

**OZONVERTEILUNG UND
WINDVERHÄLTNISSE ÜBER DEM
INNTAL IM RAUM INNSBRUCK**

OZONVERTEILUNG UND WINDVERHÄLTNISSE ÜBER DEM INNTAL IM RAUM INNSBRUCK

Wolfgang SPANGL

UBA-BE-053

Wien, Jänner 1996

Bundesministerium für Umwelt



Autor:

DI. Wolfgang Spangl

Impressum:

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

© Umweltbundesamt, Wien, Jänner 1996

**Alle Rechte vorbehalten
ISBN 3-85457-290-5**

Ozonverteilung und Windverhältnisse über dem Inntal im Raum Innsbruck

1. Einleitung

Das Tiroler Inntal weist aufgrund hoher Bevölkerungs- und Verkehrsdichte eine hohe Umweltbelastung durch Luftschadstoffe auf.

Aufgrund der spezifischen Wind- und Temperaturverhältnisse im Inntal wirken hier charakteristische Ausbreitungs- und Transportvorgänge auf die primär emittierten und sekundär gebildeten Luftschadstoffe; Tal- und Hangwindssystem, beschränkter horizontaler Luftmassentransport, eingeschränkter vertikaler Luftmassenwechsel bei Inversionslagen und großräumiger Transport bei Föhnlagen gehören zu den Eigentümlichkeiten dieses Raumes.

Aus diesen Gründen kommt der Untersuchung der meteorologischen Verhältnisse, der Schadstoffausbreitung und der Bildung von Photooxidantien im Inntal große Bedeutung zu. Die Wind- und Temperaturverhältnisse im Inntal wurden bislang durch Messungen an Berghängen sowie Fesselballonaufstiege untersucht; der Einsatz des SODAR (Akustikradar) des Umweltbundesamtes bot erstmalig die Möglichkeit, Wind und atmosphärische Stabilität über dem Inntal mit einem kontinuierlich registrierenden Gerät vollautomatisch zu erfassen. Die am Hang der Nordkette für 8 Monate vom Umweltbundesamt betriebene Ozon-Meßstelle Enzianhütte lieferte zusammen mit den vom Amt der Tiroler Landesregierung betriebenen Meßstellen Nordkette (Seegrube) und Innsbruck-Reichenau (Andechsstraße) Meßreihen der Ozonkonzentration, die eine eingehende Analyse der Ozonverteilung und der Ozontransportprozesse über dem Inntal erlaubten. Aufbauend auf früheren, an der Universität Innsbruck durchgeführten Ozonmessungen konnten neue Erkenntnisse über Ozontransport und -bildung bei verschiedensten Wetterlagen gewonnen werden.

Die vorliegende Studie bietet

- statistische Auswertungen der an den Meßstellen Innsbruck-Nordkette (Seegrube), Enzianhütte und Innsbruck-Reichenau (Andechsstraße) gemessenen Ozon- und Stickoxidkonzentrationen
- Untersuchungen des Zusammenhanges zwischen Ozon- und Stickoxidkonzentrationsverteilung mit den meteorologischen Verhältnissen
- statistische Analysen des Windfeldes über dem Inntal sowie am Hang der Nordkette
- Untersuchungen einzelner Episoden hoher Ozonbelastung

Es werden folgende Abkürzungen verwendet

Gemessene Größen		Einheit
O ₃	Ozon	mg/m ³
NO	Stickstoffmonoxid	mg/m ³
NO ₂	Stickstoffdioxid	mg/m ³
T	Temperatur	°C
WR	Windrichtung	Grad
WG	Windgeschwindigkeit	m/s

Mittelwerte

HMW	Halbstundenmittelwert
MW1	gleitender Einstundenmittelwert
MW3	gleitender Dreistundenmittelwert
MW8	gleitender Achtstundenmittelwert
TMW	Tagesmittelwert
MMW	Monatsmittelwert
VMW7	Mittelwert der Siebenstundenmittelwerte 9-16 Uhr MEZ während der Vegetationsperiode
JMW	Jahresmittelwert

Gleitende Mittelwerte werden in einer Schrittfolge von einer halben Stunde berechnet.

WIK Wirkungsbezogene Immissionsgrenzkonzentration

Einheiten

ppb	Parts per billion
mg/m ³	Milligramm pro Kubikmeter

Alle Zeitangaben erfolgen in Mitteleuropäischer Zeit (MEZ). Meßwerte sind, sofern nichts anderes angegeben wird, Halbstundenmittelwerte (HMW).

2. Durchführung der Messungen

Zwischen Juli 1990 und März 1991 führte das Umweltbundesamt in Zusammenarbeit mit dem Amt der Tiroler Landesregierung Messungen der Ozonkonzentration bei der Enzianhütte am Hang der Nordkette über Innsbruck durch. Das Umweltbundesamt erfaßte bei der Enzianhütte (1040 m Seehöhe) Ozonkonzentration, Windrichtung und -geschwindigkeit.

Das Amt der Tiroler Landesregierung / Landesforstdirektion betreibt Ozonmeßstellen in Innsbruck-Reichenau an der Andechsstraße (570 m) und auf der Seegrube auf der Nordkette (1960 m); an beiden Stationen werden auch Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂) erfaßt. Diese Daten wurden dem Umweltbundesamt freundlicherweise von der Landesforstdirektion zur Verfügung gestellt.

Zur Untersuchung der Windverteilung sowie der Stabilität der Atmosphäre wurde im gleichen Zeitraum zwischen Innsbruck und Hall i.T. das Akustikradar (SODAR) des Umweltbundesamtes eingesetzt, das in Höhen bis ca. 400 m über Boden horizontale Windrichtung und -geschwindigkeit, vertikale Windgeschwindigkeit, die Streuung dieser Größen sowie Information über die Stabilität der atmosphärischen Schichtung erfaßt und damit Aufschluß über die Zirkulationsverhältnisse über dem Inntal liefert.

In die Auswertung wurden zudem Messungen von Windgeschwindigkeit und -richtung sowie Temperatur an verschiedenen Meßstellen am Hang der Nordkette einbezogen, die von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik durchgeführt wurden, und zwar von den Stationen Hafelekar, Rastelboden, Hungerburg, Olympisches Dorf und Innsbruck Hauptbahnhof.

Für die Unterstützung bei der Interpretation der Meßergebnisse dankt der Autor O.Univ.Prof. Dr. R. Steinacker (Universität Wien), Doz. Dr. E. Dreiseitl (Universität Innsbruck) und Dr. I. Pack (Amt der Tiroler Landesregierung).

2.1. Beschreibung der Meßstellen

Die Lage der Meßstellen ist in Abb. 1 dargestellt.

Die temporär eingerichtete Meßstelle Enzianhütte (O_3 , Wind) befand sich ca. 100 m östlich der Enzianhütte in ca. 1040 m Seehöhe in einer ca. 30 m breiten, Nord-Süd-gerichteten Waldschneise oberhalb einer Geländekante. Die Windmessung erfolgte auf einem 10 m hohen Mast.

Die Meßstelle Seegrube (O_3 , NO , NO_2) befindet sich in 1960 m Seehöhe am Südhang der Nordkette unweit der Station der Nordkettenbahn.

Die Meßstelle Innsbruck-Reichenau (Andechsstraße) (O_3 , NO , NO_2) liegt in den östlichen Außenbezirken Innsbrucks (Reichenau) an einer stark befahrenen Straße in ca. 570 m Seehöhe. Die Meßstelle weist eine hohe NO -Belastung auf.

Die Meßstelle Hafelekar (Wind, Temperatur) liegt in ca. 2280 m am Grat der Nordkette bei der Bergstation der Nordkettenbahn.

Die Wind- und Temperaturmeßwerte dieser Station werden zur Interpretation der Strömungs- und Stabilitätsverhältnisse am Südhang der Nordkette sowie der Immissionsdaten der Station Seegrube herangezogen; dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß das Hafelekar im Gegensatz zur Seegrube von Norden frei anströmbar ist; an der Seegrube dagegen dominiert (außer bei Schneelage) die Hangwindzirkulation und demzufolge tagsüber der Südwind.

Die Meßstelle Rastelboden (Temperatur) befindet sich in 1220 m am Hang der Nordkette auf einem Steher der Nordkettenbahn.

Die Meßstelle Hungerburg (Temperatur) liegt auf einer Hangterrasse ca. 350 m über dem Talboden in 920 m Seehöhe.

Die Meßstelle Innsbruck Olympisches Dorf (Temperatur) liegt am Ostrand der Stadt Innsbruck auf einem Gebäudedach im Olympischen Dorf; die Stationshöhe beträgt 633 m, sie liegt 73 m über dem Boden.

Die Meßstelle Innsbruck Hauptbahnhof (Wind) befindet sich auf dem Dach des Innsbrucker Hauptbahnhofs in 600 m Seehöhe, sie liegt ca. 25 m über dem Boden.

Bei der Beurteilung der Windverhältnisse am Innsbrucker Bahnhof ist neben eventuellen Einflüssen durch Gebäude der Umgebung ein Einfluß der Talwindzirkulation des südlich gelegenen Wipptales zu berücksichtigen, der bei den SODAR-Messungen zwischen Innsbruck und Hall i.T. nicht auftritt.

2.2 Meßgeräte

Ozonmeßgerät Enzianhütte und Seegrube

Analysator Monitor Labs 8810

Meßprinzip: UV-Absorption

Konzentrationsangabe: ppb

Untere Nachweisgrenze: 2 ppb

Genauigkeit: 2 ppb

Ansprechzeit: 20 s

Kalibrierung: UV-Lampe vom Kalibrator ML 8550

Ozonmeßgerät Innsbruck-Reichenau

Bendix 8002

Meßprinzip: Chemolumineszenz

Konzentrationsangabe: ppb

Untere Nachweisgrenze: 1 ppb

Genauigkeit: 2 ppb

Ansprechzeit: 10 s

Kalibrierung: Gasphasentitration

Stickstoffoxidmeßgerät Innsbruck-Reichenau und Seegrube

Analysator Monitor Labs 8840

Meßprinzip: Chemolumineszenz, 2-Kanal-System mit 2 Photomultipliern

Konzentrationsangabe: ppb

Untere Nachweisgrenze: 1.3 ppb

Genauigkeit: 0.08 ppb

Ansprechzeit: 10 s

Kalibrierung: Verdünnung von NO-Gas mit Kalibrator ML 8550

SODAR

Das Akustikradar oder SODAR (Sound Detecting and Ranging) ist ein Meßgerät, welches durch Aussenden von Schallimpulsen und Erfassen von in der Luft rückgestreuten Echos Information über Windgeschwindigkeit und -richtung sowie Turbulenz erlaubt.

Das Gerät sendet mit drei Antennen - eine ist vertikal ausgerichtet, die anderen beiden sind gegen die Senkrechte um 15°, gegeneinander um 90° versetzt - Schallimpulse von ca. 2000 Hz, welche an Dichteinhomogenitäten der Atmosphäre reflektiert werden; die Laufzeit des Echos ermöglicht die Lokalisierung der reflektierenden Luftpakete. Dichteinhomogenitäten werden durch Temperaturunterschiede oder Unterschiede in der Turbulenzstruktur der Atmosphäre hervorgerufen; hohe Echointensitäten geben daher u.a. Aufschluß über Temperaturgradienten, d.h. in erster Linie das Vorhandensein von Inversionen - welche für die Beurteilung der vertikalen Schadstoffausbreitung von großer Relevanz sind - , wobei eine eindeutige Interpretation allein der Echointensität aber problematisch ist. Andere Parameter wie die Streuung der Vertikalgeschwindigkeit bieten weitere Kriterien zur Identifikation von Inversionen.

Mit Hilfe des Dopplereffekts - Frequenzverschiebung des Schalls bei Reflexion an bewegten Objekten - können die horizontale Windrichtung und -geschwindigkeit sowie die vertikale Geschwindigkeit berechnet werden.

Das SODAR hat bei dem in Hall i.T. angewendeten Betriebsmodus eine maximale vertikale Reichweite von 500 m, wobei aufgrund geringer Echointensität die tatsächliche Reichweite meist darunter lag und nur bis in Höhen von ca. 250 m durchgehend Meßwerte verfügbar sind.

3. Bewertung der Immissionssituation

3.1. Gesetzliche Grenzwerte und Wirkungsbezogene Immissionsgrenzkonzentrationen

3.1.1. Ozon

Ozongesetz (Bundesgesetz über Maßnahmen zur Abwehr der Ozonbelastung und die Information der Bevölkerung über hohe Ozonbelastungen, mit dem das Smogalarmgesetz (BGBl. 38/1989) geändert wird) BGBl. 210/1992

Vorwarnstufe	0.200 mg/m ³	als MW3
Warnstufe I	0.300 mg/m ³	als MW3
Warnstufe II	0.400 mg/m ³	als MW3

Wirkungsbezogene Immissionsgrenzkonzentrationen (WIK) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften

WIK zum Schutz des Menschen:

0.12 mg/m³ als MW1
0.10 mg/m³ als MW8

WIK zum Schutz der Vegetation:

0.20 mg/m³ als HMW
0.15 mg/m³ als MW1
0.06 mg/m³ als MW8
0.06 mg/m³ als VMW7

3.1.2. Stickstoffdioxid

Immissionsschutzvereinbarung (Vereinbarung über die Festlegung von Immissionsgrenzwerten für Luftschadstoffe und über Maßnahmen zur Verringerung der Belastung der Umwelt samt Anlagen) BGBl. 443/1987

0.20 mg/m³ als HMW

Wirkungsbezogene Immissionsgrenzkonzentrationen (WIK) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften

Beurteilt wird die NO_x-Konzentration, angegeben als NO₂.

WIK zum Schutz des Menschen:

0.12 mg/m³ als HMW
0.10 mg/m³ als TMW

WIK zum Schutz der Vegetation:

0.20 mg/m³ als HMW
0.08 mg/m³ als TMW
0.03 mg/m³ als JMW

3.2. Grenzwertüberschreitungen

3.2.1. Ozon

An der Station Seegrube trat im Juli 1990 an zwei Tagen eine Überschreitung des O₃-Grenzwertes von 0.200 mg/m³ als MW3 laut Ozongesetz auf.

An den Stationen Enzianhütte und Innsbruck-Reichenau traten keine Grenzwertüberschreitungen laut Ozongesetz auf.

Tabelle 1 gibt für die WIK für O₃ von 0.12 mg/m³ (MW1) die Überschreitungshäufigkeit in Prozent der gültigen Einstundenmittelwerte (%) sowie die Anzahl der Tage mit Überschreitungen (T) an.

	Reichenau		Enzianhütte		Seegrube	
	%	T	%	T	%	T
Juli 1990	15.6	17	29.3+	11+	49.3	23
August 1990	8.7	16	7.7	15	47.8	25
September 1990	0.0+	0+	0.0+	0+	4.4	7
November 1990	0.0	0	0.0	0	0.0	0
Dezember 1990	0.0	0	0.0	0	0.1	1
Jänner 1991	0.0	0	0.0+	0+	0.0	0
Februar 1991	0.0	0	*	*	1.1	1
März 1991	0.2	1	0.4+	1+	10.0	6

* In Februar 1991 liegen von der Enzianhütte keine Werte vor.
+ Verfügbarkeit unter 80%.

Tabelle 2 gibt für die WIK für O_3 von 0.10 mg/m^3 (MW8) die Überschreitungshäufigkeit in Prozent der gültigen Achtstundenmittelwerte (%) sowie die Anzahl der Tage mit Überschreitungen (T) an.

	Reichenau		Enzianhütte		Seegrube	
	%	T	%	T	%	T
Juli 1990	19.0	17	47.2+	12+	70.2	30
August 1990	10.4	15	12.7	15	76.1	30
September 1990	0.0+	0+	0.0+	0+	23.2	14
Oktober 1990	0.0	0	0.0	0	8.5	6
November 1990	0.0	0	0.0	0	1.4	2
Dezember 1990	0.0	0	0.0	0	2.3	1
Jänner 1991	0.0	0	0.0+	0+	0.1	1
Februar 1991	0.4	1	*	*	17.2	11
März 1991	0.7	2	7.6+	3+	35.9	16

* In Februar 1991 liegen von der Enzianhütte keine Werte vor.
+ Verfügbarkeit unter 80%.

Tabelle 3 gibt für die WIK für O_3 von 0.15 mg/m^3 (MW1) die Überschreitungshäufigkeit in Prozent der gültigen Einstundenmittelwerte (%) sowie die Anzahl der Tage mit Überschreitungen (T) an.

	Reichenau		Enzianhütte		Seegrube	
	%	T	%	T	%	T
Juli 1990	6.3	7	8.9+	7+	21.2	11
August 1990	1.2	2	0.3	2	10.0	11
September 1990	0.0+	0+	0.0+	0+	0.0	0
Oktober 1990	0.0	0	0.0	0	0.0	0
November 1990	0.0	0	0.0	0	0.0	0
Dezember 1990	0.0	0	0.0	0	0.0	0
Jänner 1991	0.0	0	0.0+	0+	0.0	0
Februar 1991	0.0	0	*	*	0.0	0
März 1991	0.0	0	0.0+	0+	0.0	0

* In Februar 1991 liegen von der Enzianhütte keine Werte vor.
+ Verfügbarkeit unter 80%.

Tabelle 4 gibt für die WIK für O_3 von 0.06 mg/m^3 (MW8) die Überschreitungshäufigkeit in Prozent der gültigen Achtstundenmittelwerte (%) sowie die Anzahl der Tage mit Überschreitungen (T) an.

	Reichenau		Enzianhütte		Seegrube	
	%	T	%	T	%	T
Juli 1990	45.7	27	85.9+	15+	97.2	31
August 1990	33.1	26	55.7	29	100.0	31
September 1990	3.0+	4+	8.7+	8+	94.4	30
Oktober 1990	3.4	3	27.8	20	92.6	25
November 1990	2.8	5	8.9	7	84.3	29
Dezember 1990	1.1	1	17.0	8	82.8	27
Jänner 1991	1.1	2	26.4+	10+	94.9	31
Februar 1991	4.2	4	*	*	93.0	27
März 1991	23.5	16	53.4+	10+	98.2	27

* In Februar 1991 liegen von der Enzianhütte keine Werte vor.
+ Verfügbarkeit unter 80%.

Der MW8 von 0.06 mg/m^3 wird mithin an der Seegrube in den Sommermonaten fast durchgehend, im Winter beträgt die Überschreitungshäufigkeit über 90% der Meßzeit. Diese Überschreitungshäufigkeit ist am Hang der Nordkette (Enzianhütte) deutlich niedriger und am Talboden (Reichenau) am geringsten. Der MW8 von 0.10 mg/m^3 wird an den Meßstellen Reichenau und Enzianhütte nur im Juli und August sowie vereinzelt im März überschritten, an der Seegrube das ganze Jahr über, in den Monaten Juli und August fast täglich.

Die Überschreitungshäufigkeit des MW1 von 0.12 mg/m^3 beträgt an der Seegrube im Sommer um 50%; im Winter werden 0.12 mg/m^3 als MW1 hier praktisch nicht überschritten, ebensowenig an den niedriger gelegenen Meßstellen. Der MW1 von 0.15 mg/m^3 wird nur im Juli und August überschritten, an der Seegrube über ca. 20% der Zeit, in Reichenau über ca. 6%.

3.2.2. Stickstoffdioxid

Überschreitungen des Grenzwerts von 0.20 mg/m^3 als HMW laut Immissionsschutzvereinbarung traten weder an der Station Innsbruck-Reichenau noch an der Station Seegrube auf.

WIK zum Schutz des Menschen wurden nicht überschritten, allerdings kam es an der Station Innsbruck-Reichenau zu Überschreitungen der WIK zum Schutz der Vegetation, die aber für diesen Standort irrelevant sind.

4 Statistik der Immissionswerte

4.1 Ozon

Tabelle 5 gibt Mittelwert, Standardabweichung und Schiefe aller O_3 -Werte für die Stationen Innsbruck-Reichenau, Enzianhütte und Seegrube für den Zeitraum Juli bis August (Hochsommer) sowie November bis Dezember (Winter) 1990 in mg/m^3 an.

	Reichenau		Enzianhütte		Seegrube	
	VII	XI	VII	XI	VII	XI
	VIII	XII	VIII	XII	VIII	XII
	1990	1990	1990	1990	1990	1990
Mittel	0.056	0.008	0.076	0.033	0.120	0.075
Standardabw.	0.047	0.015	0.037	0.021	0.031	0.016
Schiefe	0.664	3.226	0.357	0.393	0.235	-0.773

Die Schiefe einer Verteilung ist ein Maß für die Abweichung des Medians (50-Perzentil) vom Mittelwert sowie für die Lage des Modalwertes; bei links- oder positiv schiefen Verteilungen überwiegen die kleineren Werte gegenüber dem Mittelwert, Median und Modalwert sind kleiner als der Mittelwert.

Tabelle 6 gibt die Monatsmittelwerte von Ozon in mg/m^3 an.

	Reichenau	Enzianhütte	Seegrube
Juli 1990	0.062	0.098+	0.122
August 1990	0.049+	0.066	0.119
September 1990	0.020	0.037+	0.089
Oktober 1990	0.017	0.045	0.082
November 1990	0.010	0.029	0.076
Dezember 1990	0.007	0.037	0.074
Jänner 1991	0.009	0.043+	0.081
Februar 1991	0.020	*	0.088
März 1991	0.033	0.059+	0.094

* Ausfall

+ Verfügbarkeit unter 80%

Tabelle 7 gibt die maximalen monatlichen HMW und TMW von O_3 in mg/m^3 an.

	Reichenau		Enzianhütte		Seegrube	
	HMW	TMW	HMW	TMW	HMW	TMW
Juli 1990	0.190	0.103	0.182+	0.136+	0.212	0.183
August 1990	0.170	0.081	0.154	0.105	0.184	0.148
September 1990	0.118+	0.048+	0.100+	0.059+	0.140	0.122
Oktober 1990	0.082	0.048	0.094	0.080	0.114	0.104
November 1990	0.086	0.036	0.080	0.062	0.110	0.094
Dezember 1990	0.096	0.041	0.082	0.075	0.122	0.103
Jänner 1991	0.094	0.043	0.082+	0.070+	0.106	0.094
Februar 1991	0.120	0.057	*	*	0.126	0.114
März 1991	0.124	0.075	0.122+	0.107+	0.144	0.134

* Ausfall

+ Verfügbarkeit unter 80%

4.2 Stickstoffmonoxid

Tabelle 8 gibt Mittelwert, Standardabweichung und Schiefe aller NO -Werte für die Stationen Innsbruck-Reichenau, Enzianhütte und Seegrube für den Zeitraum Juli bis August (Hochsommer) sowie November bis Dezember (Winter) 1990 in mg/m^3 an.

	Reichenau		Seegrube	
	VII VIII 1990	XI XII 1990	VII VIII 1990	XI XII 1990
Mittel	0.017	0.100	0.002	0.003
Standardabw.	0.017	0.087	0.001	0.003
Schiefe	2.679	1.274	2.935	2.501

Tabelle 9 gibt die Monatsmittelwerte der NO -Konzentration in mg/m^3 an.

	Reichenau	Seegrube
Juli 1990	0.016	0.002
August 1990	0.019	0.001
September 1990	0.031	0.002
Oktober 1990	0.043	0.002
November 1990	0.085	0.004
Dezember 1990	0.108	0.003
Jänner 1991	0.109	0.003
Februar 1991	0.099	0.002
März 1991	0.027	0.002

Tabelle 10 gibt für NO die täglichen maximalen HMW und TMW in mg/m³ an.

	Reichenau		Seegrube	
	HMW	TMW	HMW	TMW
Juli 1990	0.152	0.035	0.011	0.004
August 1990	0.152	0.037	0.011	0.002
September 1990	0.275	0.052	0.014	0.003
Oktober 1990	0.338	0.119	0.009	0.003
November 1990	0.378	0.221	0.025	0.009
Dezember 1990	0.490	0.234	0.027	0.009
Jänner 1991	0.780	0.259	0.036	0.010
Februar 1991	0.683	0.243	0.045	0.004
März 1991	0.407	0.086	0.024	0.004

4.3 Stickstoffdioxid

Tabelle 11 gibt Mittelwert, Standardabweichung und Schiefe aller NO-Werte für die Stationen Innsbruck-Reichenau, Enzianhütte und Seegrube für den Zeitraum Juli bis August (Hochsommer) sowie November bis Dezember (Winter) 1990 in mg/m³ an.

	Reichenau		Seegrube	
	VII VIII 1990	XI XII 1990	VII VIII 1990	XI XII 1990
Mittel	0.028	0.049	0.008	0.003
Standardabw.	0.016	0.020	0.005	0.003
Schiefe	0.763	0.820	1.669	4.739

Tabelle 12 gibt die Monatsmittelwerte der NO₂-Konzentration in mg/m³ an.

	Reichenau	Seegrube
Juli 1990	0.028	0.007
August 1990	0.028	0.009
September 1990	0.031	0.008
Oktober 1990	0.029	0.006
November 1990	0.039	0.003
Dezember 1990	0.053	0.003
Jänner 1991	0.049	0.003
Februar 1991	0.059	0.008
März 1991	0.031	0.008

Tabelle 13 gibt die maximalen monatlichen HMW und TMW von NO_2 in mg/m^3 an.

	Reichenau		Seegrube	
	HMW	TMW	HMW	TMW
Juli 1990	0.082	0.043	0.029	0.015
August 1990	0.090	0.058	0.036	0.016
September 1990	0.075	0.043	0.048	0.017
Oktober 1990	0.082	0.053	0.031	0.009
November 1990	0.082	0.069	0.017	0.005
Dezember 1990	0.142	0.090	0.029	0.006
Jänner 1991	0.121	0.072	0.055	0.009
Februar 1991	0.142	0.095	0.044	0.019
März 1991	0.098	0.063	0.031	0.013

5 Zeitlicher Verlauf der Immission

Abb. 2 bis 6 zeigen den zeitliche Verlauf der TMW und der täglichen maximalen HMW der O_3 -Konzentration an den Stationen Innsbruck-Reichenau, Enzianhütte und Seegrube, Abb. 7 bis 11 der NO - und NO_2 -Konzentration an den Stationen Innsbruck-Reichenau und Seegrube.

5.1 Ozon

Die drei betrachteten Ozonmeßstellen weisen im Verhalten der Meßwerte, vor allem durch die Seehöhe bedingt, deutliche Unterschiede auf. Die O_3 -Konzentration an der Seegrube ist praktisch immer die höchste der drei Stationen und weist relativ geringe tägliche Schwankungen auf.

Die TMW in Reichenau liegen das ganze Jahr über deutlich unter jenen der Enzianhütte, welche wieder deutlich von jenen der Seegrube übertroffen werden.

In den Sommermonaten (Juli bis September) erreichen die HMWmax der Stationen Reichenau und Enzianhütte ein sehr ähnliches Niveau wie die TMW der Seegrube, liegen im Winter aber - ausgenommen bei Föhnlagen - deutlich niedriger, wobei die HMWmax der Enzianhütte meist deutlich über jenen in Reichenau liegen.

Wie die Statistik zeigt, nehmen in allen Monaten die Monatsmittelwerte sowie die maximalen monatlichen TMW nehmen in allen Monaten mit der Seehöhe zu.

Die O_3 -Belastung an allen drei Meßstellen weist einen Jahresgang auf - im Sommer liegen die MMW, aber auch die TMW und die maximalen HMW, generell höher als im Winter - , der in Reichenau wesentlich deutlicher ausgeprägt ist als auf der Seegrube. Die Station Seegrube weist das ganze Jahr über relativ hohe Werte auf, im Sommer liegen praktisch alle Werte (HMW) über $0.06 \text{ mg}/\text{m}^3$, im Winter deutlich über 80% der Meßwerte. Werte über $0.12 \text{ mg}/\text{m}^3$ werden an der Seegrube zwar im Winter nicht erreicht, doch machen sie im Sommer mit rund 50% einen weitaus höheren Anteil aus als an den niedriger gelegenen Meßstellen. Die Meßwerte in Reichenau weisen - vor allem im Winter - eine deutlich positiv schiefe Verteilung auf; d.h., es überwiegen

gegenüber dem Median die niedrigen Werte. Demgegenüber sind die O_3 -Werte - bezogen auf den Gesamtzeitraum - an der Enzianhütte leicht und auf der Seegrube deutlich negativ schief verteilt, d.h. Werte, die höher als der Median sind, überwiegen; dieses Verhalten ist im Winter am ausgeprägtesten.

5.2 Stickstoffmonoxid

Die Meßstelle Innsbruck Reichenau weist - im österreichweiten Vergleich - hohe NO-Werte auf. Der maximale Monatsmittelwert betrug 0.109 mg/m^3 , der maximale TMW 0.259 mg/m^3 , der maximale HMW 0.780 mg/m^3 . Die Stickstoffmonoxidkonzentration weist an der Station Reichenau enorme Tagesschwankungen auf, die bedeutend höher sind als jene der Stickstoffdioxidkonzentration. An den meisten Tagen, vor allem im Winter, liegen die Spitzenwerte der NO-Konzentration weit über jenen der NO_2 -Konzentration (Tabelle 10 und 13); die mittlere NO-Konzentration liegt im Sommer deutlich unter der mittleren NO_2 -Konzentration, im Winter darüber (Tabelle 9 und 12). Sowohl die Monatsmittelwerte als auch die maximalen monatlichen TMW und HMW weisen einen sehr deutlichen Jahresgang mit Maximum in den Wintermonaten auf.

Die NO- und NO_2 -Werte an der Seegrube liegen in einem vergleichsweise außerordentlich niedrigen Bereich und weisen sehr geringe zeitliche Variationen auf.

Die Monatsmittelwerte der NO-Konzentration schwanken zwischen 0.002 und 0.004 mg/m^3 , der maximale TMW betrug 0.010 mg/m^3 , der maximale HMW 0.045 mg/m^3 . Der Jahresgang - mit höheren Werten in den Wintermonaten - ist weniger ausgeprägt als in Reichenau. Die Standardabweichung liegt im Bereich der Mittelwerte; sowohl alle HMW als auch die täglichen maximalen HMW weisen eine stärker positiv schiefe Verteilung auf als die Werte in Reichenau; dieses deutliche Überwiegen der niedrigen Werte liegt daran, daß die Werte auf der Seegrube zu einem großen Teil an der Nachweisgrenze liegen.

5.3 Stickstoffdioxid

Die Stickstoffdioxidwerte in Reichenau liegen entsprechend der Verkehrsbelastung hoch. Die Monatsmittelwerte schwanken zwischen 0.028 und 0.053 mg/m^3 ; sie weisen, analog NO, einen Jahresgang mit Maximum im Winter auf, sie liegen allerdings im Sommer über jenen von NO, im Winter darunter. Auch die täglichen Schwankungen sind bedeutend kleiner als jene der NO-Konzentration.

Demgegenüber weist die Station Seegrube ausgesprochen niedrige NO_2 -Werte auf; die Monatsmittelwerte liegen zwischen 0.003 und 0.009 mg/m^3 ; der höchste TMW betrug 0.019 , der höchste HMW 0.055 mg/m^3 . Ein Jahresgang ist nicht festzustellen. Die NO_2 -Konzentrationen liegen deutlich über den NO-Konzentrationen, was darauf zurückzuführen ist, daß kaum NO an die emittentenferne Station Seegrube gelangt.

Die hohe positive Schiefe der NO_2 -Werte an der Meßstelle See-grube ist durch das deutliche Überwiegen von Werten an der Nachweisgrenze bedingt.

6 Ergebnisse der Windmessung

Die Windverhältnisse über dem Inntal sind durch das Zusammenwirken der synoptischen (makroskaligen) Strömung und regionaler bzw. lokaler Zirkulationssysteme bestimmt.

Die synoptische Strömung wird durch die Druckverteilung über Europa und dem Nordatlantik bestimmt; ihre Auswirkungen auf das Inntal werden durch die Orographie der Alpen wesentlich beeinflusst; dazu gehören u.a. das Einströmen von Kaltluft durch das Inntal aufwärts (d.h. von Osten) bei großräumiger Strömung aus Nord bis West sowie das Auftreten von Föhn. Föhn wird bei südöstlicher bis südwestlicher Höhenströmung beobachtet, wenn Luft hoher potentieller Temperatur die Alpen überströmt und sich beim Absinken nördlich des Alpenhauptkamms (u.a. im Inntal) adiabatisch erwärmt. Ähnliches kann auch bei Nordwind auftreten, wenn Luft sich nach Überströmen des Karwendels bzw. des Seefelder Plateaus beim Absinken ins Inntal adiabatisch erwärmt.

6.1 Thermisch induzierte Windsysteme

Örtlich unterschiedliche Erwärmung - vom Boden ausgehend - führt zu regionalen Druckgegensätzen, die zu einer Ausgleichsbewegung der Luft führen.

Im Bereich der wärmeren Luft erfolgt Aufsteigen; in Bodennähe bildet sich eine Strömung vom kalten zum warmen Bereich aus, in höheren Luftschichten eine Strömung vom (am Boden) warmen Bereich zum kälteren.

Dieser Mechanismus steuert Tal-, Hang- und Flurwinde.

Thermisch induzierte Windsysteme bilden sich vor allem an Tagen mit schwacher synoptischer (makroskaliger) Strömung und hoher Sonneneinstrahlung aus; das Talwindsystem ist relativ empfindlich auf Bewölkung und Störungen durch die makroskalige Strömung, das Hangwindsystem bildet sich bei nahezu jeder Wetterlage aus, sofern eine auch nur geringe Erwärmung durch Sonneneinstrahlung stattfindet.

Das Talwindsystem besteht in Bodennähe aus nächtlichem Ausströmen kalter Luft talauswärts (im Inntal: Westwind), das sich bis mittags fortsetzt. Danach bildet sich Taleinwind aus, wenn sich die Täler gegenüber dem Vorland stärker erwärmen. Am späten Abend geht die Strömung wieder in Talauswind über.

Die Windgeschwindigkeit ist tagsüber höher als nachts. Sie erreicht Fesselballonmessungen zufolge ein Maximum in ca. 200 m Höhe über Boden.

Hangaufwind bildet sich tagsüber aus, da Hänge stärker als der Talboden erwärmt werden. Nachts kühlen die Hänge schneller ab, sodaß kühle Luft entlang der Hänge absinkt. Der Wechsel zwi-

schen Hangauf- und -abwind fällt meist mit Sonnenauf- und -untergang zusammen; das Hangwindssystem reagiert somit sehr rasch auf Temperaturänderungen.

Flurwinde bilden sich zwischen größeren Stadtgebieten und dem Umland aus, da, vor allem nachts, die Stadt wärmer ist und daher Einstürmen von Luft aus dem Umland stattfindet. Bei Innsbruck treten Flurwinde nur selten auf und erfassen Fesselballonmessungen zufolge maximal die unteren 100 m der Atmosphäre.

6.2 Windmessungen im Inntal (SODAR Hall i.T.; Innsbruck Hauptbahnhof)

Abb. 12 bis 18 zeigen Windrosen der SODAR-Messungen, die zwischen 1.7. 1990 und 19.3. 1991 zwischen Innsbruck und Hall i.T. durchgeführt wurden. Abb. 12 zeigt die Windrichtungsverteilung in 50 m über Grund, Abb. 13 in 100 m, Abb. 14 in 150 m, Abb. 15 in 200 m, Abb. 16 in 250 m, Abb. 17 in 300 m, Abb. 18 in 350 m.

In allen Niveaus überwiegt bei weitem talparalleler Wind, d.h. Wind aus Ost oder West.

In 50 m über Grund dominiert deutlich Ostwind, relativ häufig tritt Südsüdostwind auf, vermutlich bedingt durch die Hangabwinde der südlichen Talschulter. Südsüdostwind ist in höheren Niveaus kaum oder nicht anzutreffen. Oberhalb 150 m treten nicht talparallele Winde sehr selten auf.

Westwind wurde in 50 m kaum beobachtet; die Häufigkeit von Westwind nimmt mit der Höhe im allgemeinen zu. In 250 m bis 350 m überwiegt die Westwindhäufigkeit bereits jene von Ostwind.

Die gemessene Windverteilung in Niveaus ab 200 m wird - mit zunehmender Höhe deutlicher - dadurch verzerrt, daß immer weniger Meßwerte verfügbar sind, wobei Ausfälle vor allem am Nachmittag bei homogener Durchmischung auftreten, d.h. zu einer Zeit, wo bei ungestörter Talwindzirkulation bevorzugt Ostwind auftritt.

Aus diesem Grund wurde auf die Darstellung der Winrichtungsverteilung oberhalb von 300 m verzichtet, da die dortigen Meßwerte aufgrund der hohen Anzahl an Ausfällen nicht repräsentativ sind.

Die Calmenhäufigkeit nimmt in den unteren Niveaus von 9.9% (50 m) auf 18.5 % (150 m) zu, in den höheren Schichten nimmt sie rasch ab auf 0.6 % in 350 m.

Die Windrichtungsverteilung am Hauptbahnhof weist ein deutliches Maximum bei Westwind auf, daneben sind Südsüdwest- sowie Südostwind relativ häufig. Der dominierende Westwind ist dem Talauswind zuzuordnen, der hier wesentlich deutlicher in Erscheinung tritt als der Taleinwind. Das Häufigkeitsmaximum im Südsüdwesten wird durch Wind aus dem Wipptal bedingt, wo sowohl der Talauswind als auch das Einstürmen von Föhn einen Einfluß auf die Windverhältnisse im Inntal ausüben.

Inwiefern diese Windrichtungsverteilung für die Immissionsmeßstelle Reichenau repräsentativ ist, kann nicht gesagt werden.

Man kann in Reichenau aber mit einem deutlich verminderten Einfluß des Wipptales auf die Windverhältnisse rechnen.

6.3 Hafelekar

Die Windrichtungsverteilung am Hafelekar (Abb. 19) zeigt, daß Wind aus Nordnordwest und Südsüdwest deutlich überwiegt; diese Windverteilung ist neben der makroskaligen Strömung vermutlich durch die lokale Topographie mitbestimmt.

6.4 Hangwind am Südhang der Nordkette (Enzianhütte)

Die Windverteilung an der Enzianhütte (Abb. 20) zeigt klare Maxima bei Nord- und Südwind, was der Hangwindzirkulation am Südhang der Nordkette entspricht; zusätzlich könnten störende Effekte des umgebenden Waldes die Häufigkeit östlichen und westlichen Windes herabsetzen, da die Meßstelle in einer nord-südlich verlaufenden Waldschneise situiert war.

Die Häufigkeit von Nordwind überwiegt deutlich jene von Südwind, da der Hangaufwind - vor allem im Winter - während eines kürzeren Zeitraums auftritt als Hangabwind. Auffällig ist die hohe Calmenhäufigkeit von 42%. Generell liegt die Windgeschwindigkeit an der Enzianhütte sehr niedrig, Werte über 2 m/s treten selten auf.

Die Windrichtungsverteilung weist leichte monatliche Variationen auf; im August 1990 dominiert Nordnordwestwind, im September 1990 Nordnordostwind, sonst Nordwind. Ausgewogene Verhältnisse zwischen Süd- und Nordwind treten im Jänner 1991 auf. Die Windrichtungsverteilung - die nur Windgeschwindigkeiten über 0.5 m/s berücksichtigt - wird aber mit Sicherheit durch die große Calmenhäufigkeit verzerrt.

7 Windrichtungsabhängigkeit der Immission

In Kapitel 7 werden Schadstoffwindrosen für O_3 , NO und NO_2 diskutiert. Eine Schadstoffwindrose gibt die mittlere Schadstoffkonzentration an, die gleichzeitig mit Wind aus dem jeweiligen Sektor auftritt.

7.1 Seegrube

Die Windrichtungsabhängigkeit der mittleren Immissionskonzentration an der Meßstelle Seegrube ist in den Windrosen in Abb. 21 (NO), 22 (NO_2) und 23 (O_3) für den Zeitraum Juli 1990 bis März 1991 dargestellt.

Zu beachten ist dabei, daß die den Windrosen zugrundeliegenden Winddaten an der Meßstelle Hafelekar gemessen wurden, welche am Grat der Nordkette nordöstlich der Seegrube in 2270 m Seehöhe liegt. Das Hafelekar ist, anders als die Seegrube, frei von Norden und Süden anströmbar, während die Windverhältnisse an der Seegrube von Hangwinden an der Südseite der Nordkette dominiert werden.

Die mittlere Ozonkonzentration je Windrichtung zeigt ein außerordentlich isotropes Bild, was bedeutet, daß unterschiedliche Ozonadvektion in Abhängigkeit des Windes am Hafelekar an der Seegrube praktisch keine Rolle spielt und bei jeder am Hafelekar gemessenen Windrichtung die gleiche Ozonkonzentration auftritt.

Deutlich weniger glatt sind die Schadstoffwindrosen von NO und NO_2 , doch zeichnet sich auch hier keine Schadstoffadvektion aus einer bestimmten Richtung ab. Es gibt leichte Maxima im Osten und Süden. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Werte häufig nahe der Nachweisgrenze liegen und mit einem empfindlicheren Gerät eventuell eine stärkere Differenzierung der NO_2 -Advektion möglich wäre.

7.2 Enzianhütte

Die windrichtungsabhängige Ozonadvektion an der Enzianhütte ist in Abb. 24 dargestellt.

Die mittlere Ozonimmission ist weitgehend windrichtungsunabhängig. Die in Abb. 24 aufscheinenden höheren Werte bei Ost- und Westwind sind aufgrund des äußerst seltenen Auftretens dieser Windrichtungen nicht aussagekräftig. Mithin spielt auch an der Enzianhütte Ozonadvektion für das Ozongeschehen im Mittel kaum eine Rolle.

Betrachtet man die mittlere O_3 -Immission je Windrichtung zusammen mit dem Wind über dem Innthal bei Hall i.T., der mit dem SODAR gemessen wurde, so zeigt sich, daß erhöhte Ozonkonzentrationen an der Enzianhütte bevorzugt bei Westwind über dem Innthal auftreten (um 0.058 mg/m^3), allerdings sind die Unterschiede nicht besonders groß (0.045 mg/m^3 bei Ostwind).

7.3. Innsbruck-Reichenau

An der Meßstelle Innsbruck-Reichenau (Andechsstraße) werden keine Windmessungen durchgeführt, sodaß zur Darstellung der windrichtungsabhängigen O_3 - und NO -Immission die Winddaten der Meßstelle Innsbruck Hauptbahnhof^x herangezogen werden. Die Schadstoffwindrosen für O_3 , NO und NO_2 sind in Abb. 25 bis 27 dargestellt.

Die windrichtungsabhängige Verteilung der mittleren Ozonimmission weist hohe Werte um 0.03 mg/m^3 für die Richtungen Ost bis Nordwest auf, das Minimum liegt um 0.01 mg/m^3 bei Südwest. Wahrscheinlich ist diese Verteilung primär von der NO -Advektion geprägt. Die mittlere NO -Immission je Windrichtung zeigt ein klares Maximum (bis 0.115 mg/m^3) bei Westsüdwestwind, mittlere Konzentrationen um 0.06 mg/m^3 treten bei Winden aus Süd bis Südost auf, sonst ist die mittlere NO -Immission gering um 0.02 mg/m^3 . Da die Meßstelle an der Nordostseite der Straße steht, ist die NO -Immission vermutlich primär auf den örtlichen Verkehr zurückzuführen.

Die mittlere NO_2 -Immission je Windrichtung zeigt dagegen eine sehr gleichmäßige Verteilung (um 0.035 mg/m^3) mit schwach ausgeprägten Maxima (um 0.043 mg/m^3) im Südwesten und Südosten.

8. Mittlere Tagesgänge

Mittlere Tagesgänge aller in die Analyse einbezogener Komponenten werden sowohl für den Gesamtzeitraum (1.7. 1990 bis 31.3. 1991) als auch für verschiedene Wetterlagen berechnet.

Folgende Wetterlagenklassifikationen werden dafür herangezogen:

- die Strömungslagenklassifikation nach Steinacker [Steinacker, 1991, Eine Ostalpine Strömungslagenklassifikation, Universität Innsbruck]
- eine Klassifizierung nach der täglichen Sonnenscheindauer in Innsbruck.

Die Strömungslagenklassifikation nach Steinacker erfolgt aufgrund der Isohypsenverteilung im 850 hPa-Niveau über den Ostalpen in 8 Strömungslagen (Nordost, Ost, Südost, ..., Nord). Zusätzlich werden Wetterlagen, bei denen keine eindeutige großräumige Strömung auftritt, als Gradientenschwache Lagen klassifiziert. Lagen, bei denen sich im Laufe eines Tages die Strömung deutlich ändert, v.a. infolge eines Frontdurchzuges, werden als Variable Lagen eingestuft.

Die Wetterlagen nach dieser Klassifikation sind allerdings relativ ungleich verteilt, die Klassen "Variable Lage" und "Gradientenschwache Lage" dominieren zahlenmäßig deutlich.

Die Häufigkeit der einzelnen Strömungslagen im Zeitraum 1.7. 1990 bis 31.3. 1991 beträgt:

	Tage
Variable Lagen	71
Nordostlagen	11
Ostlagen	12
Südostlagen	9
Südlagen	14
Südwestlagen	18
Westlagen	27
Nordwestlagen	12
Nordlagen	12
Gradientenschwache Lagen	88

Die Klassifikation nach der täglichen Sonnenscheindauer in Innsbruck gliedert den Zeitraum in drei Klassen:

- Tage mit Sonnenscheindauer $\geq 10 \text{ h}$
- Tage mit Sonnenscheindauer $\geq 5 \text{ h}$ und $< 10 \text{ h}$
- Tage mit Sonnenscheindauer $< 5 \text{ h}$

Die Sonnenscheindauer kann als ein Maß für die Ausbildung der Tal- und Hangwindzirkulation sowie der vertikalen Durchmischung angesehen werden.

Der Zeitraum 1.7. 1990 - 31.3. 1991 verteilt sich wie folgt auf die Sonnenscheindauer-Klassen:

Sonnenscheindauer ≥ 10 h:	34 Tage
Sonnenscheindauer ≥ 5 h und < 10 h:	122 Tage
Sonnenscheindauer < 5 h:	118 Tage

Die Tage mit Sonnenscheindauer ≥ 10 h fallen zum größten Teil in die Monate Juli (14 Tage) und August (17 Tage).

Abb. 28 und 29 zeigen den mittleren Tagesgang von Windgeschwindigkeit und Windrichtung in 50, 100, 150, 200, 250 und 300 m Höhe über dem Inntal (SODAR) für alle Tage, Abb. 30 bis 32 und 33 bis 35 für die drei Sonnenscheindauer-Klassen, Abb. 36 bis 45 und 46 bis 55 für die Strömungslagen nach Steinacker.

Abb. 56 bis 58 zeigen den mittleren Tagesgang der Windrichtung an den Meßstellen Hafelekar, Enzianhütte und Bahnhof für die drei Sonnenscheindauer-Klassen, Abb. 59 bis 68 für die Strömungslagen nach Steinacker.

Abb. 69 bis 71 zeigen den mittleren Tagesgang der Konzentration von O_3 , NO und NO_2 an den Meßstellen Seegrube, Enzianhütte (nur O_3) und Innsbruck-Reichenau für die drei Sonnenscheindauer-Klassen, Abb. 72 bis 81 für die Strömungslagen nach Steinacker, Abb. 82 für den Gesamtzeitraum.

Abb. 83 zeigt den mittleren Tagesgang der Temperatur an den Meßstellen Hafelekar, Rastelboden, Hungerburg und Olympisches Dorf. Aufgrund zahlreicher Ausfälle und der schlechten Qualität der Temperaturdaten der Meßstellen Hungerburg und Olympisches Dorf wird auf eine Darstellung mittlerer Tagesgänge der Temperatur für einzelne Wetterlagen verzichtet.

8.1. Wind

Windverhältnisse, wie man sie entsprechend theoretischem Wissen und bisherigen Messungen der Talwindzirkulation des Inntales erwartet, treten am klarsten bei der Wetterlagenklasse "Tage mit Sonnenscheindauer ≥ 10 h" (Abb. 30) in Erscheinung, und zwar noch deutlicher als bei der Gradientschwachen Strömungslage nach Steinacker.

Die Talwindzirkulation läßt zwischen Mittag und Abend Ostwind (Taleinwind) erwarten, sonst Westwind (Talauswind), wobei die Geschwindigkeit des Taleinwindes höher ist als die des Talauswindes und das Geschwindigkeitsmaximum - aufgrund von Fesselballonmessungen - in ca. 200 m Höhe erwartet wird.

Nach Abb. 30 tritt an Tagen mit Sonnenscheindauer ≥ 10 h zwischen 12 und 21 Uhr höhenmäßig sehr homogener Ostwind auf; nachts herrscht in 50 und 100 m Höhe über Boden Südostwind, in 150 m bis 350 m dominiert Wind aus Südwest bis West bei relativ starker zeitlicher und höhenmäßiger Variabilität.

Der Südostwind in den unteren 100 m dürfte zum Teil dem Hangabwind der südlichen Talschulter zuzuordnen sein - hier würde man Südwind erwarten - , dem eine östliche Komponente überlagert

ist, welche schwer zu interpretieren ist; sie könnte eventuell durch Einströmen der Luft in das nachts gegenüber dem Umland erwärmte Stadtgebiet von Innsbruck bewirkt werden.

Der nächtliche und vormittägliche Südwest- bis Westwind in den übrigen Niveaus stellt den Talauswind des Inntales dar, der sich vormittags auch in 100 m Höhe durchsetzt. Teilweise relativ uneinheitlich ist das Bild in 300 und 350 m Höhe, wo aber aufgrund der hohen Datenausfallsrate vor allem tagsüber die Werte nicht unbedingt repräsentativ sind.

Die Windgeschwindigkeit zeigt in den unteren 200 m einen sehr einheitlichen höhenunabhängigen Tagesgang mit niedriger Geschwindigkeit um 2 m/s nachts, die ab 11 Uhr gleichmäßig auf ein Maximum von ca. 8 m/s um 17 Uhr ansteigt und danach gleichmäßig bis 22 Uhr absinkt.

In 250 und 300 m Höhe treten nachmittags zeitweise wesentlich höhere Geschwindigkeiten auf, doch sind diese Werte infolge geringer Datenverfügbarkeit möglicherweise nicht repräsentativ. In 350 m Höhe treten zwischen 21 und 5 Uhr hohe Geschwindigkeiten (bis über 10 m/s) auf, auch in 300 m sind sie nachts, verglichen mit tieferen Niveaus, etwas erhöht; sonst liegt hier die Geschwindigkeit in einem ähnlichen Bereich wie in tieferen Niveaus.

An Tagen mit Sonnenscheindauer zwischen 5 und 10 Stunden (Abb. 31) sind die Windrichtungsverhältnisse über dem Inntal ähnlich, allerdings ist die Zeit mit Ostwind am Nachmittag auf 14 bis 20 Uhr beschränkt und der Ostwind nicht so einheitlich. Dies liegt daran, daß Sonnenscheindauern von 5 bis 10 h sowohl an teilweise bedeckten Tagen im Sommer als auch an sonnigen Tagen im Winter auftreten und die Erwärmung durch Sonneneinstrahlung, die das Talwindssystem antreibt, in einem kürzeren und nach Jahreszeit variierenden Zeitraum auftritt.

Nachts tritt in 50 bis 150 m Südost- bis Südwind auf, der sich deutlich vom Südwest- bis Westwind in den höheren Niveaus unterscheidet.

Die Windgeschwindigkeit zeigt in allen Höhen einen ähnlichen Tagesgang wie an Tagen mit Sonnenscheindauer > 10 h; allerdings tritt Windgeschwindigkeitszunahme mit der Höhe auf, die mit zunehmender Höhe ausgeprägter ist. Während nachts in den unteren 150 m Höhe vertikal einheitliche Geschwindigkeiten auftreten, nimmt darüber die Geschwindigkeit mit der Höhe deutlich zu. Nachmittags treten oberhalb 300 m - vielleicht nicht repräsentative - Geschwindigkeiten bis über 20 m/s auf. Demgegenüber ist die Geschwindigkeit nachmittags in den unteren 150 m mit maximal 5 m/s in 100 m geringer als an Tagen mit Sonnenscheindauer ≥ 10 h.

Tage mit Sonnenscheindauer < 5 h (Abb. 32) zeigen in den unteren 150 m nachts und vormittags beständig Südostwind, darüber dreht der Wind mit der Höhe - zeitlicher stark variabel - von

Südost auf Westsüdwest. Nachmittags weht in allen Höhen Ostwind. Dabei dürfte es sich um eine Überlagerung des Taleinwindes mit dem Eindringen von Kaltluft ins Inntal bei Kaltfrontdurchzügen handeln.

Die Windgeschwindigkeit zeigt ähnliche Tagesgänge wie an Tagen mit mehr Sonnenschein; die Geschwindigkeitszunahme mit der Höhe ist noch ausgeprägter als an Tagen mit Sonnenscheindauer zwischen 5 und 10 h; das nachmittägliche Geschwindigkeitsmaximum in den unteren 150 m sowie die nächtliche Geschwindigkeitszunahme oberhalb 300 m sind ähnlich ausgeprägt. Oberhalb 250 m treten tagsüber zeitweise sehr hohe Geschwindigkeiten auf.

Der mittlere Windrichtungsverlauf am **Hauptbahnhof** entspricht ungefähr jenem über dem Inntal in Höhen oberhalb 150 bis 200 m. Allerdings ist hier an sonnenscheinreichen Tagen der nachts und vormittags wehende Südwest- bis Westwind (Talauswind) deutlich richtungsbeständiger als der zwischen 12 und 20 Uhr wehende Südost- bis Nordostwind. An Tagen mit weniger als 10 h Sonnenscheindauer hat der nachmittägliche Taleinwind eine mehr südliche Richtung.

Der Wechsel zwischen Hangauf- und -abwind an der **Enzianhütte** tritt bei jeder Wetterlage auf, wobei nachts beständig Nordwind, tagsüber beständig Südwind beobachtet wird. An sonnenscheinreichen Tagen sowie bei Gradientenschwacher Strömungslage ist die Zeit mit Hangaufwind (Südwind) länger. Es fällt auf, daß an Tagen mit Sonnenscheindauer über 10 h der Hangabwind eine leicht nordwestliche, sonst eine leicht nordöstliche Richtung aufweist; an Tagen mit Sonnenscheindauer unter 5 h ist die Richtung weniger beständig. Die morgens und abends an diesen Tagen im Mittel auftretenden östlichen Winde sind durch Mittelbildung über Tage bedingt, an denen der Wechsel zwischen Hangauf- und -abwind zu unterschiedlichen Zeitpunkten erfolgt.

Die Windrichtung am **Hafelekar** zeigt an Tagen mit Sonnenscheindauer über 10 h weitgehend unregelmäßiges Verhalten, wobei Wind aus West bis Nord dominiert. An Tagen mit Sonnenscheindauer unter 10 h weht im Mittel ständig Wind aus Südwest bis Nordwest, wobei an Tagen mit Sonnenscheindauer unter 5 h Nordwest überwiegt.

Anders als im Inntal und am Hang der Nordkette hängen die Windverhältnisse am Hafelekar nicht von der Sonnenscheindauer ab, vielmehr stehen beide Größen in Abhängigkeit von der Großwetterlage und damit dem makroskaligen Windfeld.

Bei **Gradientenschwachen Strömungslagen** nach Steinacker treten ähnliche Windverhältnisse über dem Inntal auf wie an Tagen mit Sonnenscheindauer über 10 h, wobei - aufgrund der Mittelbildung über Zeiträume mit sehr unterschiedlichen Sonnenscheindauern - der Zeitraum mit Ostwind nachmittags kürzer und dessen Richtung uneinheitlicher und unbeständiger ist; in 50 bis 150 m Höhe dominiert nachts und vormittags Wind aus Südost bis Süd, der

gegen Mittag auf Südwest dreht; insbesondere in 150 m Höhe treten damit deutliche Unterschiede zu den Tagen mit Sonnenscheindauern über 10 h auf, wo nachts Südwestwind überwiegt. Oberhalb 200 m Höhe tritt nachts zeitlich beständiger Südwest- bis Westwind auf, was ebenfalls einen deutlichen Unterschied zu den stark variablen Windverhältnissen an Tagen mit Sonnenscheindauer ≥ 10 h bedeutet.

Der Tagesgang der Windgeschwindigkeiten ähnelt jenem an Tagen mit Sonnenscheindauer ≥ 10 h, wobei allerdings die Geschwindigkeit nachmittags in den unteren 150 m geringer, dafür die vertikale Geschwindigkeitszunahme, insbesondere nachmittags, wesentlich ausgeprägter sind.

Am Hauptbahnhof dreht der beständige Südwestwind, der nachts und vormittags auftritt, nachmittags kontinuierlich auf Südost und anschließend wieder auf Südwest.

An der Enzianhütte wird - wie bei allen Wetterlagen - der Wechsel zwischen Hangab- und Hangaufwind beobachtet.

Am Hafelekar tritt durchwegs Nordwestwind auf, der über Mittag - wahrscheinlich bedingt durch Einflüsse der Hangwindzirkulation - zeitweise auf Südwest dreht.

Variable Lagen zeigen im Mittel in allen Höhen über dem Inntal sehr beständigen Ostwind nachmittags und in der ersten Nachthälfte. In der zweiten Nachthälfte und vormittags dominiert in den unteren 150 m Wind aus Südost bis Süd, darüber dreht der Wind mit der Höhe von Süd auf West.

Ostwinde sind meist mit dem Eindringen von Kaltluft bei nordwestlicher synoptischer Strömung verbunden, doch dürfte der Windrichtungsverlauf eine Überlagerung mit dem Talwindsystem darstellen.

Die Windgeschwindigkeit zeigt in den unteren 200 m einen ähnlichen Tagesgang wie bei Gradientschwachen Lagen; tagsüber treten oberhalb 200 m jedoch wesentlich höhere, stark variierende Geschwindigkeiten auf, in 200 m bis 10 m/s.

Am Hauptbahnhof weht nachts und vormittags überwiegend Südwestwind, der nachmittags auf Südost bis Ost dreht. Damit unterscheiden sich die Verhältnisse hier deutlich von jenen in den unteren Schichten über dem Inntal, wo auch nachts Südostwind überwiegt.

Am Hafelekar schwankt die Windrichtung zwischen Südwest und West, was meist den Verhältnissen vor dem Eintreffen von Kaltfronten entspricht.

Bei den anderen Strömungslagen ist zu berücksichtigen, daß sie an relativ wenigen Tagen auftreten und Mittelwerte nicht unbedingt repräsentativ sein müssen.

Nordostlagen zeigen über dem SODAR ganz überwiegend Ost- bis Südostwind. Diese Verhältnisse dürften von der synoptischen Strömung beherrscht sein.

Die Windgeschwindigkeit ist in den unteren 150 m mit maximal 4 m/s nachmittags gering. Darüber treten mit der Höhe zunehmende, stark variierende Geschwindigkeiten auf, die nachts oberhalb 250 m 20 m/s überschreiten können.

Am Hauptbahnhof schwankt die Windrichtung um Süd bis Südost. Am Hafelekar weht Wind aus Nord bis Nordwest. Der Hangwind an der Enzianhütte wird nachts zeitweise durch Südwind unterbrochen.

Bei Ostlagen tritt sehr einheitlicher Ostwind über dem Innthal auf. Die Windgeschwindigkeit liegt unterhalb 150 m nachts einheitlich um 3 m/s und steigt nachmittags bis 8 m/s. Darüber tritt eine deutliche Geschwindigkeitszunahme mit der Höhe auf, vor allem nachts; oberhalb 300 m treten nachts über 20 m/s auf. Dagegen weist der Hauptbahnhof sehr uneinheitlichen Wind aus Nord über Ost bis Süd auf; am Hafelekar treten völlig regellose Windrichtungsverhältnisse auf. Der Hangwind an der Enzianhütte wird nachts zeitweise durch Südwind unterbrochen.

Südostlagen weisen eine Windverteilung auf, die tagsüber der Gradientschwachen Lage ähnlich ist, mit höhenmäßig einheitlichem Südost- bis Ostwind nachmittags. Nachts gibt es in Höhen bis 300 m Süd- bis Ostwind, der, in der Höhe beginnend, zwischen 4 und 9 Uhr auf Süd bis West dreht.

Die Windgeschwindigkeit ist in den unteren 150 m sehr einheitlich und weist nachmittags ein Maximum (5 m/s in 150 m) auf, nachts liegt sie bei 2 m/s. Insbesondere nachts und am Nachmittag nimmt darüber die Geschwindigkeit mit der Höhe deutlich zu; in 200 m werden nachts 5 m/s, nachmittags 12 m/s erreicht, in 250 m nachts 9 m/s, nachmittags 20 m/s.

Am Hauptbahnhof wechselt der nächtliche und vormittägliche Südwest- bis Westwind nachmittags auf Südost bis Südwest; damit weichen die Verhältnisse am Bahnhof deutlich von jenen über dem Innthal ab.

Am Hafelekar tritt durchwegs Südwestwind auf.

Die Enzianhütte weist Verhältnisse des ungestörten Hangwindes auf.

Südlagen weisen nachts und vormittags relativ beständig Süd- bis Westwind auf; der Wind dreht mit der Höhe auf West. Dagegen tritt nachmittags relativ uneinheitlicher Wind aus Ost bis Süd auf.

Die Windgeschwindigkeit ist in allen Niveaus - verglichen mit anderen Wetterlagen, ausgenommen Südwestlagen - sehr niedrig und vertikal ziemlich einheitlich; nachmittags tritt die höchste Geschwindigkeit mit 6 bis 8 m/s in 100 und 150 m auf, darüber weht im allgemeinen schwächerer Wind.

Am Hauptbahnhof weht nachts Südwest- bis Westwind, der tagsüber auf Süd dreht.

Am Hafelekar wird außerordentlich beständiger Südsüdwestwind beobachtet.

Die Enzianhütte weist Verhältnisse des ungestörten Hangwindes auf.

Ähnliche Verhältnisse über dem Inntal - bei allerdings weitaus kürzerer Zeit mit nachmittäglichem Ostwind und beständigeren Verhältnissen in der Nacht - werden bei Südwestlagen beobachtet.

Die Windgeschwindigkeit liegt in allen Höhen zumeist unter 5 m/s, sie zeigt oberhalb 200 m eine deutliche Zunahme mit der Höhe. Die maximale Geschwindigkeit wird zumeist in 300 m erreicht.

Am Hauptbahnhof tritt zumeist Südwest- bis Westwind, nachmittags eher Südwind auf.

Am Hafelekar weht durchwegs Südwestwind.

Die Enzianhütte weist Verhältnisse des ungestörten Hangwindes auf.

Westlagen weisen nachmittags vertikal relativ einheitlichen Ostwind auf, nachts und vormittags in 50 und 100 m Südostwind, der darüber mit der Höhe auf Südwest bis West dreht.

Die Windgeschwindigkeit liegt in den unteren 150 m beständig um 3 m/s, lediglich um 16 Uhr steigt sie in 150 m über 6 m/s.

In höheren Niveaus nimmt die Geschwindigkeit, vor allem nachts und nachmittags, mit der Höhe deutlich zu und erreicht in 250 m nachts 5 m/s, nachmittags über 10 m/s.

Am Hauptbahnhof dreht der nächtliche und vormittägliche Südwest- bis Westwind nachmittags auf Süd.

Am Hafelekar tritt durchgehend Wind aus West bis Nord auf.

Die Enzianhütte weist Verhältnisse des ungestörten Hangwindes auf.

Nordwestlagen zeigen nachmittags vertikal einheitlichen Ostwind, nachts und vormittags sind die Richtungsverhältnisse sehr uneinheitlich, wobei Wind aus Ost bis Südost dominiert; oberhalb 250 m tritt fallweise Süd- bis Westwind auf.

Die Windgeschwindigkeit zeigt unterhalb 150 m vertikal homogene Verhältnisse, nachts um 2 m/s, nachmittags einen Anstieg auf 5 bis 6 m/s. Tagsüber liegt auch in größeren Höhen die Geschwindigkeit in diesem Bereich, nachts nimmt die Geschwindigkeit oberhalb 200 m in der Höhe deutlich zu.

Am Hauptbahnhof überwiegt nachts Südwind, der vormittags mehr auf Südost, nachmittags auf Nordost dreht.

Am Hafelekar tritt Wind aus Nordwest bis Nordost auf.

Die Enzianhütte weist Verhältnisse des ungestörten Hangwindes auf.

Nordlagen zeigen über dem SODAR Ost- bis Südostwind, der nachmittags vertikal sehr einheitlich ist, nachts und vormittags stärker streut.

In 250 m tritt nachmittags zeitweise südlicher Wind auf, in 300 m nachts zeitweise Nordwind.

Die Windgeschwindigkeit ist in den unteren 150 m - ausgenommen nachmittags - vertikal einheitlich, darüber nimmt sie mit der Höhe zu. Bis 3 Uhr werden in den unteren 150 m ca. 4 m/s beobachtet, danach ca. 2 m/s; nachmittags steigt die Geschwindigkeit auf ca. 6 m/s. In höheren Niveaus weist die Geschwindigkeit einen sehr unregelmäßigen Verlauf auf, vor allem oberhalb 300 m treten Spitzen über 20 m/s auf.

Abweichend davon tritt am Hauptbahnhof - bei sehr unbeständigen Verhältnissen - nachts Südwind, vormittags Westwind, nachmittags Süd- bis Ostwind auf.

Am Hafelekar weht Wind aus Nordwest bis Nord.

An der Enzianhütte wird der Wechsel zwischen Nord- und Südwind durch Ostwindphasen morgens und abends unterbrochen.

Nachts tritt in Niveaus bis 150 m Südostwind auf, darüber Südwestwind, der mit der Höhe zunehmend auf West dreht. In 100 bis 150 m dreht der Wind morgens auf Süd, lediglich in 50 m weht bis mittags Südostwind.

Zwischen 12 und 21 Uhr weht vertikal relativ einheitlicher Südost- bis Ostwind, wobei gegen Abend in den unteren Niveaus Südost-, darüber Ostwind auftritt.

Die Windgeschwindigkeit ist nachts in den unteren 150 m mit ca. 2 m/s vertikal einheitlich; nachmittags nimmt sie, bei vertikaler Geschwindigkeitszunahme, zu, mit einem Maximum zwischen 16 und 17 Uhr. Oberhalb 200 m nimmt die Geschwindigkeit mit der Höhe stets zu, wobei nachts in 300 m ca. 6 m/s, nachmittags - bei starken Schwankungen - über 12 m/s erreicht werden; morgens weist die Windgeschwindigkeit oberhalb 200 m ein Minimum auf.

8.2. Temperatur

Der Mittlere Tagesgang der Temperatur über alle Tage zeigt an allen Stationen ein Minimum um 7 Uhr; das Maximum am Hafelekar wird um 14 Uhr, an den tiefer gelegenen Stationen zwischen 15.30 und 16.30 Uhr erreicht.

Die Temperaturen am Hafelekar liegen im Mittel stets um 5 bis 6 °C (einem trockenadiabatischen Temperaturgradienten würden 7.5 °C entsprechen) - unter jenen am Rastelboden. Die Temperaturverläufe von Rastelboden und Hungerburg dagegen zeigen nachts und vormittags Isothermie, nachmittags liegen die Werte an der Hungerburg maximal 1.5 °C über jenen am Rastelboden (bei trockenadiabatischem Temperaturgradienten 2.1 °C).

Die Temperatur im Olympischen Dorf sinkt morgens fast auf jene an der Hungerburg und am Rastelboden, nachmittags liegt sie bis zu 3 °C über jener an der Hungerburg (bei trockenadiabatischem Temperaturgradienten 2.5 Grad).

Die Amplitude des Tagesganges am Hafelekar beträgt ca. 3 °C, im Olympischen Dorf 8 °C. Diese Verläufe deuten an, daß im Mittel zwischen Hungerburg und Rastelboden stabile Temperaturschichtung (u.a. Inversionen bzw. Isothermien) bevorzugt auftreten, während der Temperaturgradient zwischen Hungerburg und Olympischem Dorf zumindest nachmittags meist labile Schichtung zeigt. Primär in der zweiten Nachthälfte und morgens treten stabile Schichtungen zwischen dem Talboden und dem Rastelboden auf.

Tage mit Sonnenscheindauer über 10 h zeigen gegenüber dem Mittleren Tagesgang über alle Tage geringere Temperaturdifferenzen zwischen Hafelekar und Rastelboden, v.a. morgens, wo die Differenz ca. 3 °C beträgt. Nachts und morgens treten zwischen Olympischem Dorf, Hungerburg und Rastelboden isotherme Verhältnisse auf, nachmittags steigen die Temperaturen an der Hungerburg und im Olympischen Dorf bis 3 °C über jene am Rastelboden, wobei die beiden niedrig gelegenen Stationen annähernd gleiche Temperaturen aufweisen.

Die tägliche Amplitude am Hafelekar liegt bei 7 °C, im Olympischen Dorf bei 15 °C.

An Tagen mit Sonnenscheindauer zwischen 5 und 10 h treten ebenfalls nachts und vormittags isotherme Verhältnisse zwischen Olympischem Dorf, Hungerburg und Rastelboden auf; während die Temperatur an der Hungerburg nachmittags kaum jene am Rastelboden überschreitet, steigt sie am Olympischen Dorf bis 3 °C über jene an der Hungerburg.

Die Amplitude beträgt am Hafelekar ca. 5 °C, im Olympischen Dorf ca. 10 °C.

Tage mit Sonnenscheindauer unter 5 h zeigen an allen Stationen nur sehr geringe Tagesgänge mit Amplituden von ca. 1.5 °C am Hafelekar und ca. 4 °C im Olympischen Dorf. Morgens und vormittags treten an Rastelboden und Hungerburg gleiche Temperaturen auf, zwischen den anderen Stationen annähernd adiabatische Verhältnisse.

Bei Gradientschwachen Lagen ist der Tagesgang am Hafelekar (Amplitude ca. 5 °C) sehr ausgeprägt, es fällt auf, daß morgens die Temperatur rascher ansteigt als an den niedriger gelegenen Stationen und um 10 Uhr die Temperaturdifferenz zwischen Hafelekar und Rastelboden auf ca. 2 °C sinkt.

Bis ca. 8 Uhr treten am Rastelboden, an der Hungerburg und im Olympischen Dorf fast gleiche Temperaturen auf, danach infolge Temperaturanstieg am Rastelboden und an der Hungerburg eine Inversion zwischen Hungerburg und Olympischem Dorf, wo der Temperaturanstieg erst ab 10 Uhr einsetzt. Bereits ab 20 Uhr bildet sich wieder eine Isothermie zwischen Rastelboden und Hungerburg aus.

Variable Lagen zeigen sehr geringe Tagesgänge, und Temperaturdifferenzen zwischen Hafelekar und Rastelboden um 6 °C. Vormit-

tags tritt zwischen Hungerburg und Rastelboden eine Inversion auf.

Die Amplitude des Tagesgangs beträgt am Hafelekar ca. 1.5 °C, im Olympischen Dorf 4 °C.

Bei Nordostlagen sind die Tagesgänge unterhalb des Rastelbodens flacher (Amplitude im Olympischen Dorf 3 °C), während am Hafelekar im Mittel eine Temperaturabnahme (zwischen 13 und 22 Uhr) um 3.5 °C festzustellen ist, die - weniger ausgeprägt - auch an den anderen Stationen auftritt. Morgens gibt es zwischen Rastelboden und Hungerburg isotherme Verhältnisse.

Ostlagen zeigen am Hafelekar Amplituden des Tagesganges von ca. 4 °C, im Olympischen Dorf von 3 °C. Die Temperaturverläufe am Rastelboden und an der Hungerburg deuten auf zumeist stabile Verhältnisse hin.

Südostlagen zeigen im Olympischen Dorf eine Amplitude der Temperatur um 9 °C, am Hafelekar um 4 °C. Bei deutlicher Tageserwärmung an den Stationen unterhalb des Rastelbodens halten sich bis ca. 12 Uhr isotherme Verhältnisse.

Die im Mittel höchsten Temperaturen je Strömungslage treten am Talboden bei Südlagen auf. Der Tagesgang ist im Olympischen Dorf am ausgeprägtesten und weist eine Amplitude von ca. 14 °C auf, wohingegen sie am Rastelboden ca. 3.5 Grad, am Hafelekar ca. 2.5 °C beträgt. Der Temperaturunterschied zwischen Hafelekar und Rastelboden liegt zwischen 8 und 9 °C. Dies ist auf die starke Erwärmung der Luft im Tal infolge Föhns zurückzuführen.

Nachts tritt zeitweise eine Inversion zwischen Rastelboden und Hungerburg auf, die Inversion zwischen Hungerburg und Olympischem Dorf löst sich erst nach 10 Uhr auf.

Ähnlich sind die Verhältnisse bei Südwestlagen, wo die Amplitude im Olympischen Dorf bei 12 °C liegt und die starke Tageserwärmung diese Station von den übrigen unterscheidet. Bis ca. 9 Uhr treten stabile Verhältnisse zwischen Hungerburg und Olympischem Dorf, bis 11 Uhr zwischen Rastelboden und Hungerburg auf.

Bei Westlagen ist der Tagesgang mit 5 °C Amplitude im Olympischen Dorf wesentlich schwächer ausgeprägt; die Temperaturverläufe an allen Stationen liegen tagsüber relativ parallel; nachts treten isotherme Verhältnisse zwischen Rastelboden und Hungerburg auf.

Bei Nordwestlagen und Nordlagen werden keine stabilen Ausbreitungsbedingungen in Talbodennähe beobachtet. Nordwestlagen zeigen mäßig ausgeprägte Tagesgänge (Amplitude ca. 5 °C im Olympischen Dorf, 3 Grad am Hafelekar), Nordlagen weisen sich dagegen an den Stationen unterhalb des Rastelbodens durch weitgehendes Fehlen eines Tagesganges aus, während am Hafelekar Amplituden von 3 °C auftreten.

Insgesamt lassen sich folgende allgemeine Charakteristika feststellen:

- Zwischen Hungerburg und Rastelboden zeichnet sich bei allen Wetterlagen - ausgenommen Tage mit über 10 h Sonnenscheindauer - trockenstabile Temperaturschichtung ab.
- Zwischen Hungerburg und Rastelboden tritt an Tagen mit über 10 h Sonnenscheindauer im Mittel trockenlabile Temperaturschichtung auf. An Tagen mit mehr als 10 h Sonnenscheindauer ist die Temperaturdifferenz zwischen Olympischem Dorf und Hungerburg am geringsten, ansonsten zwischen Hungerburg und Rastelboden.
- Trockenlabile Schichtung tritt nachmittags zwischen Olympischem Dorf und Hungerburg an Tagen mit Sonnenscheindauern unter 10 h, bei Gradientschwachen, Variablen, Nordost-, Ost-, Süd-, Südwest-, Nordwest- und Nordlagen ab, wobei im Mittel der Temperaturgradient zwischen Olympischem Dorf und Hungerburg bei Südwestlagen am größten ist, was auf Föhneffekte zurückführbar ist.
- Trockenlabile Temperaturschichtung zwischen Rastelboden und Hafelekar tritt im Mittel an Tagen mit unter 5 h Sonnenscheindauer, zeitweise bei Variablen Lagen, Südost-, Süd-, Südwest- und Nordwestlagen auf.

8.3. Ozon und Stickoxide

An Tagen mit Sonnenscheindauer über 10 h (Abb. 69) weist die Ozonkonzentration an den Meßstellen Reichenau und Enzianhütte einen ausgeprägten Tagesgang mit Maximum um 0.12 mg/m^3 am frühen Nachmittag auf, das an die gleichzeitige Konzentration an der Seegrube heranreicht. Die Tagesgänge in Reichenau und der Enzianhütte sind durch vertikale Mischungsvorgänge, photochemische Ozonbildung und Ozonabbau durch NO sowie trockene Deposition (heterogene Reaktionen) bedingt; die nächtlichen Abbauprozesse spielen an der Enzianhütte eine offensichtlich wesentlich geringere Rolle, sodaß hier nachts Konzentrationen zwischen 0.04 und 0.08 mg/m^3 auftreten.

Im Mittel über Tage mit Sonnenscheindauer über 10 h tritt an der Enzianhütte eine Konzentrationserhöhung von 0 bis 24 Uhr von ca. 0.02 mg/m^3 auf. Das Minimum der Ozonkonzentration wird morgens um 6 Uhr erreicht, parallel zu jenem in Reichenau, und ist eine Folge der morgendlichen NO-Emissionen. Etwas später, um 8 Uhr, erfolgt an der Seegrube ein Einbruch der Ozonkonzentration, der durch den Transport ozonarmer Luft mit dem einsetzenden Hangaufwind bewirkt wird. Anschließend erfolgt ein Konzentrationsanstieg über die Werte der Nacht, wobei Austauschprozesse und photochemische Ozonbildung zusammenwirken. Da die Ozonwerte am Nachmittag an allen drei Meßstellen ungefähr gleich sind, kann angenommen werden, daß die Atmosphäre über dem Inntal homogen durchmischt ist.

Die NO-Konzentration in Reichenau zeigt ein Maximum (um 0.06 mg/m^3) um 7 Uhr, das durch die morgendliche Verkehrsspitze während stabiler Ausbreitungsverhältnisse bedingt ist; ein analoges Maximum während der abendlichen Verkehrsspitze fehlt,

da abends labile Ausbreitungsbedingungen vorherrschen. Es tritt lediglich in der Nacht ein Anstieg der NO-Konzentration bis ca. 0.02 mg/m^3 auf. Die NO_2 -Konzentration weist ihre Maxima zur gleichen Zeit wie die NO-Konzentration auf, allerdings liegen die Spitzenwerte sowohl morgens als auch nachts um 0.04 mg/m^3 .

Die NO-Konzentration an der Seegrube zeigt praktisch keinen Tagesgang und liegt meist nahe der Nachweisgrenze. Die NO_2 -Konzentration weist ein Maximum zwischen 10 und 12 Uhr auf, das auf NO_2 -Transport mit dem Hangwind aus dem Tal zurückzuführen ist.

An Tagen mit Sonnenscheindauern zwischen 5 und 10 h sehen die Ozonkonzentrationsverläufe ähnlich aus, wenngleich mit viel geringeren Amplituden. Die nachmittäglichen maximalen Konzentrationen in Reichenau und der Enzianhütte bleiben mit 0.060 bzw. 0.073 mg/m^3 deutlich unter jenen der Seegrube (0.099 mg/m^3), wo das vormittägliche Minimum nur sehr schwach auftritt.

Die NO-Werte in Reichenau erreichen - als Folge von verminderter vertikalem Austausch gegenüber Tagen mit Sonnenscheindauer über 10 h - morgens einen Spitzenwert um 0.140 mg/m^3 , abends um 0.125 mg/m^3 . Die NO_2 -Konzentration in Reichenau weist gleichzeitige Maxima auf, die aber nur um 0.05 mg/m^3 liegen.

Der NO_2 -Konzentrationsanstieg an der Seegrube ist geringer ausgeprägt als an sonnenscheinreicheren Tagen.

An Tagen mit Sonnenscheindauer unter 5 h (Abb. 71) zeigt die Ozonkonzentration an der Seegrube und der Enzianhütte praktisch keinen Tagesgang (Werte liegen um 0.08 bzw. 0.04 mg/m^3), in Reichenau werden nachmittags maximal 0.03 mg/m^3 erreicht.

Die Spitzen der NO-Konzentration in Reichenau sind mit Werten um 0.08 mg/m^3 niedriger als an Tagen mit Sonnenscheindauer zwischen 5 und 10 h, da Tage mit Sonnenscheindauer unter 5 h häufiger von Kaltlufteinbrüchen und windiger Witterung charakterisiert sind und diese Verhältnisse die Schadstoffverdünnung begünstigen. Der NO_2 -Konzentrationsverlauf ist relativ flach mit Maxima um 0.04 mg/m^3 morgens und 0.05 mg/m^3 abends.

An der Seegrube wird nur ein geringfügiger NO_2 -Konzentrationsanstieg beobachtet.

Vergleicht man die mittleren Konzentrationsverläufe für Gradientenschwache Lagen (Abb. 72) mit jenen - durchwegs ähnlichen - an Tagen mit Sonnenscheindauer über 10 h, so wird klar, daß Tage mit Gradientenschwacher Lage nicht notwendigerweise sonniges Wetter und gute vertikale Durchmischung aufweisen. Zwar treten bei Gradientenschwachen Lagen ausgeprägte Tagesgänge der Ozonkonzentration an der Enzianhütte und in Reichenau auf, die nachmittäglichen Maxima (0.083 bzw. 0.072 mg/m^3) bleiben aber deutlich hinter dem gleichzeitigen Wert an der Seegrube (0.109 mg/m^3) zurück.

Die NO-Konzentration in Reichenau zeigt hohe Werte morgens (0.130 mg/m^3) und abends (0.123 mg/m^3), wobei sich letztere weit in die Nacht hinein halten.

Die NO_2 -Konzentration weist Maxima morgens und am späten Abend auf.
An der Seegrube erfolgt mittags ein Anstieg der NO - und NO_2 -Konzentration.

Variable Lagen zeigen praktisch keinen Tagesgang der Ozonkonzentration an der Seegrube und einen relativ geringen und unregelmäßigen an der Enzianhütte.

Die NO -Konzentration in Reichenau erreicht morgens 0.09 mg/m^3 , am späten Abend 0.062 mg/m^3 . Dies deutet auf im Mittel mäßig stabile Ausbreitungsbedingungen nachts und morgens hin.
Die Stickoxidkonzentration an der Seegrube zeigt fast keinen Tagesgang.

Hohe NO -Werte in Reichenau kennzeichnen Nordostlagen (Abb. 73), wo morgens 0.120 mg/m^3 , abends 0.130 mg/m^3 erreicht werden und nachmittags nur ein zögernder Konzentrationsabfall stattfindet. Die NO_2 -Konzentration pendelt zwischen 0.040 und 0.055 mg/m^3 .

Die Ozonkonzentration an der Seegrube liegt zwischen 0.06 und 0.08 mg/m^3 , an der Enzianhütte und in Reichenau treten außerordentlich niedrige Konzentrationen auf (maximal 0.020 bzw. 0.032 mg/m^3). Auffallend ist der mittägliche NO_2 -Konzentrationsanstieg an der Seegrube.

Ostlagen (Abb. 74) zeigen demgegenüber sehr niedrige NO -Konzentrationen in Reichenau; es werden morgens maximal 0.040 , abends 0.028 mg/m^3 erreicht; die NO_2 -Konzentration liegt zwischen 0.020 und 0.040 mg/m^3 .

Die Ozonkonzentrationsverläufe an allen drei Stationen ähneln jenen an mäßig sonnenscheinreichen Tagen.

Bei Südostlagen (Abb. 75) treten morgens und in den frühen Nachtstunden hohe NO -Konzentrationen (Maxima bei 0.136 bzw. 0.118 mg/m^3) auf.

Die Ozonkonzentration an der Seegrube und der Enzianhütte zeigt kaum einen Tagesgang, in Reichenau tritt ein nachmittägliches Maximum auf, das den Wert der Enzianhütte erreicht.

Südlagen (Abb. 76), die häufig mit Föhn verbunden sind, zeigen relativ hohe Ozonkonzentrationen an allen Stationen, wobei die Tagesgänge an der Enzianhütte und in Reichenau sich vor allem durch ein nur wenig ausgeprägtes morgendliches Minimum auszeichnen und die nächtlichen hohen Konzentrationen an der Enzianhütte auffallen.

Die NO -Konzentration in Reichenau erreicht morgens maximal 0.092 mg/m^3 , abends 0.055 mg/m^3 . Die NO_2 -Konzentration in Reichenau ist mit Werten zwischen 0.015 und 0.033 mg/m^3 ausgesprochen niedrig.

Bei Südwestlagen (Abb. 77), die ebenfalls häufig Föhn aufweisen, zeigen die Ozonkonzentrationen ähnliche Verläufe wie bei Südlagen, wenngleich auf niedrigerem Niveau.

Die NO -Werte in Reichenau erreichen morgens nur maximal 0.072

mg/m³, abends 0.071 mg/m³, die NO₂-Werte morgens 0.037 mg/m³, abends 0.047 mg/m³.

Westlagen (Abb. 78) sind offenkundig mit stabilen Ausbreitungsbedingungen in Talbodennähe verbunden, wie die hohen NO-Spitzenwerte in Reichenau (0.114 mg/m³ morgens, 0.142 mg/m³ abends) belegen.

Die Ozonkonzentration an der Seegrube und der Enzianhütte weist fast keinen Tagesgang auf, in Reichenau tritt ein nachmittägliches Maximum auf.

Relativ hohe Ozonkonzentrationen an allen Stationen und ausgeprägte Tagesgänge an der Enzianhütte und in Reichenau kennzeichnen **Nordwestlagen** (Abb. 79). An der Enzianhütte werden nachmittags 0.068 mg/m³ erreicht, an der Enzianhütte nachmittags 0.076 mg/m³, an der Seegrube 0.104 mg/m³ am späten Abend. Die NO-Konzentration in Reichenau weist morgens ein Maximum (0.063 mg/m³) auf, am nachmittag oder nachts fehlt ein solches fast völlig.

Bei **Nordlagen** (Abb. 80) liegen die Ozonkonzentrationen relativ niedrig und zeigen nur schwache Tagesgänge, wobei an der Seegrube ein langgezogenes Minimum mittags auftritt. Die NO-Konzentration erreicht in Reichenau morgens ein Maximum von 0.090 mg/m³, ein abendliches Maximum fehlt weitgehend.

Die O₃-Werte an der Seegrube zeigen im Mittel über den gesamten Beobachtungszeitraum einen gering ausgeprägten Tagesgang mit einem Minimum vormittags von 0.086 mg/m³, einem Maximum nachmittags von 0.096 mg/m³.

Deutlich ausgeprägt dagegen ist der mittlere Tagesgang in Reichenau mit einem morgendlichen Minimum von 0.008 mg/m³ und einem nachmittäglichen Maximum von 0.055 mg/m³; vertikaler Austausch, photochemische Ozonbildung und Ozonabbau durch NO-Emission und heterogene Reaktionen sind die Einflußgrößen, die diesen Verlauf bestimmen.

Demgegenüber spielen derartige Prozesse mit zunehmender Höhe eine geringere Rolle; das vormittägliche Minimum an der Seegrube entsteht durch Transport ozonarmer Luft vom Talboden her.

Der Tagesgang an der Meßstelle Reichenau ist primär vom Verlauf der NO-Emission und von den Ausbreitungsbedingungen bedingt. Den morgendlichen und abendlichen Verkehrsspitzen entsprechen Maxima der mittleren NO-Belastung um 8 und um 18 Uhr; die hohe NO-Konzentration in der ersten Nachthälfte sowie morgens ist eine Folge der stabilen Ausbreitungsbedingungen.

Die NO₂-Konzentration in Reichenau weist einen ähnlichen Tagesgang mit allerdings deutlich geringerer Amplitude auf.

Der mittlere Tagesgang der NO- und NO₂-Konzentration an der Seegrube zeigt ein Maximum mittags und am frühen Nachmittag, das durch Transport von belasteter Luft vom Talboden her mit der Hangwindzirkulation bedingt ist.

Tabelle 14 gibt für Ozon für die einzelnen Wetterlagenklassen folgende Kenngrößen an: HMWmin: Mittlerer morgendlicher minimaler HMW (Zeitraum 6.00 - 12.00 Uhr), HMWmax: Mittlerer nachmittäglicher maximaler HMW (Zeitraum 12.30 - 18.00 Uhr), HMW1: Mittlerer Meßwert (HMW) um 1 Uhr und HMW24: Mittlerer Meßwert (HMW) um 24 Uhr.

Die Werte geben einen Überblick, bei welchen Wetterlagen welche maximalen Ozonkonzentrationen, welche Amplituden im Tagesgang und welche Trends der Ozonkonzentration im Tagesverlauf festzustellen sind.

Tabelle 14: Kenngrößen für Ozon für die einzelnen Wetterlagenklassen: Mittlerer morgendlicher minimaler HMW (HMWmin), mittlerer nachmittäglicher maximaler HMW (HMWmax), mittlerer HMW um 1 Uhr (HMW1) und mittlerer HMW um 24 Uhr (HMW24) in mg/m^3 .

		HMWmin	HMWmax	HMW1	HMW24
Dauer > 10 h	Seegrube	0.092	0.132	0.113	0.123
	Enzianh.	0.042	0.123	0.057	0.077
	Reichenau	0.005	0.116	0.016	0.023
Dauer 5 - 10 h	Seegrube	0.089	0.099	0.095	0.097
	Enzianh.	0.042	0.073	0.044	0.052
	Reichenau	0.008	0.060	0.014	0.015
Dauer < 5 h	Seegrube	0.077	0.082	0.085	0.082
	Enzianh.	0.038	0.043	0.040	0.034
	Reichenau	0.007	0.031	0.013	0.009
Gradientenschw.	Seegrube	0.092	0.109	0.098	0.106
	Enzianh.	0.039	0.083	0.044	0.053
	Reichenau	0.005	0.072	0.012	0.012
Variable L.	Seegrube	0.092	0.095	0.097	0.091
	Enzianh.	0.044	0.056	0.048	0.037
	Reichenau	0.011	0.047	0.022	0.014
Nordostlagen	Seegrube	0.063	0.077	0.077	0.073
	Enzianh.	0.012	0.020	0.013	0.006
	Reichenau	0.005	0.032	0.007	0.008
Ostlagen	Seegrube	0.066	0.084	0.083	0.078
	Enzianh.	0.017	0.062	0.033	0.028
	Reichenau	0.007	0.049	0.012	0.009
Südostlagen	Seegrube	0.080	0.093	0.079	0.093
	Enzianh.	0.032	0.046	0.015	0.042
	Reichenau	0.003	0.040	0.005	0.016
Südlagen	Seegrube	0.093	0.103	0.097	0.099
	Enzianh.	0.065	0.083	0.072	0.070
	Reichenau	0.023	0.073	0.025	0.031

		HMWmin	HMWmax	HMW1	HMW24
Südwestlagen	Seegrube	0.088	0.093	0.091	0.093
	Enzianh.	0.049	0.067	0.046	0.062
	Reichenau	0.007	0.054	0.009	0.035
Westlagen	Seegrube	0.071	0.080	0.080	0.080
	Enzianh.	0.035	0.043	0.038	0.040
	Reichenau	0.007	0.035	0.016	0.008
Nordwestlagen	Seegrube	0.083	0.104	0.097	0.098
	Enzianh.	0.027	0.076	0.044	0.048
	Reichenau	0.007	0.068	0.019	0.032
Nordlagen	Seegrube	0.071	0.080	0.091	0.080
	Enzianh.	0.028	0.045	0.028	0.033
	Reichenau	0.008	0.035	0.017	0.009

Abb. 84 zeigt die täglichen maximalen HMW an den drei Ozonmeßstellen, gemittelt jeweils für die einzelnen Wetterlagen. Es bedeutet: D10 Tage mit Sonnenscheindauer > 10 h, D5 Tage mit Sonnenscheindauer 5 - 10 h, D0 Tage mit Sonnenscheindauer < 5 h, G Gradientenschwache Lage, V Variable Lage, NE Nordostlage, E Ostlage, SE Südostlage, S Südlage, SW Südwestlage, W Westlage, NW Nordwestlage und N Nordlage.

Tabelle 14 und Abb. 84 zeigen, daß generell die maximalen Ozonkonzentrationen mit der Seehöhe zunehmen; eine Ausnahme stellen Nordostlagen dar, wo in Reichenau höhere Ozonwerte als an der Enzianhütte erreicht werden.

Am stärksten ist der vertikale Gradient der maximalen Ozonkonzentration an Tagen mit Sonnenscheindauer < 5 h, bei Variablen Lagen, Nordostlagen, Südostlagen und Westlagen.

Zu einer Zunahme der Ozonkonzentration im Tagesverlauf um mehr als 0.01 mg/m³ kommt es an Tagen mit Sonnenscheindauer über 10 h an den Stationen Seegrube und Enzianhütte, bei Südostlagen an allen Stationen, bei Südwestlagen an den Stationen Enzianhütte und Reichenau sowie bei Nordwestlagen in Reichenau.

Tabelle 15 gibt für die NO- und NO₂-Konzentration in Reichenau den maximalen morgendlichen HMW (Zeitraum 5.00 - 10.00 Uhr), den minimalen nachmittäglichen HMW (Zeitraum 10.30 - 16.00 Uhr) und den maximalen abendlichen HMW (Zeitraum 16.30 - 22.00 Uhr) an.

Tabelle 15: NO- und NO₂-Konzentration in Reichenau: Maximaler morgendlicher HMW (HMWm), minimaler nachmittäglicher HMW (HMWn), maximaler abendlicher HMW (HMWa) in mg/m³ für einzelne Wetterlagen.

		HMWm	HMWn	HMWa
Dauer > 10 h	NO	0.066	0.008	0.022
	NO ₂	0.039	0.013	0.046
Dauer 5 - 10 h	NO	0.142	0.026	0.130
	NO ₂	0.048	0.032	0.054
Dauer < 5 h	NO	0.084	0.037	0.078
	NO ₂	0.040	0.036	0.051
Gradientenschw. Lage	NO	0.131	0.024	0.123
	NO ₂	0.049	0.032	0.055
Variable Lage	NO	0.092	0.027	0.073
	NO ₂	0.043	0.034	0.046
Nordostlage	NO	0.119	0.043	0.131
	NO ₂	0.053	0.042	0.056
Ostlage	NO	0.040	0.013	0.030
	NO ₂	0.034	0.020	0.040
Südostlage	NO	0.137	0.023	0.117
	NO ₂	0.049	0.033	0.057
Südlage	NO	0.092	0.015	0.037
	NO ₂	0.036	0.017	0.034
Südwestlage	NO	0.072	0.026	0.071
	NO ₂	0.037	0.029	0.046
Westlage	NO	0.113	0.051	0.141
	NO ₂	0.040	0.037	0.057
Nordwestlage	NO	0.064	0.011	0.023
	NO ₂	0.038	0.019	0.042
Nordlage	NO	0.089	0.024	0.048
	NO ₂	0.045	0.033	0.048

Während die Tagesgänge der NO-Konzentration primär in Abhängigkeit von der thermischen Stabilität der Atmosphäre stark variieren, liegt die NO₂-Belastung relativ gleichmäßig in einem Bereich meist zwischen 0.030 und 0.050 mg/m³. Bei der NO₂-Belastung handelt es sich um relativ großflächig (im weiteren Stadtgebiet) auftretende Belastung, während die NO-Belastung primär durch die in der unmittelbaren Nähe stattfindenden KFZ-Emissionen hervorgerufen wird und die örtliche Verdünnung des NO eine wesentliche Rolle spielt.

Durch starke Stickoxidanreicherung nachts und vormittags zeichnen sich im Mittel Tage mit Sonnenscheindauer zwischen 5 und 10 Stunden, Gradientenschwache Lagen, Nordostlagen, Südostlagen und

Westlagen aus; mäßigerhöhte Stickoxidbelastungen treten bei Tagen mit Sonnenscheindauer unter 5 h, Variablen Lagen, Südlagen und Südwestlagen auf; geringe Stickoxidbelastungen, die insbesondere abends auf eine ungehinderte Schadstoffausbreitung schließen lassen, charakterisieren Tage mit Sonnenscheindauer über 10 h, Nordwestlagen und Nordlagen.

Jene Wetterlagen, bei denen der Verlauf der NO-Konzentration auf besonders häufige stabile, austauscharme Situationen schließen läßt, weisen die größten Unterschiede in der Ozonbelastung zwischen Talboden und Seegrube auf.

9. Untersuchung einzelner Episoden

Im folgenden wird eine Reihe mehrtätiger Episoden betrachtet, an denen die Ozonwerte an allen drei Stationen besonders hohe Werte oder starke Schwankungen aufwiesen.

Bei den Episoden 21. - 23.7. 1990 (Abs. 9.1) und 28. - 30.7. 1990 (Abs. 9.2) handelt es sich um Zeiträume, während derer an sonnigen, windschwachen Tagen sich das Talwindsystem im Inntal gut ausbildet und sich bei guter vertikaler Durchmischung hohe Ozonkonzentrationen einstellen.

Die Episoden 4. - 8.8. 1990 und 29.8. - 1.9. 1990 umfassen zunächst Schönwettertage mit ungestörtem Talwind, danach kommt es zu einem deutlichen Kaltlufteinbruch.

Die Episode 22. - 26.8. 1990 umfaßt einen Zeitraum mit Kaltluftadvektion sowie anschließend mehrere Schönwettertage.

Die Episode 24. - 26.9. 1990 umfaßt wechselhaftes Wetter mit immernoch hohen Ozonwerten.

Die Zeiträume 22. - 24.10., 7. - 10.12. 1990 und 8. - 11.1. 1991 stellen Föhnsituationen dar.

Beim Zeitraum 16. - 19.11. 1990 handelt es sich um eine Nordföhn-Situation.

Anhand der Episode vom 21. - 23.7. 1990 wird eine Darstellung der meteorologischen Zusammenhänge gegeben, welche an vergleichbaren sonnigen, windschwachen Tagen die Ozonverteilung über dem Inntal steuern.

Es wird jeweils ein kurzer Überblick über die Großwetterlage gegeben, danach sind die Wettermeldungen der meteorologischen Stationen Innsbruck Flughafen und Patscherkofel angegeben.

Zur Beurteilung des großräumigen Luftmassentransports werden die Trajektorien mit dem Zielpunkt Sonnblick im Niveau 850 hPa diskutiert.

Die Abkürzungen bedeuten:

N	Bedeckungsgrad in Achtel
WR	Windrichtung in Grad
WG	Windgeschwindigkeit in m/s
T	Lufttemperatur in °C
RF	Relative Feuchte in %
RR	Niederschlagsmenge der letzten 12 Stunden in mm bzw. Neuschneemenge in cm (S kennzeichnet Schnee)
uml	Umlaufender Wind (keine Richtung angebbbar)
C	Calme (Windstille)
uns	Himmel unsichtbar (Nebel, Nacht)

Als "stabile Schichtung", "stabile Ausbreitungsbedingungen" bzw. "stabile atmosphärische Verhältnisse" werden Verhältnisse mit einer vertikalen Temperaturabnahme von weniger als 0.7 °C pro 100 m (dies entspricht dem trockenadiabatischen Temperaturgradienten) bezeichnet; unter diesen Bedingungen wird vertikaler Luftmassenaustausch zufolge Turbulenz erschwert oder unterbunden, insbesondere, wenn die Temperatur mit der Höhe konstant verläuft (Isothermie) oder mit der Höhe zunimmt (Inversion). Analog werden als "labile Schichtung" Verhältnisse mit einer vertikalen Temperaturabnahme von mehr als 0.7 °C pro 100 m bezeichnet, bei welcher turbulenter vertikaler Luftmassenaustausch leicht möglich ist. Ein vertikaler Temperaturgradient von 0.7 °C pro 100 m wird als "neutrale Schichtung" bezeichnet.

Als "Luftmasse" wird ein Luftvolumen mit homogenen Eigenschaften, insbesondere, was die Schadstoffbelastung betrifft, bezeichnet; eine "Luftmasse" in diesem Sinn kann z.B. eine nur 100 m mächtige Schicht am Talboden sein, oder die Atmosphäre über dem Inntal vom Tal bis in Gipfelniveau.

9.1 Episode 21.7. bis 23.7. 1990

Zwischen Samstag, 21.7., und Montag, 23.7., wurden bei warmem, wolkenarmem Wetter hohe Ozonkonzentrationen bis 0.19 mg/m³ an der Seegrube erreicht. Es handelte sich um eine Schönwetterperiode mit ungestörter Talwindzirkulation im Inntal. Für diesen Zeitraum liegen keine meteorologischen Meßdaten vom Südhang der Nordkette vor.

Zuordnung zu Wetterlagenklassen:

	Steinacker	Sonnenscheindauer
21.7.	Gradientschwach	> 10 h
22.7.	Gradientschwach	> 10 h
23.7.	Variabel	> 10 h

Wetterlage

Während des Zeitraums vom 18. - 30.7. 1990 herrschte in Mitteleuropa meist niederschlagarmes Hochdruckwetter mit ungewöhnlich hohen Sonnenscheindauern. Es kam kaum zu Quellbewölkung und keinen konvektiven Niederschlägen; die relative Feuchte lag deutlich unter dem Durchschnitt.

Vom 21. bis 23.7. lag der Kern des Hochdruckgebiets über den Britischen Inseln, an seiner Ostseite kam es zu Advektion kühler Luft von Norden, die den Alpenraum erst am 23.7. erreichte. Am 21.7. traten in Österreich schwache, meist nördliche bis westliche Winde auf. Am 22.7. wurde das Hochdruckgebiet im Norden von einer kaum wetterwirksamen Frontalzone gestreift, bis zum 23.7. drehte die großräumige Strömung - bei anhaltendem Hochdruckeinfluß - auf West, das Wetter blieb windschwach.

		N	WR	WG	T	RF	RR
Innsbruck							
21.7.	6.00	0	260	1.7	14	76	
	12.00	1	uml	1.9	27	35	
	18.00	1	110	4.2	27	36	
22.7.	6.00	0	260	1.7	16	75	
	12.00	2	120	3.1	28	38	
	18.00	3	100	4.2	26	40	
23.7.	6.00	1	270	1.7	16	80	
	12.00	3	100	5.3	26	44	
	18.00	2	90	4.2	24	42	

Patscherkofel

21.7.	6.00	0	300	1.9	11	50	
	12.00	2	330	3.6	15	34	
	18.00	2	340	5.3	15	36	
22.7.	6.00	1	320	2.5	11	75	
	12.00	3	80	1.9	15	41	
	18.00	3	350	7.2	14	60	
23.7.	6.00	2	310	3.1	11	76	
	12.00	2	310	4.2	16	58	
	18.00	2	340	4.7	12	80	

Trajektorien

Die Trajektorien im 850 hPa-Niveau erreichen den Sonnblick im Zeitraum vom 21.7., 0 Uhr bis 23.7., 12 Uhr bei mäßiger Geschwindigkeit von Nordwesten; anschließend nimmt die Verlangsamungsgeschwindigkeit etwas zu. Die mit diesen Trajektorien herangeführten Luftpakete lagen vom 21.7. 0 Uhr bis 23.7. 12 Uhr 48 h vor Eintreffen am Zielpunkt über Hessen, für den 24.7. 0 Uhr über dem Niederrhein.

Windverhältnisse

Die Windverhältnisse über dem Inntal, gemessen mit dem SODAR, sind in Abb. 85 bis 88 dargestellt.

An allen drei Tagen herrschte wolkenarmes Wetter, die großräumige Strömung war zumeist Nordwest bis Nord, die aber den Wind im Inntal nicht beeinflusste. Windrichtung und Windgeschwindigkeit über dem Inntal zeigen einen ausgeprägten Tagesgang.

Zwischen 21 bzw. 22 Uhr und 9 bzw. 11 Uhr sind die Windgeschwindigkeiten in allen Höhen sehr gering (1 bis 3 m/s), die Windrichtung ist unbeständig. In den unteren 100 m weht der Wind vorwiegend aus Süd bis Südost, in höheren Niveaus vorwiegend aus West.

Der beobachtete Südwind dürfte eine Auswirkung der Hangwindzirkulation der südlichen, relativ steilen Talschulter sein; eine schlüssige Erklärung der östlichen Komponente in den unteren 100 m kann nicht gegeben werden, doch entspricht sie Beobachtungen des Bodenwindes im Bereich westlich von Hall i.T. Der Westwind in höheren Niveaus gehört der Talwindzirkulation (Talauswind) des Inntales an.

Vom späten Vormittag bis abends herrscht Ostwind mit einer außergewöhnlichen vertikalen Homogenität in allen Niveaus, wobei die Windgeschwindigkeit zunächst monoton bis zu einem Maximum zwischen 16 und 18 Uhr zu-, anschließend kontinuierlich abnimmt und zeitweise eine Geschwindigkeitszunahme mit der Höhe festzustellen ist. Die maximale Geschwindigkeit liegt in 50 m zwischen 7 und 10 m/s, in 150 m zwischen 10 und 15 m/s; in größerer Höhe fehlen am späten Nachmittag teilweise die SODAR-Daten, weil aufgrund sehr homogener Durchmischung der Atmosphäre die Echointensität sehr gering ist.

Diese Ostströmung ist Teil der Talwindzirkulation (Taleinwind) im Inntal, sie entspricht den am Flughafen Innsbruck gemessenen Verhältnissen.

Am späten Abend geht der Ostwind abrupt bei sehr geringer Windgeschwindigkeit in nächtliche Windverhältnisse über, wobei an allen drei Tagen der Wind von Süd in 50 m auf Nordwest in 200 m dreht.

Abb. 89 bis 91 zeigen die Vertikalgeschwindigkeit in Höhen von 50 bis 250 m über Boden, gemessen mit dem SODAR. Für höhere Niveaus sind die Meßwerte der Vertikalgeschwindigkeit aufgrund der geringen Zahl der Echos unsicher.

Die Vertikalgeschwindigkeit zeigt ähnlich deutliche tageszeitliche Unterschiede wie der horizontale Wind.

Nachts, ca. zwischen 21 und 9 Uhr, herrscht in allen dargestellten Niveaus leichtes Absinken mit Geschwindigkeiten zwischen 0 und 30 cm/s vor.

Tagsüber schwankt die Vertikalgeschwindigkeit sehr stark, wobei es vormittags zeitweise zu starkem Aufsteigen kommt, nachmittags überwiegt deutlich die Absinkbewegung mit Geschwindigkeiten vornehmlich zwischen 30 und 60 cm/s. In höheren Niveaus sind die Vertikalgeschwindigkeiten meist höher, wobei Aufsteigbewegungen hier häufiger sind als in tieferen Niveaus.

Auffallend ist, daß es am 23.7. zwischen 7 und 9 Uhr in 50 m zu

starkem Absinken kommt, in höheren Niveaus dagegen nicht. An diesem Tag sind auch die Absinkbewegungen am Nachmittag in 50 m stärker als in den höheren Niveaus.

Das leichte nächtliche Absinken entspricht den allgemeinen Verhältnissen in einem Hochdruckgebiet bei Fehlen lokaler Turbulenz bzw. Konvektion. Tagsüber bildet sich in der Verteilung der Vertikalgeschwindigkeit eine starke Turbulenz ab, die um ca. 9 Uhr einsetzt, wobei das überwiegende Absinken die aufwärtsgerichtete Strömung der Hangwindzirkulation kompensiert.

Immissionsgeschehen

Der Verlauf der Konzentration von O_3 , NO und NO_2 an den Stationen Reichenau, Enzianhütte und Seegrube ist in Abb. 92 bis 94 dargestellt.

Die NO-Konzentration in Reichenau wird primär vom Verlauf der NO-Emission und von den atmosphärischen Ausbreitungsbedingungen, d.h. der Mischungshöhe, gesteuert, wobei die morgendliche Emissionsspitze wesentlich deutlicher in Erscheinung tritt als die abendliche, was auf die gegenüber dem Morgen bessere vertikale Durchmischung am Abend zurückzuführen ist, die eine rasche Verdünnung der Abgase bewirkt. Die NO-Spitze am Morgen ist am Montag, 23.7., am ausgeprägtesten (bis 0.088 mg/m^3), am Sonntag, 22.7., kaum vorhanden.

Die NO_2 -Konzentration in Reichenau ist sowohl von der NO-Emission beeinflusst, weist aber daneben einen deutlichen Tagesgang mit erhöhten Werten nachts auf, bedingt dadurch, daß die stabilen Austauschverhältnisse in der Nacht eine Verdünnung der Schadstoffe, wie sie tagsüber bei starker vertikaler Durchmischung möglich ist, verhindern; anders als bei NO spielen auch entferntere Quellen im Stadtgebiet eine wesentliche Rolle.

Die NO-Konzentration an der Seegrube weist praktisch keinen Tagesgang auf. Die NO_2 -Konzentration zeigt ein leichtes Maximum über Mittag, das auf NO_2 -Transport aus dem Tal zurückzuführen ist.

Die O_3 -Konzentration an den drei Stationen Reichenau, Enzianhütte und Seegrube zeigt deutlich differenzierte Verläufe. Während an der Seegrube nur geringe Tagesschwankungen auftreten und die Werte nie unter 0.10 mg/m^3 sinken, liegen die Konzentrationen an der Enzianhütte nachts um 0.06 mg/m^3 , in Reichenau um 0.03 mg/m^3 , wobei tagsüber die Werte aller drei Station sehr ähnlich sind.

Die drei Stationen weisen in Hinblick auf das Ausmaß der lokalen trockenen Deposition und des Ozonabbaus durch NO sehr verschiedene Charakteristika auf.

Die geringen Tagesgänge der O_3 -Konzentration an der Seegrube deuten auf geringe Wirksamkeit des Ozonabbaus durch heterogene Reaktionen (Deposition) und Reaktion mit NO hin; dies ist bedingt durch niedrige Stickoxidkonzentrationen in dieser Höhe,

geringe trockene Deposition an der felsigen Geländeoberfläche und stets starken - turbulenten und advektiven - Luftmassenaustausch mit der freien Atmosphäre.

Demgegenüber ist in der Umgebung der Meßstelle Enzianhütte, welche im Umkreis ab einigen 10 bis 100 m mit Hochwald bedeckt ist, mit starker trockener Deposition im Wald zu rechnen. Bezüglich des Angebots an Stickoxiden, das sowohl die photochemische Ozonbildung als auch den Ozonabbau durch NO bedingt, nimmt die Enzianhütte eine Mittelstellung zwischen Seegrube und Reichenau ein, wobei nachts bei Inversionsobergrenzen unterhalb der Enzianhütte mit sehr geringen Stickoxidkonzentrationen an der Enzianhütte zu rechnen ist.

In Reichenau wirken sowohl mäßig starke trockene Deposition an Gebäuden und Bäumen als auch - zeitweise - starker Ozonabbau durch NO. Hohe nächtliche NO-Werte führen zumeist zu einem völligen Ozonabbau unterhalb der nächtlichen Bodeninversion.

Die nachmittags nahezu identen Ozon- und Stickoxidkonzentrationen an der Seegrube und in Reichenau deuten auf sehr gleichmäßige Durchmischung der Talatmosphäre hin; zeitweise sind die NO₂-Konzentrationen in Reichenau sogar niedriger als auf der Seegrube. Daraus kann geschlossen werden, daß sich photochemische Ozonbildung gleichmäßig in der gesamten homogen durchmischten Talatmosphäre - mindest bis in Höhe der Seegrube - abspielt; auch wenn über die Verteilung der O₃-Vorläufersubstanzengruppe VOC nichts ausgesagt werden kann, ist zumindest das Angebot an NO₂ ist am Talboden nicht höher als an der Seegrube.

In den Ozonkonzentrationsverläufen der drei Stationen lassen sich grob vier Phasen unterscheiden.

- Nach dem Abklingen der tagsüber gut ausgebildeten vertikalen Durchmischung, d.h. ca. ab 20 bis 22 Uhr, sinken die O₃-Konzentrationen in Reichenau rasch ab, zeitweise, bei hoher NO-Konzentration, bis nahe null.

Interessant ist, daß an der Enzianhütte bereits ca. um 18 Uhr ein Einbruch der Ozonkonzentration erfolgt, der mit dem (lokalen) Sonnenuntergang und Wechsel vom Hangauf- zum Hangabwind einhergeht.

Dieses vermutlich lokale Phänomen kann dadurch erklärt werden, daß mit Hangabwind Luft die Meßstelle erreicht, welche in einer relativ flachen Schicht über dem Hang abfließt und im Wald einem teilweisen Ozonabbau infolge trockener Deposition ausgesetzt ist.

Demgegenüber ist das Ozongeschehen an der Enzianhütte tagsüber kaum durch direkten Transport mit dem Hangaufwind, sondern durch starke turbulente Durchmischung mit der freien Atmosphäre bedingt.

- Zwischen 7 und 10 Uhr morgens erfolgt an den Stationen Andsechsstraße und Enzianhütte ein zumeist gleichmäßiger Anstieg, bis die O_3 -Konzentration jene der Seegrube erreicht hat.

Dieser Anstieg erfolgt relativ rasch und steil während des Vormittages, lange bevor die Temperatur das Tagesmaximum erreicht, und ist mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Folge von vertikalem Luftmassenaustausch mit der Reservoirschicht oberhalb der flachen nächtlichen Mischungsschicht, weniger von lokaler photochemischer Ozonbildung, welche erst im Laufe des Tages voll wirksam wird.

Am Vormittag kommt es zu einem leichten Absinken der Ozonkonzentration an der Seegrube, das durch Transport ozonarmer Luft vom Talboden her bedingt ist. Gleichzeitig kommt es zu einem Ansteigen der NO_2 -Konzentration an der Seegrube. Dieser Luftmassentransport vom Talboden her wird vermutlich durch den Talaufwind bewirkt, da er noch vor dem Einsetzen stärkerer Turbulenz ab 9 Uhr erfolgt.

- Anschließend erfolgt i.allg. an allen drei Stationen bei fast identen Ozonwerten ein weiterer Konzentrationsanstieg - am 21.7. bis 13 Uhr, am 22.7. bis 17 Uhr; am 23.7. dagegen kaum. Die nahezu identen Ozonkonzentrationen an allen drei Meßstationen deuten darauf hin, daß sie in der selben homogen durchmischten Luftmasse liegen; dies ist eine Folge der starken Konvektion über dem Tal. Die photochemische Ozonbildung spielt sich während dieses Zeitraums in der gesamten Atmosphäre über dem Inntal bis in Höhe der Seegrube ab. Örtlich unterschiedliche Depositionsprozesse spielen während dieser Tageszeit an keiner Meßstelle eine Rolle, sie werden durch den wesentlich rascheren Luftmassenaustausch mit der freien Atmosphäre sofort kompensiert.
- Bis zum Abend bleiben die Konzentrationen an allen drei Stationen fast ident, an der Enzianhütte erfolgt ca. um 18 Uhr ein rascher Abfall der O_3 -Belastung, in Reichenau nach 20 Uhr.

Die O_3 -Konzentration an der Seegrube zeigt häufig nächtliche Konzentrationsanstiege, die nicht durch photochemische Ozonbildung und auch nicht durch Luftmassenaustausch mit dem Tal bedingt sein können, so am 22.7. (Maximum 0.192 mg/m^3 um 20.30 Uhr); in der Nacht vom 22. zum 23.7. erfolgt ein nochmaliger Anstieg auf 0.196 mg/m^3 , dem am 23.7. nach 6 Uhr ein ebenso rascher Abfall folgt.

Diese vor allem nächtlichen Schwankungen der O_3 -Konzentration an der Seegrube zeigen, daß die höchsten über dem Inntal auftretenden Ozonkonzentrationen tagsüber nicht notwendigerweise an irgendeiner Meßstelle registriert werden; in der freien Atmosphäre können sich noch höhere Konzentrationen aufbauen, die bei geeigneten Windverhältnissen die Meßstelle Seegrube erreichen. Dies deutet aber darauf hin, daß sich über dem Inntal zeitweise durchaus nennenswerte Ozonkonzentrationsunter-

schiede ausbilden können, auch wenn tagsüber alle Bodenmeßstellen bis in Gipfelniveau annähernd gleiche Konzentrationen erfassen.

Welche Faktoren die starke Ozonbildung am Nachmittag des 22.7. bedingen - wohingegen bei durchaus ähnlichen meteorologischen Bedingungen am 21. und 23.7. kein derartiger Konzentrationsanstieg an allen drei Meßstellen zu beobachten war - ist unklar; möglicherweise spielte der an diesem Tag zeitweise wehende Ostwind (Patscherkofel) - gegenüber sonst wehendem Nord- bis Nordwestwind - eine Rolle. Ob die am Sonntag gegenüber anderen Tagen veränderten Emissionsverhältnisse von NO und VOC dafür von Bedeutung sind, kann nicht beurteilt werden.

9.2 Episode 28.7. bis 30.7. 1990

Am 29. und 30.7. wurden an der Meßstelle Seegrube Ozonkonzentrationen von über 0.200 mg/m^3 als MW3 gemessen; am 30.7. trat mit 0.212 mg/m^3 als HMW der Maximalwert des Jahres 1990 auf.

Wetterlagenklassifikation:

	Steinacker	Sonnenscheindauer
28.7.	Südlage	> 10 h
29.7.	Südlage	5 - 10 h
30.7.	Variabel	5 - 10 h

Wetterlage

Am 28.7. lag Mitteleuropa in einem ausgedehnten Hochdruckgebiet, wobei die großräumige Südwestströmung zu Warmluftadvektion führte; in Österreich herrschte schwacher Wind unterschiedlicher Richtung. Am Morgen des 29.7. erreichte eine Kaltfront Westösterreich, die im Tagesverlauf zu vereinzelt Schauern und Gewittern mit geringfügigem Niederschlag, nicht aber zu einer dauerhaften Wetteränderung führte. Am 30.7. lag die Front über dem südöstlichen Alpenraum, von Westen dehnte sich wieder Hochdruckeinfluß aus.

Im Gegensatz zu der zuvor untersuchten Episode vom 21. bis 23.7. handelt es sich nicht um ungestörtes Hochdruckwetter; ein schwacher Kaltlufteinbruch führt zu Gewittern am Abend des 29. und des 30.7. Diese Phänomene beeinflussen jedoch die Ozonkonzentration kaum, es kommt zwar auf den Bergen zu einem leichten Temperaturrückgang, jedoch zu keinem Einbruch der Ozonkonzentration. Vielmehr werden an diesen Tagen die höchsten O_3 -Werte des Jahres 1990 erreicht.

		N	WR	WG	T	RF	RR
Innsbruck							
28.7.	6.00	6	260	1.7	15	73	
	12.00	6	uml	1.1	29	30	
	18.00	3	80	3.6	28	38	
29.7.	6.00	1	uml	0.6	17	73	
	12.00	3	uml	2.5	30	35	
	18.00	7	180	1.1	27	43	
		Niederschläge, die den Boden nicht erreichen					
30.7.	6.00	6	uml	1.1	19	76	
	12.00	4	100	5.3	28	42	
	18.00	8	340	1.7	19	90	9
		Gewitter mit Regen					

Patscherkofel

28.7.	6.00	6	160	1.9	11	68	
	12.00	6	230	1.9	17	32	
	18.00	3	150	5.6	16	42	
29.7.	6.00	2	310	1.9	14	68	
	12.00	3	60	3.1	16	63	
	18.00	6	70	5.3	13	78	
		Gewitter während der letzten 6 Stunden					
30.7.	6.00	3	40	4.2	10	93	
	12.00	4	200	1.9	13	87	
	18.00	7	uml	1.1	10	80	13
		Gewitter während der letzten 6 Stunden					

Trajektorien

Die 850-hPa-Trajektorien für den Sonnblick erreichen am 28. und 29.7. 1990 die Station bei sehr geringer Verlagerungsgeschwindigkeit teilweise von Südwesten, teilweise von Westnordwesten.

Windverhältnisse

Die großräumige Strömung ist schwach und uneinheitlich, am Patscherkofel weht Wind aus unterschiedlichen Richtungen. Im Inntal ist die Talwindzirkulation meist gut ausgebildet.

Die mit dem SODAR gemessenen Windrichtungs- und -geschwindigkeitswerte sind in Abb. 95 bis 98 dargestellt und zeigen grundsätzlich ähnliche Verhältnisse auf wie am 21., 22., und 23.7. Abb. 99 bis 101 zeigen die Vertikalgeschwindigkeit vom 29. bis 31.7. 1990.

Nachts (ab ca. 21 Uhr) und vormittags herrscht am 28. und 29.7. in allen Niveaus fast durchwegs sehr schwacher Wind (um 2 m/s) mit unbeständiger Richtung, in 50 und 100 m bevorzugt aus Süd bis Südost, darüber aus West bis Südwest, wobei am 29.7. die Richtung weniger schwankt. In Höhen ab 200 m ist in den späten Nachtstunden zeitweise die Geschwindigkeit etwas höher (4 m/s). Am 30.7. weht dagegen ab 7 Uhr in allen Höhen Südost- bis Ostwind.

Der Übergang zu vertikal einheitlichem Ostwind erfolgt zwischen 10 und 12 Uhr.

Die Windgeschwindigkeit zeigt am 28.7. eine kontinuierliche Zunahme bis 18 Uhr (9 m/s in 50 m, 13 m/s in 150 m) und nimmt danach ab. Am 29.7. tritt bei grundsätzlich ähnlichen Verhältnissen ein Minimum der Geschwindigkeit um 17.30 Uhr auf, verbunden mit zeitweiliger Winddrehung auf Nordost; danach kommt es zu einem steilen Anstieg der Windgeschwindigkeit bei Ostwind bis zu 12 m/s in 100 m und 21 m/s in 200 m; gleichzeitig mit dem Nordostwind tritt in allen Niveaus extremes Absinken auf (Abb. 100), vermutlich infolge eines Gewitters.

Am 30.7. weicht der Ostwind nach 16 Uhr relativ unbeständigem und schwachem Wind aus Ost bis Süd, wobei die Richtungsschwankungen oberhalb 150 m stärker sind.

Die Vertikalgeschwindigkeit (Abb. 99 bis 101) zeigt nachts durchwegs schwaches Absinken in allen Niveaus mit 0 bis 30 cm/s. Am späten vormittag verstärkt sich die Absinkbewegung (über 50 cm/s), um nach 12 Uhr an allen Tagen in starkes Aufsteigen (bis 1 m/s) überzugehen, wobei in den höheren Niveaus größere Vertikalgeschwindigkeiten auftreten und in 50 und 100 m immernoch meist leichtes Absinken beobachtet wird. Am späten Nachmittag überwiegt dann in allen Niveaus Absinken, wobei es am 29.7., vermutlich durch Gewitterzirkulationen, um 18 Uhr und 19.30 Uhr zu extremen Absinkbewegungen bis 1.5 m/s kommt; analoge Phänomene treten am 30.7. zwischen 17 und 18 Uhr auf.

Immissionsgeschehen

Der Verlauf der Konzentration von O_3 , NO und NO_2 an den Stationen Reichenau, Enzianhütte und Seegrube ist in Abb. 102 bis 104 dargestellt.

Die NO-Konzentration weist am Sonntag, 29.7., deutlich niedrigere Werte auf als am Samstag, 28.7.; am Montag, 30.7., deutlich höhere; die Verläufe ähneln jenen eine Woche vorher; am 30.7. werden 0.212 mg/m^3 erreicht.

Die NO_2 -Konzentration folgt teilweise der NO-Konzentration und weist generell nachts deutlich höhere Werte auf als tagsüber, wobei allerdings am 30.7. bereits um 15.30 Uhr ein Anstieg der NO- und mehr noch der NO_2 -Belastung zu verzeichnen ist, anders als am 23.7. Die NO_2 -Konzentration an der Seegrube ist höher als eine Woche zuvor, über längere Zeiträume mittags wurden über 0.02 mg/m^3 gemessen.

Der Verlauf der O_3 -Konzentration ähnelt jenem des vorangegangenen Wochenendes. Die nächtlichen O_3 -Konzentrationen an der Seegrube liegen allerdings durchwegs über 0.150 mg/m^3 . Die O_3 -Konzentrationen in Reichenau und an der Enzianhütte erreichen nach kontinuierlichem Anstieg am 28. und 29.7. zwischen 10 und 11.30 Uhr das Niveau der Seegrube; am 28.7. ist der Verlauf anschließend fast konstant, am 29.7. kommt es zu einem weiteren Anstieg bis 15 Uhr, wobei die Konzentration an der Seegrube etwas über jener der anderen Stationen liegt und auch in Rei-

chenau fast stets jene an der Enzianhütte übertrifft. An beiden Tagen fällt nach 17 Uhr die Konzentration an der Enzianhütte und nach 20 Uhr in Reichenau. Unmittelbare Einflüsse des Kaltluftteinbruchs und der Gewitterbildung am Abend des 29.7. sind nicht zu beobachten, vielmehr nimmt die Ozonkonzentration an der Seegrube nachts nochmals auf über 0.200 mg/m^3 zu.

Am 30.7. erreichen die Meßstellen Reichenau und Enzianhütte ähnliche Werte, die aber bis zu 0.03 mg/m^3 unter jenen der Seegrube liegen, wo 0.200 mg/m^3 überschritten werden. Die veränderten Windverhältnisse - Übergang von beständigem Ostwind auf unregelmäßigen schwachen Süd- bis Ostwind, starkes Absinken - führen am 30.7. nach 15 Uhr zu einem Absacken der O_3 -Konzentration in Reichenau und an der Enzianhütte, parallel laufend mit einem Anstieg der NO - und NO_2 -Konzentration in Reichenau. An der Seegrube tritt ein langsamer Rückgang der O_3 -Konzentration auf ca. 0.14 mg/m^3 auf.

Auffallend ist weiter, daß am Nachmittag des 29.7., vor allem aber am 30.7. durchwegs keine vollständige Durchmischung der Luftmasse zwischen Talboden und Seegrube stattfindet, sondern an der Seegrube die Ozonwerte stets über jenen in Reichenau und der Enzianhütte - die sehr ähnlich sind - liegen.

Der Ozonkonzentrationsverlauf an der Seegrube zeigt keine Abhängigkeit von den 850-hPa-Trajektorien für den Sonnblick.

4.8. bis 8.8. 1990

Bei der folgenden Episode handelt es sich um zwei Schönwettertage, auf die ein ausgeprägter Kaltluftteinbruch mit Gewittern folgt, in dessen Folge die Ozonkonzentrationen stark abfallen.

Wetterlagenklassifikation:

Steinacker	Sonnenscheindauer
4.8. Gradientenschwach	> 10 h
5.8. Gradientenschwach	> 10 h
6.8. Variabel	< 5 h
7.8. Nordlage	< 5 h
8.8. Gradientenschwach	5 - 10 h

Wetterlage

Am 4.8. lag ein kräftiges Hochdruckgebiet über Mitteleuropa; in Österreich herrschte schwacher, meist nördlicher bis östlicher Wind. Am 5.8. erreichte eine ausgeprägte Kaltfront von der Nordsee her Deutschland und am 6.8. Österreich, die mit Advektion arktischer Kaltluft verbunden war; der 6.8. war meist stark bewölkt und österreichweit von bisweilen ergiebigen schauerartigen Niederschlägen gekennzeichnet; nachmittags kam es zu einem deutlichen Temperatursturz. Am 7.8. lag die Frontalzone südöstlich von Österreich; die Niederschläge hielten bei

meist bedecktem Himmel bis nachmittags an. Am 8.8. lag der Ostalpenraum wieder unter Hochdruckeinfluß mit wärmerer Westströmung, während sich von Westen ein weiteres Frontalsystem näherte.

		N	WIRI	WIGE	T	RF	RR	
Innsbruck								
4.8.	6.00	0	270	1.1	15	72		
	12.00	1	120	4.2	27	33		
	18.00	0	uml	1.7	26	36		
5.8.	6.00	0	uml	1.1	16	74		
	12.00	1	uml	1.7	30	29		
	18.00	3	40	3.6	28	32		
6.8.	6.00	7	250	3.6	18	63		
	12.00	8	360	4.7	28	95		
		Gewitter während der letzten 6 Stunden						
	18.00	8	10	1.1	18	89	3	
		Regenschauer						
7.8.	6.00	8	260	1.1	13	92	17	
		Regen während der letzten 6 Stunden						
	12.00	8	50	2.5	17	64		
		Regen während der letzten 6 Stunden						
	18.00	8	uml	1.1	14	80		
8.8.	6.00	8	C		12	91		
	12.00	5	uml	2.5	19	41		
	18.00	5	80	3.1	17	46		
		Regen während der letzten 6 Stunden						
Patscherkofel								
4.8.	6.00	1	330	1.1	11	67		
	12.00	2	340	3.1	14	41		
	18.00	2	350	3.1	14	50		
5.8.	6.00	1	300	4.2	11	70		
	12.00	1	320	1.7	16	40		
	18.00	3	10	2.5	15	45		
6.8.	6.00	7	150	6.7	10	81		
	12.00	8	360	4.7	8	95		
		Gewitter während der letzten 6 Stunden						
	18.00	uns	330	5.3	7	97	3	
		Regenschauer						
7.8.	6.00	8	30	3.1	2	94	10	
		Regen mit Unterbrechungen						
	12.00	uns	60	1.9	3	93		
		Regen mit Unterbrechungen, Schneefall während der letzten 6 Stunden						
	18.00	uns	40	1.1	2	98	0.9	
		Regen während der letzten 6 Stunden						
8.8.	6.00	uns	50	3.1	1	99	0.2	
		Regen während der letzten 6 Stunden						
	12.00	4	40	1.9	3	94		
		Nebelschwaden						
	18.00	4	10	3.6	5	71		

Trajektorien

Die 850-hPa-Trajektorien für den Sonnblick erreichen die Station am 4.8. bei mäßiger Verlagerungsgeschwindigkeit und antizyklonaler Krümmung von Nordosten (Herkunft der 48-h-Trajektorien aus Südpolen); am 5.8. verlagert sich die Herkunft der 48-h-Trajektorien nach Südosten, bei rascher Abnahme der Verlagerungsgeschwindigkeit kommt sie am 5.8. 12 Uhr aus der Steiermark, wobei sich die beginnende Änderung der Strömungslage auf West dadurch bemerkbar macht, daß die Trajektorie den Sonnblick von Südwesten her über Südtirol erreicht. Der 6.8. ist von immer noch sehr geringer Verlagerungsgeschwindigkeit gekennzeichnet, die 48-h-Trajektorien liegen bis 6.8. 12 Uhr stark gekrümmt über Österreich und der Ostschweiz. Am 7.8. 0 Uhr zeichnet sich Nordwestströmung ab, die 48-h-Trajektorien für den 7.8. 12 Uhr und 8.8. 0 Uhr beginnen in der südwestlichen Nordsee. Am 8.8. nimmt die Strömungsgeschwindigkeit bei anhaltendem Nordwestwind wieder ab, die Trajektorie zeigt wieder antizyklonale Krümmung.

Tabelle 16: Aufenthaltsregion der 850-hPa-Trajektorien für den Sonnblick 24 und 48 h vor dem Zieltermin.

		48 h	24 h
4.8.	0.00	Südwestpolen	Südböhmen
	12.00	Südpolen	Niederösterreich
5.8.	0.00	Südpolen	Südwestungarn
	12.00	Steiermark	Oberkärnten - Südtirol
6.8.	0.00	Südostbayern	Tirol
	12.00	SE-Schweiz	Südtirol
7.8.	0.00	NW-Schweiz	Vorarlberg - Tirol
	12.00	SW-Nordsee	NW-Bayern
8.8.	0.00	S-Nordsee	N-Bayern
	12.00	Westfalen	N-Bayern

Windverhältnisse

Abb. 105 bis 109 zeigen die horizontalen Windverhältnisse (Windrichtung und -geschwindigkeit) über dem Inntal aus den SODAR-Messungen.

Der 4.8. zeigt die für sonnige Tage ohne starke großräumigen Einfluß typischen Windverhältnisse im Inntal, d.h. sehr schwachen Wind nachts (unter 2 m/s in allen Niveaus), wobei in den unteren 100 m Wind aus Ost bis Süd dominiert, darüber die Richtung stark wechselt. Ab ca. 11 Uhr setzt einheitlicher Ostwind ein, dessen Geschwindigkeit bis 17 Uhr zunimmt auf 10 m/s in 50 m und 15 m/s in 150 m. Nach 20 Uhr stellen sich wieder nächtliche Verhältnisse ein.

Die Vertikalgeschwindigkeit zeigt den für vergleichbare Tage typischen Verlauf mit leichtem Absinken (bis 30 cm/s) nachts, kurzzeitig Aufsteigen in höheren Niveaus am späten Vormittag und stark unregelmäßiger Absinkbewegung (bis 80 cm/s) am Nachmittag.

Am 5.8. zeigen die SODAR-Messungen Windgeschwindigkeiten unter 2 m/s bis ca. 14 Uhr, wobei der Wind ab 11 Uhr auf Südost und dann auf Ost dreht, sich aber erst nach 14 Uhr starker, einheitlicher Ostwind einstellt. Zwischen 11 und 16 Uhr zeigt die Vertikalgeschwindigkeit starke Schwankungen, um 14 Uhr wird starke Aufsteigbewegung, deren Geschwindigkeit mit der Höhe zunimmt (bis zu 1.5 m/s in 300 m) beobachtet. Die Wettermeldungen in Innsbruck geben keine Hinweise auf die Ursache dieser Phänomene, es dürfte sich um konvektive Prozesse handeln.

Ab 20 Uhr sinkt die Windgeschwindigkeit in allen Niveaus unter 3 m/s, bis 100 m weht in der Nacht Südwind, darüber Nordwest- bis Südwestwind.

Ab 3 Uhr des 6.8. stellen sich völlig unbeständige Windrichtungsverhältnisse bei Geschwindigkeiten durchwegs unter 2 m/s ein; am Nachmittag überwiegt zeitweise Süd- bis Ostwind, der ab 18 Uhr beständig und vertikal einheitlich bei Geschwindigkeiten zwischen 7 und 20 m/s weht; zeitweise treten hohe Geschwindigkeiten, vor allem in höheren Niveaus, auf, die zwischen 19 und 23 Uhr bei Ostwind oberhalb 150 m Höhe 30 m/s überschreiten.

Die Vertikalbewegung zeigt am 6.8. bis 11 Uhr leichtes Absinken (bis 30 cm/s), danach fehlen sind die Meßwerte aufgrund starken Regens.

Die Windgeschwindigkeitsspitzen am 6.8. sind mit Gewittern und dem Eindringen von Kaltluft verbunden, die inntalaufwärts den Raum Innsbruck erreicht. Die Echointensitäten weisen generell am Nachmittag auf homogene atmosphärische Verhältnisse hin.

Der 7.8. zeigt bis 12 Uhr unregelmäßige, meist östliche bis südliche Winde unter 3 m/s, danach bilden sich - wenngleich schwach - die nachmittäglichen Windverhältnisse des Talwindsystems aus, wobei Ost- bis Südostwind (bei Geschwindigkeiten unter 2 m/s) aber die ganze folgende Nacht über anhält. Der 8.8. weist nachmittags und nachts Verhältnisse auf, die der ungestörten Talwindzirkulation entsprechen, was sich auch bei der Vertikalgeschwindigkeit ausdrückt, wo nachmittags allerdings oberhalb 200 m zeitweise starkes Aufsteigen vorherrscht.

Immissionsgeschehen

Der Verlauf der Konzentration von O_3 , NO und NO_2 an den Stationen Reichenau, Enzianhütte und Seegrube ist in Abb. 110 bis 114 dargestellt.

Am 4. und 5.8. zeigen die O_3 -, NO- und NO_2 -Konzentration an den Meßstellen Seegrube, Enzianhütte und Reichenau Verläufe, wie sie für sonnige Tage mit starker Durchmischung typisch sind. Die O_3 -Konzentration an der Seegrube sinkt am 4.8. morgens von 0.12 mg/m³ auf 0.08 mg/m³, was durch Aufsteigen ozonarmer Luft bedingt ist, anschließend steigt sie langsam auf 0.152 mg/m³ um 18 Uhr, wobei die Konzentrationen an der Enzianhütte und Reichenau geringfügig niedriger bleiben, aber einen sehr ähnlichen Verlauf zeigen.

Am 5.8. erreicht die O_3 -Konzentration an der Seegrube - nach einem morgendlichen Minimum von 0.12 mg/m³ - um 19 Uhr 0.176 mg/m³. Anders als an den vorangegangenen Sonntagen tritt am

5.8. ab 19.30 Uhr in Reichenau ein starker Anstieg der NO-Konzentration auf, was damit in Zusammenhang steht, daß der Austausch zwischen Talboden und Enzianhütte unterbunden ist; die SODAR-Echointensitäten lassen ca. 250 m über Grund auf eine schwache Inversion schließen.

Am 6.8. herrscht bedecktes Wetter (ab 12 Uhr Regen), bei dem praktisch kein vertikaler Austausch und keine photochemische Ozonproduktion stattfinden.

Die O_3 -Konzentration an der Seegrube sinkt von 0.152 mg/m^3 um 0.30 Uhr auf 0.105 mg/m^3 um 24 Uhr, an der Enzianhütte ist der Verlauf unregelmäßiger mit einem steilen Abfall um 8 Uhr, danach pendelt er um 0.05 mg/m^3 .

Stabile atmosphärische Ausbreitungsbedingungen führen tagsüber zu vergleichsweise hohen NO- und NO_2 -Konzentrationen in Reichenau (NO-Werte zwischen 0.03 und 0.10 mg/m^3 , NO_2 -Werte zwischen 0.06 und 0.09 mg/m^3). Mit dem Aufkommen von starkem Ostwind am Abend sinken die Werte unter 0.03 mg/m^3 (NO ab 16 Uhr, NO_2 ab 20 Uhr). Die O_3 -Konzentration in Reichenau wird primär von der NO-Konzentration gesteuert und liegt bis 16 Uhr stets unter 0.02 mg/m^3 .

Der 7.8. ist ebenfalls meist bedeckt, es findet keine Ozonproduktion statt; die Verläufe der Ozonkonzentration an den drei Meßstellen zeigen, daß kein vertikaler Austausch stattfindet. Die Ozonkonzentration an der Enzianhütte schwankt zwischen 0.04 und 0.08 mg/m^3 und liegt zeitweise unter jener in Reichenau, die nachts bei geringer NO-Konzentration um 0.05 mg/m^3 liegt, sowie nachmittags bis 0.06 mg/m^3 ansteigt. Die NO-Konzentration steigt vormittags und abends bis um 0.05 mg/m^3 , ist aber deutlich geringer als am Vortag.

Am 8.8. stellen sich bei noch teilweise bedecktem Wetter Zirkulationsverhältnisse ein, die zu einem vertikalen Luftmassenaustausch und zu einer nachmittags vertikal relativ gleichartigen Ozonverteilung führen, wenngleich auf einem - mit ca. 0.11 mg/m^3 an der Seegrube - deutlich niedrigeren Niveau als während der vorangegangenen Schönwetterperiode; die Konzentrationen in Reichenau und an der Enzianhütte bleiben um ca. 0.02 mg/m^3 unter jenen der Seegrube, wo tagsüber durch Luftmassenaustausch mit dem ozonärmeren Talboden ein leichtes Abfallen der O_3 -Konzentration auftritt.

Die NO- und NO_2 -Konzentration in Reichenau zeigen morgens und in den frühen Nachtstunden Maxima; ihr Verlauf entspricht den Verhältnissen bei guter vertikaler Durchmischung tagsüber und stabilen Verhältnissen nachts.

Die O_3 -Konzentration an der Seegrube zeigt am 4. und 5.8. bei großräumiger Strömung aus Nordost bis Ost, deren Geschwindigkeit abnimmt, steigende Tendenz (Maxima um 0.15 mg/m^3 am 4.8., um 0.18 mg/m^3 am 5.8.) und starken Einfluß örtlicher Ozonbildung. Am 6.8. tritt bei Wechsel auf Westströmung - bei immer noch geringer Verlagerungsgeschwindigkeit der 850-hPa-Trajektorien am Sonnblick - langsame unregelmäßige Abnahme der

O₃-Konzentration ein, die am 7.8., an dem die 48-h-Trajektorien von der Nordsee her den Sonnenblick erreichen, auf bis 0.10 mg/m³ sinkt.

9.3 Episode 22.8. bis 26.8. 1990

Am 22.8. wurden bei bewölktem, kühlem, regnerischen Wetter niedrige Ozonkonzentrationen gemessen; im Lauf der darauffolgenden sonnigen, wärmeren Tage erfolgte ein deutlicher Anstieg der Ozonkonzentration an allen Meßstellen, der auch von den am 25. und 26.8. auftretenden Gewittern nicht beeinträchtigt wurde.

Wetterlagenklassifikation:

Steinacker	Sonnenscheindauer
22.8. Nordwestlage	< 5 h
23.8. Gradientenschwach	> 10 h
24.8. Gradientenschwach	> 10 h
25.8. Gradientenschwach	5 - 10 h
26.8. Gradientenschwach	5 - 10 h

Wetterlage

Der 22.8. war nach dem Durchzug einer Kaltfront noch stark bewölkt, allerdings gab es kaum noch Niederschlag, es wehte meist mäßiger West- bis Nordwind. Am 23.8. dehnte sich von Westen ein Hochdruckgebiet bis Österreich aus; Bedeckungsgrad und Windgeschwindigkeit nahmen ab, bis am 24.8. deutlicher Hochdruckeinfluß herrschte und es in ganz Österreich warm und wolkenlos war. Der 25.8. war - teilweise bedingt durch eine von Westen kommende Gewitterfront - von verbreiteter konvektiver Bewölkung und gewittrigen Schauern gekennzeichnet; feuchtlabile Luftmassen mit intensiver konvektiver Bewölkung und Schauern, vor allem über dem Bergland, kennzeichneten auch den 26.8.

		N	WR	WG	T	RF	RR
Innsbruck							
22.8.	6.00	7	uml	0.6	13	65	
	12.00	6	20	3.6	19	44	
	18.00	7	50	1.1	16	54	
23.8.	6.00	1	uml	0.6	10	83	
	12.00	1	20	3.1	11	14	
	18.00	0	100	1.9	21	47	
24.8.	6.00	0	260	1.7	11	89	
	12.00	0	uml	1.7	26	36	
	18.00	1	uml	1.1	24	46	
25.8.	6.00	1	240	1.1	14	84	
	12.00	3	uml	1.9	28	36	
	18.00	7	uml	2.5	25	42	

Gewitter ohne Niederschlag

26.8.	6.00	7	uml	1.1	16	90	5
		Regen während der letzten 6 Stunden					
	12.00	4	uml	1.1	24	47	
	18.00	6	320	1.9	18	77	
		Gewitter ohne Niederschlag					

Patscherkofel

22.8.	6.00	uns	350	3.1	0	99	0.1
		Nebel. Schauer während der letzten 6 Stunden					
	12.00	7	350	4.2	3	74	
		Nebel während der letzten 6 Stunden					
	18.00	7	360	5.3	3	84	
23.8.	6.00	1	310	6.1	4	81	
	12.00	1	20	3.1	11	14	
	18.00	0	340	3.1	11	53	
24.8.	6.00	0	300	4.2	12	41	
	12.00	0	310	1.1	16	17	
	18.00	2	10	3.6	15	40	
25.8.	6.00	1	290	1.7	11	75	
	12.00	3	30	2.5	14	64	
	18.00	5	70	8.3	11	81	
		Gewitter ohne Niederschlag					
26.8.	6.00	3	50	4.2	6	94	2
		Nebel. Regen während der letzten 6 Stunden					
	12.00	3	30	2.5	10	83	
		Nebel					
	18.00	uns	30	2.5	9	90	2
		Gewitter während der letzten 6 Stunden					

Trajektorien

Die 48-h-Trajektorien für den 23.8. zeigen starke Nordnordwestströmung. Für den 24. und 25.8. liegen keine Daten vor. Am 26.8. herrschte extrem schwache Südwestströmung mit antizyklonaler Krümmung.

Wind- und Temperaturverhältnisse

Die Windverhältnisse an den Meßstellen Hafelekar, Enzianhütte und Bahnhof sind in Abb. 115 bis 120 dargestellt, die SODAR-Windmessungen in Abb. 121 bis 126, die Temperaturen an den Stationen Hafelekar, Rastelboden, Hungerburg und Olympisches Dorf in Abb. 127 bis 132.

Am Patscherkofel wehte vom 21. bis 23.8. durchwegs Nordwind. In der Nacht zum 22.8. wehte über dem SODAR-Standort in allen Niveaus bis 300 m gleichbleibender Ostwind. Am Hafelekar herrschten unregelmäßige Richtungsverhältnisse. Zwischen 9 und 19 Uhr zeigt die Windgeschwindigkeit die für Schönwettertage typische Verteilung des Inntal-Taleinwindes, was auf das Einsetzen thermisch bedingter Zirkulation hindeutet, ebenso wie die Windrichtungsverteilung an der Enzianhütte mit recht homogenem Nordwind nachts und Südwind zwischen 8 und 18 Uhr. Ab 21 Uhr

zeigen die SODAR-Windmessungen die für die ungestörte Talwindzirkulation typische nächtliche Verteilung.

Am Hafelekar weht zumeist Nordwind, am Hauptbahnhof überwiegt nachts Südwind - der wahrscheinlich der Talwindzirkulation des Wipptales zuzuordnen ist - , tagsüber Ostwind, allerdings schwankt die Richtung bedeutend stärker als in 50 m Höhe über dem SODAR-Standort. Die Windgeschwindigkeit zeigt einen ähnlichen Verlauf wie jene des SODAR-Windes.

Die Temperatur zeigt an allen Meßstellen relativ unregelmäßige Verläufe, im Tagesverlauf nimmt die Temperatur am Hafelekar von 1.5 auf 3 °C zu.

Der 23.8. zeigt die Windverhältnisse eines sonnigen Tages mit gut ausgebildeter Tal- und Hangwindzirkulation. Über dem SODAR-Standort weht bis in 100 m bis ca. 10 Uhr Südwind, darüber Westwind, der dann um ca. 21 Uhr in Ostwind übergeht. Am Bahnhof tritt nachts Westwind auf, ab ca. 11 Uhr schwankt die Richtung in einem weiten Bereich zwischen Nordost und Südost, in der folgenden Nacht um Süd bis Südwest.

An der Enzianhütte weht zwischen 7 und 18 Uhr Süd-, sonst Nordwind, wohingegen am Hafelekar fast stets Nord- bis Nordwestwind beobachtet wird, nur kurzzeitig Süd- bzw. Westwind. Die Hangwind der Nordkette tritt somit am Hafelekar zeitweise in Erscheinung. Die Konzentrationsverläufe von O_3 , NO und NO_2 an der Seegrube deuten an diesem Vormittag auf einen sehr starken Luftmassentransport vom Talboden her hin, ebenso wie die Temperatur am Hafelekar, die nach einem steilen Anstieg um 10 Uhr fast den Wert des Rastelbodens erreicht. Im Tagesverlauf steigt die Temperatur am Hafelekar von 3 auf 11 °C.

