

**MESSUNG DER OZONKONZENTRATION
AUF DEM SCHLOT DES KRAFTWERKES
DÜRNROHR (NIEDERÖSTERREICH)
SOMMER 1996**



**Messung der Ozonkonzentration auf dem Schlot
des Kraftwerkes Dürnrohr (Niederösterreich)
Sommer 1996**

Wolfgang Spangl

BE-123

Wien, Juni 1998

Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie



Autor

Wolfgang Spangl

Betreuung der Meßstelle

Franz Zimmerl

Auswertung

Wolfgang Spangl

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt, Spittelauer Lände 5, A-1090 Wien
Eigenvervielfältigung

© Umweltbundesamt, Wien, Juni 1998
Alle Rechte vorbehalten (all rights reserved)
ISBN 3-85457-451-7

Zusammenfassung

Das Umweltbundesamt führte vom 10. Mai bis 2. September 1996 auf dem Schlot des Kraftwerkes Dürnrohr (Höhe des Bodenniveaus 185 m, Höhe der Meßstelle auf dem Schlot 195 m über Boden) kontinuierliche Messungen der Ozonkonzentration durch. Dürnrohr befindet sich im Tullnerfeld in Niederösterreich nordwestlich von Wien, ca. 35 km vom Stadtzentrum entfernt.

Die Messung verfolgte folgende Ziele:

- Untersuchung des vertikalen Gradienten der Ozonkonzentration über dem ebenen, landwirtschaftlich genutzten Tullnerfeld;
- Vergleich der Ozonbelastung auf dem Schlot über dem Tullnerfeld mit jener an Bodenmeßstellen im Wienerwald;
- Untersuchung der Ozonbelastung in der Abgasfahne von Wien.

Die Meßergebnisse lassen folgende Schlußfolgerungen zu:

Der Vergleich der Ozonwerte auf dem Schlot mit jenen der Bodenmeßstelle Streithofen im Tullnerfeld zeigt, daß der Schlot nachts häufig oberhalb der nächtlichen Grenzschicht lag, in welcher am Boden Ozonabbau stattfindet. Somit bildete sich ein deutlicher vertikaler Konzentrationsgradient aus. Die geringsten vertikalen Konzentrationsunterschiede wurden tagsüber beobachtet sowie nachts bei hohen Windgeschwindigkeiten. Der Vertikalgradient war bei niedriger Windgeschwindigkeit sowie in der zweiten Nachthälfte tendenziell am größten.

Die Ozonbelastung auf dem Schlot in Dürnrohr ist jener an den Hügel-Standorten Hermannskogel (530 m) und Forsthof (580 m) im Wienerwald sehr ähnlich. Dies zeigt, daß die Ozonkonzentration über dem Tullnerfeld mit jener über dem Wienerwald durchwegs vergleichbar ist, und daß die Ergebnisse der Ozonmessung am Hermannskogel und in Forsthof im allgemeinen als großflächig repräsentativ angesehen werden können - sieht man von Episoden ab, während derer die Ozonbelastung am Hermannskogel unmittelbar von starker Ozonbildung in der Abgasfahne Wiens bestimmt wird.

Die höchsten Konzentrationsspitzen wurden auf dem Schlot in Dürnrohr am 7. Juni (97 ppb) und am 26. August (100 ppb) jeweils bei Südostwind registriert und sind jedenfalls verstärkter Ozonbildung in der Abgasfahne Wiens zuzuordnen, wobei an beiden Tagen Dürnrohr die mit Abstand höchste Belastung in Niederösterreich aufwies. Am 7.6. wurde zum Zeitpunkt maximaler Konzentration gegenüber der Bodenmeßstelle Streithofen ein Konzentrationsgradient von 18 ppb gemessen, am 26.8. ein solcher von 37 ppb. An beiden Tagen blieb die Konzentration am Hermannskogel (maximal 76 ppb bzw. 60 ppb) weit hinter jener in Dürnrohr zurück, sodaß starke Ozonbildung offensichtlich erst in etwas größerer Entfernung von Wien einsetzte.

Allgemein ist aber anzumerken, daß im Sommer 1996 die Ozonbelastung in Österreich – im Vergleich der Jahre 1990 bis 1997 – relativ niedrig war und gerade im Bereich um und nordwestlich von Wien, wo in den meisten Jahren die höchsten kurzzeitigen Spitzenwerte der Ozonkonzentration auftraten, derartige Spitze, insbesondere Dreistundenmittelwerte über 100 ppb, ausblieben.

Abgesehen von diesen Situationen mit kleinräumig stark erhöhter Ozonbelastung folgte der Konzentrationsverlauf auf dem Schlot meist jenem in Forsthof und am

Hermannskogel. Insbesondere nachts sowie beim Eindringen von Kaltluftmassen entspricht der Belastungsverlauf in Dürnrohr eher jenem der Hügel-Standorte als jenem in der Ebene.

Die Ozonmessung auf dem Schlot über dem Tullnerfeld zeigte somit, daß

- die an den Bodenmeßstellen Hermannskogel und Forsthof erfaßte Ozonkonzentration in den meisten Fällen großräumig für den ganzen Wienerwald repräsentativ ist;
- in einzelnen Fällen mit verstärkter Ozonbildung im Lee von Wien kleinräumig stark erhöhte Ozonbelastungen auftreten, die von keiner Bodenmeßstelle erfaßt werden.

Dieser Befund korrespondiert mit den Ergebnissen der Flugmessungen des Pannonischen Ozon-Projekts (Juli und August 1995)¹, wo im Bereich nordwestlich von Wien – in etwas größerer Entfernung als der Hermannskogel – wesentlich höhere Ozonkonzentrationen gemessen wurden als am Hermannskogel, am Exelberg oder anderen Bodenmeßstellen. Die seit 1997 betriebene Ozonmeßstelle Stockerau könnte diese „Lücke“ schließen.

Summary

From May 10th to Sept. 2nd 1996 the Federal Environment Agency conducted an ozone measurement campaign on the stack of the thermal power plant Dürnrohr in the Tullnerfeld in Lower Austria north-west of Vienna. The height of the sampling inlet was 195 m above ground, at a ground level of 185 mMSL.

The objectives of the measurement were

- Investigation of the vertical ozone distribution over the flat, agricultural area of the Tullnerfeld;
- Comparison of the ozone concentration at the stack of the power plant with ozone measurements of ground-based sites in the near-by hilly terrain of the Wienerwald;
- Investigation of ozone formation in the plume of Vienna.

Major results of the measurement campaign are:

During night, on average a distinct vertical concentration gradient between the stack height and ground level could be observed. Ozone depletion by dry deposition in the stable nocturnal boundary layer yielded lower concentrations on ground level than at stack height, especially during the second half of the night on days with weak wind. Around noon as well as during night in cases with high wind speed, ozone concentrations were vertically almost uniform.

The ozone data from the stack shows a quite similar pattern with ground-based monitoring sites at the hill-sites Hermannskogel and Forsthof in the Wienerwald. This proves that ozone monitoring data from these hill-sites are representative for quite large areas, also for above-ground-level concentrations north-west of the

¹ UBA-96-137, Pannonisches Ozon-Projekt (POP), Teilprojekt Daten&Experimente. Dokumentation der im Sommer 1995 durchgeführten Messungen und deren Ergebnisse.

Wienerwald, except for situations where small-scale enhanced ozone formation in the Vienna plume gives rise to extraordinarily high concentrations at Hermannskogel.

The highest concentrations at Dürnrohr were observed at south-east wind in the plume of Vienna on June 7th (97 ppb as half hour mean) and on August 26th (100 ppb). On both days, these were the highest concentrations observed in Lower Austria and much higher than at any ground-based monitoring sites. On these days ozone formation leeward to Vienna took place in elevated layers of the Troposphere and reached no ground-based monitoring site.

In this context it should be mentioned that – with respect to the summer seasons 1990 to 1997 – ozone levels in north-eastern Austria were comparatively low.

The following main conclusions may be drawn from the ozone measurement campaign on the Dürnrohr stack:

- in most cases ozone levels observed at ground-based stations in the Wienerwald seem to be representative for a large area
- in cases of strong ozone formation leeward of Vienna, the present monitoring network may be too coarse to detect the Vienna plume.



Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung und Durchführung	2
1.1	Meßtechnik	2
1.2	Zielsetzungen	2
2	Die Beurteilung der Meßergebnisse im Vergleich mit den Ozonmeßstellen der Umgebung	4
2.1	Vergleich der Ozonkonzentration Dürnrohr - Streithofen	4
2.2	Statistischer Vergleich von Dürnrohr mit anderen Meßstellen	6
2.3	Grenzwertüberschreitungen	7
3	Analyse von einzelnen Episoden	10
3.1	Episode 6. bis 8. Juni 1996	10
3.2	Episode 20. bis 26. August 1996	11

1 Zielsetzung und Durchführung

Das Umweltbundesamt führte von 10. Mai bis 2. September 1996 auf dem Schlot des Kalorischen Kraftwerkes Dürnrohr (Betreiber Verbund und EVN) kontinuierliche Messungen der Ozonkonzentration durch. Die Messung erfolgte in einem Raum auf dem Schlot 195 m über Boden (Höhe des Schlotes ca. 220 m); das Bodenniveau weist eine Seehöhe von 185 m auf.

1.1 Meßtechnik

Die Probeluft wurde über eine Teflonleitung, welche ca. 1,2 m aus der Mauer des Schlotes an dessen Nordostseite hinausragte, angesaugt. Eine Beeinflussung der Messung durch die Abgase des Kraftwerkes war aufgrund des thermischen Auftriebs der mehr als 20 m über der Meßstelle auftretenden Abgase auszuschließen. Der Raum mit den entsprechenden technischen Einrichtungen wurde dem Umweltbundesamt von der Betriebsleitung des Kraftwerkes freundlicherweise zur Verfügung gestellt. Die Messung erfolgte mit Geräten der Type ML 8810; die Kenndaten sind in folgender Tabelle angeführt.

Analysator	Monitor Labs (ML) 8810
Meßprinzip	UV-Absorption
Konzentrationsangabe	ppb
Untere Nachweisgrenze	2 ppb
Präzision	± 2 ppb
Ansprechzeit (T_{95})	180 s
Kalibrierung	mit TECO 49 PS

1.2 Zielsetzungen

Die Messung der Konzentration von bodennahem Ozon (O_3) auf dem Schlot des Kalorischen Kraftwerkes Dürnrohr (NÖ) verfolgte folgende Ziele:

- Untersuchung des vertikalen Gradienten der Ozonkonzentration über dem ebenen, landwirtschaftlich genutzten Tullnerfeld (Vergleichsmeßstelle Streithofen);
- Vergleich der Ozonbelastung auf dem Schlot über dem Tullnerfeld mit jener an Boden-Meßstellen im Wienerwald in vergleichbarer absoluter Seehöhe
- Untersuchung der Ozonbelastung in der Abgasfahne von Wien, welche bei Ostwind den Erfahrungen der letzten Jahre zufolge meist im nördlichen Wienerwald, im Dunkelsteinerwald und im Niederösterreichischen Alpenvorland erfaßt wird.

Zur Beurteilung der auf dem Kraftwerksschlot Dürnrohr gemessenen Ozonbelastung werden Meßdaten der Ozonmeßstellen Forsthof, Hermannskogel, Klosterneuburg, St. Pölten, Stockerau, Streithofen und Tulln herangezogen¹. Die Meßdaten dieser

¹ Die Meßdaten der Station Exelberg (70 m hoher Turm auf dem 515 m hohen Exelberg nordwestlich von Wien) konnten leider nicht verwendet werden, da sie ab November 1995 um bis zu 20 ppb tiefer lagen als an den ansonsten ähnlich hoch belasteten Stationen Hermannskogel oder Forsthof. Von

Stationen wurden dem Umweltbundesamt von den Meßnetzbetreibern (NÖ und Wien) freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

Tabelle 1 gibt die Lagebeschreibung der genannten Ozonmeßstellen an.

