

UBA-BE-081

BERICHTE

**LUFTGÜTE – UND WINDMESSUNGEN IN  
ARNFELS/SÜDSTEIERMARK**



**Luftgüte– und Windmessungen in  
Arnfels/Südsteiermark**

**UBA–BE–081**

Wien, Dezember 1996

Bundesministerium für Umwelt, Jugend  
und Familie



Betreuung der Meßstelle: Erich Singer  
Wolfgang Sarny  
Betreuung des SODAR: Franz Zimmerl  
Auswertung und Berichterstellung: Wolfgang Spangl

**Impressum:**

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

© Umweltbundesamt, Wien, Dezember 1996

Alle Rechte vorbehalten  
ISBN 3-85457-351-0

## Zusammenfassung

Das Umweltbundesamt betreibt seit November 1992 in Arnfels im Steirischen Poßruck unmittelbar an der Grenze zwischen Österreich und Slowenien eine Luftgütemeßstelle, an welcher die Luftschadstoffe SO<sub>2</sub>, Schwebestaub, NO, NO<sub>2</sub> und Ozon gemessen werden, bis November 1994 CO. Zudem werden Windrichtung und -geschwindigkeit, Lufttemperatur, Feuchte, Globalstrahlung, Sonnenscheindauer, Strahlungsbilanz und Niederschlagsmenge erfaßt. Von Oktober 1994 bis April 1995 war zudem das Akustikradar (SODAR) des Umweltbundesamtes in der Nähe der Meßstelle Arnfels eingesetzt, um in Höhen bis ca. 350 m über Boden Information über Windrichtung und -geschwindigkeit sowie die Turbulenzstruktur der Atmosphäre zu erhalten.

Die bei weitem häufigste Windrichtung an der Meßstelle ist - sowohl am Boden, als auch im gesamten vom SODAR erfaßten Höhenbereich bis ca. 350 m über Boden - Südwest (42% der Meßzeit für einen 30°-Sektor), gefolgt von Nordnordwestwind (10%). Die hohe Südwestwindhäufigkeit kann als Folge der Umströmung der Alpen im Süden - bei Wetterlagen, bei welchen in der freien Troposphäre Westwind weht - interpretiert werden.

Arnfels weist eine im österreichweiten Vergleich außergewöhnlich hohe SO<sub>2</sub>-Belastung auf, sowohl was die mittlere Konzentration als auch die Spitzenwerte betrifft. Erhöhte SO<sub>2</sub>-Belastung ist fast immer mit Südwestwind verbunden. Die Auswertung der Messungen in Arnfels ergab, daß das ca. 40 km Luftlinie südwestlich der Meßstelle in Slowenien befindliche Kohlekraftwerk Sostanj, dessen SO<sub>2</sub>-Emission höher ist als jene von ganz Österreich, die dominierende Ursache der hohen SO<sub>2</sub>-Belastung ist. Neben der relativen Nähe dieses Großemittenten zur Meßstelle trägt die hohe Südwestwindhäufigkeit zusätzlich zur hohen SO<sub>2</sub>-Belastung in Arnfels bei.

Der SO<sub>2</sub>-Konzentrationsverlauf an der Meßstelle deutet auf die Ausbreitung einer relativ schmalen, scharf begrenzten Abgasfahne hin. Erhöhte SO<sub>2</sub>-Konzentration tritt bevorzugt bei hohen Windgeschwindigkeiten und geringer vertikaler Windscherung auf. Das Auftreten erhöhter SO<sub>2</sub>-Konzentrationen in Arnfels ist von der Wetterlage weitgehend unabhängig; die Schadstoffausbreitungsbedingungen spielen praktisch keine Rolle.

Im Winter werden bei Nord- bis Nordostwind vergleichbar hohe SO<sub>2</sub>-Konzentrationen wie bei Südwestwind erfaßt; diese Windrichtungen treten aber, verglichen mit Südwestwind, ausgesprochen selten auf. Die SO<sub>2</sub>-Belastung bei Wind aus Nord bis Ost im Winter dürfte lokalen Emittenten zuzuschreiben sein. Ferntransport aus dem Raum Graz oder Voitsberg läßt sich nicht nachweisen.

1993 betrug der Jahresmittelwert der SO<sub>2</sub>-Belastung in Arnfels 21 µg/m<sup>3</sup>, 1994 19 µg/m<sup>3</sup>. Der höchste Monatsmittelwert wurde mit 33 µg/m<sup>3</sup> im Jänner 1993 erreicht, der höchste Tagesmittelwert mit 117 µg/m<sup>3</sup> im Dezember 1993, der höchste Halbstundenmittelwert mit 500 µg/m<sup>3</sup> im Jänner 1994.

In dem hier dokumentierten Zeitraum von November 1992 bis April 1995 wurde bei SO<sub>2</sub> an 19 Tagen eine Grenzwertverletzung der Immissionsschutzvereinbarung (BGBl. 443/87) bezüglich des HMW von 0,200 mg/m<sup>3</sup> (wobei drei HMW bis 0,500 mg/m<sup>3</sup> nicht als Überschreitung gelten) festgestellt. Grenzwerte für SO<sub>2</sub> der 2. Forstverordnung, welche - jahreszeitlich unterschiedlich - als 97,5-Perzentile der HMW für einzelne Monate angegeben sind, wurden in insgesamt 10 Monaten überschritten; Grenzwerte, die als TMW angegeben sind, an insgesamt 26 Tagen.

Die Belastung durch Schwebestaub, NO, NO<sub>2</sub> und CO ist im österreichweiten Vergleich niedrig und entspricht den Verhältnissen im ländlichen, emittentenerfernten Gebiet. Erhöhte

Konzentrationen von Schwebstaub, NO und NO<sub>2</sub> werden parallel zu den Spitzenwerten der SO<sub>2</sub>-Konzentration beobachtet, doch dürfte im Mittel der Beitrag der Emissionen dieses Kraftwerkes für die Schwebstaub- und Stickoxidbelastung in einer ähnlichen Größenordnung liegen wie die Beiträge regionaler Emissionen.

Die Ozonbelastung liegt in Arnfels in einem ähnlichen Bereich wie an Meßstellen in vergleichbarer Höhe und in exponierter Lage in Österreich. Überschreitungen von EU-Schwellenwerten sowie von Wirkungsbezogenen Immissionsgrenzkonzentrationen sowohl zum Schutz der menschlichen Gesundheit als auch der Vegetation werden in Arnfels im österreichischen Vergleich sehr häufig beobachtet. Ebenso werden die von der UN/ECE festgelegten „Critical Levels“ zum Schutz des Waldes sowie von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen und natürlicher Vegetation stark überschritten. Grenzwerte des österreichischen Ozongesetzes wurden nie überschritten.

## Summary

The Austrian Federal Environment Agency runs an Air Quality Monitoring Station in Arnfels/southern Styria at the border between Austria and Slovenia. Since November 1992, SO<sub>2</sub>, suspended particular matter, NO/NO<sub>2</sub>, ozone (till November 1994 additionally CO) and several meteorological parameters have been measured. Between October 1994 and April 1995, a SODAR was run near the monitoring site in order to get information on wind and atmospheric stability aloft for further interpretation of the air quality measurements.

The predominant wind direction in Arnfels is south-west (42% for a 30°-sector), followed by north-west (10%). The extraordinary high frequency of south-west winds at this site can be attributed to the deflection of westerly free tropospheric flow by the Alps.

The SO<sub>2</sub> pollution level in Arnfels is extraordinarily high compared with other Austrian sites, both with respect to mean and short-term peak values. High SO<sub>2</sub> concentration is highly correlated to south-west wind. It can predominantly be attributed to emissions of the coal-fired thermal power plant Sostanj, situated in Slovenia approx. 40 km south-west of the monitoring site, the SO<sub>2</sub> emission of which exceeds the total emission of Austria. The high frequency of south-west winds additionally enhances the SO<sub>2</sub> transport from Sostanj to southern Styria.

The temporal structure of the SO<sub>2</sub> concentration hints at the SO<sub>2</sub> dispersion in a narrow, rather sharply delimited plume. High SO<sub>2</sub> concentrations are usually linked with high wind speed and small vertical wind shear, but independent from the large-scale weather condition and dispersion parameters.

Whereas during summer the air quality in Arnfels is predominantly influenced by SO<sub>2</sub> transport from Sostanj, during winter comparably high SO<sub>2</sub> concentrations are registered at wind from north or east (which occur indeed very seldom compared to south-west wind) that can be attributed to regional SO<sub>2</sub> emissions. SO<sub>2</sub> transport from Graz or Voitsberg could not be identified.

In 1993, an annual mean of the SO<sub>2</sub> concentration of 21 µg/m<sup>3</sup> was registered, in 1994 of 19 µg/m<sup>3</sup>. The maximum monthly mean was measured in January 1993 (33 µg/m<sup>3</sup>), the maximum daily mean was registered in December 1993 (117 µg/m<sup>3</sup>), the maximum half hour mean was registered in January 1994 (500 µg/m<sup>3</sup>).

Between November 1992 and April 1995, the limit value for the long-term protection of human health set by the Austrian Air Quality Protection Agreement (Legal Gazette 443/87) was exceeded on 19 days.

Limit values set in the 2<sup>nd</sup> Ordinance for the Protection of Forests - given as monthly 97.5-percentiles - were exceeded in 10 months, limit values given as daily mean values were exceeded on 26 days.

The pollution by suspended particulate matter, NO, NO<sub>2</sub> and CO in Arnfels is fairly representative for rural areas in Austria. Transport in the plume from Sostanj can be identified, but its contribution is of the same magnitude as that from regional emissions.

Ozone concentration levels measured in Arnfels are characteristic for rural sites in mountainous terrain in Austria, with high mean and accumulated ozone exposure and medium peak values. Threshold values for the protection of the vegetation set by the EU directive 92/72/EEC and the Austrian Academy of Sciences and also Critical Levels set by the UN/ECE are exceeded heavily. Alert values set by the Austrian Ozone Law were never exceeded.



## **Luftgüte- und Windmessungen in Arnfels/Südsteiermark**

### **1 Meßziel**

Die Luftgütemeßstelle „Arnfels - Poßruck“ des Umweltbundesamtes wurde im Rahmen der Vorerkundungsmessungen für das nationale österreichische Hintergrund-Meßnetz im Oktober 1992 errichtet. Das österreichische Hintergrundmeßnetz soll neun Immissionsmeßstellen umfassen, welche repräsentativ über das Bundesgebiet verteilt sind und deren Standorte von lokalen Emissionsquellen weitestgehend unbeeinflusst sind.

Unter Vorwegnahme der im vorliegenden Bericht dokumentierten Meßergebnisse kann an dieser Stelle bereits angemerkt werden, daß sich der Poßruck aufgrund regional erhöhter Schwefeldioxid-Belastung, die überwiegend den Emissionen des slowenischen Kohlekraftwerkes Sostanj zuzuordnen ist, welches sich ca. 40 km südöstlich des Standortes Arnfels befindet, nicht als Standort für eine Hintergrundmeßstelle eignet. Starker Schwefeldioxid-Transport aus Slowenien wurde bereits vor Errichtung der Meßstelle Arnfels durch Messungen durch das Amt der Kärntner Landesregierung sowie die Österreichischen Draukraftwerke AG (ÖDK) in Südostkärnten festgestellt; der Betrieb der Meßstelle Arnfels diente auch dem Ziel, den Einfluß der SO<sub>2</sub>-Emission dieses Kraftwerkes in der Südsteiermark zu untersuchen.

### **2 Beschreibung des Standortes und der Meßgeräte**

#### **2.1 Standort**

Die Meßstelle Arnfels befindet sich auf dem Grat des Steirischen Poßruck unmittelbar an der österreichisch-slowenischen Grenze in 785 m Seehöhe beim Gehöft Isaak, im Gebiet der Gemeinde Oberhaag. Der nächste größere Ort ist Arnfels im Pößnitztal ca. 3 km nordöstlich der Meßstelle (Abbildung 1).

In unmittelbarer Nähe der Meßstelle befinden sich einige Bauernhöfe. Die Umgebung wird forst- und weidewirtschaftlich genutzt, außerhalb des Pößnitztals befinden sich nur einige Einzelhöfe. Die Meßstelle steht auf einem flachen, in Ost-West-Richtung verlaufenden Rücken und ist von allen Seiten frei anströmbar.

Zur Untersuchung der Windverhältnisse in größeren Höhen im Bereich der Immissionsmeßstelle wurde von Oktober 1994 bis April 1995 auf der Remschnigg-Alm ein Akustikradar (SODAR) betrieben. Dieses Gerät erfaßt Windrichtung und -geschwindigkeit sowie weitere Parameter, die Auskunft über die Turbulenzstruktur der Atmosphäre bis in maximal 500 m über Boden erlauben.

Die Remschnigg-Alm befindet sich ca. 4 km östlich der Meßstelle Arnfels in 677 m Seehöhe, ebenfalls auf einem ost-westlich verlaufenden, exponierten Grat unmittelbar an der österreichisch-slowenischen Staatsgrenze. Die vergleichbare topographische Lage läßt erwarten, daß die Meßergebnisse des SODAR auch auf den Standort der Luftgütemeßstelle übertragbar sind.

## 2.2 Meßgeräte

Folgende Komponenten werden an der Meßstelle Arnfels erfaßt:

Komponente	Zeitraum
Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	seit Nov. 1992
Schwebestaub	seit Nov. 1992
Stickstoffoxide (NO, NO <sub>x</sub> und NO <sub>2</sub> )	seit Nov. 1992
Kohlenmonoxid (CO)	Nov. 1992 - Nov. 1994
Ozon (O <sub>3</sub> )	seit Nov. 1992
Windrichtung und -geschwindigkeit	seit Nov. 1992
Lufttemperatur	seit Nov. 1992
Luftfeuchtigkeit	seit Nov. 1992
Globalstrahlung	seit April 1993
Strahlungsbilanz	seit April 1993
Sonnenscheindauer	seit April 1993
Niederschlagsmenge	seit April 1993

Die folgenden Tabellen geben die technischen Kenndaten der eingesetzten Meßgeräte an.

Komponente	SO <sub>2</sub>	NO+NO <sub>2</sub>
Analysator	<b>TECO 43S</b>	<b>Horiba APNA-350 E</b>
<b>Meßprinzip</b>	IR Fluoreszenz	Chemolumineszenz; 2-Kanal-Gerät mit Photomultipliern
<b>Konzentrationsangabe</b>	ppb	ppb
<b>Untere Nachweisgrenze</b>	1,3 ppb	4 ppb
<b>Präzision</b>	± 2 ppb	± 2 ppb
<b>Ansprechzeit (T<sub>90</sub>)</b>	80 s	120 s
<b>Kalibrierung</b>	mit Permeation und Kalibrier-Gas-Flasche	Verdünnung von NO-Gas mit Kalibrator ML8550

## Schwebestaub

Ansaugung mittels Laskus-Kopf.

Analysator	<b>Frieseke-Höpfner 62IN</b>
Meßprinzip	$\beta$ -Absorption (Strahler: Kr 85)
Durchfluß	3 m <sup>3</sup> /h
Analysierter Volumenstrom	3 m <sup>3</sup> /h
Konzentrationsangabe	mg/m <sup>3</sup>
Untere Nachweisgrenze	< 0,03 mg/m <sup>3</sup>
Mittelwertbildung	30 min
Kalibrierung	mit Null- und Kalibrierfolie von Frieseke-Höpfner

Komponente	CO	O <sub>3</sub>
Analysator	<b>TECO 48, Model GFC Ambient CO-Analyzer</b>	<b>Monitor Labs 8810</b>
Meßprinzip	IR-Absorption	UV-Absorption
Konzentrationsangabe	ppb	ppb
Untere Nachweisgrenze	100 ppb	2 ppb
Präzision	± 20 ppb	± 2 ppb
Ansprechzeit (T <sub>95</sub> )	< 180 s	180 s
Kalibrierung	mit zertifiziertem CO-Gas (NIST)	mit TECO 49 PS

## Meteorologische Meßgeräte

Windrichtung und -geschwindigkeit	Kroneis 263 PRH
Lufttemperatur	Kroneis NTC-Netzwerk
Relative Luftfeuchte	Pernix Haarhygrometer 800L100
Globalstrahlung	Schenk Sternpyranometer 8101
Strahlungsbilanz	Schenk Strahlungsbilanzmesser 8110
Sonnenscheindauer	HAENNI Solar 111
Luftdruck	Kroneis Barogebber 317S

## Kalibrierung der Immissionsmeßgeräte

Die Kalibrierung der kontinuierlich arbeitenden Immissionsmeßgeräte (alle Komponenten) des UBA erfolgt routinemäßig halbjährlich im April/Mai sowie Oktober/November mit Hilfe von Transferstandards, welche an internationale Standards (vom National Institute of Standards and Technology, NIST) abgeglichen werden.

Die in den Meßnetzzentralen abgespeicherten Meßwerte werden einer täglichen Plausibilitätskontrolle unterzogen; eine endgültige Kontrolle und Korrektur der Meßwerte erfolgt jeweils nach Durchführung der halbjährlichen Kalibrierung.

## **Kalibrierung der meteorologischen Geräte**

Die Kalibrierung der Globalstrahlungs- und Strahlungsbilanzgeber erfolgt jährlich mit Hilfe von Referenzgeräten, welche von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik kalibriert wurden. Die anderen meteorologischen Geräte wurden nicht kalibriert.

## **3 Meteorologische Situation**

### **3.1 Windrichtung und -geschwindigkeit**

#### **3.1.1 Windrosen**

In Kapitel 3.1.1 wird die Verteilung der Windrichtung, gemessen 10 m über Boden für den Zeitraum von November 1992 bis April 1995, sowie der Windrichtung in Höhenniveaus bis 350 m über Boden, gemessen mit dem Akustikradar, für den Zeitraum von September 1994 bis April 1995 dargestellt.

Die Abbildung 2 gibt die Windrose (Windrichtungshäufigkeitsverteilung) für den Zeitraum von November bis April 1995 an, Abbildung 3 für das Jahr 1993, Abbildung 4 für das Jahr 1994, Abbildung 5 für den Zeitraum von Jänner bis April 1995. Dargestellt ist der Anteil der Windrichtungswerte in einem Sektor von jeweils 10 Grad, wobei die Klasse 1 den Bereich von 5° bis 15° (inklusive der oberen Grenze) umfaßt, die Klasse 2 den Sektor von 15° bis 25°, u.s.w., die Klasse 36 den Sektor von 355° bis 5°. Die Klasse 0 umfaßt Kalmen (Windstille), d.h. jene Fälle, in denen die Windgeschwindigkeit unter 0,5 m/s lag.

Die Hauptwindrichtung in Bodennähe (d.h. 10 m über Boden) ist Südwest, mit einem sehr ausgeprägten Häufigkeitsmaximum bei Windrichtungen zwischen 200° und 240°. Ein sekundäres Häufigkeitsmaximum der Windrichtung tritt bei Nordnordwest- bis Nordnordostwind (330° bis 30°) auf.

Die Abbildung 6 bis Abbildung 13 zeigen Windrosen für den Zeitraum Oktober 1994 bis April 1995 in den Höhenniveaus 10 m, 50 m, 100 m, 150 m, 200 m, 250 m, 300 m und 350 m über Boden.

Die Häufigkeitsverteilung der Windrichtung zeigt keine wesentliche Höhenabhängigkeit. Die Hauptwindrichtung ist in Höhen bis 350 m Südwest (210° bis 240°); mit der Höhe tritt westlicherer Wind etwas häufiger auf. Ein vergleichsweise unbedeutendes sekundäres Häufigkeitsmaximum bei Südostwind ist oberhalb von 50 m Höhe zu beobachten, wo Wind aus 120° bis 150° häufiger ist als Nordwind.

Damit entspricht die Windrichtungsverteilung in Arnfels in allen erfaßten Höhenniveaus keinesfalls jener, wie sie an exponierten Hochgebirgsstandorten in Südostösterreich, etwa am Schöckl (1445 m) bei Graz, gemessen wird. Abbildung 14 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Windrichtung am Schöckl sowie in Arnfels in den Höhenniveaus 10 m, 50 m, 100 m und 200 m für den Zeitraum Oktober 1994 bis April 1995. Am Schöckl (Meteorologische Meßstelle) war die Hauptwindrichtung im Winter 1994/95 Nordwest. Dies entspricht der synoptischen Strömung in einem von der Topographie der Alpen nicht wesentlich beeinflussten Höhenniveau.

Die Windverhältnisse in Arnfels spiegeln offensichtlich deutlich das Umströmen der Alpen wider, wodurch bei großräumiger Strömung aus Nordwest südlich der Alpen Südwestwind auftritt.

Die Annahme, das deutliche Überwiegen von Südwestwind in Bodennähe in Arnfels wäre die Folge der thermisch induzierten Hangwindzirkulation am Südhang des Poßruck, wird somit durch die Höhenwindmessungen mittels SODAR widerlegt.

### 3.1.2 Mittlere Tagesgänge

Mittlere Tagesgänge von Windrichtung und -geschwindigkeit werden für unterschiedliche Wetterlagen berechnet. Dabei kommen einerseits die Strömungslagen-Klassifikation von Steinacker<sup>1</sup> zur Anwendung, andererseits eine Klassifikation der Tage entsprechend der Sonnenscheindauer.

Die Strömungslagen-Klassifikation von Steinacker ordnet jeden Tag einer von zehn Strömungslagen entsprechend der Topographie der 850 hPa-Fläche (d.h., grob gesprochen, den Strömungsverhältnissen in ca. 1500 m) über dem Ostalpenraum zu. Sie unterscheidet acht Strömungslagen entsprechend den Hauptwindrichtungen Nordost, Ost, ... bis Nord; hinzu kommen Variable Lagen, d.h. Tage, an denen eine deutliche Änderung der Strömung, z.B. infolge eines Frontdurchganges, auftrat, sowie Gradientschwache Lagen, an denen keine ausgeprägten Druckgegensätze im genannten Höhengniveau auftraten, d.h. Situationen, in denen über dem Ostalpenraum Hochdruckeinfluß herrschte.

Diese Strömungslagen sind keineswegs gleichmäßig vertreten, es überwiegen gradientschwache sowie West- bis Nordlagen meist deutlich.

Die 911 Tage des Zeitraums von November 1992 bis April 1995 teilen sich wie folgt auf die zehn Strömungslagen auf:

Lage	Var.	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	Grad.
Tage	27	36	50	31	67	102	103	26	230	239
%	3	4	5	3	7	11	11	3	25	27

---

<sup>1</sup> Steinacker, R., Eine ostalpine Strömungslagen-Klassifikation, 1991, Universität Innsbruck

Die 212 Tage des Zeitraums von Oktober 1994 bis April 1995 teilen sich wie folgt auf die zehn Strömungslagen auf:

Lage	Var.	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	Grad.
Tage	5	9	9	6	16	32	30	8	62	35
%	2	4	4	3	8	15	14	4	29	17

Weiters wurde durch den Autor eine Klassifikation der Tage entsprechend der **Sonnenscheindauer** an der Station Arnfels in Klassen von 0 h bis 5 h (obere Grenze eingeschlossen), 5 h bis 10 h sowie über 10 h durchgeführt. Die 707 Tage des Zeitraums von April 1993 (Beginn der Sonnenscheindauer-Messung) bis April 1995 teilen sich wie folgt auf diese Klassen auf:

	0 - 5 h	5 - 10 h	> 10 h
Tage	331	259	117
%	47	37	17

Einen Einfluß thermisch induzierter Windsysteme (Hangwindzirkulation) würde man am ehesten an Tagen mit hoher Sonneneinstrahlung (tägliche Sonnenscheindauer über 10 h) erwarten.

An derartigen Tagen tritt im Mittel nachts Südwestwind auf, der vormittags über West auf Nord dreht, nachmittags über Ost auf Südwest. Dies deutet darauf hin, daß auch an Tagen mit hoher Sonneneinstrahlung der Einfluß der Hangwindzirkulation auf die Windrichtungsverteilung in Arnfels minimal ist.

An Tagen mit Sonnenscheindauern zwischen 5 und 10 Stunden tritt nachts und vormittags Südwestwind auf, der nachmittags auf West dreht. An Tagen mit weniger als 5 Sonnenscheinstunden tritt nachts Südwestwind auf, der mittags auf Nordwest dreht.

Die Windgeschwindigkeit erreicht allgemein ein Maximum in der zweiten Nachthälfte und ist tagsüber niedriger.

An Tagen mit Sonnenscheindauern unter 5 h liegt die Windgeschwindigkeit in der zweiten Nachthälfte bei Westsüdwestwind um 2,8 m/s und sinkt tagsüber bei zeitweiliger Winddrehung auf Nordwest auf ca. 2,4 m/s ab. Tage mit Sonnenscheindauern zwischen 5 und 10 h zeigen mittlere Geschwindigkeiten von 3,0 bis 3,2 m/s in der zweiten Nachthälfte und 2,8 bis 3,0 m/s am Nachmittag. An Tagen mit Sonnenscheindauern über 10 h liegt die mittlere Geschwindigkeit in der zweiten Nachthälfte bei 2,8 bis 3,0 m/s, vormittag um 2,5 m/s, sie steigt nachmittags bis 2,8 m/s an.

Abbildung 15 und Abbildung 16 zeigen die mittleren Tagesgänge der Windrichtung in 10 m Höhe im Zeitraum November 1992 bis April 1995 für die einzelnen Strömungslagen nach Steinacker, Abbildung 17 und Abbildung 18 jene der Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe.

Bei **Nordostlagen** tritt Nordwestwind auf, der nachmittags auf Nord dreht.

Die Windgeschwindigkeit erreicht bei Nordostlagen ein Maximum von ca. 3,4 m/s am frühen Nachmittag, sie liegt in der zweiten Nachthälfte um 2,2 m/s, abends um 2,8 m/s.

**Ostlagen** weisen meist Nordwind auf, der nachmittags auf Nordost dreht. Die Windrichtung bei Nordost- und Ostlagen entspricht der theoretisch zu erwartenden Verhältnissen in Bodennähe infolge der reibungsbedingten vertikalen Winddrehung.

Ostlagen und **Südostlagen** weisen ziemlich gleichbleibende Windgeschwindigkeiten um 2 m/s auf. Bei Südostlagen weht nachts Westnordwestwind, der bis zum Nachmittag auf Nordost dreht.

**Südlagen** weisen nachts und vormittags Südwestwind auf, der nachmittags auf West bis Nordwest dreht. Sehr ähnliche Verhältnisse (mit Westwind nachmittags) treten bei **variablen Lagen** auf.

Bei Südlagen liegt nachts die Windgeschwindigkeit um 2,3 m/s, sie erreicht nachmittags 2,8 m/s. Bei variablen Lagen sinkt die Windgeschwindigkeit von ca. 3 m/s in der zweiten Nachthälfte auf 2,5 bis 3,0 m/s am Nachmittag.

**Südwest-** und **Westlagen** sind von außergewöhnlich beständigem Südwestwind mit konstanter hoher Windgeschwindigkeit gekennzeichnet, die bei Südwestlagen zwischen 3,5 und 4,0 m/s, bei Westlagen zwischen 4,0 und 4,4 m/s liegt. Bei **Nordwestlagen** tritt nachts Südwestwind auf, der tagsüber auf West bis Nordwest dreht; die Geschwindigkeit sinkt im Lauf des Tages von ca. 3 m/s auf ca. 2,2 m/s.

Die Verhältnisse bei Südwest-, West- und Nordwestlagen sind durch die Umströmung der Alpen bei großräumiger Strömung aus südwestlicher bis nordwestlicher Richtung erklärbar.

**Nordlagen** weisen unbeständigen Nordwestwind mit ca. 3 m/s bis zum Abend auf.

**Gradientschwache Lagen** zeigen nachts Südwestwind, der vormittags auf Nordwest, nachmittags auf Nordost dreht. Die Windgeschwindigkeit ist mit 2,1 bis 2,6 m/s relativ niedrig.

Die Verhältnisse bei Südost-, Süd- sowie variablen und gradientschwachen Lagen sind schwer interpretierbar. Insgesamt fällt das völlige Fehlen von Wind aus Ost bis Süd in den mittleren Tagesgängen auf. Die zahlenmäßig stark vertretenen Nord- und gradientschwachen Lagen weisen überwiegend Wind aus Südwest bis Nordwest auf.

Abbildung 19 bis Abbildung 38 zeigen die mittleren Tagesgänge der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit in den Höhenniveaus 10 m, 50 m, 100 m, 200 m und 300 m für den Zeitraum von Oktober 1994 bis April 1995 für die einzelnen Strömungslagen nach Steinacker.

**Variable Lagen** (5 Tage) zeigen Südwestwind in allen Niveaus oberhalb von 50 m, der nachmittags auf Süd dreht; in Bodennähe (10 m) tritt nachmittags und abends hingegen Westwind auf. Sehr ähnlich sind die Windverhältnisse bei **gradientschwachen Lagen** (35 Tage), wo in 10 m Höhe der Wind nachmittags sogar auf Nordwest dreht.

Die Windgeschwindigkeit nimmt bei variablen Lagen mit der Höhe deutlich zu; die hohen Windgeschwindigkeiten in 300 m Höhe sind allerdings wegen der geringen Zahl der verfügbaren Daten unsicher. Unterhalb von 100 m tritt am Nachmittag (ca. 14.00 bis 18.00) ein flaches Minimum der Windgeschwindigkeit auf, in 300 m zeichnet sich ein solches zwischen 7.00 und 14.00 ab. Die Geschwindigkeit schwankt am Boden zwischen 2,0 und 3,0 m/s, in 100 m zwischen 3,0 und 5,5 m/s.

Relativ ähnlich ist der Verlauf der Windgeschwindigkeit bei gradientschwachen Lagen, wobei in Höhen bis 200 m etwas höhere Windgeschwindigkeiten auftreten, in 300 m deutlich gerin-

gere. Die Geschwindigkeit liegt am Boden zwischen 3,0 und 3,5 m/s, in 100 m zwischen 4,0 und 7,0 m/s.

Richtungsmäßig sehr unbeständiger Wind oberhalb von 50 m kennzeichnet **Nordostlagen** (9 Tage). Am Boden wird überwiegend Nord- bis Nordostwind beobachtet, hingegen in höheren Niveaus bis Mittag eher Wind aus Westen, danach eher Wind aus Osten. Bei 9 Tagen mit Nordostlage ist diese Verteilung allerdings nicht sehr aussagekräftig.

Die Windgeschwindigkeit liegt am Boden zwischen ca. 2,0 und 3,5 m/s, in 100 m überwiegend zwischen 2,5 und 6 m/s.

**Ostlagen** (9 Tage) zeigen in Bodennähe Nordostwind, in höheren Niveaus relativ unbeständigen Wind meist aus östlicher bis südlicher Richtung.

Die Windgeschwindigkeit liegt in Bodennähe zwischen 1,5 und 3,0 m/s, in 100 m zwischen 2 und ca. 5 m/s; die Schwankungen nehmen mit der Höhe deutlich zu, die geringe Anzahl der verfügbaren Daten macht die Werte oberhalb von 200 m sehr unsicher.

Bei **Südostlagen** (6 Tage) weht bis zum Vormittag in Niveaus oberhalb von 50 m der Wind aus Süd bis Südwest und dreht dann auf Süd bis Südost. Am Boden hingegen dreht der Wind von West am Vormittag über Nord mittags auf Südost am Nachmittag. Die schwer interpretierbaren Windverhältnisse in Bodennähe entsprechen jenen für den Zeitraum November 1992 - April 1995; oberhalb von 50 m entsprechen sie dagegen eher den großräumigen Strömungsverhältnissen. Die abrupte Windrichtungsänderung am späten Vormittag korrespondiert mit einem ausgeprägten Absinken der Windgeschwindigkeit oberhalb von 200 m (von ca. 6 m/s auf 3 m/s in 200 m, von ca. 20 m/s auf ca. 8 m/s in 300 m); nach 14.00 steigt die Geschwindigkeit wieder deutlich an. In tieferen Niveaus ist dieser Geschwindigkeitsverlauf schwächer ausgeprägt.

**Südlagen** (16 Tage) zeigen in Bodennähe nachts Wind aus Nordwest, der tagsüber auf Nord bis Nordost dreht. Südwind tritt hingegen in Höhen von 50 bis 200 m auf, in 300 m Südwestwind.

Abgesehen von der Mittagszeit liegt die Windgeschwindigkeit in Bodennähe mit 1 bis 1,5 m/s deutlich unter jener in 50 m, wo meist um 3 m/s beobachtet werden. Oberhalb von 200 m treten große Schwankungen der Geschwindigkeit auf, mit Werten bis über 15 m/s.

**Südwestlagen** (32 Tage) weisen vertikal und zeitlich sehr einheitlichen Südwestwind auf; nachmittags tritt etwas stärkere vertikale Windscherung auf, abends weht der Wind in Bodennähe mehr aus West.

Entsprechend gleichmäßig ist auch der Verlauf der Windgeschwindigkeit, wobei der Zeitraum erhöhter vertikaler Windscherung am frühen Nachmittag mit einem Minimum der Geschwindigkeit oberhalb von 50 m korrespondiert. Die Geschwindigkeit ist bis Mittag in 50 bis 200 m vertikal sehr einheitlich, nachmittags und abends tritt deutliche Geschwindigkeitszunahme mit der Höhe auf. In 300 m Höhe ist die Geschwindigkeit stets deutlich höher als in 200 m. In Bodennähe liegt die Geschwindigkeit zwischen 3,0 und 4,0 m/s, in 100 m zwischen 3,5 und 7,5 m/s.

Noch stärkere vertikale und zeitliche Homogenität weist der Südwestwind bei **Westlagen** (30 Tage) auf. Die Geschwindigkeit ist ausgesprochen hoch, ca. 4,5 bis 6,0 m/s am Boden und 8 bis 10 m/s in 100 m. Den ganzen Tag über nimmt die Geschwindigkeit mit der Höhe deutlich zu.

**Nordwestlagen** (8 Tage) zeigen auch relativ beständigen, aber vertikal nicht so einheitlichen Südwest- bis Westwind. Die Windgeschwindigkeit liegt in Bodennähe zwischen 3 und 4 m/s,

in 100 m zwischen 5 und 7 m/s. Bis Mittag ist sie zwischen 50 und 200 m vertikal relativ einheitlich, ansonsten beobachtet man die Zunahme der Geschwindigkeit mit der Höhe.

Bei **Nordlagen** (62 Tage) tritt in Höhen bis 200 m relativ unbeständiger Wind aus Nordwest bis Nord auf, in 300 m Höhe sehr uneinheitlicher Wind. Die Windgeschwindigkeit nimmt in Höhen bis 100 m mit der Höhe stark zu. Die großen Schwankungen in den Geschwindigkeitsdaten oberhalb von 200 m sind auf die teilweise geringe Datenverfügbarkeit zurückzuführen, welche ihrerseits eine Folge sehr homogener Durchmischung der Atmosphäre und dadurch geringer Echointensität der SODAR-Daten ist. Am Boden bewegt sich die Geschwindigkeit zwischen 2,5 und 4,0 m/s, in 100 m zwischen 5 und 9 m/s.

Insgesamt weichen die Windverhältnisse in Bodennähe bei Südost- und Südlagen deutlich von jenen in höheren Niveaus ab, wo die Windrichtung gut mit der großräumigen Strömung übereinstimmt. Dies trifft auch - unter Berücksichtigung der reibungsbedingten vertikalen Winddrehung - bei Nordlagen zu.

Ein thermisch induziertes Hangwindssystem mit tageszeitlichem Wechsel der Windrichtung läßt sich für keine Strömungslage identifizieren.

Die SODAR-Messungen des Windes belegen, daß in gewissen Situationen deutliche Abweichungen zwischen dem Wind in Bodennähe und bereits in 50 m Höhe auftreten; dies betrifft nicht nur die meist zu beobachtende starke Geschwindigkeitszunahme mit der Höhe, sondern v.a. bei gradientschwachen, Ost- und Südlagen auch die Windrichtung.

Ein Vergleich der Windrichtung in verschiedenen Höhen zeigt, daß vertikale Windrichtungsscherung vor allem bei Bodenwind aus Norden ( $340^\circ$  bis  $40^\circ$ ) auftritt, wo in Höhen oberhalb 100 m beliebige Windrichtungen auftreten. Dies dürfte auf die deutliche Abweichung der Windrichtung am Boden von den höheren Niveaus bei Nordost- bis Südlagen bedingt sein. Bei Bodenwind aus der Hauptwindrichtung Südwest ( $220^\circ$  bis  $260^\circ$ ) werden etwas weniger ausgeprägte vertikale Windscherungen beobachtet. Bei anderen Windrichtungen ist der Wind vertikal sehr homogen.

### 3.1.3 Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit

Die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe ist in Tabelle 1 für den Zeitraum November 1992 bis April 1995 für die einzelnen Monate für Geschwindigkeitsklassen mit den Obergrenzen 0,5 m/s (Kalmen), 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, 5 m/s, 7 m/s, 10 m/s, 15 m/s, 20 m/s sowie  $>20$  m/s angegeben.

Hohe Windgeschwindigkeiten traten bevorzugt in den Wintermonaten auf; die höchsten Windgeschwindigkeiten (4,2 % über 10 m/s) im Jänner 1995. Die Kalmenhäufigkeit erreicht meist im Herbst die höchsten Werte (43,1 % im November 1993, 20,8 % im September 1994).

Tabelle 2 und Abbildung 39 geben für den Zeitraum von Oktober 1994 bis April 1995 die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit in den Höhen 10 m, 50 m, 100 m und 200 m für die o.g. Geschwindigkeitsklassen an.

Generell sind die Zunahme der Häufigkeit hoher Windgeschwindigkeiten und die Abnahme der Kalmenhäufigkeit mit der Höhe zu beobachten. Windgeschwindigkeiten über 10 m/s machen in 10 m Höhe 0,7 % aus, in 50 m 9,2 %, in 100 m 17,3 %, in 200 m 24,8 %.

Die Windgeschwindigkeit am Boden zeigt eine klare Abhängigkeit von der Windrichtung. Die höchsten Windgeschwindigkeiten werden bei Wind aus Süd bis Südwest (180° bis 240°) erreicht, wo Geschwindigkeiten bis weit über 10 m/s auftreten können. Bei Wind aus dem Sektor von 10° bis 160° wird nur äußerst selten eine Geschwindigkeit über 5 m/s gemessen, bei Wind aus dem Sektor von 240° bis 350° kaum über 6 m/s. Bei Nordwind (350° bis 10°) treten Geschwindigkeiten bis 9 m/s auf.

Das besonders häufige Auftreten hoher Geschwindigkeiten bei Süd- bis Südwestwind könnte darauf zurückzuführen sein, daß bei den üblicherweise mit hohen Windgeschwindigkeiten verbundenen West- bis Nordwestlagen am Boden Südwestwind auftritt.

### 3.2 Temperatur

Der Verlauf der Temperatur an der Meßstelle Arnfels ist in Abbildung 40 dargestellt. Sie umfassen für jeden Monat den Monatsmittelwert, den minimalen und maximalen Tagesmittelwert sowie den minimalen und maximalen Halbstundenmittelwert.

Der Verlauf der Temperatur in Arnfels entspricht den Verhältnissen, wie sie im entsprechenden Zeitraum generell in Ostösterreich beobachtet wurden.

Der Sommer 1994 war deutlich wärmer als jener 1993; die Monatsmitteltemperatur betrug im Juli 19,3 °C (1993: 16,7 °C), im August 18,4 °C (1993: 17,6 °C). Auffällig ist, daß im Sommer 1994 die Minimum-Temperaturen deutlich über den Vergleichswerten von 1993 lagen, wohingegen die Maximum-Temperaturen in beiden Jahren ein ähnliches Niveau erreichten.

Dementsprechend war die Ozonbelastung in Ostösterreich 1994 deutlich höher als 1993; 1993 wurden aber besonders in Kärnten und der Südsteiermark häufig Fälle von Ozontransport von Südwesten her nach Österreich beobachtet.