Die Windverhältnisse des 24.8. zeigen ebenfalls eine gut ausgebildete Tal- und Hangwindzirkulation, wobei auch am Hafelekar - wenn auch stark schwankend - Wind aus Südost- bis Südwest auftritt. Am Morgen dieses Tages bildet sich zwischen den Meßstellen Olympisches Dorf und Rastelboden eine Isothermie aus (der Verlauf ist nach 4 Uhr infolge Datenausfalls nicht weiter verfolgbar); die SODAR-Echos und die Konzentrationsverläufe von NO und NO_2 in Innsbruck deuten auf die Bildung einer Inversion hin. In der folgenden Nacht bildet sich ab 22.30 Uhr wieder eine Inversion zwischen Olympischem Dorf und Hungerburg bzw. Rastelboden, die sich bis 9 Uhr am nächsten Morgen hält.

Der 25.8. weist ebenfalls eine für Schönwettertage übliche Tal- und Hangwindzirkulation auf; am Nachmittag und Abend treten Gewitter auf, die sich in Windspitzen am Hauptbahnhof und in den SODAR-Winddaten sowie im unregelmäßigen Verlauf der Vertikalgeschwindigkeit bemerkbar machen; die Temperatur sinkt zwischen 19.30 und 22.30 Uhr sprunghafte ab.

In der folgenden Nacht sind die Windverhältnisse insofern gestört, als zwischen 24 und 3 Uhr in allen Höhen Ostwind auftritt und ab 4 Uhr am Hafelekar und an der Enzianhütte Südostwind, am Hauptbahnhof hingegen durchwegs Wind aus Süd bis West.

Tagsüber bildet sich zwischen 10 und 16 Uhr homogener Ostwind über dem Inntal aus, dessen Geschwindigkeit ab 13 Uhr rasch auf

ca. 10 m/s in allen Höhen bis 300 m zunimmt; zwischen 16 und 19 Uhr weht wesentlich schwächerer Westwind, danach wieder Ostwind; ähnliche Winddrehungen werden am Bahnhof beobachtet. Die starke Konvektion mit Gewitterbildungen an diesem Tag dürfte für diese Windverhältnisse verantwortlich sein.

Immissionsgeschehen

Der Verlauf der Konzentration von O_3 , NO und NO_2 an den Stationen Reichenau, Enzianhütte und Seegrube ist in Abb. 133 bis 138 dargestellt.

In der Nacht von 21. auf 22.8. gleicht sich zwischen 23 und 2 Uhr die O_3 -Konzentration in Reichenau - vermutlich infolge lokaler vertikaler Austauschprozesse während einer Episode mit Nordwestwind bis 5 m/s am Hauptbahnhof - an jene der Seegrube (0.085 mg/m^3) an und liegt damit deutlich über der O_3 -Belastung an der Enzianhütte.

Im weiteren Verlauf der Nacht sinkt die O_3 -Konzentration in Reichenau wieder nahe null ab, vor allem während der morgendlichen NO-Emissionsspitze. Tagsüber am 22.8. steigt infolge Durchmischung die O_3 -Konzentration in Reichenau und Enzianhütte bis fast auf die Werte an der Seegrube, die um 0.08 mg/m^3 schwanken. Durch den Hangaufwind (kurzzeitig Südwind am Hafelekar) gelangt auch NO_2 vom Talboden zur Seegrube und führt hier um 11 Uhr zu einem Konzentrationsanstieg bis 0.02 mg/m^3 .

Am 23.8. steigen morgens infolge stabiler atmosphärischer Schichtung die NO-Werte in Reichenau bis 0.07 mg/m^3 ; mit Einsetzen der an diesem sonnigen Tag offensichtlich sehr kräftigen Hangwindzirkulation gelangt ab 7 Uhr NO-reiche und O_3 -arme Luft vom Talboden bis zur Seegrube, was hier zum Sinken der O_3 -Konzentration von 0.085 mg/m^3 auf 0.050 mg/m^3 (Minimum um 9 Uhr) und zu einem Anstieg der NO-Konzentration von 0.002 mg/m^3 auf 0.009 mg/m^3 , der NO_2 -Konzentration von 0.010 mg/m^3 auf 0.034 mg/m^3 (11 Uhr) führt, wobei diese erhöhte Stickoxid-Belastung erst langsam abklingt. Parallel dazu sinkt die NO-Belastung in Reichenau rasch ab, während sich die O_3 -Werte in Reichenau und an der Enzianhütte an jene der Seegrube angleichen und in den folgenden Stunden kontinuierlich ansteigen, wobei ab 12 Uhr die Konzentrationen an den beiden unteren Stationen ca. 0.02 mg/m^3 unter jener der Seegrube bleiben. Die Konzentration steigt an der Seegrube bis 0.140 mg/m^3 (20 Uhr) und sinkt dann langsam ab.

Der Einbruch der O_3 -Konzentration an der Enzianhütte um 17 Uhr erfolgt mit dem Wechsel des Hangwindes von Süd auf Nord. Die O_3 -Konzentration in Reichenau bricht um 20 Uhr ein, parallel zu einem Anstieg der NO-Konzentration, bedingt durch Ausbildung stabiler Ausbreitungsverhältnisse während der Nacht.

Der 24.8. zeigt bei allen Komponenten ähnlich Verläufe wie der Vortag; die O_3 -Konzentration an der Seegrube nimmt allerdings im Lauf der Nacht deutlich ab (Minimum 0.065 mg/m^3 um 8 Uhr) und steigt nachmittags nicht auf den Wert des Vortages, obwohl

die Temperatur in allen Höhen ansteigt. Dies deutet auf eine generelle Konzentrationsabnahme in dieser Höhe hin, die nicht durch lokale Bedingungen, sondern nur durch großräumigen Transport bedingt sein kann.

Der morgendliche NO- und NO₂-Transport vom Talboden an die Seegrube ist schwächer als am 23.8.

Die Nacht vom 24. auf den 25.8. ist von einer Inversion gekennzeichnet, die hohe NO- und NO₂-Werte in Reichenau und konstante O₃-Konzentrationsverläufe in Reichenau und Enzianhütte bedingt.

Ohne morgendliches Minimum steigt die O₃-Konzentration an der Seegrube vom nächtlichen Wert von ca. 0.10 mg/m³ auf 0.184 mg/m³ um 15 Uhr; die O₃-Konzentration in Reichenau und Enzianhütte steigen ab 8 Uhr rasch an, erreichen aber nicht ganz das Niveau der Seegrube. Der stets parallele Verlauf der O₃-Konzentration an den drei Meßstellen deutet aber auf weitgehende vertikale Durchmischung und photochemische Ozonbildung in der gesamten Luftmasse vom Talboden bis in Höhe der Seegrube hin.

Der extreme Einbruch der O₃-Konzentration an der Enzianhütte um 16 Uhr dürfte auf Gewitter zurückzuführen sein.

In der Nacht zum Sonntag, 26.8., herrschen stabile Ausbreitungsverhältnisse. An der Seegrube geht die Konzentration nachts kontinuierlich auf 0.11 mg/m³ um 9 Uhr zurück, danach steigt sie - bei homogener vertikaler Durchmischung der Talatmosphäre - bis 0.158 mg/m³ (14.30 Uhr). Für den Ozonschwund in Höhe der Seegrube könnten einerseits die Gewitter des vergangenen Abends, aber auch großräumige Transportprozesse verantwortlich sein.

Das Abfallen der O₃-Konzentration an der Enzianhütte und in Reichenau ab 16 Uhr steht mit der Drehung des Talwindes von Ost auf West und Ausbildung stabilerer Ausbreitungsverhältnisse in Verbindung; sobald der Wind um 20 Uhr wieder auf Ost dreht, steigt die Konzentration in Reichenau kurzzeitig wieder an, dagegen an der Enzianhütte kaum.

Am 21.8. zeigt die O₃-Konzentration an der Seegrube bei starker westlicher Höhenströmung Werte um 0.10 mg/m³, die am folgenden Tag noch leicht abnehmen. Bei Drehung der Höhenströmung auf Nord, die am 23.8. zu beobachten ist, liegt die O₃-Konzentration an der Seegrube zunächst noch unter 0.10 mg/m³, steigt bei sonnigem Wetter aber rasch bis 0.14 mg/m³; dieser Anstieg dürfte aber primär durch lokale Ozonbildung zustandekommen, da in der folgenden Nacht die Ozonkonzentration wieder unter 0.10 mg/m³ fällt. Erst mit Ausbildung sehr schwacher westlicher, antizyklonal gekrümmter Höhenströmung am 25. und 26.8. steigt die O₃-Konzentration an der Seegrube deutlich über 0.15 mg/m³; in der Nacht vom 25. auf den 26.8. halten sich über 0.12 mg/m³, wobei am folgenden Tag - infolge geringer Ozonbildung bei teilweise regnerischem Wetter - die Werte um 0.13 mg/m³ pendelten. Insgesamt ist die windschwache Situation am 24. und 25.8. mit Advektion aus Oberitalien mit höheren

Hintergrundkonzentrationen an der Seegrube verbunden als die Tage mit starker West- und Nordströmung.

9.4 Episode 29.8. bis 1.9. 1990

Vom 29. bis 31.8. stiegen die Ozonwerte aufgrund hoher Temperaturen an und erreichten an der Seegrube bis 0.17 mg/m^3 ; am 31.8. kam es infolge eines Kaltlufteinbruchs drastischem Abfallen der Ozonkonzentration.

Wetterlagenklassifikation:

Steinacker	Sonnenscheindauer
29.8. Gradientenschwach	> 10 h
30.8. Gradientenschwach	> 10 h
31.8. Variabel	5 - 10 h
1.9. Variabel	< 5 h

Wetterlage

Am 29.8. lag Österreich am Westrand eines osteuropäischen Hochdruckgebietes; das Wetter war windschwach und bewölkungsarm, allerdings kam es über dem Bergland, vor allem im Westen, nachmittags zu Quellbewölkung und Gewittern. Am 30.8. näherte sich langsam eine ausgeprägte Kaltfront den Westalpen, verbunden mit Advektion subpolarer Kaltluft; am 31.8. kam es über Deutschland zu sekundärer Zyklogenese. Die Kaltfront erreichte am 31.8. Westösterreich und führte im Gebirge zu starkem Südwind und zunehmender Bewölkung, während der 30.8. noch ziemlich sonnig und windschwach war. Der Frontdurchzug erfolgte in Tirol am 31.8. um ca. 16 Uhr (laut "Berliner Wetterkarte" vor 13 Uhr). Am 1.9. überquerte die Front Ostösterreich; es war den ganzen Tag über stark bewölkt und kam vereinzelt zu gewittrigen Niederschlägen.

	N	WR	WG	T	RF	RR
Innsbruck						
29.8. 6.00	3	C		14	86	
12.00	2	uml	1.7	26	33	
18.00	7	120	1.7	22	42	
	Gewitter ohne Niederschlag					
30.8. 6.00	3	uml	1.7	14	87	
12.00	4	C		26	33	
18.00	5	140	1.9	23	41	
31.8. 6.00	3	260	1.1	13	84	
12.00	8	uml	1.9	19	60	
	Schauer während der letzten 6 Stunden					
18.00	6	160	1.7	18	56	
1.9. 6.00	8	270	1.1	13	83	
12.00	7	uml	1.1	17	59	
18.00	7	50	1.7	15	65	

Patscherkofel

29.8.	6.00	2	150	7.2	9	78	
	12.00	2	150	4.2	14	46	
	18.00	5	140	6.7	11	60	
		Gewitter ohne Niederschlag					
30.8.	6.00	2	160	5.3	9	68	
	12.00	3	110	4.2	14	46	
	18.00	6	180	1.1	12	64	
31.8.	6.00	3	150	21.7	8	75	
	12.00	8	150	16.4	8	90	
		Regen während der letzten 6 Stunden					
	18.00	5	150	7.8	8	90	0.3
		Nebel. Regen während der letzten 6 Stunden					
1.9.	6.00	uns	170	5.3	5	93	
		Nebel					
	12.00	uns	30	3.1	5	93	
		Nebel					
	18.00	uns	340	2.5	4	96	0.2
		Nieseln					

Trajektorien

Am 29.8. zeigen die 850-hPa-Trajektorien für den Sonnblick mäßige Südostströmung antizyklonaler Krümmung; die Verlagerungsgeschwindigkeit nimmt am 30.8. deutlich ab, ehe sich am 31.8. bei immer noch sehr schwachem Wind Südwestströmung einstellt. Im Verlauf des 1.9. nimmt die Windgeschwindigkeit dann wesentlich zu, sodaß Luftmassen vom westlichen Mittelmeer mit der 48-h-Trajektorie den Sonnblick erreichen.

Tabelle 17: Aufenthaltsregion der 850-hPa-Trajektorien für den Sonnblick 24 und 48 h vor dem Zieltermin.

	48 h	24 h
29.8. 0.00	W-Rumänien	N-Kroatien
12.00	N-Serbien	Slowenien
30.8. 0.00	N-Serbien	Slowenien
12.00	W-Kroatien	Venetien
31.8. 0.00	Venetien	Südtirol
12.00	Lombardei	Südtirol
1.9. 0.00	Ligurisches Meer	Mittlere Po-Ebene
12.00	Westl. v. Sardinien	Ligurien

Wind- und Temperaturverhältnisse

Abb. 139 bis 142 zeigen die Windverhältnisse an den Meßstellen Hafelekar, Enzianhütte (nur 29.8.) und Hauptbahnhof vom 29.8. bis 1.9., Abb. 143 bis 146 die Windverhältnisse über dem Inntal (SODAR-Messungen) vom 29.8. bis 1.9. in den unteren 200 m, Abb. 147 am 31.8. in 250 bis 350 m, Abb. 148 und 149 die Temperatur an den Meßstellen Hafelekar, Rastelboden, Hungerburg und Olympisches Dorf vom 29.8. bis 1.9.

Am Patscherkofel und am Hafelekar (wo Daten erst ab 11 Uhr verfügbar sind) herrscht am 29.8. durchwegs Südwind mit Geschwindigkeiten bis 6 m/s. Bei geringer Bewölkung bildet sich die Hangwindzirkulation an der Nordkette gut aus; über dem Inntal weht bis 13 Uhr durchwegs Westwind (bis 8 Uhr in den unteren 100 m Südwind) mit Geschwindigkeiten unter 3 m/s, der danach bei zunehmender Geschwindigkeit auf Ost dreht; ab 21 Uhr stellt sich wieder Westwind ein; dieser Tagesverlauf entspricht der Talwindzirkulation. Die Vertikalgeschwindigkeit zeigt generell leichtes Absinken (bis 50 cm/s) in allen Höhen, nur ca. um 13 Uhr kommt es überall zu starkem Aufsteigen (bis 1.2 m/s in 250 m Höhe); möglicherweise handelt es sich dabei um Auswirkungen eines Gewitters, das später in Innsbruck registriert wird. Temperaturdaten liegen am 29.8. ab 11 Uhr vor, sie zeigen vormittags sowie ab 20 Uhr sehr stabile Temperaturschichtung unterhalb des Rastelbodens, die am 30.8. bis 12 Uhr anhält.

Die SODAR-Messungen zeigen am 29. und 30.8. morgens absinkende Inversionen, deren - nur grob angebbare - Untergrenze von ca. 400 m um 4 Uhr auf ca. 250 m um 8 Uhr sinkt.

Am 30.8. messen Patscherkofel und Hafelekar nach wie vor überwiegend Südwind; die Windverhältnisse über dem Inntal entsprechen weitgehend der Talwindzirkulation; Ostwind weht ca. zwischen 12 und 19 Uhr; am Innsbrucker Hauptbahnhof geht der beständige Westwind um 12 Uhr auf unbeständigeren Süd- bis Ostwind über.

Am 31.8. nehmen die Geschwindigkeit des Südwindes am Patscherkofel (bis 22 m/s) und Hafelekar (bis 8.5 m/s) sowie dessen Richtungsbeständigkeit zu.

In der Nacht von 30. auf 31.8. bildet sich eine stark Inversion zwischen Olympischem Dorf und Rastelboden aus; nach 7 Uhr steigt die Temperatur an der Hungerburg über jene am Rastelboden, eine Auflösung der Inversion zwischen Olympischem Dorf und Hungerburg tritt erst nach 16 Uhr im Zuge des Frontdurchzuges auf. Die SODAR-Echos zeigen eine ausgeprägte absinkende Inversion, deren Untergrenze um 5 Uhr in ca. 400 m, um 12 Uhr in ca. 200 m liegt.

Die Windverhältnisse über dem Inntal zeigen in allen Höhen bis 3 Uhr Westwind, dann bis 6 Uhr Ostwind, anschließend Westwind bis 12 Uhr, wobei die Geschwindigkeit nach 6 Uhr von 2 m/s auf bis 5 m/s ansteigt. Zwischen 10 und 12 Uhr wurde starke Aufsteigbewegung oberhalb 100 m beobachtet. Der ab 12 Uhr wehende Ostwind (um 3 m/s) frischt um 16 Uhr stark auf, in 100 m bis 10 m/s, in 200 m bis 24 m/s; gleichzeitig tritt starkes Absinken (bis 1.4 m/s in 200 m) auf, die Temperatur beginnt an allen Stationen deutlich zu fallen (am Hafelekar erst nach 17 Uhr), sodaß man zu diesem Zeitpunkt den Frontdurchzug lokalisieren kann.

Die "Berliner Wetterkarte" des Instituts für Meteorologie der Freien Universität Berlin lokalisiert die Kaltfront um 13 Uhr bereits östlich von Tirol, d.h. in Verbindung mit dem ungewöhnlich starken Aufsteigen zwischen 10 und 12 Uhr und mit dem beginnenden Ozonkonzentrationsrückgang an der Seegrube ab 11 Uhr. Der Temperaturverlauf aller betrachteten Stationen sowie der Verlauf der Schadstoffkonzentrationen am Talboden zeigen

jedoch, daß der Luftmassenwechsel im Inntal erst ab 16 Uhr erfolgte.

Am Innsbrucker Hauptbahnhof tritt nachmittags kein vergleichbar starker Ostwind auf, vielmehr herrscht unbeständiger Nordost- bis Südwind mit unter 4 m/s.

Am 1.9. nimmt die Windgeschwindigkeit über dem Inntal in allen Höhen nach und nach von um 10 m/s um 1 Uhr auf ca. 3 m/s morgens ab, wobei beständiger Ostwind bis 20 Uhr anhält und nachmittags eine Geschwindigkeitszunahme bis 7 m/s in Höhen bis 300 m stattfindet. Abends dreht der Wind auf Südwest.

Am Bahnhof weht bis 6 Uhr Nordostwind, danach herrschen völlig regellose Windverhältnisse, nachmittags Ost- bis Südwind.

Am Hafelekar dreht der Südwind um 14 Uhr auf Nord.

Die Temperaturen liegen am 1.9. deutlich unter jenen der Vortage und zeigen einen schwachen Tagesgang; es herrschen labile Verhältnisse, wobei nachmittags eine weitere deutliche Temperaturabnahme in der Höhe des Hafelekars festzustellen ist.

Immissionssituation

Abb. 150 bis 153 zeigen die Konzentrationsverläufe von NO , NO_2 und O_3 vom 29.8. bis 1.9.

Am 29. und 30.8. herrschen nachts stabile Ausbreitungsverhältnisse über dem Inntal, die eine Schadstoffverdünnung unterbinden, tagsüber findet vertikaler Austausch statt. Die NO -Konzentration in Reichenau steigt jeweils am Morgen stark an (mit Spitzen über 0.09 mg/m^3), abends fehlt ein entsprechendes Maximum wegen noch labiler Ausbreitungsverhältnisse. Die NO_2 -Konzentration erreicht am 29. und 30.8. morgens und in den frühen Nachtstunden bis 0.05 mg/m^3 .

Ab ca. 9 Uhr steigen die O_3 -Konzentrationen in Reichenau und der Enzianhütte kontinuierlich an, erreichen aber nur kurzzeitig um 14 Uhr die Werte der Seegrube, die sich um 0.14 mg/m^3 bewegen. Die NO_2 -Konzentration an der Seegrube ist tagsüber mit bis 0.02 mg/m^3 etwas erhöht.

Nachts bleiben die O_3 -Werte an der Enzianhütte auf einem Niveau um 0.07 mg/m^3 , da kein Luftmassenaustausch mit dem Tal stattfindet.

Die Ozonkonzentration an der Seegrube liegt am 29. und 30.8. bei mäßiger Südostströmung im 850-hPa-Niveau relativ konstant um 0.14 mg/m^3 und steigt in der Nacht vom 30. auf den 31.8. bei Übergang auf sehr schwache Südwestströmung deutlich an bis 0.17 mg/m^3 .

Am 30.8. dürfte der vertikale Luftmassenaustausch am Hang der Nordkette etwas stärker sein als am 29.8., da an der Seegrube um 12 Uhr ein leichter Einbruch der O_3 -Konzentration (auf ca. 0.12 mg/m^3) mit parallelem leichten Ansteigen der NO_2 -Konzentration beobachtet wird. Die O_3 -Werte in Reichenau und Enzianhütte erreichen nicht ganz das Niveau an der Seegrube (um 0.14 mg/m^3); anders als am 29.8. gibt es an der Seegrube am 30.8. um 16 Uhr einen kurzzeitigen Einbruch der O_3 -Konzentration auf 0.05 mg/m^3 , die anschließend aber wieder auf 0.09 mg/m^3 ansteigt.

Nach 22 Uhr steigt die O_3 -Konzentration an der Seegrube auf 0.17 mg/m^3 , an der Enzianhütte nach 1 Uhr auf 0.13 mg/m^3 , als Folge von Transport in höheren Luftschichten (bei sehr schwacher südwestlicher Strömung).

Die folgende Nacht sowie der 31.8. bis 16 Uhr sind von einer starken Bodeninversion gekennzeichnet, die anhaltend hohe NO_2 -Werte in Reichenau (0.04 bis 0.08 mg/m^3) bewirkt, die NO -Werte liegen von 6 bis 14 Uhr um 0.05 mg/m^3 .

Nach 12 Uhr setzt an den Stationen Seegrube und Enzianhütte eine langsame Abnahme der O_3 -Konzentration ein, die mit dem Wechsel des Windes über dem Inntal von West auf Ost einhergeht; damit kündigt sich das Eindringen der Kaltfront an, die Innsbruck von Osten erreicht; am Talboden bleiben die atmosphärischen Verhältnisse stabil, die NO_2 -Konzentration steigt bei absinkender Inversionsuntergrenze weiter an.

Um 16 Uhr fällt die NO_2 -Konzentration in Reichenau mit Auflösung der Inversion rasant ab auf um 0.03 mg/m^3 (die NO -Konzentration bereits früher), gleichzeitig steigt die NO_2 -Konzentration an der Seegrube stark an auf 0.025 mg/m^3 . Die O_3 -Verläufe deuten ab diesem Zeitraum auf homogene Durchmischung zwischen Enzianhütte und Talboden hin.

Mit dem Aufkommen von etwas stärkerem Südwestwind im 850-hPa-Niveau werden ozonarme Luftmassen herangeführt, sodaß bereits am Abend des 31.8. die O_3 -Konzentration auf 0.08 mg/m^3 sinkt und am 1.9. zwischen 0.04 und 0.06 mg/m^3 verbleibt.

Die O_3 -Konzentrationen an allen drei Meßstellen pendelten sich am 1.9. auf einem Niveau zwischen 0.03 und 0.05 mg/m^3 ein. Bei kühlem, windigem und bedecktem Wetter und labilen Ausbreitungsbedingungen bleiben sowohl die Stickoxid- als auch die O_3 -Werte den ganzen Tag über niedrig. An der Seegrube setzt ab mittags wieder eine leichte O_3 -Konzentrationszunahme ein.

9.5 Episode 24.9. bis 26.9. 1990

Wetterlagenklassifikation:

	Steinacker	Sonnenscheindauer
24.9.	Variabel	5 - 10 h
25.9.	Westlage	5 - 10 h
26.9.	Gradientenschwach	< 5 h

Wetterlage

Am 24.9. lag Österreich bei starker südwestlicher Höhenströmung im Einflußbereich einer Kaltfront, die Mitteleuropa von Westen her überquerte und zu Zufuhr hochreichender Kaltluft führte. Bis Mittags war es überall bedeckt und gab verbreitet Regen, vor allem in den Südalpen, im Gebirge Schneefall; nachmittags nahm die Bewölkung deutlich ab. Am 25.9. herrschte bei auf West drehender Höhenströmung in Mitteleuropa Hochdruckwetter; vormittags war es, mit Ausnahme von Nebel in den Niederungen, meist sonnig, gegen Nachmittag nahm vor allem im Gebirge der

Bedeckungsgrad deutlich zu. Die über Mitteleuropa befindliche Luftmasse war in großen Höhen sehr kalt, was zu Labilisierung und Quellwolkenbildung führte; das Eindringen von Kaltluft ins westliche Mittelmeer führte hier zu Zyklogense. Am 26.9. geriet Österreich - bei anhaltender westlicher Höhenströmung - in den Einflußbereich des Tiefdruckgebiets über Oberitalien. In Westösterreich war es bei starker Bewölkung schwach windig.

		N	WR	WG	T	RF	RR
Innsbruck							
24.9.	6.00	8	270	3.6	13	93	18
		Starker Regen					
	12.00	6	130	1.7	15	59	
		Regen während der letzten 6 Stunden					
	18.00	1	C		11	60	8
25.9.	6.00	2	270	1.7	5	92	
	12.00	5	110	2.5	16	37	
	18.00	6	uml	1.1	12	66	
26.9.	6.00	7	270	1.7	6	91	
	12.00	7	270	3.9	14	48	
	18.00	7	uml	1.7	12	66	

Patscherkofel

24.9.	6.00	uns	20	3.1	4	98	18
		Nieseln					
	12.00	5	320	5.3	-1	97	
		Schauer während der letzten 6 Stunden					
	18.00	2	340	4.2	0	61	11
25.9.	6.00	3	320	2.5	-2	86	
	12.00	5	230	1.9	3	73	
		Nebel während der letzten 6 Stunden					
	18.00	7	uml	1.1	2	75	
26.9.	6.00	7	150	10.3	1	95	
	12.00	6	270	1.9	5	58	
	18.00	6	350	3.6	3	81	

Trajektorien

Die 850-hPa-Trajektorien für den Sonnblick erreichen die Alpen am 24.9. 0 Uhr mit antizyklonaler Krümmung und hoher Verlagerungsgeschwindigkeit von Südwesten; die 48-h-Trajektorie beginnt westlich von Frankreich. Bei variabler Strömungsgeschwindigkeit dreht der Wind bis 25.9. 0 Uhr auf West, ehe sich bis 12 Uhr die Verlagerungsgeschwindigkeit der Trajektorie drastisch verringerte. Am 26.9. erreicht Luft aus dem mittleren Frankreich (48 h vorher) die Station; anschließend nimmt die Verlagerungsgeschwindigkeit wieder zu.

Tabelle 18: Herkunft der 850-hPa-Trajektorien für den Sonnblick (48 h und 24 h).

	48 h	24 h
24.9. 0.00	Atlantik W v. Bordeaux	Piemont
12.00	Bordeaux	Ligurien
25.9. 0.00	Atlantik W v. Bordeaux	NW-Schweiz
12.00	W-Schweiz	Südtirol
26.9. 0.00	Zentralfrankreich	SE-Schweiz
12.00	W-Schweiz	SE-Schweiz
27.9. 0.00	Untere Loire	W-Bayern

Wind- und Temperaturverhältnisse

Abb. 154 bis 156 zeigen den Verlauf von Windrichtung und -geschwindigkeit am 24. bis 26.9. am Hafelekar, an der Enzianhütte und am Innsbrucker Hauptbahnhof, Abb. 157 bis 159 die Windverhältnisse über dem SODAR-Standort, Abb. 160 und 161 den Verlauf der Temperatur am Hafelekar, am Rastelboden, auf der Hungerburg und im Olympischen Dorf.

Der in Gipfelhöhe am Patscherkofel am 24.9. wehende mäßige Nordwind tritt am Hafelekar nur zeitweise in Erscheinung, zeitweise weht schwacher bis mäßiger Ost- oder Südwind. Zwischen 7 und 9 Uhr treten am Hafelekar bei Nordwind Windgeschwindigkeiten bis 13 m/s auf, die mit einem Kalftlufteinbruch einhergehen (Abb. 160), der vor allem am Hafelekar (Temperatursturz von 4 auf -1 Grad zwischen 6 und 9 Uhr), weniger stark an den tiefer gelegenen Meßstellen zu spüren ist. Die Windverhältnisse an der Enzianhütte und im Tal werden davon nicht beeinflusst, hier bleibt die Geschwindigkeit meist unter 3 m/s. Die Windrichtung wechselt in der Nacht an der Enzianhütte unregelmäßig zwischen Nord und Süd, während des Kalftlufteinbruchs weht Nordwind. Am Hauptbahnhof weht unbeständiger Wind.

Die SODAR-Windmessungen zeigen nachts und morgens in allen Höhen einheitlichen Ostwind mit stark schwankender, aber vertikal einheitlicher Geschwindigkeit, die zeitweise 27 m/s erreicht.

Nachmittags bildet sich bei abnehmender Bewölkung sowohl Hangaufwind an der Nordkette als auch Ostwind mit bis 10 m/s in 100 m über dem Inntal aus, der der Talwindzirkulation entspricht, wobei oberhalb 150 m aber zeitweise Geschwindigkeiten bis 20 m/s erreicht werden.

Der Temperaturverlauf zeigt, an den tiefer gelegenen Stationen stärker ausgeprägt, nachmittägliche Erwärmung (im Olympischen Dorf von 11.5 Grad um 10 Uhr auf 14.5 Grad um 15 Uhr).

In der Nacht vom 24. auf den 25.9. stellen sich an den Meßstellen Enzianhütte und Hauptbahnhof und über dem SODAR-Standort Strömungsverhältnisse der Tal- und Hangwindzirkulation ein; unterhalb des Rastelbodens nahm der vertikale Temperaturgradient ab, es kam zu Stabilisierung.

Der 25.9. zeigt eine kräftige Tageserwärmung an allen Stationen und Windverhältnisse, die einem relativ ungestörten Hang- und Talwindsystem entsprechen, wobei am Hafelekar tagsüber zeitweise Nord-, zeitweise Südwind auftritt. In der folgenden Nacht tritt unterhalb des Rastelbodens, später bis in Gipfelhöhe wieder ein stabiler Temperaturgradient auf.

Zu Beginn des 26.9. dreht der Wind in Gipfelhöhe auf Süd, welcher am Hafelekar bis 11 Uhr registriert wird (danach wieder Nordwind); am Hafelekar erreicht die Windgeschwindigkeit 4 m/s, am Patscherkofel 10 m/s. Parallel dazu tritt während der zweiten Nachthälfte und am Vormittag über dem SODAR-Standort zu meist Ostwind bis in 300 m auf.

Unbeeinflusst davon bildet sich ab 9 Uhr an der Nordkette Hangaufwind aus. Nachmittags stellt sich über dem Inntal Ostwind mit dem für Taleinwind üblichen Verhalten ein. In der folgenden Nacht weht über dem Inntal Ostwind, wobei oberhalb 300 m Geschwindigkeiten über 20 m/s auftreten.

Immissionssituation

Abb. 162 bis 164 zeigen den Verlauf der O_3 -, NO - und NO_2 -Konzentration an den Meßstellen Seegrube, Enzianhütte und Reichenau vom 24. bis 26.9.

Zu Beginn des 24.9. sind die Ozonkonzentrationen an allen drei Meßstellen bei windigem, verregnetem Wetter starken Schwankungen unterworfen; an der Seegrube liegen sie um 0.05 mg/m^3 , an der Enzianhütte und in Reichenau um 0.03 mg/m^3 .

Ein deutlicher Anstieg an der Seegrube und der Enzianhütte ist mit dem Kaltlufteinbruch ab 6 Uhr verbunden, wobei an der Seegrube ca. 0.08 mg/m^3 - auf diesem Niveau bleiben die Werte tagsüber - , an der Enzianhütte 0.07 mg/m^3 erreicht werden.

In Reichenau führt der steile morgendliche Anstieg der NO -Konzentration (Maximum 0.15 mg/m^3 um 7 Uhr) zu kurzzeitigem Abfallen der O_3 -Konzentration; die NO - und NO_2 -Konzentrationen bleiben bei offensichtlich stabilen Ausbreitungsverhältnissen bis ca. 12 Uhr hoch (um 0.04 mg/m^3), was darauf hindeutet, daß der in höheren Niveaus deutlich merkbare Kaltlufteinbruch bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht zu einem Luftmassenwechsel bzw. zu einer Labilisierung der Atmosphäre am Talboden geführt hat.

Zwischen 11 und 13 Uhr fallen die NO - und NO_2 -Werte ab, und die O_3 -Konzentration in Reichenau gleicht sich nach und nach an jene der Enzianhütte an; die O_3 -Konzentrationen beider Stationen bleiben mit maximal 0.65 mg/m^3 jedoch deutlich unter jener an der Seegrube.

Ab nachmittags erfolgt gleichmäßiges Abfallen der O_3 -Konzentration an allen Meßstellen, wobei die hohen abendlichen NO -Konzentrationen in Reichenau zu einem völligen O_3 -Abbau führen.

Die folgende Nacht und der Vormittag des 25.9. weisen sehr stabile Ausbreitungsbedingungen am Talboden auf, die zu einem morgendlichen Anstieg der NO -Konzentration in Reichenau bis 0.21 mg/m^3 (7.30 Uhr) führen. Mit der einsetzenden Hangwindzir-

kulation gelangen um 8 bis 9 Uhr O_3 -arme und NO -reiche Luftmassen bis zur Seegrube und führen hier zu einem Einbruch der O_3 -Konzentration von 0.070 mg/m^3 auf 0.025 mg/m^3 , während die NO - und NO_2 -Konzentrationen an der Seegrube merklich ansteigen. Gleichzeitig fallen die NO - und NO_2 -Konzentrationen in Reichenau rapid ab.

Bis 13 Uhr erfolgt danach ein gleichmäßiger Anstieg der fast identischen O_3 -Konzentrationen an den drei Meßstellen; während sich die Werte aber danach an der Seegrube auf ca. 0.07 mg/m^3 einpendeln, sinken sie an der Enzianhütte und in Reichenau anschließend parallel wieder ab, was auf homogene Durchmischung der Talatmosphäre unterhalb der Enzianhütte, aber Abkoppelung dieser Luftmasse vom Niveau der Seegrube hinweist.

Stabile Ausbreitungsbedingungen ab 18 Uhr führen zu einem raschen Anstieg der NO -Konzentration in Reichenau (bis zu 0.10 mg/m^3) und zum Verschwinden des Ozons, während sich an der Enzianhütte die O_3 -Konzentration konstant bei ca. 0.02 mg/m^3 hält.

Bei analogen Ausbreitungsverhältnissen erreicht die NO -Konzentration am 26.9. zwischen 6 und 11 Uhr Werte zwischen 0.07 und 0.14 mg/m^3 ; die zwischen 5 und 8 Uhr angesichts dessen mit bis zu 0.035 mg/m^3 ungewöhnlich hohe O_3 -Konzentration in Reichenau kann nur durch Transport bedingt sein; zwischen 3 und 8 Uhr weht über dem Inntal in allen Niveaus Süd- bis Westwind, während sonst am 26.9. praktisch nur Ostwind auftritt.

Das rasche Absinken der NO -Konzentration in Reichenau um 12 Uhr markiert die Auflösung der Bodeninversion; ob dies mit der Winddrehung von Süd auf Nord in Gipfelhöhe um 12 Uhr zusammenhängt, ist unklar. Parallel dazu kommt es zu einem Anstieg der O_3 -Konzentration in Reichenau und der Enzianhütte, die nachmittags beide ähnliche, mit maximal 0.04 mg/m^3 aber deutlich unter dem Niveau der Seegrube (0.09 mg/m^3) liegende O_3 -Werte erreichen. An dieser Meßstelle führt wahrscheinlich Luftmassenaustausch mit dem Tal um 13 Uhr herum zu einem O_3 -Konzentrationseinbruch bis 0.065 mg/m^3 bei ansteigender NO_2 -Konzentration; insgesamt ist an der Seegrube im Verlauf des 26.9. bis 18 Uhr ein diskontinuierlicher O_3 -Konzentrationsanstieg zu verzeichnen.

Zwischen 16 und 18 Uhr fallen die O_3 -Werte an der Enzianhütte und in Reichenau wieder ab; die Schadstoffkonzentrationsverläufe in Reichenau deuten nicht auf stabile Verhältnisse hin.

Der O_3 -Konzentrationseinbruch an der Seegrube um 22 Uhr steht mit dem Aufkommen starken Ostwindes über dem Inntal ab 250 m Höhe in Verbindung, der vermutlich durch das Übergreifen des am Vortag entstandenen Mittelmeertiefs auf die Alpen zustandekommt.

Bei anhaltender westlicher Höhenströmung liegen am 24. und 26.9. die maximalen O_3 -Werte an der Seegrube um 0.09 mg/m^3 , am 25.9. hingegen nur um 0.075 mg/m^3 . Die relativ hohen O_3 -Konzentrationen am 24.9. zwischen 8 und 18 Uhr dürften auf Advektion aus Oberitalien zurückzuführen sein, ansonsten wurde meist ozonarme Atlantikluft in der Höhe herangeführt.

9.6 Episode 22.10. bis 24.10. 1990

Wetterlagenklassifikation:

	Steinacker	Sonnenscheindauer
22.10.	Südostlage	5 - 10 h
23.10.	Südostlage	5 - 10 h
24.10.	Südlage	5 - 10 h

Wetterlage

Am 21.10. lag Österreich am Südrand eines kräftigen Hochdruckgebiets mit Kern über Skandinavien, das sich nach Südosten ausdehnte; in den Niederungen lag vor allem vormittags Nebel, die Berge im Westen waren teilweise in Wolken; es wehte schwacher, meist östlicher Wind, verbunden mit Kaltluftzufuhr von Nordosteuropa. Am 22.10. änderte sich die Großwetterlage kaum; der Süden und Westen Österreichs waren morgens bedeckt, tagsüber herrschte österreichweit sonniges Wetter; auf den Bergen gab es starken Südwind (Föhn). Bis zum 23.10. verlagerte sich das Hoch nach Südosten, die Südströmung über dem Alpenraum mit Föhn in Westösterreich wurde stärker, es blieb weitgehend wolkenlos. Analog war die Wetterlage am 24.10., allerdings wurde der Südwind schwächer.

		N	WR	WG	T	RF	RR
Innsbruck							
22.10.	6.00	8	80	1.9	6	78	
	12.00	1	uml	2.5	12	49	
	18.00	0	uml	0.6	6	78	
23.10.	6.00	0	uml	2.5	3	84	
	12.00	1	270	7.2	16	30	
	18.00	1	30	4.2	16	21	
24.10.	6.00	2	270	1.1	1	80	
	12.00	6	uml	1.1	14	36	
	18.00	4	uml	1.1	8	66	

Patscherkofel

22.10.	6.00	0	360	2.5	3	4	
	12.00	1	160	2.5	7	12	
	18.00	0	150	15.6	3	59	
23.10.	6.00	1	150	21.1	5	12	
	12.00	1	140	21.1	7	12	
	18.00	2	150	20.6	3	26	
24.10.	6.00	Ausfall					
	12.00	5	160	4.2	5	22	
	18.00	3	160	4.7	2	43	

Trajektorien

Die 850-hPa-Trajektorien für den Sonnblick (48 h) erreichten am 22.10. die Alpen bei starker antizyklonaler Krümmung von der Ostsee. Im Verlauf des 23.10. erreichten die Trajektorien bei immer noch hoher Verlagerungsgeschwindigkeit die Alpen von Südosten her, ehe sich am 24.10. bei mäßiger Geschwindigkeit Südostströmung einstellte, am 24.10. 12 Uhr erreichte die Trajektorie den Sonnblick von Südwesten.

Tabelle 19: Herkunft der 850-hPa-Trajektorien für den Sonnblick (48 h und 24 h zurück).

	48 h	24 h
22.10.	0.00 Stockholm	N-Mähren
	12.00 SW-Finnland	N-Mähren
23.10.	0.00 W-Lettland	Niederösterreich
	12.00 S-Polen	Niederösterreich
24.10.	0.00 SE-Ungarn	W-Kroatien
	12.00 SE-Ungarn	Slowenien

Wind- und Temperaturverhältnisse

Abb. 165 und 166 zeigen die Verläufe der Temperatur an den Meßstellen Hafelekar, Rastelboden, Hungerburg und Olympisches Dorf, Abb. 167 bis 170 Windrichtung und -geschwindigkeit am Hafelekar, an der Enzianhütte und am Bahnhof, Abb. 171 bis 174 Windrichtung und -geschwindigkeit über dem SODAR in Höhen von 50 bis 200 m vom 22. bis 24.10.

Am 22.10. weht am Hafelekar und am Patscherkofel bis 6 Uhr Nordwestwind, anschließend weht sehr beständiger Südsüdostwind, der der synoptischen Strömungslage entspricht.

Die Enzianhütte mißt am 21. und 22.10. (bis 17 Uhr) durchwegs Südwind mit Geschwindigkeiten um 1 m/s; am Innsbrucker Hauptbahnhof weht Wind aus Nordost bis Süd, dessen Geschwindigkeit zeitweise 5 m/s erreicht.

Beständiger Ostwind mit Geschwindigkeiten zwischen 4 und 8 m/s herrscht am 22.10. bis 19 Uhr über dem Inntal, danach dreht der Wind bei Geschwindigkeiten unter 2 m/s auf Südost bis Süd, in 150 m zeitweise auf West.

Nach dem Kalftlufteinbruch des 20.10. sinkt die Temperatur am Hafelekar in der Nacht vom 21. auf den 22.10. knapp unter 0 °C. In der Nacht vom 21. auf 22. 10. fallen an allen Stationen die Temperaturen deutlich ab, wobei sich zwischen Hungerburg und Rastelboden Isothermie ausbildet. Die SODAR-Echos weisen für diese Nacht stabile Schichtung aus.

Am 22.10. steigt um 7 Uhr die Temperatur am Hafelekar sprunghaft an, eine Folge der Winddrehung von Nordwest auf Süd. Die Temperatur der niedriger gelegenen Stationen steigt erst später an, sodaß zeitweise am Hafelekar die gleiche Temperatur herrscht wie im Olympischen Dorf. Am Hafelekar steigt die Tem-

peratur bis 8 °C (15 Uhr), im Olympischen Dorf bis 12 °C (15 Uhr). Danach fallen die Temperaturen überall wieder ab, doch kommt es ab 20 Uhr am Rastelboden (von 6.8 auf 11.1 °C), ab 24 Uhr auf der Hungerburg (von 4.0 auf 9.5 °C) zu einem neuerlichen raschen Temperaturanstieg, der auf den am Abend des 22.10. aufkommenden Föhn zurückzuführen ist.

Am Hafelekar erreicht der sehr beständige Südsüdwestwind ab 19 Uhr Geschwindigkeiten bis 10 m/s, am Patscherkofel zwischen 15 und 20 m/s (diese Verhältnisse halten den ganzen über 23.10. an).

Gleichzeitig dreht der Wind an der Enzianhütte auf Nord bei Geschwindigkeiten um 1 m/s; am 23.8. erreicht die Geschwindigkeit bis 2.5 m/s; mit Ausnahme der Zeit von 11 bis 15 Uhr (Südwind) weht Nordwind.

Am Hauptbahnhof weht ab 22.10. abends konstanter schwacher Südwestwind, der im Laufe des 23.10. auf West dreht und starke Geschwindigkeitsschwankungen (bis 8 m/s) aufweist.

Die SODAR-Messungen zeigen am 23.10. bis 14 Uhr oberhalb 100 m West- bis Südwestwind mit Geschwindigkeiten zwischen 2 m/s (100 m) und 6 m/s (200 m), lediglich in 50 m Höhe weht bis 5 Uhr sowie zeitweise am Morgen Ost- bis Südwind.

Um 14 Uhr erfolgt eine Drehung auf Westnordwest; ab 19 Uhr tritt in den unteren 100 m Ostwind, darüber Westwind auf. Zwischen 14 und 19 Uhr geht der sonst beständige Westwind am Hauptbahnhof in wechselhaften West- bis Nordwind über.

Die Temperaturverläufe zeigen, daß nach den steilen Temperaturanstiegen am Rastelboden und an der Hungerburg in der Nacht von 22. auf 23.10. die Temperatur im Olympischen Dorf am 23.10. zwischen 8 und 14 Uhr kontinuierlich von 5 auf 21 °C steigt; somit erreicht der Föhn ca. um 14 Uhr den Talboden; zu dieser Zeit übersteigt die Temperatur im Olympischen Dorf jene an der Hungerburg, die Bodeninversion löst sich auf. Die SODAR-Echos zeigen am 23.10. bis 9 Uhr eine starke, von ca. 300 m auf Bodenniveau absinkende Inversion.

Während der Südostwind in 50 m Höhe zu Beginn des 23.10. nicht interpretierbar ist, entspricht die - am Hauptbahnhof als starker Westwind beobachtete - Südwestströmung über dem Inntal bis ca. 14 Uhr dem Ausströmen relativ kühler, stabil geschichteter Luft aus dem Oberinntal; ab 9 Uhr herrschen über dem SODAR (aus den Echointensitäten ableitbar) labile Verhältnisse, wohingegen der Temperaturgradient Olympisches Dorf-Hungerburg Labilisierung erst um 14 Uhr zeigt; zu diesem Zeitpunkt nehmen die SODAR-Echointensitäten weiter kraß ab und zeigen bis 18 Uhr äußerst homogene Durchmischung.

Ab 19 Uhr deuten sowohl die SODAR-Echos als auch der Temperaturverlauf am Olympischen Dorf auf die Bildung einer starken Inversion in ca. 200 m hin.

In der ersten Tageshälfte des 24.10. nimmt die Windgeschwindigkeit am Hafelekar von 8 auf 3 m/s ab, womit der Föhn an Wirksamkeit verliert; es weht weiterhin Südsüdwest- bis Südsüdostwind.

Am Hauptbahnhof geht der Westwind - bei Geschwindigkeitsabnahme

von 7.5 auf 1.0 m/s - ab 5 Uhr in unbeständigen Süd- bis Westwind über, nach 13 Uhr in Süd- bis Ostwind, ab 18 Uhr in Südwestwind.

Zwischen 1 und 6 Uhr geht der Wind über dem SODAR - bei Geschwindigkeiten um 2 m/s - nach und nach - in den unteren Niveaus beginnend - von West auf Süd bis Ost über. Ab 7 Uhr nimmt die Echointensität oberhalb 150 rasant ab; mit der Abkühlung am Rastelboden endet um diese Zeit vermutlich der Einfluß des Föhns auch in höheren Niveaus.

Die Windverhältnisse über dem Inntal nach 9 Uhr entsprechen der ungestörten Talwindzirkulation.

In der Nacht vom 22. auf 23.10. sowie von 23. auf 24.10. bilden sich im Inntal sehr starke bodennahe Inversionen aus, was sich zu Beginn des 23.10. deutlich in den SODAR-Echos abzeichnet.

Am 24.10. bleibt die Tageserwärmung infolge des einschlafenden Föhns wesentlich geringer, im Olympischen Dorf werden maximal 13 °C erreicht. In der folgenden Nacht tritt zwischen Rastelboden, Hungerburg und Olympischem Dorf stabile (isotherme) Temperaturschichtung auf.

Die Vertikalgeschwindigkeit zeigt durchwegs Absinkbewegung um 50 cm/s; diese Verhältnisse werden auch durch den starken Föhn nicht beeinflusst.

Immissionssituation

Abb. 175 bis 178 zeigen die Konzentration von O_3 , NO und NO_2 an den Meßstellen Seegrube, Enzianhütte und Reichenau vom 22. bis 24.10.

Im Höhenbereich Hungerburg-Rastelboden traten - insbesondere in der Nacht von 21. auf 22.10. - stabile Verhältnisse auf; da die Ozonbelastung nachts an der Enzianhütte jener in Reichenau entspricht, kann es durchaus zu Luftmassenaustausch zwischen dem Talboden und dem Bereich der Enzianhütte kommen.

In der Nacht von 21. auf 22.10. kommt es - verbunden mit Nordwestwind in Gipfelhöhe - zu leichtem Absinken der O_3 -Konzentration an der Seegrube, worauf ab 6 Uhr mit Einsetzen des Südwindes in Gipfelhöhe ein rasanter Konzentrationsanstieg von 0.055 auf 0.110 mg/m³ (8 Uhr) einsetzt. Die 850-hPa-Trajektorien für den Sonnblick zeigen zu dieser Zeit sehr starke Nordnordostströmung, wobei sich die Luft mit mäßiger Geschwindigkeit der Station von Osten nähert. Diese Trajektorie dürfte für den am Patscherkofel und Hafelekar auftretenden föhnigen Südwind, der wahrscheinlich zu Ozonadvektion von Oberitalien her führt, nicht repräsentativ sein.

Der Luftmassenaustausch mit dem Talboden bleibt den ganzen Tag über sehr beschränkt; die O_3 -Konzentrationen an der Enzianhütte und in Reichenau steigen zwar zwischen 11 und 16 Uhr an (Maximum 0.045 mg/m³ an der Enzianhütte, 0.027 mg/m³ in Reichenau), bleiben aber kraß unter den Werten der Seegrube. Die NO- und NO_2 -Werte in Reichenau liegen um 0.03 bis 0.04 mg/m³.

Ab 18 Uhr steigen die NO-Werte in Reichenau rasant von 0.02 auf 0.20 mg/m³ an; dies geht einher mit deutlicher Geschwindigkeitsabnahme des Windes in Bodennähe (Hauptbahnhof) und über dem Inntal (SODAR) und beginnendem Ansteigen der Temperatur am Rastelboden, sodaß sich über dem Inntal eine sehr ausgeprägte Inversion ausbildet, die zunächst zwischen Hungerburg und Rastelboden, nach dem Temperaturanstieg an der Hungerburg zwischen Talboden und Hungerburg liegt.

Nach 24 Uhr erfolgt ein ebenso rasantes Abfallen der NO-Konzentration bis unter 0.005 mg/m³, während die O₃-Konzentration an der Enzianhütte von 0.005 mg/m³ (23 Uhr) auf 0.050 mg/m³ rapide ansteigt. Dies bedeutet, daß nach dem Temperaturanstieg an der Hungerburg die oberhalb gelegene Station Enzianhütte zunehmend in den Einfluß des Föhns gerät, der an der Seegrube kontinuierliches Ansteigen der O₃-Konzentration bewirkt; dies führt zur sukzessiven Annäherung der O₃-Konzentration an der Enzianhütte an jene der Seegrube, die im Lauf des Tages auf 0.115 mg/m³ steigt; es findet jedoch kein direkter vertikaler Luftmassenaustausch statt, da die O₃-Werte an der Seegrube stets signifikant über jenen an der Enzianhütte liegen.

Das Abfallen der NO-Konzentration am Talboden zwischen 24 und 2 Uhr steht in Zusammenhang mit deutlicher Geschwindigkeitszunahme des - abgesehen vom 50-m-Niveau - auf West drehenden Windes am Boden und über dem Inntal. Trotz einer sehr ausgeprägten Inversion, deren Untergrenze den SODAR-Echos zufolge in einer Höhe von ca. 250 bis 300 m liegt, bleiben die NO-Werte nachts sehr niedrig und steigen erst infolge morgendlicher NO-Emission ab 6 Uhr - bei anhaltendem Inversionswetter - auf bis 0.07 mg/m³.

Um 9 Uhr erfolgt mit dem Temperaturanstieg im Olympischen Dorf die auch bei den SODAR-Echos feststellbare Inversionsauflösung, die von einem Anstieg der O₃-Konzentration und Abfallen der NO-Konzentration in Reichenau begleitet ist. Nach Erreichen labiler Verhältnisse ab 14 Uhr steigt die O₃-Konzentration in Reichenau weiter auf bis 0.065 mg/m³ (16 Uhr), bleibt damit aber deutlich unter dem Wert an der Enzianhütte. Um 18 Uhr fällt die O₃-Konzentration infolge kurzzeitig erhöhter NO-Werte - verbunden mit einem Minimum der Windgeschwindigkeit über dem Inntal und Winddrehung von West auf Ost in den unteren 100 m - rasant ab, nach 21 Uhr nahe null; um diese Zeit herrschen bereits stabile Ausbreitungsbedingungen.

In der folgenden Nacht bis 24.10. 8 Uhr bleibt die O₃-Konzentration an der Seegrube konstant bei 0.106 mg/m³, während die O₃-Konzentration an der Enzianhütte ungleichmäßig abnimmt. Die um 8 Uhr beginnende Konzentrationsabnahme an der Seegrube geht einher mit der Geschwindigkeitsabnahme und einer leichten Richtungsänderung des Südwindes. Eine Beeinflussung durch die infolge stark stabiler Schichtung in Reichenau zwischen 6 und 9 Uhr rasant ansteigende NO-Belastung - maximal werden 0.340 mg/m³ erreicht - ist vor 11 Uhr ausgeschlossen. Die NO-Konzentration fällt parallel mit dem Temperaturanstieg im Tal dann rasch wieder ab; es kommt zu einem Ansteigen der O₃-Konzentration in Reichenau, die aber deutlich unter den Werten der Enzianhütte und Seegrube bleibt. Daß nach 11 Uhr

vertikaler Luftmassenaustausch stattfindet, zeigen die nachmittags leicht erhöhten NO- und NO₂-Werte an der Seegrube. Inwieweit der sehr ungleichmäßige Verlauf der O₃-Konzentration an der Enzianhütte und der Seegrube durch Luftmassenaustausch mit dem Tal bedingt ist, kann nicht gesagt werden, doch spricht die vertikale Inhomogenität der Ozonverteilung eher dafür, daß Transportprozesse in großer Höhe über dem Inntal bei relativ variablen Windverhältnissen die wesentliche Rolle spielen. Mit dem Einsetzen isothermer und damit stabiler Temperaturschichtung nach 17 Uhr steigt die NO-Konzentration in Reichenau wieder rasant an (Maximum 0.27 mg/m³ um 20 Uhr), die O₃-Konzentration fällt nahe null. Die O₃-Konzentration an der Seegrube pendelt sich um 0.09 mg/m³ ein, an der Enzianhütte um 0.04 mg/m³.

Bei der betrachteten Föhnsituation tritt bei schwacher südlichem Wind im Gipfelhöhe am Südhang der Nordkette (Enzianhütte) Südwind auf, bei stärkerem Südwind in Gipfelhöhe (um 10 m/s) tritt an der Enzianhütte zumeist Nordwind auf, wobei sich nachmittags zeitweise Hangaufwind (Südwind) ausbildet; die Geschwindigkeit an der Enzianhütte liegt praktisch immer unter 3 m/s.

Am Hauptbahnhof herrscht bei schwachem südlichem Höhenwind schwacher Süd- bis Nordostwind, bei starkem Südwind in Gipfelhöhe - bevor der Föhn den Talboden erreicht - zumeist Westwind; bei Durchgreifen des Föhns bis zum Talboden tritt unregelmäßiger West- bis Nordwind auf.

Über dem Inntal zeigen die SODAR-Messungen zeitlich relativ heterogene Windverhältnisse; bis zum 22.10. nachmittags - d.h. bei noch schwachem Südwind in Gipfelhöhe - tritt durchwegs vertikal sehr homogener Ostwind auf, dessen Geschwindigkeit relativ stark schwankt; während der Föhnepisode mit starkem Südwind in der Höhe wird zumeist Südwest- bis Westwind gemessen, in den unteren 100 m zeitweise aber auch Ostwind. Der Südwest- bis Westwind kann dabei zeitweise einer Strömung aus dem Oberinntal zugehören, meist aber jener aus dem Wipptal.

Die Ozonverteilung an den Meßstellen Seegrube und Enzianhütte wird primär von großräumigem Transport bestimmt, homogene vertikale Durchmischung tritt nie auf; die Ozonkonzentration nimmt praktisch immer mit der Seehöhe zu. Infolge starker Temperaturtagesgänge vor allem am Talboden - abhängig vom Durchgreifen des Föhns - kommt es nachts und vormittags zu ausgeprägten Inversionen, die zu Zeiten hoher NO-Emission zu einem rasanten Ansteigen der NO-Konzentration am Talboden führen; die O₃-Konzentration am Talboden wird primär von der NO-Konzentration gesteuert und liegt damit nachts und morgens nahe null. Tagsüber steigt die O₃-Konzentration am Talboden - bedingt durch Ozonbildung und Austausch mit höheren Luftschichten - an, bleibt aber zumeist deutlich unter jener an der Enzianhütte; auch bei Durchgreifen des Föhns zum Talboden am Nachmittag des 23.10. bildet sich keine vertikal homogene Ozonkonzentrationsverteilung aus.

9.7 Episode 16.11. bis 19.11. 1990

Wetterlagenklassifikation:

	Steinacker	Sonnenscheindauer
16.11.	Gradientenschwach	5 - 10 h
17.11.	Westlage	5 - 10 h
18.11.	Nordwestlage	5 - 10 h
19.11.	Variabel	< 5 h

Wetterlage

Am 16.11. lag Österreich unter Zwischenhocheinfluß zwischen Tiefdruckgebieten mit Kern über Süditalien und Island. Es war wechselnd, gegen Abend gering bewölkt mit zunächst nördlichem, dann westlichem, im Gebirge starkem Wind. Am 17.11. geriet Österreich in zügige, warme Westströmung, mit der Störungszonen und feuchte maritime Luftmassen in den Alpenraum gelangten. Von Nordwesten wurden feuchtkalte polare Luftmassen herangeführt. Bei starker Bewölkung wehte meist starker Westwind, am Alpen-nordrand und in weiten Teilen Deutschlands kam es zu teilweise schauerartigen Regenfällen. Die lebhaft Westströmung hielt auch am 18.11. an, es war mäßig bis stark bewölkt mit vereinzelt Schauern. Am 19.11. erreichte eine weitere ausgeprägte Kaltfront mit hochreichender polarer Kaltluft von Nordwesten Österreich. Bei starkem Nordwestwind und hohem Bedeckungsgrad traten verbreitet Regen- und Schneeschauer auf.

		N	WR	WG	T	RF	RR
Innsbruck							
16.11.	6.00	6	250	1.9	2	92	
		Nebel					
	12.00	4	uml	1.9	4	93	
		Nebel während der letzten 6 Stunden					
	18.00	0	C		2	93	
17.11.	6.00	5	uml	1.1	2	92	
	12.00	7	120	1.9	9	57	
	18.00	4	270	2.5	5	87	
18.11.	6.00	4	160	1.9	1	92	
	12.00	5	290	11.4	17	26	
	18.00	3	320	8.6	15	23	
19.11.	6.00	7	110	2.5	6	71	
		Niederschläge, die den Boden nicht erreichen					
	12.00	7	100	4.2	8	65	
	18.00	7	70	3.1	8	65	

		N	WR	WG	T	RF	RR
Patscherkofel							
16.11.	6.00	3	320	4.2	-6	93	7S
	12.00	3	270	1.1	0	30	
	18.00	2	300	6.1	0	24	
17.11.	6.00	5	310	8.6	4	80	
	12.00	7	300	7.8	4	66	
	18.00	5	300	9.7	3	56	
18.11.	6.00	3	290	7.2	0	92	
	12.00	5	310	10.8	1	69	
	18.00	3	320	11.4	-1	65	
19.11.	6.00	5	320	8.3	-5	92	
	Unergiebige Schneeschauer in den letzten 6 Stunden						
	12.00	7	310	7.2	-3	74	
	Schauer in den letzten 6 Stunden						
	18.00	7	320	8.3	-5	81	

Trajektorien

Am 16.11. zeigen die 850-hPa-Trajektorien für den Sonnblick starke Nordwestströmung (48-h-Trajektorien beginnen nordwestlich von Irland); am 17.11. zeichnet sich ein Rückgang der Verlagerungsgeschwindigkeit ab, wobei zeitweise südliche Strömung am Sonnblick auftrat. Am 18. und 19.11. herrschte wieder sehr starke Westströmung.

Tabelle 20: Herkunft der 850-hPa-Trajektorien für den Sonnblick (48 h und 24 h zurück).

	48 h	24 h
16.11. 0 Uhr	W v. Irland	Paris
12 Uhr	NW v. Irland	Oberrhein
17.11. 0 Uhr	London	Tirol
12 Uhr	Luxemburg	SE-Schweiz
18.11. 0 Uhr	Atlantik (13°W, 47°N)	Burgund
12 Uhr	Atlantik (14°W, 48°N)	Burgund
19.11. 0 Uhr	Atlantik (21°W, 49°N)	Untere Loire
12 Uhr	S-Irland	Lyon

Wind- und Temperaturverhältnisse

Abb. 179 bis 182 zeigen Windrichtung und -geschwindigkeit an den Stationen Hafelekar, Enzianhütte und Innsbruck Hauptbahnhof, Abb. 183 und 184 die Temperatur an den Meßstellen Hafelekar, Rastelboden, Hungerburg und Olympisches Dorf, Abb. 185 bis 188 Windrichtung und -geschwindigkeit über dem SODAR-Standort in 50 bis 200 m vom 16. bis 19.11., Abb. 189 am 18.11. oberhalb 250 m.

Während aller vier Tage weht in Gipfelhöhe Nordwestwind. Dieser tritt am 16.11. am Hafelekar fast ständig auf, lediglich zwischen 10 und 15 Uhr gibt es zeitweise, möglicherweise durch

Übergreifen des Hangaufwindes, Südwestwind. Kontinuierlicher Westwind weht bis ca. 15 Uhr auch am Hauptbahnhof; die Geschwindigkeit ist an allen Stationen mit unter 2 m/s gering. Über dem Inntal tritt zumeist relativ richtungsunbeständiger Süd- bis Westwind mit Geschwindigkeiten um 2 m/s auf. Am Hafelekar nimmt ab 16 Uhr die Geschwindigkeit deutlich zu und erreicht um 20 Uhr 6 m/s.

Bis 9 Uhr herrscht an der Nordkette ein fast adiabatischer vertikaler Temperaturgradient. Die Meßstellen Rastelboden und Hungerburg zeigen ab 10 Uhr langsame Erwärmung; am Hafelekar steigt zwischen 9 und 10 Uhr sowie zwischen 12 und 14 die Temperatur sprunghaft an, insgesamt von -6.1°C um 8 Uhr auf 4.6°C um 14 Uhr; diese rasante Erwärmung ist zum Teil durch Warmluftadvektion in der freien Atmosphäre bedingt, die im Tagesverlauf zu einem Temperaturanstieg von -5 auf $+2^{\circ}\text{C}$ führt; die nachmittägliche Erwärmung auf bis 4.6°C dürfte durch lokale Überwärmung infolge Sonneneinstrahlung bedingt sein. Insgesamt erreicht bis 14 Uhr dadurch die Temperatur am Hafelekar fast jene an der Hungerburg.

Nach 16 Uhr sinkt die Temperatur am Hafelekar bei Zunahme der Windgeschwindigkeit ab.

Die SODAR-Echos deuten vormittags auf sehr homogen durchmischte Verhältnisse hin, abends deutet sich eine schwache Inversion oberhalb 150 bis 250 m über Grund an.

Ab 21 Uhr bildet sich bei ca. 3°C annähernd Isothermie zwischen allen Stationen vom Olympischen Dorf bis zum Hafelekar. Im Verlauf der Nacht kommt es am Rastelboden (bis 11.2°C) und an der Hungerburg (bis 8.5°C) zu kontinuierlichem Temperaturanstieg, während die Temperatur im Olympischen Dorf zwischen 24 Uhr und 9 Uhr am 17.11. knapp unterhalb jener am Hafelekar (ca. 4°C) liegt; somit bildet sich zwischen Rastelboden und Talboden eine starke Inversion aus, die erst am 17.11. 17 Uhr kurzzeitig bei 8.5°C in Isothermie übergeht, nachdem die Temperatur im Olympischen Dorf ab 13 Uhr jene der Hungerburg erreicht hat. Mit einer Temperaturdifferenz zwischen Olympischem Dorf und Hungerburg von -2.2°C ist die Bodeninversion am 17.11. um 10 Uhr am ausgeprägtesten. Nach 18 Uhr sinkt die Temperatur im Olympischen Dorf jedoch wieder ab (bis 3.9°C am 18.11. 8 Uhr), während sie am Rastelboden wieder ansteigt (bis 11.9°C am 18.11. 1 Uhr). Die langsame Erwärmung am Rastelboden und an der Hungerburg ab 16.11. 20 Uhr dürfte durch Absinken der die Nordkette von Norden überströmenden Luft bedingt sein; man bezeichnet dieses Phänomen als "Nordföhn".

Die SODAR-Echos zeigen am 17.11. in der Nacht im erfaßten Luftvolumen (bis 350 m Höhe) sehr homogene Verhältnisse, zwischen 7 und 15 Uhr kann eine Inversion mit Untergrenze zwischen 200 und 250 m identifiziert werden. Ab 19 Uhr treten hohe Echointensitäten in 50 bis 300 m Höhe auf.

Die Windgeschwindigkeit am Hafelekar schwankt am 17.11. bei überwiegendem Nordwestwind um 3 m/s und steigt abends bis 5 m/s; am Hauptbahnhof weht bis ca. 8 Uhr sehr schwacher Westwind; zwischen 10 und 16 Uhr tritt hier Südostwind auf; analoge

Verhältnisse werden mit dem SODAR erfaßt, wo nachts in allen Höhen Südwest- bis Westwind (unter 2 m/s) auftritt, der zwischen 9 und 16 Uhr in Ostwind übergeht. Abends dreht der Wind über dem SODAR und am Hauptbahnhof auf West, ab ca. 22 Uhr setzt sich bis 18.11. 13 Uhr beständiger Ostwind mit ca. 1 m/s über dem Inntal durch, während am Hauptbahnhof am 18.11. bis 13 Uhr völlig regellose Windverhältnisse (um 1 m/s) beobachtet werden und am Hafelekar ebenfalls äußerst richtungsunbeständiger Wind um 4 m/s weht.

Am 18.11. um 13 Uhr dreht der Wind über dem Inntal von Ost auf West, verbunden mit einer Zunahme der Geschwindigkeit (7 m/s in 100 m) und einer extremen Abnahme der Echointensität; zeitweise liegen oberhalb 150 m keine Echos mehr vor. Analog tritt ab 12 Uhr am Hauptbahnhof Westnordwestwind mit Geschwindigkeiten bis 8 m/s auf; am Hafelekar nimmt die Geschwindigkeit leicht auf 6 m/s zu, die Windrichtung bleibt hier unbeständig.

Wie der Temperatur- und Immissionskonzentrationsverlauf und die Echointensitäten zeigen, ist der Windrichtungswechsel um 13 Uhr mit der Auflösung einer extrem starken Inversion verbunden, deren Untergrenze den Echos zufolge zwischen 1 und 11 Uhr bei ca. 400 m liegt und sich bis 13 Uhr in Bodennähe absenkt.

In dieser Zeit liegt die Temperatur im Olympischen Dorf bis zu 6 °C unter jener an der Hungerburg. Das Durchgreifen des Nordföhns bis zum Talboden mit Windrichtungswechsel über dem Inntal um 13 Uhr ist mit einer rasanten Erwärmung am Talboden verbunden, zwischen 10 und 13 Uhr steigt die Temperatur im Olympischen Dorf von 3.6 auf 17.4 °C. Danach herrscht ein labiler Temperaturgradient, bis am 19.11. um 4 Uhr eine plötzliche Temperaturabnahme im Olympischen Dorf wieder zur Inversionsbildung zwischen diesem und der Hungerburg führt. Ab 4 Uhr deuten die SODAR-Echos auf eine starke Inversion hin, deren Untergrenze sich zwischen 5 und 8 Uhr von 50 auf 300 m hebt, sich zwischen 12 und 17 Uhr wieder dem Boden nähert und danach auf ca. 350 m ansteigt.

Die Ausbildung der Inversion am 19.11. 4 Uhr ist mit einer Drehung des Windes über dem Inntal von Südwest auf Ost verbunden; den ganzen Tag herrscht höhenmäßig sehr einheitlicher Ostwind mit Geschwindigkeiten um 6 m/s bis 11 Uhr, um 3 m/s bis 17 Uhr, um 5 m/s danach.

Am Hauptbahnhof sowie am Hafelekar treten dagegen am 19.11. völlig regellose Windrichtungen auf, an der Enzianhütte schwankt die Windrichtung unabhängig von der Tageszeit.

Die Temperaturverläufe zeigen am 19.11. von 13 bis 18 Uhr - zwischen 5 und 12 Uhr fehlen Werte von der Hungerburg - eine schwache Inversion zwischen Olympischem Dorf und Hungerburg.

Immissionssituation

Abb. 190 bis 193 zeigen die Konzentration von O_3 , NO und NO_2 an den Meßstellen Seegrube, Enzianhütte (O_3) und Reichenau (O_3) bzw. Innsbruck-Zentrum (Fallmerayerstraße) (NO, NO_2) vom 16. bis 19.11. 1990.

Die Ozonkonzentration liegt am 16.11. morgens an der Seegrube bei ca. 0.075 mg/m^3 und nimmt bis 15 Uhr kontinuierlich auf unter 0.060 mg/m^3 ab; der steile Konzentrationsanstieg zwischen 16 und 17 Uhr auf 0.095 mg/m^3 (bzw. 0.110 mg/m^3 um 21 Uhr) ist durch Luftmassenwechsel in Gipfelhöhe bedingt und steht in Zusammenhang mit der Windgeschwindigkeitszunahme am Hafelekar; die 850-Hpa-Trajektorien für den Sonnblick zeigen einen Übergang von sehr zügiger Nordwestströmung (16.11. 12 Uhr) auf mäßige Strömungsgeschwindigkeit (17.11. 0 Uhr), wobei die Luft die Alpen von Südwesten erreicht. An den Meßstellen Enzianhütte und Reichenau sind die Ozonkonzentrationen viel geringer, an der Enzianhütte pendeln die Werte zwischen 0.01 und 0.03 mg/m^3 , in Reichenau liegen sie - mit Ausnahme eines kurzzeitigen Anstiegs auf 0.015 mg/m^3 zwischen 13 und 15 Uhr - unter 0.005 mg/m^3 , wofür primär die hohe NO -Konzentration bei geringer vertikaler Durchmischung verantwortlich sein dürfte. Da in Reichenau aus diesem Zeitraum keine Stickoxidmessungen vorliegen, werden stattdessen die Werte der Meßstelle Innsbruck-Zentrum (Fallmerayerstraße, Stadtzentrum westlich der Maria-Theresien-Straße) zur Interpretation herangezogen. Die NO -Konzentration liegt hier zwischen 7 und 14 Uhr um 0.10 mg/m^3 und steigt dann - bei unregelmäßigem Verlauf - auf 0.16 bis 0.26 mg/m^3 ; nach 22 Uhr fällt sie auf 0.09 bis 0.12 mg/m^3 ab. Die NO_2 -Konzentration liegt relativ beständig zwischen 0.04 und 0.08 mg/m^3 .

Am 17.11. sinkt die O_3 -Konzentration an der Seegrube bis 9 Uhr kontinuierlich auf 0.065 mg/m^3 und steigt dann langsam auf 0.085 mg/m^3 . An der Enzianhütte erfolgt durch Advektion (oder Austausch) aus höheren Luftschichten ein langsamer Konzentrationsanstieg bis 0.045 mg/m^3 , bis um 11 Uhr ein rapider Abfall auf 0.01 mg/m^3 erfolgt; ob dafür die Winddrehung in Gipfelhöhe von Nordwest auf Süd verantwortlich ist oder Advektion ozonreicher und NO -reicher Luft vom Talboden her, ist nicht beurteilbar; das Abfallen der NO -Belastung an der Fallmerayerstraße deutet auf kurzzeitigen vertikalen Luftmassenaustausch hin. In Reichenau gleicht der Ozonkonzentrationsverlauf jenem des Vortages mit Werten meist unter 0.005 mg/m^3 . Die NO -Konzentration an der Fallmerayerstraße erreicht während der morgendlichen Verkehrsspitze über 0.30 mg/m^3 (9.30 Uhr) und pendelt nach einem mittäglichen Minimum von 0.07 mg/m^3 um 0.15 mg/m^3 , um in der Nacht wieder auf um 0.25 mg/m^3 anzusteigen. Die NO_2 -Konzentration liegt nachts bei 0.035 mg/m^3 und tagsüber um 0.080 mg/m^3 .

Am 16. und 17.11. belegen die Konzentrationsverläufe ausgesprochen austauscharme Bedingungen am Talboden und das Fehlen photochemischer Ozonbildung.

Der 18.11. zeigt an der Seegrube außerordentlich konstante Ozonwerte zwischen 0.080 und 0.090 mg/m^3 . Die

850-hPa-Trajektorien zeigen für den 18. und 19.11. starke Westströmung, sodaß die Ozonwerte in Gipfelhöhe von ca. 0.08 mg/m^3 der Hintergrundkonzentration der Luft über dem Atlantik entsprechen.

Am Talboden halten sich bei sehr stabilen Ausbreitungsbedingungen die Konzentrationsverhältnisse der vergangenen Nacht bis ca. 10 Uhr; danach beginnt ein allmähliches Abfallen der NO-Konzentration, während die O_3 -Konzentration an der Enzianhütte vormittags langsam ansteigt.

Mit Auflösung der Inversion um 13 Uhr erfolgt ein rasanter Anstieg der O_3 -Konzentration in Reichenau von 0.008 mg/m^3 auf über 0.060 mg/m^3 , die sich dann nach und nach an jene der Enzianhütte und später an jene der Seegrube angleicht; in der folgenden Nacht werden in Reichenau bis 0.085 mg/m^3 erreicht. Die NO- und NO_2 -Konzentration an der Fallmerayerstraße liegen ab 13 Uhr unter 0.020 mg/m^3 .

Während am 19.11. die Ozonkonzentration an der Seegrube weiterhin beständig zwischen 0.080 und 0.090 mg/m^3 bleibt, fällt sie an der Enzianhütte und stärker noch in Reichenau nach 5 Uhr mit Bildung einer Inversion im Inntal ab; zwischen 8 und 14 Uhr werden in Reichenau noch um 0.015 mg/m^3 gemessen, danach unter 0.005 mg/m^3 . Parallel dazu steigt vormittags die NO- und NO_2 -Konzentration an der Fallmerayerstraße auf ca. 0.080 mg/m^3 , abends werden NO-Konzentrationen bis 0.200 mg/m^3 erreicht.

An der Enzianhütte pendelt die Ozonkonzentration relativ unregelmäßig zwischen 0.030 und 0.075 mg/m^3 , bedingt durch Austausch mit höheren Luftschichten.

Die Variationen der Windverhältnisse im Inntal, die u.a. am 18.11. um 13 Uhr zur Inversionsauflösung und Labilisierung der Luft über dem Inntal führen, aber auch die Regen- und Schneeschauer am 19.11. beeinflussen die Ozonkonzentration an der Seegrube kaum, sie dürften aber für den Ozonkonzentrationsverlauf an der Enzianhütte verantwortlich sein.

9.7 Episode 7.12. bis 10.12. 1990

Wetterlagenklassifikation:

Steinacker	Sonnenscheindauer
7.12. Gradientschwach	5 - 10 h
8.12. Südwestlage	5 - 10 h
9.12. Südlage	< 5 h
10.12. Variabel	< 5 h

Wetterlage

Am 7.12. lag Österreich unter Zwischenhocheinfluß zwischen einem Tief über dem Balkan und einem Tiefdruckgebiet über Skandinavien und dem Eismeer. Österreich lag im Bereich kalter, trockener Luft; bei unterschiedlich starkem, meist nördlichem Wind war es zunächst österreichweit fast wolkenlos, nachmittags

zog von Südwesten Bewölkung auf. Bei klarem Himmel und schneebedecktem Boden wurden in Tälern und Niederungen in der folgenden Nacht Tiefsttemperaturen unter -10°C gemessen. Über Westeuropa kam es am 8.12. zur Ausbildung eines ausgeprägten (Höhen-)Trog (Sturmtief) und Zufuhr hochreichender kalter polarer Luftmassen. Der 8.12. war im Westen Österreichs sonnig, im Osten bedeckt, da Ausläufer einer Front vom Balkan her Ostösterreich erreichten. Im Tagesverlauf kam an der Vorderseite des sich über Westeuropa bildenden Kaltfrontsystems in Westösterreich starker Südwind auf. Am 9.12. lag der Alpenraum weiterhin im Bereich starker Südströmung, die in Westösterreich zu Föhn führte. Nach Eindringen polarer Kaltluft zum Westlichen Mittelmeer bildete sich hier ein Tief aus, das nordostwärts zog. Bei vor allem im Gebirge sehr starkem Südwind war dieser Tag meist stark bedeckt. Am 10.12. erreichte ein kräftiges Frontsystem von Süden Österreich, verbunden mit verbreiteten Regen- und Schneefällen und starker Bewölkung.

		N	WR	WG	T	RF	RR
Innsbruck							
7.12.	6.00	1	270	1.9	-9	81	
	12.00	1	270	2.5	-6	63	
	18.00	0	270	1.7	-9	88	
8.12.	6.00	0	uml	0.6	-13	94	
	12.00	5	uml	0.6	-4	70	
	18.00	7	250	1.9	-6	88	
9.12.	6.00	5	uml	2.5	-7	91	
	12.00	7	80	6.7	11	34	
	18.00	7	70	8.3	10	41	
10.12.	6.00	8	170	5.3	1	94	0.3
		Mäßiger Regen mit Unterbrechungen Schauer in den letzten 6 Stunden					
	12.00	7	100	3.1	2	82	
		Leichter Regen mit Unterbrechungen Schneefall in den letzten 6 Stunden					
	18.00	7	90	4.2	0	90	2
		Schneefall in den letzten 6 Stunden					

Patscherkofel

7.12.	6.00	0	340	2.5	-11	45	
	12.00	1	360	2.5	-8	12	
	18.00	0	C		-7	27	
8.12.	6.00	0	C		-6	20	
	12.00	4	160	4.2	-4	29	
	18.00	7	160	15.6	-8	78	
9.12.		Starkes Schneefegen in Bodennähe					
	6.00	5	160	33.3	-7	100	
		Starkes Schneefegen in Bodennähe					
	12.00	5	150	23.6	-5	98	
		Leichtes Schneefegen in Bodennähe					
	18.00	7	160	15.6	-4	94	
		Leichtes Schneefegen in Bodennähe					

	N	WR	WG	T	RF	RR
10.12. 6.00	und	170	5.3	-3	100	0.3
	Mäßiger Schneefall ohne Unterbrechung					
12.00	6	160	11.4	-6	100	
	Leichtes Schneefegen in Bodennähe					
	Schneefall in den letzten 6 Stunden					
18.00	5	150	10	-8	97	2
	Nebel					
	Schneefall in den letzten 6 Stunden					

Trajektorien

Die 850-hPa-Trajektorien für den Sonnblick kommen am 7.12. bei mäßiger Nordströmung aus Mitteldeutschland und erreichen die Station bei antizyklonaler Krümmung von Osten. Am 8.12. nimmt die Verlagerungsgeschwindigkeit drastisch ab, die 0-Uhr-Trajektorie liegt 48 h vorher über Bayern, 36 h vorher über Kärnten und 12 h vorher über Osttirol. Die 12-Uhr-Trajektorie zeigt bereits Südwestströmung, sie liegt 48 h vorher über Südtirol, 24 h vorher über der Lombardei und 12 h vorher über dem Gardasee. Ab 9.12. 0 Uhr nimmt die Verlagerungsgeschwindigkeit drastisch zu, bei deutlich antizyklonaler Krümmung kommen am 9. und 10.12. die 48-h-Trajektorien vom Westlichen Mittelmeer bzw. von Nordafrika, wobei sich die Anströmung der Alpen zeitweise von Südwest auf Südsüdost verschiebt.

Tabelle 21: Herkunft der 850-hPa-Trajektorien für den Sonnblick (48 h und 24 h vorher).

	48 h	24 h
7.12. 0 Uhr	Jütland	Ostbayern
12 Uhr	Thüringen	Obersteiermark
8.12. 0 Uhr	Südbayern	Oberkärnten
12 Uhr	Südtirol	Lombardei
9.12. 0 Uhr	Dauphine	Piemont
12 Uhr	W-Mittelmeer N von Algerien	E v. Sardinien
10.12. 0 Uhr	NE Algerien	S v. Sizilien
12 Uhr	NE Marokko	W v. Sardinien

Wind- und Temperaturverhältnisse

Abb. 194 bis 197 zeigen die Windrichtung und -geschwindigkeit an den Meßstellen Hafelekar, Enzianhütte und Innsbruck Hauptbahnhof, Abb. 198 bis 201 Windrichtung und -Windgeschwindigkeit über dem Inntal (SODAR) in 50 bis 200 m, Abb. 202 und 203 am 9. und 10.12. in 250 bis 350 m, Abb. 204 und 205 die Temperatur an den Meßstellen Hafelekar, Rastelboden, Hungerburg und Olympisches Dorf vom 7. bis 10.12 1990.

Am Patscherkofel und am Hafelekar weht am 7.12. durchwegs sehr schwacher, zumeist nördlicher Wind; am Hafelekar liegt die Windgeschwindigkeit bis 12 Uhr zumeist unter 0.5 m/s. An der Enzianhütte tritt unregelmäßiger Wechsel zwischen Nord- und Südwind auf, am Hauptbahnhof durchwegs Westwind um 2 m/s. Über dem Inntal tritt bis ca. 8 Uhr Südwest- bis Westwind bis 4 m/s auf, der nach und nach, beginnend in den unteren 50 m, auf Süd bis Ost dreht, um in der Nacht wieder auf Süd bis West zu schwenken. Nach 9 Uhr liegt die Geschwindigkeit durchwegs unter 2 m/s.

Die Temperatur sinkt bei wolkenlosem Himmel an den Stationen unterhalb des Rastelbodens am 7.12. bis 9 Uhr, bei zunächst labiler Schichtung ab (Minimum -9.5°C im Olympischen Dorf), wobei sich kurzzeitig Isothermie ausbildet, und steigt dann kräftig an, im Olympischen Dorf um 15 Uhr auf -2.8°C , am Rastelboden -5.7°C .

Am Hafelekar steigt dagegen die Temperatur bis 9 Uhr langsam infolge großräumiger Warmluftadvektion an; der abrupte Temperaturanstieg zwischen 9 und 11 Uhr ist schwer interpretierbar und kann teilweise auf Warmluftadvektion, teilweise auf lokale Überwärmung infolge Sonneneinstrahlung zurückzuführen sein. Um 12 Uhr liegt die Temperatur hier mit -3.9°C deutlich über jener der niedriger gelegenen Stationen; sie sinkt danach rasch auf -7.2°C (Rastelboden) ab. Nach 15 Uhr sinken an den tiefer gelegenen Stationen die Temperaturen überall wieder, und zwar am Talboden stärker. Ab 16 Uhr bildet sich eine Inversion zwischen Rastelboden und Hungerburg aus, ab 23 Uhr zwischen Hungerburg und Olympischem Dorf, wo die Temperatur weit unter jener am Hafelekar liegt. Der Temperaturanstieg am Rastelboden und die fehlende nächtliche Abkühlung an der Hungerburg deuten bereits föhnige Verhältnisse an.

Am 8.12. um 8 Uhr betragen die Temperaturen -10.3°C im Olympischen Dorf, -8.1°C auf der Hungerburg, -4.9°C am Rastelboden und -5.2°C am Hafelekar.

Die Echointensitäten zeigen am 7.12. sowie am 8.12. bis 20 Uhr durchwegs niedrige Werte bei einer Echo-Obergrenze zwischen 150 und 250 m; die Inversionsuntergrenze dürfte daher oberhalb der Echo-Obergrenze des SODARs gelegen sein, während unter der Inversion eher labile Verhältnisse herrschen.

Am 8.12. erreicht der Nordwestwind am Hafelekar bis 3 m/s und dreht um 10 Uhr bei abnehmender Geschwindigkeit auf Südwest; diese Richtung tritt an den folgenden Tagen durchgehend auf; die Geschwindigkeit nimmt ab 14 Uhr bis 13 m/s zu, sodaß man ab diesem Zeitpunkt vom beginnenden Föhn (oder föhnigen Verhältnissen) sprechen kann, der allerdings den Talboden noch nicht erreicht.

Über dem Inntal weht am 8.12. ab 2 Uhr in 50 m Höhe Südostwind, darüber Südwest- bis Westwind; die Geschwindigkeit liegt um 2 m/s; der Wind dreht in 100 m Höhe um 13 Uhr, darüber erst um 15 Uhr auf Ost; nach 20 Uhr weht oberhalb 100 m wieder Südwestwind.

Ähnliche Verhältnisse herrschen am Hauptbahnhof, wo stark schwankender Südwest- bis Westwind nachmittags zeitweise auf Süd bis Südost wechselt.

Um 10 Uhr beginnt an den Temperaturmeßstellen an der Nordkette ein rascher und kräftiger Temperaturanstieg, der primär auf Erwärmung durch Sonneneinstrahlung bei wolkenlosem Himmel zurückzuführen ist. Am Hafelekar werden um 11 Uhr $+2.3^{\circ}\text{C}$ erreicht, worauf aber ein ebenso rasanter Abfall auf ca. -8°C am Abend erfolgt (Aufzug von Bewölkung); am Rastelboden werden um 15 Uhr $+2.7^{\circ}\text{C}$ erreicht, auf der Hungerburg -2.2°C , wo einem Temperaturrückgang auf -5.0°C um 20 Uhr ein neuerlicher rasanter Anstieg auf $+2.2^{\circ}\text{C}$ um 23 Uhr folgt, welcher auf das Durchgreifen des Föhns zurückzuführen ist. Ebenso ist das Fehlen nächtlicher Abkühlung am Rastelboden eine Folge des Föhns, der sich hier früher als an der Hungerburg bemerkbar macht.

Im Olympischen Dorf liegen nachmittags keine Meßwerte vor, doch deuten die Meßwerte von Innsbruck Flughafen (-4°C um 12 Uhr) darauf hin, daß am Talboden eine Tageserwärmung ca. auf die Temperatur der Hungerburg erfolgt. Mit dem Temperaturanstieg auf der Hungerburg nach 20 Uhr bildet sich eine extreme bodennahe Inversion aus, die zu einer drastischen Zunahme der Echointensität bis 500 m Höhe führt; die höchste Echointensität wird in ca. 150 m Höhe beobachtet.

Über dem Inntal weht ab 9.12. 1 Uhr einheitlicher Ostwind, dessen Geschwindigkeit bis 8 Uhr von um 2 m/s auf bis 6 m/s zunimmt. Beginnend in der Höhe und nach unten hin fortschreitend - um 5.30 Uhr in 350 m Höhe, um 8.30 Uhr in 50 m Höhe - dreht der Wind auf West, wonach um 10 Uhr ein leichter Sprung auf Südwest auftritt und die Geschwindigkeit deutlich zunimmt. Am Hauptbahnhof schwankt die Richtung stark, ab ca. 8 Uhr weht Südwind mit bis auf 5 m/s zunehmender Geschwindigkeit, der den ganzen Tag über anhält; es handelt sich dabei den das Wipptal durchströmenden, bis zum Boden reichenden Föhn.

Zwischen 5 und 10 Uhr werden extrem hohe Echointensitäten von 50 bis 400 m Höhe beobachtet, die mit der vertikalen Windscherung, aber auch mit einer raschen Temperaturzunahme am Talboden in Verbindung stehen. Anschließend sind die Echointensitäten bis ca. 14 Uhr sehr gering.

Parallel zur Winddrehung über dem Inntal von Ost auf West kommt es zwischen 6 und 8 Uhr zu einem rasanten Temperaturanstieg im Olympischen Dorf von -5.2 auf $+7.3^{\circ}\text{C}$, d.h. zum Ausräumen der Kaltluft vom Talboden und einem Durchgreifen des Föhns bis in Bodennähe. Zwischen 8 und 16 Uhr herrscht ein labiler Temperaturgradient über dem Inntal; um 16 Uhr kommt es zu einem ebenso abrupten Temperatursturz im Olympischen Dorf von $+9.8^{\circ}\text{C}$ auf $+2.7^{\circ}\text{C}$.

Dies erfolgt gleichzeitig mit einer Winddrehung in allen Höhen von Südwest auf Ost und einer Geschwindigkeitsabnahme in allen Höhen.

Der 9.12. zeigt am Hafelekar beständig Südwestwind mit ca. 8 m/s, dessen Geschwindigkeit nachmittags zunimmt (zeitweise bis 15 m/s).

Zwischen 9.12. 15 Uhr und 10.12. 12 Uhr treten in Höhen bis 300 m extrem hohe Echointensitäten auf, die auf eine sich im Verlauf des 10.12. langsam hebende Inversion hindeuten, deren Untergrenze um 12 Uhr in ca. 250 m Höhe liegt. Die Zunahme der Echointensität in Bodennähe erfolgt am Nachmittag des 9.12. bereits vor dem Temperatursturz im Olympischen Dorf und vor der Drehung des Windes über dem SODAR von Westsüdwest auf Ost, die das Ende der Föhnsituation am Talboden markieren.

Bei stabiler Temperaturschichtung unterhalb des Rastelbodens kommt es zwischen 9.12. Abends und 10.12. 10 Uhr zu gleichmäßiger Temperaturabnahme, bis sich Isothermie einstellt. Zwischen 10 und 12 Uhr am 10.12. steigt die Temperatur am Rastelboden und an der Hungerburg nochmals etwas über jene im Olympischen Dorf, anschließend bildet sich wieder ein leicht stabiler Temperaturgradient aus.

Während am Hafelekar am 10.12. beständig Südwestwind weht, dessen Geschwindigkeit im Tagesverlauf ungleichmäßig von 10 auf 3 m/s abnimmt, tritt über dem Inntal ab 9.12. 16 Uhr höhenmäßig sehr einheitlicher Ostwind auf. Die Geschwindigkeit schwankt außerordentlich stark und erreicht am 10.12. nachmittags in 50 m Höhe bis 8 m/s, in 200 m Höhe bis 18 m/s, in 250 m Höhe bis 23 m/s. Die starken Geschwindigkeitsschwankungen, die hier sowie am Hauptbahnhof - wo die Richtung stark schwankt - auftreten, könnten mit den schauerartigen Niederschlägen in Verbindung stehen, die nach Zusammenberechnen des Föhns mit Übergreifen der maritimen Kaltluft von Süden das Inntal erreichen.

Am Hafelekar wird nach einem Temperaturminimum am 8.12. 23 Uhr von -8.3°C kontinuierliche Erwärmung auf -2.2°C am 10.12. 6 Uhr beobachtet, der kontinuierliche Abkühlung auf -8.8°C um 24 Uhr durch Kaltluftadvektion und Niederlagen folgt.

Immissionsgeschehen

Abb. 206 bis 209 zeigen die Verläufe der Konzentration von O_3 , NO und NO_2 an den Meßstellen Seegrube, Enzianhütte und Innsbruck-Reichenau vom 7. bis 10. 12. 1990.

Die Ozonkonzentration an der Seegrube liegt am 7.12. um 0.10 mg/m^3 und sinkt nachmittags zeitweise ab, wahrscheinlich wegen Luftmassenaustausch vom Talboden her.

An der Enzianhütte variiert die Ozonkonzentration bis 16 Uhr zwischen 0.02 und 0.04 mg/m^3 und steigt dann kontinuierlich auf 0.06 mg/m^3 an, was mit der Ausbildung stabiler Temperaturschichtung und einer Abkopplung der Luftmasse an der Enzianhütte vom Talboden einhergeht.

Die Ozonkonzentration in Reichenau weist zwischen 3 und 6 Uhr sowie zwischen 11 und 14 Uhr erhöhte Werte bis 0.04 mg/m^3 auf, die durch Luftmassenaustausch mit höheren Schichten bedingt sind; zwischenzeitlich hohe NO -Konzentrationen führen zum Sinken der Ozonkonzentration nahe null, vor allem ab 16 Uhr, als nach Ansteigen der NO -Konzentration auf 0.10 bis 0.27 mg/m^3 die Ozonkonzentration beständig an der Nachweisgrenze bleibt. Die

NO₂-Konzentration liegt vormittags um 0.05 mg/m³ und steigt nach 14 Uhr auf um 0.07 mg/m³.
An der Seegrube liegt die NO- und NO₂-Konzentration an der Nachweisgrenze.

Bis zum Morgen des 8.12. steigt die O₃-Konzentrartion an der Seegrube an auf 0.120 mg/m³ - bei Nordwestwind am Hafelekar - , um mit dem Windrichtungswechsel am Hafelekar auf Südwest zunächst langsam auf 0.105 mg/m³ um 10 Uhr und bis Tagesende knapp unter 0.090 mg/m³ abzusinken.
An der Enzianhütte bewegt sich die Ozonkonzentration um 0.075 mg/m³, fällt am frühen Nachmittag, vermutlich infolge Transports ozonarmer Luft vom Talboden her, zeitweise auf bis 0.04 mg/m³ ab und gleicht sich bei zunehmender Föhnstärke abends immer mehr an das Niveau der Seegrube an.
in Reichenau führen hohe NO-Konzentrationen bei zumeist außerordentlich stabilen Ausbreitungsbedingungen zu Ozonkonzentrationen, die an der Nachweisgrenze liegen, lediglich zwischen 11 und 15 Uhr steigt die Ozonkonzentration vermutlich infolge von vertikalem Austausch zeitweise bis 0.03 mg/m³. Die NO-Konzentration erreicht vormittags 0.195 mg/m³, nachmittags 0.250 mg/m³, die NO₂-Konzentration steigt von ca. 0.05 mg/m³ vormittags auf 0.10 mg/m³ nachmittags.

Am 9.12. sowie am 10.12. bis 6 Uhr liegt die O₃-Konzentration an der Seegrube bei starker Südströmung (850 hPa) ziemlich konstant um 0.09 mg/m³, ehe sie bei Eintreffen der von der Zyklone im westlichen Mittelmeer ausgehenden Front ab 10.12. 15 Uhr deutlich fällt.

In der Nacht vom 8. auf 9.12. sinkt die NO- und NO₂-Konzentration in Reichenau langsam ab, wobei die Ozonkonzentration bis 7 Uhr nahe der Nachweisgrenze bleibt. Um 8 Uhr schnellst sie mit Auflösung der Inversion, Durchgreifen des Föhns bis zum Talboden und Winddrehung auf West in die Höhe und erreicht mit 0.085 mg/m³ das Niveau der Seegrube. Während des Zeitraums mit Westwind im Inntal, von 8 bis 16 Uhr, herrschen an allen drei Stationen fast gleiche Ozonwerte, die Atmosphäre über dem Tal ist homogen durchmischt. Die NO- und NO₂-Konzentration in Reichenau liegt nahe der Nachweisgrenze, ebenso an der Seegrube.

Mit neuerlicher Ausbildung der Inversion über dem Inntal. d.h. nach dem Temperatursturz am Talboden und der Drehung des Windes von West auf Ost fällt die Ozonkonzentration in Reichenau auf 0.01 mg/m³ ab, die NO₂-Konzentration nimmt sofort auf 0.07 mg/m³ zu.

Im Tagesverlauf tritt an den Meßstellen Seegrube und Enzianhütte eine langsame Ozonkonzentrationsabnahme von 0.09 mg/m³ (Seegrube) auf 0.08 mg/m³ auf; die Werte an der Enzianhütte liegen stets ca. 0.01 mg/m³ unter jenen der Seegrube.

Der 10.12. zeigt, vermutlich infolge der erhöhten Niederschlagsstätigkeit, eine unregelmäßige Abnahme der Ozonkonzentration an der Seegrube, die nachmittags auf 0.06 mg/m³ absinkt.

An der Enzianhütte fällt nach 7 Uhr die Ozonkonzentration nach und nach ab und gleicht sich nach sehr unregelmäßigem Verlauf

ab 13 Uhr den mit unter 0.01 mg/m^3 sehr niedrigen Werten in Reichenau an.

Die NO -Konzentration in Reichenau steigt im Tagesverlauf bis 14 Uhr auf ca. 0.10 mg/m^3 und sinkt nachher auf ca. 0.03 mg/m^3 ab, die NO_2 -Konzentration bewegt sich beständig um 0.04 mg/m^3 .

Während der betrachteten, föhnigen Episode herrscht über dem Inntal die meiste Zeit eine höhenmäßig sehr ausgedehnte Inversion, die mindestens vom Talboden bis in den Bereich des Rastelbodens, zeitweise bis in Gipfelhöhe der Nordkette reicht. Die Erwärmung zufolge des Föhns wirkt sich in den höheren Niveaus früher und stärker aus und bewirkt die meiste Zeit keine Auflösung der Inversion nahe dem Talboden, sondern eine Erhöhung des Temperaturunterschieds zwischen Hungerburg und Olympischem Dorf, wo sich eine flache Kaltluftschicht in Talbodennähe hält; die Temperaturzunahme vom Olympischen Dorf zur Hungerburg beträgt vom 8.12. 23 Uhr bis 9.12. 6 Uhr um 7°C . Diese Bedingungen stehen mit hohen NO -Werten und meist verschwindender Ozonkonzentration am Talboden in Verbindung. Erst bei Durchgreifen des Föhns zum Talboden mit Drehung des während dieser Episode zumeist östlichen Windes über dem Inntal auf West setzen Temperaturzunahme am Talboden und homogene Durchmischung der Talatmosphäre ein; während dieser Phase gleichen sich die Ozonwerte in Reichenau an jene an der Seegrube an. Die Ozonkonzentration an der Enzianhütte liegt während des Föhns zumeist ein wenig unter jener an der Seegrube, was darauf hindeutet, daß zwischen beiden Meßstellen kein unmittelbarer Luftmassenaustausch stattfindet, sondern mit dem Föhn Luft leicht unterschiedlicher Ozonkonzentration herantransportiert wird.

9.8 Episode 8.1. bis 11.1. 1991

Wetterlagenklassifikation:

	Steinacker	Sonnenscheindauer
8.1.	Westlage	5 - 10 h
9.1.	Südwestlage	< 5 h
10.1.	Südwestlage	< 5 h
11.1.	Variabel	< 5 h

Wetterlage

Österreich lag am 8.1. am Südrand einer Zone milder und feuchter Westströmung mit durchziehenden Fronten. Es wehte schwacher, meist südwestlicher Wind, der Bedeckungsgrad war österreichweit hoch. Vor allem im Süden und Osten kam es zu Regen- und Schneefällen. Die Westsüdwestströmung wurde am 9.1. noch ausgeprägter; auf den Bergen wehte sehr starker Wind aus Südwest- bis Südost, der Bedeckungsgrad war meist hoch. In den Niederungen traten verbreitet Nebelfelder auf. Am 10.1. änderte sich die Wetterlage nur wenig; der Wind auf den Bergen drehte mehr auf West, der Bedeckungsgrad nahm generell ab. Am Alpen-

nordrand fiel vereinzelt Regen. In der Nacht zum 11.1. überquerte eine Warmfront Österreich und brachte noch mildere Luftmassen mit sich. Der starke Süd- bis Westwind in den Bergen flaute etwas ab, es kam vereinzelt zu Regenfällen. Der Bedeckungsgrad war mäßig bis hoch.

		N	WR	WG	T	RF	RR
Innsbruck							
8.1.	6.00	7	uml	0.6	2	96	0.2
		Schauer in den letzten 6 Stunden					
	12.00	3	260	1.1	7	68	
	18.00	0	uml	1.1	1	87	
9.1.	6.00	3	260	4.7	0	71	
	12.00	6	250	4.2	6	41	
	18.00	3	280	1.9	5	51	
10.1.	6.00	3	290	4.7	0	80	
	12.00	6	280	3.6	6	49	
	18.00	3	270	1.9	4	63	
11.1.	6.00	6	290	4.7	2	78	
	12.00	7	270	5.3	8	55	
	18.00	6	uml	1.7	5	69	

Patscherkofel

8.1.	6.00	6	150	5.3	-5	86	2S
		Schneefall in den letzten 6 Stunden					
	12.00	2	160	9.2	-4	76	
		Leichtes Schneefegen in Bodennähe					
	18.00	0	150	13.3	-5	74	
9.1.	6.00	6	150	24.2	-2	32	
		Starkes Schneefegen in Bodennähe					
	12.00	6	160	14.4	-5	73	
		Leichtes Schneefegen in Bodennähe					
	18.00	3	220	1.7	-2	54	
10.1.	6.00	3	160	6.7	1	29	
	12.00	7	150	10.8	2	35	
	18.00	4	150	13.3	1	50	
11.1.	6.00	7	170	9.2	0	65	
	12.00	7	140	3.1	0	77	
	18.00	5	150	12.2	-1	84	

Trajektorien

Vom 8. bis 10.1. 1991 kommen die 850-hPa-Trajektorien für den Sonnblick von Westsüdwest, wobei am 8.1. die Verlagerungsgeschwindigkeit deutlich ab- und am 11.1. deutlich zunimmt.

Tabelle 22: Herkunft der 850-hPa-Trajektorien für den Sonnblick (48 h und 24 h)

		48 h	24 h
8.1.	0 Uhr	W von Bordeaux	Piemont
	12 Uhr	Longuedoc	Lombardei
9.1.	0 Uhr	Untere Rhone	Lombardei
	12 Uhr	Lyon	Lombardei
10.1.	0 Uhr	Massif Central	Piemont
	12 Uhr	Longuedoc	Piemont
11.1.	0 Uhr	Golfe du Lion	Piemont
	12 Uhr	Unterer Ebro	Cote d'Azur

Wind- und Temperaturverhältnisse

Abb. 210 bis 213 zeigen Windrichtung und -geschwindigkeit an den Meßstellen Hafelekar und Innsbruck Hauptbahnhof, Abb. 214 bis 217 Windrichtung und -geschwindigkeit über dem Inntal (SODAR), ABB. 218 und 219 die Temperatur an den Meßstellen Hafelekar, Rastelboden, Hungerburg und Olympisches Dorf vom 8. bis 11.1. 1991.

Am 8.1. 1991 morgens dreht der Wind am Hafelekar von Nord auf Südsüdwest (um 2 m/s). Das SODAR erfaßt bis zur Drehung des Windes am Hafelekar um 4 Uhr einheitlichen Ostwind mit 2 bis 3 m/s, danach richtungsmäßig relativ unbeständigen Wind aus Ost bis Süd mit weniger als 1 m/s. Am Hauptbahnhof tritt bis 2 Uhr schwacher Ostwind, danach Südwestwind mit ca. 1 m/s auf.

Sowohl am Hafelekar als auch am Hauptbahnhof nimmt die Geschwindigkeit in der Nacht vom 8. auf den 9.1. zu, am Hafelekar werden am 9.1. morgens über 10 m/s erreicht, am Bahnhof bis 9 m/s. Parallel zur Ausbildung föhniger Verhältnisse, die mit dieser Geschwindigkeitszunahme in Gipfelhöhe einhergehen, dreht der Wind über dem Inntal am späten 8.1. nach und nach auf Südwest, wobei die Geschwindigkeit erst am 9.1. zunimmt und um 7 Uhr in 50 m Höhe 4 m/s, in 200 m Höhe 12 m/s erreicht.

Die Temperatur an den Meßstellen Hafelekar, Rastelboden und Hungerburg zeigt am 8.1. einen von der Einstrahlung geprägten Tagesgang; ab 20 Uhr beginnt infolge des Föhns die Temperatur am Rastelboden leicht zu steigen, um 24 Uhr steigt sie an der Hungerburg sprunghaft an. Parallel dazu kommt es zu einer deutlichen Zunahme der Echointensität in Höhen bis 500 m, nachdem den ganzen 8.1. über die Echointensität außerordentlich niedrig war, wobei Echos nur in Höhen bis 200 m vorlagen. Am 9.1. ist bis 11 Uhr die Echointensität bis 350 m Höhe hoch, danach kommt es zu Labilisierung.

Am 9.1. 8 Uhr dreht der Wind am Hafelekar von Südsüdwest auf Südsüdost, nach 14 Uhr mehr auf West, wobei die Geschwindigkeit unregelmäßig abnimmt und nachmittags um 3 m/s liegt. Zwischen 8 und 14 Uhr weht am Hauptbahnhof nach wie vor Westwind, dessen Geschwindigkeit auf ca. 6 m/s abnimmt; um 14 Uhr dreht er auf Südsüdwest und frischt bis 9 m/s auf.

Der Südwestwind über dem Inntal zeigt nach 8 Uhr geringere

Geschwindigkeiten um 2 bis 4 m/s, dreht zwischen 10 und 12 Uhr teilweise auf Süd bis Ost und nach 12 Uhr auf Nordwest bis West, abends auf Südwest.

Am 10.1. herrscht zwischen 2 und 8 Uhr wieder relativ starker Südwind am Hafelekar mit 5 bis 8 m/s, der nachmittags auf ca. 3 m/s abflaut. Demgegenüber nimmt die Geschwindigkeit des Westwindes am Hauptbahnhof gleichmäßig zu und liegt zwischen 7 und 9 m/s; nach 14 Uhr erfolgt leichte Drehung auf Südwest. Über dem Inntal weht beständig West- bis Südwestwind, der um 14 Uhr kurz auf Süd dreht; die Geschwindigkeit liegt in 50 m bei 1 bis 4 m/s, in 200 m bei 3 bis 7 m/s; nach 17 Uhr treten vereinzelt hohe Windgeschwindigkeiten auf; im allgemeinen liegt die Windgeschwindigkeit über dem Inntal 350 m Höhe aber unter der am Hauptbahnhof gemessenen.

Die Temperatur steigt am Hafelekar am 10.1. zwischen 7 und 9 Uhr raschen von -0.8 auf $+4.8$ °C, begleitet von kurzzeitiger Richtungsänderung des Windes am Hafelekar von Süd auf West. Im Tagesverlauf kommt es zu deutlicher Erwärmung am Talboden (von 2.6 °C um 9 Uhr auf 12.6 °C um 15 Uhr); die Inversion zwischen Olympischem Dorf und Hungerburg löst sich nach 13 Uhr auf.

Der 11.1. zeigt - soweit Temperaturdaten vorliegen - zwischen 9 und 19 Uhr eine Inversion zwischen Olympischem Dorf und Hungerburg, die anschließend in Isothermie übergeht.

Die Echointensitäten sind am 10.1. bis 11 Uhr sowie am 11.1. den ganzen Tag über von 50 bis 400 m ausgesprochen hoch.

Am 11.1. weht am Hafelekar richtungsunbeständiger Nord- bis Westwind, der nach 13 Uhr auf Süd- bis West dreht; die Geschwindigkeit nimmt von ca. 3 auf 1 m/s ab.

Über dem Inntal weht bis 4 Uhr Südwestwind mit 4 bis 6 m/s, der danach in den unteren 100 m mehr auf Süd, später Ost dreht, während oberhalb 150 m Südwest- bis Westwind anhält; die Geschwindigkeit nimmt generell ab. Um 14 Uhr dreht der Wind auf Ost.

Immissionssituation

Abb. 220 bis 223 zeigen die Konzentration von O_3 , NO und NO_2 an den Meßstellen Seegrube, Enzianhütte und Reichenau vom 8. bis 11.1. 1991.

Am 8.1. herrscht an der Seegrube fast durchgehend eine Ozonkonzentration von 0.08 mg/m³. Der Konzentrationseinbruch zwischen 12 und 14 Uhr erfolgt wahrscheinlich durch Transport ozonarmer Luft vom Talboden her, worauf auch der gleichzeitige Anstieg der NO_2 - und NO-Konzentration an der Seegrube hindeuten; gleichzeitig steigt die O_3 -Konzentration in Reichenau leicht an, wo sonst infolge sehr hoher NO-Konzentration (morgens und abends über 0.20 mg/m³) die O_3 -Werte nahe der Nachweisgrenze liegen.

Die O_3 -Konzentration an der Enzianhütte liegt bis 15 Uhr zwischen 0.015 und 0.030 mg/m³ und steigt ab 17 Uhr nach und nach

auf 0.07 mg/m^3 ; dies ist durch den einsetzenden Föhn bedingt, wodurch die Meßstelle Enzianhütte in den Bereich von Luftmassen mit ähnlicher Ozonkonzentration wie an der Seegrube gelangt. Den ganzen 9. und 10.1. über liegt die Ozonkonzentration an der Enzianhütte mit fast konstanten 0.07 mg/m^3 beständig ca. 0.01 mg/m^3 unter jener der Seegrube. An beiden Stationen ist sehr langsame Konzentrationsabnahme festzustellen.

Am 9.1. bleibt die NO - und NO_2 -Konzentration in Reichenau infolge starken Windes sehr niedrig; lediglich morgens und in den frühen Nachtstunden werden bis 0.04 mg/m^3 erreicht. Für die starken Schwankungen der Ozonkonzentration, die zwischen 3 und 7 Uhr erhöhte Werte (bis 0.065 mg/m^3) zeigt, dann auf ca. 0.02 mg/m^3 absinkt und nach 12 Uhr auf 0.090 mg/m^3 klettert - womit sie jene an der Seegrube übersteigt - , ist das zeitweilige Durchgreifen des Föhns zum Talboden verantwortlich. Beide Zeiträume erhöhter O_3 -Konzentration in Reichenau stehen mit Maxima der Windgeschwindigkeit am Hauptbahnhof in Verbindung; das Maximum der O_3 -Konzentration zwischen 13 und 18 Uhr fällt - den Windverhältnissen am Hauptbahnhof zufolge - in jene Zeit, wo der Föhn aus dem Wipptal den Talboden des Inn-tals erreicht; in diesem Zeitraum deuten sehr geringe Echointensitäten auf homogene Durchmischung der Talatmosphäre hin. Die Ozonkonzentration am Talboden sinkt nach 18 Uhr nach und nach wieder unter 0.01 mg/m^2 (23 Uhr), erreicht in der Nacht zeitweise 0.03 mg/m^3 und steigt am folgenden Tag nach und nach auf 0.09 mg/m^3 um 16 Uhr, was über dem Wert an der Seegrube liegt. Dieser Konzentrationsanstieg geht mit Erwärmung im Olympischen Dorf bei zunehmendem Föhneinfluß einher. Wie am 9.1. tritt das Maximum der O_3 -Konzentration in Reichenau (15 bis 17 Uhr) gleichzeitig mit Südwind am Hauptbahnhof, d.h. Durchgreifen des Föhns durch das Wipptal, auf.

Sowohl am 9. als auch am 10.1. liegt die maximale Ozonkonzentration in Reichenau um ca. 0.01 mg/m^3 über den Werten, die gleichzeitig an der Seegrube gemessen werden, sodaß man annehmen kann, daß in Reichenau eine andere - vermutlich durch das Wipptal herangeführte - Luftmasse registriert wird als an der Seegrube. Auch der recht konstante Konzentrationsunterschied zwischen Seegrube und Enzianhütte von ca. 0.015 mg/m^3 deutet darauf hin, daß Advektion unterschiedlich ozonreicher Luftmassen dieses Belastungsbild ergeben und vertikaler Austausch kaum stattfindet.

Am 11.1. liegen die Ozonkonzentrationen an der Seegrube und der Enzianhütte nach wie vor bis 19 Uhr parallel bei Werten zwischen 0.06 und 0.08 mg/m^3 .

in Reichenau treten nachts noch Ozonwerte bis 0.04 mg/m^3 ab, infolge stabiler Ausbreitungsverhältnisse nimmt aber ab 6 Uhr die NO -Konzentration wieder zu (bis 0.15 mg/m^3 um 10 Uhr), während die O_3 -Konzentration unter 0.005 mg/m^3 sinkt. Der drastische Anstieg der NO -Konzentration nach 15 Uhr steht in Zusammenhang mit dem Wechsel der Windrichtung über dem Inn-tal von Südwest auf Ost, der um 14 Uhr stattfindet, und der Abnahme der Windgeschwindigkeit (durchgehend Westwind) am

Hauptbahnhof auf 1 m/s zur gleichen Zeit; eine Änderung der atmosphärischen Stabilität - es herrscht bis 19 Uhr eine Inversion zwischen Hungerburg und Olympischem Dorf - tritt nicht ein.

Um 19 Uhr fällt die Ozonkonzentration an der Enzianhütte rasant von 0.06 auf 0.02 mg/m³ ab; ab diesem Zeitpunkt gerät die Enzianhütte aus dem Bereich der ozonreichen Luftmasse, die an der Seegrube registriert wird, in den Bereich ozonarmer, NO-reicher Luft vom Talboden; die NO-Konzentration in Reichenau steigt parallel dazu auf bis 0.46 mg/m³ an. Die Temperatur an der Hungerburg fällt um diese Zeit auf das Niveau am Olympischem Dorf und am Rastelboden, sodaß sich über dem Talboden zwar keine labilen, aber zumindest isotherme, d.h. weniger stabile Verhältnisse ausbilden. Gleichzeitig nimmt die Windgeschwindigkeit über dem Inntal deutlich ab.

Die O₃-Konzentration an der Seegrube zeigt - bei anhaltender südwestlicher Höhenströmung (850 hPa) keine Abhängigkeit von den Trajektorien in diesem Niveau; sie liegt relativ beständig zwischen 0.07 und 0.08 mg/m³; der Anstieg auf 0.09 mg/m³ in der ersten Tageshälfte des 10.1. ist aus den 850-hPa-Trajektorien nicht erklärbar.

10 Zusammenfassung

Von Juli 1990 bis März 1991 führte das Umweltbundesamt zwischen Innsbruck und Hall i.T. SODAR-Messungen zur Untersuchung der Wind- und Stabilitätsverhältnisse über dem Inntal durch. Parallel dazu wurde vom Umweltbundesamt bei der Enzianhütte am Südhang der Nordkette (1040 m) eine Ozon- und Windmeßstelle betrieben. Zusammen mit Daten der Stationen Innsbruck-Nordkette und Innsbruck-Reichenau, betrieben vom Amt der Tiroler Landesregierung, erlauben diese Messungen detaillierte Untersuchungen der vertikalen Ozonverteilung bzw. des Ozontransports über dem Inntal sowie der Hangwindzirkulation an der Nordkette.

Die SODAR-Messungen des Windes über dem Inntal lieferten Erkenntnisse, die die gängigen Vorstellungen über die Talwindzirkulation im Inntal sowie bisher durchgeführte Fesselballonmessungen weitgehend bestätigen.

Mittlere Tagesgänge für unterschiedliche Wetterlagen zeigen deutlich die Abhängigkeit der Windverhältnisse von meteorologischen Randbedingungen.

Tage mit Sonnenscheindauer in Innsbruck über 10 h (Juli und August) zeigen Windverhältnisse, die am klarsten den theoretischen Vorstellungen der Talwindzirkulation entsprechen. Nachts und vormittags herrscht schwacher Wind mit 1 bis 3 m/s, der oberhalb von 150 m über Talboden aus Südsüdwest bis Westnordwest weht und als Talauswind identifiziert werden kann. In den unteren 100 m tritt nachts Südostwind auf, der vormittags auf Südwest dreht. Nachts und vormittags ist die Windrichtung vertikal und zeitlich ziemlich unbeständig. Vertikal sehr ein-

heitlicher und sehr beständiger Ostwind - Taleinwind - weht zwischen 12 und 21 Uhr, dessen Geschwindigkeit bis ca. 17 Uhr kontinuierlich zu-, anschließend abnimmt, wobei die Windgeschwindigkeit mit der Höhe leicht zunimmt; in 100 m treten an Tagen mit Sonnenscheindauer über 10 h maximal 8 m/s, in 200 m maximal 10 m/s auf.

Gradientschwache Lagen (nach der Strömungslagen-Klassifikation nach R. Steinacker) zeigen ein sehr ähnliches Bild; da diese Wetterlage aber auch u.U. nebelige oder bewölkte Wintertage umfaßt, sind der nachmittägliche Taleinwind weniger homogen ausgebildet und die Windgeschwindigkeiten nachmittags - bei deutlicherer Zunahme mit der Höhe - geringer. Ein ähnliches Bild zeigen Tage mit Sonnenscheindauern in Innsbruck zwischen 5 und 10 h.

Grundsätzlich ähnliche Windverhältnisse, wenn auch mit weniger scharf ausgebildetem Windrichtungswechsel und uneinheitlicherem Taleinwind, zeigen auch - nach Steinacker klassifizierte - Variable Lagen, Südostlagen, Südlagen, Südwestlagen und Westlagen, wobei der Tagesgang der Windgeschwindigkeit schwach ausgebildet ist.

Nordostlagen, Ostlagen und Nordlagen sowie Tage mit Sonnenscheindauern unter 5 h weisen vertikal einheitlichen, beständigen Ostwind auf; bei Nordwestlagen tritt nachmittags vertikal einheitlicher Ostwind, nachts stark schwankender Ost- bis Südwind auf. Die Windgeschwindigkeit zeigt in diesen Fällen unterhalb 150 m ein Maximum nachmittags, wohingegen oberhalb 250 m die höchsten Windgeschwindigkeiten nachts - bei starker Geschwindigkeitszunahme mit der Höhe - auftreten.

Der bei Ausbildung der Talwindzirkulation nachts auftretende Südost- bis Südwind in den unteren 100 m gehört teilweise der Hangwindzirkulation (Hangabwind) der nahegelegenen südlichen Talschulter an. Die östliche Komponente entzieht sich einer schlüssigen Interpretation, wurde im Raum Hall i.T. aber bereits bei früheren Bodenwindmessungen festgestellt; möglicherweise spielt die Flurwindzirkulation der Stadt Innsbruck eine Rolle.

Föhnsituationen, in denen der Föhn bis zum Talboden durchgreift, sind meist mit Westwind über Hall i.T. verbunden. Jene Zeiträume, während derer zwar am Hang der Nordkette föhnige Verhältnisse herrschen, am Talboden aber noch Kaltluft lagert, sind meist von Ostwind gekennzeichnet, der sukzessive von oben her auf West dreht, bevor sich der Föhn bis zum Talboden durchsetzt. Derartige Verhältnisse wurden auch bei Nordföhn beobachtet. Wind- und Schadstoffmessungen zeigen, daß in Innsbruck selbst der Föhn zumeist früher zum Talboden durchgreift als am SODAR-Standort bei Hall i.T.

Die Windmessungen an der Enzianhütte am Südhang der Nordkette zeigen einen sehr regelmäßigen Wechsel zwischen Nordwind (Hangabwind) nachts und Südwind (Hangaufwind) tagsüber; Südwind tritt im Mittel zwischen 9 und 17 Uhr auf (wobei der Zeitraum mit Südwind im Sommer länger und im Winter kürzer ist). Der Hangaufwind tritt - anders als der Taleinwind - bereits kurz

nach Sonnenaufgang auf und endet bei Sonnenuntergang. Die Hangwindzirkulation ist aber in Bezug auf Wetteränderungen wie Aufzug von Bewölkung oder Eindringen von Kaltluft wesentlich unempfindlicher als die Talwindzirkulation. Die Hangwindzirkulation bildet sich auch bei nur geringem Strahlungsangebot aus; der regelmäßige Wechsel zwischen Nord- und Südwind wurde lediglich bei einigen Föhnsituationen und Kaltlufteinbrüchen gestört.

Auffallend sind die sehr geringen Windgeschwindigkeiten, die 1 m/s selten übersteigen; die Calmenhäufigkeit (Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s) liegt bei 42%.

Die Ozonverteilung über dem Inntal wurde anhand von Meßdaten am Talboden - Innsbruck-Reichenau - , am Hang der Nordkette - Enzianhütte - und in der Gipfelregion der Nordkette - Seegrube - untersucht.

In diesem Vertikalprofil treten praktisch immer die höchsten Werte an der Seegrube, den niedrigsten in Reichenau auf; bisweilen liegen die Konzentrationen in Reichenau über jenen an der Enzianhütte, überschreiten aber fast nie jene an der Seegrube. Mit wenigen Ausnahmen, die bei starker Konvektion im Sommer sowie bei Föhnsituationen auftraten, stellt somit die O_3 -Konzentration an der Seegrube eine obere Grenze für die im Inntal bei Innsbruck auftretenden O_3 -Werte dar.

Die mittlere Ozonbelastung weist an allen drei Meßstellen einen Jahresgang - mit höheren Werten im Sommer - auf, der in Reichenau am ausgeprägtesten ist. Die Ozonkonzentration an der Seegrube zeigt vor allem außerhalb des Sommers nur geringe Abhängigkeit von der Wetterlage und von der synoptischen Strömungslage; im Sommer treten an dieser Meßstelle - wie am Talboden - die höchsten Konzentrationen bei warmen Hochdruckwetterlagen auf.

Im Herbst und Winter wurden in Reichenau und an der Enzianhütte die höchsten O_3 -Konzentrationen bei Föhn gemessen; an der Seegrube brachten Föhnsituationen keine signifikanten O_3 -Konzentrationsänderungen.

Im großen und ganzen ist das Ozongeschehen an der Seegrube im Hochsommer nur teilweise durch Ozonbildung im Inntal oder lokale Austauschvorgänge bestimmt, sondern auch durch Ferntransport. Dieser dominiert in der photochemisch weniger aktiven Jahreszeit (d.h. ab September) den nicht sehr variablen Konzentrationsverlauf in Gipfelhöhe. Die O_3 -Konzentration an der Seegrube reagiert fallweise sehr unempfindlich auf Kaltlufteinbrüche, Schauer oder anhaltende Niederschläge; sie ist wesentlich von der Ozon-Vorbelastung der advehierten Luftmassen bestimmt und zeigt keine signifikante Abhängigkeit von der synoptischen Strömungsrichtung; Südlagen und Nordwestlagen sind mit ähnlichen mittleren O_3 -Konzentrationen verbunden, wobei im Sommer windschwache Situationen, bei denen isobare 48-h-Trajektorien in 850 hPa stets über Mitteleuropa beginnen, überdurchschnittlich hoch belastet sind.

Im Juli und August 1990 traten an allen drei untersuchten Meßstellen Spitzenwerte (HMW) um 0.20 mg/m^3 (100 ppb) auf; im Winter betrugen die Spitzenwerte an der Seegrube 0.10 bis 0.12 mg/m^3 , während sie in Innsbruck-Reichenau 0.08 mg/m^3 nur selten überschritten.

Einen deutlicheren Höhenunterschied zeigen die Tagesmittelwerte (TMW), welche infolge starken nächtlichen Ozonabbaues in Innsbruck-Reichenau vor allem im Winter deutlich unter jenen an der Seegrube lagen. Dort lagen im Sommer die TMW meist zwischen 0.10 und 0.15 mg/m^3 mit einem Maximum von 0.18 mg/m^3 , in Reichenau zwischen 0.05 und 0.11 mg/m^3 . Im Winter wurden an der Seegrube TMW meist zwischen 0.05 und 0.09 mg/m^3 registriert, wohingegen die TMW in Reichenau - von Föhn-situationen mit TMW um 0.05 mg/m^3 abgesehen - meist unter 0.01 mg/m^3 lagen.

Der typische Tagesgang der Ozonkonzentration an sommerlichen Schönwettertagen (Sonnenscheindauer in Innsbruck $> 10 \text{ h}$) sieht folgendermaßen aus: Die O_3 -Konzentration sinkt in Reichenau nachts nahe null, wofür einerseits die bei stabilen Ausbreitungsbedingungen - insbesondere bei der morgendlichen Verkehrsspitze - erhöhte NO -Konzentration verantwortlich ist, andererseits trockene Deposition von O_3 . Die nächtliche O_3 -Konzentration an der Enzianhütte liegt meist zwischen jener an der Seegrube und in Reichenau.

Mit Einsetzen von konvektiver Turbulenz nach Sonnenaufgang und Hebung der Mischungshöhe - d.h. der Auflösung der eventuell vorhandenen nächtlichen Bodeninversion - beginnt die O_3 -Konzentration in Reichenau infolge von vertikalem Austausch mit stärker ozonbelasteter Luft oberhalb der nächtlichen Mischungsschicht kontinuierlich zu steigen. Sobald sie das Konzentrationsniveau der Enzianhütte erreicht hat, steigt auch dort die O_3 -Konzentration, bei meist sehr ähnlichen Konzentrationswerten an beiden Stationen.

Zur gleichen Zeit werden an der Seegrube leichtes Absinken der O_3 -Konzentration und Ansteigen der NO_2 -Konzentration beobachtet, als Folge von Advektion ozonarmer und stickoxidangereicherter Luft vom Talboden. Am späten Vormittag erreicht die O_3 -Konzentration in Reichenau und der Enzianhütte das Konzentrationsniveau der Seegrube; anschließend kommt es zu weiterem parallelem Ansteigen der O_3 -Konzentration an allen drei Meßstellen, ehe am späten Nachmittag an den niedriger gelegenen Stationen die Konzentration langsam zu sinken beginnt.

Die mittags und nachmittags sehr ähnlichen NO_2 - bzw. O_3 -Werte an den Meßstellen Seegrube, Enzianhütte und Innsbruck-Reichenau belegen die homogene Durchmischung der Talatmosphäre infolge der starken Turbulenz. Örtlich unterschiedlich starke Ozonabbauprozesse infolge trockener Deposition, die in Reichenau und an der Enzianhütte (im Wald bzw. im dicht bebauten Stadtgebiet) wesentlich stärker wirkt als in der Gipfelregion, dürften für die Ozonverteilung nur eine untergeordnete Rolle spielen und werden durch turbulenten Ozontransport aus bodenferneren Luftschichten rasch kompensiert.

Die vertikal einheitliche NO_2 -Konzentration deutet zudem darauf hin, daß photochemische Ozonbildungsprozesse in der gesamten Talatmosphäre bis in Gipfelniveau gleichermaßen wirksam sind.

Ungefähr bei Sonnenuntergang ist an der Enzianhütte ein rascher Einbruch der O_3 -Konzentration zu beobachten, hier sinkt die Ozonkonzentration unter die Werte am Talboden. Aller Wahrscheinlichkeit nach ist dies die Folge des Einsetzens des Hangabwindes, mit welchem aus dem oberhalb der Meßstelle gelegenen Wald infolge trockener Deposition ozonarme Luft die Enzianhütte erreicht; die Lage der Enzianhütte in einer Geländemulde dürfte dieses Phänomen verstärken.

In Reichenau wird bei stabilen Ausbreitungsbedingungen (d.h. in Kaltluftmassen am Talboden) meist die Ozonkonzentration von der NO -Belastung gesteuert.

Kurzfristige nächtliche Konzentrationsanstiege von Ozon an der Seegrube können nur als Folge von turbulentem Luftaustausch in Gipfelhöhe interpretiert werden und belegen, daß hier zeitweilig deutliche Konzentrationsgradienten bestehen können, die tagsüber nicht erfaßt werden.

Föhnsituationen - auch solche mit Nordföhn - sind von raschen O_3 -Konzentrationsssprüngen am Talboden gekennzeichnet, die das Durchgreifen des Föhns charakterisieren.

Bei nur geringen O_3 -Konzentrationsvariationen an der Seegrube sind föhnige Situationen meist von sehr niedrigen O_3 -Konzentrationen am Talboden geprägt; solange sich bei Erwärmung der höheren Luftschichten eine starke Inversion über dem Inntal bildet, erhöht sich in der stabil geschichteten Kaltluftmasse am Talboden die NO -Konzentration stark und bringt das Ozon praktisch zum Verschwinden. Die O_3 -Konzentration an der Enzianhütte ist jeweils davon abhängig, ob diese Meßstelle im Einflußbereich der ozonarmen Luftmasse des Talbodens oder bereits im Einflußbereich des Föhns liegt. In letzterem Fall nähert sich die O_3 -Konzentration an jene der Seegrube an.

Sobald der Föhn den Talboden erreicht, kommt es dort neben einer sprunghaften Temperaturzunahme zur Abnahme der NO - und NO_2 -Konzentration bis nahezu null sowie zu einem raschen Ansteigen der O_3 -Konzentration.

In einzelnen Fällen wurde eine Angleichung der O_3 -Werte aller drei Meßstellen beobachtet. Es gibt allerdings auch Fälle, bei denen sich auch bei Durchgreifen des Föhns zum Talboden O_3 -Konzentrationsgradienten ausbilden. Dies deutet darauf hin, daß die - relativ homogene - vertikale Ozonkonzentrationsverteilung bei Föhn nicht durch turbulenten Austausch, sondern praktisch ausschließlich durch Ozonadvektion, d.h. Ferntransport, bedingt ist, wobei sich in der advehierten Luftmasse Konzentrationsunterschiede finden können.

Die Ozonkonzentrationsverläufe in Reichenau und der Enzianhütte sind sowohl durch lokale photochemische Ozonbildung als auch durch vertikalen Austausch mit höheren Luftschichten bedingt. Eine Abschätzung der örtlichen Ozonbildung ist nicht exakt möglich, da die Anteile von Deposition und Transport nicht

erfaßbar sind. Unter der Annahme, daß der im Tagesverlauf an der Seegrube festgestellte Konzentrationszuwachs nur die Folge lokaler photochemischer Ozonbildung ist, kommt man an den wärmsten Tagen des Sommers 1990 auf Ozonbildungsraten 0.30 bis maximal 0.40 mg/m³.

