleuropas gab es starke Gewitterbildungen und intensive Niederschläge. Die Tageshöchsttemperatur lag um 29°C.

### *Ozonbelastung*

Am 9.6. wurde an den Meßstellen Wien Stephansplatz und Wien Hohe Warte der Grenzwert der Vorwarnstufe laut Ozongesetz, 100 ppb (0,200 mg/m<sup>3</sup>) als MW3, überschritten. An diesem Tag wurde für das Ozonüberwachungsgebiet 1 (Wien, Niederösterreich, nördliches und mittleres Burgenland) die Vorwarnstufe ausgerufen, die bis 11.6. aufrecht blieb.

Die hohe Ozonbelastung in Wien (107 ppb am Stephansplatz, 105 ppb auf der Hohen Warte) waren das Ergebnis kurzzeitiger, kleinräumiger Ozonbildung bei Südostwind über Wien. Auf dem Exelberg wurde um 15.30 Uhr ein Spitzenwert von 87 ppb erreicht; das großflächige Belastungsniveau überschritt 70 ppb kaum.

Im Bereich der Ostalpen drehte um 6 Uhr der Westwind auf Nordost bis Ost, verbunden mit einem relativ deutlichen Konzentrationseinbruch an den Stationen Payerbach und Rax, aber auch Masenberg, Rennfeld, Salberg und Exelberg. Tagsüber stieg - auch nach Drehung des Windes auf Süd - die Konzentration fast nirgends über 65 ppb, lediglich am Rennfeld wurden knapp 80 ppb erreicht, was nahezu dem Konzentrationsniveau auf dem Sonnblick entsprach.

Zu Beginn des 10.6. drehte der Wind auf dem Rennfeld und auf der Rax auf Nord, tagsüber wehte relativ unbeständiger Wind aus Nordost bis Süd. Über dem östlichen Niederösterreich wehte Nordwind. Das großflächige Belastungsniveau, das z.B. auf der Rax und dem Rennfeld beobachtet wurde, lag bei ca. 75 ppb; diese Konzentration hielt sich bis weit in die Nacht hinein.

Verstärkte Ozonbildung in der Abgasfahne von Wien war deutlich zu beobachten, die höchsten Spitzenwerte wurden in Illmitz (98 ppb), Wiesmath (94 ppb) und Payerbach (91 ppb, 19 Uhr) erreicht und traten bei Nordostwind auf der Rax (86 ppb um 18.30 Uhr) auf. Ähnliche Werte wurden in Eisenstadt, Ternitz und Wiener Neustadt, aber auch auf dem Rennfeld erreicht.

Zu Beginn des 11.6. drehte der Wind im Ostalpenbereich über West auf Nord; die oben genannte Luftmassengrenze überquerte die Alpen, was zu einem zeitweiligen deutlichen Einbruch der Ozonkonzentration führte. Diese fiel am Sonnblick zwischen 2 und 4 Uhr von 75 auf 55 ppb; auf dem Exelberg, wo die Konzentration in der Nacht kontinuierlich auf fast 75 ppb stieg, sank sie zwischen 2 und 3 Uhr auf 45 ppb. An den alpinen Meßstellen Ostösterreichs - Rax, Rennfeld, Salberg - war der Rückgang weniger rasch und deutlich (von ca. 75 auf 60 ppb auf der Rax) zu beobachten, wesentlich stärker aber in Payerbach und Ternitz, wo sich in der Nacht bei südlichem Wind relativ hohe Konzentrationen gehalten hatten. Am Masenberg wirkte sich das Eindringen kühlerer, ozonarmer Luft nicht mehr aus.

Bei südlichem Wind stieg am Vormittag des 11.6. die Ozonkonzentration rasch wieder an und erreichte auf dem Sonnblick um 6 Uhr 85 ppb. Um diese Zeit setzte sich die von Süden kommende, ozonreiche Warmluftmasse wieder durch.

Am 11.6. wurde wie am Vortag verstärkte Ozonbildung bei nördlichem Wind im Lee von Wien beobachtet, die höchste Konzentrationsspitze wurde in Illmitz (maximaler MW3 104 ppb bei einem großflächigen Belastungsniveau um 70 ppb) gemessen. Bei nordöstlichem Wind stieg die Konzentration in Payerbach, Ternitz und auf der Rax und dem Rennfeld zwischen 10 und 12 Uhr rasch auf bis 75 ppb. Zwischen 14 und

18 Uhr sank die Konzentration auf der Rax - parallel zu Exelberg, Masenberg und Rennfeld - auf ca. 60 ppb sank. Anschließend stieg sie bei Nordwestwind wieder auf 70 ppb, während am Sonnblick ca. 80 ppb gemessen wurden.

Während der Episode vom 9. bis 11.6. war die Ozonbelastung im Ostalpenraum wesentlich von der großräumigen Ozonverteilung bestimmt. Die österreichischen Alpen lagen meist in einer warmen, ozonreichen Luftmasse; kurzzeitig griff zu Beginn des 11.6. die kühlere, ozonärmere Luftmasse von Norden über. Die Windverhältnisse waren in Ostösterreich recht variabel. Verstärkte Ozonbildung im Lee von Wien war am 10. und 11.6. über dem südöstlichen Niederösterreich und dem Nordburgenland zu beobachten und konnte auch auf der Rax und anderen Stationen dieses Gebietes registriert werden, wenn Nordostwind höher belastete Luft in die Alpen hineinführte.

## 5 Zusammenfassung

Das Umweltbundesamt führte zwischen Juni 1995 und Oktober 1996 auf der Rax in Niederösterreich (Seilbahn-Bergstation, Seehöhe ca. 1550 m) Messungen der Ozonkonzentration durch. Das Ziel der Messungen war die Erfassung der Ozonbelastung im Hochgebirge in den nordöstlichen Alpen.

Warnwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit, wie sie im Ozongesetz (sowie in der EU-RL 92/72/EWG festgelegt sind, wurden auf der Rax - im österreichweiten Vergleich - selten überschritten (0,200 mg/m<sup>3</sup> als MW3: ein Tag mit Überschreitung; 0,180 mg/m<sup>3</sup> als MW1: drei Tage mit Überschreitung). In Hinblick auf diese Warnwerte ist die Rax deutlich geringer belastet als der Nordosten Österreichs und das nördliche Alpenvorland.

Die Ozonbelastung auf der Rax liegt, was den Mittelwert, die kumulative Belastung - in Hinblick auf die von der UN/ECE definierten „Critical Levels“ - und die Überschreitung von vegetationsbezogenen Schwellenwerten der EU und Wirkungsbezogenen Immissionsgrenzkonzentrationen (WIK) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften betrifft, im österreichischen und europäischen Spitzenfeld<sup>13</sup>.

So wurde der in der RL 92/72/EWG festgelegte Schwellenwert zum Schutz der Vegetation von 0,065 mg/m<sup>3</sup> als MW24 im Winter 1995/96 während 79% der Meßzeit überschritten, im Sommer 1996 während 82% der Meßzeit.

Gleichermaßen liegt die Meßstelle Rax in Hinblick auf Schwellenwerte zum langfristigen Schutz der menschlichen Gesundheit der EU wie der humanhygienischen WIK der Österreichischen Akademie der Wissenschaften in österreichischen Spitzenfeld. Der Schwellenwert zum Gesundheitsschutz der RL 92/72/EWG (0,110 mg/m<sup>3</sup>, vier fixierte MW8 pro Tag) zeigte im Sommer 1996 eine Überschreitungshäufigkeit von 26%.

Die Überschreitungshäufigkeit der humanhygienischen Schwellenwerte zeigt in Österreich analog jener der vegetationsbezogenen Schwellenwerte eine klar erkennbare Höhenabhängigkeit. Während die hohe Belastung hinsichtlich der

---

<sup>13</sup> Die genannten allgemeinen Schlußfolgerungen können aufgrund der Ozonbelastung der seit 1989 betriebenen Meßstelle Rennfeld gezogen werden, die ein sehr ähnliches Belastungsbild wie Rax zeigt.

humanhygienischen Schwellenwerte im Hochgebirge wenig relevant ist, zeigt die hohe Überschreitung vegetationspezifischer Schwellenwerte sowie von Critical Levels das außerordentlich hohe Risiko, dem der Wald durch Ozon ausgesetzt ist.

Die auf der Rax registrierte Belastungssituation ist in ihrer Höhe und ihrem zeitlichen Verlauf jener an der 1618 m hoch gelegenen Station Rennfeld (bei Bruck a.d.M. in der Steiermark, ca. 50 km südwestlich) sehr ähnlich und kann als typisch für einen Hochgebirgsstandort in den Ostalpen angesehen werden. Der Vergleich mit anderen Meßstellen dieser Höhe zeigt, daß die Ozonbelastung im Hochgebirge horizontal sehr einheitlich ist.

Die auf der Rax erfaßte Ozonkonzentration entspricht überwiegend der großflächig auftretenden Hintergrundbelastung; Ozonferntransport ist der dominierende Einflußfaktor für zeitliche Variationen der Konzentration.

Die Episode mit der höchsten Ozonbelastung auf der Rax am 19. April 1996 während einer langanhaltenden Hochdruckwetterlage - wobei mit  $0,224 \text{ mg/m}^3$  der höchste MW3 in Österreich im Jahr 1996 gemessen wurde - könnte auf Eindringen stratosphärischer Luftmassen in die Troposphäre zurückzuführen sein. Eine eindeutige Ursachenzuordnung ist auf Basis des vorliegenden Datenmaterials nicht möglich, zumal der Verlauf der Trajektorien über Wien auch Ozonbildung in der Abgasfahne dieser Stadt als Ursache nicht ausschließt.

Es handelt sich bei der Episode am 19.4. 1996 um den einzigen Fall (seit 1990 mit einer österreichweiten Auswertung der Ozonmessungen begonnen wurde), bei welchem das Eindringen stratosphärischer Luftmassen für das Auftreten von Ozonkonzentrationen im Bereich der Vorwarnstufe des Ozongesetzes verantwortlich sein könnte.

Für die deutlich erhöhte Ozonbelastung in ganz Süd- und Ostösterreich während der darauf folgenden Tage (20. und 21. April) mit MW3 über  $0,200 \text{ mg/m}^3$  in Vorhegg/Kärnten sowie Graz-Platte dürfte großflächiger Ozontransport von Südwesten die dominierende Ursache gewesen sein.