Außergewöhnlich kalt waren die Zeiträume von Dezember 1992 bis Februar 1993, November und Dezember 1993, Februar 1994, sowie Jänner 1995. In den Wintern 1992/93 und 1993/94 lagen die Minimum-Temperaturen ausgesprochen tief. Jänner und Februar sowie November 1993 waren von langanhaltenden Hochdruckwetterlagen gekennzeichnet, die zu Transport kalter kontinentaler Luftmassen von Nordosten beitrugen, was in weiten Teilen Ostösterreichs erhöhte Schadstoff- (v.a. SO<sub>2</sub>-) belastung zur Folge hatte.

### 3.3 Feuchte

Als Feuchtemaß wird in Tabelle 3 das Wasserdampf-Mischungsverhältnis dargestellt, welches eine absolute Feuchteangabe darstellt; demgegenüber ist die Angabe der relativen Feuchte unmittelbar von der Temperatur abhängig. Angegeben sind für jeden Monat Mittelwert und Median, minimaler und maximaler Tagesmittelwert sowie minimaler und maximaler Halbstundenmittelwert.

Der Sommer 1994 war wesentlich feuchter als jener 1993, was u.a. eine Folge der höheren Temperatur ist, der Sättigungsdampfdruck exponentiell von der Temperatur abhängt. Auffällig sind allerdings die hohen Feuchtwerte im Frühling 1993 gegenüber 1994. Der Winter 1993/94 war feuchter als jene 1992/93 und 1994/95.

### 3.4 Sonnenscheindauer

Der Verlauf von Minimum, Mittelwert und Maximum der Tagessumme der Sonnenscheindauer ist für die einzelnen Monate in Abbildung 41 dargestellt.

Die mit Abstand niedrigste mittlere Sonnenscheindauer wurde im November 1993 beobachtet, da in ganz Ostösterreich von außergewöhnlich hartnäckigem Nebel bzw. Schichtbewölkung geprägt war. Die Sommermonate Juli und August wiesen 1994 höhere mittlere Sonnenscheindauern auf als die Vergleichsmonate 1993.

#### 4 Immissionssituation

Eine Übersicht über Jahresmittelwerte und maximale Tages- und Halbstundenmittelwerte der in Arnfels gemessenen Luftschadstoffe ist in Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 4: Jahresmittelwerte (JMW), maximale Tages (TMW-max) - und maximale Halbstundenmittelwerte (HMW-max) der Immissionsbelastung in Arnfels 1993 und 1994 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

		SO <sub>2</sub>	Staub	NO	NO <sub>2</sub>	CO	Ozon
1993	JMW	21	22	-	-	340	68
	TMW-max	117	78	-	-	800	144
	HMW-max	367	+	-	-	1100	186
1994	JMW	19	23	1	8	--	77
	TMW-max	116	73	3	25	--	159
	HMW-max	> 500	+	23	65	--	190

- Beginn der Messung im Oktober 1993

-- Ende der Messung im Oktober 1994

+ Die eingesetzte Meßmethode läßt keine exakte Bestimmung von HMW zu

##### 4.1 Schwefeldioxid

Die Schwefeldioxid-Belastung ist in Arnfels im österreichweiten Vergleich außerordentlich hoch; sowohl bei den kurzzeitigen Spitzen-, als auch bei den Jahresmittelwerten gehört Arnfels zu den am höchsten belasteten Immissionsmeßstellen Österreichs.

Bald nach Aufnahme der Messungen legte die Windrichtungsabhängigkeit der SO<sub>2</sub>-Immission den Verdacht nahe, das slowenische Kohlekraftwerk Sostanj könnte die wesentliche das Immissionsgeschehen in Arnfels bestimmende SO<sub>2</sub>-Quelle sein. Diese Vermutung war u.a. die Motivation für die intensivere Untersuchung der Windverhältnisse mittels Akustikradar; sie wird durch die vorliegende Auswertung der Messung bestätigt.

Der Verlauf der Monatsmittelwerte sowie der maximalen Tagesmittelwerte und maximalen Halbstundenmittelwerte für jedes Monat sind in Abbildung 42 und in Tabelle 5 zusammengestellt.

Die Monatsmittelwerte zeigen einen groben Jahresgang mit erhöhten Werten im Winter; die höchsten Monatsmittelwerte wurden im Jänner 1993 ( $0,033 \text{ mg}/\text{m}^3$ ), im Februar 1993 ( $0,028 \text{ mg}/\text{m}^3$ ), im Februar 1994 ( $0,033 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) sowie im März 1994 ( $0,030 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) beobachtet.

Tagesmittelwerte über  $0,10 \text{ mg/m}^3$  traten in den Monaten von November 1993 bis März 1994 auf.

Halbstundenmittelwerte über  $0,20 \text{ mg/m}^3$  wurden in den Monaten von Jänner bis Juli 1993, von November 1993 bis März 1994, sowie von November 1994 bis Februar 1995 beobachtet.

Der höchste HMW betrug  $0,500 \text{ mg/m}^3$  (Jänner 1993), lag aber vermutlich höher<sup>2</sup>

#### 4.1.1 Die Windrichtungsabhängigkeit der $\text{SO}_2$ -Belastung in Arnfels

Die Abhängigkeit der  $\text{SO}_2$ -Konzentration in Arnfels von der Windrichtung 10 m über Boden (Schadstoffwindrose) ist in Abbildung 2 für den Zeitraum von November 1992 bis April 1995 dargestellt.

Abbildung 43 zeigt die entsprechende Schadstoffwindrose für den Zeitraum von November 1992 bis März 1993 (Winter 1992/93), Abbildung 44 für den Zeitraum April bis September 1993 (Sommer 1993), Abbildung 45 für den Zeitraum Oktober 1993 bis März 1994, Abbildung 46 für den Sommer 1994, Abbildung 47 für den Zeitraum Oktober 1994 bis März 1995.

Schadstoffwindrosen geben für jeden Windrichtungssektor die mittlere Konzentration über jene Zeitpunkte an, während derer der Wind aus dem jeweiligen Sektor kam. Sie erlauben somit Aussagen darüber, aus welchen Richtungen mehr oder weniger belastete Luft an die Meßstelle transportiert wird.

Abbildung 48 zeigt die Abhängigkeit der  $\text{SO}_2$ -Konzentration in Arnfels von der Windrichtung in 100 m Höhe, Abbildung 49 von der Windrichtung in 200 m Höhe, jeweils im Zeitraum von Oktober 1994 bis März 1995.

Die  $\text{SO}_2$ -Konzentration weist generell die höchsten Werte bei Südwestwind auf; die Richtung des Konzentrationsmaximums stimmt nicht genau mit dem Maximum der Häufigkeit der Windrichtung überein, sie liegt für den Gesamtzeitraum (November 1992 bis April 1995) bei  $210^\circ$  (d.h. in einem Windrichtungssektor von  $206^\circ$  bis  $215^\circ$ ). Bei dieser Windrichtung, die während 2040,5 h oder 10,7% der Meßzeit auftrat, betrug die mittlere  $\text{SO}_2$ -Konzentration  $0,030 \text{ mg/m}^3$ . Mittlere  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen über  $0,02 \text{ mg/m}^3$  wurden bei Windrichtungen aus Süd ( $190^\circ$ ) bis West ( $250^\circ$  bzw.  $270^\circ$ ) gemessen. Deutlich niedriger ist die mittlere  $\text{SO}_2$ -Konzentration bei Wind aus Ost und Nord; bei Nordwind traten  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen um  $0,010 \text{ mg/m}^3$  auf, bei Ostwind um  $0,012 \text{ mg/m}^3$ .

Deutliche Unterschiede zeichnen sich zwischen den Winter- und den Sommerhalbjahren ab.

Im Winter ist die  $\text{SO}_2$ -Konzentration stets wesentlich weniger von der Windrichtung abhängig als im Sommer, in welchem - gegenüber allen anderen Windrichtungen - deutlich erhöhte  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen bei Wind aus Süd bis West auftreten. Bei Wind aus Süd bis West liegt im Sommer die  $\text{SO}_2$ -Konzentration in einem ähnlichen Bereich wie im Winter.

Dies deutet darauf hin, daß  $\text{SO}_2$ -Emittenten mit vergleichsweise geringer jahreszeitlicher Variation die  $\text{SO}_2$ -Belastung bei Wind aus dem Sektor von Süd bis West bestimmen, wohingegen die bei anderen Windrichtungen relevanten  $\text{SO}_2$ -Emittenten im Winter deutlich mehr emittieren dürften als im Sommer.

---

<sup>2</sup> Der Meßbereichsendwert des Meßgerätes war auf  $500 \text{ µg/m}^3$  eingestellt.

Im Winter 1992/93 (Abbildung 43) wurde bei Südsüdwestwind (200°) eine mittlere SO<sub>2</sub>-Konzentration von 0,034 mg/m<sup>3</sup> registriert, bei Nordwind (360°) von 0,029 mg/m<sup>3</sup>, bei Ostwind (90°) von 0,028 mg/m<sup>3</sup>.

Im Winter 1993/94 (Abbildung 45) wurde die höchste mittlere SO<sub>2</sub>-Konzentration bei Wind aus Südwest (Sektor 190° bis 240°) mit einem Maximum von 0,035 mg/m<sup>3</sup> bei 220° gemessen. Relativ hohe mittlere SO<sub>2</sub>-Konzentrationen traten in diesem Winter bei Nordostwind auf, so 0,026 mg/m<sup>3</sup> bei Wind aus 40°.

Im Winter 1994/95 (Abbildung 47) war die Abhängigkeit der SO<sub>2</sub>-Konzentration von der Windrichtung uneinheitlicher, allerdings traten die höchsten Werte auch bei Südwestwind auf, maximal 0,031 mg/m<sup>3</sup> bei Wind aus 210°. Bei Westwind (270°) betrug die mittlere SO<sub>2</sub>-Konzentration 0,018 mg/m<sup>3</sup>, bei Nordostwind (40°) 0,015 mg/m<sup>3</sup>.

Demgegenüber war in den Sommerhalbjahren die mittlere SO<sub>2</sub>-Konzentration bei Nord- bis Ostwind außerordentlich niedrig, nämlich unter 0,008 mg/m<sup>3</sup>. Im Sommer 1993 (Abbildung 44) traten mittlere SO<sub>2</sub>-Konzentrationen über 0,02 mg/m<sup>3</sup> bei Wind aus Süd (180°) bis Nordwest (290°) auf, maximal 0,033 mg/m<sup>3</sup> bei Wind aus 190°. Im Sommer 1994 (Abbildung 46) traten mittlere SO<sub>2</sub>-Konzentrationen über 0,02 mg/m<sup>3</sup> bei Wind aus dem Sektor von 200° bis 240° (Südwest bis West) auf, maximal 0,030 mg/m<sup>3</sup> bei Wind aus 210°.

Auch bezogen auf den Wind in größeren Höhen - 100 m in Abbildung 48, 200 m in Abbildung 49, jeweils für den Winter 1994/95 - tritt die weitaus höchste mittlere SO<sub>2</sub>-Konzentration bei Südwestwind auf. Im Vergleich zum Bodenwind (10 m, Abbildung 47) ist die Windrichtungsabhängigkeit jedoch wesentlich einheitlicher, und die Konzentrationen bei Nord- bis Ostwind sind geringer.

Die Abhängigkeit der SO<sub>2</sub>-Konzentration von der Windrichtung deutet klar darauf hin, daß das Immissionsgeschehen durch SO<sub>2</sub>-Transport von Südwesten her bestimmt wird. Da die bei weitem größte SO<sub>2</sub>-Quelle in dieser Himmelsrichtung das Kohlekraftwerk Sostanj in einer Distanz von ca. 40 km ist, dürften Emissionen dieses Kraftwerkes für die hohe SO<sub>2</sub>-Belastung in Arnfels hauptverantwortlich sein. Dieser Effekt wird dadurch wesentlich verstärkt, daß Südwestwind überdurchschnittlich häufig auftritt und somit Luftmassentransport aus der Richtung von Sostanj nach Arnfels außerordentlich häufig ist.

Die SO<sub>2</sub>-Emission des Kraftwerkes weist, wie

Tabelle zeigt, nur relativ geringe jahreszeitliche Variationen auf; dies erklärt, warum im Sommer bei Südwestwind ungefähr ebenso hohe SO<sub>2</sub>-Konzentrationen auftreten wie im Winter. Der relativ breite Windrichtungssektor, bei dem hohe SO<sub>2</sub>-Konzentrationen an der Meßstelle auftreten (Süd bis West) zeigt, daß der SO<sub>2</sub>-Transport von Sostanj nicht durch direkte Anströmung erfolgt; das gebirgige, stark strukturierte Gelände zwischen dem Kraftwerk und der Meßstelle läßt direkte Anströmung auch nicht erwarten.

Im Winter ist zudem SO<sub>2</sub>-Transport von Norden und Osten an die Meßstelle Arnfels von einer gewissen Bedeutung, die allerdings durch das relativ seltene Auftreten von Wind aus diesen Richtungen gemindert wird. SO<sub>2</sub>-Transport aus diesen Richtungen findet, wie der Vergleich der Schadstoffwindrosen für Wind aus verschiedenen Höhen (10 m, 100 m, 200 m) zeigt, überwiegend in Bodennähe statt. Dies deutet darauf hin, daß diese SO<sub>2</sub>-Belastung bei Nord- bis Ostwind überwiegend durch nahegelegene Quellen, etwa im Pößnitzbachtal, verursacht wird, und nicht durch Transport aus dem Raum Graz oder dem Raum Voitsberg - Köflach.

Um die Windrichtungsabhängigkeit der SO<sub>2</sub>-Belastung - in Hinblick auf die deutlichen Unterschiede in der Windrichtungshäufigkeit - besser beurteilen zu können, wird neben der

mittleren SO<sub>2</sub>-Konzentration für jede Windrichtungsklasse auch die SO<sub>2</sub>-Dosis berechnet, d.h. es werden die SO<sub>2</sub>-Werte für jede Windrichtungsklasse summiert. Dadurch wird die SO<sub>2</sub>-Belastung bei Südwestwind, welcher bei weitem am häufigsten Auftritt, stärker gewichtet.

Die SO<sub>2</sub>-Dosis ist für Windrichtungsklassen von 20° in Tabelle 6 dargestellt. Sie ist für Südwestwind ca. 15 mal höher als für Nordwestwind und ca. 30 mal höher als für Nordostwind. Dies bedeutet, daß die SO<sub>2</sub>-Dosis bei Wind aus dem Sektor 210° bis 230° ca. 40% der Gesamt-Dosis ausmacht, aus dem Sektor 190° bis 210° ca. 14%, aus dem Sektor 230° bis 250° ca. 13%.

#### 4.1.2 Die Beziehung zwischen der SO<sub>2</sub>-Belastung in Arnfels und der SO<sub>2</sub>-Emission des Kohlekraftwerkes Sostanj

Das slowenische Umweltministerium stellte dem Umweltbundesamt Angaben der monatlichen SO<sub>2</sub>-Emission des Kohlekraftwerkes Sostanj für die Jahre 1992 bis 1994 zur Verfügung. Diese Werte sind in Tabelle 5 und in Abbildung 50 zusammen mit Immissionsdaten der Meßstelle Arnfels dargestellt.

Die jährliche SO<sub>2</sub>-Emission des Kraftwerkes Sostanj betrug 1992 94.120 t, 1993 104.220 t und 1994 80.516 t. Damit betrug die SO<sub>2</sub>-Emission des Kraftwerkes 1993 57% der Gesamt-SO<sub>2</sub>-Emissionen (182.126 t) von Slowenien, 1994 46% der Gesamtemission (176.514 t)<sup>3</sup>.

Die Jahresemissionen dieses Kraftwerkes liegen über der gesamten SO<sub>2</sub>-Emission von Österreich, welche 1992 75.800 t, 1993 70.800 t, 1994 74.300 t betragen.<sup>4</sup>

Die monatlichen SO<sub>2</sub>-Emissionsmengen des Kraftwerkes Sostanj variierten in diesem Zeitraum zwischen 5.039 t im Juni 1994 und 12.123 t im März 1993.

Es läßt sich eine grobe Korrelation zwischen den Monatsmittelwerten der SO<sub>2</sub>-Konzentration in Arnfels und der monatlichen SO<sub>2</sub>-Emission des Kraftwerkes Sostanj feststellen.

Eine noch deutlichere Abhängigkeit zeigen die Monatsmittelwerte der SO<sub>2</sub>-Konzentration in Arnfels vom Produkt der monatlichen SO<sub>2</sub>-Emission des Kraftwerkes Sostanj und der Häufigkeit von Wind aus dem Sektor von 195° bis 235° (Abbildung 51).

Die monatliche SO<sub>2</sub>-Emission des Kraftwerkes und die Häufigkeit von Wind aus jenem Sektor, aus dem Luftmassentransport von Sostanj nach Arnfels stattfinden kann, stellen mithin wesentliche, aber nicht ausreichende Einflußgrößen zur Erklärung der mittleren SO<sub>2</sub>-Belastung in Arnfels dar. Darüber hinaus spielen die Ausbreitungsbedingungen auf dem Transportweg (Verdünnung der Abgase, Aufweitung der Abgasfahne) eine wesentliche Rolle.

---

<sup>3</sup> „Air Pollution in Slovenia, year 1993“, sowie „Air Pollution in Slovenia, year 1994“. Hydrometeorological Institute of Slovenia

<sup>4</sup> Vierter Umweltkontrollbericht - Teil A. 1994, Umweltbundesamt

#### 4.1.3 Mittlere Tagesgänge der SO<sub>2</sub>-Belastung in Arnfels

Der mittlere Tagesgang der SO<sub>2</sub>-Konzentration ist für den Sommer 1994 (April - September) sowie für den Winter (Oktober - März) 1994/95 in Abbildung 52 dargestellt. Die SO<sub>2</sub>-Konzentration weist im Winter ein deutliches Maximum tagsüber auf, im Sommer hingegen ist sie im Mittel in der zweiten Nachthälfte am höchsten. Generell ist sie im Winter stets höher als im Sommer - bei allerdings nur geringfügigem Unterschied in der zweiten Nachthälfte.

Aus dem - im Relation zu Meßstellen in Tallagen oder Ebenen - atypischen Tagesgang im Winter läßt sich folgern, daß SO<sub>2</sub>-Transport an die Meßstelle nicht von den lokalen atmosphärischen Ausbreitungsbedingungen bestimmt wird, die erhöhte Werte bei stabiler Schichtung nachts erwarten ließen. Vielmehr dürfte SO<sub>2</sub>-Transport oberhalb der nächtlichen stabilen Grenzschicht erfolgen und somit nachts in Mittel weniger SO<sub>2</sub> die Meßstelle erreichen als tagsüber.

Im Sommer dürfte hingegen die tagsüber stärker ausgeprägte Durchmischung der Atmosphäre - wie dies auch bei Meßstellen in Tallagen oder Ebenen zu erwarten ist - zu geringerer SO<sub>2</sub>-Konzentration tagsüber beitragen.

#### 4.1.4 Die SO<sub>2</sub>-Belastung in Arnfels in österreichischen Vergleich

Abbildung 53 und 54 zeigen die Jahresmittelwerte, Abbildung 55 und Abbildung 56 die maximalen Halbstundenmittelwerte der Schwefeldioxid-Konzentration an allen österreichischen Meßstellen.

Der in Arnfels in den Jahren 1993 und 1994 registrierte Jahresmittelwert der SO<sub>2</sub>-Belastung liegt sowohl im Jahr 1993 als auch 1994 mit 21 bzw. 19 µg/m<sup>3</sup> im österreichischen Spitzenfeld. Vergleichbare bzw. höhere Jahresmittelwerte traten in beiden Jahren kleinräumig im Bereich einzelner Großemittenten auf, ferner in Wien sowie im östlichen Niederösterreich.

Emittentennahe Standorte mit vergleichbar hoher mittlerer SO<sub>2</sub>-Belastung waren v.a. Arnoldstein (1993 24 µg/m<sup>3</sup>, 1994 16 µg/m<sup>3</sup>), Wolfsberg/Frantschach (1993 23 µg/m<sup>3</sup>, 1994 30 µg/m<sup>3</sup>) und das Gratkorn Becken (1993 22 µg/m<sup>3</sup>, 1994 21 µg/m<sup>3</sup>).

Im östlichen Niederösterreich dürfte Schadstofftransport aus dem Raum Bratislava für die außerordentlich hohe mittlere SO<sub>2</sub>-Belastung verantwortlich sein; in Gänserndorf trat 1993 mit 25 µg/m<sup>3</sup> der höchste Jahresmittelwert in Österreich auf. Jahresmittelwerte über 20 µg/m<sup>3</sup> wurden in Hainburg, Stixneusiedl, Bad Vöslau, Aderklaa, Vösendorf, Wolkersdorf und Mistelbach registriert. In diesem Teil Österreichs war 1994 die Belastung mit maximal 17 µg/m<sup>3</sup> in Hainburg deutlich niedriger als 1993.

In Wien dürften örtliche Emittenten für die hohe mittlere SO<sub>2</sub>-Belastung verantwortlich sein; 1993 wiesen die Meßstellen Taborstraße und Hietzinger Kai mit 23 µg/m<sup>3</sup> den höchsten Jahresmittelwert auf, 1994 Hietzinger Kai mit 27 µg/m<sup>3</sup>.

In Graz und Linz, aber auch im Nahbereich von Großemittenten wie Lenzing, Donawitz oder Brixlegg, war die mittlere SO<sub>2</sub>-Belastung deutlich niedriger als in Arnfels.

Hohe SO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte wurden auch im südöstlichen Kärnten beobachtet (1993 20 µg/m<sup>3</sup>, 1994 15 µg/m<sup>3</sup> in Bleiburg, die mit hoher Wahrscheinlichkeit ebenfalls auf SO<sub>2</sub>-Transport aus Sostanj zurückzuführen sein dürften.

Die Unterschiede zwischen den Jahren 1993 und 1994 sind teilweise auf Variationen der SO<sub>2</sub>-Emission, vor allem aber auf unterschiedliche Witterung zurückzuführen. Im Jahr 1993 wiesen die Monate Jänner, Februar und November sehr tiefe Temperaturen sowie Wetterlagen

auf, welche für Schadstoffanreicherung in Bodennähe günstig waren; dies bedingt v.a. die 1993 vergleichsweise hohe SO<sub>2</sub>-Belastung im östlichen und nördlichen Niederösterreich.

Auch bei den Maximalwerten rangiert Arnfels im österreichischen Spitzenfeld mit einem maximalen HMW von 0,367 mg/m<sup>3</sup> 1993 und 0,500 mg/m<sup>3</sup> 1994.

Hier treten allerdings emittentennahe Meßstellen generell stärker hervor; höhere Spitzenwerte wurden 1993 im Gratkorner Becken (0,96 mg/m<sup>3</sup>) und in Lenzing (0,63 mg/m<sup>3</sup>), 1994 in Arnoldstein (0,72 mg/m<sup>3</sup>) und im Aichfeld (0,43 mg/m<sup>3</sup>) registriert, aber auch an der ebenfalls von Transport aus Sostanj betroffenen Meßstelle Bleiburg in Südostkärnten (1993 0,61 mg/m<sup>3</sup>, 1994 0,42 mg/m<sup>3</sup>).

An Meßstellen in Wien sowie im östlichen Niederösterreich wurden 1993 vergleichbar hohe Spitzenwerte gemessen wie in Arnfels (Maximum 0,34 mg/m<sup>3</sup> in Wien-Gaudenzdorfer Gürtel, 0,41 mg/m<sup>3</sup> in Hainburg); 1994 waren hier die Spitzenwerte etwas niedriger mit maximal 0,31 mg/m<sup>3</sup> am Hermannskogel bzw. 0,30 mg/m<sup>3</sup> in Hainburg.

In allen anderen größeren Städten wurden durchwegs Spitzenwerte gemessen, die deutlich unter den in Arnfels erreichten lagen.

Mithin ergibt sich, daß der SO<sub>2</sub>-Emittent Sostanj im grenznahen Gebiet der Südsteiermark und Südostkärntens für eine SO<sub>2</sub>-Belastung verantwortlich ist, die - sowohl was die Mittelwerte, als auch die Spitzen betrifft - im Spitzenbereich österreichischer Großstädte liegt. Lediglich die Emissionen von Wien, aus dem Raum Bratislava, sowie einiger industrieller Großemittenten verursachen regional höhere SO<sub>2</sub>-Belastung.

Ein Vergleich der SO<sub>2</sub>-Werte (HMW) von Arnfels mit nahegelegenen Meßstellen im südöstlichen Kärnten - St. Georgen im Lavanttal-Herzogberg, Bleiburg, St. Andrä - und der südlichen Steiermark - Deutschlandsberg, Wildon, Hochgöbnitz - zeigt keine Korrelation.

Allerdings zeigen die Monatsmittelwerte von Arnfels, Bleiburg, St. Georgen im Lavanttal und Wildon weitgehend parallele Verläufe, wohingegen Deutschlandsberg, aber auch Grazer Meßstellen wesentlich weniger gut mit Arnfels korrelieren.

#### 4.1.5 Beurteilung der SO<sub>2</sub>-Belastung in Hinblick auf Grenzwerte

In Kapitel 4.1.5 wird die SO<sub>2</sub>-Belastung in Arnfels in Relation zu gesetzlichen Grenzwerten dargestellt. Die gesetzlichen Grenzwerte für SO<sub>2</sub> sind in Tabelle 7 zusammengestellt.

Tabelle 7: Gesetzliche Grenzwerte für SO<sub>2</sub>

Immissionsschutzvereinbarung BGBl. 443/1987

0,200 mg/m <sup>3</sup>	TMW
0,200 mg/m <sup>3</sup>	HMW; drei HMW pro Tag über 0,200 und unter 0,500 mg/m <sup>3</sup> gelten nicht als Überschreitung

2. Forstverordnung BGBl. 199/1984

0,07 mg/m <sup>3</sup>	97,5-Perzentil der HMW eines Monats in den Monaten April bis Oktober
0,15 mg/m <sup>3</sup>	97,5-Perzentil der HMW eines Monats in den Monaten November bis März
0,05 mg/m <sup>3</sup>	TMW in den Monaten April bis Oktober
0,10 mg/m <sup>3</sup>	TMW in den Monaten November bis März

Smogalarmgesetz BGBl. 38/1989

0,40 mg/m <sup>3</sup>	MW3	SO <sub>2</sub>	Vorwarnstufe
0,60 mg/m <sup>3</sup>	MW3	SO <sub>2</sub>	Alarmstufe 1
0,80 mg/m <sup>3</sup>	MW3	SO <sub>2</sub>	Alarmstufe 2
0,60 mg/m <sup>3</sup>	MW3	SO <sub>2</sub> + Staub	Vorwarnstufe
0,80 mg/m <sup>3</sup>	MW3	SO <sub>2</sub> + Staub	Alarmstufe 1
1,00 mg/m <sup>3</sup>	MW3	SO <sub>2</sub> + Staub	Alarmstufe 2

### *Überschreitung von Grenzwerten der Immissionsschutzvereinbarung in Arnfels*

Überschreitungen des Grenzwertes der Immissionsschutzvereinbarung (Halbstundenmittelwerte über  $0,200 \text{ mg/m}^3$  - wobei drei HMW pro Tag über  $0,200$  und unter  $0,500 \text{ mg/m}^3$  nicht als Überschreitung gelten) wurde zwischen November 1992 und April 1995 an folgenden 19 Tagen registriert:

28.2., 24.4., 13.5., 20.5., 27.5., 16.7. und 6.12. 1993, 25.1., 26.1., 20.2., 2.2., 24.3., 2.12. und 13.12. 1994, 4.2., 6.2. und 8.2. 1995.

Ein Tagesmittelwert über  $0,200 \text{ mg/m}^3$  wurde nie registriert.

### *Überschreitung von Grenzwerten der 2. Forstverordnung*

Das 97,5-Perzentil von  $0,07 \text{ mg/m}^3$  - gültig in den Monaten April bis Oktober - wurde in den Monaten April, Mai, Juni, Juli und September 1993 sowie in den Monaten Mai, September und Oktober 1994 überschritten, d.h. insgesamt in 8 Monaten.

Das 97,5-Perzentil von  $0,15 \text{ mg/m}^3$  - gültig in den Monaten November bis März - wurde in den Monaten Februar und März 1993 überschritten.

Der Tagesmittelwert von  $0,05 \text{ mg/m}^3$  - gültig in den Monaten April bis Oktober - wurde im Sommer 1993 an 16 Tagen und im Sommer 1994 an 6 Tagen überschritten.

Der Tagesmittelwert von  $0,10 \text{ mg/m}^3$  - gültig in den Monaten November bis März - wurde im Winter 1992/93 nicht, im Winter 1993/94 an 4 Tagen und im Winter 1994/95 nicht überschritten.

Grenzwerte des *Smogalarmgesetzes* wurden in Arnfels nie überschritten; der höchste  $\text{SO}_2$ -Dreistundenmittelwert betrug  $0,39 \text{ mg/m}^3$  und wurde am 25.1. 1994 erreicht.

### 4.2. Schwebestaub

Die Schwebestaub-Belastung lag im Untersuchungszeitraum in Arnfels in einem für ländliche Meßstellen üblichen Bereich. Die Jahresmittelwerte betragen 1993  $22 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  und 1994  $23 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ .

Tabelle 8 und Abbildung 57 geben die Monatsmittelwerte und die maximalen monatlichen Tagesmittelwerte der Schwebestaubkonzentration in Arnfels im Zeitraum von November 1992 bis April 1995 an.

Die Monatsmittelwerte zeigen einen groben Jahresgang mit erhöhten Werten um  $0,025 \text{ mg/m}^3$  im Winter und um  $0,015 \text{ mg/m}^3$  im Sommer. Der höchste Monatsmittelwerte wurde mit  $0,031 \text{ mg/m}^3$  im März 1993 registriert.

Die maximalen monatlichen Tagesmittelwerte zeigen tendenziell ebenfalls erhöhte Werte im Winter (über  $0,05 \text{ mg/m}^3$ ), doch lagen sie im Sommer 1994 mit um  $0,05 \text{ mg/m}^3$  deutlich höher als im Sommer 1993 mit um  $0,04 \text{ mg/m}^3$ . Der höchste TMW wurde im Februar 1993 mit  $0,078 \text{ mg/m}^3$  beobachtet.

Die Schadstoffwindrose für Schwebestaub zeigt nur eine sehr geringfügig erhöhte Schwebestaubkonzentration bei Nordost- bis Ostwind ( $0,026 \text{ mg/m}^3$  bei Wind aus dem Sektor um  $60^\circ$  gegenüber einem Mittelwert von  $0,023 \text{ mg/m}^3$ ), die im Winterhalbjahr etwas deutlicher ist

(0,032 mg/m<sup>3</sup> bei Wind aus dem Sektor um 60°). Dies deutet auf das Überwiegen lokaler Emittenten hin. Schwebstaub-Ferntransport von Südwesten ist nicht identifizierbar.

In Arnfels wurden keine gesetzlichen Grenzwerte für Schwebstaub überschritten.

#### 4.3. Stickstoffoxide

Bei der Beurteilung der Konzentration von Stickstoffoxiden ist zu beachten, daß das eingesetzte Meßgerät zur Erfassung der in Arnfels aufgetretenen niedrigen Konzentrationen von NO nicht geeignet war. Daher sind die angegebenen NO- und NO<sub>2</sub>-Konzentrationswerte mit Unsicherheiten von ca: 4 ppb (ca. 8 µg/m<sup>3</sup> für NO<sub>2</sub>) behaftet.

Die Stickstoffmonoxid-Konzentration lag in Arnfels in einem für ländliche Meßstellen typischen Bereich. Der Jahresmittelwert lag 1993 und 1994 bei 1 µg/m<sup>3</sup>.

Tabelle 9 und Abbildung 58 geben die Monatsmittelwerte, die maximalen monatlichen Tages- und Halbstundenmittelwerte der NO-Konzentration im Zeitraum von November 1993 bis April 1995 an.

Die Mittel- und die Spitzenwerte der NO-Konzentration weisen einen Jahrgang mit erhöhten Werten im Winter auf. Der maximale Monatsmittelwert trat im November 1993 mit 0,003 mg/m<sup>3</sup>; meist betragen die Monatsmittelwerte 0,001 mg/m<sup>3</sup>.

Der maximale TMW wurde mit 0,006 mg/m<sup>3</sup> im November 1993 registriert; im Sommer lagen die maximalen TMW meist bei 1 µg/m<sup>3</sup>.

Maximale HMW von 0,023 mg/m<sup>3</sup> wurden im September und Dezember 1994 gemessen; im Juni und Juli 1994 lagen die maximalen HMW bei 0,004 mg/m<sup>3</sup>.

Die Schadstoffwindrose für NO zeigt für den Zeitraum von November 1993 bis April 1995 leicht erhöhte mittlere NO-Konzentrationen bei Nord- und bei Südwestwind, und zwar im Winter ausgeprägter als im Sommer. Insgesamt deutet das Belastungsbild bei NO auf das Überwiegen lokaler Emittenten hin.

Die NO<sub>2</sub>-Konzentration lag in Arnfels in einem für ländliche Meßstellen typischen Bereich. 1994 wurde ein Jahresmittelwert von 8 µg/m<sup>3</sup> registriert.

Tabelle 10 und Abbildung 59 geben die Monatsmittelwerte, die maximalen monatlichen Tages- und Halbstundenmittelwerte der NO<sub>2</sub>-Konzentration im Zeitraum von November 1993 bis April 1995 an.

Die NO<sub>2</sub>-Konzentration zeigt einen deutlichen Jahrgang mit erhöhten Werten im Winter. Der höchste Monatsmittelwert wurde im November 1993 mit 0,016 mg/m<sup>3</sup> registriert, der niedrigste mit 0,004 mg/m<sup>3</sup> im April 1995. Der höchste TMW trat im November 1993 mit 0,028 mg/m<sup>3</sup> auf, der höchste HMW im Jänner 1994 mit 0,065 mg/m<sup>3</sup>.

Die Schadstoffwindrose für NO<sub>2</sub> zeigt im Winter leicht erhöhte Werte bei Südwest- sowie bei Nord- bis Ostwind (um 0,009 mg/m<sup>3</sup> bei einem Mittelwert von 0,007 mg/m<sup>3</sup>), im Sommer sehr isotrope Verteilung. Insgesamt deutet das Belastungsbild bei NO<sub>2</sub> auf das Überwiegen lokaler Emittenten hin.

Der mittlere Tagesgang der NO- und der NO<sub>2</sub>-Konzentration weist in Arnfels zwischen Winter und Sommer signifikante Unterschiede auf.

Im Winter werden bei beiden Komponenten erhöhte Werte nachts registriert, wobei am Abend ein - bei NO<sub>2</sub> deutliches - Maximum auftritt. Die NO-Konzentration variiert zwischen 0,005 und 0,007 mg/m<sup>3</sup>, die NO<sub>2</sub>-Konzentration zwischen 0,007 und 0,011 mg/m<sup>3</sup>. Ein derartiger Verlauf ist üblicherweise die Folge von tageszeitlich variierenden Emissionen und dem Vorherrschen stabiler Ausbreitungsbedingungen nachts und morgens, die zu diesen Zeiten zusätzliche Schadstoffanreicherung in Bodennähe bewirken.

Im Sommer tritt - bei grundsätzlich viel niedrigerer Belastung - hingegen bei der NO- und der NO<sub>2</sub>-Konzentration ein Maximum tagsüber auf. Während die NO-Konzentration um 0,001 mg/m<sup>3</sup> schwankt, liegt die NO<sub>2</sub>-Konzentration nachts um 0,001 mg/m<sup>3</sup>, mittags bei 0,003 mg/m<sup>3</sup>. Ein derartiger Verlauf deutet auf Schadstofftransport oberhalb der nächtlichen Mischungsschicht, d.h. auf das Überwiegen von Ferntransport, hin.

In Arnfels wurden im Untersuchungszeitraum keine gesetzlichen Grenzwerte für NO<sub>2</sub> überschritten.

#### 4.4. Kohlenmonoxid

Die Messung von Kohlenmonoxid wurde von November 1992 bis Oktober 1994 durchgeführt und dann beendet, da es sich als außerordentlich schwierig erwies, mit einem Meßgerät, welches für ein Einsatz im belasteten, städtischen oder verkehrsnahen Gebiet konstruiert ist, die in Arnfels auftretenden geringen Konzentrationen einigermaßen korrekt zu erfassen. Unter diesem Gesichtspunkt ist darauf hinzuweisen, daß die im folgenden angegebenen CO-Konzentrationswerte mit großen Unsicherheiten behaftet sind.

Tabelle 11 und Abbildung 60 geben die Monatsmittelwerte, die maximalen monatlichen Tages- und Halbstundenmittelwerte der CO-Konzentration im Zeitraum von November 1992 bis Oktober 1994 an.

Die CO-Konzentration wies einen deutlichen Jahrgang mit erhöhten Werten im Winter auf. Die höchsten Monatsmittelwerte wurden mit 0,51 mg/m<sup>3</sup> im Dezember 1992 und im November 1993 registriert, im Sommer lagen sie um 0,20 mg/m<sup>3</sup>. Der höchste Tagesmittelwert trat mit 1,01 mg/m<sup>3</sup> im Dezember 1992 auf, der höchste Halbstundenmittelwert mit 1,64 mg/m<sup>3</sup> ebenfalls im Dezember 1992.

Die CO-Belastung liegt mithin in einem für ländliche Meßstellen zu erwartenden Bereich, wobei anzumerken ist, daß CO-Messungen im ländlichen Bereich nur in Ausnahmefällen, v.a. durch das Umweltbundesamt, durchgeführt wurden.

Der mittlere Tagesgang der CO-Konzentration weist im Winter ein flaches Maximum nachts, im Sommer ein flaches Maximum mittags auf.

Die Schadstoffwindrose für CO zeigt praktisch keine Windrichtungsabhängigkeit, sodaß man die CO-Belastung in Arnfels als von einzelnen Emittenten weitgehend unbeeinflusste Hintergrundkonzentration ansprechen kann.

In Arnfels wurden keine gesetzlichen Grenzwerte für CO überschritten.

#### 4.5. Ozon

Die Ozonbelastung in Arnfels liegt - sowohl in Hinblick auf die Mittel- als auch auf die Spitzenwerte - im Spitzenfeld der steiermärkischen Meßstellen. Im österreichweiten Vergleich

ist Arnfels eine typische Hügel-Meßstelle mit hoher mittlerer Konzentration und mäßig hohen Spitzenwerten.

Charakteristisch für die Lage der Meßstelle Arnfels ist geringe lokale photochemische Ozonbildung, aber infolge der exponierten Lage auch geringer Ozonabbau durch trockene Deposition und infolge der emittentenfernen Lage geringer Ozonabbau durch NO. Dies bedingt im Vergleich zu Standorten in Tälern und Ebenen im Mittel hohe Konzentration, da insbesondere nachts nur geringfügiger Ozonrückgang beobachtet wird.

Der mittlere Tagesgang weist - im Sommer wie im Winter - ein flaches Minimum am Morgen und ein flaches Maximum am frühen Nachmittag auf. Die tägliche Variation ist - bei generell höherer Belastung - im Sommer stärker als im Winter.

Episoden erhöhter Belastung sind in Arnfels - und der gesamten südlichen Steiermark - regelmäßig von Süd- bis Südwestwind gekennzeichnet, der häufig mit Advektion hoch belasteter Luft verbunden ist. Das großflächige Belastungsbild deutet in solchen Situationen auf Ozontransport von Oberitalien hin.

Mit einem Sommer-Mittelwert (April bis September) von  $0,094 \text{ mg/m}^3$  (47 ppb) 1993 und  $0,100 \text{ mg/m}^3$  (50 ppb) 1995 wies Arnfels außerordentlich hohe mittlere Belastungen auf, vergleichbar Rennfeld (1618 m) mit  $0,098 \text{ mg/m}^3$  1993 und  $0,100 \text{ mg/m}^3$  1994, aber etwas niedrigeren Belastungen als an den Hochgebirgsmessstellen Gerlitz (1900 m) mit  $0,118 \text{ mg/m}^3$  1993 und  $0,108 \text{ mg/m}^3$  1994, Sonnblick (3106 m) mit  $0,098 \text{ mg/m}^3$  1993 und  $0,112 \text{ mg/m}^3$  1994. Vergleichbar hoch wie in Arnfels waren die Sommer-Mittelwerte an ähnlich hoch gelegenen Meßstellen im Wienerwald (Exelberg 1993  $0,090 \text{ mg/m}^3$ , 1994  $0,096 \text{ mg/m}^3$ ), wohingegen vergleichbar gelegene Meßstellen am Alpennordrand meist etwas niedrigere Sommer-Mittelwerte aufwiesen.