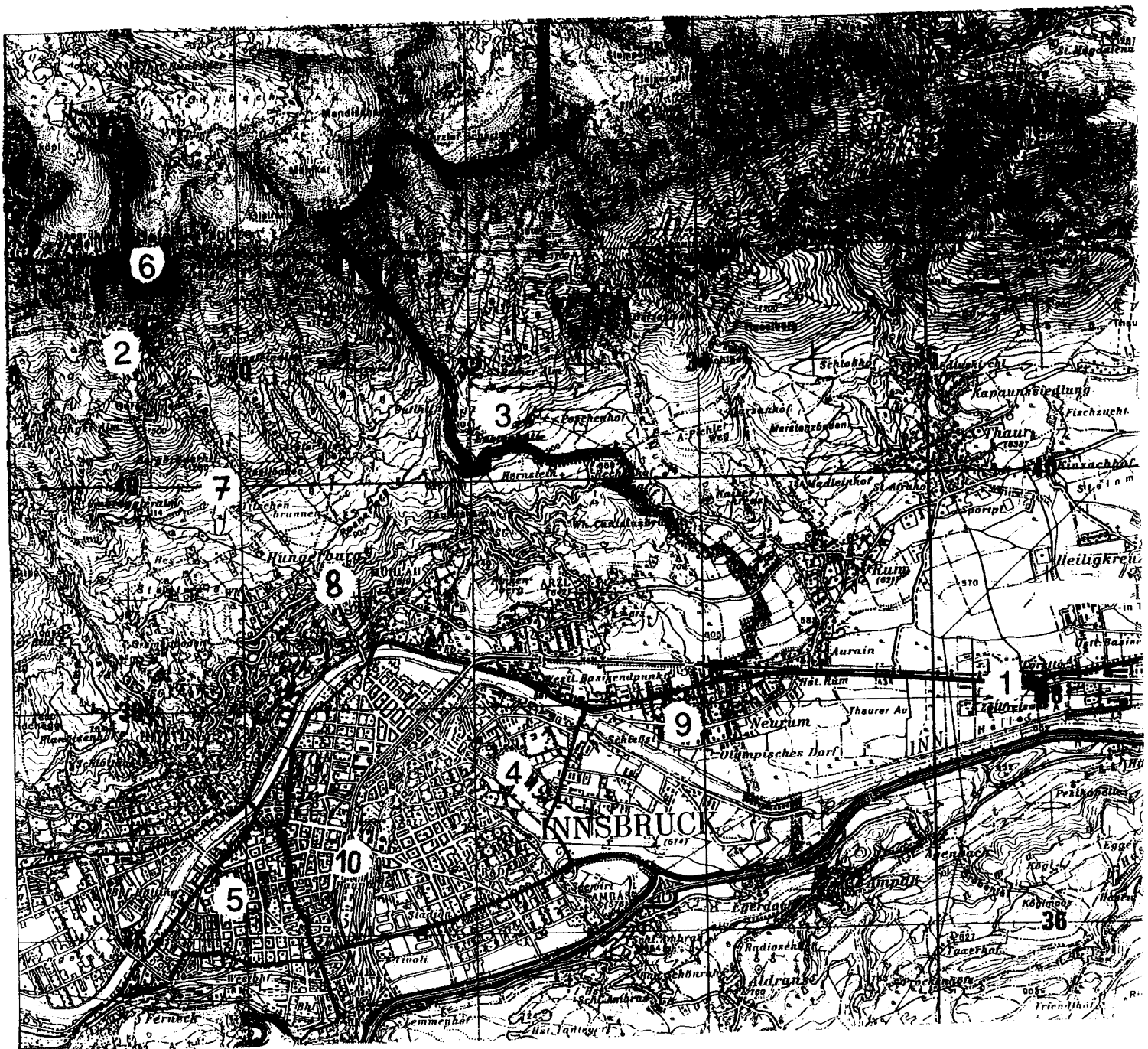
Literatur

- 1 R. Steinacker, 1991, 'Eine ostalpine Strömungslagenklassifikation', Universität Innsbruck
- 2 E. Dreiseitl, H. Feichter, H. Pichler, R. Steinacker, I. Vergeiner, 1980, 'Windregimes an der Gabelung zweier Alpentäler', Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie
- 3 G. Mascher, 1987, 'Die Witterungsbedingten Ozonkonzentrationen im Raum Innsbruck', Diplomarbeit, Universität Innsbruck
- 4 C. Esterhammer, 'Untersuchung des Hangwindes im Bereich Hall, sowie Erhebung des Temperaturprofils', Transitstudie des Landes Tirol
- 5 E. Dreiseitl, D. Stöhr, 'Emission, Meteorologie, Immission', Transitstudie des Landes Tirol

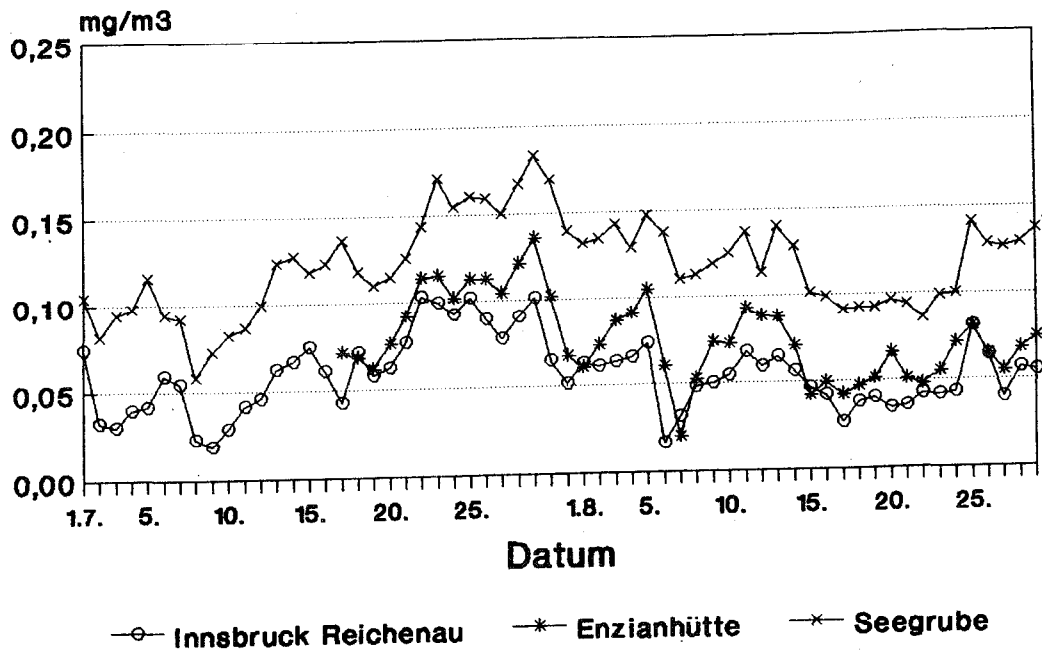
Abbildungsteil

Abb. 1 Meßstellen

- 1 Hall in Tirol Zollfreizone - SODAR-Standort
- 2 Nordkette-Seegrube
- 3 Enzianhütte
- 4 Innsbruck-Reichenau (Andechsstraße)
- 5 Innsbruck-Zentrum (Fallmerayerstraße)
- 6 Hafelekar
- 7 Rastelboden
- 8 Hungerburg
- 9 Olympisches Dorf
- 10 Innsbruck-Hauptbahnhof



Ozon TMW
1.7. - 29.8. 1990



Ozon HMWmax
1.7. - 29.8. 1990

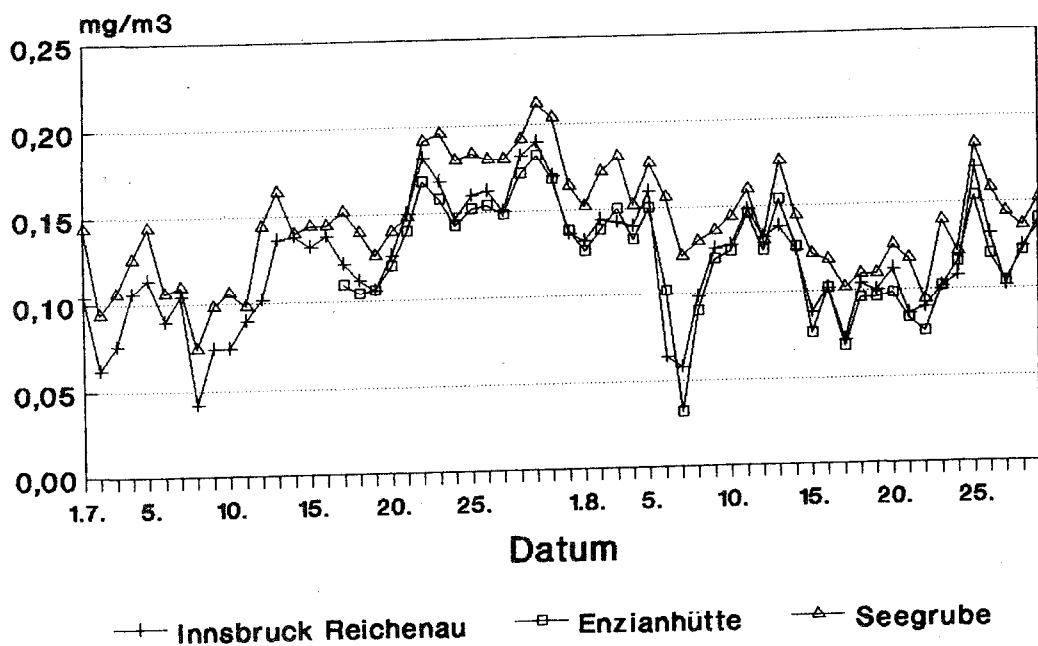
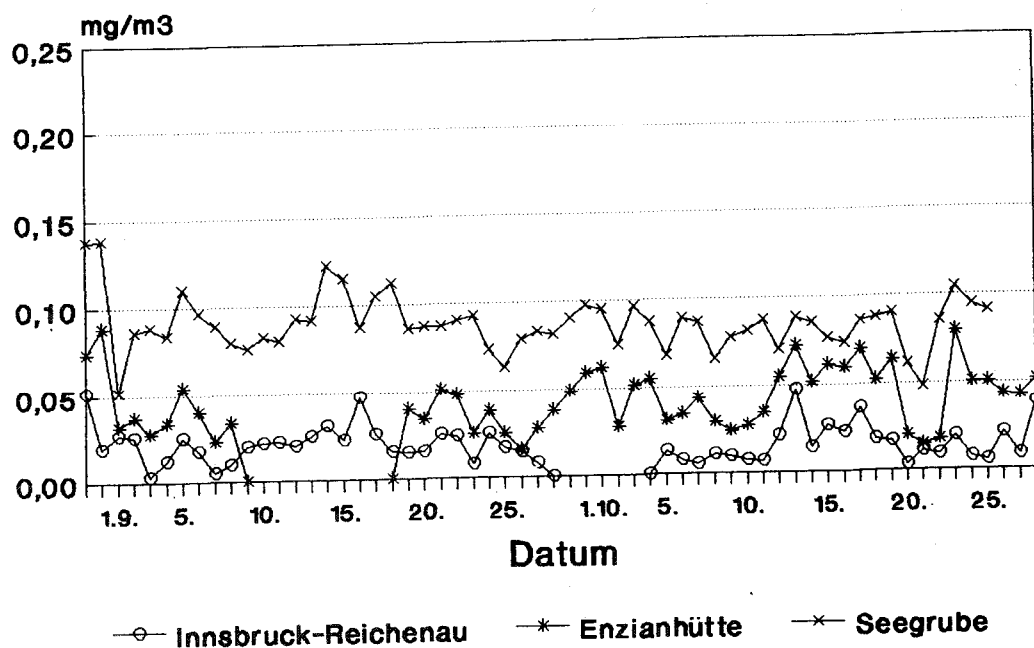


Abb. 2

Ozon TMW 30.8. - 28.10. 1990



Ozon HMWmax 30.8. - 28.10. 1990

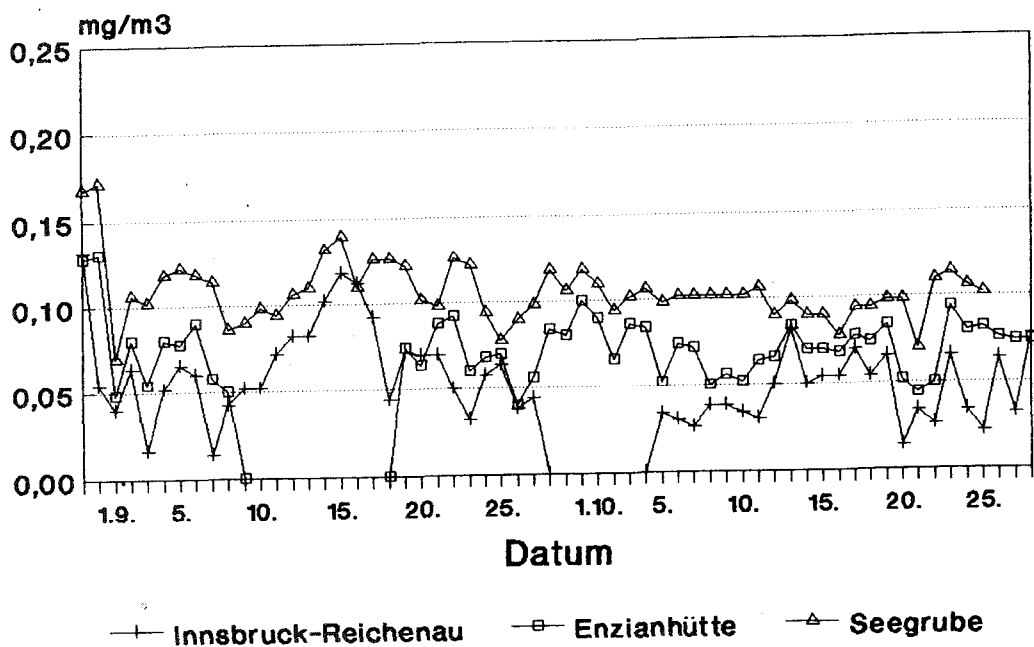
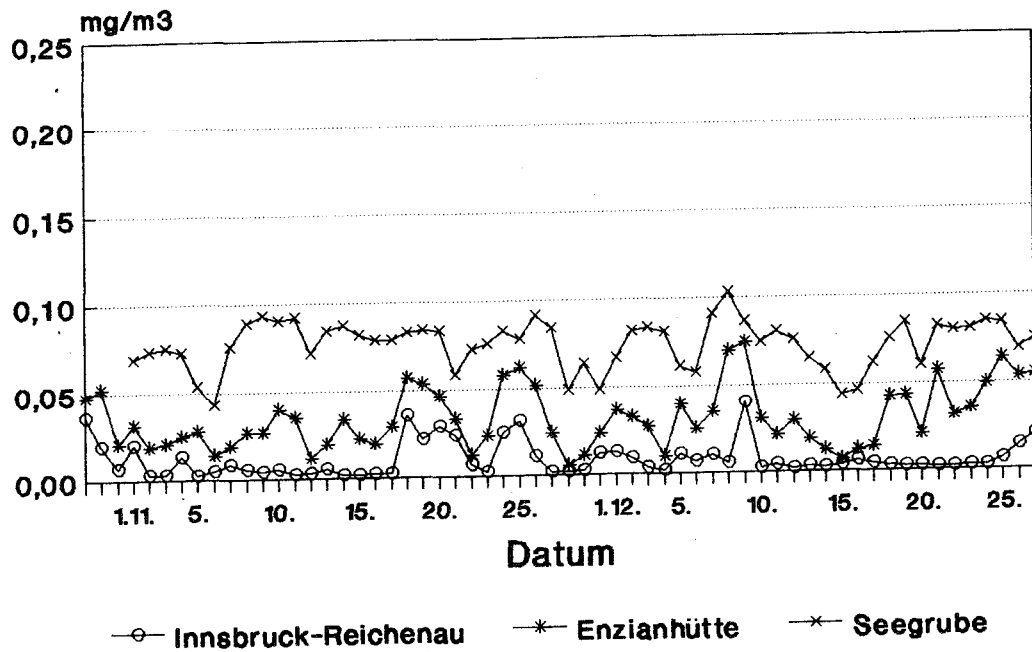


Abb. 3

Ozon TMW
29.10.-27.12. 1990



Ozon HMWmax
29.10.-27.12. 1990

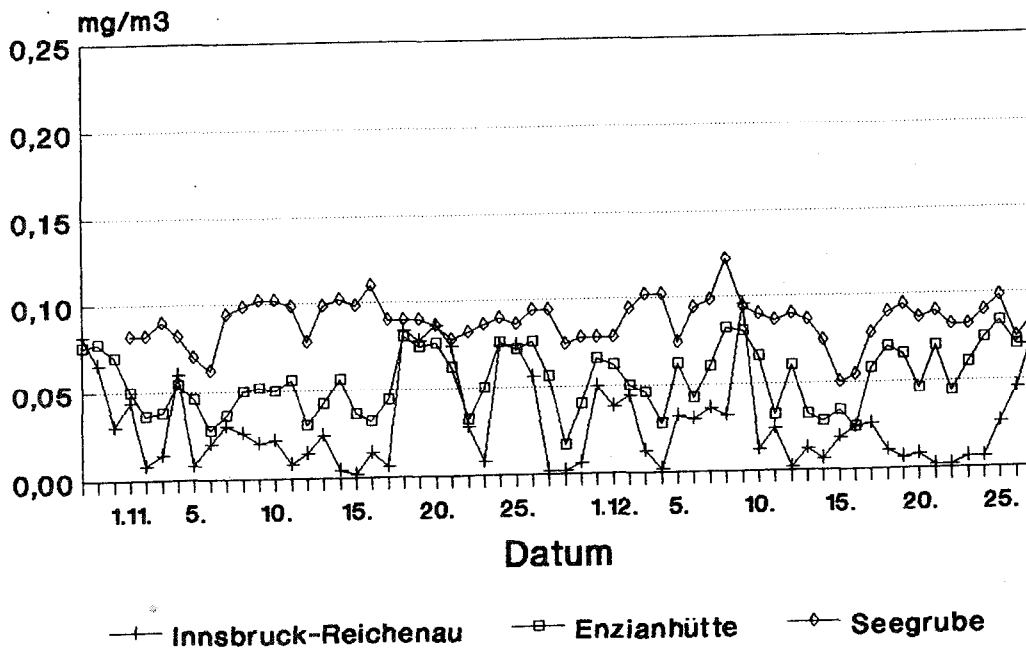
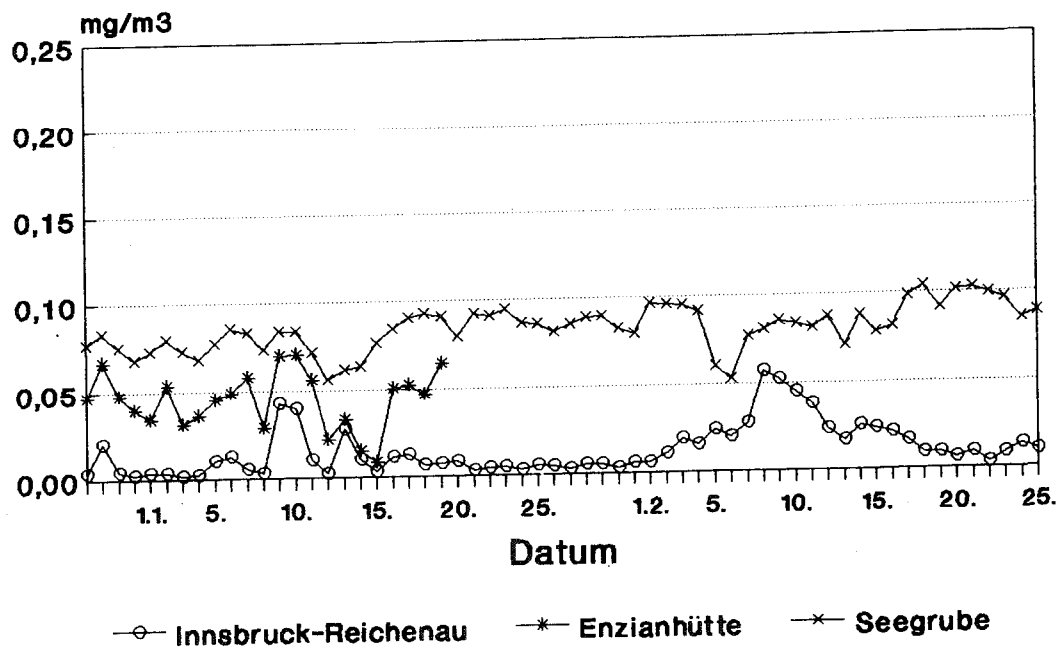


Abb. 4

Ozon TMW
28.12. 1990 - 25.2. 1991



Ozon HMWmax
28.12. 1990 - 25.2. 1991

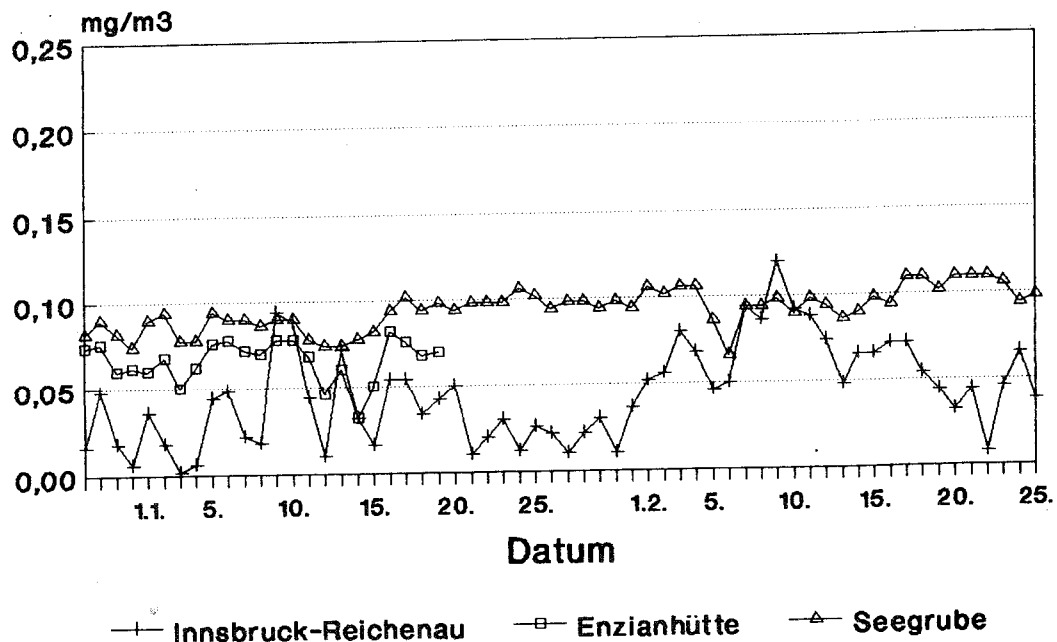
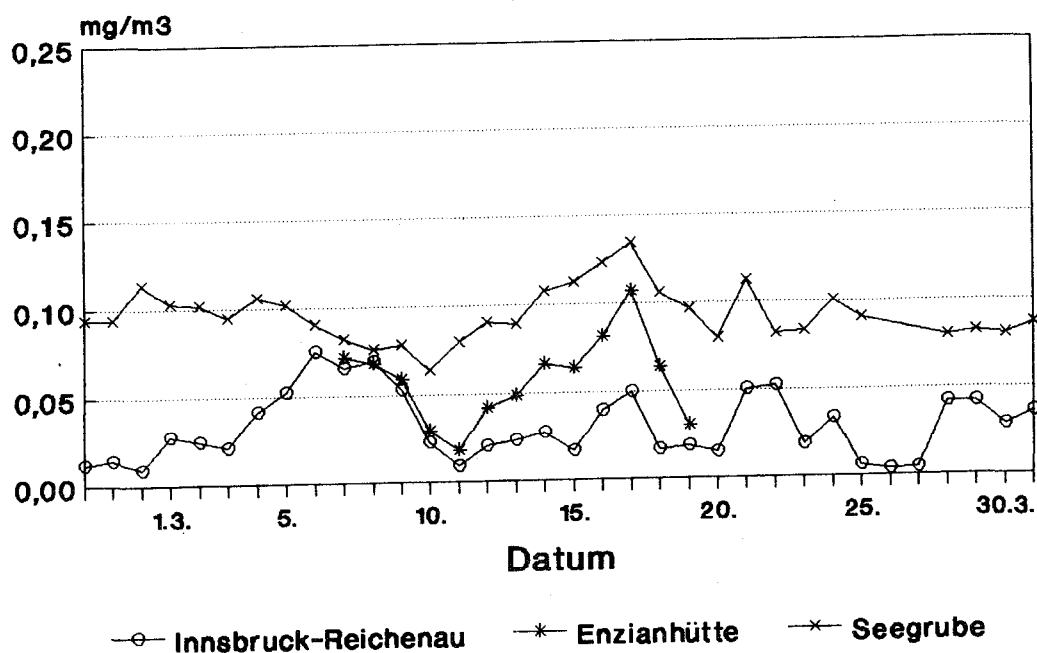


Abb. 5

Ozon TMW 26.2. - 31.3. 1991



Ozon HMWmax 26.2. - 31.3. 1991

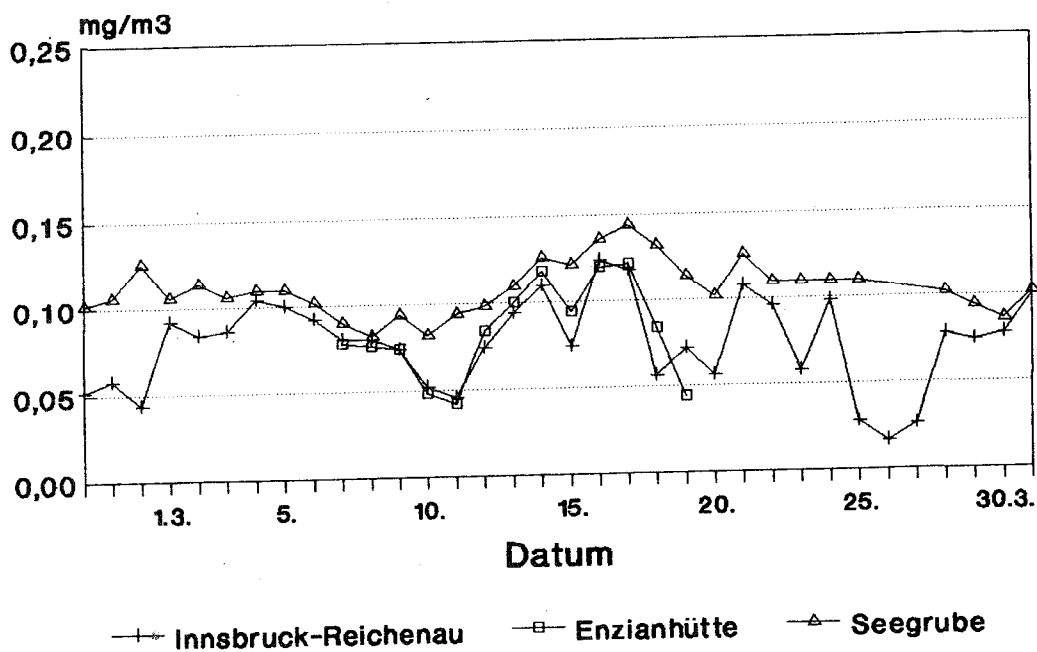
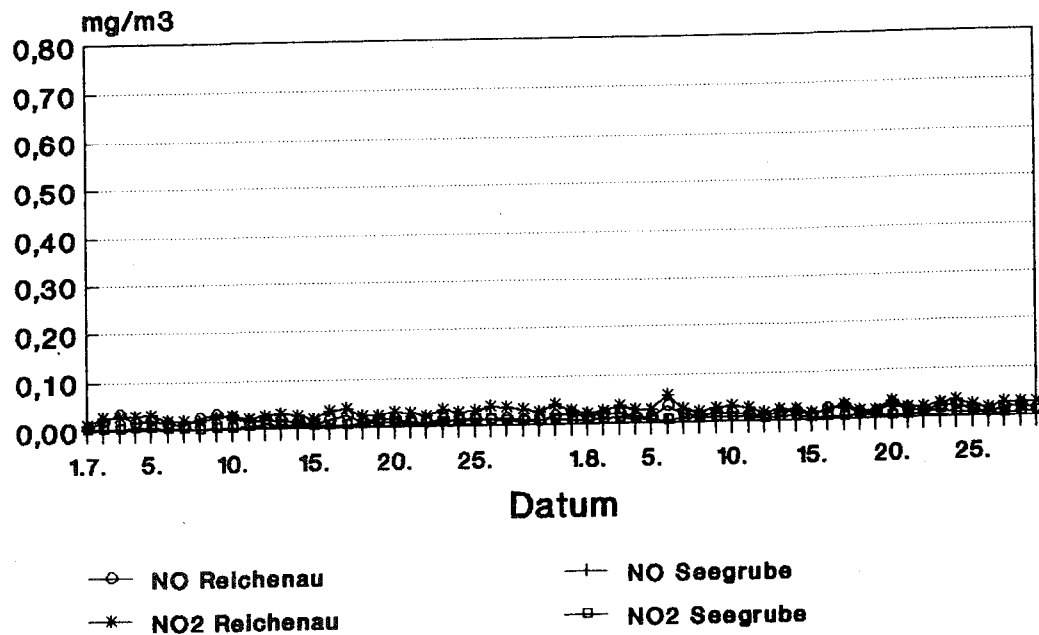


Abb. 6

Stickoxide TMW 1.7. - 29.8. 1990



Stickoxide HMWmax 1.7. - 29.8. 1990

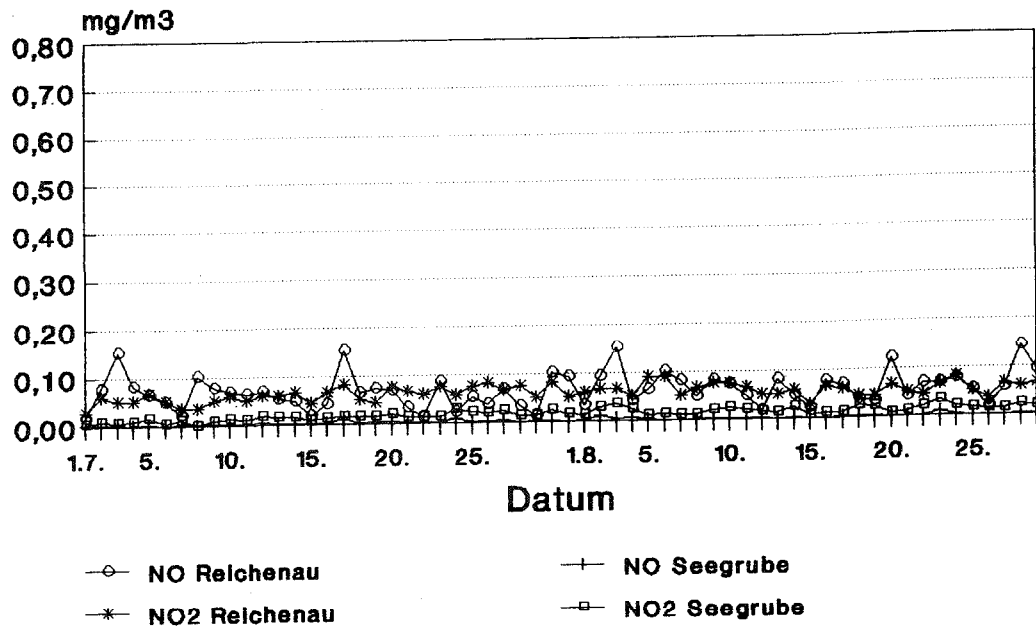
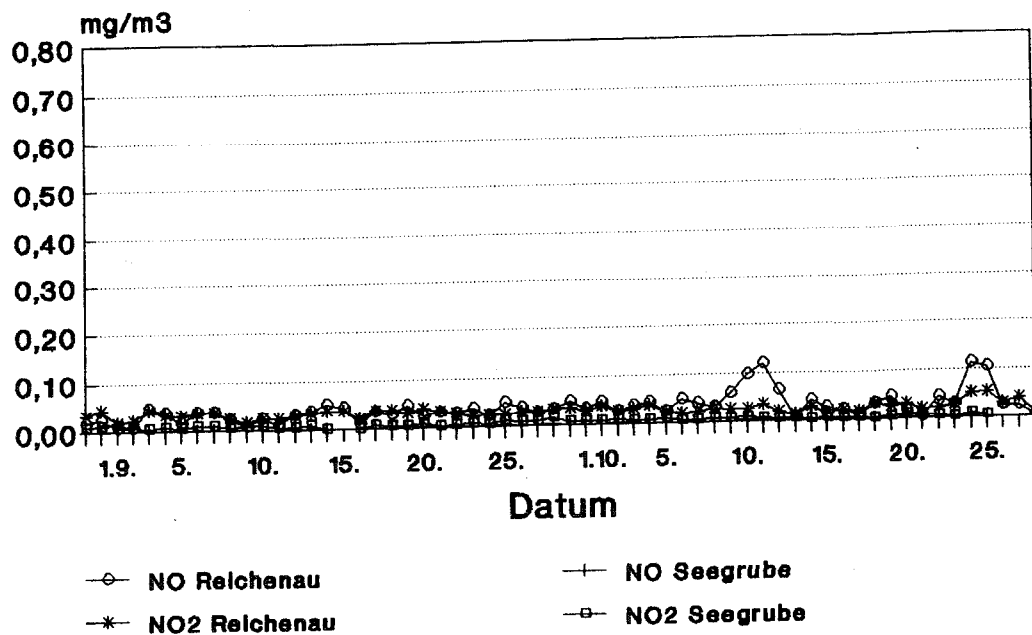


Abb. 7

Stickoxide TMW 30.8.-28.10.1990



Stickoxide HMWmax 30.8.-28.10.1990

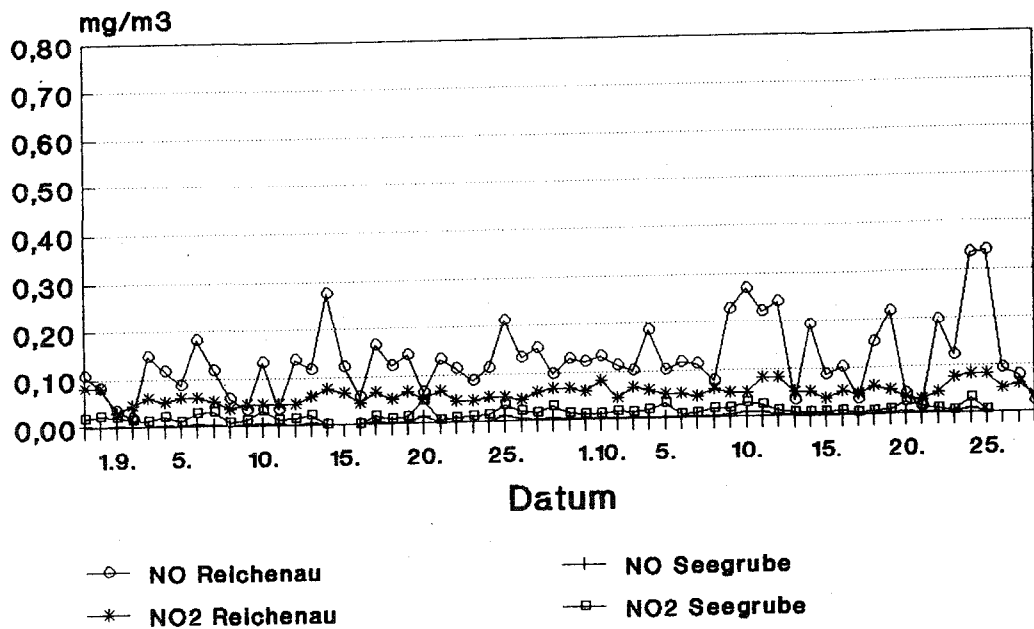
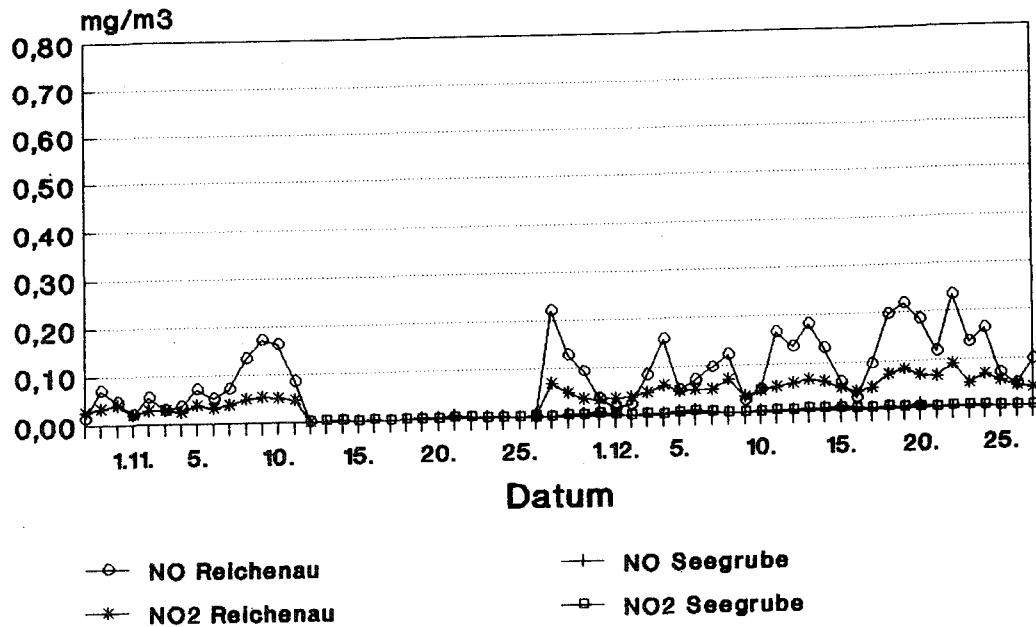


Abb. 8

Stickoxide TMW 29.10.-27.12.1990



Stickoxide HMWmax 29.10.-27.12.1990

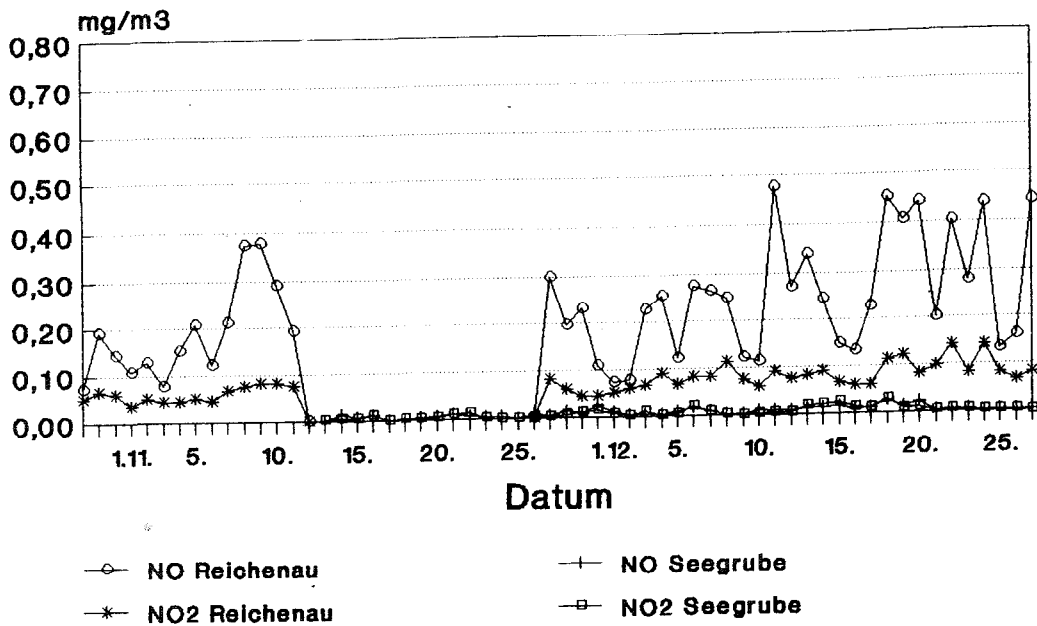
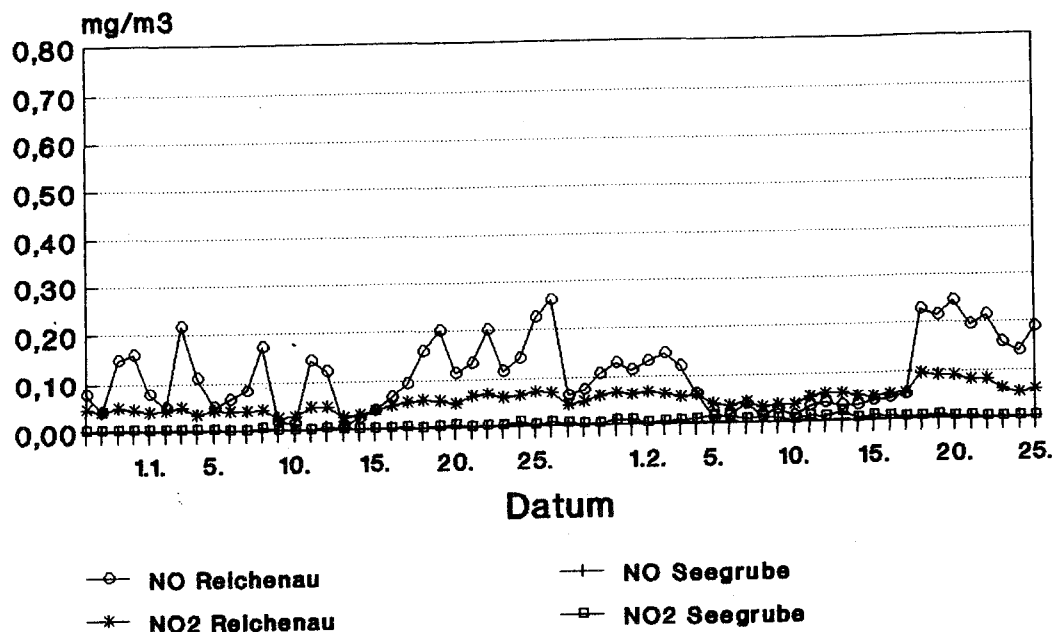


Abb. 9

Stickoxide TMW **28.12. 1990 - 25.2. 1991**



Stickoxide HMWmax **28.12. 1990 - 25.2. 1991**

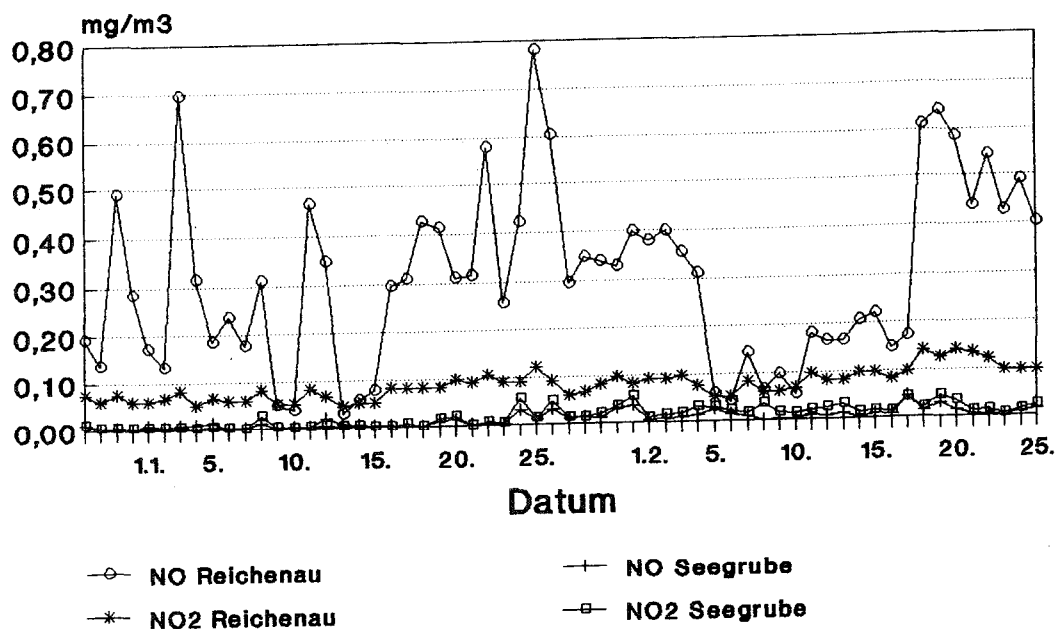
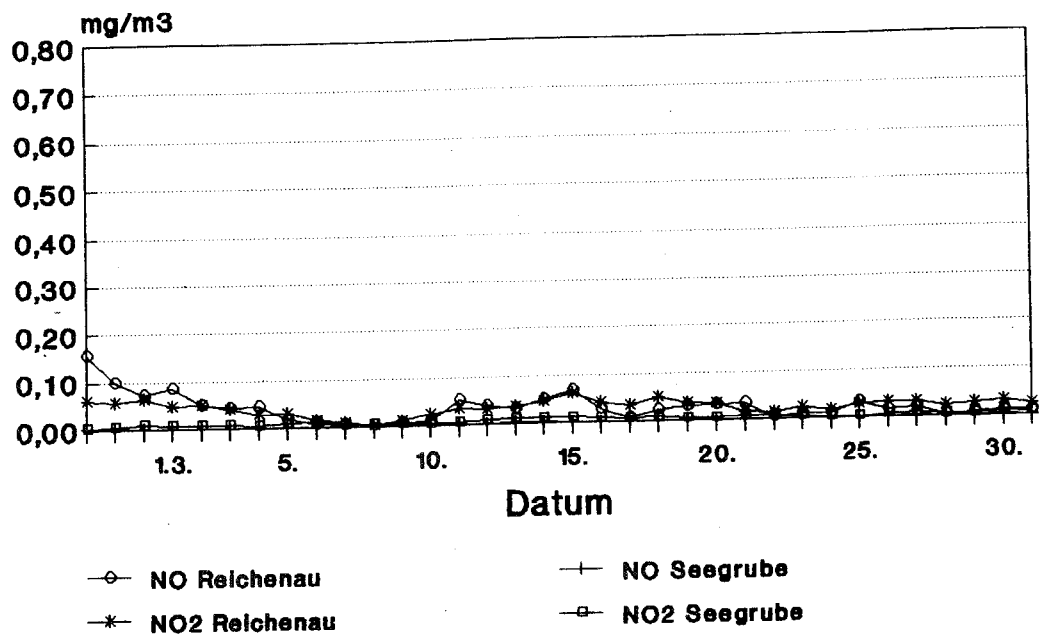


Abb. 10

Stickoxide TMW 26.2. - 31.3. 1991



Stickoxide HMWmax 26.2. - 31.3. 1991

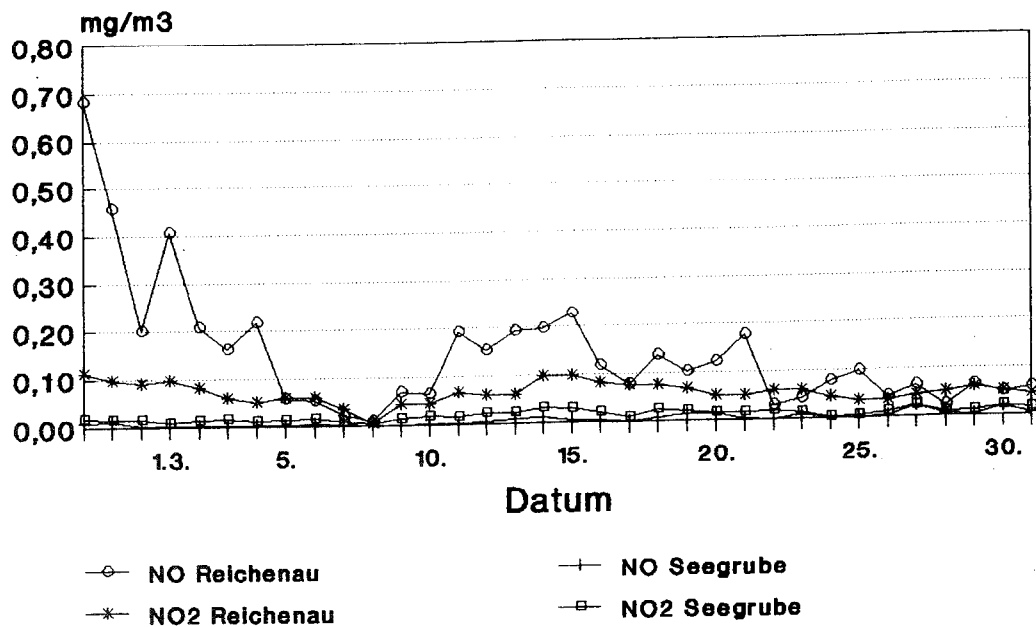
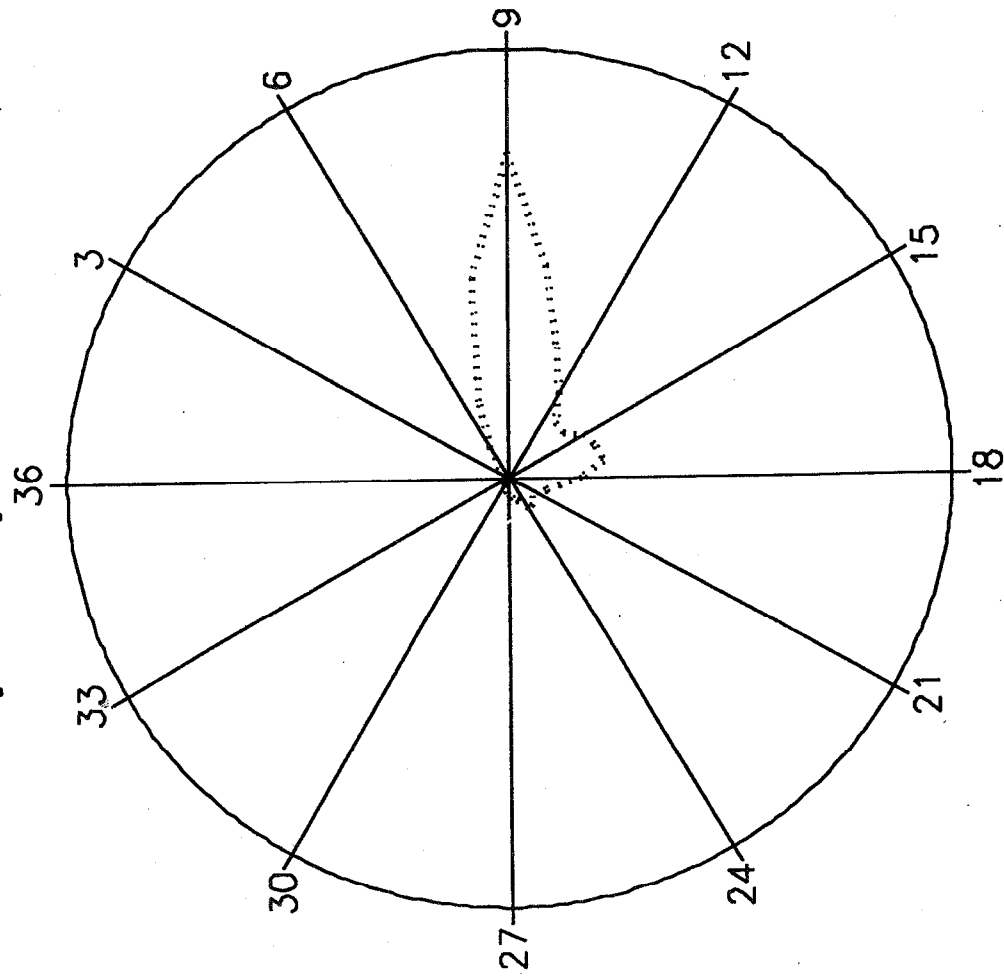


Abb. 11

Hall i.T. Juli 1990 – Moerz 1991

Windrichtung 50 m

Calme bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s



Radius entspricht:

..... Windrichtungshäufigkeit 20 %

Klasse	Anz.Werte	%
0	1174	9.9
1	6	0.1
2	12	0.1
3	23	0.2
4	22	0.2
5	76	0.6
6	197	1.7
7	463	3.9
8	1118	9.4
9	1794	15.1
10	1178	9.9
11	761	6.4
12	540	4.5
13	396	3.3
14	386	3.2
15	474	4.0
16	500	4.2
17	516	4.3
18	387	3.3
19	273	2.3
20	209	1.8
21	173	1.5
22	165	1.4
23	195	1.6
24	197	1.7
25	139	1.2
26	115	1.0
27	98	0.8
28	89	0.7
29	55	0.5
30	48	0.4
31	26	0.2
32	25	0.2
33	11	0.1
34	12	0.1
35	10	0.1
36	16	0.1

Windstille (< 0.5 m/s): 1174 Werte (9.9%)

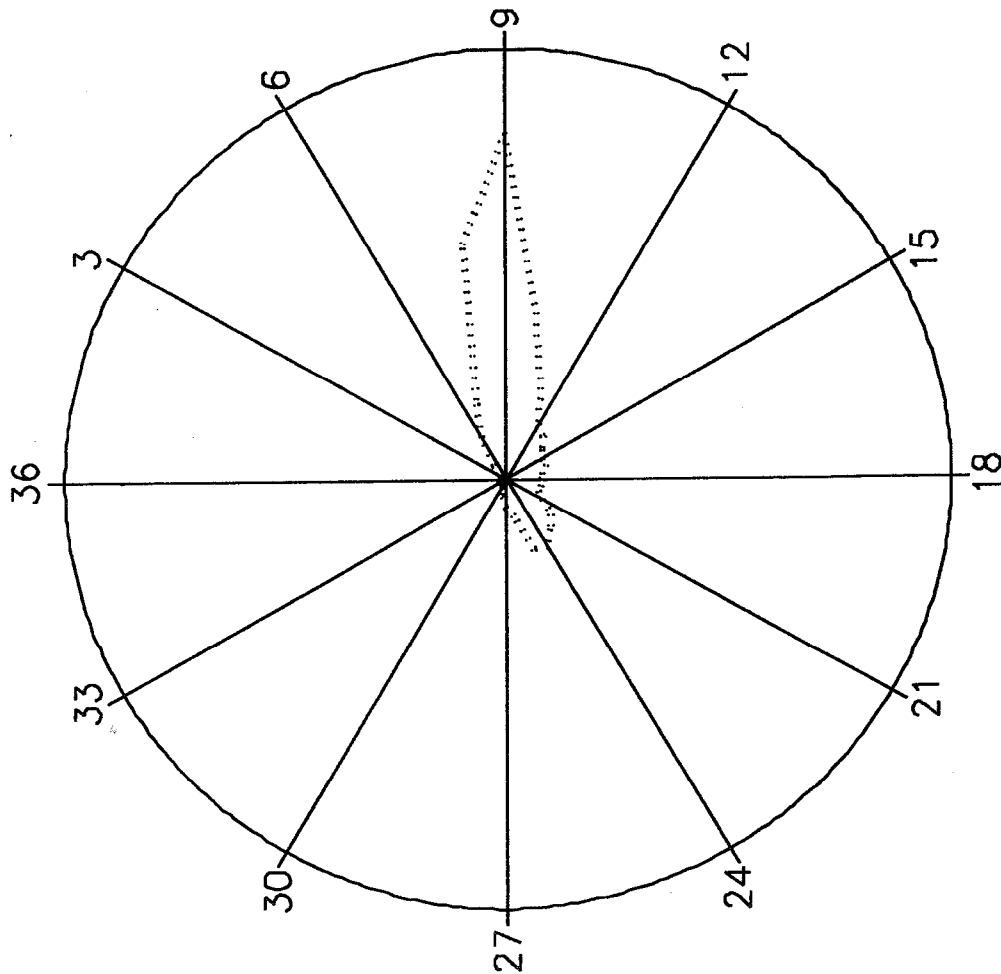
Ausfall oder nicht gemessen: 1275 Werte

Abb. 12 Windrichtungshäufigkeit in Hall i.T., 50 m über Boden

Hall i.T. Juli 1990 – Maerz 1991

Windrichtung 100 m

Calme bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s



Klasse	Anz.Werte	%
0	1699	14.2
1	12	0.1
2	14	0.1
3	19	0.2
4	35	0.3
5	104	0.9
6	270	2.3
7	473	4.0
8	1331	11.1
9	1925	16.1
10	938	7.8
11	541	4.5
12	349	2.9
13	312	2.6
14	252	2.1
15	224	1.9
16	227	1.9
17	196	1.6
18	192	1.6
19	188	1.6
20	189	1.6
21	223	1.9
22	314	2.6
23	372	3.1
24	439	3.7
25	422	3.5
26	211	1.8
27	160	1.3
28	101	0.8
29	89	0.7
30	48	0.4
31	25	0.2
32	23	0.2
33	19	0.2
34	10	0.1
35	6	0.1
36	5	0.0

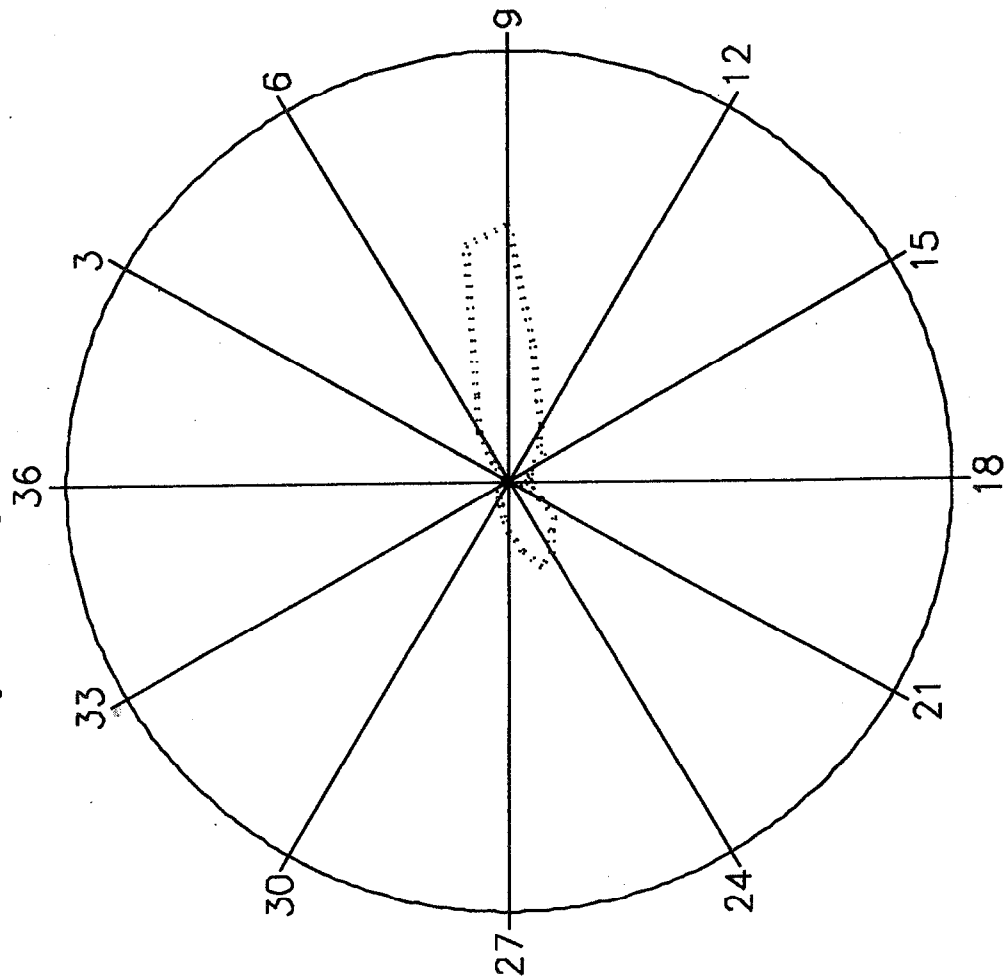
Windstille (< 0.5 m/s): 1699 Werte (14.2%)
Ausfall oder nicht gemessen: 1195 Werte

Abb. 13 Windrichtungshäufigkeit in Hall i.T., 100 m über Boden

Hall i.T. Juli 1990 – Maerz 1991

Windrichtung 150 m

Calme bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s



Radius entspricht:

..... Windrichtungshäufigkeit 20 %

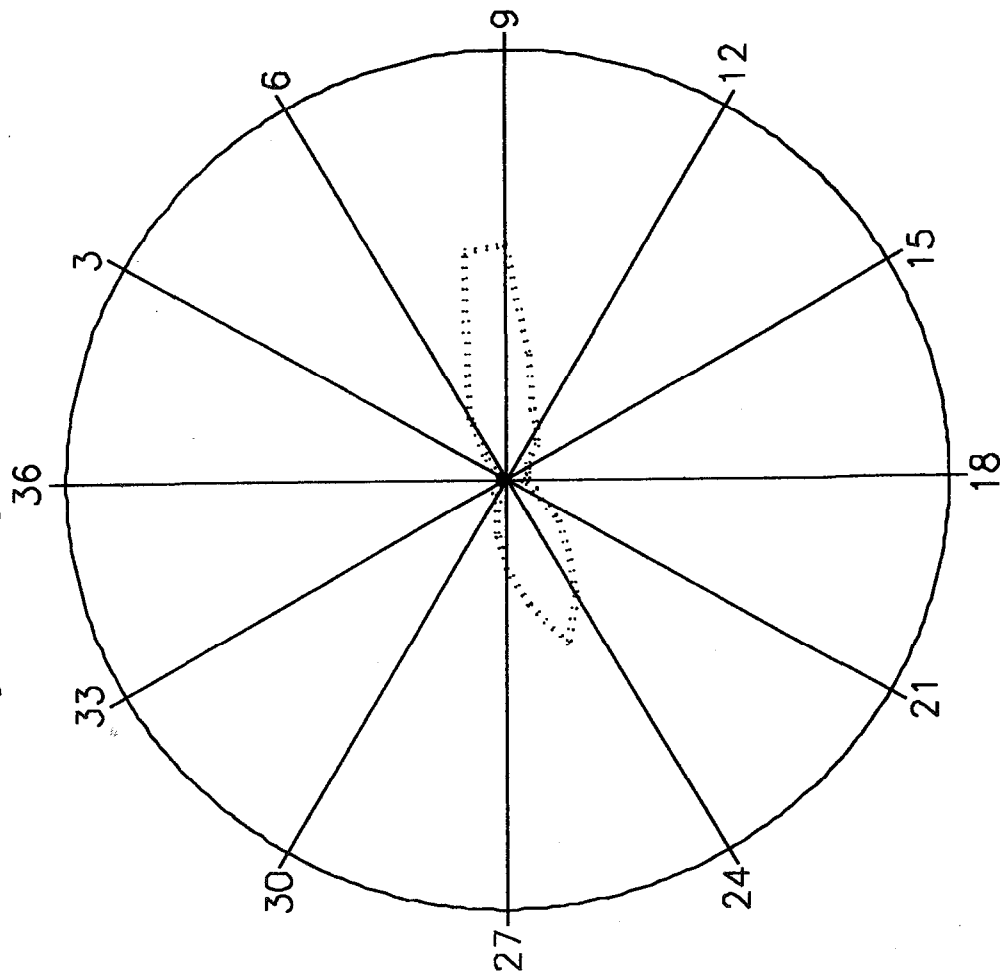
Windstille (< 0.5 m/s): 2048 Werte (18.5%)
Ausfall oder nicht gemessen: 2097 Werte

Abb. 14 Windrichtungshäufigkeit in Hall i.T., 150 m über Boden

Hall i.T. Juli 1990 – Maerz 1991

Windrichtung 200 m

Calme bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s



Klasse	Anz.Werte	%
0	289	3.7
1	30	0.4
2	22	0.3
3	33	0.4
4	61	0.8
5	120	1.5
6	255	3.3
7	401	5.2
8	838	10.8
9	846	10.9
10	459	5.9
11	267	3.4
12	214	2.8
13	168	2.2
14	99	1.3
15	90	1.2
16	78	1.0
17	79	1.0
18	57	0.7
19	72	0.9
20	108	1.4
21	141	1.8
22	239	3.1
23	334	4.3
24	492	6.3
25	635	8.2
26	460	5.9
27	325	4.2
28	198	2.6
29	90	1.2
30	67	0.9
31	69	0.9
32	36	0.5
33	31	0.4
34	21	0.3
35	18	0.2
36	15	0.2

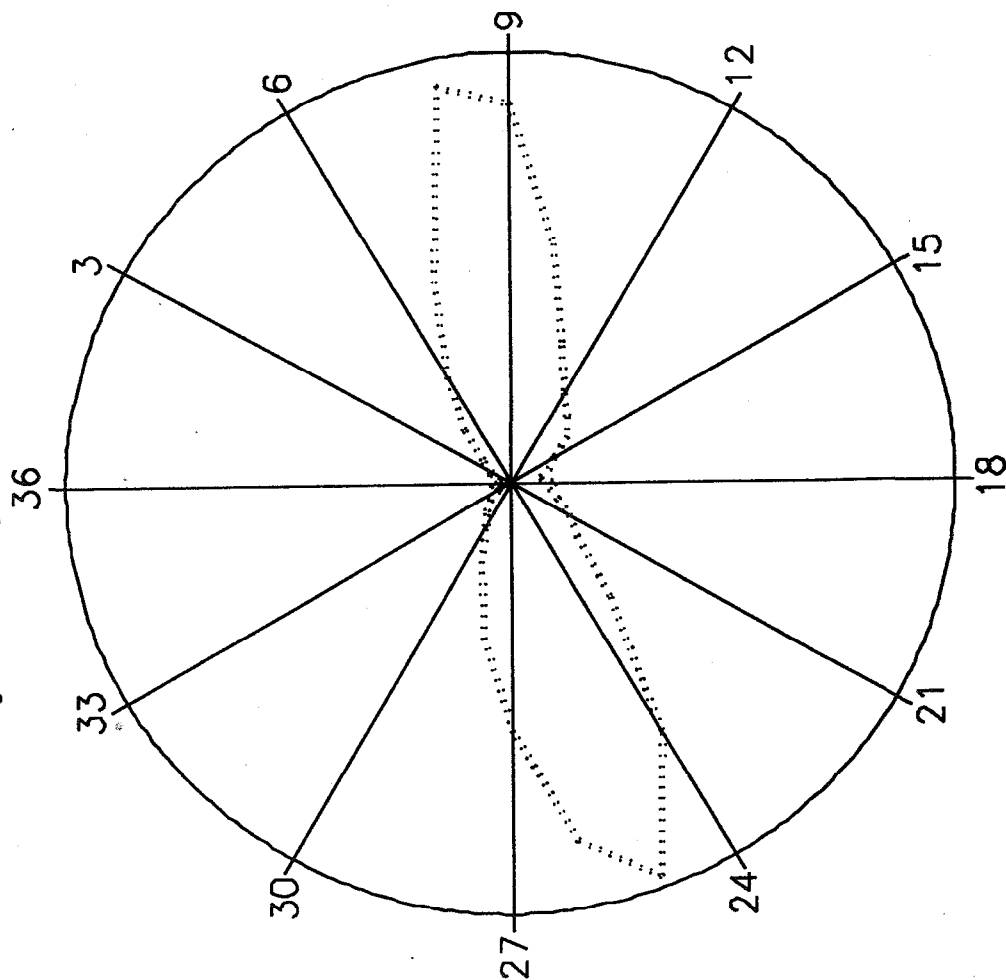
Windstille (< 0.5 m/s): 289 Werte (3.7%)
Ausfall oder nicht gemessen: 5395 Werte

Abb. 15 Windrichtungshäufigkeit in Hall i.T., 200 m über Boden

Hall i.T. Juli 1990 – Maerz 1991

Windrichtung 250 m

Calm bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s



Radius entspricht:

..... Windrichtungshäufigkeit 10 %

Windstille (< 0.5 m/s): 111 Werte (2.4%)
Ausfall oder nicht gemessen: 8604 Werte

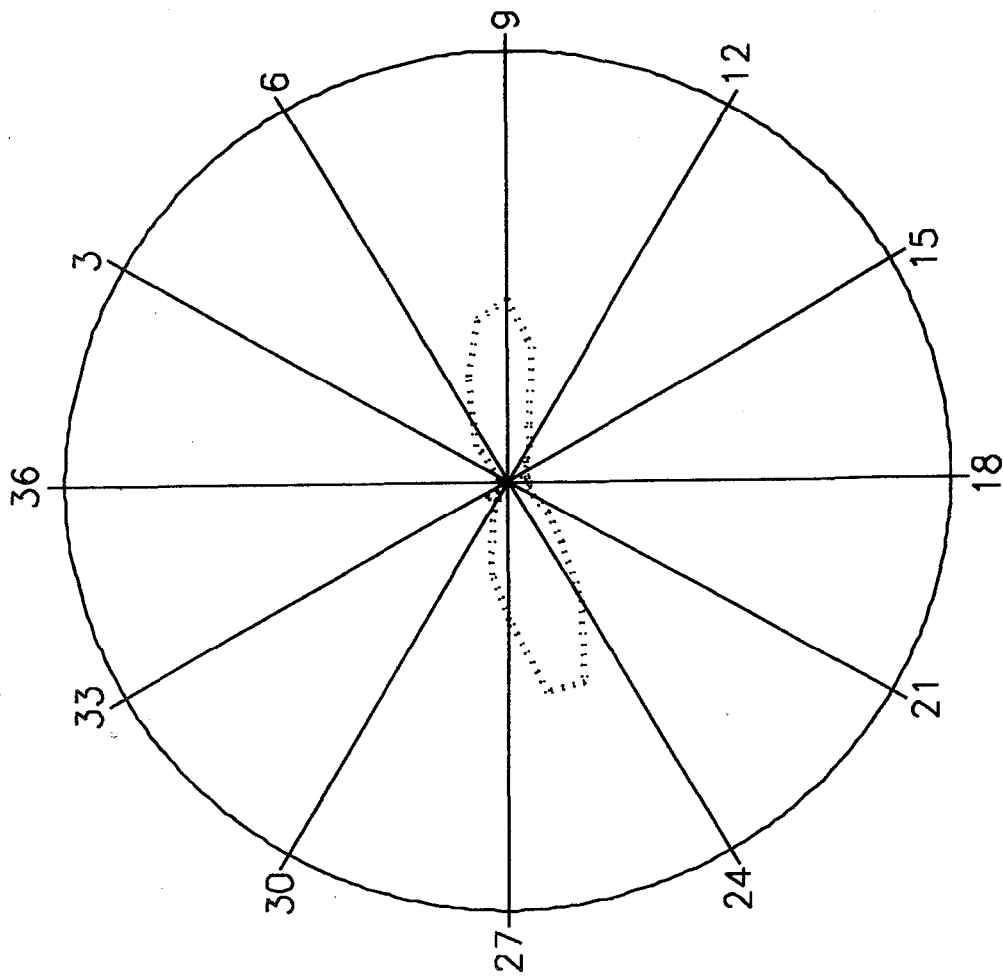
Klasse	Anz.Werte	%
0	111	2.4
1	14	0.3
2	24	0.5
3	23	0.5
4	38	0.8
5	74	1.6
6	129	2.8
7	227	5.0
8	425	9.3
9	401	8.8
10	257	5.7
11	154	3.4
12	108	2.4
13	89	2.0
14	75	1.6
15	51	1.1
16	42	0.9
17	30	0.7
18	44	1.0
19	40	0.9
20	51	1.1
21	68	1.5
22	88	1.9
23	158	3.5
24	307	6.8
25	443	9.7
26	384	8.4
27	262	5.8
28	165	3.6
29	89	2.0
30	52	1.1
31	38	0.8
32	28	0.6
33	15	0.3
34	12	0.3
35	21	0.5
36	11	0.2

Abb. 16 Windrichtungshäufigkeit in Hall i.T., 250 m über Boden

Hall i.T. Juli 1990 – Maerz 1991

Windrichtung 300 m

Calme bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s



Radius entspricht:

Windrichtungshäufigkeit 20 %

Klasse	Anz.Werte	%
0	34	1.3
1	8	0.3
2	12	0.4
3	22	0.8
4	23	0.8
5	60	2.2
6	84	3.1
7	142	5.2
8	207	7.6
9	226	8.4
10	172	6.3
11	74	2.7
12	52	1.9
13	33	1.2
14	30	1.1
15	18	0.7
16	24	0.9
17	25	0.9
18	26	1.0
19	27	1.0
20	27	1.0
21	36	1.3
22	63	2.3
23	102	3.8
24	177	6.5
25	272	10.0
26	272	10.0
27	176	6.5
28	121	4.5
29	55	2.0
30	25	0.9
31	17	0.6
32	33	1.2
33	6	0.2
34	9	0.3
35	6	0.2
36	11	0.4

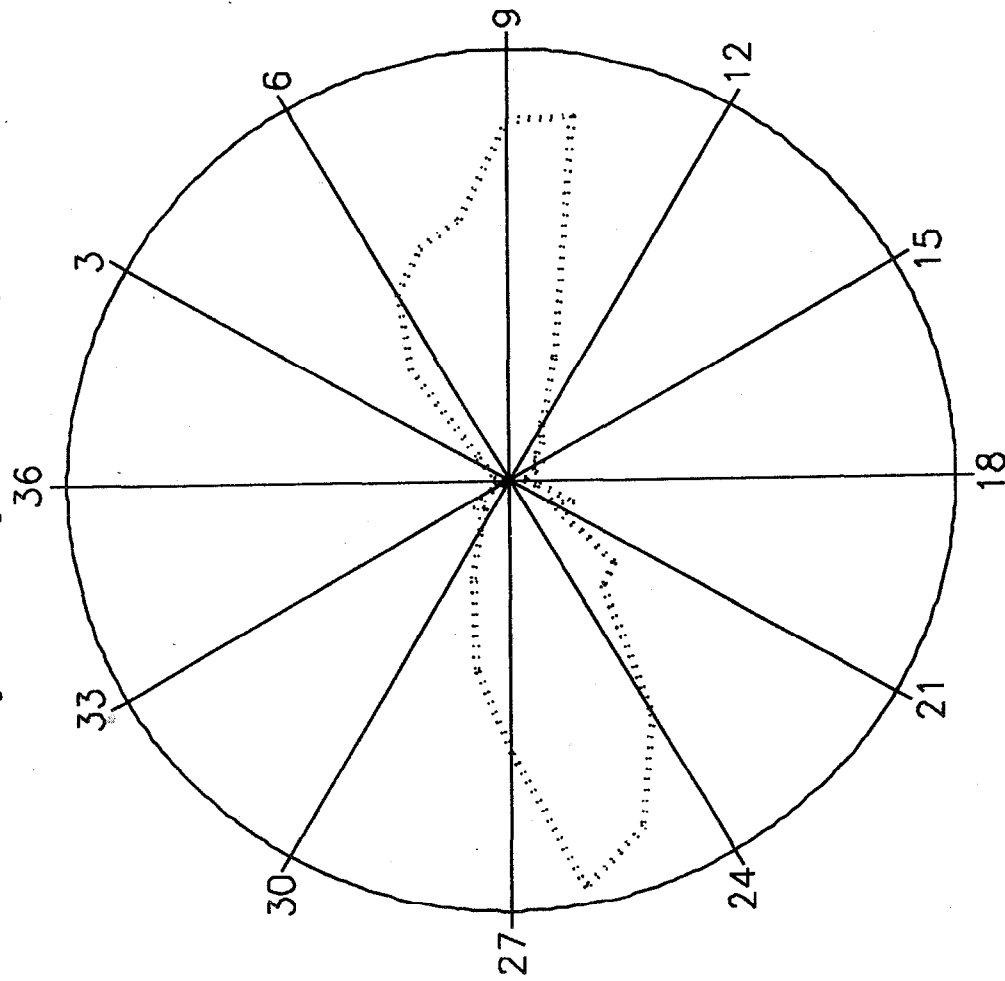
Windstille (< 0.5 m/s): 34 Werte (1.3%)
Ausfall oder nicht gemessen: 10442 Werte

Abb. 17 Windrichtungshäufigkeit in Hall i.T., 300 m über Boden

Hall i.T. Juli 1990 – Maerz 1991

Windrichtung 350 m

Calme bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s



Radius entspricht:

Windrichtungshäufigkeit 10 %

Klasse	Anz. Werte	%
0	9	0.6
1	1	0.1
2	6	0.4
3	9	0.6
4	14	0.9
5	51	3.4
6	75	5.0
7	85	5.8
8	92	6.2
9	124	8.3
10	127	8.5
11	45	3.0
12	22	1.5
13	17	1.1
14	11	0.7
15	13	0.9
16	9	0.6
17	6	0.4
18	5	0.3
19	10	0.7
20	23	1.5
21	15	1.0
22	45	3.0
23	48	3.2
24	94	6.3
25	128	8.6
26	143	9.6
27	94	6.3
28	66	4.4
29	36	2.4
30	20	1.3
31	13	0.9
32	15	1.0
33	7	0.5
34	2	0.1
35	5	0.3
36	2	0.1

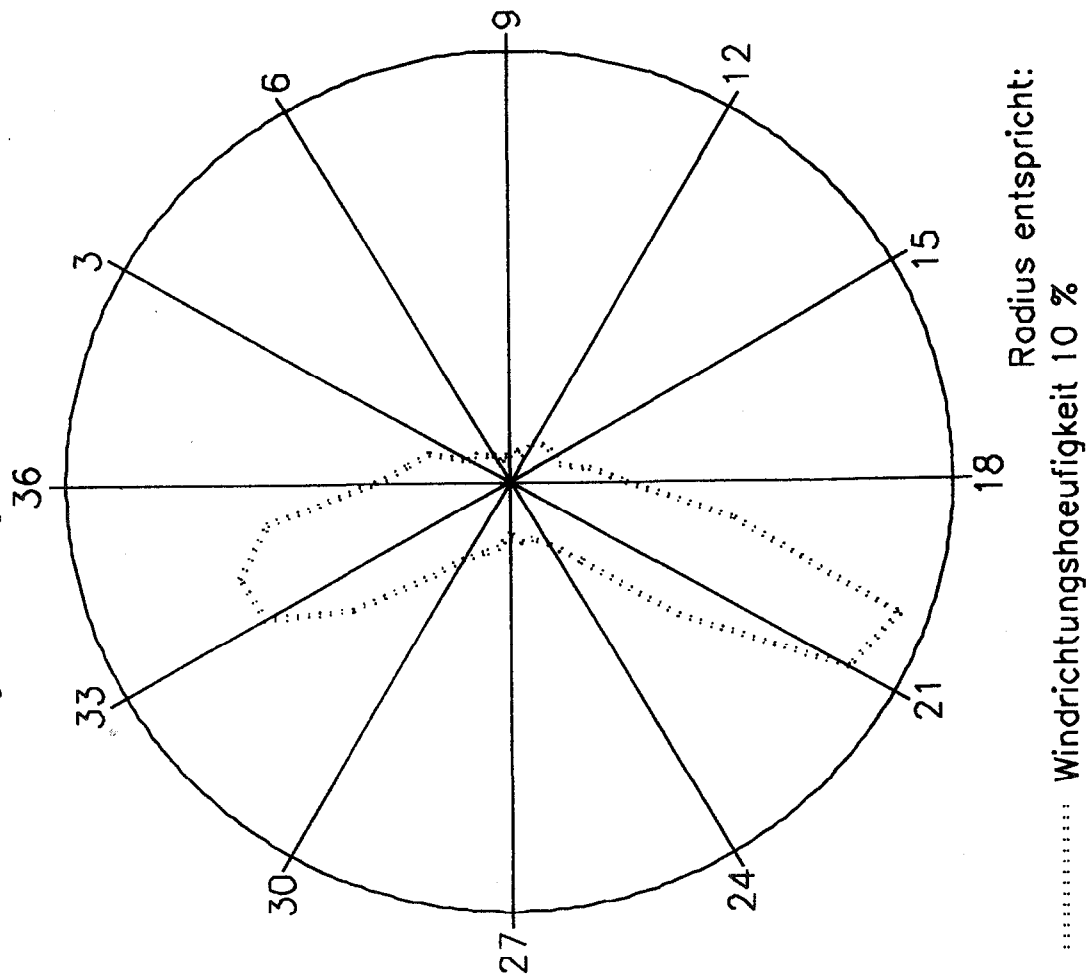
Windstille (< 0.5 m/s): 9 Werte (0.6%)
Ausfall oder nicht gemessen: 11664 Werte

Abb. 18 Windrichtungshäufigkeit in Hall i.T., 350 m über Boden

Nordkette Juli 1990 – Moerz 1991

Windrichtung 10 m

Calme bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s



Klasse	Anz.Werte	%
0	743	7.8
1	219	2.3
2	183	1.9
3	101	1.1
4	95	1.0
5	77	0.8
6	69	0.7
7	52	0.5
8	60	0.6
9	59	0.6
10	72	0.8
11	66	0.7
12	99	1.0
13	108	1.1
14	112	1.2
15	111	1.2
16	113	1.2
17	173	1.8
18	249	2.6
19	490	5.1
20	890	9.3
21	840	8.8
22	471	4.9
23	232	2.4
24	161	1.7
25	137	1.4
26	137	1.4
27	115	1.2
28	151	1.6
29	171	1.8
30	200	2.1
31	283	3.0
32	442	4.6
33	609	6.4
34	619	6.5
35	531	5.6
36	288	3.0

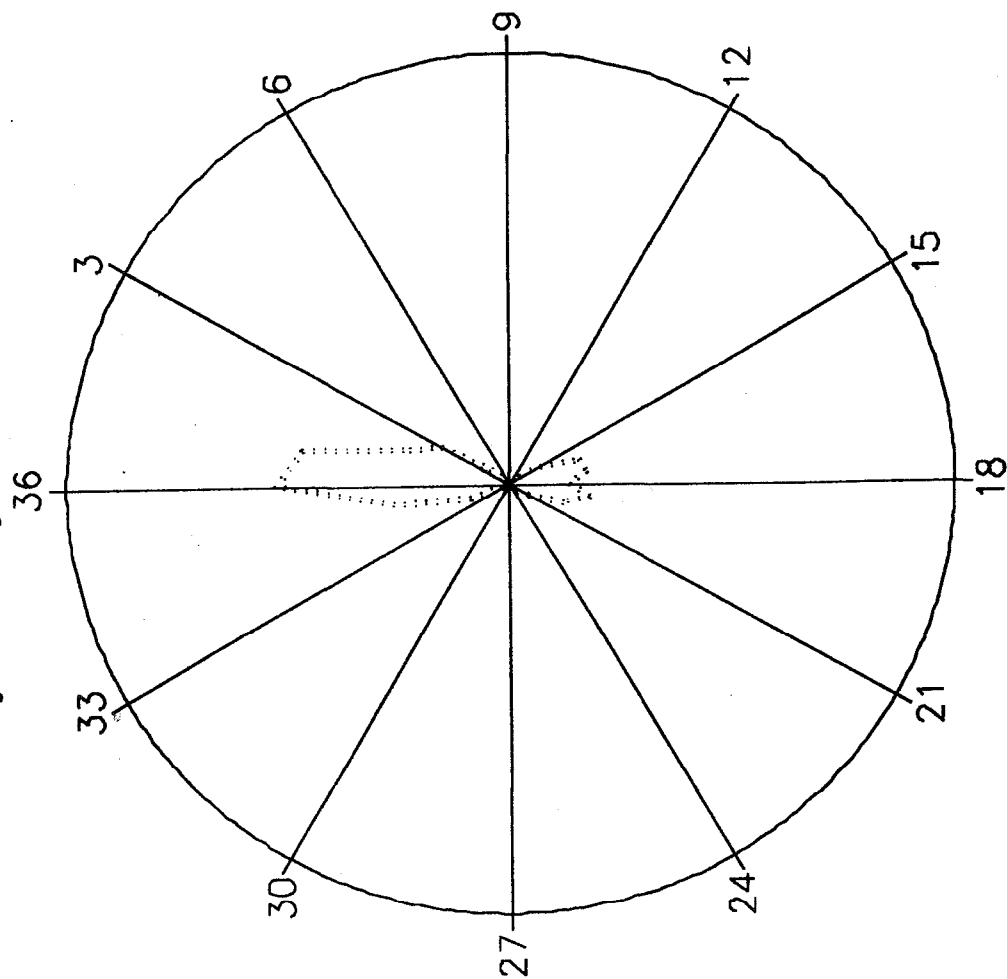
Windstille (< 0.5 m/s): 743 Werte (7.8%)
Ausfall oder nicht gemessen: 3624 Werte

Abb. 19 Windrichtungshäufigkeit am Hafelekar

Juli 1990 – März 1991

Windrichtung 10 m

Calme bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s



Radius entspricht:

..... Windrichtungshäufigkeit 20 %

Klasse	Anz.Werte	%
0	3260	42.4
1	732	9.5
2	370	4.8
3	270	3.5
4	85	1.1
5	18	0.2
6	11	0.1
7	2	0.0
8	1	0.0
9	0	0.0
10	2	0.0
11	2	0.0
12	3	0.0
13	3	0.0
14	49	0.6
15	123	1.6
16	257	3.3
17	270	3.5
18	210	2.7
19	286	3.7
20	197	2.6
21	77	1.0
22	40	0.5
23	13	0.2
24	1	0.0
25	1	0.0
26	0	0.0
27	0	0.0
28	0	0.0
29	0	0.0
30	1	0.0
31	4	0.1
32	9	0.1
33	24	0.3
34	142	1.8
35	407	5.3
36	810	10.5

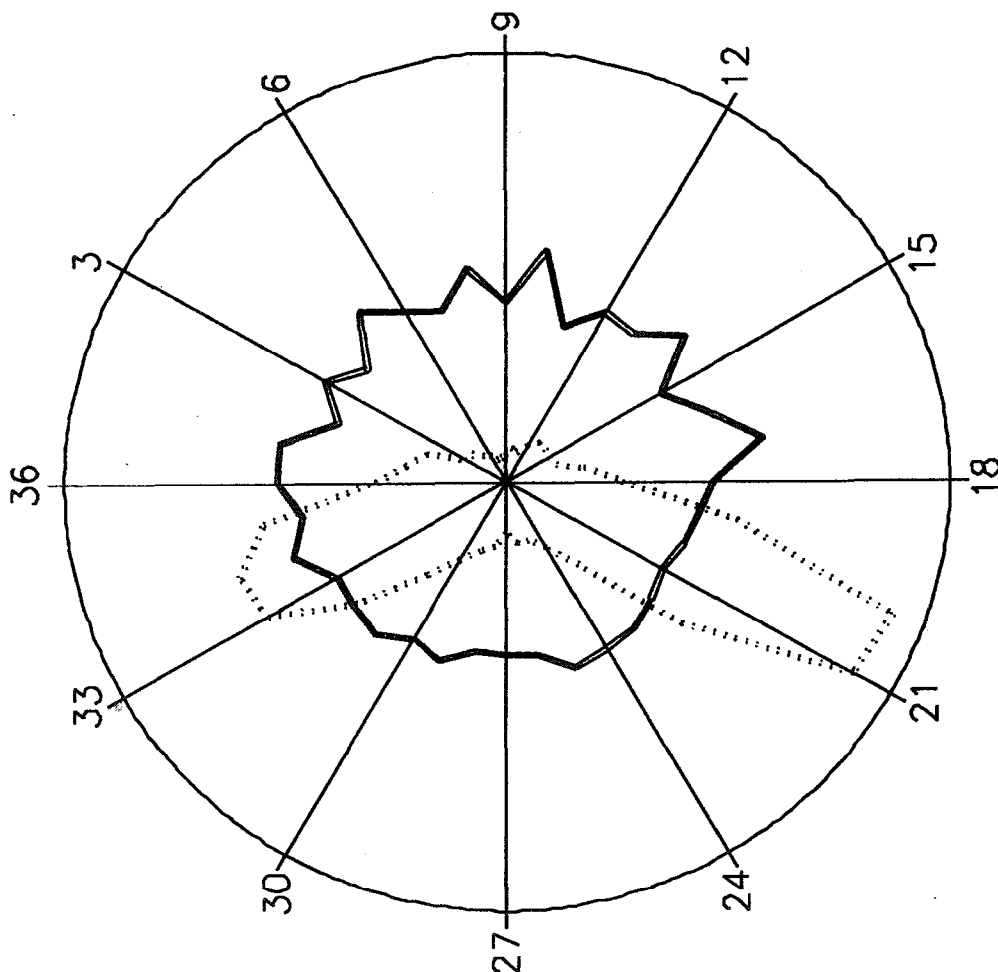
Windstille (< 0.5 m/s): 3260 Werte (42.4%)
Ausfall oder nicht gemessen: 5472 Werte

Abb. 20 Windrichtungshäufigkeit an der Enzianhütte

Abb. 21 Windrichtungsabhängigkeit der NO-Immission an der Seegrube, bezogen auf die Windrichtung am Hafelekar

Nordkette Juli 1990 – März 1991

HMW: Stickstoffmonoxid [mg/m³]
Windrichtung 10 m



Radius entspricht:
Windrichtungshäufigkeit 10 %
Messkomponente 0.005 [mg/m³]

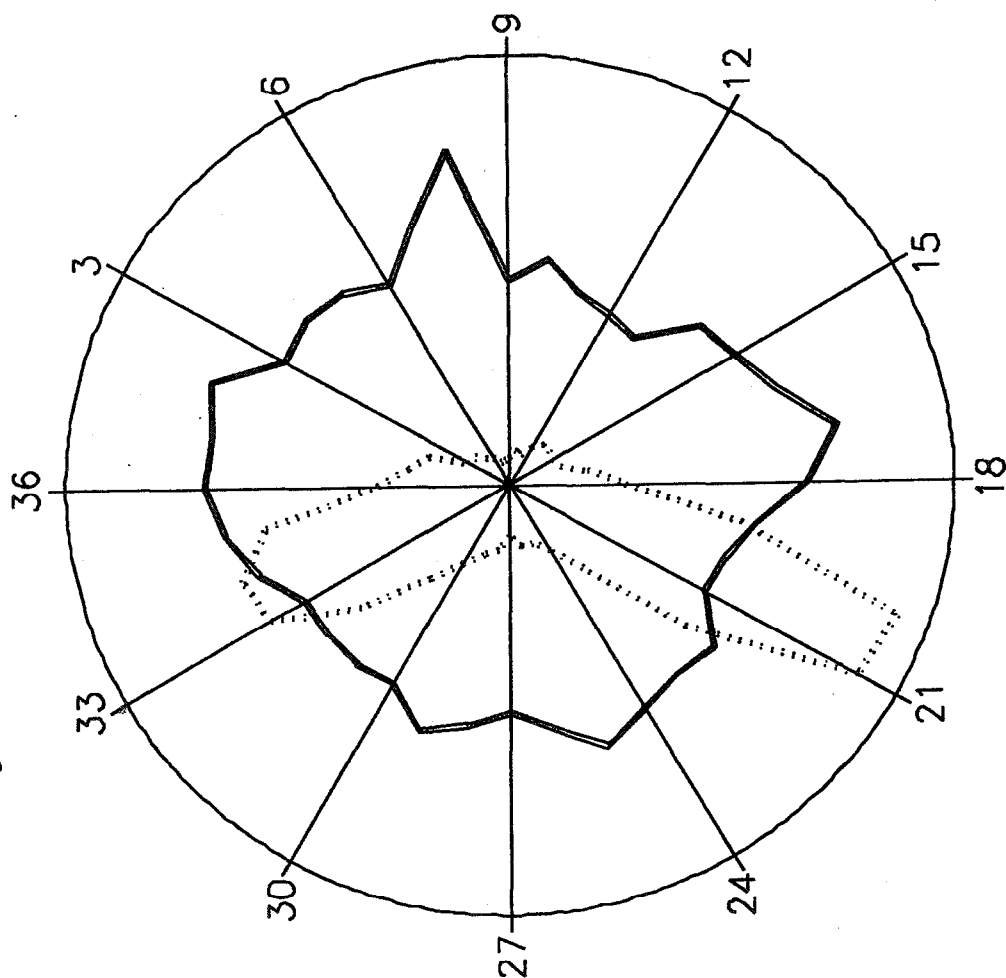
Klasse	Anz.Werte	%	mittl.Konz.
0	672	7.7	0.00384
1	201	2.3	0.00261
2	167	1.9	0.00203
3	90	1.0	0.00237
4	87	1.0	0.00205
5	70	0.8	0.00259
6	63	0.7	0.00230
7	49	0.6	0.00212
8	52	0.6	0.00252
9	55	0.6	0.00209
10	69	0.8	0.00274
11	64	0.7	0.00191
12	87	1.0	0.00227
13	103	1.2	0.00225
14	102	1.2	0.00265
15	100	1.1	0.00204
16	107	1.2	0.00239
17	157	1.8	0.00295
18	229	2.6	0.00234
19	461	5.3	0.00220
20	807	9.3	0.00214
21	786	9.0	0.00205
22	451	5.2	0.00215
23	221	2.5	0.00225
24	154	1.8	0.00227
25	126	1.4	0.00231
26	127	1.5	0.00206
27	105	1.2	0.00202
28	135	1.5	0.00202
29	150	1.7	0.00223
30	184	2.1	0.00211
31	246	2.8	0.00232
32	385	4.4	0.00225
33	545	6.3	0.00222
34	559	6.4	0.00256
35	486	5.6	0.00234
36	258	3.0	0.00260

Windstille (< 0.5 m/s): 672 Werte (7.7%)
Ausfall oder nicht gemessen: 4442 Werte

Abb. 22 Windrichtungsabhängigkeit der NO_2 -Immission an der Seegrube, bezogen auf die Windrichtung am Hafelekar

Nordkette Juli 1990 – Moerz 1991

HMW: Stickstoffdioxid [mg/m^3]
Windrichtung 10 m

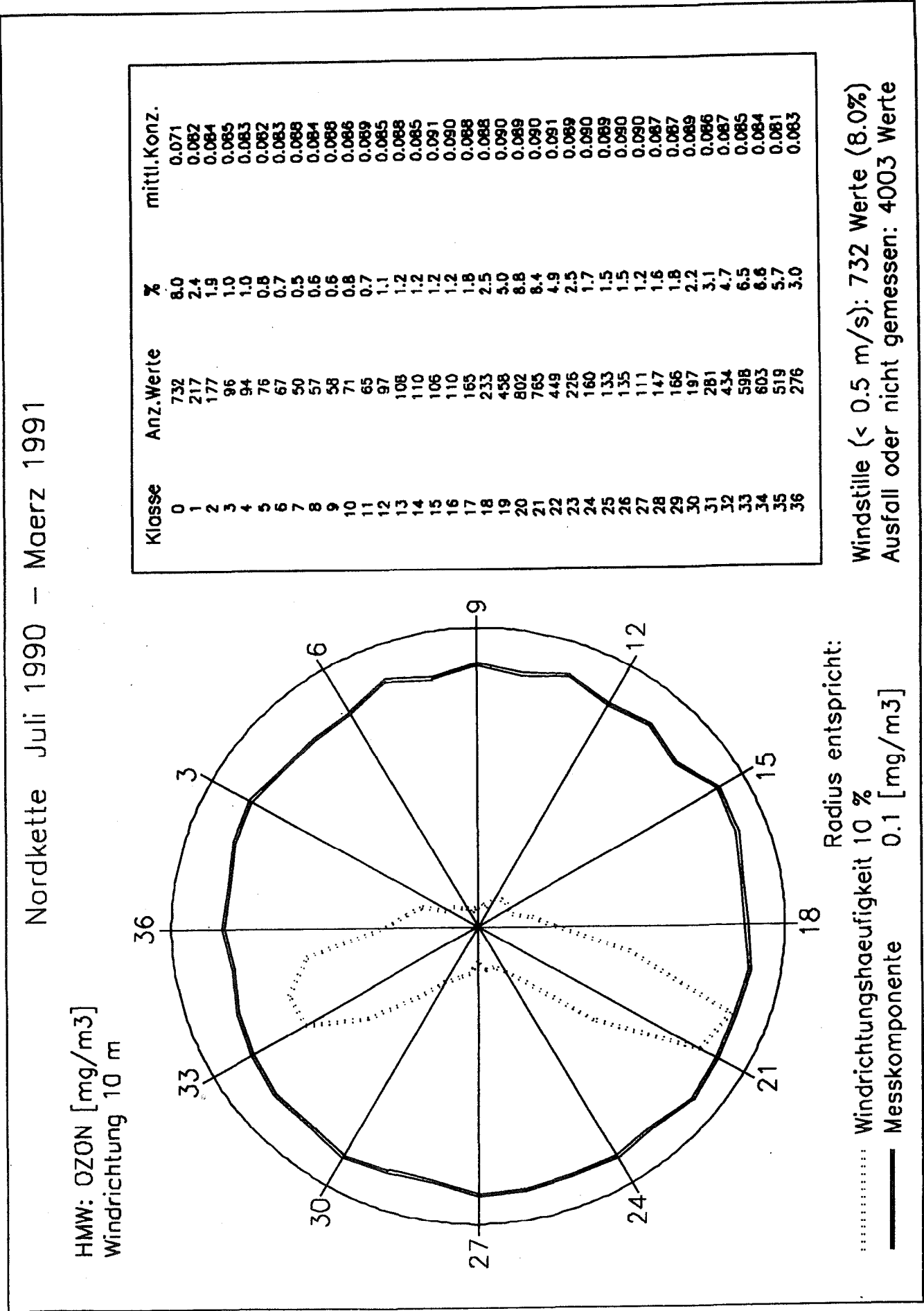


Radius entspricht:
..... Windrichtungshäufigkeit 10 %
—— Messkomponente 0.01 [mg/m^3]

Klasse	Anz.Werte	%	mittl.Konz.
0	672	7.7	0.0044
1	201	2.3	0.0068
2	167	1.9	0.0071
3	90	1.0	0.0058
4	87	1.0	0.0060
5	70	0.8	0.0058
6	63	0.7	0.0054
7	49	0.6	0.0064
8	52	0.6	0.0079
9	55	0.6	0.0048
10	69	0.8	0.0053
11	64	0.7	0.0047
12	87	1.0	0.0045
13	103	1.2	0.0044
14	102	1.2	0.0057
15	100	1.1	0.0059
16	107	1.2	0.0064
17	157	1.8	0.0075
18	229	2.6	0.0067
19	461	5.3	0.0056
20	807	9.3	0.0051
21	786	9.0	0.0050
22	451	5.2	0.0060
23	221	2.5	0.0058
24	154	1.8	0.0060
25	126	1.4	0.0065
26	127	1.5	0.0058
27	105	1.2	0.0053
28	135	1.5	0.0057
29	150	1.7	0.0060
30	184	2.1	0.0053
31	246	2.8	0.0054
32	385	4.4	0.0054
33	545	6.3	0.0053
34	559	6.4	0.0060
35	486	5.6	0.0065
36	258	3.0	0.0068

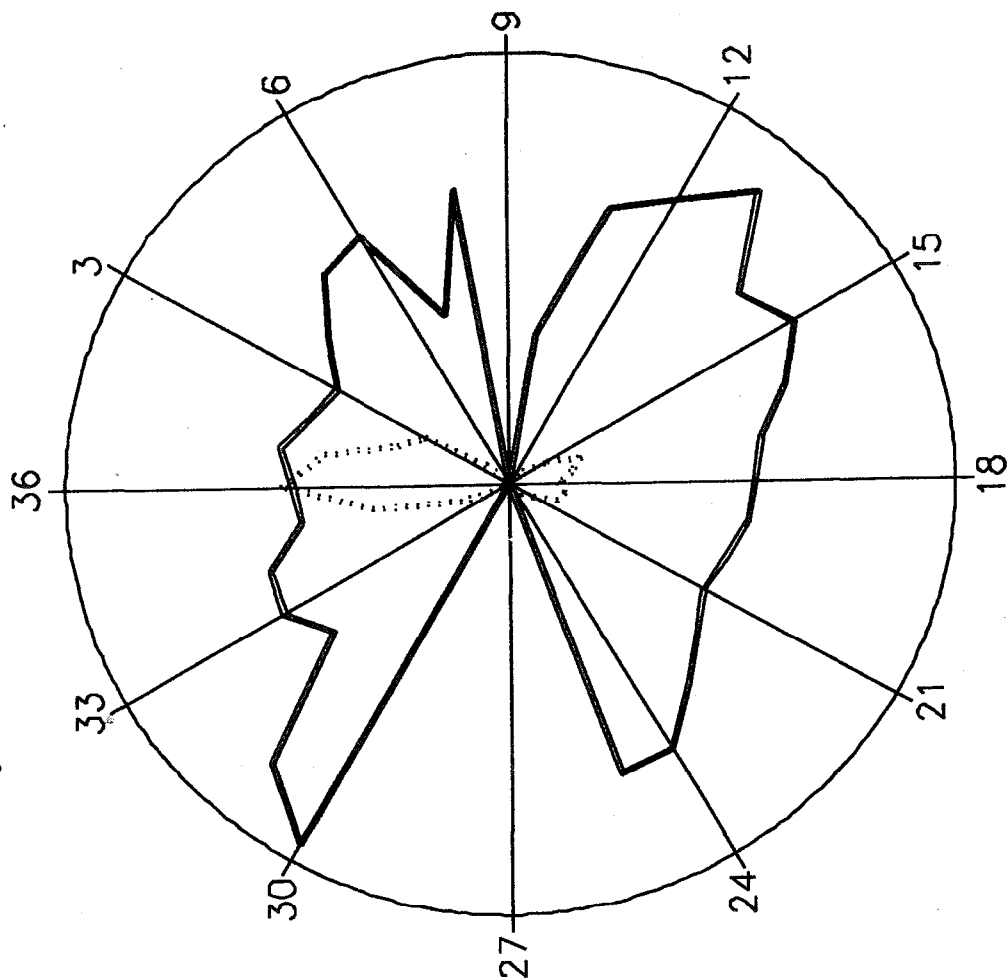
Windstille ($< 0.5 \text{ m/s}$): 672 Werte (7.7%)
Ausfall oder nicht gemessen: 4442 Werte

Abb. 23 Windrichtungsabhängigkeit der O₃-Immission an der Seegrube, bezogen auf die Windrichtung am Hafelekar



Enzianhütte Juli 1990 – März 1991

HMW: OZON [mg/m³]
Windrichtung 10 m



..... Windrichtungshäufigkeit 20 %
 — Messkomponente
 Radius entspricht:
 0.1 [mg/m³]

Klasse	Anz.Werte	%	mittl.Konz.
0	2451	42.1	0.026
1	494	8.5	0.052
2	312	5.4	0.047
3	255	4.4	0.045
4	81	1.4	0.053
5	17	0.3	0.065
6	10	0.2	0.067
7	2	0.0	0.042
8	1	0.0	0.070
9	0	0.0	0.000
10	2	0.0	0.035
11	2	0.0	0.068
12	3	0.1	0.076
13	3	0.1	0.088
14	48	0.8	0.068
15	115	2.0	0.074
16	197	3.4	0.066
17	166	2.8	0.057
18	127	2.2	0.055
19	148	2.5	0.054
20	133	2.3	0.051
21	72	1.2	0.050
22	40	0.7	0.055
23	13	0.2	0.062
24	1	0.0	0.072
25	1	0.0	0.072
26	0	0.0	0.000
27	0	0.0	0.000
28	0	0.0	0.000
29	0	0.0	0.000
30	1	0.0	0.000
31	2	0.0	0.084
32	8	0.1	0.052
33	23	0.4	0.059
34	134	2.3	0.057
35	366	6.3	0.048
36	599	10.3	0.049

Windstille (< 0.5 m/s): 2451 Werte (42.1%)
 Ausfall oder nicht gemessen: 7325 Werte

Abb. 24 Windrichtungsabhängigkeit der O₃-Immission an der Enzianhütte

Abb. 25 Windrichtungsabhängigkeit der NO-Immission in Innsbruck-Reichenau, bezogen auf die Windrichtung in Innsbruck-Hauptbahnhof

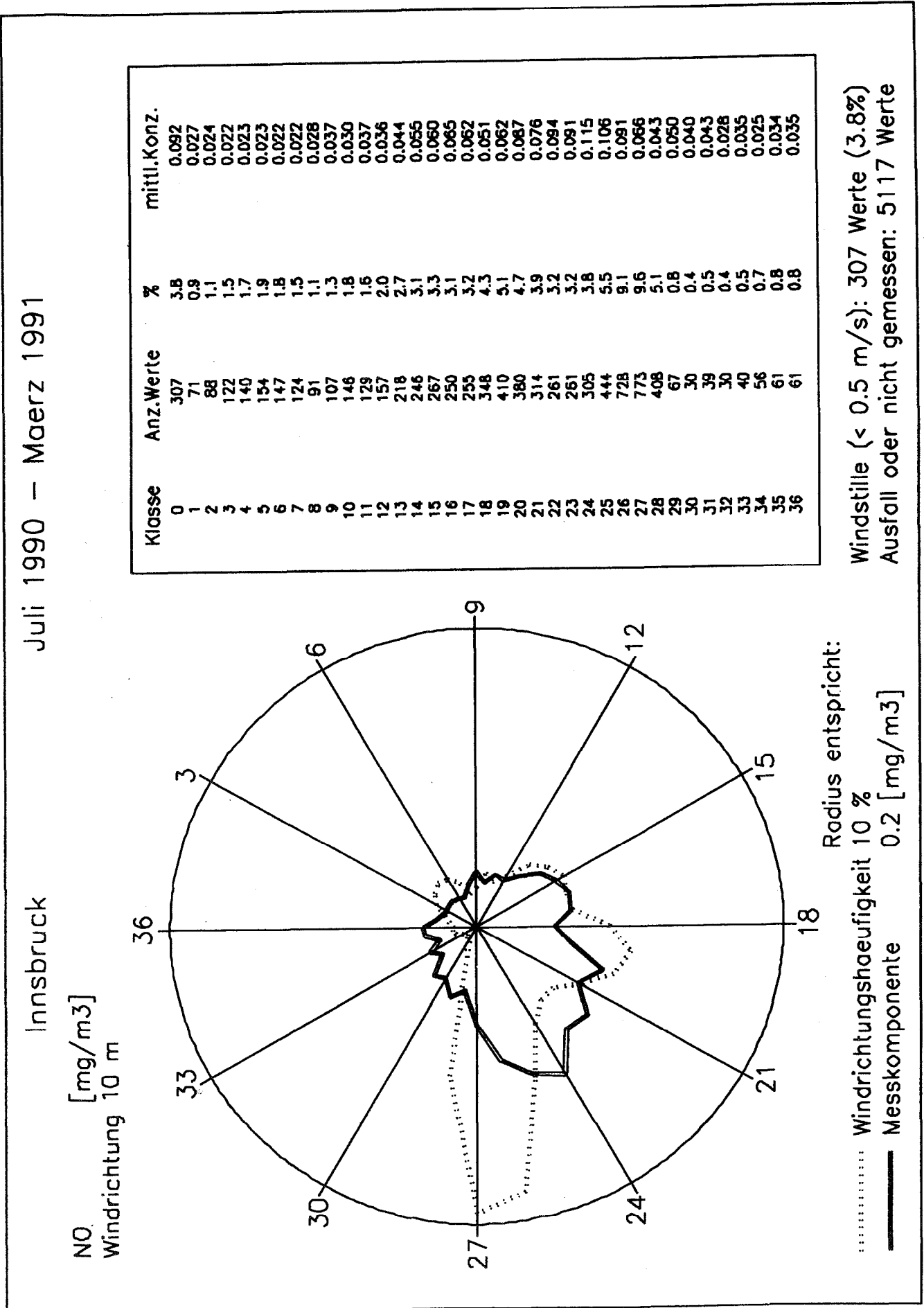
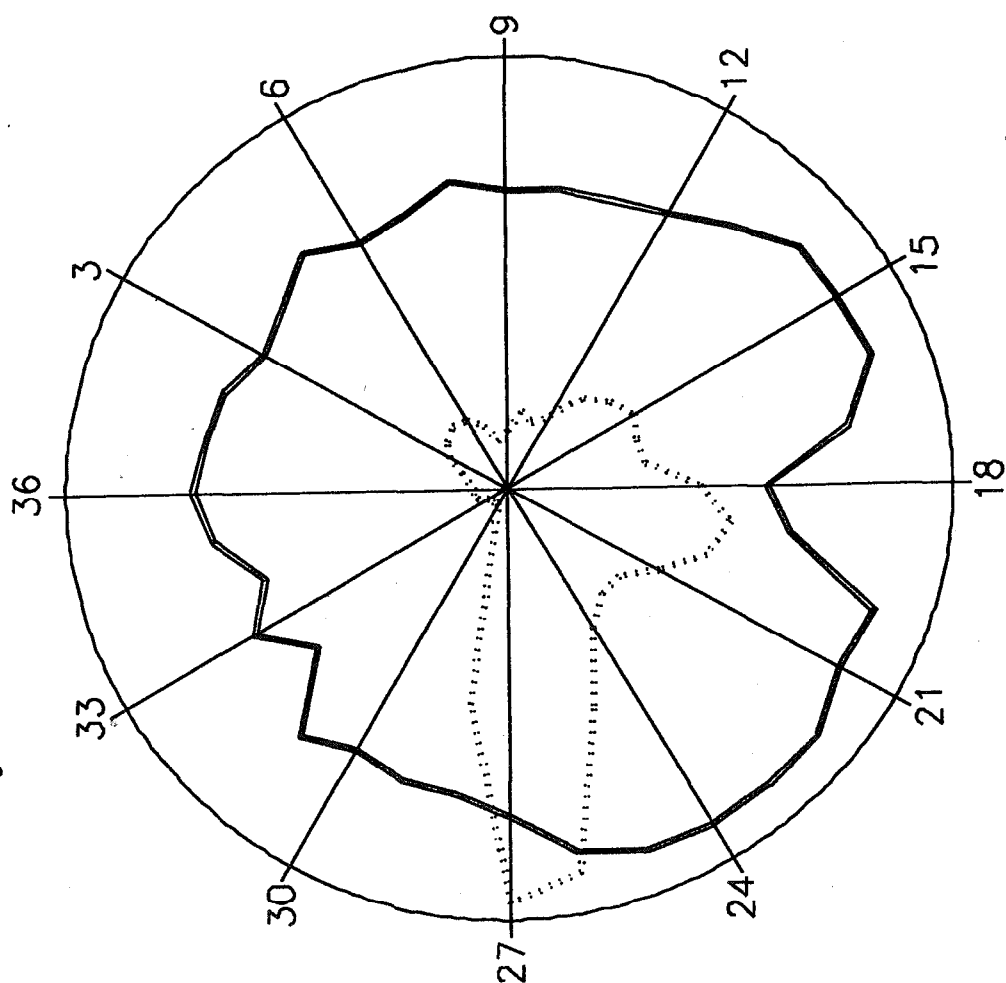


Abb. 26 Windrichtungsabhängigkeit der NO_2 -Immission in Innsbruck-Reichenau, bezogen auf die Windrichtung in Innsbruck-Hauptbahnhof

Innsbruck Juli 1990 – März 1991

NO_2 [mg/m³]
Windrichtung 10 m



..... Windrichtungshäufigkeit 10 %
—— Messkomponente
Radius entspricht:
0.05 [mg/m³]

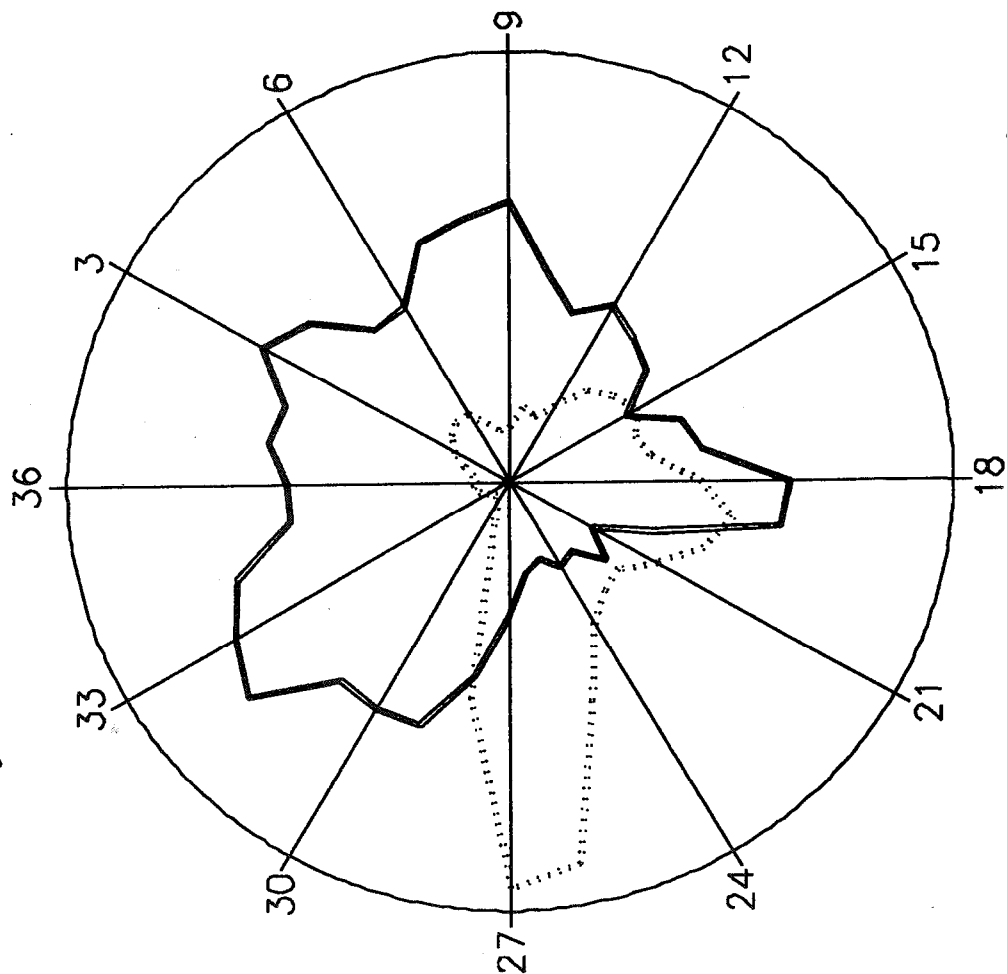
Klasse	Anz.Werte	%	mittl.Konz.
0	307	3.8	0.0456
1	71	0.9	0.0346
2	88	1.1	0.0341
3	122	1.5	0.0318
4	140	1.7	0.0332
5	154	1.9	0.0359
6	147	1.8	0.0331
7	124	1.5	0.0339
8	91	1.1	0.0363
9	107	1.3	0.0346
10	146	1.8	0.0351
11	129	1.6	0.0353
12	157	2.0	0.0365
13	218	2.7	0.0392
14	246	3.1	0.0430
15	267	3.3	0.0432
16	250	3.1	0.0437
17	255	3.2	0.0389
18	348	4.3	0.0292
19	410	5.1	0.0323
20	380	4.7	0.0437
21	314	3.9	0.0429
22	261	3.2	0.0453
23	261	3.2	0.0453
24	305	3.8	0.0455
25	443	5.5	0.0449
26	727	9.1	0.0429
27	772	9.6	0.0382
28	408	5.1	0.0360
29	67	0.8	0.0358
30	30	0.4	0.0348
31	39	0.5	0.0370
32	30	0.4	0.0283
33	40	0.5	0.0332
34	56	0.7	0.0293
35	61	0.8	0.0338
36	61	0.8	0.0357

Windstille (< 0.5 m/s): 307 Werte (3.8%)
Ausfall oder nicht gemessen: 5120 Werte

Abb. 27 Windrichtungsabhängigkeit der O_3 -Immission in Innsbruck-Reichenau, bezogen auf die Windrichtung in Innsbruck-Hauptbahnhof

Innsbruck
Juli 1990 – März 1991

O_3
[mg/m³]
Windrichtung 10 m



Windstille (< 0.5 m/s): 320 Werte (3.7%)
Ausfall oder nicht gemessen: 4607 Werte

Radius entspricht:

..... Windrichtungshäufigkeit 10 %
—— Messkomponente 0.05 [mg/m³]