Meßstelle	Geogr. Länge	Geogr. Breite	Seehöhe (m)	Topographie	Nutzung der Umgebung
Dürnrohr	15°55'00"	48°19'30"	185/380	Ebene	Kraftwerk
Forsthof	15°53'16"	48°06'50"	580	Hügelland	Wiese, Wald
Hermannskogel	16°17'55"	48°16'15"	520/530	Hügelland	Wiese, Wald
Klosterneuburg	16°19'14"	48°18'05"	200	Tal	Friedhof, Stadt
St. Pölten	15°37'53"	48°12'10"	270	Ebene	Stadttrand
Stockerau	16°12'44"	48°23'18"	176	Ebene	Stadttrand
Streithofen	15°56'05"	48°16'41"	220	Ebene	Felder
Tulln	16°03'31"	48°19'52"	180	Ebene	Stadtzentrum

Bei Dürnrohr und Hermannskogel sind die Bodenhöhe sowie die effektive Höhe der Ansaugleitung angegeben, bei den anderen Meßstellen die Bodenhöhe; dort erfolgt die Ansaugung der Probeluft jeweils ca. 3 bis 4 m über Boden.

Abbildung 1 zeigt die Lage des Kraftwerkes Dürnrohr sowie jener Ozonmeßstellen, welche in die Auswertung der Meßdaten der Station Dürnrohr einbezogen werden.

Unter den zum Vergleich herangezogenen Meßstellen liegen Hermannskogel und Forsthof im Wienerwald, wobei Hermannskogel einen exponierten Standort am nordwestlichen Stadtrand Wiens einnimmt, an welchem bei schwachem Südostwind und hoher Temperatur und Sonneneinstrahlung sehr hohe Ozonkonzentrationen zu erwarten sind, da sich hier photochemische Ozonbildung in der Abgasfahne der Stadt Wien bemerkbar macht. Demgegenüber kann Forsthof als Hintergrund-Standort angesprochen werden, welcher nur in seltenen Fällen von der Abgasfahne der Stadt beeinflusst wird.

Die Stationen Tulln, Klosterneuburg, Stockerau und St. Pölten sind Meßstellen in Kleinstädten im locker verbauten Gebiet, wobei Tulln - anders als die anderen Meßstellen - eine verkehrsnaher Meßstelle ist, weswegen in Tulln tendenziell eine niedrigere Ozonbelastung zu erwarten ist.

Streithofen liegt im ebenen, landwirtschaftlich genutzten Gelände fernab von Siedlungen und größeren Straßen.

Die Kalibrierung des Meßgerätes auf dem Schlot von Dürnrohr erfolgte am Beginn und am Ende der Meßperiode mit dem Transferstandard des UBA, die Meßgeräte der anderen Meßstellen jeweils im Frühling und Herbst mit den Transferstandards der Länder Niederösterreich und Wien, welche ihrerseits am UBA abgeglichen werden.

Seiten des Amtes der NÖ Landesregierung wurde eingeräumt, daß die Ozondaten vom Exelberg unglaublich niedrig sind, doch konnte keine schlüssige Erklärung dafür gegeben werden.

2 Die Beurteilung der Meßergebnisse im Vergleich mit den Ozonmeßstellen der Umgebung

2.1 Vergleich der Ozonkonzentration Dürnrohr - Streithofen

Die räumliche und zeitliche Verteilung der Ozonkonzentration wird vom Zusammenspiel von Bildung, Transport und Abbau von Ozon (O_3) in der Luft bestimmt.

Ozonbildung erfolgt tagsüber durch photochemische Prozesse abhängig von der Konzentration der Ozonvorläufersubstanzen Stickstoffoxide und (Nicht-Methan-) Kohlenwasserstoffe und tritt am stärksten bei warmer, sonniger Witterung auf. Photochemische Ozonbildung tritt europaweit auf, ist jedoch im Bereich großstädtischer Abgasfahnen allgemein am intensivsten. Das Tullnerfeld liegt bei Südost- bis Ostwind regelmäßig im Bereich erhöhter Ozonbildung im Lee von Wien.

Ozonabbau erfolgt ständig durch Reaktion des Ozons mit allen festen Oberflächen (trockene Deposition). In Gegenden mit großer „Oberfläche“ wie Wald oder Städten ist die trockene Deposition gegenüber z.B. vegetationslosen Flächen erhöht. Der Boden stellt mithin eine Ozonsenke dar.

Daneben wird Ozon durch Reaktion mit NO zu NO_2 und O_2 abgebaut. Diese Ozonsenke ist vor allem im städtischen Bereich in der Nähe stark befahrener Straßen wirksam.

Ozon wird mit dem horizontalen Wind großräumig transportiert.

Für die vertikale Konzentrationsverteilung spielt vertikaler Transport durch turbulenten Austausch eine entscheidende Rolle. Der Vertikalgradient ist wesentlich vom Zusammenwirken von Ozonabbau am Boden und vertikalen Mischungsprozessen bestimmt. Ozonabbau am Boden ist stets wirksam, doch wird der Ozonverlust der Luft in Bodennähe durch turbulenten Austausch mit bodenferneren Luftschichten kompensiert, sofern entsprechender Austausch möglich ist. Dies ist bei labiler Schichtung der Atmosphäre, d.h. zumeist tagsüber und im besonderen bei hoher Windgeschwindigkeit der Fall. Demgegenüber bildet sich nachts über ebenem Gelände meist in ca. 100 bis 300 m Höhe über Boden stabile Luftschichtung aus, die den turbulenten Austausch der flachen bodennahen Grenzschicht mit der freien Troposphäre darüber unterbindet, weswegen nachts in der bodennahen Luftschicht unkompensierter Ozonabbau stattfindet. Dies führt in Ebenen, Tal- und Beckenlagen zu niedrigeren nächtlichen Ozonwerten als auf Bergen und in der bodenferneren Troposphäre. Sofern die nächtliche Inversion unterhalb der Meßstelle auf dem Dürnrohrer Schlot (195 m über Boden) lag, war somit dort deutlich geringerer nächtlicher Ozonabbau zu beobachten als unmittelbar am Boden.

Dieser Sachverhalt wirkt sich u.a. im mittleren Tagesgang der Ozonkonzentration aus, wie er in Abbildung 2 für die Meßstellen Dürnrohr, Forsthof und Streithofen dargestellt ist. Deutlich erkennbar ist die Konzentrationsdifferenz zwischen Dürnrohr und Streithofen während der Nacht. Zwischen ca. 8 Uhr und 15 Uhr ist die Konzentration an beiden Meßstellen praktisch ident, nach 15 Uhr beginnt die Konzentration in Streithofen bereits stärker zu sinken als auf dem Schlot.

An der im Wienerwald gelegenen Meßstelle Forsthof ist der nächtliche Ozonabbau noch schwächer ausgeprägt; dort ist im Mittel auch die nachmittägliche Maximalkonzentration niedriger, weil Forsthof weniger von Ozonbildung in der Abgasfahne Wiens betroffen ist als das Tullnerfeld.

Das Verhältnis der Ozonkonzentration der beiden Meßstellen Dürnrohr (Schlot) und Streithofen (Abbildung 3) weist, wie schon anhand des mittleren Tagesganges zu erkennen ist, eine charakteristische Abhängigkeit von der Tageszeit auf. Es liegt zwischen 9 und 16 Uhr nahe eins - d.h. tagsüber ist die Ozonkonzentration vertikal sehr einheitlich. Dies ist auf gute vertikale Durchmischung zurückzuführen. Nachts ist die Ozonkonzentration auf dem Schlot in der Mehrzahl der Fälle höher als am Boden, wobei die größten Unterschiede (bis Faktor 6) in der zweiten Nachthälfte auftreten.

Die Windgeschwindigkeit beeinflusst das Verhältnis der Ozonkonzentration der beiden Meßstellen Dürnrohr (Schlot) und Streithofen entscheidend. Hohe Windgeschwindigkeit führt zu verstärkter vertikaler Durchmischung und unterbindet zumeist nachts das Ausbilden einer stabilen Luftschicht in Bodennähe.

Abbildung 4² zeigt das Verhältnis der Ozonkonzentration zwischen Dürnrohr und Streithofen in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit, gemessen am Exelberg. Bis auf einzelne Episoden treten Konzentrationsverhältnisse über eins, d.h. deutliche vertikale Konzentrationsunterschiede, bevorzugt bei niedriger Windgeschwindigkeit auf. Je höher die Windgeschwindigkeit ist, um so geringer sind die Abweichungen vom Konzentrationsverhältnis von 1, d.h. sehr guter vertikaler Durchmischung. Abweichungen von diesem Bild treten vorwiegend in Richtung eines Konzentrationsverhältnisses über 1 auf.

² In Abbildung 3 scheinen Konzentrationsverhältnisse über 6 auf, welche in Abbildung 4 nicht dargestellt sind. Die entsprechenden hohen Werte fallen mit Ausfällen der Windmessung auf dem Exelberg zusammen und sind daher in der entsprechenden Abbildung nicht enthalten.

2.2 Statistischer Vergleich von Dürnrohr mit anderen Meßstellen

Der statistische Vergleich umfaßt die in

Tabelle 2 angegebenen Parameter: Mittelwert, Standardabweichung und Schiefe³ der Ozonkonzentration - bezogen auf den Zeitraum 10. Mai bis 2. September 1996 - an den Meßstellen Dürnrohr, Forsthof, Hermannskogel, Klosterneuburg, St. Pölten, Stockerau, Streithofen und Tulln.

Tabelle 2: Mittelwert, Standardabweichung und Schiefe der Ozonmeßwerte

	Mittelwert	Standardabweichung	Schiefe
	ppb	ppb	
Dürnrohr	38	15	0,31
Forsthof	42	13	-0,05
Hermannskogel	42	14	0,20
Klosterneuburg	31	15	0,38
St. Pölten	28	17	0,44
Stockerau	31	17	0,28
Streithofen	34	15	0,26
Tulln	29	17	0,30

Die höchsten Mittelwerte im genannten Zeitraum - 42 ppb - wurden an den im Hügelland gelegenen Stationen Hermannskogel und Forsthof registriert, die niedrigsten an den städtischen Meßstellen St. Pölten, Tulln, Stockerau und Klosterneuburg mit 29 bis 31 ppb. Dieses Bild ergibt sich primär durch Unterschiede in der nächtlichen Belastung, welche an städtischen Meßstellen infolge von Ozonabbau - durch trockene Deposition sowie v.a. in Tulln und St. Pölten durch Reaktion mit NO - deutlich niedriger ist als an den emittentenfernen, exponierten Standorten.

Der flachere Verlauf der Konzentration im Hügelland drückt sich auch in den etwas niedrigeren Standardabweichungen (13 bzw. 14 ppb) gegenüber höheren Standardabweichungen an den städtischen Meßstellen aus (17 ppb in St. Pölten, Stockerau und Tulln) aus.

Die niedrigste Schiefe weisen die Ozonwerte in Forsthof mit -0,05 auf, welche somit annähernd normalverteilt sind; Hermannskogel weist einen Schiefewert von 0,20 auf. Die höchsten Schiefewerte zeigen die Ozondaten der städtischen Meßstellen St. Pölten und Klosterneuburg (0,40 bzw. 0,38), wo somit der Median (50-Perzentil) gegenüber dem Mittelwert deutlich zu niedrigen Konzentrationen verschoben ist.

³ Die Schiefe ist u.a. ein Maß für die Abweichung der Verteilungsfunktion einer Wertemenge von der Normalverteilung. Negative Schiefe kennzeichnet das Überwiegen von hohen Werten gegenüber dem Mittelwert (d.h. der Median ist größer als der Mittelwert), positive Schiefe das Überwiegen von kleinen Werten gegenüber dem Mittelwert; Ozonkonzentrationswerte sind an den meisten Meßstellen positiv schief verteilt, am stärksten an Meßstellen, die einen ausgeprägten Tagesgang mit häufigem Auftreten niedriger Werte nachts und vormittags aufweisen; negative Schiefe tritt nur an Bergmeßstellen auf, an denen die Ozonkonzentration meist relativ konstant auf hohem Niveau bleibt.

Die Verfügbarkeit der HMW liegt an allen Meßstellen für den Zeitraum 10. Mai bis 2. September 1996 bei mindestens 95%.

2.3 Grenzwertüberschreitungen

Bei der Beurteilung der Einhaltung oder Überschreitung von Grenzwerten ist anzumerken, daß Grenzwertüberschreitungen auf dem Schlot des Kraftwerks Dürnrohr selbst ohne Relevanz sind, da sich dort weder Menschen noch Vegetation befinden. Aufgrund der Repräsentativität der Ozonmessung auf dem Schlot für den Wienerwald können die auf dem Schlot beobachteten Grenzwertüberschreitungen aber als Maß für die Belastung in den angrenzenden Teilen des Wienerwaldes angesehen werden.