Zieht man den Mittelwert der täglichen maximalen Halbstundenmittelwerte als Maß für die „mittlere Spitzenbelastung“ heran, so lag Arnfels mit  $0,118 \text{ mg/m}^3$  (59 ppb) 1993 und  $0,124 \text{ mg/m}^3$  (62 ppb) 1994 ebenfalls im österreichischen Spitzenfeld, vergleichbar den meisten Meßstellen im Hoch- und Mittelgebirge, aber auch einer großen Zahl von Meßstellen in Nordostösterreich.

Bei den Spitzenwerten (maximale HMW) blieb Arnfels jedoch deutlich hinter den im Nordosten und Norden Österreichs erreichten Werten zurück, wies aber tendenziell höhere Spitzen auf, als sie an den meisten Stationen im Hochgebirge gemessen wurden. Die maximalen HMW betragen in Arnfels 1993 93 ppb, 1994 95 ppb, verglichen z.B. mit 94 ppb bzw. 90 ppb am Sonnblick, 79 ppb bzw. 80 ppb in den Zillertaler Alpen, 106 ppb bzw. 158 ppb am Exelberg, 114 ppb bzw. 111 ppb in Stixneusiedl.

Tabelle 12 und Abbildung 61 geben die Monatsmittelwerte, die maximalen monatlichen Tages- und Halbstundenmittelwerte der Ozon-Konzentration im Zeitraum von November 1992 bis April 1995 an.

Die Ozonbelastung zeigt sehr klar den bekannten Zusammenhang mit der Witterung, vor allem der Temperatur und der Globalstrahlung; sie ist aber von lokalen Einflüssen deutlich weniger abhängig als im Nordosten oder Norden Österreichs, wo photochemische Ozonbildung vor Ort eine wesentliche Rolle spielt und damit die kleinräumigen meteorologischen Verhältnisse von entscheidender Bedeutung sein können.

Die höchsten Monatsmittelwerte der Ozonkonzentration wurden im Mai 1993 mit  $0,111 \text{ mg/m}^3$  sowie im Juli 1994 mit  $0,114 \text{ mg/m}^3$  registriert. Im Winter lagen die Monatsmittel-

werte bei 0,03 bis 0,06 mg/m<sup>3</sup>. Die höchsten Tagesmittelwerte wurden im Juli 1993 mit 0,144 mg/m<sup>3</sup> und im August 1994 mit 0,159 mg/m<sup>3</sup> gemessen, die höchsten Halbstundenmittelwerte im Juli 1993 mit 0,186 mg/m<sup>3</sup> und im August 1994 mit 0,190 mg/m<sup>3</sup>.

Bemerkenswert am Verlauf sind die ausgesprochen niedrigen Konzentrationen von November 1992 bis März 1993 sowie die außergewöhnlich hohen im April und Mai 1993. Ein derartiger Verlauf wurde im Großteil Österreichs beobachtet und hängt mit der warmen Witterung im April und Mai 1993, aber auch mit häufigem Auftreten von Ozonadvektion von Südwesten her in diesen Monaten zusammen. Während im relativ kühlen Hochsommer 1993 die Ozonwerte sowohl im Mittel als auch bei den Spitzen das Niveau von Mai 1993 kaum überstiegen, wurden 1994 die höchsten Werte Ende Juli und Anfang August erreicht.

Ogleich erhöhte Ozonkonzentrationen bevorzugt bei Süd- bis Südwestwind auftreten, zeigt die Schadstoffwindrose für Ozon eine außerordentlich isotrope Verteilung.

In Arnfels kam es noch nie zur Überschreitung des Grenzwertes der Vorwarnstufe des Ozongesetzes BGBl. 210/1992 von 0,200 mg/m<sup>3</sup> als Dreistundenmittelwert.

Allerdings werden an dieser Meßstelle häufig Wirkungsbezogene Immissionsgrenzkonzentrationen überschritten, welche von der Österreichischen Akademie der Wissenschaften zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Vegetation festgelegt wurden.

Der HMW von 0,120 mg/m<sup>3</sup> (Schutz der menschlichen Gesundheit) wurde im Sommer 1993 an 87 Tagen, im Sommer 1994 an 97 Tagen überschritten.

Der MW8 von 0,060 mg/m<sup>3</sup> (Schutz der Vegetation) wurde im Sommer 1993 an 174 Tagen bzw. während 84% der Meßzeit, im Sommer 1994 an 182 Tagen bzw. während 96% der Meßzeit überschritten.

Sehr hoch ist im österreichischen Vergleich die kumulative Ozonbelastung der Vegetation, berechnet nach den Vorschriften der UN/ECE im Rahmen des Programms „Mapping Critical Loads and Levels“. Nach den 1993 ausgearbeiteten (mittlerweile aber revidierten) Berechnungsvorschriften wird die kumulative Ozonbelastung als Summe der Einstundenmittelwerte über 40 ppb gebildet, wobei für Wald der Zeitraum von April bis September, für Getreide, Weideland und andere natürliche Vegetation der Zeitraum von Mai bis Juli während der Tageslichtstunden herangezogen wurde. Der so bestimmte AOT40-Wert wird mit einem „Critical Level“, welcher für den jeweiligen Rezeptor aufgrund wissenschaftlicher Studien abgeleitet wurde, verglichen.

Der AOT40-Wert betrug in Arnfels für Wald 1993 45,1 ppm\*h, 1994 48,2 ppm\*h, verglichen mit einem Critical Level von 10 ppm\*h.

Der AOT40-Wert betrug in Arnfels für Getreide, Weideland und andere natürliche Vegetation 1993 17,9 ppm\*h, 1994 16,4 ppm\*h, verglichen mit einem Critical Level von 5,3 ppm\*h.

Arnfels liegt bei der kumulativen Ozonbelastung im österreichweiten Spitzenfeld. Vergleichsweise betrug die kumulative Ozonbelastung für Wald in Stixneusiedl 1993 36,0 ppm\*h, 1994 37,9 ppm\*h, am Hermannskogel 1993 31,1 ppm\*h, 1994 44,3 ppm\*h, auf der Gerlitzten 1993 83,5 ppm\*h, 1994 59,6 ppm\*h, auf dem Rennfeld 1993 45,6 ppm\*h, 1994 49,0 ppm\*h.

Die kumulative Ozonbelastung für Getreide, Weideland und andere natürliche Vegetation erreichte in Stixneusiedl 1993 15,2 ppm\*h, 1994 18,6 ppm\*h, am Hermannskogel 1993 11,1

ppm\*h, 1994 16,7 ppm\*h, auf der Gerlitzten 1993 25,9 ppm\*h, 1994 19,5 ppm\*h, auf dem Rennfeld 15,1 ppm\*h, 1994 16,3 ppm\*h.

## 5 Fallstudien

In Abs. 5 werden einige Episoden deutlich erhöhter SO<sub>2</sub>-Belastung im Detail dargestellt und analysiert.

### 5.1 14. bis 16. Juli 1993

In der Nacht vom 15. auf den 16.7. 1993 wurde in Arnfels ein maximaler Halbstundenmittelwert von 376 µg/m<sup>3</sup> erreicht.

Am 14.7. 1993 lag der Kern eines flachen Hochdruckgebietes über dem Alpenraum; in 500 hPa herrschte Nordwestströmung. Eine Warmfront näherte sich Österreich von Westen, die am 14.7. morgens über der Schweiz lag. Bei veränderlicher Bewölkung regnete es im Verlauf des 14. und 15.7. verbreitet in Österreich. Am 15.7. und 16.7. drang feuchte, warme Luft von Westen nach Österreich ein, auch im Höhendruckfeld zeichnete sich westliche Strömung ab.

Am Schöckl wehte am 14.7. mittags schwacher Nordwestwind, am 15.7. morgens mäßiger Südwestwind, ab 15.7. abends schwacher Nordwest- bis Westwind. Es war meist stark bewölkt.

In Arnfels wehte vom 14. bis 16.7. zumeist Südwestwind mit 2 bis 4 m/s, vor allem nachts. Nachmittags drehte der Wind häufig auf West, wobei die Windgeschwindigkeit auf ca. 1 m/s abnahm. Die Temperatur erreichte am 14. und 15.7., die relativ starke Bewölkung aufwies, maximal 17 bzw. 19 °C, am sonnigeren, aber auch nicht wolkenfreien 16.7. 26 °C. Während des betrachteten Zeitraums wurde es nach und nach feuchter, das Wasserdampf-Mischungsverhältnis stieg von ca. 4 g/kg am 14.7. auf ca. 10 g/kg am 16.7., und am 16.7. 17 Uhr sprunghaft auf 12 g/kg, vermutlich verbunden mit Einsetzen von Regen.

Abbildung 62 zeigt den Verlauf der SO<sub>2</sub>-Konzentration sowie von Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Temperatur in Arnfels im Zeitraum 14. - 16.7. 1993.

Die SO<sub>2</sub>-Konzentration lag am 14.7. zunächst bei 10 bis 20 µg/m<sup>3</sup> und stieg ab 23 Uhr rasch auf zunächst 96 µg/m<sup>3</sup>, um bei unregelmäßigem Verlauf am 15.7. um 4.30 Uhr 219 µg/m<sup>3</sup> zu erreichen. Bis 10 Uhr sank sie wieder auf ca. 10 µg/m<sup>3</sup> ab. Während dieses Zeitraumes wehte Südwestwind (220°) mit ca. 3 m/s.

Am Nachmittag des 15.7. stieg die SO<sub>2</sub>-Konzentration zwischen 14 und 18 Uhr an und erreichte maximal 87 µg/m<sup>3</sup>. Während dieser Zeit wehte unregelmäßiger schwacher Westwind.

Danach lag die SO<sub>2</sub>-Konzentration um 30 µg/m<sup>3</sup> und stieg ab 16.7. 1 Uhr bei Südwestwind rasant auf 376 µg/m<sup>3</sup> um 3 Uhr. Werte über 200 µg/m<sup>3</sup> wurden von 2.30 bis 4 Uhr beobachtet, dann sank die Konzentration langsam ab und erreichte um 12 Uhr ca. 5 µg/m<sup>3</sup>. Am Nachmittag des 16.7. wurden nochmals zwei Spitzen von ca. 100 µg/m<sup>3</sup> beobachtet, dann blieb die Konzentration auf ca. 5 µg/m<sup>3</sup>. Die Zeiträume stark erhöhter SO<sub>2</sub>-Konzentration waren stets mit beständigem Südwestwind (ca. 230°) verbunden.

Insgesamt zeigen das Windfeld und andere meteorologische Parameter jedoch keine Variationen, die den Verlauf der SO<sub>2</sub>-Konzentration erklären könnten, sodaß die dramatischen Variationen der SO<sub>2</sub>-Konzentration jedenfalls durch Variationen der Transportprozesse im Luv der

Meßstelle bedingt sind. Als plausible Erklärung der Variationen der SO<sub>2</sub>-Konzentration kann angenommen werden, daß SO<sub>2</sub>-Transport in einer eng begrenzten Abgasfahne erfolgte, welche - bei im wesentlichen unveränderten lokalen Windverhältnissen - nur zeitweise die Meßstelle erreichte.

Die Schwebestaubkonzentration blieb während des gesamten Zeitraums mit ca. 20 µg/m<sup>3</sup> relativ niedrig, wies allerdings parallel zur erhöhten SO<sub>2</sub>-Konzentration Spitzen bis 45 µg/m<sup>3</sup> auf.

Die CO-Konzentration stieg vom 14.7. bis 16.7. mittags langsam von ca. 0,2 auf ca. 0,3 mg/m<sup>3</sup> und sank mit dem Einsetzen von Regen am 16.7. nachmittags wieder auf ca. 0,2 mg/m<sup>3</sup>.

An einigen Meßstellen in Südostkärnten traten vom 14. bis 16.7. ebenfalls erhöhte SO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf. In St. Georgen im Lavanttal wurden in der Nacht vom 14. auf den 15.7. sowie am späten Abend des 15.7. bis 90 µg/m<sup>3</sup> registriert, in Bleiburg in der Nacht vom 15. auf den 16.7. sowie am Abend des 16.7. bis ca. 50 µg/m<sup>3</sup>. Vor und nach der hier diskutierten Episode lagen hier die SO<sub>2</sub>-Konzentrationen um 5 µg/m<sup>3</sup>, zwischen 14.7. 20 Uhr und 16.7. 18 Uhr bei ca. 10 bis 15 µg/m<sup>3</sup>. An den meisten Meßstellen im Lavanttal sowie in der südlichen Steiermark wurden 10 µg/m<sup>3</sup> jedoch kaum überschritten.

#### 5.2 5. bis 7. Dezember 1993

Am 5. 12. 1993 lag ein flaches Hochdruckgebiet über Südost- und Südeuropa. Eine Kaltfront erreichte von Nordwesten Österreich, die aber kaum Niederschlag brachte. Am 6.12. bestimmte ein Süd- und Mitteleuropa überdeckendes Hochdruckgebiet mit Kern über dem Ostalpenraum das Wetter in Österreich, bis am 7.12. wieder Kaltluft Westösterreich erreichte. Über Oberitalien bildete sich am 7.12. ein Tiefdruckgebiet aus. Insgesamt trat in den Tälern und Becken während dieser Tage häufig Nebel auf, der Bedeckungsgrad war am 5. und 7.12. auch oberhalb der bodennahen Kaltluft hoch.

In Arnfels wehte während dieser Tage meist sehr beständiger Südwestwind, dessen Geschwindigkeit nachts bei ca. 3 m/s, nachmittags bei 1 bis 2 m/s lag. Zwischen 5.12. 12 Uhr und 6.12. 1 Uhr drehte der Wind - bei starken Schwankungen - auf West bis Nordwest, am 6.12. zwischen 17 und 20 Uhr kurzzeitig auf Nordnordwest. Diese kurze Nordnordwestwind-Periode war mit einem - länger anhaltenden - Temperaturrückgang von ca. 2 °C auf ca. -3°C und einem leichten Rückgang des Wasserdampf-Mischungsverhältnis verbunden und charakterisiert offensichtlich das Eindringen einer anderen Luftmasse; am 7.12. hielten diese Verhältnisse - bei völlig bedecktem Himmel, aber beständigem Südwestwind - unverändert an.

Die SO<sub>2</sub>-Konzentration war bis 6.12. 5 Uhr mit ca. 5 µg/m<sup>3</sup> niedrig; die NO<sub>2</sub>-Konzentration bewegte sich um 10 µg/m<sup>3</sup>, die CO-Konzentration um 0,5 mg/m<sup>3</sup>, die Schwebestaubkonzentration um 15 µg/m<sup>3</sup>. Ab 5 Uhr stieg die SO<sub>2</sub>-Konzentration rasch an und erreichte um 6 Uhr ca. 120 µg/m<sup>3</sup>, nach kurzem Absinken um 10 Uhr 360 µg/m<sup>3</sup>. Der Konzentrationsanstieg folgte dem Übergang von unbeständigem, schwachem Westwind auf sehr beständigen Südwestwind (mit 3 bis 4 m/s) um einige Stunden. Parallel zur SO<sub>2</sub>-Konzentration stiegen die NO- und die NO<sub>2</sub>-Konzentration leicht auf ca. 25 bzw. 40 µg/m<sup>3</sup> an, die Schwebestaubkonzentration erreichte maximal 40 µg/m<sup>3</sup>. Noch bei Südwestwind sank die SO<sub>2</sub>-Konzentration am Nachmittag des 6.12. auf unter 200 µg/m<sup>3</sup>; die kurze Westwindphase am Abend war mit SO<sub>2</sub>-Werten um 50 µg/m<sup>3</sup> verbunden, anschließend stieg die SO<sub>2</sub>-Konzentration bei beständigem Südwestwind auf maximal 120 µg/m<sup>3</sup>, bei relativ unregelmäßigem Verlauf, sank aber ab Mittag des 7.12. - bei unverändertem Wind - auf unter 50 µg/m<sup>3</sup>.

Während der Periode deutlich erhöhter SO<sub>2</sub>-Konzentration in Arnfels am 6.12. lag die Belastungen an den übrigen Meßstellen der Region meist unter 20 µg/m<sup>3</sup>. Lediglich in Piber wurden mittags maximal 30 µg/m<sup>3</sup> erreicht. Am Abend des 6.12. stieg in St. Georgen und St. Andrä die SO<sub>2</sub>-Konzentration auf bis 30 µg/m<sup>3</sup>, am Rennfeld wurden über 15 µg/m<sup>3</sup> gemessen, was für diese Meßstelle ungewöhnlich hoch ist. Ab 7.12. 1 Uhr sank die SO<sub>2</sub>-Konzentration an diesen Meßstellen und erreichte am Vormittag des 7.12. in St. Georgen und St. Andrä nochmals um 25 µg/m<sup>3</sup>; in Bleiburg wurden am Morgen und Vormittag des 7.12. Werte von 20 bis 25 µg/m<sup>3</sup> gemessen.

### 5.3 24. bis 27. Jänner 1994

Am 24. und 25.1. 1994 herrschte über Mitteleuropa im 500 hPa-Niveau zügige zyklonale Nordwestströmung. Eine Luftmassengrenze lag am 24.1. über den Nord- und Ostalpen, an deren Nordseite starker Westwind, im Süden schwacher Südwestwind wehte. Am Schöckl wurde durchwegs Nordwestwind mit ca. 5 m/s gemessen. Mit Tageshöchsttemperaturen bis 10 °C war es relativ warm; lediglich in Kaltluftseen in inneralpinen Tal- und Beckenlagen waren die Temperaturen mit 1 bis 4 °C niedriger.

Bis zum 25.1. setzte in ganz Österreich Regen bzw. Schneefall ein, in ganz Österreich wehte starker Westwind (im Gebirge über 10 m/s); die Temperatur blieb mit bis 10 °C im außeralpinen Fachland hoch, am Schöckl wurden 0°C gemessen.

Am 26.1. drehte die Höhenströmung - bei leicht antizyklonaler Krümmung - mehr auf West. Starker Nordwestwind vor allem im Gebirge sowie verbreiteter Regen und Schneefall hielten in Österreich an, die Tageshöchsttemperaturen gingen auf 5 bis 8 °C zurück. Der Schneefall hielt bis zum Morgen des 27.1. an. Mittlerweile bildete sich in 500 hPa ein ausgedehnter Höhentrog über Südosteuropa aus, verbunden mit Tiefdruckbildung über Süditalien. An der Alpensüdseite drehte der Wind im Gebirge - bei Geschwindigkeiten bis 10 m/s - auf Südwest, im Norden (und am Schöckl) wehte weiterhin Nordwestwind. Die Tageshöchsttemperaturen lagen bei 5 bis 8 °C.

Abbildung 64 zeigt den Verlauf der SO<sub>2</sub>-Konzentration, der Windrichtung und -geschwindigkeit, der Temperatur und der Sonnenscheindauer vom 24. bis 26.1.

In Arnfels wehte über den gesamten betrachteten Zeitraum bis zum 26.1. 12 Uhr - ausgenommen am 24.1. von 19 bis 22 Uhr - außergewöhnlich beständiger Südwestwind mit 4 bis 7 m/s, ansonsten wehte der Wind aus Westen und flaute ab. Vor allem am 24.1. von 19 bis 22 Uhr war die Geschwindigkeit mit ca. 1 m/s sehr niedrig.

Am 24. und 25.1. war der Himmel in Arnfels wolkenlos, am 26.1. ab Mittag bewölkt. Die Temperatur stieg am 24. und 25.1. tagsüber bis ca. 8 °C und sank in der Nacht ungleichmäßig ab. Das Mischungsverhältnis stieg im Lauf der Zeit kontinuierlich von ca. 2 auf ca. 5 g/kg und fiel mit dem Windrichtungswechsel von Südwest auf West am Abend des 26.1. rasch auf ca. 2 g/kg; parallel dazu begann die Temperatur zu sinken.

Die SO<sub>2</sub>-Konzentration lag bis 24.1. 12 Uhr um 10 µg/m<sup>3</sup>, dann stieg sie sprunghaft auf 178 µg/m<sup>3</sup>, begleitet vom Ansteigen der NO<sub>2</sub>-, Schwebstaub- und CO-Konzentration. Bis 22 Uhr - d.h. in der Phase mit Westwind - sank die SO<sub>2</sub>-Konzentration auf ca. 30 µg/m<sup>3</sup>, um bei Südwestwind bis 23.30 Uhr auf 266, bis 25.1. 1 Uhr auf 500 µg/m<sup>3</sup> zu steigen (wobei ange-

nommen werden kann, daß die Konzentration tatsächlich noch höher lag, da der Meßbereich des Gerätes bei  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  endet). Bei unverändertem Wind sank die  $\text{SO}_2$ -Konzentration bis 3 Uhr wieder auf ca. 20 bis  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , um ab 12 Uhr wieder auf Werte von 100 bis  $270 \mu\text{g}/\text{m}^3$  zu steigen. Spitzen der  $\text{SO}_2$ -Konzentration waren dabei jeweils von solchen der NO-,  $\text{NO}_2$ - und Schwebstaub-Konzentration begleitet, wohingegen die CO-Konzentration auf konstant hohem Niveau blieb. Der Windwechsel auf schwachen, unbeständigem westlichen Wind ab 26.1. 12 Uhr brachte generelles Sinken der Schadstoffbelastung; die  $\text{SO}_2$ -Konzentration sank auf ca.  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### 5.4 19. bis 23. Februar 1994

Die Großwetterlage wurde vom 19. bis 22.2. von einem Höhentief mit Kern über dem nördlichen Mitteleuropa bestimmt, welches sich langsam westwärts verlagerte; infolgedessen herrschte im 500 hPa-Niveau über dem Alpenraum starke Südwestströmung. Am Boden herrschte über Mitteleuropa flache Luftdruckverteilung; über Südosteuropa trat zunächst ein Tiefdruckgebiet mit Kern über Süditalien dominierend in Erscheinung, von welchem ausgehend sich am 20.2. ein weiteres Tief mit Kern über Ostpolen bildete. Über Südosteuropa lag eine ausgedehnte Frontalzone mit starker Bewölkung und intensivem Regen, die sich langsam ostwärts verlagerte. Am 21.2. rückte ein Tiefdruckgebiet von Westfrankreich nach Deutschland vor, welches einem ausgedehnten atlantischen Frontensystem angehörte; es bildete sich wieder ein Tief über Süditalien. Vor einer über Westeuropa liegenden Frontalzone kam relativ warme Luft nach Mitteleuropa, sodaß die Tageshöchsttemperaturen in Österreich von ca.  $1^\circ\text{C}$  am 19.2. auf bis  $5^\circ\text{C}$  am 20.2. stiegen. Verbunden mit starken Schneefällen erreichte am 21.2. die Kaltfront Mitteldeutschland und die Alpennordseite, doch blieb es aufgrund des maritimen Ursprungs der Luftmassen mit bis zu  $7^\circ\text{C}$  relativ warm; südöstlich der Frontalzone wurden - bei häufig wolkenlosem Himmel - Temperaturen bis  $8^\circ\text{C}$  gemessen. Am 22.2. verlagerte sich die Kaltfront - bei kleinräumiger Tiefbildung über Deutschland - nordwärts, sodaß in Österreich bei anhaltender Bewölkung die Niederschläge endeten. Die Tageshöchsttemperatur erreichte maximal  $9^\circ\text{C}$ , am 23.2.  $13^\circ\text{C}$ , da Österreich im Bereich relativ warmer Luft südlich der Kaltfront lag, die von Südwesten herangeführt wurde.

Am Schöckl wehte am 19.2. zeitweise starker Nord- bis Nordwestwind, am 20.2. schwacher Südwind, am 21.2. schwacher West- bis Nordwestwind, am 22.2. zunächst Südwind, der abends auffrischte und auf West drehte. Am 23.2. wehte morgens starker Südwind, später drehte der Wind auf West.

In Arnfels zeigte der Wind relativ scharfe Wechsel zwischen Südwest und Nordnordwest, wie Abbildung 65 zeigt. Die Windgeschwindigkeit war bei Südwestwind (meist mit 3 bis  $4 \text{ m/s}$ , bis  $6 \text{ m/s}$  am 23.2.) deutlich höher als bei Nordnordwestwind. Lediglich am Nachmittag des 19.2. wehte - sehr schwacher - Nordostwind.

Die Temperatur stieg an allen fünf Tagen tagsüber deutlich an und zeigte von Tag zu Tag einen kontinuierlichen Anstieg.

Die  $\text{SO}_2$ -Konzentration lag zunächst um  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und stieg am 20.2. zwischen 1 und 5 Uhr bei Südwestwind auf bis  $316 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Bei Nordnordwestwind wurden am 20. und am 21.2. jeweils  $\text{SO}_2$ -Konzentrationswerte von 50 bis  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  erreicht. Am 22.2. lag die  $\text{SO}_2$ -Konzentration bei Südwestwind bis 23 Uhr um  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und stieg zeitweise auf über 300

$\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Maximum  $364 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Bei Südwestwind sank sie am 23.2. aber auf unter  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , erreichte am Nachmittag aber wieder  $80$  bis  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Die Konzentration von  $\text{NO}_2$  (Abbildung 66) folgte in ihrem Verlauf ungefähr jenem der  $\text{SO}_2$ -Konzentration mit Maxima um  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  am Morgen des 20.2. und des 22.2. Hingegen erreichte die Schwebestaubkonzentration die höchsten Werte - um  $90$  bis  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  - bei Nordnordwestwind am Abend des 20.2. und des 21.2., während der Zeiten maximaler  $\text{SO}_2$ -Konzentration jedoch nur maximal  $50$  bis  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Dies entzieht sich einer schlüssigen Interpretation, da nördlich der Meßstelle Arnfels keine  $\text{SO}_2$ - und Schwebestaub-Emittenten liegen, die derart hohe Immissionsbelastungen hervorrufen könnten; sowohl die Stadt Graz als auch das Kraftwerk Voitsberg als auch die Siedlungen in den nahegelegenen Tälern emittieren nicht so hohe Mengen an  $\text{SO}_2$ - und Schwebestaub, daß in Arnfels Konzentrationen von  $60$  bis  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  auftreten könnten. Möglicherweise sind die hohen, bei nördlichem Wind aufgetretenen  $\text{SO}_2$ - und Schwebestaub-Konzentrationen die Folge von Rezirkulation von ursprünglich aus Slowenien in die Steiermark verfrachteter hoch belasteter Luft.

Die Meßstelle St. Georgen Herzogberg erreichte am Abend des 21.2. eine maximale  $\text{SO}_2$ -Konzentration über  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; parallel stieg die  $\text{SO}_2$ -Konzentration in Bleiburg über  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , wo bis zum Abend des 22.2.  $\text{SO}_2$ -Konzentrationswerte von  $50$  bis  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen wurden. In Deutschlandsberg hingegen blieb die  $\text{SO}_2$ -Konzentration stets unter  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### 5.5 2.12. 1994

Am 2.12. 1994 bestimmte ein starkes Hochdruckgebiet mit Kern über Ungarn das Wettergeschehen in Mitteleuropa; im  $500 \text{ hPa}$ -Niveau lag ein ausgeprägter Höhenkeil über Mitteleuropa, was im Ostalpenraum starke Nordströmung bedingte. Hingegen wehte in Bodennähe in diesem Raum schwacher südlicher Wind.

Im südöstlichen Österreich war es über dem Bergland meist stark bewölkt, in den Niederungen teilweise neblig, aber auch verbreitet wolkenlos. Die Tageshöchsttemperaturen erreichten  $1$  bis  $3 \text{ }^\circ\text{C}$ , nördlich der Alpen bis  $7 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Abbildung 67 zeigt den Verlauf der  $\text{SO}_2$ -Konzentration, von Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Temperatur und Sonnenscheindauer in Arnfels am 2.12. 1994; Abbildung 68 zeigt den Verlauf der Windrichtung, Abbildung 69 jenen der Windgeschwindigkeit in Höhen von  $10$ ,  $50$ ,  $150$ ,  $200$  und  $300 \text{ m}$  über Boden; die Winddaten oberhalb von  $50 \text{ m}$  wurden mit dem SODAR gemessen.

Mit dem SODAR wurde in Arnfels in Höhen oberhalb von  $100 \text{ m}$  ganz überwiegend Südwestwind beobachtet. In Bodennähe und in  $50 \text{ m}$  Höhe wehte zunächst Südwest- bis Nordwestwind mit  $1$  bis  $2 \text{ m/s}$ , ab  $9 \text{ Uhr}$  beständiger Südwestwind. Zwischen  $12$  und  $15 \text{ Uhr}$  drehte der Wind in  $50$  bis  $150 \text{ m}$  Höhe zeitweilig auf Süd.

Die Geschwindigkeit lag in Bodennähe mittags bei ca.  $3 \text{ m/s}$  lag, nachmittags kurz sank und ab  $19 \text{ Uhr}$  auf über  $5 \text{ m/s}$  stieg. In  $100 \text{ m}$  lag die Geschwindigkeit morgens bei ca.  $4 \text{ m/s}$ , mittags sank sie auf unter  $2 \text{ m/s}$  und stieg nachmittags kontinuierlich an; abends wurden über  $6 \text{ m/s}$  gemessen.

Die SODAR-Echointensität zeigen am 2.12. bis ca.  $19 \text{ Uhr}$  durchwegs labile Ausbreitungsverhältnisse; danach zeichnet sich eine recht deutliche Inversion oberhalb von ca.  $200 \text{ m}$  ab.

Die  $\text{SO}_2$ -Konzentration lag am 2.12. morgens und abends unter  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , die Schwebestaubkonzentration um  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die  $\text{SO}_2$ -Konzentration stieg ab  $13 \text{ Uhr}$  rasant an und erreichte

zwischen 14.30 und 16.30 Uhr Spitzen von  $251 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; die Schwebestaubkonzentration stieg parallel dazu leicht an auf maximal  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die Episode erhöhter  $\text{SO}_2$ -Konzentration war mit einer leichten Drehung des Bodenwindes auf Westsüdwest verbunden; ansonsten wehte beständiger Südwestwind mit kontinuierlich zunehmender Geschwindigkeit in allen Höhengniveaus.

#### 5.6 4. bis 8. 2. 1995

Am 4.2. 1995 lag ein flaches Hochdruckgebiet über Südosteuropa; eine von einem Tief nordwestlich von Skandinavien ausgehende Frontalzone erreichte die europäische Westküste; über Süditalien lag ein weiteres Tief. Im 500 hPa-Niveau herrschte über dem Ostalpenraum starke Nordwestströmung, in Bodennähe hingegen schwacher, uneinheitlicher Wind. Bei überwiegend dichter Bewölkung lagen die Tageshöchsttemperaturen im außeralpinen Gebiet und in den Tälern um  $7^\circ\text{C}$ .

Am 5.2. erreichte von Nordwesten her die o.g. okkludierte Frontalzone Mitteleuropa und überquerte die Ostalpen, was hier zu teilweise schauerartigen Regenfällen führte. Es kam überall zügiger Nordwest- bis Nordostwind auf. Die Tageshöchsttemperaturen lagen bei  $8^\circ\text{C}$ .

Am 6.2. drehte die Strömung über Mitteleuropa auf West. Im außeralpinen Gebiet und in den Tälern wehte schwacher, uneinheitlicher Wind, im Gebirge starker Westwind. Es regnete weiterhin. Die Tageshöchsttemperaturen lagen bei  $10^\circ\text{C}$ .

Am 7.2. erreichte bei Westwind eine weitere Frontalzone das nördliche Mitteleuropa, im Alpenraum hörten die Niederschläge auf, es blieb aber stark bewölkt. Im außeralpinen Gebiet und in den Tälern wehte schwacher, uneinheitlicher Wind, im Gebirge starker Westwind. Die Tageshöchsttemperaturen erreichten um  $16^\circ\text{C}$ .

Am 8.2. drehte die großräumige Strömung noch mehr auf West; über Norddeutschland lag eine Frontalzone, die ausgiebige Regenfälle brachte; auch über dem Ostalpenraum regnete es zeitweise. Der Wind war im außeralpinen Gebiet und in den Tälern uneinheitlich und schwach, im Gebirge wehte starker Westwind. Die Tageshöchsttemperaturen erreichten  $14^\circ\text{C}$ .

Insgesamt war der Zeitraum vom 4. bis 8.2. von Einfließen feuchter, relativ warmer Luftmassen maritimen Ursprungs gekennzeichnet.

Abbildung 70 zeigt den Verlauf der  $\text{SO}_2$ -, Schwebestaub-,  $\text{NO}$ - und  $\text{NO}_2$ -Konzentration im Zeitraum vom 4. bis 8.2. 1995, Abbildung 71 den Verlauf von Windrichtung und -geschwindigkeit sowie Temperatur und Sonnenscheindauer, Abbildung 72 den Verlauf der Windrichtung, Abbildung 73 der Windgeschwindigkeit in Höhen von 10, 50, 100, 150, 200 und 300 m.

Bei vorherrschendem Westwind in größeren Höhen wehte in Arnfels in Bodennähe durchwegs außergewöhnlich beständiger Südwestwind; lediglich am 5.2. zwischen 9 und 2 Uhr drehte der Wind zunächst auf Ost bis Nord, später Süd. Die Zeitspanne mit Nordwind war mit erhöhter Feuchte verbunden, in dieser Zeit regnete es, sodaß man den Frontdurchgang am 5.2. mit dieser kurzen Nordwind-Episode identifizieren kann.

Am 4.2. drehte der Wind mit der Höhe Richtung Süd, ab dem 5.2. Richtung Nord, wobei die vertikale Windscherung zumeist sehr gering war, lediglich am 4. und 6.2. mittags und am 8.2. morgens traten kurze Phasen mit deutlicher Winddrehung Richtung Süd mit der Höhe auf.

Die Windgeschwindigkeit lag am Boden ab 4.2. 17 Uhr zumeist bei 3,5 bis 6 m/s; die Zeitspanne mit Nord- bzw. Südwind am 5.2. wies vergleichsweise niedrige Windgeschwindigkeiten unter 2 m/s auf.

Die Windgeschwindigkeit war bis 4.2. 17 Uhr vertikal recht einheitlich, sonst wurde meist die höchste Geschwindigkeit in 100 m Höhe beobachtet, darüber nahm die Geschwindigkeit meist wieder ab, was grundsätzlich als atypisch zu bezeichnen ist. In 100 m Höhe wurden in der Nacht vom 4. auf den 5.2. bis 10 m/s gemessen. Bei Ost- bis Nordwind nahm die Geschwindigkeit in allen Höhen am 5.2. nachmittags auf unter 3 m/s ab, stieg aber kurzzeitig - vermutlich während des Frontdurchganges - auf bis 8 m/s an. Am 6.2. lag die Geschwindigkeit in 100 m bei meist 4 bis 7 m/s, am 7.2. bei 8 bis 13 m/s. Die kurzen Zeitspannen mit deutlicher vertikaler Windscherung wiesen jeweils vergleichsweise niedrige Windgeschwindigkeiten auf.

Die Lufttemperatur wies am 4., 6., 7. und 8.2., die ziemlich sonnig waren, deutliche Tagesgänge auf. Insgesamt stiegen sowohl die Temperaturminima als auch die -maxima von Tag zu Tag.

Mit dem SODAR erfaßte Echointensität weist während großer Zeiträume innerhalb der betrachteten Episode in Höhen bis ca. 120 m sehr hohe Werte auf, die jedoch - bei hoher Windgeschwindigkeit und großräumiger starker Westströmung - kaum als Hinweis auf Inversionen interpretiert werden können, sondern eine Folge starker mechanischer Turbulenz zufolge der hohen Windgeschwindigkeitsscherung in den unteren 100 m sein dürften. Insgesamt deuten die hohen Windgeschwindigkeiten sowie die Großwetterlage auf durchwegs labile Ausbreitungsbedingungen hin.

Die SO<sub>2</sub>-Konzentration stieg zu Beginn des 4.2. von ca. 10 auf 50 µg/m<sup>3</sup>, parallel dazu stieg die NO<sub>2</sub>-Konzentration von ca. 5 auf 25 µg/m<sup>3</sup>. Der SO<sub>2</sub>-Konzentrationsanstieg war mit dem Einsetzen von sehr beständigem Südwestwind verbunden. Zwischen 18 und 22 Uhr erreichte die SO<sub>2</sub>-Konzentration bei rasantem Anstieg maximal 262 µg/m<sup>3</sup>, dann sank sie langsam auf ca. 15 µg/m<sup>3</sup> (5.2. 11 Uhr); um 12 Uhr fielen sowohl die SO<sub>2</sub>-, die Schwebestaub- als auch die NO<sub>2</sub>-Konzentration abrupt auf unter 5 µg/m<sup>3</sup>. Erst mit Einsetzen von vertikal relativ einheitlichem Südwestwind am 6.2. 3 Uhr stieg die Schadstoffkonzentration wieder rasch an, wobei um 6.30 Uhr 210 µg/m<sup>3</sup> SO<sub>2</sub> und 35 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub> erreicht wurden. Dem Absinken auf ca. 10 µg/m<sup>3</sup> folgte ab 18 Uhr ein Anstieg der SO<sub>2</sub>-Konzentration auf bis 231 µg/m<sup>3</sup>. Ab Mitternacht lag die SO<sub>2</sub>-Konzentration bei 5 bis 15 µg/m<sup>3</sup>, erreichte in der Nacht vom 7. auf den 8.2. knapp 50 µg/m<sup>3</sup> und am 8.2. ab 6 Uhr bis 271 µg/m<sup>3</sup>. Ab 11 Uhr variierte die SO<sub>2</sub>-Konzentration zwischen ca. 40 und 170 µg/m<sup>3</sup>.

Insgesamt entsprechen die außergewöhnlich starken Schwankungen der SO<sub>2</sub>-Konzentration nur geringfügigen Variationen im Windfeld. Hohe SO<sub>2</sub>-Konzentrationen traten bei vertikal einheitlichem, starkem Südwestwind auf; die Phasen mit deutlicher vertikaler Windscherung wiesen niedrige SO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf. Dies deutet jedenfalls auf SO<sub>2</sub>-Transport in höheren Luftschichten hin, belegt aber auch, daß die SO<sub>2</sub>-Konzentration an der Meßstelle nur bedingt von den örtlichen Windverhältnissen abhängt, sondern von den Verhältnissen im Luv der Meßstelle.

## **6 Zusammenfassung**

Das Umweltbundesamt betreibt seit November 1992 in Arnfels im Steirischen Poßruck unmittelbar an der Grenze zwischen Österreich und Slowenien eine Luftgütemeßstelle, an welcher die Luftschadstoffe SO<sub>2</sub>, Schwebestaub, NO, NO<sub>2</sub> und Ozon gemessen werden, bis November 1994 zusätzlich CO. Zudem werden zur Interpretation des Immissionsgeschehens Windrichtung und -geschwindigkeit, Lufttemperatur, Feuchte, Globalstrahlung, Sonnen-

scheindauer, Strahlungsbilanz und Niederschlagsmenge gemessen. Von Oktober 1994 bis April 1995 war zudem das Akustikradar (SODAR) des Umweltbundesamtes in der Nähe der Meßstelle Arnfels eingesetzt, um in Höhen bis 500 m über Boden Information über Windrichtung und -geschwindigkeit sowie die Turbulenzstruktur der Atmosphäre zu erhalten.

Die bei weitem häufigste Windrichtung an der Meßstelle ist - sowohl am Boden, als auch im gesamten vom SODAR erfaßten Höhenbereich bis ca. 300 m über Boden - Südwest. In 42% der Meßzeit weht der Wind aus einem Sektor von 205° bis 245°. Nordnordwestwind (335° bis 5°) tritt in 10% der Meßzeit auf.

Die hohe Südwestwindhäufigkeit unterscheidet den Standort der Meßstelle Arnfels von den Verhältnissen im Hochgebirge und in der freien Troposphäre, wo West- bis Nordwind am häufigsten sind. Sie kann als Folge der Umströmung der Alpen im Süden - bei Wetterlagen, bei welchen in der freien Troposphäre Westwind weht - interpretiert werden.

Die hohe Südwestwindhäufigkeit ist somit nicht, wie zunächst vermutet, die Folge einer thermisch induzierten Hangwindzirkulation am Poßruck, da Südwestwind auch an Tagen mit geringer Sonneneinstrahlung auftritt.