Windrichtung Mittlerer Tagesgang Juli 1990 - März 1991

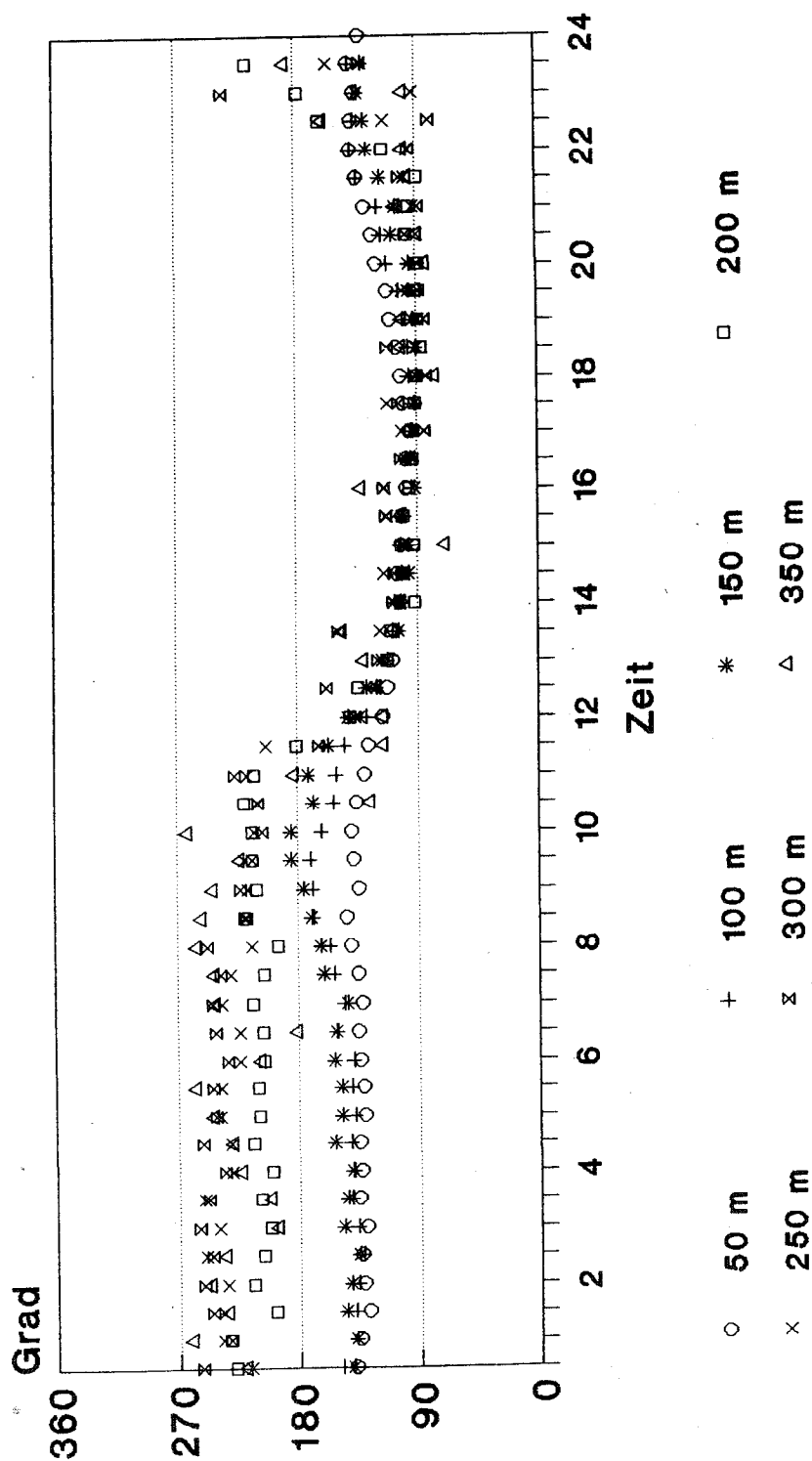


Abb. 28

Windgeschwindigkeit Mittlerer Tagesgang Juli 1990 - März 1991

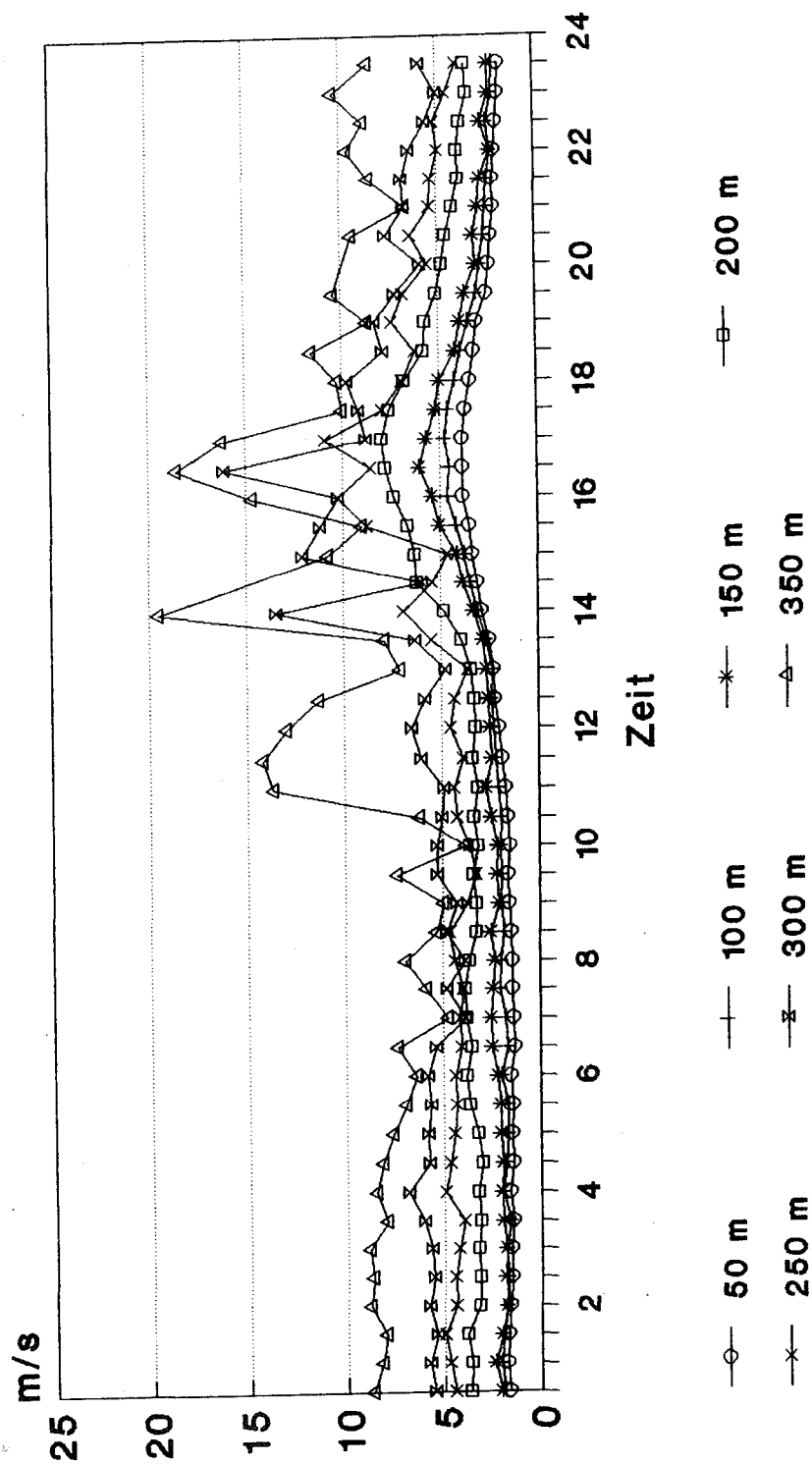


Abb. 29

Windrichtung Mittl. Tagesgang Tage mit Sonnenscheindauer > 10 h

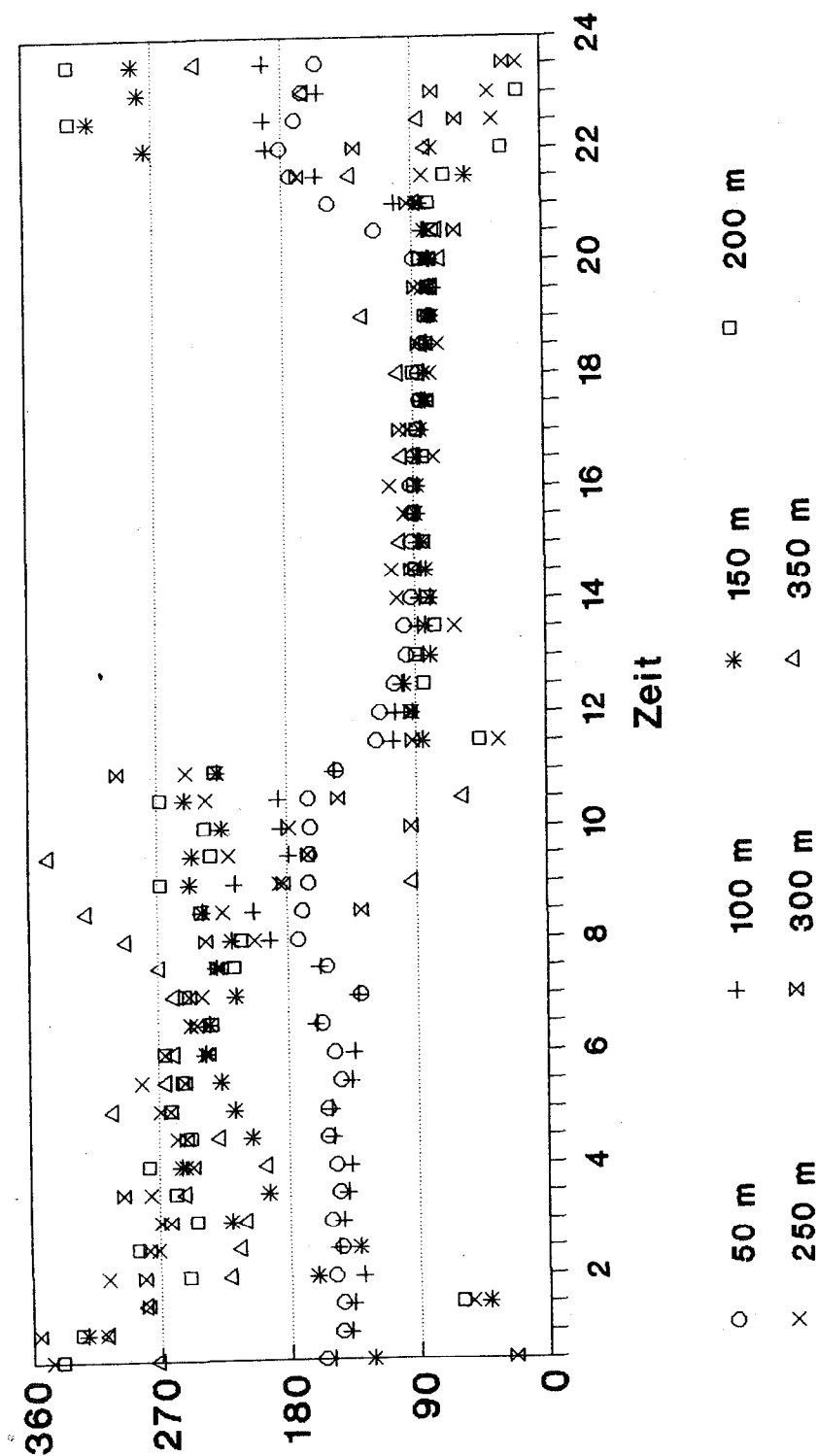


Abb. 30

Windrichtung Mittl. Tagesgang Tage mit Sonnenscheindauer 5 - 10 h

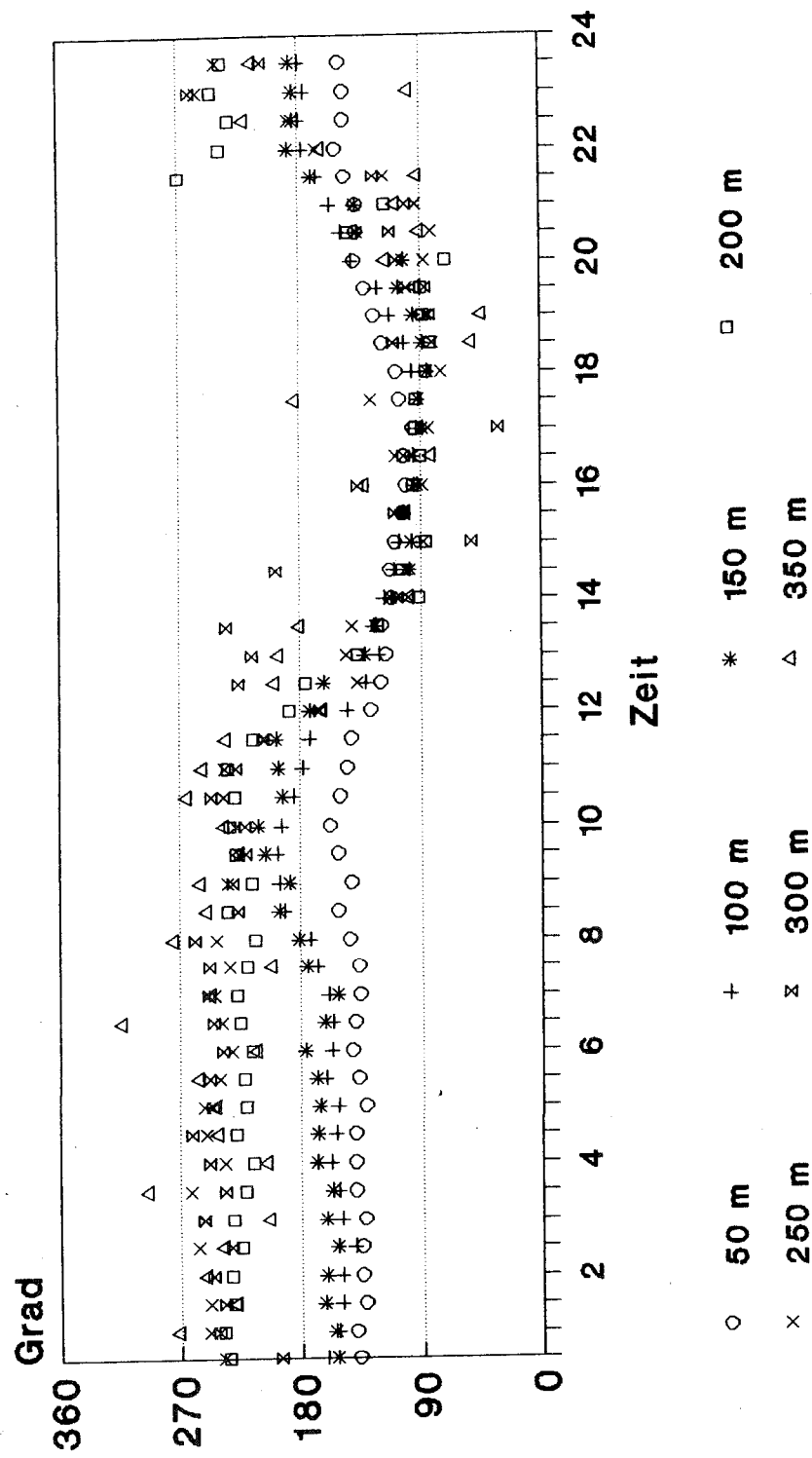


Abb. 31

Windrichtung Mittl. Tagesgang Tage mit Sonnenscheindauer < 5 h

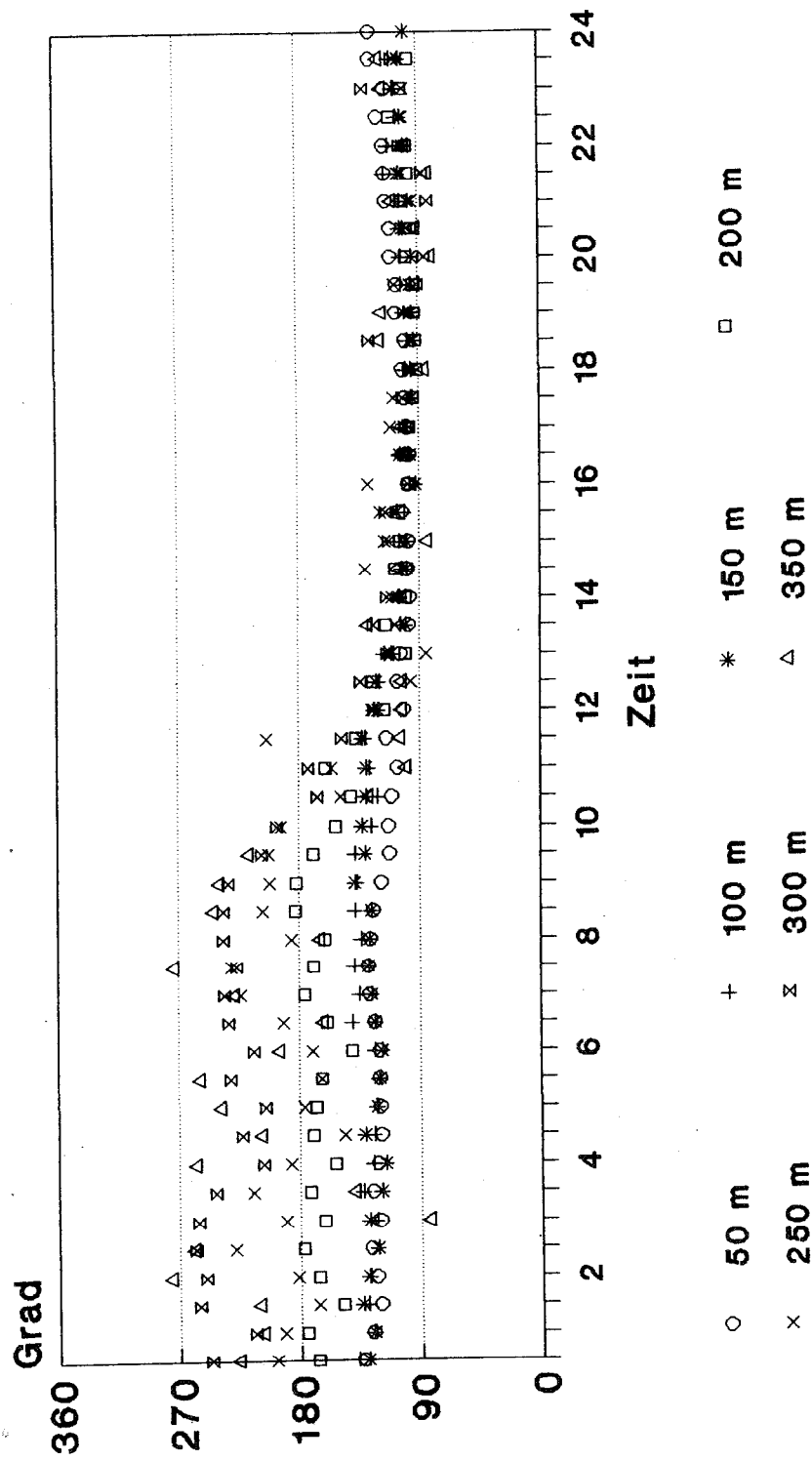


Abb. 32

Windgeschwindigkeit
Mittl. Tagesgang
Tage mit Sonnenscheindauer > 10 h

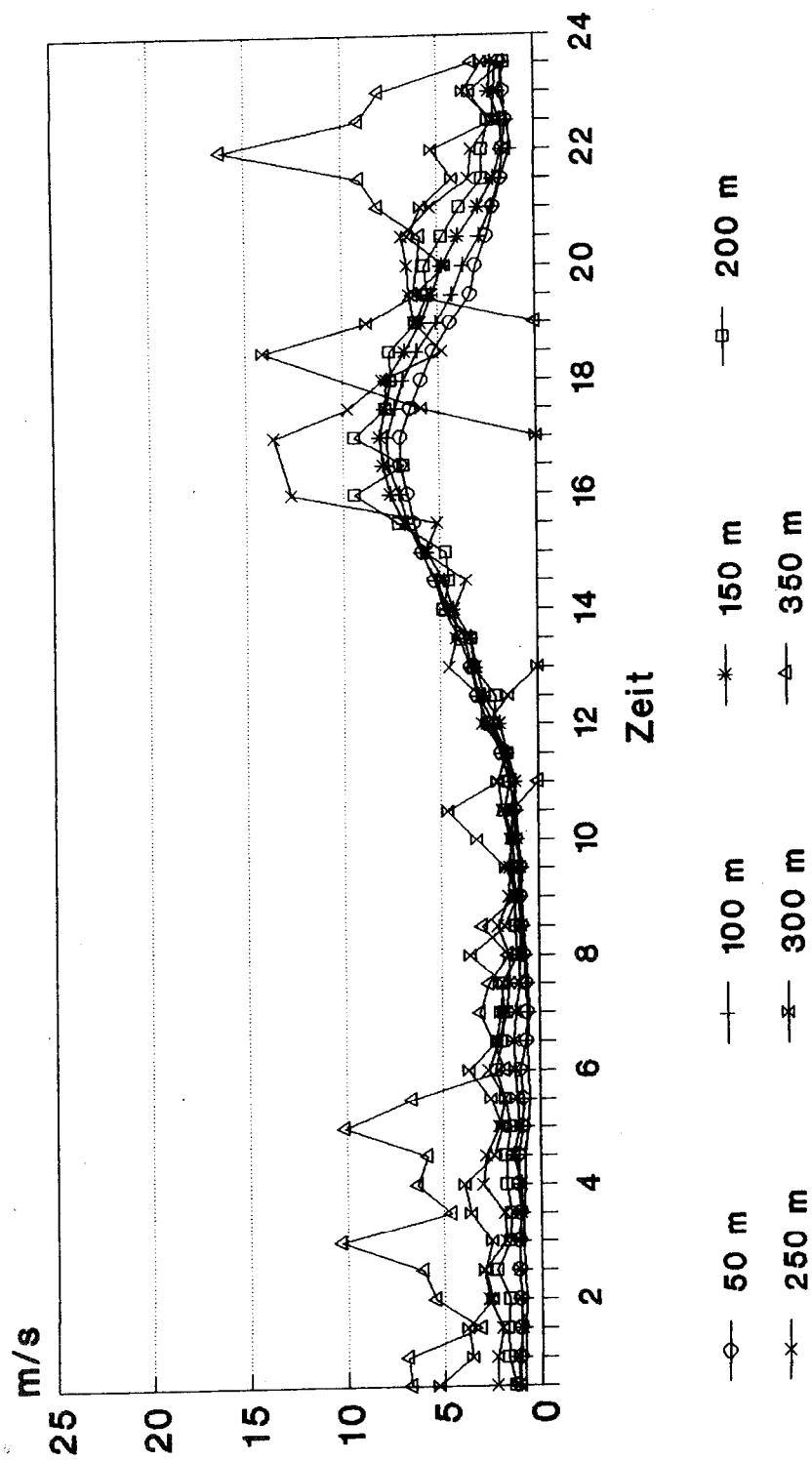


Abb. 33

Windgeschwindigkeit Mittl. Tagesgang Tage mit Sonnenscheindauer 5 - 10 h

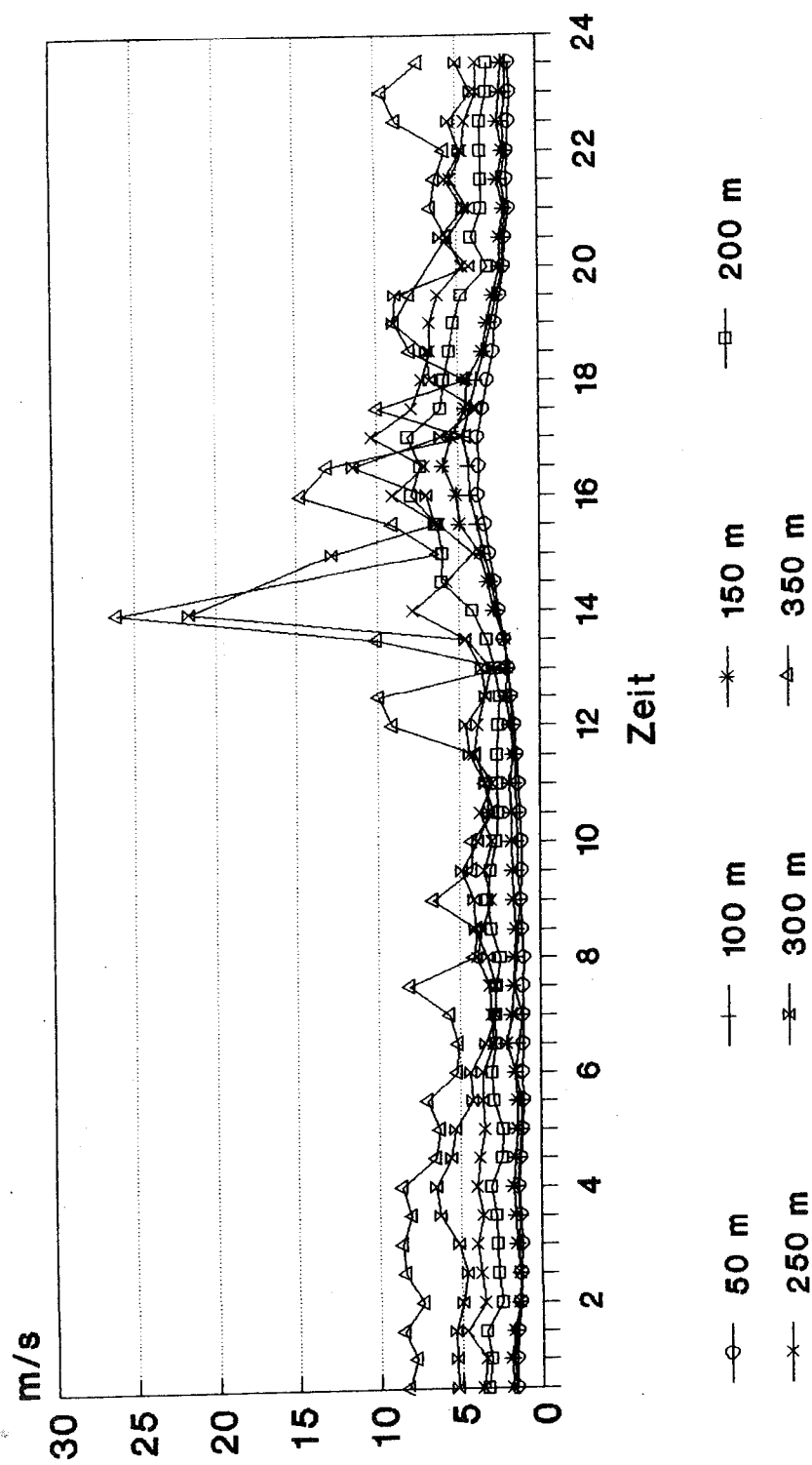


Abb. 34

Windgeschwindigkeit Mittl. Tagesgang Tage mit Sonnenscheindauer < 5 h

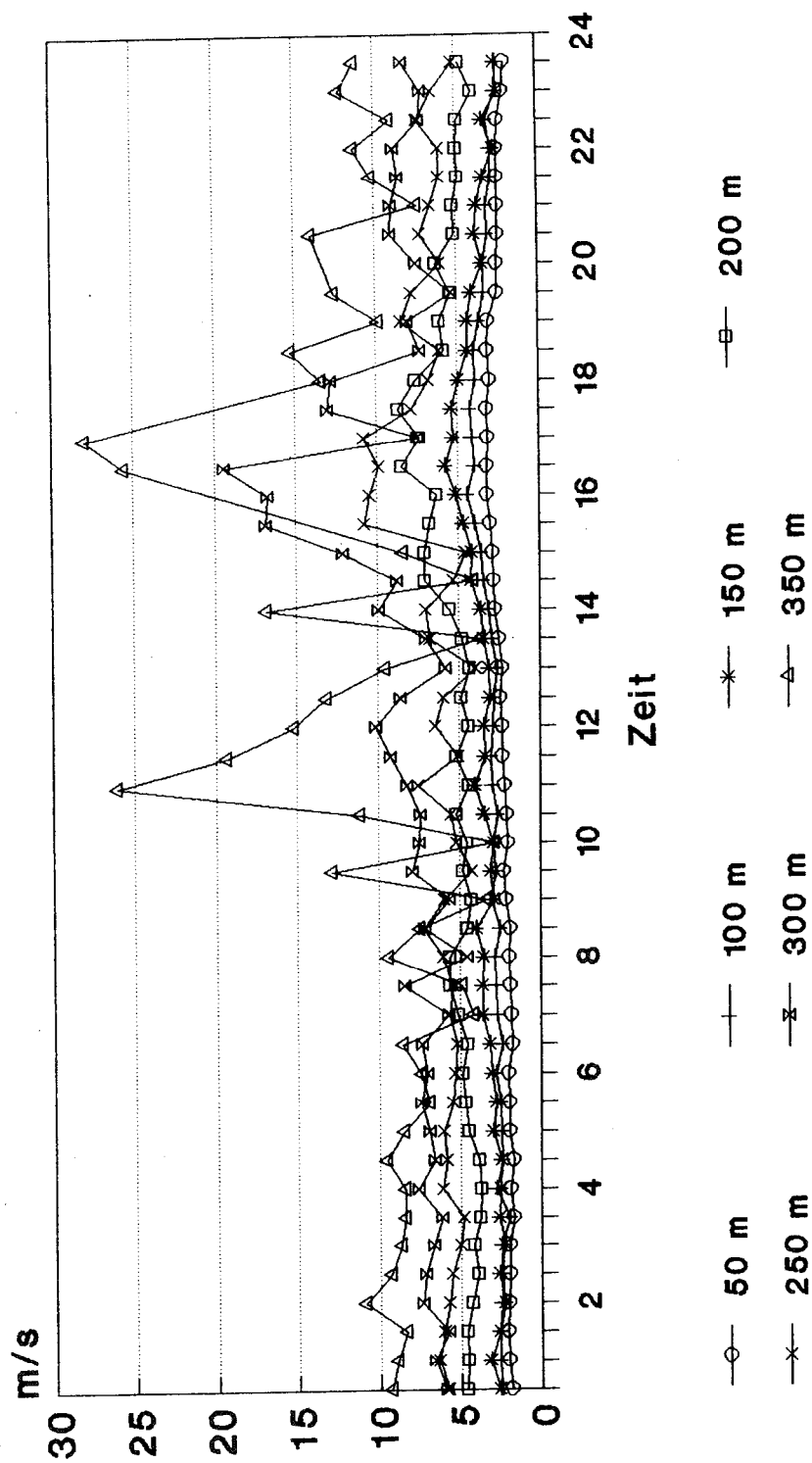


Abb. 35

Windrichtung Mittlerer Tagesgang Variable Lagen

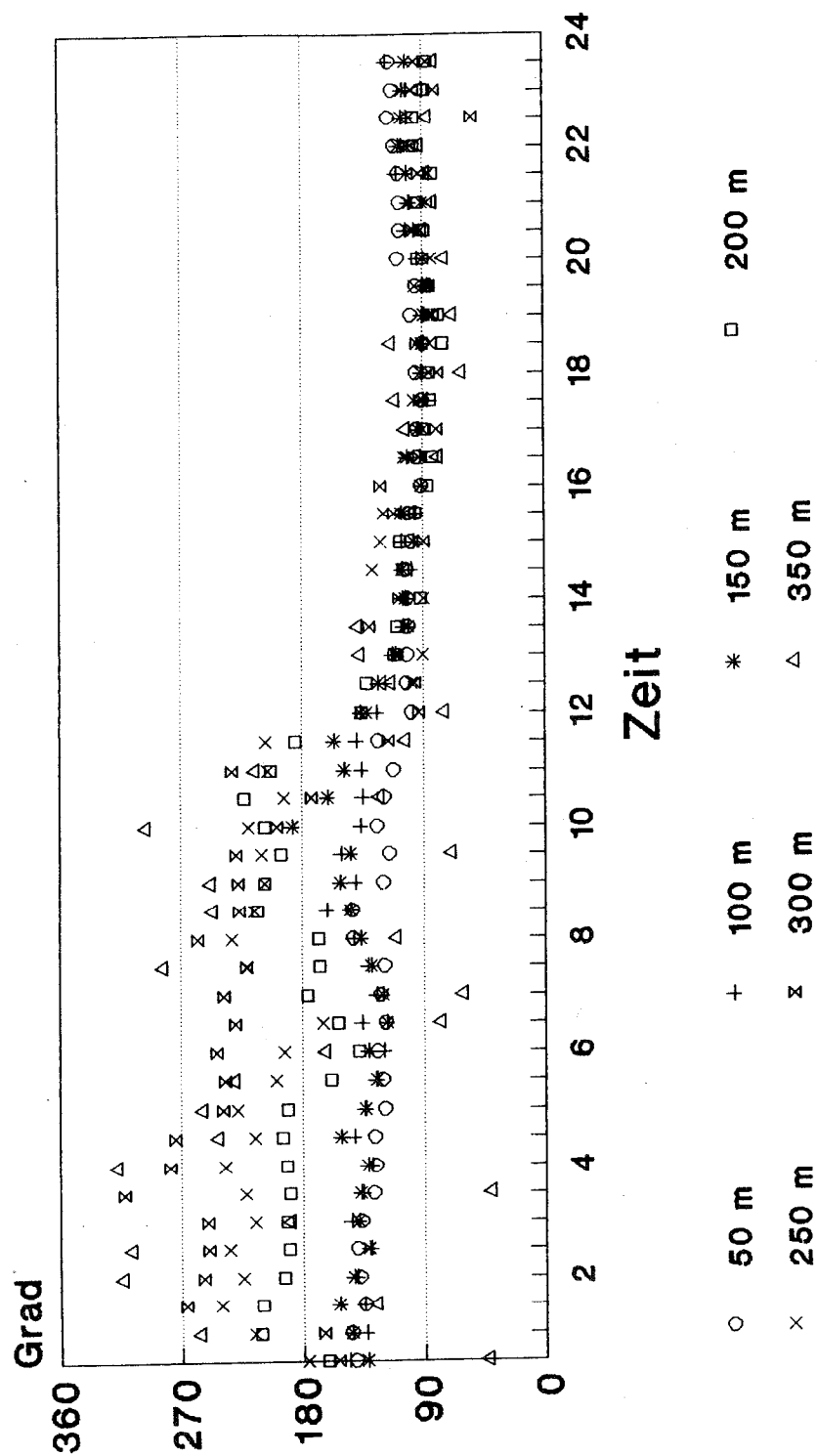


Abb. 36

Windrichtung Mittl. Tagesgang Nordostlagen

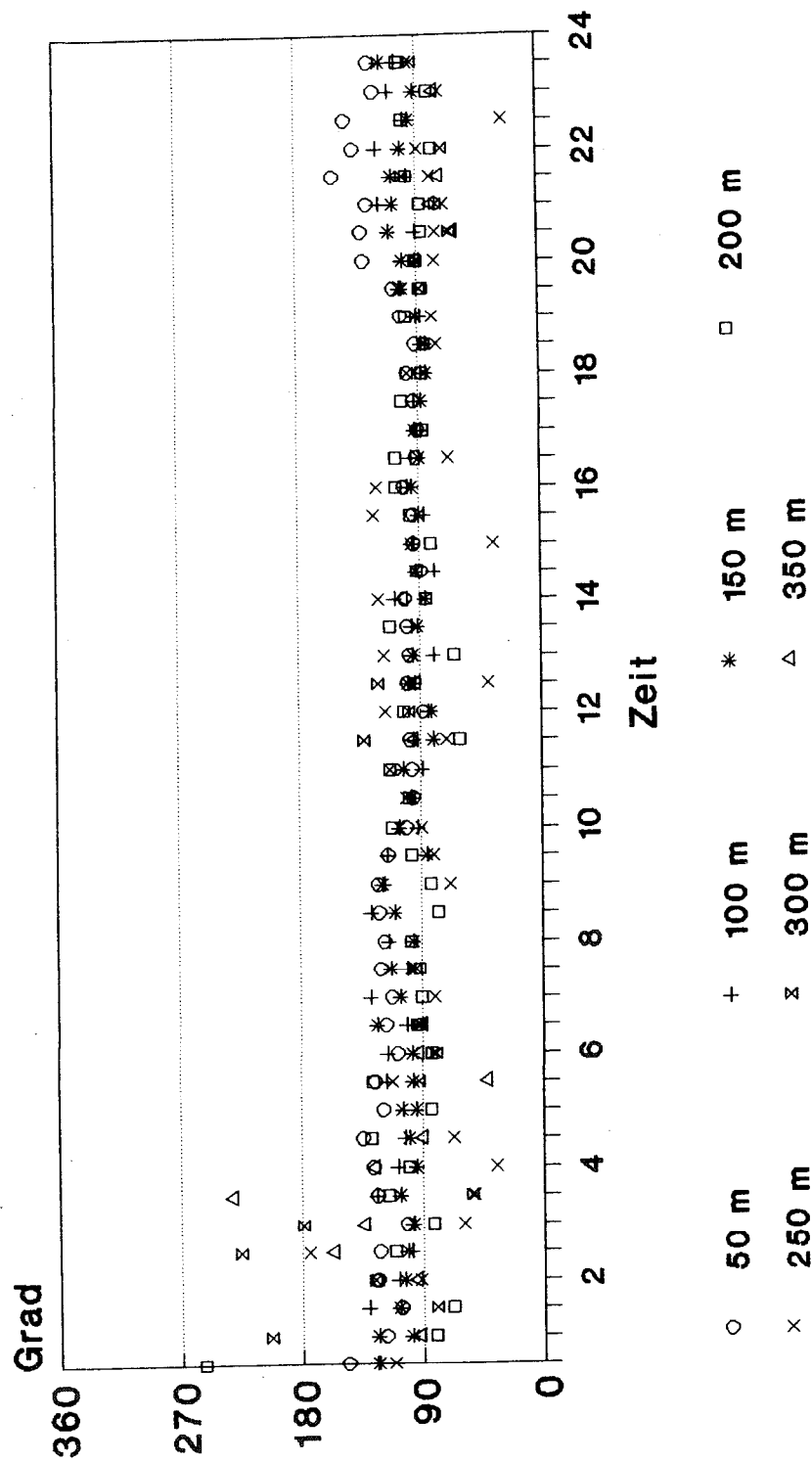


Abb. 37

Windrichtung Mittlerer Tagesgang Ostlagen

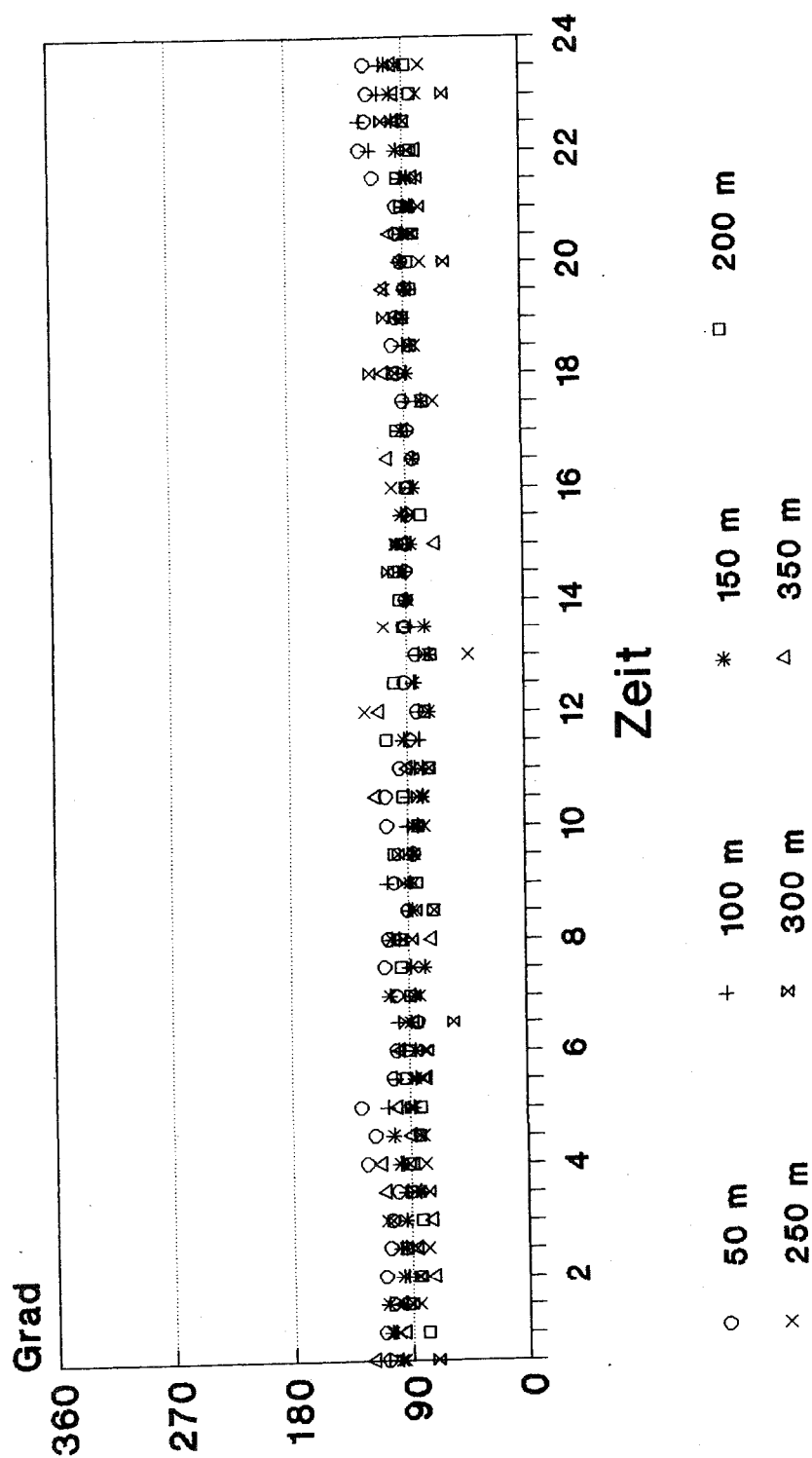


Abb. 38

Windrichtung Mittlerer Tagesgang Südostlagen

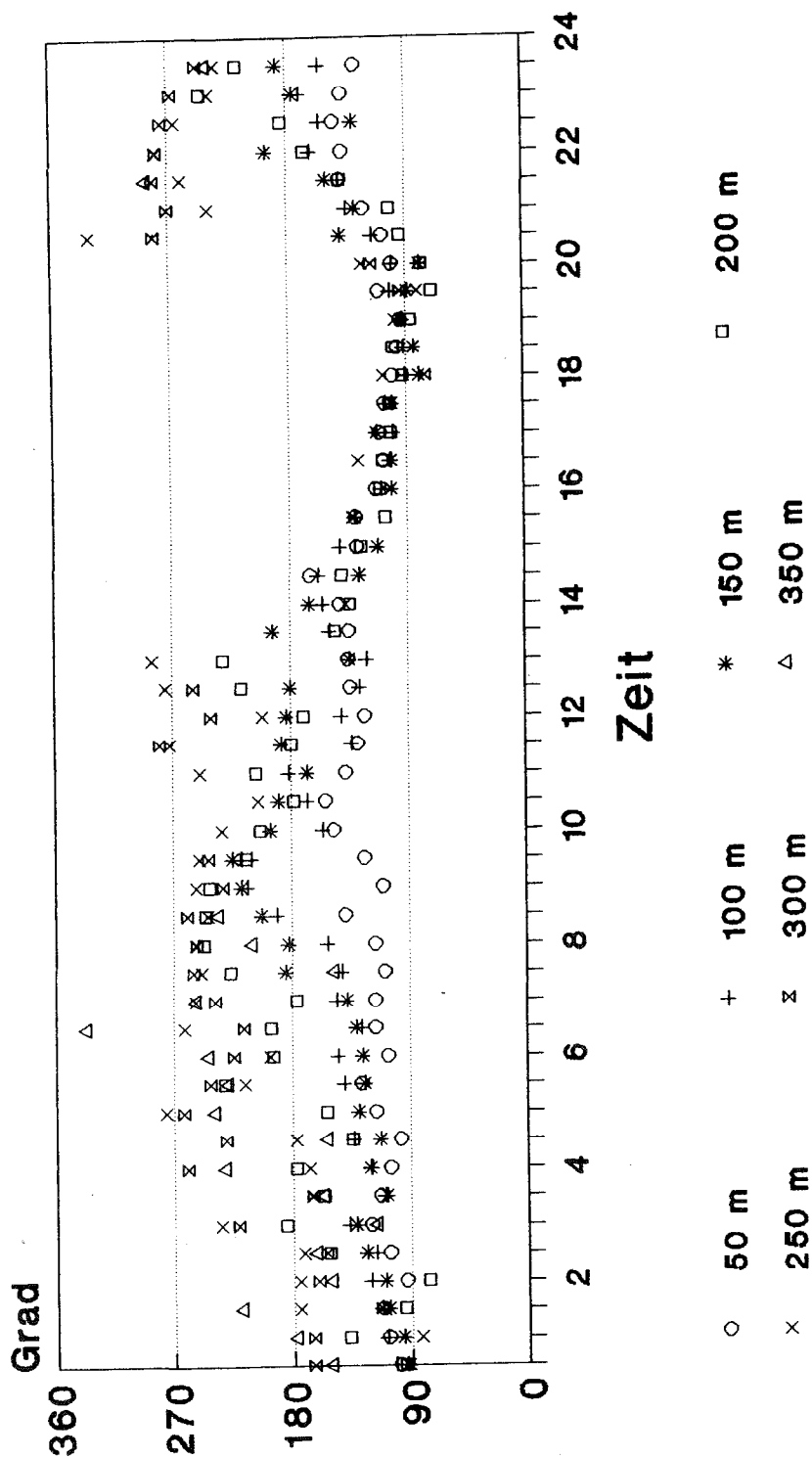


Abb. 39

Windrichtung Mittlerer Tagesgang Südlagen

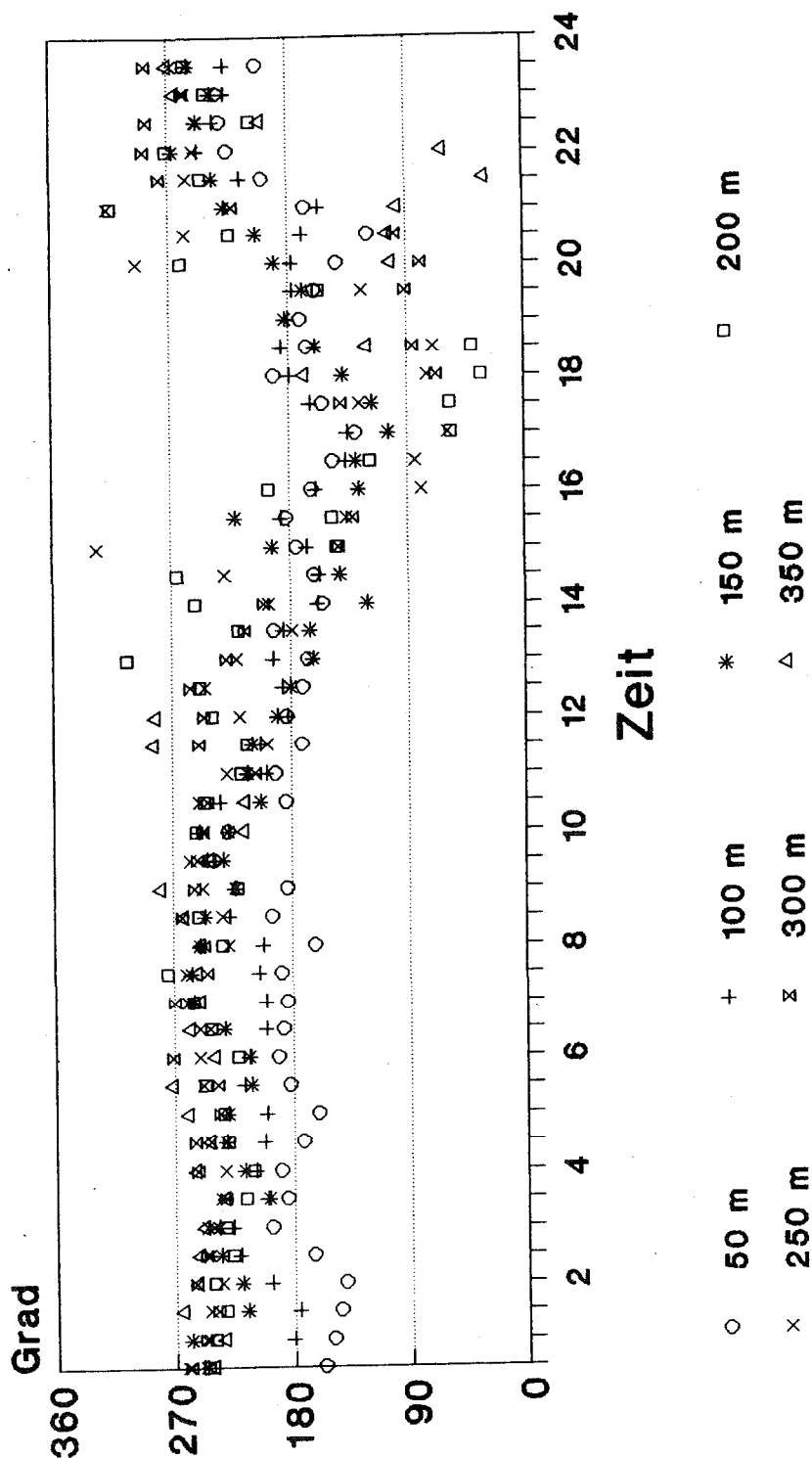


Abb. 40

Windrichtung Mittlerer Tagesgang Südwestlagen

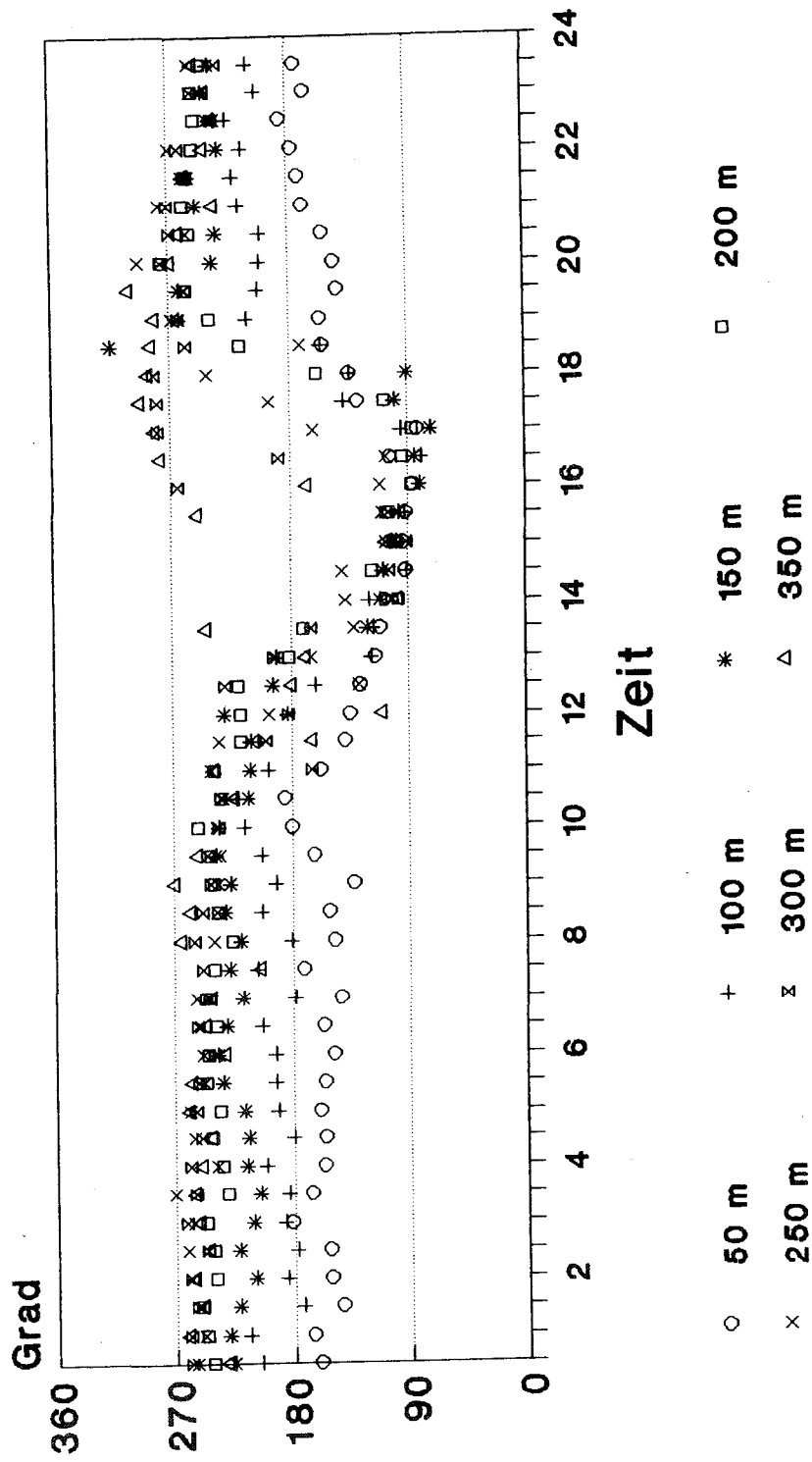


Abb. 41

Windrichtung Mittlerer Tagesgang Westlagen

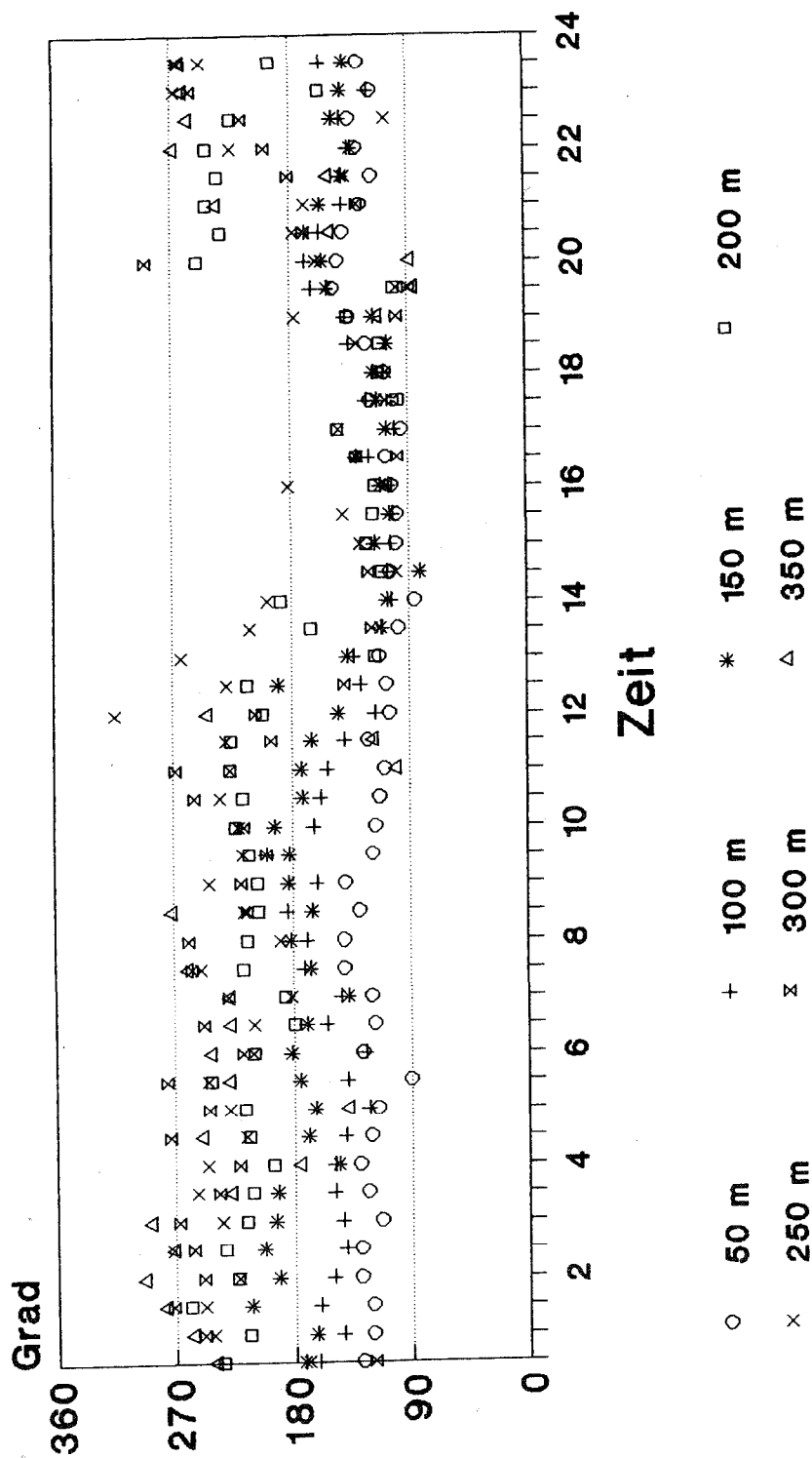


Abb. 42

Windrichtung Mittlerer Tagesgang Nordwestlagen

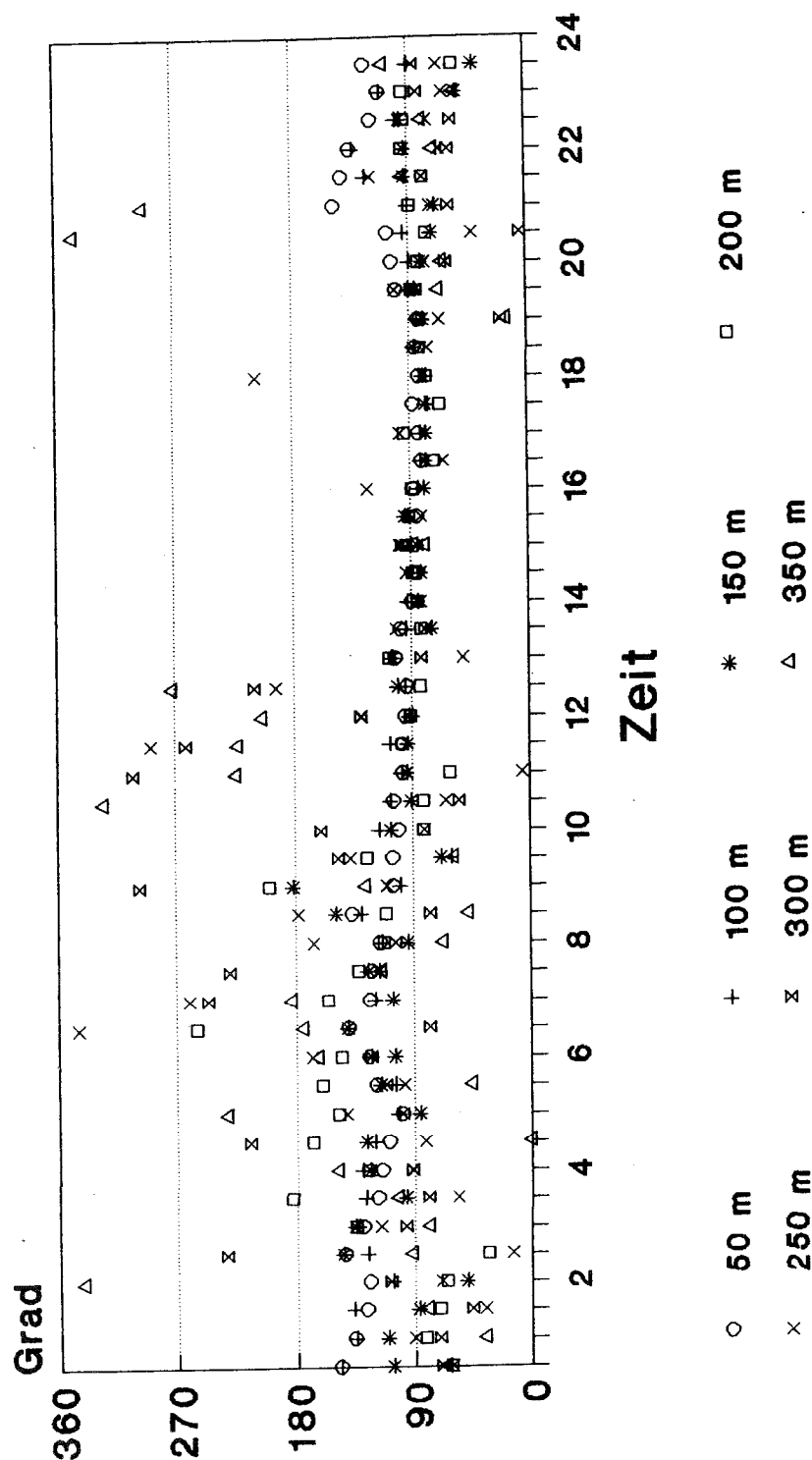


Abb. 43

Windrichtung Mittlerer Tagesgang Nordlagen

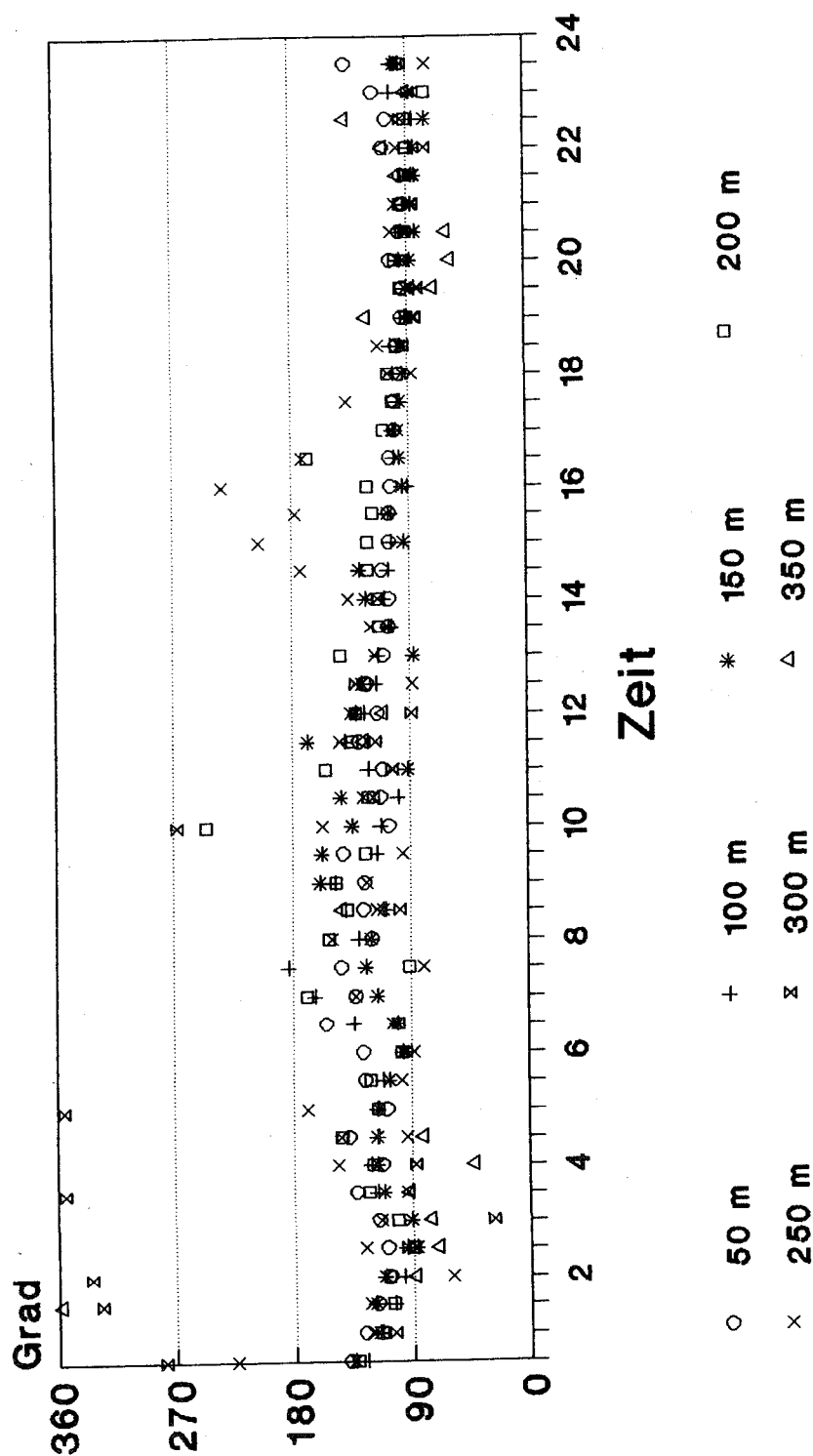


Abb. 44

Windrichtung Mittlerer Tagesgang Gradientenschwache Lagen

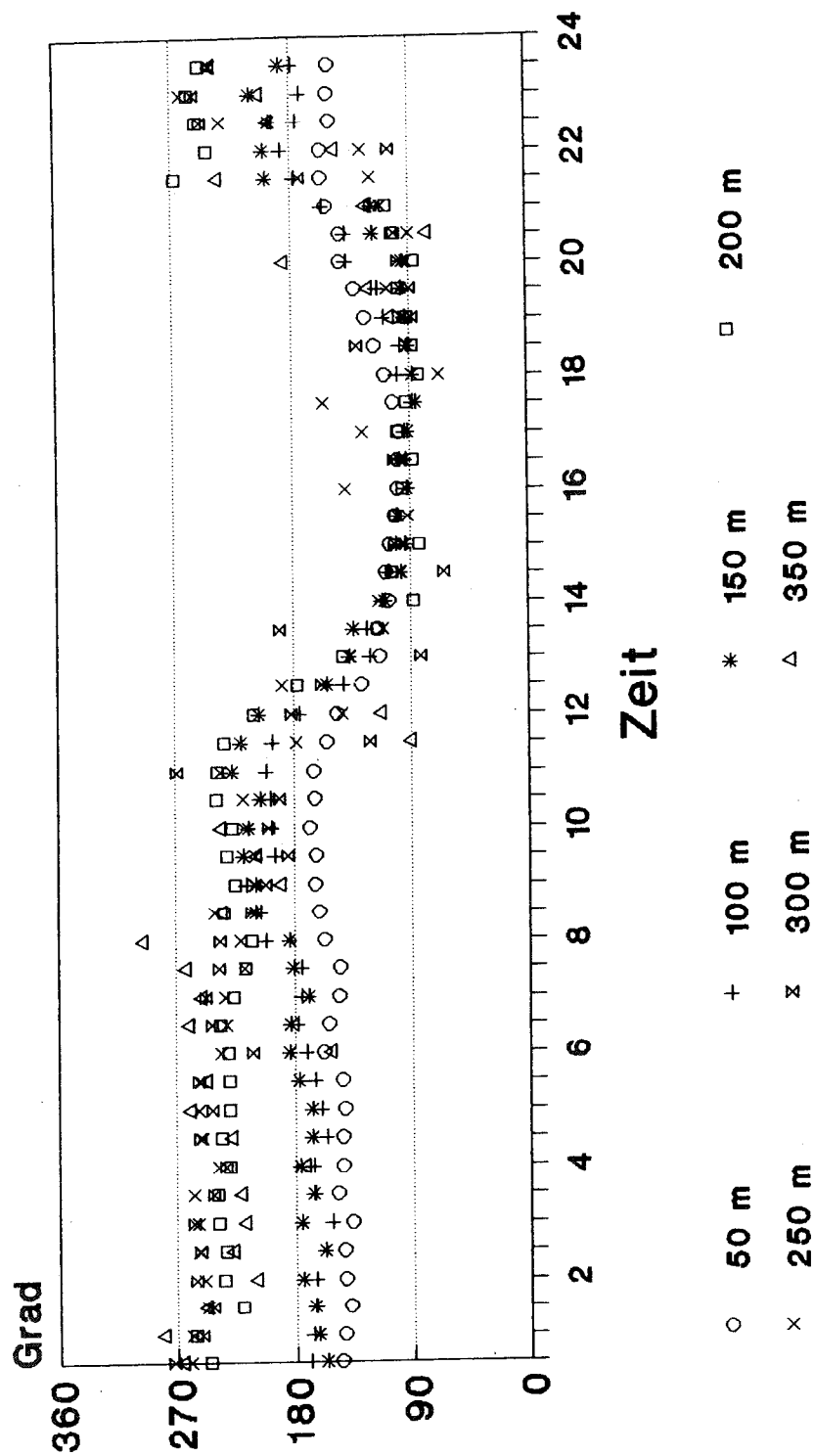


Abb. 45

Windgeschwindigkeit Mittl. Tagesgang Variable Lagen

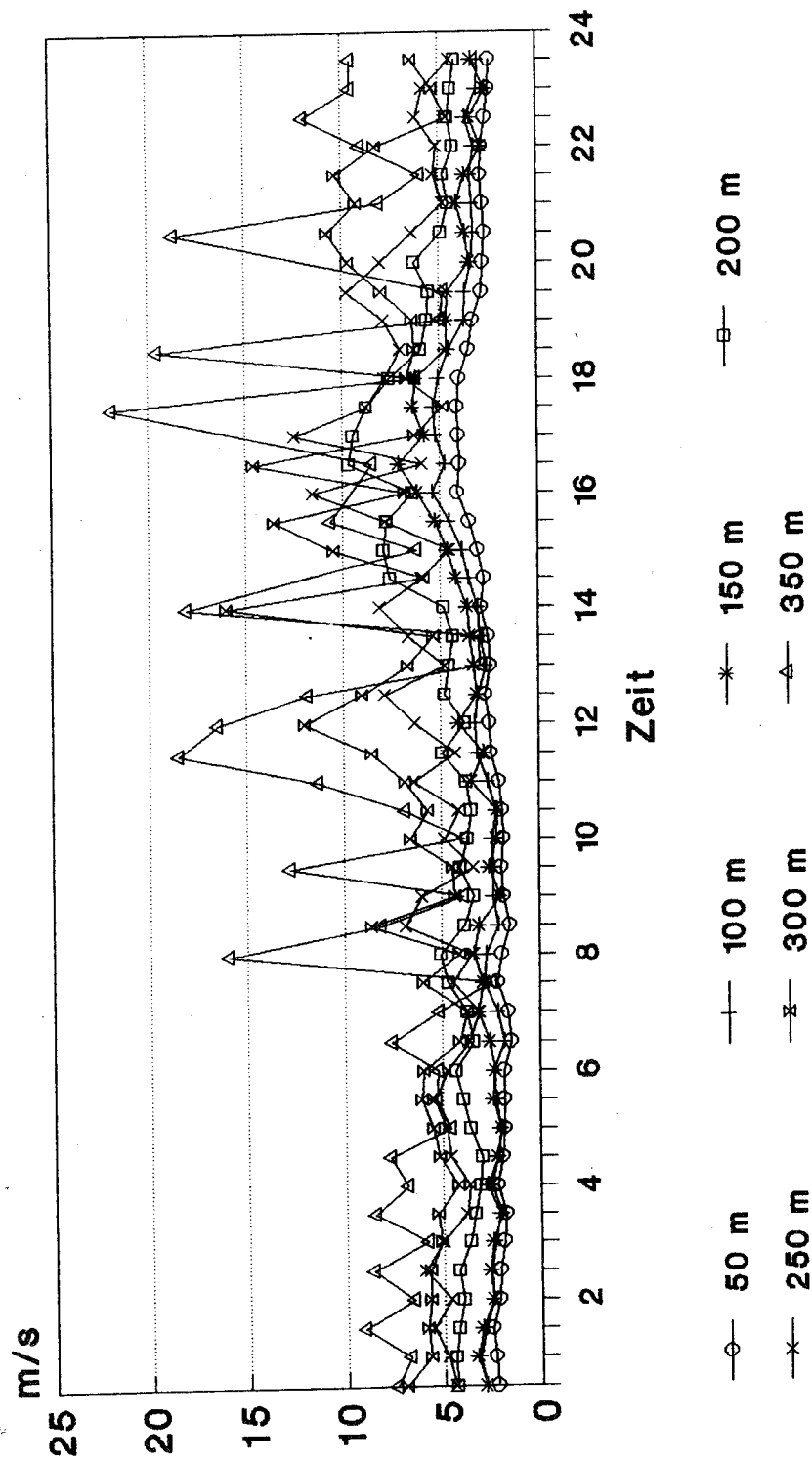


Abb. 46

Windgeschwindigkeit Mittl. Tagesgang Nordostlagen

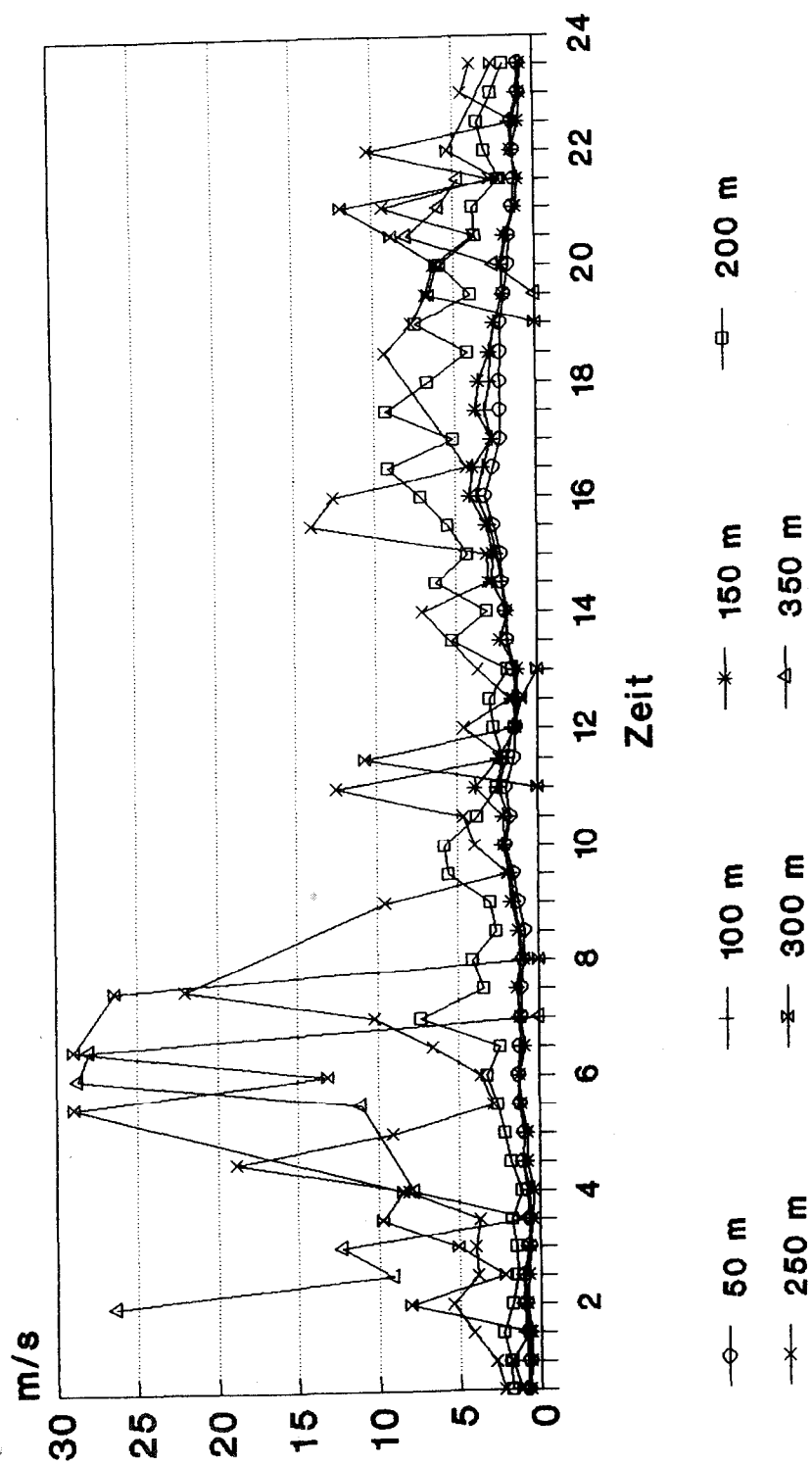


Abb. 47

Windgeschwindigkeit Mittl. Tagesgang Ostlagen

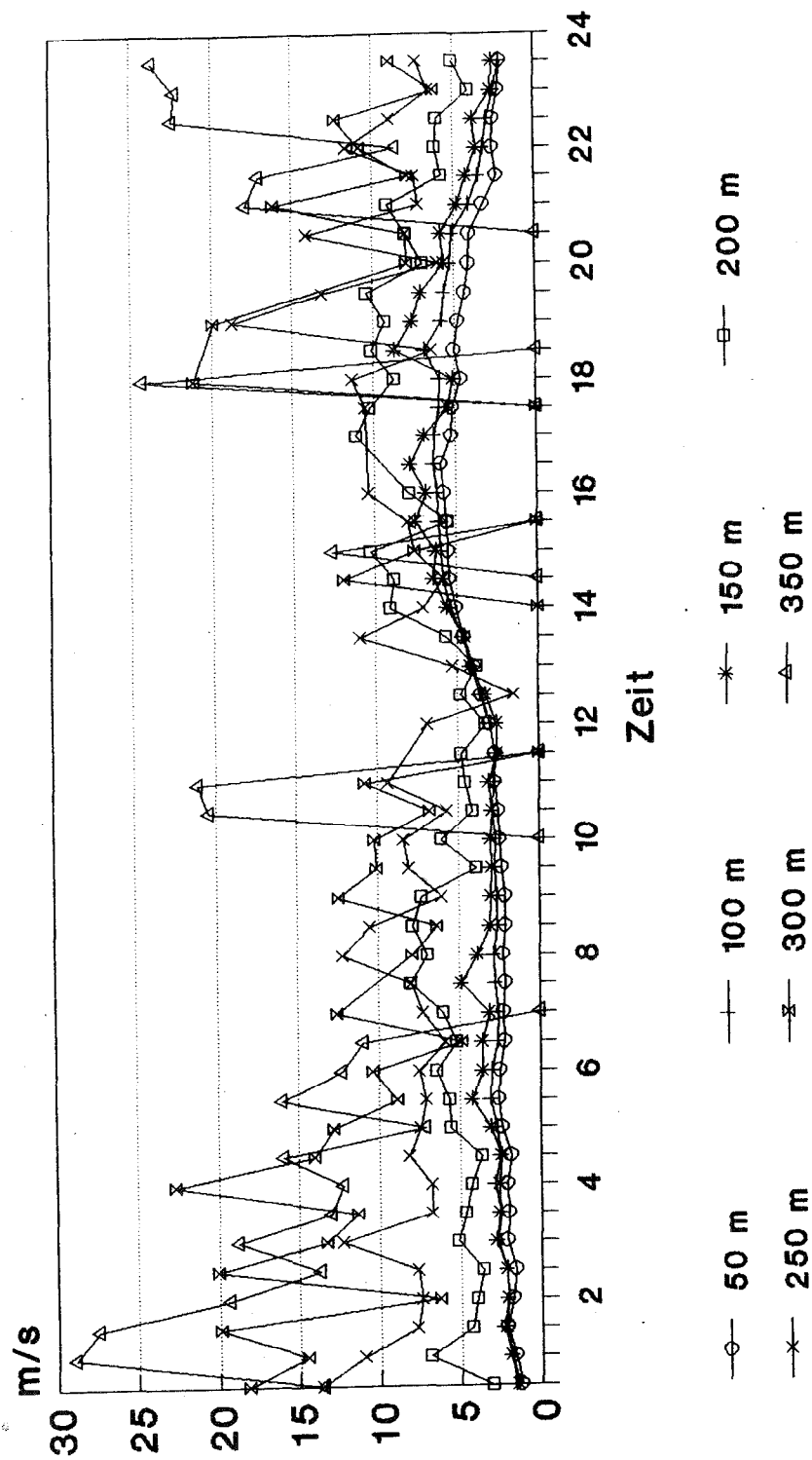


Abb. 48

Windgeschwindigkeit Mittl. Tagesgang Südostlagen

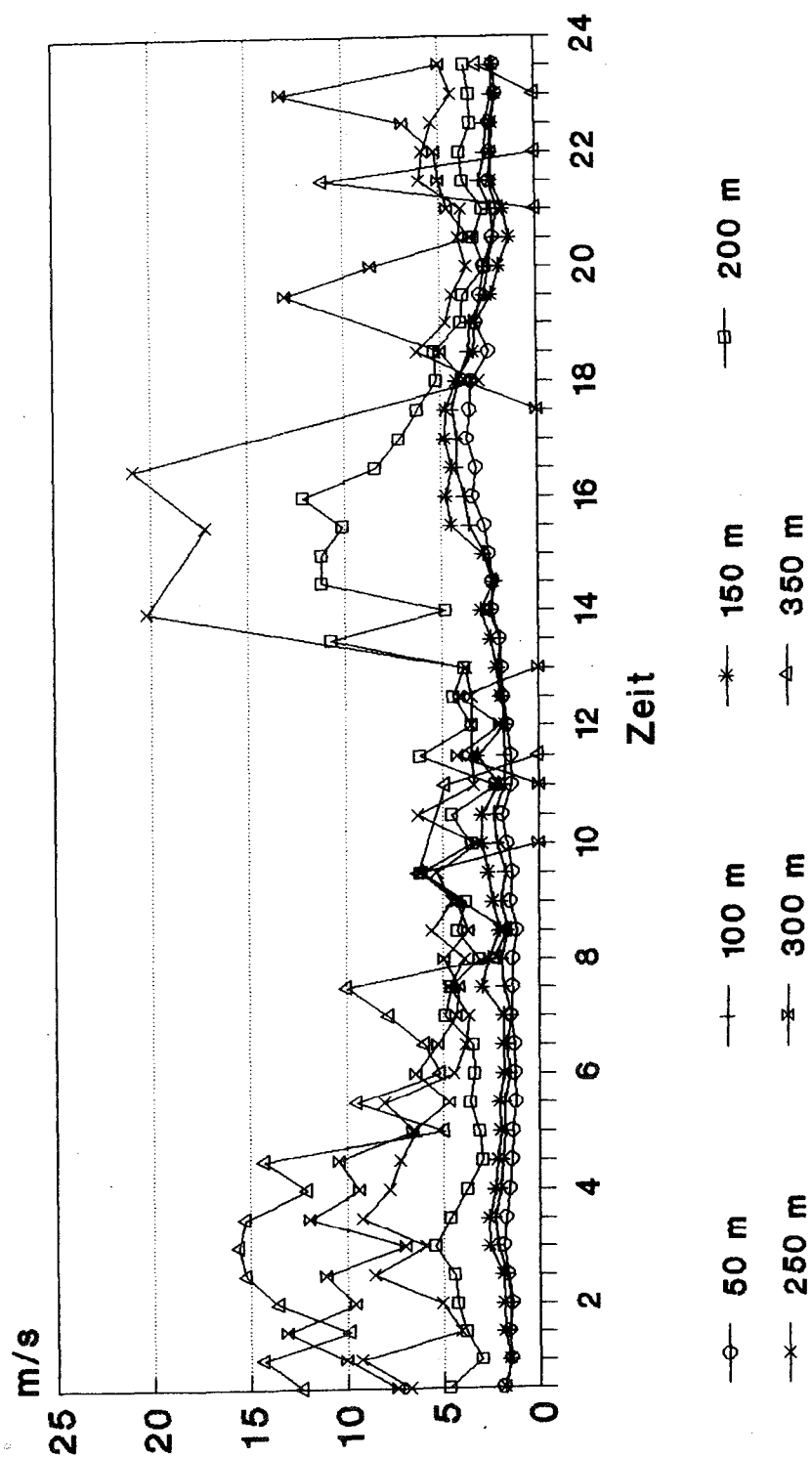


Abb. 49

Windgeschwindigkeit Mittl. Tagesgang Südlagen

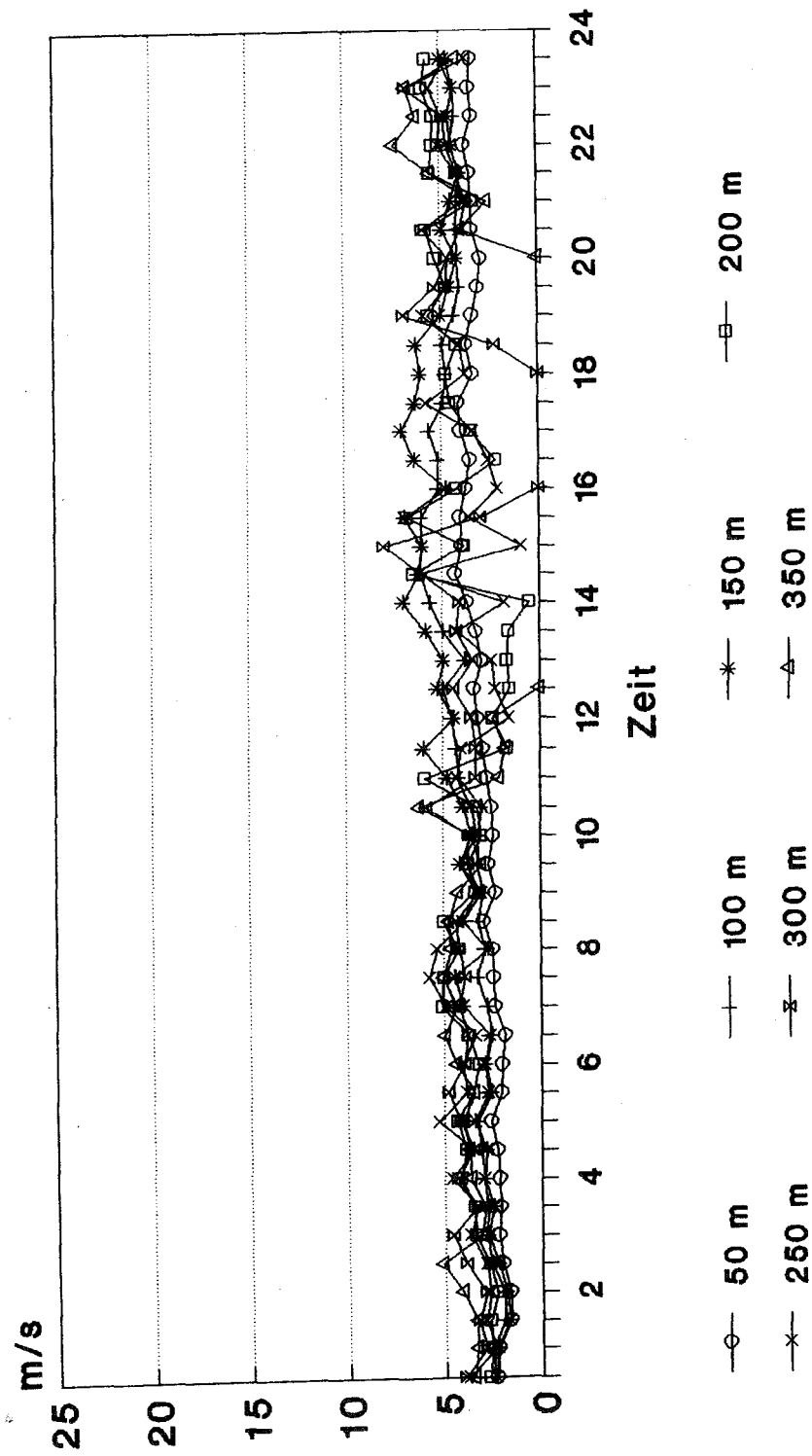


Abb. 50

Windgeschwindigkeit Mittl. Tagesgang Südwestlagen

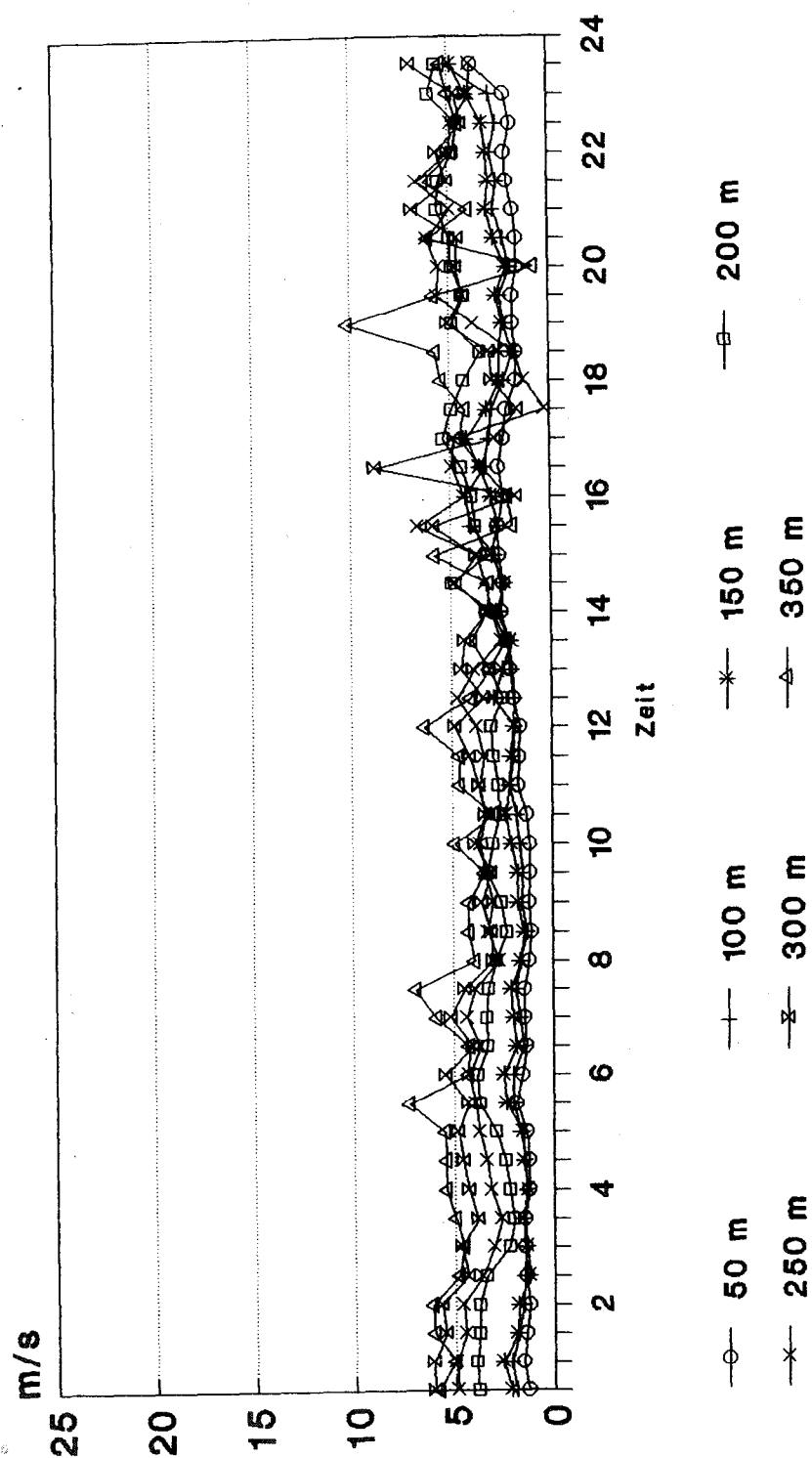


Abb. 51

Windgeschwindigkeit Mittl. Tagesgang Westlagen

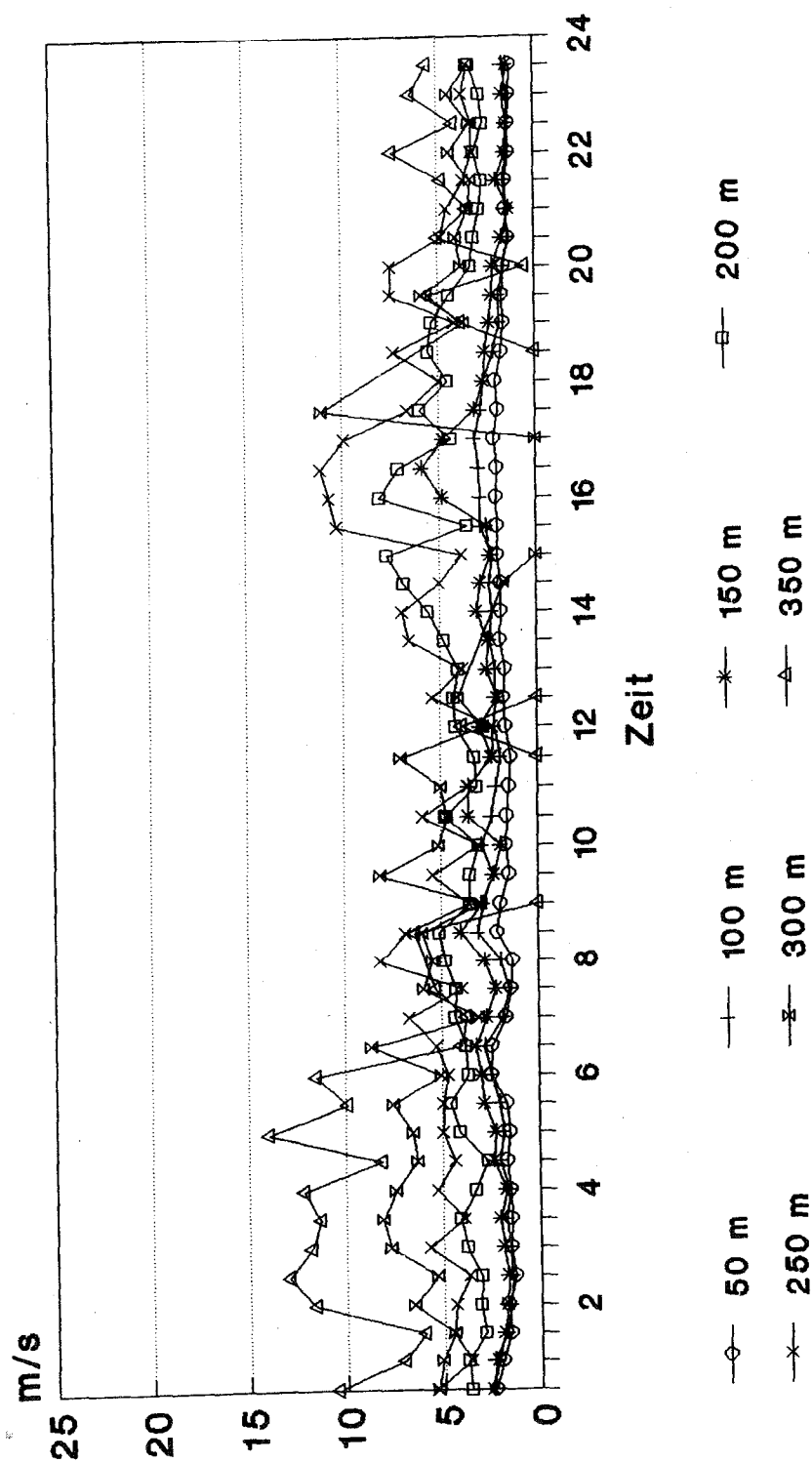


Abb. 52

Windgeschwindigkeit Mittl. Tagesgang Nordwestlagen

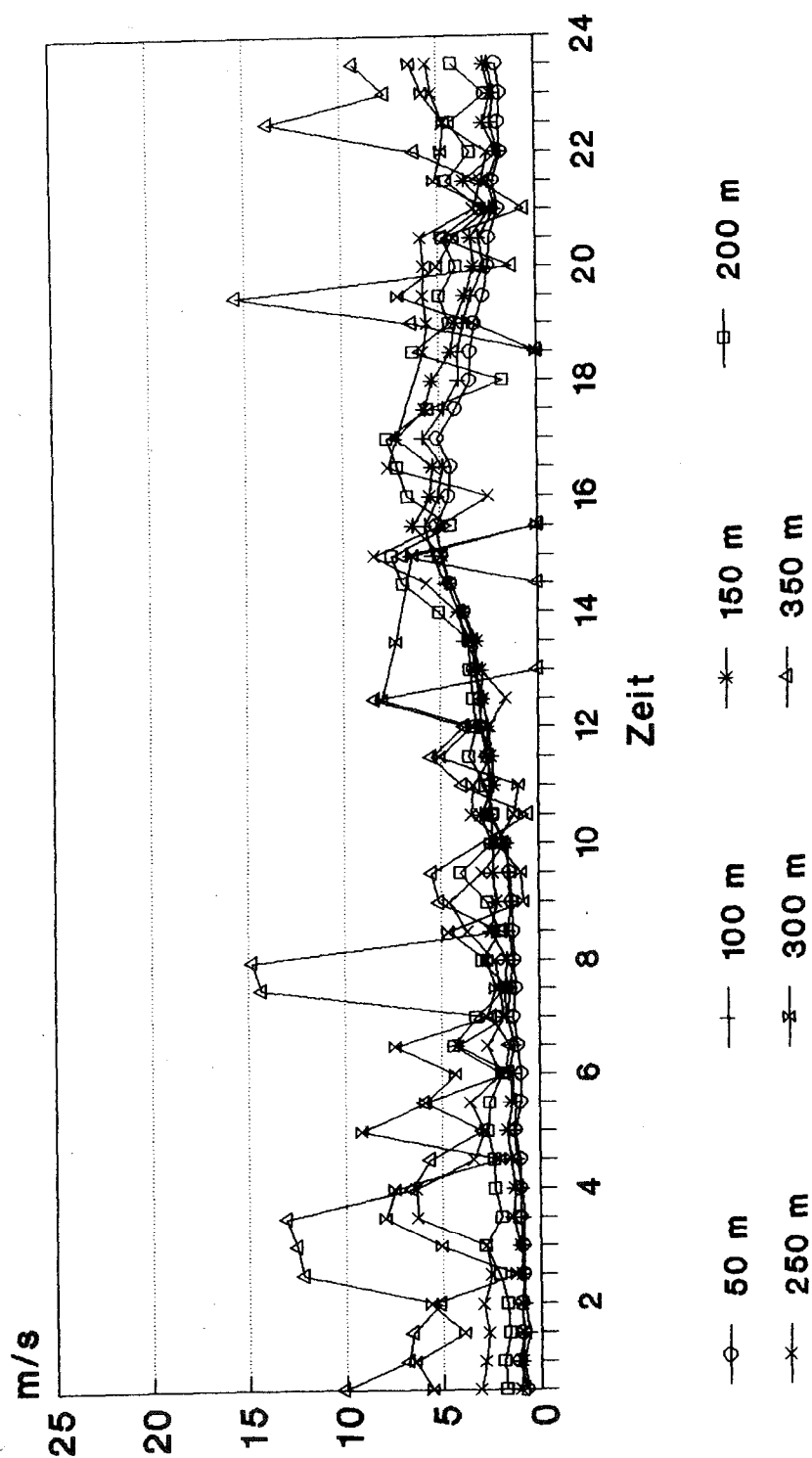


Abb. 53

Windgeschwindigkeit Mittl. Tagesgang Nordlagen

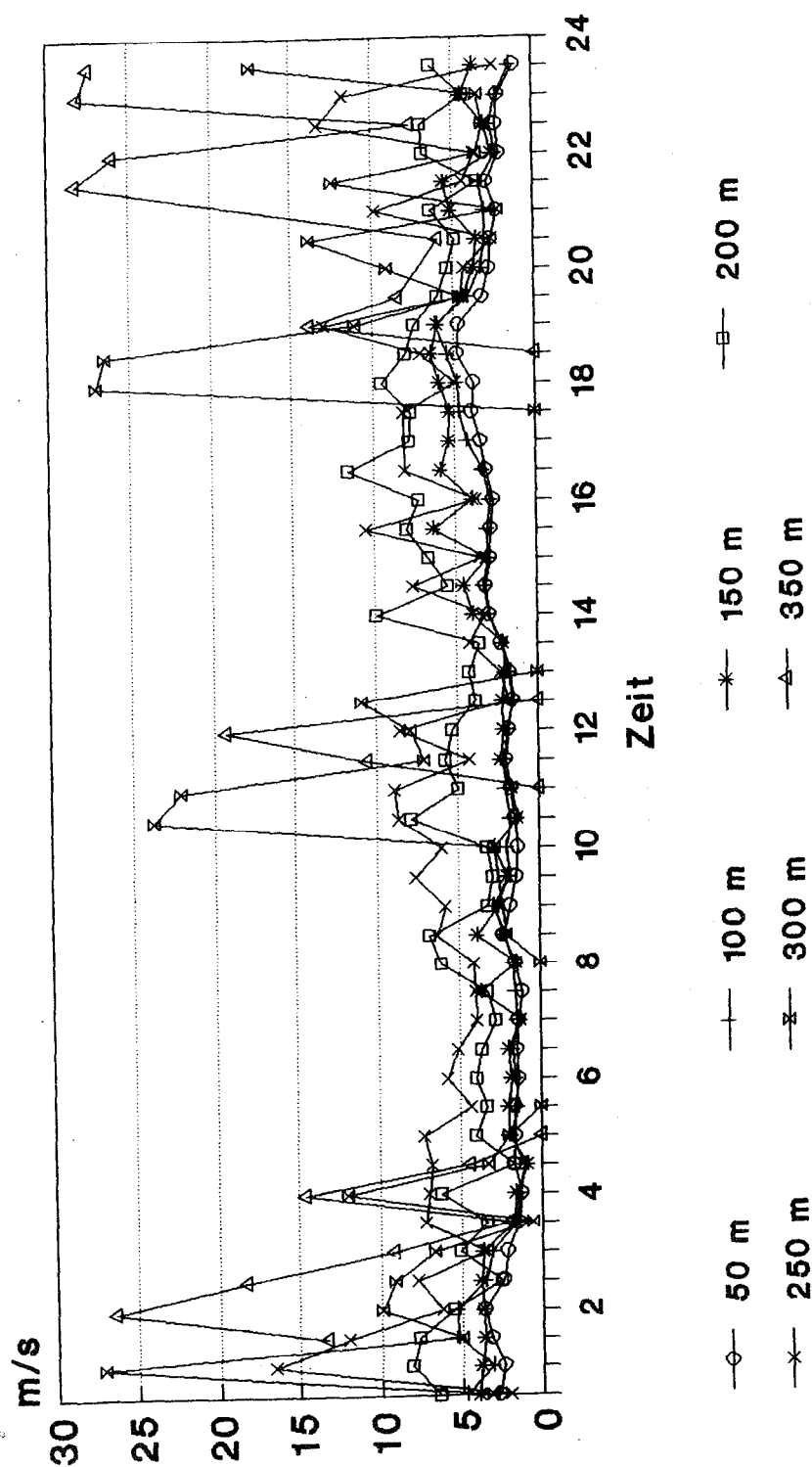


Abb. 54

Windgeschwindigkeit Mittl. Tagesgang Gradientenwache Lagen

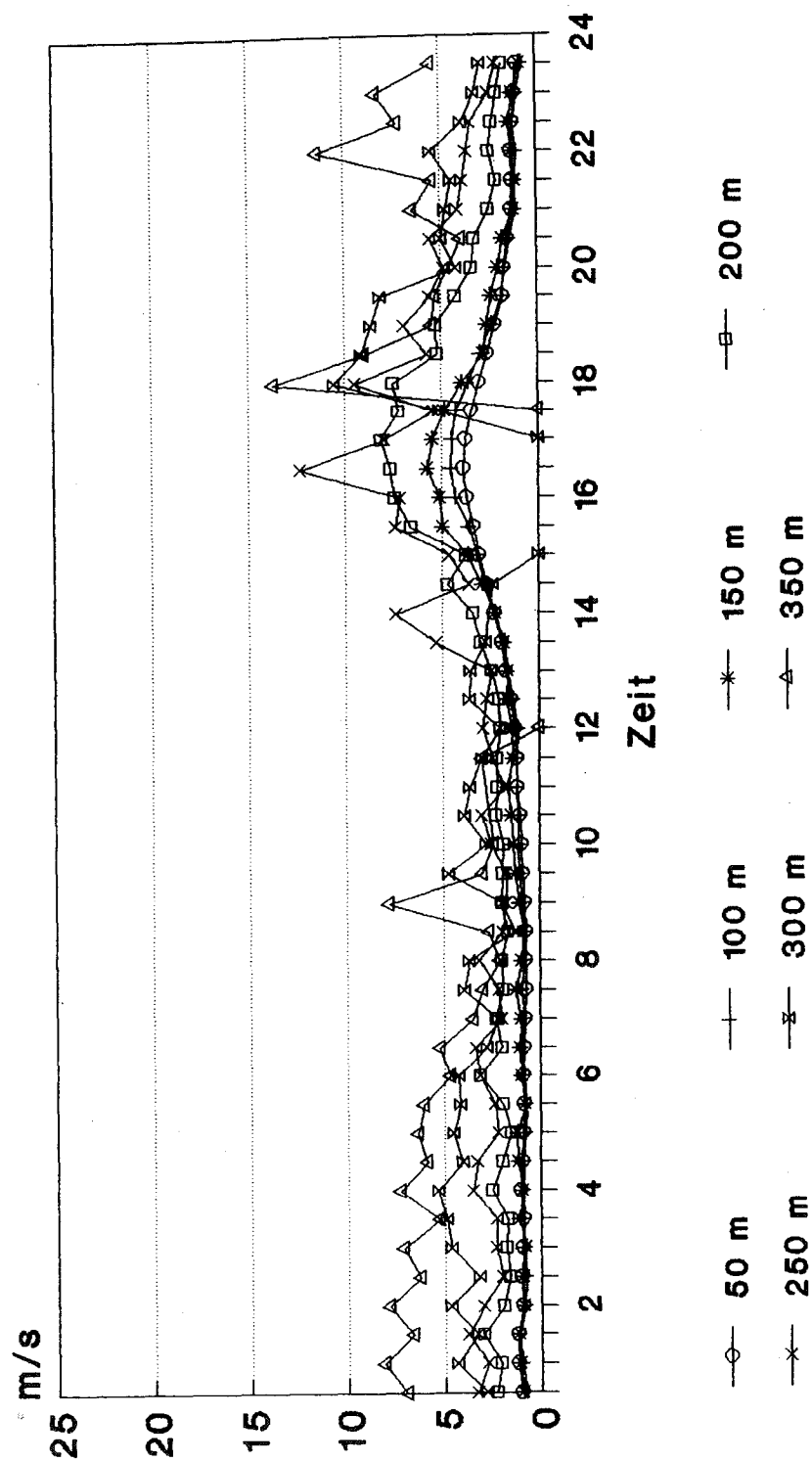


Abb. 55

Windrichtung Mittlerer Tagesgang Tage mit Sonnenscheindauer > 10 h

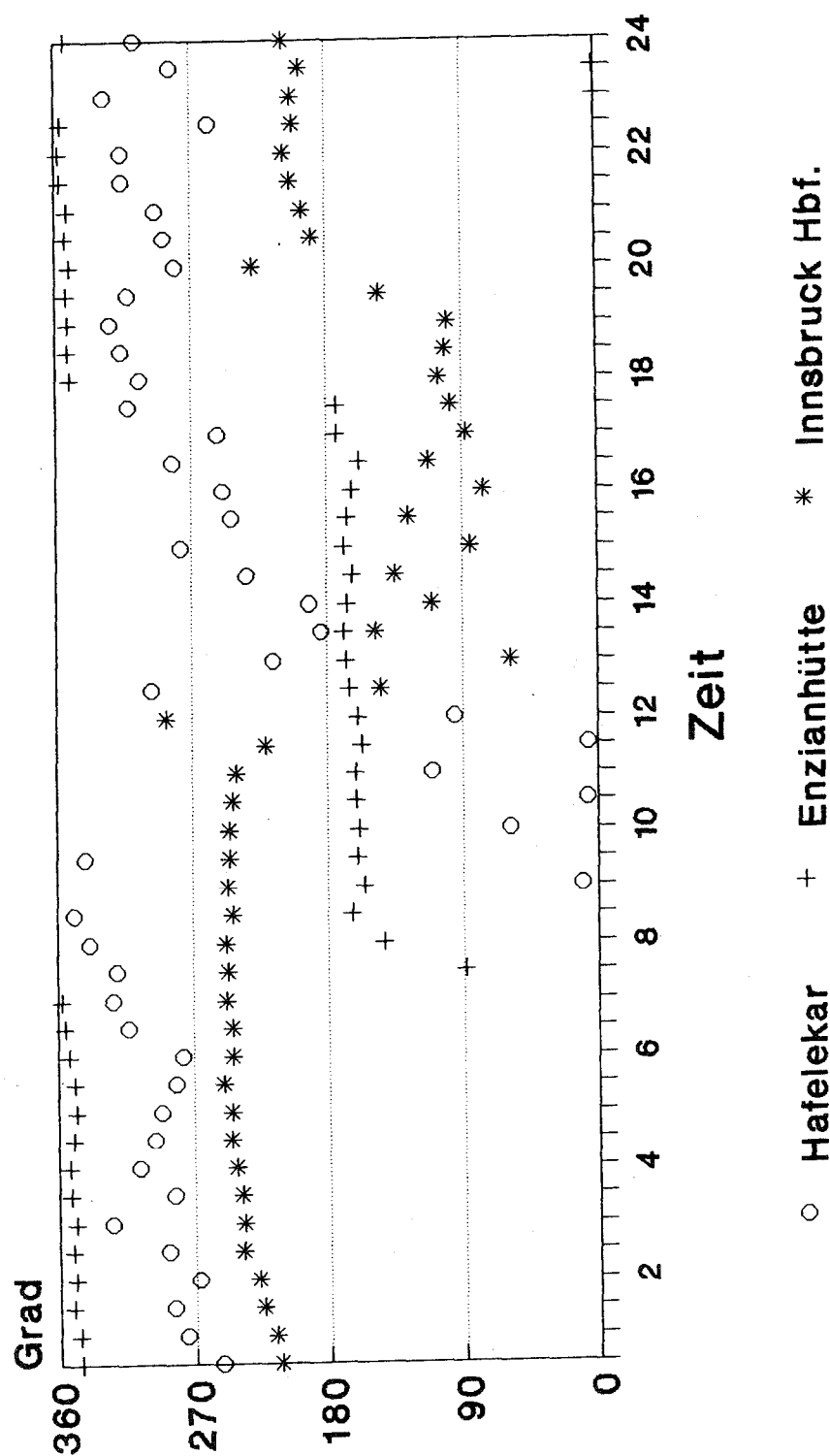


Abb. 56

Windrichtung Mittlerer Tagesgang Tage mit Sonnenscheindauer 5 - 10 h

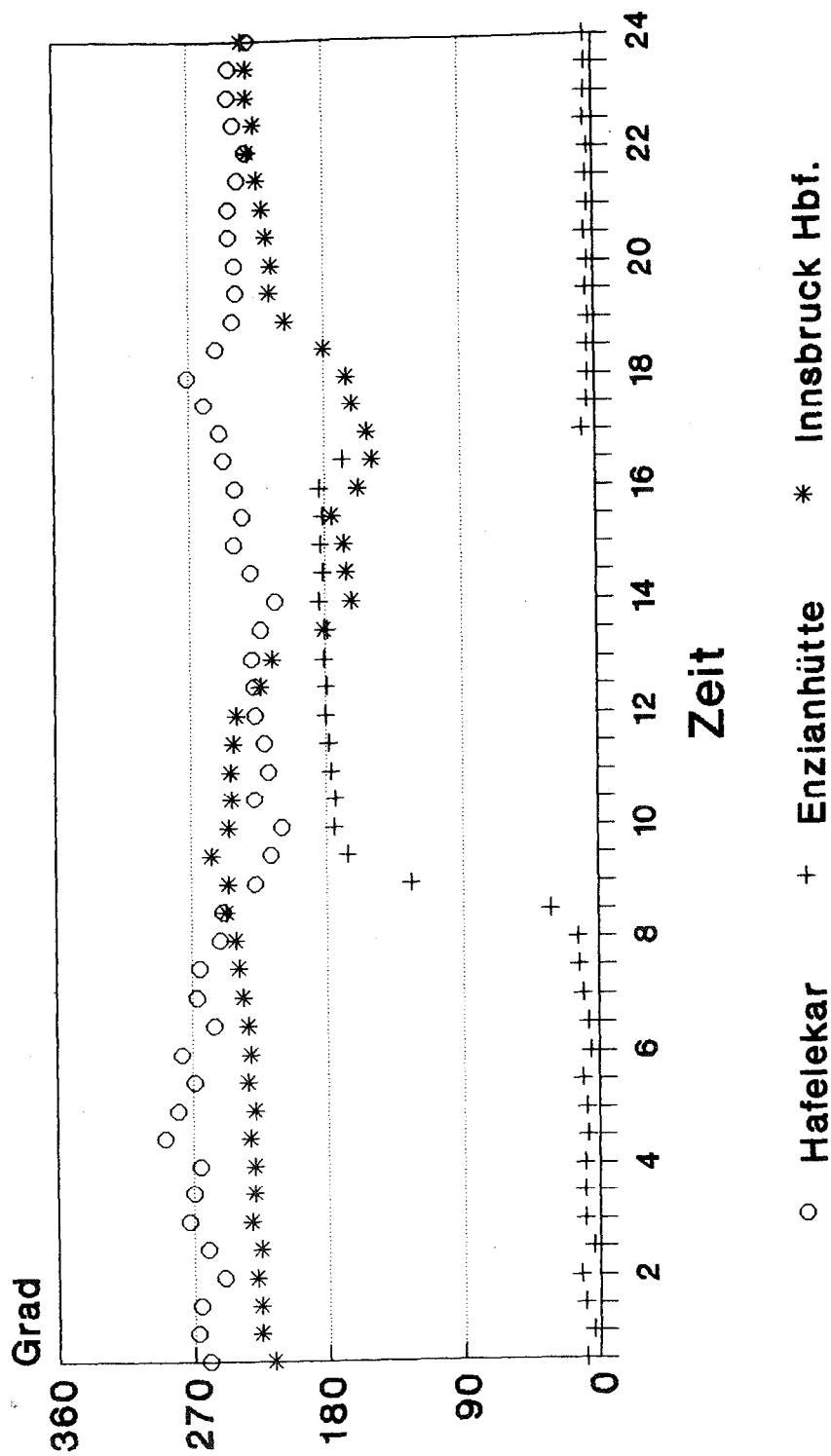
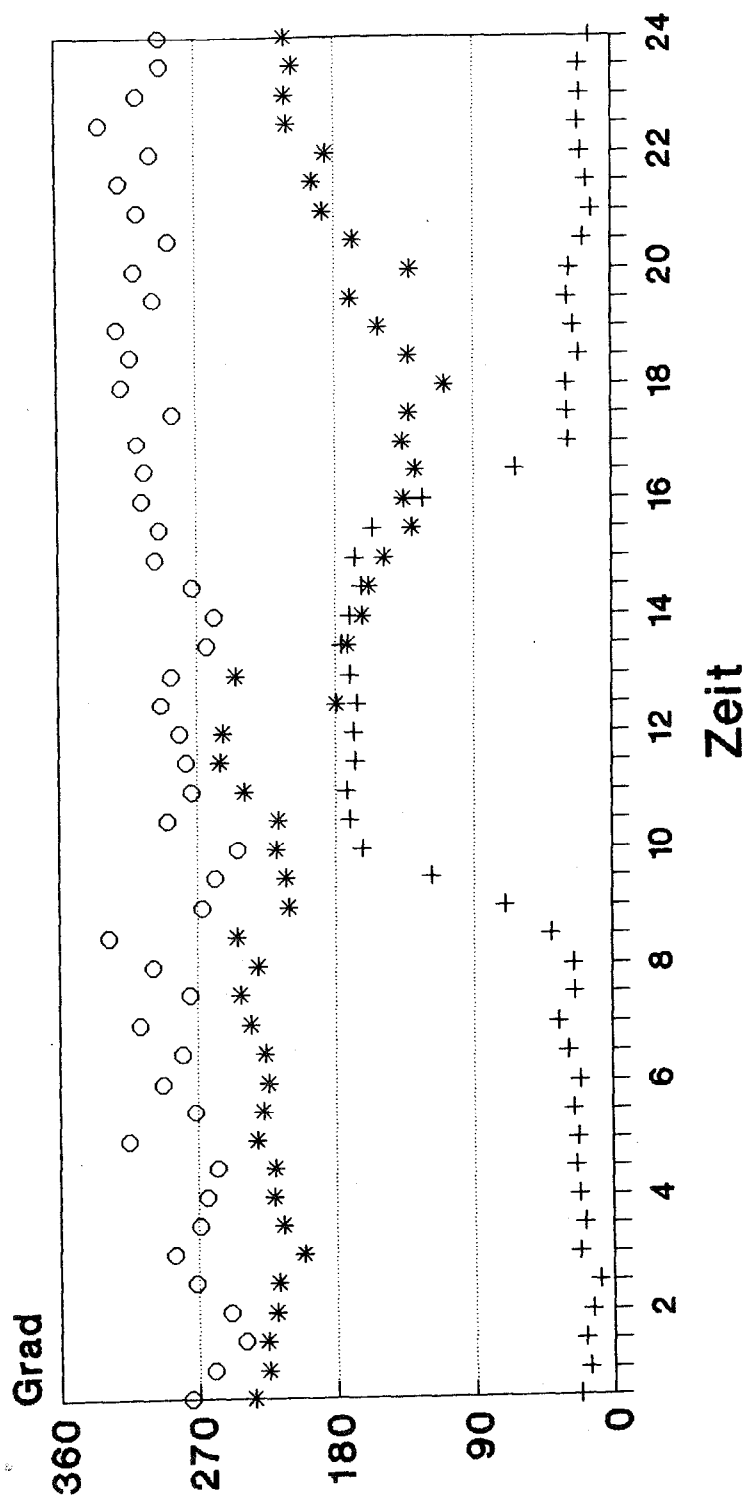


Abb. 57

Windrichtung Mittlerer Tagesgang Tage mit Sonnenscheindauer < 5 h



○ Hafelekar + Enzianhütte * Innsbruck Hbf.

Abb. 58

Windrichtung **Mittl. Tagesgang, Variable Lagen**

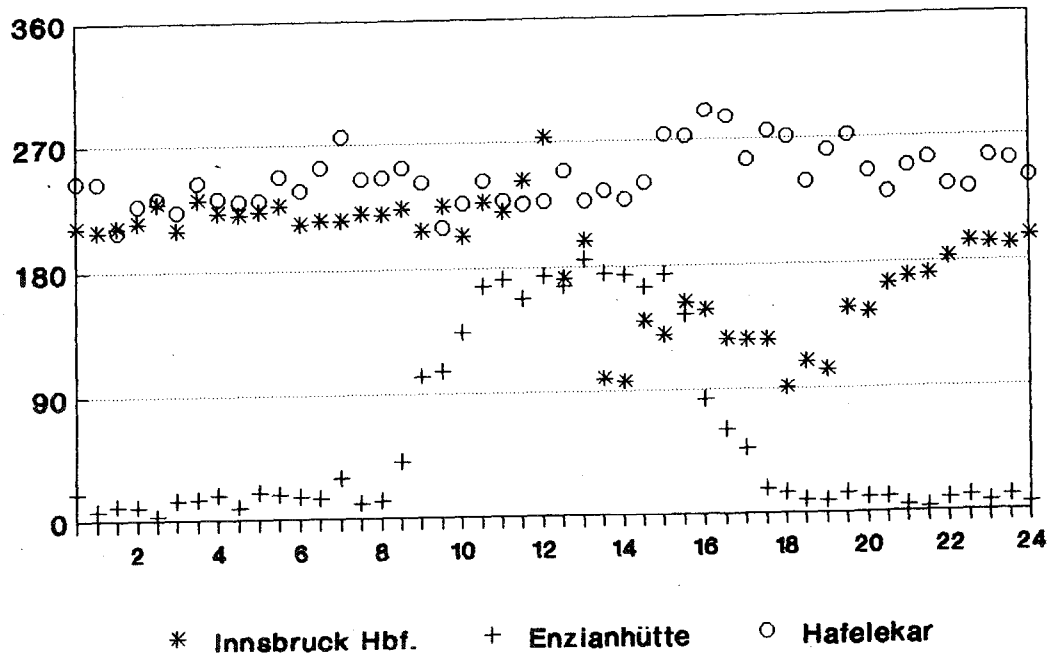


Abb. 59

Windrichtung **Mittl. Tagesgang, Nordostlagen**

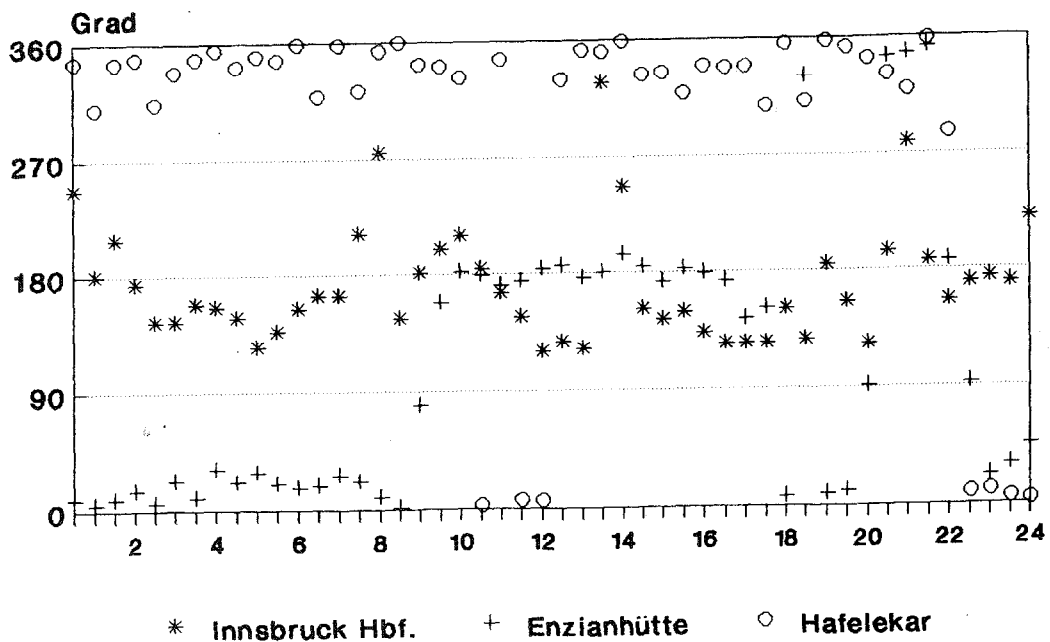


Abb. 60

Windrichtung Mittl. Tagesgang, Ostlagen

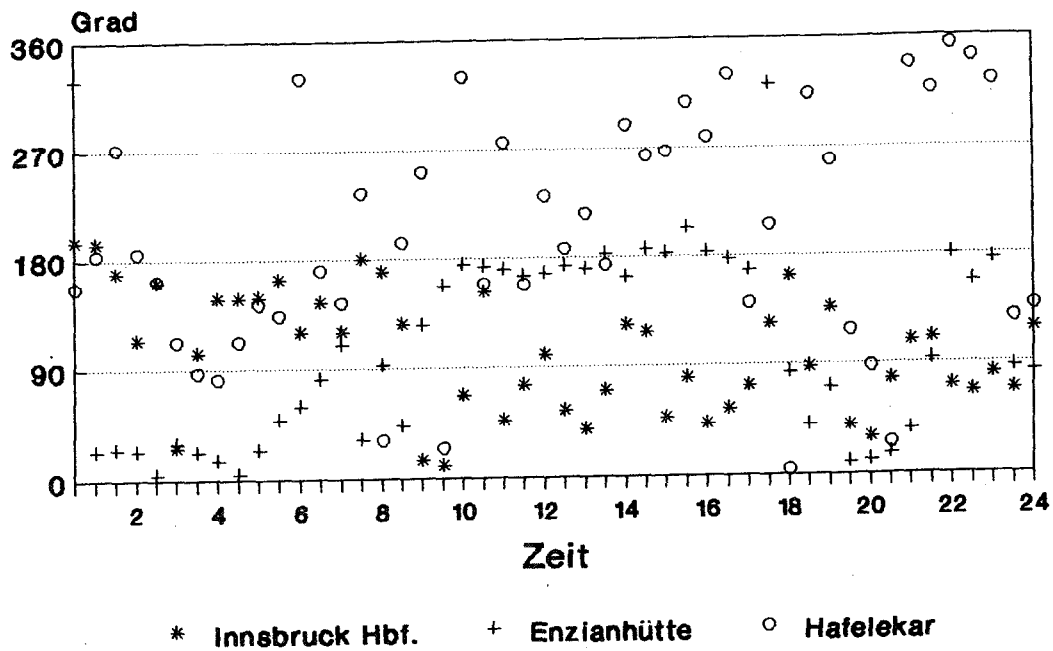


Abb. 61

Windrichtung Mittl. Tagesgang, Südostlagen

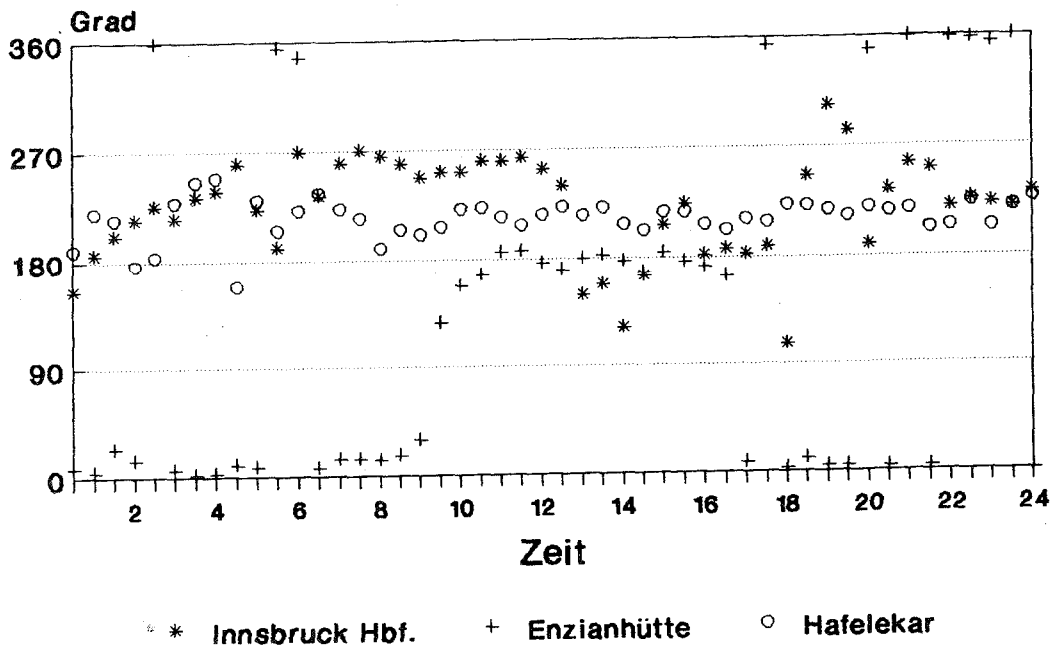


Abb. 62

Windrichtung **Mittl. Tagesgang, Südlagen**

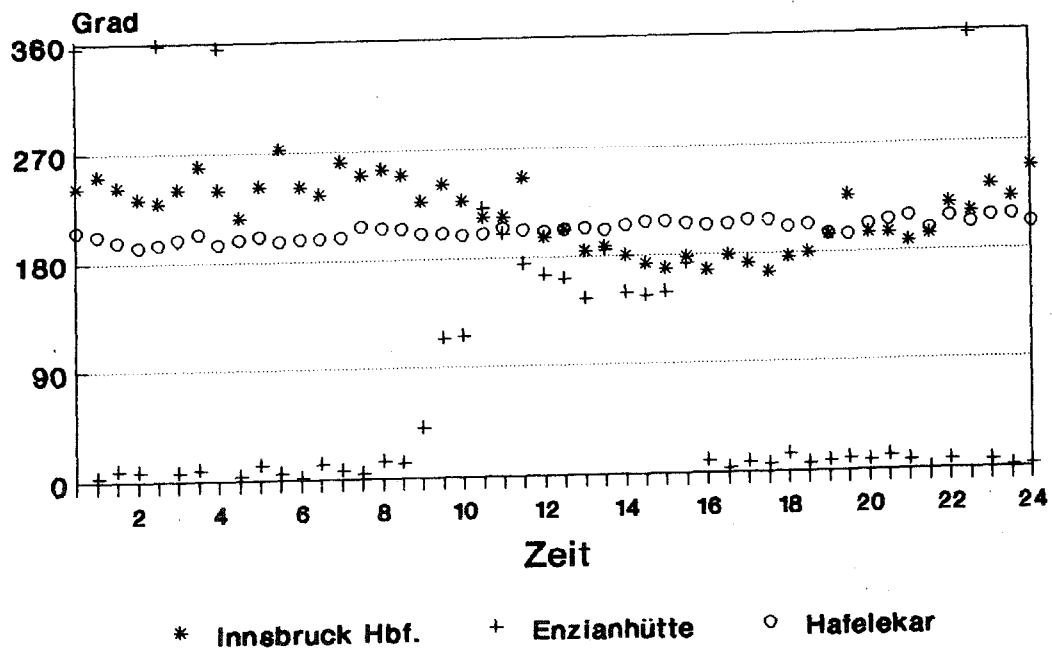


Abb. 63

Windrichtung **Mittl. Tagesgang, Südwestlagen**

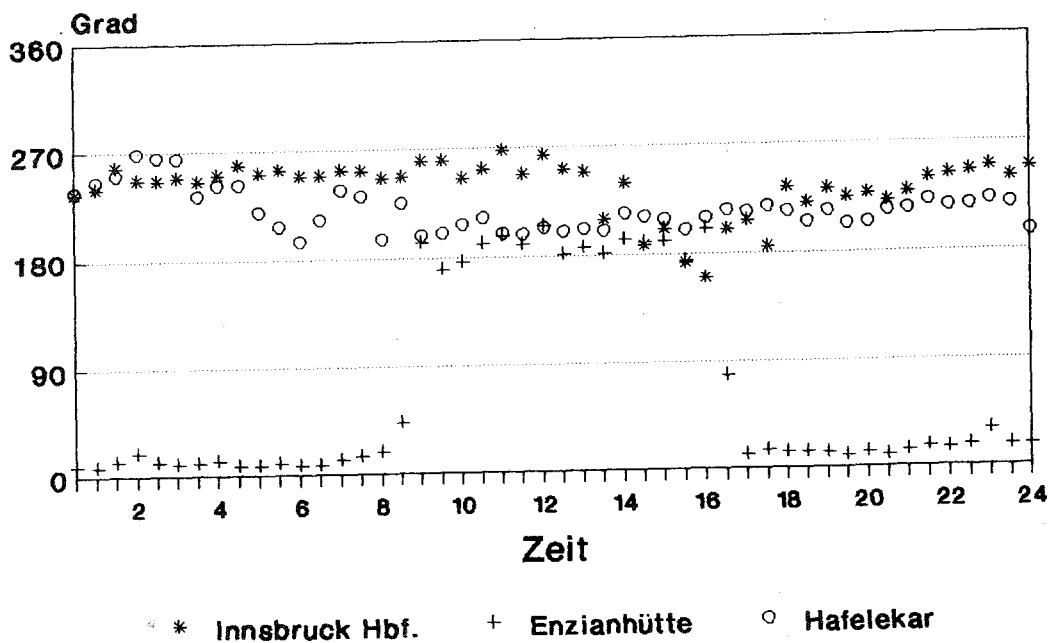


Abb. 64

Windrichtung **Mittl. Tagesgang, Westlagen**

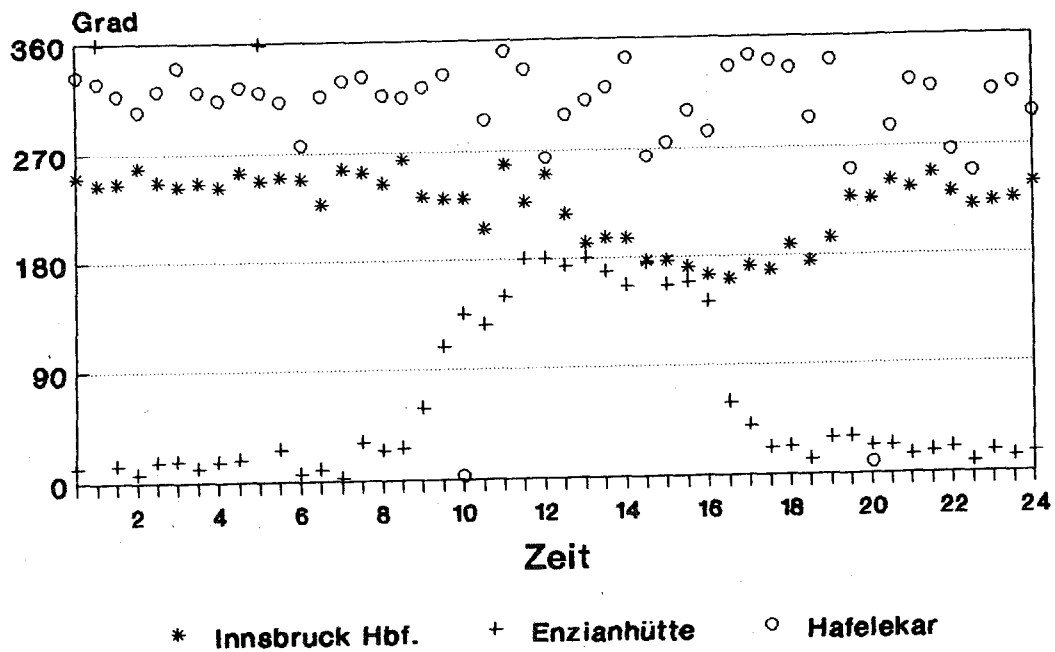


Abb. 65

Windrichtung **Mittl. Tagesgang, Nordwestlagen**

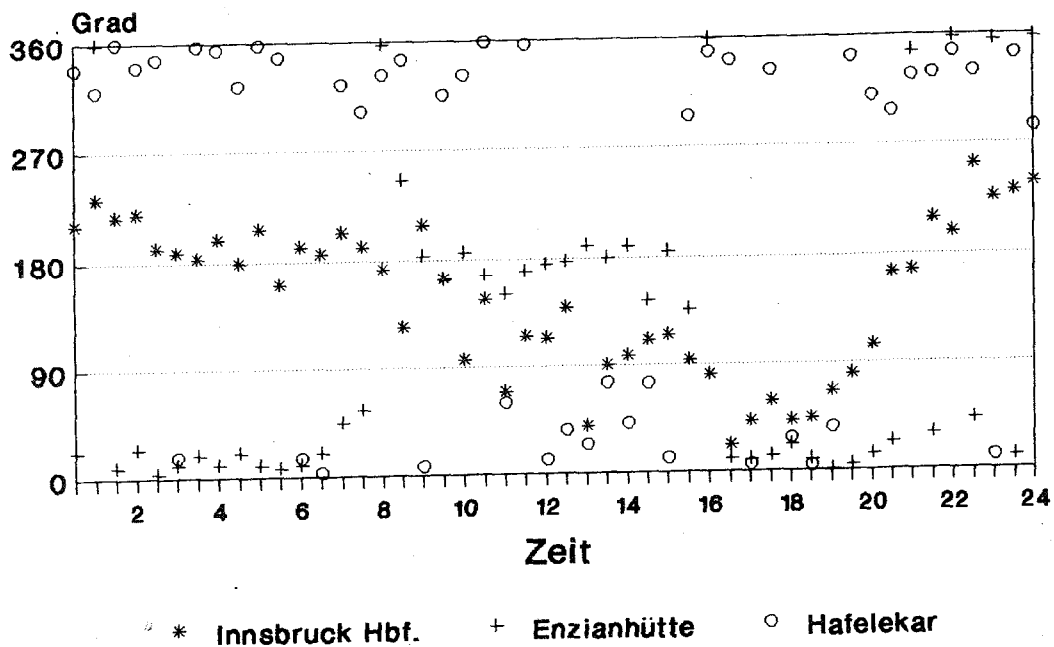


Abb. 66

Windrichtung **Mittl. Tagesgang, Nordlagen**

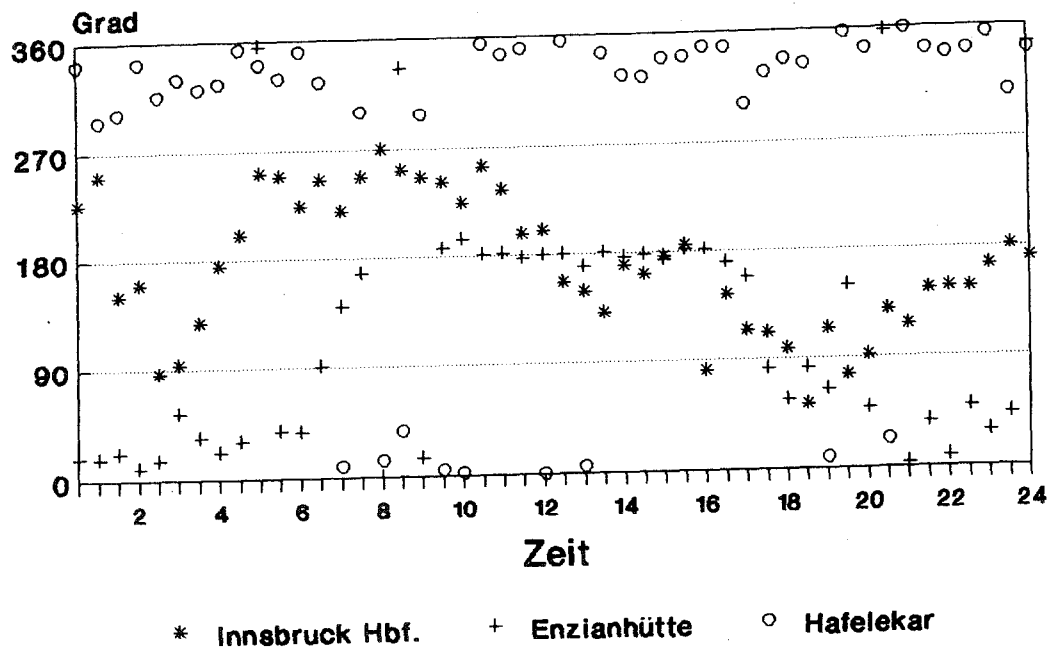


Abb. 67

Windrichtung **Mittl. Tagesgang, Gradientschw. Lagen**

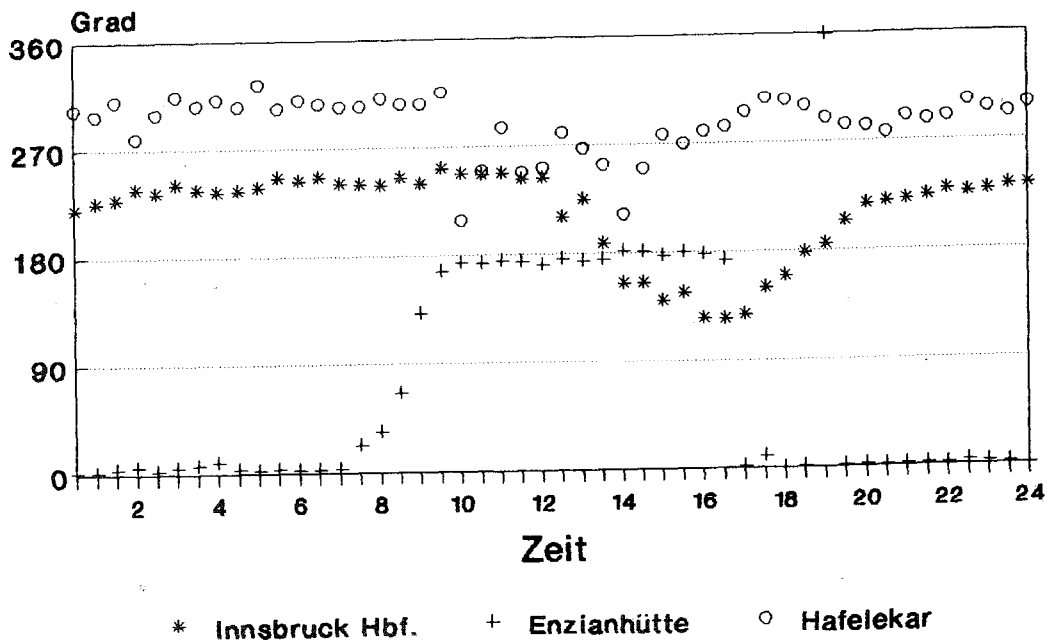


Abb. 68

Mittlerer Tagesgang Tage mit Sonnenscheindauer > 10 h

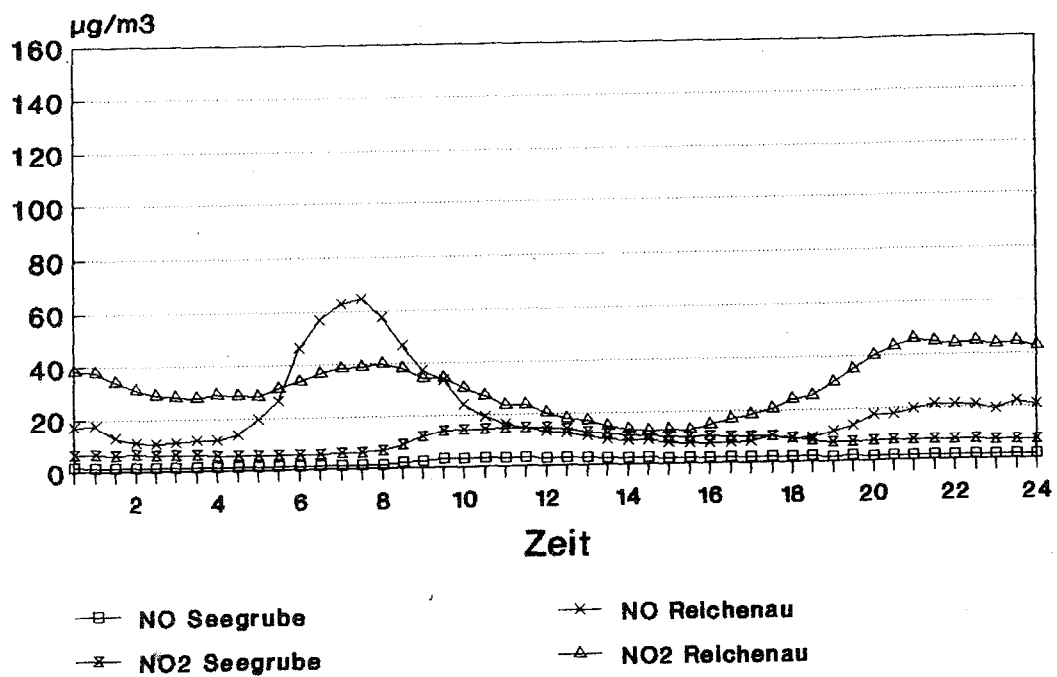
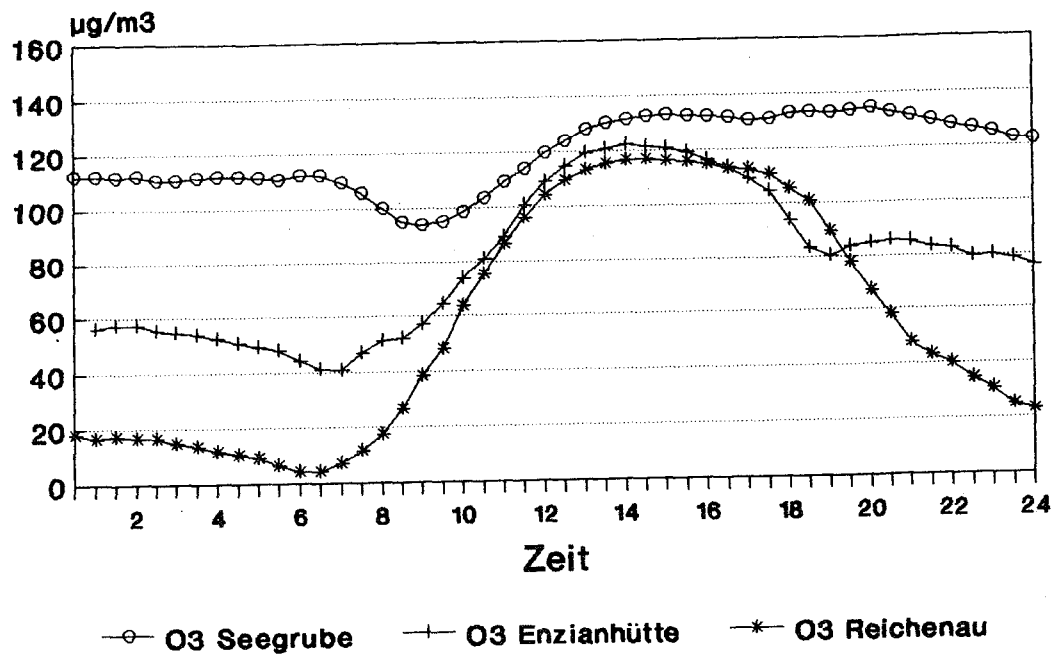


Abb. 69

Mittlerer Tagesgang Tage mit Sonnenscheindauer 5 - 10 h

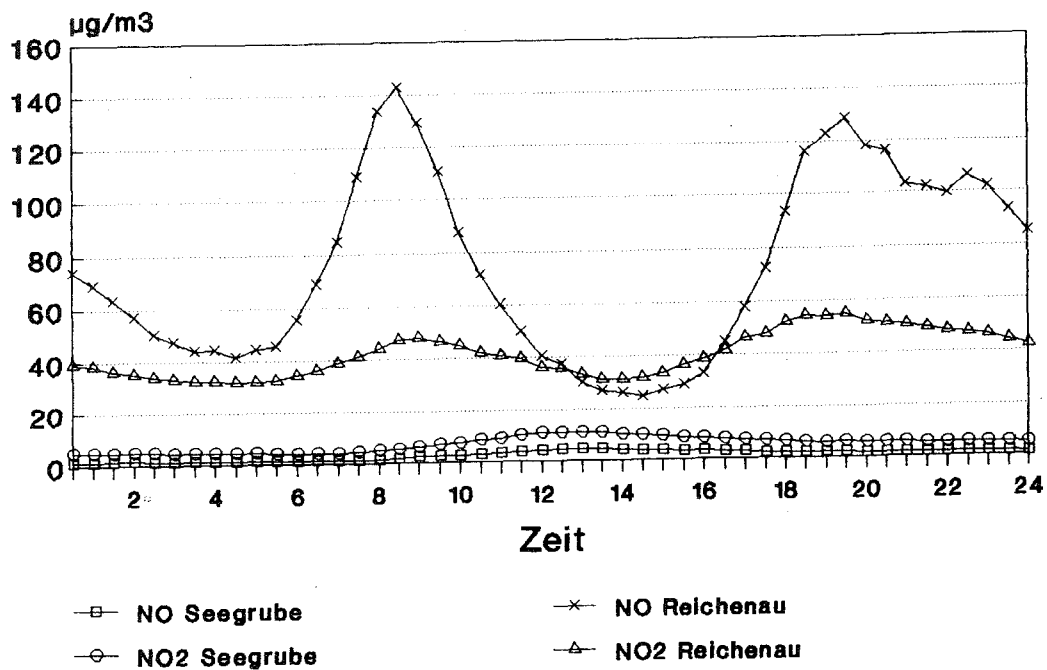
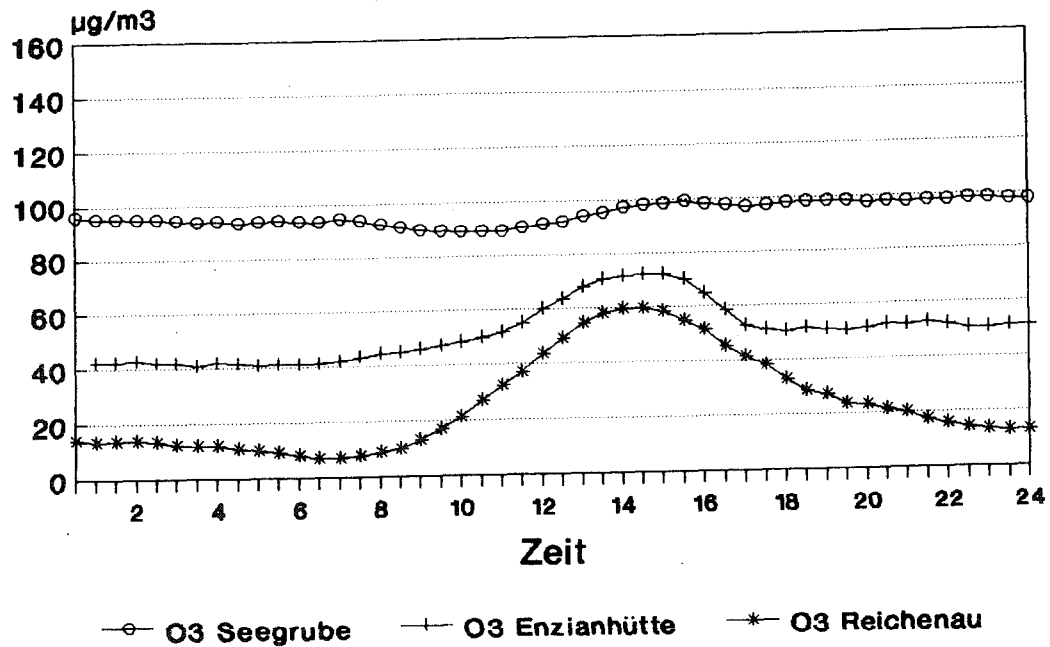


Abb. 70

Mittlerer Tagesgang Tage mit Sonnenscheindauer < 5 h

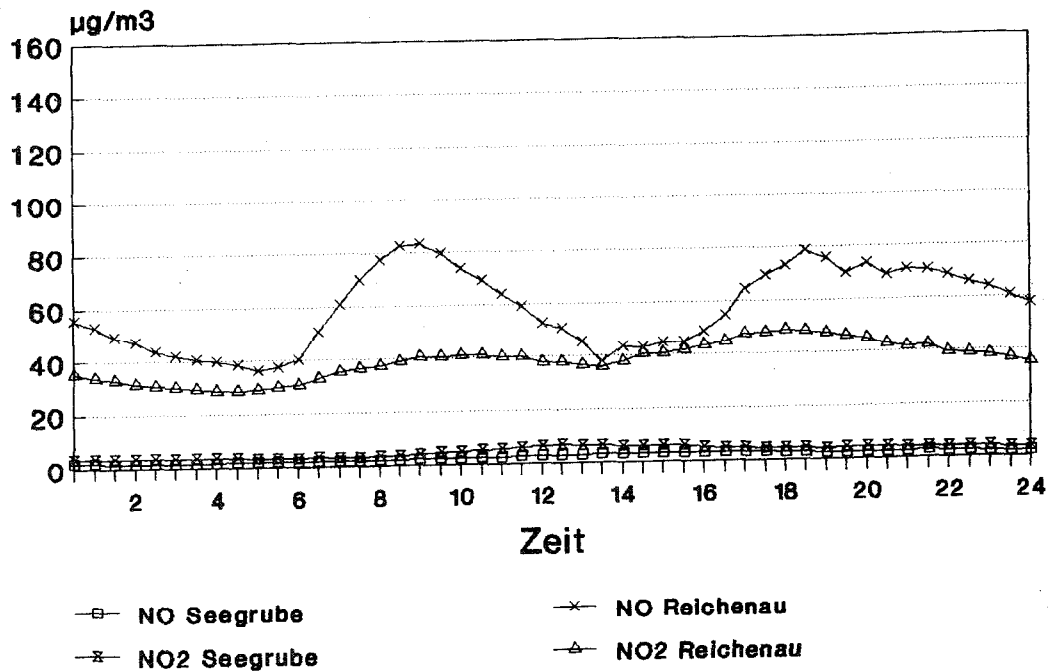
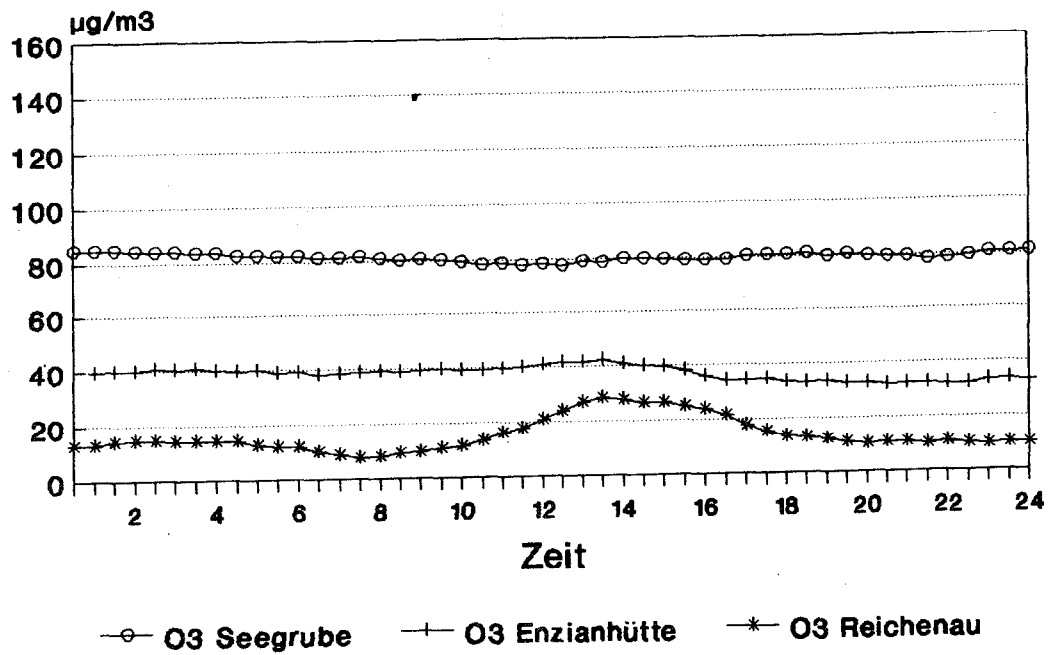


Abb. 71

Mittlerer Tagesgang Variable Lagen

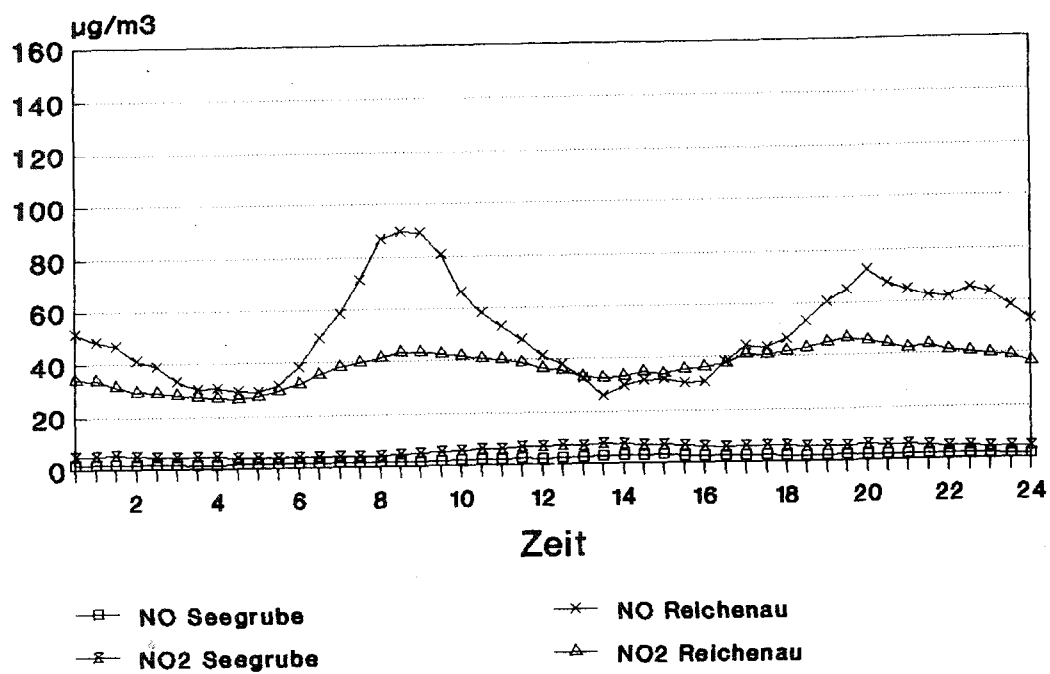
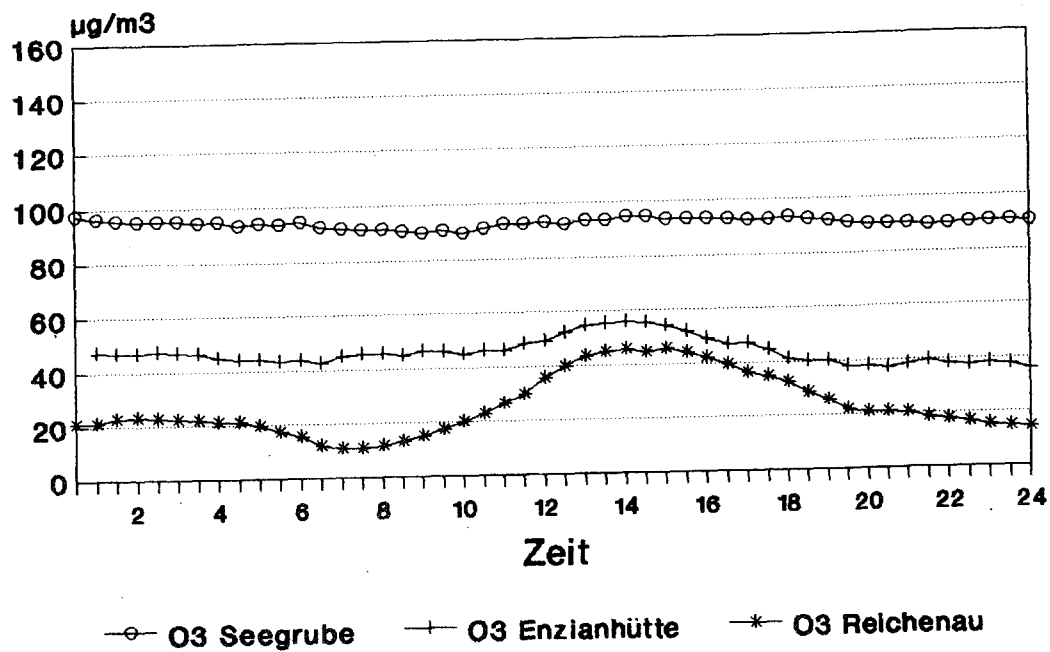


Abb. 72

Mittlerer Tagesgang Nordostlagen

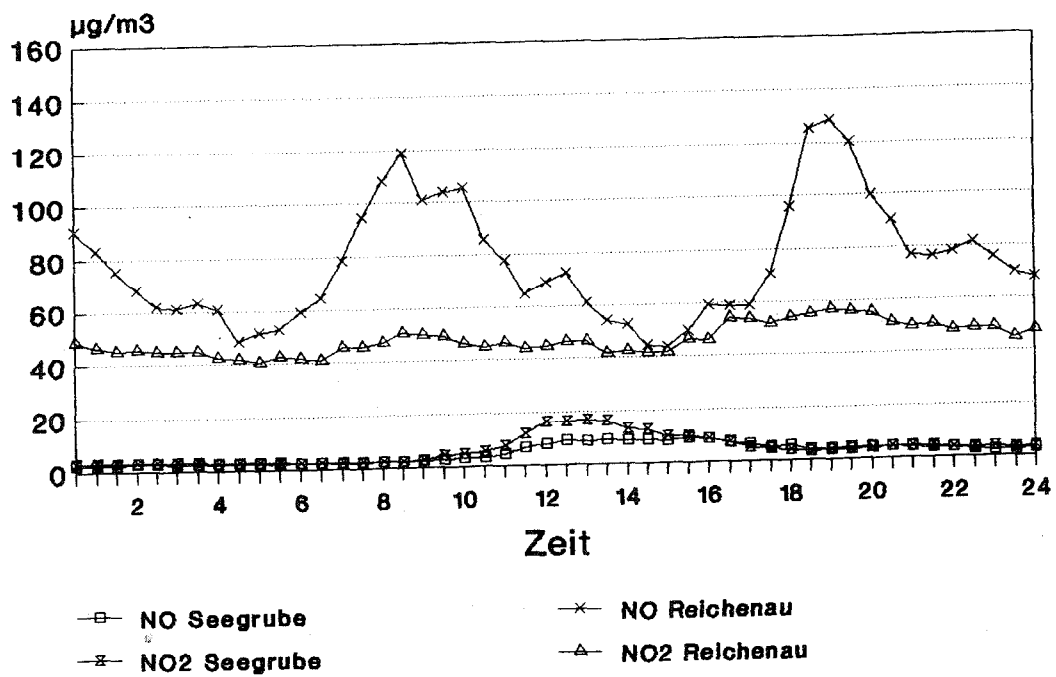
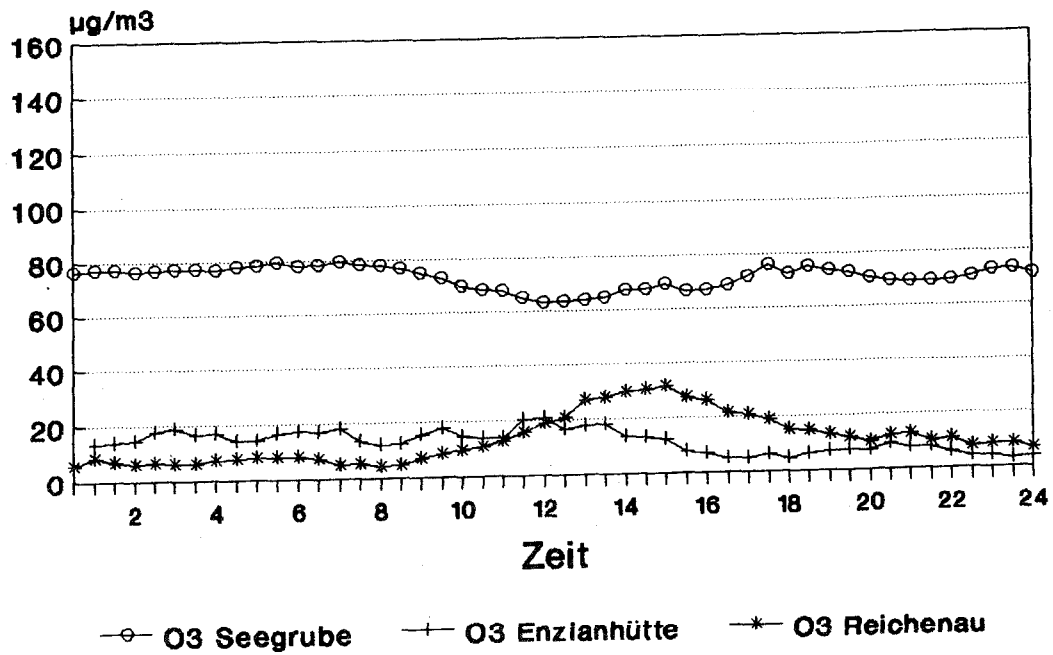


Abb. 73

Mittlerer Tagesgang Ostlagen

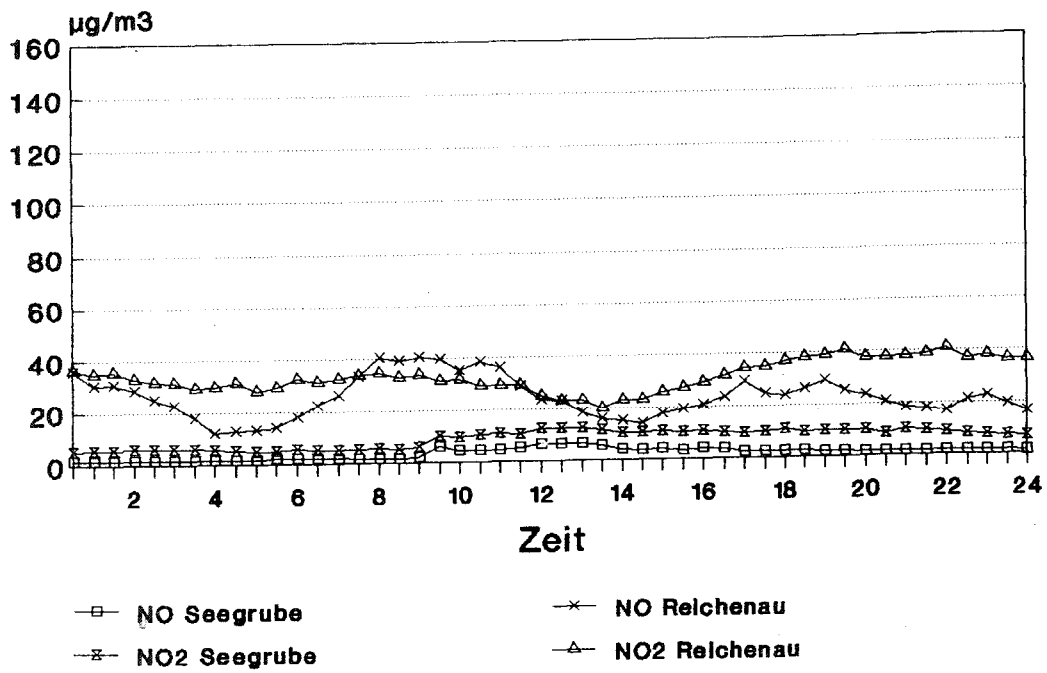
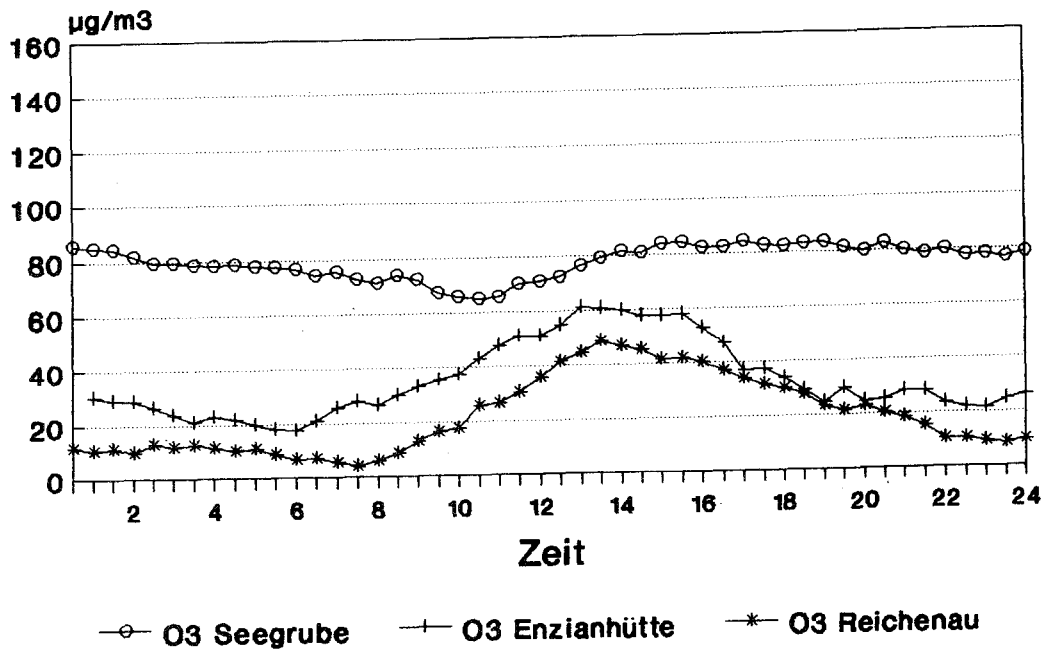


Abb. 74

Mittlerer Tagesgang Südostlagen

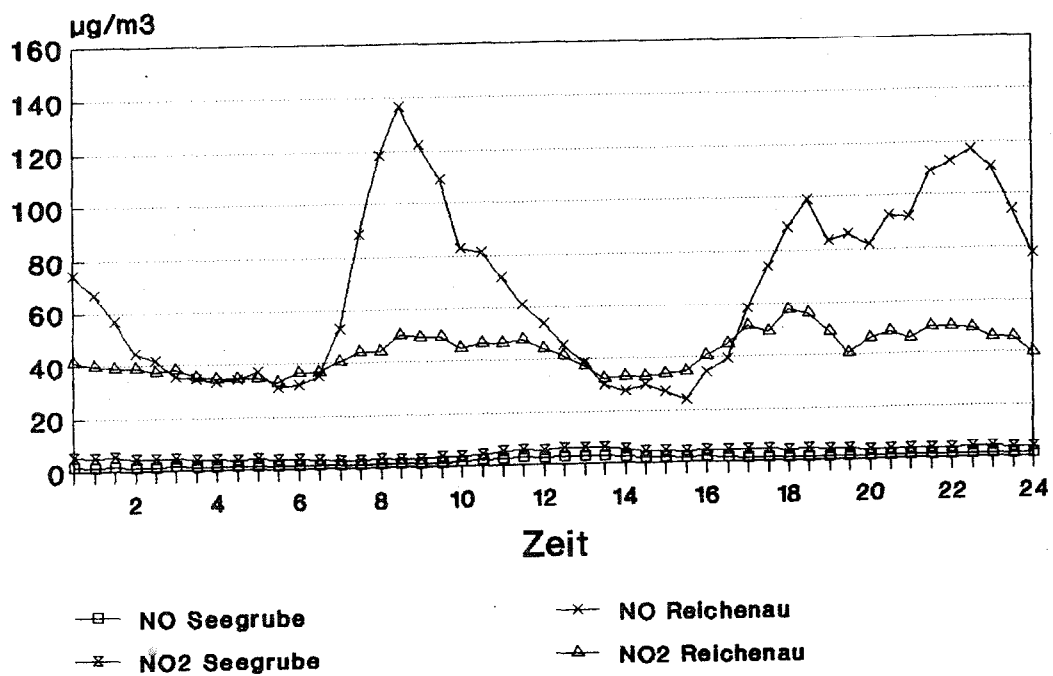
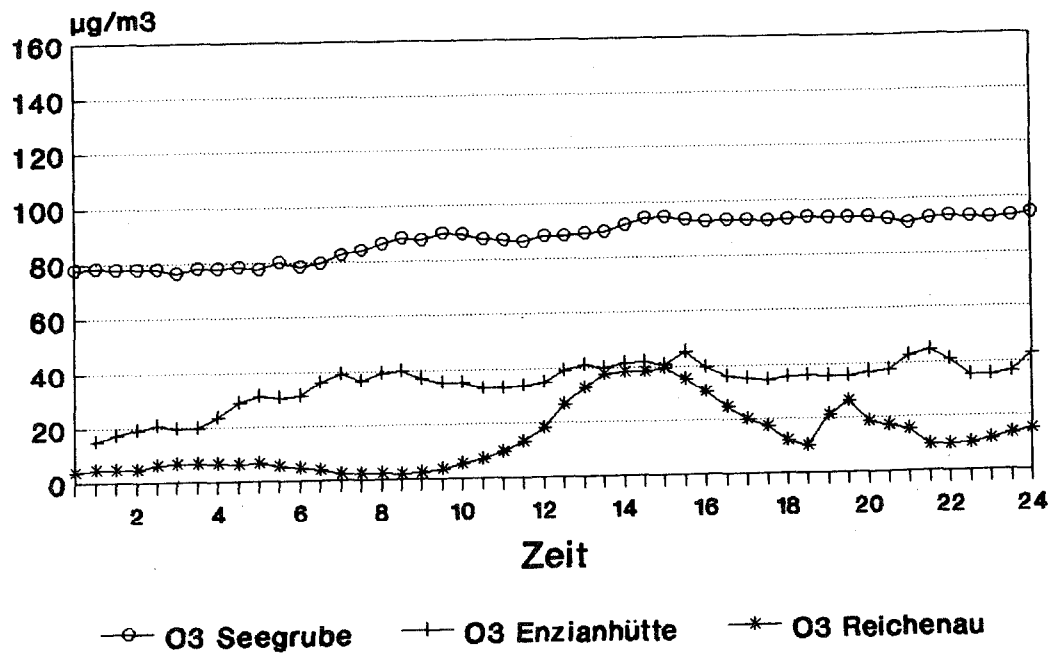


Abb. 75

Mittlerer Tagesgang Südlagen

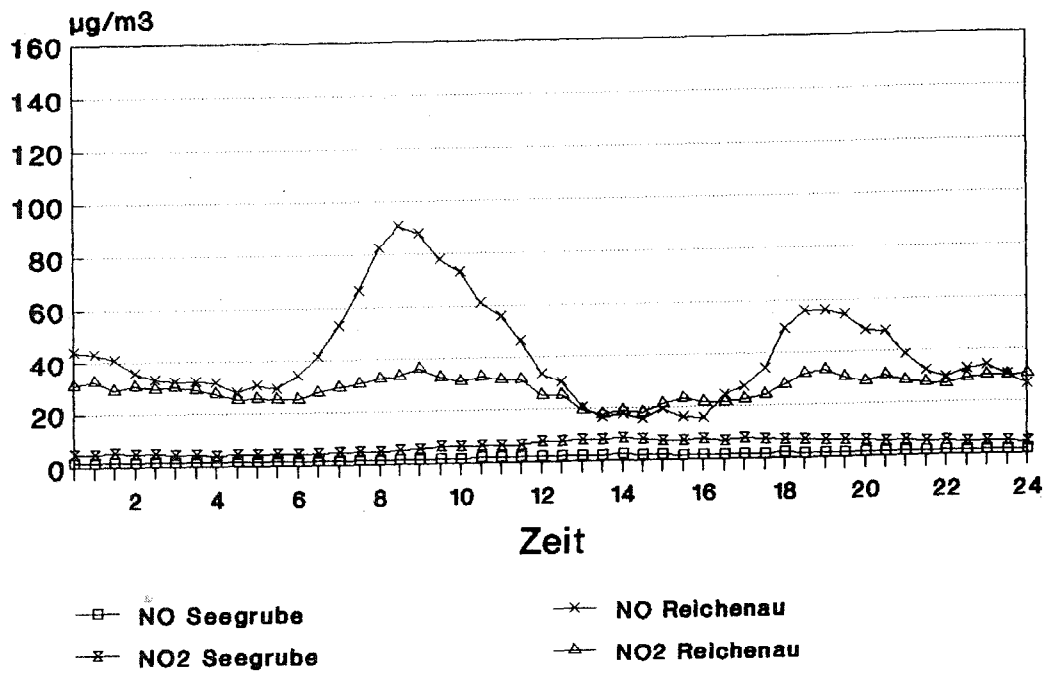
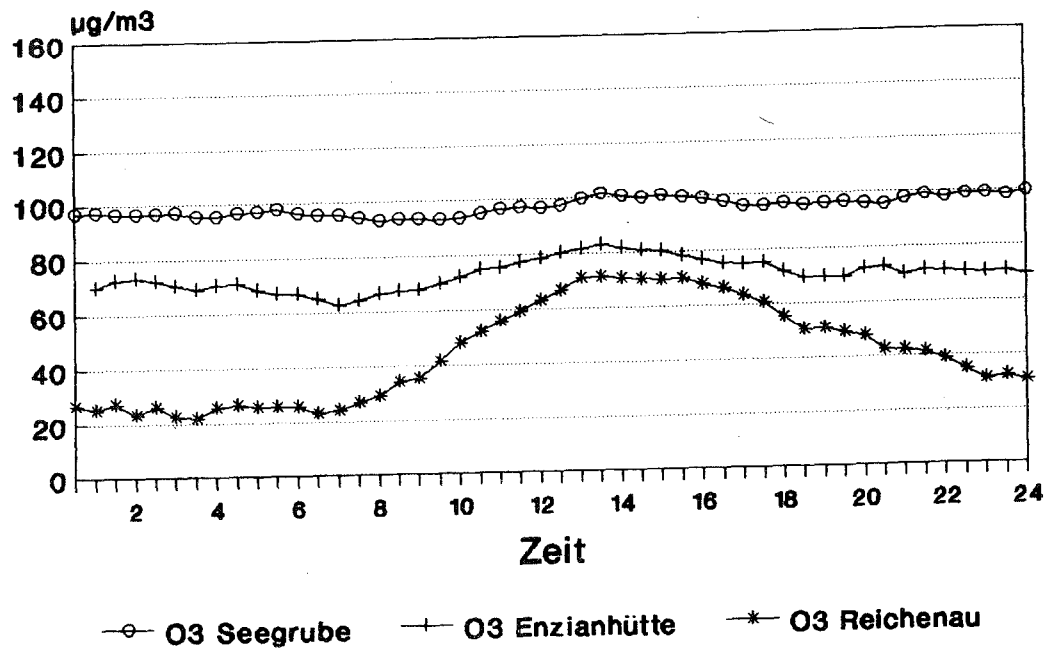


Abb. 76

Mittlerer Tagesgang Südwestlagen

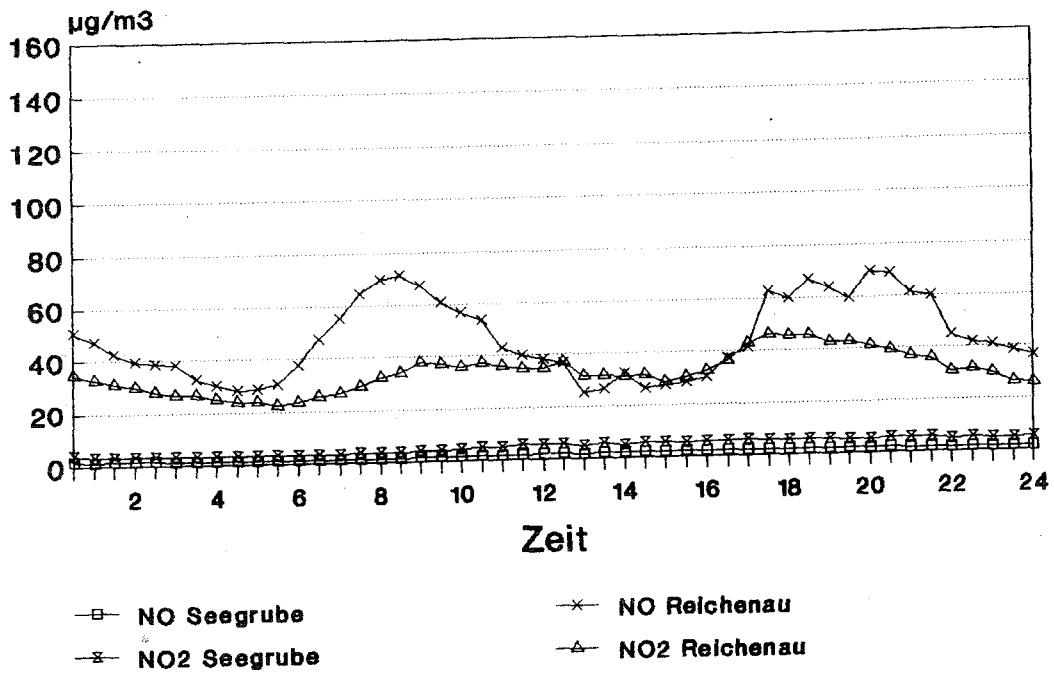
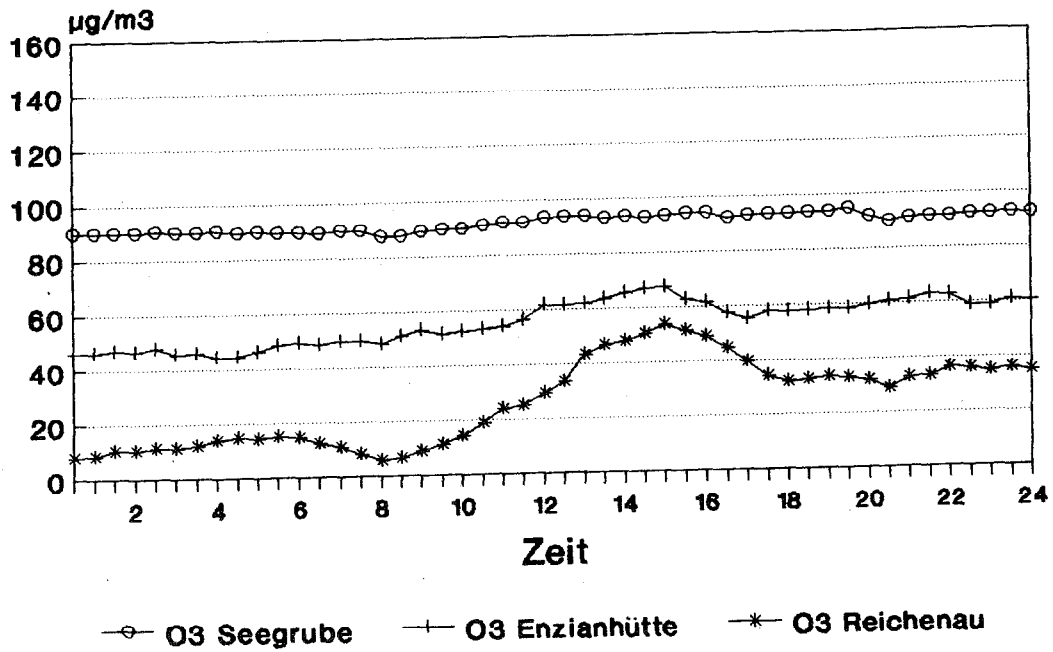


Abb. 77

Mittlerer Tagesgang Westlagen

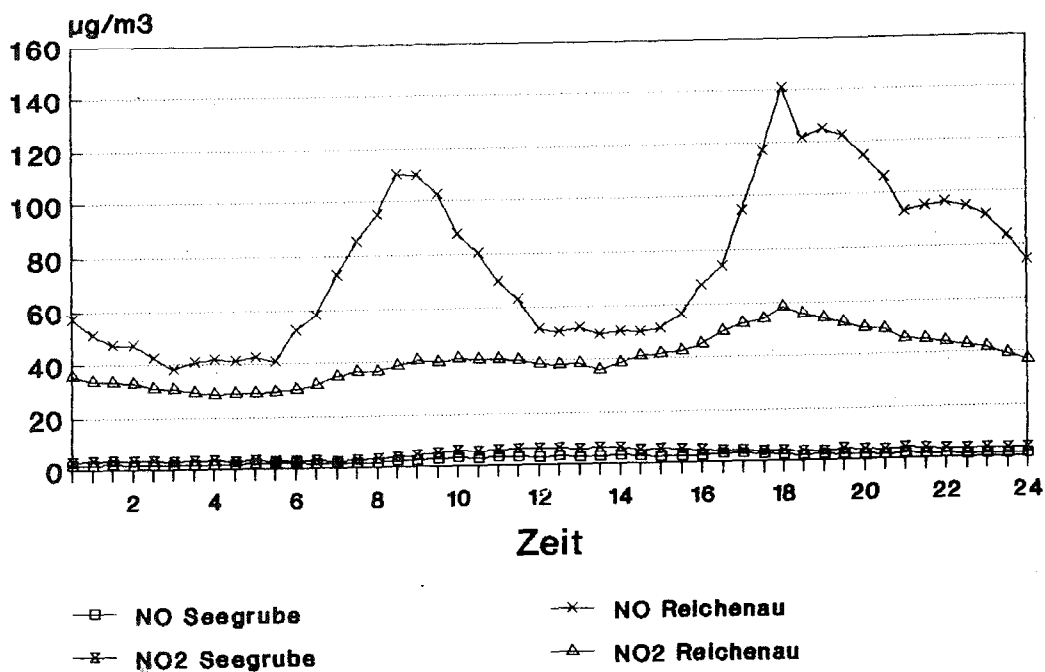
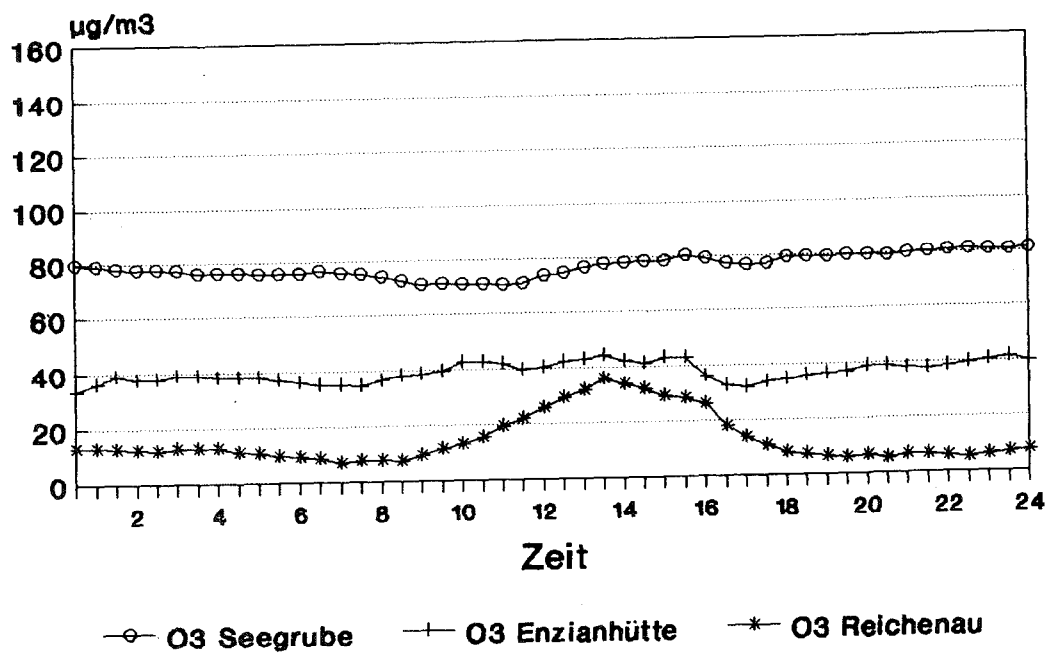


Abb. 78

Mittlerer Tagesgang Nordwestlagen

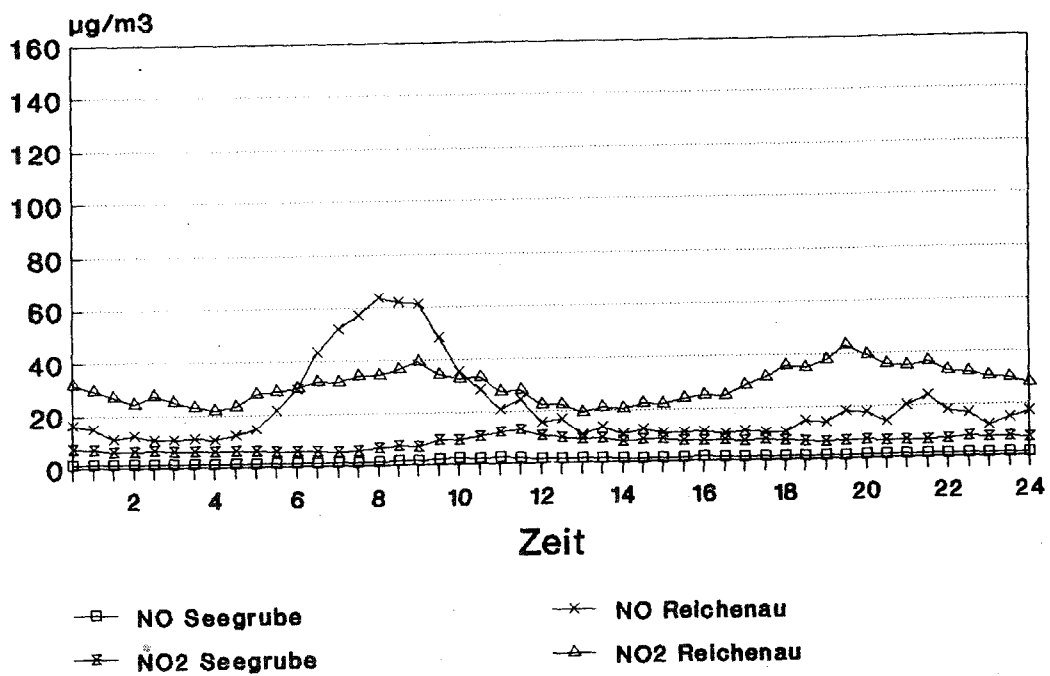
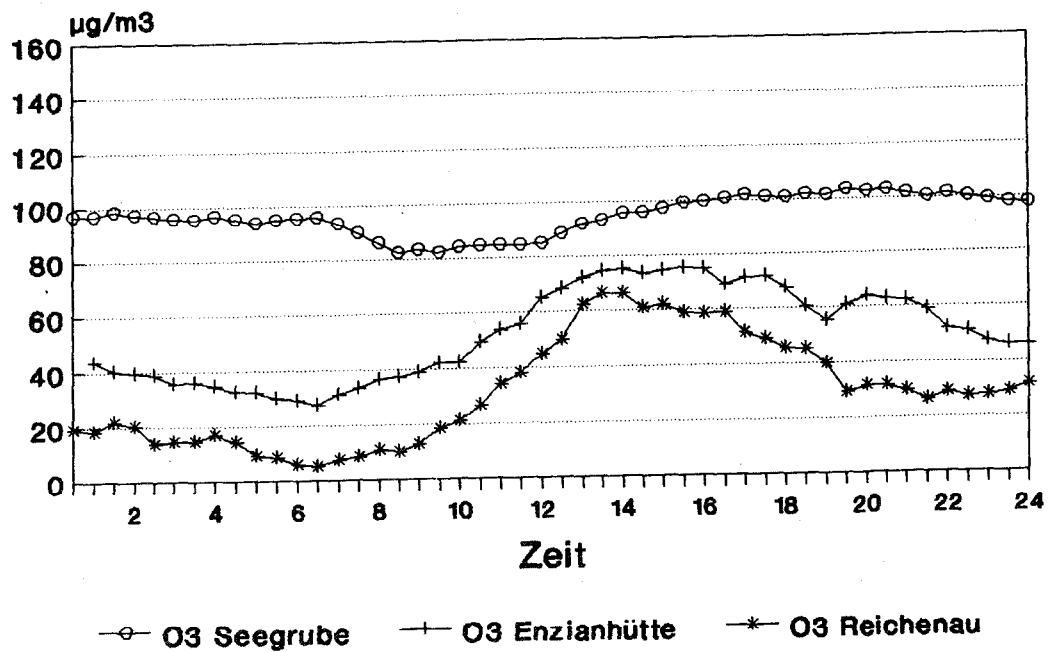