Grenzwerte des österreichischen Ozongesetzes (BGBl. 210/1992) - 0,200 mg/m³ (100 ppb) als Dreistundenmittelwert für die Vorwarnstufe - wurden im Sommer 1996 an keiner der betrachteten Meßstellen überschritten.

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

	µg/m ³	ppb	Mittelwert-Art
Gesundheitsschutz	110	55	MW8* ⁴
Schutz der Vegetation	200	100	MW1
Schutz der Vegetation	65	32,5	MW24
Unterrichtung der Bevölkerung	180	90	MW1
Auslösung des Alarmsystems	360	180	MW1

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

	µg/m ³	ppb	Mittelwert-Art
Schutz der menschlichen Gesundheit	100	50	MW8
Schutz der menschlichen Gesundheit	120	60	HMW
Schutz der Vegetation	60	30	MW8
Schutz der Vegetation	60	30	VPM-MW7 (9.00-16.00) ⁵
Schutz der Vegetation	150	75	MW1
Schutz der Vegetation	300	150	HMW

⁴ Vier Achtstundenmittelwerte über die Perioden 0 - 8 Uhr, 8 - 16 Uhr, 16 - 24 Uhr, 12 - 20 Uhr.

⁵ Mittelwert über die Vegetationsperiode (April bis Oktober) über alle täglichen Siebenstundenmittelwerte des Zeitraums von 9.00 bis 16.00 Uhr.

In Tabelle 3 sind die Überschreitungshäufigkeit (in Prozent der gültigen Werte) und die Anzahl der Tage mit Überschreitung der folgenden Schwellenwerte angeführt:

- * Schwellenwert der EU-Richtlinie zur Unterrichtung der Bevölkerung (MW1 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- * Schwellenwert der EU-Richtlinie zum Gesundheitsschutz (MW8* 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- * Schwellenwert der EU-Richtlinie zum Schutz der Vegetation (TMW 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- * WIK zum Schutz der menschlichen Gesundheit (HMW 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- * WIK zum Schutz der Vegetation (MW8 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Tabelle 3: Überschreitung des MW1 von 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (90 ppb), des MW8* von 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (55 ppb), des TMW von 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (32,5 ppb), des HMW von 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (60 ppb) und des MW8 von 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (30 ppb) im Zeitraum 10.5. - 2.9. 1996.

%: Anteil der Werte über dem Schwellenwert bzw. WIK in Prozent der gültigen Werte

T: Anzahl der Tage mit Werten über dem Schwellenwert bzw. WIK

Station	MW1		MW8*		TMW		HMW		MW8	
	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	%	T	%	T	%	T	%	T	%	T
Dürnrohr	0,07	2	15,6	39	75,1	102	8,2	40	69,4	111
Forsthof	0,00	0	12,9	30	80,5	101	7,3	37	83,2	111
Hermannskogel	0,10	1	18,8	40	82,1	105	10,7	42	83,4	112
Klosterneuburg	0,06	1	5,6	17	35,7	58	3,7	21	45,0	103
St. Pölten	0,00	0	6,4	20	28,2	48	4,7	29	38,9	93
Stockerau	0,00	0	7,3	23	38,5	65	5,6	33	47,2	107
Streithofen	0,00	0	6,4	20	47,1	76	4,6	30	54,2	103
Tulln	0,00	0	5,4	17	27,4	50	3,8	25	40,9	102

Der hohe Kurzzeit-Schwellenwert von 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ als MW1 wurde lediglich in Dürnrohr an zwei Tagen (7.6. und 26.8.), in Klosterneuburg und am Hermannskogel an einem Tag (7.6.) überschritten; diese Ereignisse sind jeweils verstärkter Ozonbildung in der Abgasfahne Wiens zuzuordnen.

Bei den anderen Schwellenwerten bzw. WIK weisen jeweils Hermannskogel, Forsthof und Dürnrohr deutlich höhere Überschreitungshäufigkeiten als die in der Ebene gelegenen Stationen auf; die Unterschiede sind bei den Achtstunden- und Tagesmittelwerten noch deutlicher als bei Ein- und Halbstundenmittelwerten. Ausschlaggebend hierfür sind Unterschiede im Zeitverlauf, die bereits in Kapitel 2.1 angesprochen wurden: an den Stationen der Ebene sind infolge stärkeren Ozonabbaus abends und nachts meistens die Konzentrationen niedriger als an exponierten Standorten.

Herauszuheben ist, daß der EU-Schwellenwert zum Gesundheitsschutz am Hermannskogel im Zeitraum von 10. Mai bis 2. September 1996 während 19% der Meßzeit überschritten wurde, in St. Pölten und Klosterneuburg während 6%. Der EU-Schwellenwert zum Schutz des Waldes wurde in diesem Zeitraum am Hermannskogel während 82%, in Forsthof während 81% der Meßzeit überschritten, in Streithofen in 47%, in Klosterneuburg in 36%. Die entsprechenden Überschreitungshäufigkeiten

in Dürnrohr - ca. 200 m über Boden - liegen etwas niedriger als an den Meßstellen im Wienerwald.

Von der UN/ECE wurden im Rahmen der Convention on long-range transboundary air pollution „Kritische Werte“ (Critical Levels) der kumulativen Ozonbelastung erarbeitet, bei deren Überschreitung mit statistischer Signifikanz Zuwachs- bzw. Ernteinbußen an Pflanzen zu beobachten sind. Die für Waldbäume relevante kumulative Ozonbelastung wird als Summe der Einstundenmittelwerte über 40 ppb während der Tageslichtstunden⁶ im Zeitraum April bis September berechnet, der Critical Level beträgt 10.000 ppb*h. Die für landwirtschaftliche Nutzpflanzen (LNP) - wozu auch bewirtschaftete Weiden und 'natürliche Vegetation außer Wald' gerechnet werden - relevante kumulative Ozonbelastung wird analog über den Zeitraum von Mai bis Juli berechnet, der Critical Level beträgt 3000 ppb*h.

In Tabelle 4 sind für die betrachteten Meßstellen die kumulative Ozonbelastung sowie der Überschreitung der Critical Levels für LNP angegeben. Die Werte der kumulativen Ozonbelastung sind auf den entsprechenden Bezugszeitraum extrapoliert.

Tabelle 4: Kumulative Ozonbelastung für Landwirtschaftliche Nutzpflanzen (LNP) sowie für den Zeitraum 10.5. - 2.9. an den Meßstellen Dürnrohr, Forsthof, Hermannskogel, Klosterneuburg, Stockerau, Tulln, Streithofen und St. Pölten.

	Meßzeit		LNP	
	LNP	AOT40	Überschr.	
	h	ppb*h	ppb*h	
Dürnrohr	1179	8815	5815	
Forsthof	1232	8478	5478	
Hermannskogel	1303	9597	6597	
Klosterneuburg	1231	6012	3012	
St. Pölten	1195	6035	3035	
Stockerau	1245	7169	4169	
Streithofen	1176	7486	4486	
Tulln	1218	6613	3613	

Der Critical Level für landwirtschaftliche Nutzpflanzen wird an allen Meßstellen überschritten, im Wienerwald ca. um das Dreifache, im Tullnerfeld um mehr als das Doppelte.

Die kumulative Ozonbelastung für LNP in Dürnrohr (Verfügbarkeit der Daten für den Bezugszeitraum Mai bis Juli: 90%) liegt in der gleichen Höhe wie in Forsthof und etwas niedriger als am Hermannskogel. Eine analoge Aussage ist - mit Einschränkungen in Hinblick auf die zu kurze Meßzeit in Dürnrohr - auch für die kumulative Ozonbelastung des Waldes zu treffen.

⁶ Definitionsgemäß der Zeitraum mit einer Globalstrahlung von mehr als 50 W/m².

Die kumulative Ozonbelastung für den Zeitraum 10.5. - 2.9. ist an den exponierten Meßstellen Hermannskogel und Forsthof erwartungsgemäß deutlich höher als an jenen in der Ebene.

3 Analyse von einzelnen Episoden

Im folgenden Kapitel werden zwei Episoden näher untersucht, während derer in Dürnrohr deutlich erhöhte Ozonbelastung beobachtet wurde, die aber darüber hinaus durch unterschiedliche meteorologische Verhältnisse von speziellem Interesse sind.

3.1 Episode 6. bis 8. Juni 1996

Wetterlage

Vom 6. bis 8.6. bestimmte ein ausgedehntes, hochreichendes Hochdruckgebiet das Wetter in Mitteleuropa, dessen Kern sich von Ostdeutschland nach Rumänien verlagerte. Am 8.6. drang von Westen eine Frontalzone - verbunden mit heftigen Regenschauern - nach Mitteleuropa vor, die Österreich aber erst am 9.6. erreichte. In Österreich war es an allen Tagen fast wolkenlos, es wehte überwiegend schwacher Südostwind. Die Tageshöchsttemperatur stieg im Alpenvorland von 29°C am 6.6. auf 32°C am 7. und 8.6.

Im Raum Wien und im Wienerwald wehte von 6. bis 9.6. Südostwind⁷ (siehe Abbildung 5 und Abbildung 6 für die Meßstellen Forsthof, Klosterneuburg, Exelberg, Streithofen und St. Pölten), im Alpenvorland Ostwind. Während die Windrichtung im Wienerwald sehr beständig war, war im Tullnerfeld (Streithofen) sowie in Klosterneuburg ein tagesperiodischer Wechsel der Windrichtung mit Südostwind tagsüber und Südwestwind nachts zu beobachten. Tagsüber griff hier innerhalb der bis ca. 2000 m hohen Mischungsschicht der großräumig wehende Südostwind bis zum Boden durch, nachts wurde die Windrichtung am Boden infolge des verminderten vertikalen Austauschs, der auch den Impuls des Windes betrifft, und der Bodenreibung durch den Nordwestrand des Wienerwaldes abgelenkt.

Die Windgeschwindigkeit war am Exelberg und in Forsthof mit bis zu 7 m/s relativ hoch. In der ersten Tageshälfte des 7.6. sank sie an beiden Stationen auf unter 2 m/s, in Forsthof auch am 8.6., als sie am Exelberg bei 7 m/s lag.

Die Meßstellen in der Ebene registrierten tagsüber Geschwindigkeiten um 3 m/s, nachts um 1 m/s. Der Tagesgang ist durch das Durchgreifen des starken Windes in der Höhe tagsüber bestimmt, wohingegen nachts mit der dynamischen Abkoppelung der Bodenschicht von der freien Troposphäre auch der Wind einschloß.

Immissionssituation

Die Analyse der Ozonkonzentrationsverläufe (Abbildung 7 stellt die Ozonkonzentration an den Meßstellen Dürnrohr, Forsthof, Hermannskogel, Streithofen und Tullndar) zeigt folgende Charakteristika:

⁷ Windrichtung: Ost = 90°, Süd = 180°, West = 270°, Nord = 360°

Nachts ist die Ozonkonzentration an der exponiert gelegenen Station Hermannskogel deutlich höher als an den in der Ebene situierten Meßstellen Klosterneuburg, Streithofen, Tulln, Stockerau und St. Pölten; in der Nacht vom 5. auf den 6.6. zudem auch in Dürnrohr und zeitweise in Forsthof, in der Nacht vom 6. auf den 7.6. zeitweise in Forsthof.

Am 6. und am 8.6. wurden an allen betrachteten Meßstellen tagsüber relativ einheitliche Ozonkonzentrationen gemessen. Am 6.6. lagen die Maximalwerte - bei einem gleichmäßigen, temperaturparallelen Verlauf - zwischen 60 ppb (Forsthof) und 73 ppb (Hermannskogel), am 8.6. zwischen 61 ppb (Forsthof) und 70 ppb (St. Pölten). Dieser Zeitverlauf wird durch das Zusammenspiel von vertikalem Luftmassenaustausch - der morgens einen steilen Konzentrationsanstieg bewirkt, sobald höher belastete Luft der Reservoirschicht in Bodennähe kommt, wo nachts Ozonabbau stattfindet - und photochemischer Ozonbildung. Letztere erfolgte räumlich wie zeitlich relativ gleichmäßig.