Eine Beeinflussung der Ozonbelastung auf der Rax durch Ozonbildung im Lee von Wien läßt sich nur selten nachweisen, etwa am 11.8. 1995 (POP-Meßkampagne) sowie am 10. und 11.6. 1996. Während der letztgenannten hochbelasteten Episode kam es relativ eng begrenzt über Wien bzw. im Lee der Stadt zum Überschreiten des Wertes der Vorwarnstufe des Ozongesetzes.

Die Ozonmessung auf der Rax läßt folgende Schlußfolgerungen für ein weiteres Vorgehen - d.h. die Planung eventueller weiterer Messungen - zu:

- Die Ozonbelastung wird auf der Rax nur in Ausnahmefällen von verstärkter Ozonbildung im Lee von Wien bestimmt. Eine entsprechende Beeinflussung dürfte hingegen an der 890 m hoch gelegenen Station Payerbach vorliegen, an welcher bei entsprechenden Witterungsbedingungen - Nordwind und wolkenarmes Hochdruckwetter - deutlich höhere Kurzzeit-Spitzenwerte als auf der Rax gemessen wurden. In Hinblick auf die Grenzwerte des Ozongesetzes wäre die Ozonmessung auf der Rax nicht erforderlich.
- Die Ozonbelastung auf der Rax ist in Hinblick auf Schwellenwerte der EU zum langfristigen Schutz der Vegetation, aber auch des Menschen, sehr hoch.

- Der Vergleich mit der in ähnlicher Höhe, ca. 50 km südwestlich gelegenen Station Rennfeld zeigt die sehr große horizontale Einheitlichkeit der Ozonbelastung, sodaß die Ozonbelastung auf den Rennfeld durchaus als repräsentativ auch für die Niederösterreichischen Kalkalpen angesehen werden kann.
- Die hohe horizontale Einheitlichkeit der Ozonbelastung wird von dem am Ozonatenverbund implementierten Verfahren zur Erstellung von Ozonbelastungskarten nicht korrekt wiedergegeben. Meßstellen im Tal - die während der meisten Zeit, v.a. bei Witterung mit geringer regionaler photochemischer Ozonbildung niedrigere Konzentrationen aufweisen als solche im Gebirge - bestimmen in diesem Interpolationsverfahren die Ozonkonzentration im benachbarten Gebirge stärker als entfernter gelegene Bergstationen gleicher Höhe. Dieses Problem ist insoferne von Bedeutung, wenn solcherart errechnete Belastungskarten zur Bestimmung kumulativer Ozonbelastungen, etwa nach UNECE-Vorschrift für den Vergleich mit Critical Levels - herangezogen werden, da dadurch die kumulative Ozonbelastung im Gebirge systematisch unterschätzt wird.

Oktober 1995 - März 1996

Meßstelle	HMW		MW8		MW1		MW8*		TMW	
	0,120 mg/m <sup>3</sup> (60 ppb)		0,060 mg/m <sup>3</sup> (30 ppb)		0,180 mg/m <sup>3</sup> (90 ppb)		0,110 mg/m <sup>3</sup> (55 ppb)		0,065 mg/m <sup>3</sup> (32,5 ppb)	
	%	T	%	T	%	T	%	T	%	T
Exelberg	0,0	0	16,2	46	0,0	0	0,0	0	8,2	15
Forsthof	2,3	13	28,2	88	0,0	0	3,9	13	23,1	42
Masenberg	1,9	13	58,2	146	0,0	0	3,7	11	51,1	93
Payerbach	3,2	14	43,9	119	0,0	0	4,4	13	39,0	71
Rax	0,7	8	80,2	172	0,0	0	2,3	10	78,6	143
Rennfeld	1,7	14	78,0	169	0,0	0	4,3	14	74,2	135
Salberg	0,0	2	46,9	131	0,0	0	1,1	6	35,2	64
Sonnblick	1,5	15	95,7	181	0,0	0	6,4	22	92,3	168
Ternitz	0,5	7	12,9	59	0,0	0	0,1	1	4,9	9
Wiesmath	0,3	5	34,2	91	0,0	0	0,6	3	29,1	53

April - September 1996

Meßstelle	HMW		MW8		MW1		MW8*		TMW	
	0,120 mg/m <sup>3</sup> (60 ppb)		0,060 mg/m <sup>3</sup> (30 ppb)		0,180 mg/m <sup>3</sup> (90 ppb)		0,110 mg/m <sup>3</sup> (55 ppb)		0,065 mg/m <sup>3</sup> (32,5 ppb)	
	%	T	%	T	%	T	%	T	%	T
Exelberg	4,7	28	56,3	135	0,0	0	8,8	25	40,1	73
Forsthof	9,5	54	75,2	168	0,4	4	14,8	46	72,0	131
Masenberg	12,8	48	87,8	175	0,1	1	18,7	47	85,7	156
Payerbach	9,6	35	76,9	160	0,4	4	13,5	37	68,7	125
Rax	17,9	74	90,2	168	0,4	3	25,8	75	82,4	150
Rennfeld	17,1	64	92,8	181	0,4	3	25,5	67	90,1	164
Salberg	9,1	30	87,9	133	0,0	0	10,8	29	63,2	115
Sonnblick	29,1	112	98,8	183	0,0	1	46,8	121	98,4	179
Ternitz	4,7	39	54,2	156	0,1	1	7,7	30	53,3	97
Wiesmath	9,0	43	81,2	161	0,1	1	15,0	41	75,3	137

Tabelle 7: Überschreitung von WIK der ÖAW und von EU-RL 92/72/EWG - Schwellenwerten