Die Immissionsmessungen zeigen in Arnfels eine im österreichweiten Vergleich außergewöhnlich hohe SO<sub>2</sub>-Belastung, sowohl was die mittlere Konzentration als auch die Spitzenwerte betrifft. Erhöhte SO<sub>2</sub>-Belastung ist fast immer mit Südwestwind verbunden. Ca. 40 km Luftlinie südwestlich der Meßstelle befindet sich in Slowenien das Kohlekraftwerk Sostanj, welches nach Auswertung der Messungen in Arnfels klar als dominierende Ursache der hohen SO<sub>2</sub>-Belastung identifiziert werden kann. Die SO<sub>2</sub>-Belastung in Arnfels ist deutlich höher als im südöstlichen Kärnten, wo früher durchgeführte kontinuierliche Messungen sowie Meßkampagnen bereits den Verdacht auf starken SO<sub>2</sub>-Transport von Sostanj her erhärtet haben. Die SO<sub>2</sub>-Emission dieses Kraftwerkes überstieg 1993 mit 104.220 t und 1994 mit 80.516 t jeweils die Gesamt-SO<sub>2</sub>-Emission von Österreich. Neben der relativen Nähe dieses Großemittenten zur Meßstelle trägt die hohe Südwestwindhäufigkeit zusätzlich zur hohen SO<sub>2</sub>-Belastung in Arnfels bei.

Die Untersuchung von Episoden stark erhöhter SO<sub>2</sub>-Konzentration - mit Werten weit über 200 µg/m<sup>3</sup> - zeigt, daß solche ausschließlich bei Südwestwind auftreten, Südwestwind aber andererseits auch mit sehr geringer SO<sub>2</sub>-Konzentration (unter 10 µg/m<sup>3</sup>) verbunden sein kann. Der SO<sub>2</sub>-Konzentrationsverlauf an der Meßstelle wird offenbar entscheidend von den Windverhältnissen weit entfernt im Luv der Meßstelle mitbestimmt; er deutet auf die Ausbreitung einer relativ schmalen, scharf begrenzten Abgasfahne hin. Erhöhte SO<sub>2</sub>-Konzentration tritt bevorzugt bei hohen Windgeschwindigkeiten und - wie die SODAR-Messungen zeigen - bei vertikal einheitlicher Windrichtung (geringer Windscherung) auf.

Anders als in emittentennahen Standorten und in Ballungsgebieten in Tälern und Ebenen, wo erhöhte SO<sub>2</sub>-Konzentrationen bei windschwachen Hochdruckwetterlagen, bevorzugt bei Auftreten von Inversionen, beobachtet werden, ist das Auftreten erhöhter SO<sub>2</sub>-Konzentrationen in Arnfels von der Wetterlage weitgehend unabhängig - sofern der Wind aus der entsprechenden Richtung weht. Die Schadstoffausbreitungsbedingungen spielen praktisch keine Rolle; jene Fälle, an denen bei starkem Südwestwind SO<sub>2</sub>-Konzentrationen über 200 µg/m<sup>3</sup> beobachtet wurden, waren zumeist von eher labilen Verhältnissen gekennzeichnet.

1993 betrug der Jahresmittelwert der SO<sub>2</sub>-Belastung in Arnfels 21 µg/m<sup>3</sup>, 1994 19 µg/m<sup>3</sup>. Der höchste Monatsmittelwert wurde mit 33 µg/m<sup>3</sup> im Jänner 1993 erreicht, der höchste Tagesmittelwert mit 117 µg/m<sup>3</sup> im Dezember 1993, der höchste Halbstundenmittelwert mit 500 µg/m<sup>3</sup> im Jänner 1994.

In dem hier dokumentierten Zeitraum von November 1992 bis April 1995 wurde bei SO<sub>2</sub> an 19 Tagen eine Grenzwertverletzung der Immissionsschutzvereinbarung (BGBl. 443/87) bezüglich des HMW von 0,200 mg/m<sup>3</sup> (wobei drei HMW bis 0,500 mg/m<sup>3</sup> nicht als Überschreitung gelten) festgestellt.

Grenzwerte für SO<sub>2</sub> der 2. Forstverordnung, welche - jahreszeitlich unterschiedlich - als 97,5-Perzentile der HMW für einzelne Monate angegeben sind, wurden in insgesamt 10 Monaten überschritten; Grenzwerte, die als TMW angegeben sind, an insgesamt 26 Tagen.

Die mittlere SO<sub>2</sub>-Belastung weist einen Jahresgang mit erhöhten Werten im Winter auf, doch wurden - entsprechend dem Emissionsverhalten des Kraftwerkes Sostanj - auch im Sommer außergewöhnlich hohe SO<sub>2</sub>-Spitzenwerte gemessen. Im Sommer zeigt die Windrichtungsabhängigkeit der SO<sub>2</sub>-Konzentrationen, daß die Belastung fast ausschließlich auf Transport von Südwesten zurückzuführen ist, wohingegen im Winter bei Nord- bis Nordostwind vergleichbar hohe SO<sub>2</sub>-Konzentrationen auftreten wie bei Südwestwind; dabei ist allerdings einzuschränken, daß diese Windrichtungen, verglichen mit Südwestwind, ausgesprochen selten sind. Die SO<sub>2</sub>-Belastung bei Wind aus Nord bis Ost im Winter dürfte lokalen Emittenten zuzuschreiben sein. Ferntransport aus dem Raum Graz oder Voitsberg läßt sich nicht nachweisen.

Die Belastung durch Schwebestaub, NO, NO<sub>2</sub> und CO ist im österreichweiten Vergleich niedrig und entspricht den Verhältnissen im ländlichen, emittentfernen Gebiet. Die Belastung durch diese Luftschadstoffe zeigt im Mittel keine ausgeprägte Abhängigkeit von der Windrichtung. Erhöhte Konzentrationen von Schwebestaub, NO und NO<sub>2</sub> werden allerdings jeweils parallel zu den Spitzenwerten der SO<sub>2</sub>-Konzentration beobachtet, was auf Transport auf Sostanj hindeutet, doch dürfte im Mittel der Transport von diesem Kraftwerk her für die Schwebestaub- und Stickoxidbelastung in einer ähnlichen Größenordnung liegen wie die Beiträge regionaler Emissionen.

Gesetzliche Grenzwerte sowie Wirkungsbezogene Immissionsgrenzkonzentrationen für Schwebestaub, NO<sub>2</sub> und CO wurden in Arnfels nicht überschritten.

Die Ozonbelastung liegt in Arnfels in einem ähnlichen Bereich wie an Meßstellen in vergleichbarer Höhe und in exponierter Lage in Österreich. Die mittlere und die kumulative Belastung liegt im österreichischen Spitzenfeld, die Spitzenwerte liegen in einem mittleren Bereich; der Grenzwert der Vorwarnstufe laut Ozongesetz wurde nie überschritten.

Die Ozonbelastung weist, entsprechend der exponierten Lage, einen relativ flachen Tagesgang mit meist nur geringem nächtlichen Absinken der Konzentration auf, was für die hohe mittlere und kumulative Belastung mit verantwortlich ist. Die höchsten Ozonspitzenwerte stehen regelmäßig mit Südwestwind in Verbindung und dürften - wie an den meisten anderen hoch belasteten Meßstellen in Kärnten und der südlichen Steiermark - auf Ozonfernttransport von Italien zurückzuführen sein.

Überschreitungen von EU-Schwellenwerten sowie von Wirkungsbezogenen Immissionsgrenzkonzentrationen sowohl zum Schutz der menschlichen Gesundheit als auch der Vegetation werden in Arnfels im österreichischen Vergleich sehr häufig beobachtet. Ebenso werden

die von der UN-ECE festgelegten „Critical Levels“ zum Schutz des Waldes sowie von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen und natürlicher Vegetation (außer Wald) stark überschritten.

## Arnfels Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe

	< 0,5 m/s	0,5 - 1 m/s	1 - 2 m/s	2 - 3 m/s	3 - 5 m/s	5 - 7 m/s	7 - 10 m/s	10 - 15 m/s	15 - 20 m/s
Nov.92	6,6	10,8	19,9	19,8	27,5	12,6	2,6	0,2	0,0
Dez.92	19,6	10,1	16,0	13,8	30,9	7,3	2,1	0,1	0,0
Jän.93	5,6	3,9	9,2	16,2	23,6	26,5	13,2	1,8	0,0
Feb.93	6,0	9,6	25,1	19,1	30,0	9,5	0,7	0,0	0,0
Mär.93	0,3	3,7	27,5	28,2	33,1	7,0	0,3	0,0	0,0
Apr.93	0,9	6,5	27,5	32,7	30,2	2,2	0,0	0,0	0,0
Mai.93	8,1	7,0	23,7	30,1	28,0	3,1	0,0	0,0	0,0
Jun.93	4,8	7,2	25,1	33,8	26,7	2,4	0,1	0,0	0,0
Jul.93	1,7	7,3	28,6	30,4	30,6	1,5	0,0	0,0	0,0
Aug.93	11,7	14,8	27,5	27,4	18,0	0,7	0,0	0,0	0,0
Sep.93	13,4	10,2	19,2	21,4	30,8	4,7	0,4	0,0	0,0
Okt.93	16,5	9,8	17,0	18,2	26,3	9,5	2,6	0,1	0,0
Nov.93	43,1	13,0	22,8	12,1	8,5	0,6	0,0	0,0	0,0
Dez.93	5,3	1,2	9,0	17,3	38,2	19,4	8,7	0,9	0,0
Jän.94	1,5	4,9	14,8	19,7	35,6	20,8	2,8	0,0	0,0
Feb.94	5,8	8,6	22,8	17,8	30,5	10,6	3,7	0,2	0,0
Mär.94	3,5	8,6	27,3	21,4	26,0	9,2	3,8	0,1	0,0
Apr.94	2,3	6,0	22,2	28,3	30,5	8,6	1,4	0,7	0,0
Mai.94	2,6	5,0	23,7	30,9	29,4	7,0	1,4	0,0	0,0
Jun.94	7,3	7,1	28,4	29,6	23,9	3,6	0,2	0,0	0,0
Jul.94	11,4	11,5	31,6	30,6	14,4	0,4	0,0	0,0	0,0
Aug.94	15,7	12,4	27,5	22,2	19,7	2,5	0,0	0,0	0,0
Sep.94	20,8	8,5	21,4	18,5	25,5	4,5	0,8	0,1	0,0
Okt.94	8,9	12,3	29,5	18,7	26,2	4,2	0,2	0,0	0,0
Nov.94	11,2	13,3	26,6	18,1	24,1	6,1	0,7	0,0	0,0
Dez.94	3,6	5,0	20,7	20,0	22,7	23,3	4,8	0,1	0,0
Jän.95	6,7	10,2	16,9	17,2	27,6	12,1	5,0	4,2	0,1
Feb.95	1,1	3,6	13,5	16,2	31,9	27,1	6,6	0,0	0,0
Mär.95	1,8	5,5	20,3	22,7	28,2	16,0	5,5	0,1	0,0
Apr.95	3,6	7,4	24,4	21,6	33,2	8,0	1,9	0,0	0,0

Tabelle 1. Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit pro Monat

Tabelle 2. Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit in % in Höhen von 10 m bis 200 m über Boden

Arnfels Windgeschwindigkeit  
 Oktober 1994 - April 1995

	10 m	50 m	100 m	200 m
< 0,5 m/s	5,1	2,7	1,9	1,3
0,5 - 1 m/s	8,1	5,9	5,6	3,3
1 - 2 m/s	21,6	15,0	14,5	11,3
2 - 3 m/s	19,3	13,0	13,4	12,2
3 - 5 m/s	27,7	21,8	18,8	18,2
5 - 7 m/s	14,0	15,8	13,2	13,9
7 - 10 m/s	3,6	15,7	15,4	15,0
10 - 15 m/s	0,7	9,1	13,3	14,2
15 - 20 m/s	0,0	1,1	3,1	6,4
≥ 20 m/s	0,0	0,0	0,9	4,2

## Arnfels Wasserdampf-Mischungsverhältnis (g/kg)

	Verfügbarkeit (%)	Minimum (HMW)	Minimum (TMW)	Mittelwert	Median (HMW)	Maximum (TMW)	Maximum (HMW)
Nov.92	73	2,3	2,9	4,9	5,0	7,8	8,9
Dez.92	99	1,7	1,8	3,7	3,6	6,6	8,1
Jän.93	94	1,5	1,7	3,6	3,7	5,5	5,9
Feb.93	90	1,0	1,3	3,1	3,1	4,5	5,5
Mär.93	100	1,3	1,7	3,8	3,8	7,2	8,1
Apr.93	96	2,5	3,4	5,3	5,3	7,8	9,0
Mai.93	100	4,8	5,6	8,2	8,2	10,9	13,7
Jun.93	100	4,7	6,5	9,2	9,2	12,1	14,3
Jul.93	100	4,0	5,2	9,1	9,3	12,7	14,9
Aug.93	75	4,2	5,5	9,7	9,8	11,8	15,4
Sep.93	87	4,2	5,4	8,6	8,9	11,1	12,6
Okt.93	100	4,5	4,9	7,0	6,8	9,5	11,7
Nov.93	100	2,0	2,2	4,4	3,7	7,5	8,7
Dez.93	100	2,4	2,7	4,0	4,0	5,3	6,4
Jän.94	87	1,7	1,9	4,0	4,2	6,2	6,8
Feb.94	90	1,6	1,9	3,7	3,7	6,2	6,5
Mär.94	100	1,9	2,6	5,1	5,5	7,6	9,0
Apr.94	100	2,2	2,6	5,1	5,0	7,8	8,3
Mai.94	100	3,5	4,0	7,0	7,1	10,2	12,0
Jun.94	90	3,2	3,8	8,7	8,7	13,0	15,1
Jul.94	100	6,3	7,4	10,7	10,7	13,6	16,9
Aug.94	99	4,8	6,8	11,4	11,5	14,2	16,5
Sep.94	100	4,0	5,3	9,7	10,2	12,1	14,6
Okt.94	88	2,6	3,4	6,1	5,8	11,4	12,8
Nov.94	88	3,0	4,3	6,0	5,9	7,6	8,5
Dez.94	100	1,7	2,2	3,9	3,8	5,5	6,6
Jän.95	100	1,4	1,9	3,0	2,8	4,8	6,8
Feb.95	90	1,5	1,6	4,1	4,3	6,0	6,7
Mär.95	100	1,2	2,1	3,7	3,7	5,3	6,3
Apr.95	100	1,8	2,5	4,8	4,7	7,6	9,2

Tabelle 3: Wasserdampf-Mischungsverhältnis - Monatswerte

Arnfels SO<sub>2</sub> (mg/m<sup>3</sup>)

	Verfügbarkeit (%)	MMW	Max. TMW	Max. HMW	SO <sub>2</sub> -Emission von Sostanj (1000 t)
Nov.92	89	0,018	0,049	0,159	6,94
Dez.92	95	0,017	0,061	0,146	7,12
Jän.93	90	0,033	0,079	0,240	9,92
Feb.93	95	0,028	0,098	0,266	9,31
Mär.93	97	0,025	0,056	0,157	12,12
Apr.93	91	0,021	0,065	0,275	9,08
Mai.93	95	0,019	0,098	0,273	11,41
Jun.93	97	0,016	0,056	0,201	10,16
Jul.93	91	0,014	0,060	0,376	6,66
Aug.93	58	0,012	0,036	0,104	5,59
Sep.93	86	0,020	0,066	0,161	6,24
Okt.93	97	0,013	0,033	0,088	5,04
Nov.93	98	0,025	0,073	0,210	8,05
Dez.93	95	0,022	0,117	0,367	10,64
Jän.94	89	0,023	0,111	0,500	6,85
Feb.94	91	0,033	0,116	0,364	6,65
Mär.94	97	0,030	0,105	0,249	8,09
Apr.94	56	0,011	0,023	0,160	5,22
Mai.94	97	0,016	0,059	0,176	5,04
Jun.94	91	0,012	0,038	0,177	5,04
Jul.94	75	0,007	0,018	0,075	5,45
Aug.94	75	0,012	0,040	0,121	6,94
Sep.94	97	0,025	0,076	0,185	7,90
Okt.94	82	0,013	0,042	0,147	8,17
Nov.94	82	0,017	0,038	0,268	6,91
Dez.94	89	0,024	0,055	0,316	8,26
Jän.95	78	0,021	0,043	0,208	
Feb.95	95	0,024	0,100	0,269	
Mär.95	89	0,013	0,032	0,128	
Apr.95	91	0,013	0,044	0,148	

Tabelle 4: SO<sub>2</sub>-Werte der Station Arnfels und SO<sub>2</sub>-Emissionsangaben des Kraftwerkes Sostanj

Tabelle 5: Windrichtungsabhängige SO<sub>2</sub>-Dosis für Windrichtungsklassen von 20 Grad

Windrichtungs- klasse	Dauer h	Dosis mg/m <sup>3</sup> *h	Mittelwert mg/m <sup>3</sup>
2	1659	18,0	0,011
4	963	13,0	0,014
6	516	7,2	0,014
8	526	6,8	0,013
10	726	9,0	0,012
12	817	9,4	0,012
14	641	6,3	0,010
16	363	3,8	0,011
18	833	16,7	0,020
20	3800	105,4	0,028
22	10501	294,1	0,028
24	4156	94,7	0,023
26	1083	23,6	0,022
28	777	13,8	0,018
30	889	13,2	0,015
32	1428	19,7	0,014
34	2394	23,8	0,010
36	2542	24,4	0,010
38	3181	42,1394	0,013

# Arnfels Schwebestaub (mg/m<sup>3</sup>)

	Verfügbarkeit (%)	MMW	Max. TMW
Nov.92	92	0,012	0,026
Dez.92	99	0,014	0,054
Jän.93	94	0,020	0,039
Feb.93	99	0,027	0,078
Mär.93	99	0,031	0,076
Apr.93	99	0,029	0,049
Mai.93	100	0,025	0,046
Jun.93	100	0,020	0,046
Jul.93	100	0,019	0,035
Aug.93	74	0,025	0,042
Sep.93	87	0,018	0,049
Okt.93	100	0,016	0,040
Nov.93	100	0,026	0,058
Dez.93	100	0,012	0,040
Jän.94	95	0,014	0,030
Feb.94	100	0,027	0,073
Mär.94	95	0,026	0,046
Apr.94	99	0,019	0,037
Mai.94	99	0,025	0,071
Jun.94	89	0,024	0,052
Jul.94	99	0,029	0,048
Aug.94	71	0,029	0,055
Sep.94	31	0,029	0,049
Okt.94	85	0,020	0,052
Nov.94	89	0,018	0,045
Dez.94	98	0,017	0,056
Jän.95	96	0,017	0,060
Feb.95	93	0,013	0,033
Mär.95	81	0,012	0,027
Apr.95	81	0,020	0,036

Tabelle 7: Monatsmittelwerte und maximale monatliche Tagesmittelwerte der Schwebestaubkonzentration

Tabelle 8. Monatsmittelwert, maximaler monatlicher TMW und HMW der NO-Konzentration

Arnfels

NO in mg/m<sup>3</sup>

	Verfügbarkeit (%)	MMW	Max. TMW	Max. HMW
Okt.93	71	0,002	0,003	0,006
Nov.93	95	0,003	0,006	0,013
Dez.93	94	0,001	0,004	0,019
Jän.94	87	0,001	0,003	0,011
Feb.94	94	0,001	0,003	0,021
Mär.94	92	0,001	0,001	0,005
Apr.94	98	0,001	0,001	0,004
Mai.94	94	0,001	0,001	0,004
Jun.94	71	0,001	0,001	0,002
Jul.94	80	0,001	0,001	0,002
Aug.94	95	0,001	0,002	0,016
Sep.94	94	0,001	0,003	0,023
Okt.94	74	0,001	0,002	0,008
Nov.94	34	0,002	0,003	0,018
Dez.94	44	0,002	0,003	0,023
Jän.95	85	0,001	0,002	0,009
Feb.95	95	0,002	0,003	0,009
Mär.95	96	0,001	0,002	0,009
Apr.95	71	0,002	0,006	0,008

Tabelle 9: Monatsmittelwert, maximaler monatlicher TMW und HMW der NO<sub>2</sub>-KonzentrationArnfels NO<sub>2</sub> (mg/m<sup>3</sup>)

	Verfügbarkeit (%)	MMW	Max. TMW	Max. HMW
Okt.93	71	0,008	0,016	0,026
Nov.93	95	0,016	0,028	0,042
Dez.93	94	0,012	0,024	0,046
Jän.94	87	0,013	0,025	0,065
Feb.94	94	0,009	0,019	0,064
Mär.94	92	0,011	0,019	0,036
Apr.94	98	0,008	0,012	0,023
Mai.94	94	0,005	0,009	0,019
Jun.94	71	0,005	0,008	0,018
Jul.94	80	0,005	0,009	0,015
Aug.94	95	0,007	0,010	0,018
Sep.94	94	0,007	0,013	0,027
Okt.94	72	0,008	0,014	0,035
Nov.94	34	0,014	0,021	0,046
Dez.94	44	0,012	0,017	0,047
Jän.95	84	0,008	0,016	0,037
Feb.95	95	0,010	0,020	0,052
Mär.95	96	0,006	0,012	0,026
Apr.95	68	0,004	0,009	0,022

Tabelle 10: Monatsmittelwerte, maximale monatliche TMW und HMW der CO-Konzentration

Arnfels

CO (mg/m<sup>3</sup>)

	Verfügbarkeit (%)	MMW	Max. TMW	Max. HMW
Nov.92	89	0,40	0,59	0,84
Dez.92	96	0,51	1,01	1,64
Jän.93	90	0,47	0,66	1,05
Feb.93	96	0,48	0,80	1,10
Mär.93	97	0,41	0,62	0,73
Apr.93	93	0,38	0,51	0,82
Mai.93	96	0,28	0,40	0,48
Jun.93	97	0,20	0,33	0,46
Jul.93	97	0,22	0,35	0,48
Aug.93	73	0,23	0,31	0,41
Sep.93	83	0,24	0,36	0,50
Okt.93	97	0,29	0,48	0,60
Nov.93	97	0,51	0,69	0,95
Dez.93	95	0,41	0,62	0,85
Jän.94	90	0,38	0,52	0,80
Feb.94	74	0,40	0,55	1,06
Mär.94	98	0,32	0,47	0,61
Apr.94	98	0,34	0,41	0,48
Mai.94	98	0,27	0,36	0,41
Jun.94	91	0,20	0,26	0,55
Jul.94	98	0,21	0,32	0,82
Aug.94	97	0,23	0,30	0,80
Sep.94	99	0,20	0,28	0,42
Okt.94	85	0,40	0,74	1,59
Nov.94	42	0,48	0,64	1,01

Tabelle 11: Monatsmittelwerte, maximale monatliche TMW und HMW der Ozonkonzentration

Arnfels

O<sub>3</sub> (mg/m<sup>3</sup>)

	Verfügbarkeit (%)	MMW	Max. TMW	Max. HMW
Nov.92	86	0,040	0,061	0,080
Dez.92	95	0,034	0,062	0,076
Jän.93	90	0,036	0,054	0,064
Feb.93	93	0,037	0,061	0,099
Mär.93	96	0,037	0,048	0,057
Apr.93	94	0,091	0,141	0,172
Mai.93	96	0,111	0,142	0,174
Jun.93	97	0,099	0,137	0,167
Jul.93	97	0,099	0,144	0,186
Aug.93	95	0,100	0,138	0,173
Sep.93	95	0,067	0,092	0,114
Okt.93	98	0,058	0,083	0,107
Nov.93	98	0,038	0,064	0,079
Dez.93	96	0,047	0,064	0,079
Jän.94	93	0,050	0,070	0,079
Feb.94	97	0,072	0,126	0,161
Mär.94	98	0,081	0,124	0,142
Apr.94	97	0,098	0,122	0,147
Mai.94	98	0,098	0,117	0,143
Jun.94	91	0,102	0,141	0,175
Jul.94	97	0,114	0,139	0,171
Aug.94	97	0,103	0,159	0,190
Sep.94	94	0,081	0,129	0,154
Okt.94	86	0,055	0,073	0,111
Nov.94	89	0,030	0,050	0,069
Dez.94	98	0,040	0,066	0,081
Jän.95	98	0,056	0,072	0,086
Feb.95	97	0,063	0,074	0,104
Mär.95	97	0,081	0,109	0,144
Apr.95	97	0,097	0,125	0,150

Abbildung 1

Lage der Luftgütemeßstelle Arnfels (1) sowie des Standortes des Akustikradars (2)

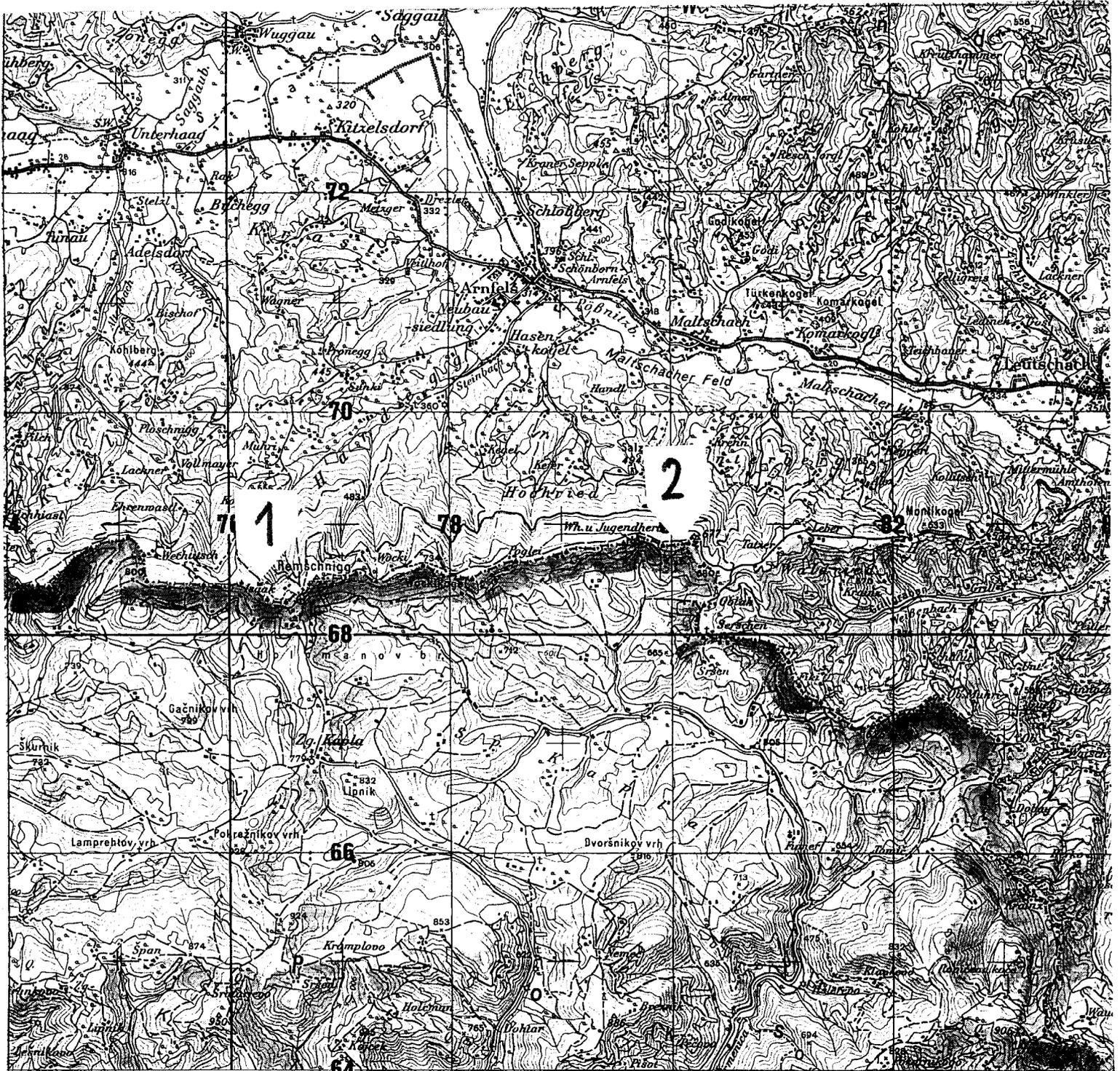


Abbildung 2: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung in Arnfels/Poßbruck, 10 m über Boden, November 1992 bis April 1995

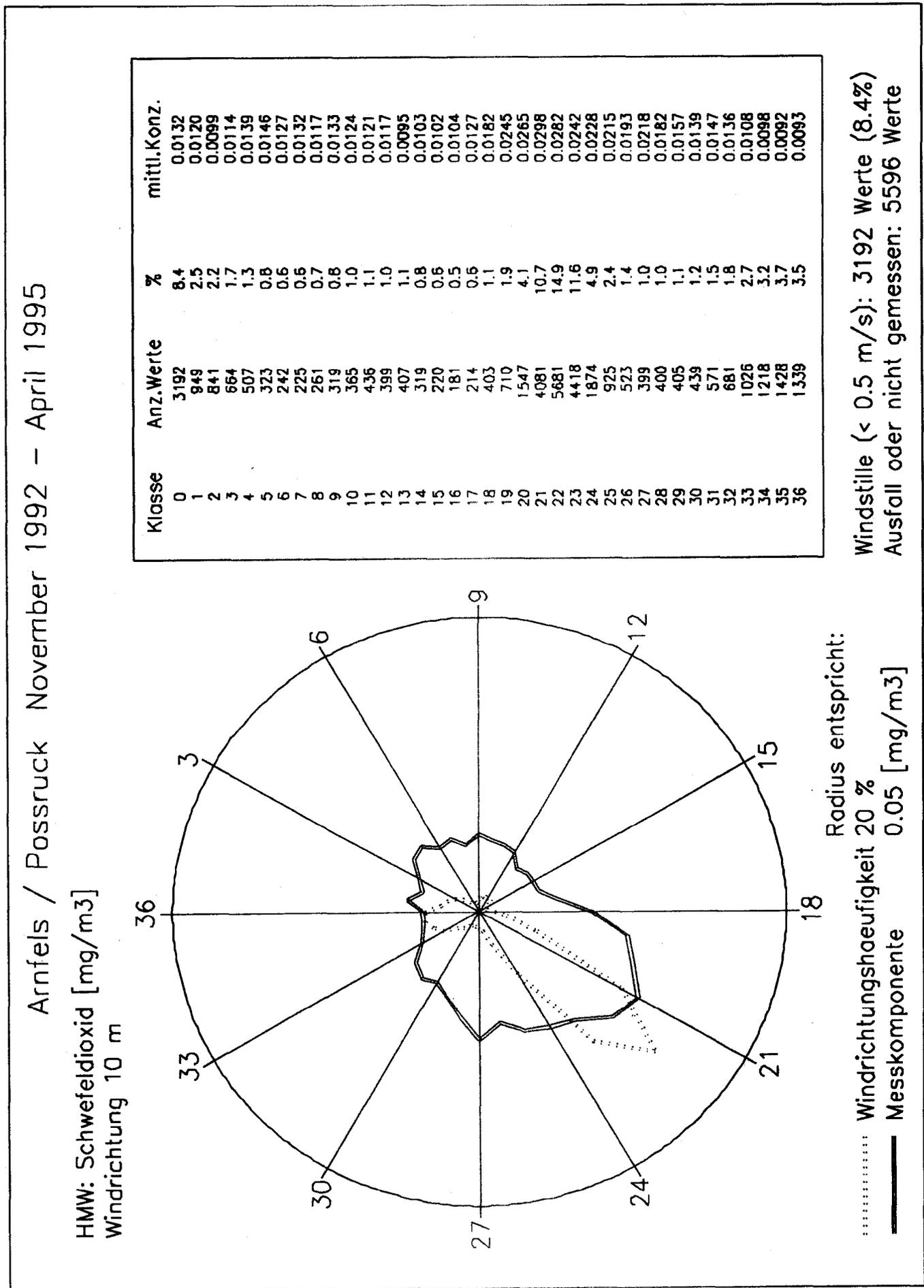
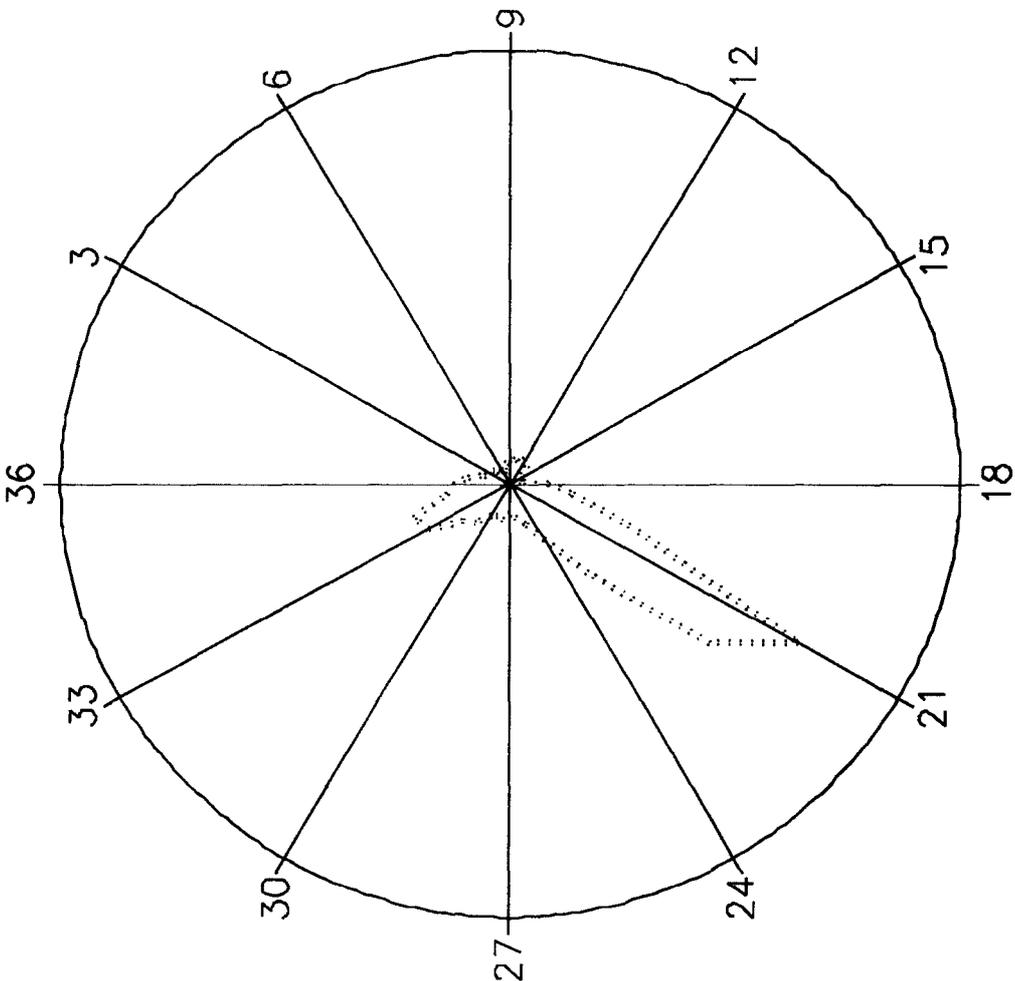


Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung in Arnfels/Poßruck, 10 m über Boden, Jänner bis Dezember 1993

Arnfels / Poßruck Jaenner – Dezember 1993

Windrichtung 10 m

Calme bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s



Radius entspricht:

Windrichtungshäufigkeit 20 %

Windstille (< 0.5 m/s): 1624 Werte (9.7%)  
Ausfall oder nicht gemessen: 808 Werte

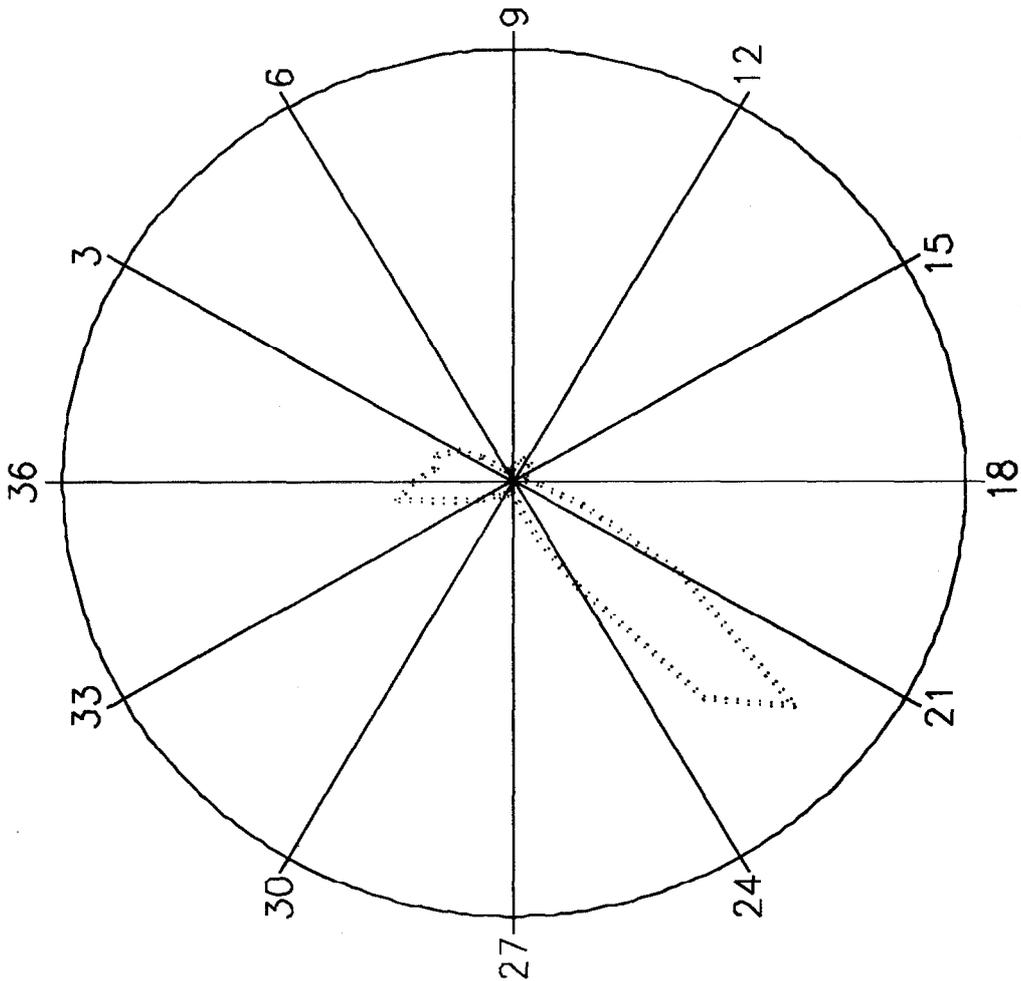
Klasse	Anz.Werte	%
0	1624	9.7
1	314	1.9
2	201	1.2
3	137	0.8
4	163	1.0
5	132	0.8
6	97	0.6
7	128	0.8
8	165	1.0
9	193	1.2
10	196	1.2
11	217	1.3
12	177	1.1
13	186	1.1
14	128	0.8
15	88	0.5
16	77	0.5
17	104	0.6
18	287	1.7
19	475	2.8
20	946	5.7
21	2478	14.8
22	1945	11.6
23	899	5.4
24	503	3.0
25	321	1.9
26	268	1.6
27	232	1.4
28	280	1.7
29	265	1.6
30	281	1.7
31	396	2.4
32	454	2.7
33	701	4.2
34	757	4.5
35	477	2.9
36	420	2.5

Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung in Arnfels/Poßruck, 10 m über Boden, Jänner bis Dezember 1994