Am 7.6. stieg die Ozonkonzentration zunächst an den Meßstellen Hermannskogel und Klosterneuburg, später in Dürnrohr, Streithofen, Stockerau und Tulln, zuletzt in St. Pölten deutlich über das großflächig vorherrschende Niveau von ca. 70 ppb hinaus. Maximal wurden in Dürnrohr 98 ppb, in St. Pölten 88 ppb erreicht. Dies kann auf verstärkte Ozonbildung in der Abgasfahne von Wien zurückgeführt werden, welche infolge der vergleichsweise niedrigeren Windgeschwindigkeit im Nahbereich von Wien möglich war - anders als am 6. und 8.6., an welchen starker Wind von ca. 7 m/s am Exelberg eine zu rasche Verdünnung der Abgase von Wien zur Folge hatte. Der Konzentrationsverlauf zeigt, daß eine besonders ozonreiche Luftmasse sich vom Hermannskogel (9 Uhr) nach St. Pölten (14.30 Uhr) westwärts bewegte. Geht man davon aus, daß diese „Ozonwolke“ mit der am Exelberg beobachteten Geschwindigkeit von ca. 4 m/s verfrachtet wurde, läßt sich aus dem Zeitverlauf der Konzentration in Dürnrohr deren Größe auf ca. 20 km abschätzen.

Der vertikale Konzentrationsgradient zwischen Dürnrohr und Streithofen lag während des Auftretens der maximalen Konzentrationen (über 90 ppb in Dürnrohr) bei 12 bis 18 ppb.

3.2 Episode 20. bis 26. August 1996

Wetterlage

Ein hochreichendes Hochdruckgebiet über dem östlichen Mittel- und über Osteuropa mit Kern über dem Baltikum bestimmte am 20.8. das Wettergeschehen in Österreich. Abgesehen von hochreichender konvektiver Bewölkung über den Alpen war es in Österreich - und ganz Mitteleuropa - wolkenlos. In Niederösterreich wehte relativ unbeständiger Wind aus Nordost bis Südost, dessen Geschwindigkeit - gemessen am Exelberg - im Tagesverlauf von ca. 3 auf 7 m/s zunahm. Die Tageshöchsttemperatur lag hier bei 29°C; in Norddeutschland traten bei warmem Südwestwind Temperaturen bis 31°C auf.

Am 21.8. verlagerte sich das Zentrum des Hochdruckgebietes ostwärts. Ausgehend von einem Tief über den Britischen Inseln erreichte eine Kaltfront Nordwestdeutschland. Vor dieser drang feuchte Luft - verbunden mit einer Konvergenzzone - nach Mitteleuropa vor, die ca. bis St. Pölten gelangte und mit intensiver Quellbewölkung und teilweise ergiebigen, schauerartigen Niederschlägen verbunden war. Die Ge-

schwindigkeit des nach wie vor relativ unbeständigen südöstlichen Windes nahm wieder auf ca. 3 m/s ab; die Temperatur erreichte maximal 26°C.

Am 22.8. drang die genannte Kaltfront bis Mitteleuropa vor, wohingegen sich die ihr vorgelagerte Bewölkung teilweise auflöste. Der nach wie vor schwache Wind drehte in Niederösterreich auf Nordost. Die Tageshöchsttemperatur lag bei 28°C.

Die genannte Kaltfront schwächte sich am 23.8., nachdem sie Österreich bereits ohne größere Niederschläge überquert hatte, ab. Es kühlte jedoch kaum ab, im Alpenvorland wurden 28°C erreicht. Der Wind drehte in Niederösterreich aber bereits am Abend des 22.8. auf West bis Nordwest und frischte auf über 8 m/s auf.

Am 24.8. erreichte eine neue, sehr wetterwirksame Kaltfront, die von dem oben genannten sehr stationären Tief über den Britischen Inseln ausging, Mitteleuropa; sie lag mittags westlich von Salzburg und brachte mit starker konvektiver Bewölkung intensive Niederschläge. Die Tageshöchsttemperatur betrug vor der Front 29°C, hinter ihr in Bayern nur mehr 21°C. In Niederösterreich wehte am 24.8. zunächst Wind aus Südwest bis Nordwest, dessen Geschwindigkeit bis nachmittags auf um 2 m/s sank. Die Front erreichte Wien ca. um 0 Uhr. Vor der Front drehte der Wind ab 15 Uhr für einige Stunden über Ost auf Süd. Der Frontdurchgang war mit der raschen Zunahme der Windgeschwindigkeit zwischen 23 Uhr und 2 Uhr von 5 auf 15 m/s verbunden, der Wind drehte auf West. Im Alpenvorland fielen ergiebige Niederschläge (maximal 50 mm in Gmunden). Die Temperatur erreichte maximal 23°C. Der Wind flaute bis 26.8. 9 Uhr auf 2 m/s ab und drehte dann auf Ost bis Südost.

Die Front lag am 26.8. über Polen und Ungarn; an ihrer Rückseite stieg der Luftdruck, die Quellbewölkung lockerte auf; in Nordostösterreich war es fast wolkenlos. Hier wurden bis zu 25°C gemessen. Der Wind drehte am Vormittag von West auf Ost; vormittags nahm die Windgeschwindigkeit auf ca. 1 m/s ab und stieg bis zum Abend wieder auf über 5 m/s.

Abbildung 8 bis 11 zeigen die Windrichtung und -geschwindigkeit in Forstthof, Exelberg, Streithofen und St. Pölten vom 20. bis 26. August 1996.

Immissionssituation

Abbildung 9 und Abbildung 10 zeigen die Ozonkonzentration an den Meßstellen Dürnrohr, Forstthof, Hermannskogel, Stockerau und Streithofen vom 20. bis 26. August 1996. Die Ozonkonzentration zeigte an allen betrachteten Meßstellen vom 20. bis 22.8. einen für hochsommerliche Schönwettertage typischen Verlauf. Die Spitzenwerte lagen großflächig zwischen 75 und 80 ppb, die Belastung war regional ziemlich einheitlich. Verstärkte Ozonbildung in der Abgasfahne Wiens, welche am 20. und 21.8. über das Tullnerfeld transportiert wurde, war am 21.8. nur in Dürnrohr und Stockerau mit einem frühen, über das allgemeine Konzentrationsniveau hinausgehenden Konzentrationsanstieg zu beobachten, war aber wegen der relativ hohen Windgeschwindigkeit insgesamt gering. Während in Forstthof (Hintergrundbelastung) maximal 74 ppb auftraten, lag die Spitzenkonzentration in Stockerau bei 86 ppb.

Am 23.8. lagen das Tullnerfeld und der Wienerwald bei Nordostwind nicht im Lee von Wien; die Ozonbelastung erreichte relativ einheitlich 80 bis 85 ppb.

In der Nacht blieb jeweils in Forstthof und am Hermannskogel die Ozonbelastung hoch - bei kontinuierlichem Ozonabbau von ca. 60 ppb im Nachtverlauf auf 30 bis 40 ppb am Morgen - , verglichen mit einem weitgehenden Ozonabbau bis unter 15 ppb

an den Meßstellen der Ebene. In Dürnrohr lag die nächtliche Konzentration zwischen jener in der Ebene und am Hermannskogel.

Am 23.8. gelangte mit der „ersten“ Kaltfront ozonärmere Luft nach Niederösterreich. Die Konzentration erreichte sehr einheitlich Maximalwerte um 60 ppb. Infolge des relativ starken Windes blieb die Ozonkonzentration in Forsthof und am Hermannskogel auch in der Nacht mit 40 bis 55 ppb vergleichsweise hoch und sank auch in Dürnrohr erst gegen Ende der Nacht unter 40 ppb.

Am folgenden Tag erreichte die Ozonkonzentration - großflächig sehr einheitlich - 60 bis 70 ppb; die mit 1 bis 2 m/s relativ niedrige Windgeschwindigkeit ermöglichte wieder photochemische Ozonbildung. Mit der Winddrehung von Nordwest auf Ost - wobei in der Höhe (Exelberg) die Windgeschwindigkeit auf 5 m/s stieg - nahm die Ozonkonzentration noch nach 18 Uhr in Forsthof (78 ppb um 20 Uhr), Dürnrohr und am Hermannskogel (80 ppb um 23 Uhr) zu, während Bewölkungsaufzug, Temperaturrückgang und einsetzender Regen an allen Meßstellen in der Ebene bereits ab 18 Uhr zu einem dramatischen Einbruch der Ozonkonzentration führte. In Dürnrohr fiel die Konzentration ab 22 Uhr, am Hermannskogel ab 0 Uhr, als die Windgeschwindigkeit rasant auf bis 15 m/s stieg. Ab 0 Uhr pendelte sich die Ozonkonzentration einheitlich bei 35 bis 40 ppb ein.

Dieser Kaltfrontdurchzug war mithin deutlich „ozonwirksamer“ als jener vom 22./23.8. und führte wesentlich geringer belastete Luftmassen von Nordwesten heran. Bemerkenswert am Kaltlufteinbruch war, daß die Ozonkonzentration in der Ebene bereits mit dem Einsetzen von Bewölkung und Niederschlägen ab 18 Uhr einbrach, an den erhöhten Standorten (Forsthof, Hermannskogel, Dürnrohr) jedoch noch anstieg, bis das Einsetzen starken Westwindes um 0 Uhr den tatsächlichen Luftmassenwechsel kennzeichnete.

Die Ozonkonzentration stieg am Nachmittag des 25.8., als sich die Bewölkung langsam auflöste, leicht an auf 40 bis 45 ppb (Maximum 46 ppb in Dürnrohr). Bei nach wie vor starkem Westwind blieb sie in Forsthof und am Hermannskogel in der folgenden Nacht auf diesem Niveau, sank aber sonst überall auf unter 15 ppb ab.

Der 26.8. war relativ sonnig. Zunächst durch vertikalen Austausch, später durch photochemische Ozonbildung stieg die Ozonkonzentration einheitlich an und erreichte mittags ca. 55 ppb. Bei Südostwind kam es zu verstärkter photochemischer Ozonbildung im Lee von Wien, wobei am Exelberg und am Hermannskogel 60 ppb erreicht wurden, in Dürnrohr hingegen 100 ppb, in Streithofen 63 ppb (jeweils 16 Uhr), im Dunkelsteinerwald 61 ppb. Die mithin relativ deutlich ausgeprägte „Ozonfahne“ Wiens erreichte an keiner Meßstelle den Boden, ohne die Messung in Dürnrohr wäre sie der Beobachtung verborgen geblieben. Der Konzentrationsunterschied zwischen Dürnrohr und Streithofen betrug um 16 Uhr 37 ppb. Diese Situation ähnelt einzelnen Episoden, die 1995 im Rahmen der Flugmeßkampagne des Pannonischen Ozon-Projekts⁸ erfaßt wurden, als Konzentrationen um 100 ppb nordwestlich von Exelberg und Hermannskogel, nicht aber an diesen Meßstellen beobachtet wurden. Ob und wo derartige Konzentrationen im nördlichen Wienerwald am Boden auftrafen, läßt sich nicht sagen.

⁸ UBA-96-137 „Pannonisches Ozon-Projekt (POP). Teilprojekt Daten & Experimente“, Dokumentation der im Sommer 1995 durchgeführten Messungen und deren Ergebnisse.