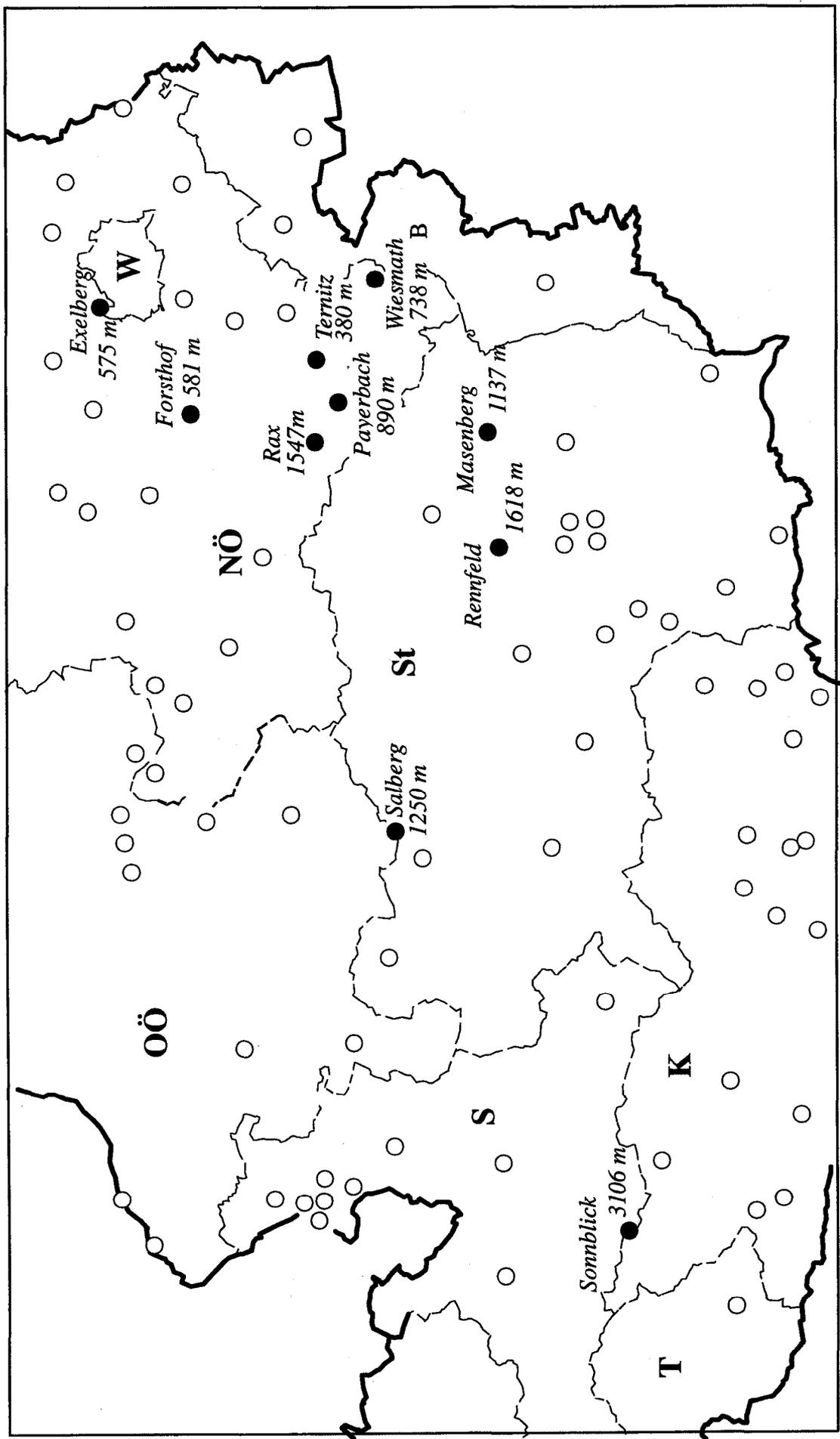


Abbildung 1

Ozon - Monatsmittelwerte

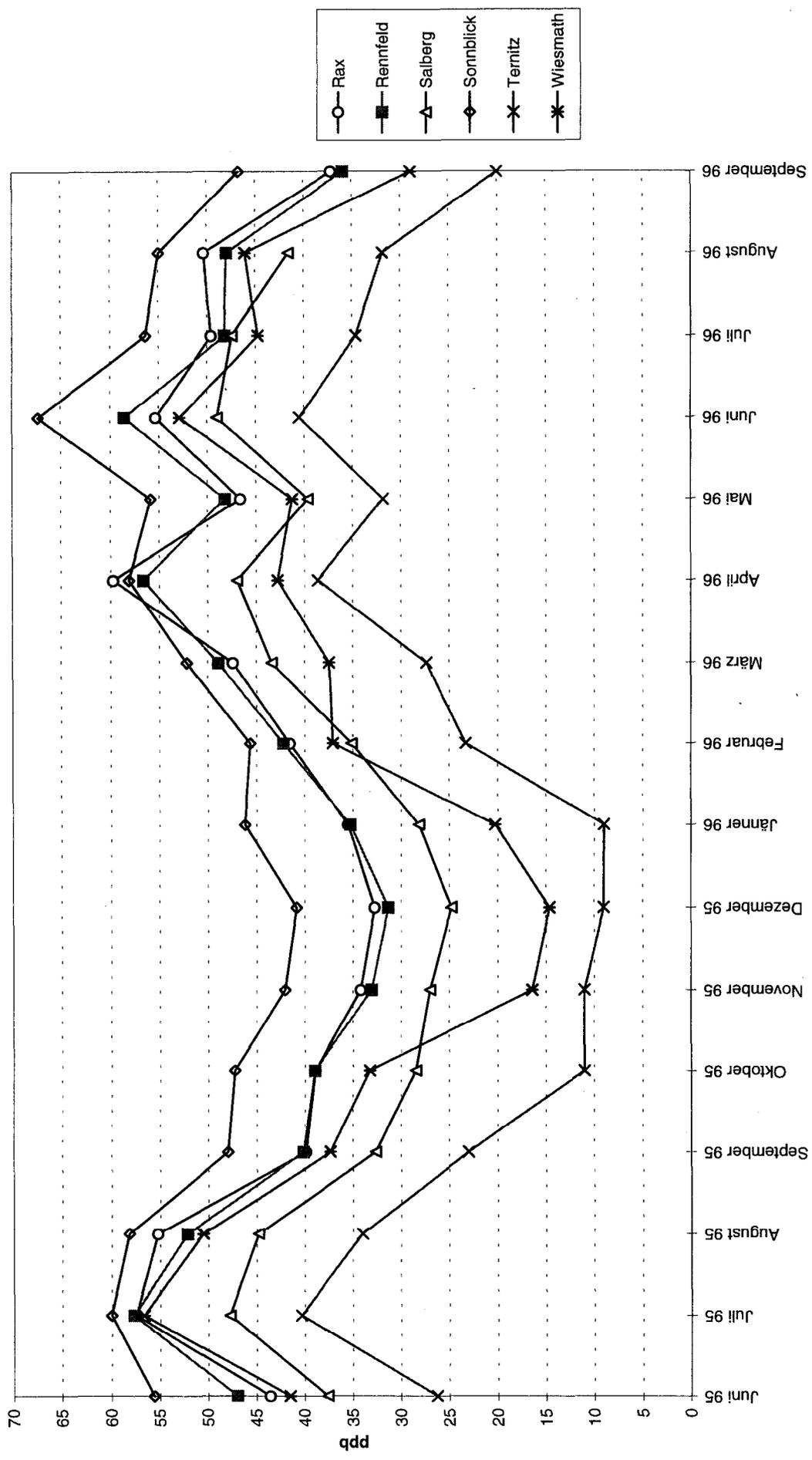


Abbildung 2.