Abb. 79

Mittlerer Tagesgang Nordlagen

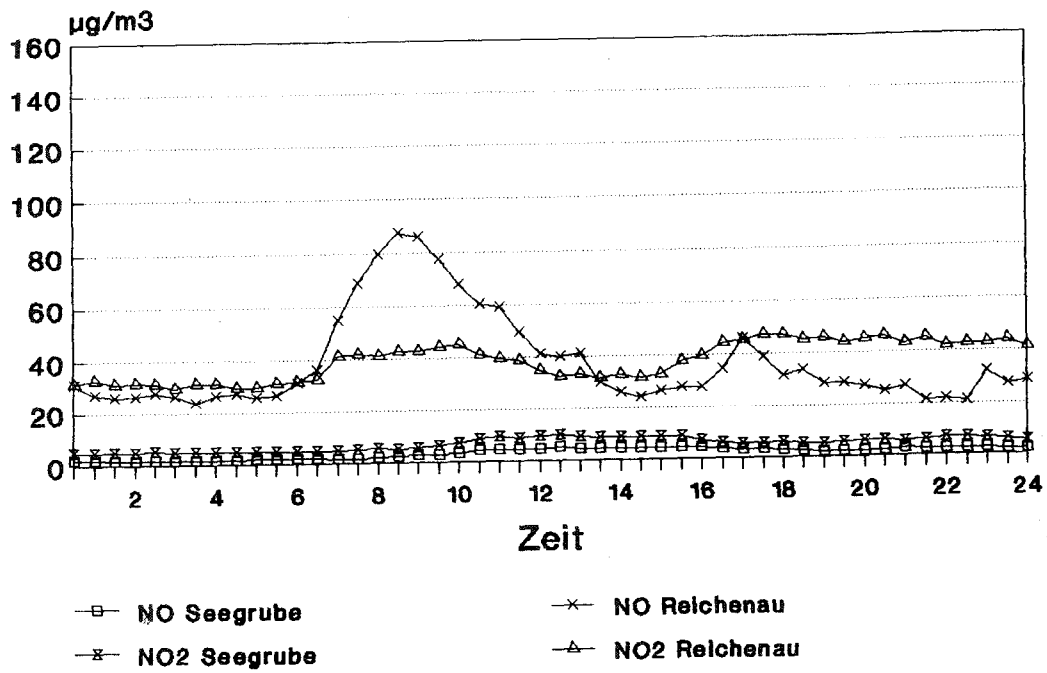
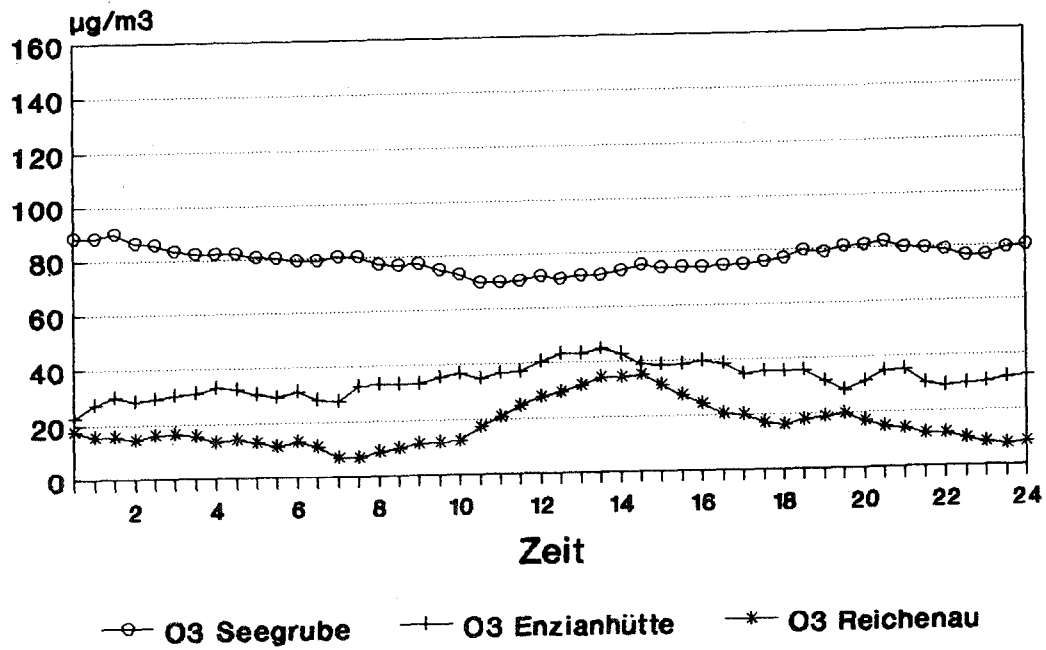


Abb. 80

Mittlerer Tagesgang Gradienten schwache Lagen

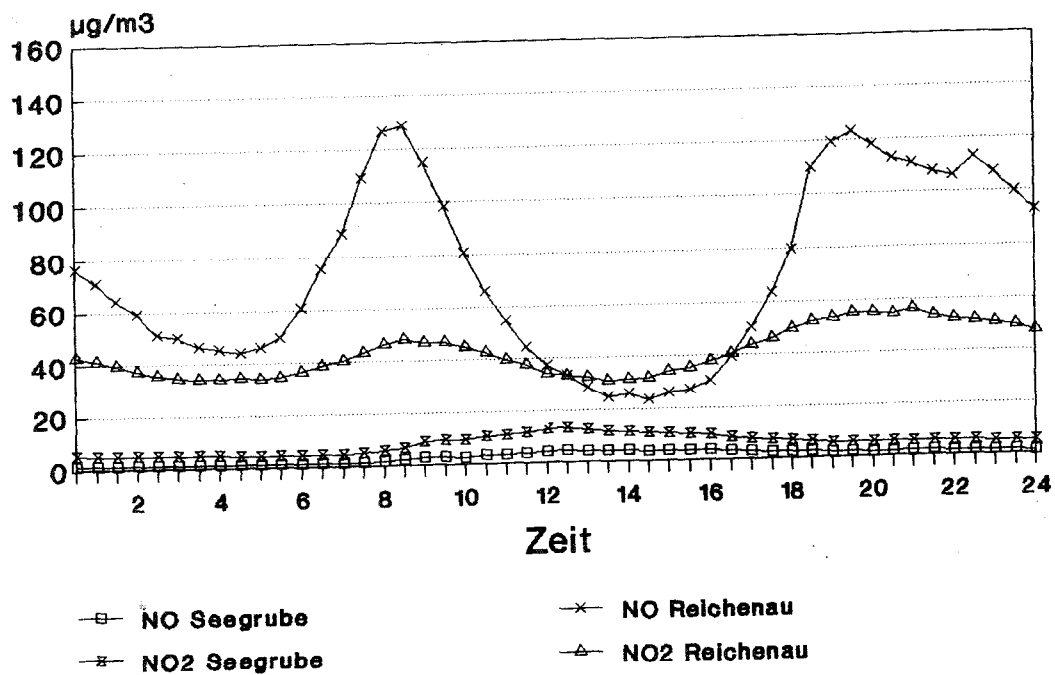
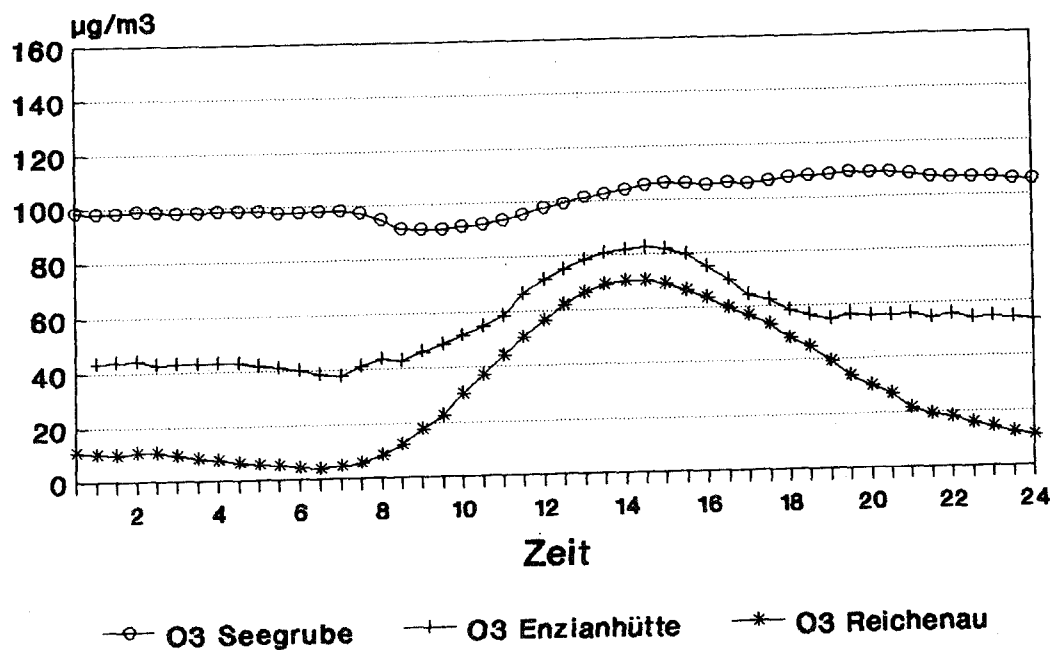
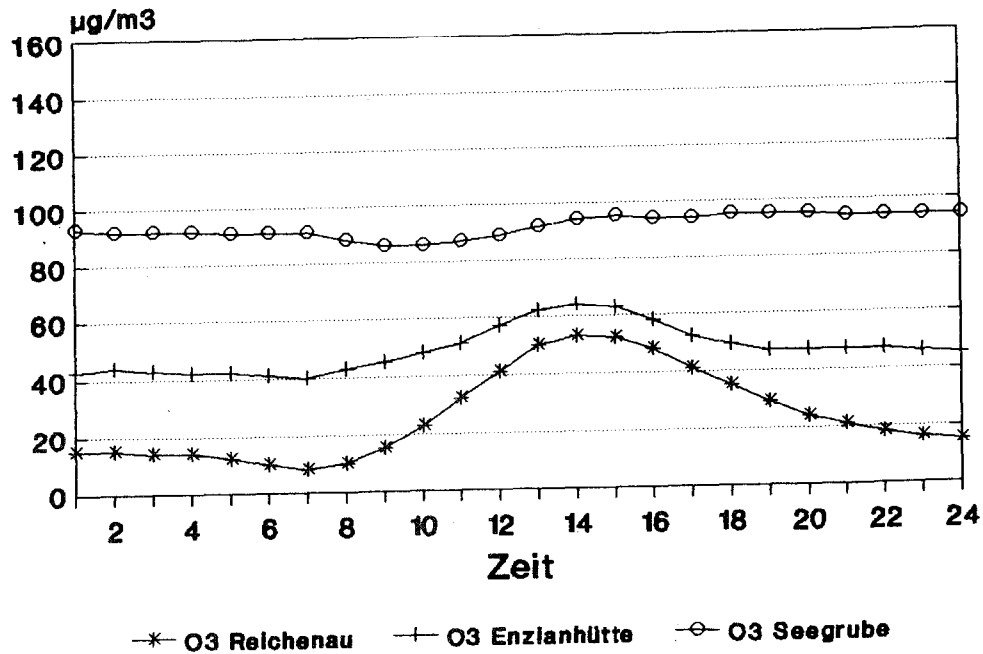


Abb. 81

Mittlerer Tagesgang 1.7. 1990 - 31.3. 1991



Mittlerer Tagesgang 1.7. 1990 - 31.3. 1991

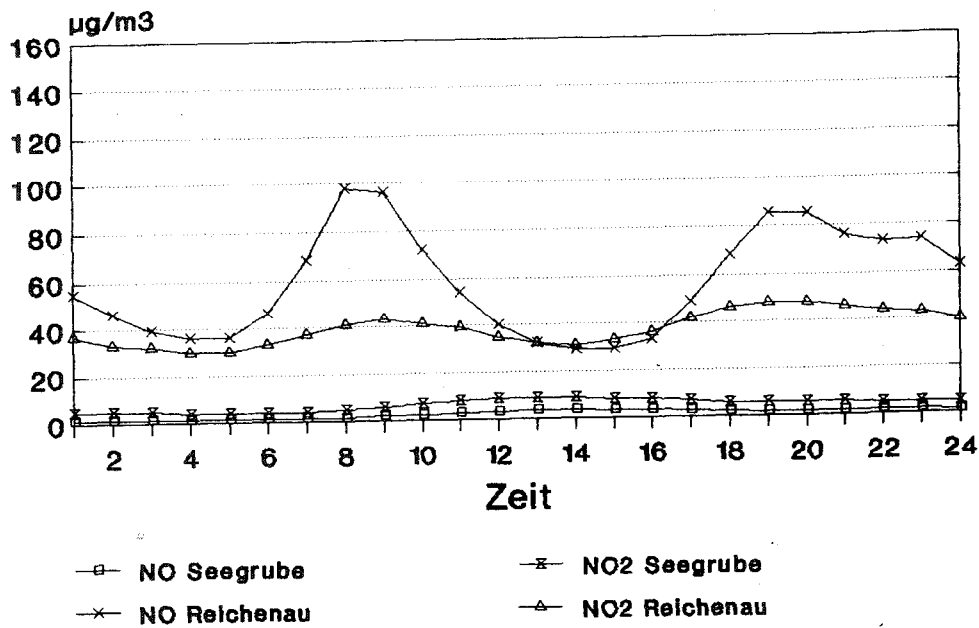


Abb. 82

Temperatur Mittlerer Tagesgang 1.7. 1990 - 31.3. 1991

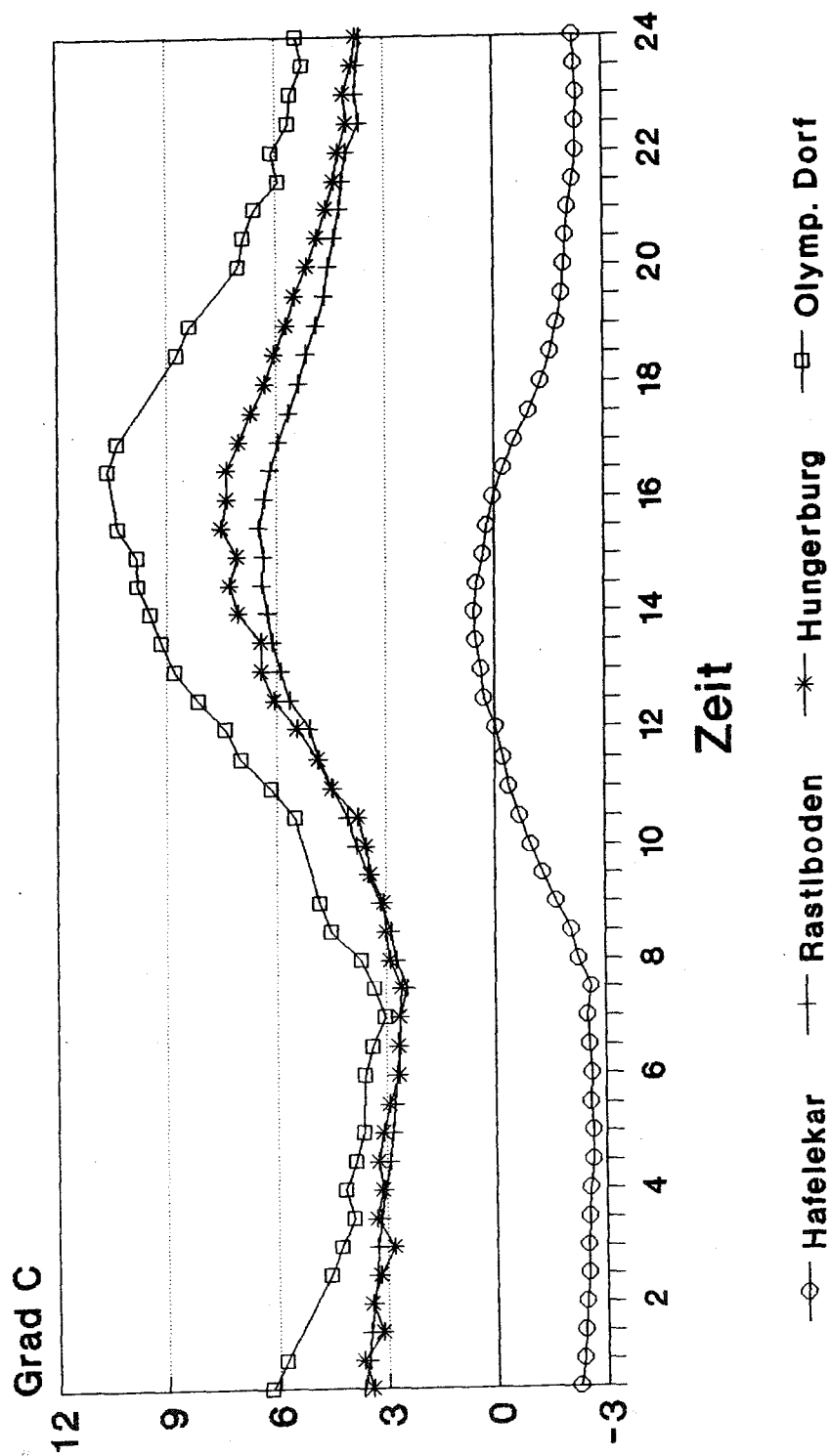


Abb. 83

Ozon

Maximale HMW je Wetterlage

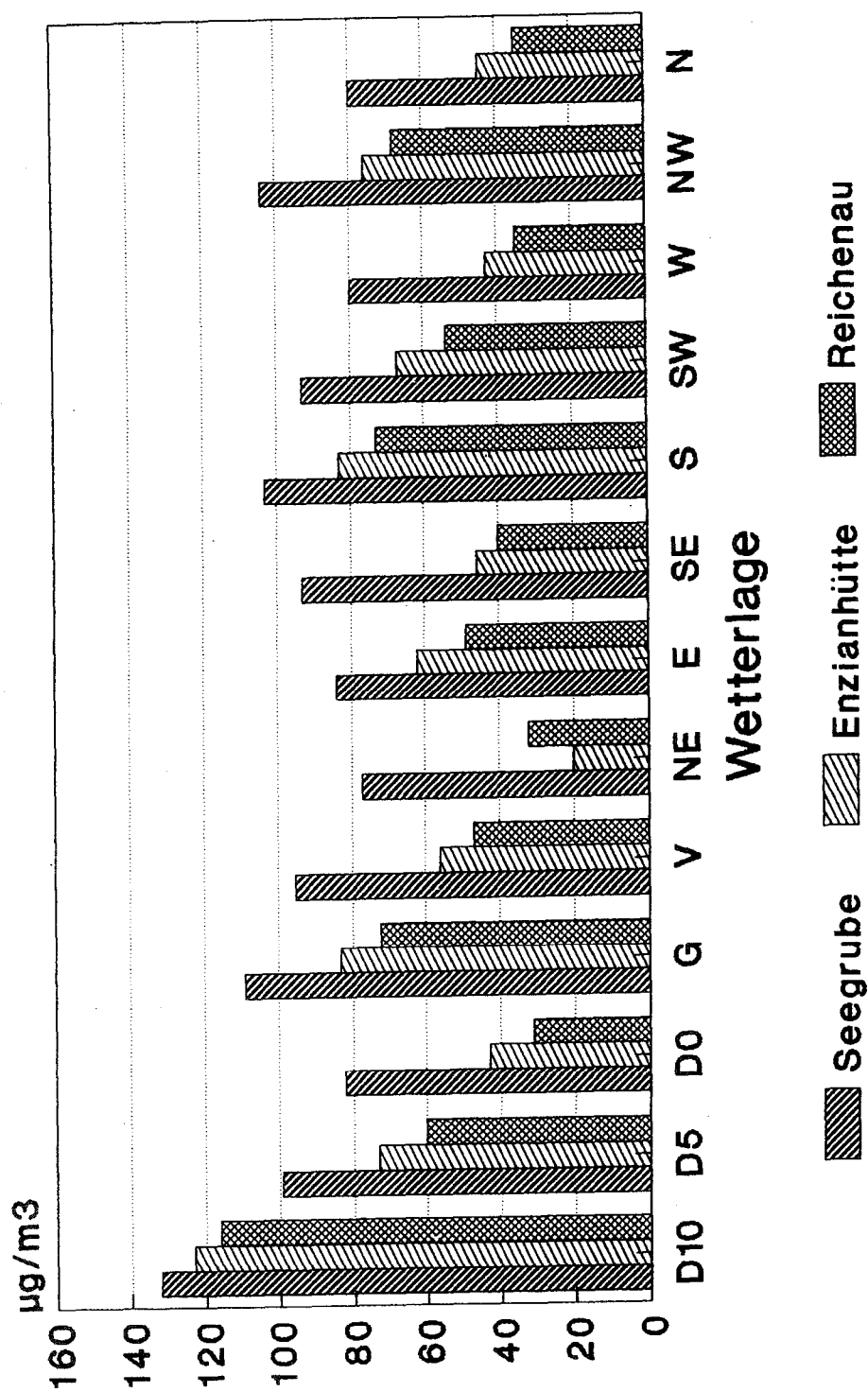
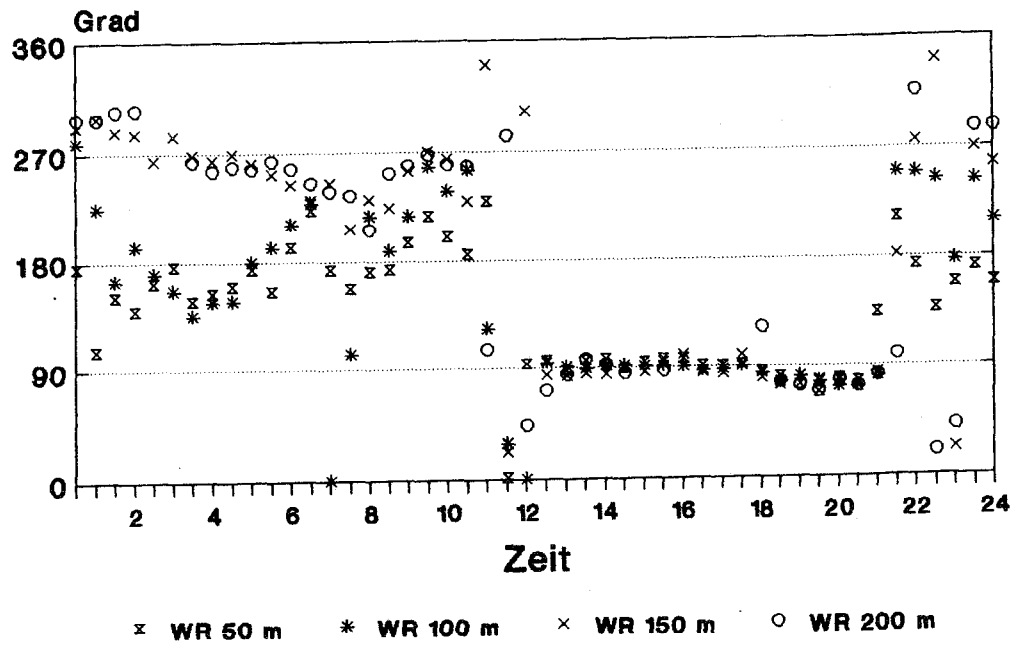


Abb. 84

Windrichtung Hall i.T. 21.7. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 21.7. 1990

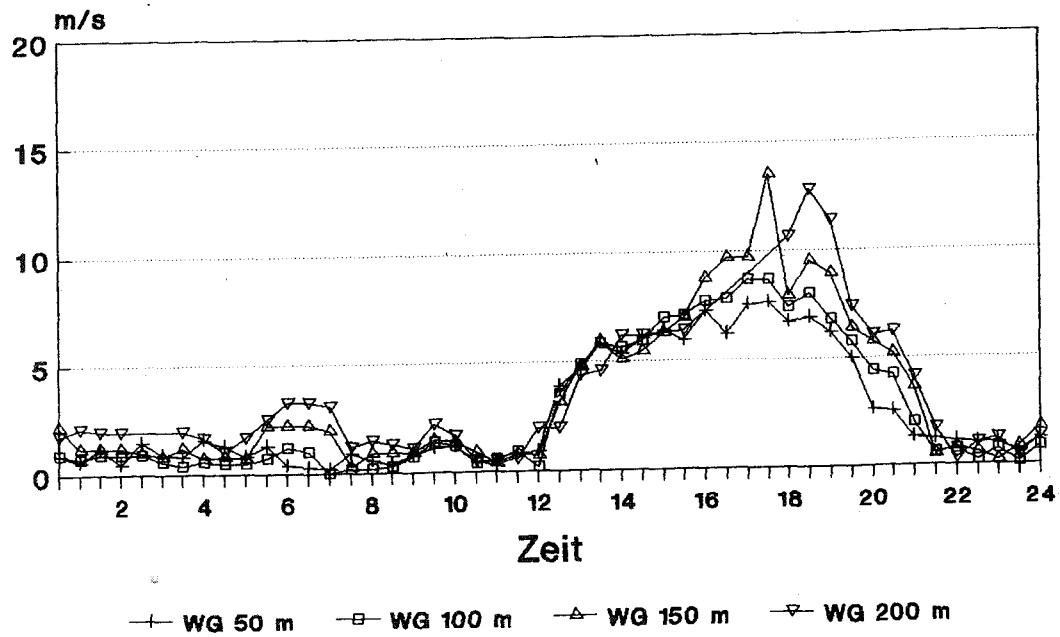
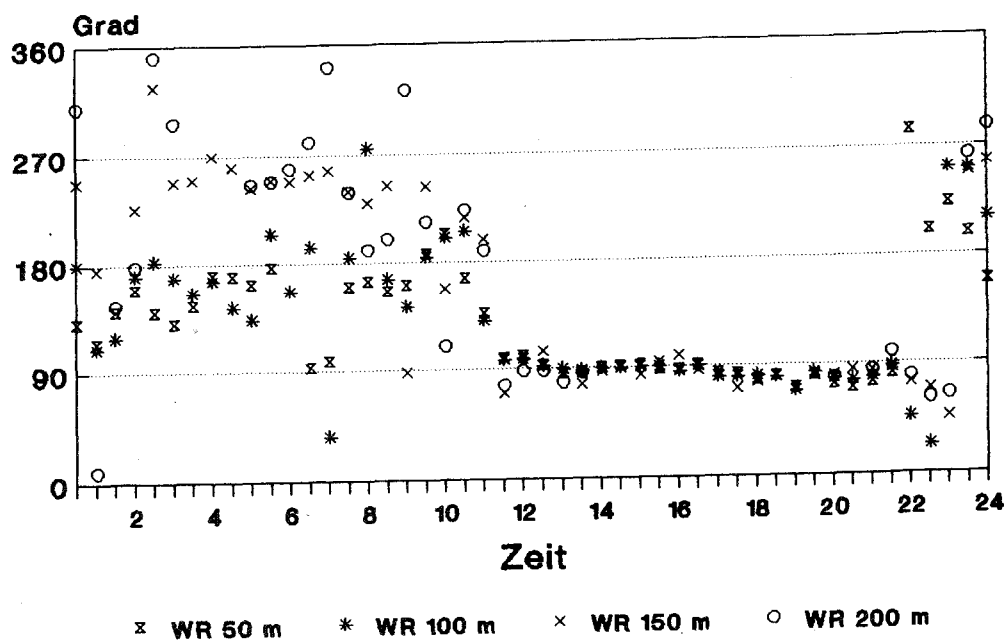


Abb. 85

Windrichtung Hall i.T. 22.7. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 22.7. 1990

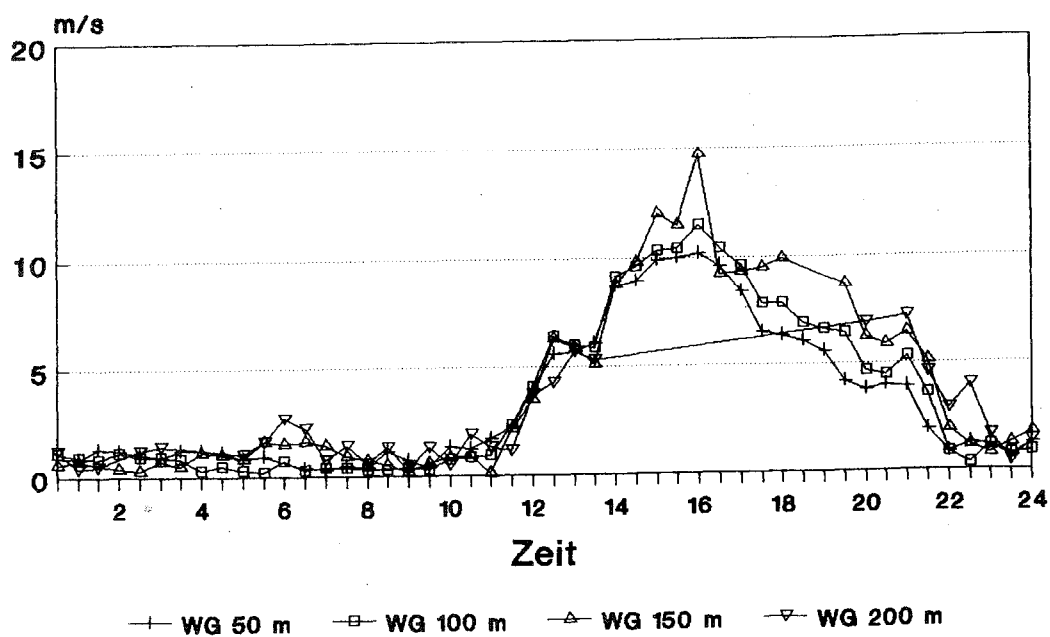
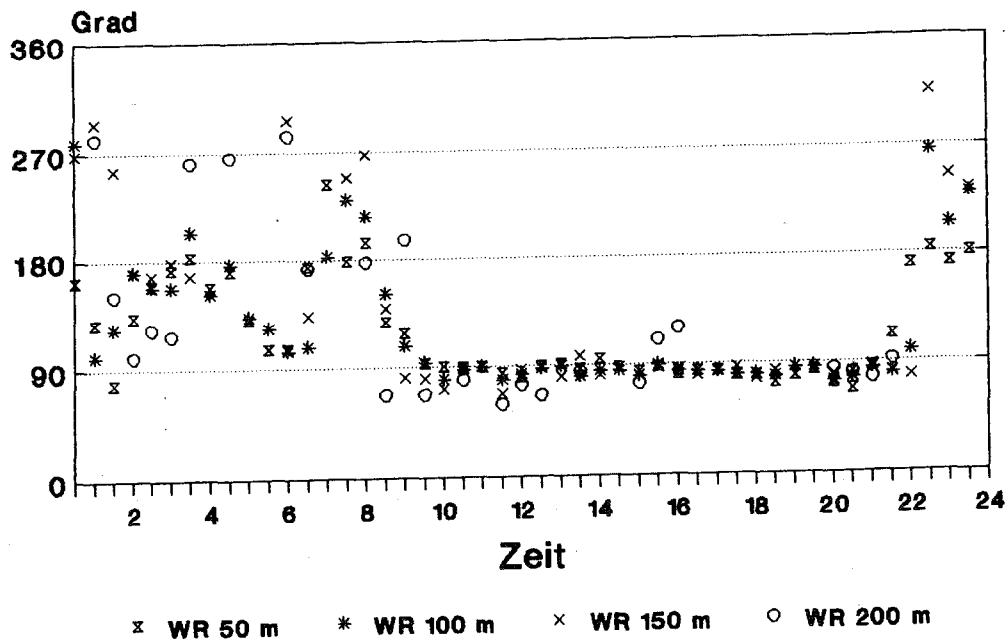


Abb. 86

Windrichtung Hall i.T. 23.7. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 23.7. 1990

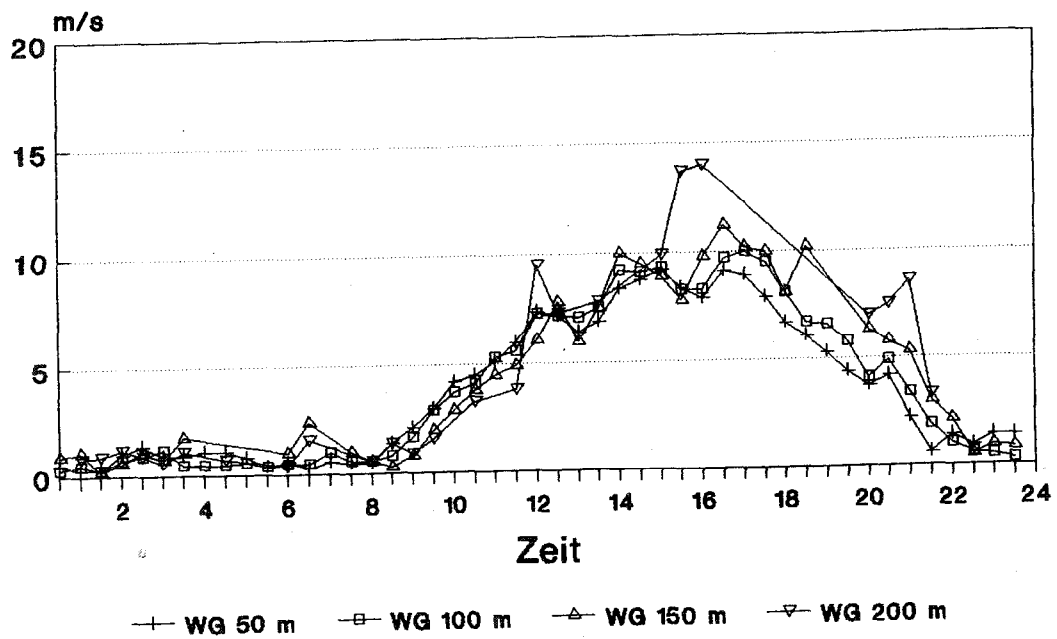
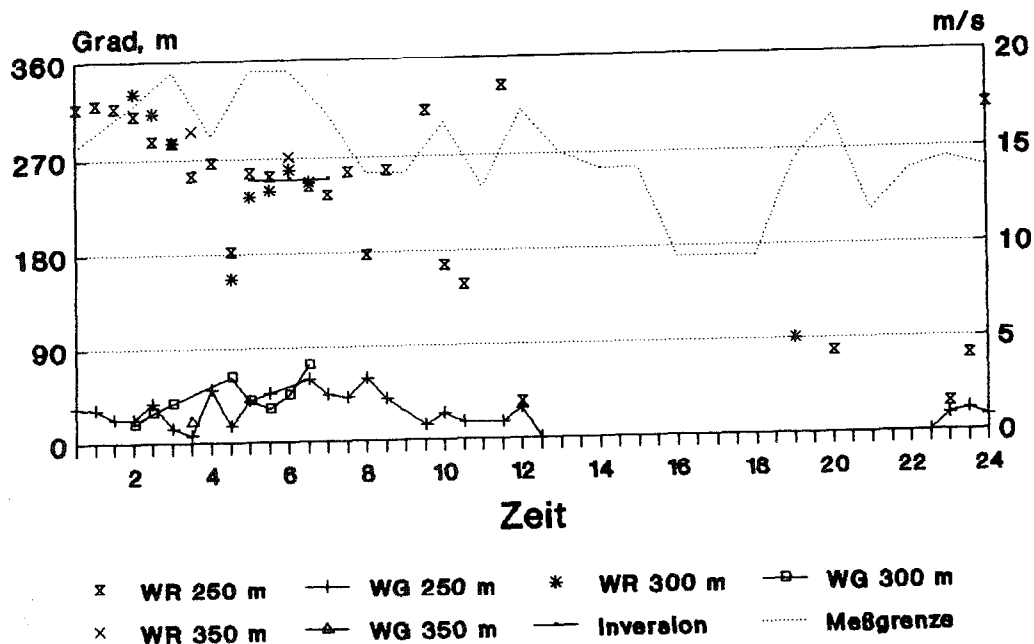


Abb. 87

Wind Hall i.T.
21.7. 1990



SODAR Hall i.T.
22.7. 1990

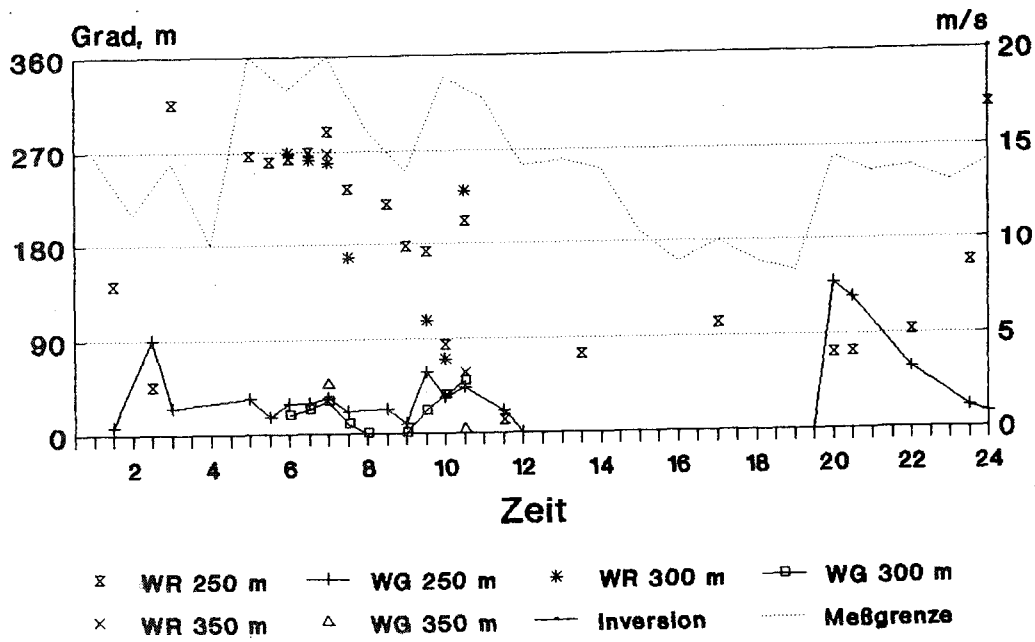


Abb. 88

Vertikalgeschwindigkeit 21.7. 1990

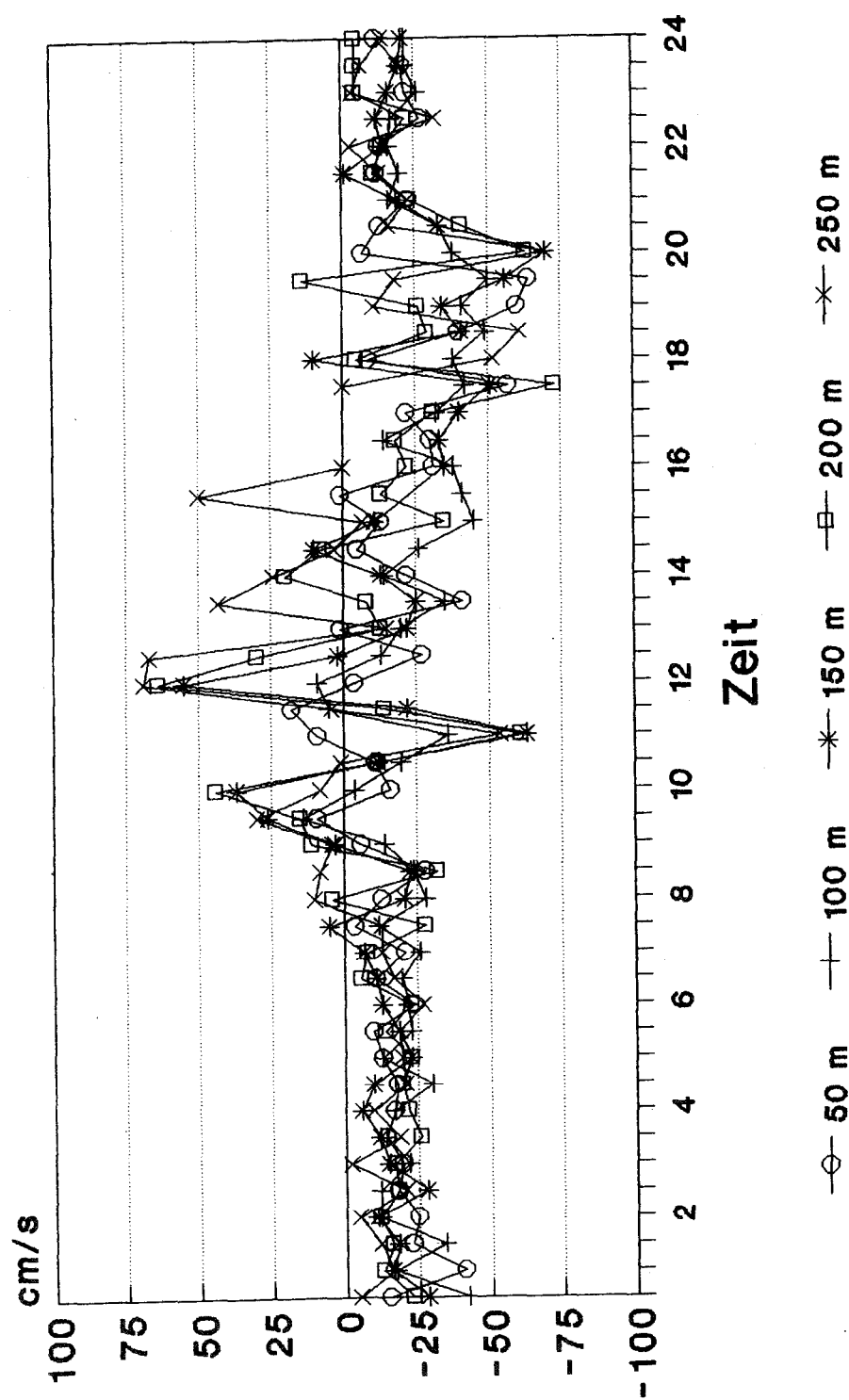


Abb. 89

Vertikalgeschwindigkeit 22.7. 1990

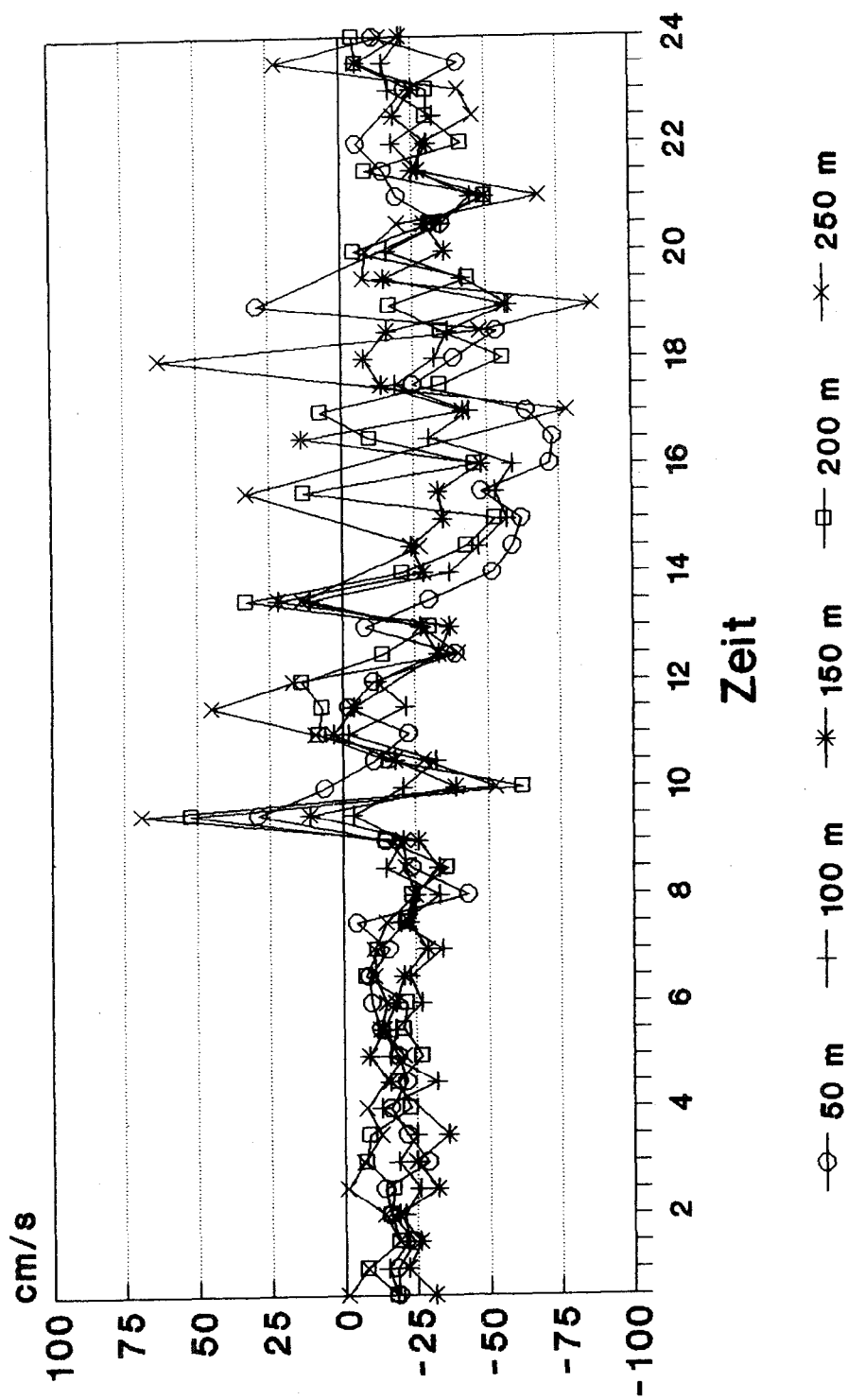


Abb. 90

Vertikalgeschwindigkeit 23.7. 1990

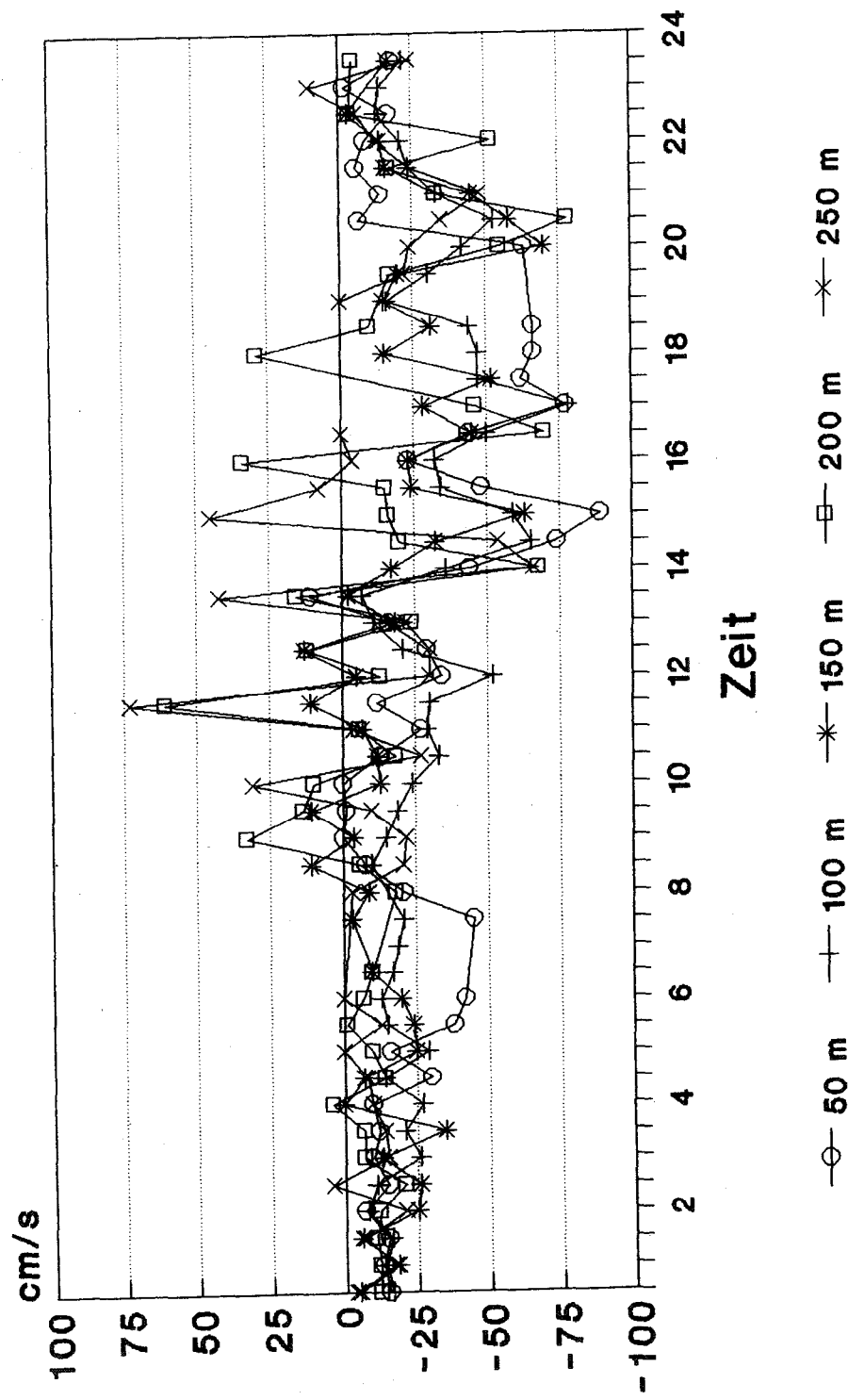


Abb. 91

Immission 21.7. 1990

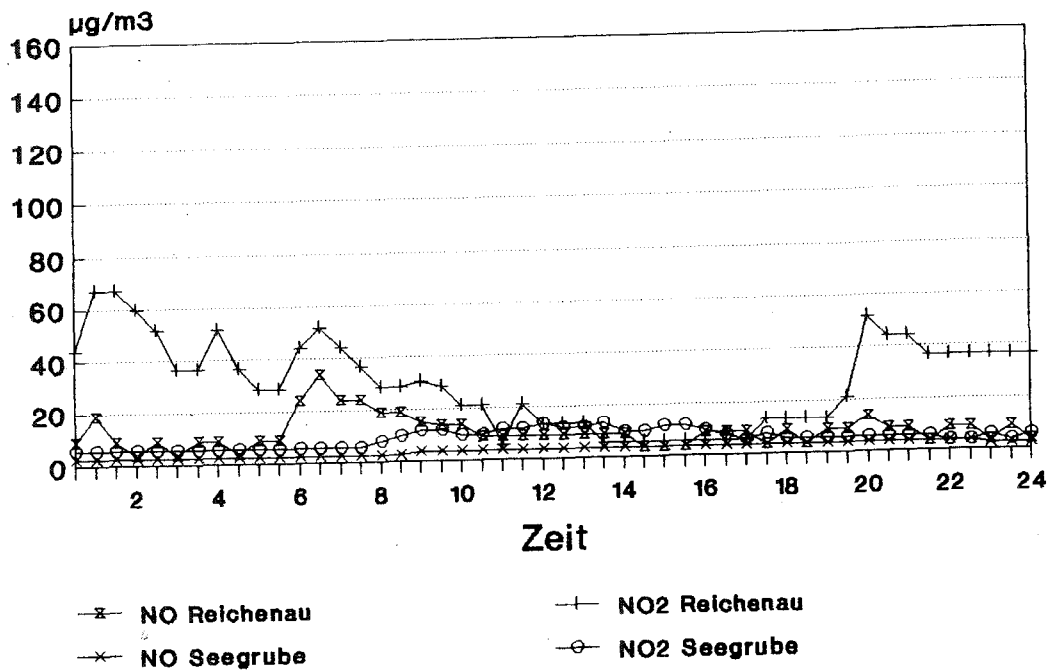
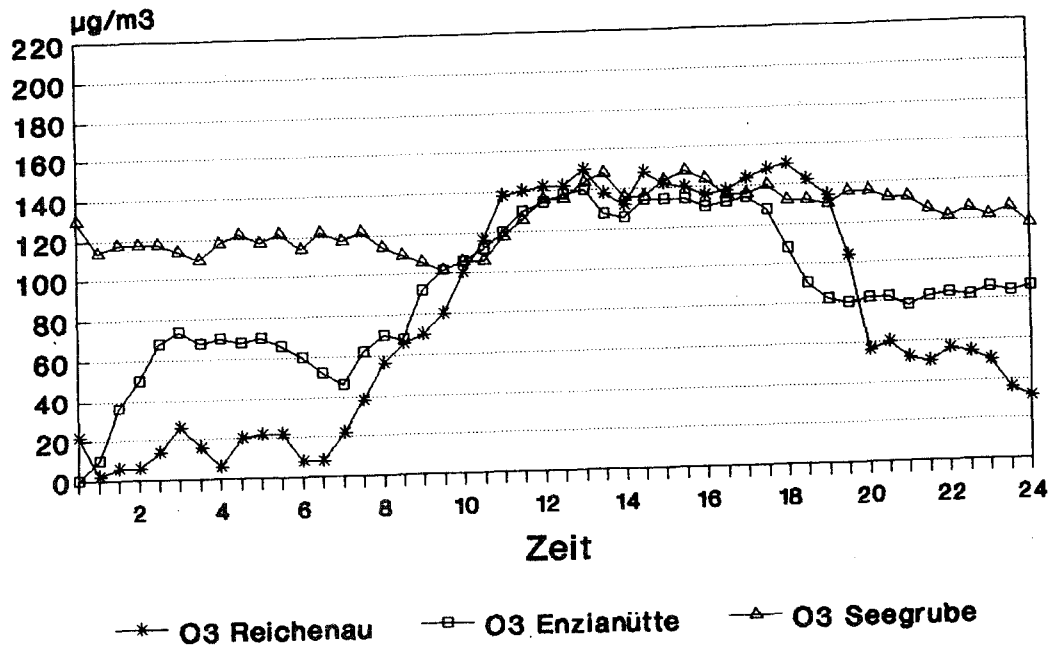


Abb. 92

Immission 22.7. 1990

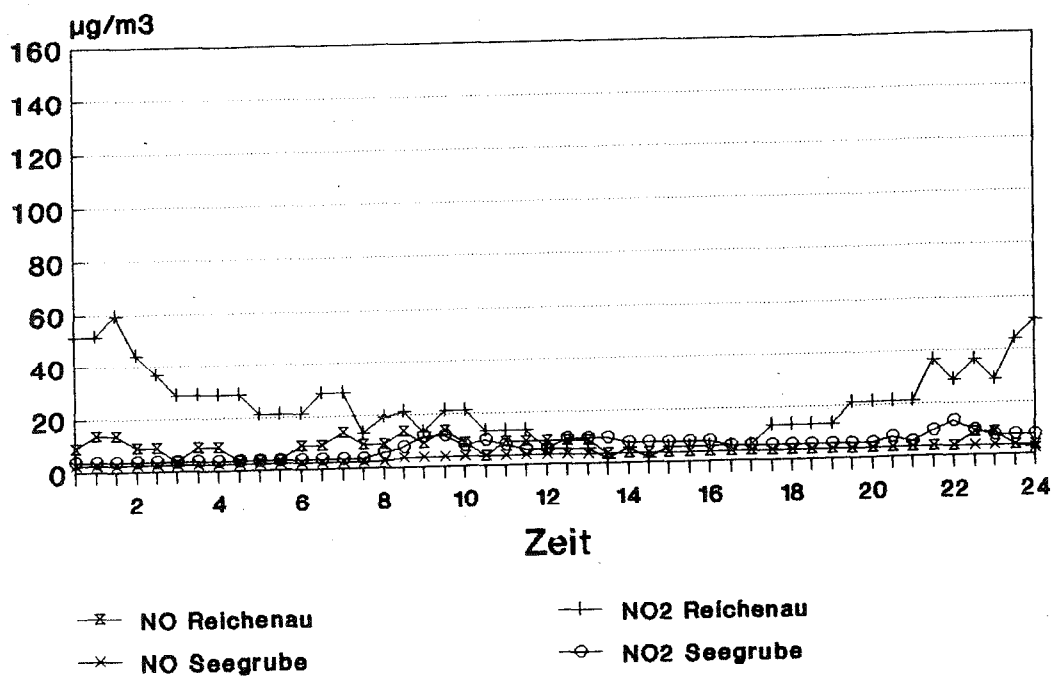
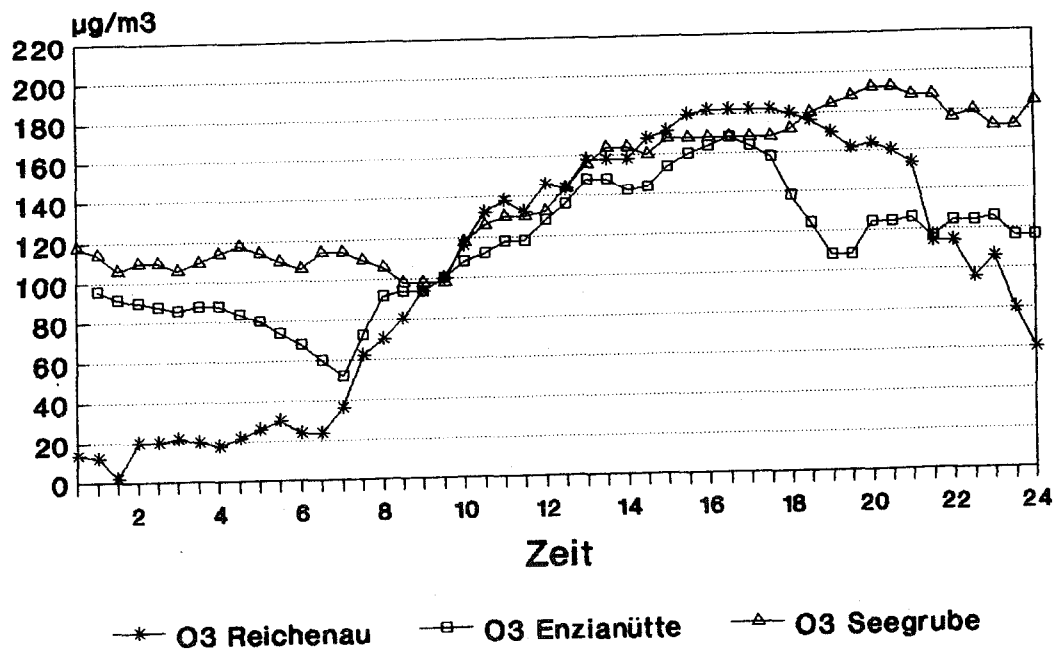
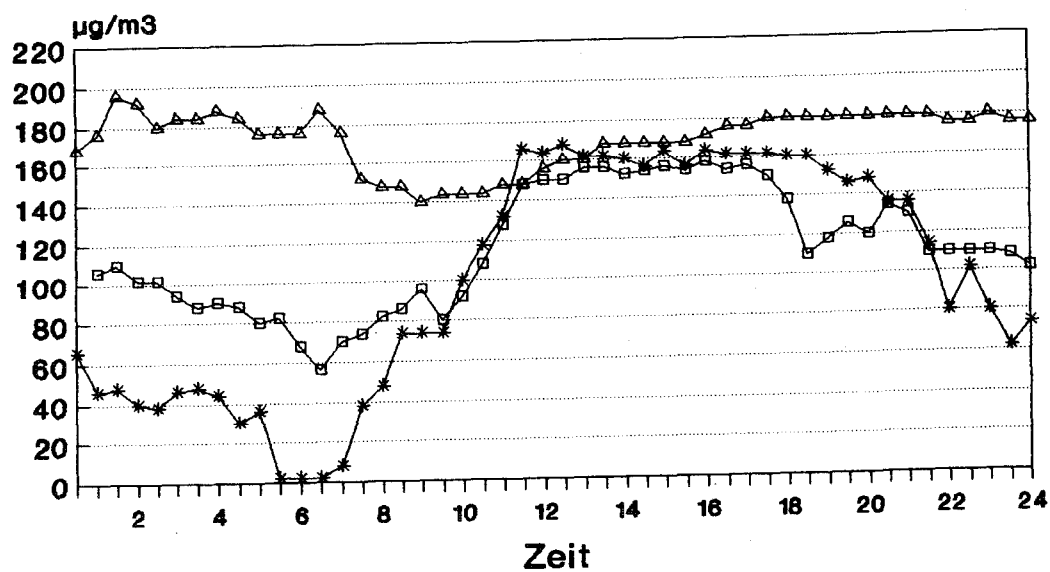
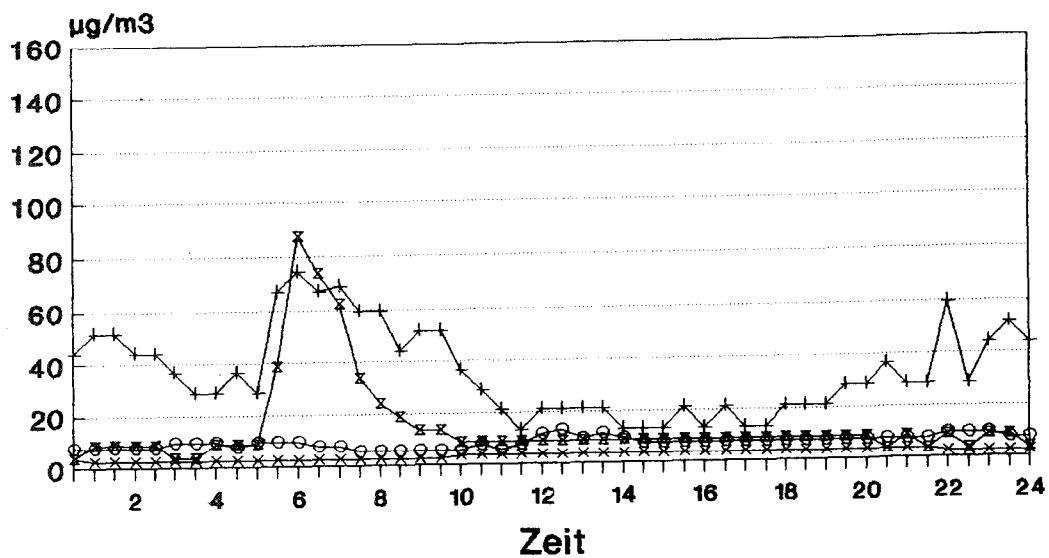


Abb. 93

Immission
23.7. 1990



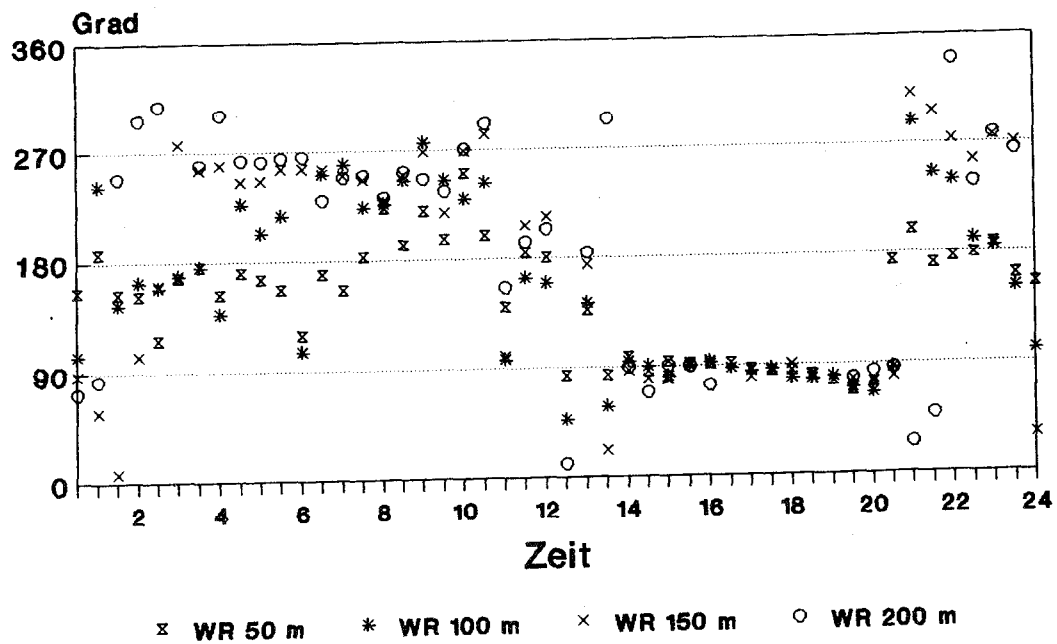
—*— O₃ Reichenau —□— O₃ Enzianhütte —△— O₃ Seegrube



—x— NO Reichenau —+— NO₂ Reichenau
—*— NO Seegrube —○— NO₂ Seegrube

Abb. 94

Windrichtung Hall i.T. 28.7. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 28.7. 1990

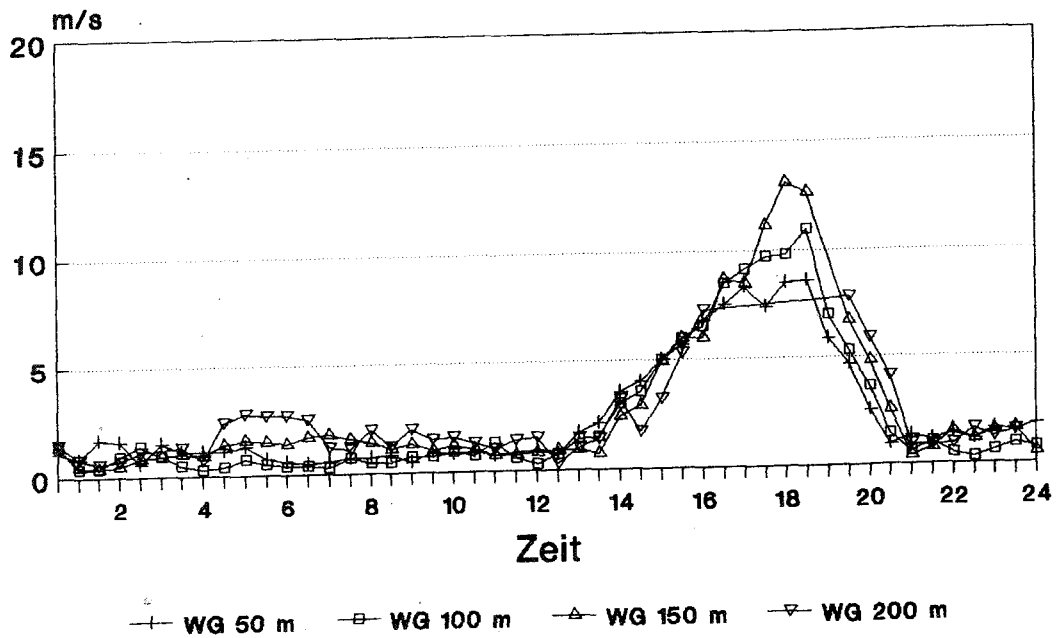
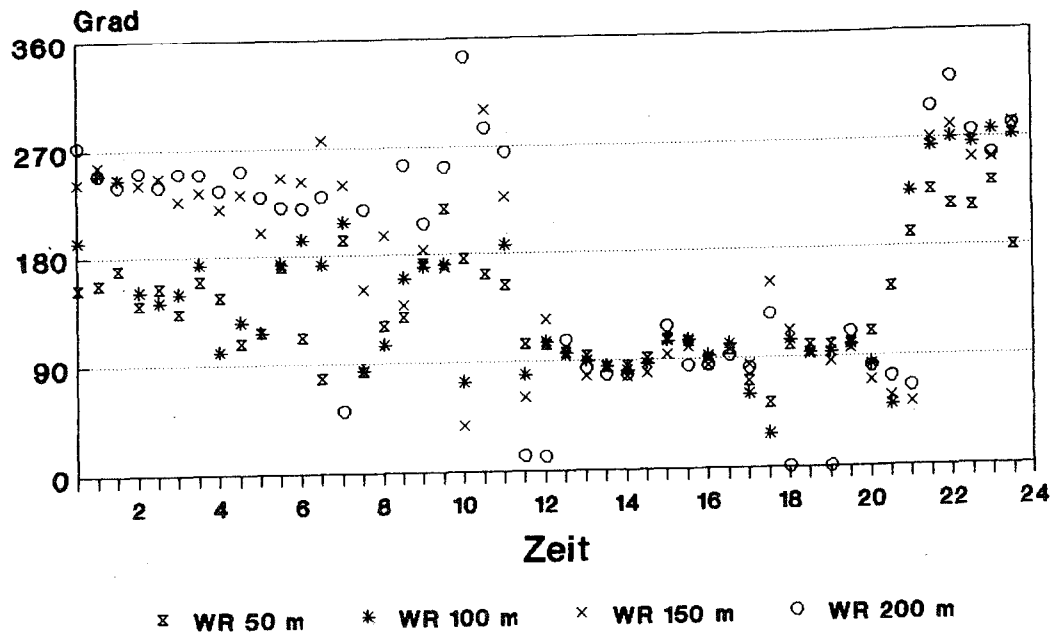


Abb. 95

Windrichtung Hall. i.T. 29.7. 1990



Windgeschwindigkeit Hall. i.T. 29.7. 1990

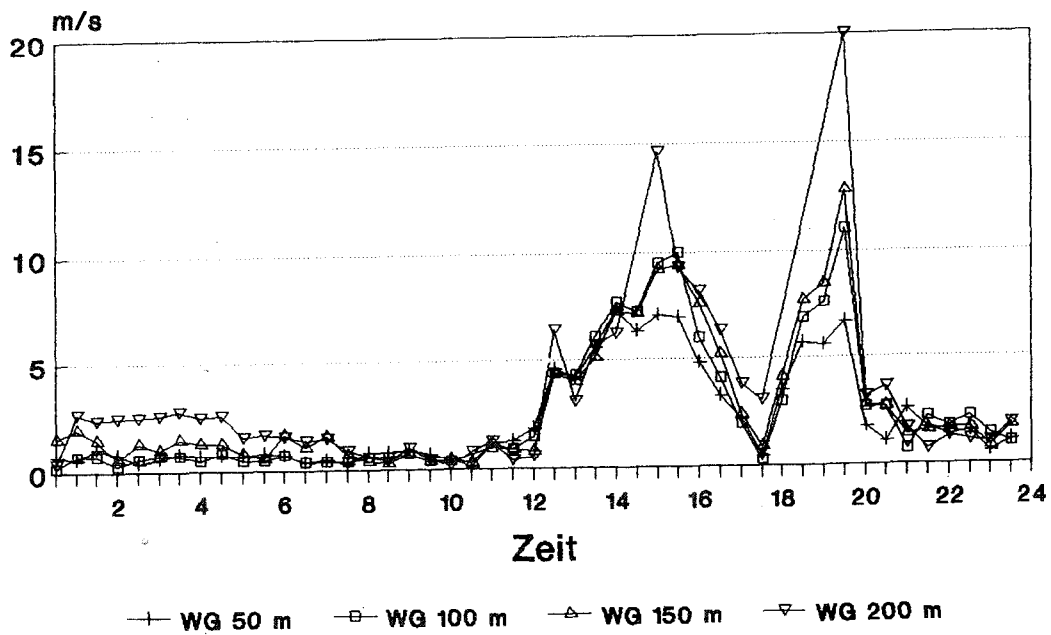
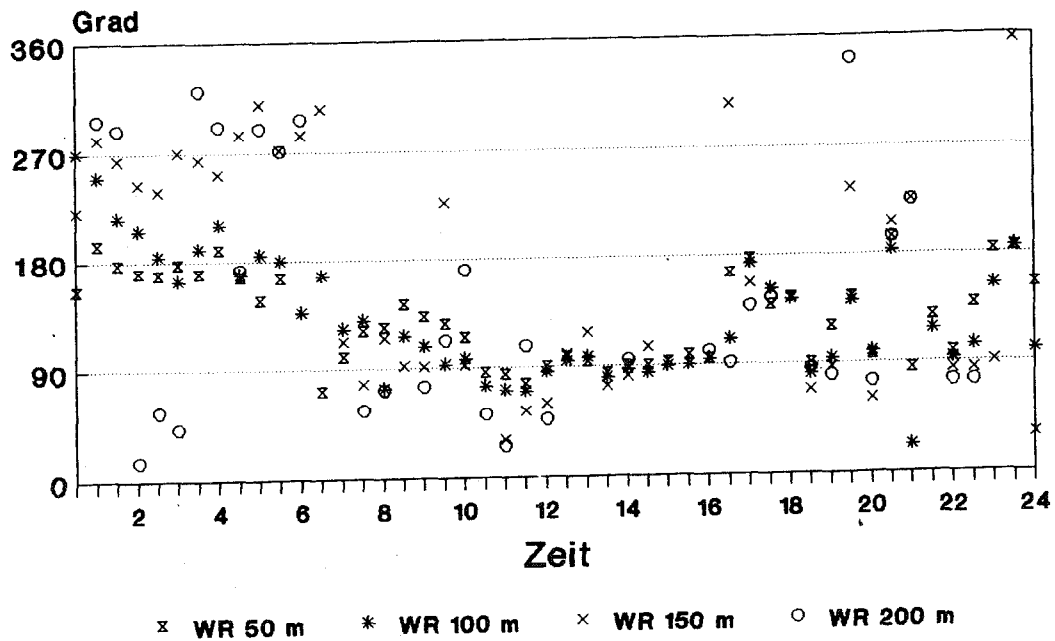


Abb. 96

Windrichtung Hall i.T. 30.7. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 30.7. 1990

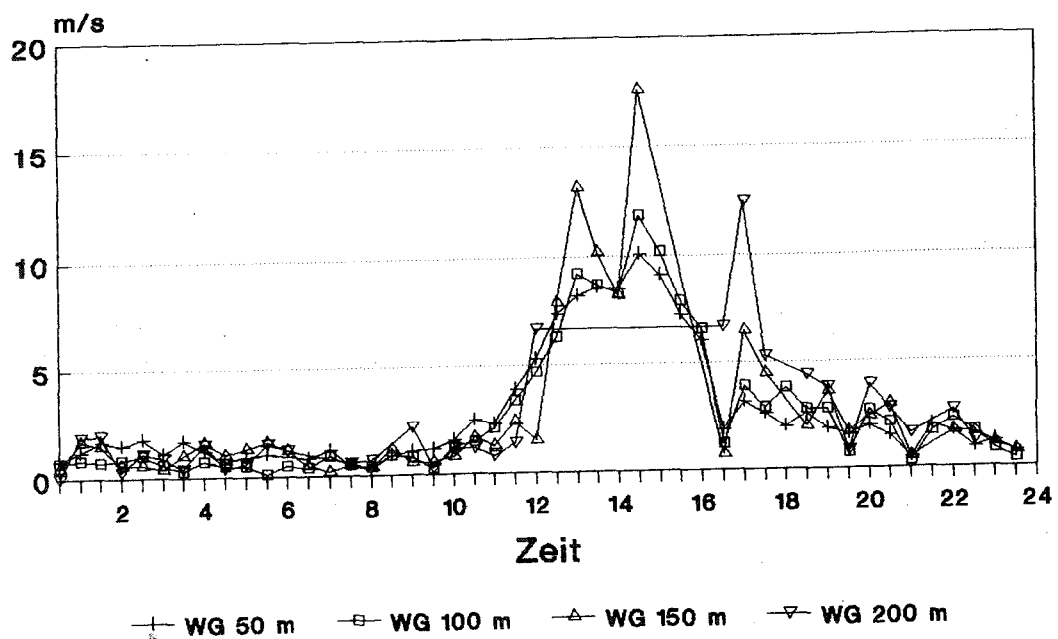
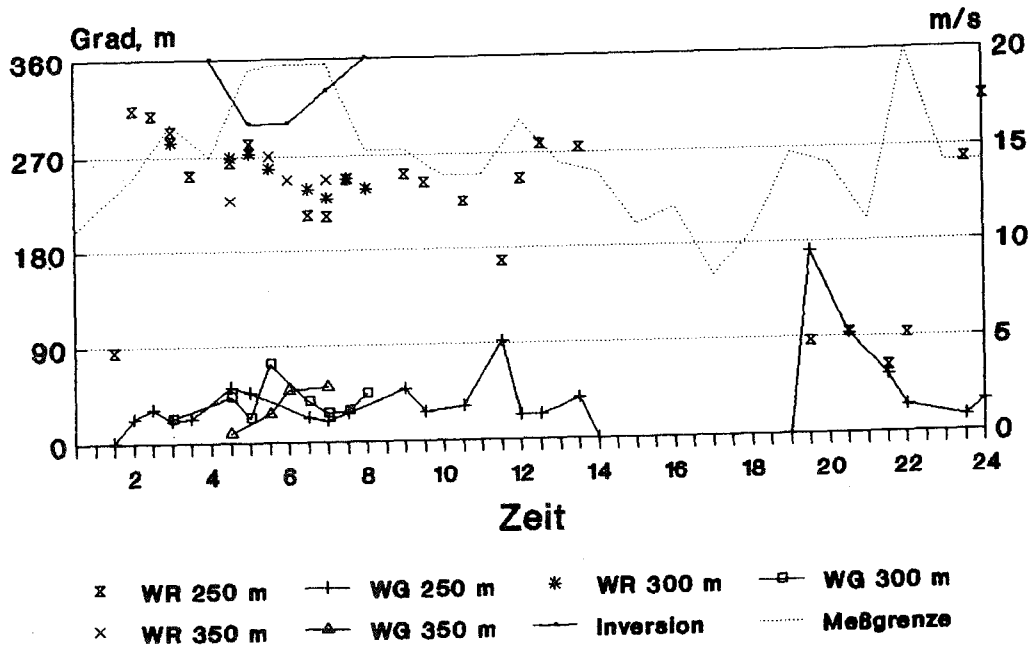


Abb. 97

Wind Hall i.T.
28.7. 1990



Wind Hall. i.T.
29.7. 1990

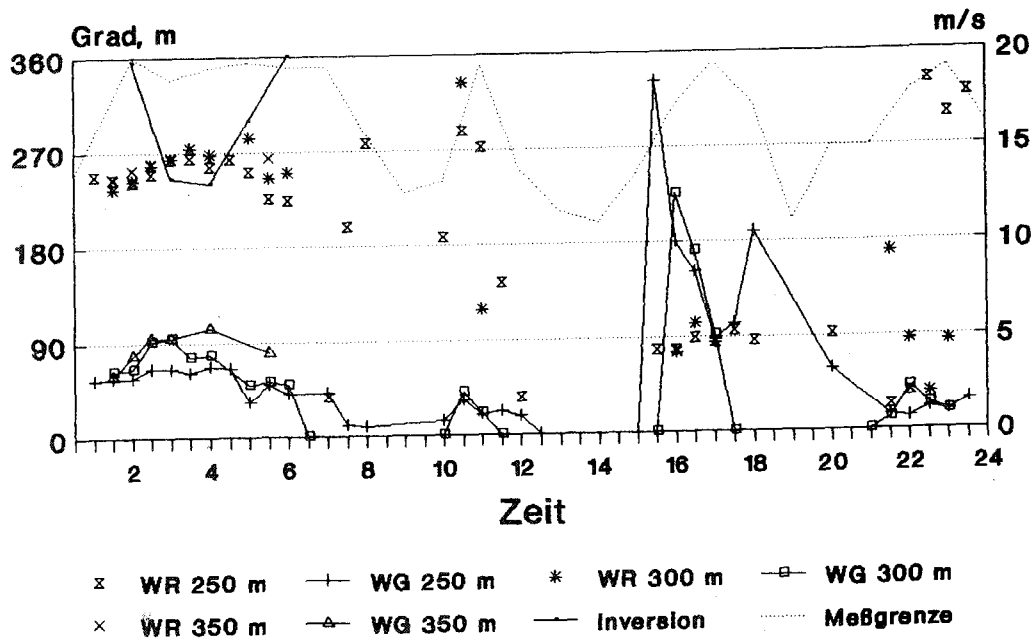


Abb. 98

Vertikalgeschwindigkeit 28.7. 1990

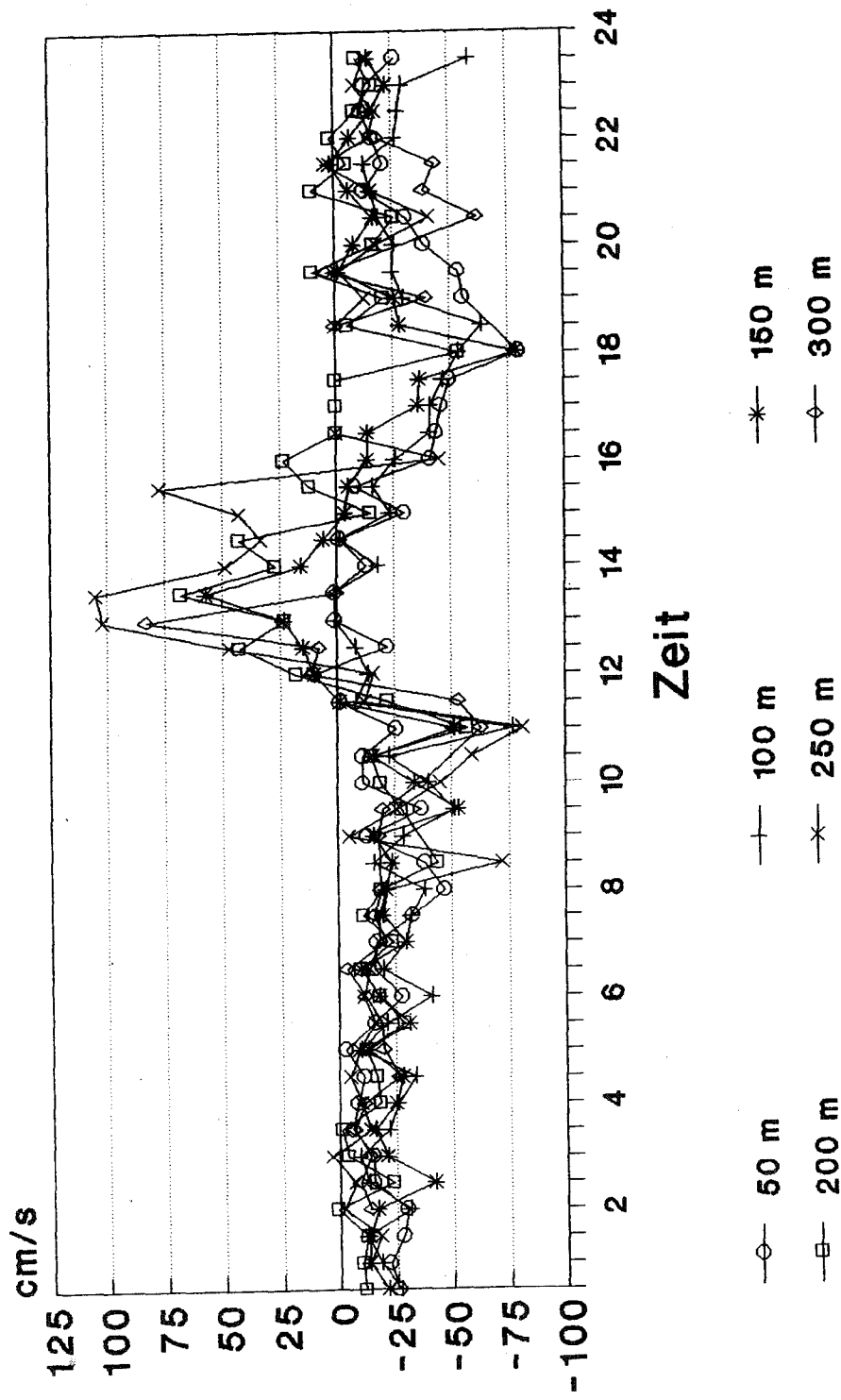


Abb. 99

Vertikalgeschwindigkeit 29.7. 1990

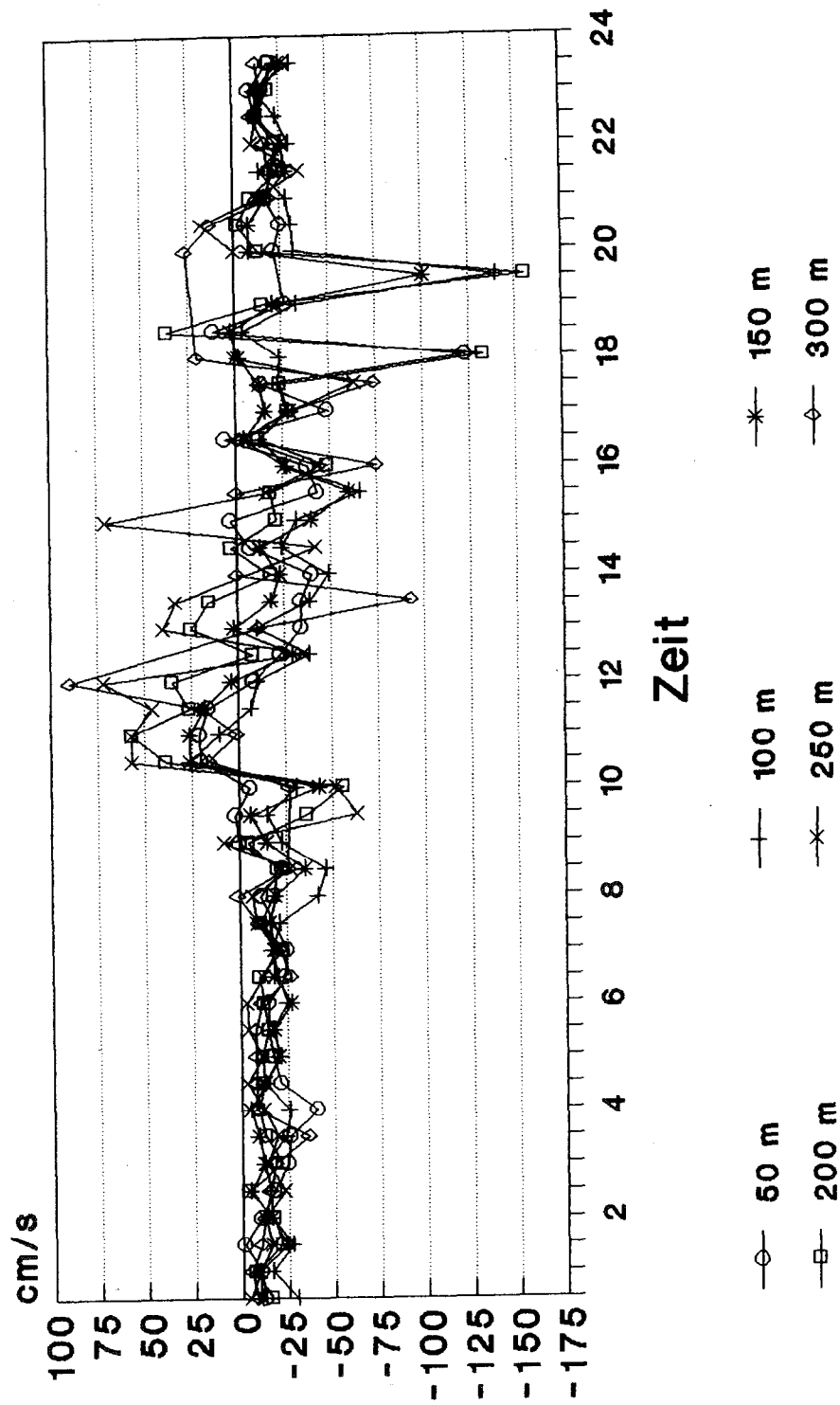


Abb. 100

Vertikalgeschwindigkeit 30.7. 1990

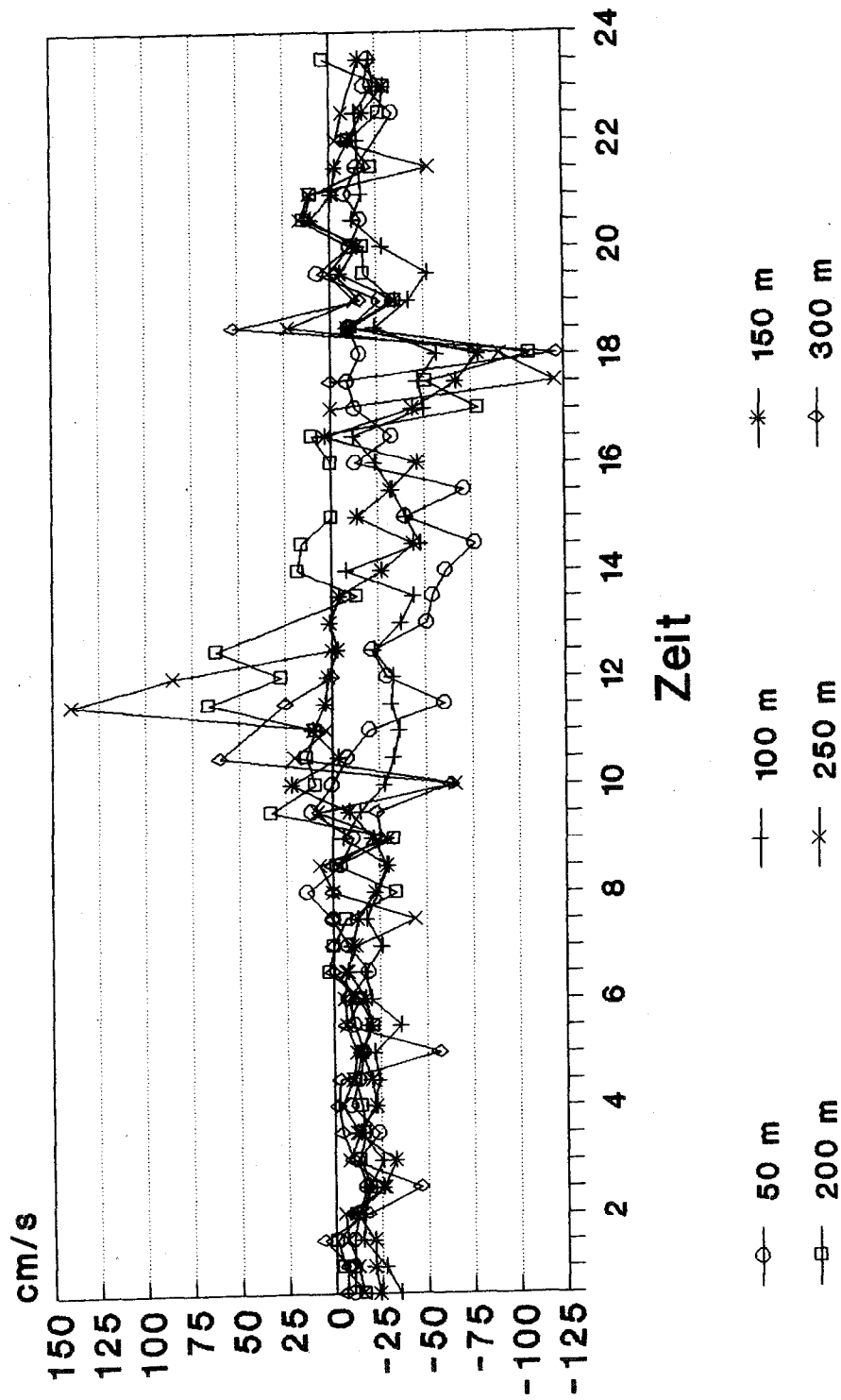


Abb. 101

Immission
28.7. 1990

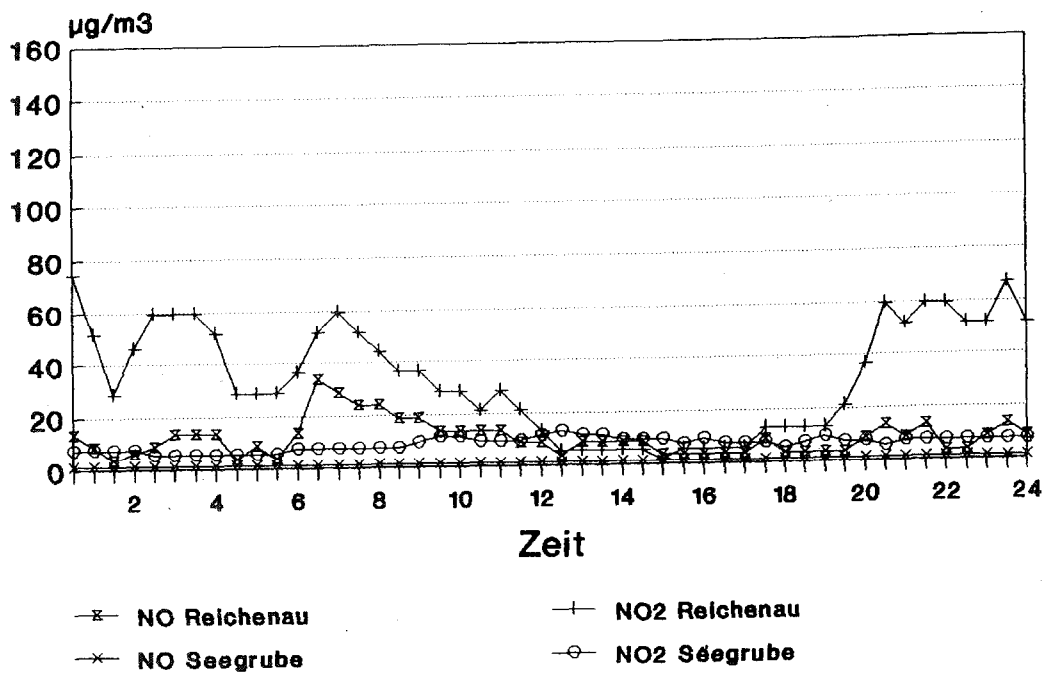
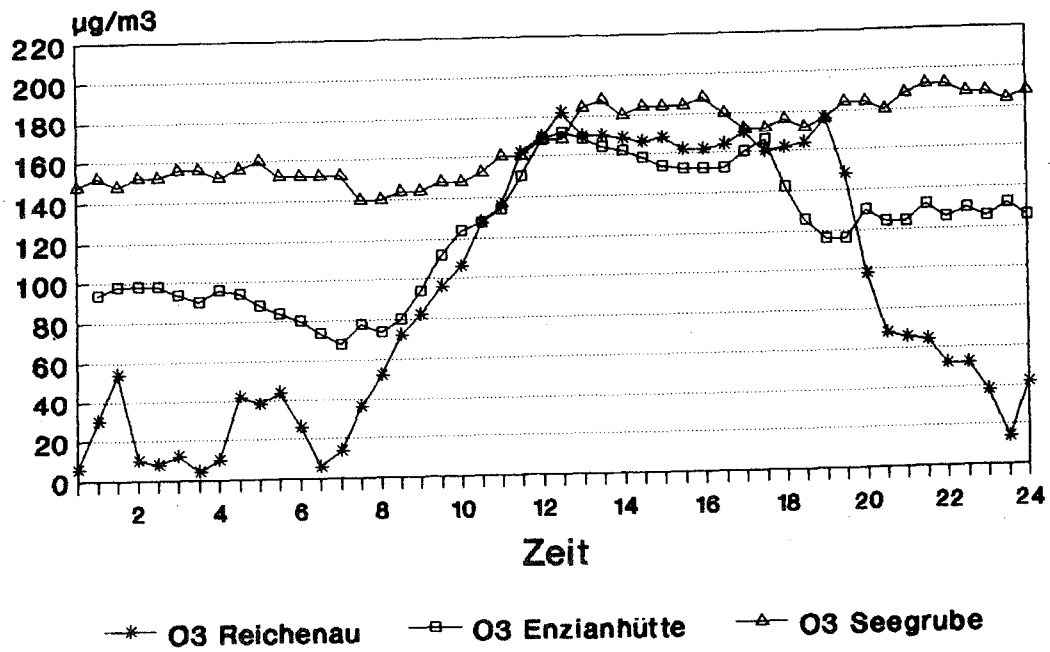


Abb. 102

Immission
29.7. 1990

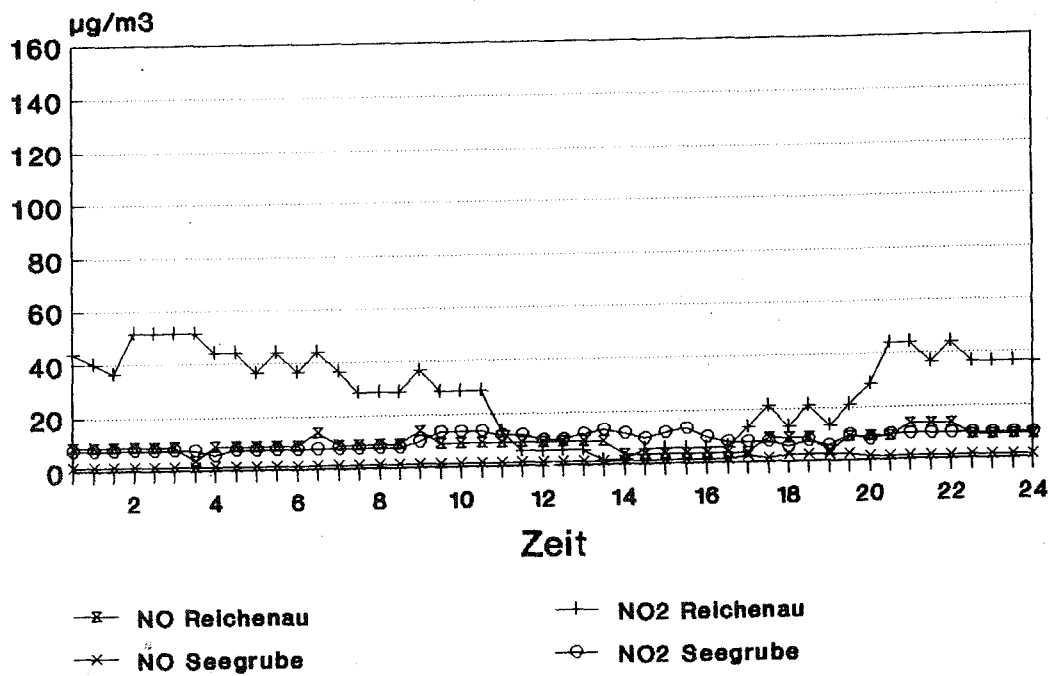
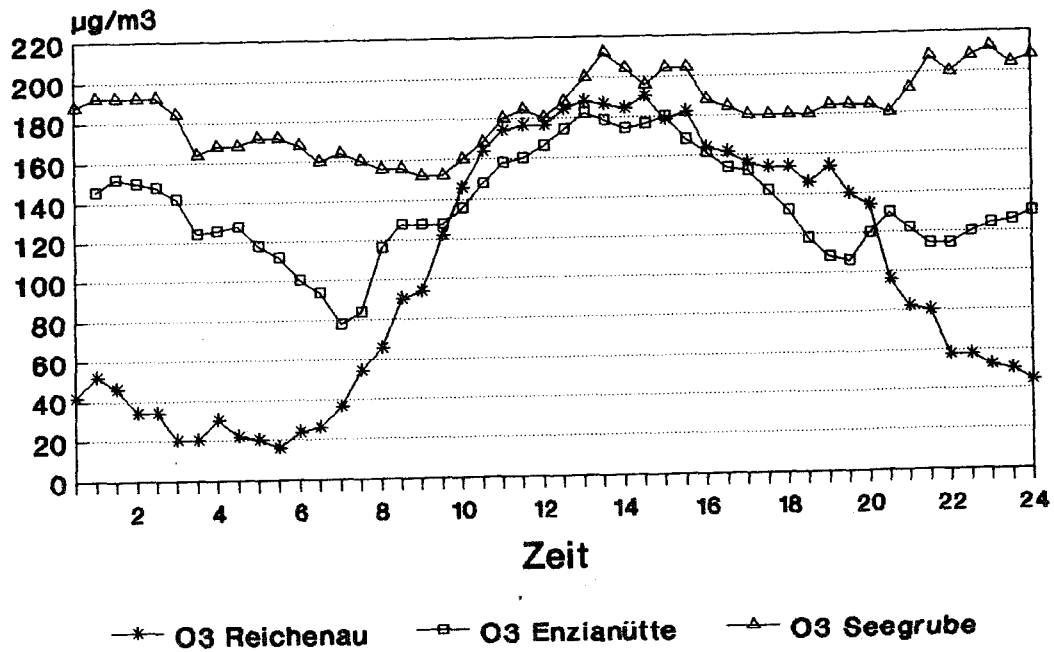


Abb. 103

Immission 30.7. 1990

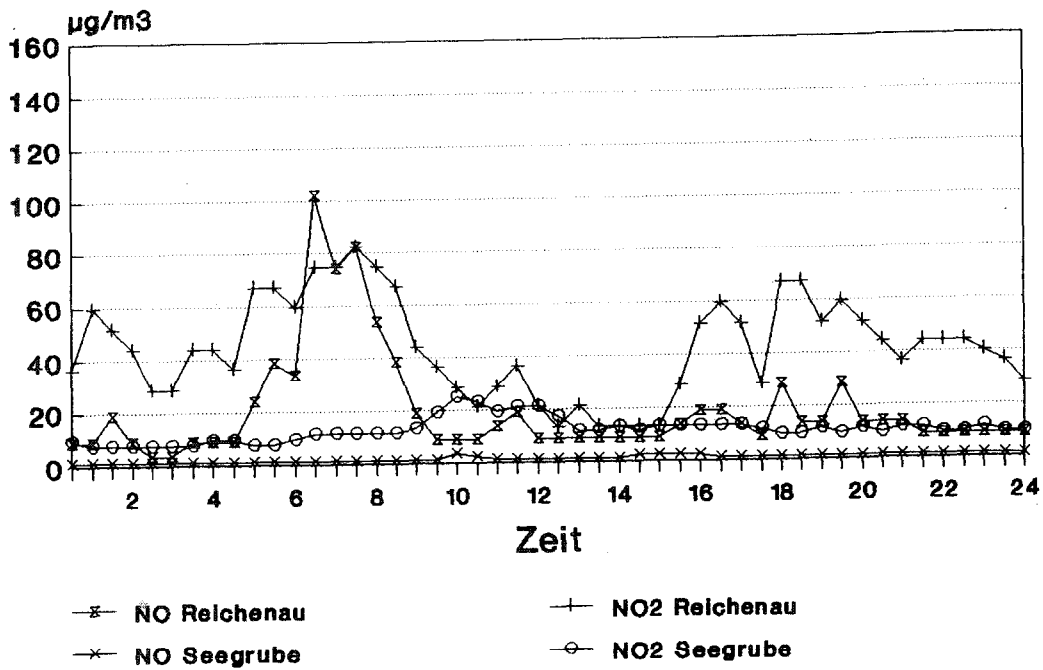
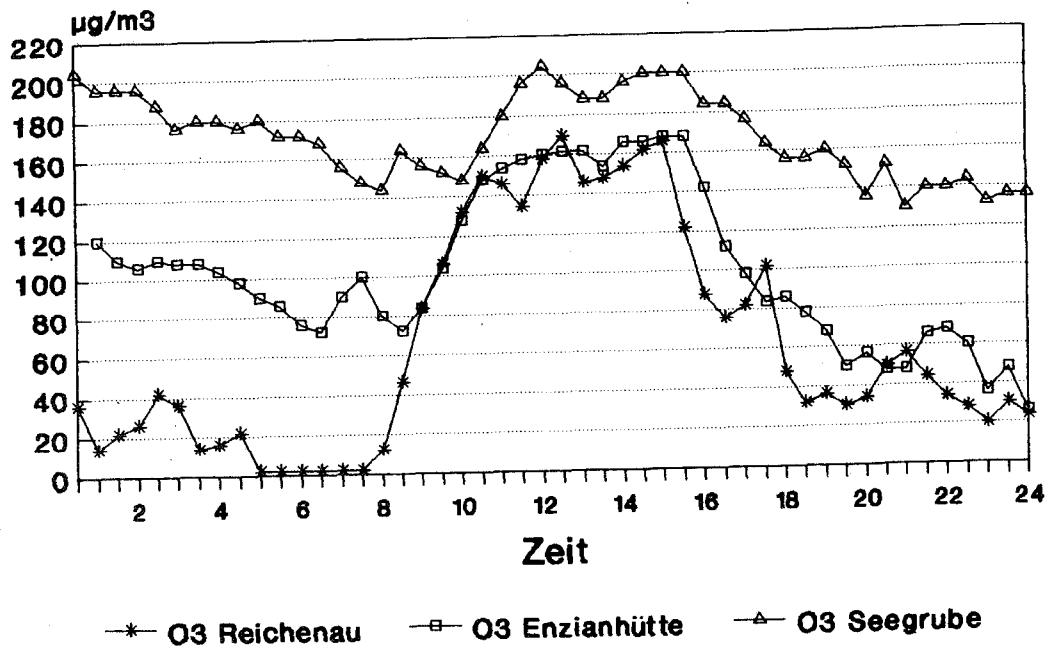
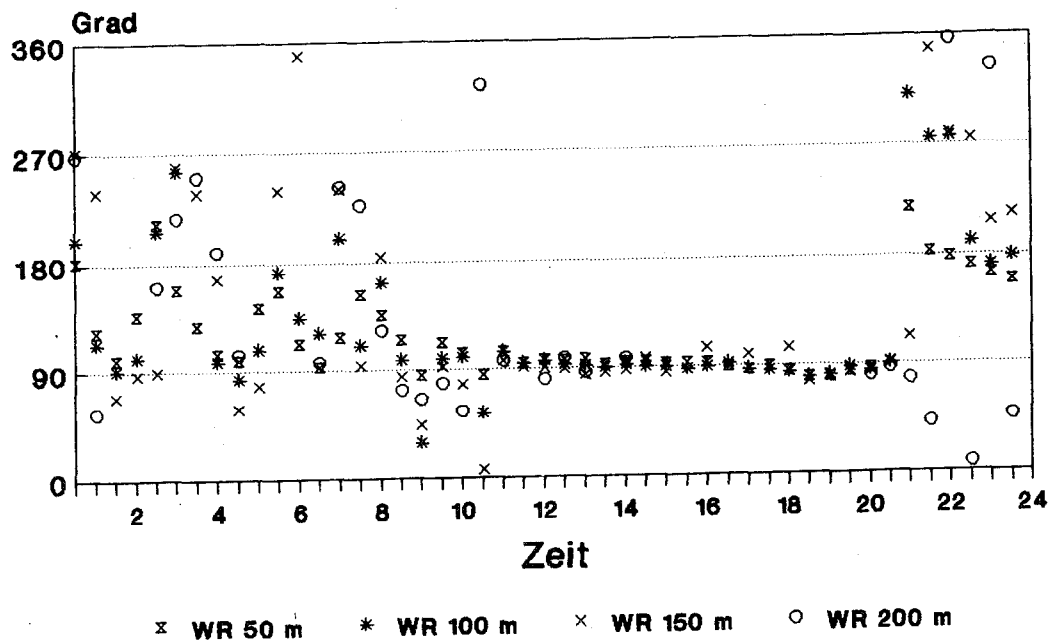


Abb. 104

Windrichtung Hall i.T. 4.8. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 4.8. 1990

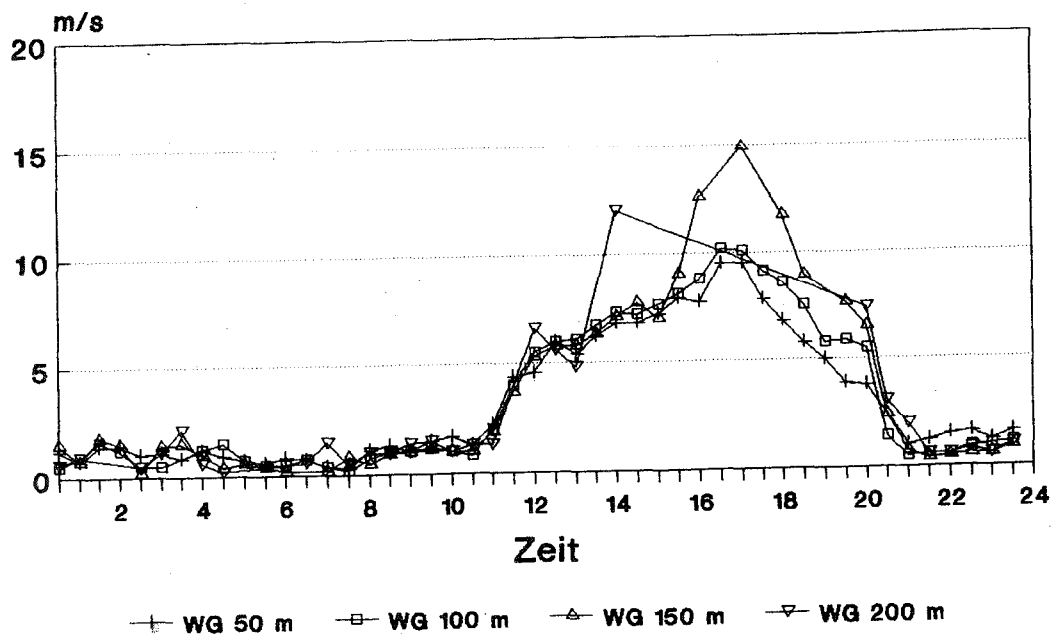
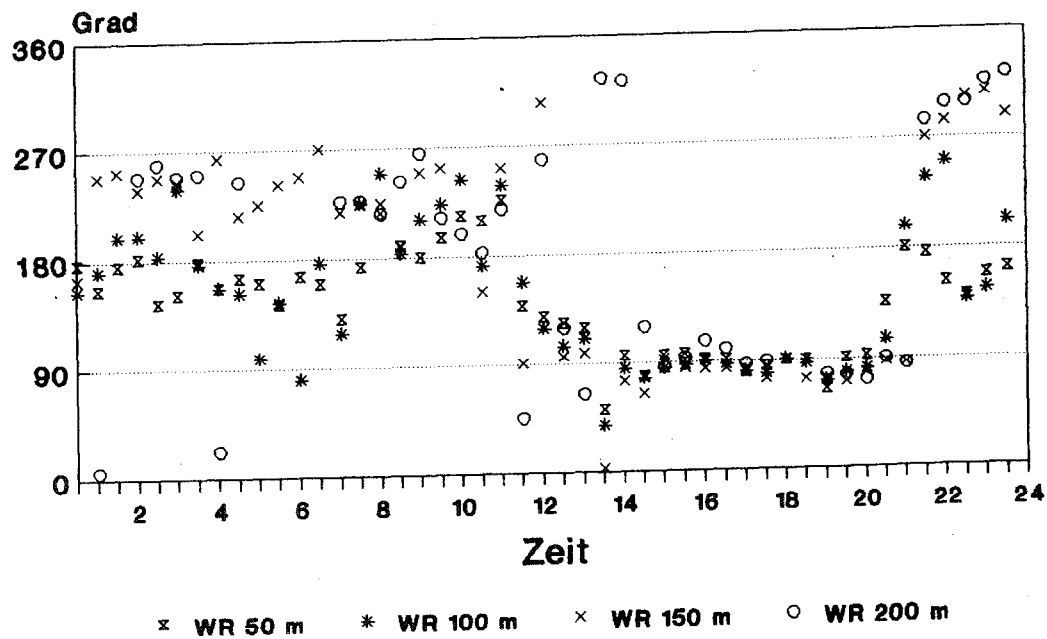


Abb. 105

Windrichtung Hall i.T. 5.8. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 5.8. 1990

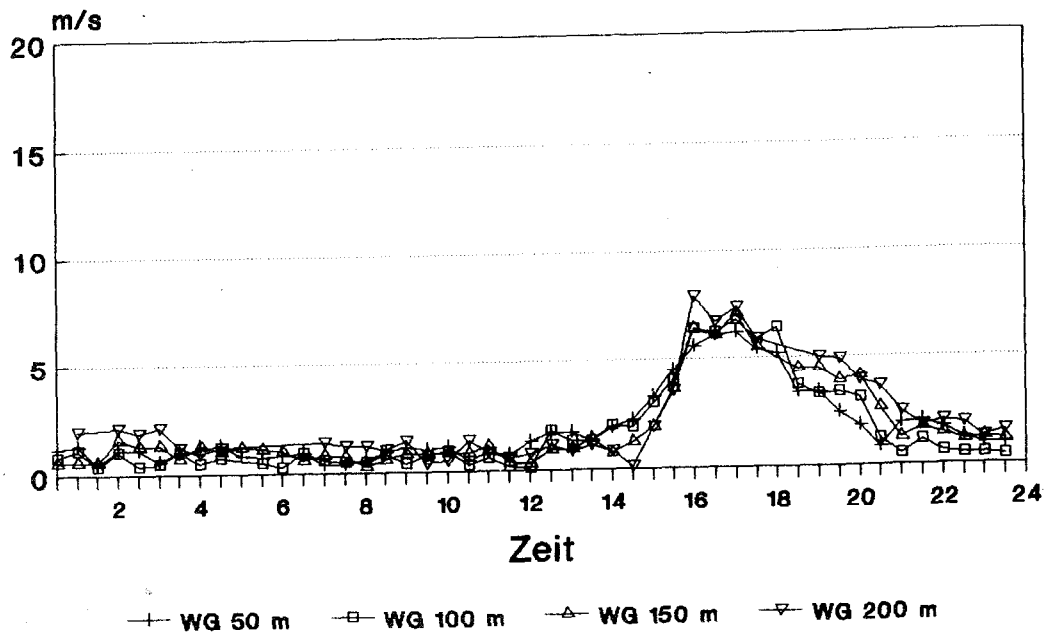
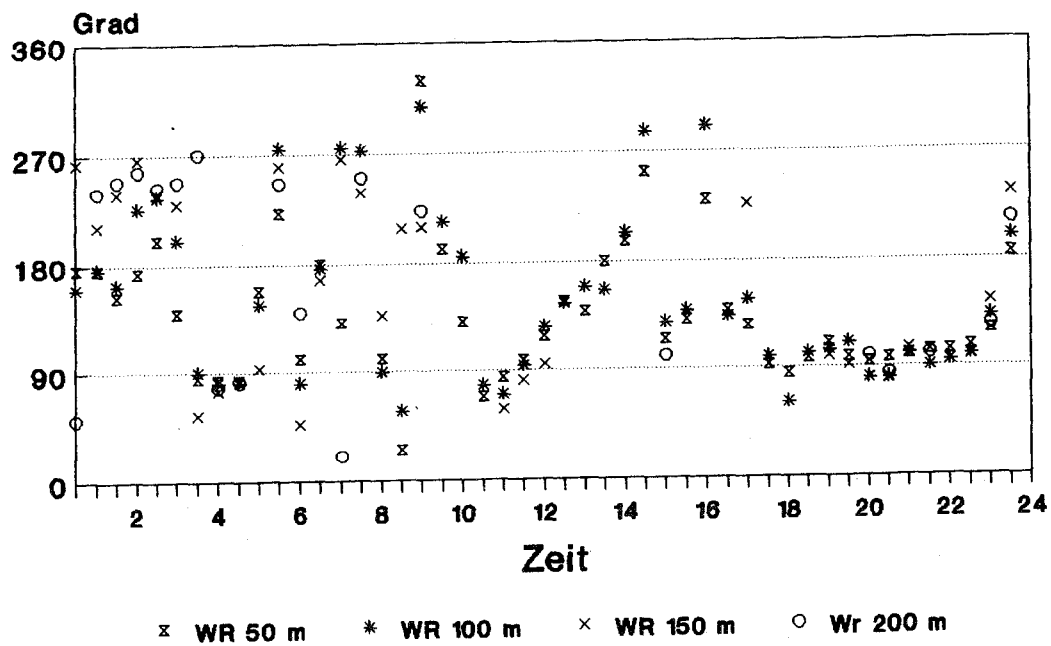


Abb. 106

Windrichtung Hall i.T. 6.8. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 6.8. 1990

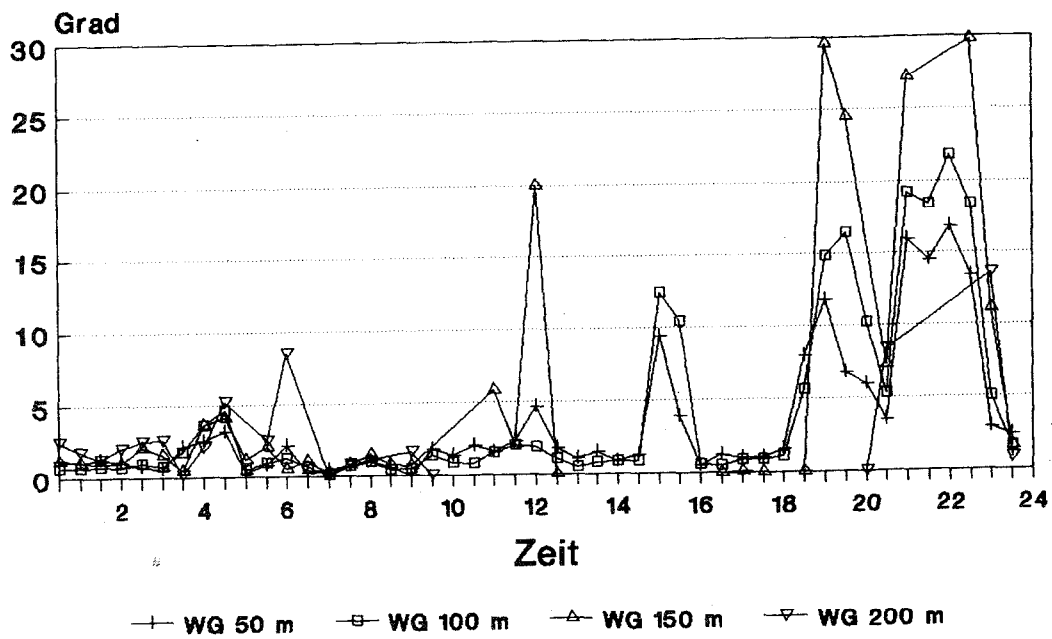
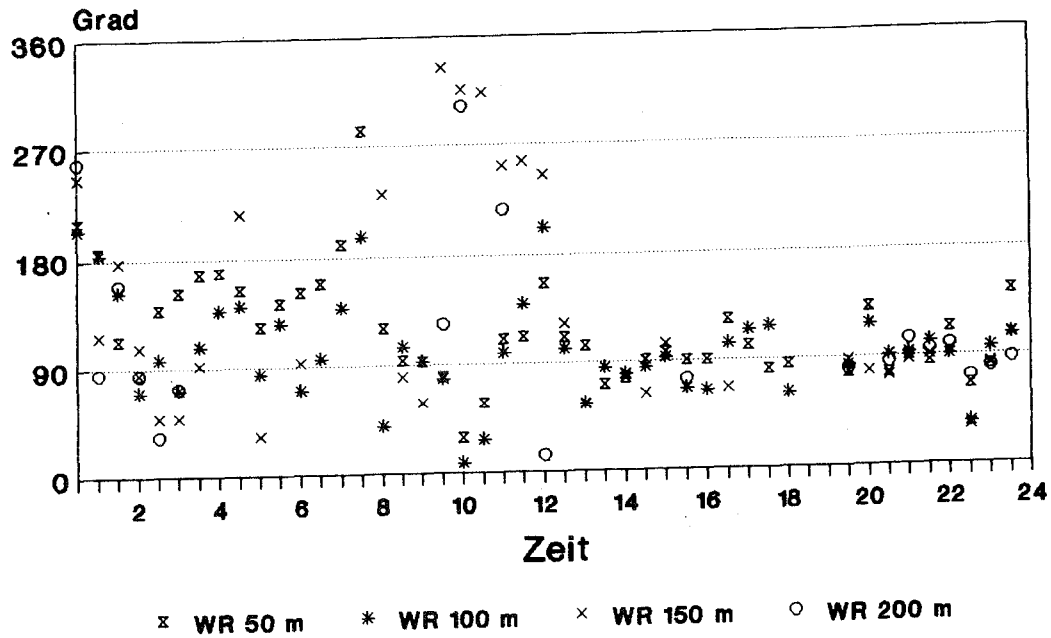


Abb. 107

Windrichtung Hall i.T. 7.8. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 7.8. 1990

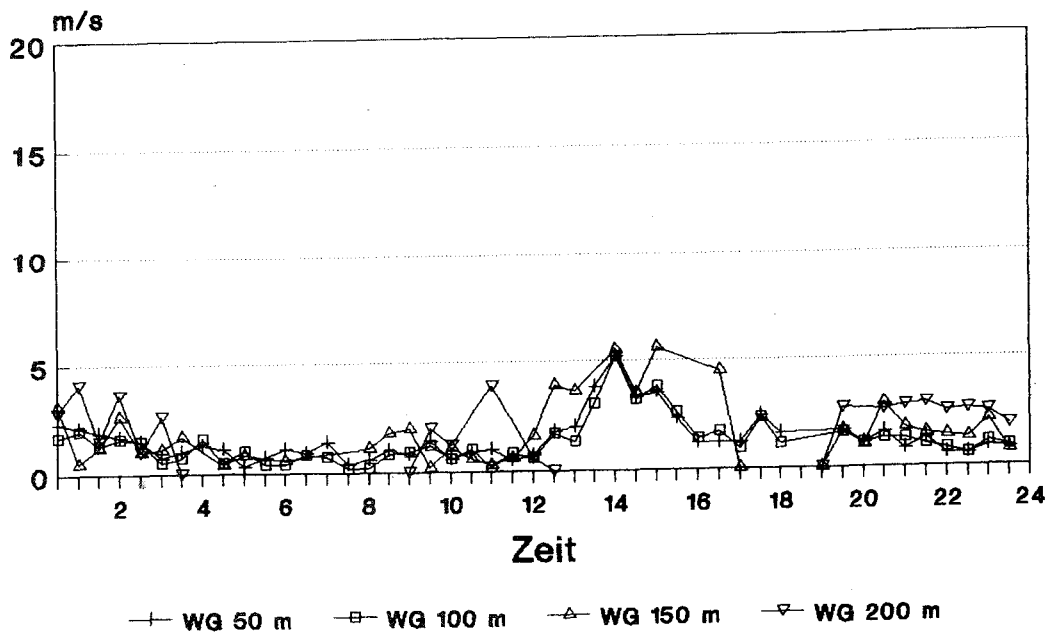
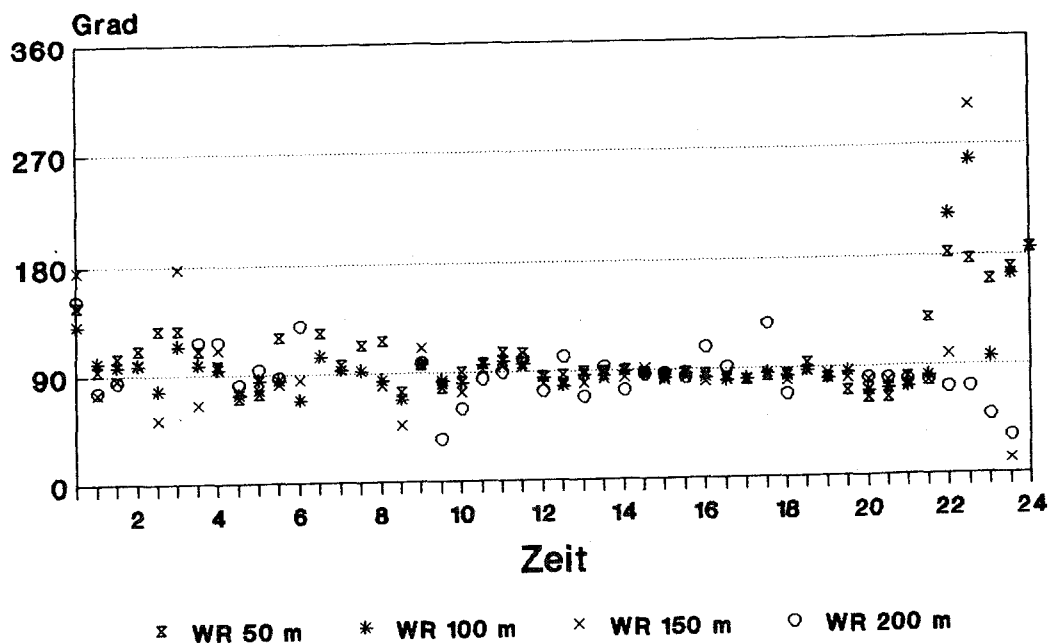


Abb. 108

Windrichtung Hall i.T. 8.8. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 8.8. 1990

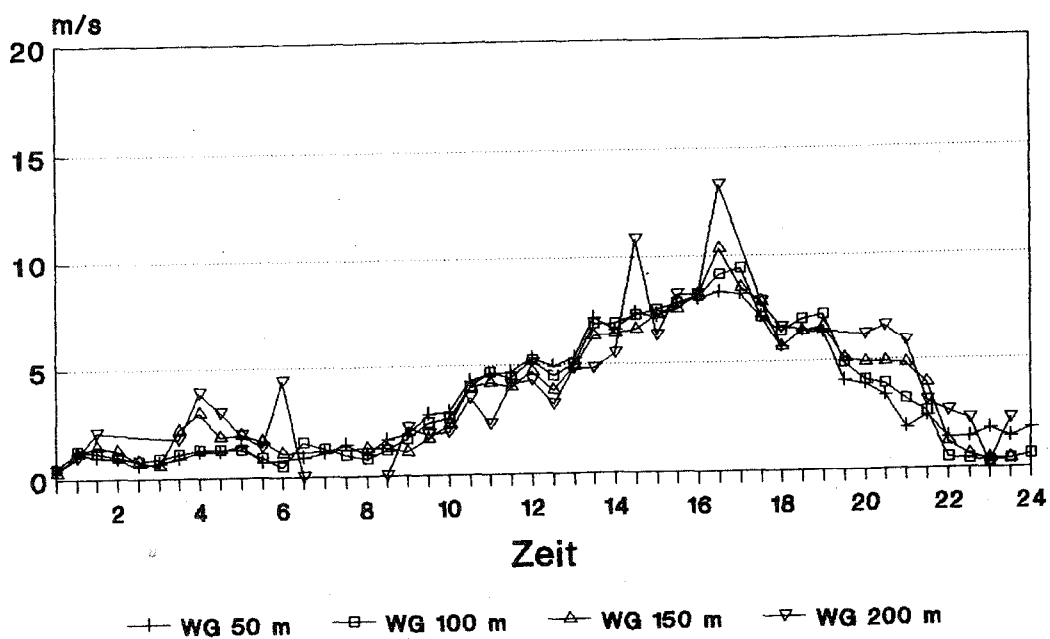


Abb. 109

Immission 4.8. 1990

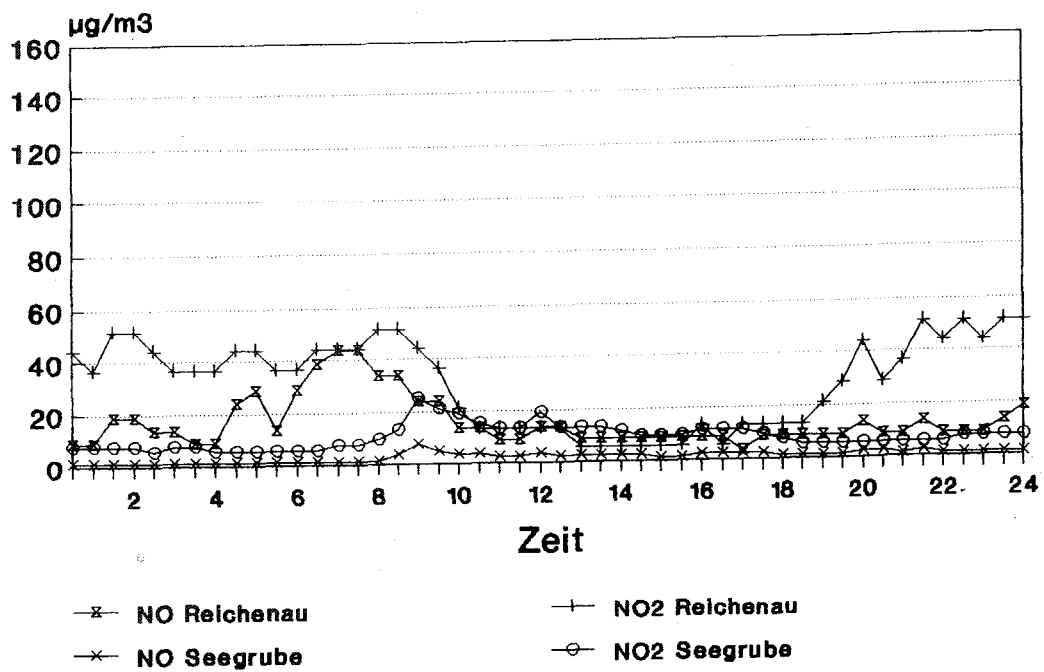
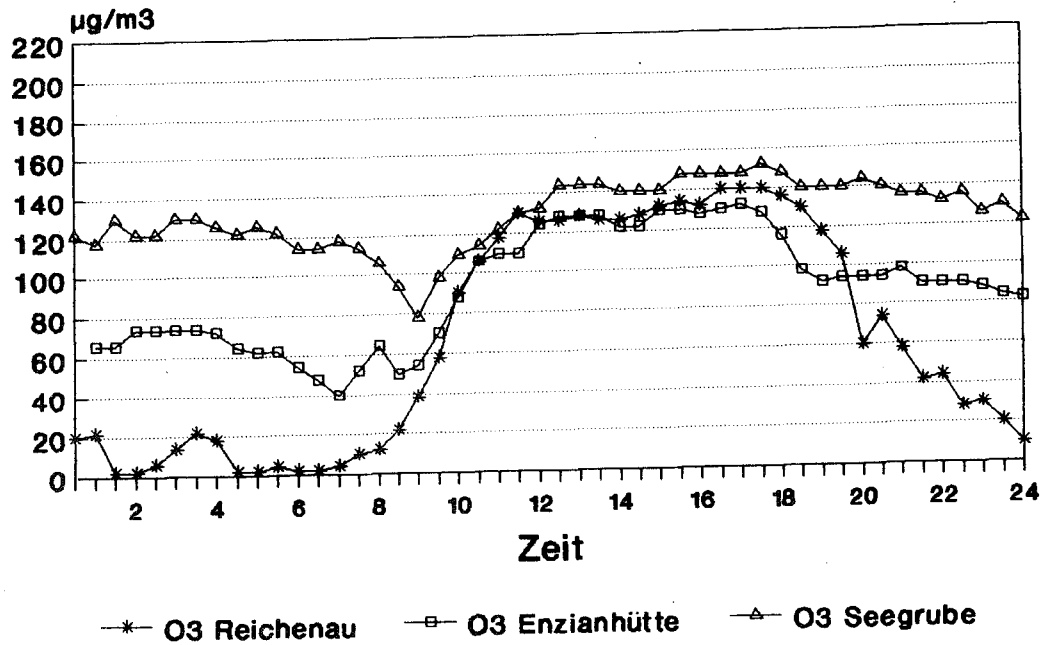


Abb. 110

Immission
5.8. 1990

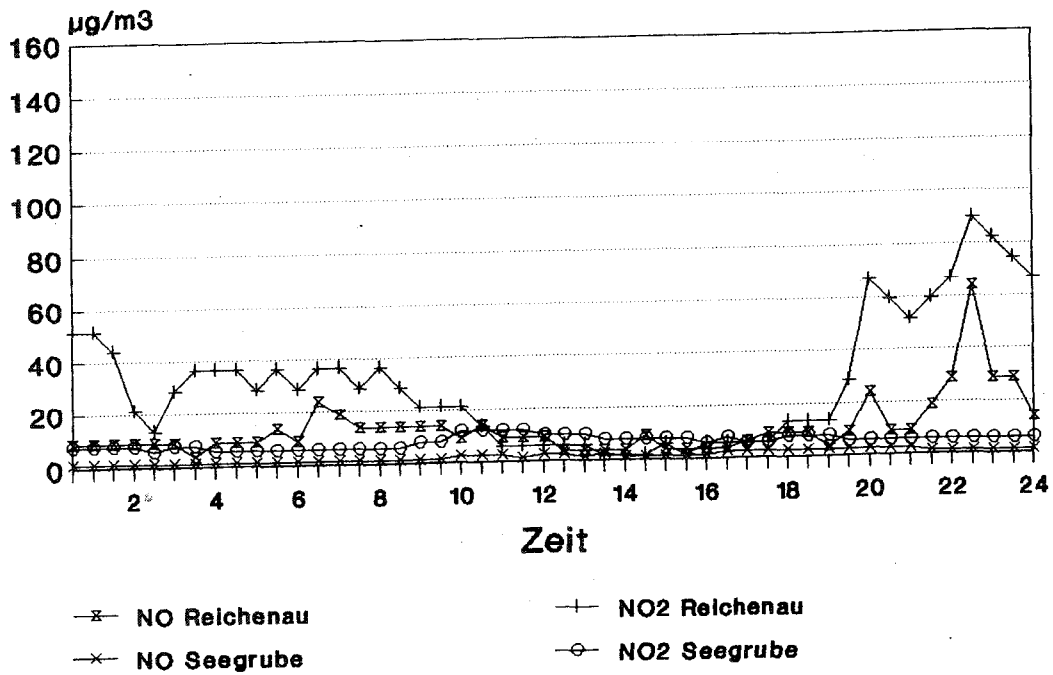
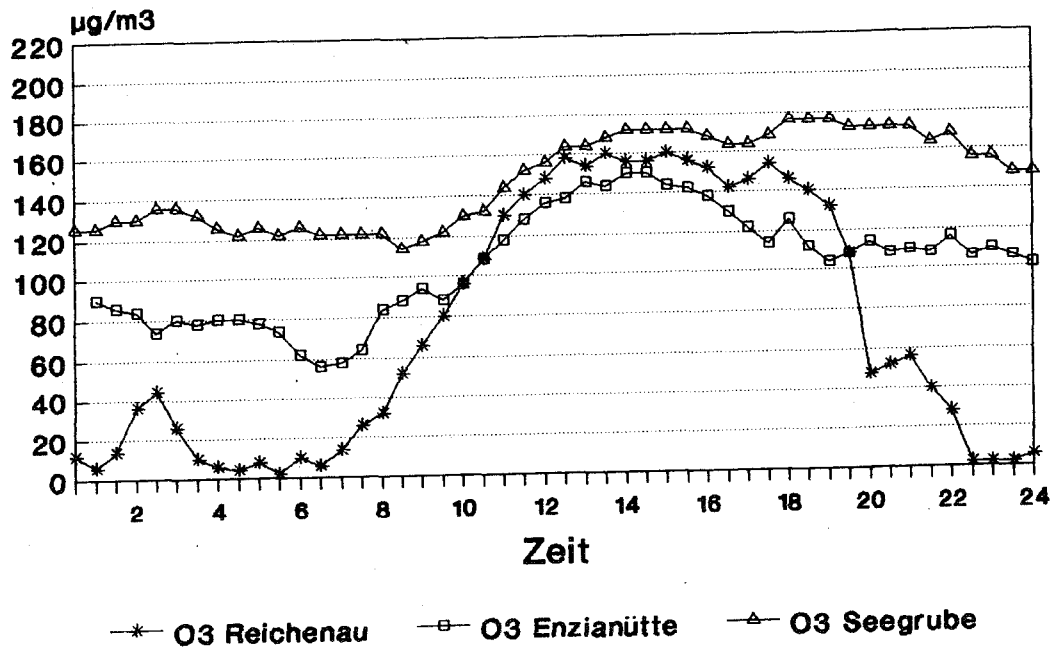


Abb. 111

**Immission
6.8. 1990**

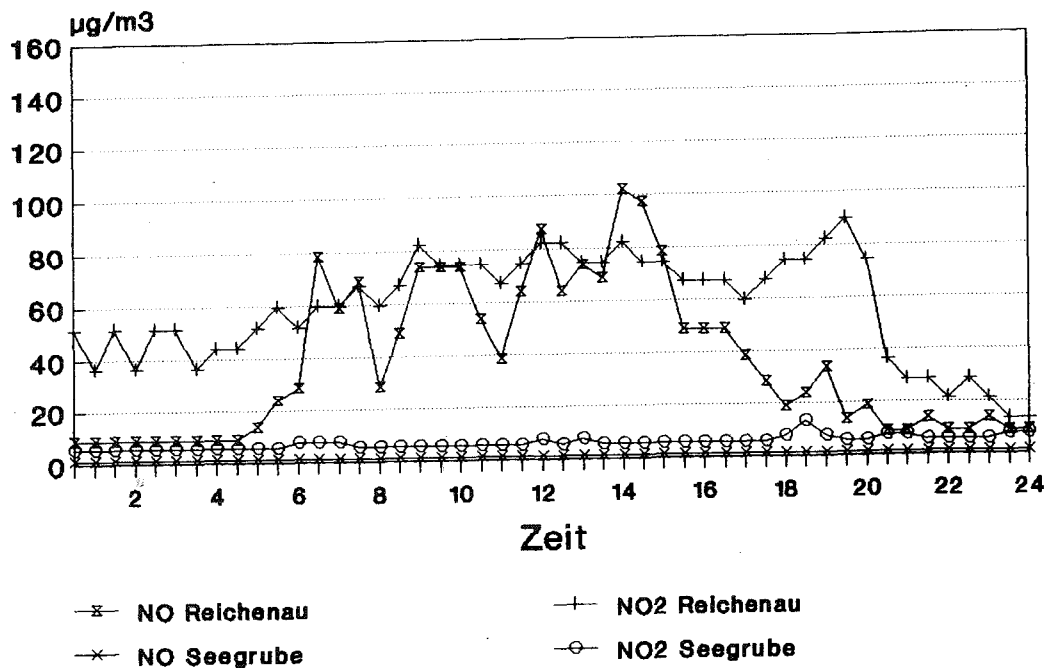
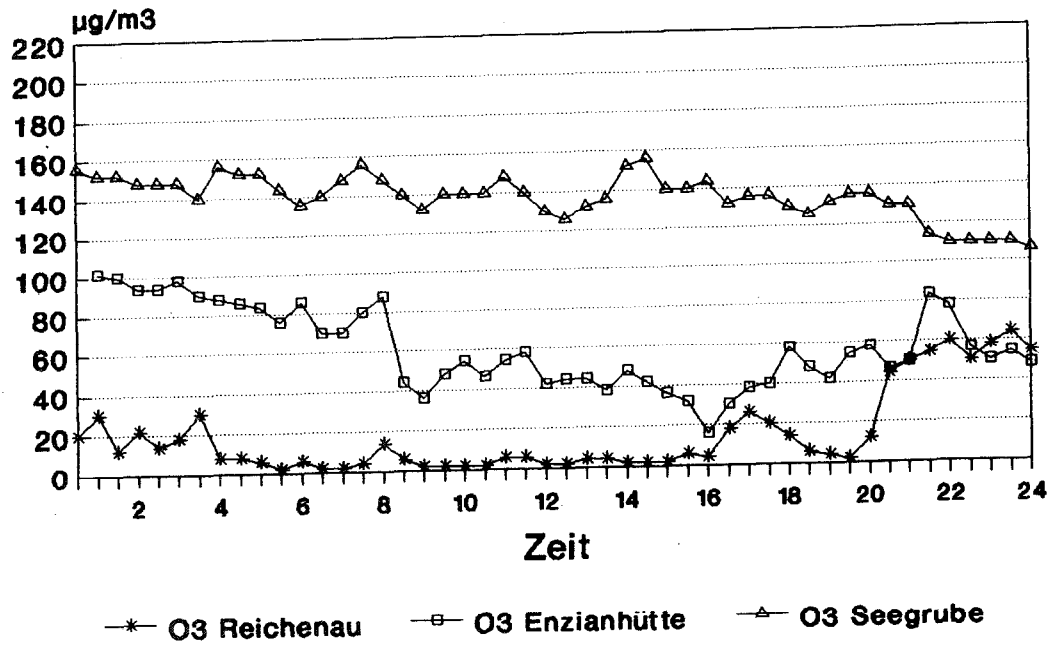


Abb. 112

Immission 7.8. 1990

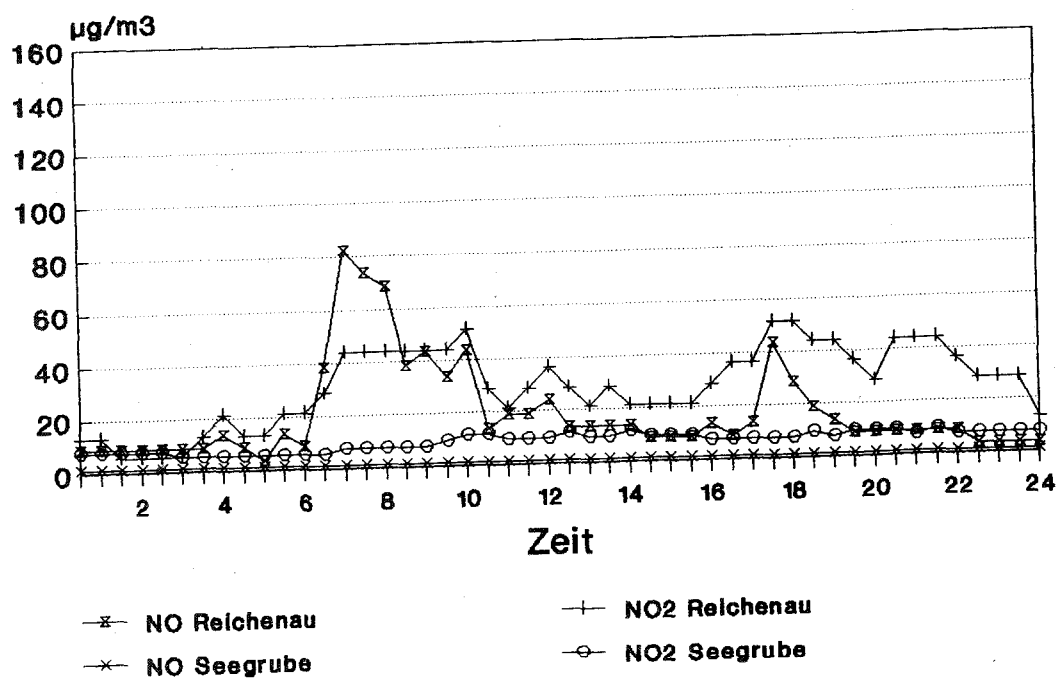
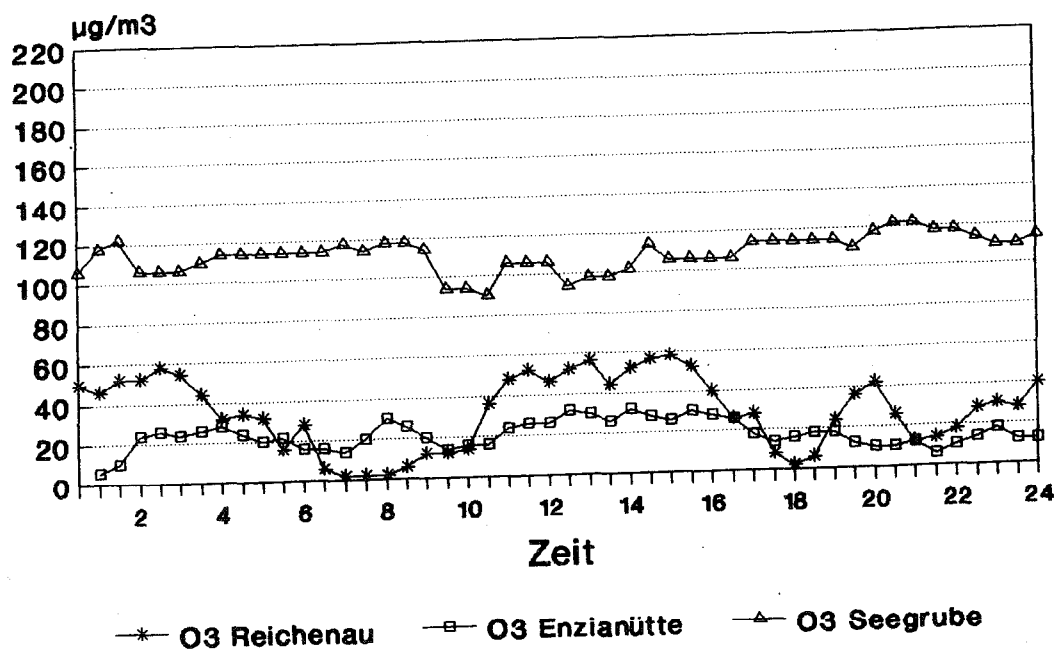


Abb. 113

Immission 8.8. 1990

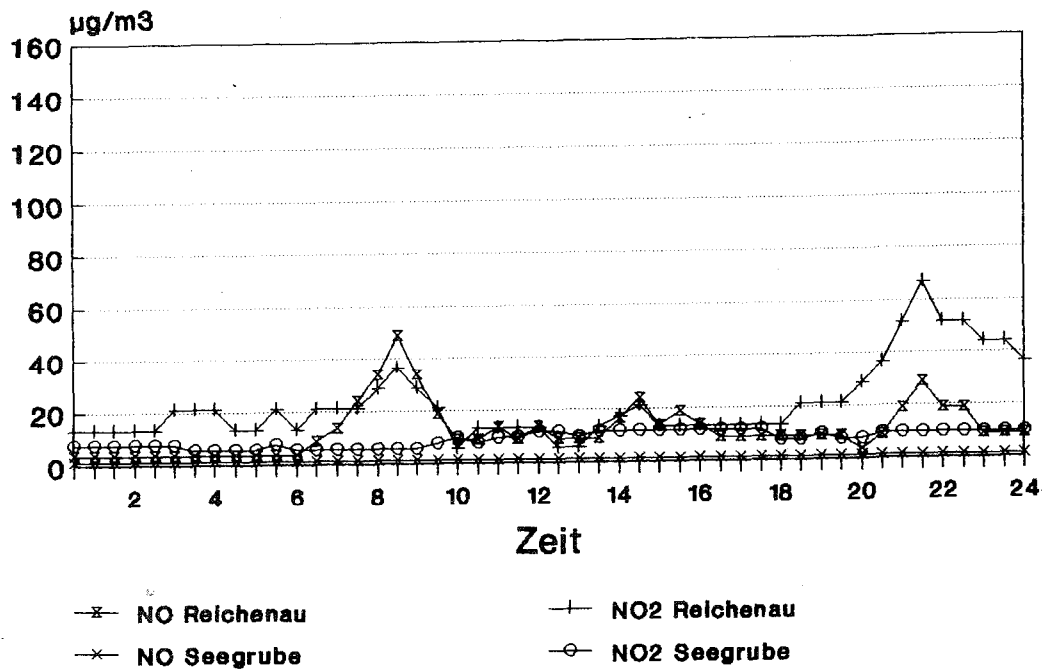
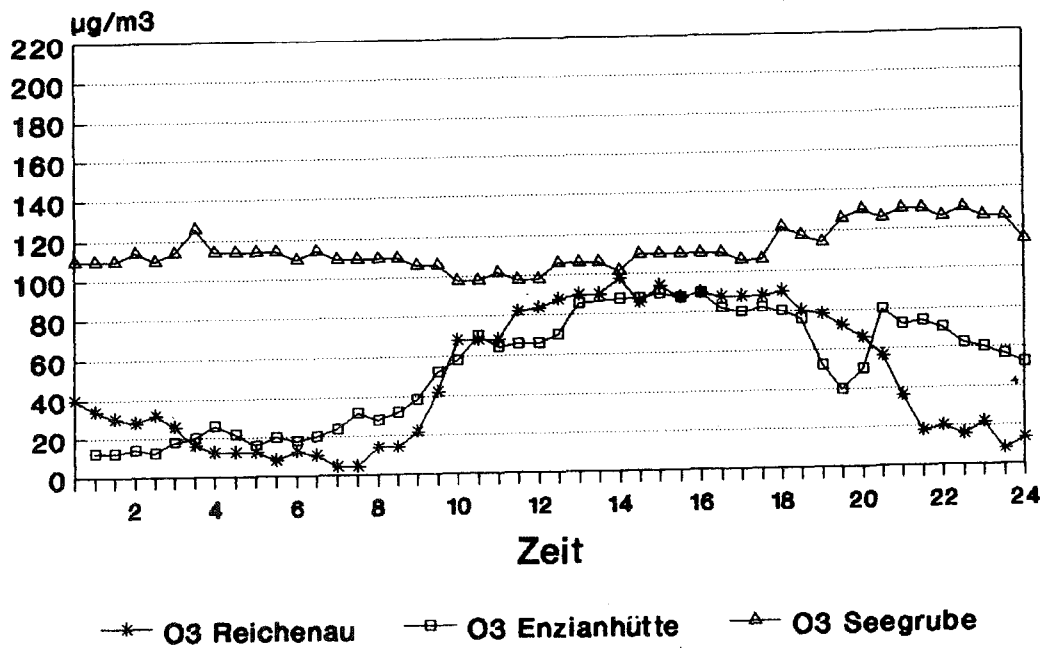
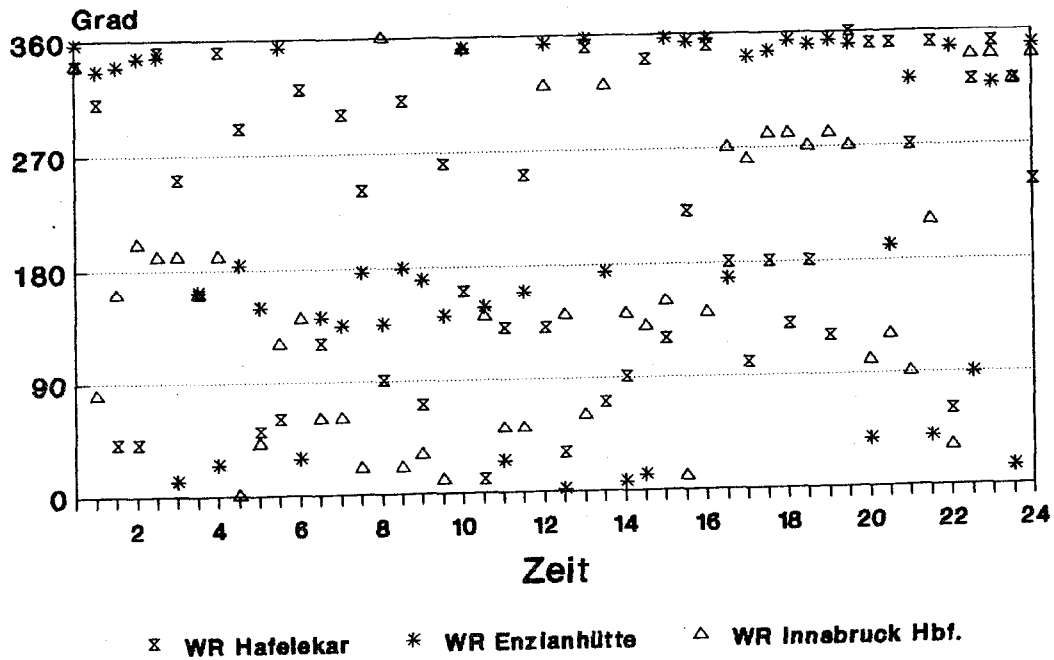