Arnfels / Poßruck Joenner – Dezember 1994

Windrichtung 10 m

Calme bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s

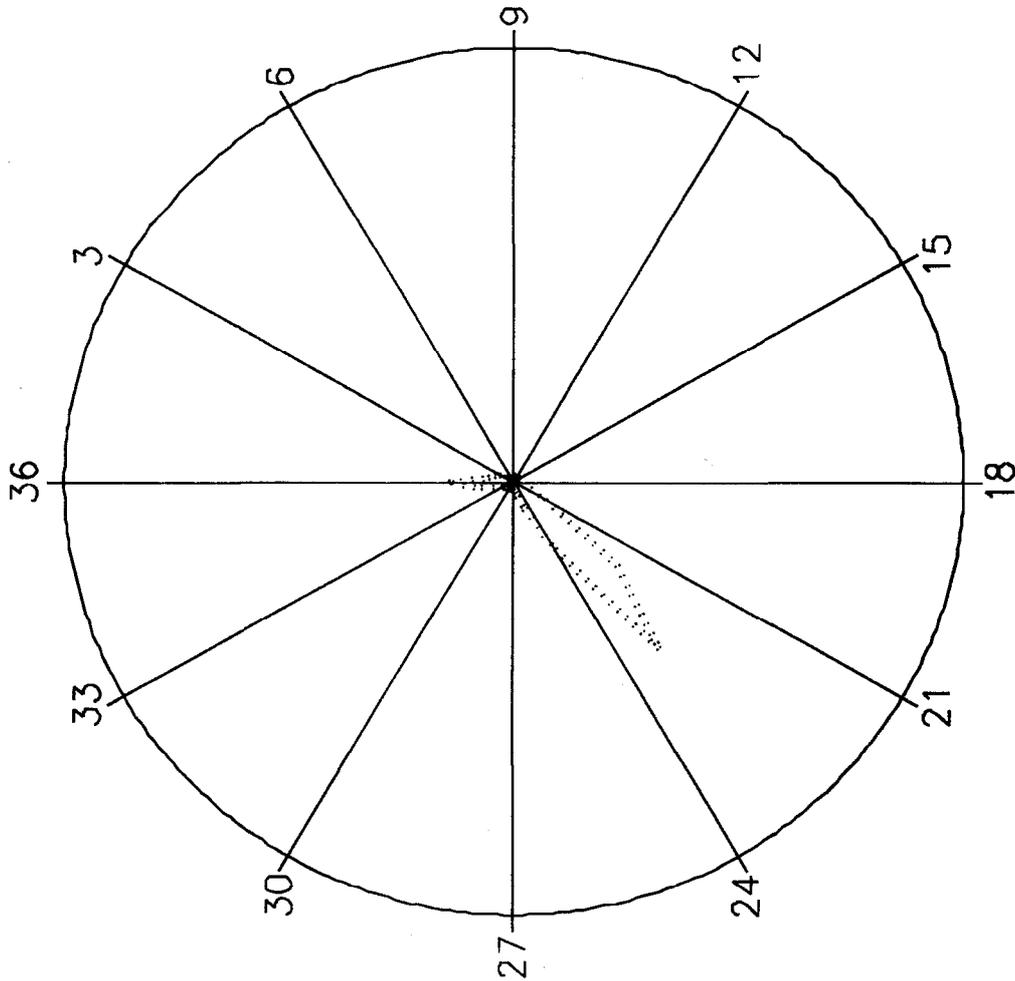


Klasse	Anz.Werte	%
0	1327	7.9
1	592	3.5
2	604	3.6
3	476	2.8
4	296	1.8
5	142	0.8
6	103	0.6
7	78	0.5
8	70	0.4
9	102	0.6
10	144	0.9
11	194	1.2
12	178	1.1
13	183	1.1
14	170	1.0
15	110	0.7
16	89	0.5
17	77	0.5
18	96	0.6
19	210	1.2
20	547	3.2
21	1438	8.5
22	2727	16.2
23	2206	13.1
24	918	5.5
25	430	2.6
26	169	1.0
27	103	0.6
28	90	0.5
29	109	0.6
30	129	0.8
31	151	0.9
32	185	1.1
33	300	1.8
34	459	2.7
35	888	5.3
36	746	4.4

Abbildung 5: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung in Arnfels/Poßbruck, 10 m über Boden, Jänner bis April 1995

Arnfels / Poßbruck Jaenner – April 1995

Windrichtung 10 m  
 Calme bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s



..... Windrichtungshäufigkeit 50 %  
 Radius entspricht:  
 Windstille (< 0.5 m/s): 190 Werte (3.3%)  
 Ausfall oder nicht gemessen: 47 Werte

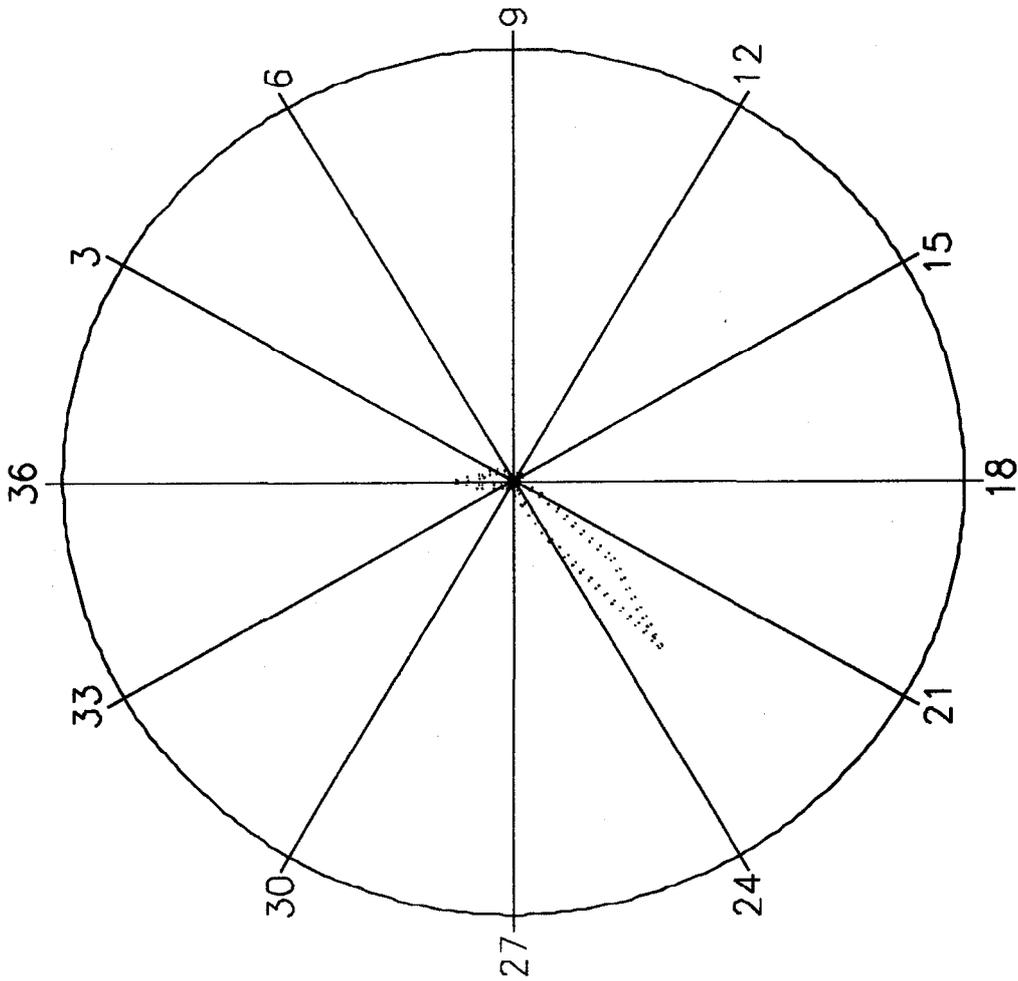
Klasse	Anz.Werte	%
0	190	3.3
1	160	2.8
2	127	2.2
3	98	1.7
4	60	1.1
5	66	1.2
6	39	0.7
7	21	0.4
8	29	0.5
9	29	0.5
10	31	0.5
11	44	0.8
12	50	0.9
13	52	0.9
14	48	0.8
15	36	0.6
16	23	0.4
17	28	0.5
18	21	0.4
19	38	0.7
20	47	0.8
21	47	0.8
22	236	4.1
23	867	15.2
24	1448	25.3
25	486	8.5
26	179	3.1
27	82	1.4
28	61	1.1
29	43	0.8
30	51	0.9
31	43	0.8
32	60	1.1
33	60	1.1
34	72	1.3
35	134	2.3
36	248	4.3
37	406	7.1

Abbildung 6: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung in Arnfels/Poßruck, 10 m über Boden, Oktober 1994 bis April 1995

Arnfels / Poßruck Oktober 1994 – April 1995

Windrichtung 10 m

Calme bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s



..... Windrichtungshäufigkeit 50 %  
 Radius entspricht:  
 Windrichtungshäufigkeit 50 %

Klasse	Anz.Werte	%
0	505	5.1
1	346	3.5
2	282	2.9
3	218	2.2
4	141	1.4
5	101	1.0
6	71	0.7
7	39	0.4
8	44	0.4
9	48	0.5
10	55	0.6
11	86	0.9
12	93	0.9
13	97	1.0
14	98	1.0
15	57	0.6
16	44	0.4
17	45	0.5
18	35	0.4
19	50	0.5
20	80	0.8
21	334	3.4
22	1395	14.2
23	2495	25.4
24	789	8.0
25	295	3.0
26	130	1.3
27	88	0.9
28	64	0.7
29	67	0.7
30	59	0.6
31	91	0.9
32	97	1.0
33	136	1.4
34	224	2.3
35	395	4.0
36	626	6.4

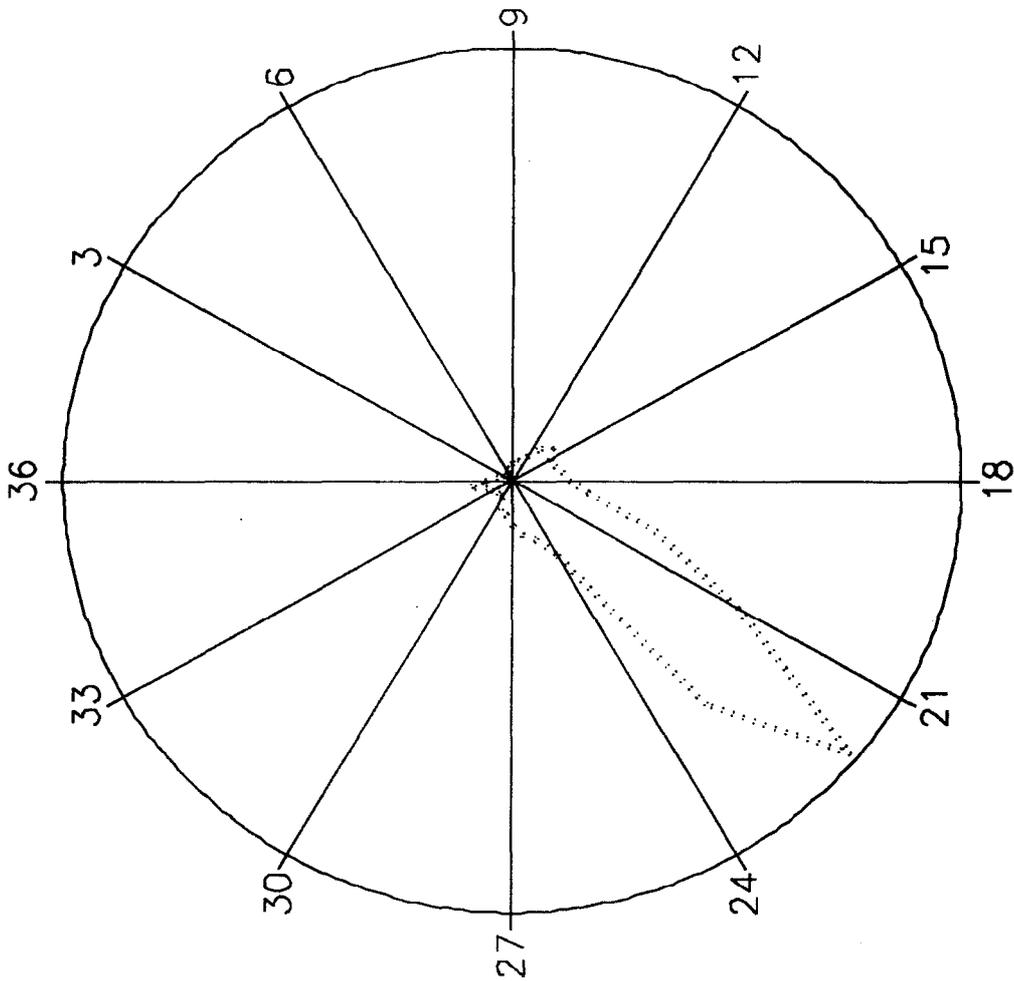
Windstille (< 0.5 m/s): 505 Werte (5.1%)  
 Ausfall oder nicht gemessen: 356 Werte

Abbildung 7: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung in Arnfels/Poßbruck, 50 m über Boden, Oktober 1994 bis April 1995

Arnfels / Poßbruck Oktober 1994 – April 1995

Windrichtung 50 m

Calme bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s

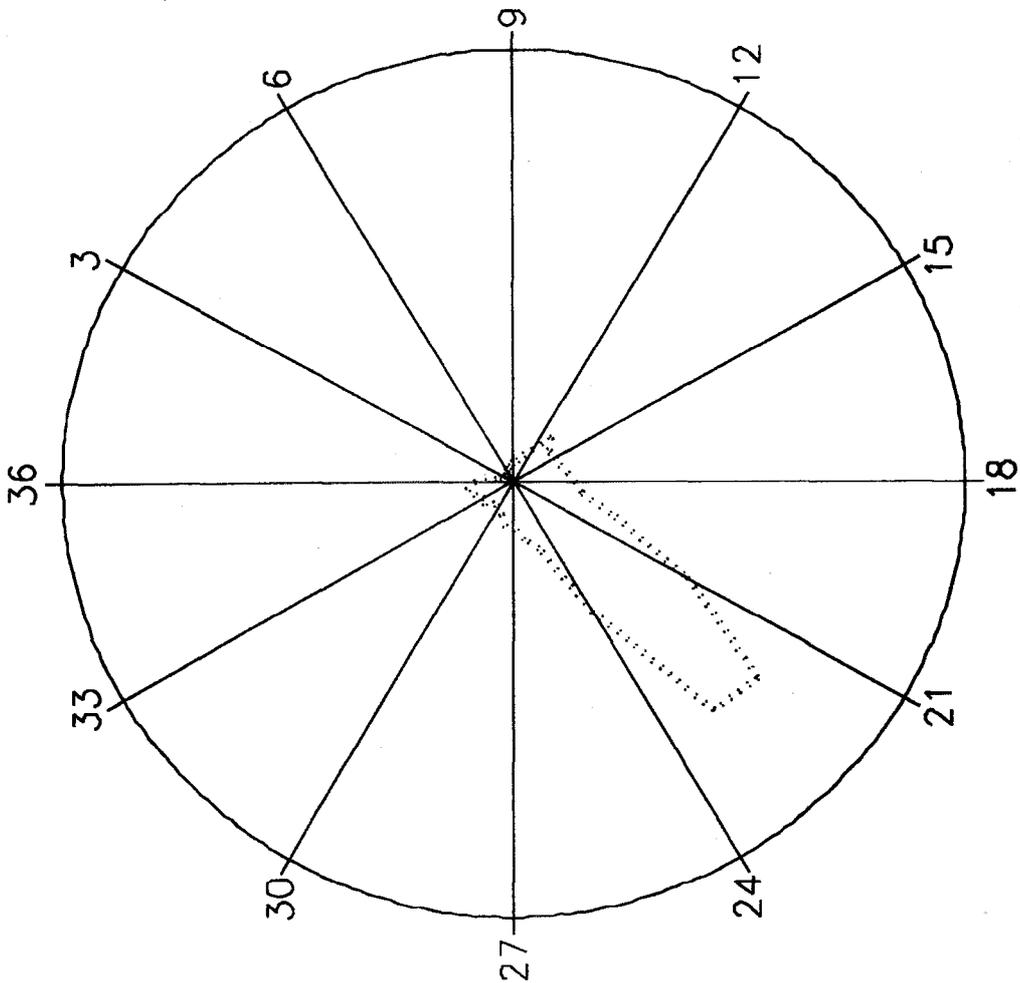


Klasse	Anz.Werte	%
0	160	1.9
1	60	0.7
2	41	0.5
3	38	0.4
4	27	0.3
5	36	0.4
6	35	0.4
7	43	0.5
8	51	0.6
9	67	0.8
10	86	1.0
11	73	0.9
12	110	1.3
13	171	2.0
14	201	2.3
15	165	1.9
16	173	2.0
17	193	2.3
18	216	2.5
19	294	3.4
20	581	6.8
21	995	11.6
22	1685	19.7
23	1156	13.5
24	330	3.9
25	247	2.9
26	219	2.6
27	178	2.1
28	140	1.6
29	126	1.5
30	74	0.9
31	79	0.9
32	62	0.7
33	88	1.0
34	103	1.2
35	159	1.9
36	102	1.2

Abbildung 8: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung in Arnfels/Poßbruck, 100 m über Boden, Oktober 1994 bis April 1995

Arnfels / Poßbruck Oktober 1994 – April 1995

Windrichtung 100 m  
 Calme bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s



..... Windrichtungshäufigkeit 20 %  
 Radius entspricht:  
 Windstille (< 0.5 m/s): 101 Werte (1.2%)  
 Ausfall oder nicht gemessen: 1579 Werte

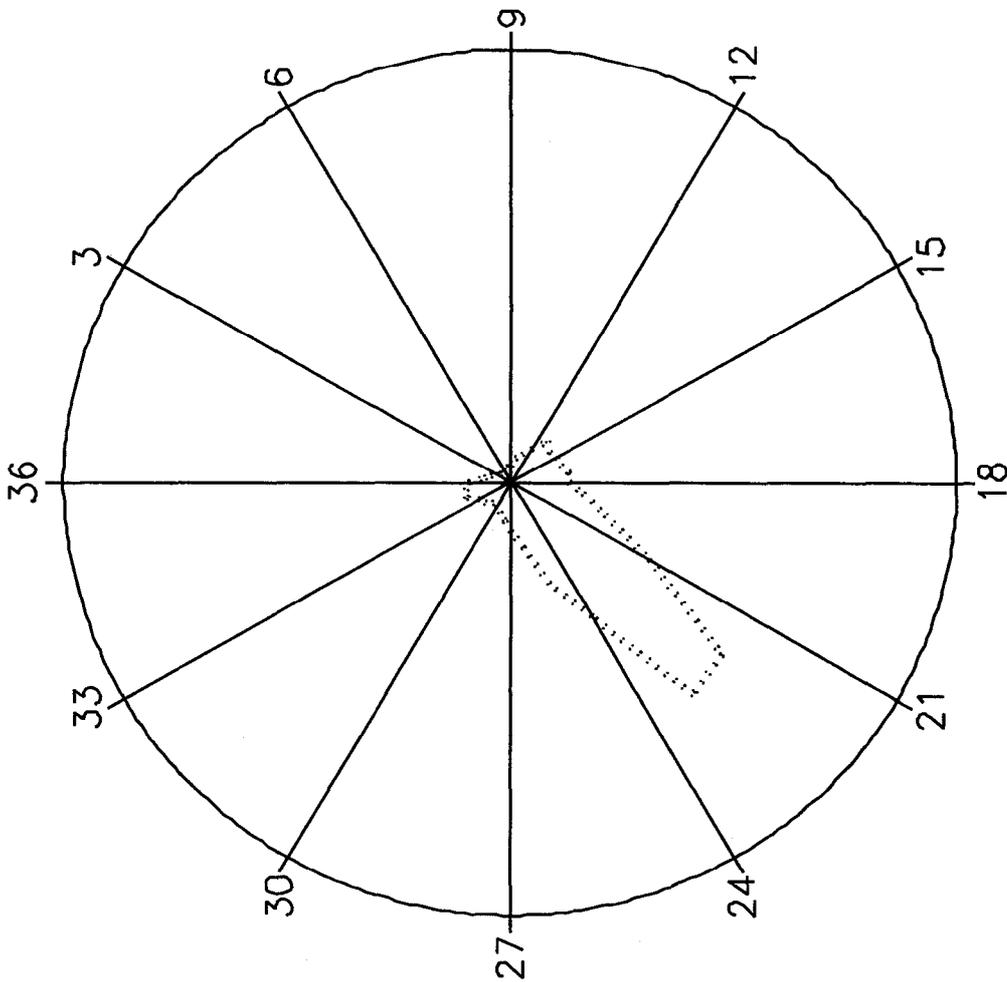
Klasse	Anz.Werte	%
0	101	1.2
1	72	0.8
2	55	0.6
3	41	0.5
4	38	0.4
5	38	0.4
6	50	0.6
7	57	0.7
8	78	0.9
9	70	0.8
10	85	1.0
11	114	1.3
12	143	1.7
13	224	2.6
14	177	2.1
15	187	2.2
16	189	2.2
17	209	2.4
18	235	2.7
19	265	3.1
20	411	4.8
21	765	8.9
22	1215	14.1
23	1185	13.8
24	598	7.0
25	281	3.3
26	232	2.7
27	178	2.1
28	180	2.1
29	138	1.6
30	115	1.3
31	114	1.3
32	144	1.7
33	131	1.5
34	155	1.8
35	178	2.1
36	149	1.7

Abbildung 9: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung in Arnfels/Poßruck, 150 m über Boden, Oktober 1994 bis April 1995

Arnfels / Poßruck Oktober 1994 – April 1995

Windrichtung 150 m

Calme bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s



Klasse	Anz.Werte	%
0	92	1.1
1	100	1.2
2	81	1.0
3	59	0.7
4	54	0.6
5	50	0.6
6	64	0.8
7	68	0.8
8	58	0.7
9	65	0.8
10	98	1.2
11	122	1.4
12	158	1.9
13	218	2.6
14	194	2.3
15	200	2.3
16	200	2.3
17	223	2.6
18	221	2.6
19	278	3.3
20	381	4.5
21	611	7.2
22	1053	12.4
23	1084	12.7
24	610	7.2
25	425	5.0
26	262	3.1
27	198	2.3
28	154	1.8
29	130	1.5
30	110	1.3
31	107	1.3
32	131	1.5
33	141	1.7
34	179	2.1
35	174	2.0
36	162	1.9

Windstille (< 0.5 m/s): 92 Werte (1.1%)  
 Gueltig: 8515 Werte / Ausfall: 1661 Werte

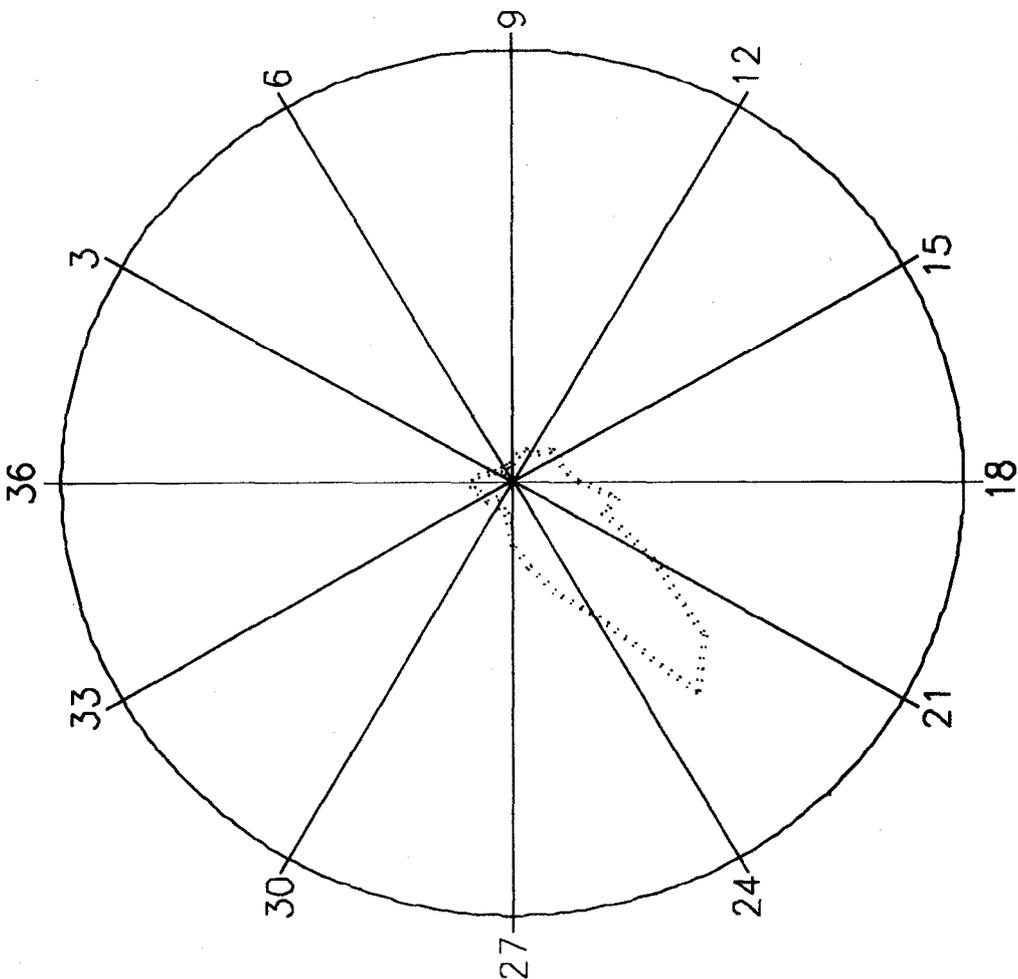
..... Windrichtungshaeufigkeit 20 %  
 Radius entspricht:

Abbildung 10: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung in Arnfels/Poßbruck, 200 m über Boden, Oktober 1994 bis April 1995

Arnfels / Poßbruck Oktober 1994 – April 1995

Windrichtung 200 m

Calme bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s



Radius entspricht:

..... Windrichtungshoefufigkeit 20 %

Klasse	Anz.Werte	%
0	66	0.8
1	121	1.5
2	91	1.2
3	73	0.9
4	39	0.5
5	61	0.8
6	55	0.7
7	60	0.8
8	63	0.8
9	68	0.9
10	97	1.2
11	124	1.6
12	118	1.5
13	138	1.8
14	182	2.3
15	188	2.4
16	180	2.3
17	198	2.5
18	230	2.9
19	369	4.7
20	336	4.3
21	563	7.2
22	872	11.1
23	997	12.7
24	549	7.0
25	424	5.4
26	314	4.0
27	234	3.0
28	125	1.6
29	109	1.4
30	82	1.0
31	82	1.0
32	117	1.5
33	116	1.5
34	124	1.6
35	144	1.8
36	139	1.8

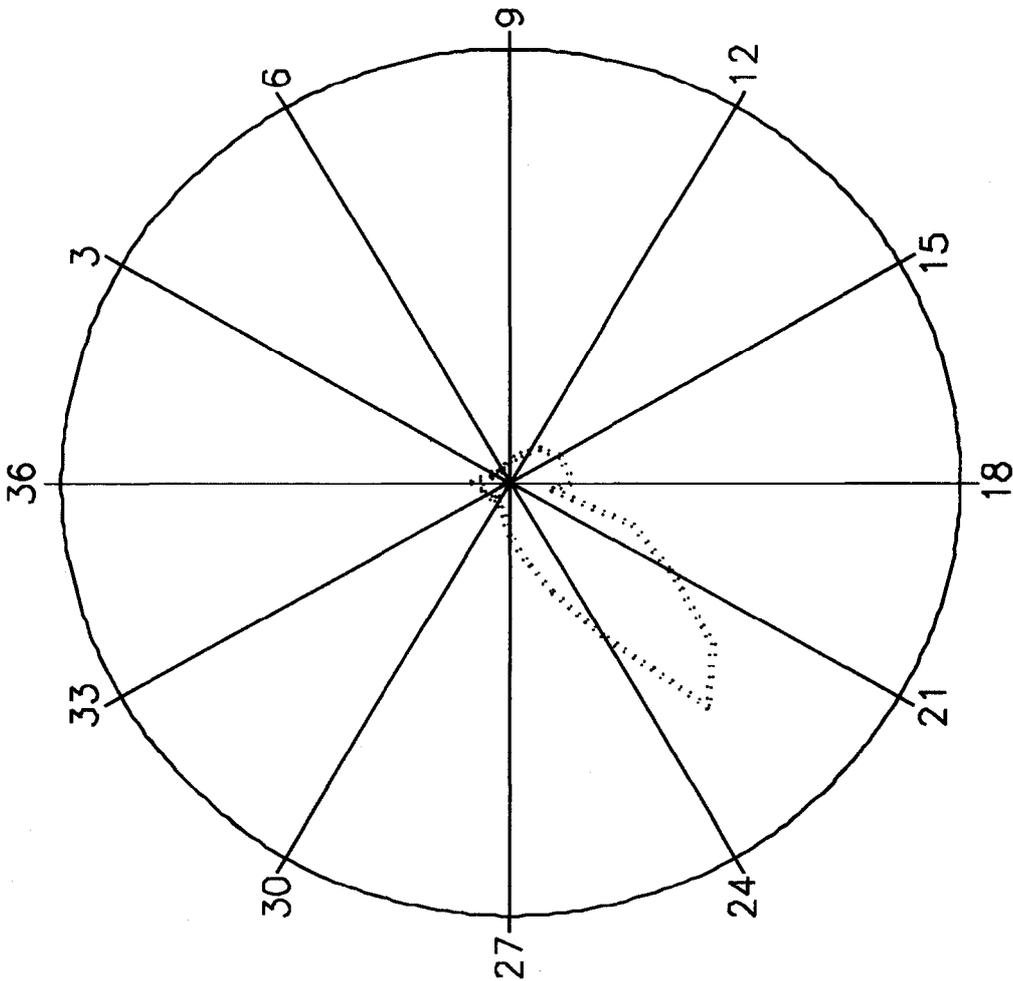
Windstille (< 0.5 m/s): 66 Werte (0.8%)  
Ausfall oder nicht gemessen: 2328 Werte

Abbildung 11: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung in Arnfels/Poßbruck, 250 m über Boden, Oktober 1994 bis April 1995

Arnfels / Poßbruck Oktober 1994 – Mai 1995

Windrichtung 250 m

Calme bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s



Klasse	Anz.Werte	%
0	31	0.5
1	86	1.4
2	54	0.9
3	63	1.0
4	49	0.8
5	43	0.7
6	45	0.7
7	57	0.9
8	54	0.9
9	68	1.1
10	72	1.1
11	87	1.4
12	104	1.6
13	132	2.1
14	139	2.2
15	161	2.5
16	161	2.5
17	169	2.7
18	170	2.7
19	120	1.9
20	368	5.8
21	517	8.2
22	744	11.8
23	867	13.7
24	523	8.3
25	359	5.4
26	230	3.6
27	157	2.5
28	101	1.6
29	78	1.2
30	55	0.9
31	63	1.0
32	70	1.1
33	76	1.2
34	81	1.3
35	77	1.2
36	108	1.7

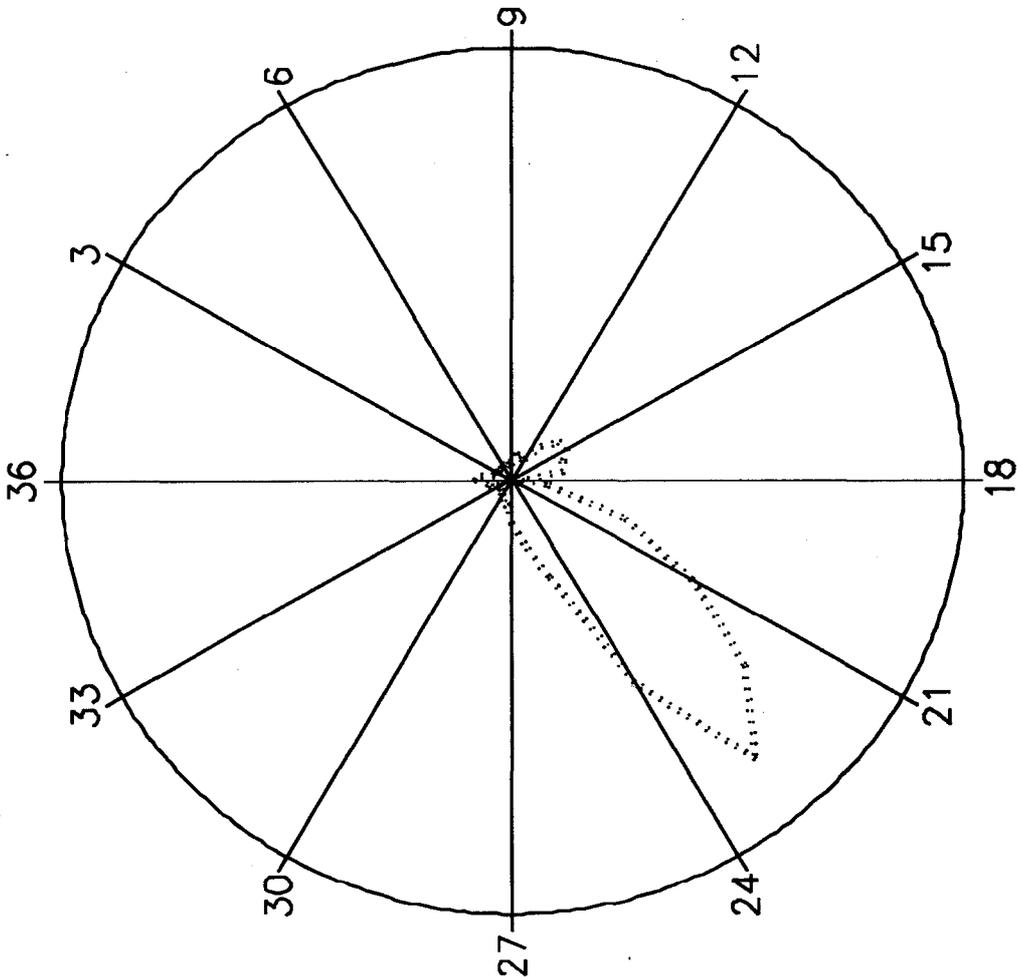
Windstille (< 0.5 m/s): 31 Werte (0.5%)  
Ausfall oder nicht gemessen: 5345 Werte

Abbildung 12: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung in Arnfels/Poßbruck, 300 m über Boden, Oktober 1994 bis April 1995

Arnfels / Poßbruck Oktober 1994 – Mai 1995

Windrichtung 300 m

Calme bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s



Radius entspricht:

..... Windrichtungshäufigkeit 20 %

Klasse	Anz.Werte	%
0	9	0.2
1	54	1.4
2	30	0.8
3	33	0.8
4	26	0.7
5	29	0.7
6	33	0.8
7	26	0.7
8	36	0.9
9	29	0.7
10	51	1.3
11	42	1.1
12	46	1.2
13	81	2.1
14	109	2.8
15	114	2.9
16	95	2.4
17	90	2.3
18	19	0.5
19	66	1.7
20	212	5.4
21	364	9.2
22	532	13.5
23	663	16.8
24	427	10.8
25	188	4.8
26	118	3.0
27	80	2.0
28	49	1.2
29	42	1.1
30	32	0.8
31	26	0.7
32	24	0.6
33	26	0.7
34	38	1.0
35	43	1.1
36	65	1.6

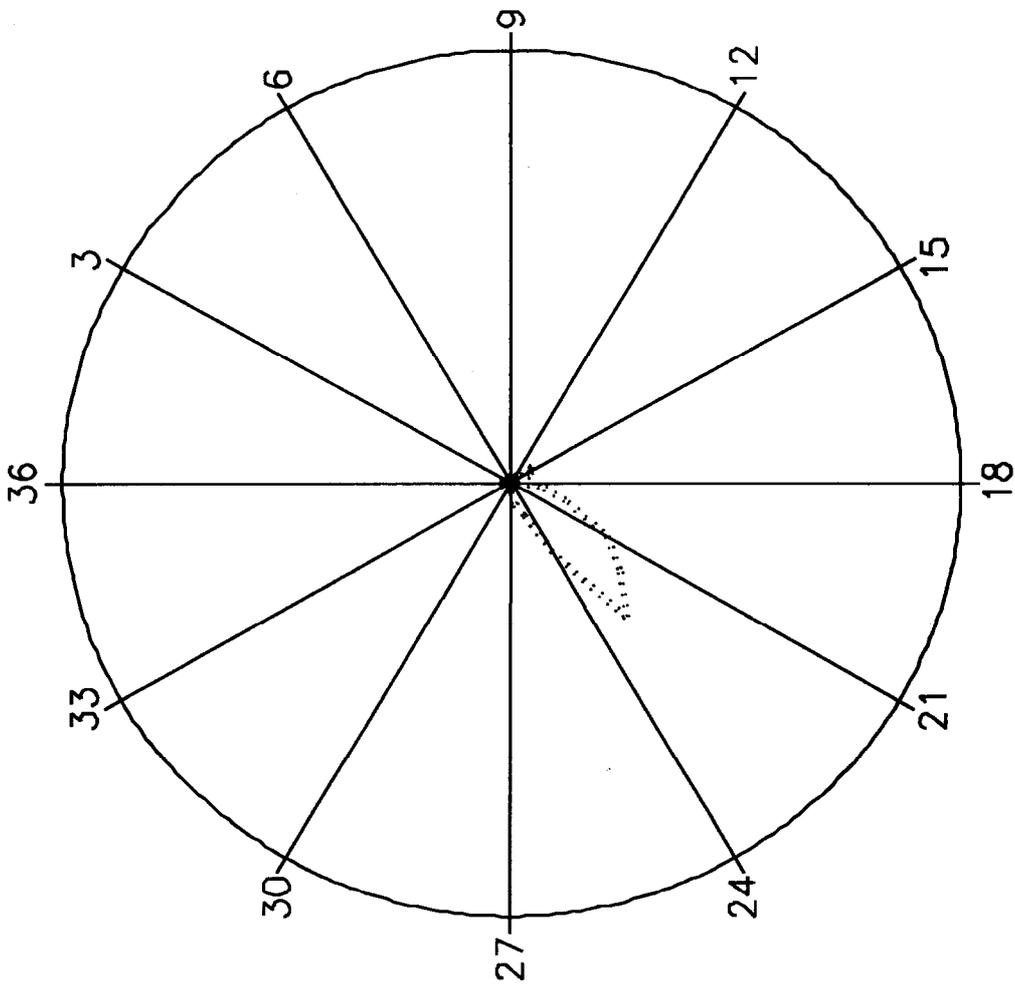
Windstille (< 0.5 m/s): 9 Werte (0.2%)  
Ausfall oder nicht gemessen: 7717 Werte

Abbildung 13: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung in Arnfels/Poßbruck, 350 m über Boden, Oktober 1994 bis April 1995

Arnfels / Poßbruck Oktober 1994 – Mai 1995

Windrichtung 350 m

Calme bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s



Klasse	Anz.Werte	%
0	4	0.2
1	19	0.8
2	13	0.6
3	12	0.5
4	14	0.6
5	22	1.0
6	14	0.6
7	9	0.4
8	12	0.5
9	12	0.5
10	13	0.6
11	25	1.1
12	21	0.9
13	37	1.6
14	64	2.8
15	56	2.5
16	48	2.1
17	5	0.2
18	14	0.6
19	87	3.8
20	155	6.8
21	282	12.5
22	362	16.0
23	455	20.1
24	208	9.2
25	90	4.0
26	56	2.5
27	24	1.1
28	18	0.8
29	12	0.5
30	13	0.6
31	12	0.5
32	7	0.3
33	16	0.7
34	9	0.4
35	21	0.9
36	22	1.0

Windstille (< 0.5 m/s): 4 Werte (0.2%)  
Ausfall oder nicht gemessen: 9401 Werte

..... Windrichtungshäufigkeit 50 %  
Radius entspricht:

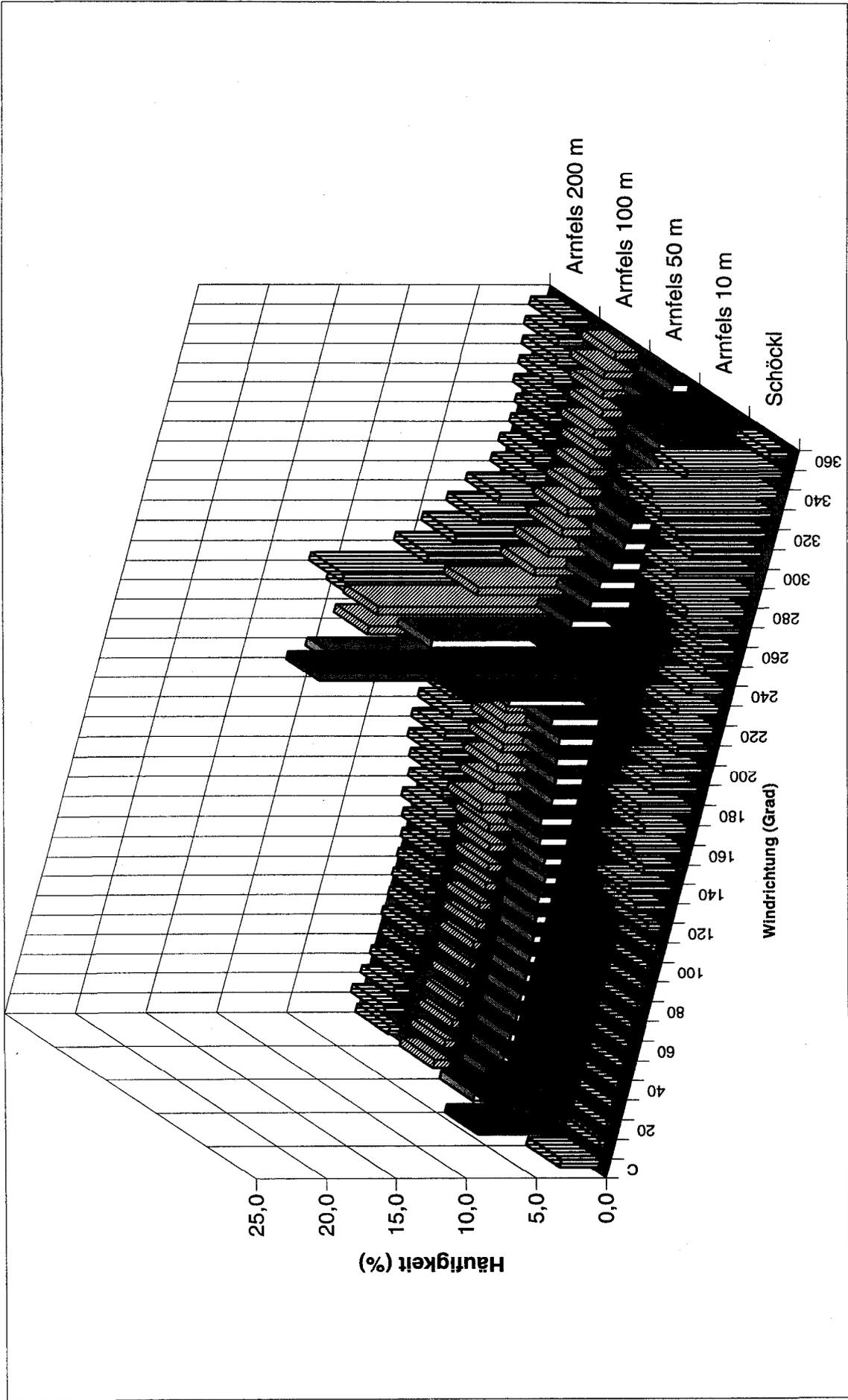


Abb. 14. Häufigkeitsverteilung der Windrichtung in Arnfels und auf dem Schöckel

**Arnfels**  
**Mittlerer Tagesgang der Windrichtung für Strömungslagen nach Steinacker**  
**November 1992 - April 1995**

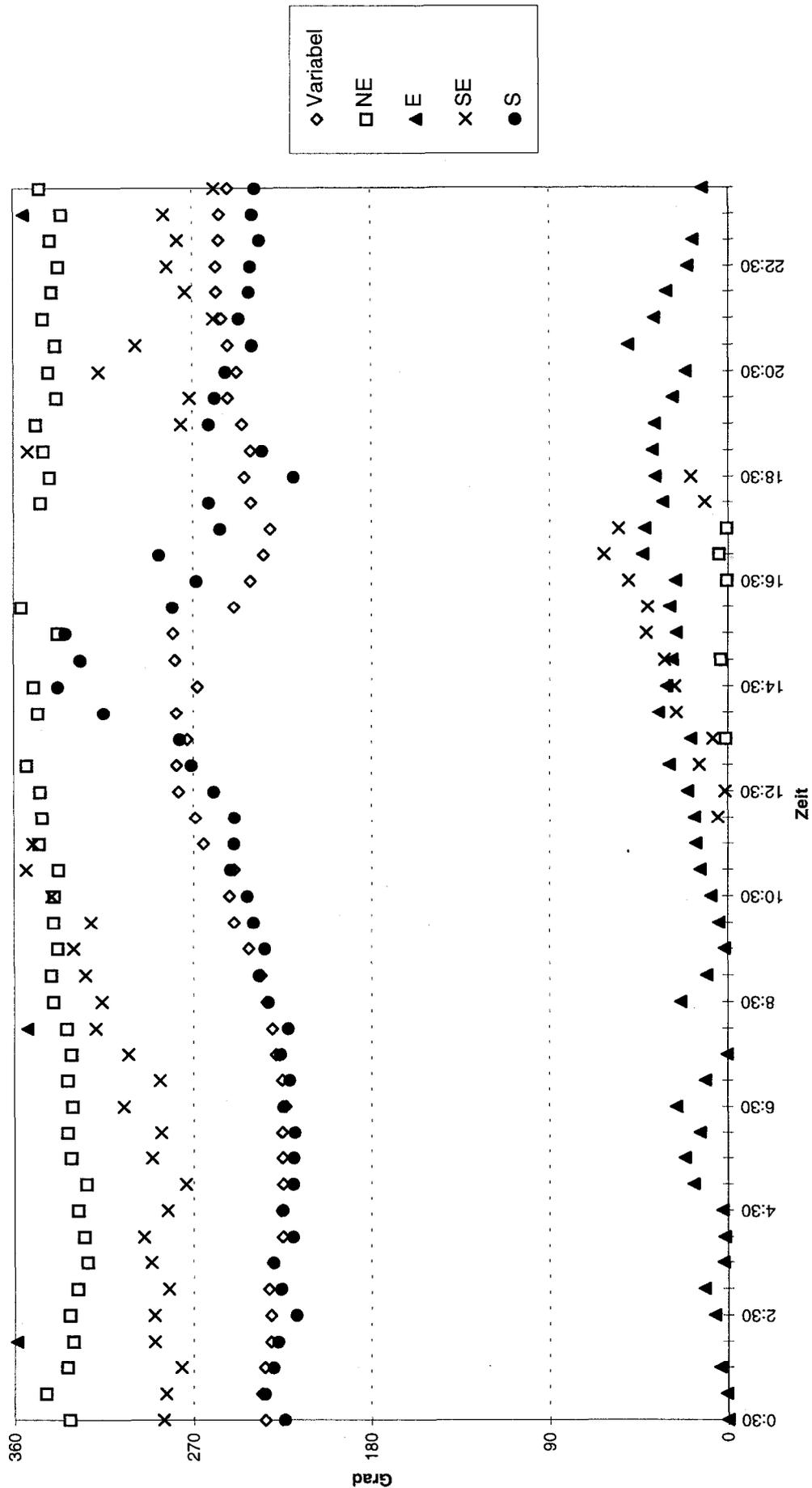


Abb. 15

**Arnfels**  
**Mittlerer Tagesgang der Windrichtung für Strömungslagen nach Steinacker**  
**November 1992 - April 1995**

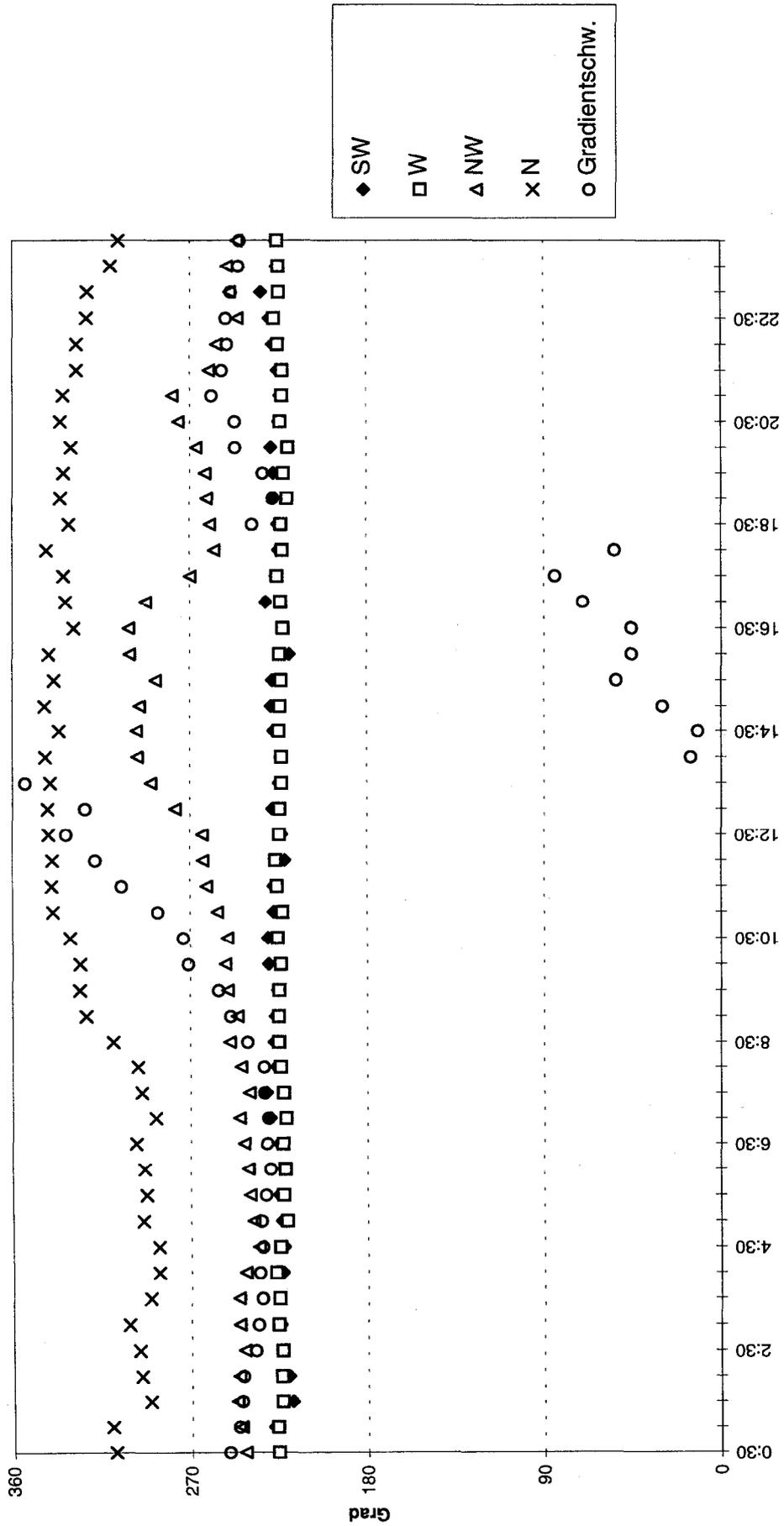


Abb. 16

Arnfels  
 Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit für Strömungslagen nach Steinacker, November 1992 - April 1995

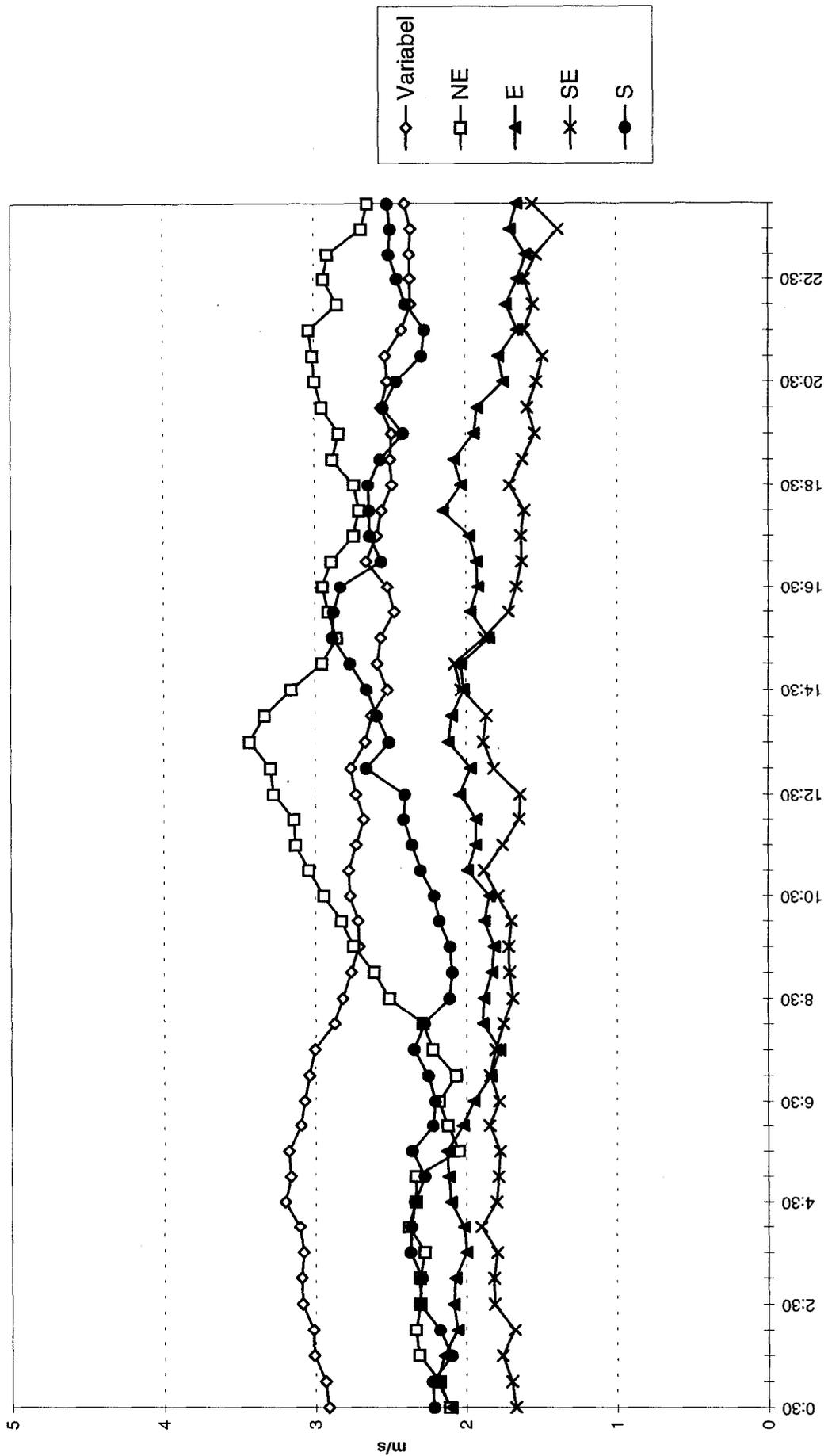


Abb. 17

Arnfels  
 Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit für Strömungslagen nach Steinacker, November 1992 - April 1995

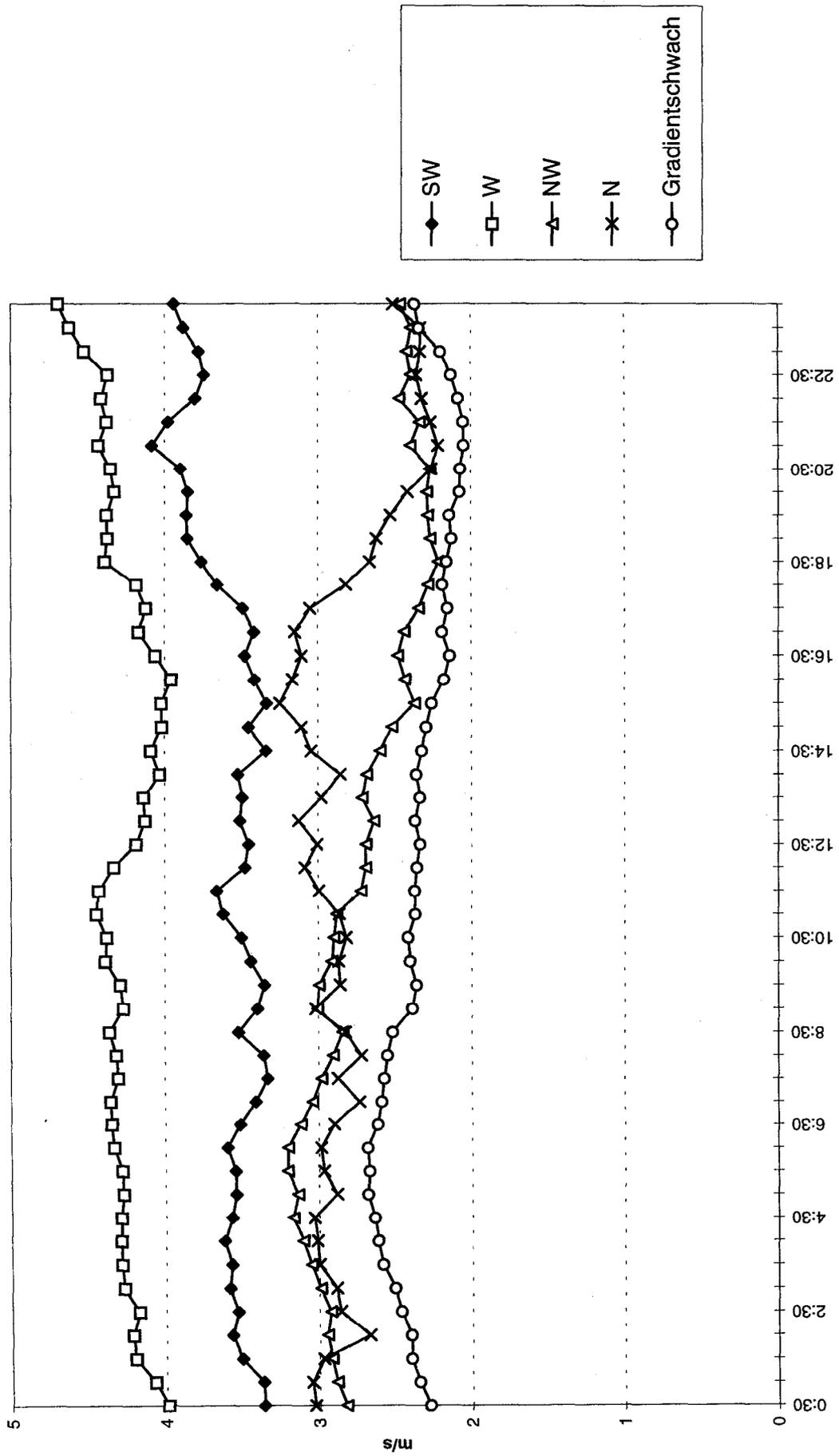


Abb. 18

**Arnfels**  
**Mittlerer Tagesgang der Windrichtung, Variable Lagen**  
**Oktober 1994 -April 1995**

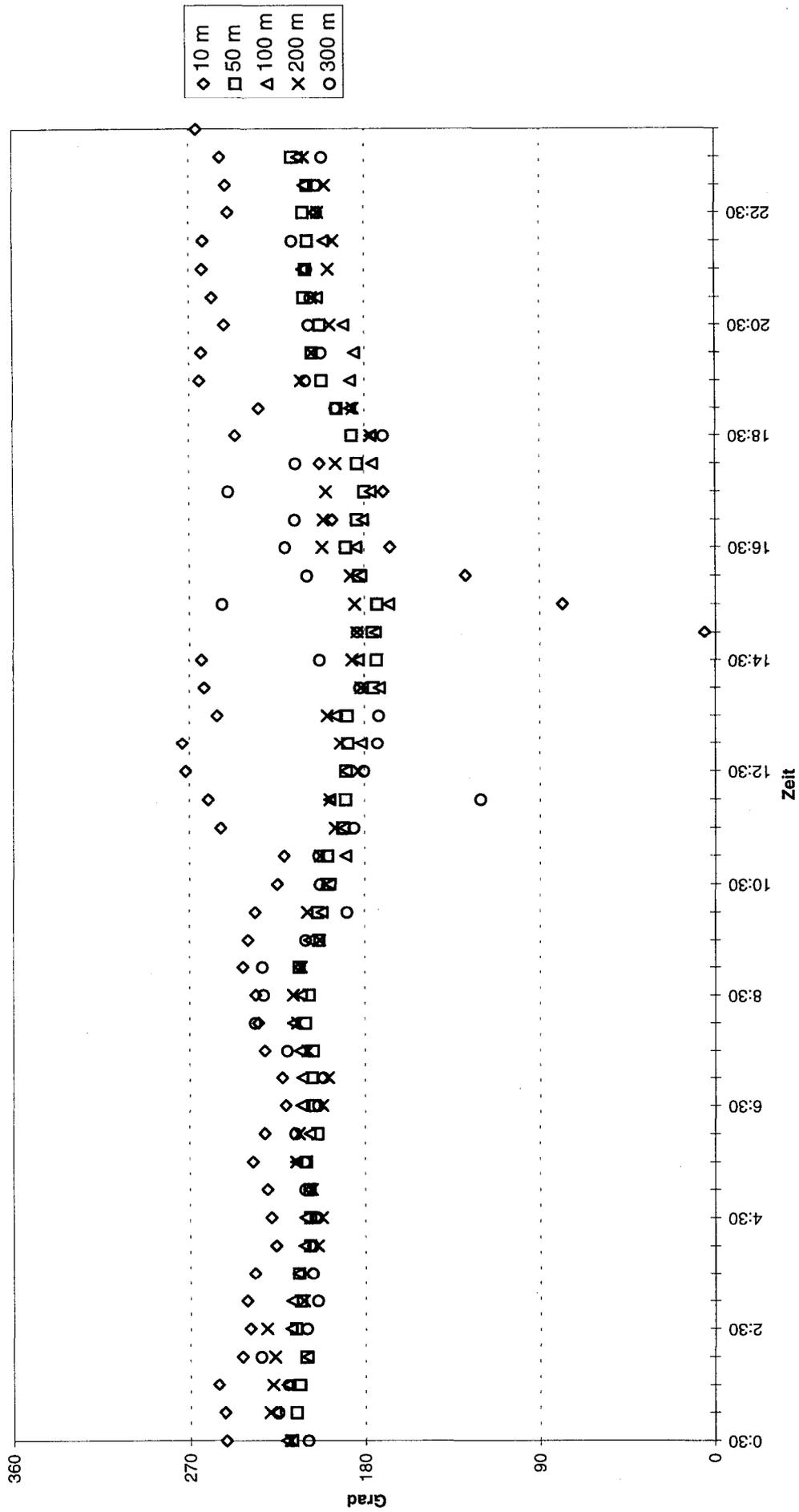
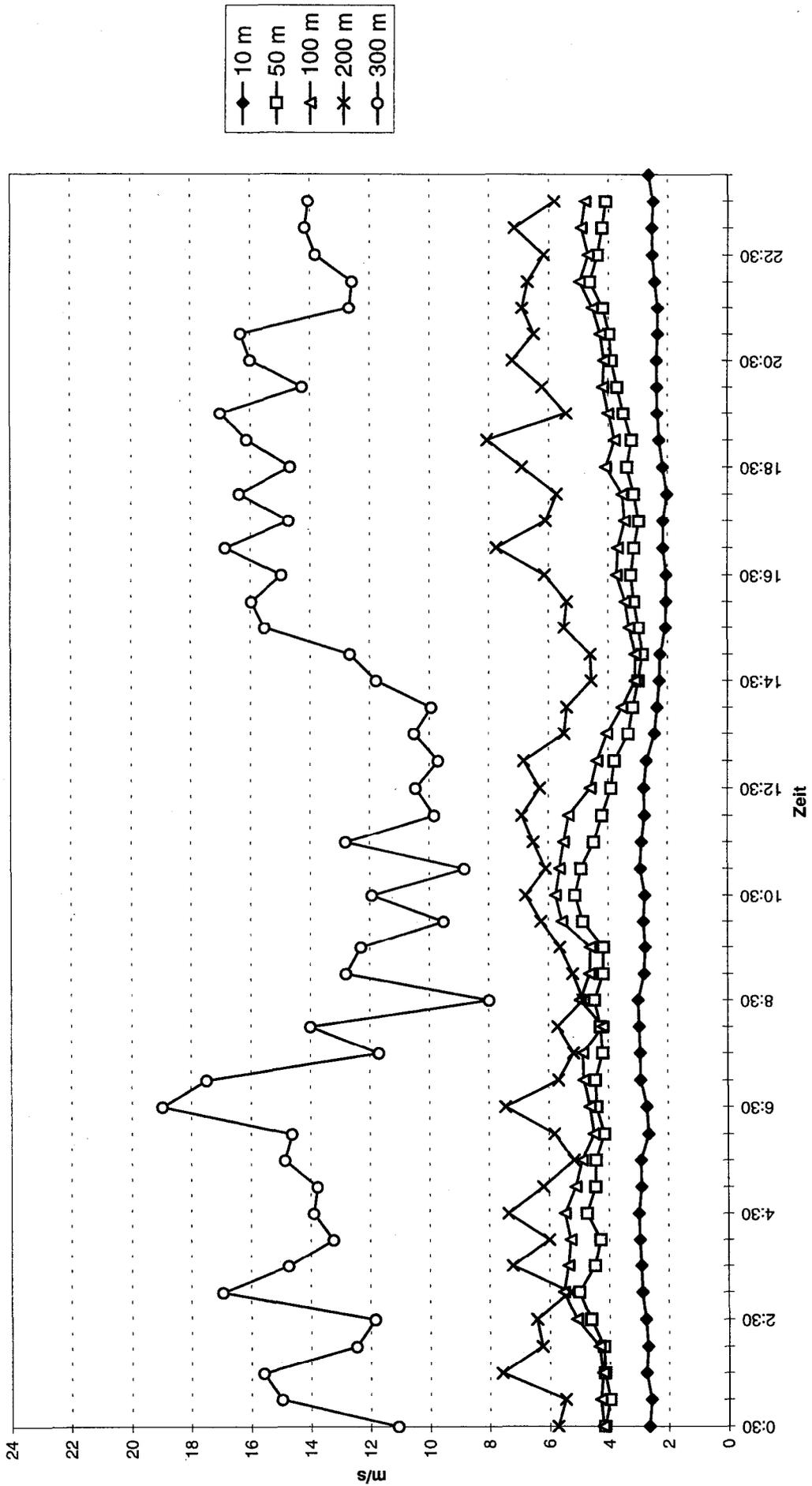


Abb. 19

**Armfels**  
**Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit bei Variablen Lagen, Oktober 1994 - April 1995**



**Armfels**  
**Mittlerer Tagesgang der Windrichtung bei gradientenschwachen Lagen**  
**Oktober 1994 - April 1995**

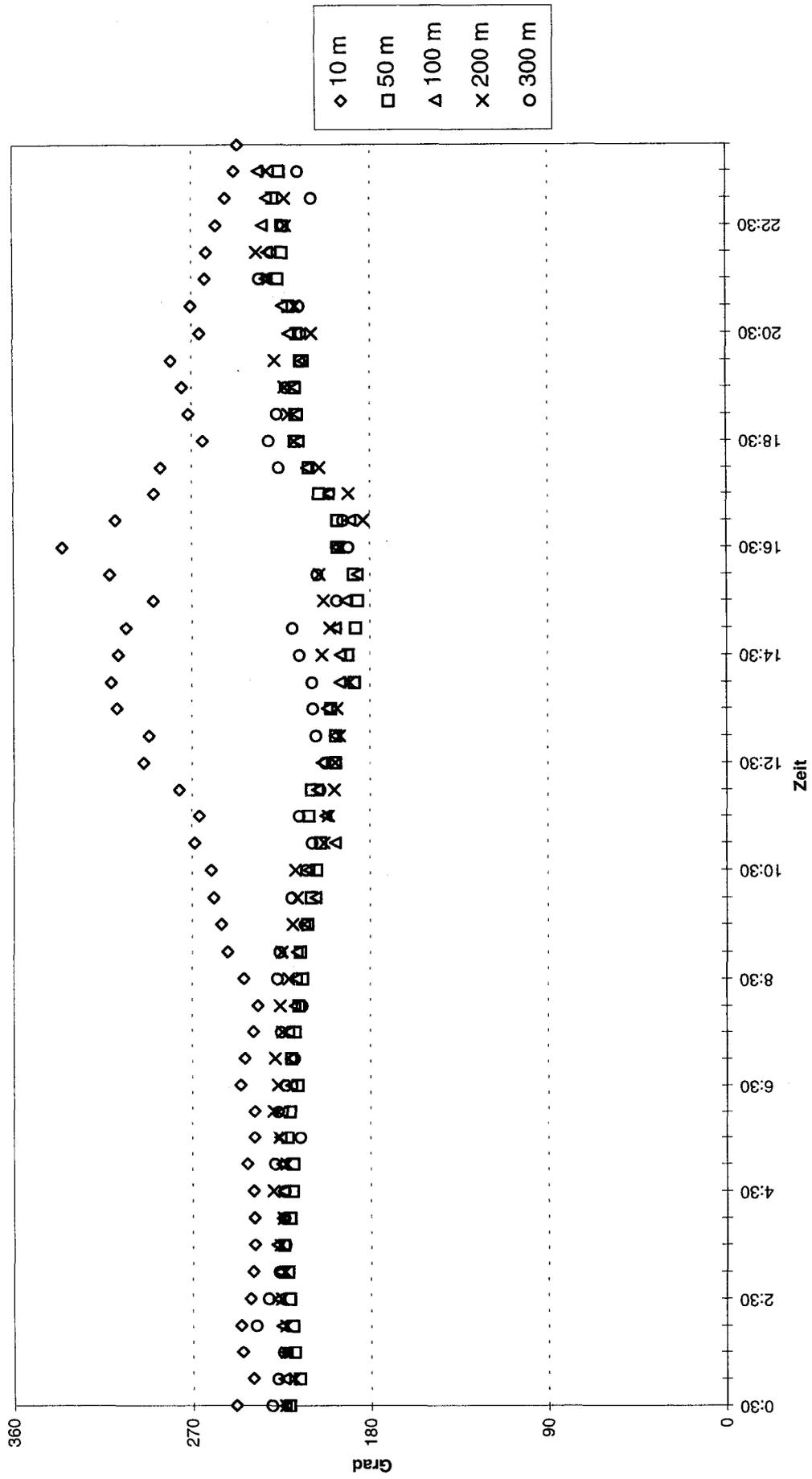


Abb. 21

**Arnfels**  
**Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit bei Gradientenschwachen Lagen**  
**Oktober 1994 - April 1995**

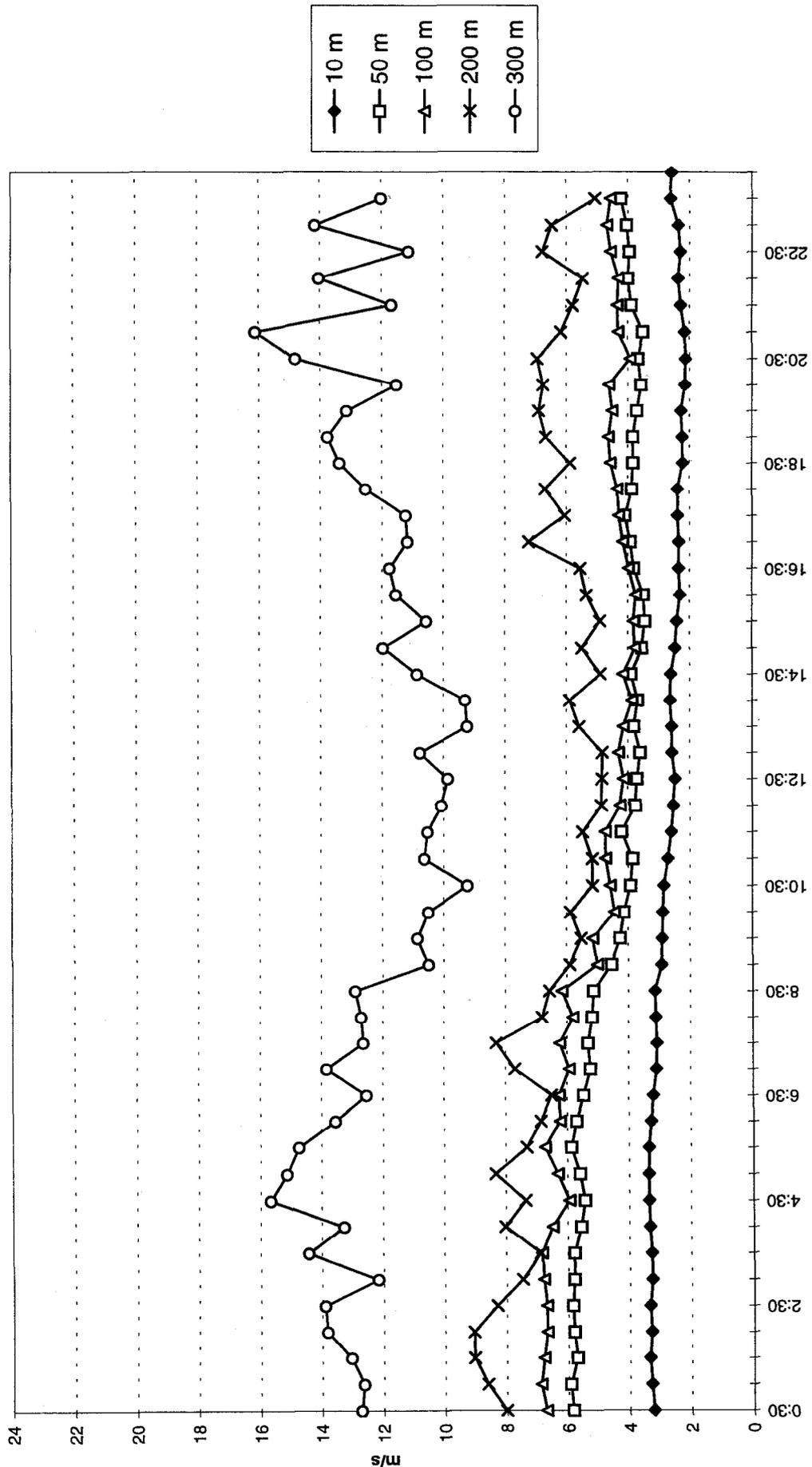
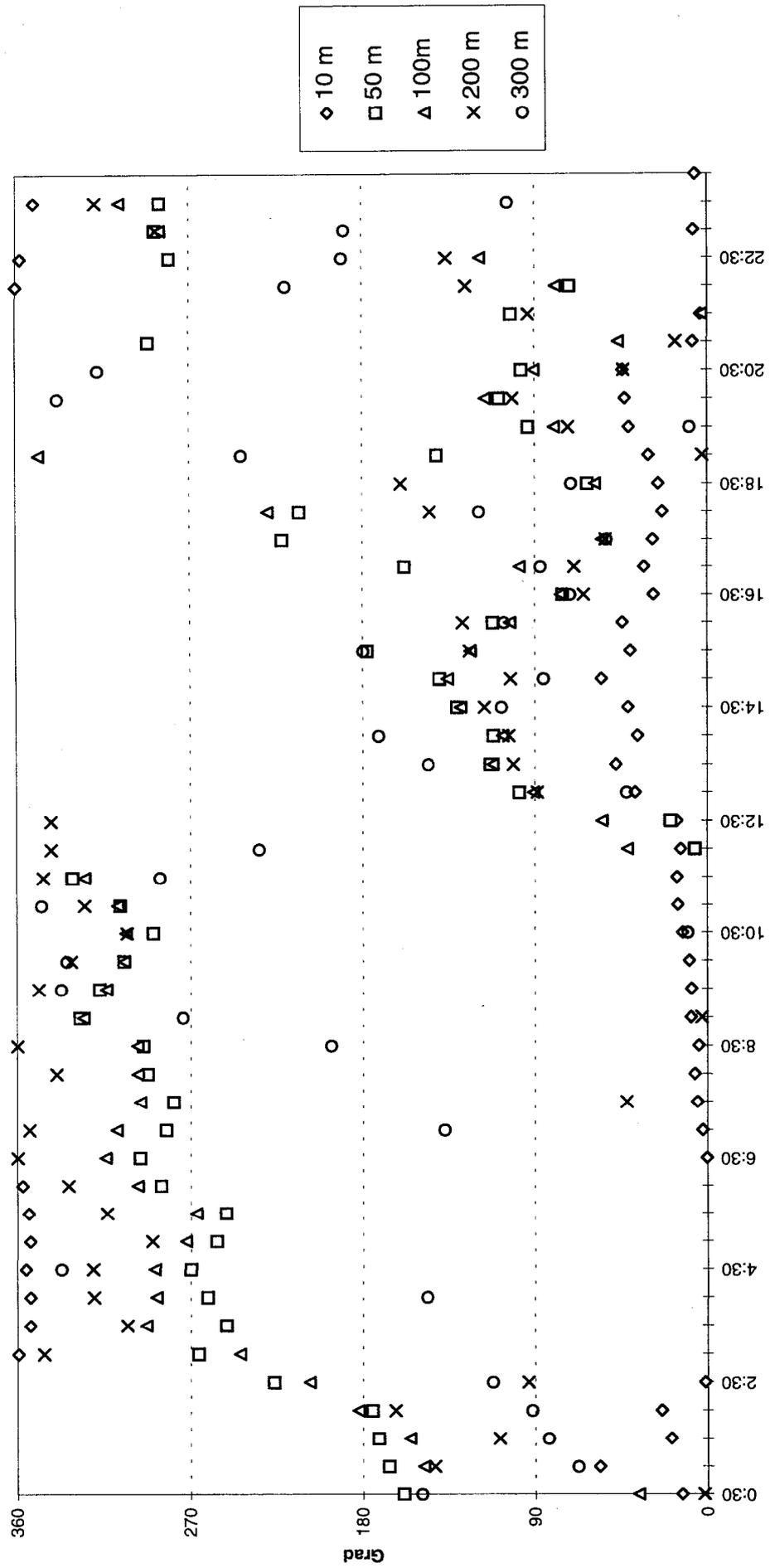