Ozon - Monatsmittelwerte

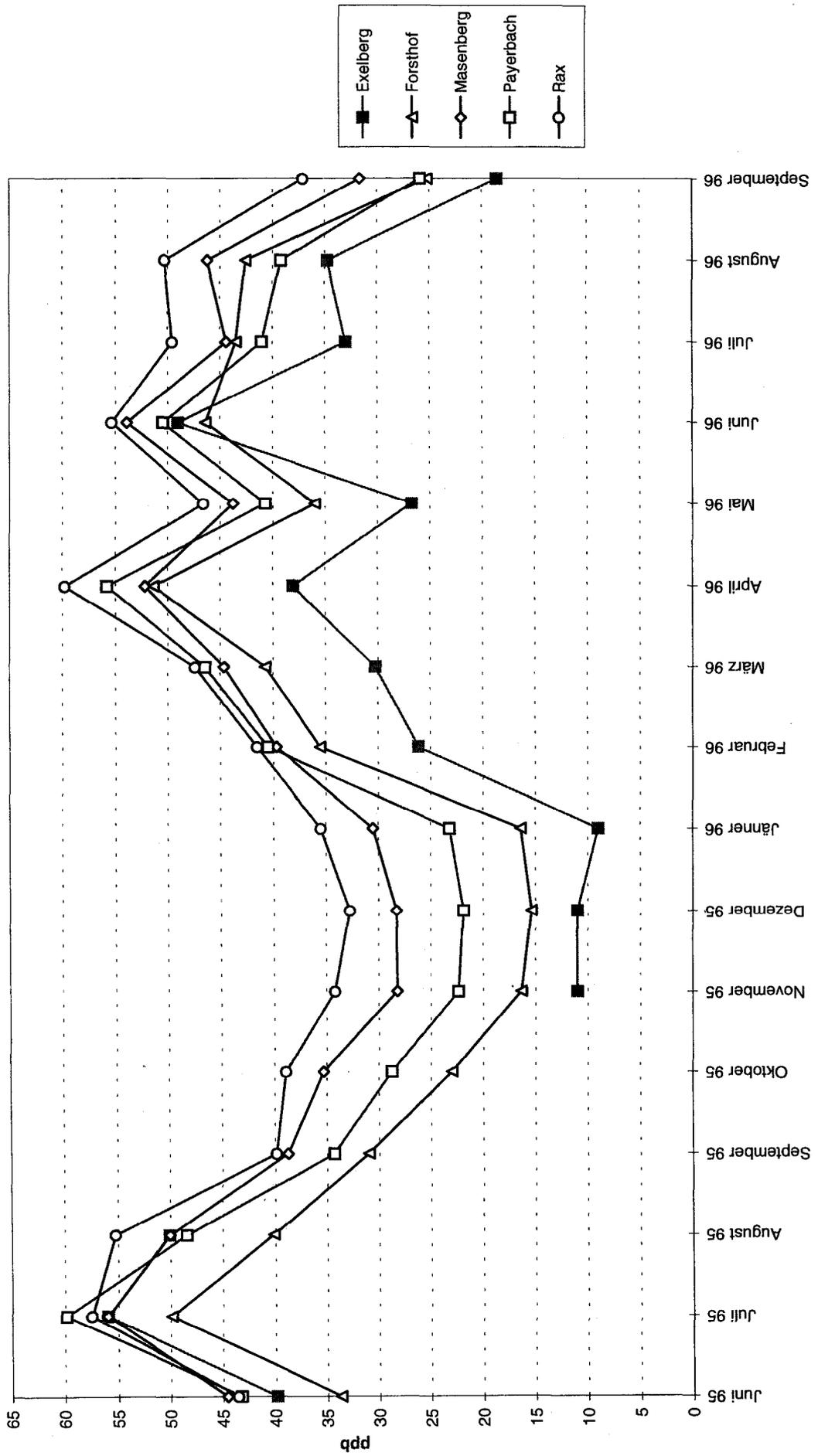


Abbildung 3

Ozon - Maximale Halbstundenmittelwerte pro Monat

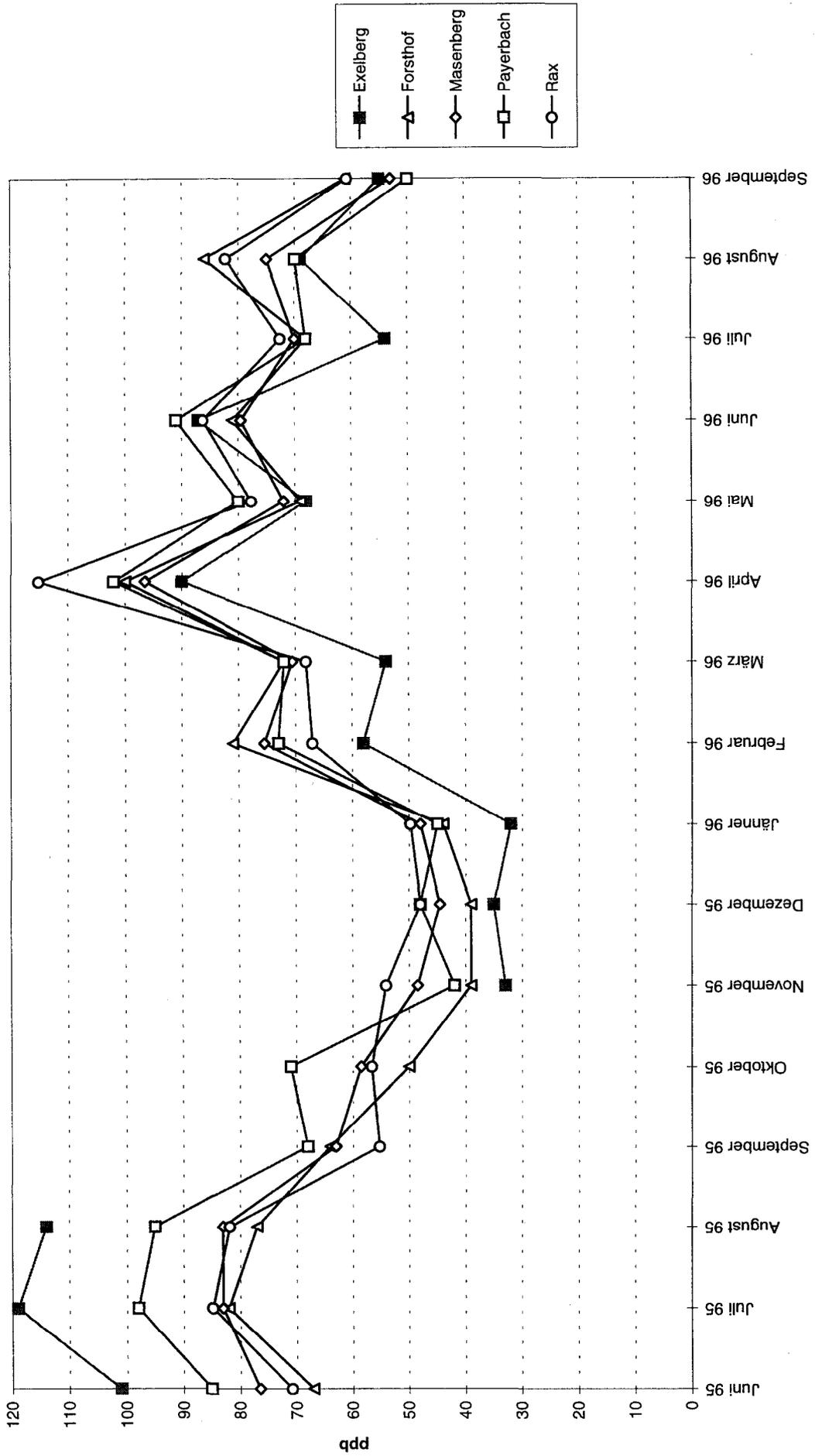


Abbildung 4

Ozon - Maximale Halbstundenmittelwerte pro Monat

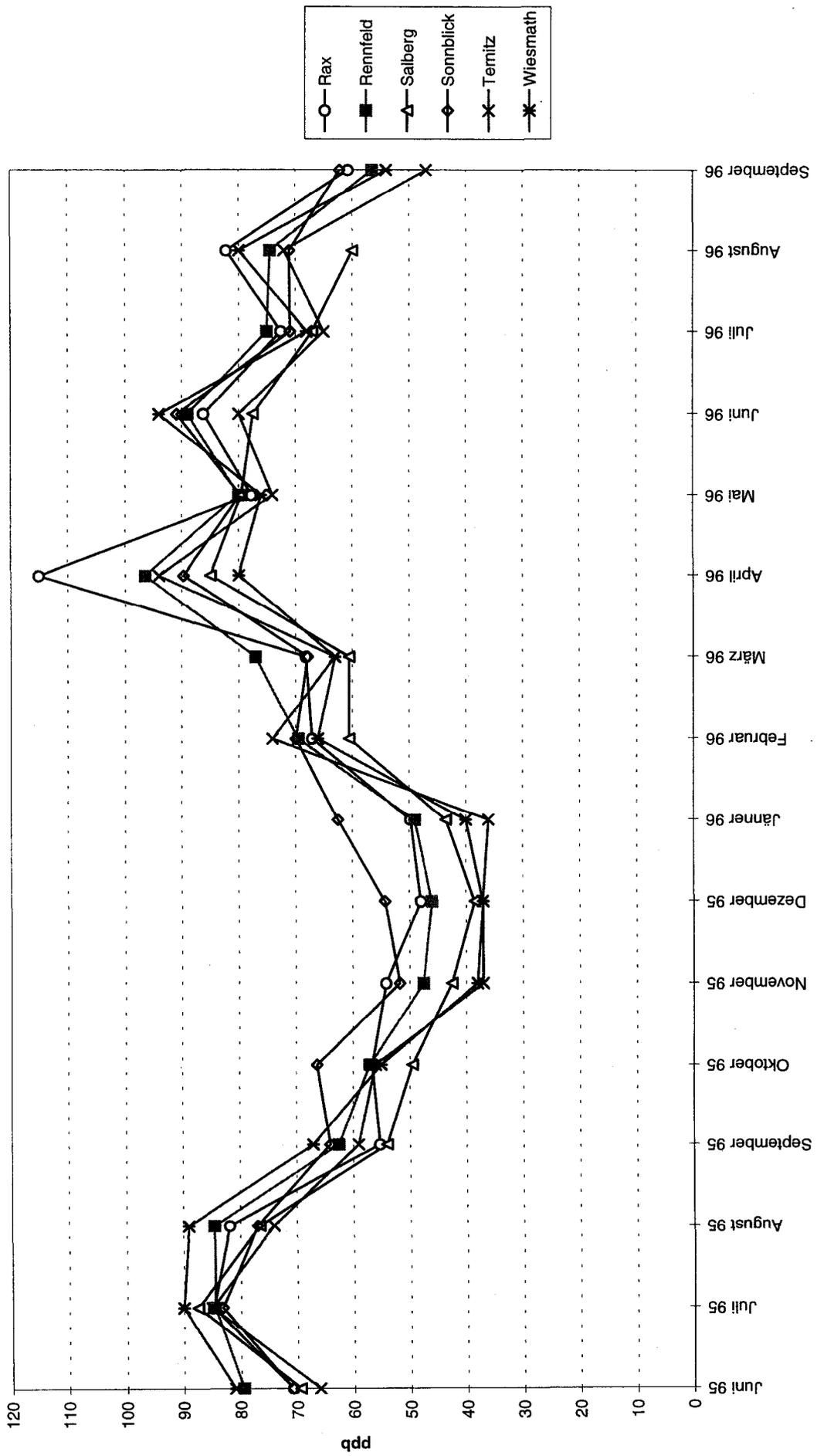