Abb. 114

Windrichtung 21.8. 1990



Windgeschwindigkeit 21.8. 1990

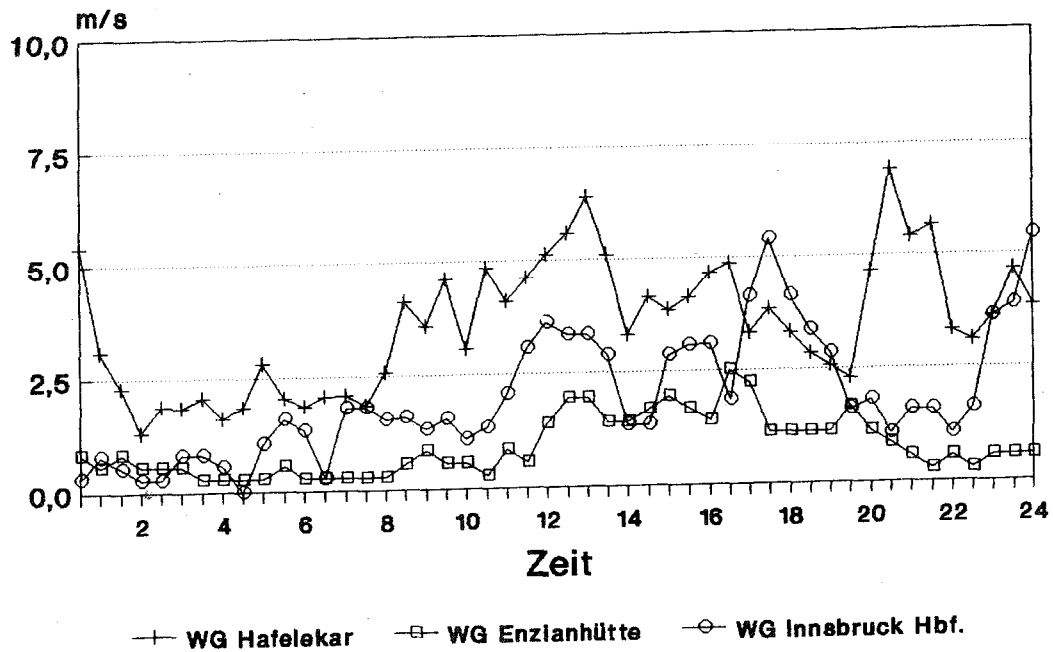
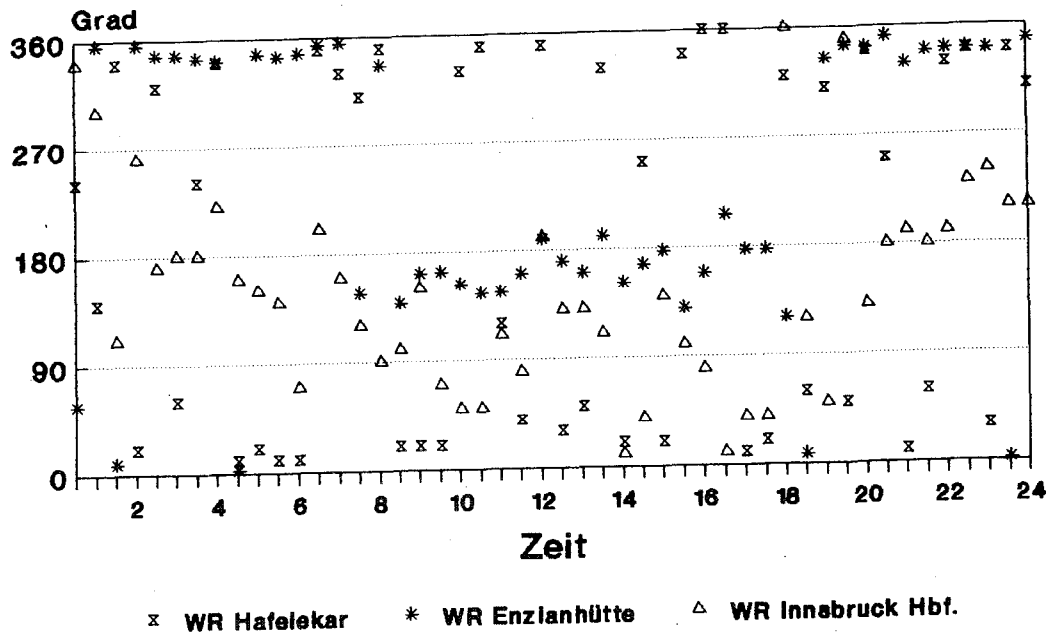


Abb. 115

Windrichtung 22.8. 1990



Windgeschwindigkeit 22.8. 1990

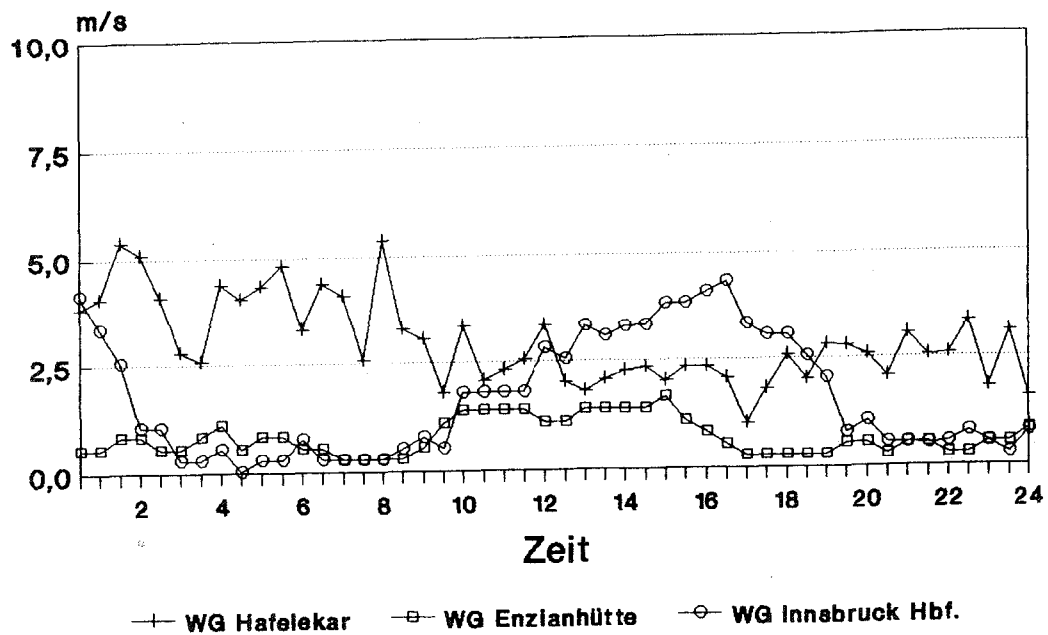
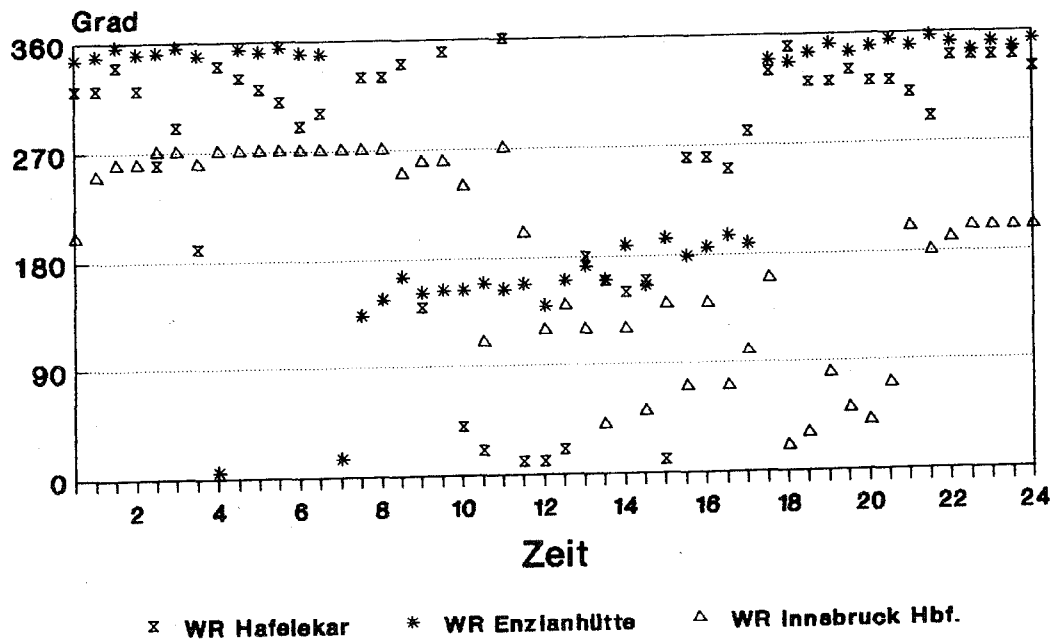


Abb. 116

Windrichtung 23.8. 1990



Windgeschwindigkeit 23.8. 1990

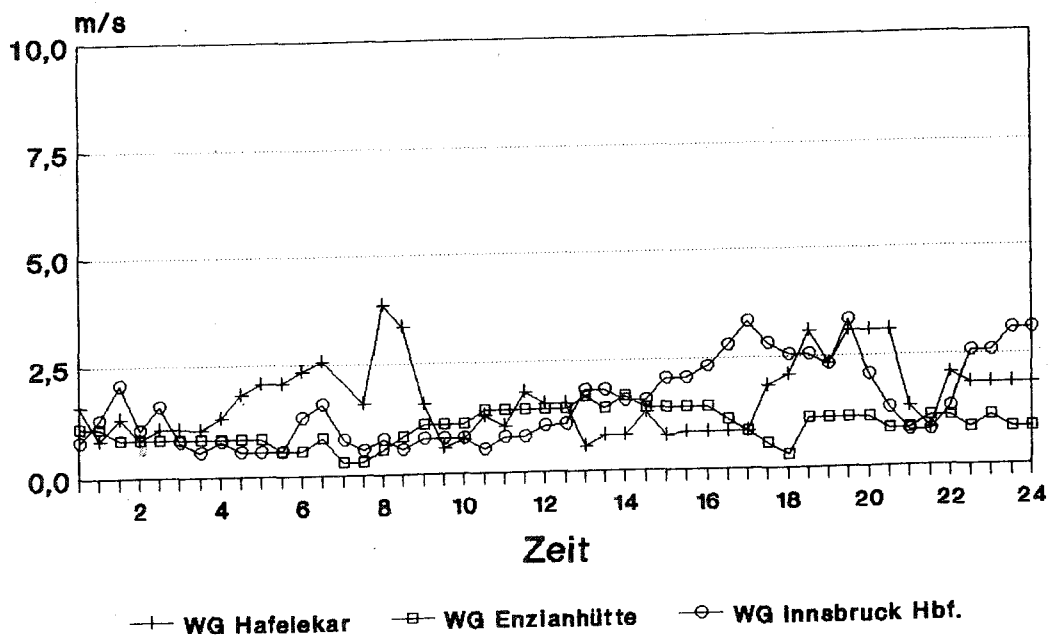
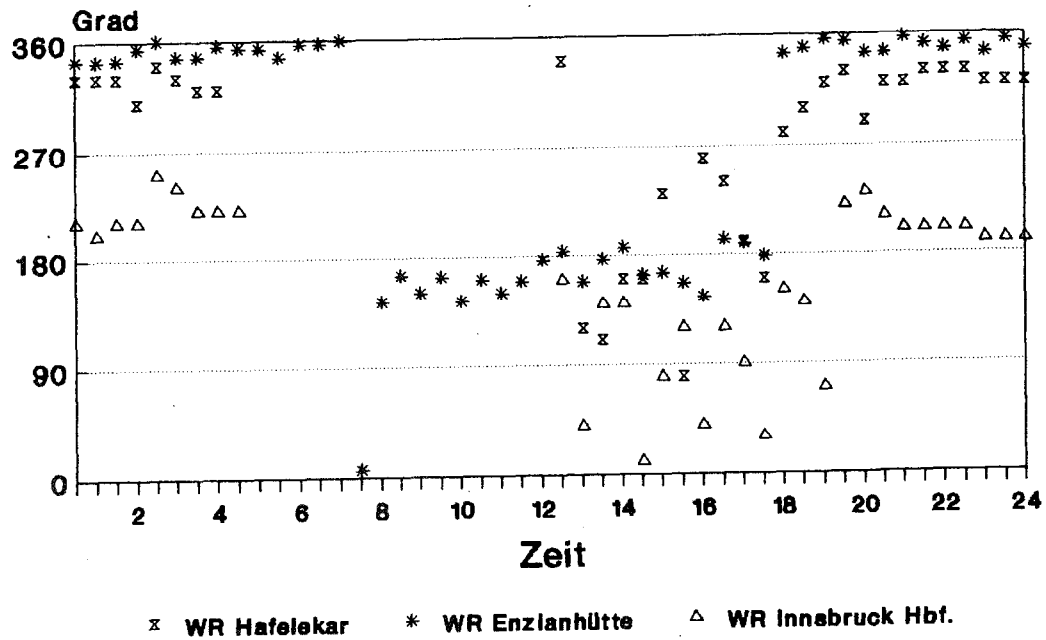


Abb. 117

Windrichtung 24.8. 1990



Windgeschwindigkeit 24.8. 1990

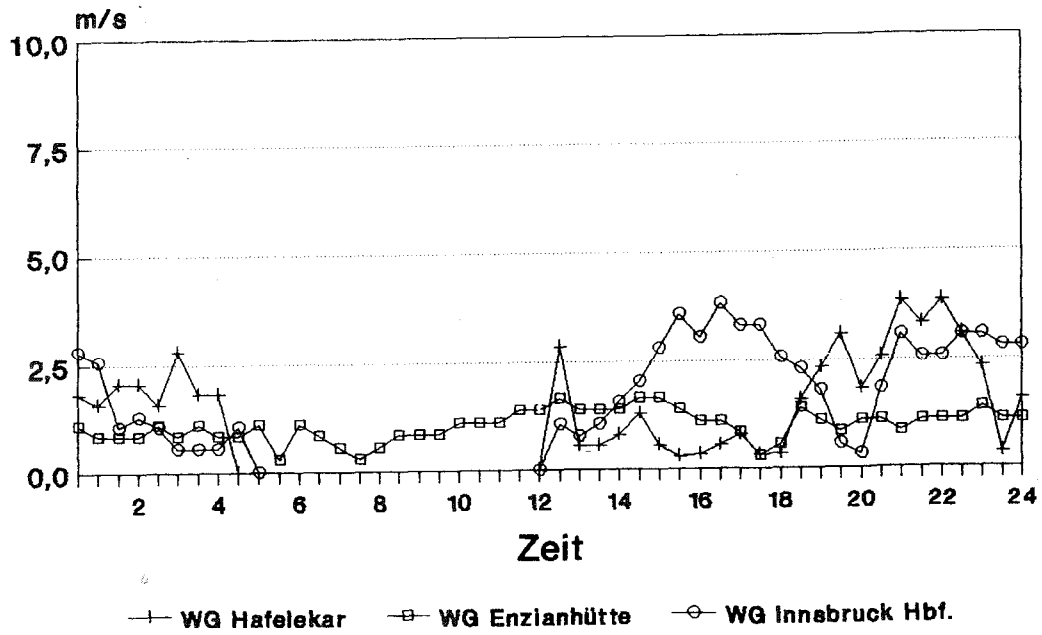
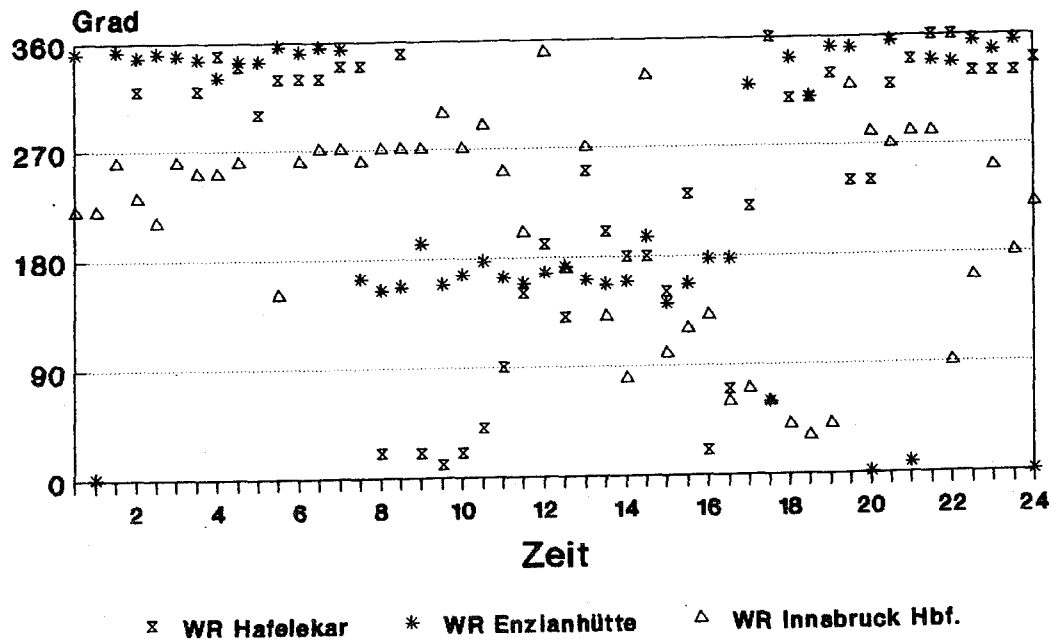


Abb. 118

Windrichtung 25.8. 1990



Windgeschwindigkeit 25.8. 1990

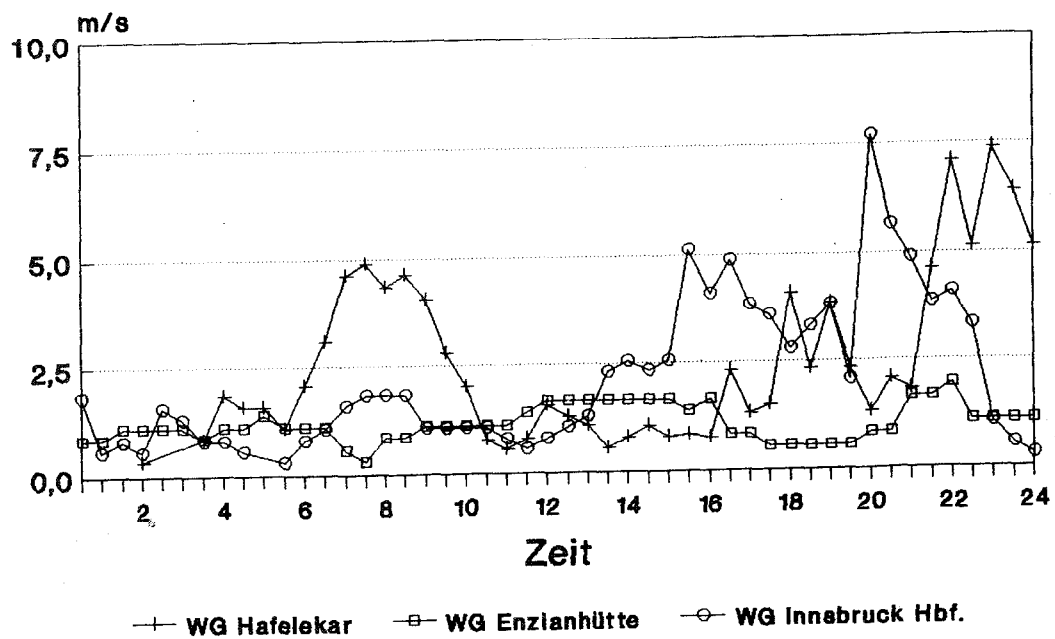
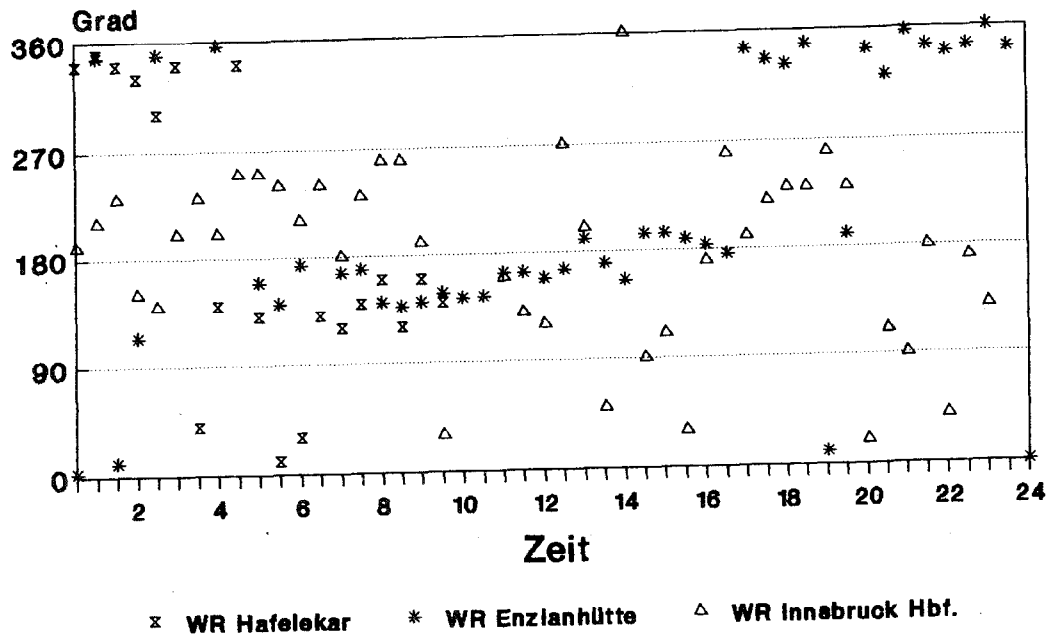


Abb. 119

Windrichtung 26.8. 1990



Windgeschwindigkeit 26.8. 1990

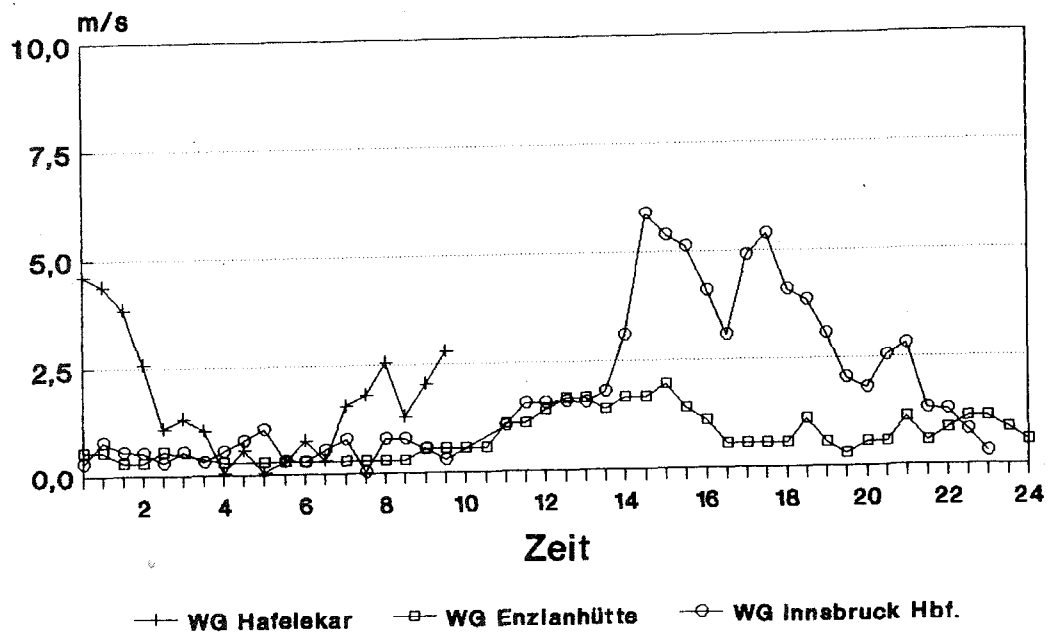
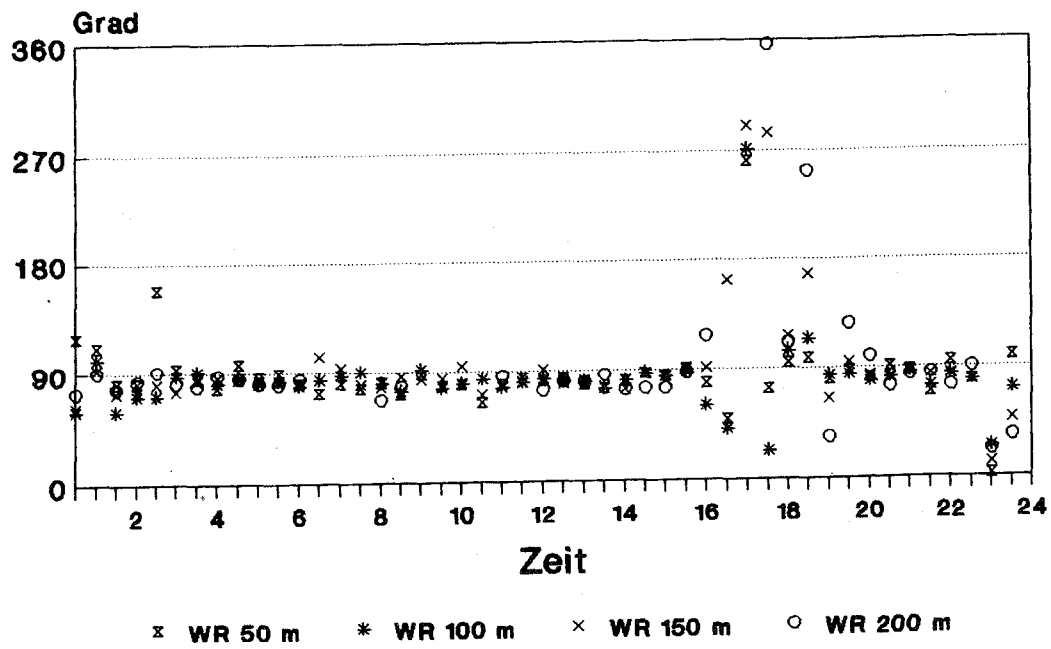


Abb. 120

Windrichtung Hall i.T. 21.8. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 21.8. 1990

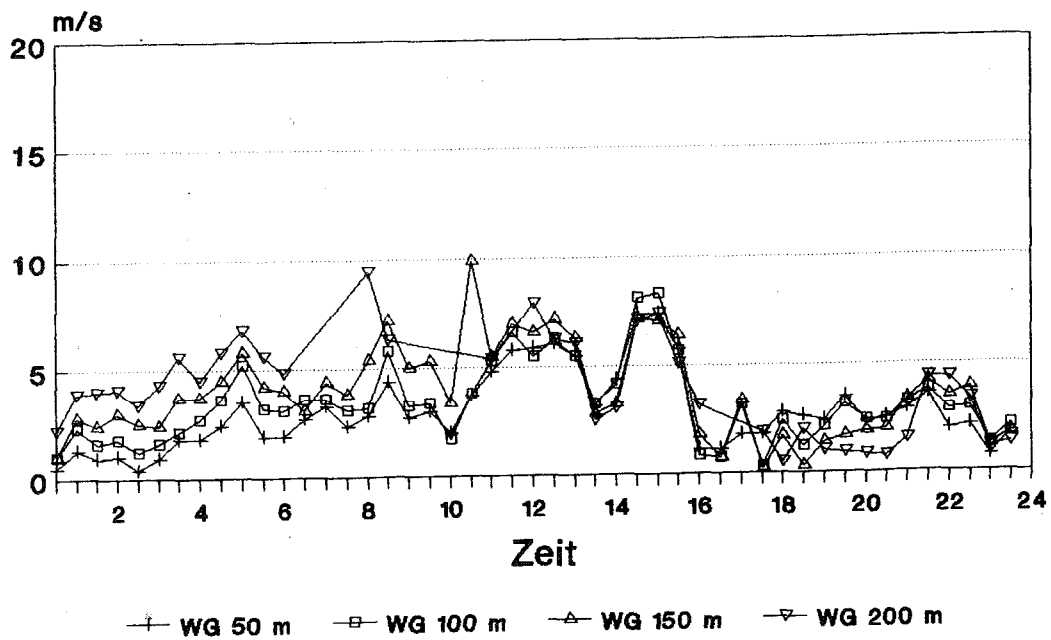
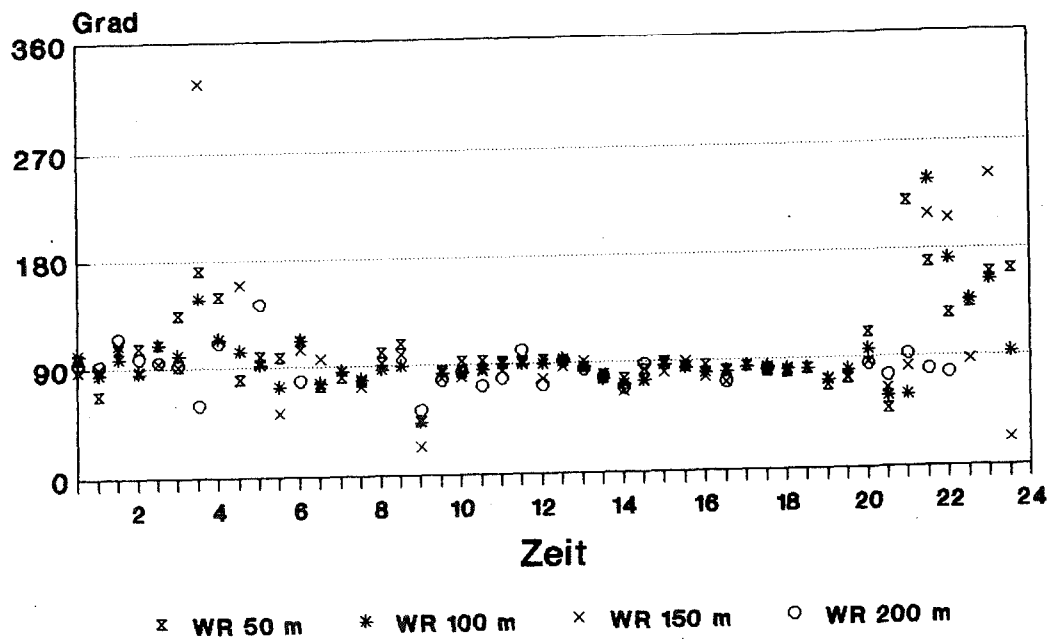


Abb. 121

Windrichtung Hall i.T. 22.8. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 22.8. 1990

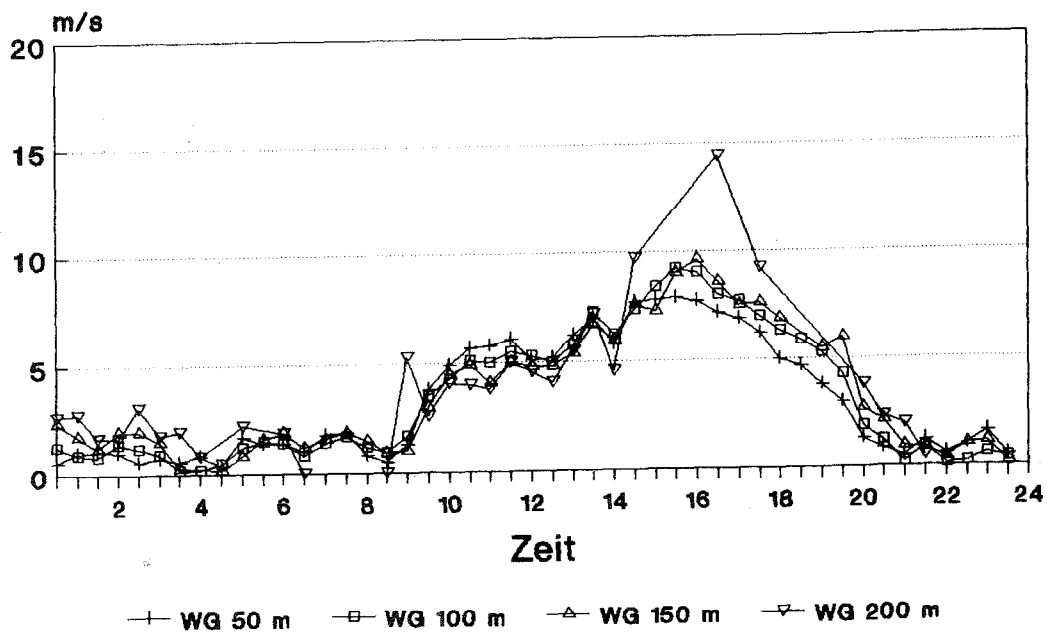
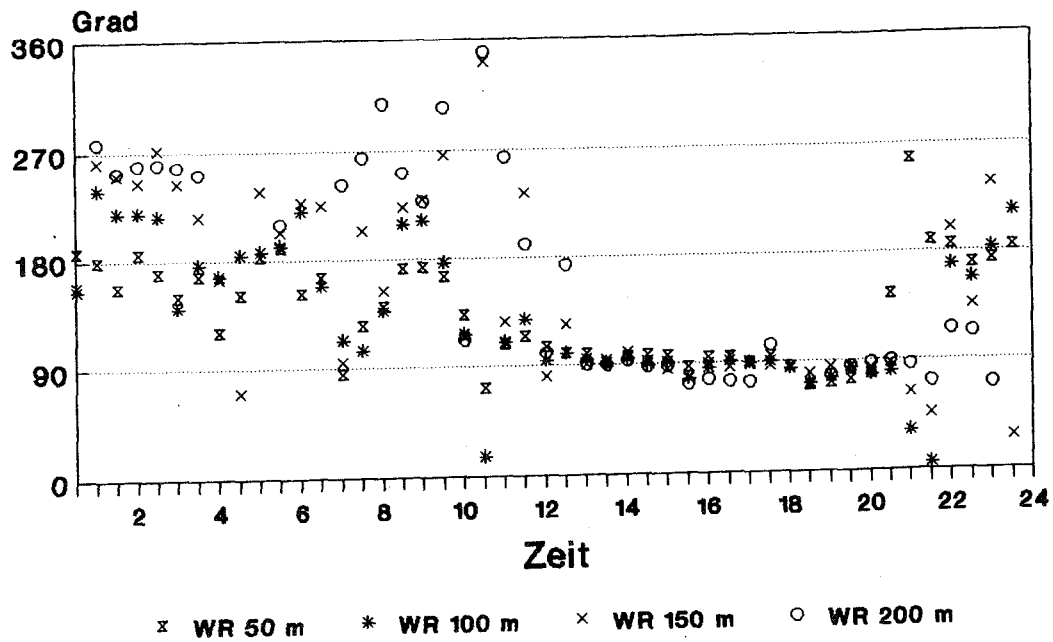


Abb. 122

Windrichtung Hall i.T. 23.8. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 23.8. 1990

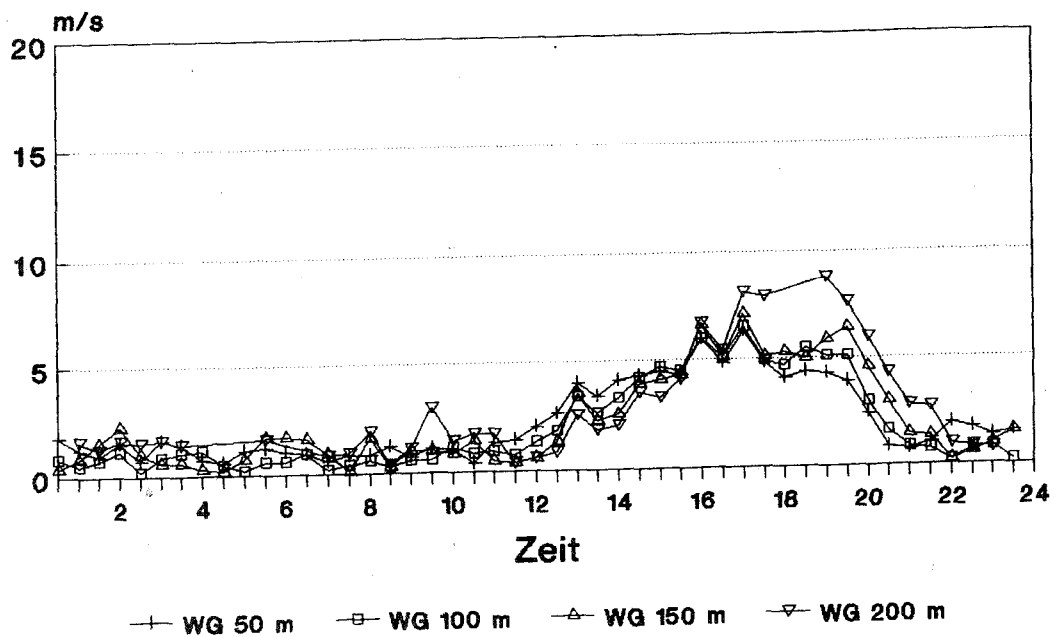
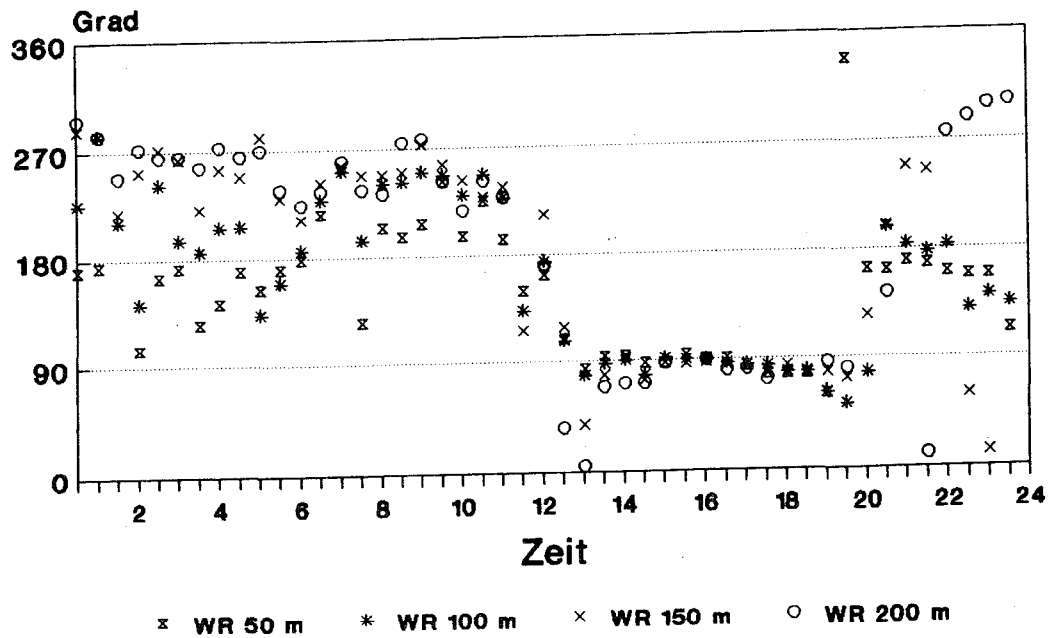
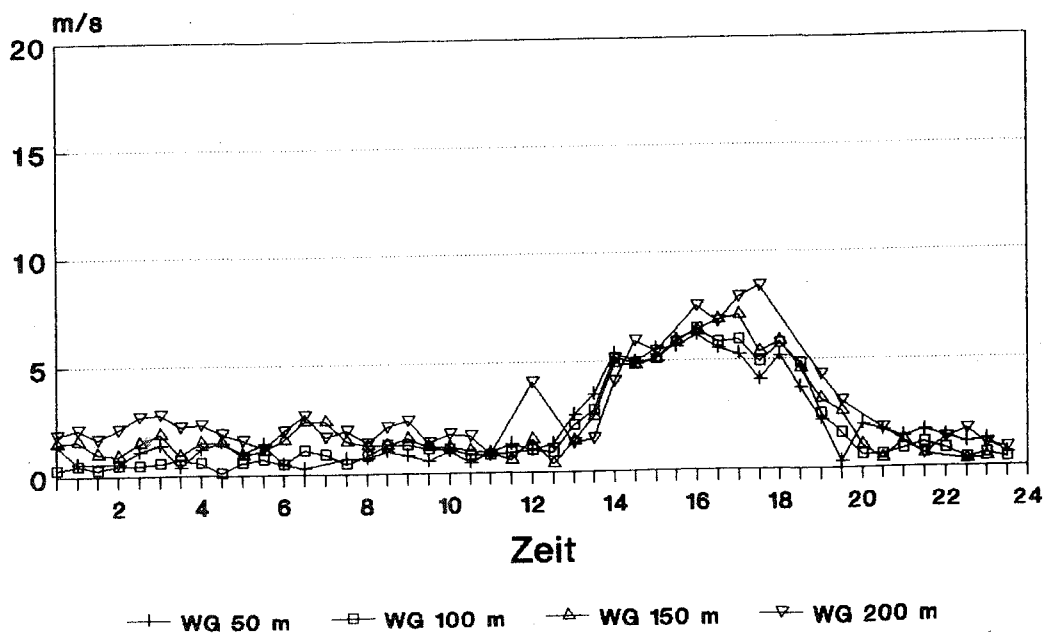


Abb. 123

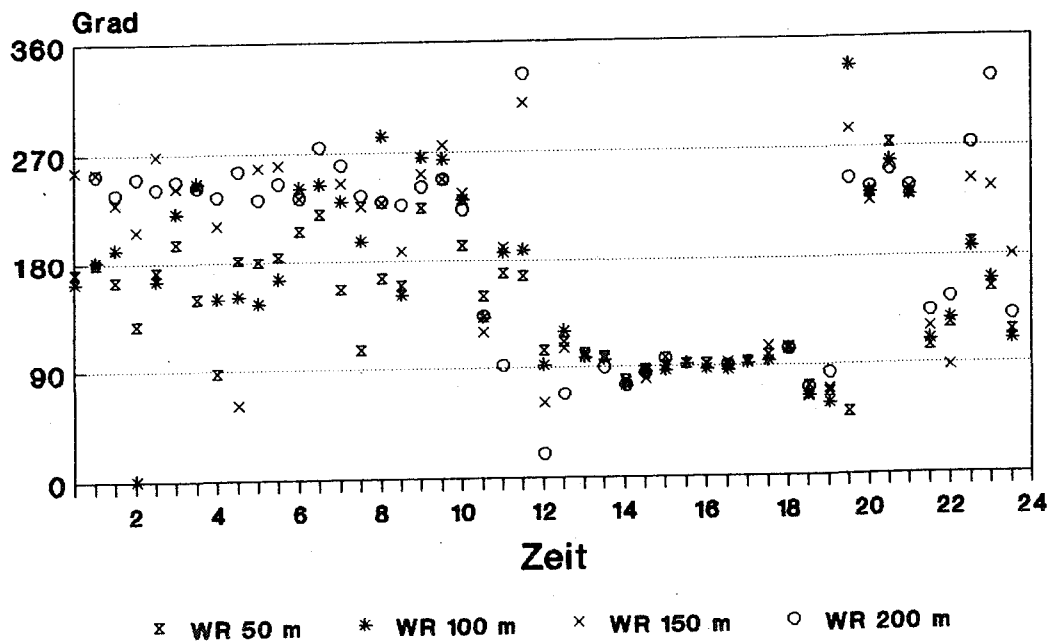
Windrichtung Hall i.T. 24.8. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 24.8. 1990



Windrichtung Hall i.T. 25.8. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 25.8. 1990

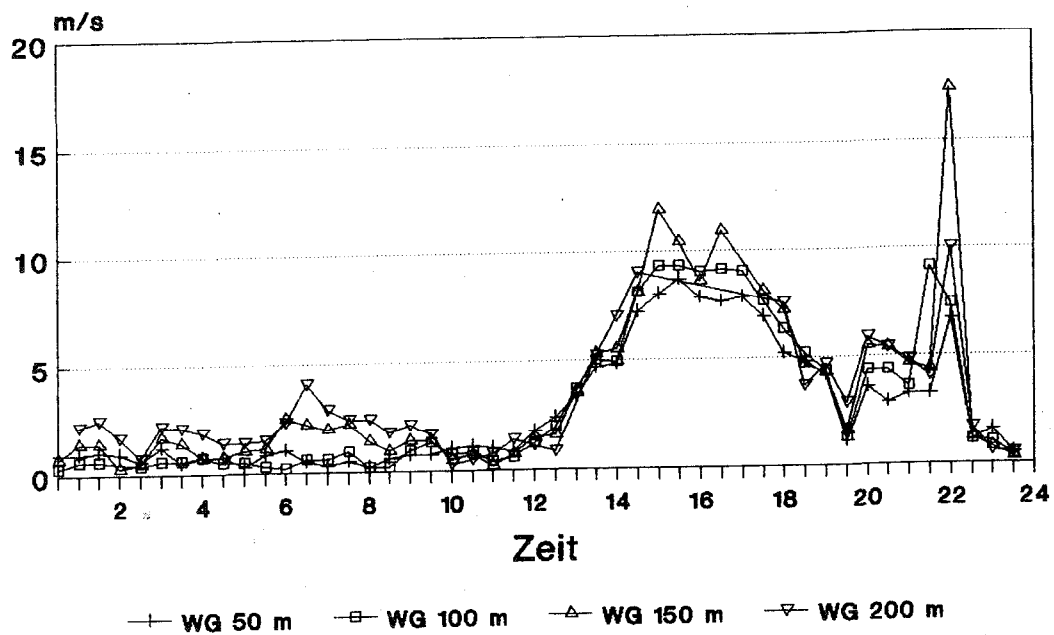
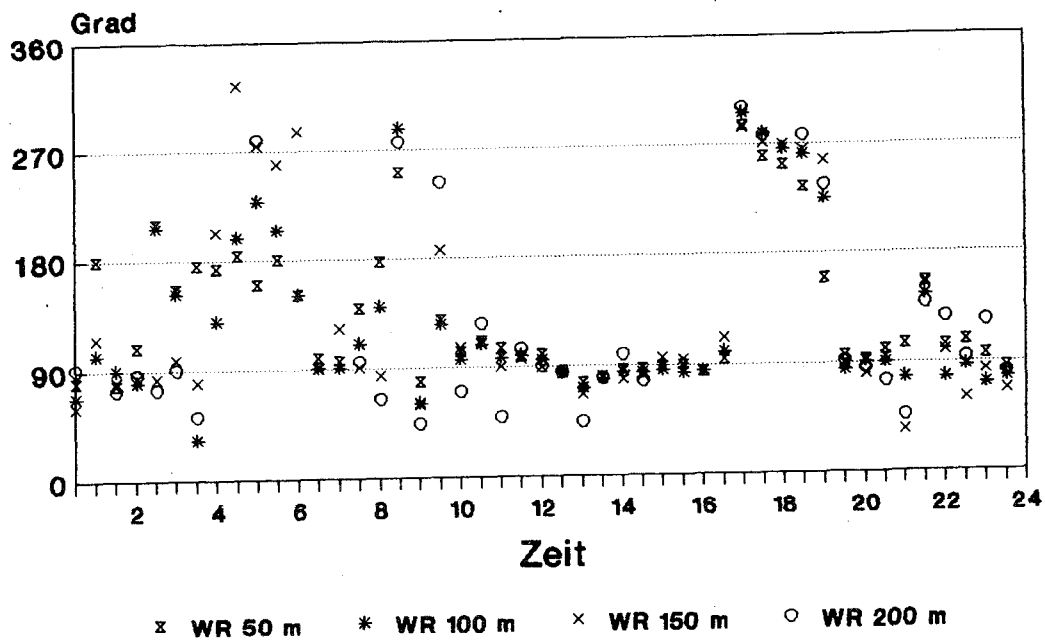


Abb. 125

Windrichtung Hall i.T. 26.8. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 26.8. 1990

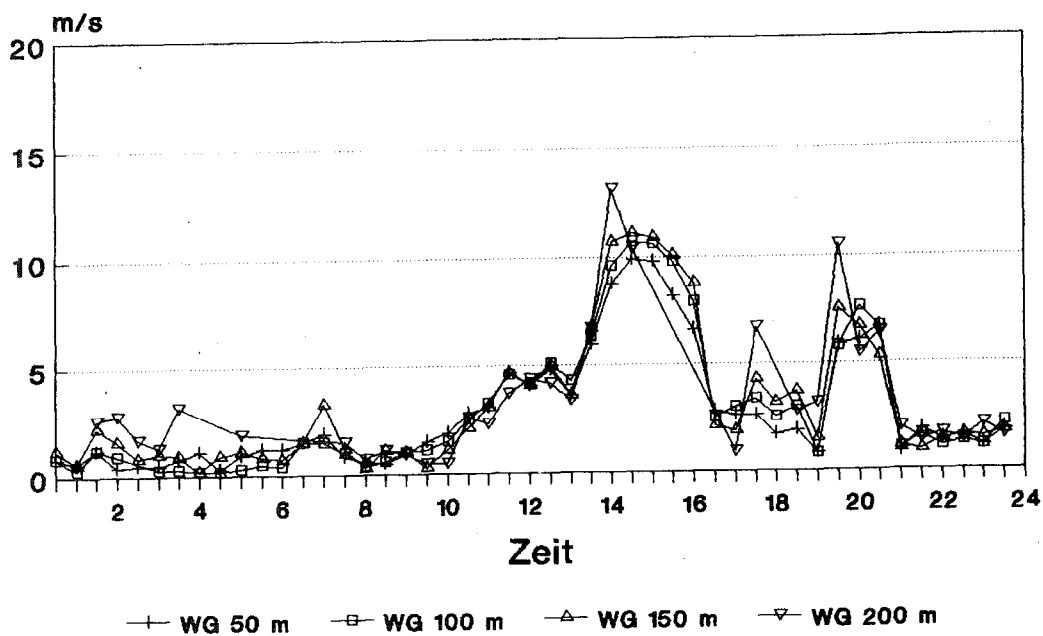


Abb. 126

Temperatur
21.8. 1990

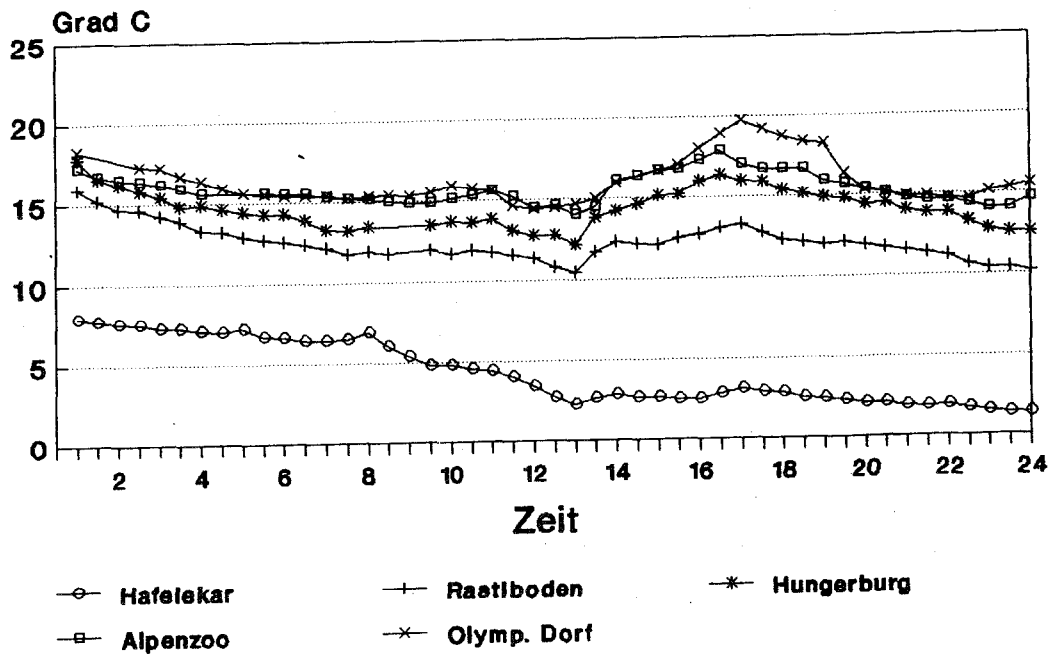


Abb. 127

Temperatur
22.8. 1990

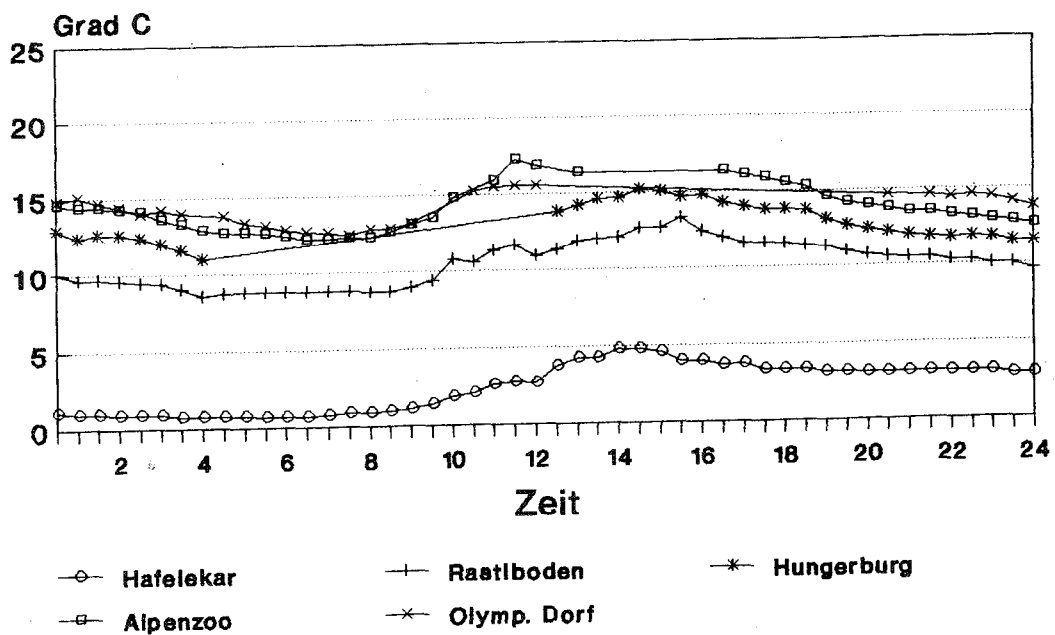


Abb. 128

Temperatur
23.8. 1990

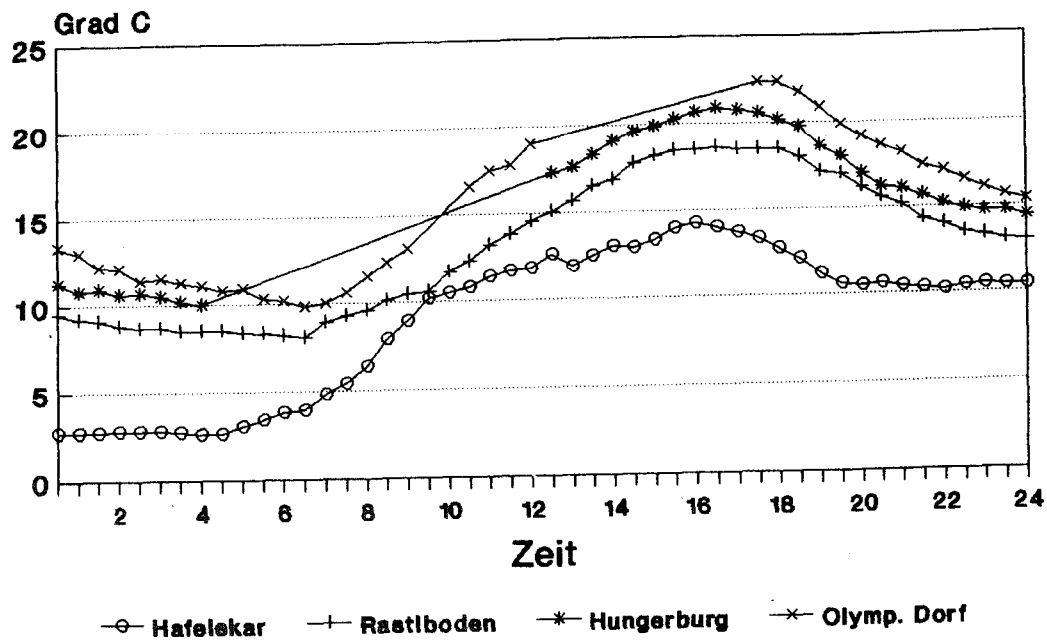


Abb. 129

Temperatur
24.8. 1990

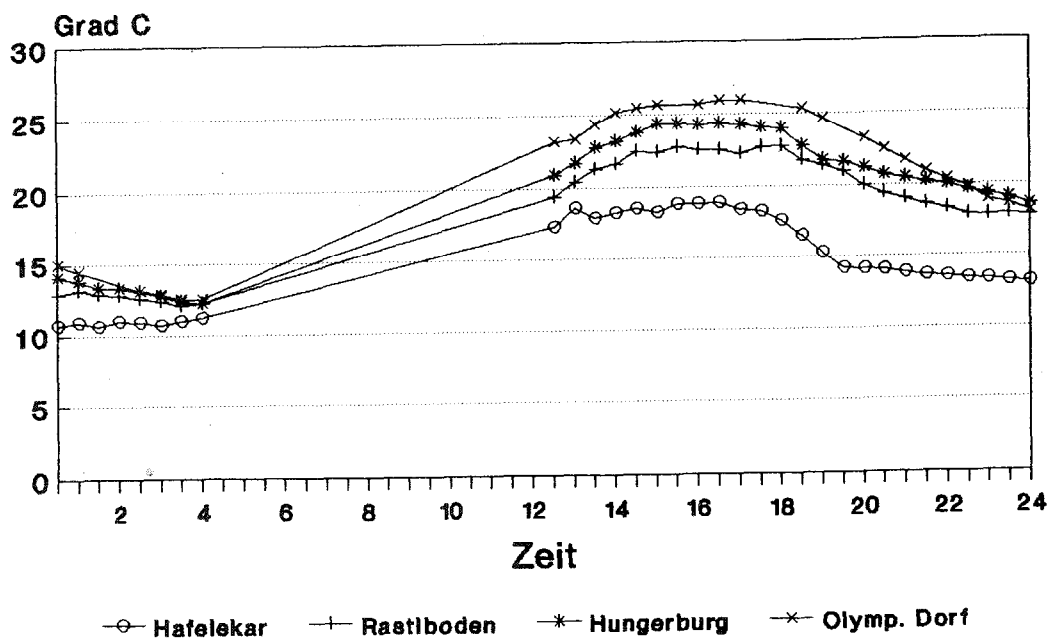


Abb. 130

Temperatur
25.8. 1990

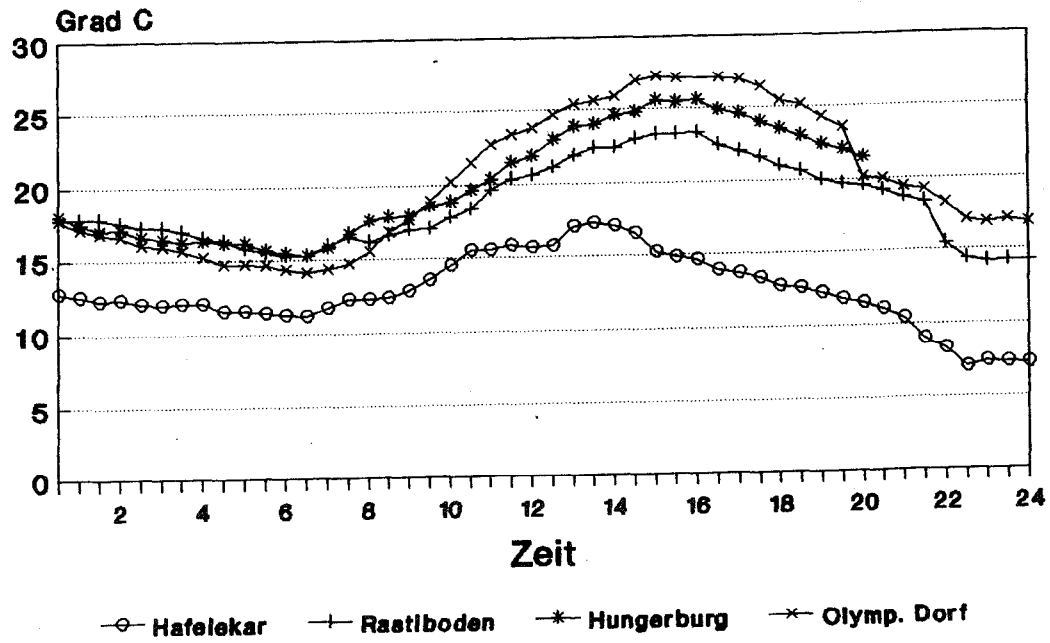


Abb. 131

Temperatur
26.8. 1990

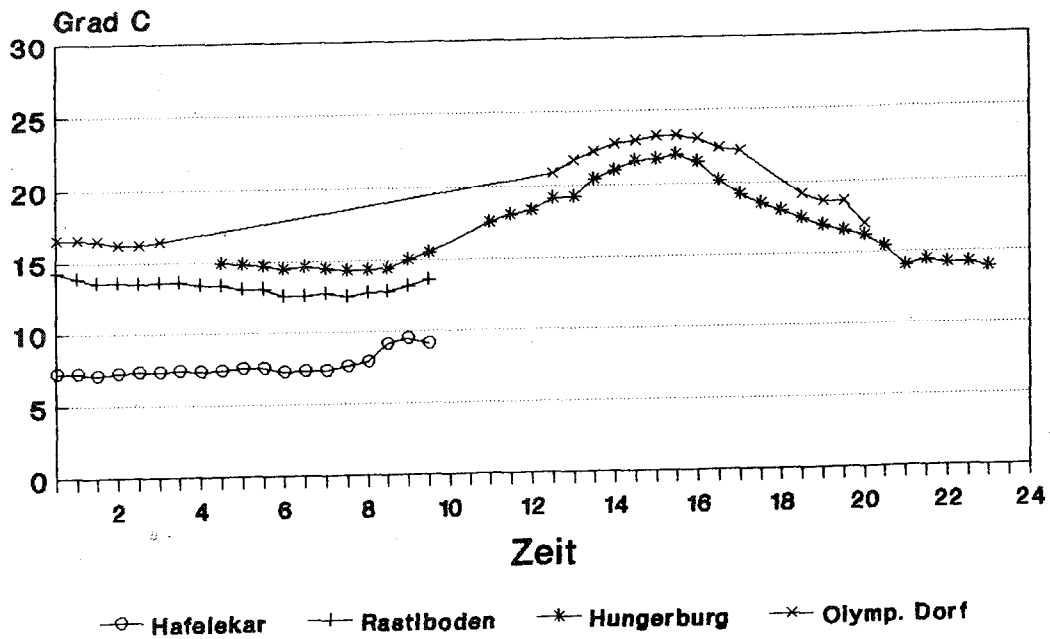


Abb. 132

Immission
21.8. 1990

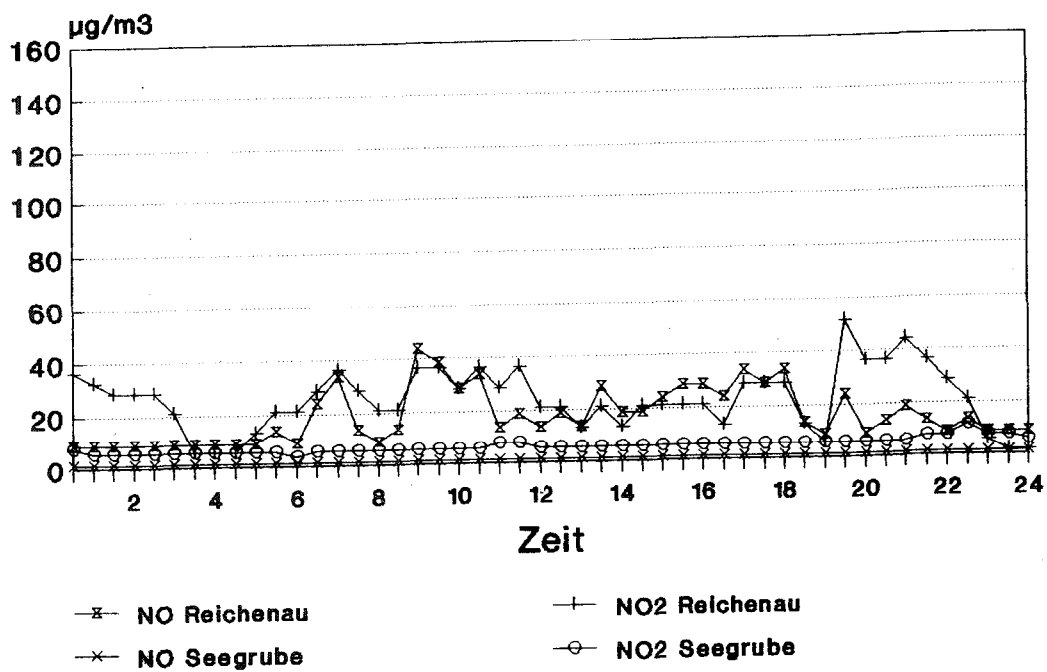
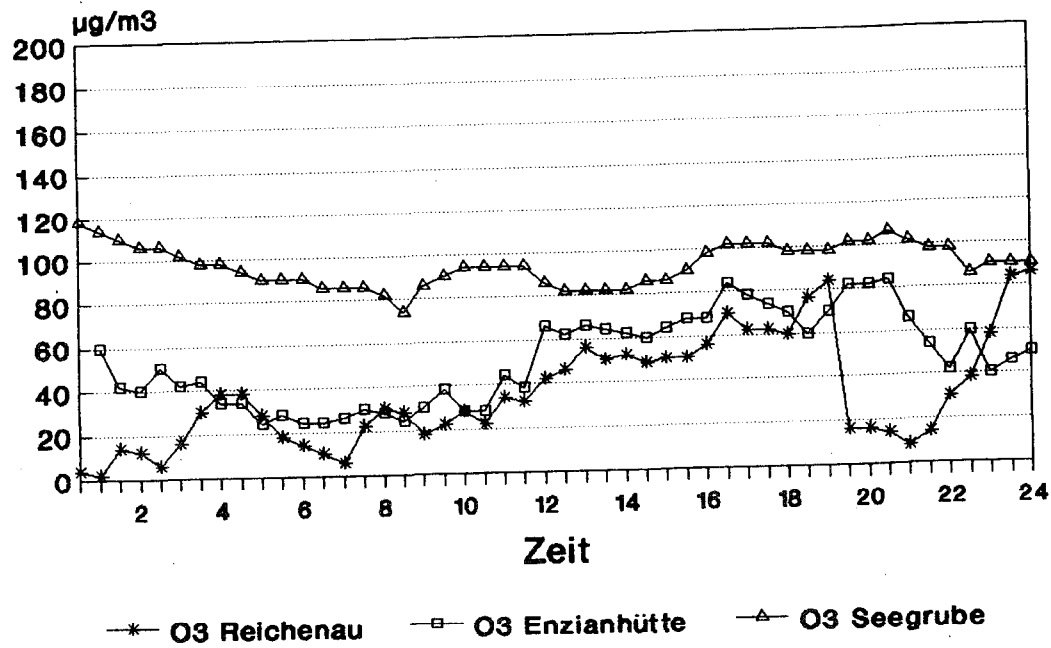


Abb. 133

Immission
22.8. 1990

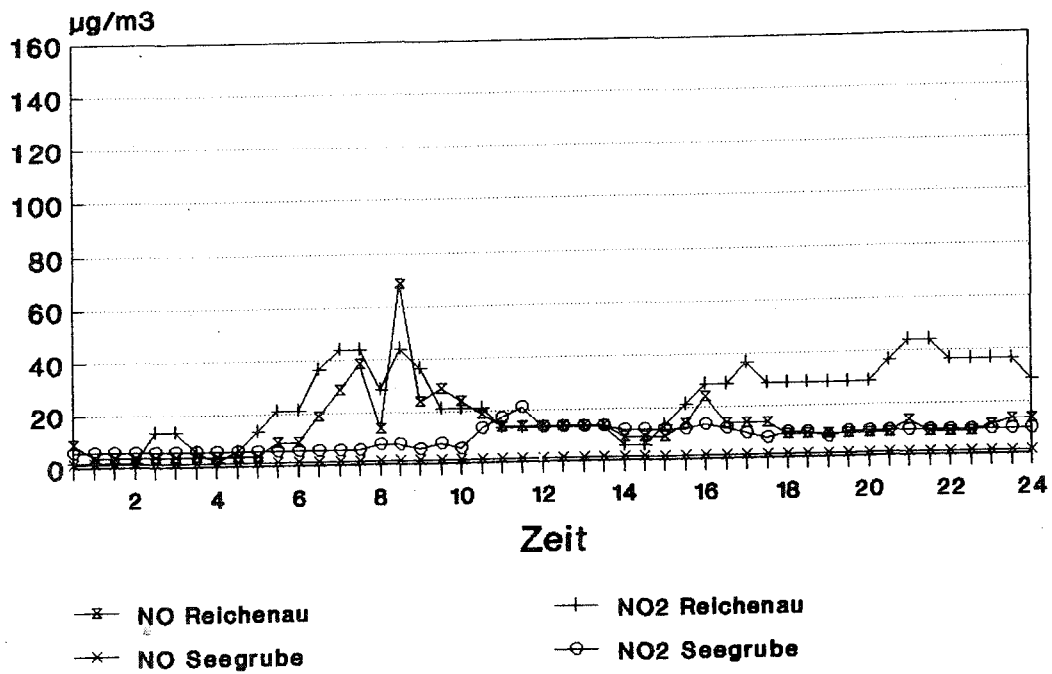
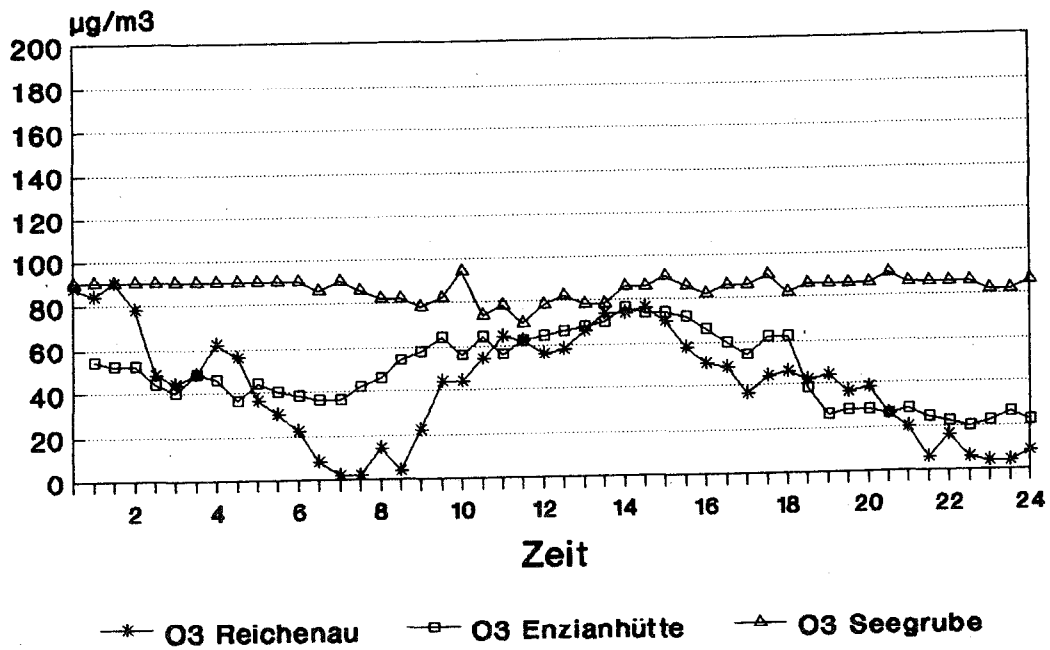


Abb. 134

Immission
23.8. 1990

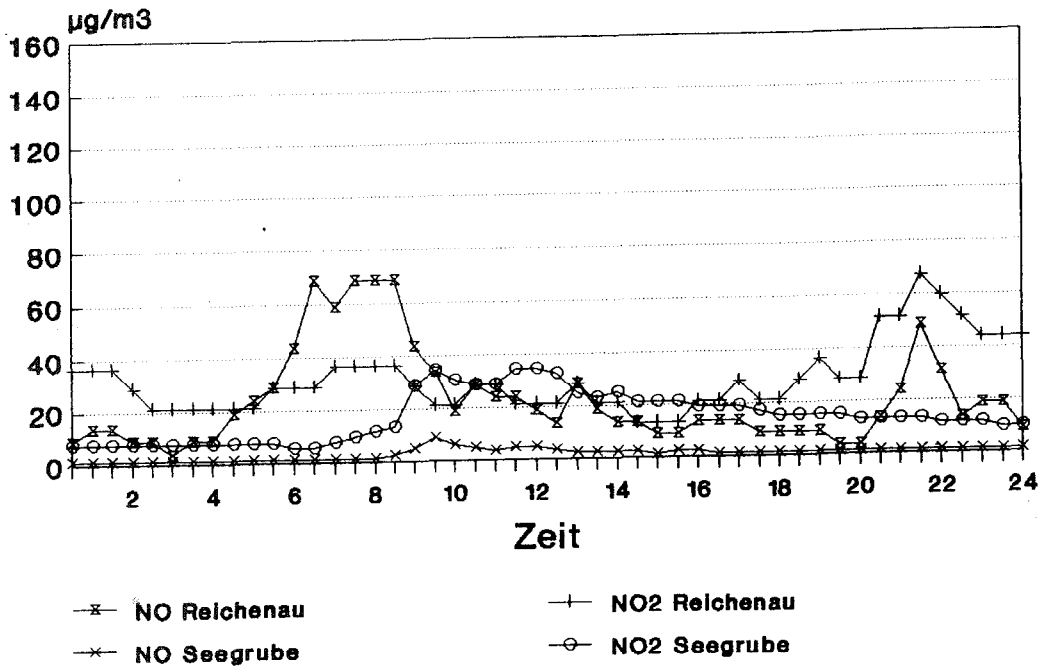
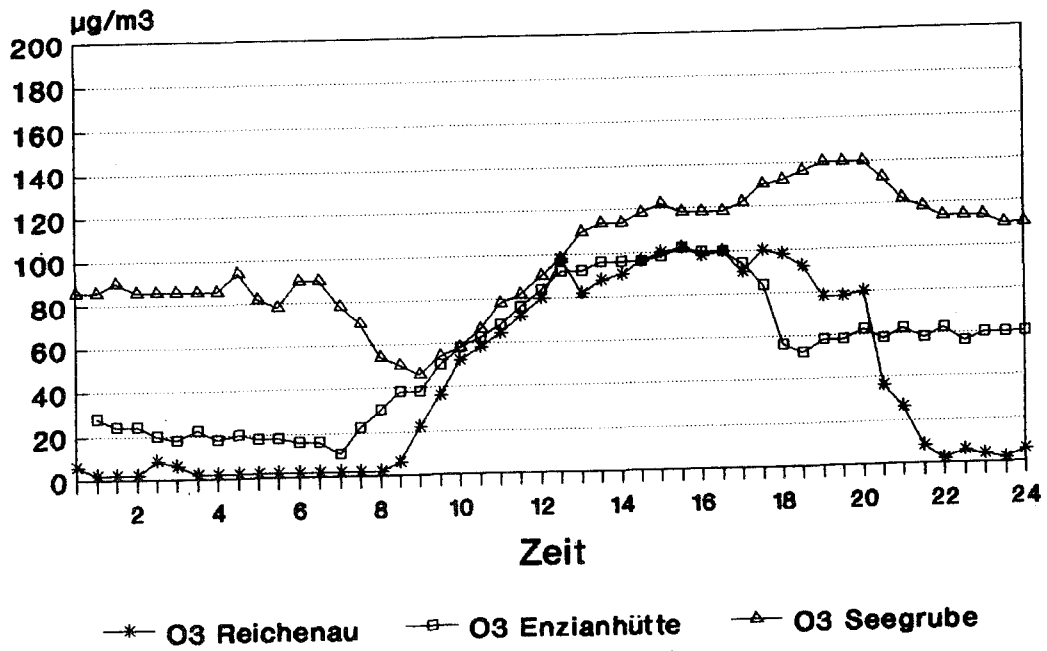


Abb. 135

**Immission
24.8. 1990**

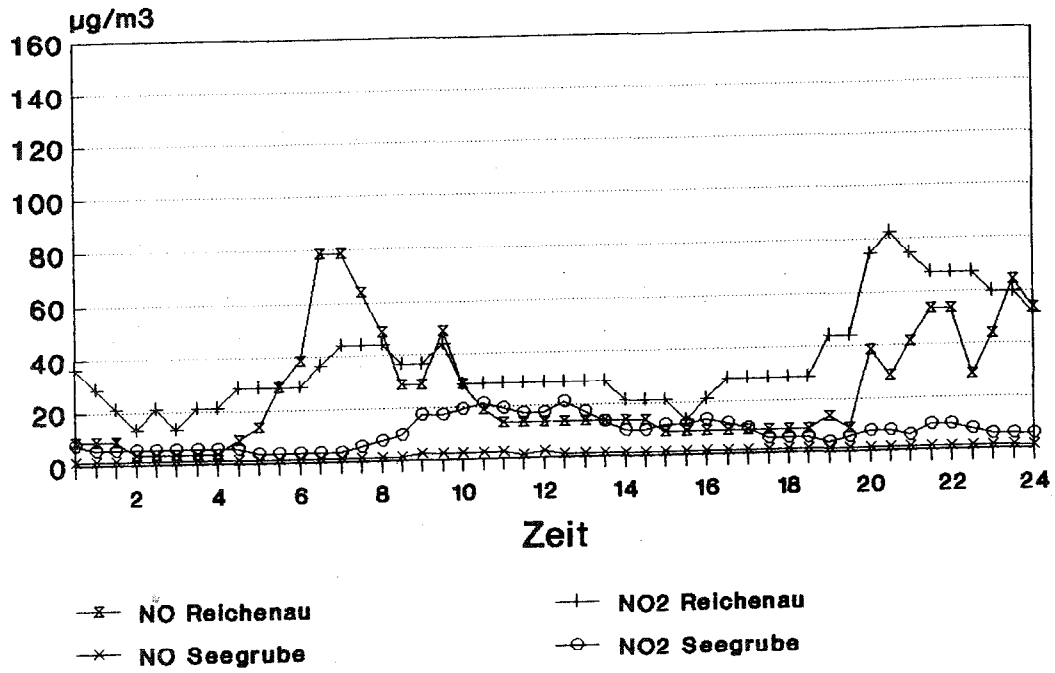
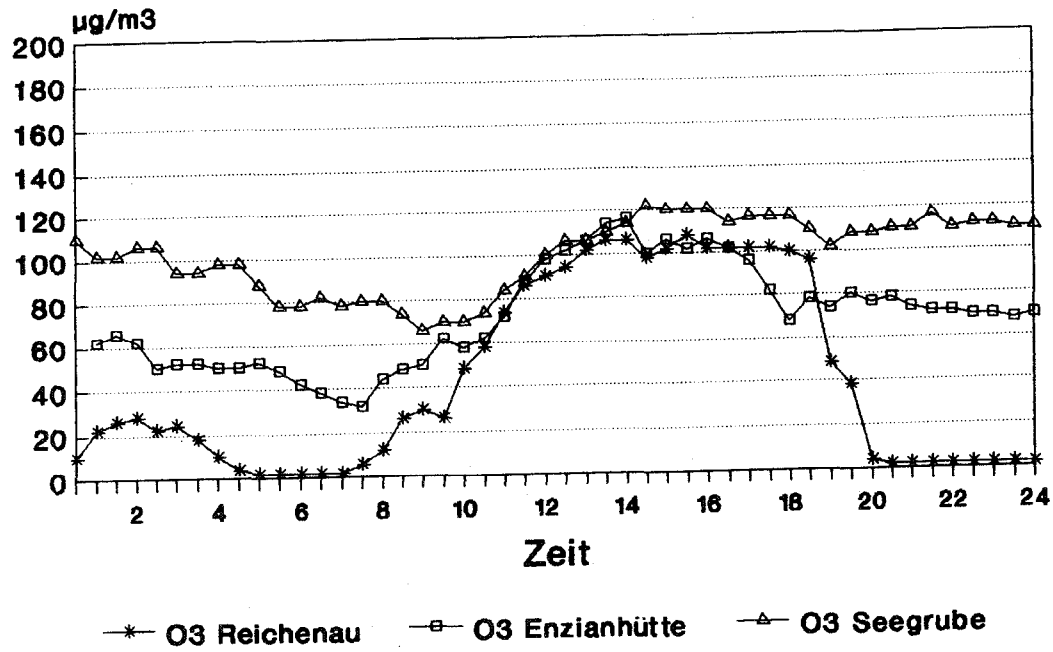


Abb. 136

**Immission
25.8. 1990**

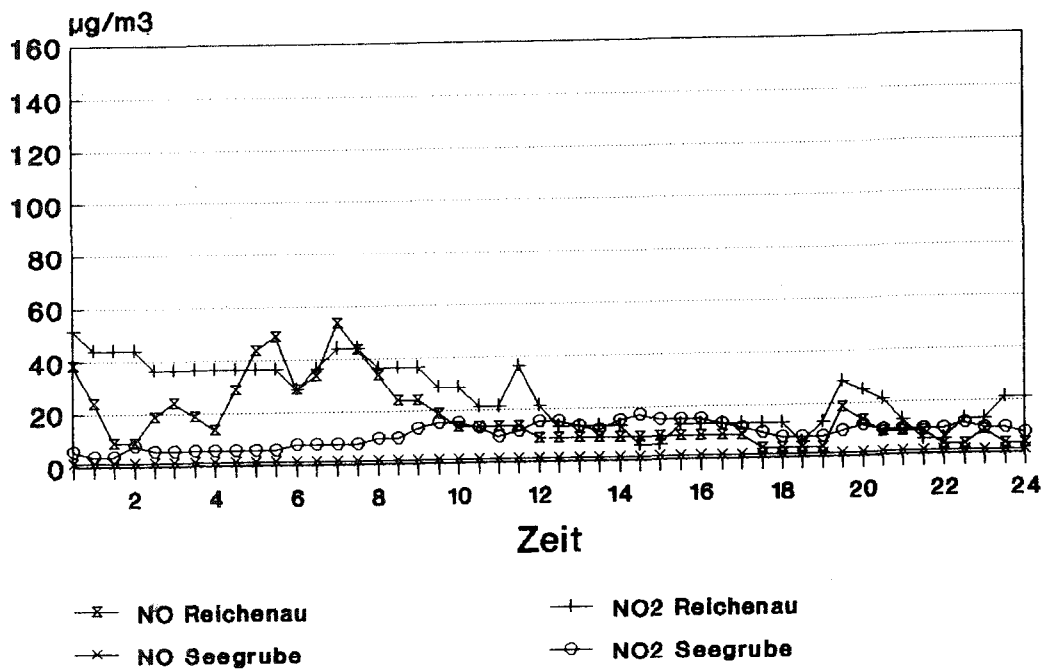
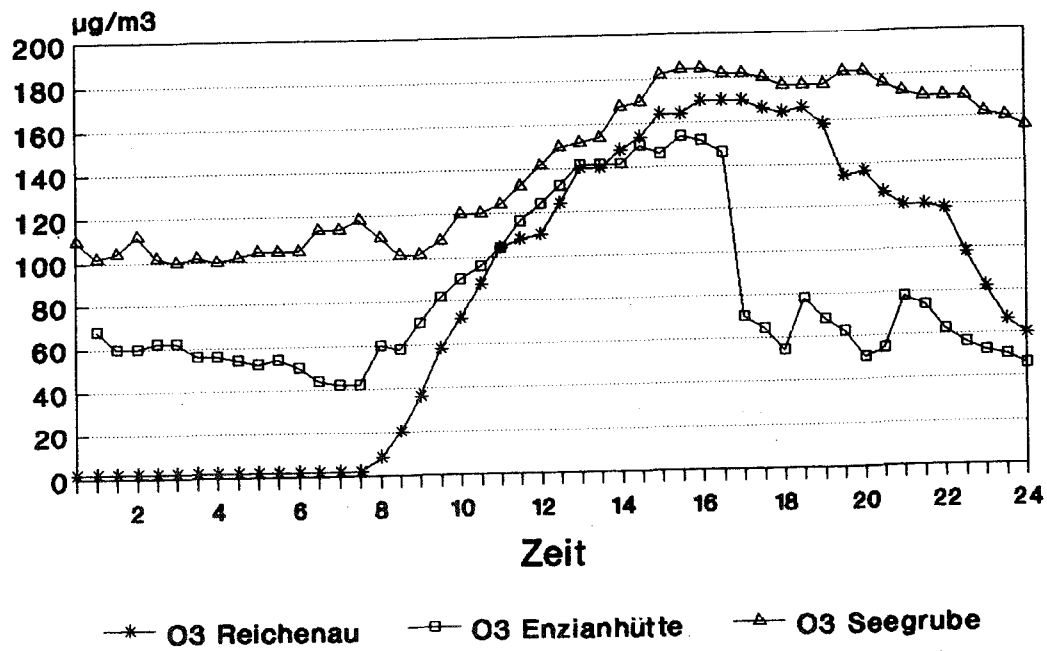


Abb. 137

Immission
26.8. 1990

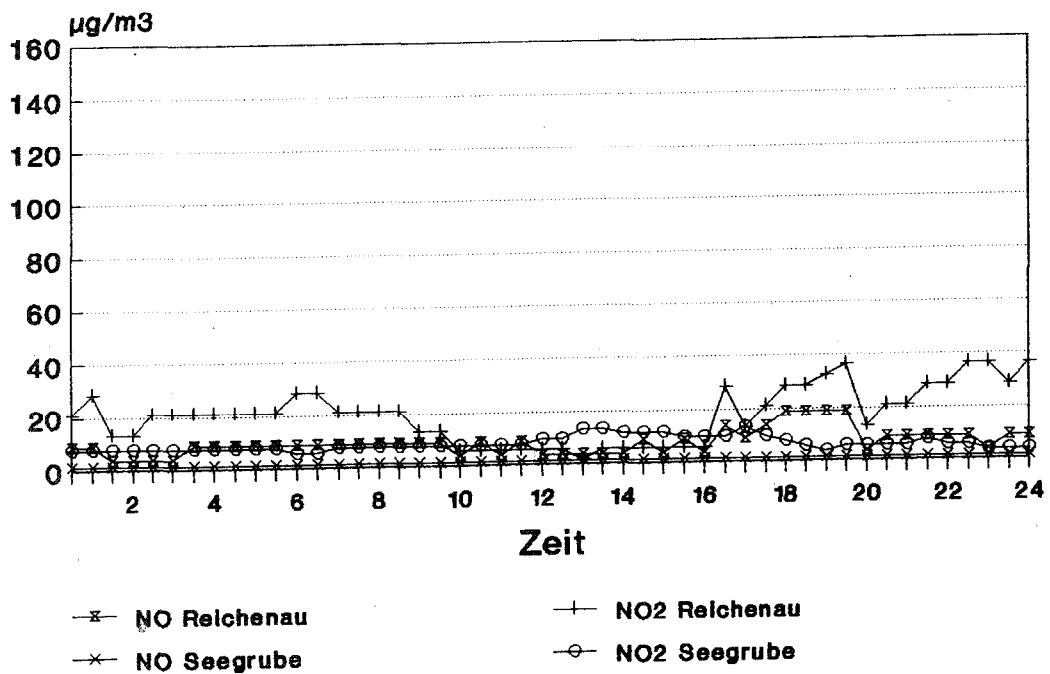
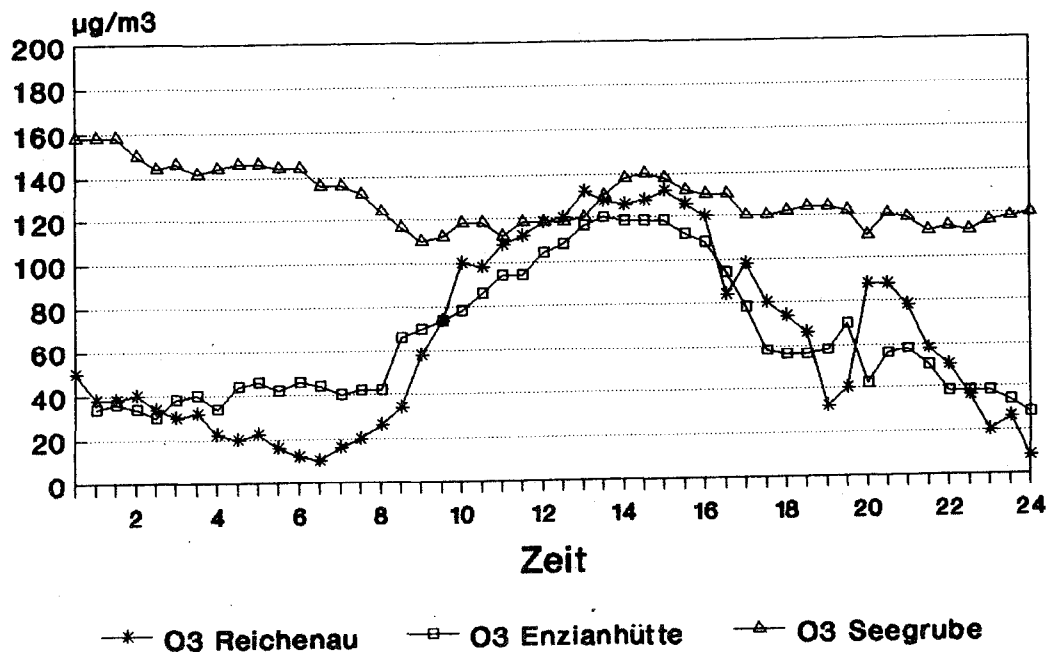
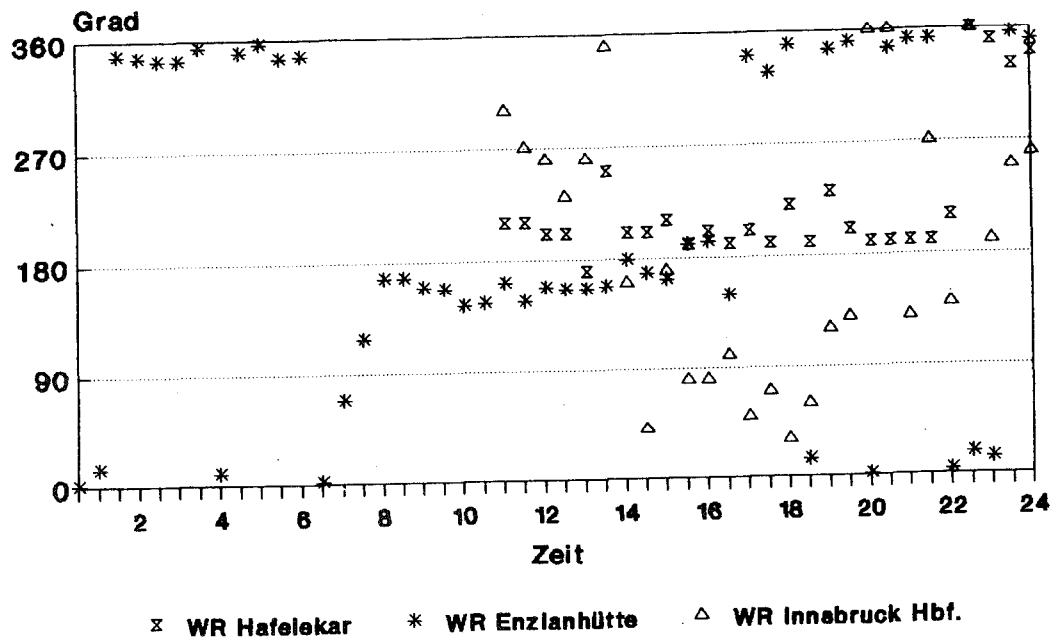


Abb. 138

Windrichtung 29.8.1990



Windgeschwindigkeit 29.8.1990

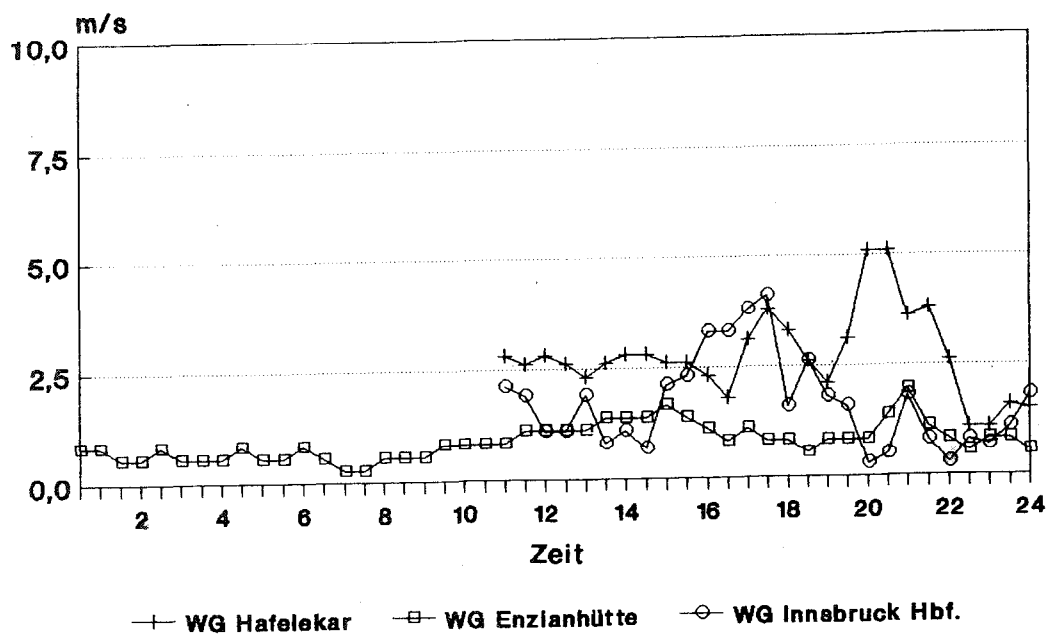
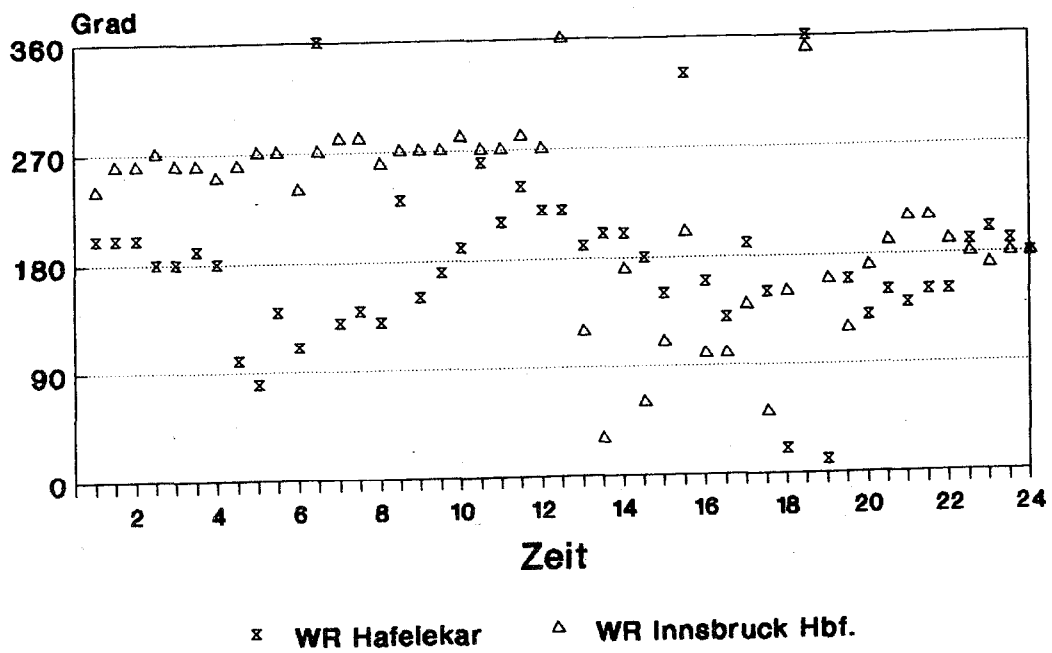


Abb. 139

Windrichtung 30.8. 1990



Windgeschwindigkeit 30.8. 1990

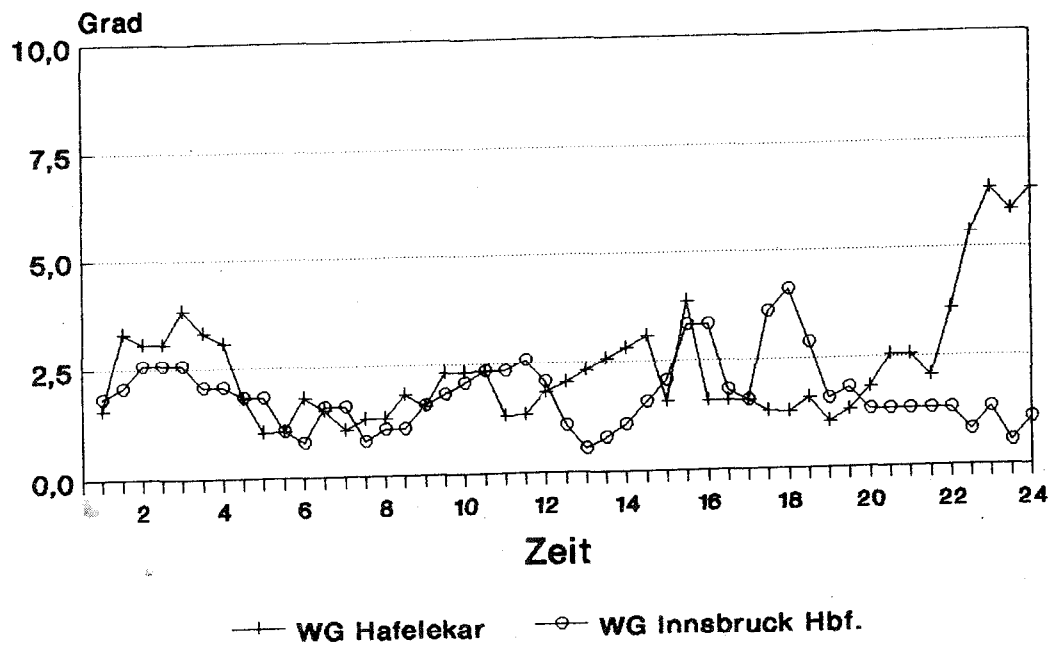
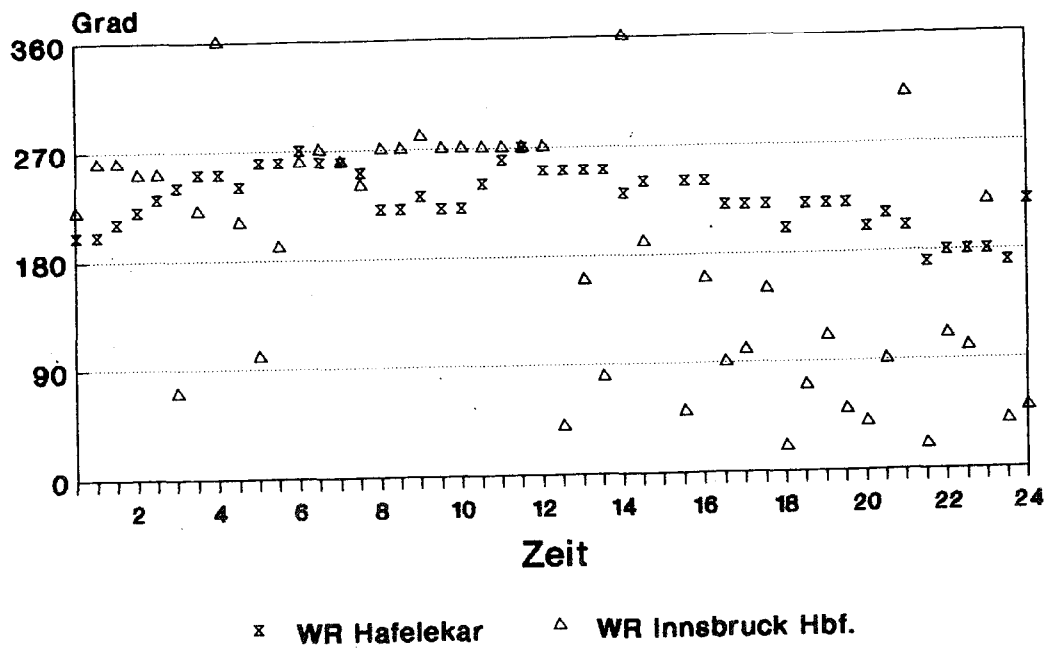


Abb. 140

Windrichtung 31.8. 1990



Windgeschwindigkeit 31.8. 1990

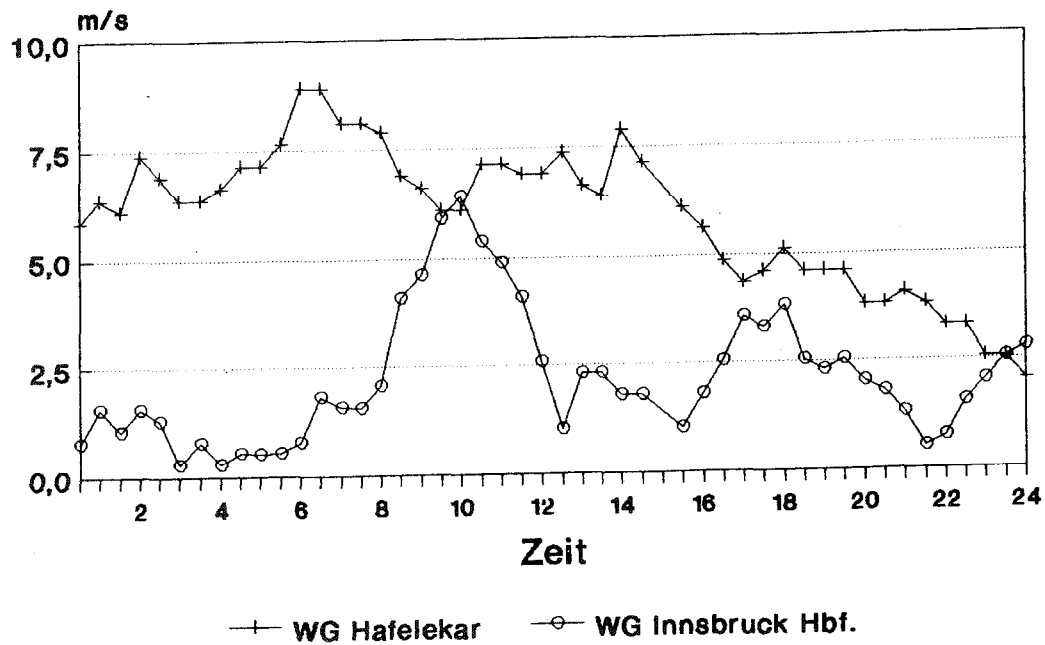
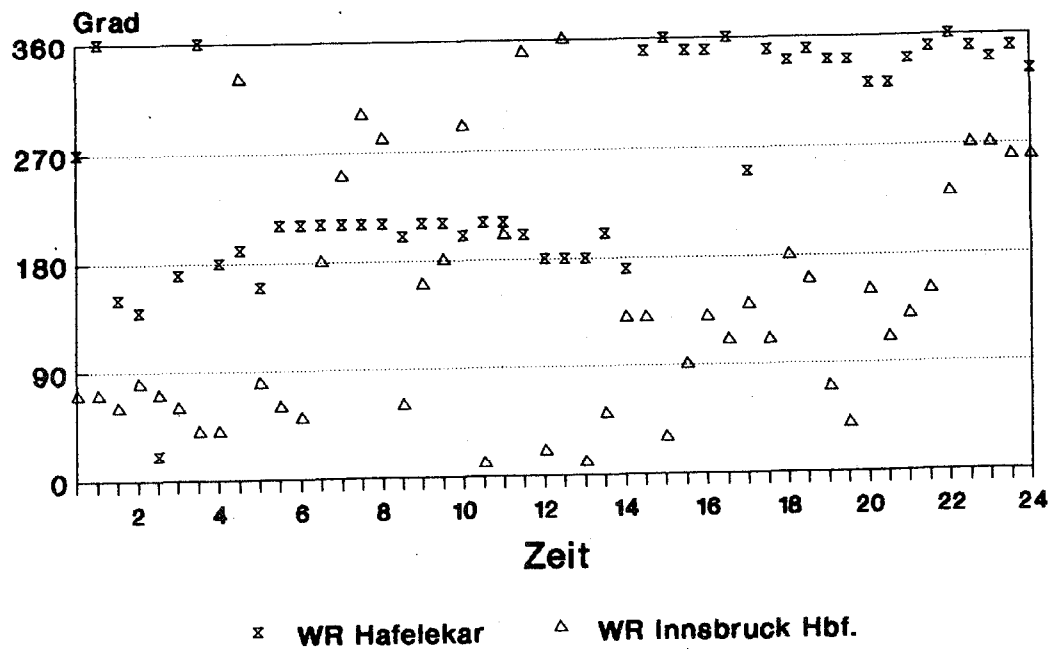


Abb. 141

Windrichtung 1.9. 1990



Windgeschwindigkeit 1.9. 1990

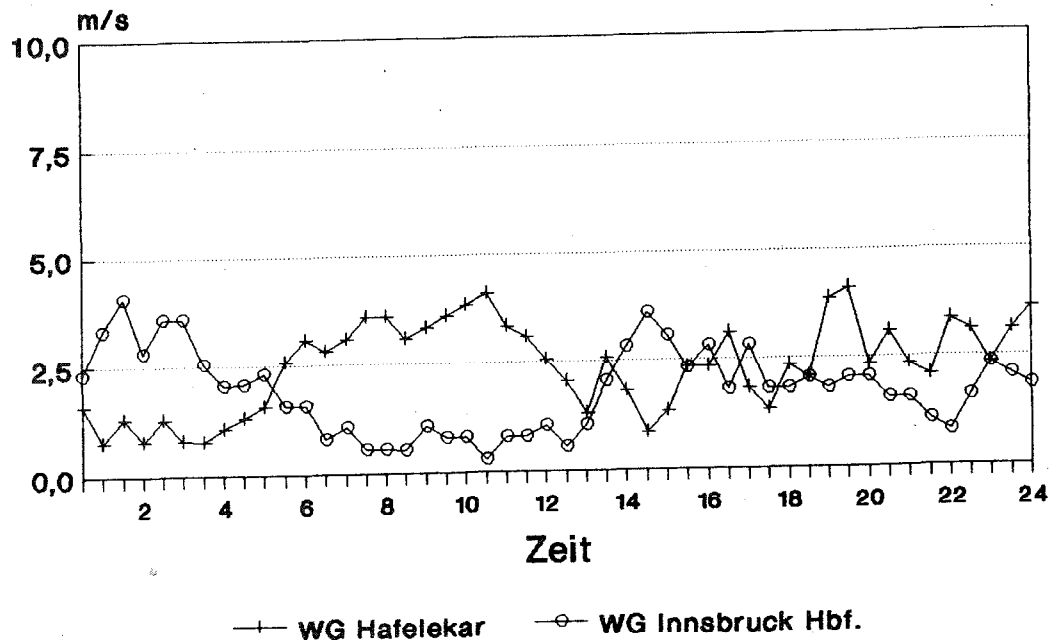
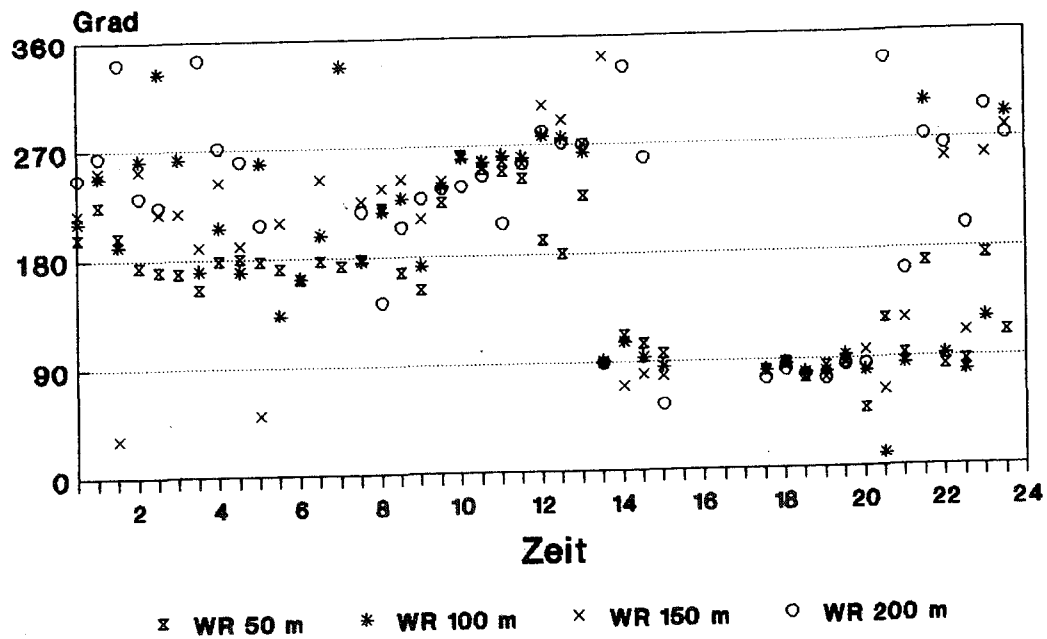


Abb. 142

Windrichtung Hall i.T. 29.8. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 29.8. 1990

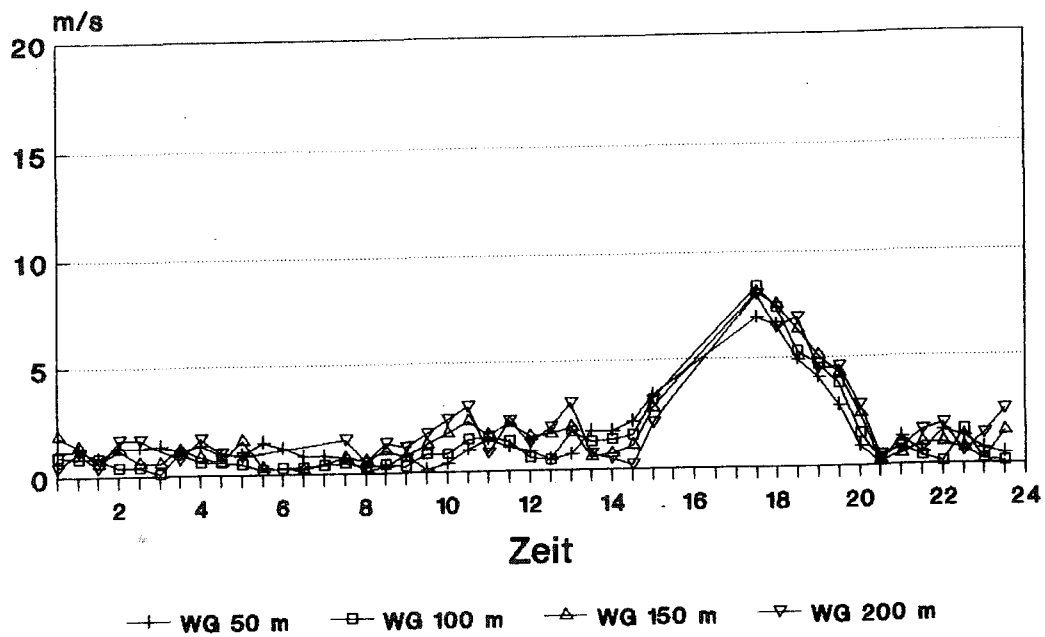
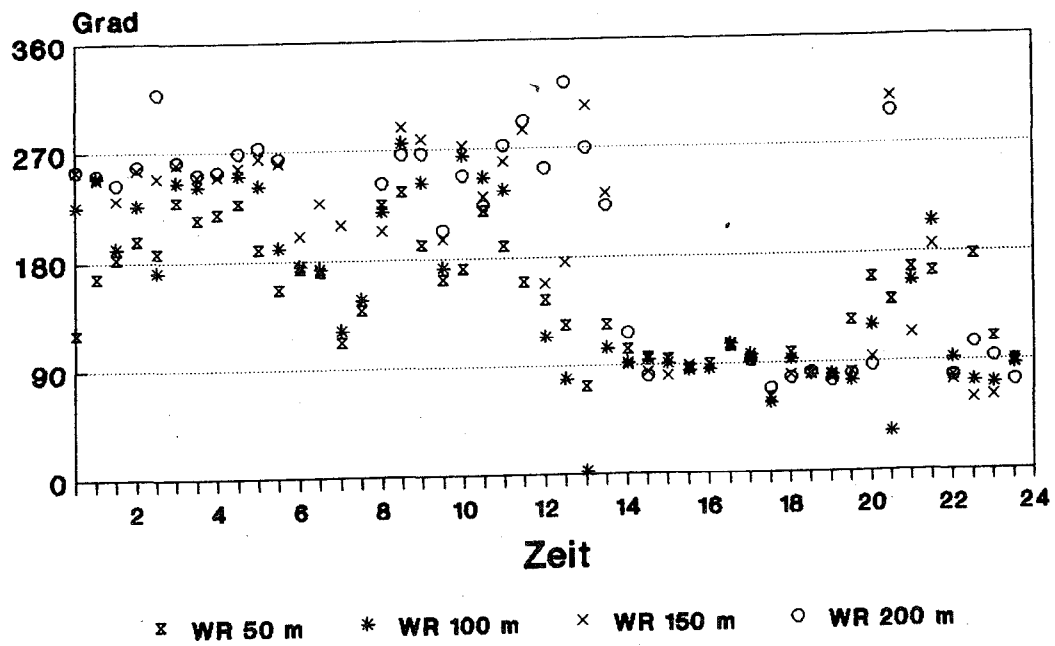


Abb. 143

Windrichtung Hall i.T. 30.8. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 30.8. 1990

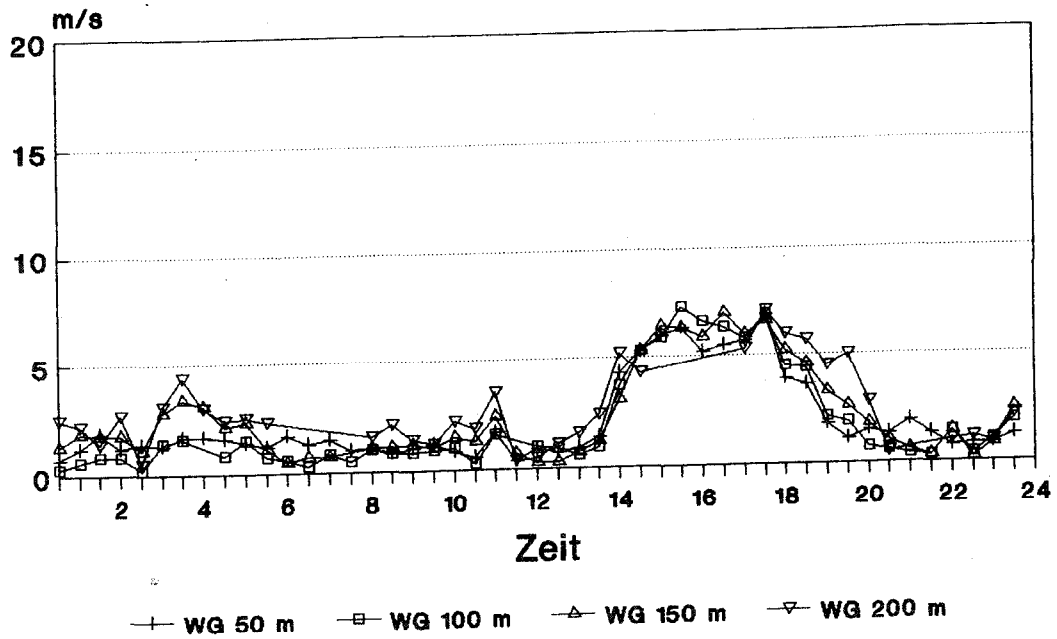
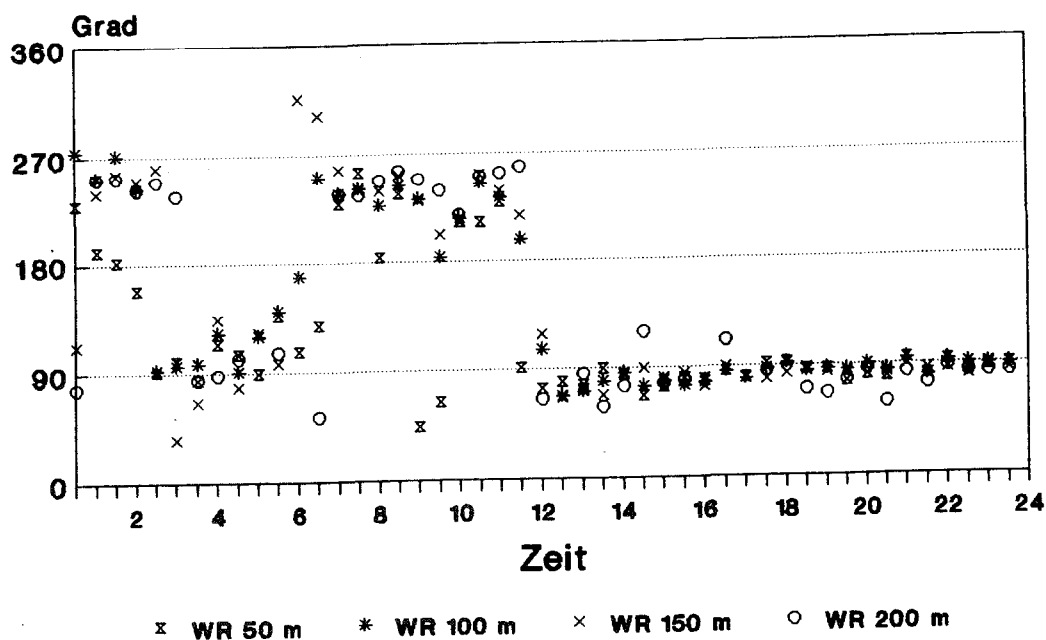


Abb. 144

Windrichtung Hall i.T. 31.8. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 31.8. 1990

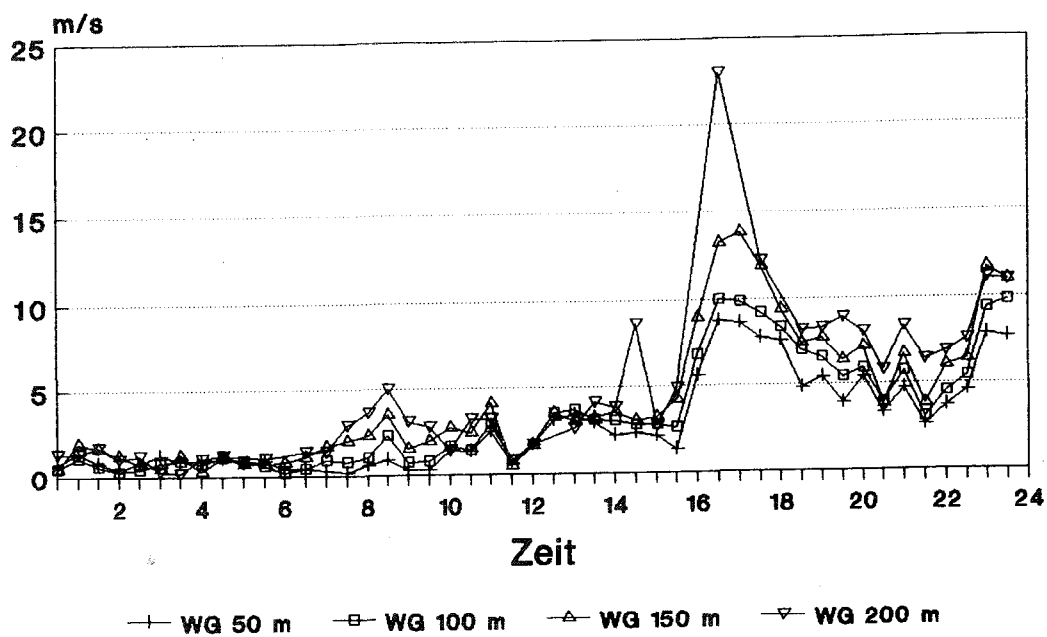
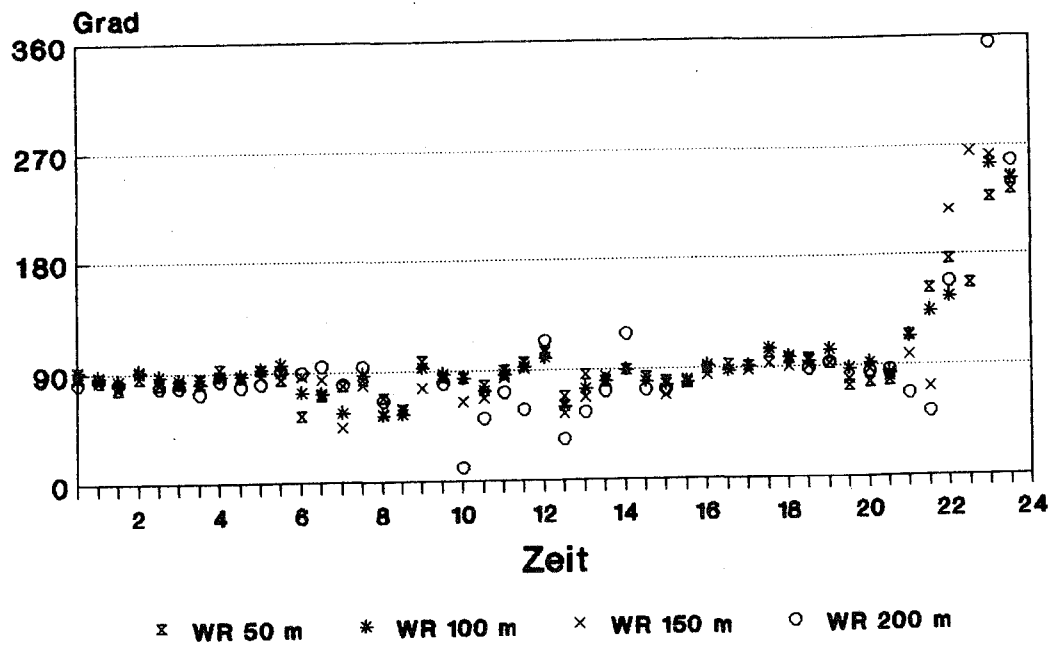


Abb. 145

Windrichtung Hall i.T. 1.9. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 1.9. 1990

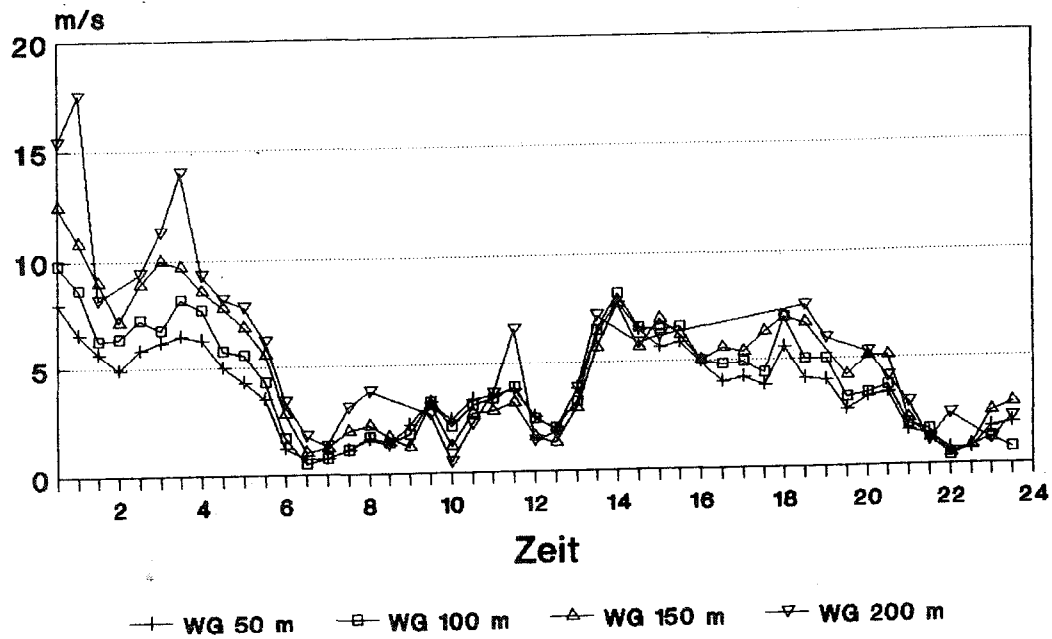


Abb. 146

Wind Hall i.T. 31.8. 1990

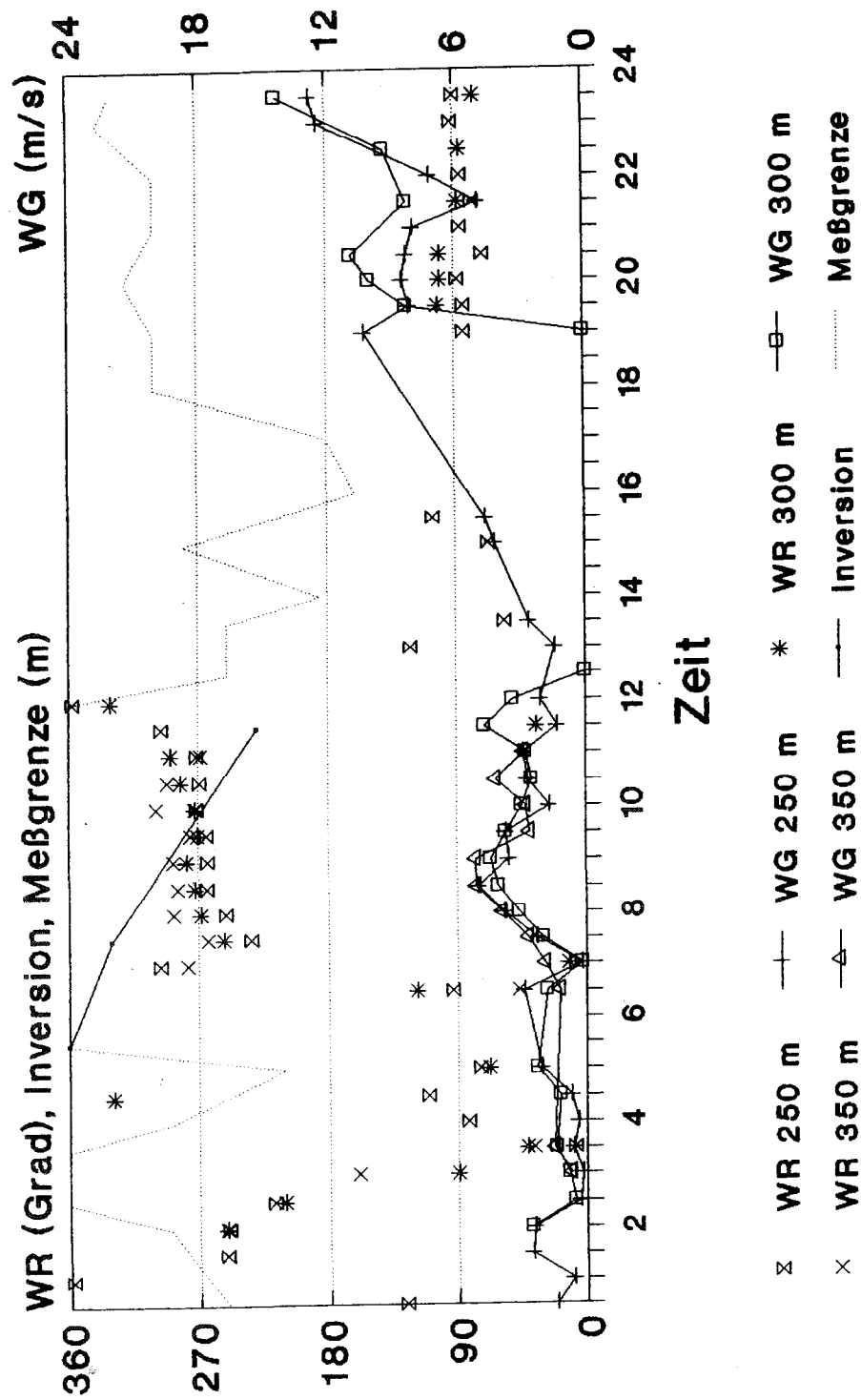


Abb. 147

Temperatur 29. - 30.8. 1990

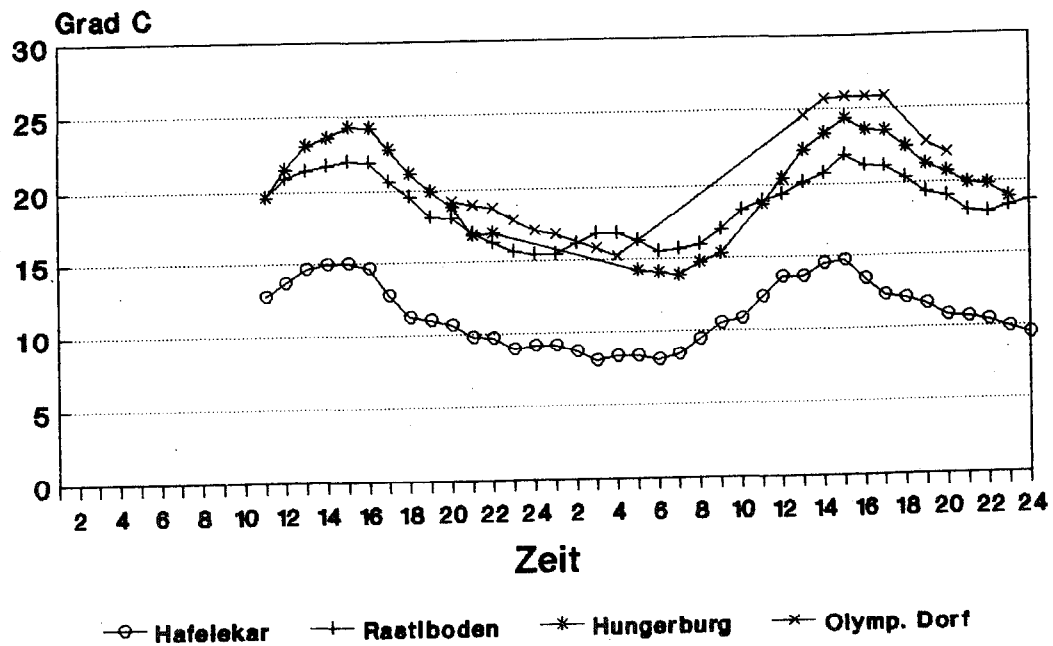


Abb. 148

Temperatur 31.8. - 1.9. 1990

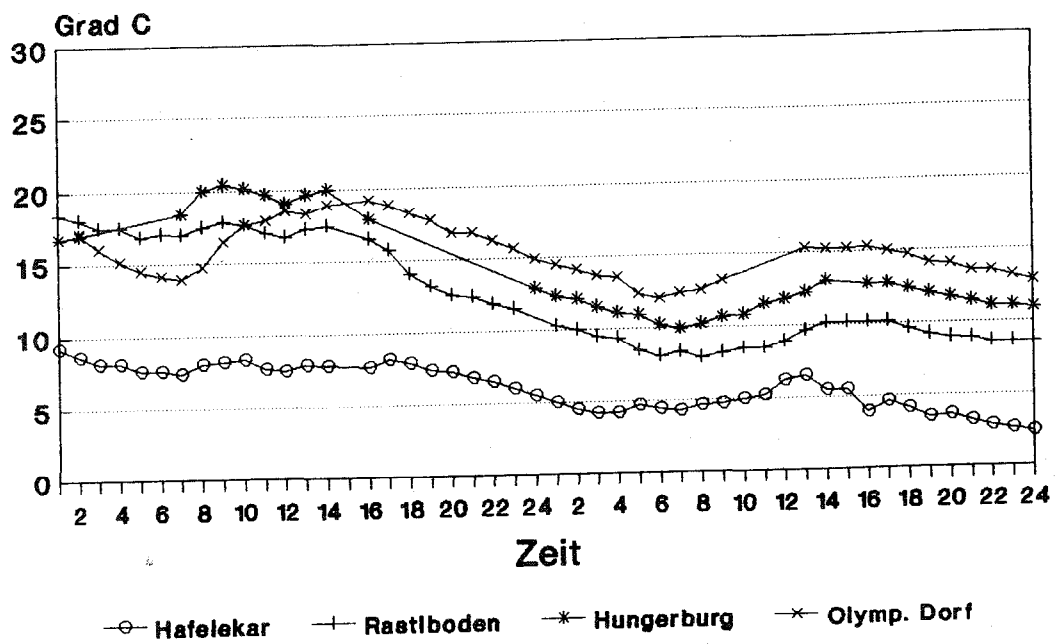


Abb. 149

**Immission
29.8. 1990**

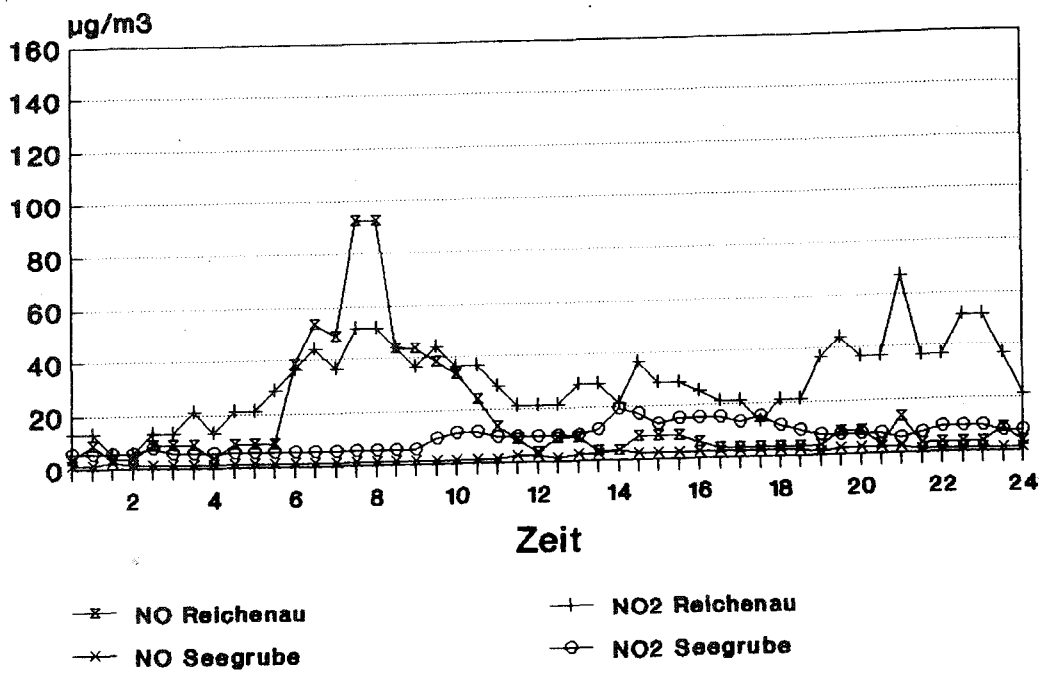
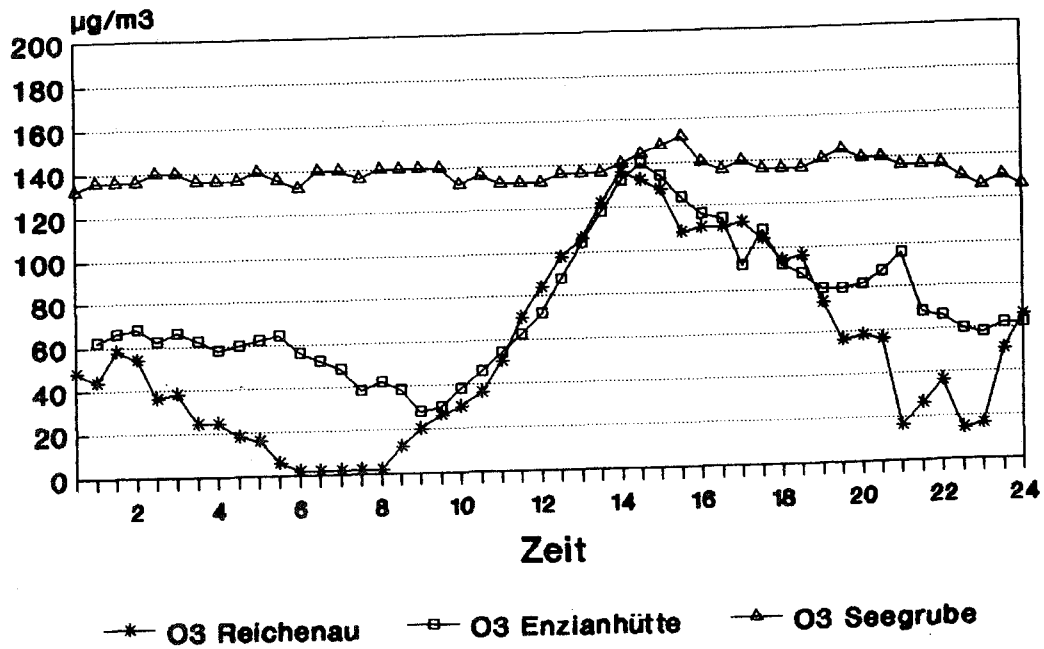


Abb. 150

Immission 30.8. 1990

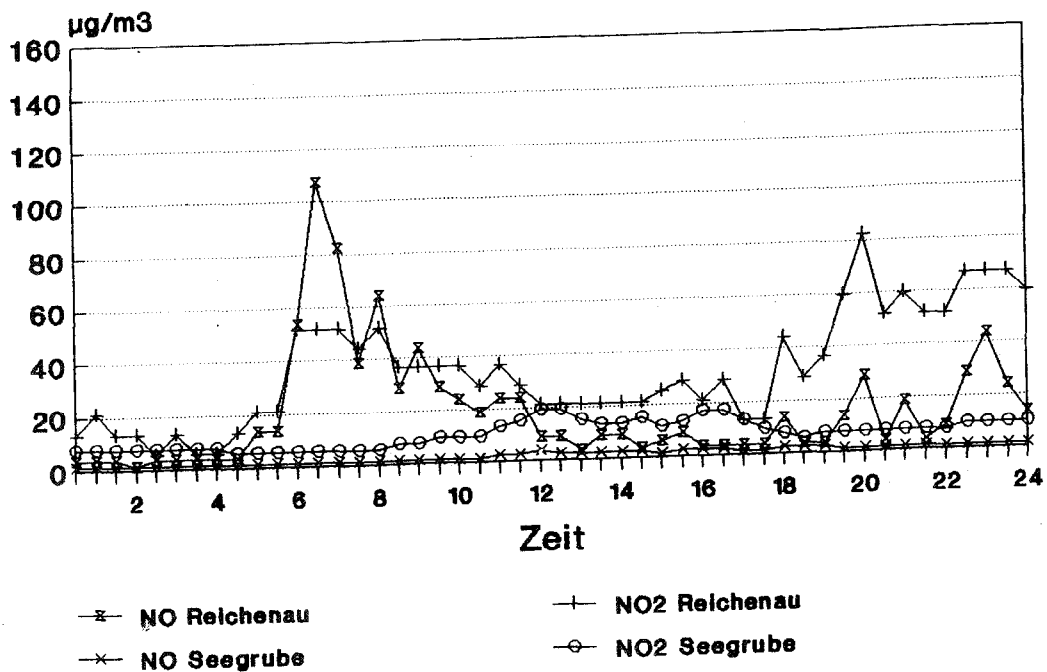
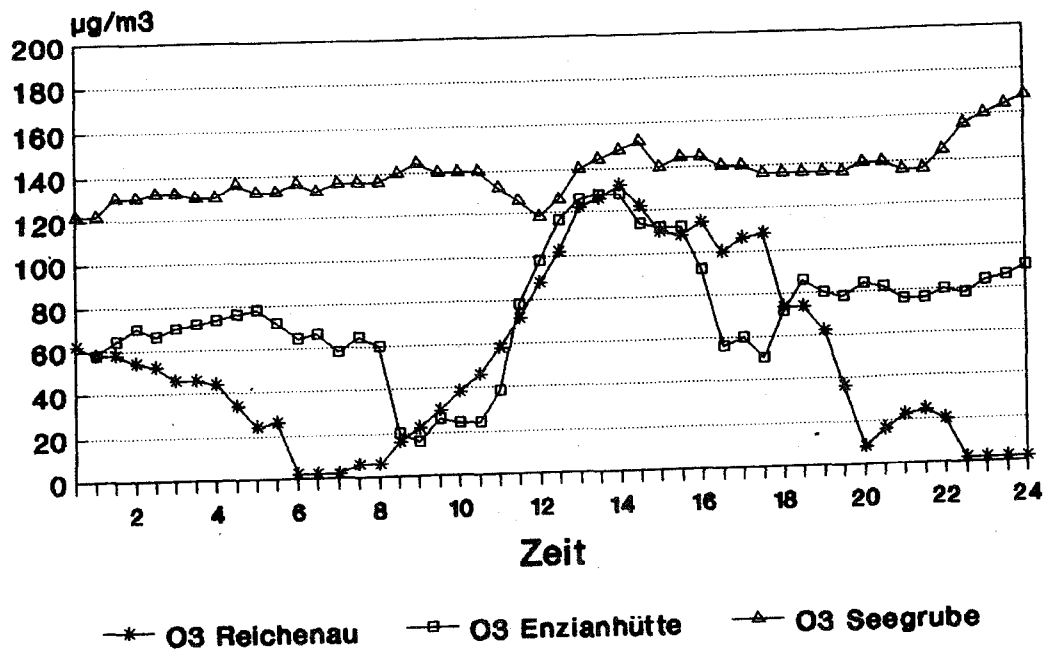