Abb. 22

**Arnfels**  
**Mittlerer Tagesgang der Windrichtung bei Nordostlagen**  
**Oktober 1994 bis April 1995**



**Armfels**  
**Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit bei Nordostlagen, Oktober 1994 -April 1995**

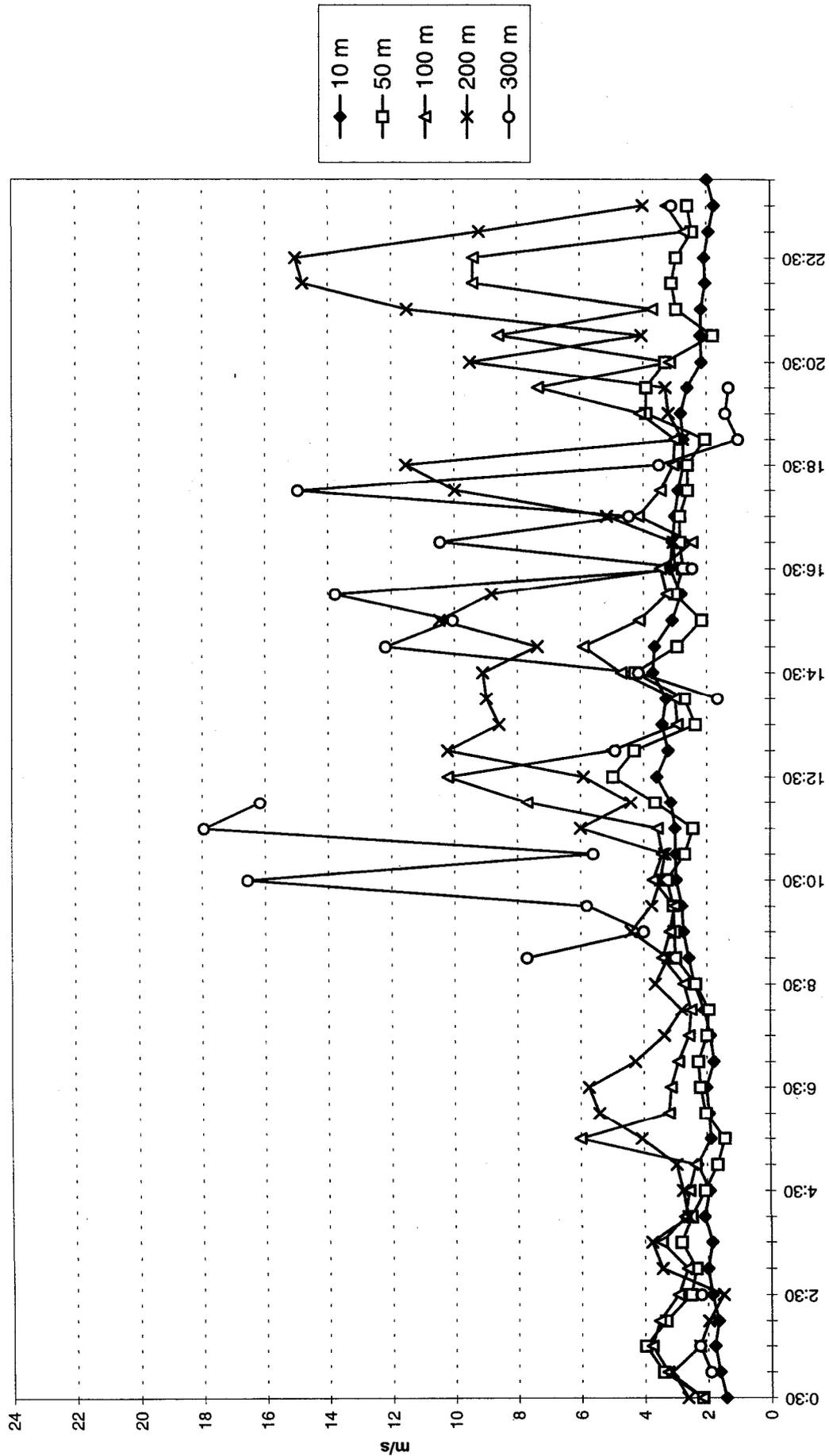


Abb. 24

Arnfels  
 Mittlerer Tagesgang der Windrichtung bei Ostlagen  
 Oktober 1994 bis April 1995

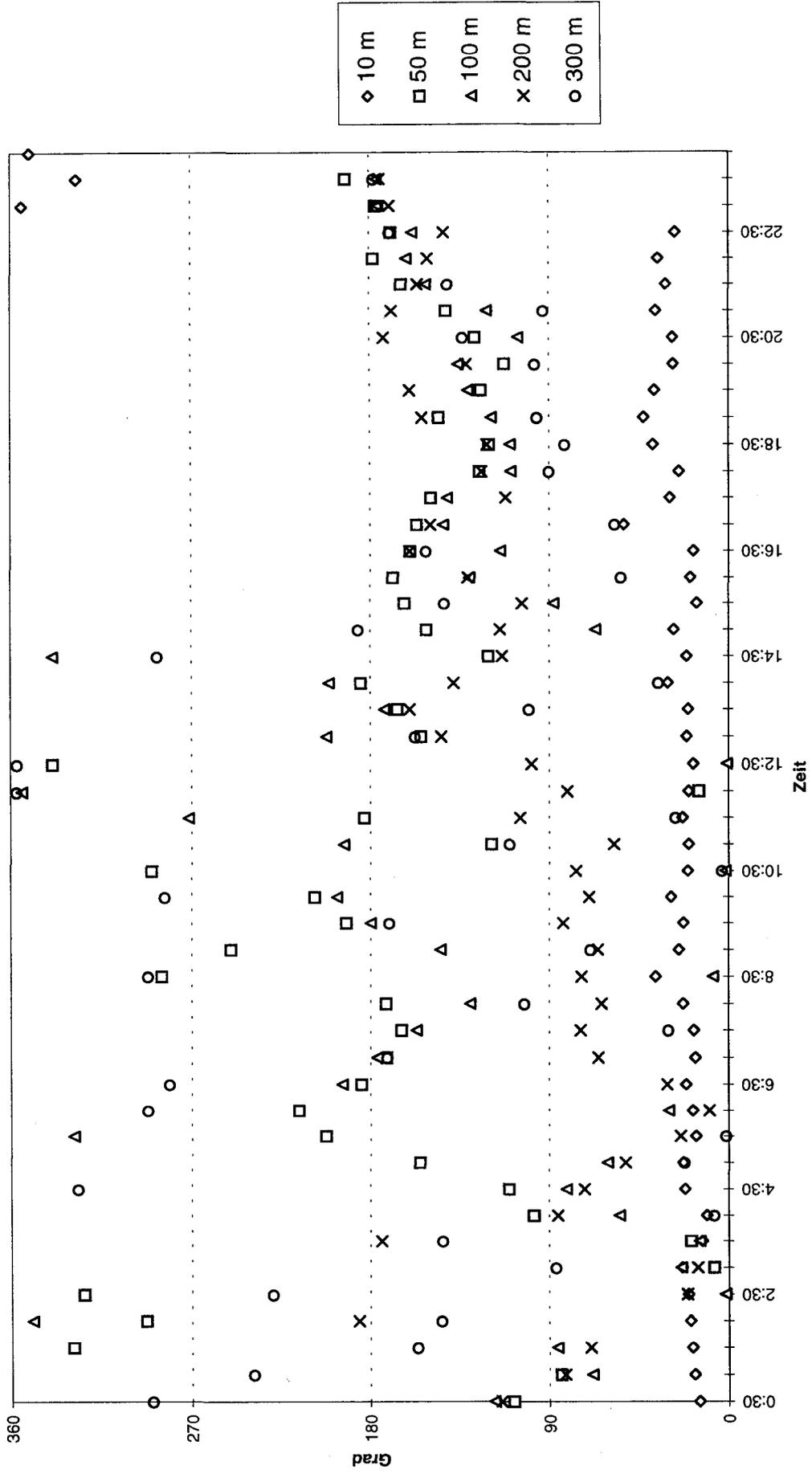
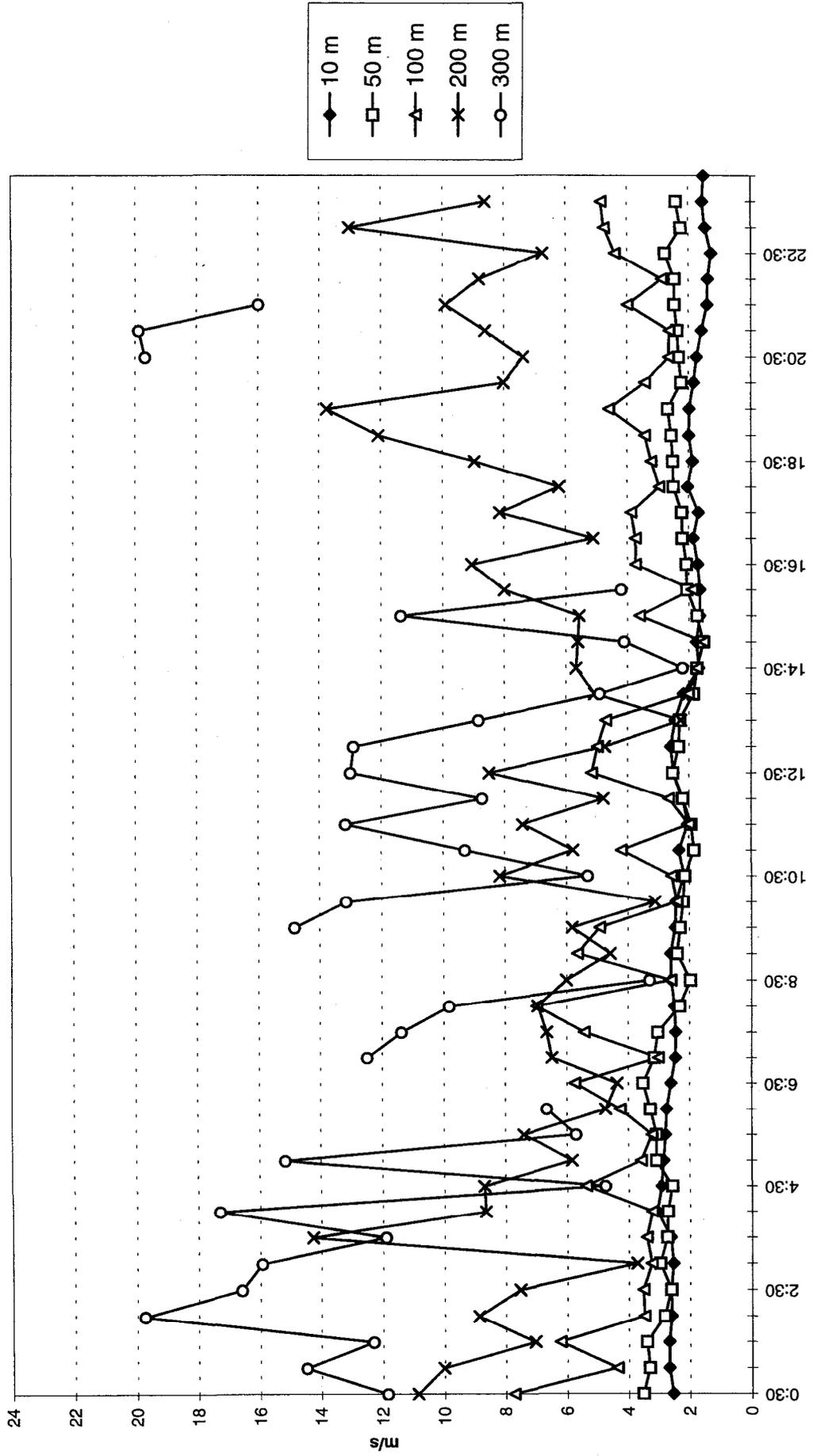


Abb. 25

**Arrfels**  
**Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit bei Ostlagen**  
**Oktober 1994 - April 1995**



**Arnfels**  
**Mittlerer Tagesgang der Windrichtung bei Südostlagen**  
**Oktober 1994 - April 1995**

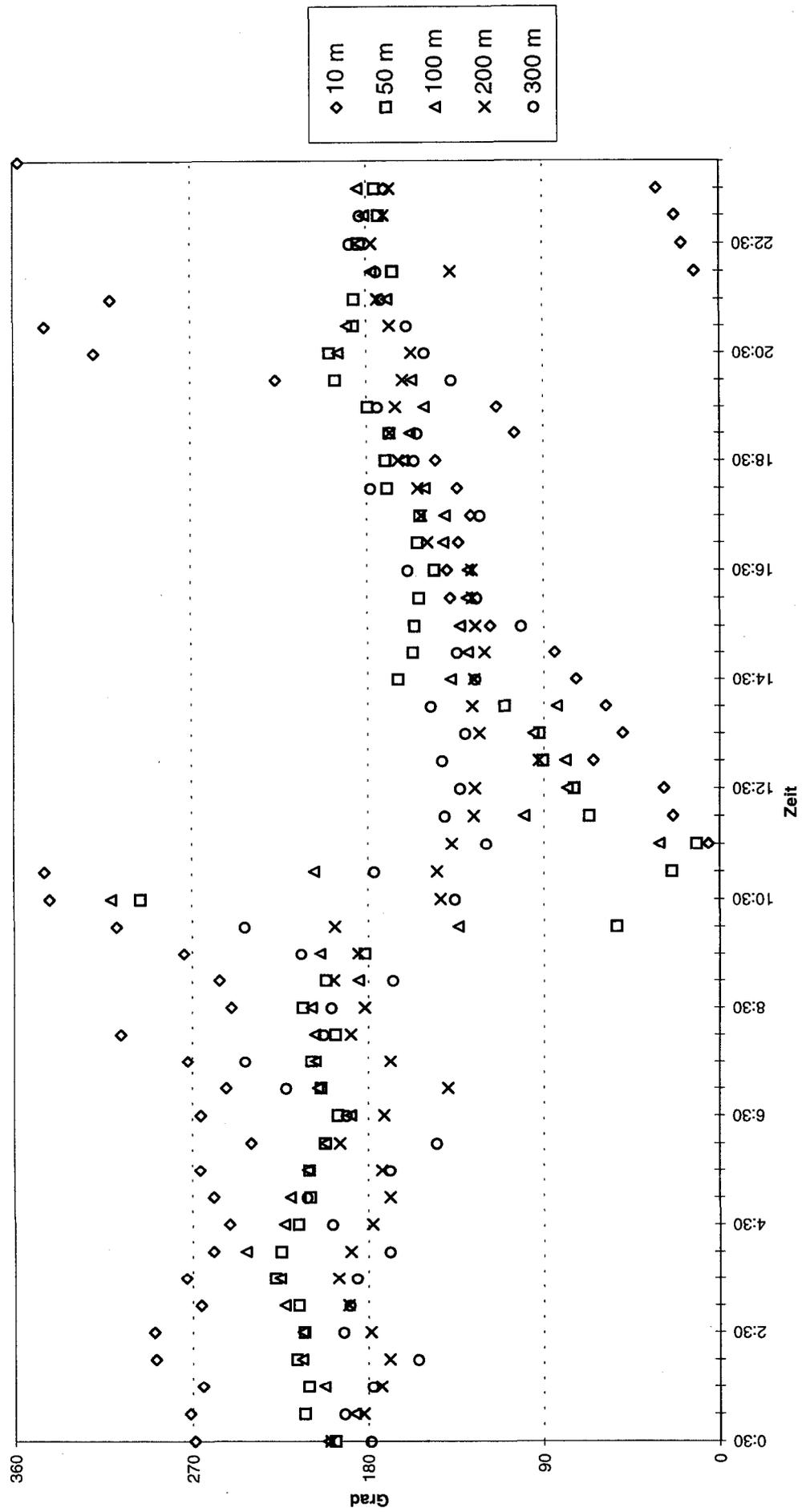
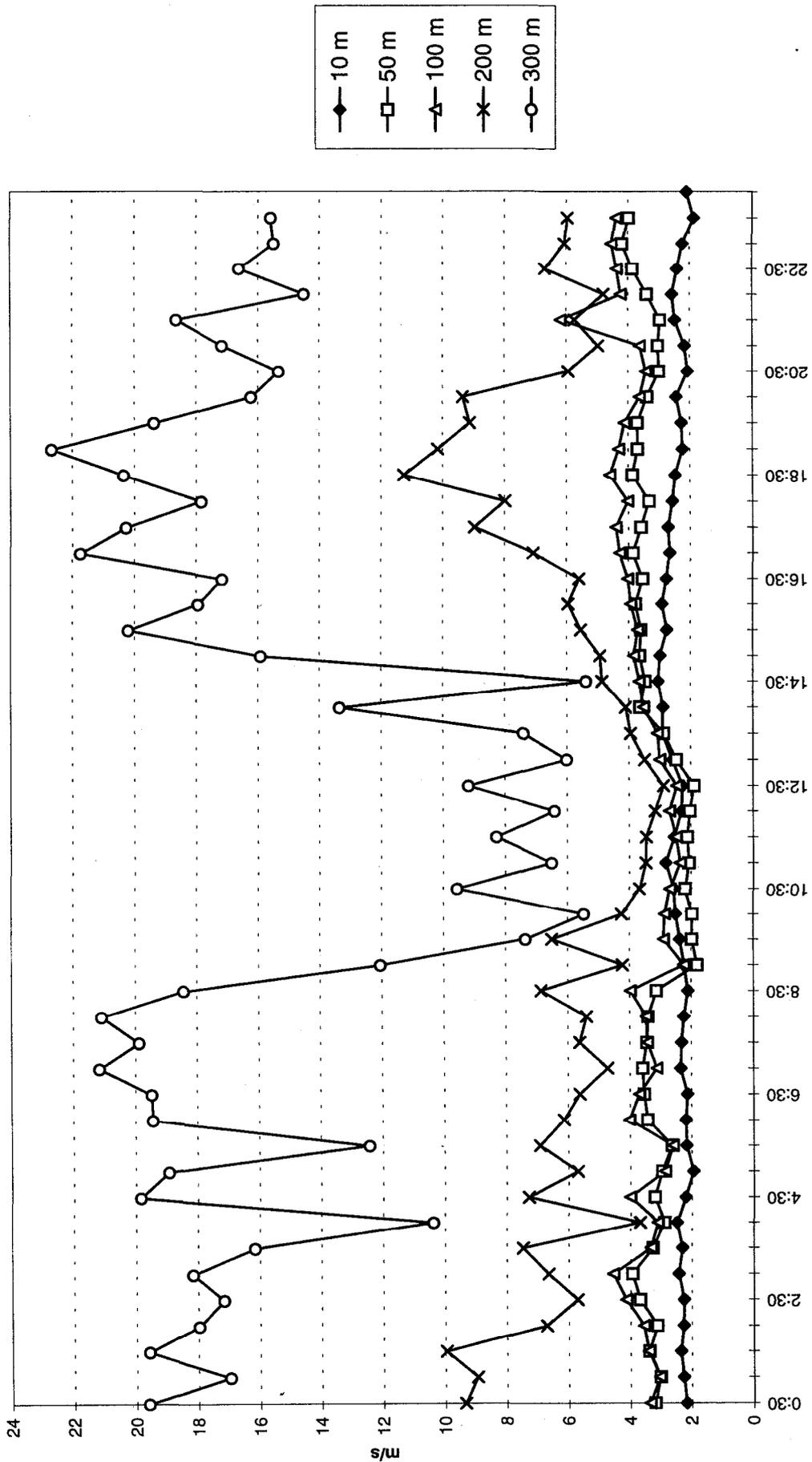


Abb. 27

Arnfels  
 Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit bei Südostlagen  
 Oktober 1994 - April 1995



**Arnfels**  
**Mittlerer Tagesgang der Windrichtung bei Südlagen**  
**Oktober 1994 - April 1995**

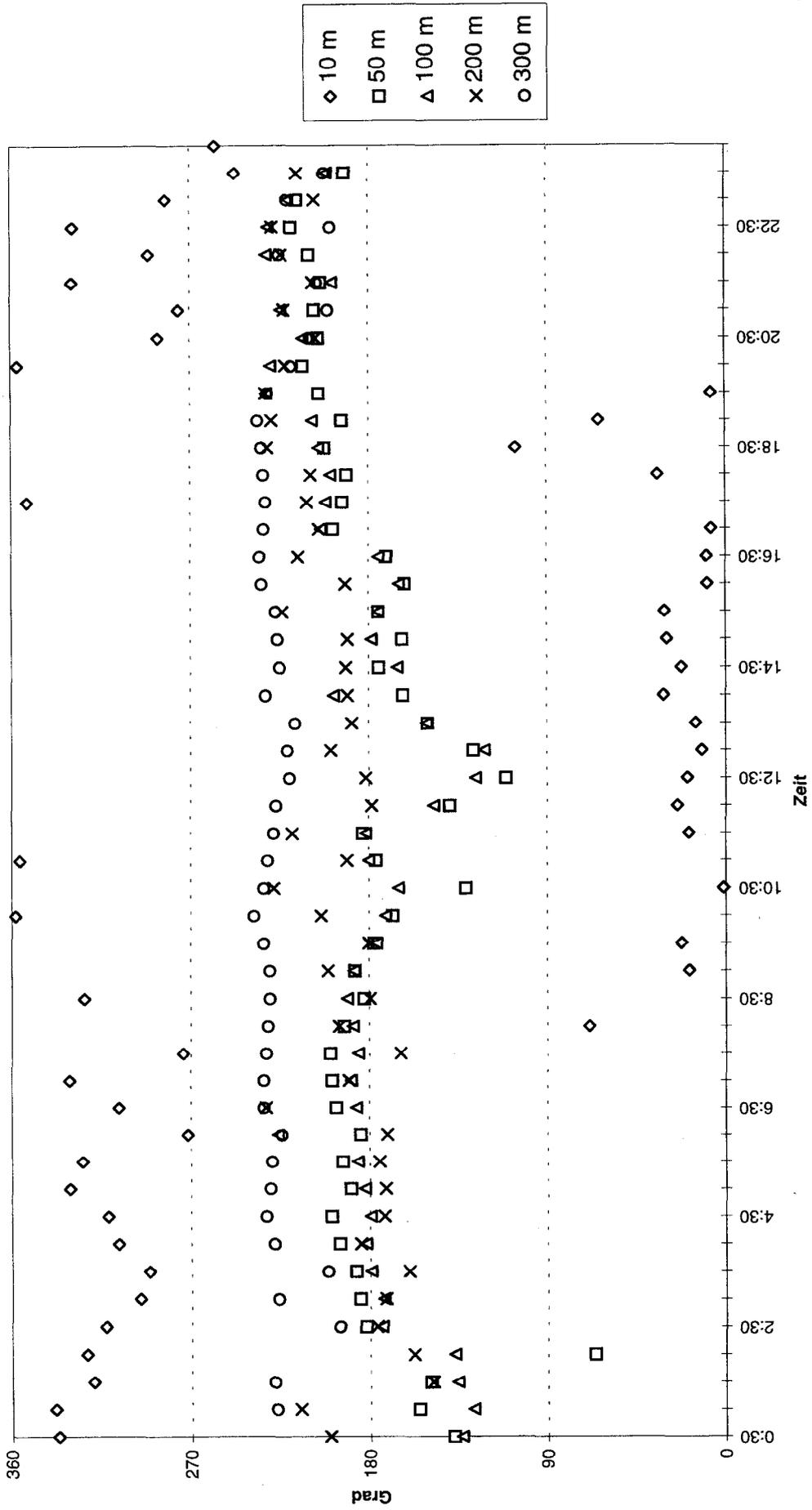


Abb. 29

**Arnfels**  
**Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit bei Südlagen**  
**Oktober 1994 - April 1995**

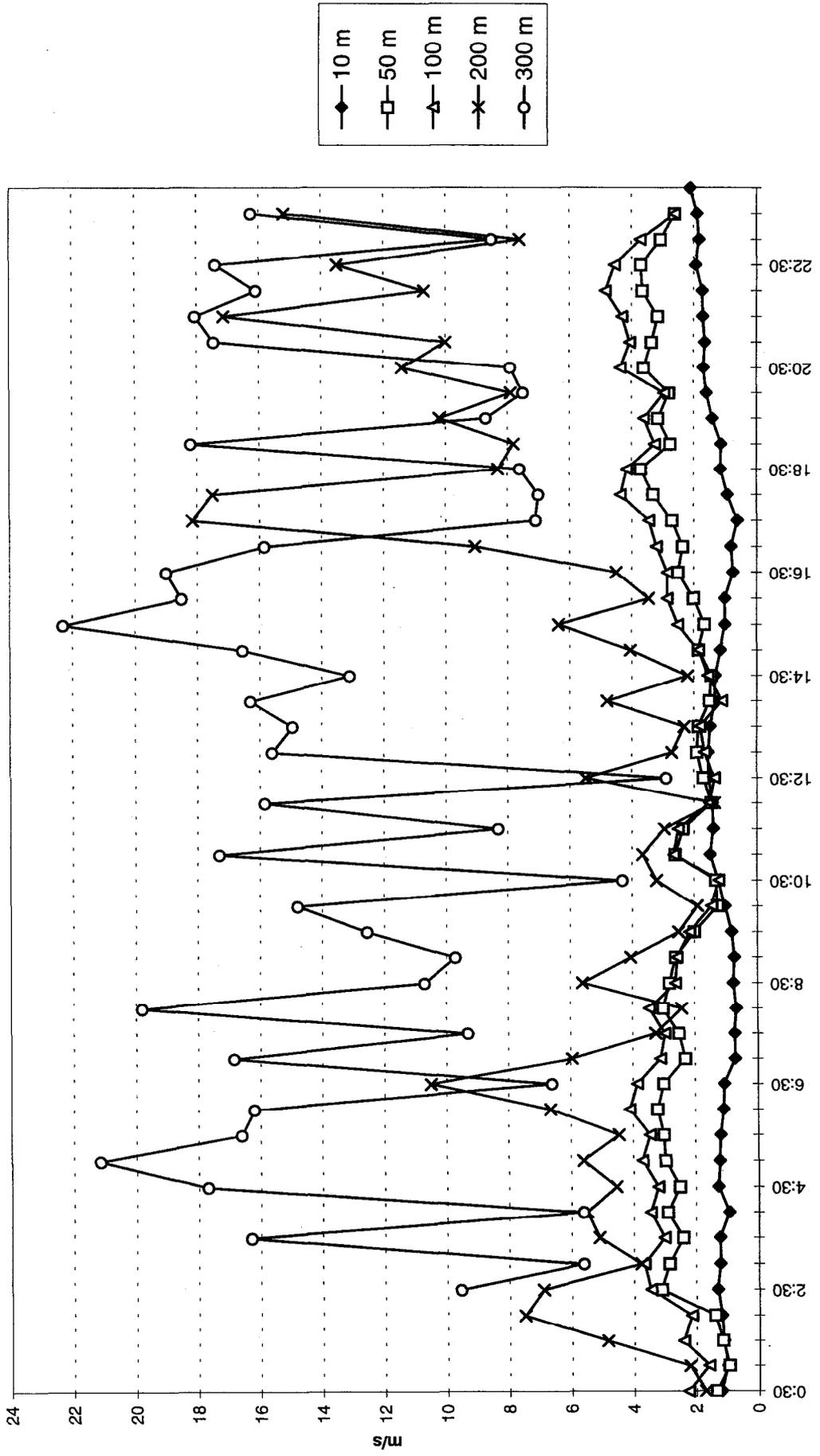


Abb. 30

**Armfels**  
**Mittlerer Tagesgang der Windrichtung bei Südwestlagen**  
**Oktober 1994 - April 1995**

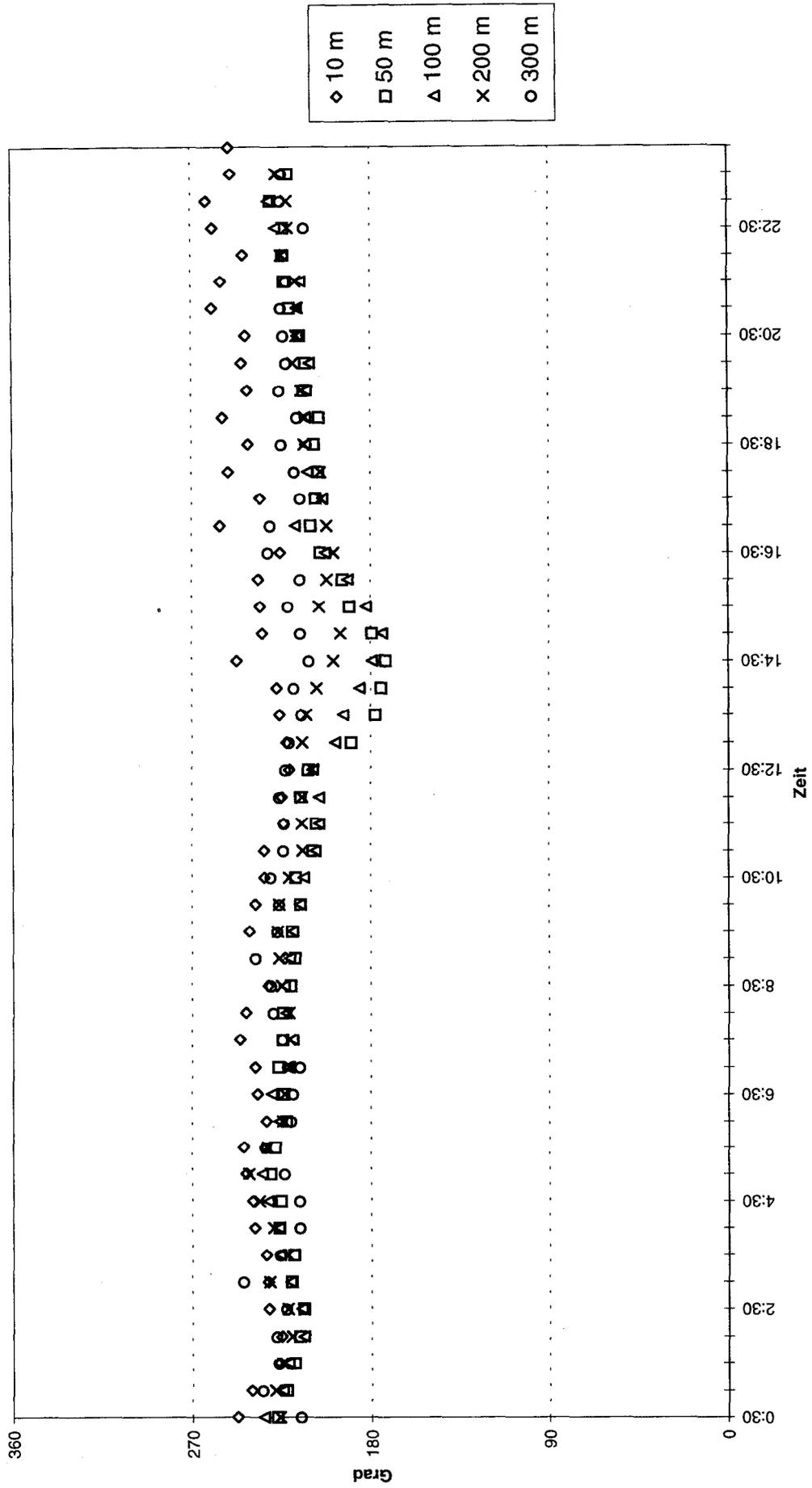
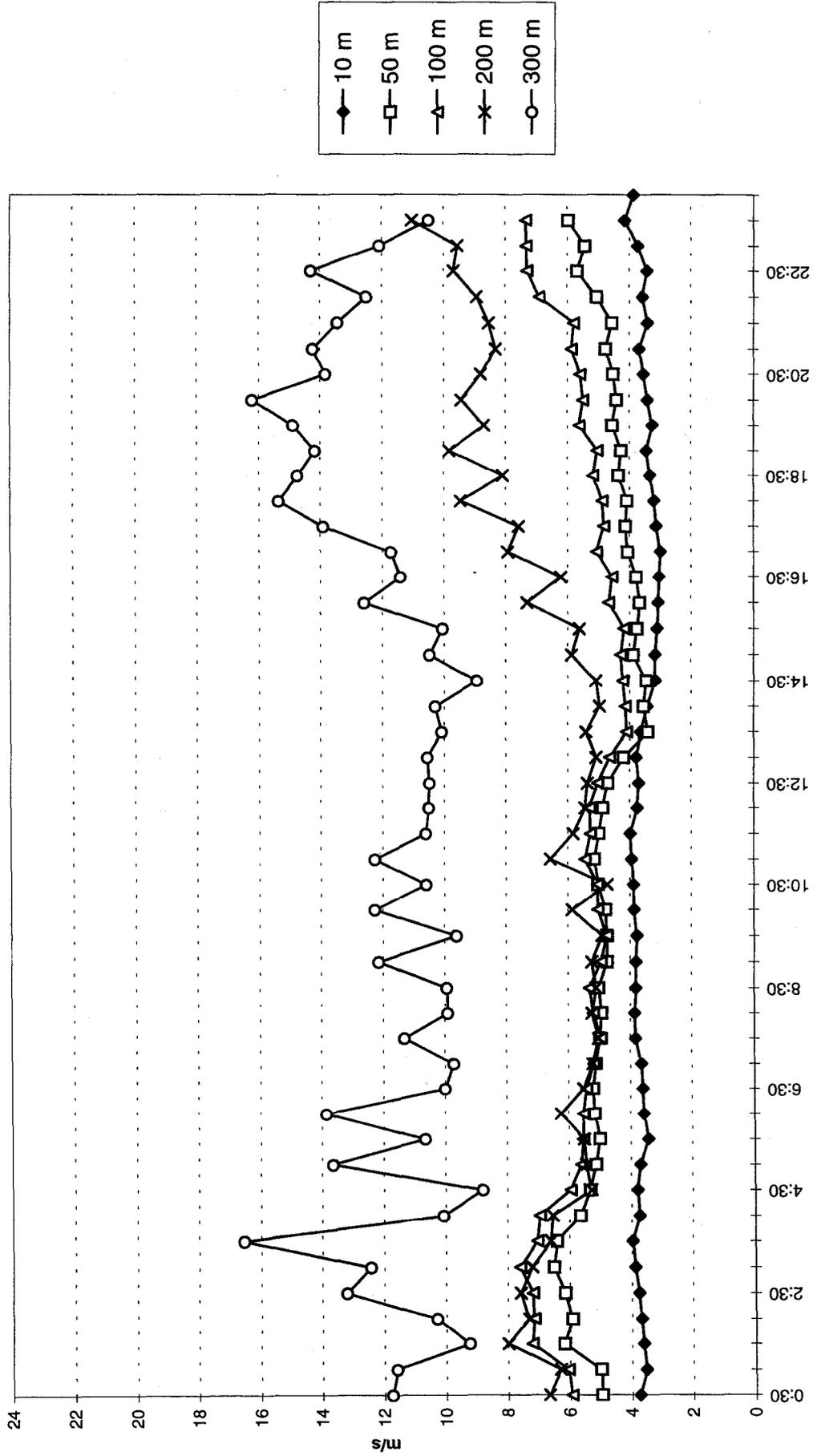


Abb. 31

**Arnfels**  
**Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit bei Südwestlagen**  
**Oktober 1994 - April 1995**