Abbildung 5

Ozon - Mittlerer Tagesgang, Oktober 1995 - März 1996

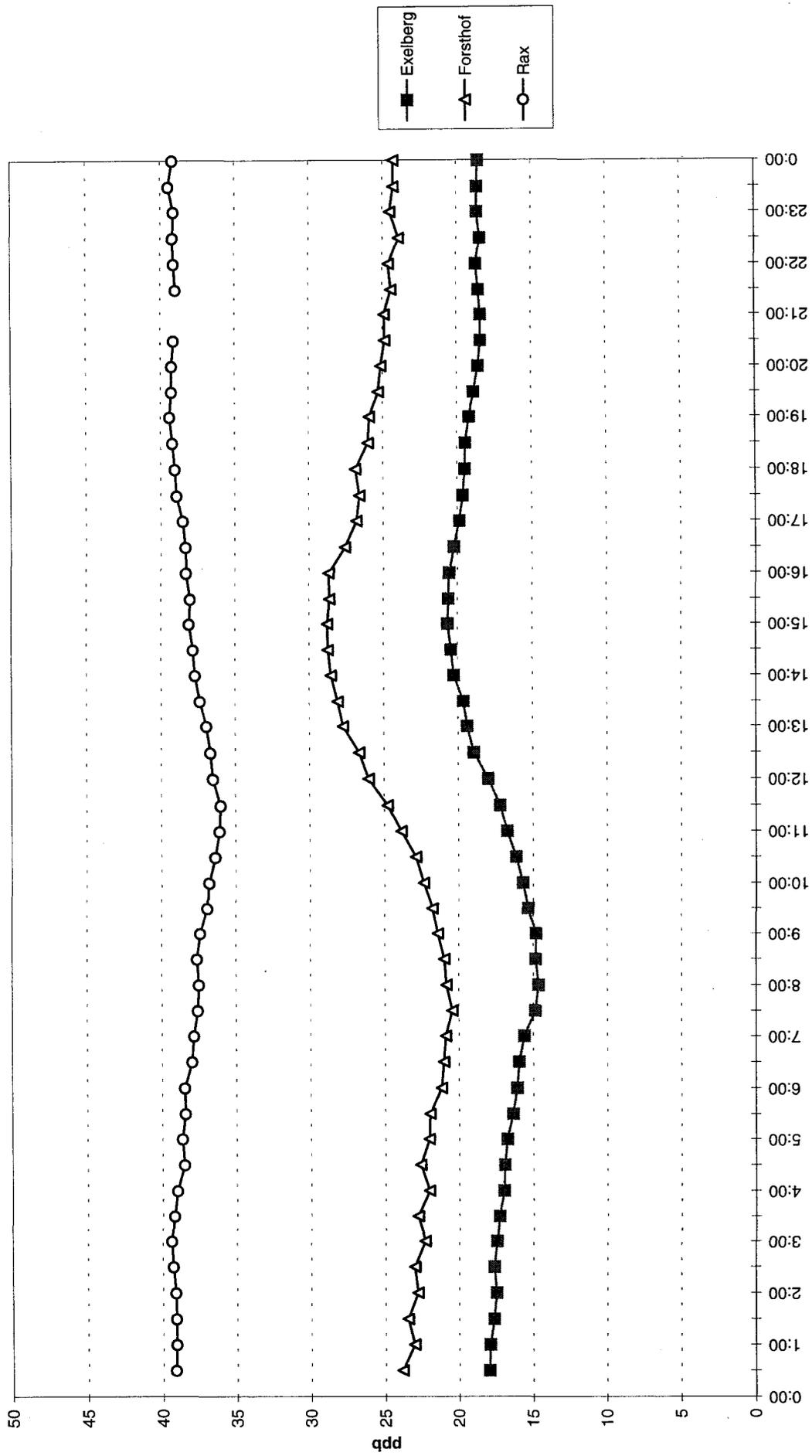


Abbildung 6

Ozon - Mittlerer Tagesgang, Oktober 1995 - März 1996

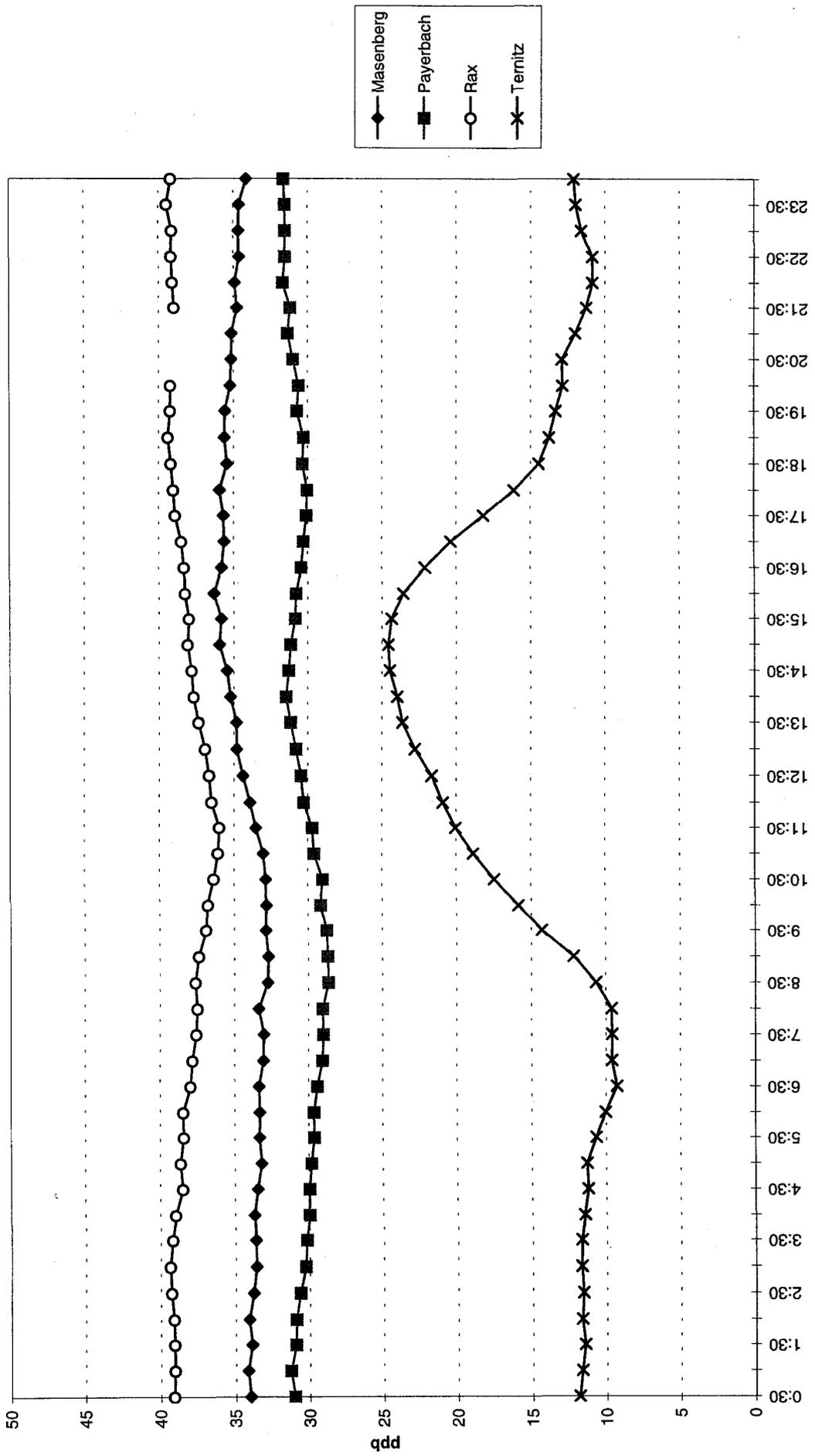


Abbildung 7

Ozon - Mittlerer Tagesgang, Oktober 1995 - März 1996