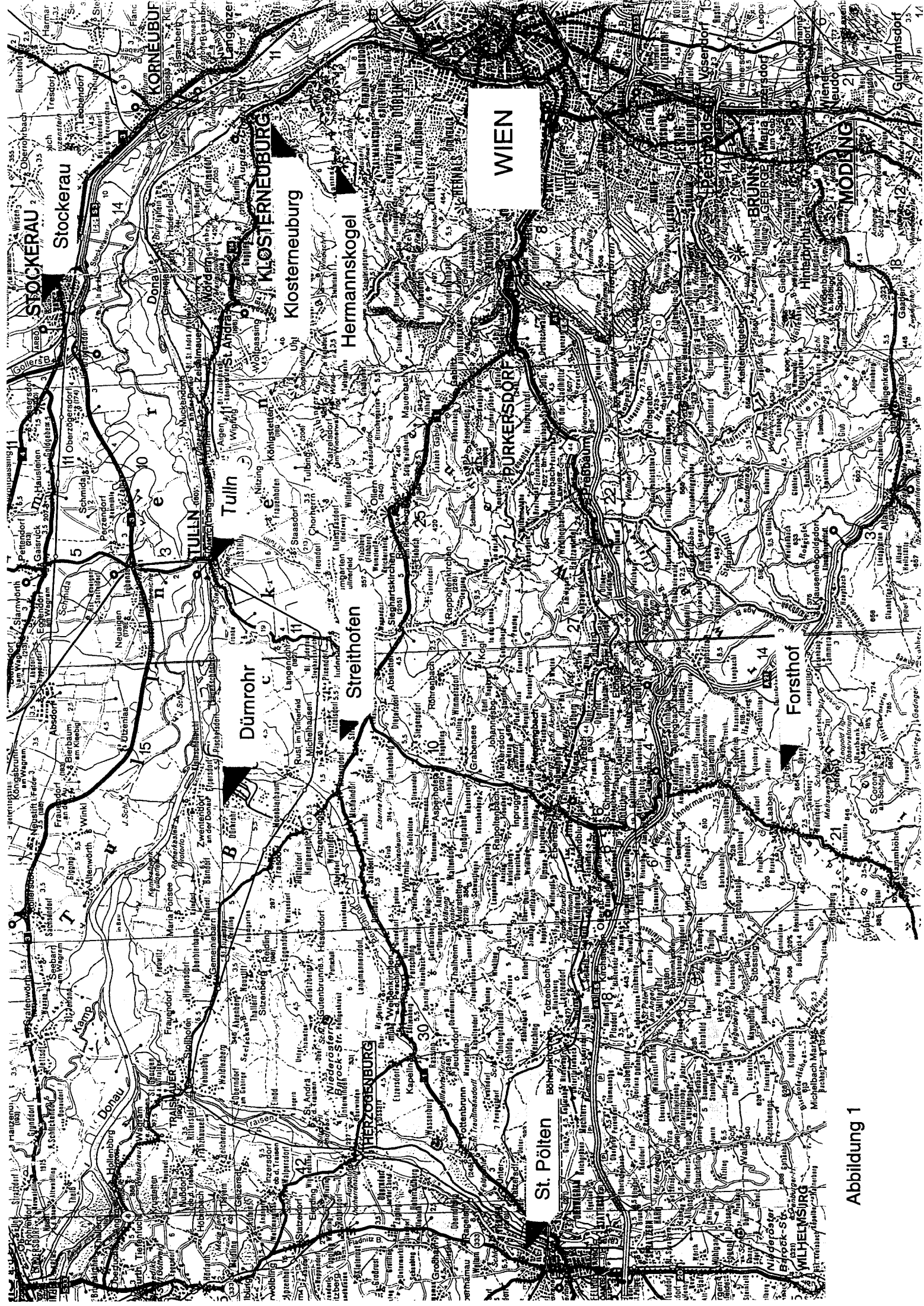


Abbildung 1

Mittlerer Tagesgang der Ozonkonzentration, 10. Mai bis 2. September 1996

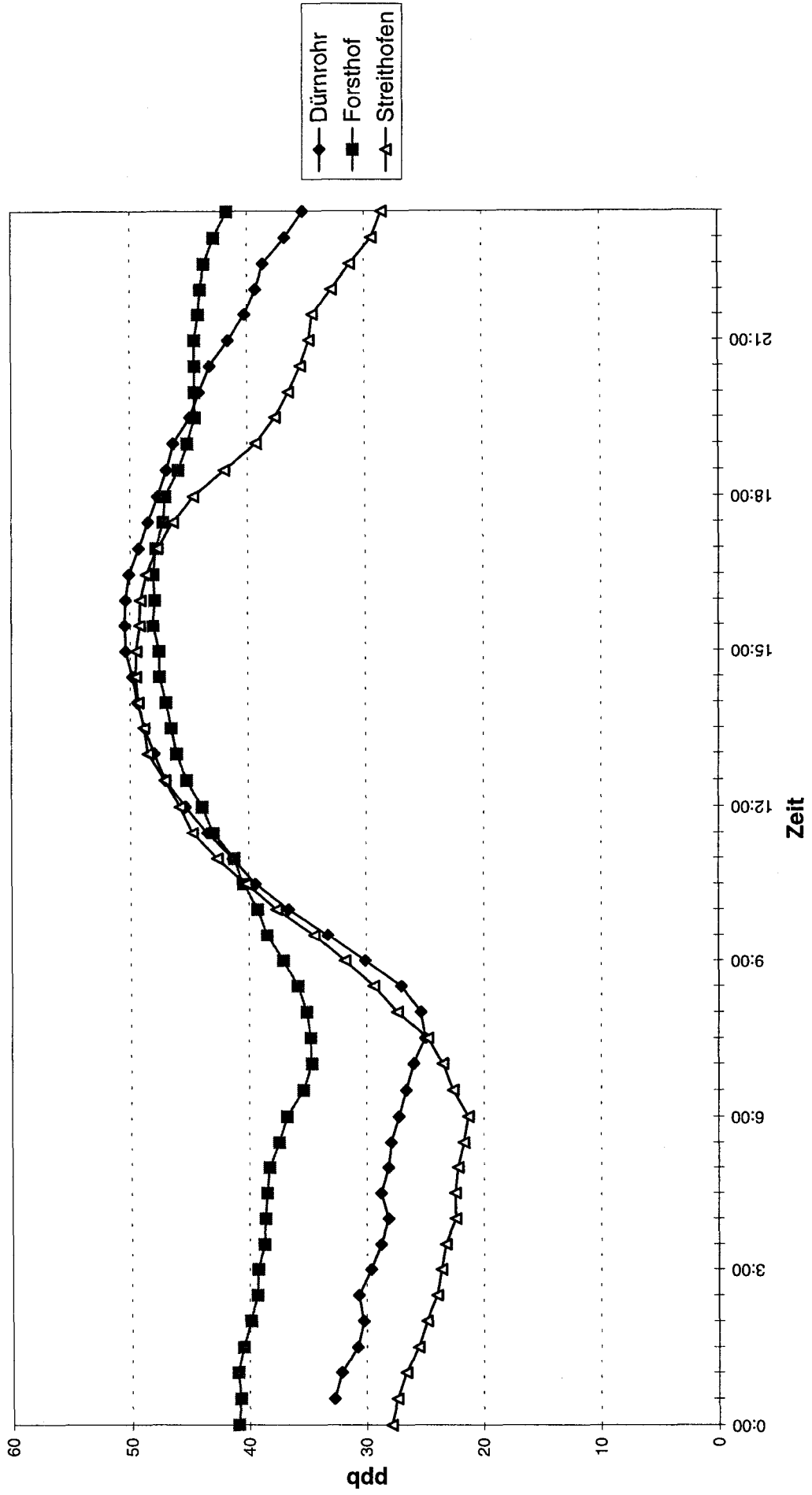


Abbildung 2

Verhältnis der Ozonkonzentration zwischen Dürnrohr (Schlot) und Streithofen in Abhängigkeit von der Tageszeit

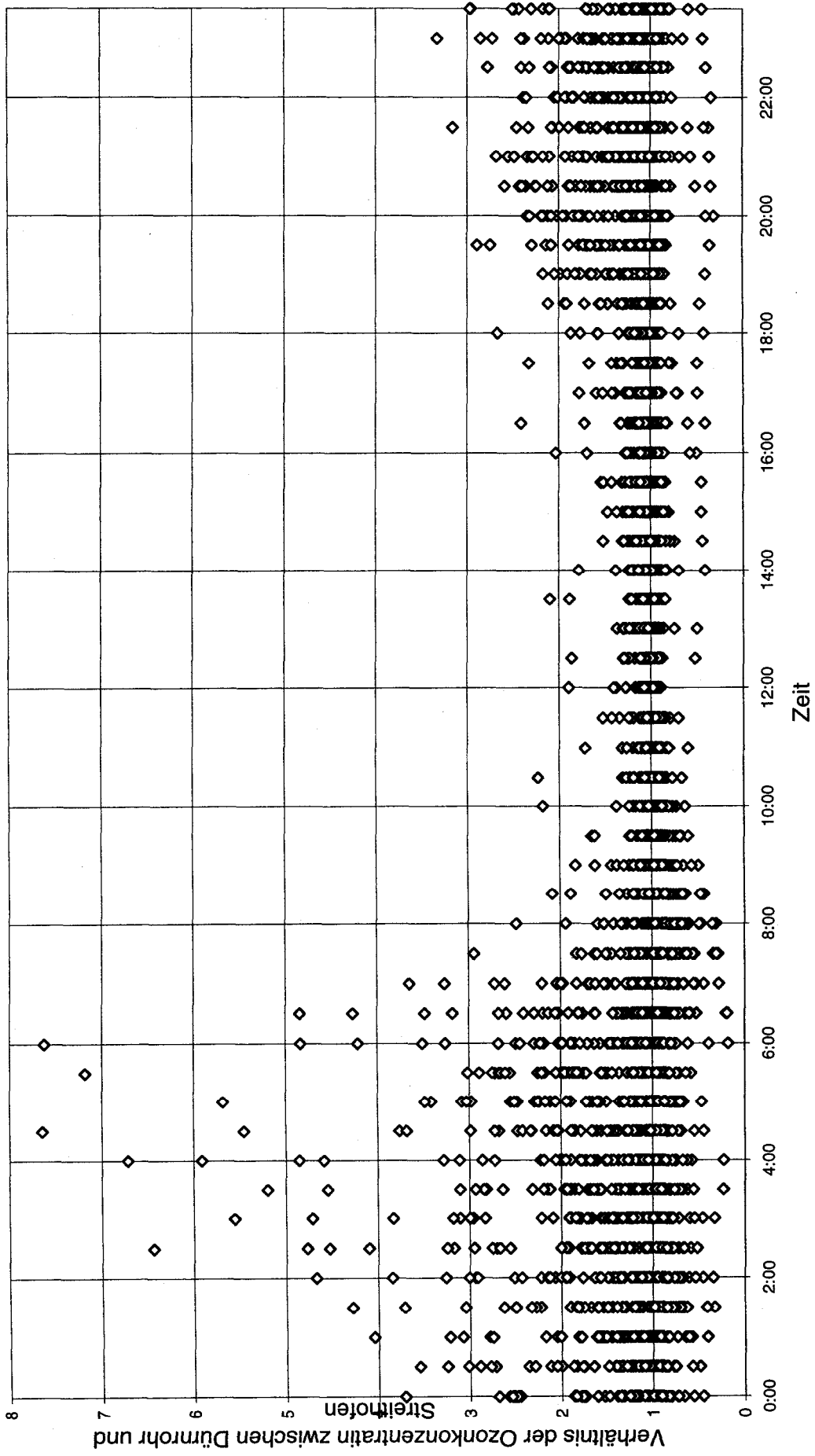


Abbildung 3

Verhältnis der Ozonkonzentration zwischen Dürrrohr (Schlot) und Streithofen in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit

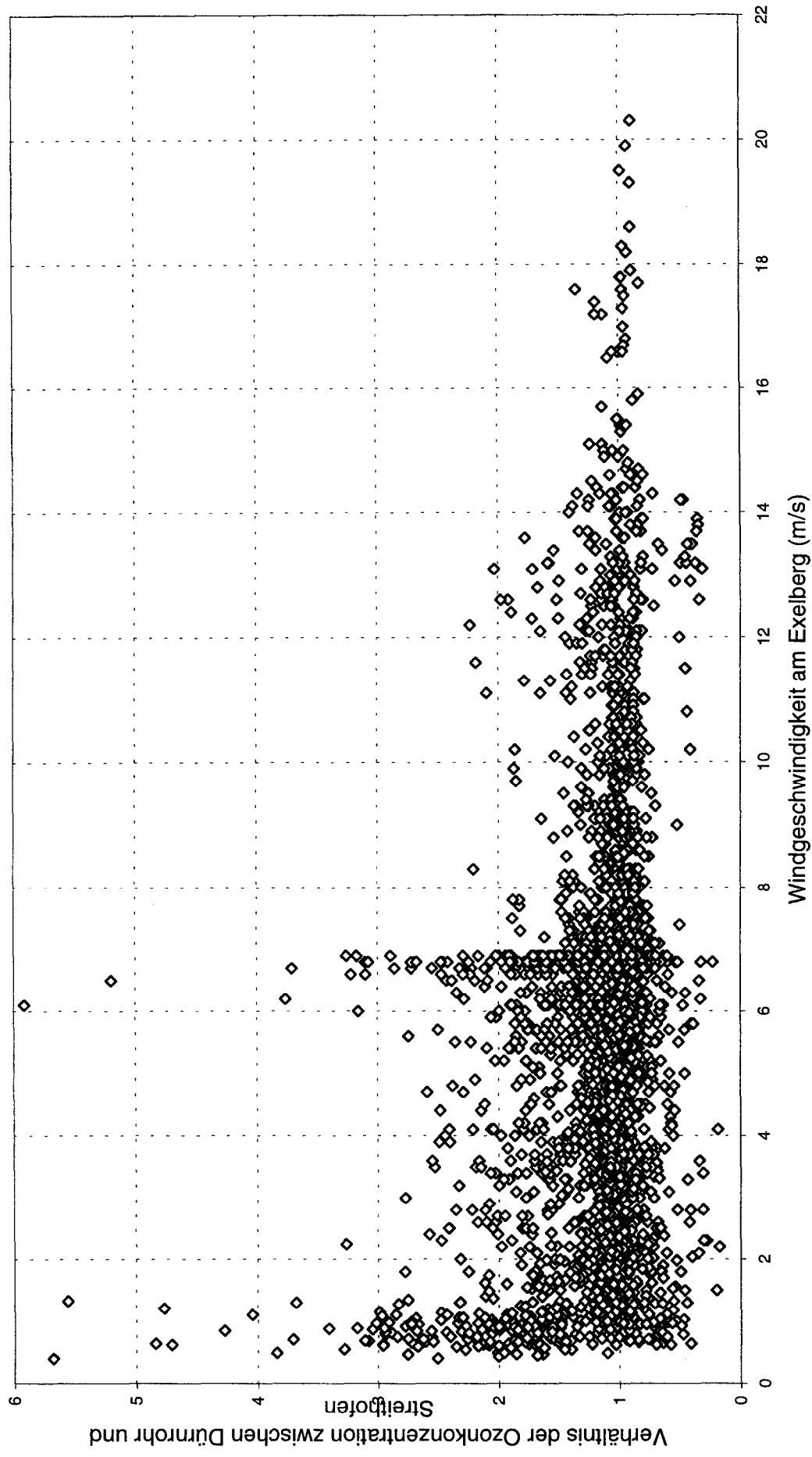


Abbildung 4

Windrichtung

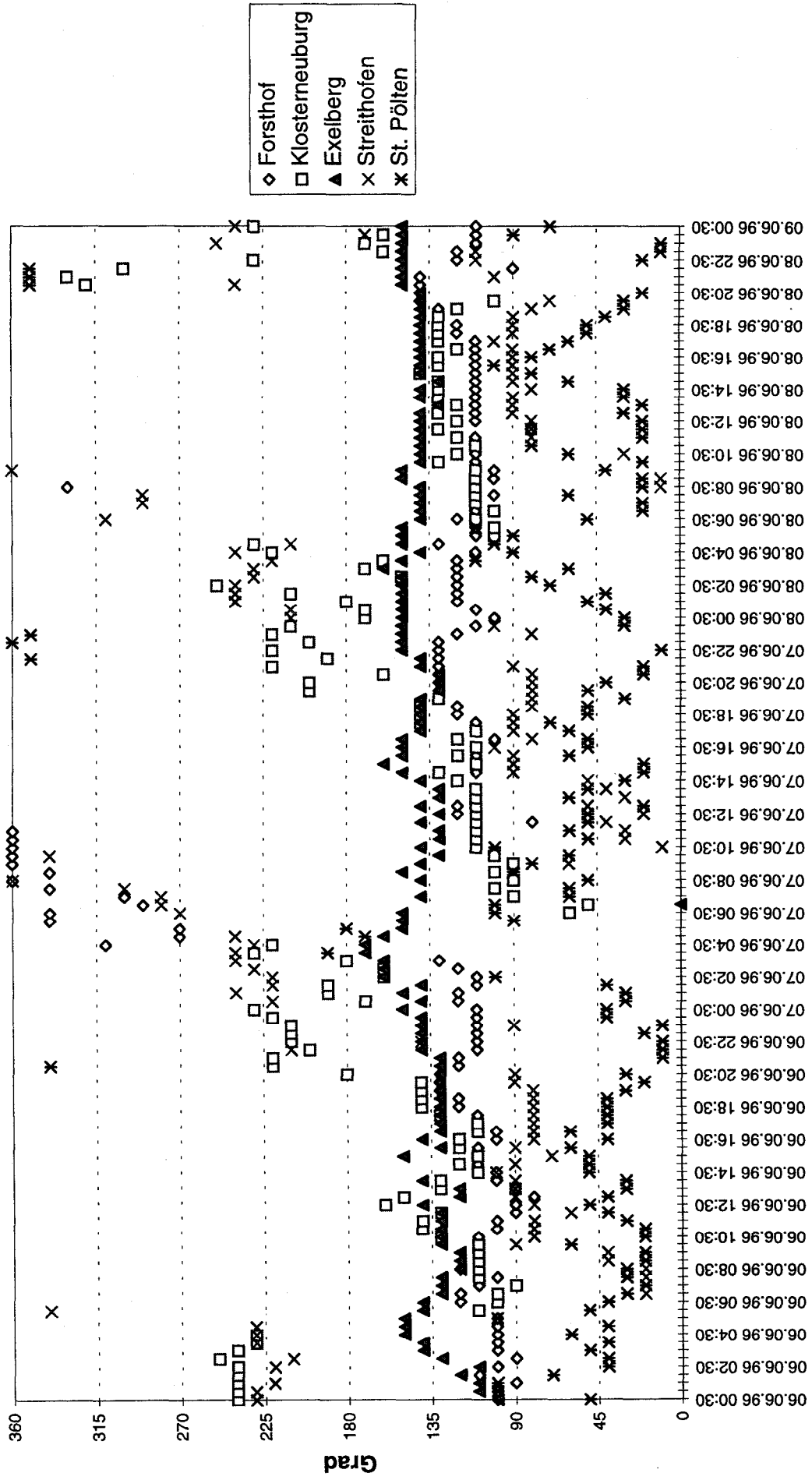


Abbildung 5

Windgeschwindigkeit

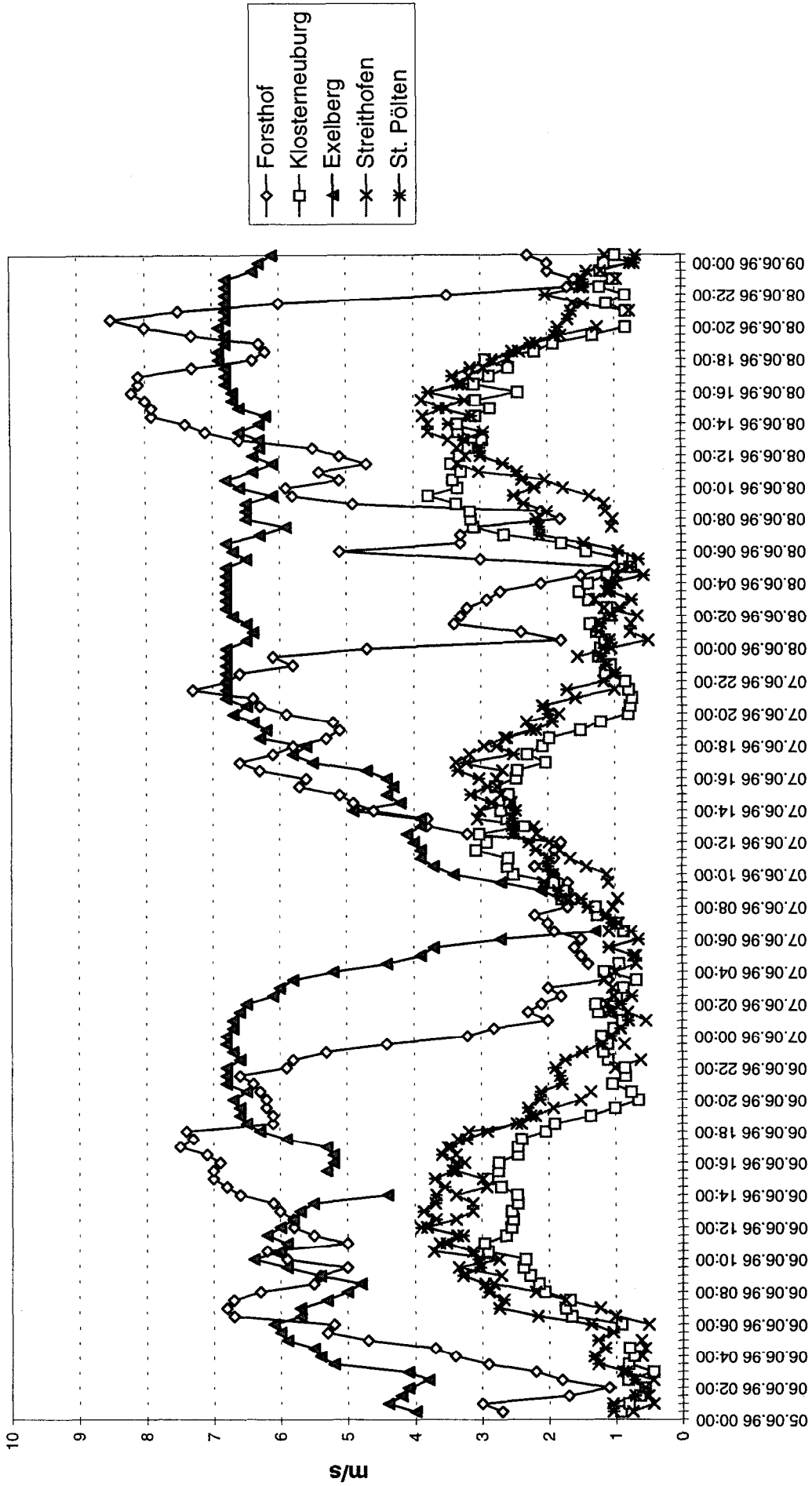


Abbildung 6

Ozonkonzentration, 6. bis 8. Juni 1996

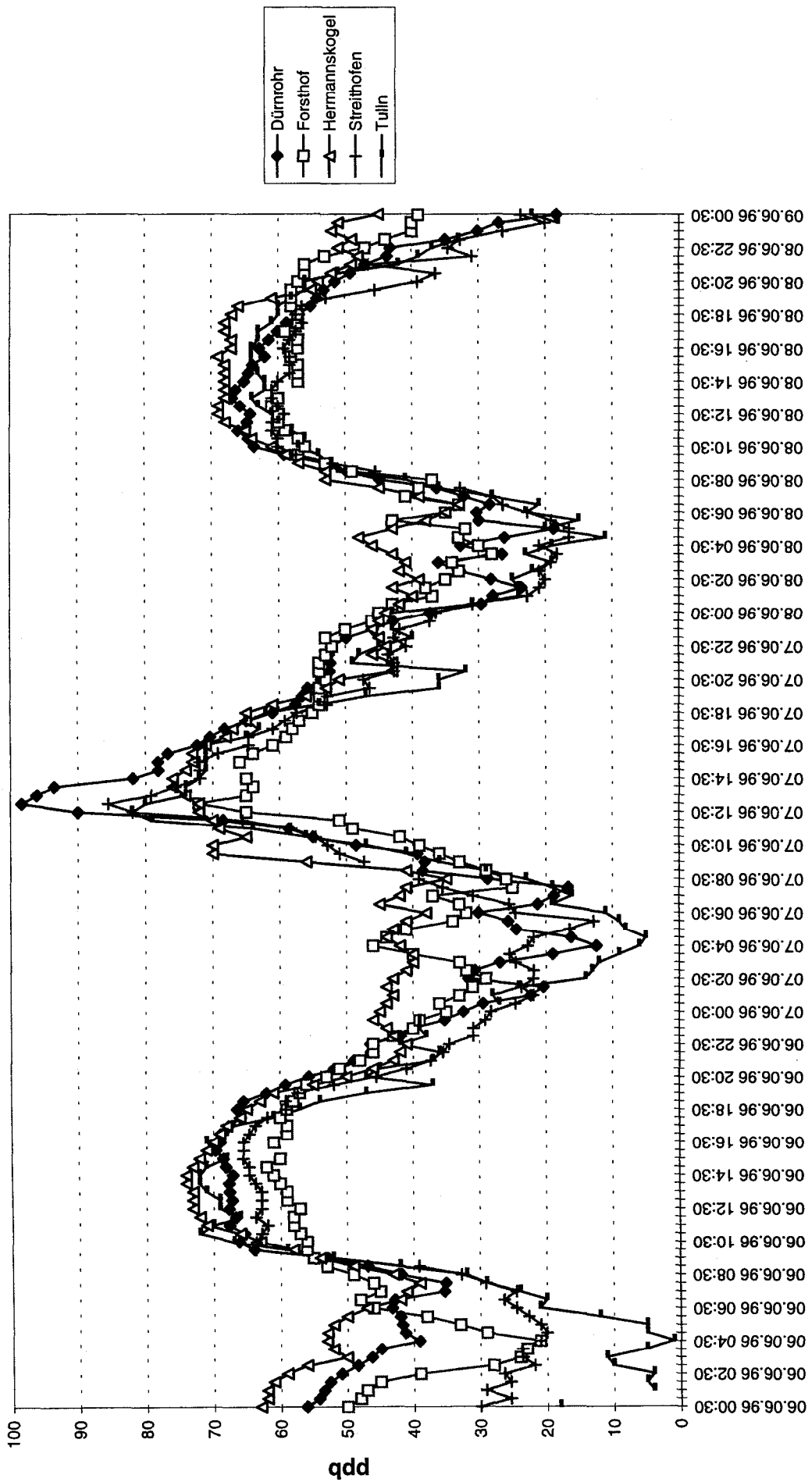


Abbildung 7