Abb. 151

Immission
31.8. 1990

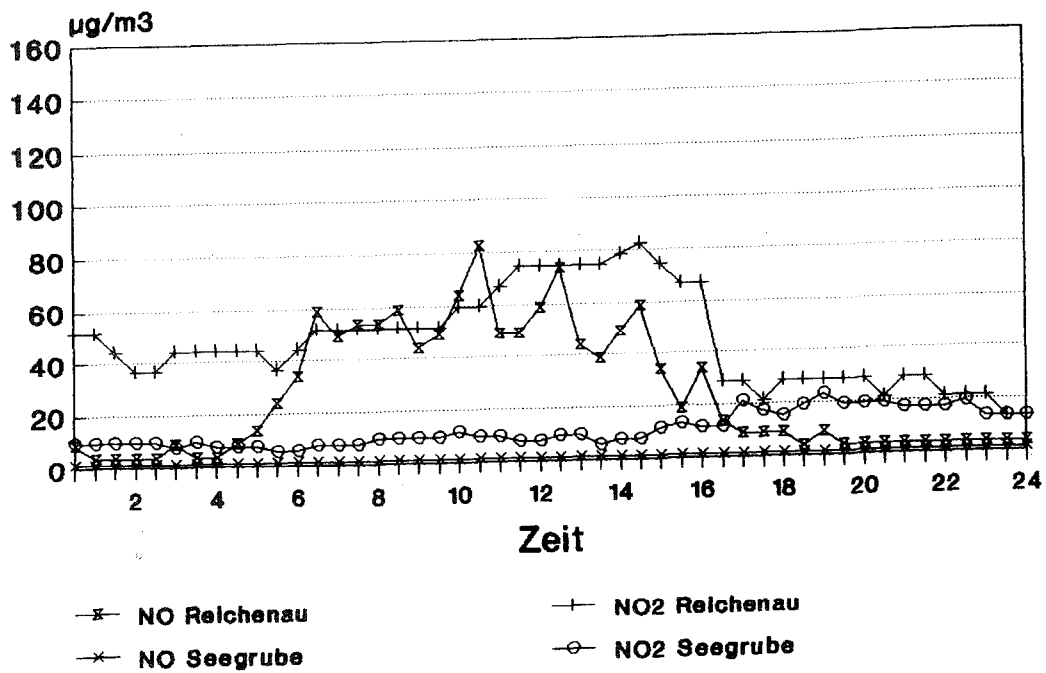
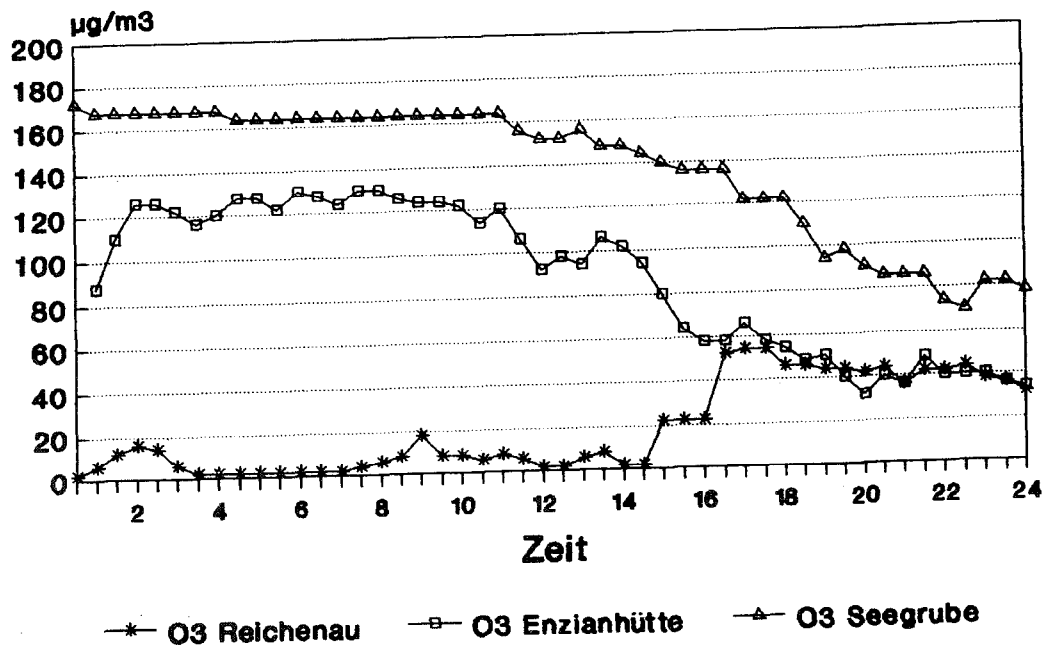


Abb. 152

Immission 1.9. 1990

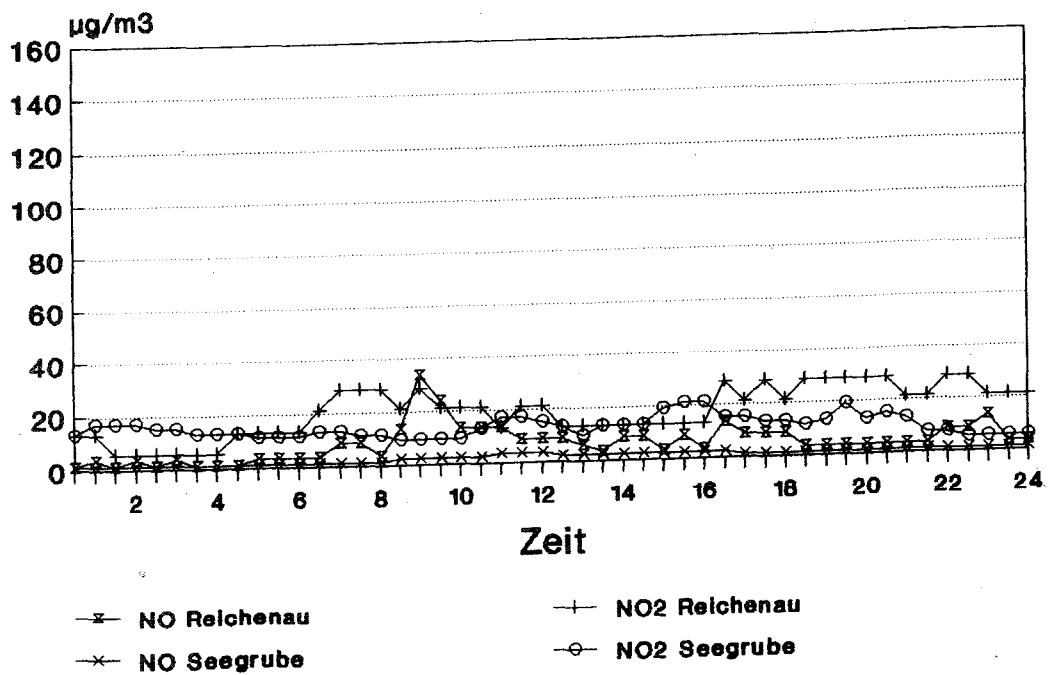
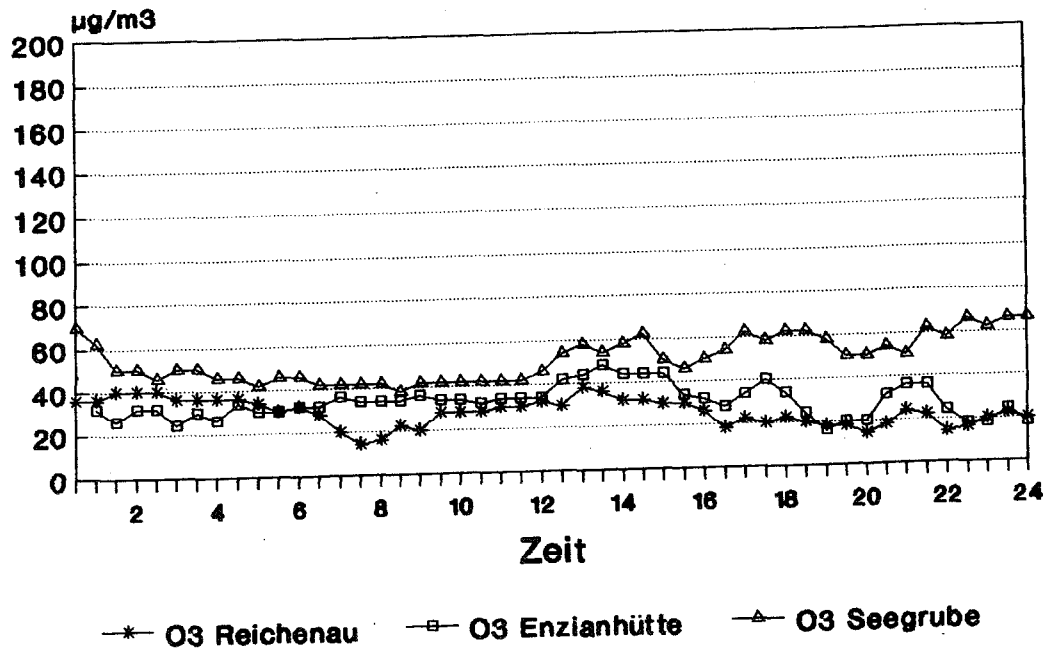
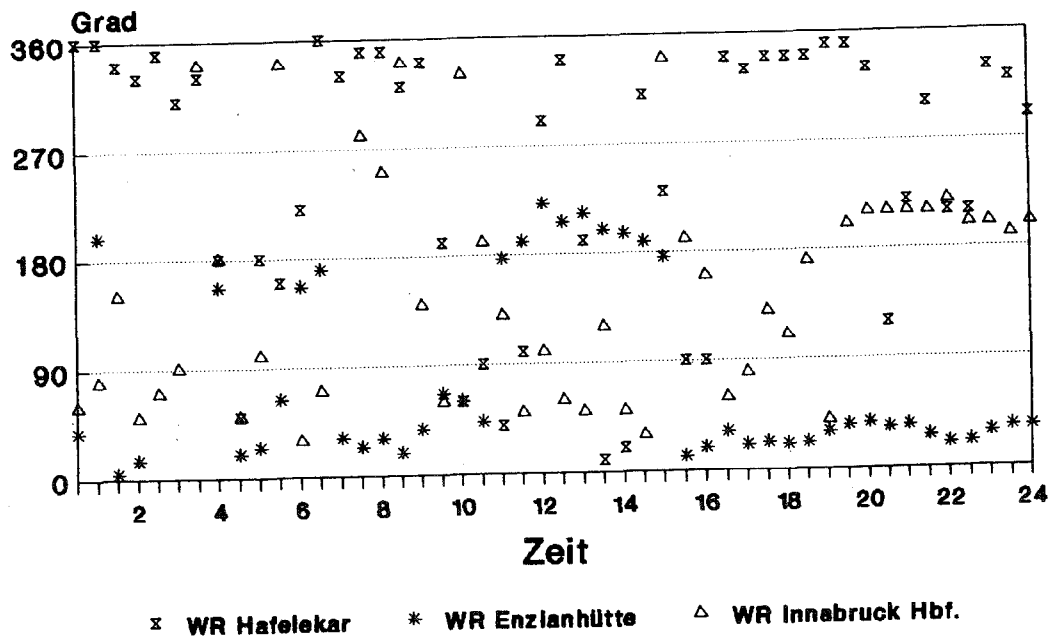


Abb. 153

Windrichtung 24.9. 1990



Windgeschwindigkeit 24.9. 1990

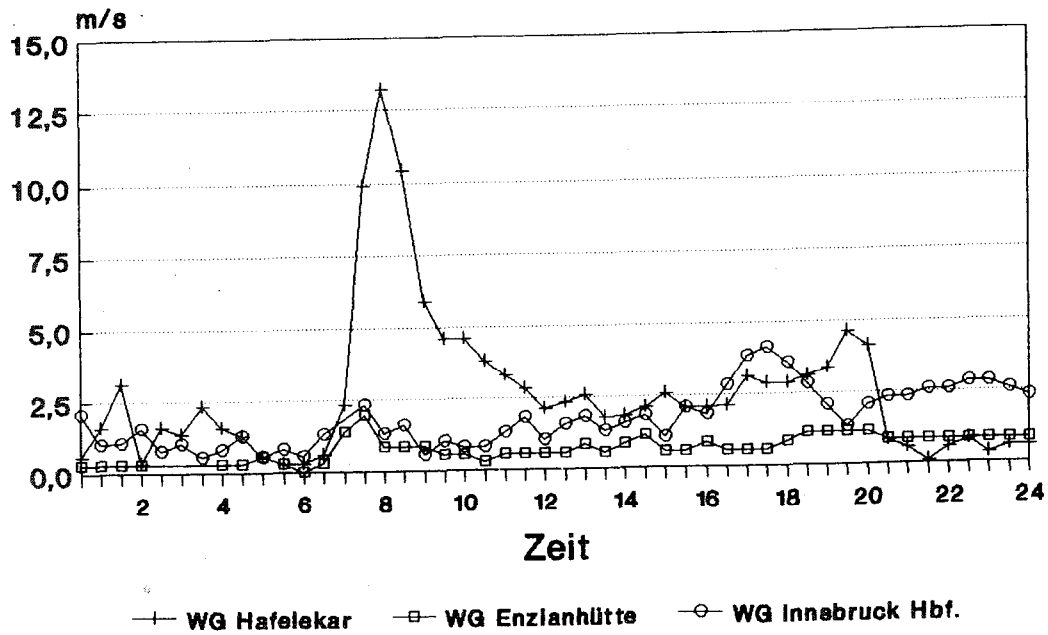
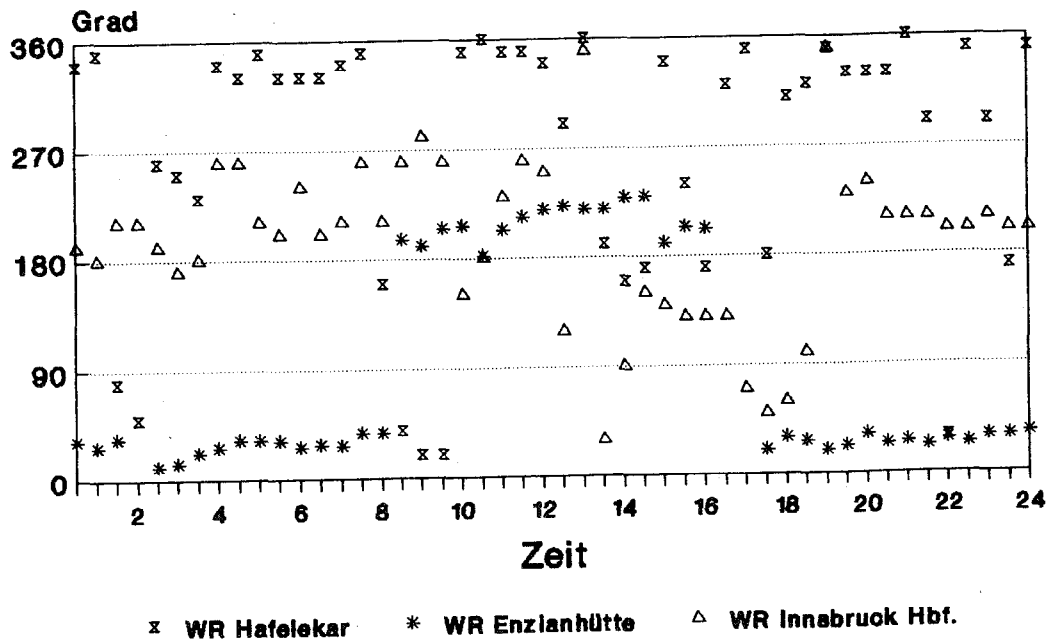


Abb. 154

Windrichtung 25.9. 1990



Windgeschwindigkeit 25.9. 1990

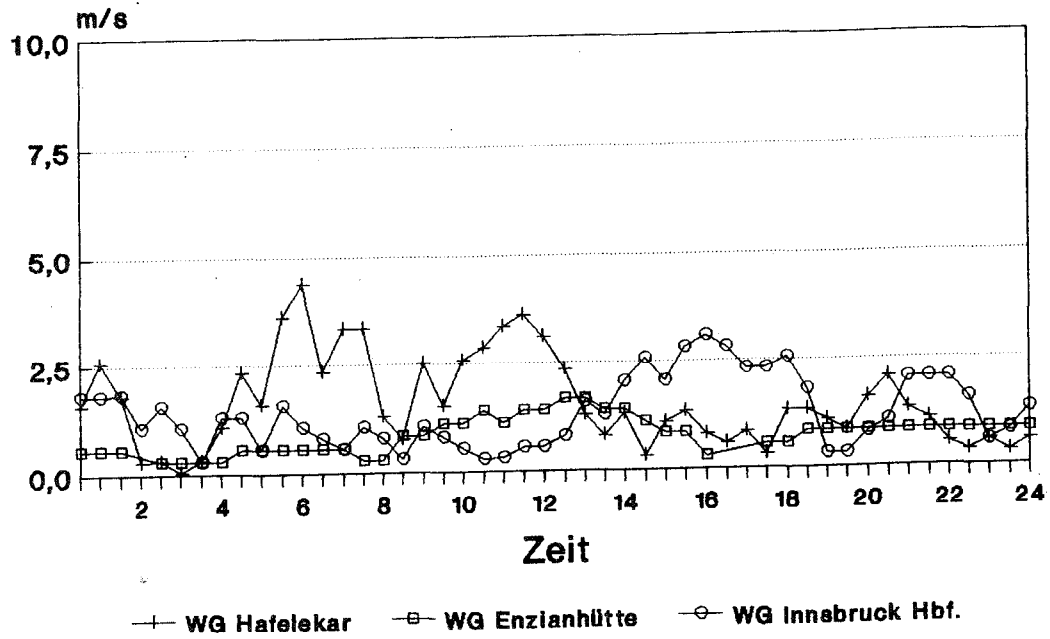
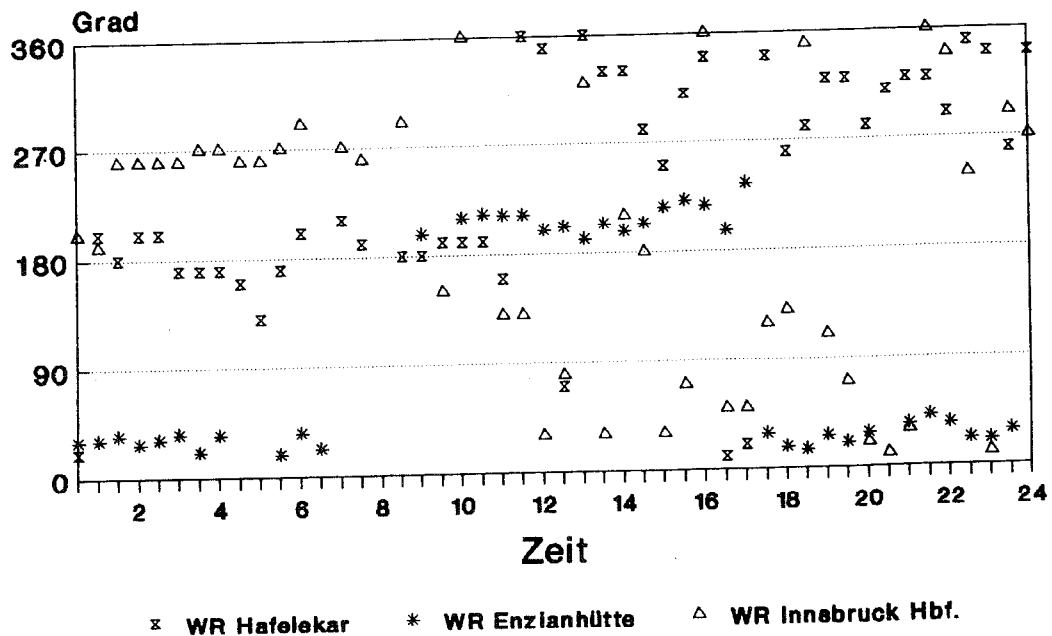


Abb. 155

Windrichtung 26.9.1990



Windgeschwindigkeit 26.9.1990

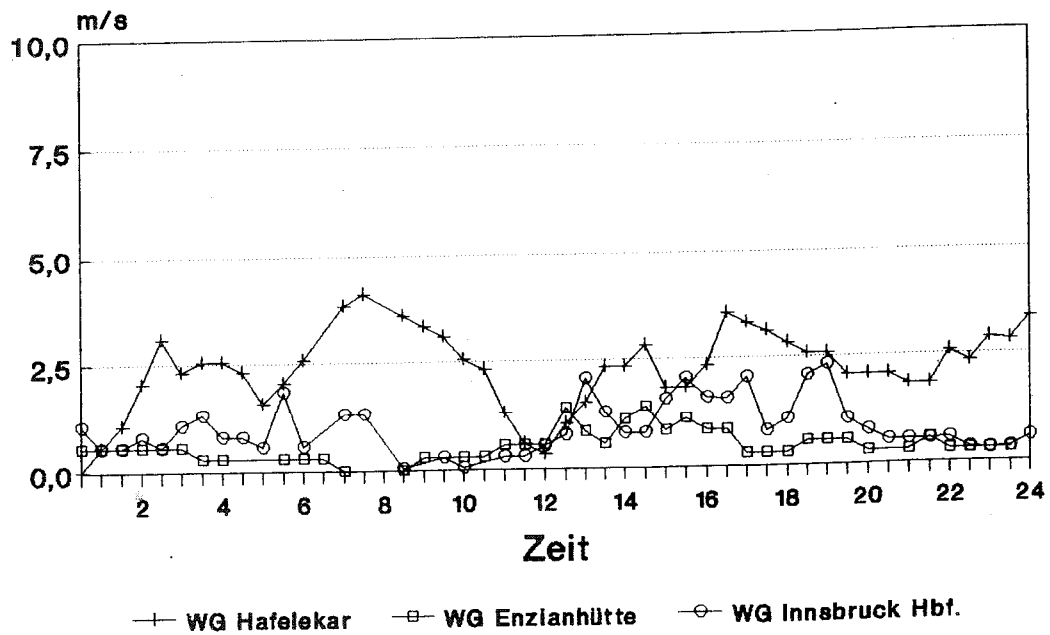
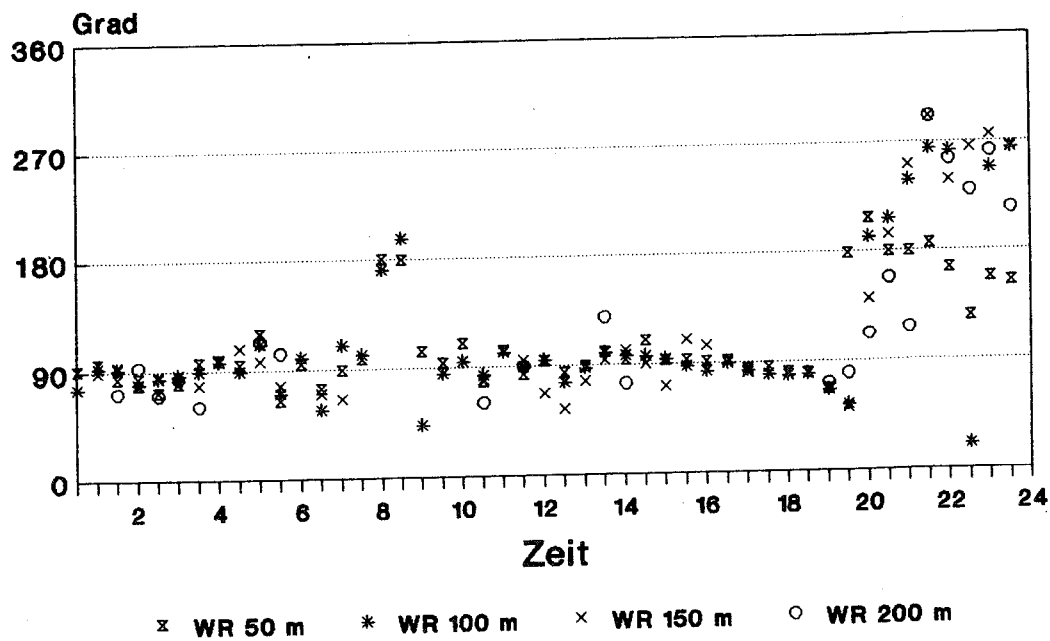


Abb. 156

Windrichtung Hall i.T. 24.9. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 24.9. 1990

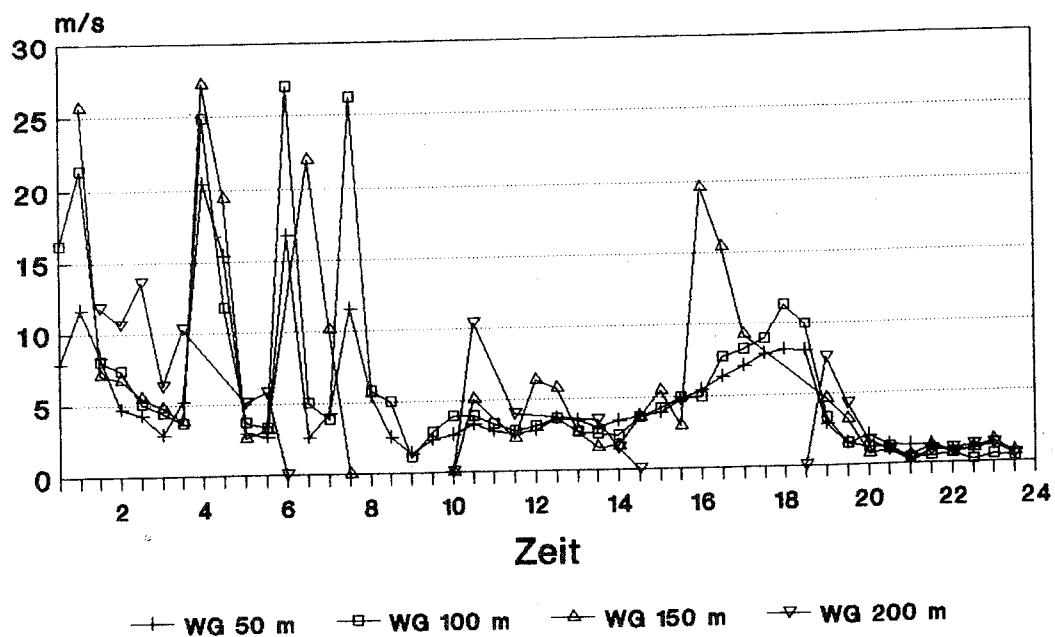
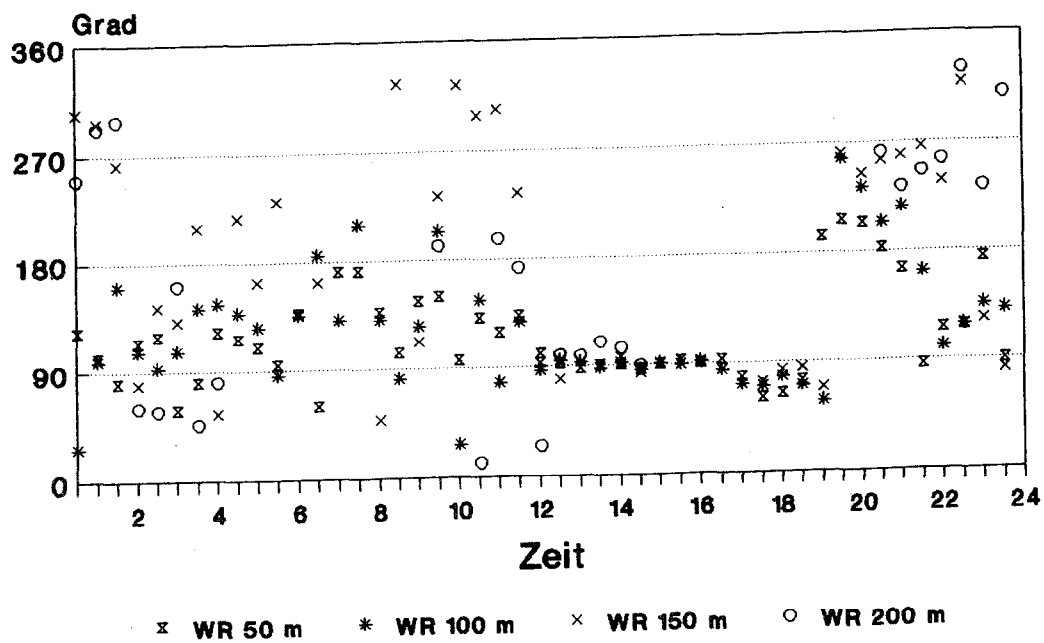


Abb. 157

Windrichtung Hall i.T. 25.9. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 25.9. 1990

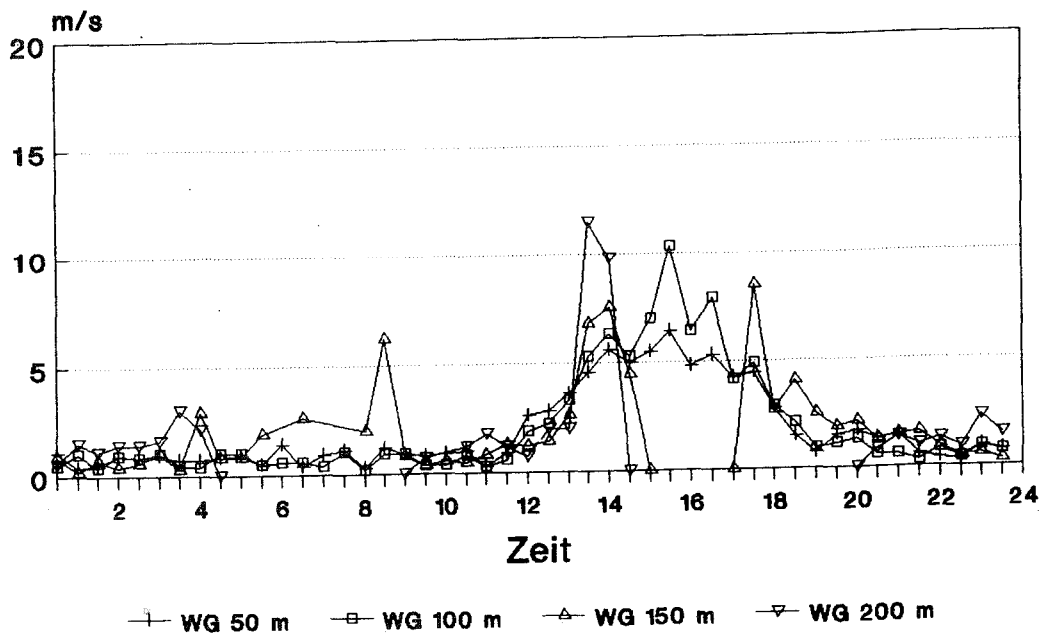
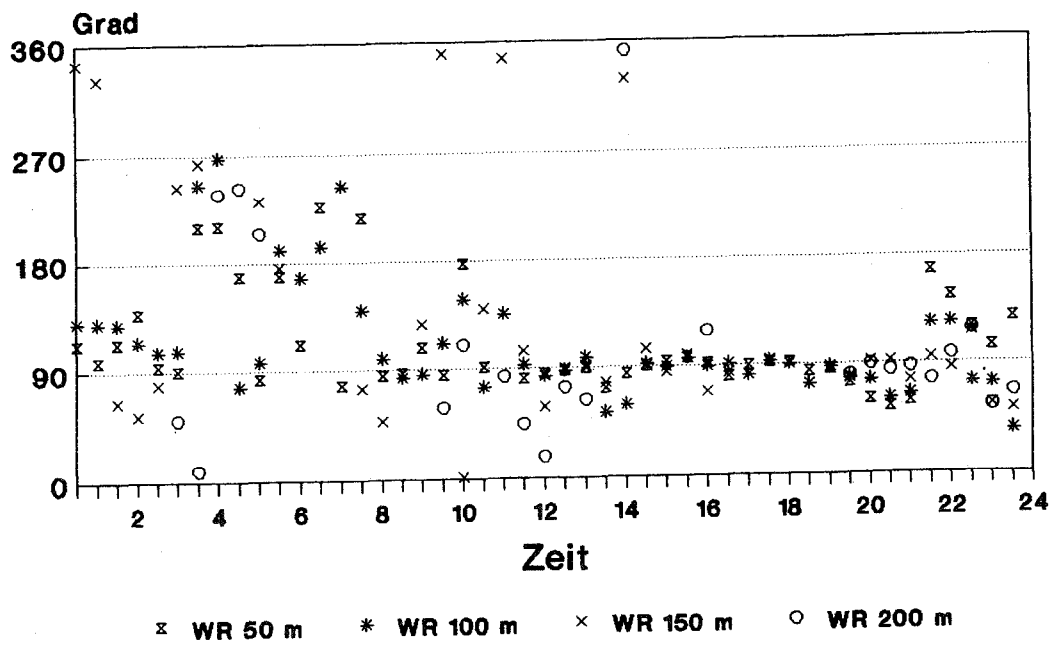


Abb. 158

Windrichtung Hall i.T. 26.9. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 26.9. 1990

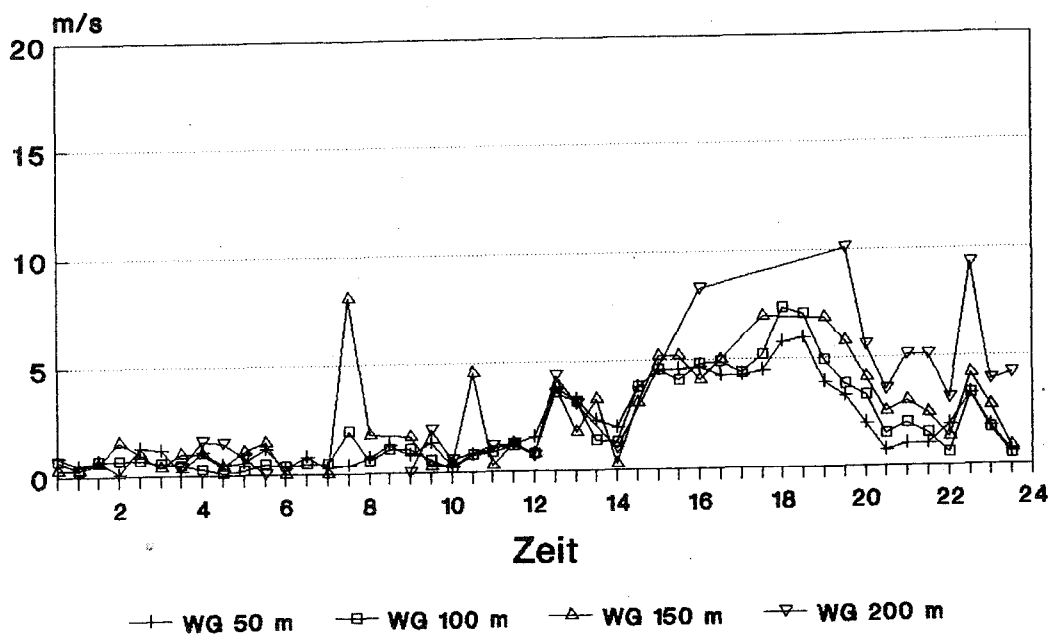


Abb. 159

Temperatur 24. - 25.9. 1990

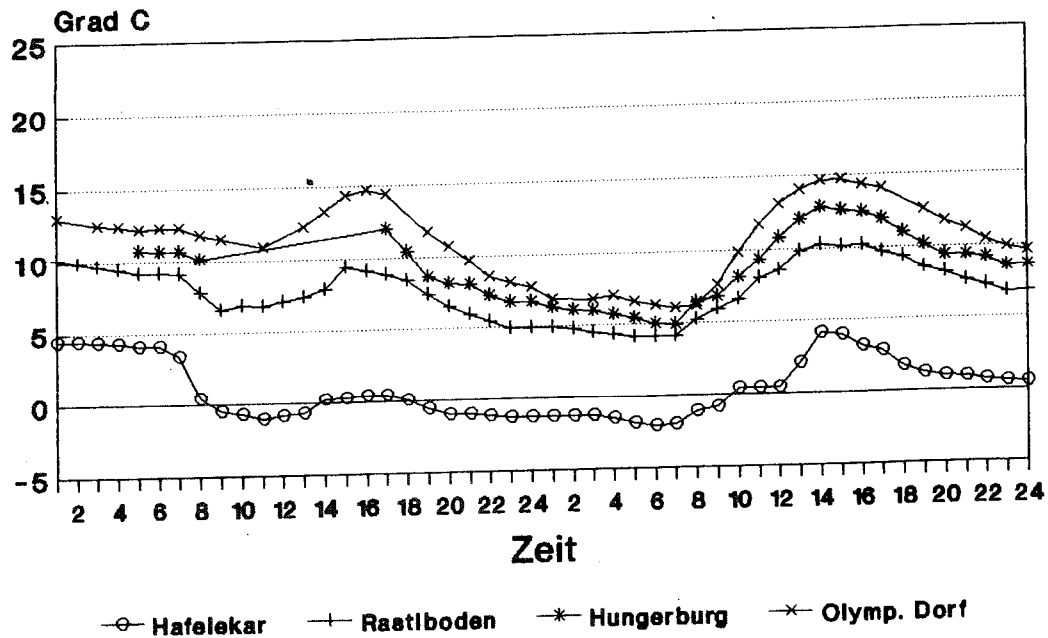


Abb. 160

Temperatur 26.9. 1990

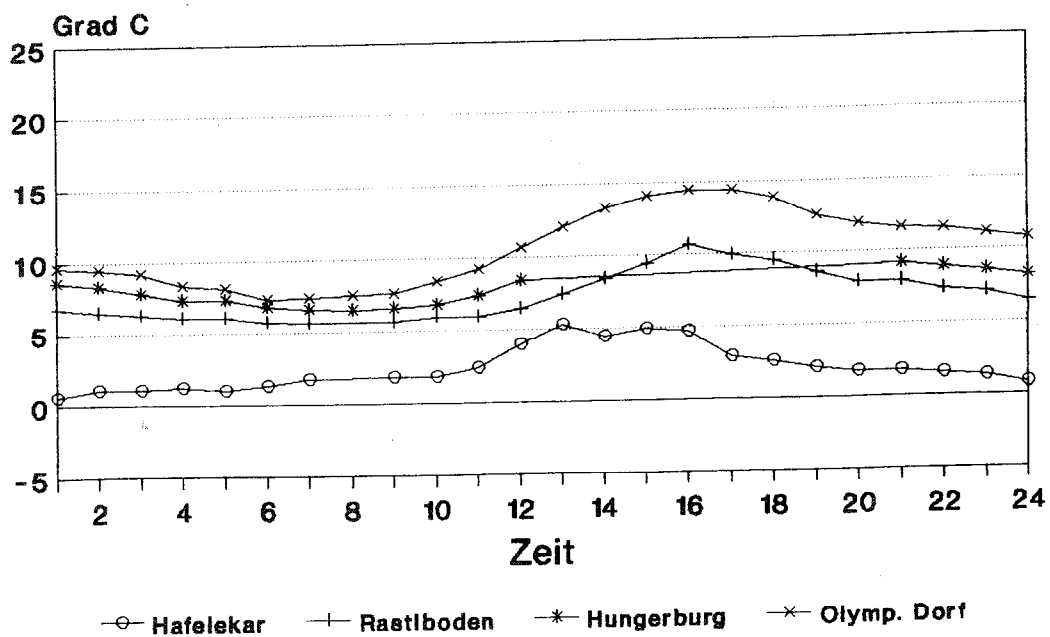


Abb. 161

Immission 24.9. 1990

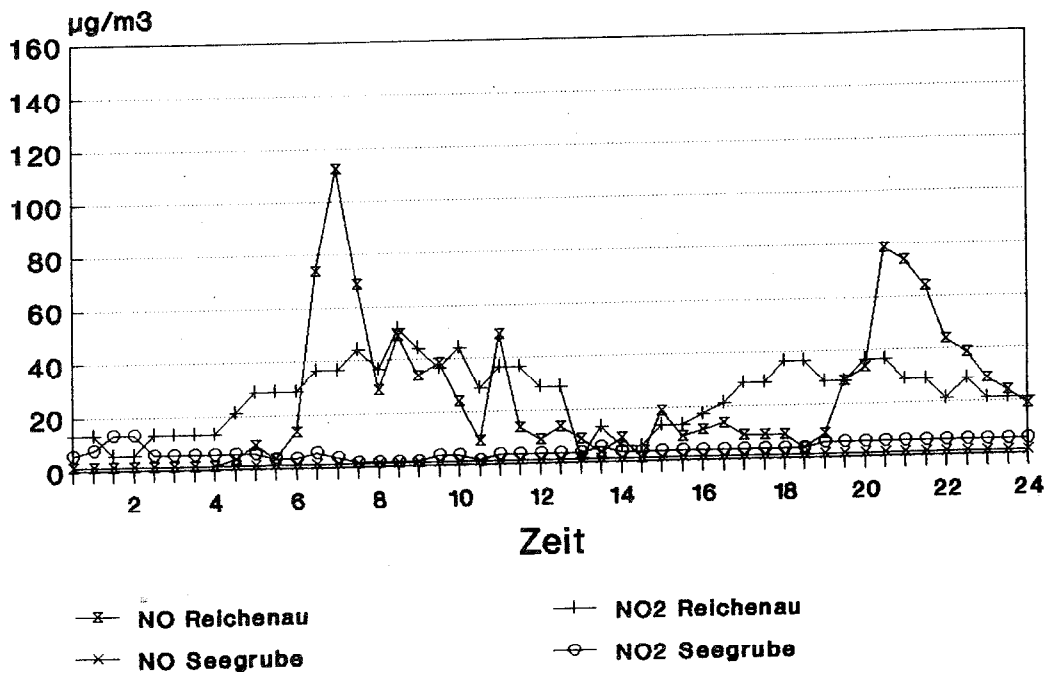
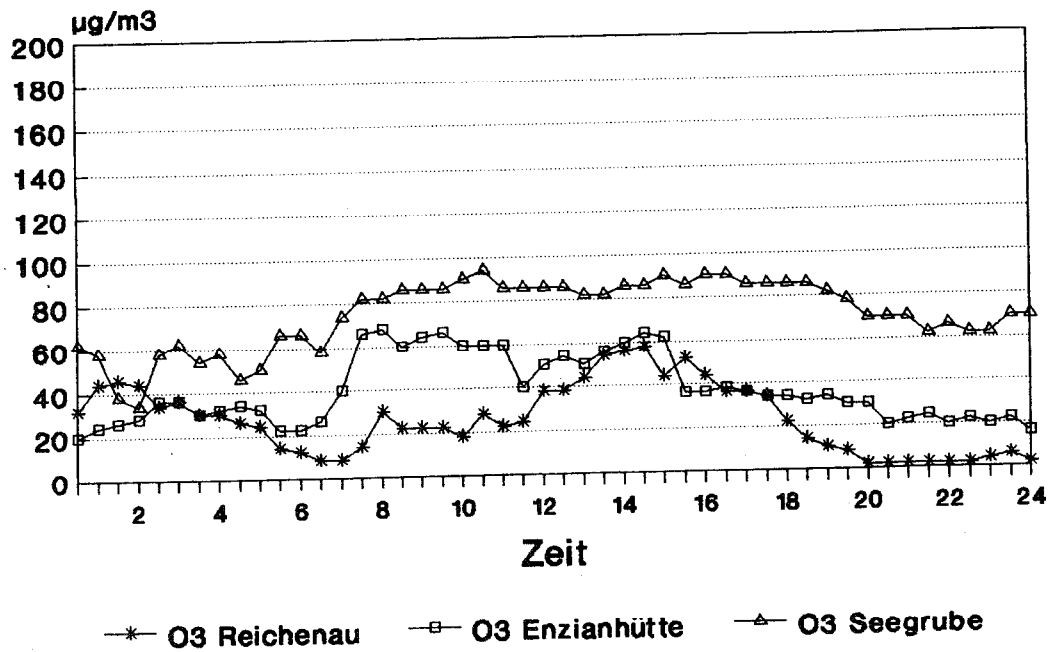


Abb. 162

**Immission
25.9. 1990**

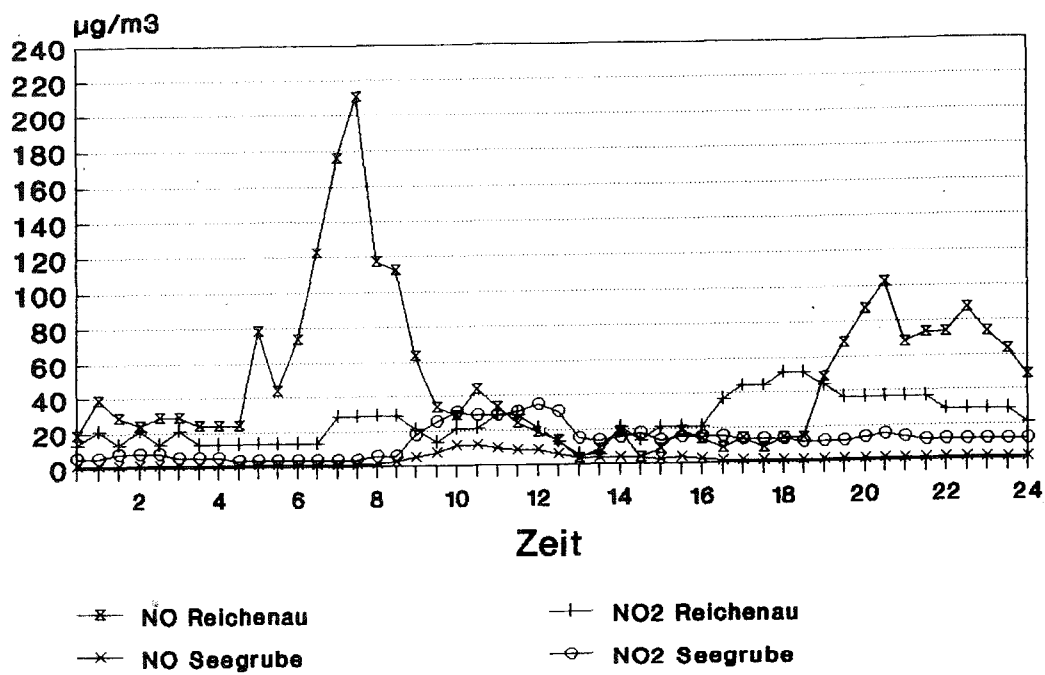
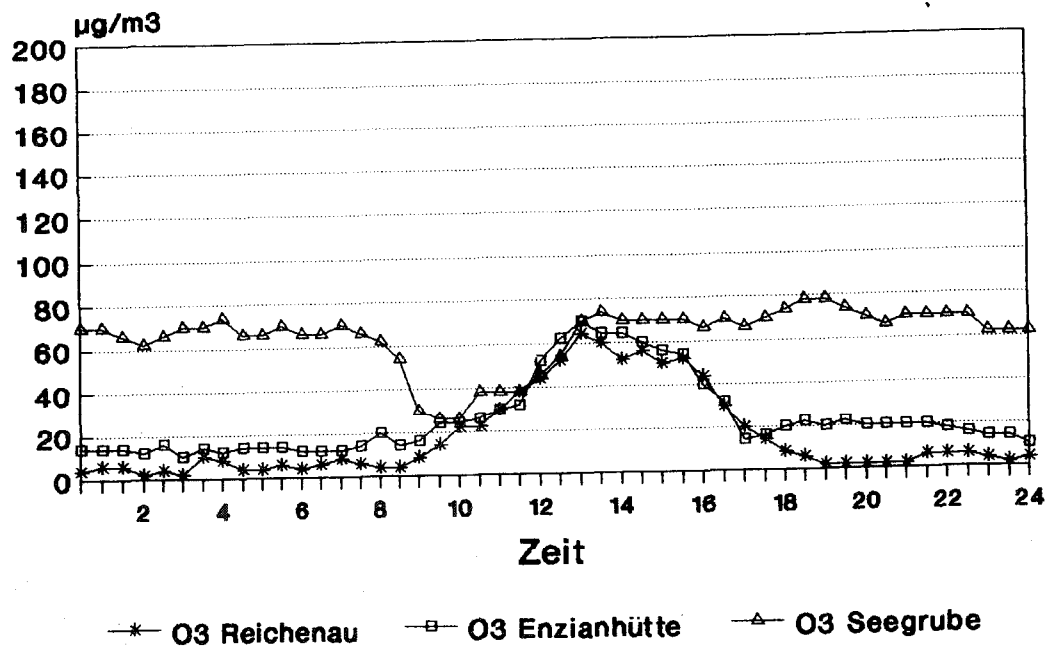


Abb. 163

Immission
26.9. 1990

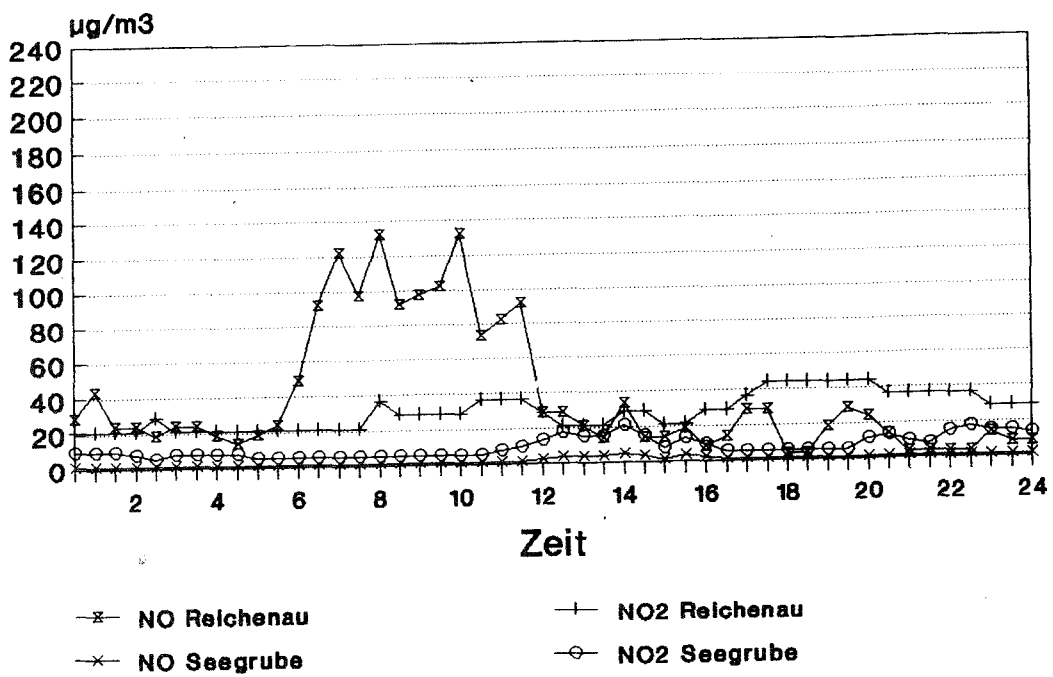
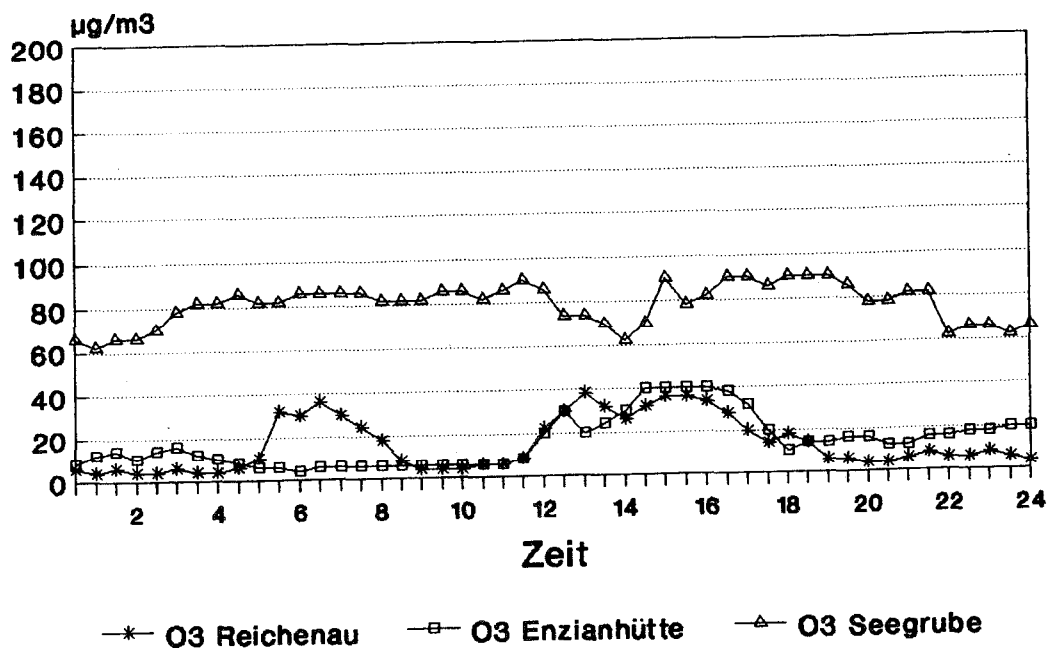


Abb. 164

Temperatur 21. - 22. 10. 1990

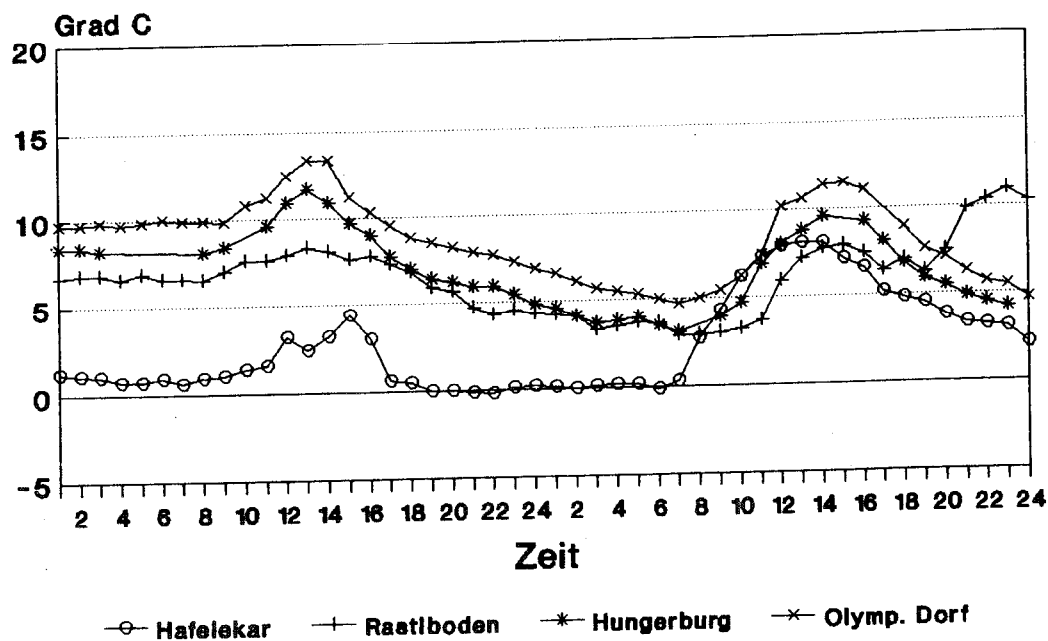


Abb. 165

Temperatur 23. - 24.10.1990

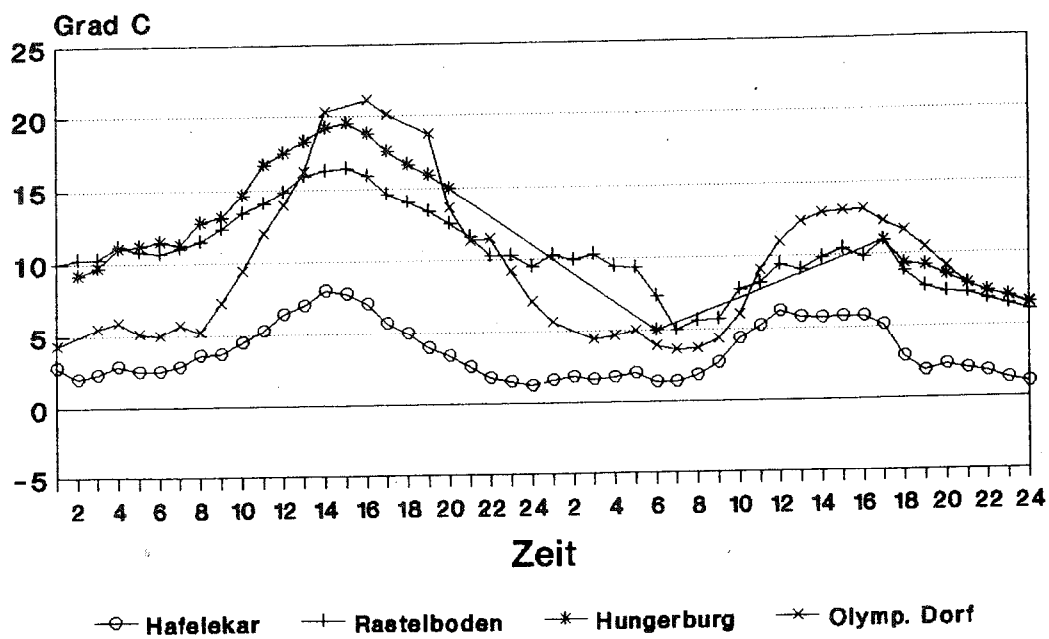
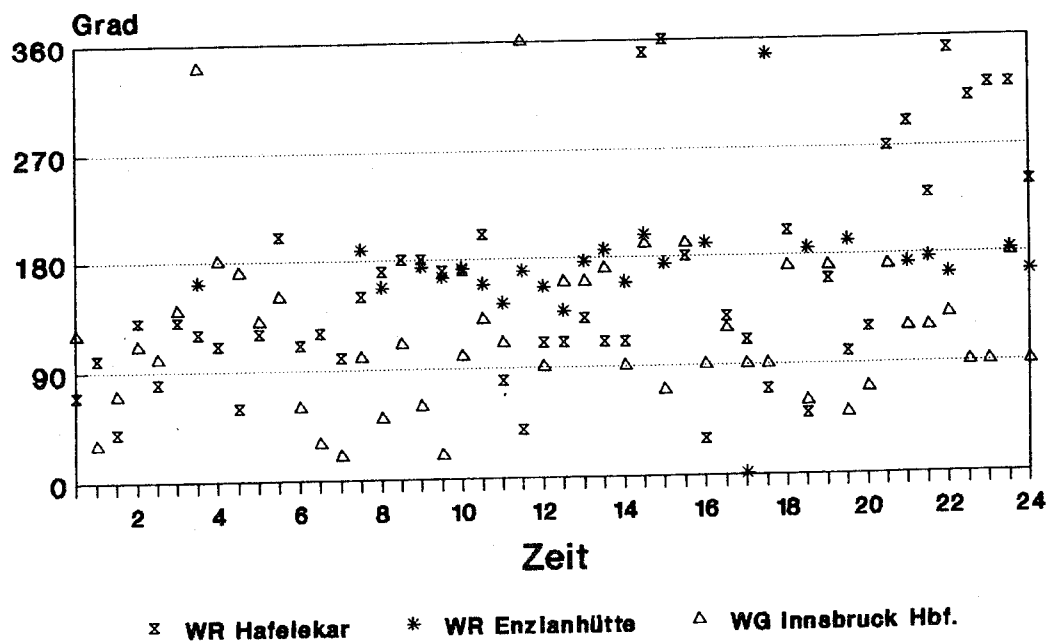


Abb. 166

Windrichtung 21.10. 1990



Windgeschwindigkeit 21.10. 1990

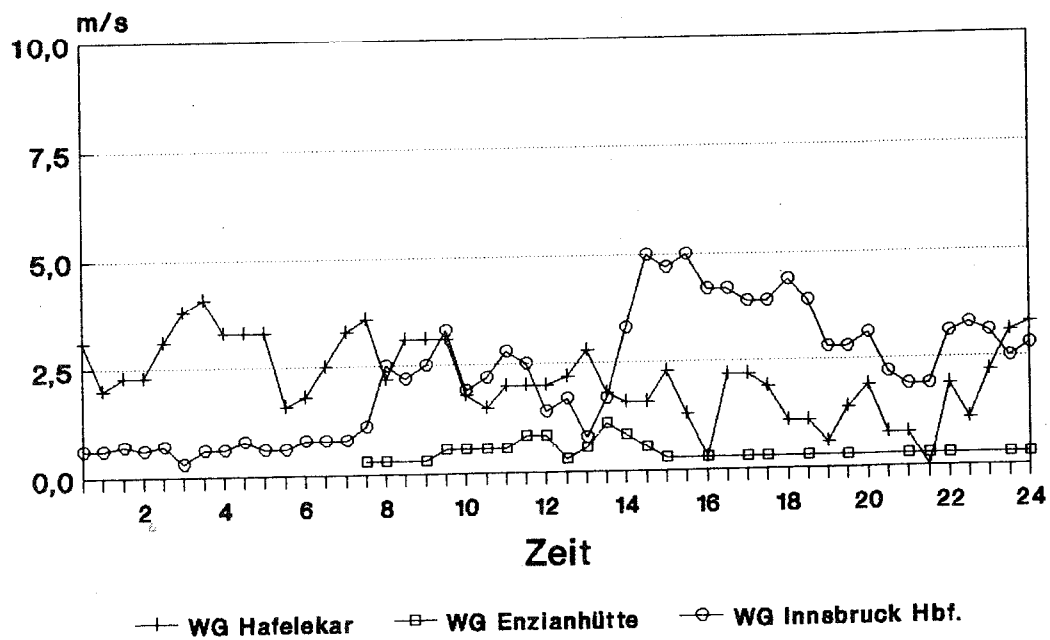
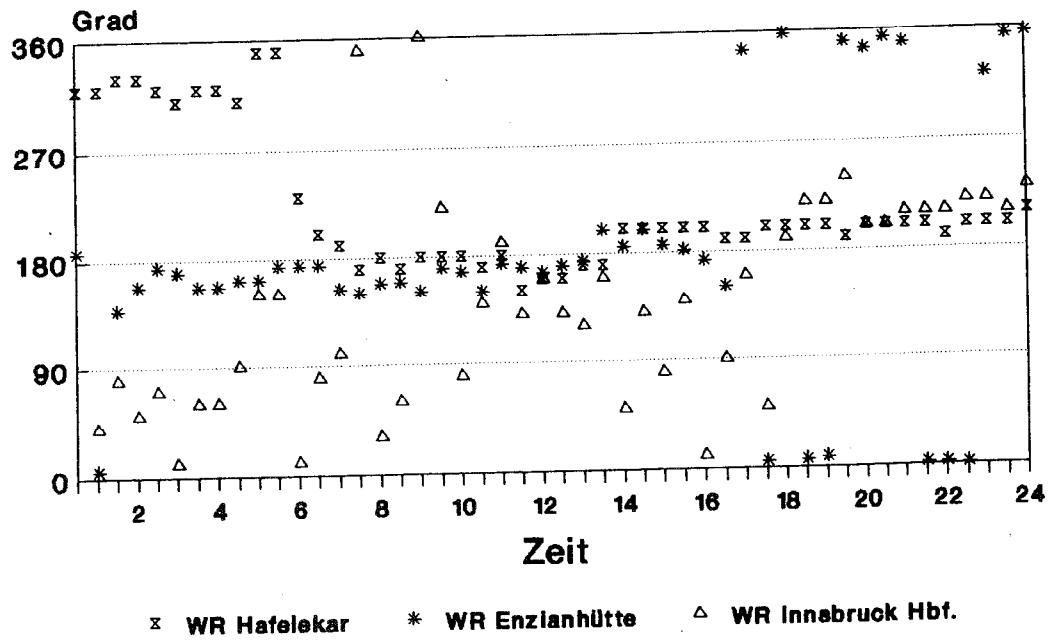


Abb. 167

Windrichtung 22.10.1990



Windgeschwindigkeit 22.10.1990

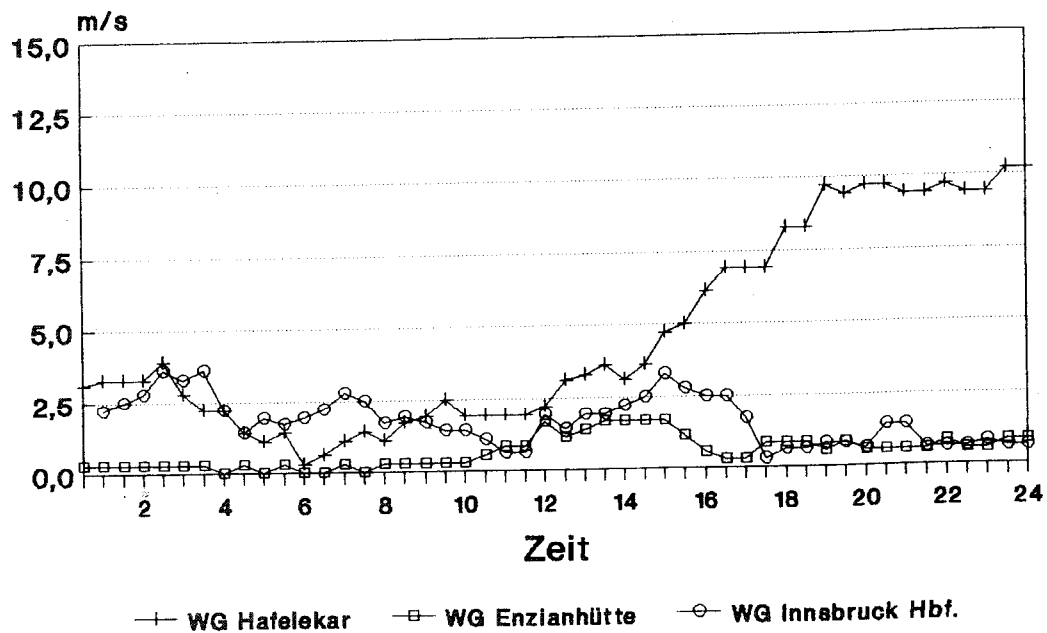
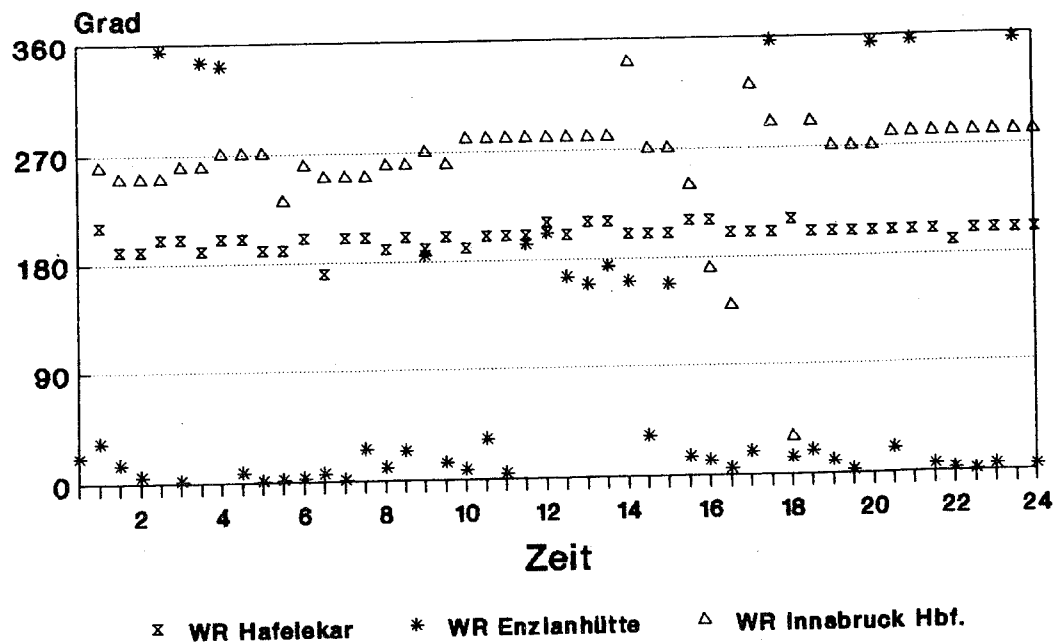


Abb. 168

Windrichtung 23.10.1990



Windgeschwindigkeit 23.10.1990

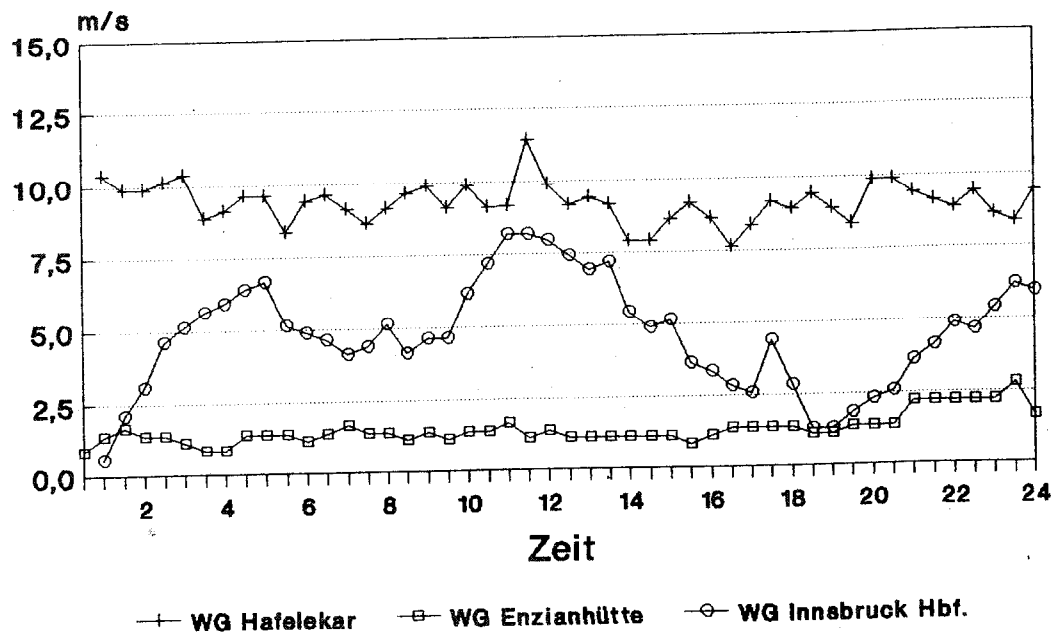
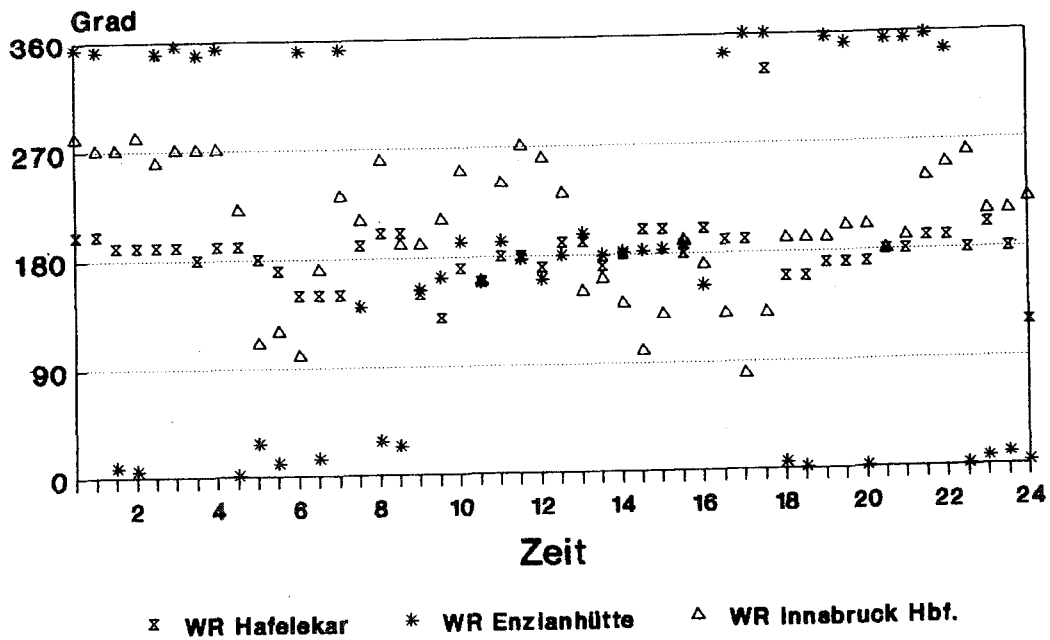


Abb. 169

Windrichtung 24.10. 1990



Windgeschwindigkeit 24.10. 1990

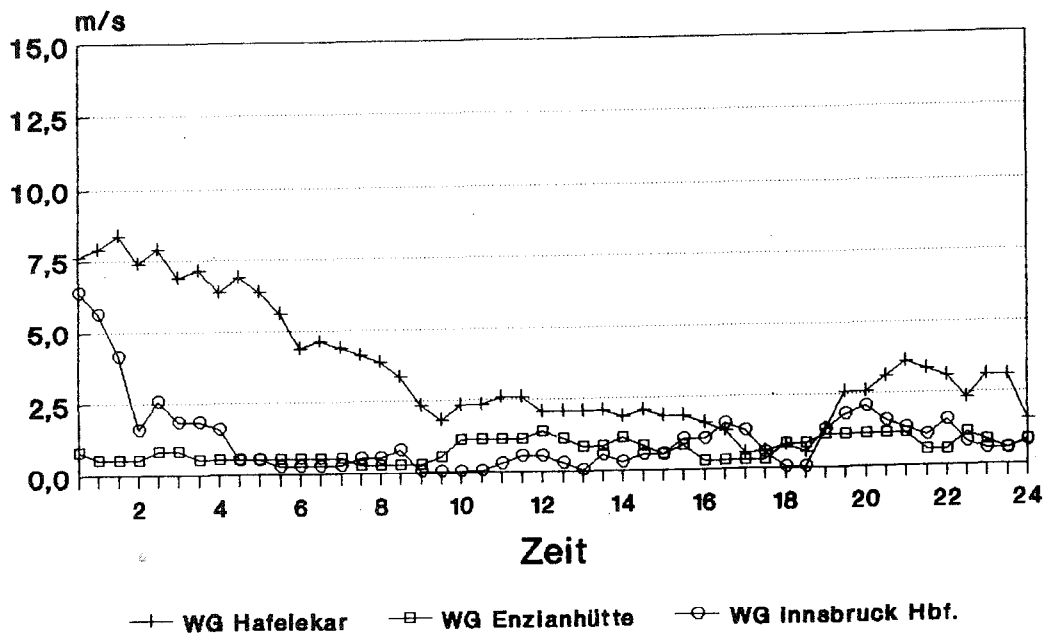
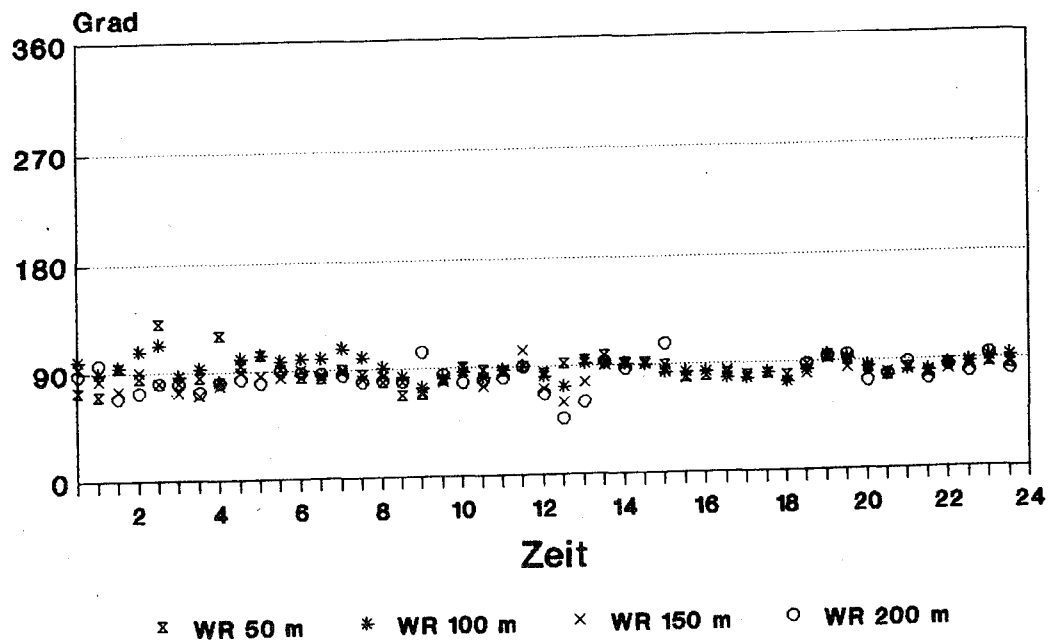


Abb. 170

Windrichtung Hall i.T. 21.10. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 21.10. 1990

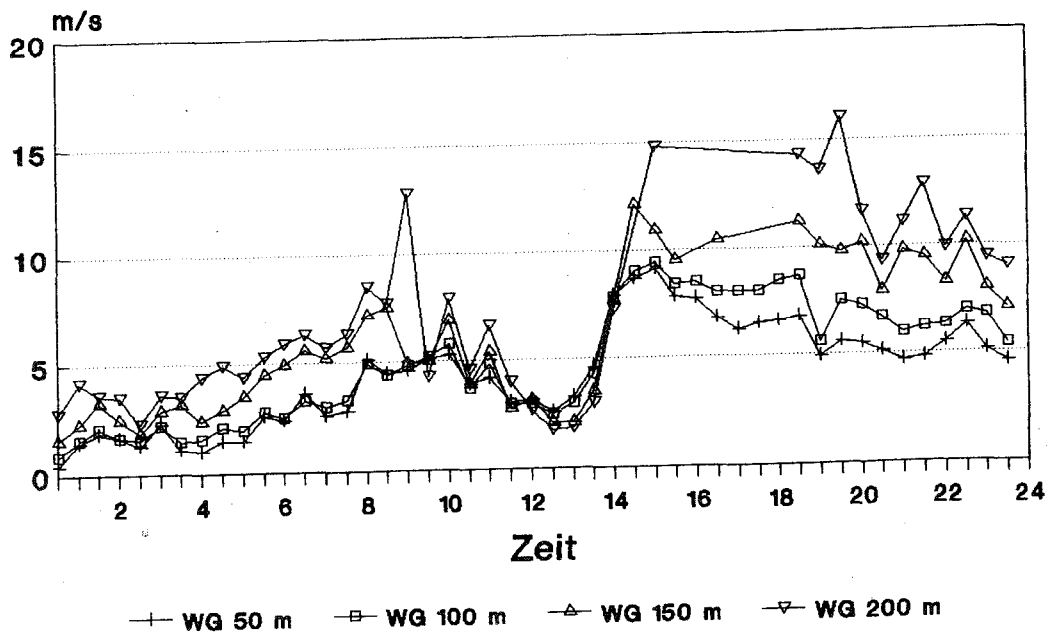
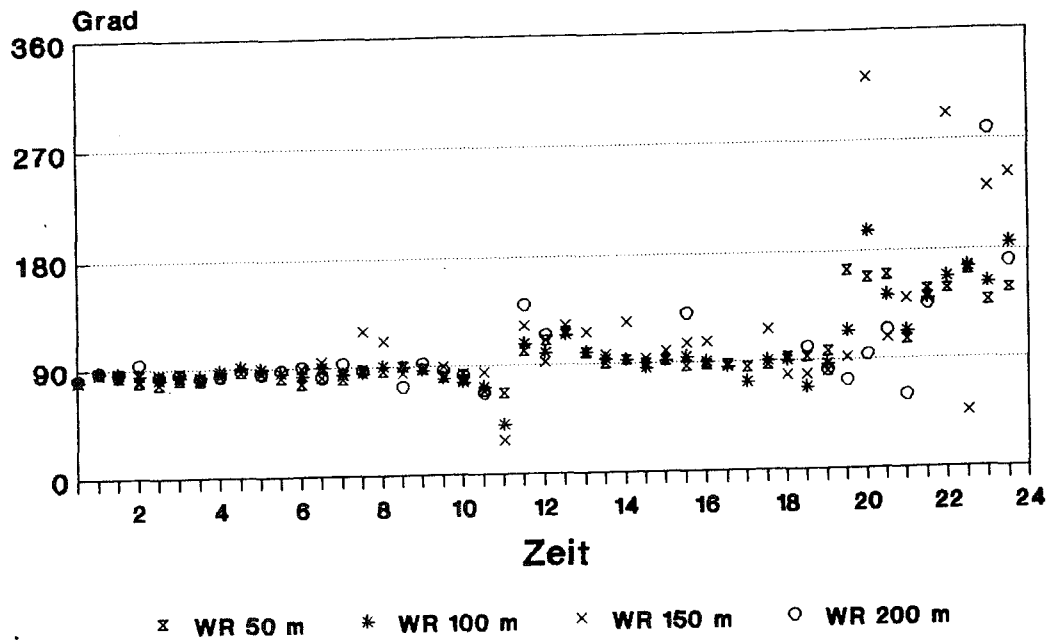


Abb. 171

Windrichtung Hall i.T. 22.10. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 22.10. 1990

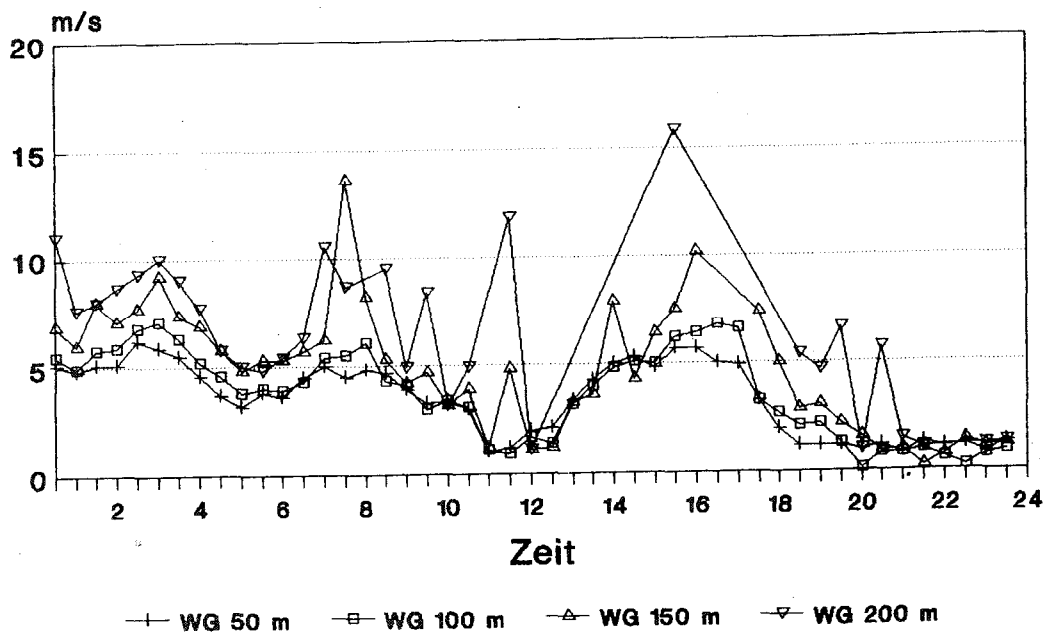
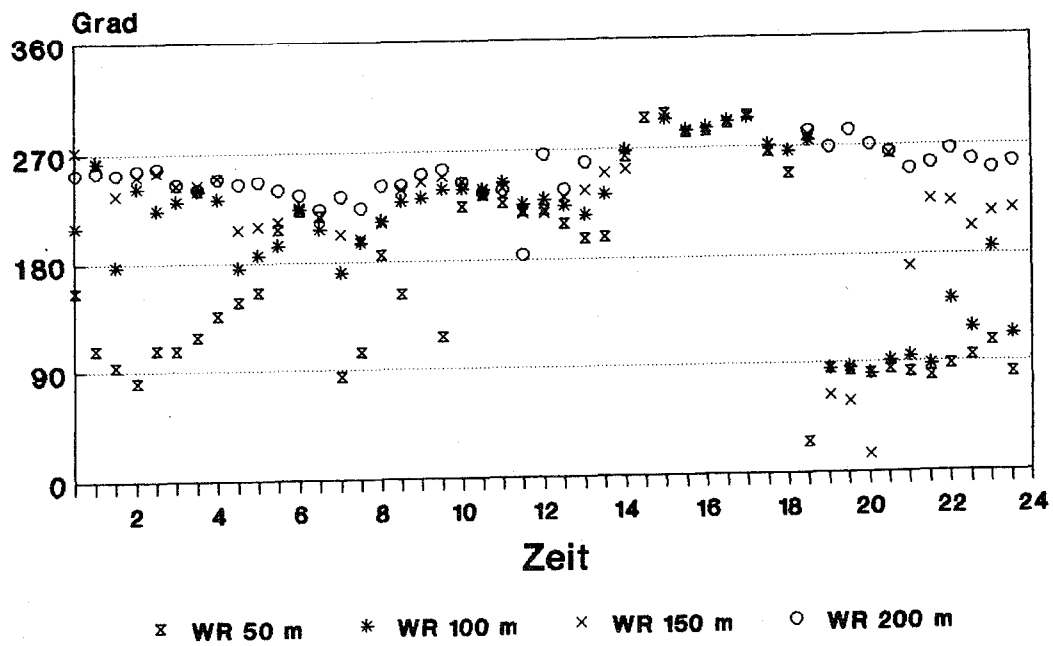


Abb. 172

Windrichtung Hall i.T. 23.10. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 23.10. 1990

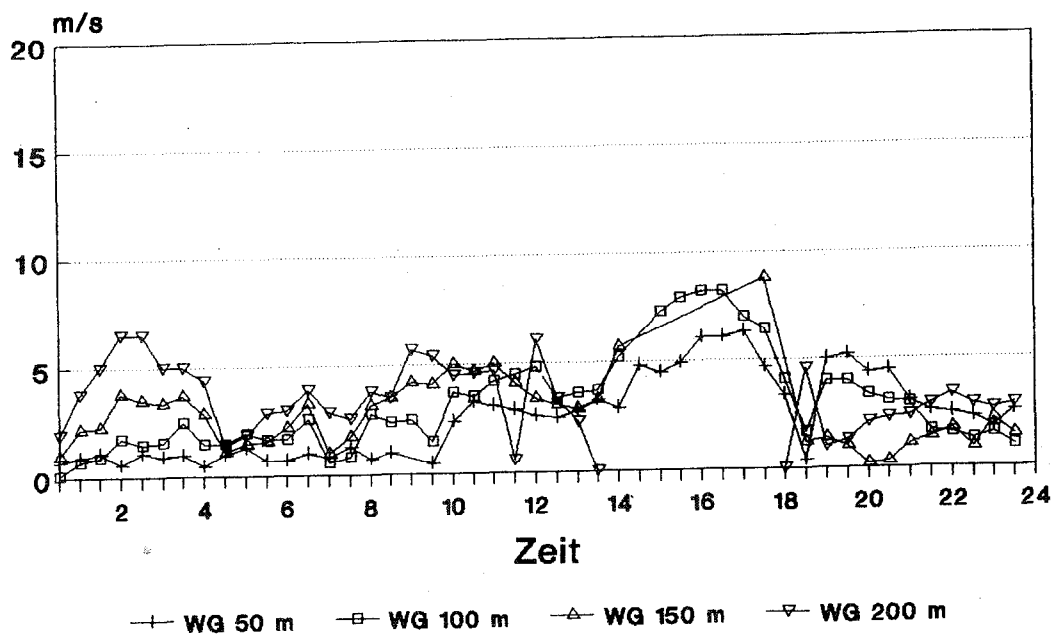
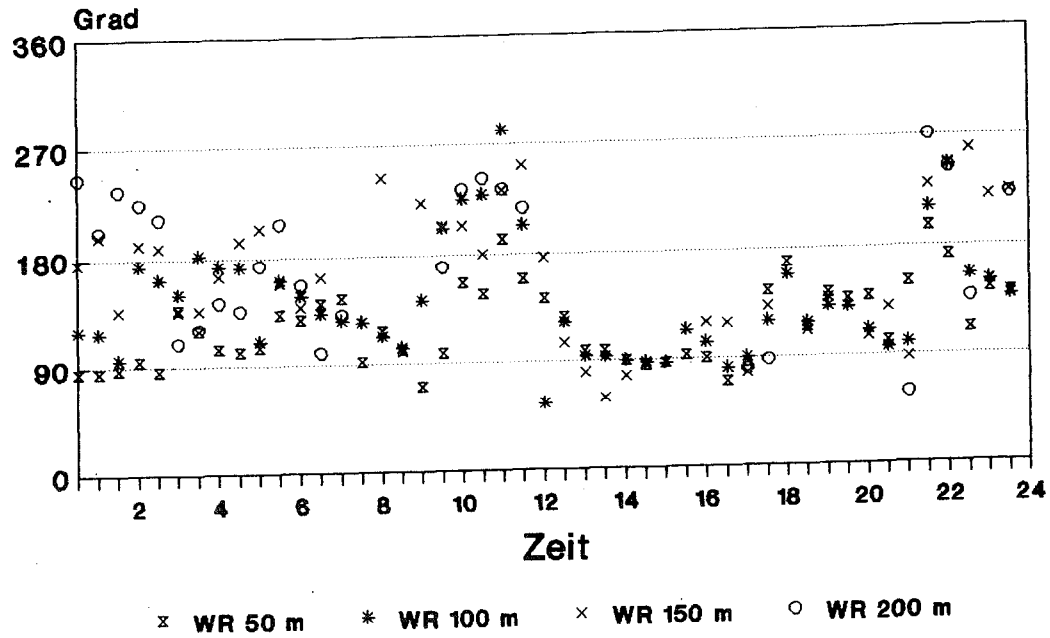


Abb. 173

Windrichtung Hall i.T. 24.10. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 24.10. 1990

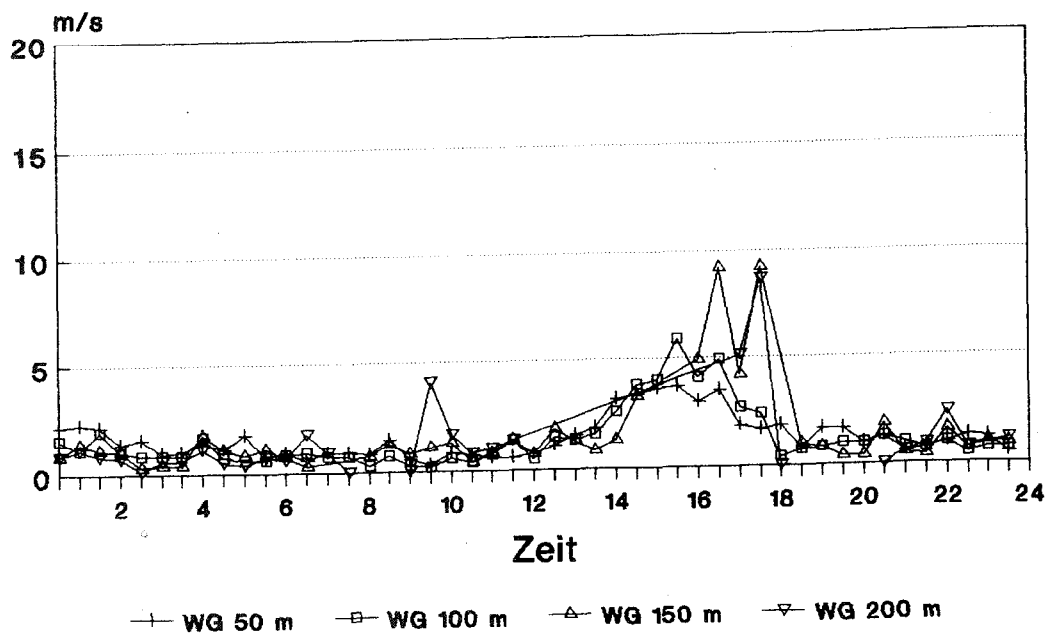


Abb. 174

Immission
21.10. 1990

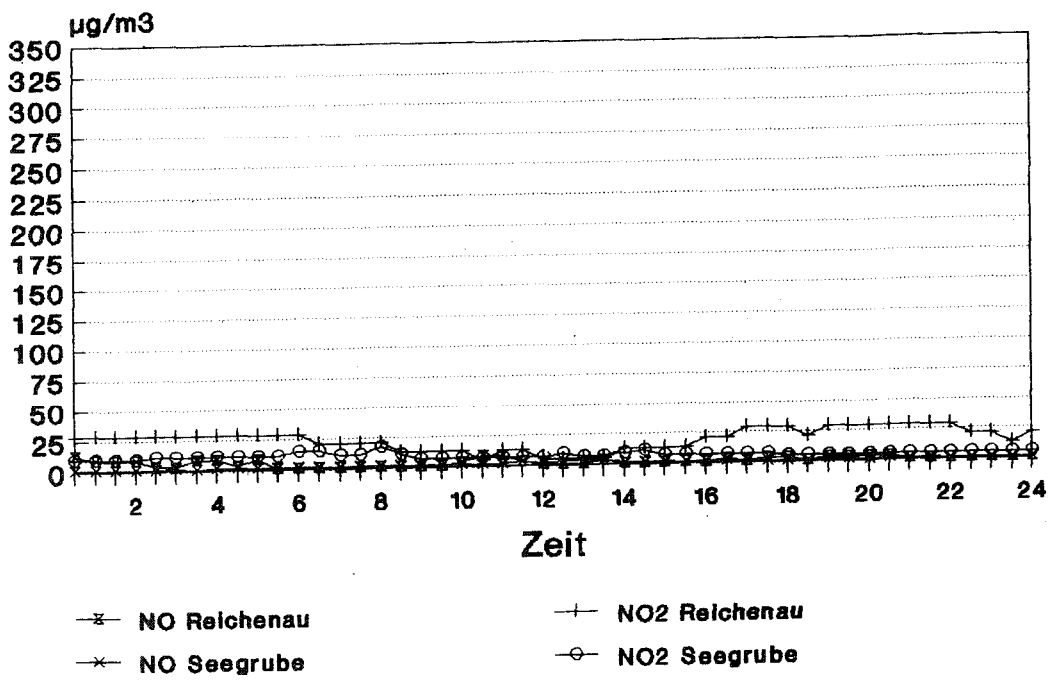
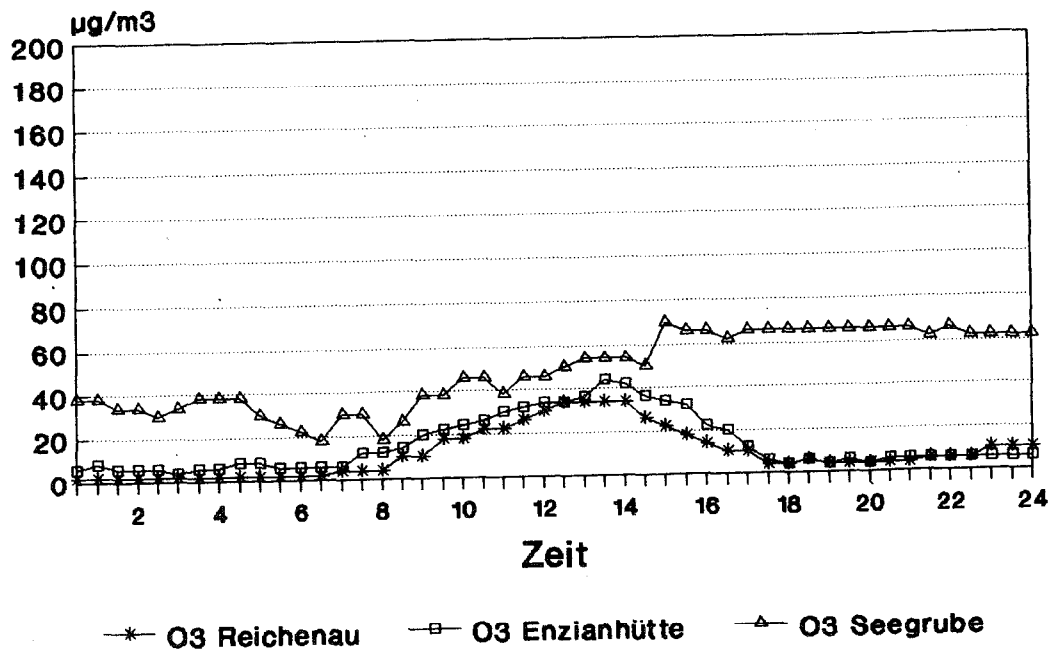


Abb. 175

Immission
22.10. 1990

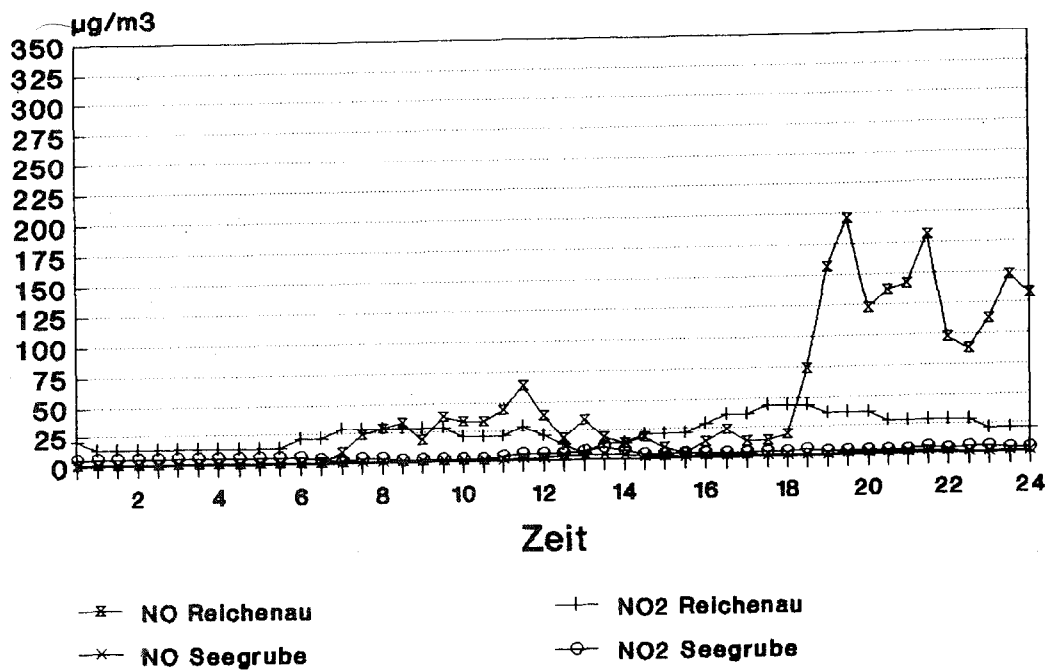
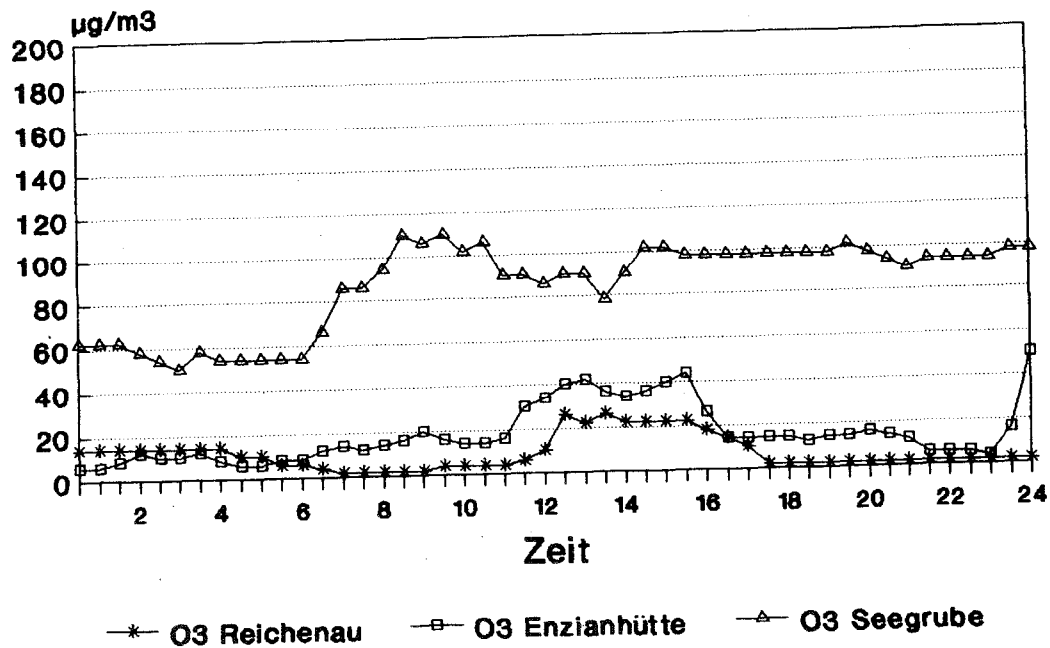


Abb. 176

Immission 23.10. 1990

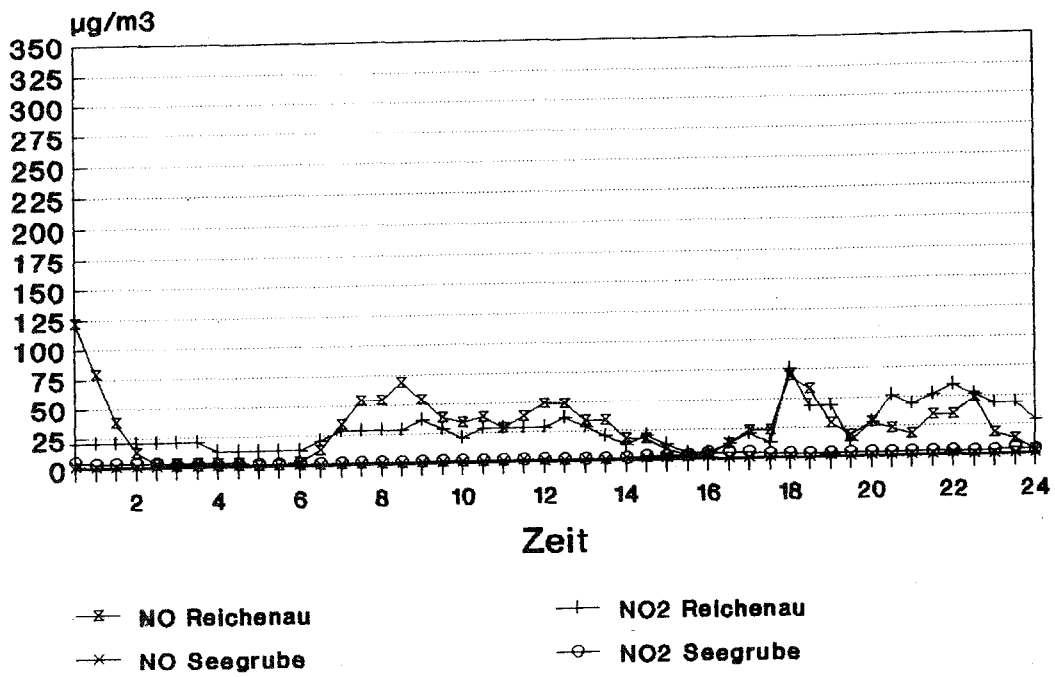
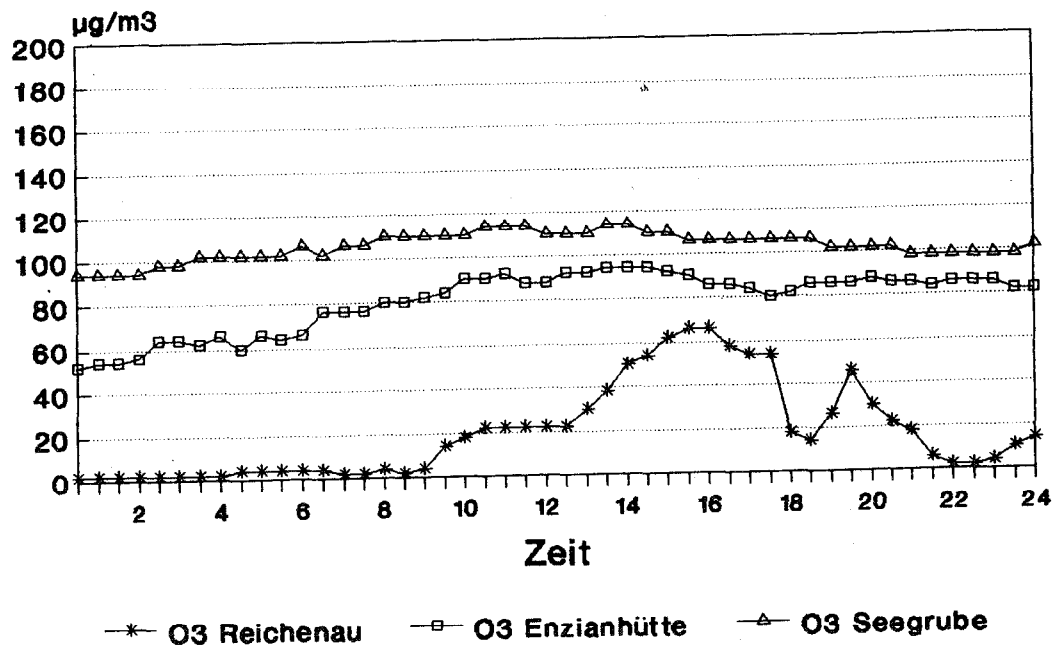


Abb. 177

Immission
24.10. 1990

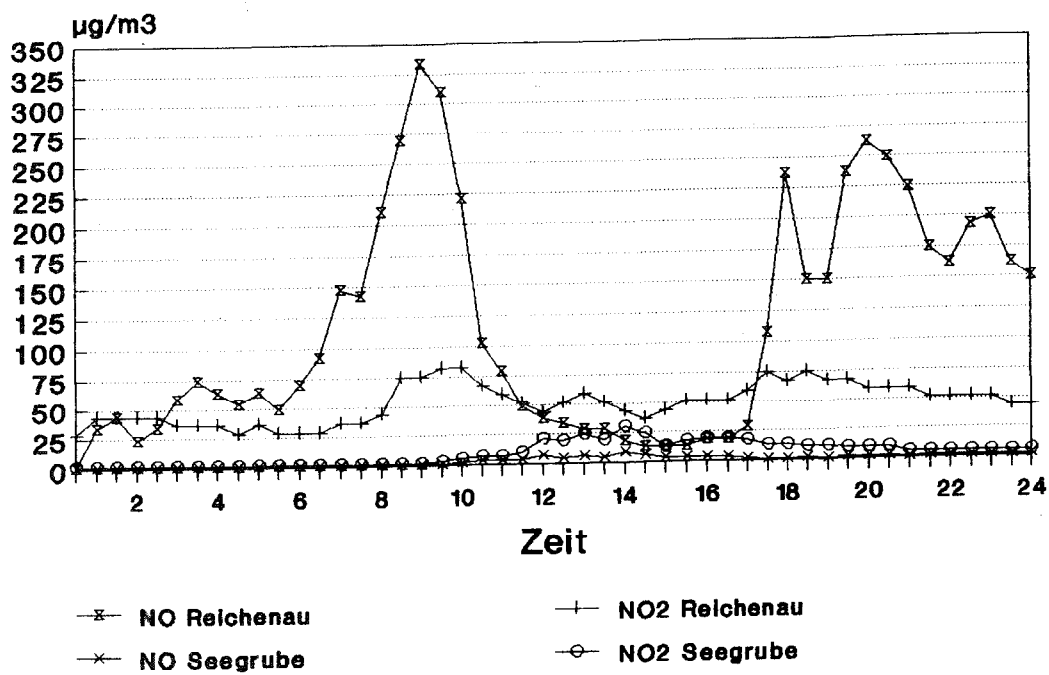
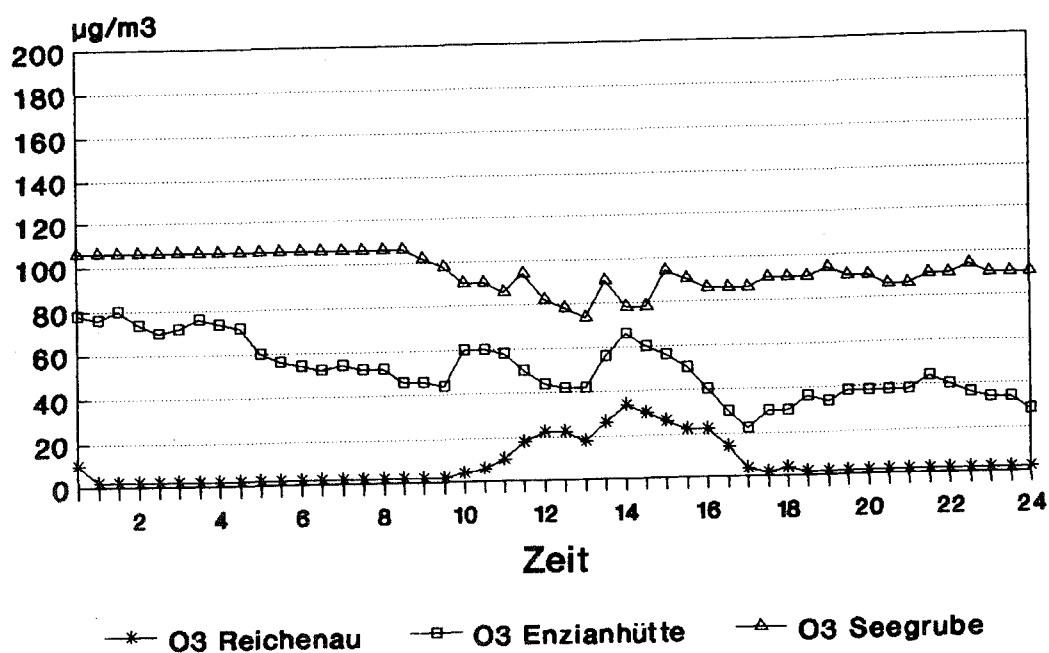
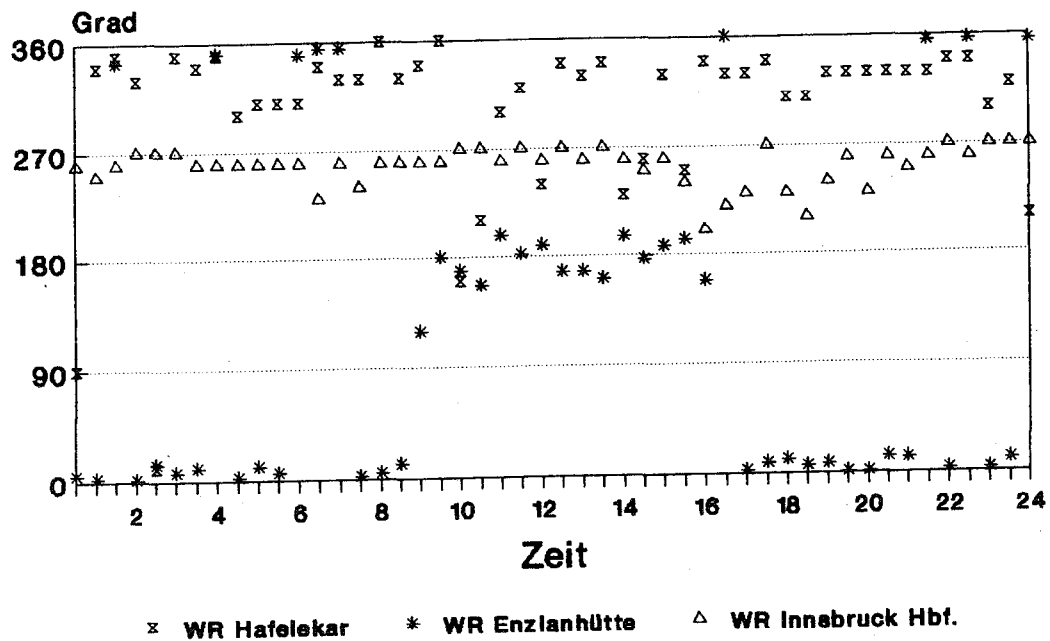


Abb. 178

Windrichtung 16.11. 1990



Windgeschwindigkeit 16.11. 1990

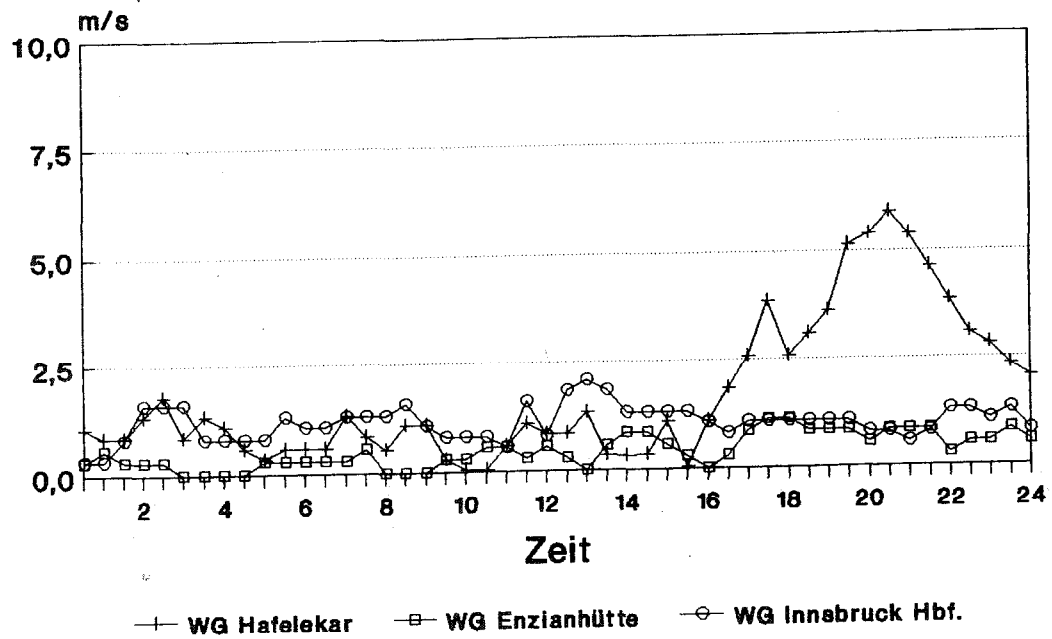
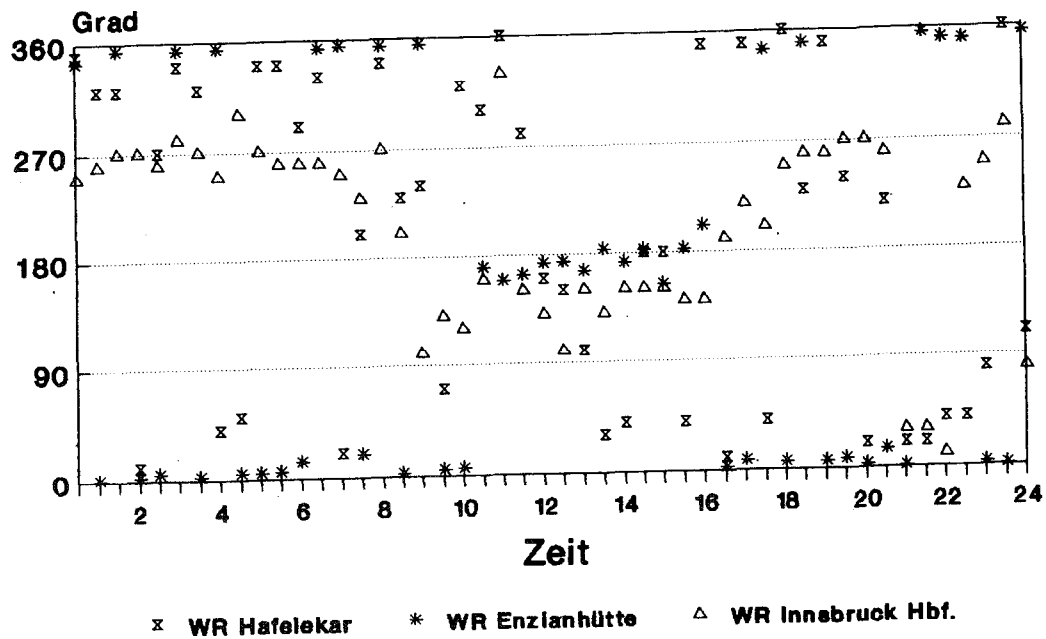


Abb. 179

Windrichtung 17.11.1990



Windgeschwindigkeit 17.11.1990

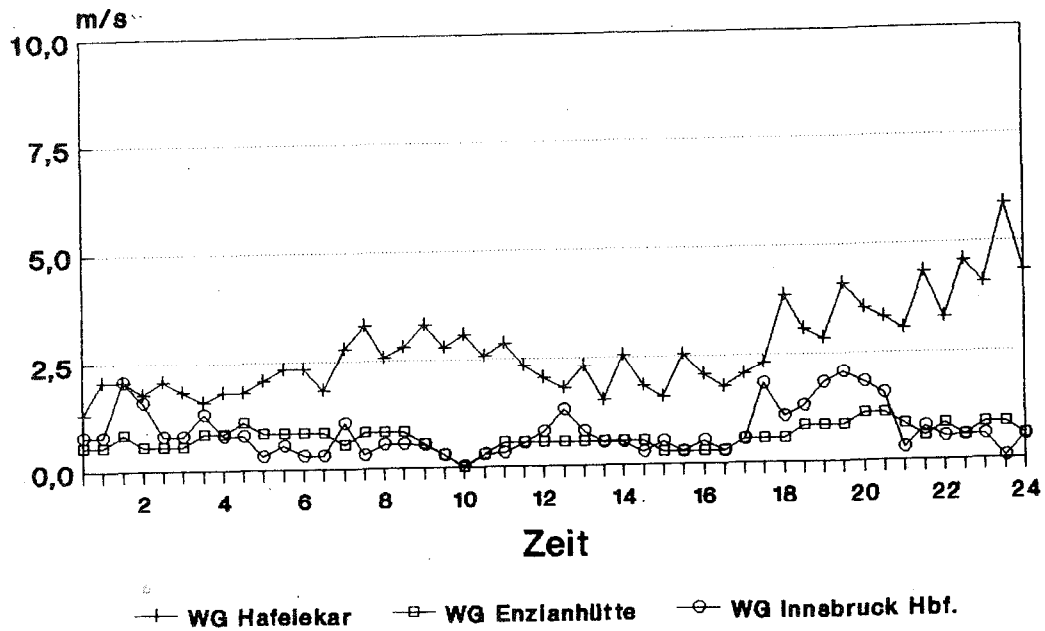
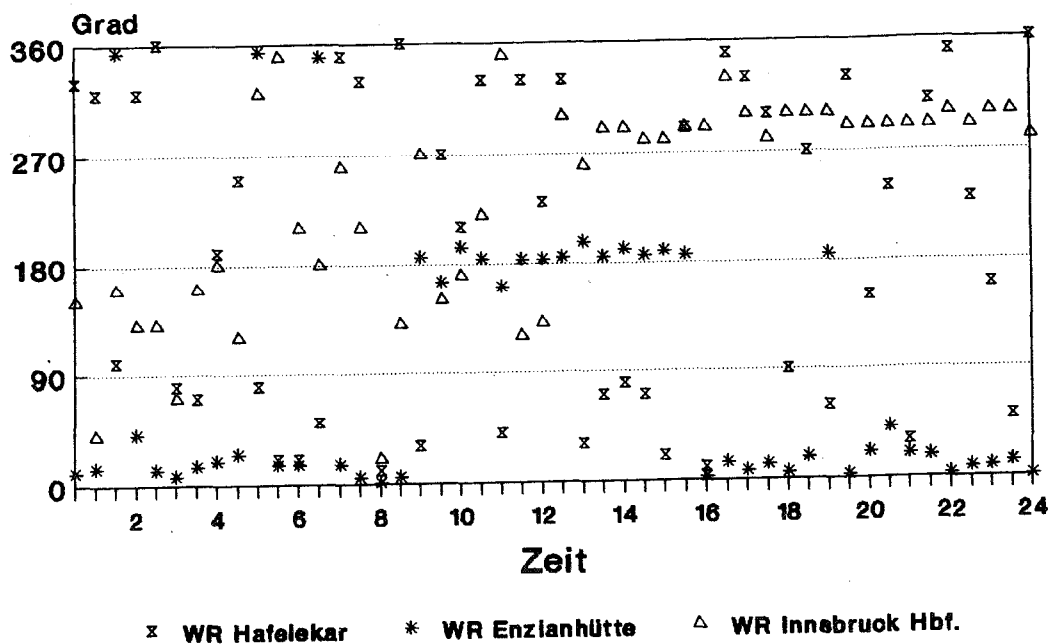


Abb. 180

Windrichtung 18.11.1990



Windgeschwindigkeit 18.11.1990

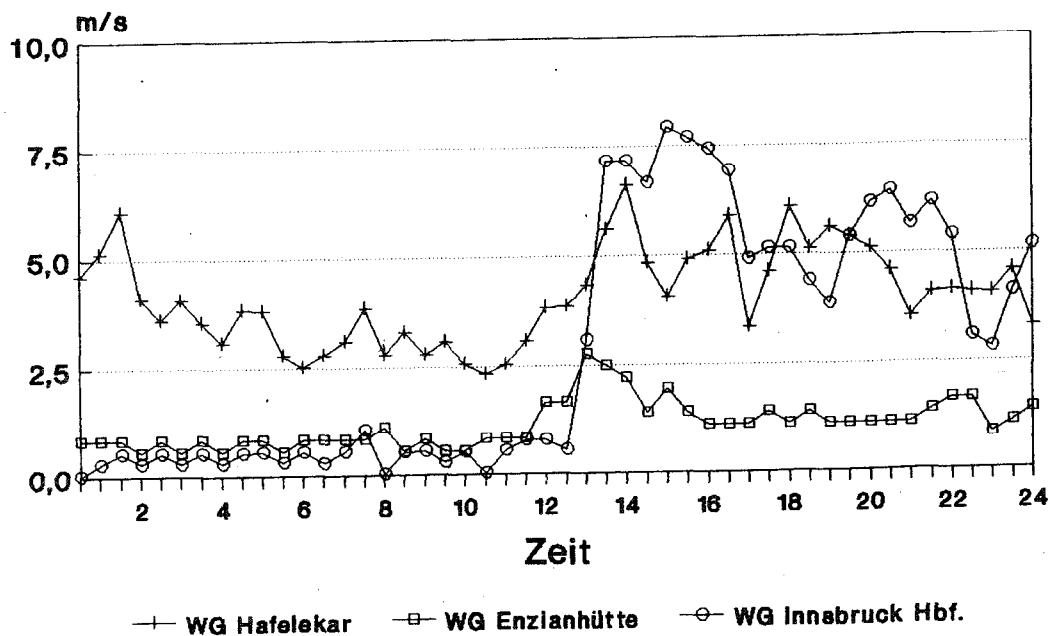
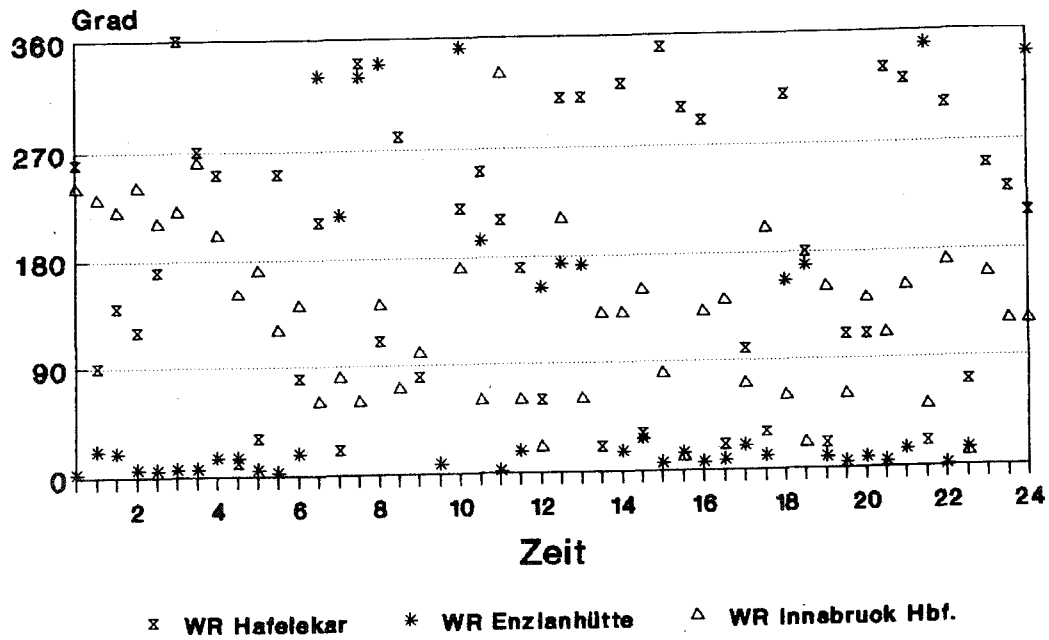


Abb. 181

Windrichtung 19.11. 1990



Windgeschwindigkeit 19.11. 1990

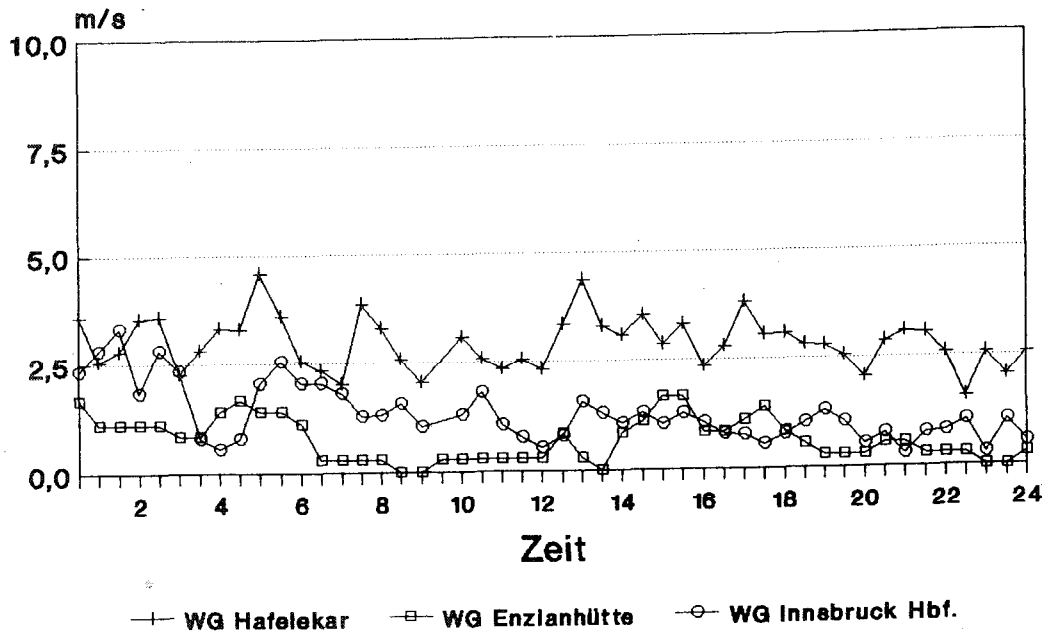


Abb. 182

Temperatur 16. - 17.11. 1990

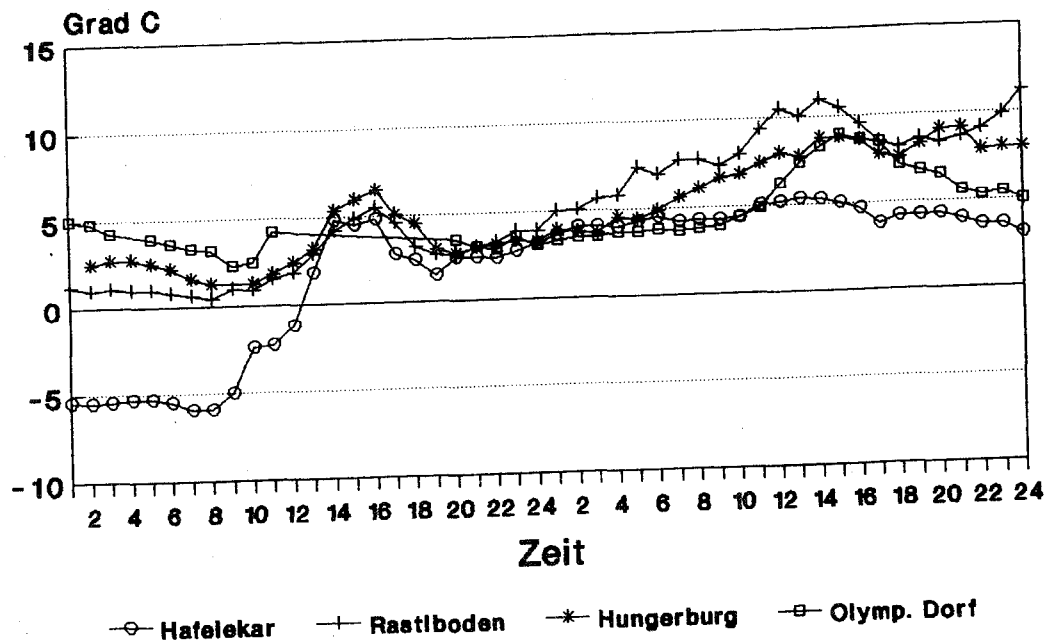


Abb. 183

Temperatur 18. - 19.11. 1990

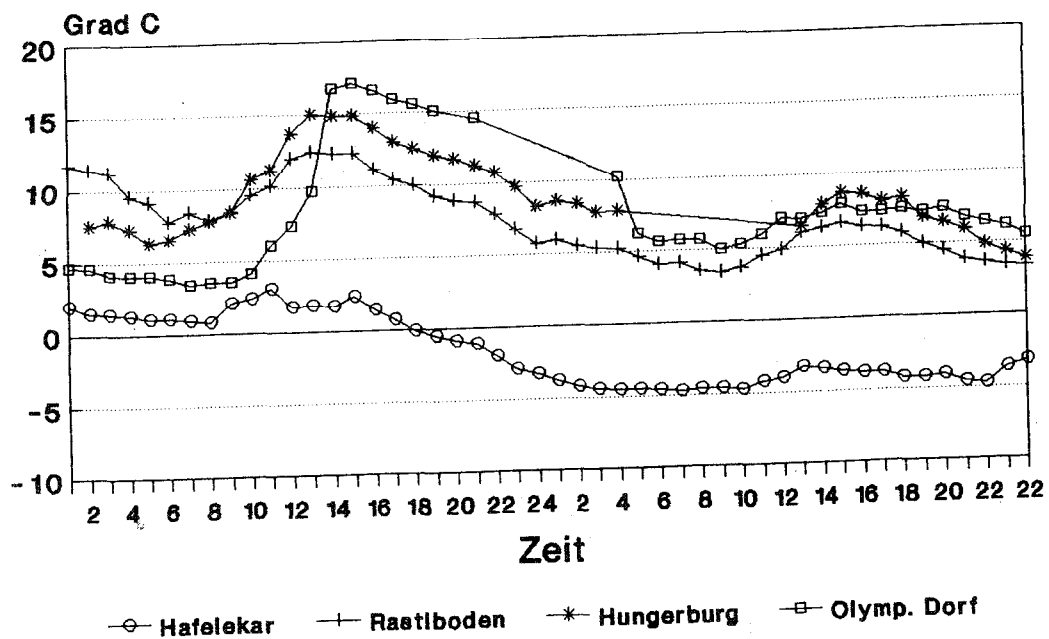
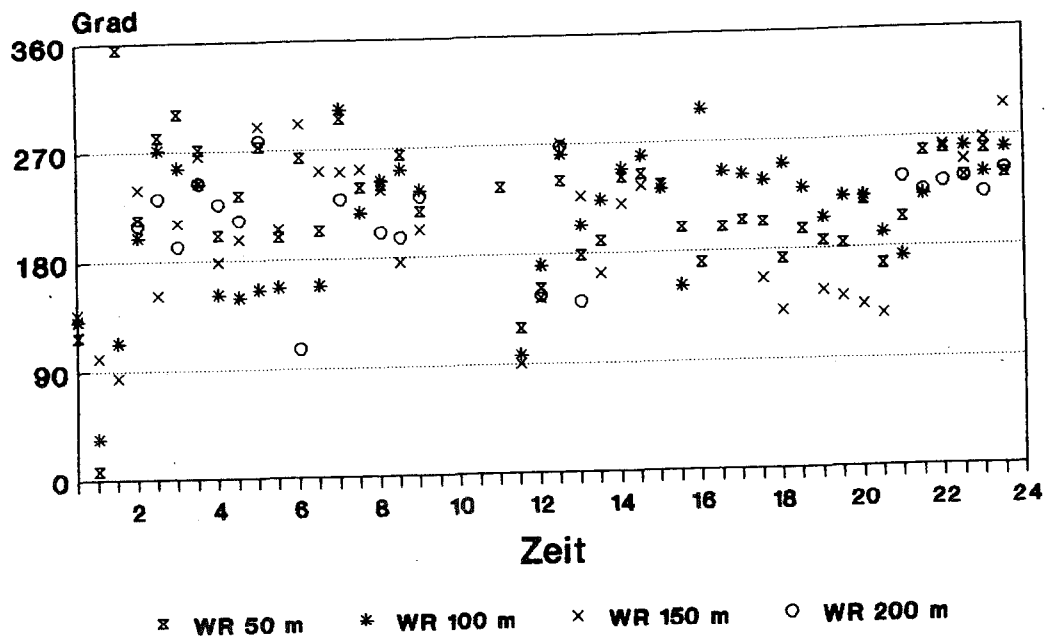


Abb. 184

Windrichtung Hall i.T. 16.11. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 16.11. 1990

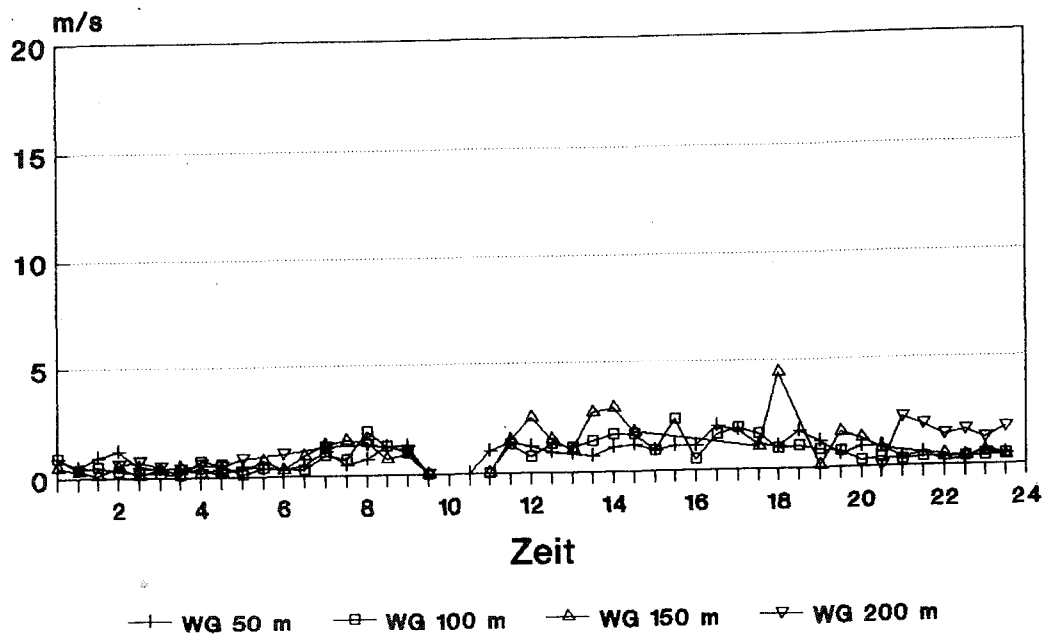
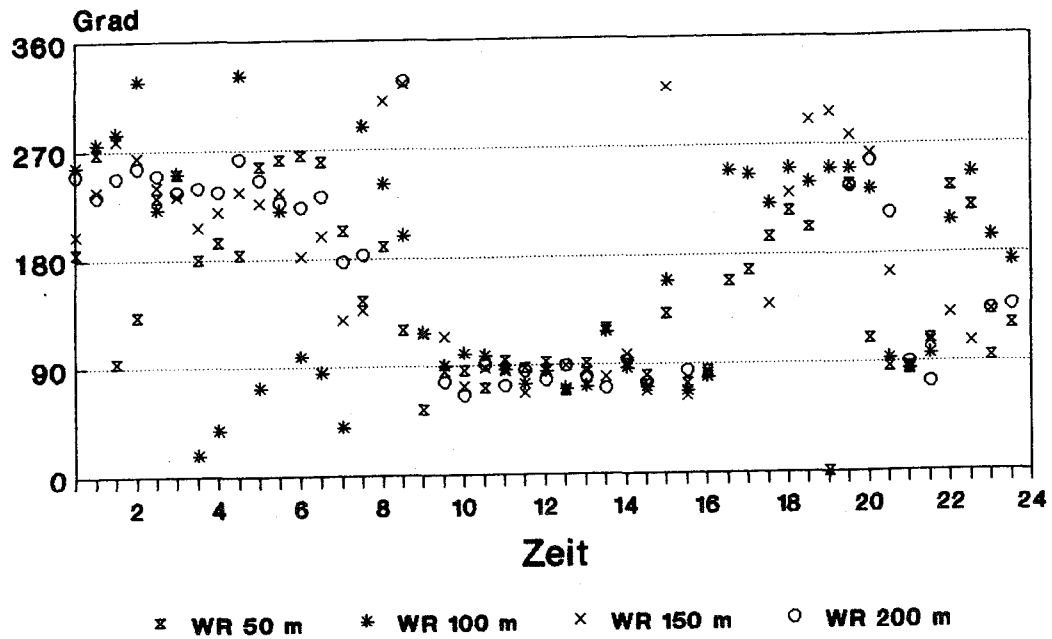


Abb. 185

Windrichtung Hall i.T. 17.11. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 17.11. 1990

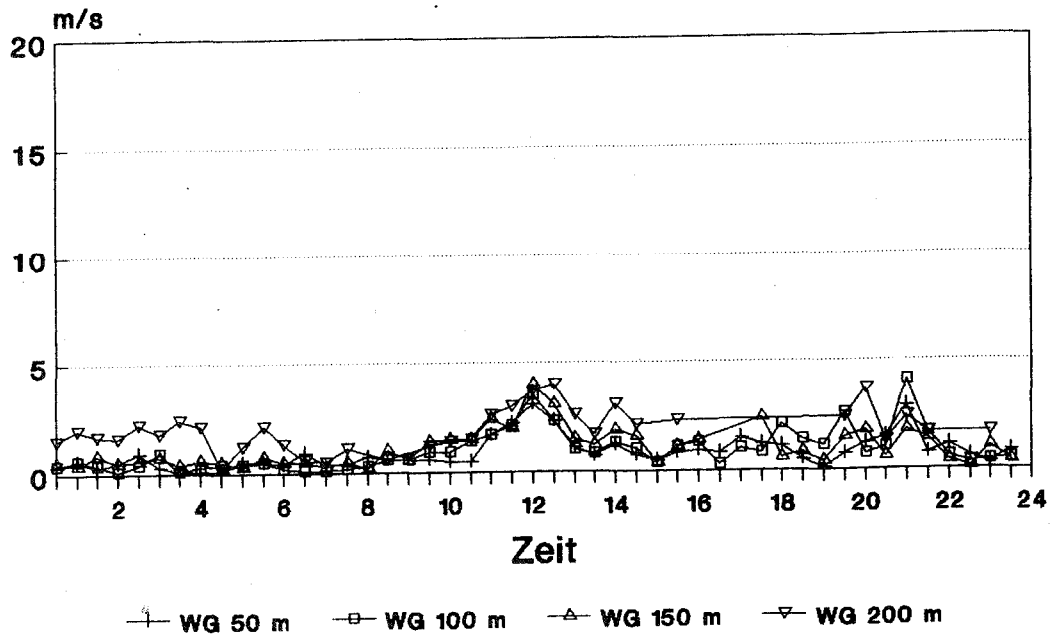
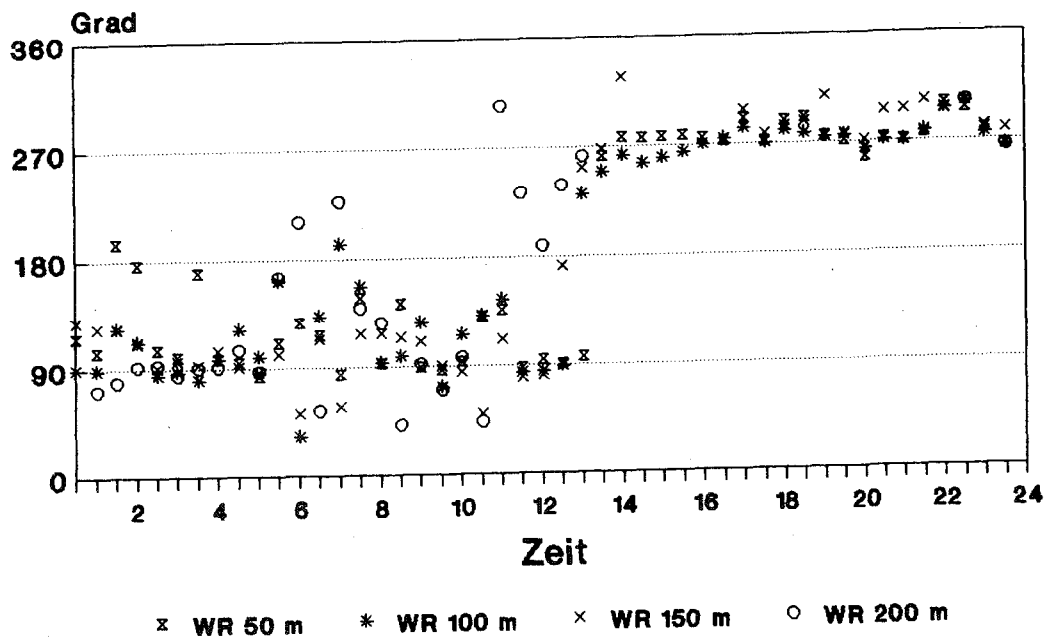


Abb. 186

Windrichtung Hall i.T. 18.11. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 18.11. 1990

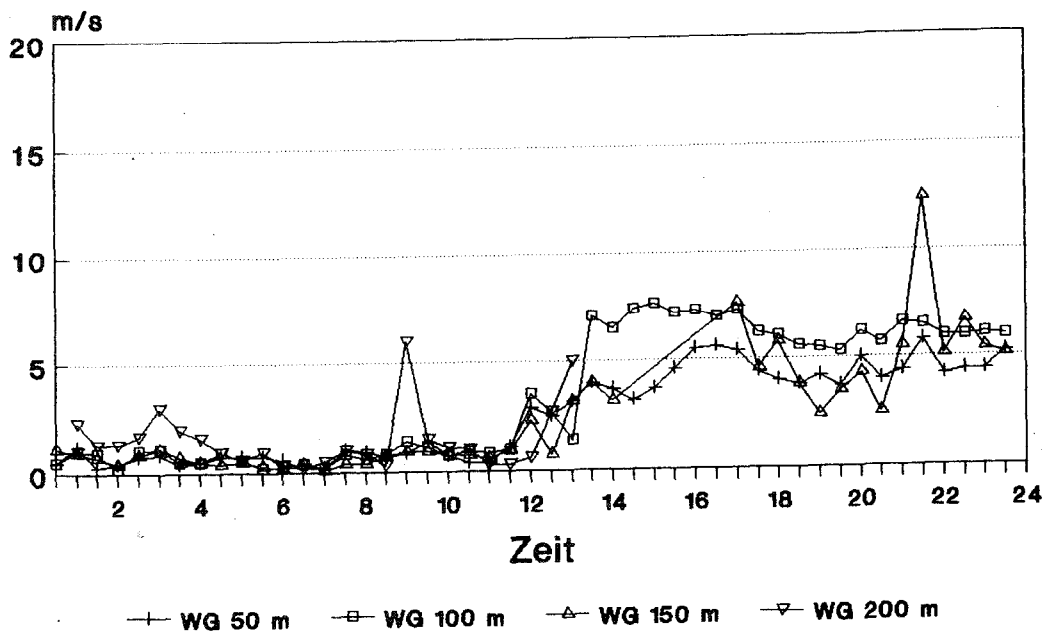
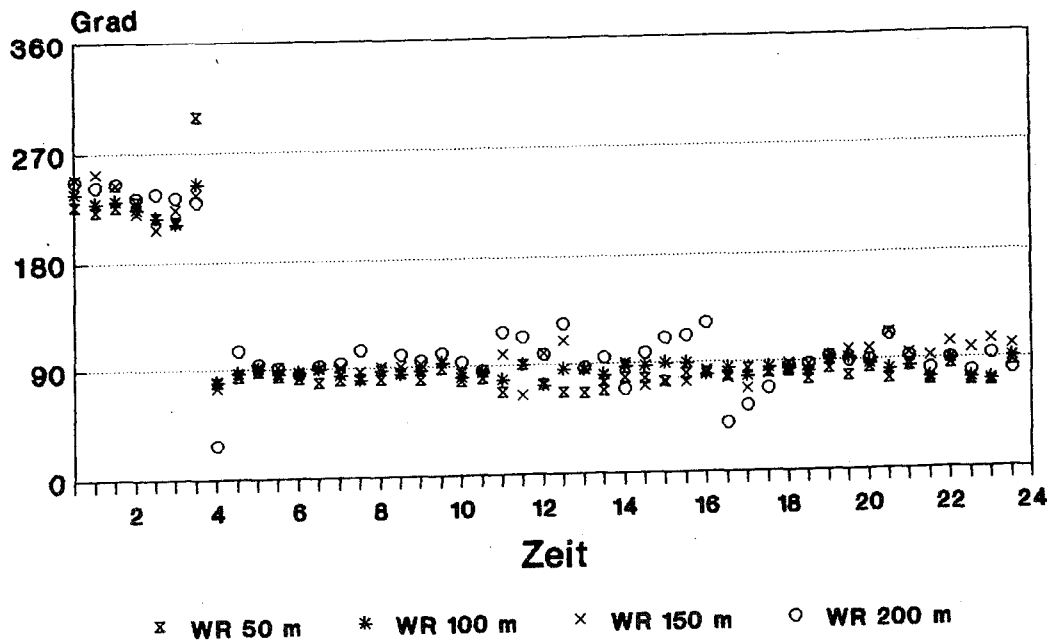


Abb. 187

Windrichtung Hall i.T. 19.11. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 19.11. 1990

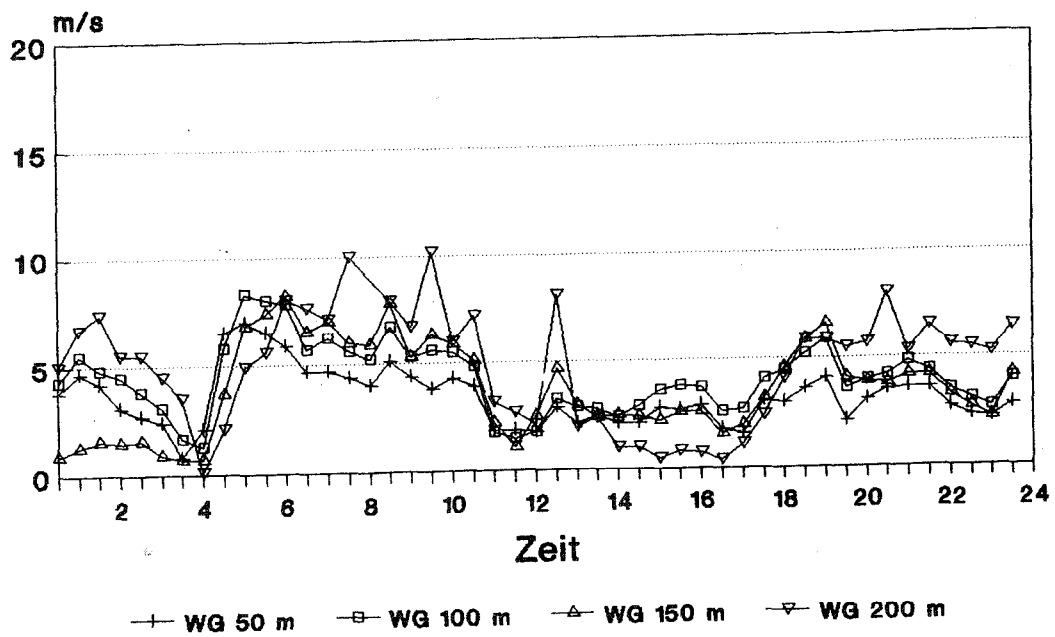


Abb. 188

SODAR Hall i.T.