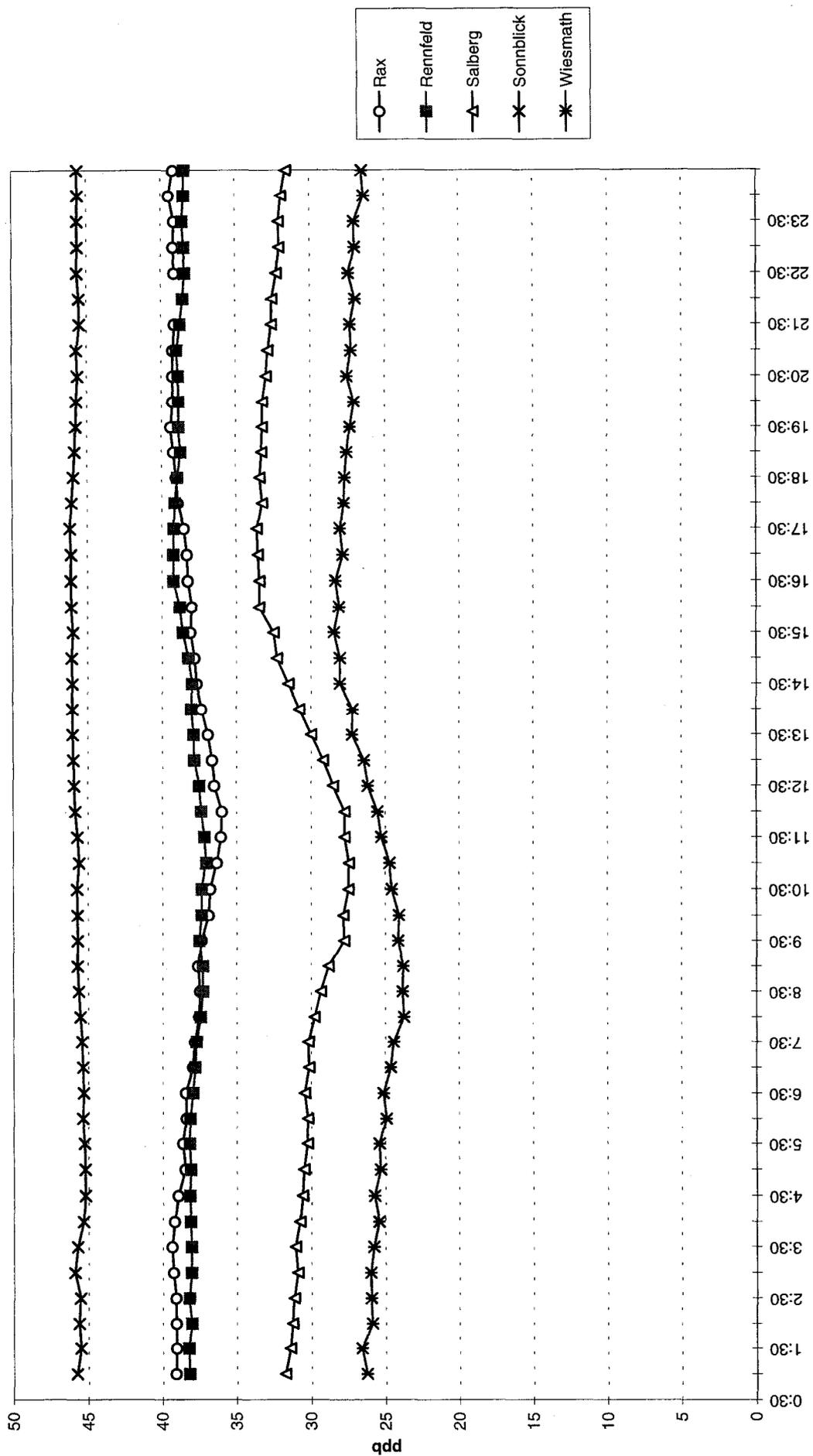


Abbildung 8

Ozon - Mittlerer Tagesgang, April - September 1996

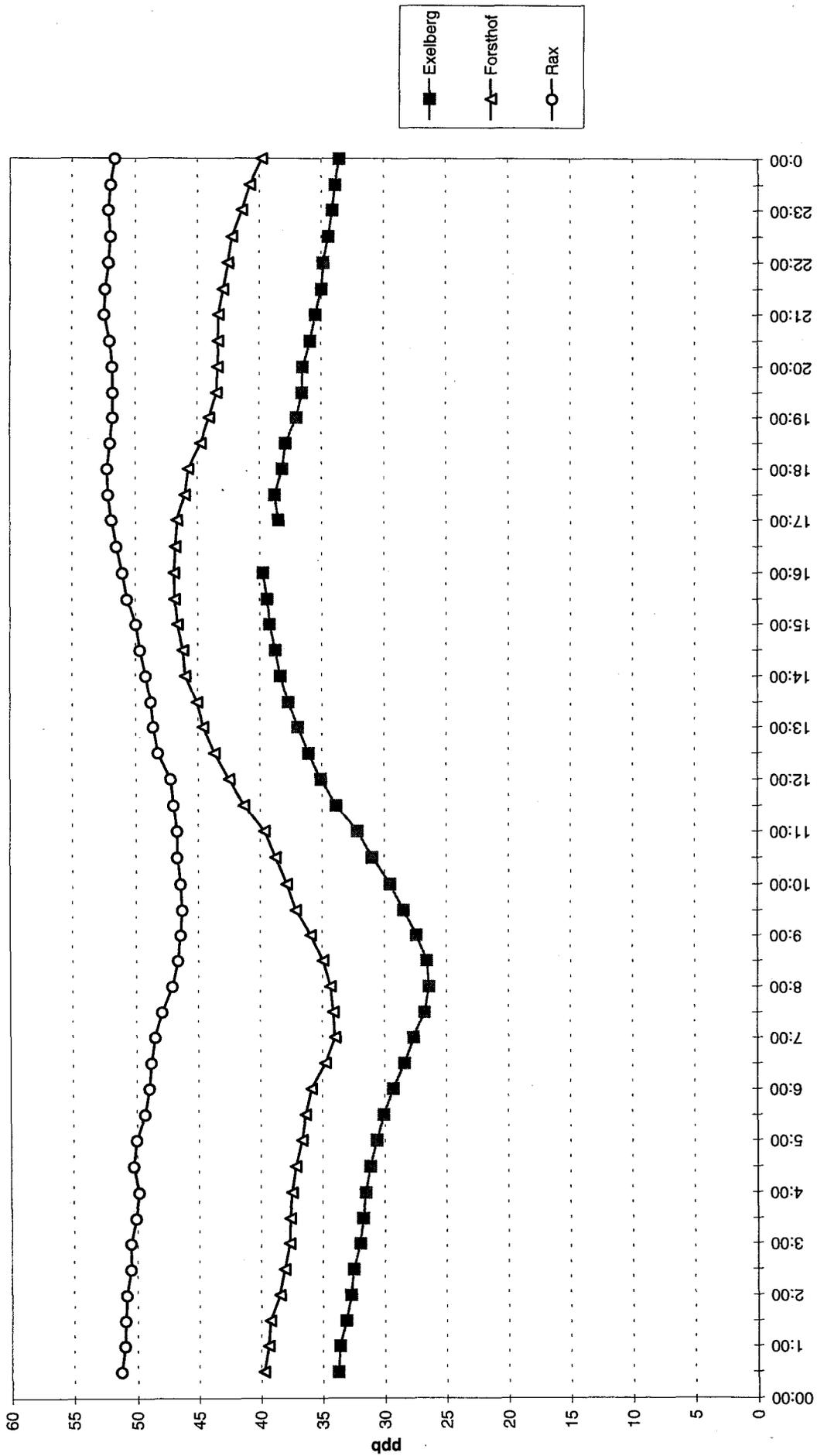


Abbildung 9

Ozon - Mittlerer Tagesgang April - September 1996

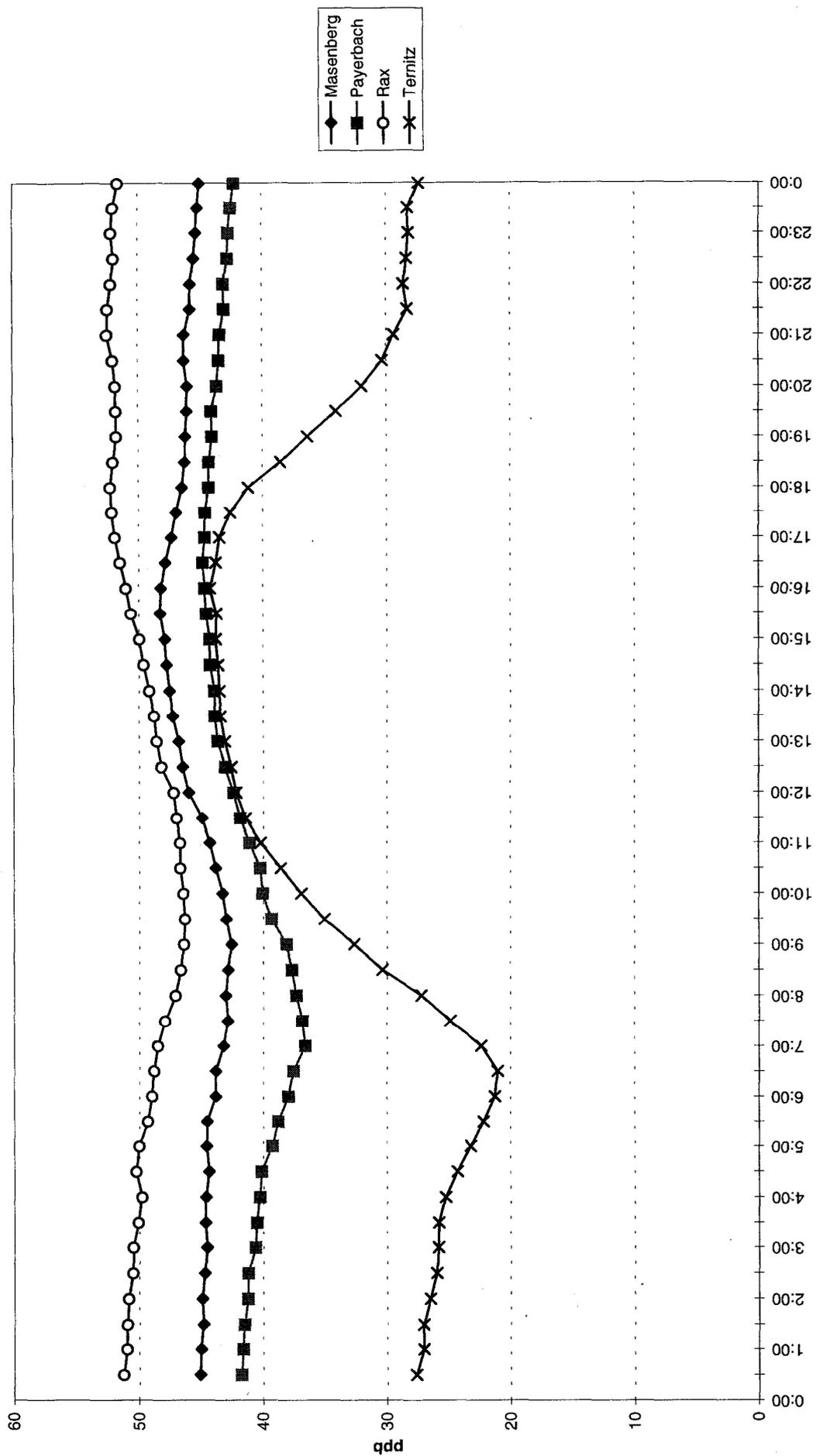


Abbildung 10