Windrichtung, 20. bis 23. August 1996

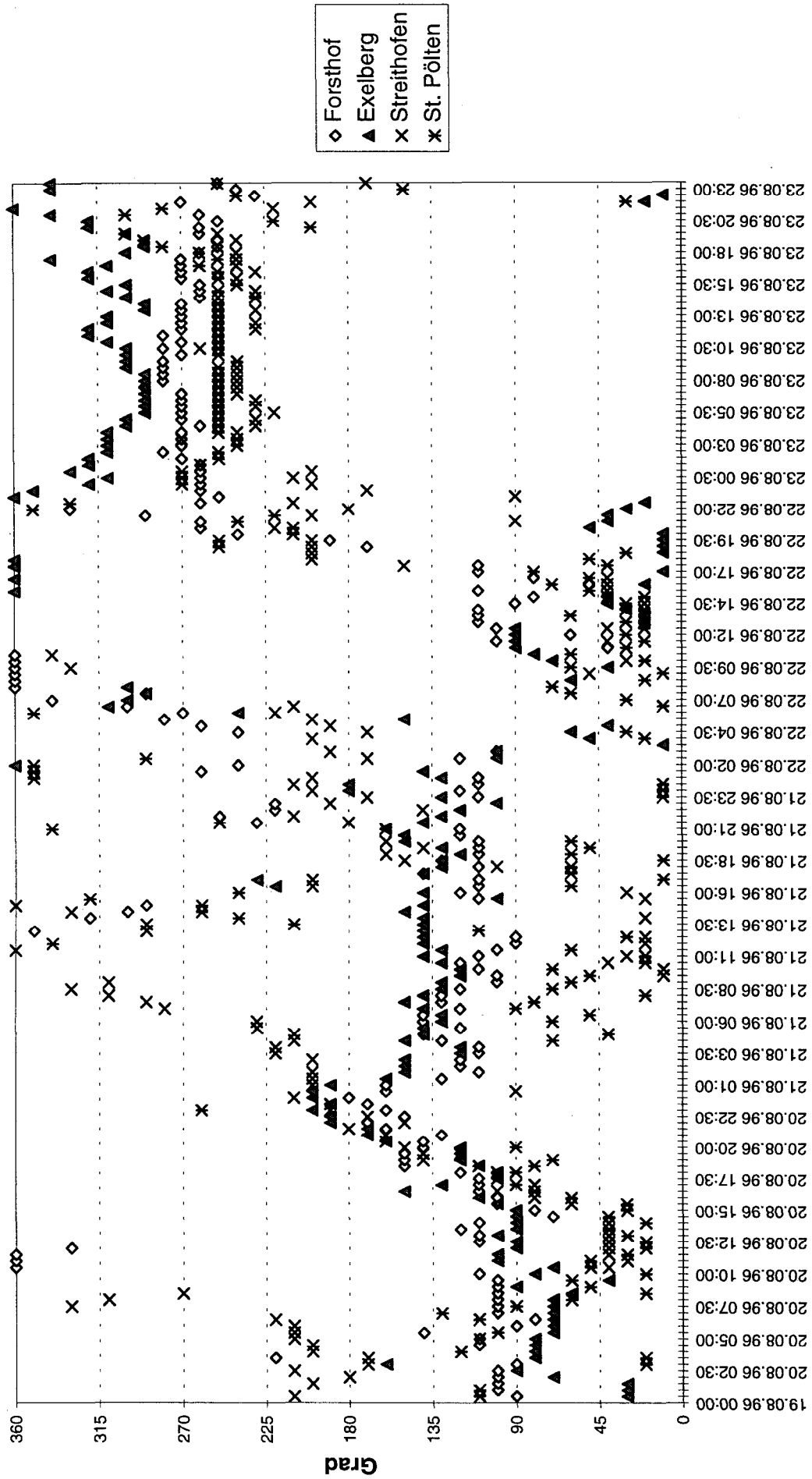


Abbildung 8

Windgeschwindigkeit, 20. bis 23. August 1996

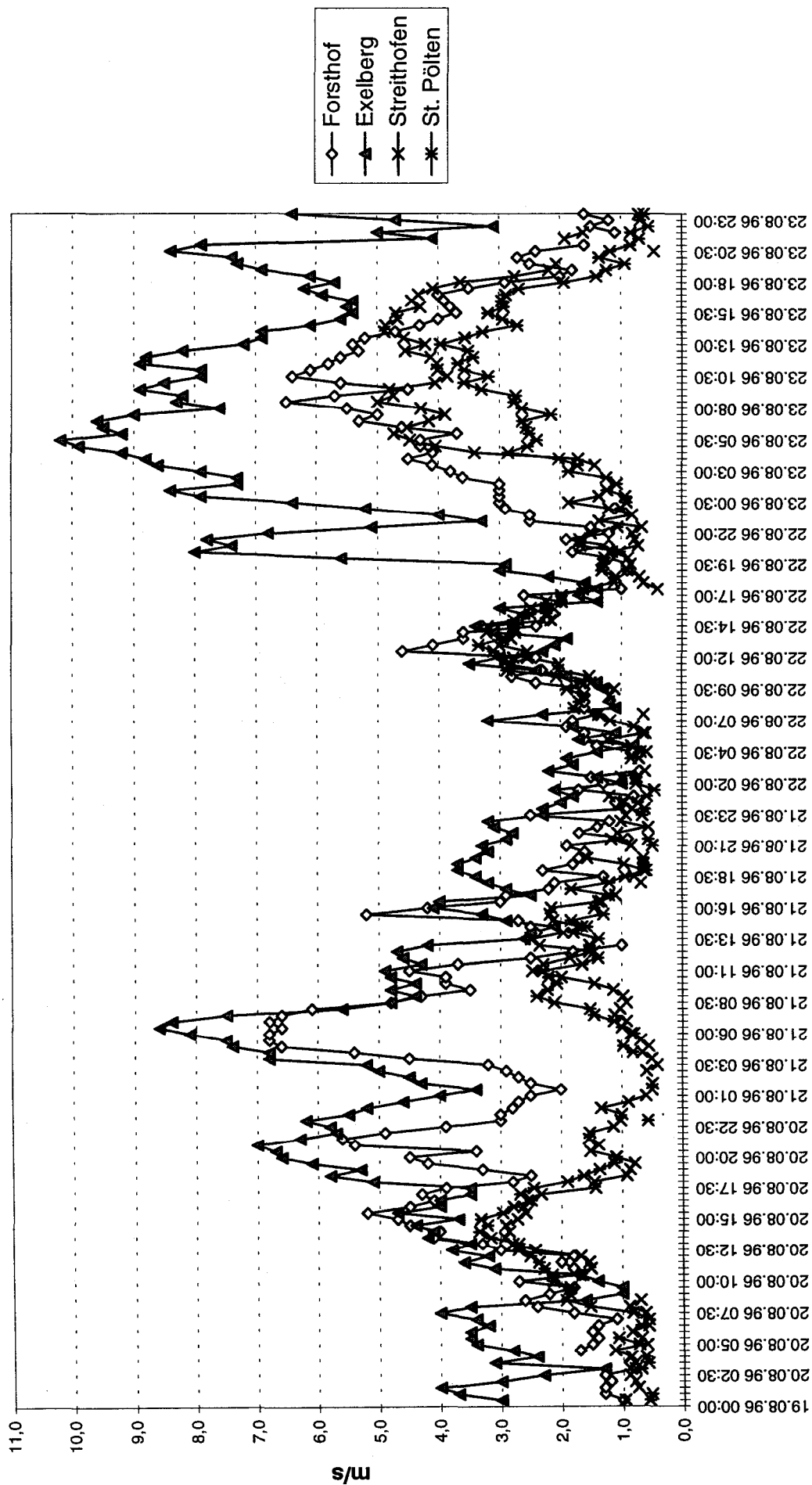


Abbildung 9

Windrichtung, 24. bis 26. August 1996

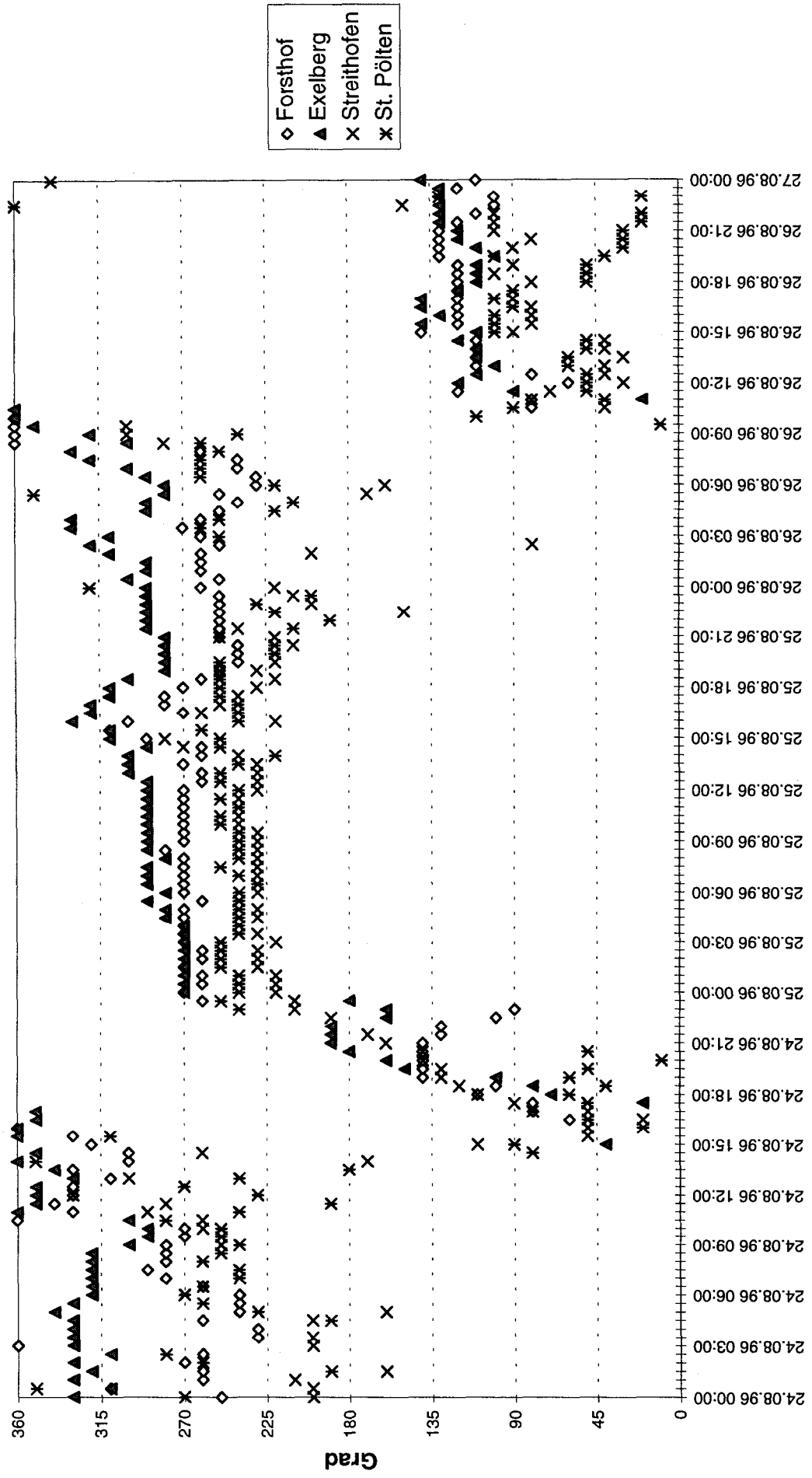


Abbildung 10