18.11. 1990

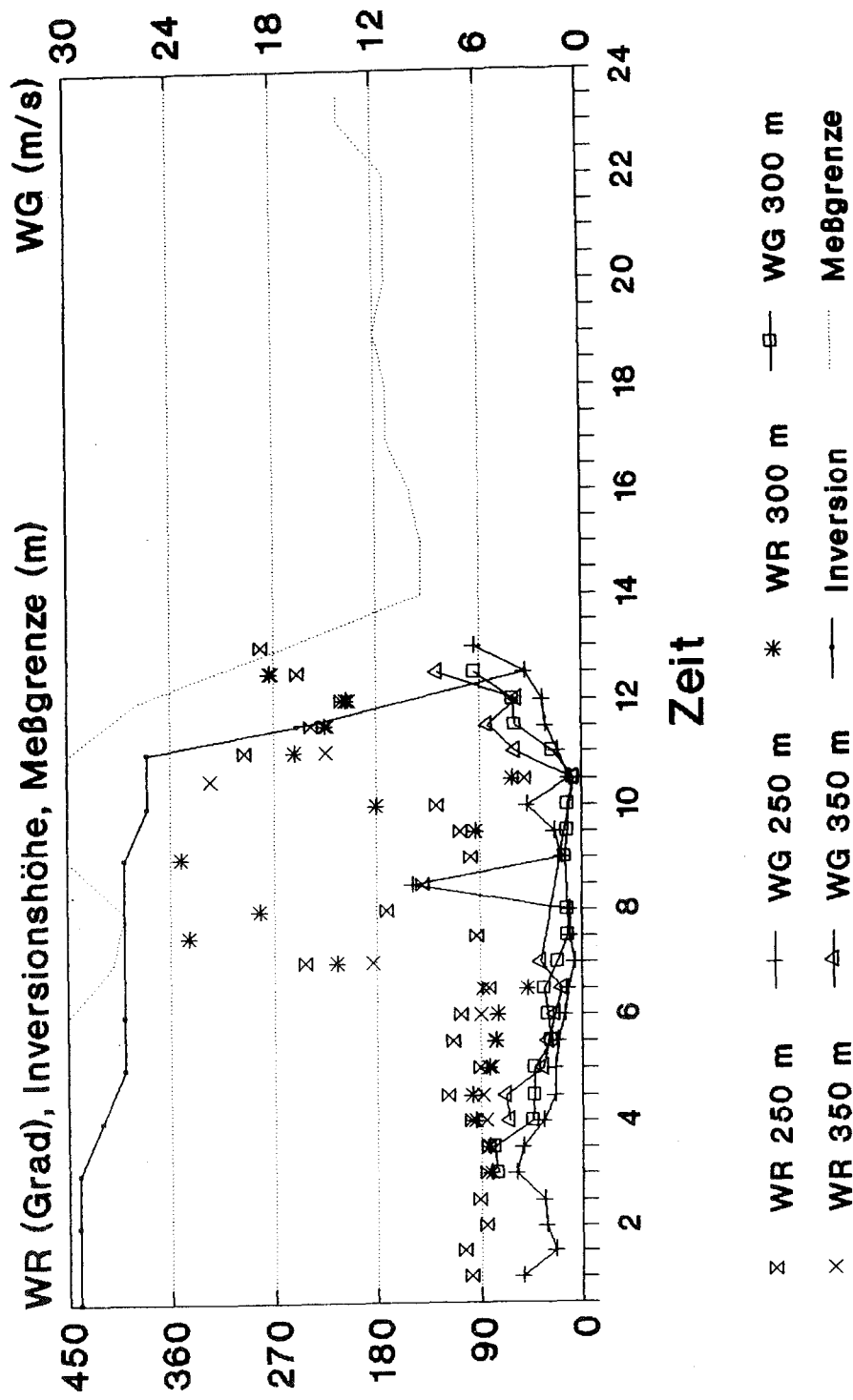


Abb. 189

Immission
16.11. 1990

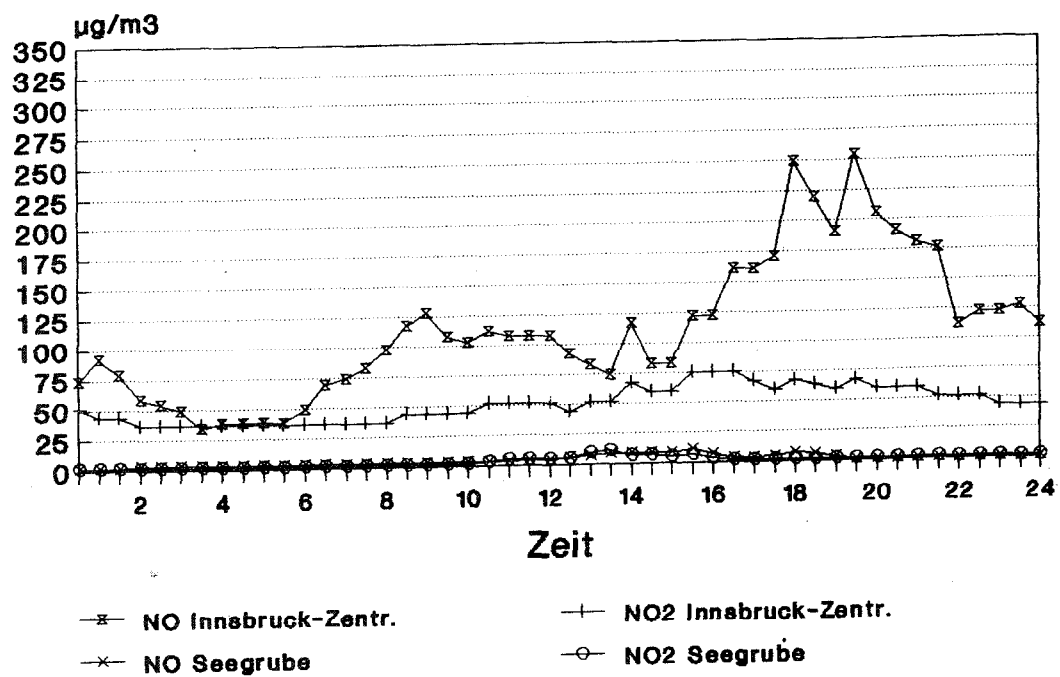
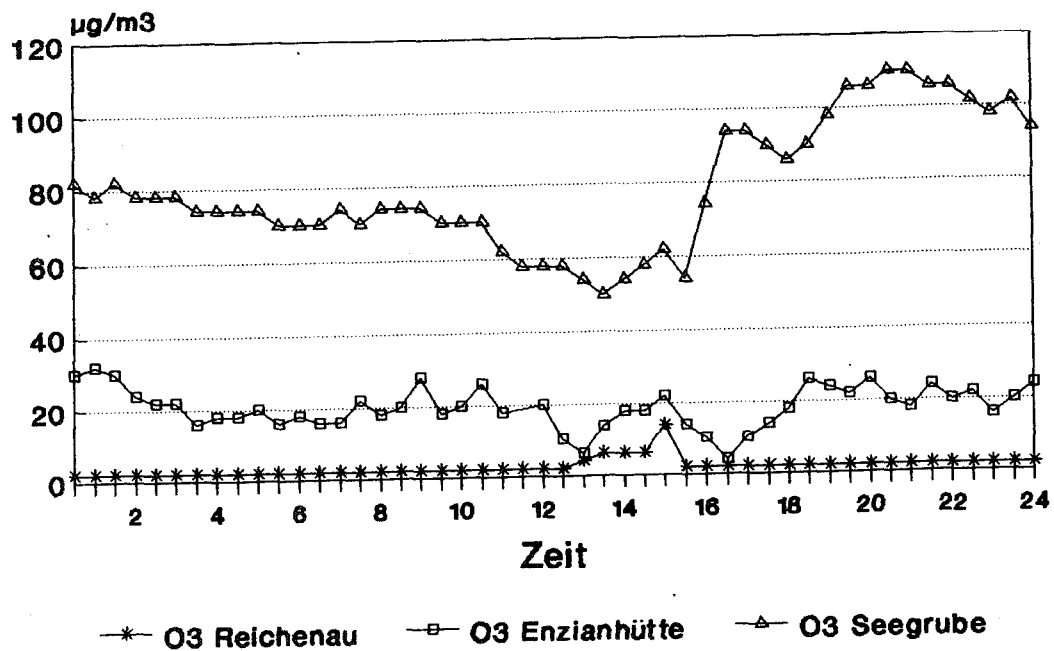


Abb. 190

Immission
17.11. 1990

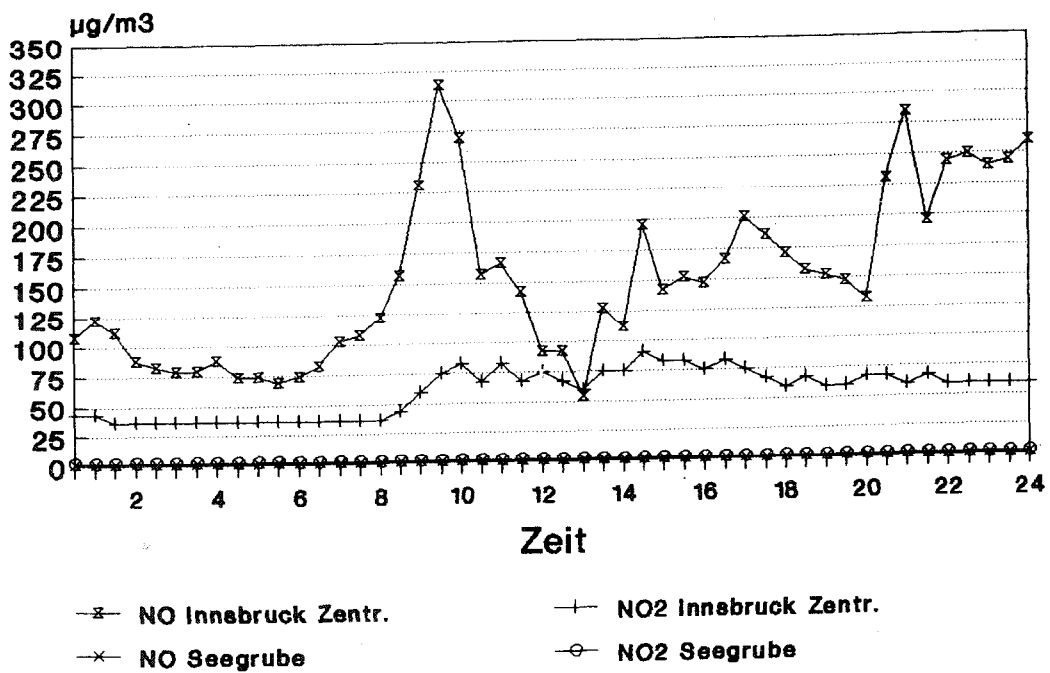
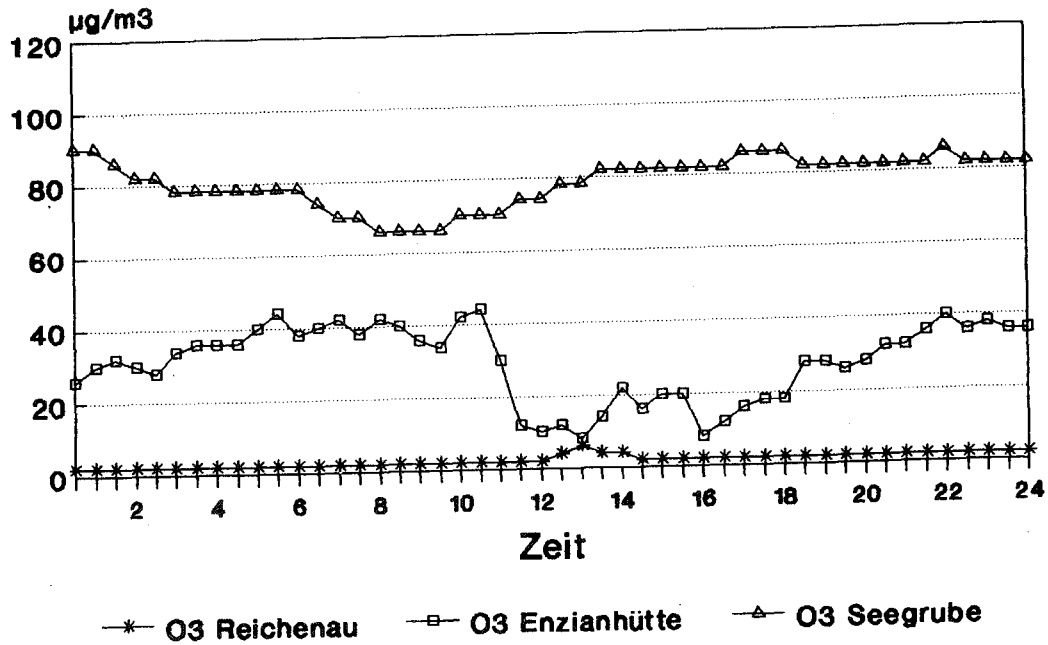


Abb. 191

Immission
18.11. 1990

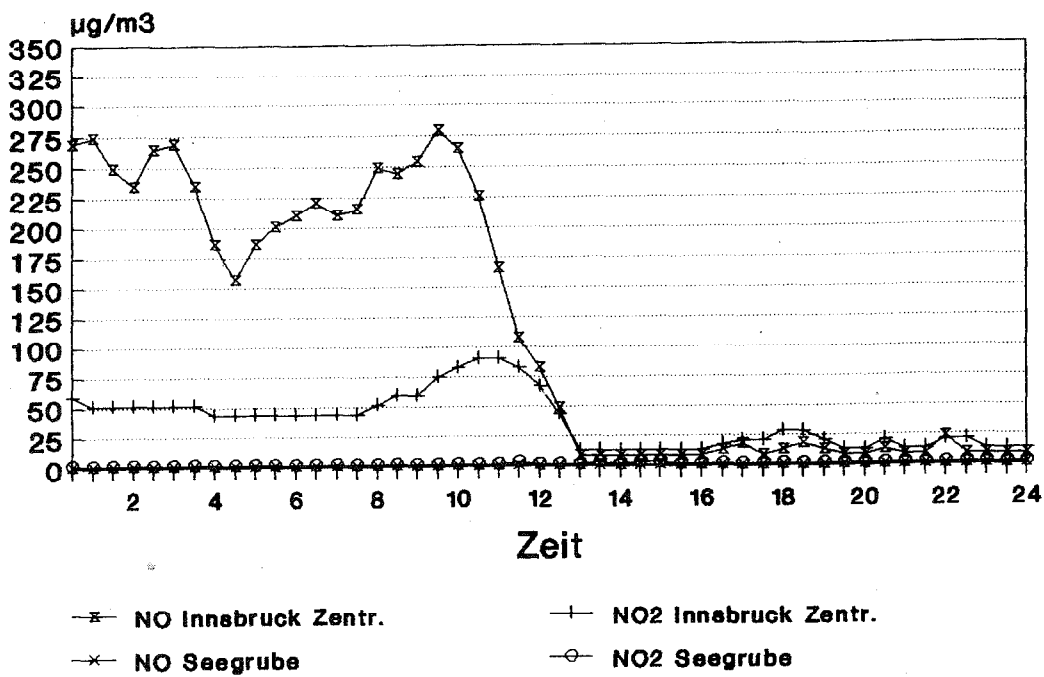
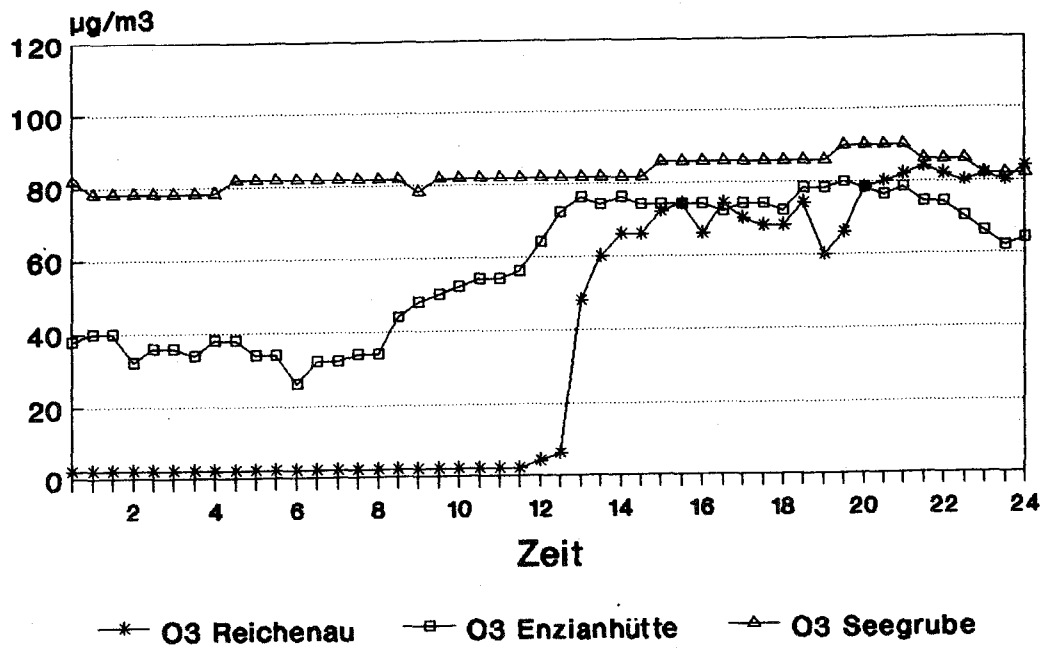


Abb. 192

Immission 19.11. 1990

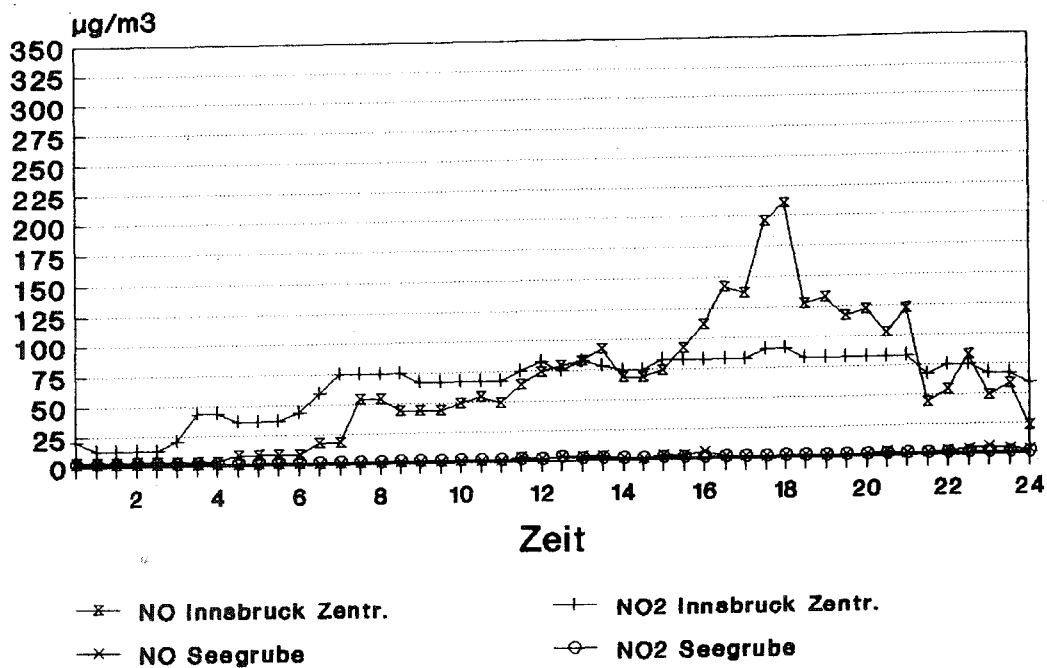
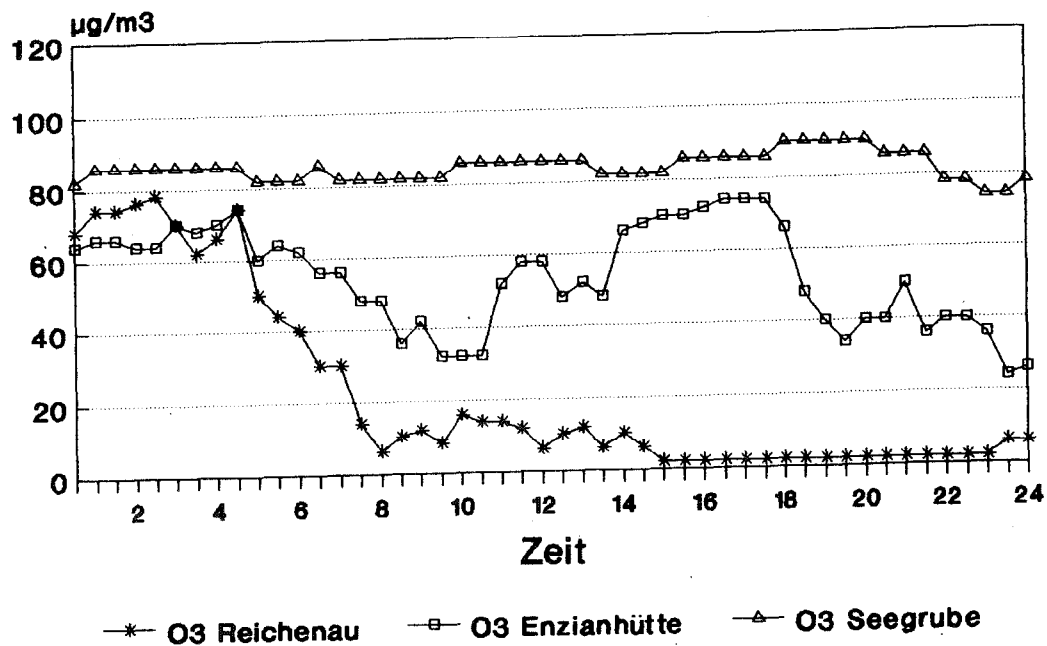
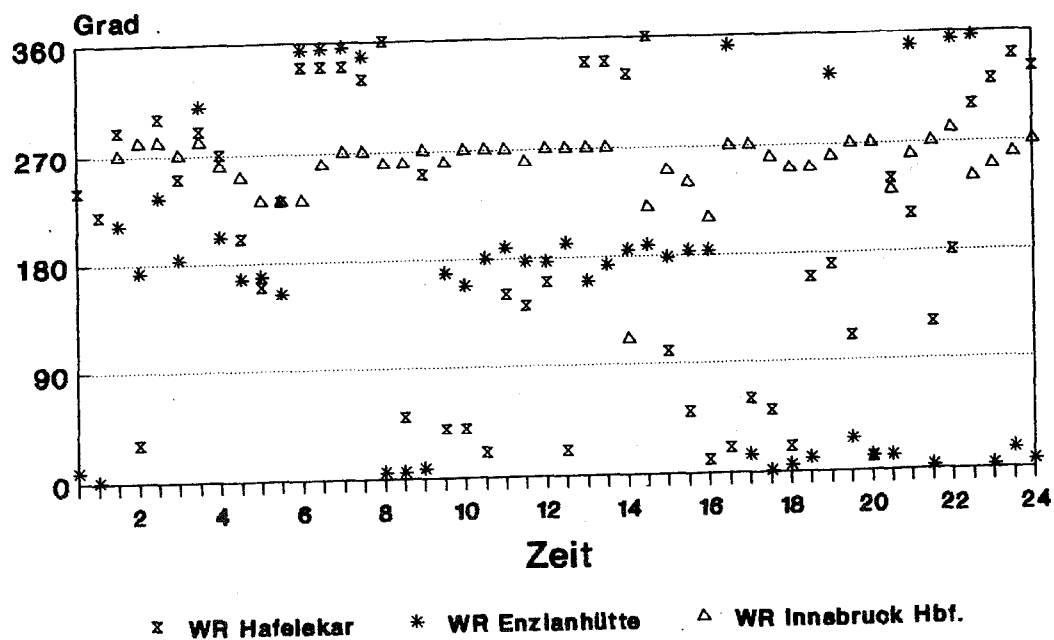


Abb. 193

Windrichtung 7.12. 1990



Windgeschwindigkeit 7.12. 1990

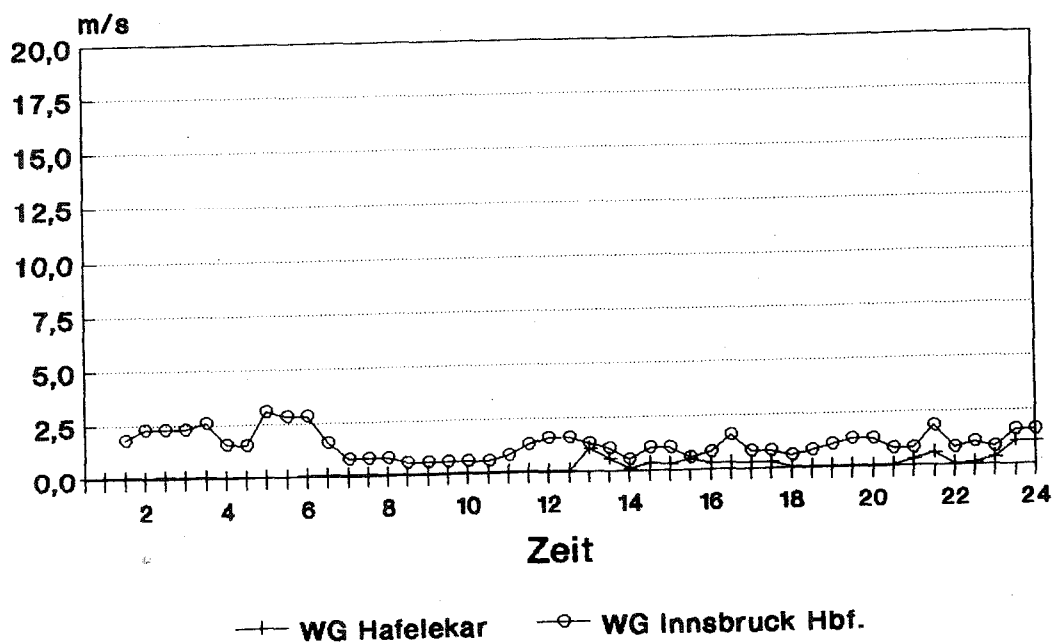
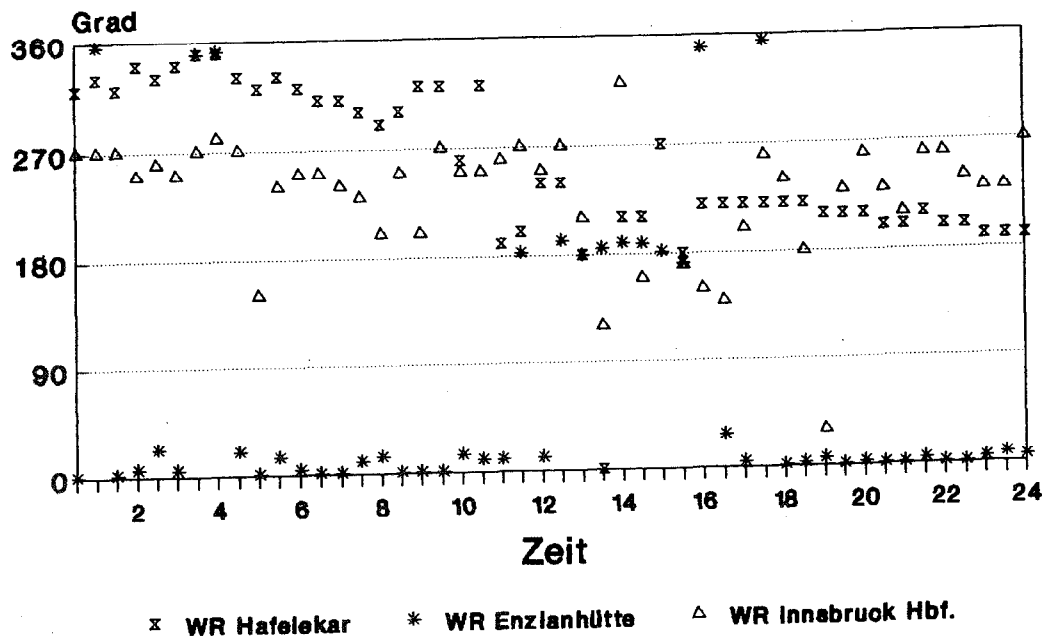


Abb. 194

Windrichtung 8.12. 1990



Windgeschwindigkeit 8.12. 1990

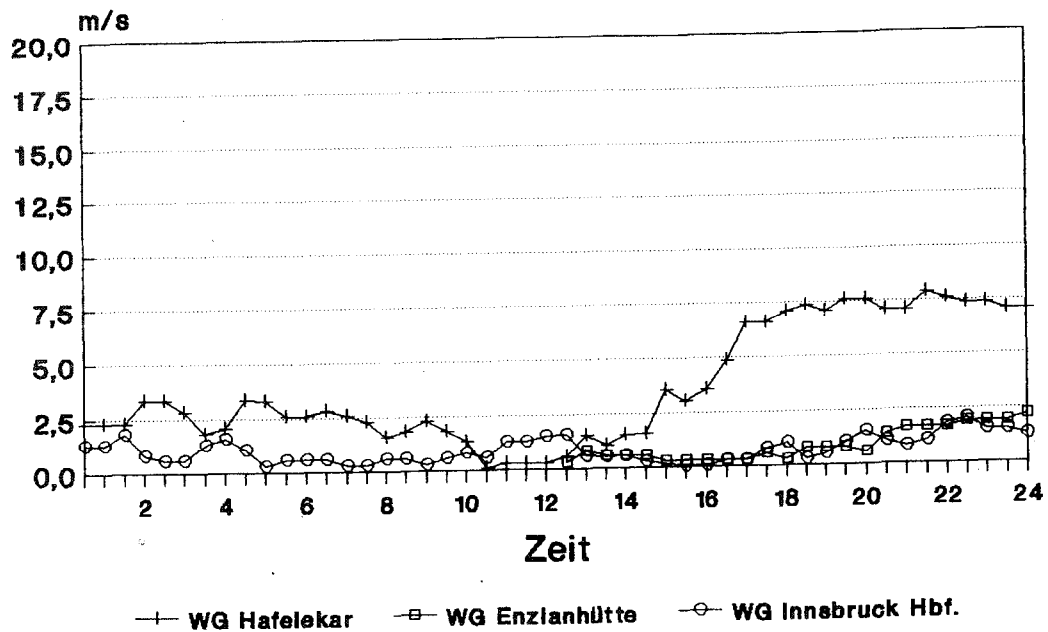
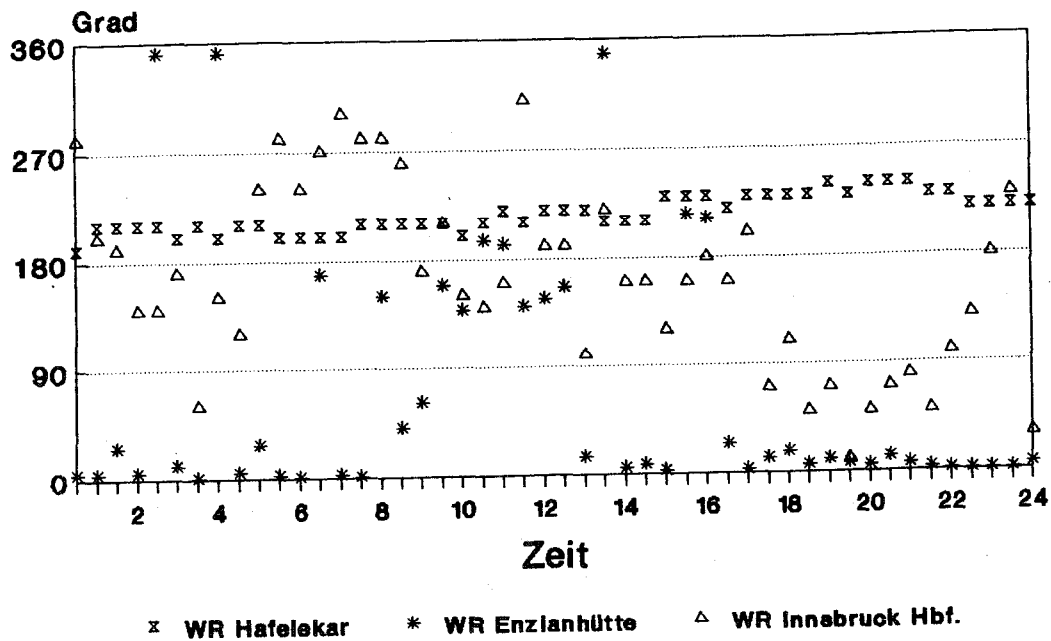


Abb. 195

Windrichtung 9.12. 1990



Windgeschwindigkeit 9.12. 1990

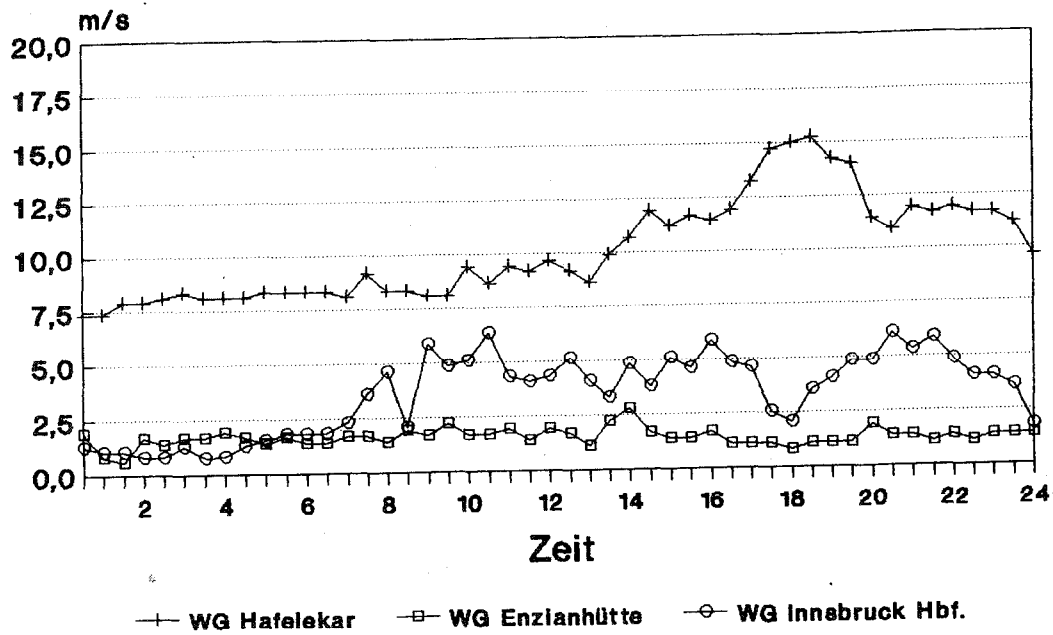
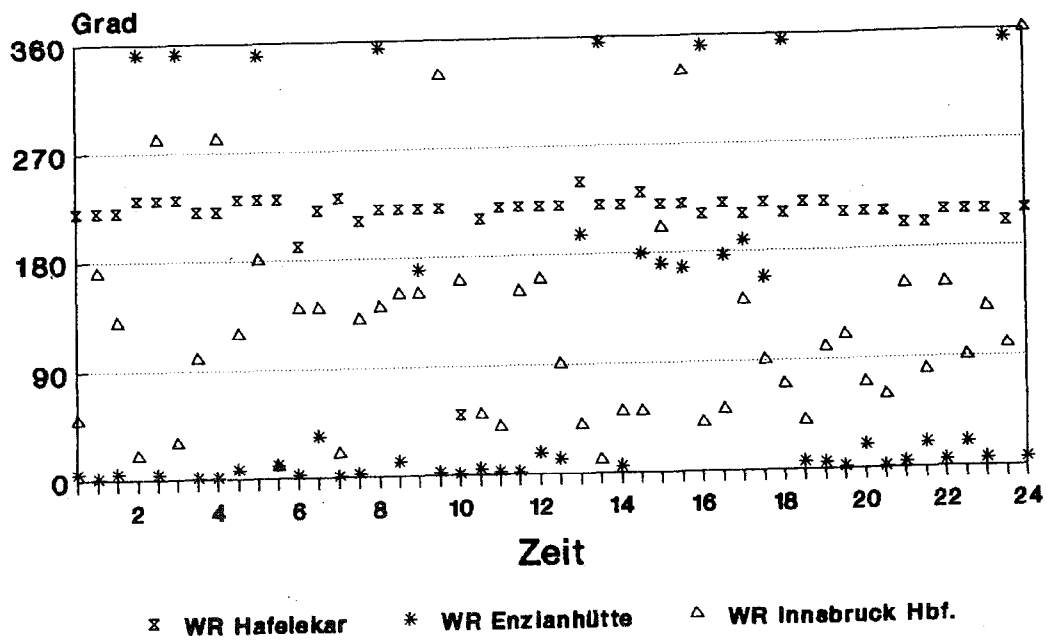


Abb. 196

Windrichtung 10.12. 1990



Windgeschwindigkeit 10.12. 1990

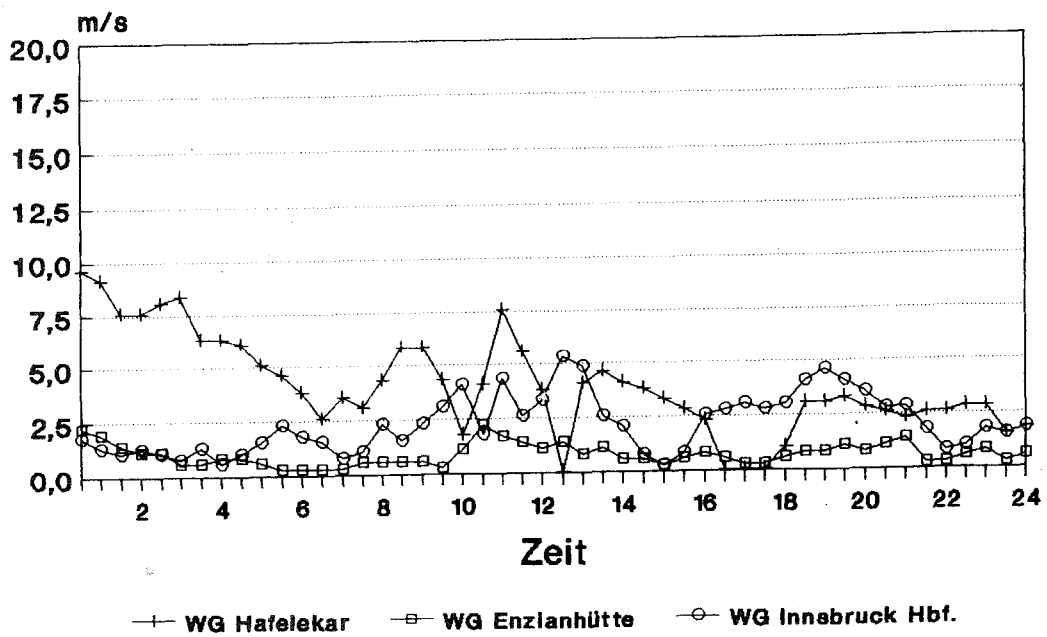
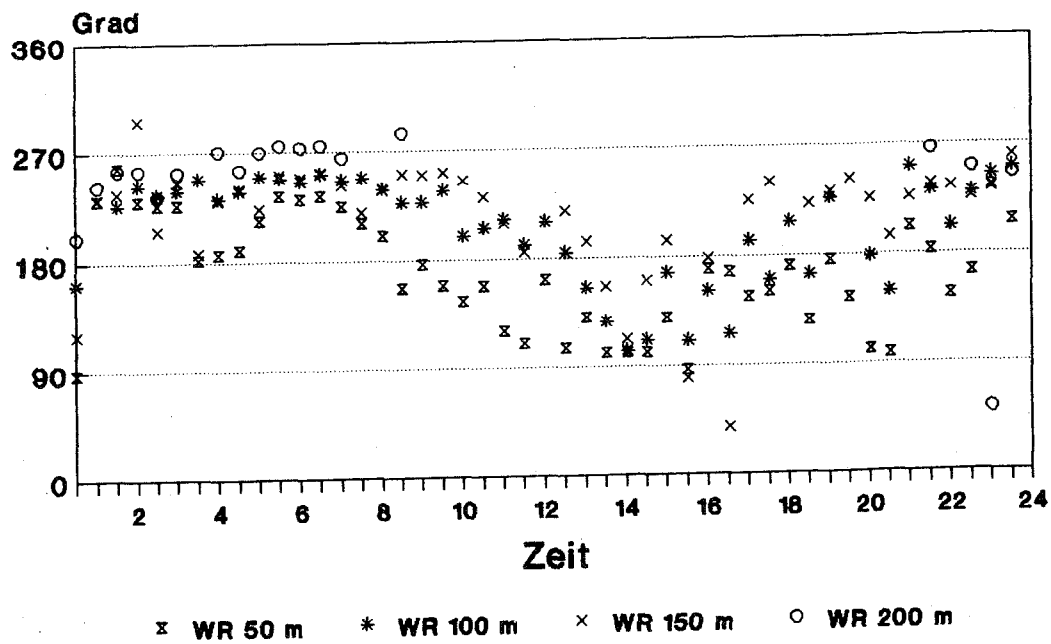


Abb. 197

Windrichtung Hall i.T. 7.12. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 7.12. 1990

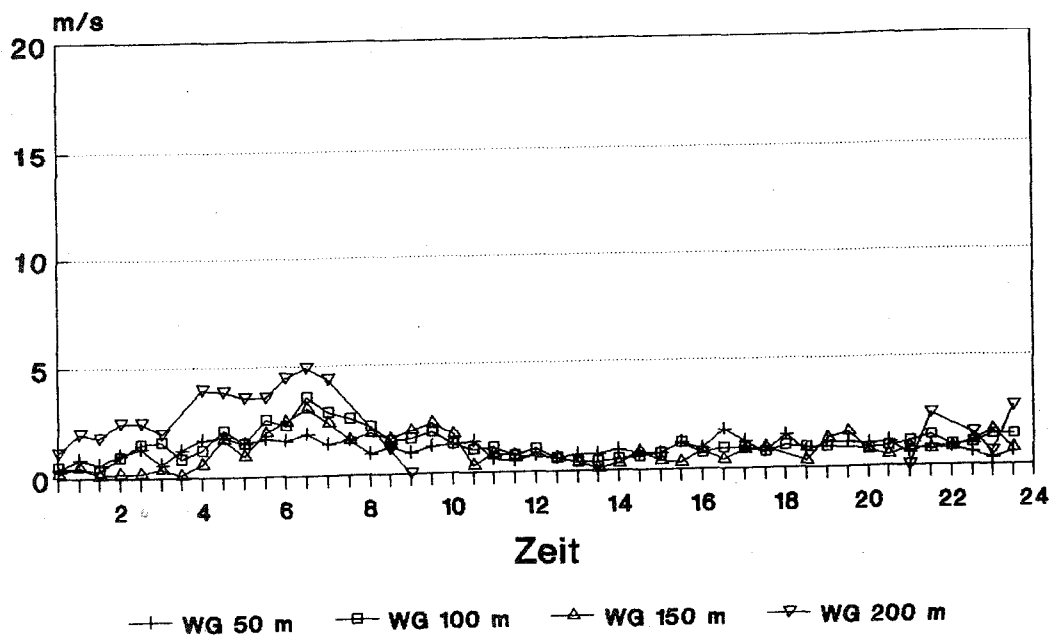
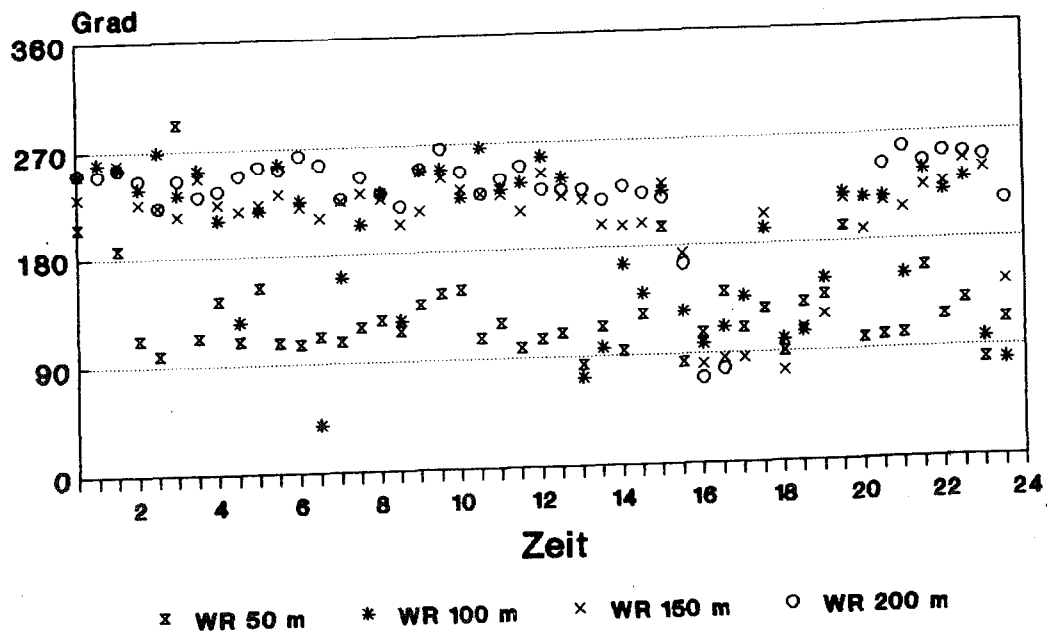


Abb. 198

Windrichtung Hall i.T. 8.12.1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 8.12.1990

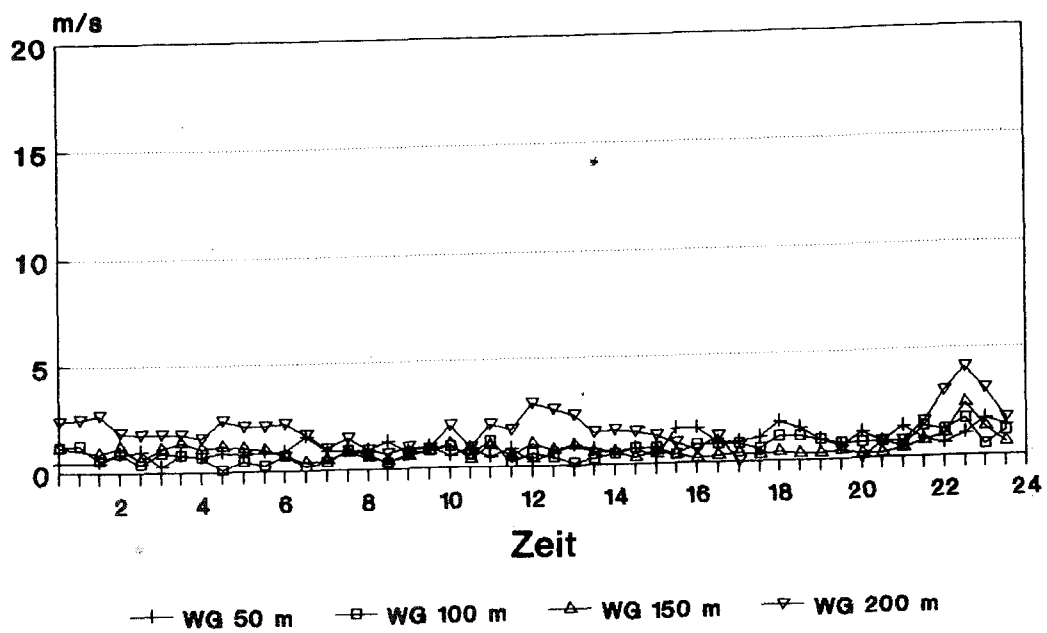
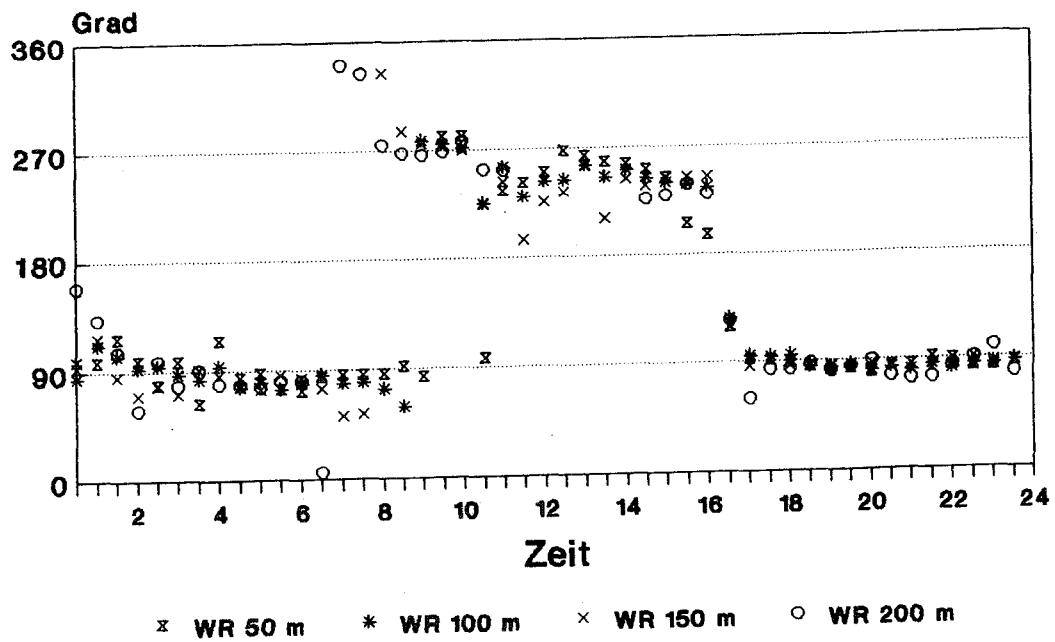


Abb. 199

Windrichtung Hall i.T. 9.12. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 9.12. 1990

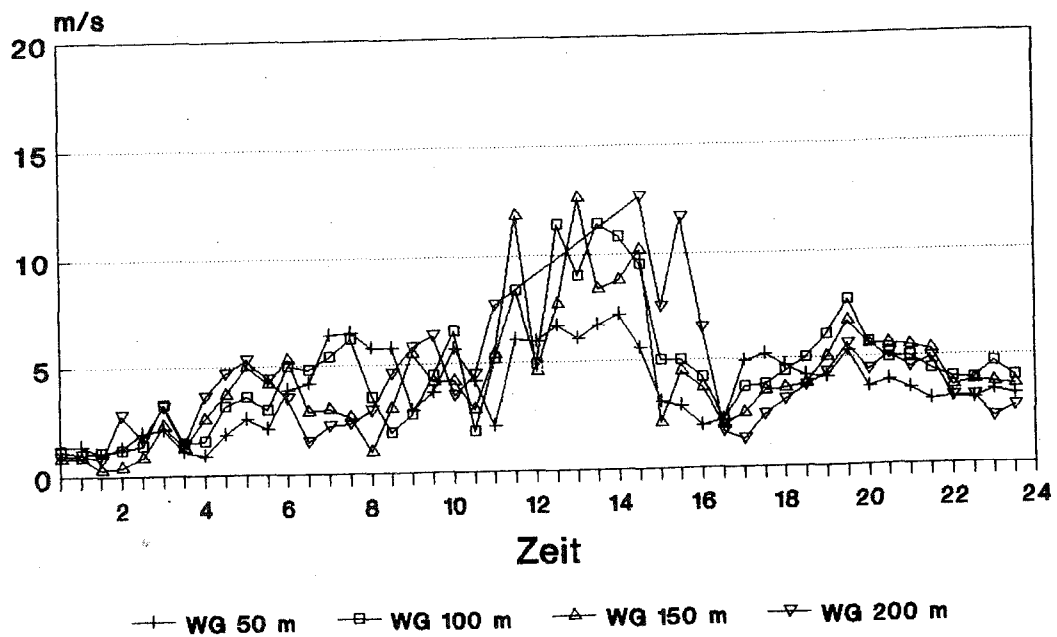
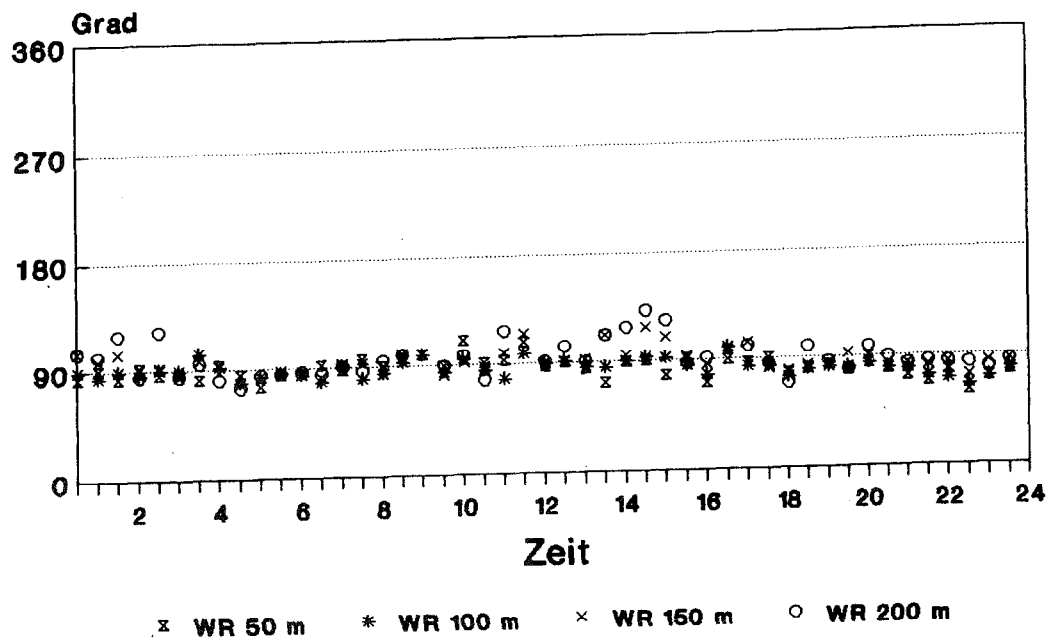


Abb. 200

Windrichtung Hall i.T. 10.12. 1990



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 10.12. 1990

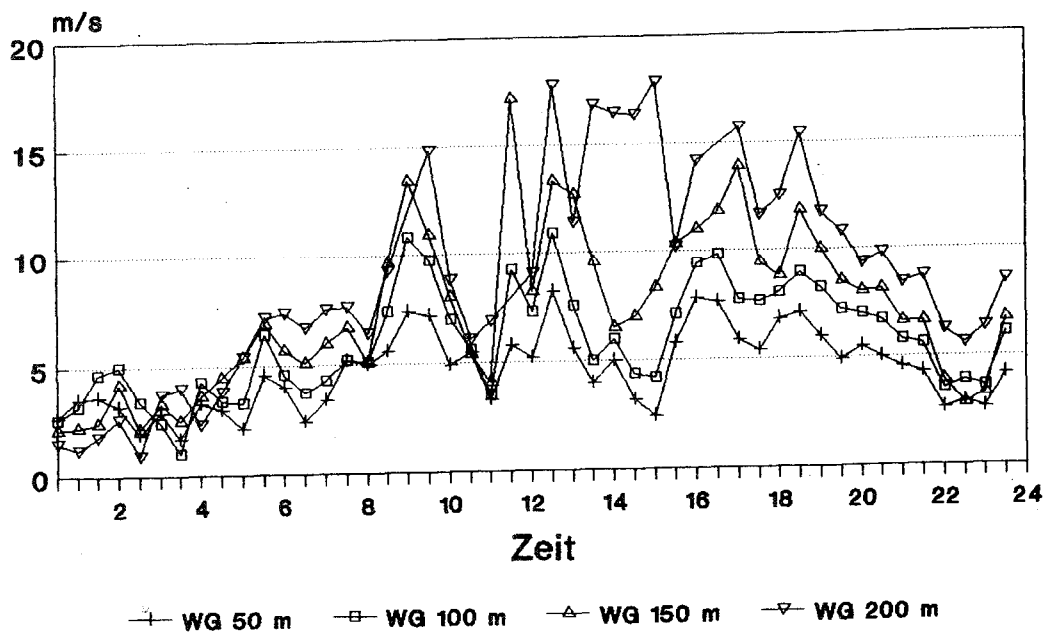


Abb. 201

Wind Hall i.T. 9.12. 1990

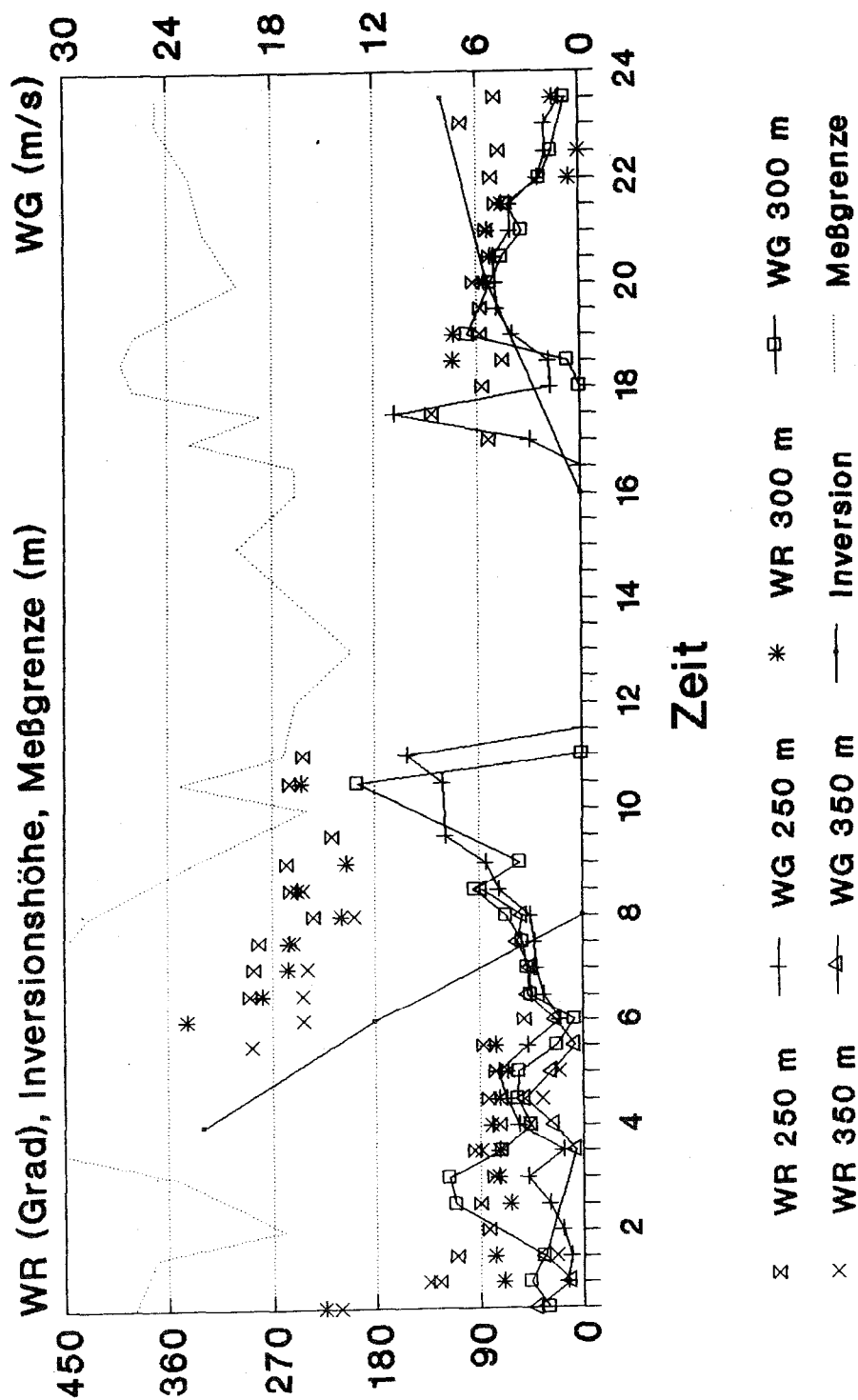


Abb. 202

Wind Hall i.T. 10.12. 1990

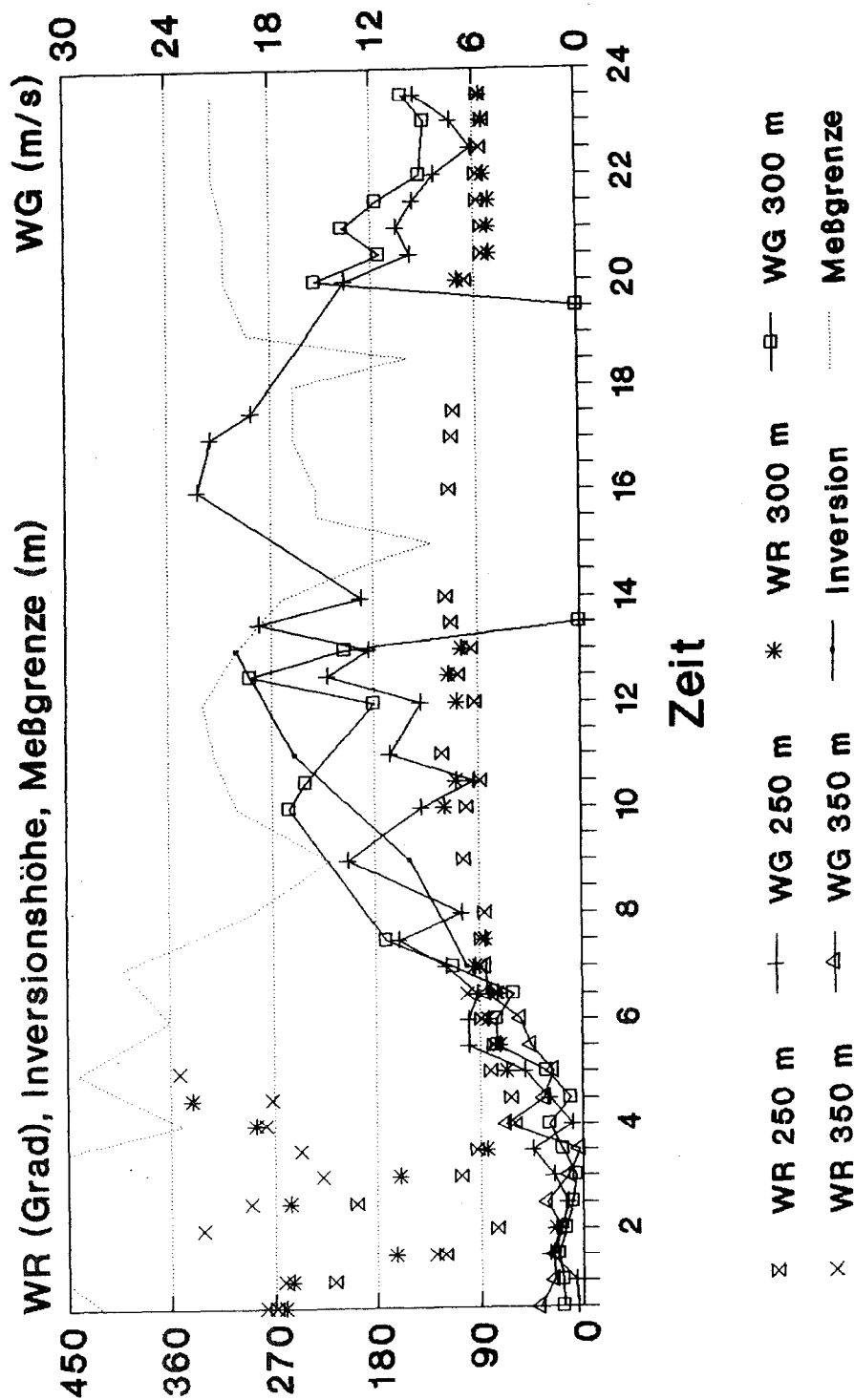


Abb. 203

Temperatur 7. - 8.12. 1990

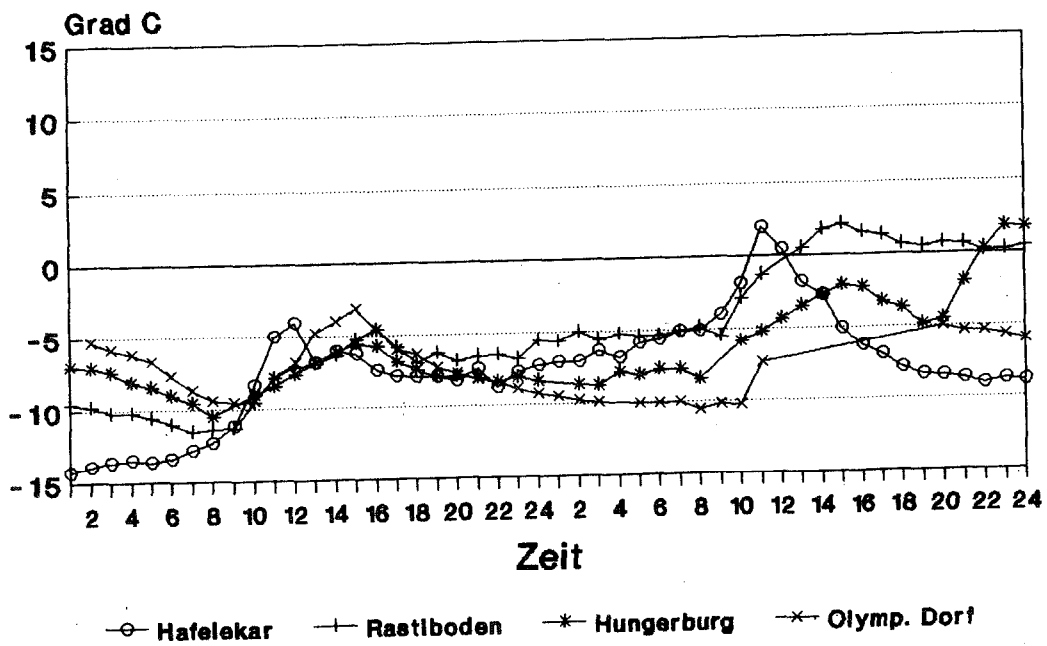


Abb. 204

Temperatur 9.-10.12. 1990

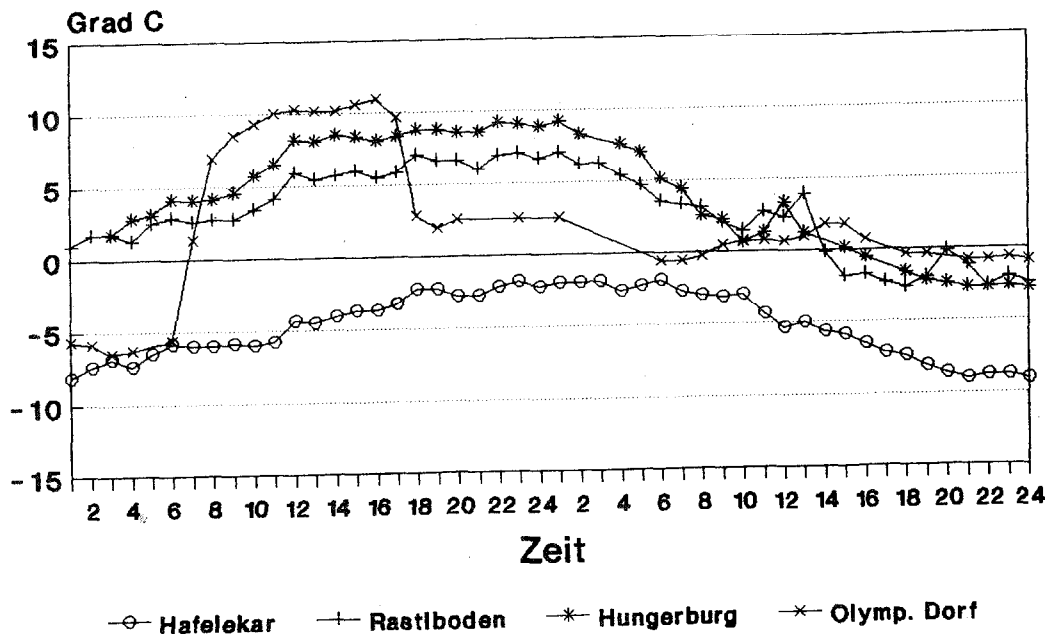


Abb. 205

Immission
7.12. 1990

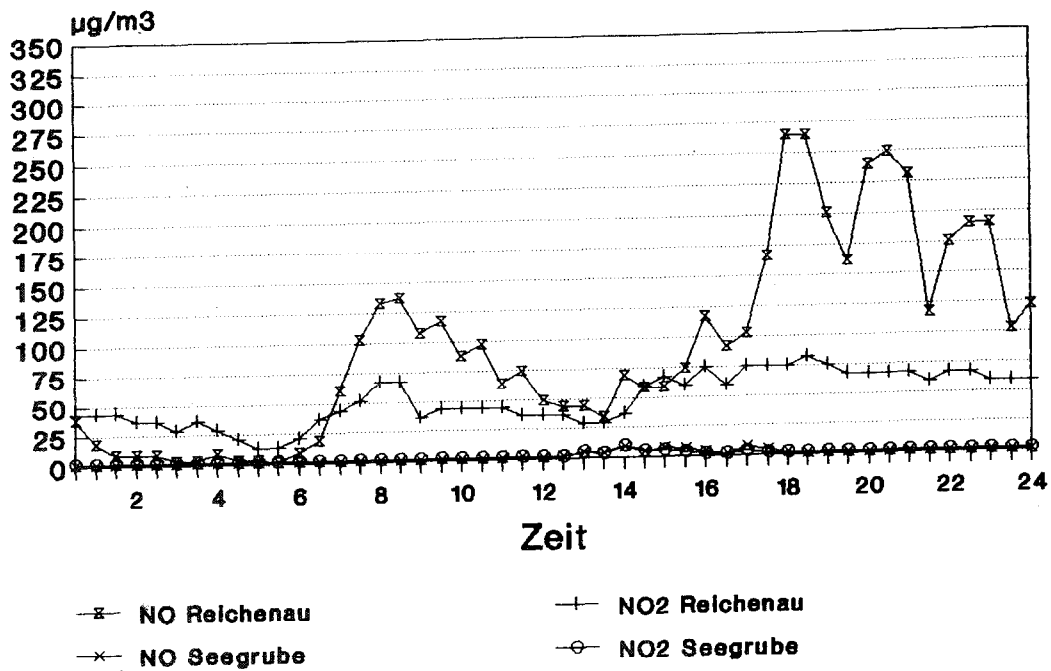
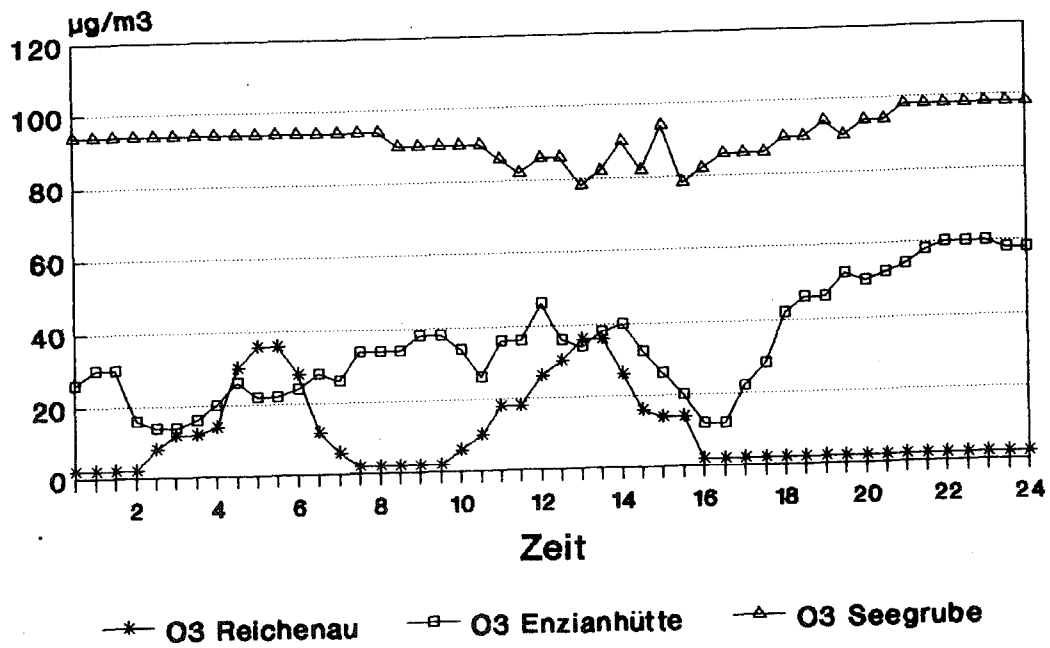


Abb. 206

Immission
8.12. 1990

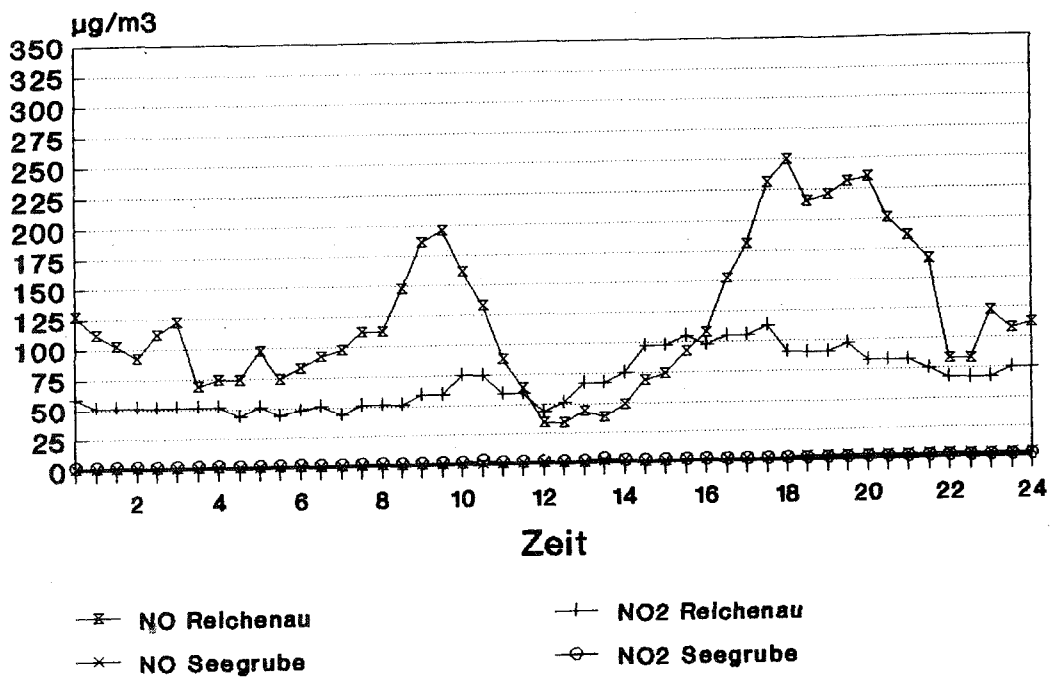
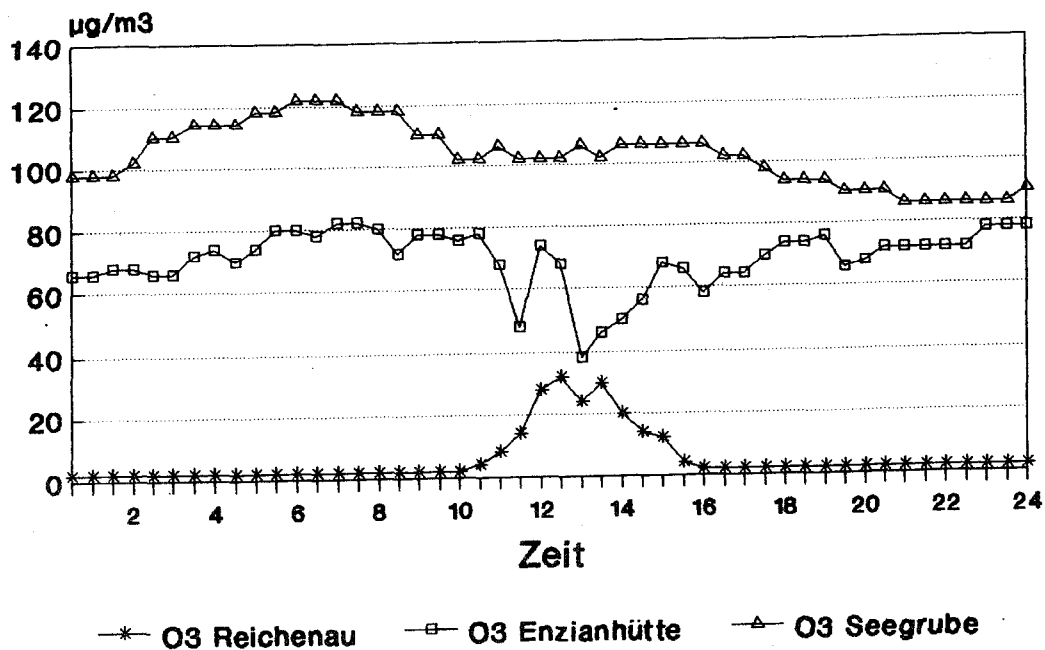


Abb. 207

Immission
9.12. 1990

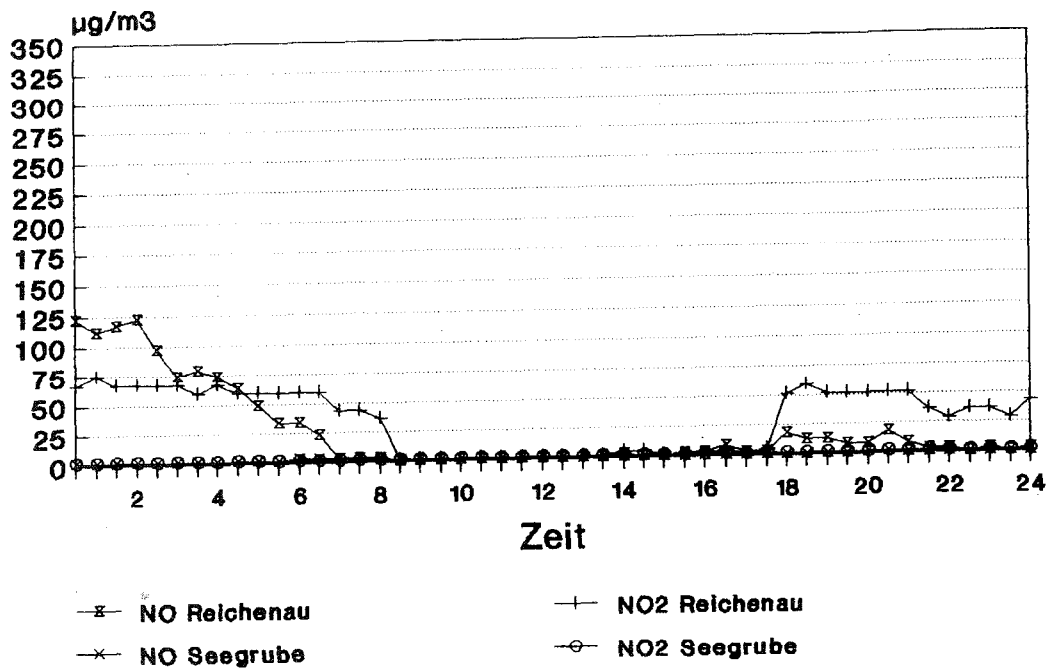
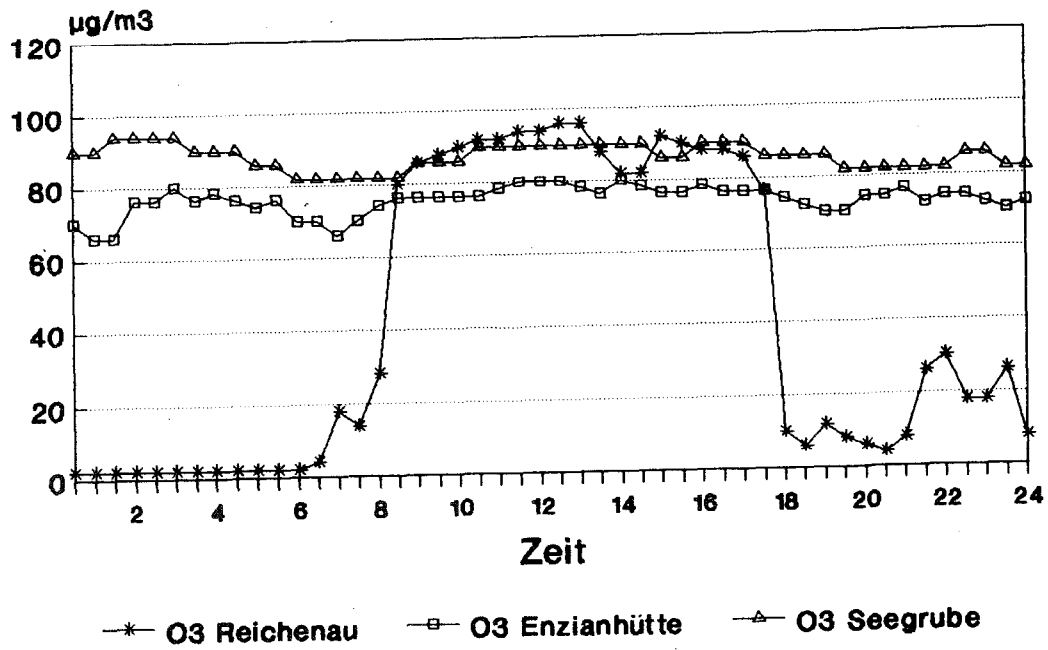


Abb. 208

Immission
10.12. 1990

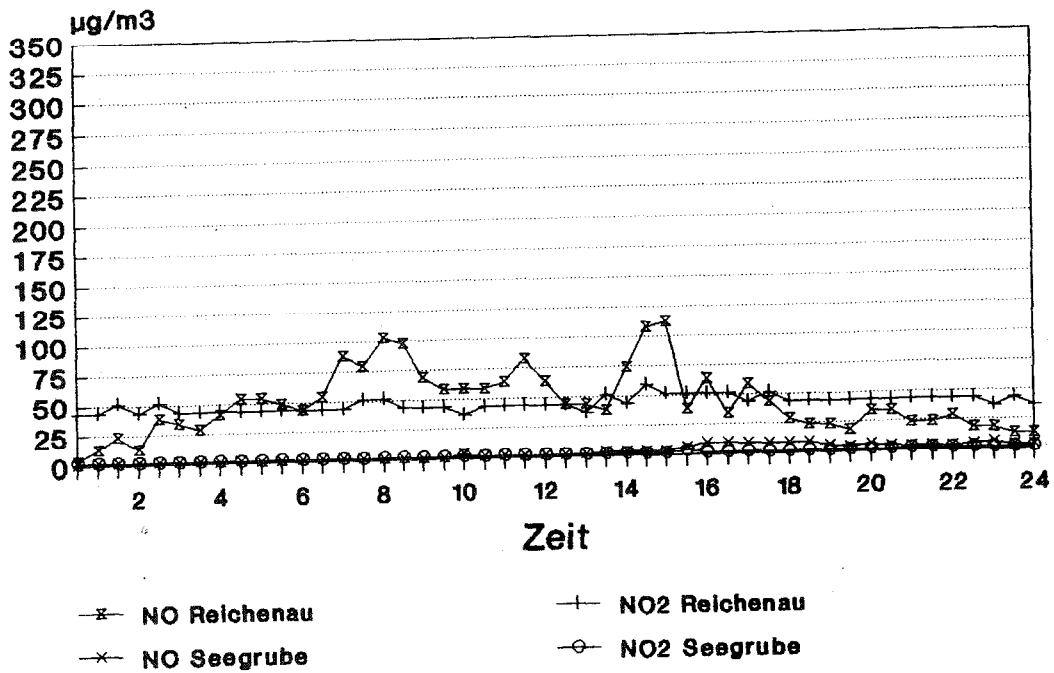
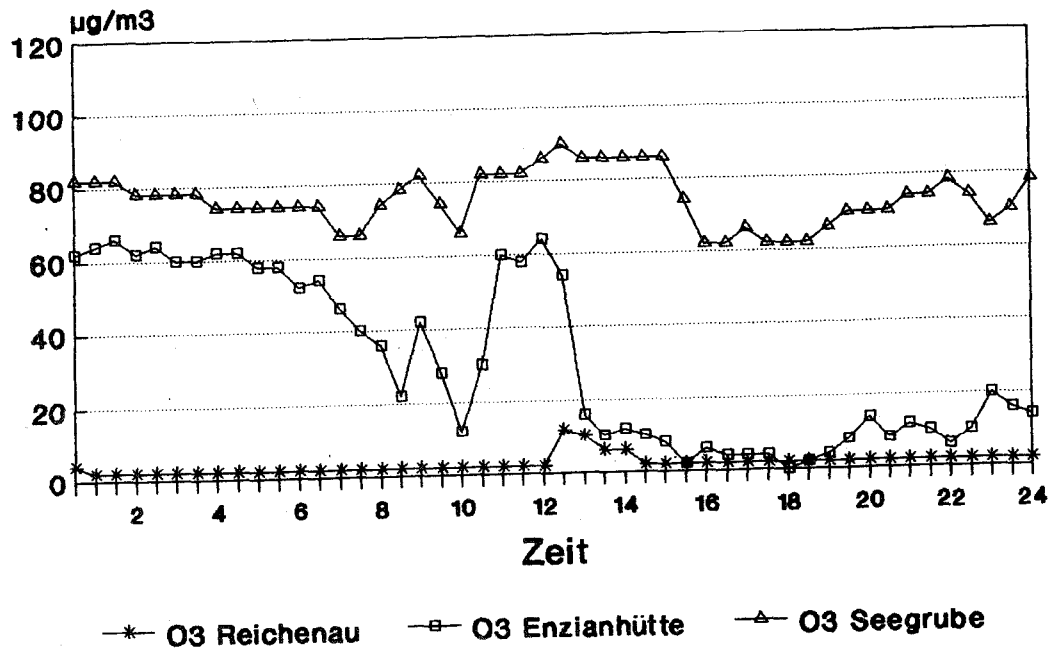
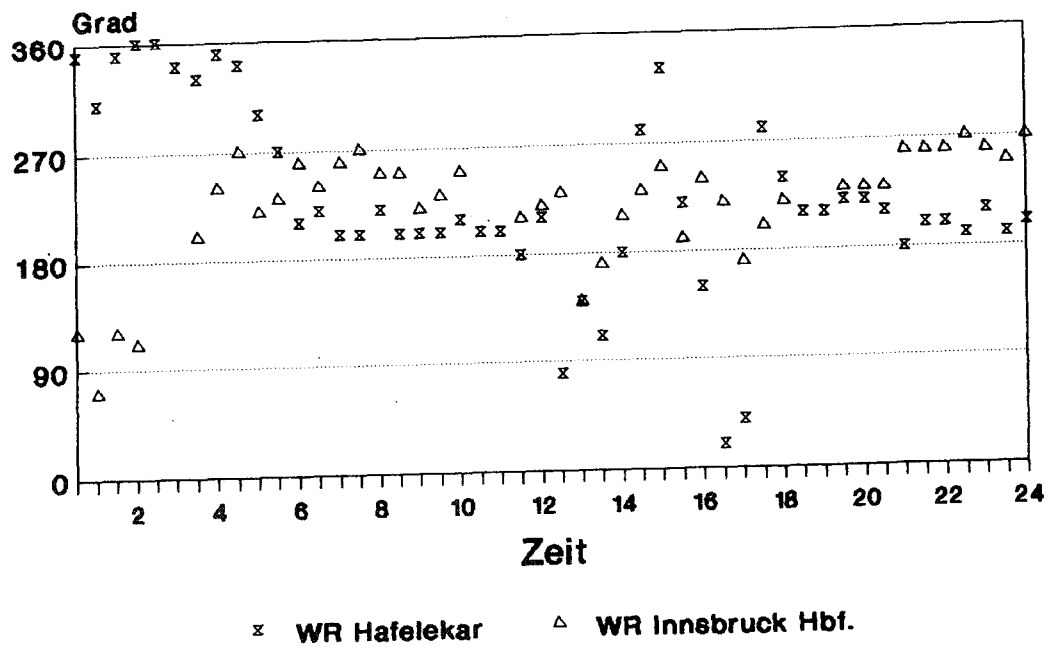


Abb. 209

Windrichtung 8.1. 1991



Windgeschwindigkeit 8.1. 1991

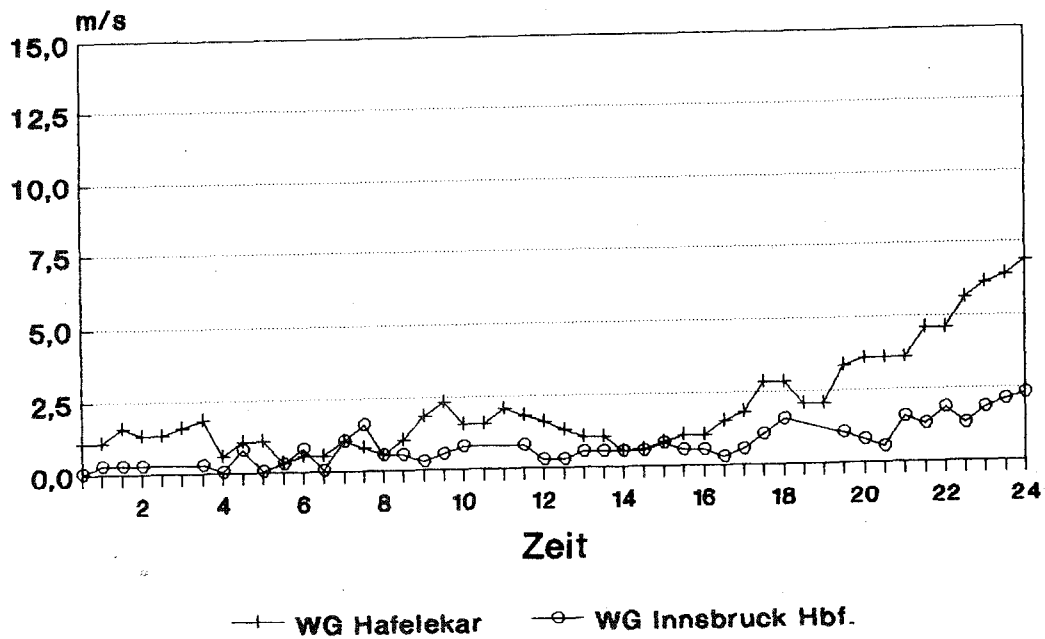
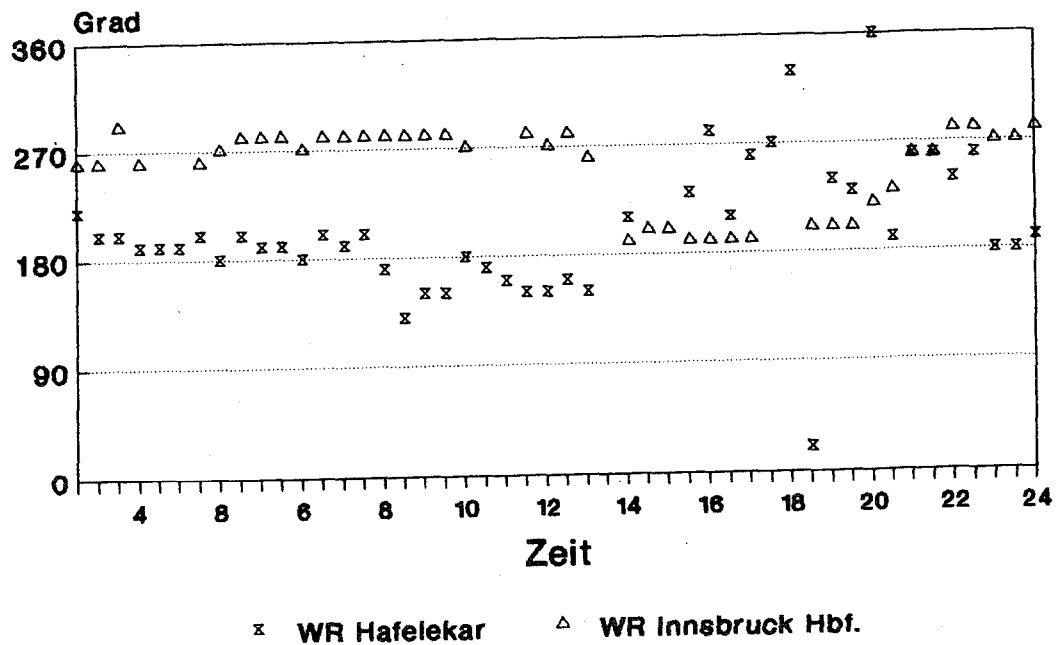


Abb. 210

Windrichtung 9.1. 1991



Windgeschwindigkeit 9.1. 1991

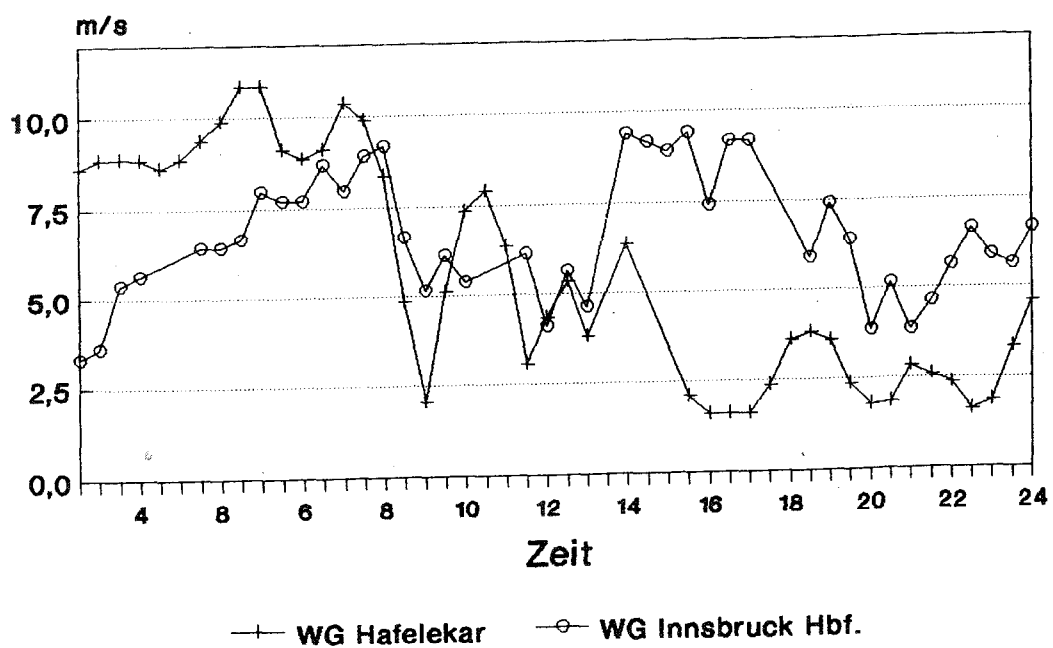
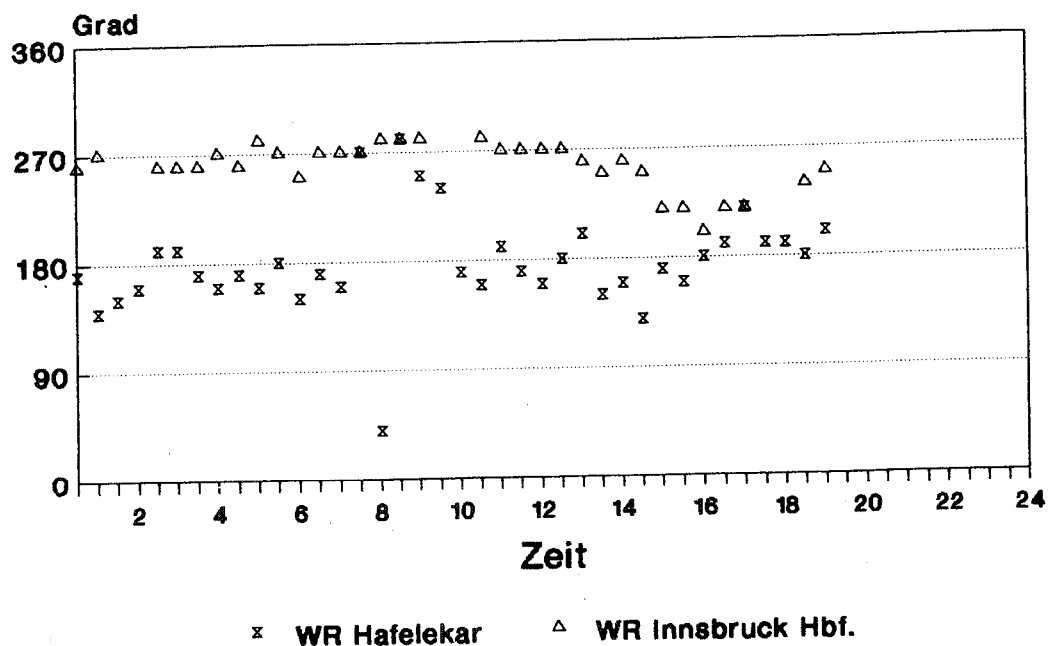


Abb. 211

Windrichtung 10.1. 1991



Windgeschwindigkeit 10.1. 1991

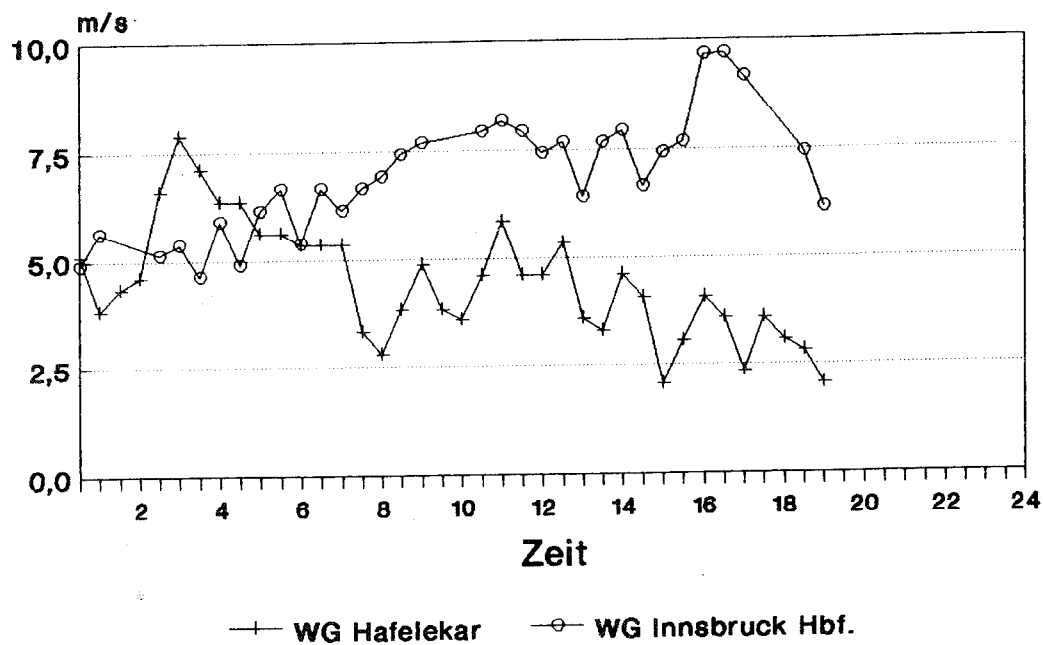
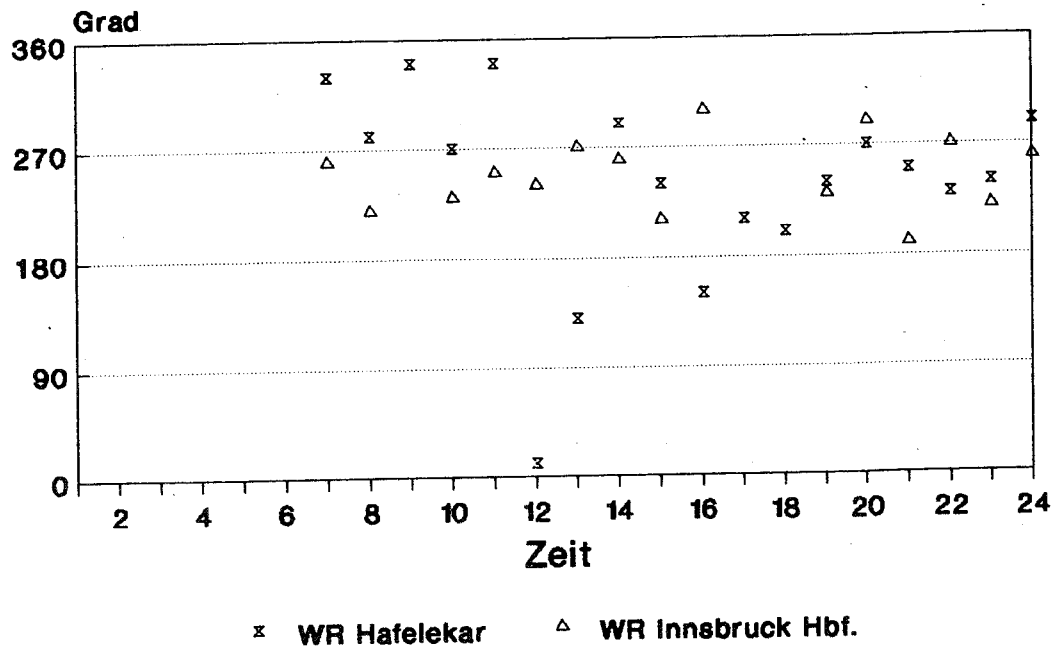


Abb. 212

Windrichtung 11.1. 1991



Windgeschwindigkeit 11.1. 1991

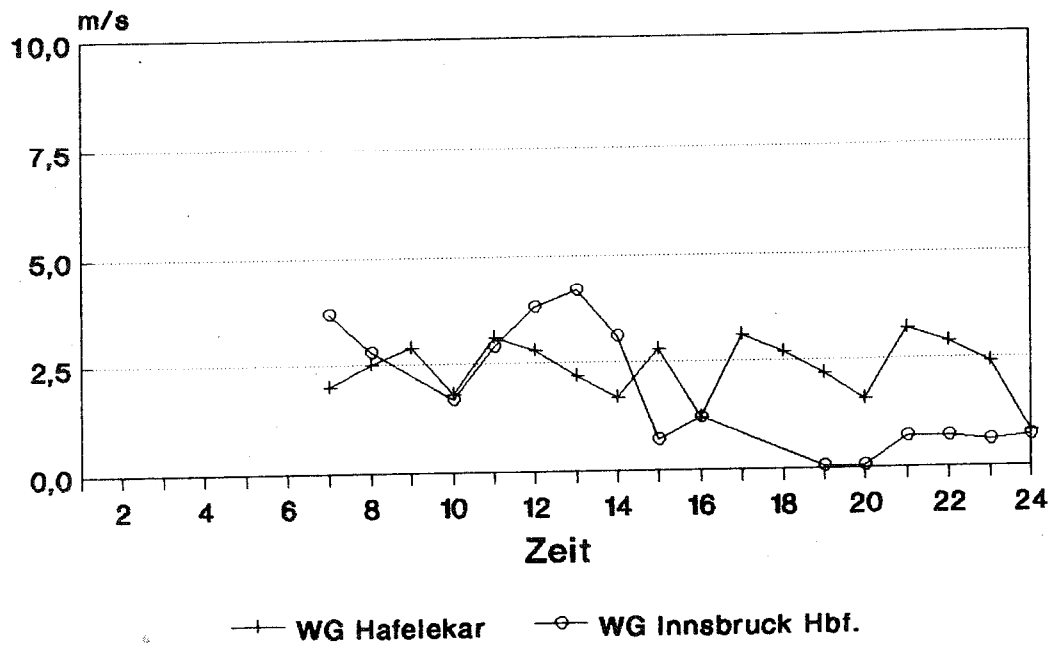
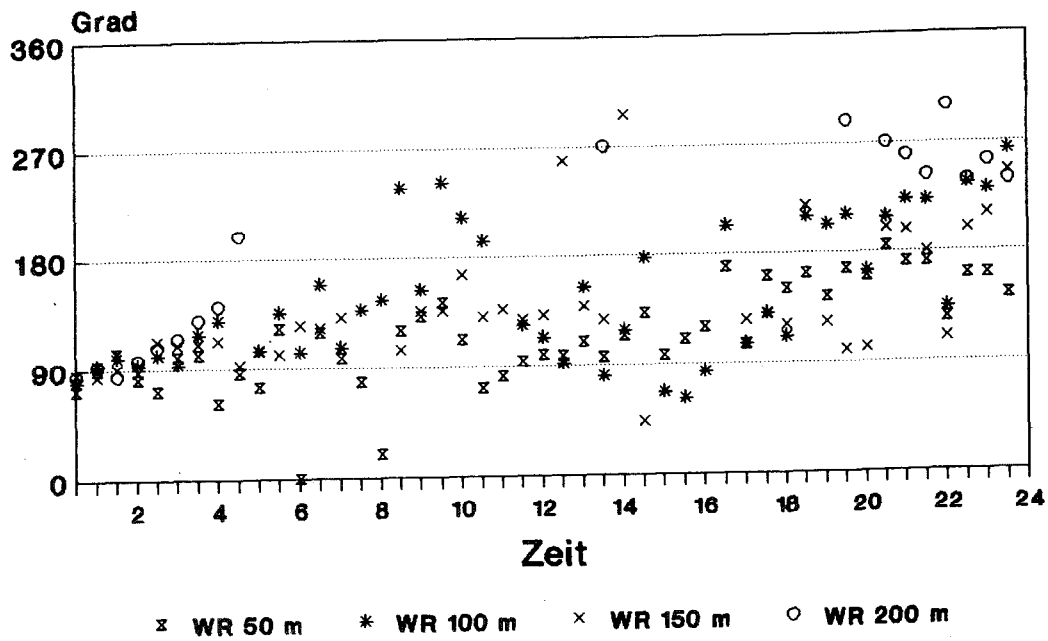
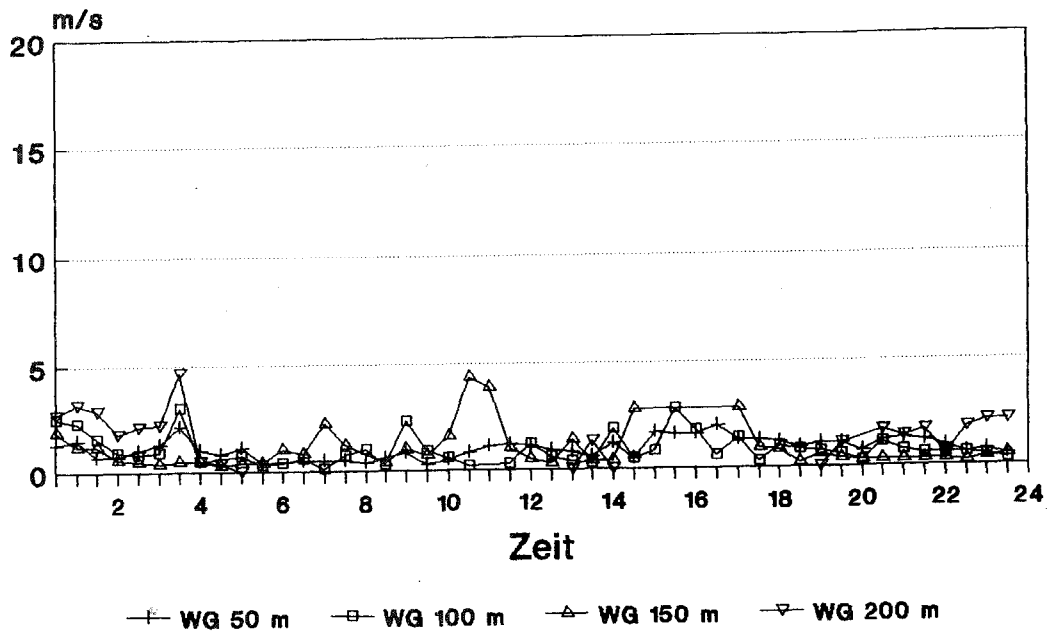


Abb. 213

Windrichtung Hall i.T. 8.1. 1991

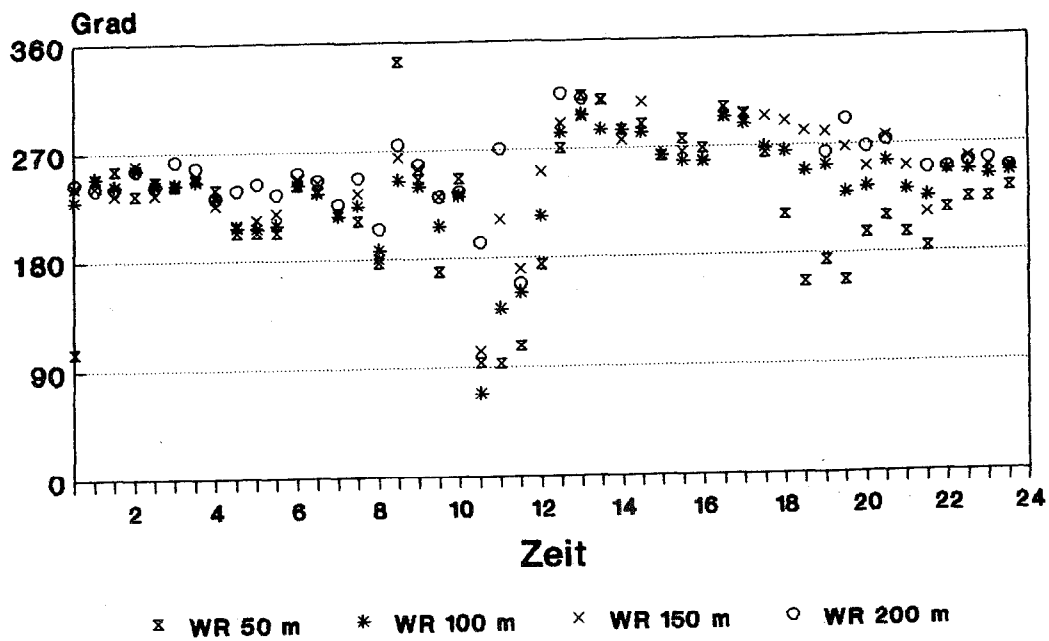


Windgeschwindigkeit Hall i.T. 8.1. 1991



Abbb. 214

Windrichtung Hall i.T. 9.1. 1991



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 9.1. 1991

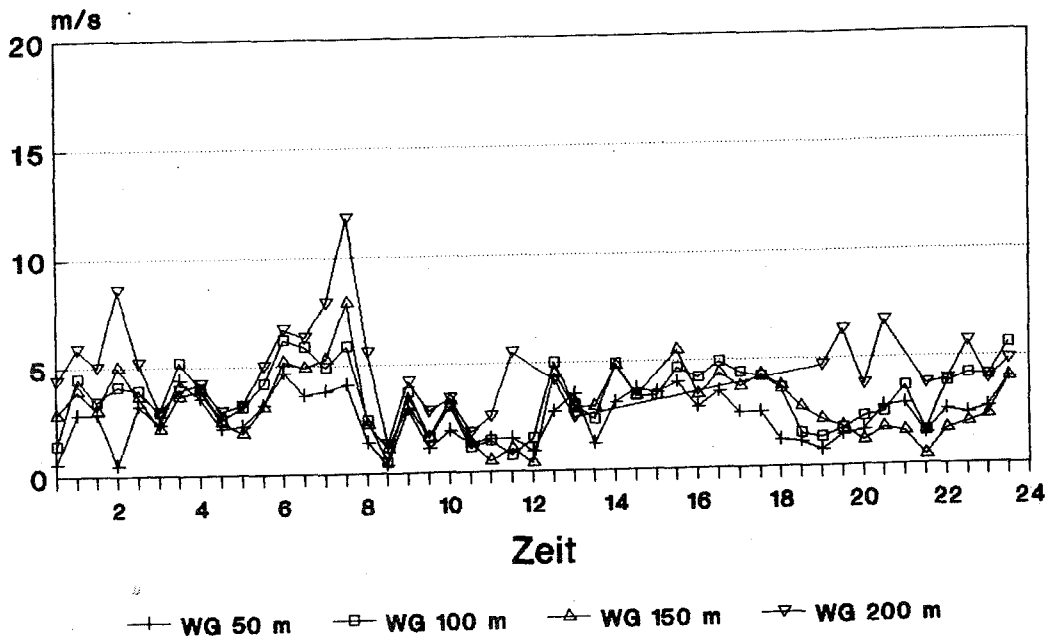
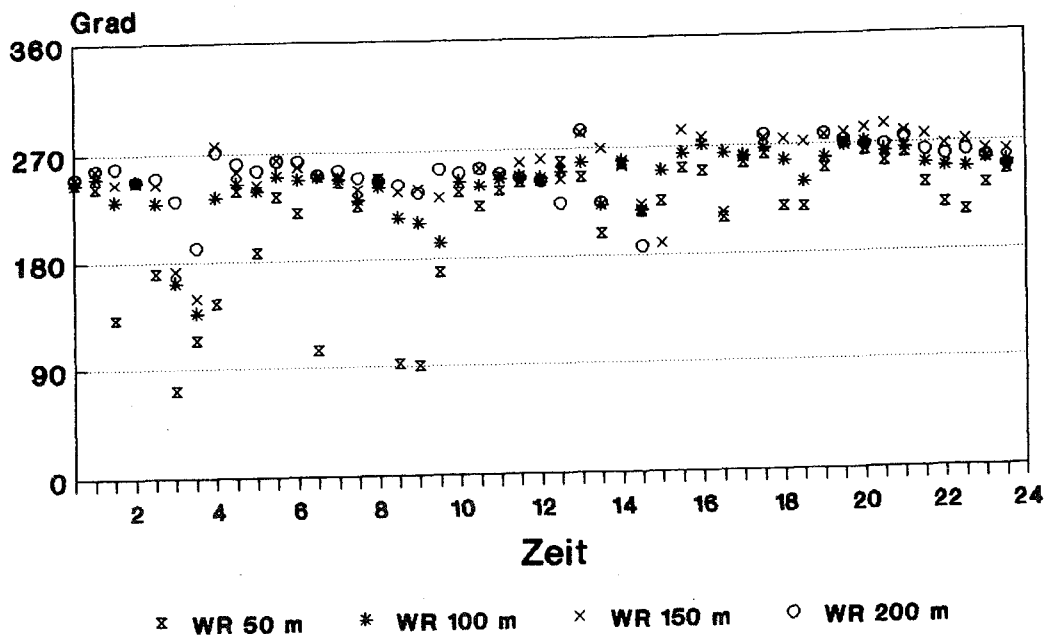


Abb. 215

Windrichtung Hall i.T. 10.1. 1991



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 10.1. 1991

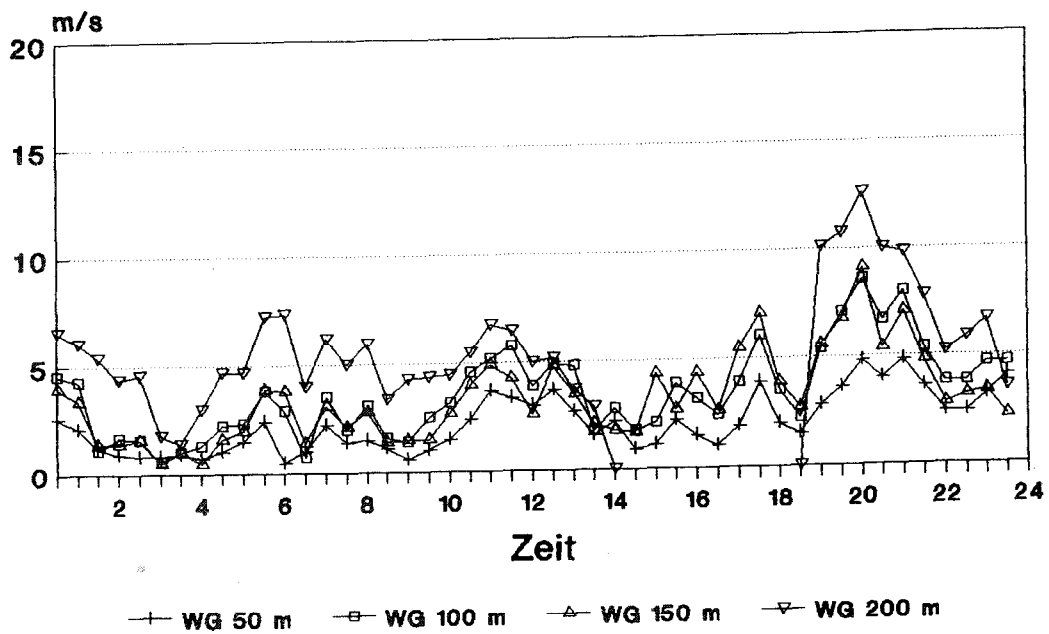
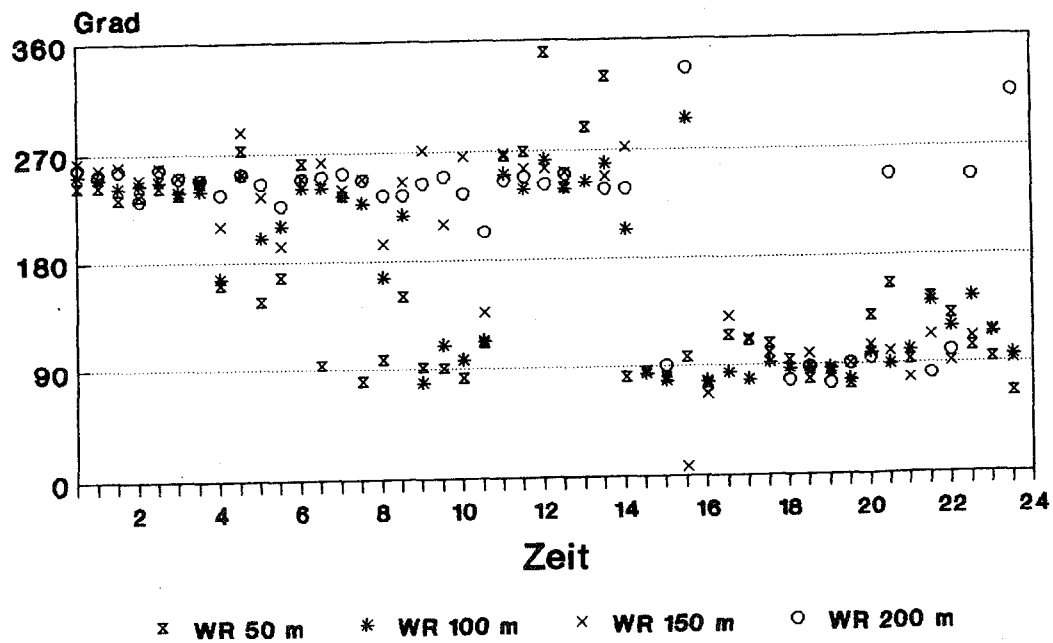


Abb. 216

Windrichtung Hall i.T. 11.1. 1991



Windgeschwindigkeit Hall i.T. 11.1. 1991

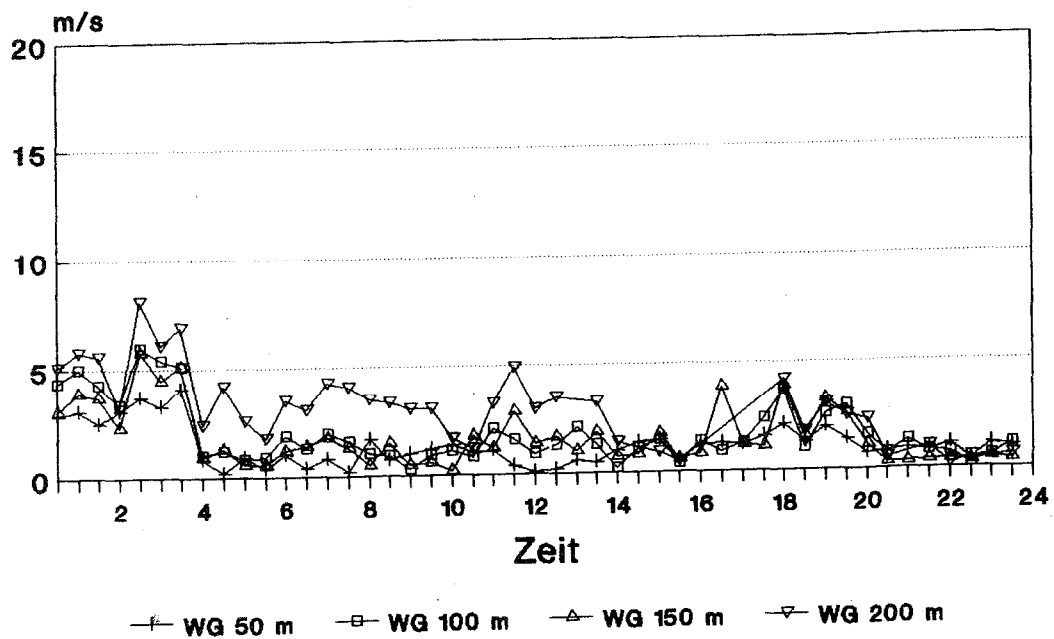


Abb. 217

Temperatur 8. - 9.1. 1991

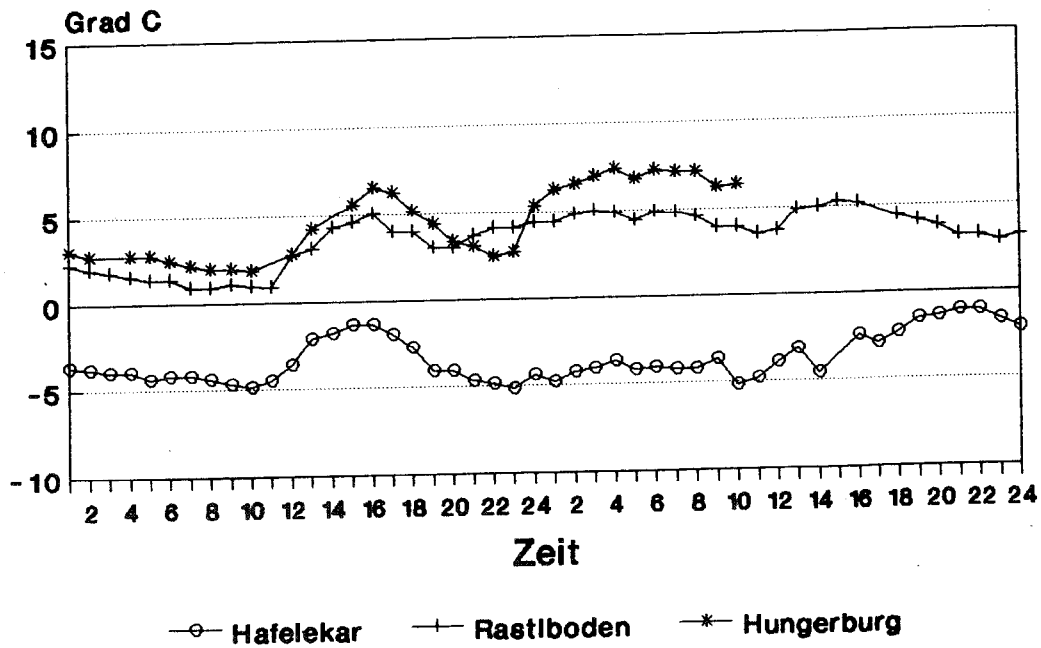


Abb. 218

Temperatur 10.-11.1. 1991

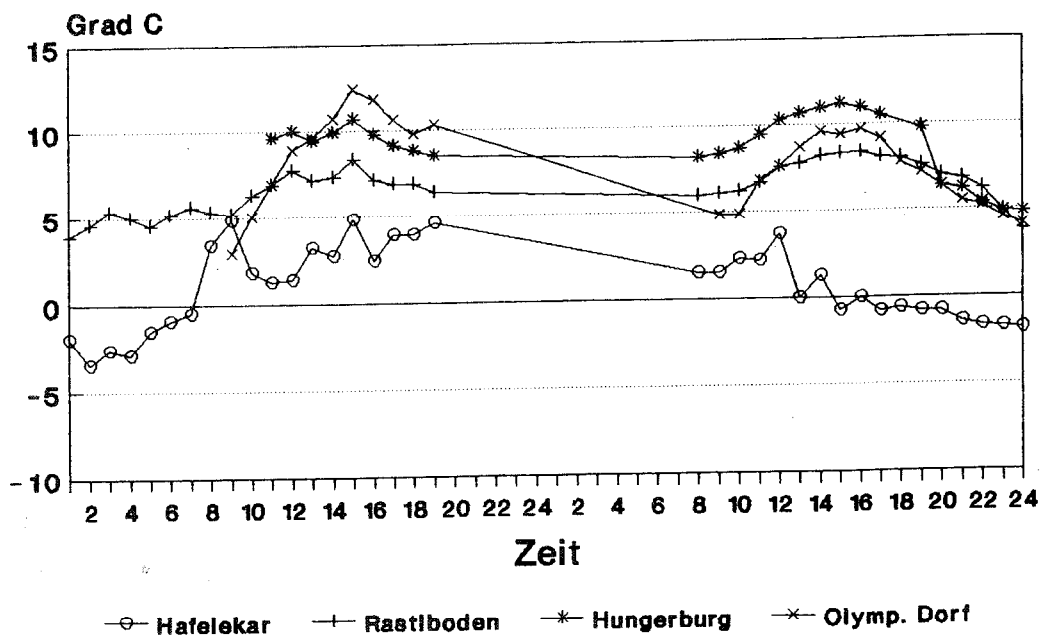


Abb. 219

Immission 8.1. 1991

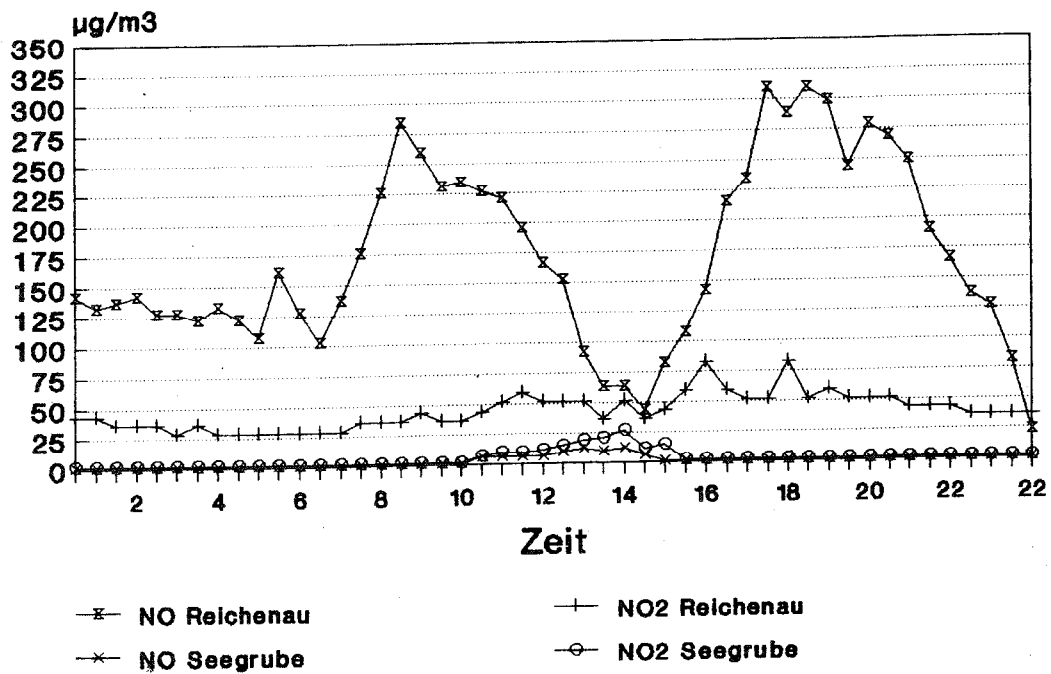
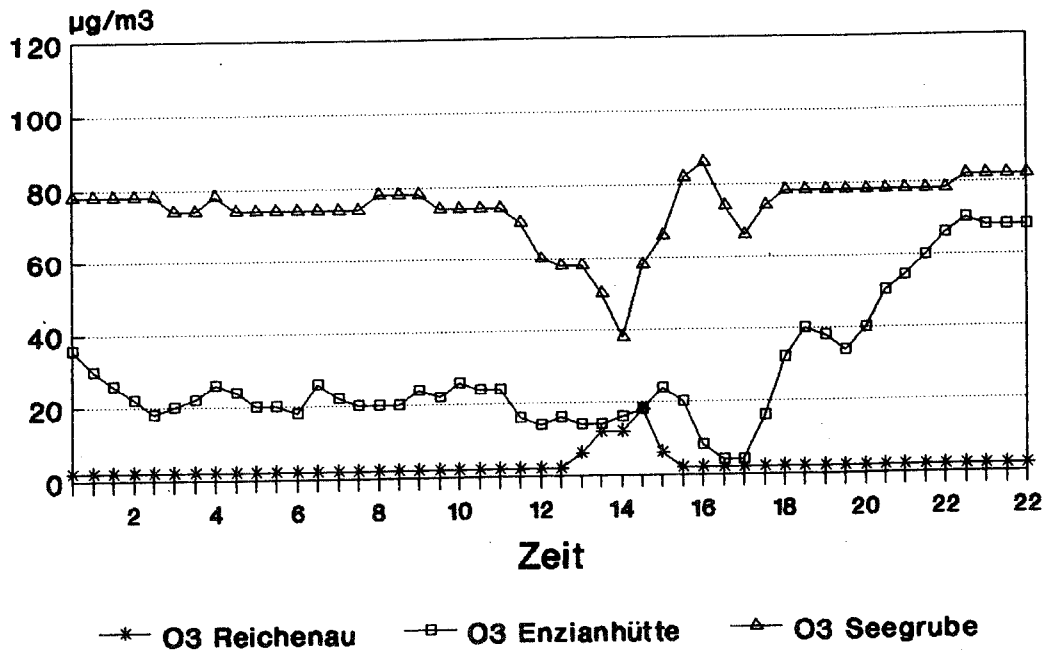


Abb. 220

Immission 9.1. 1991

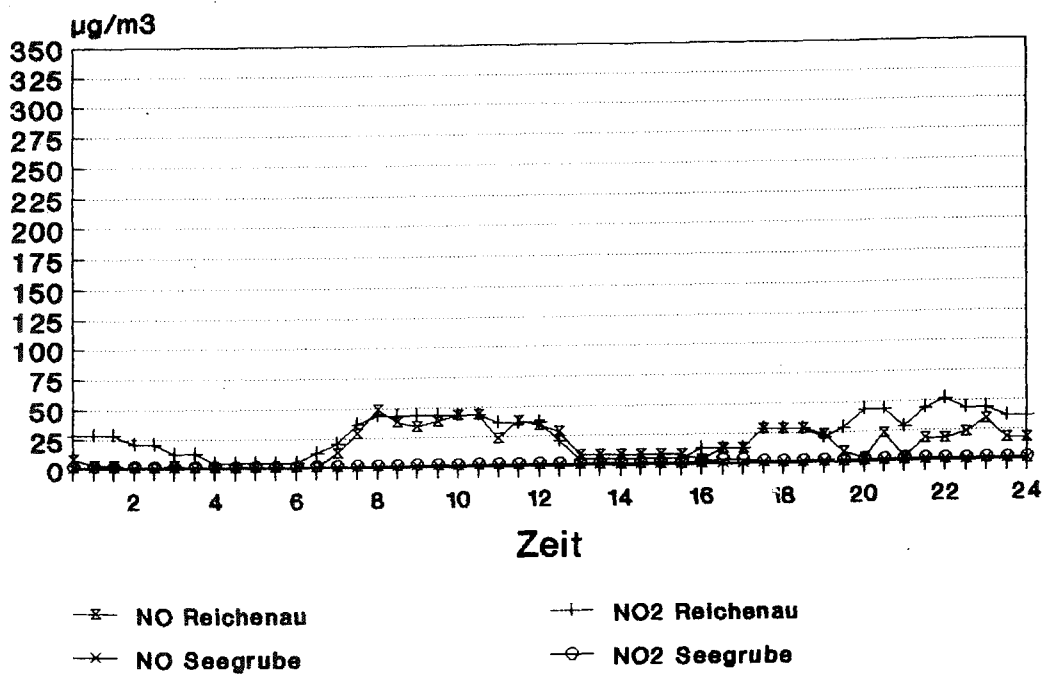
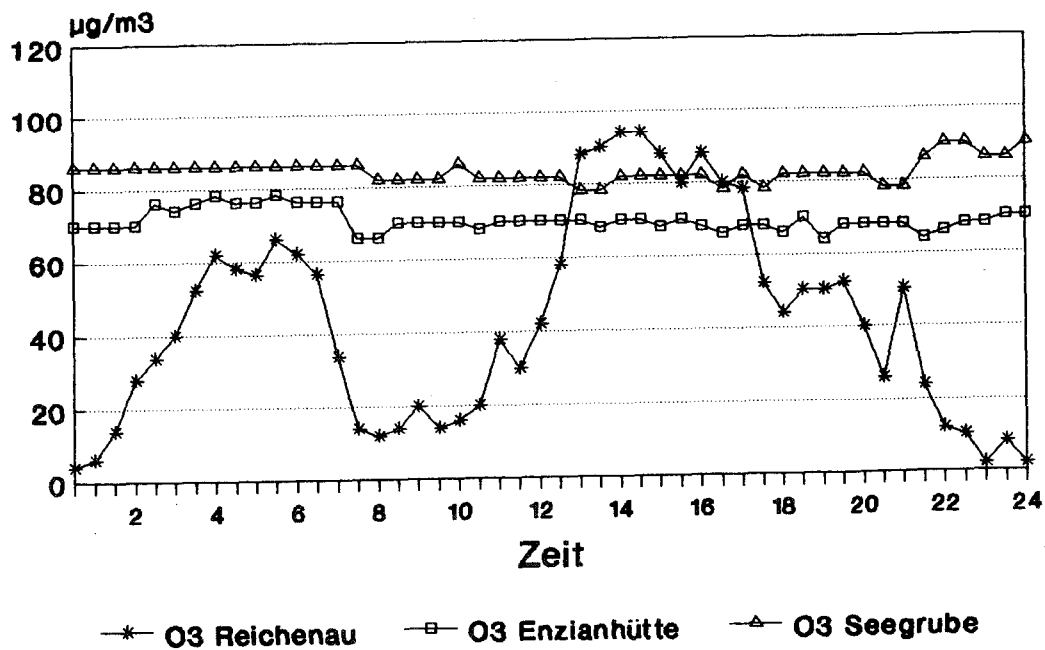


Abb. 221

Immission
10.1. 1991

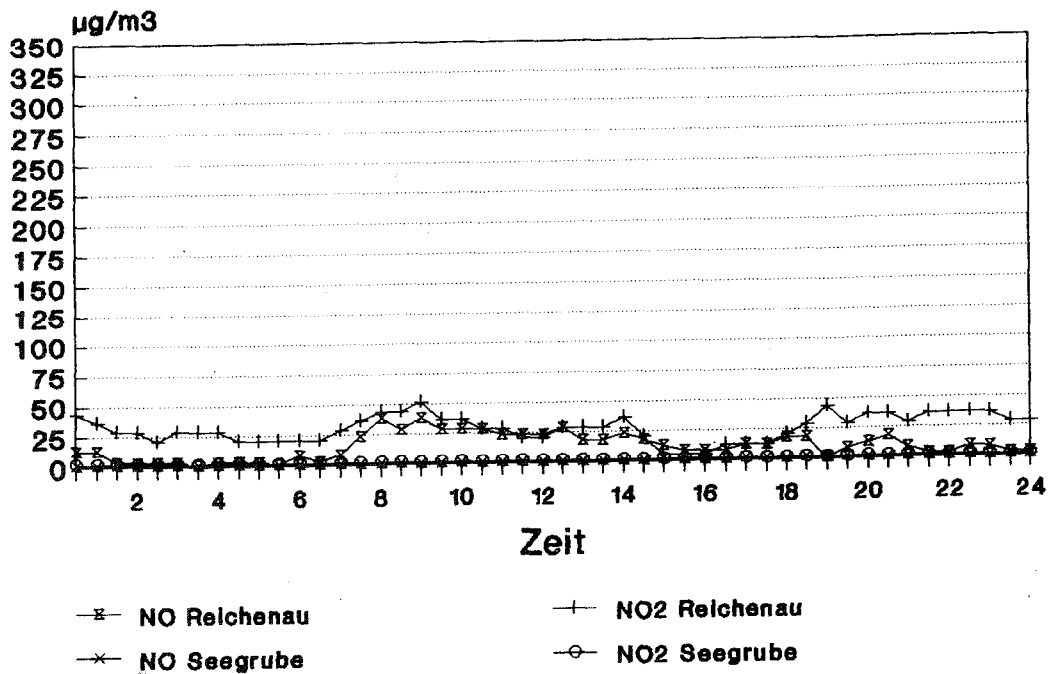
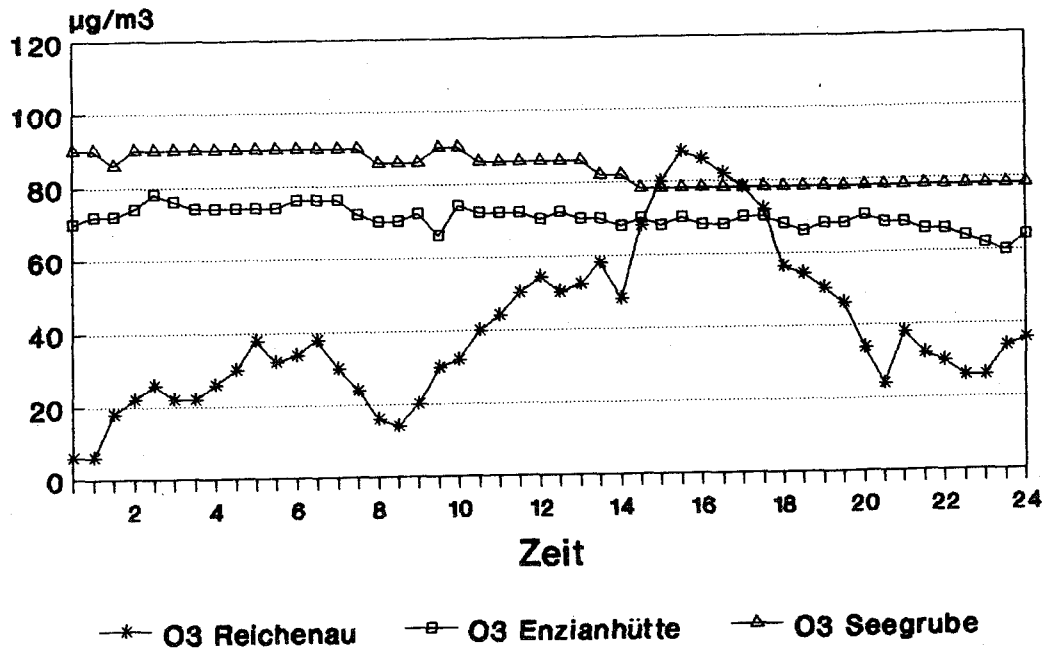


Abb. 222

Immission 11.1. 1991

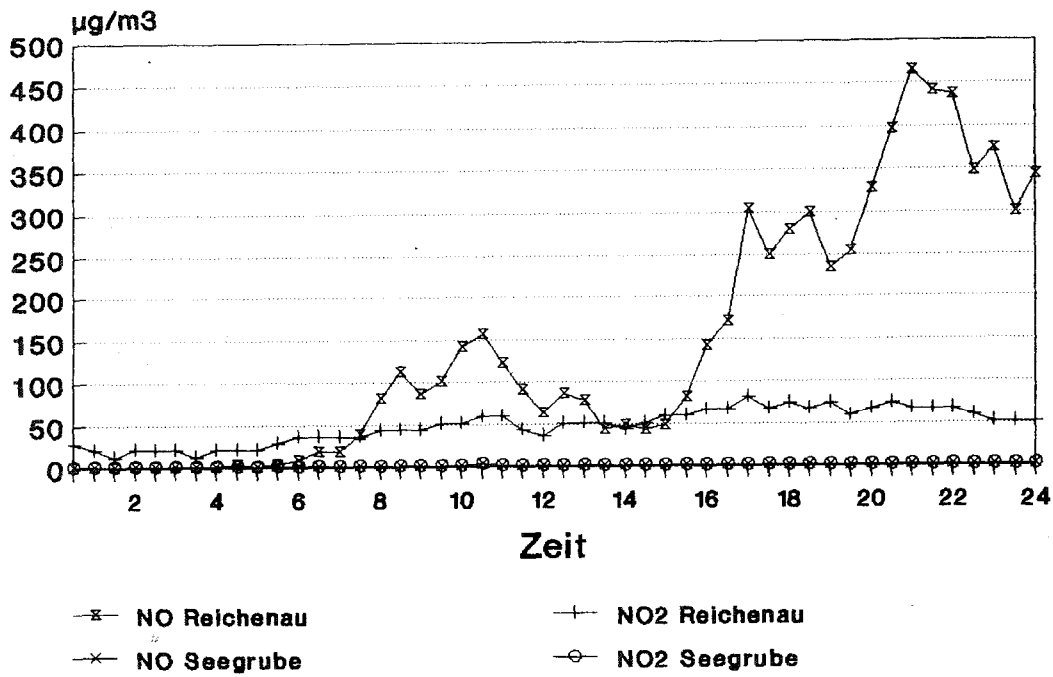
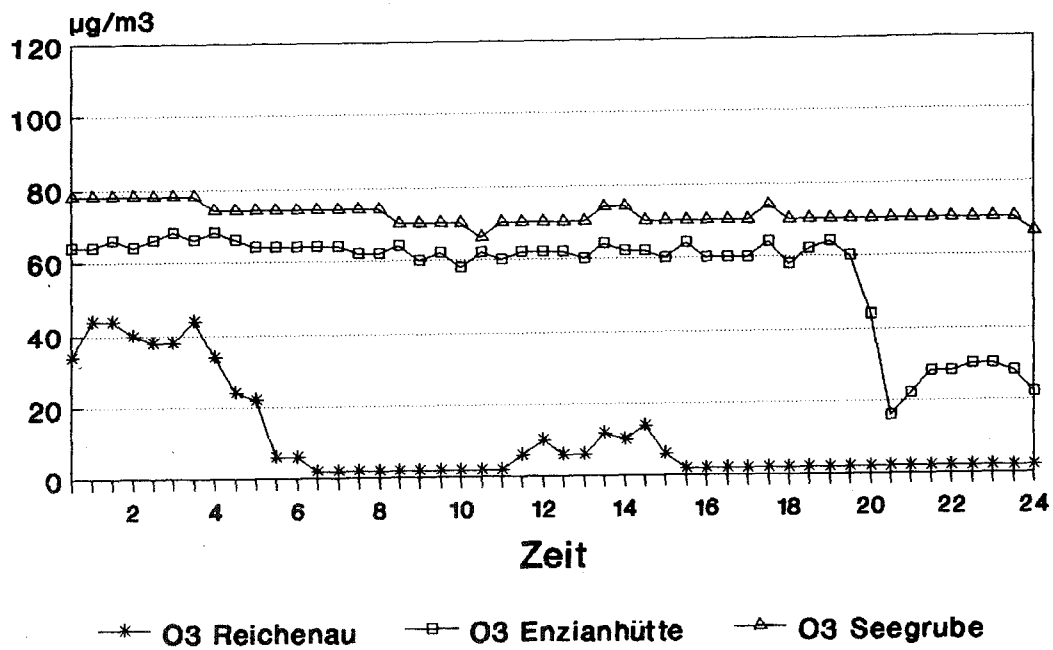


Abb. 223