Ozon - Mittlerer Tagesgang April - September 1996

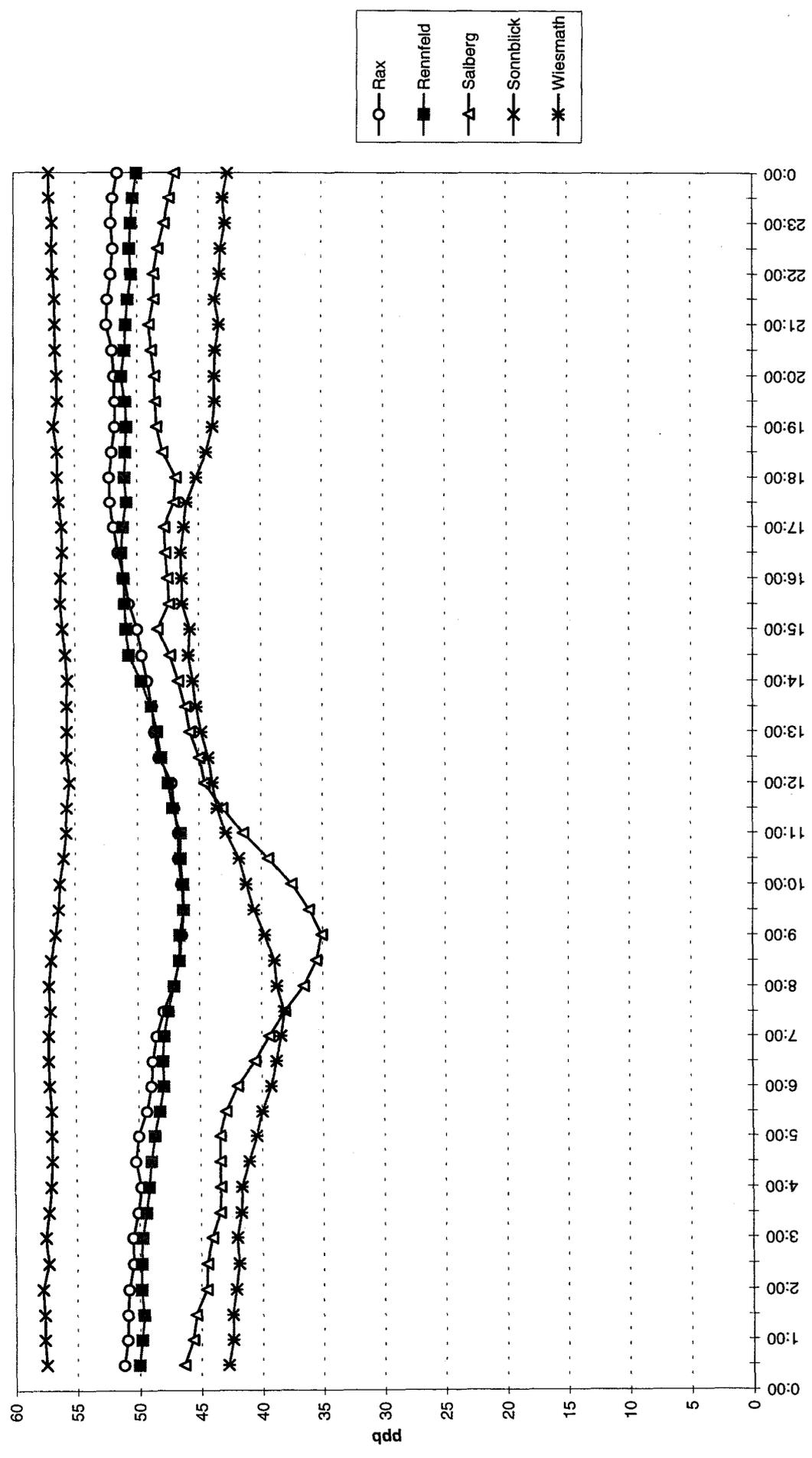


Abbildung 11

Ozon, 19. - 22. April 1996

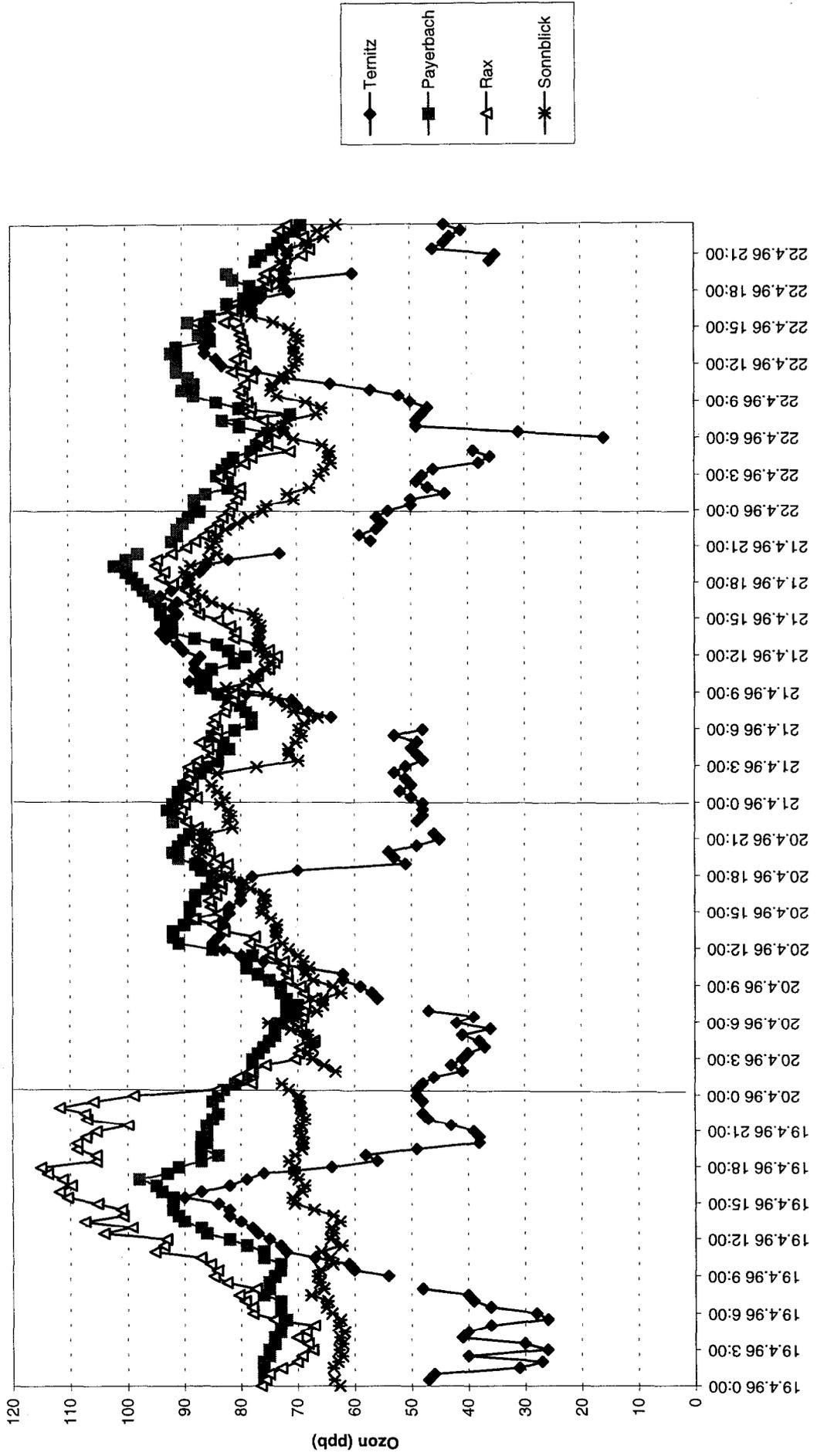


Abbildung 12

19. - 2. April 1996

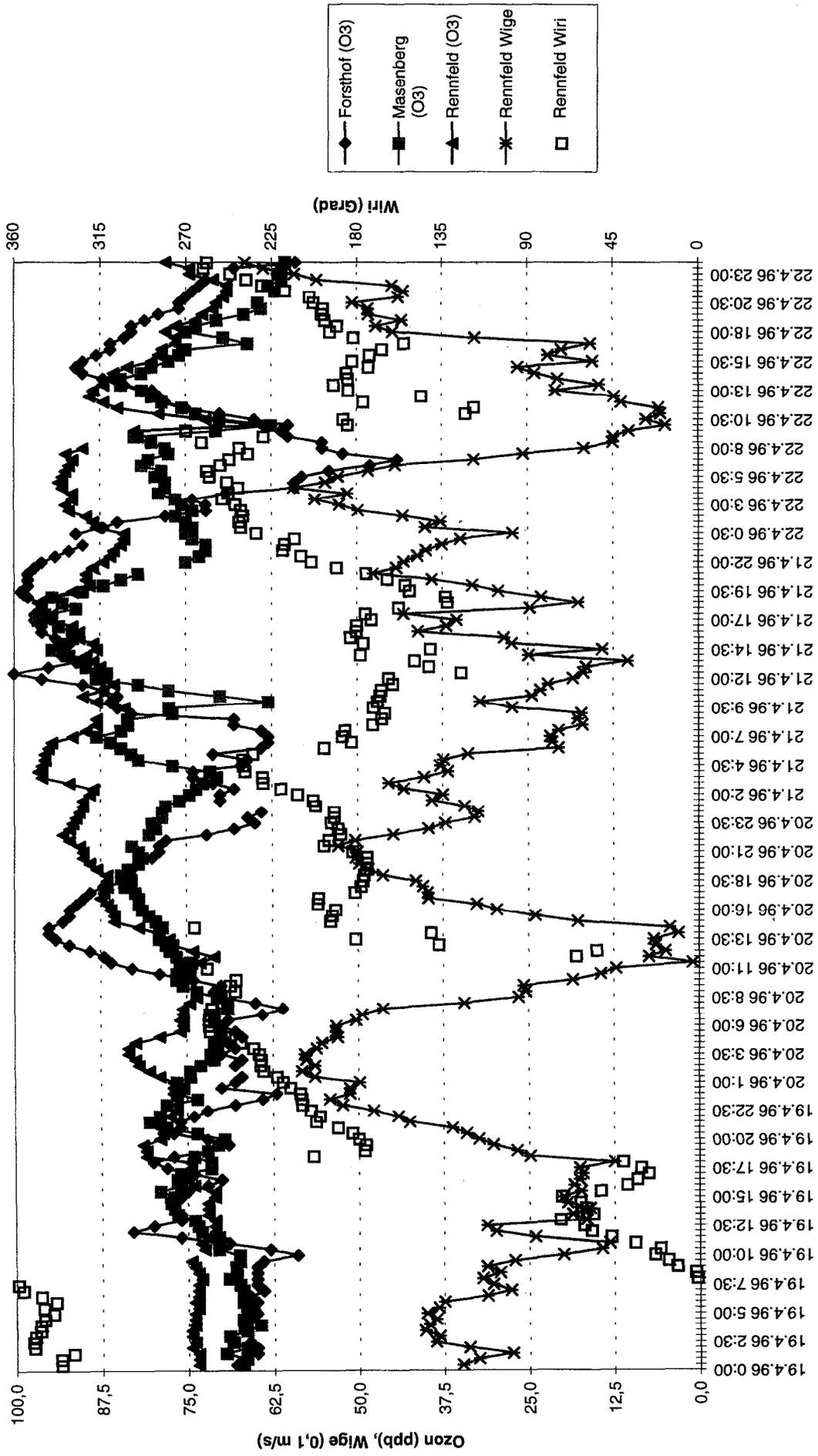


Abbildung 13

Ozon, 2. bis 3.6. 1996