Windgeschwindigkeit, 24. bis 26. August 1996

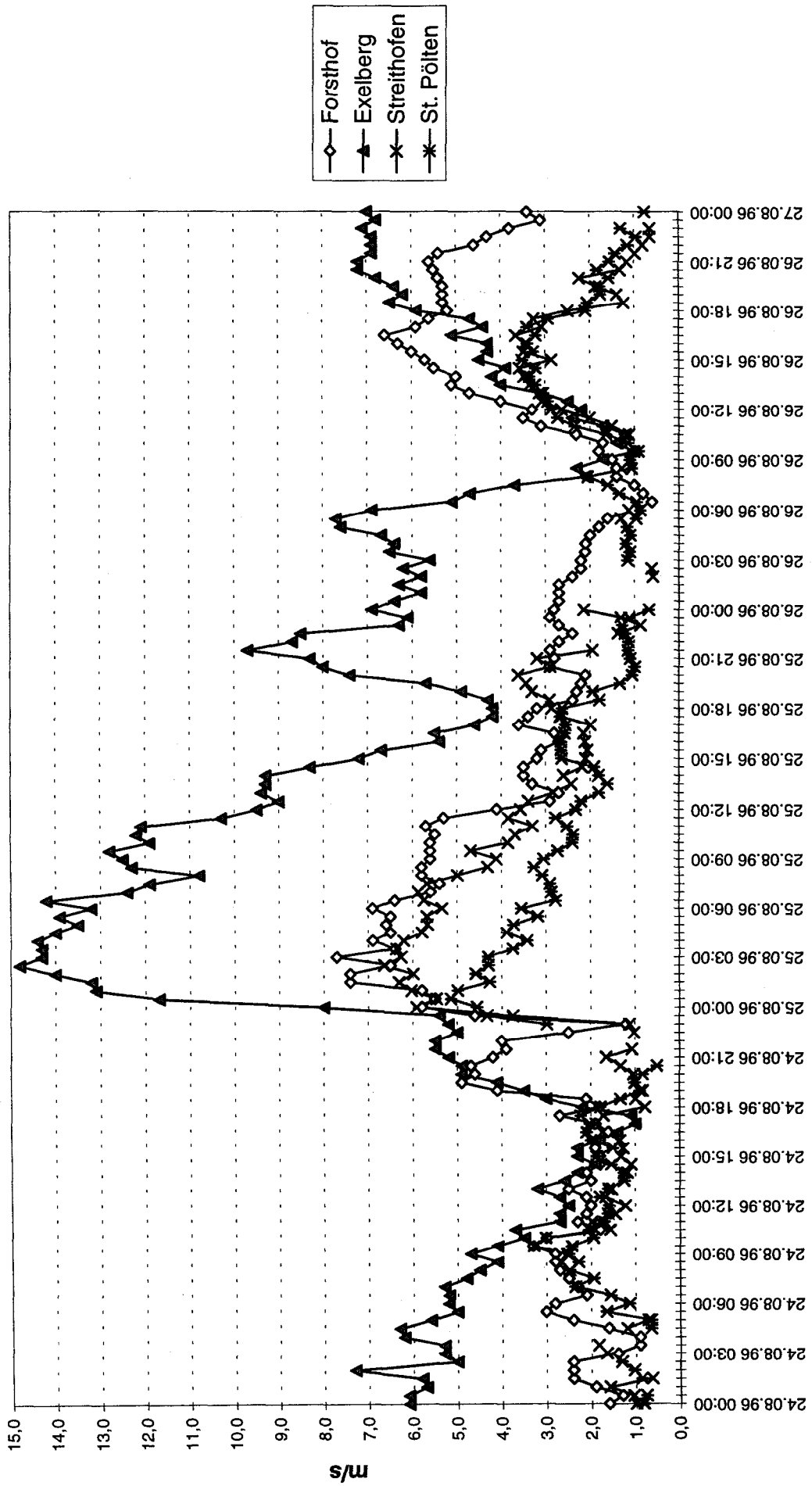


Abbildung 11

Ozonkonzentration, 20. bis 23. August 1996

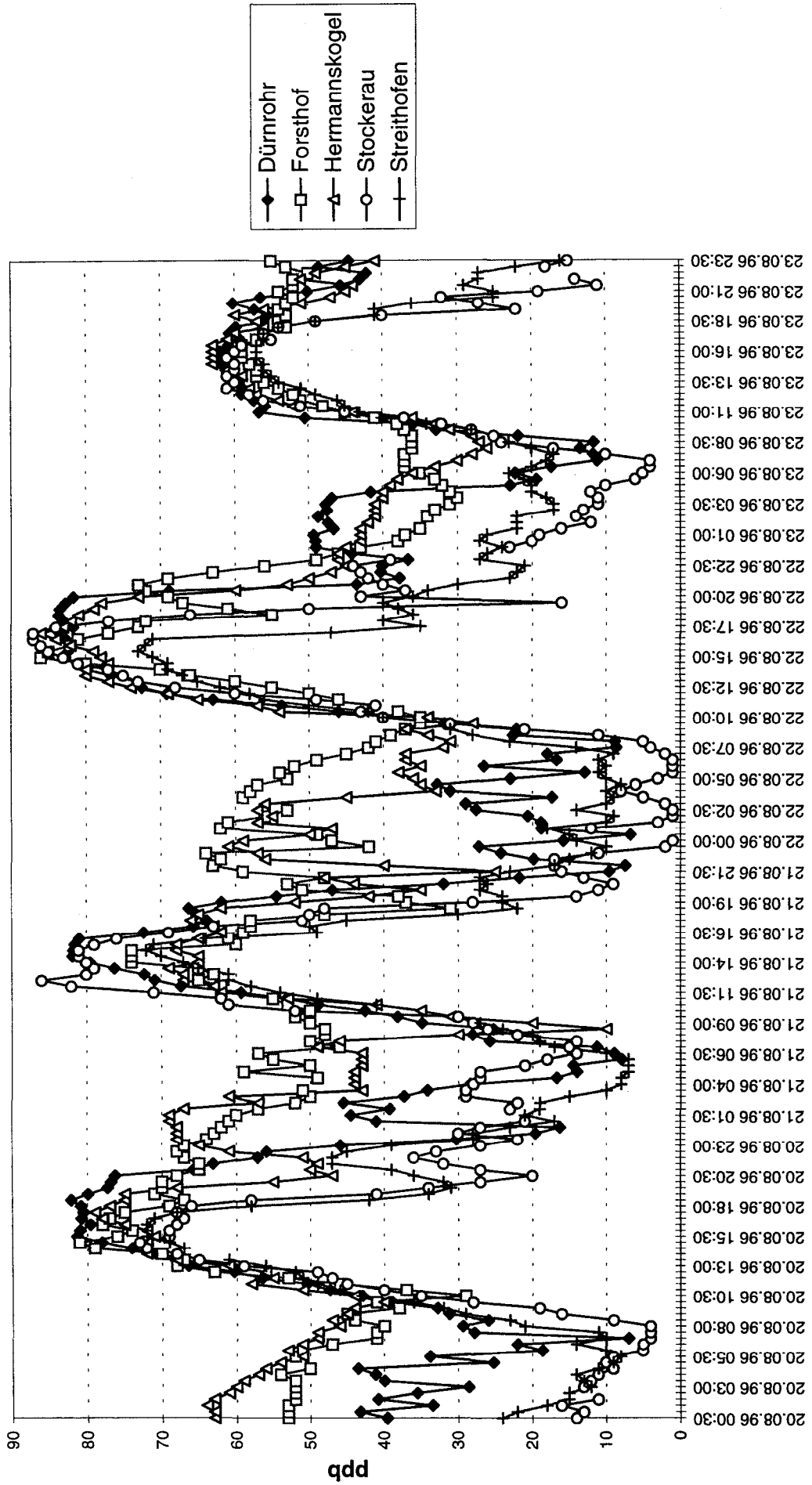


Abbildung 12

Ozonkonzentration, 24. bis 26. August 1996

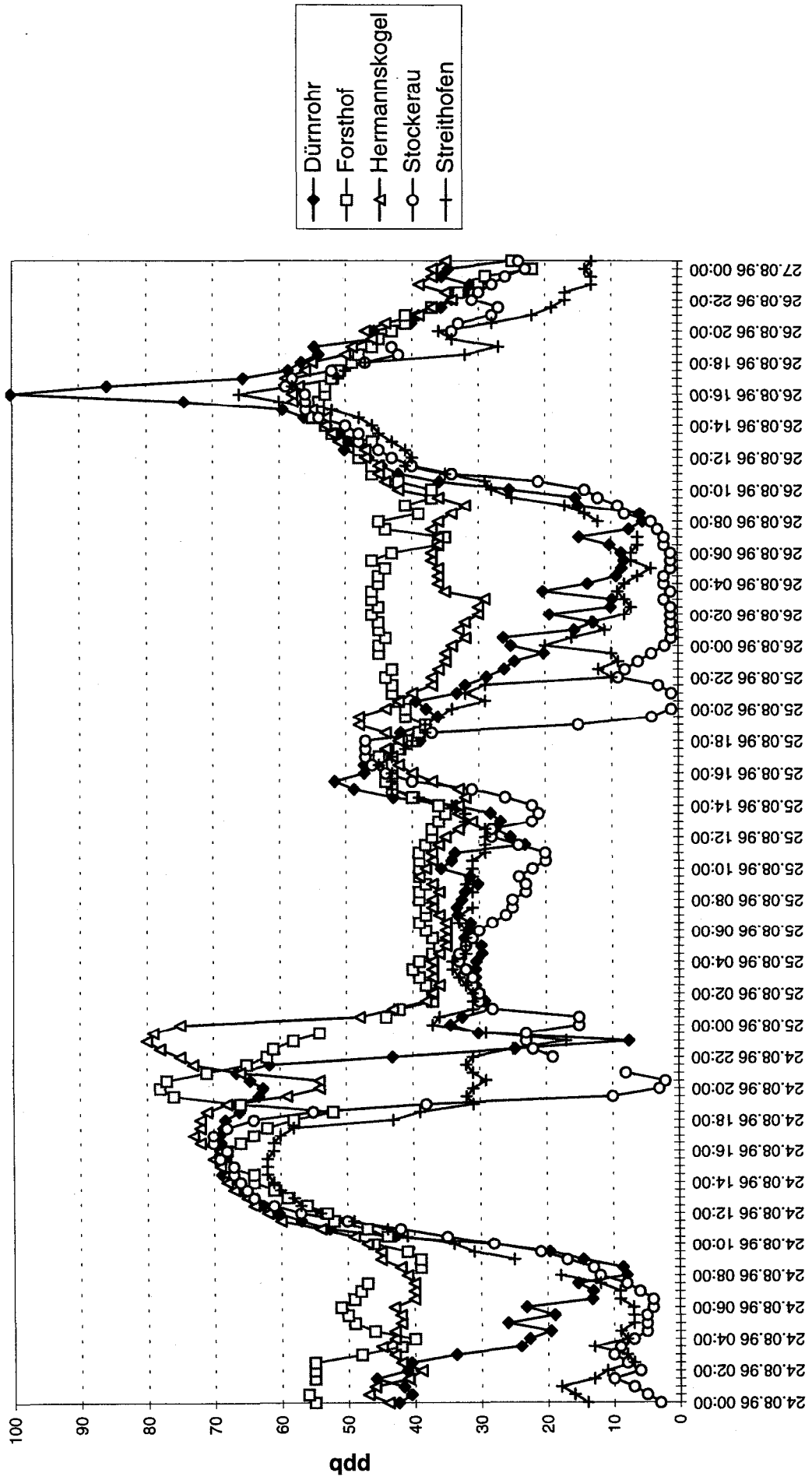


Abbildung 13