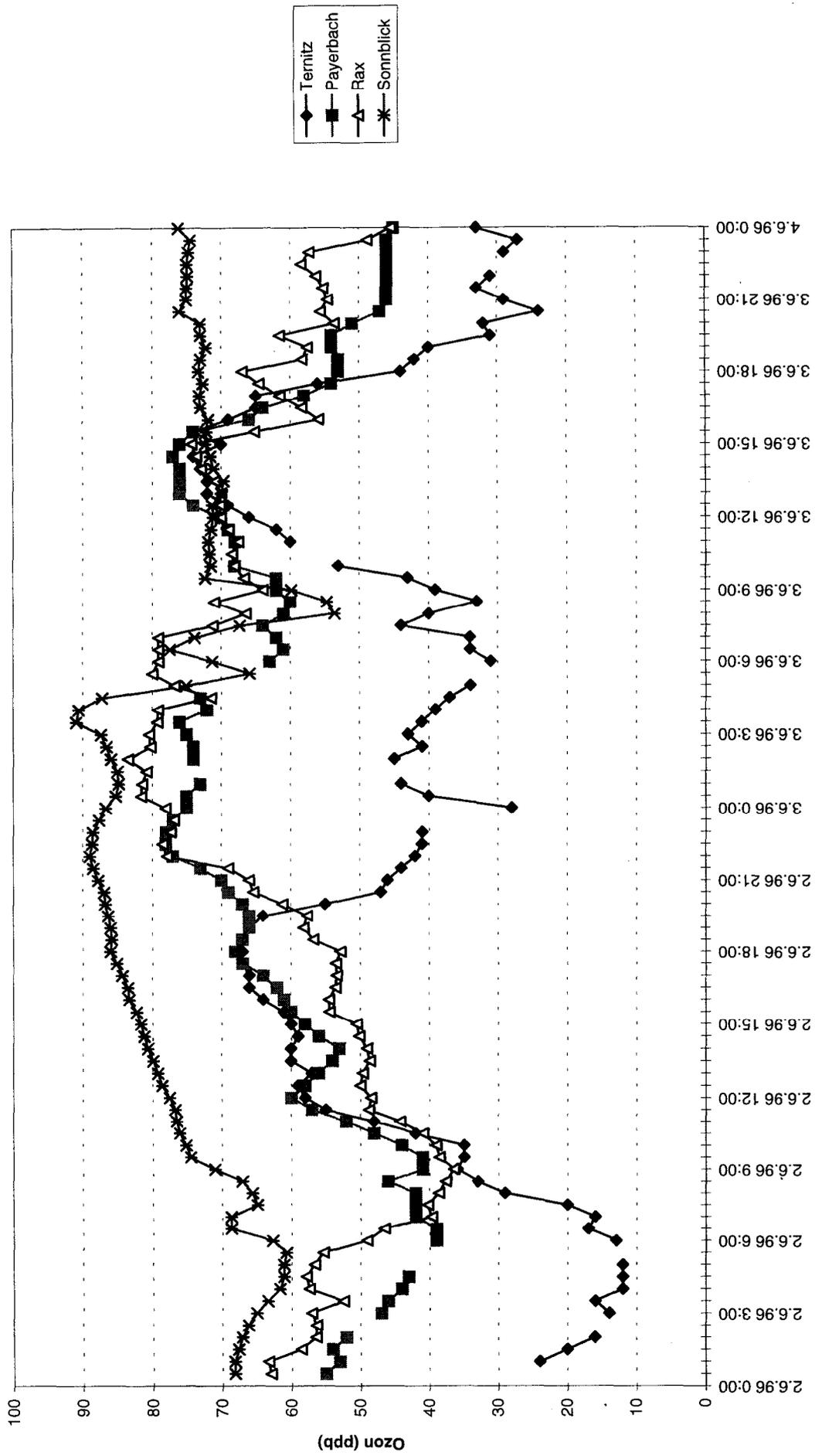


Abbildung 14

2. - 3. Juni 1996

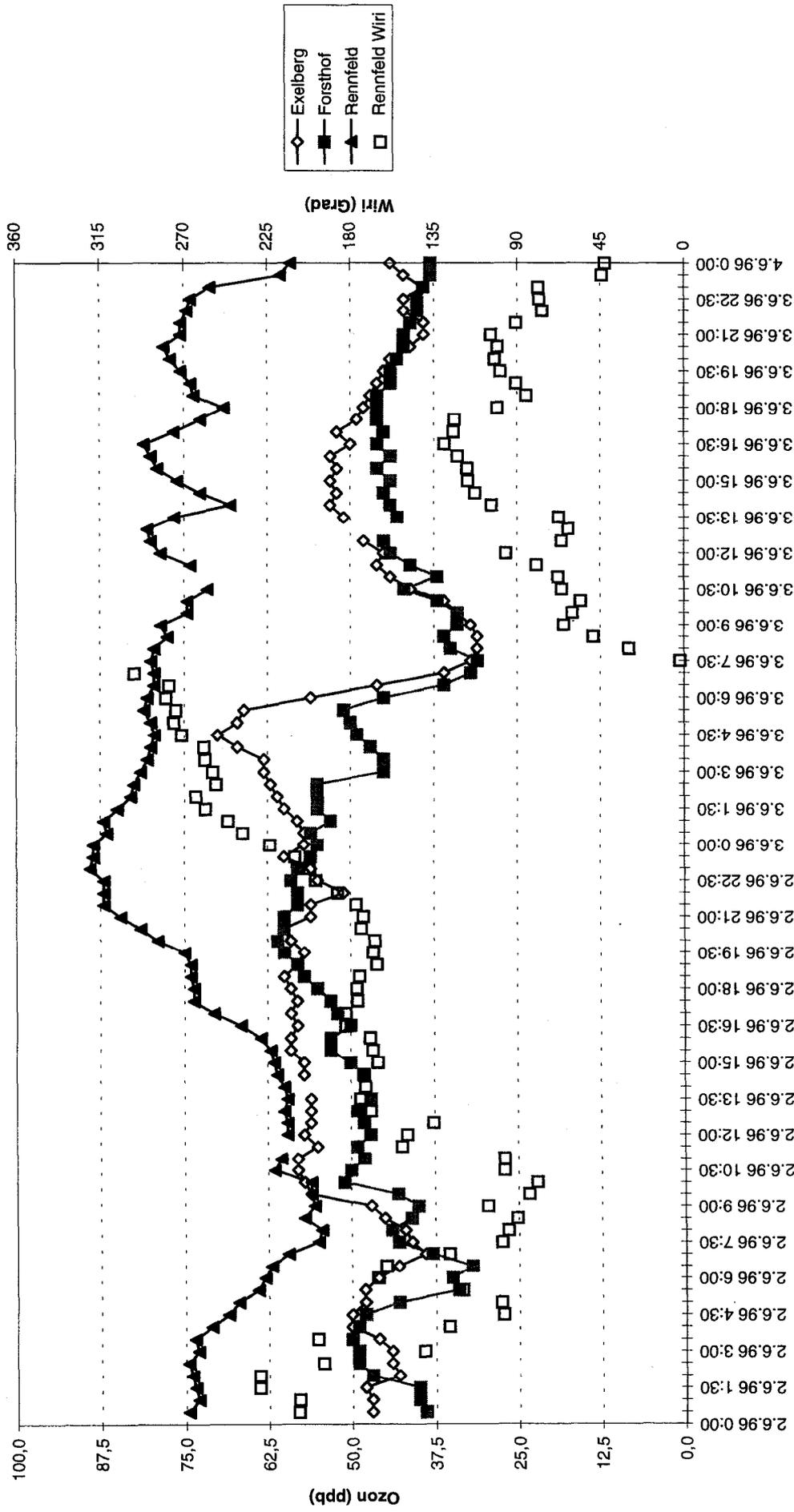


Abbildung 15

Ozon, 9. bis 11.6. 1996

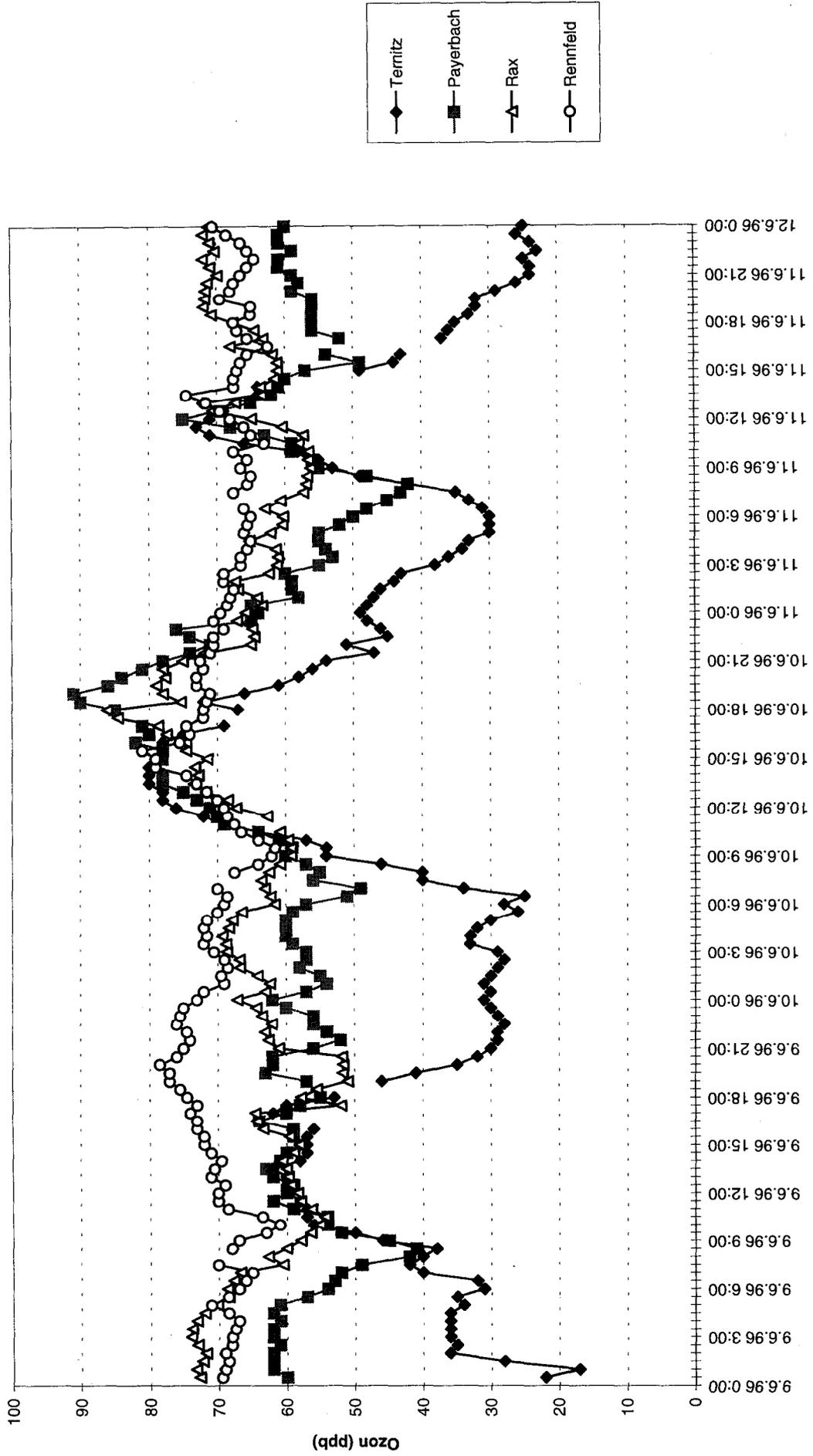


Abbildung 16

9. bis 11. Juni 1996

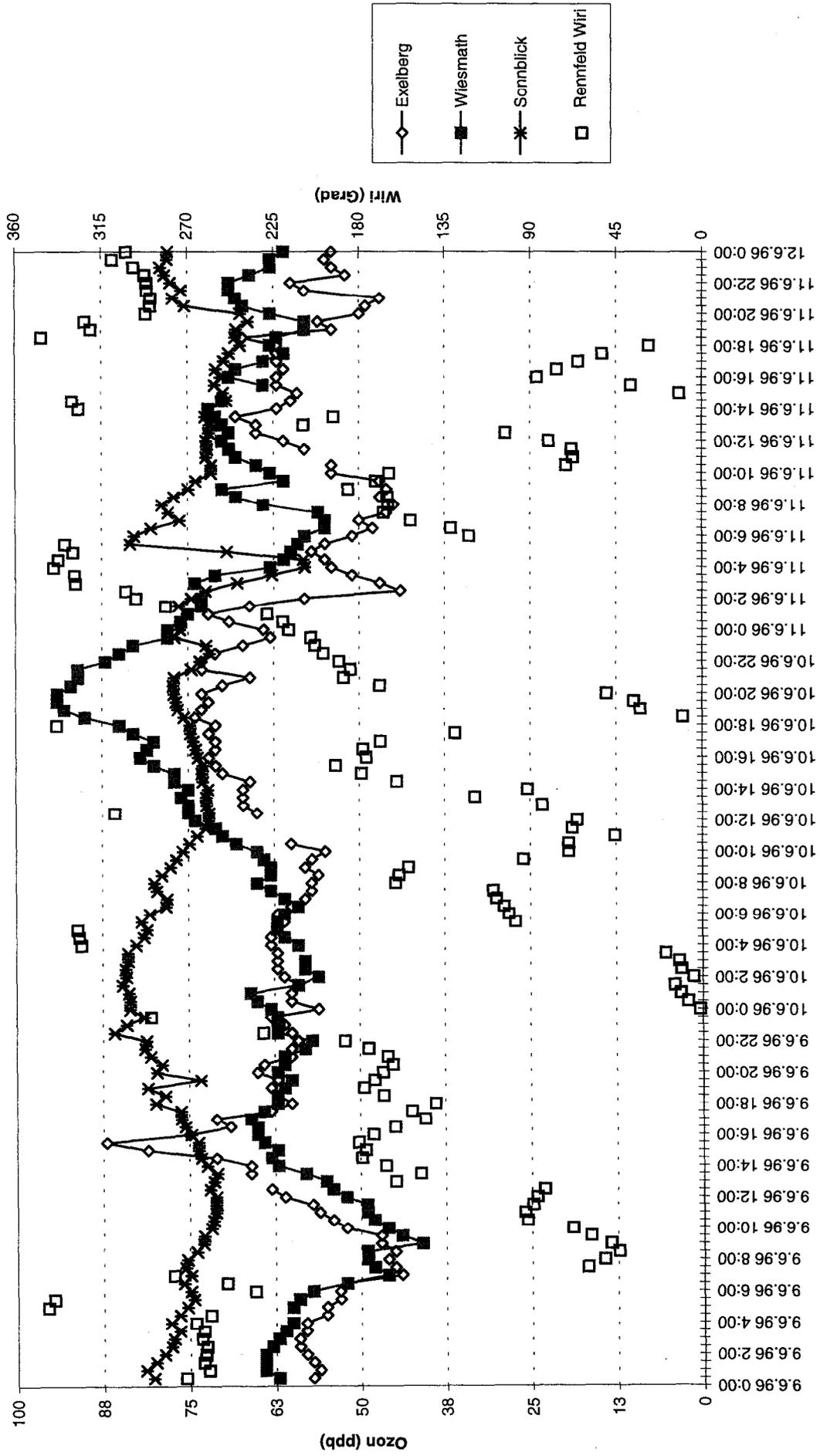


Abbildung 17