**Arnfels**  
**Mittlerer Tagesgang der Windrichtung bei Westlagen**  
**Oktober 1994 - April 1995**

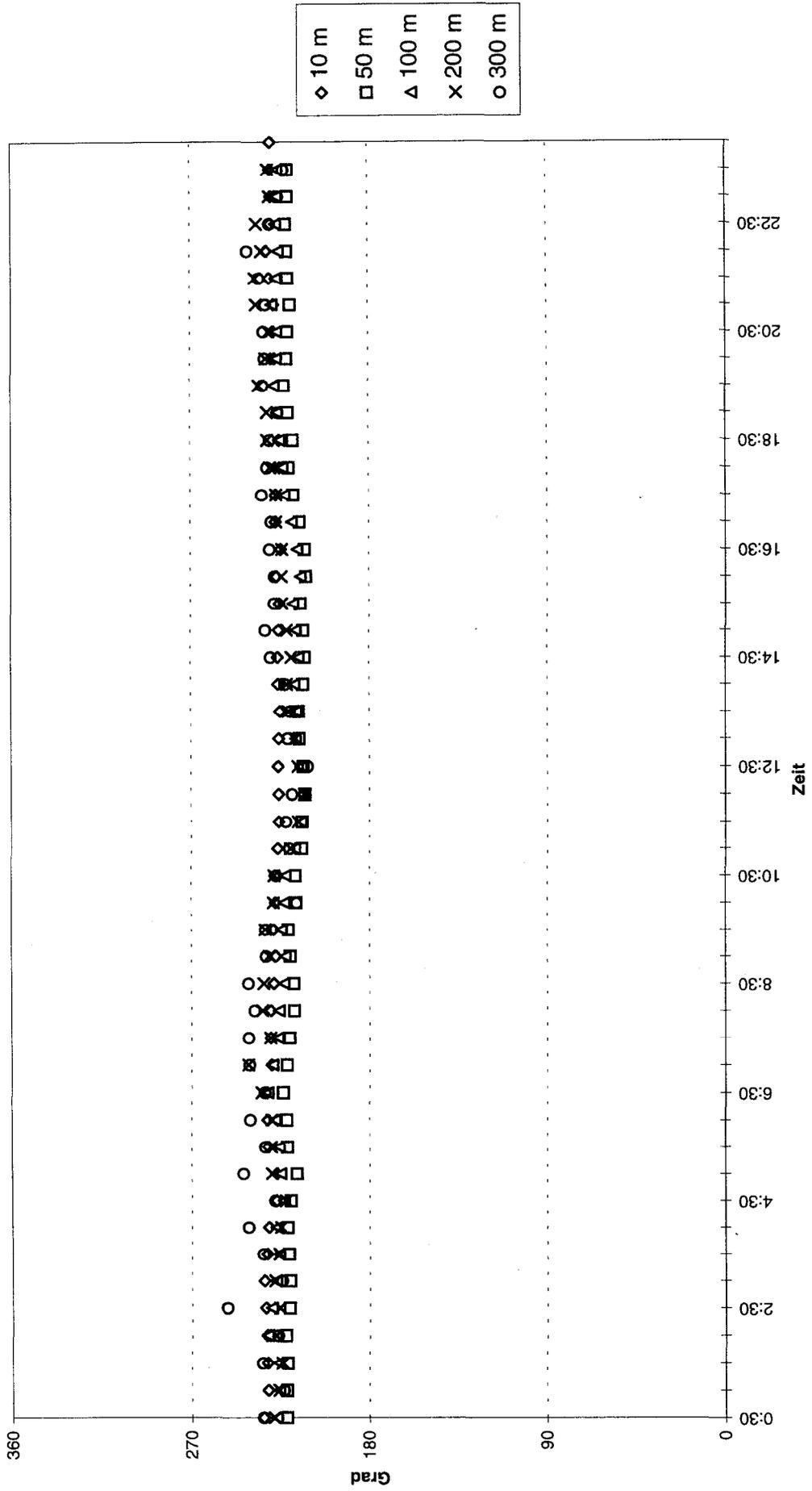


Abb. 33

**Armfels**  
**Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit bei Westlagen**  
**Oktober 1994 - April 1995**

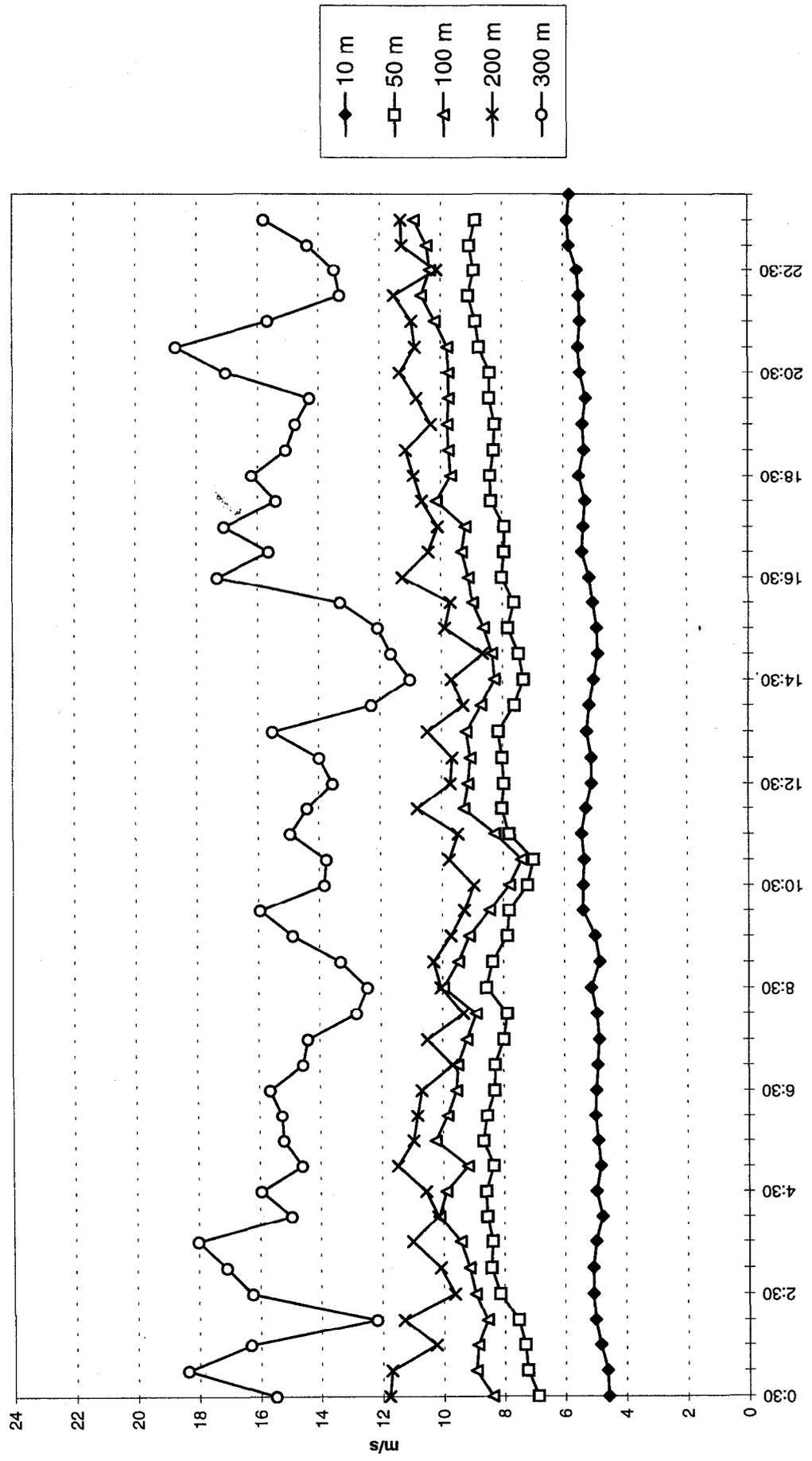


Abb. 34

**Arnfels**  
**Mittlerer Tagesgang der Windrichtung bei Nordwestlagen**  
**Oktober 1994 - April 1995**

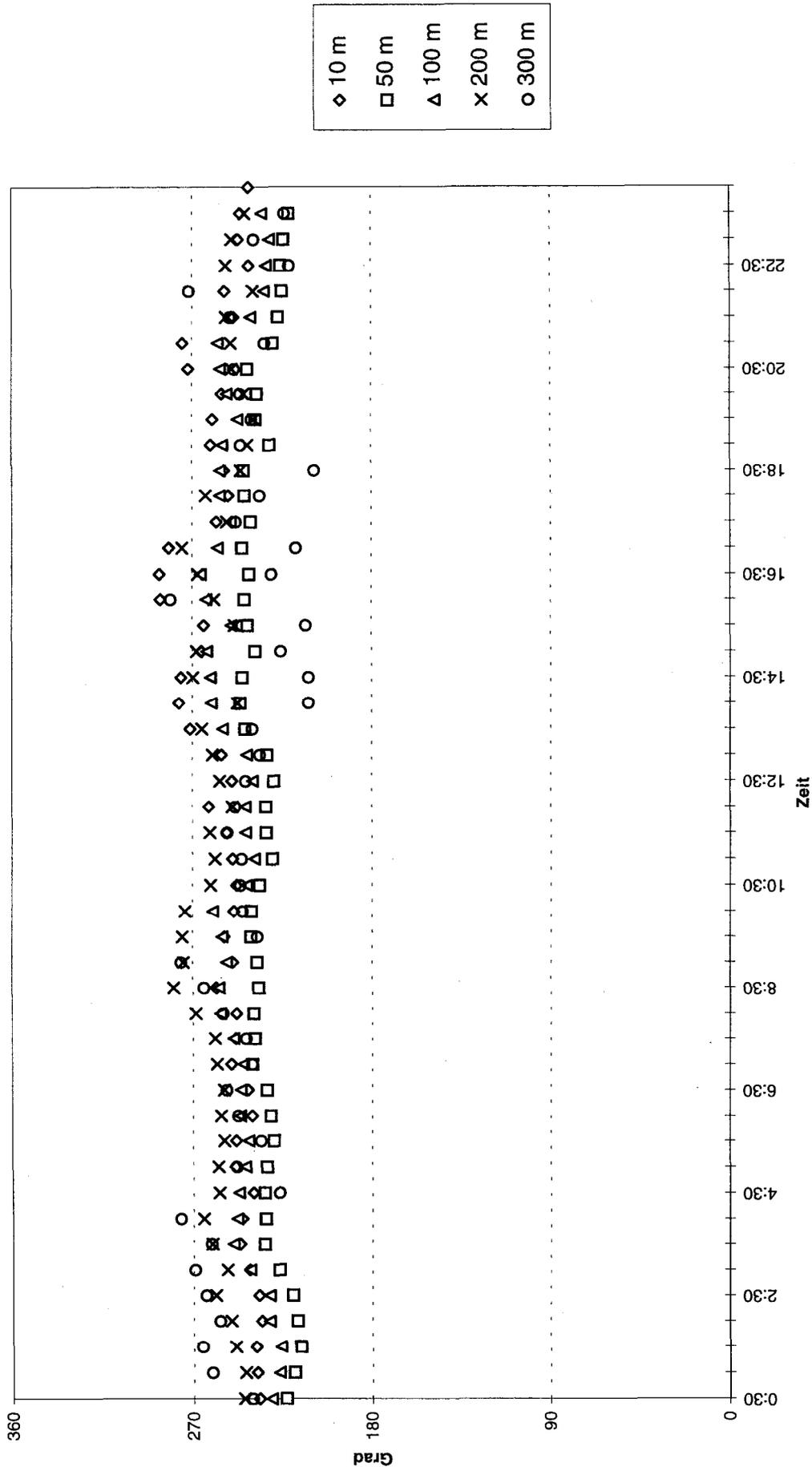
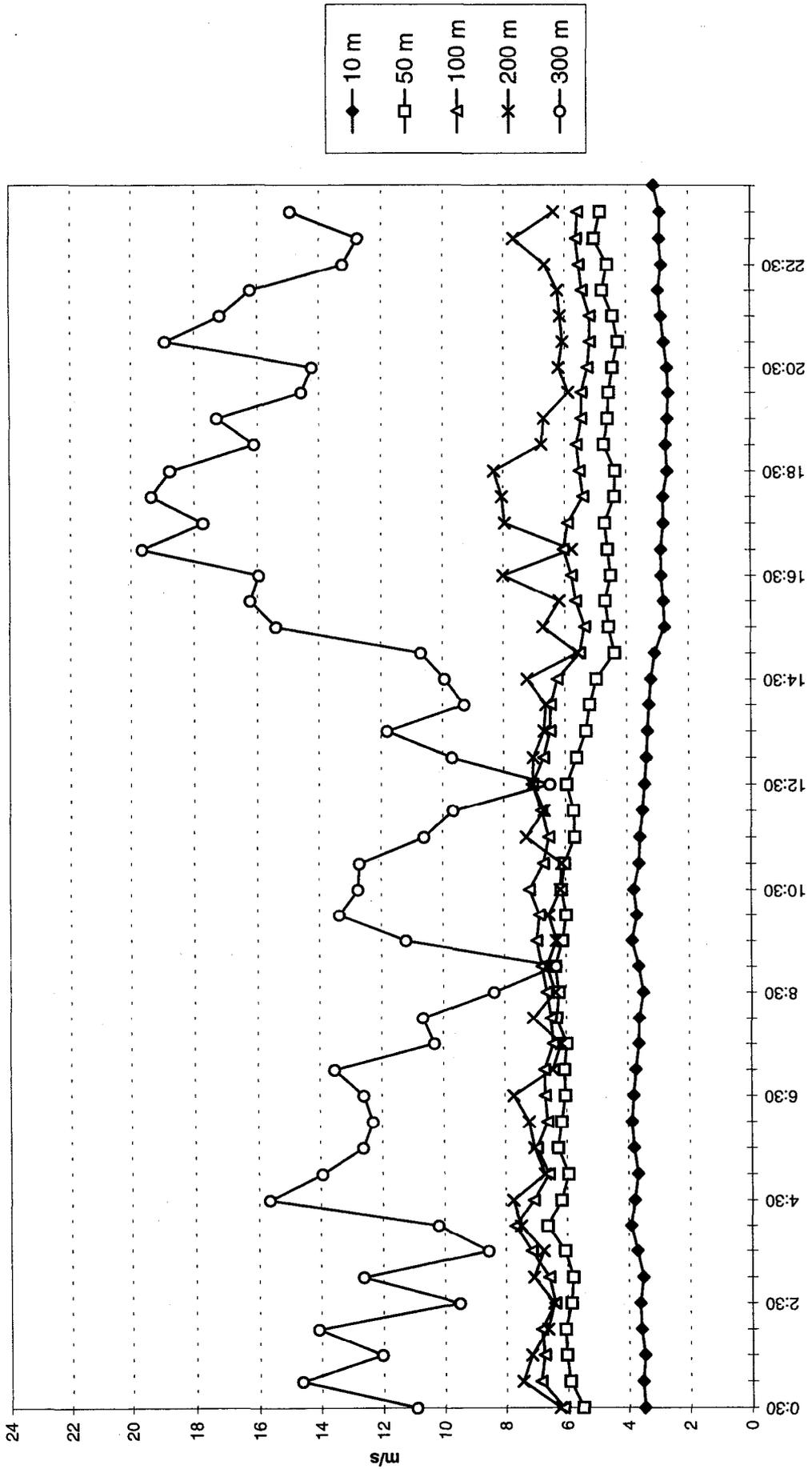


Abb. 35

**Armfels**  
**Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit bei Nordwestlagen**  
**Oktober 1994 - April 1995**



Armfels  
 Mittlerer Tagesgang der Windrichtung bei Nordlagen  
 Oktober 1994 - April 1995

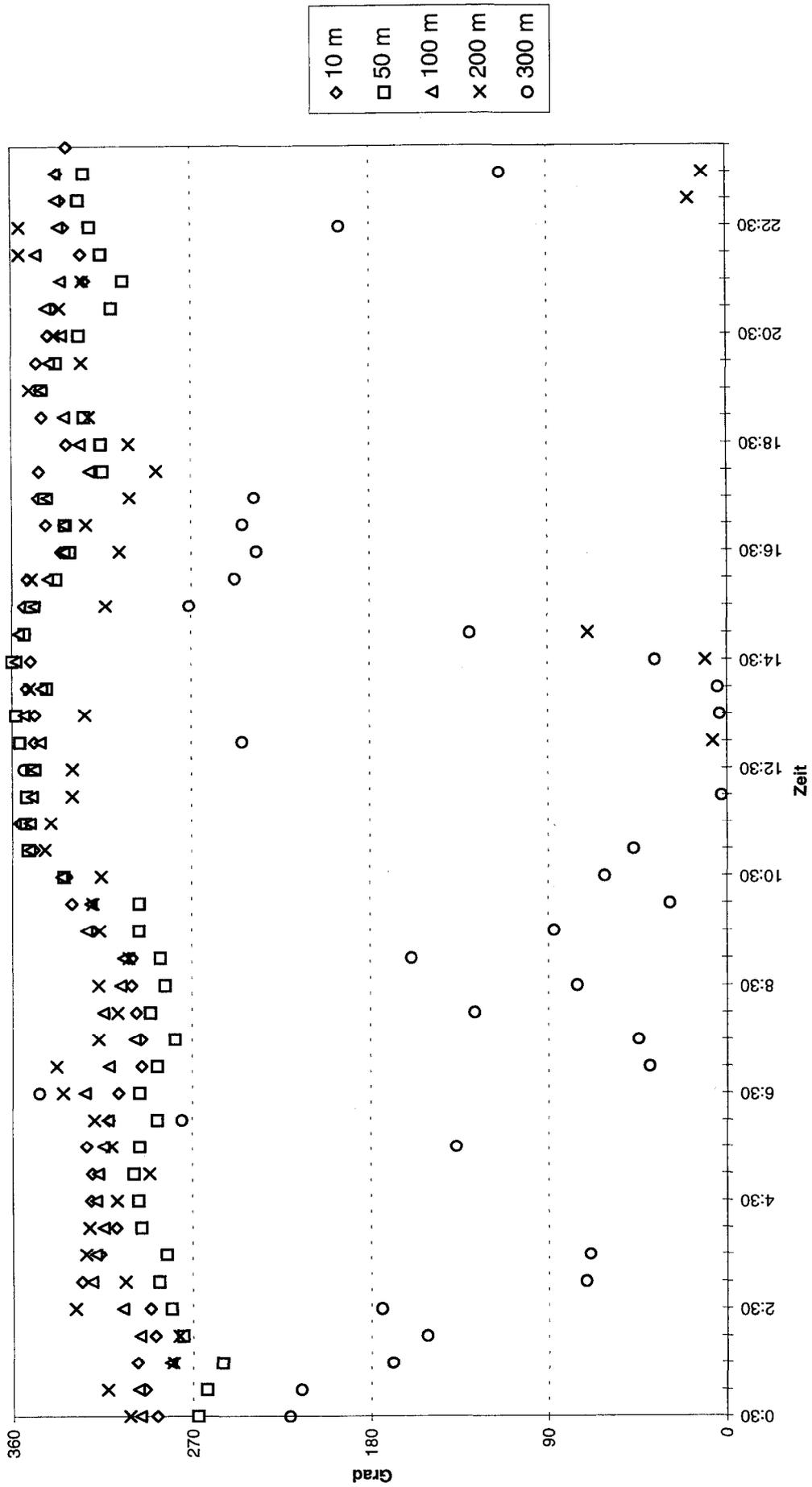
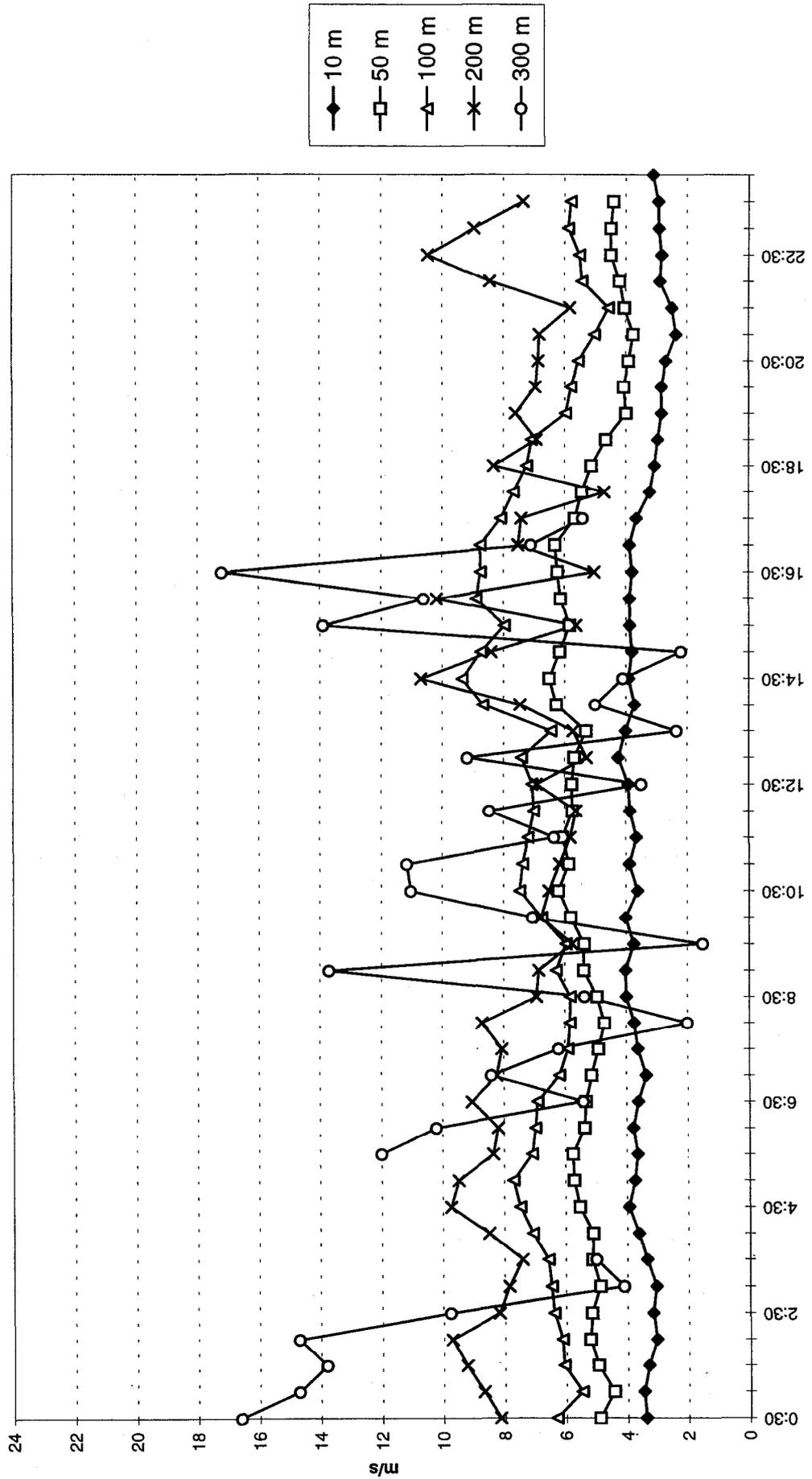


Abb. 37

**Armfels**  
**Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit bei Nordlagen**  
**Oktober 1994 - April 1995**



### Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit

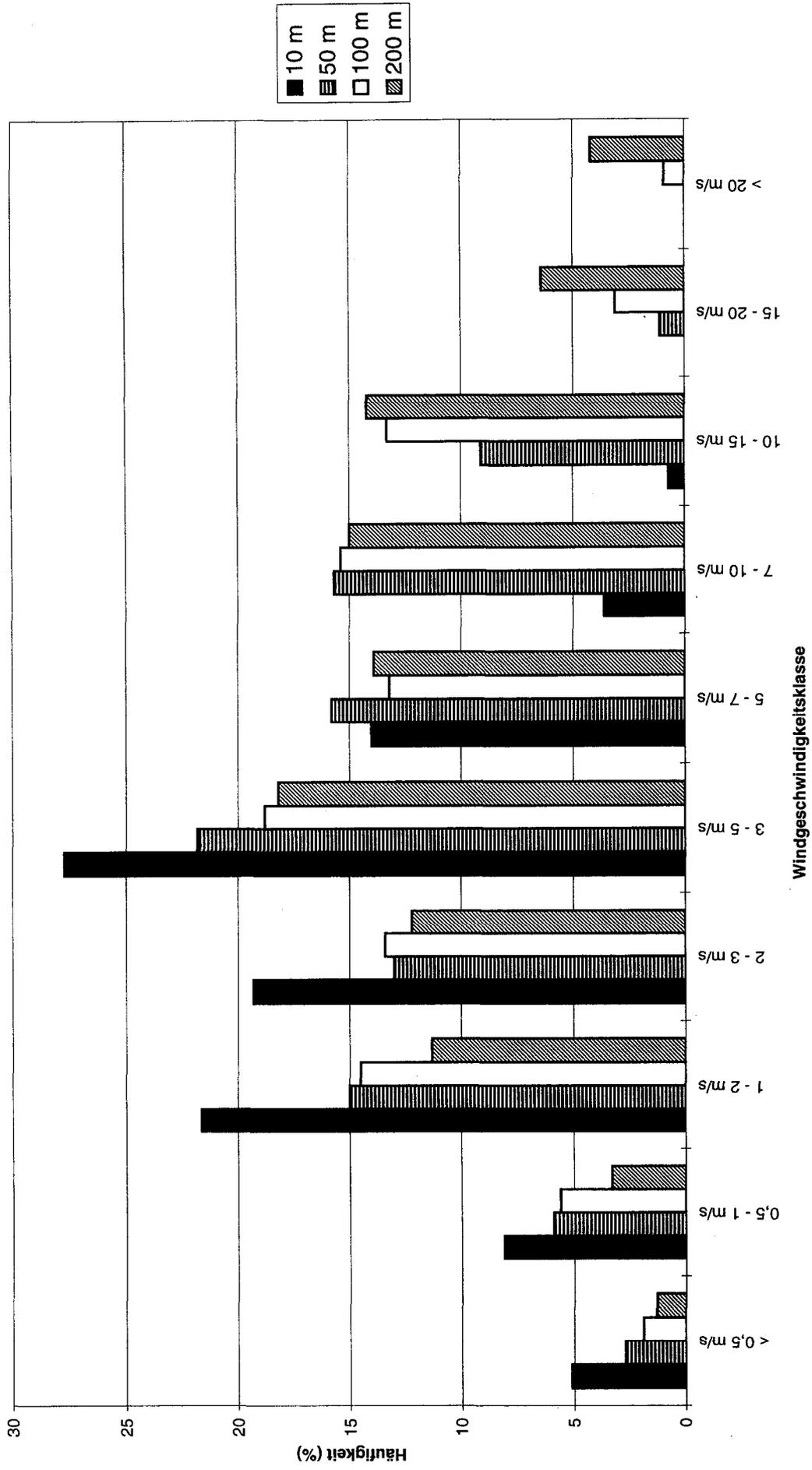
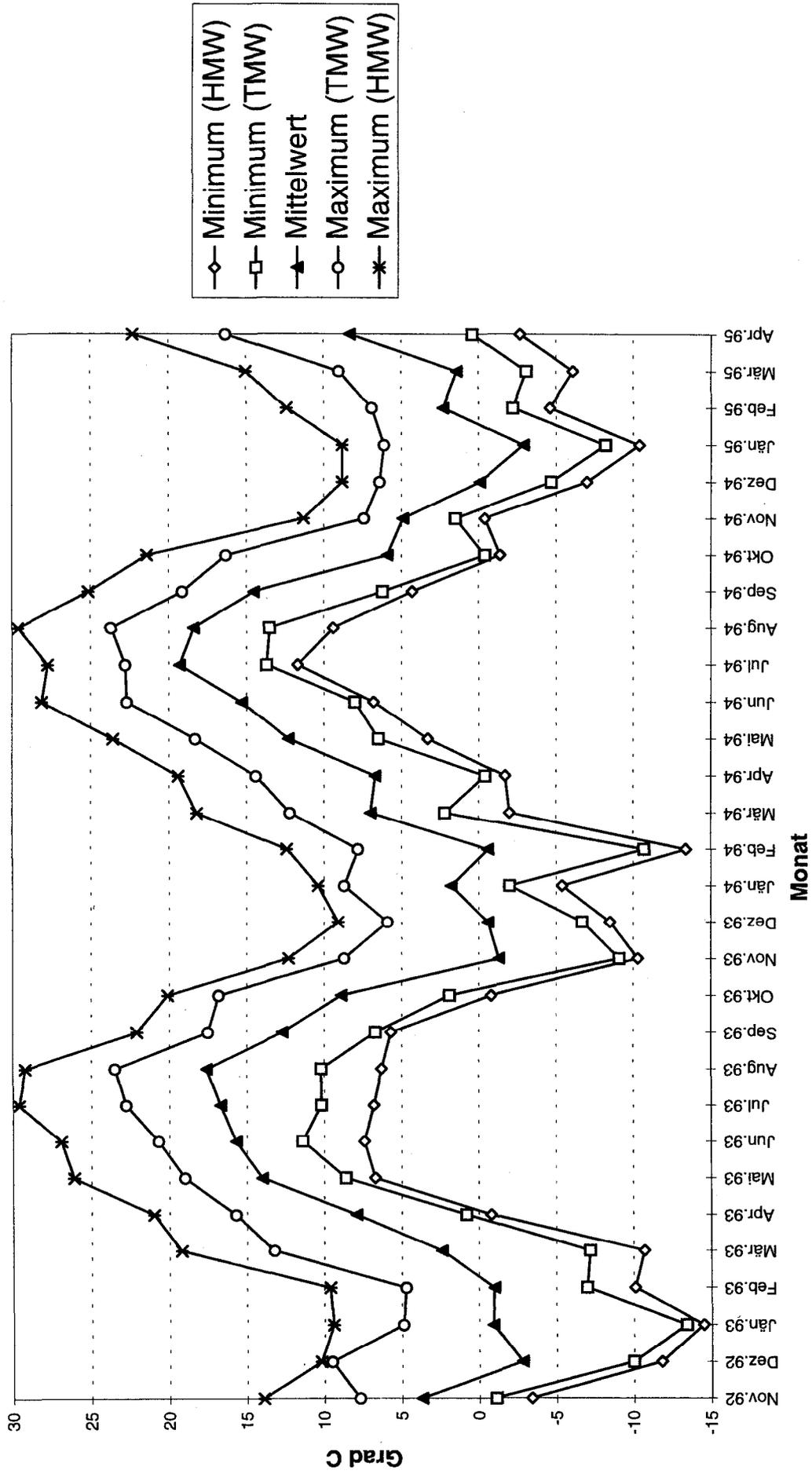
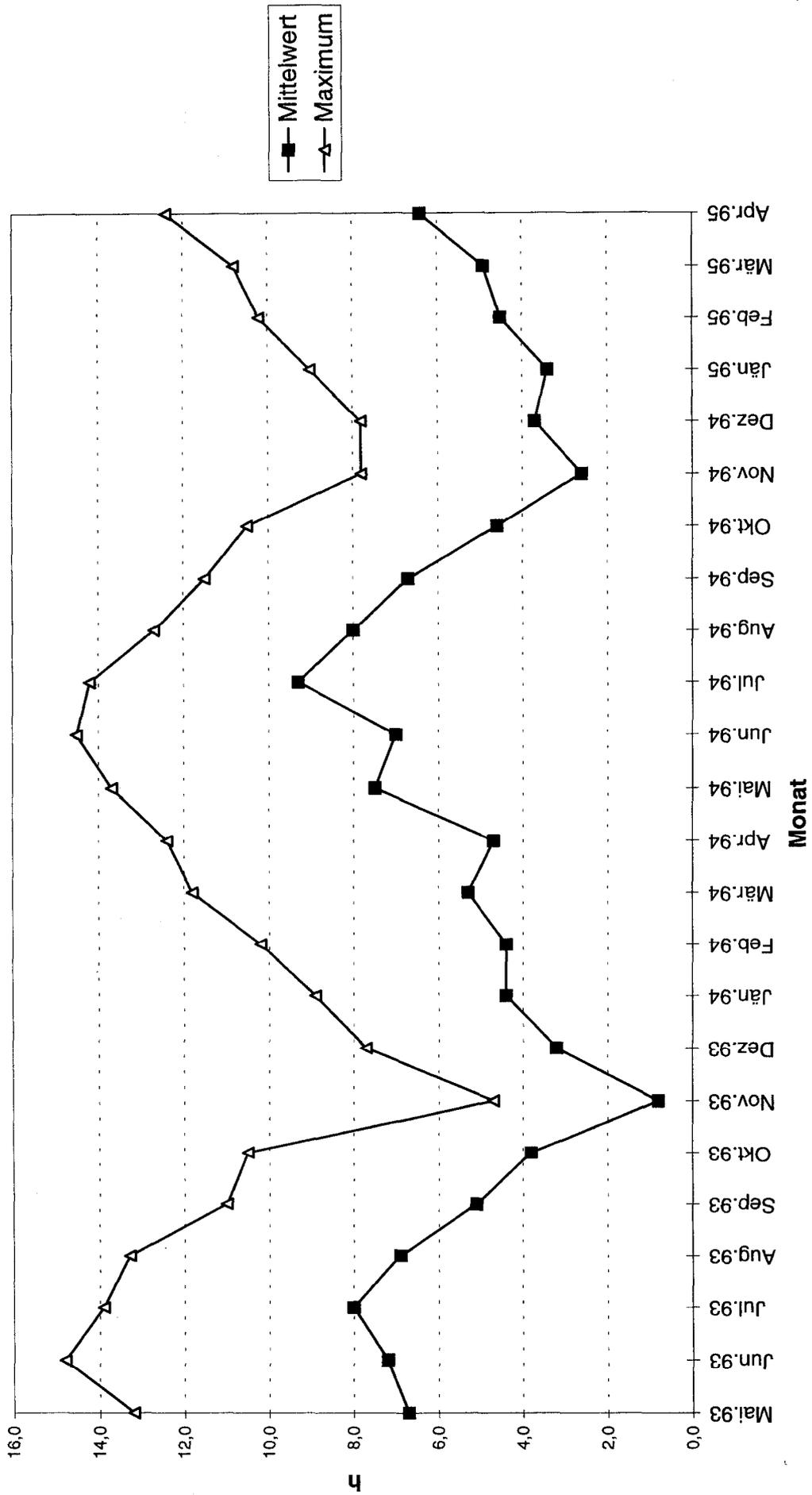


Abbildung 39: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit in Höhen von 10 m, 50 m, 100 m und 200 m über Boden

# Arnfels Lufttemperatur Monatswerte



# Arnfels Sonnenscheindauer (Tagessumme in h)



Arnfels - SO<sub>2</sub>-Konzentration

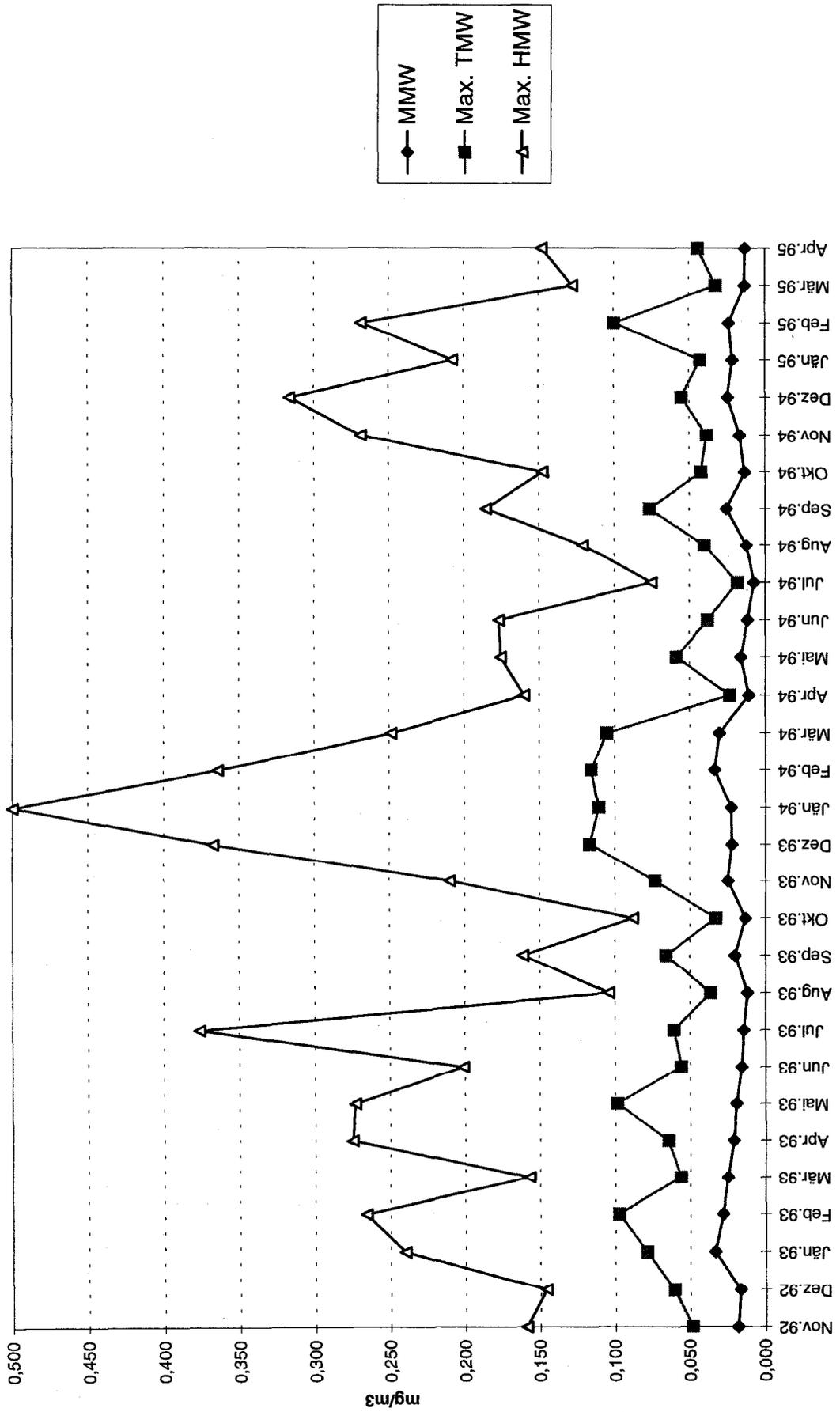
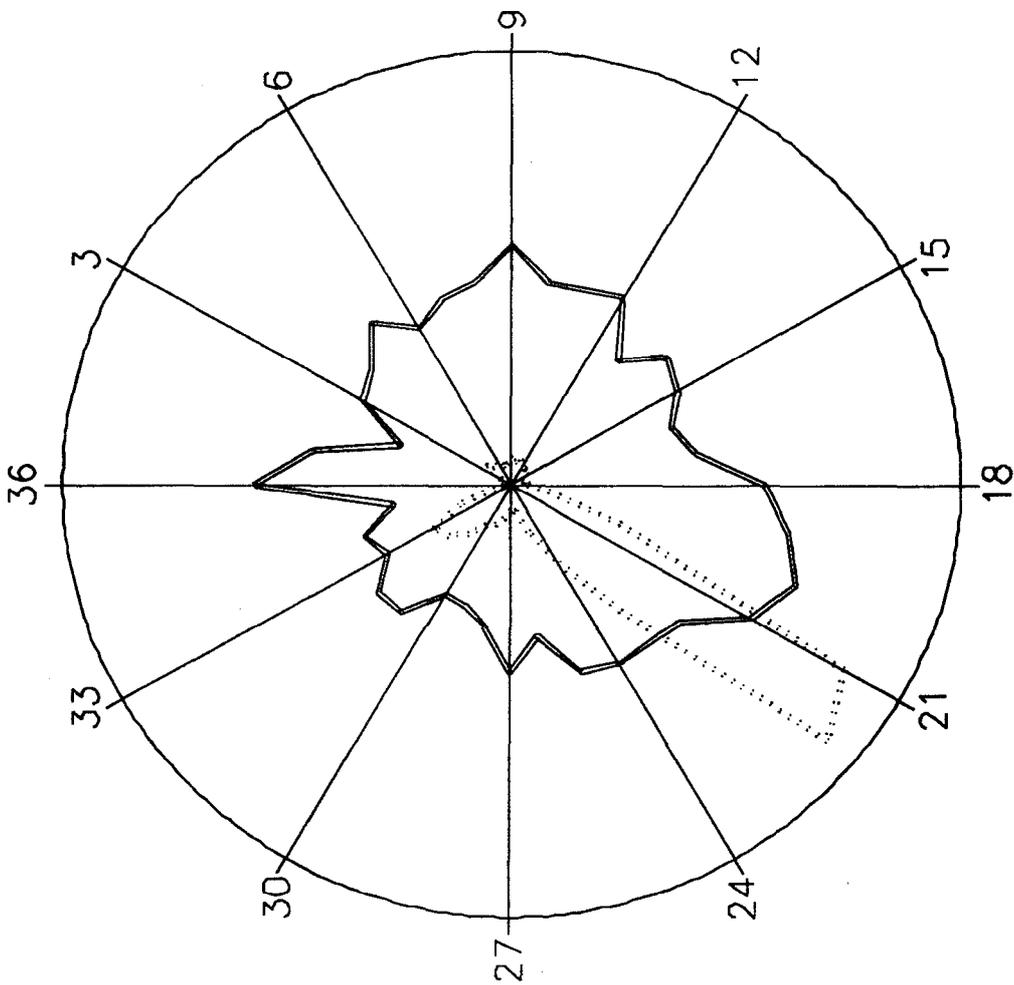


Abbildung 43: Abhängigkeit der mittleren Schwefeldioxid-Konzentration von der Windrichtung in 10 m über Boden für SWindrichtungssektoren von 10°; November 1992 bis März 1993

Arnfels / Possruck November 1992 – März 1993

HMW: Schwefeldioxid [mg/m<sup>3</sup>]  
Windrichtung 10 m



Radius entspricht:  
..... Windrichtungshoheufigkeit 20 %  
—— Messkomponente 0.05 [mg/m<sup>3</sup>]

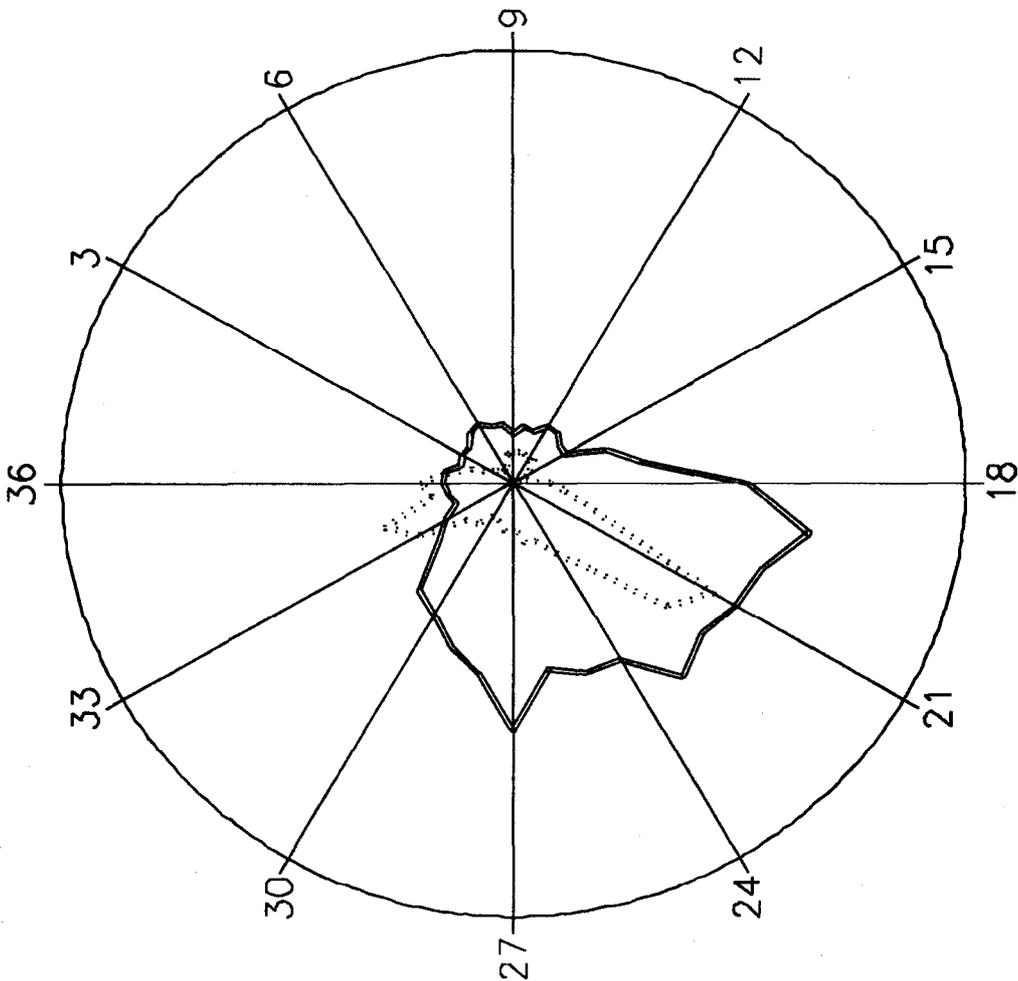
Klasse	Anz.Werte	%	mittl.Konz.
0	470	7.3	0.0199
1	3	0.0	0.0223
2	14	0.2	0.0131
3	34	0.5	0.0191
4	91	1.4	0.0205
5	77	1.2	0.0243
6	54	0.8	0.0207
7	60	0.9	0.0228
8	63	1.0	0.0236
9	80	1.2	0.0277
10	69	1.1	0.0236
11	79	1.2	0.0239
12	66	1.0	0.0249
13	60	0.9	0.0185
14	59	0.9	0.0226
15	36	0.6	0.0214
16	35	0.5	0.0190
17	46	0.7	0.0208
18	48	0.7	0.0283
19	107	1.7	0.0314
20	332	5.2	0.0337
21	1103	17.2	0.0308
22	1184	18.5	0.0246
23	486	7.6	0.0240
24	253	3.9	0.0240
25	145	2.3	0.0231
26	79	1.2	0.0178
27	76	1.2	0.0220
28	99	1.5	0.0166
29	123	1.9	0.0148
30	137	2.1	0.0146
31	186	2.9	0.0192
32	231	3.6	0.0194
33	255	4.0	0.0159
34	148	2.3	0.0174
35	25	0.4	0.0134
36	4	0.1	0.0288

Windstille (< 0.5 m/s): 470 Werte (7.3%)  
Ausfall oder nicht gemessen: 831 Werte

Abbildung 44: Abhängigkeit der mittleren Schwefeldioxid-Konzentration von der Windrichtung in 10 m über Boden für SWindrichtungssektoren von 10°; April bis September 1993

Arnfels / Posbruck April – September 1993

HMW: Schwefeldioxid [mg/m<sup>3</sup>]  
Windrichtung 10 m



..... Windrichtungshäufigkeit 20 %  
 — Messkomponente  
 Radius entspricht:  
 0.05 [mg/m<sup>3</sup>]

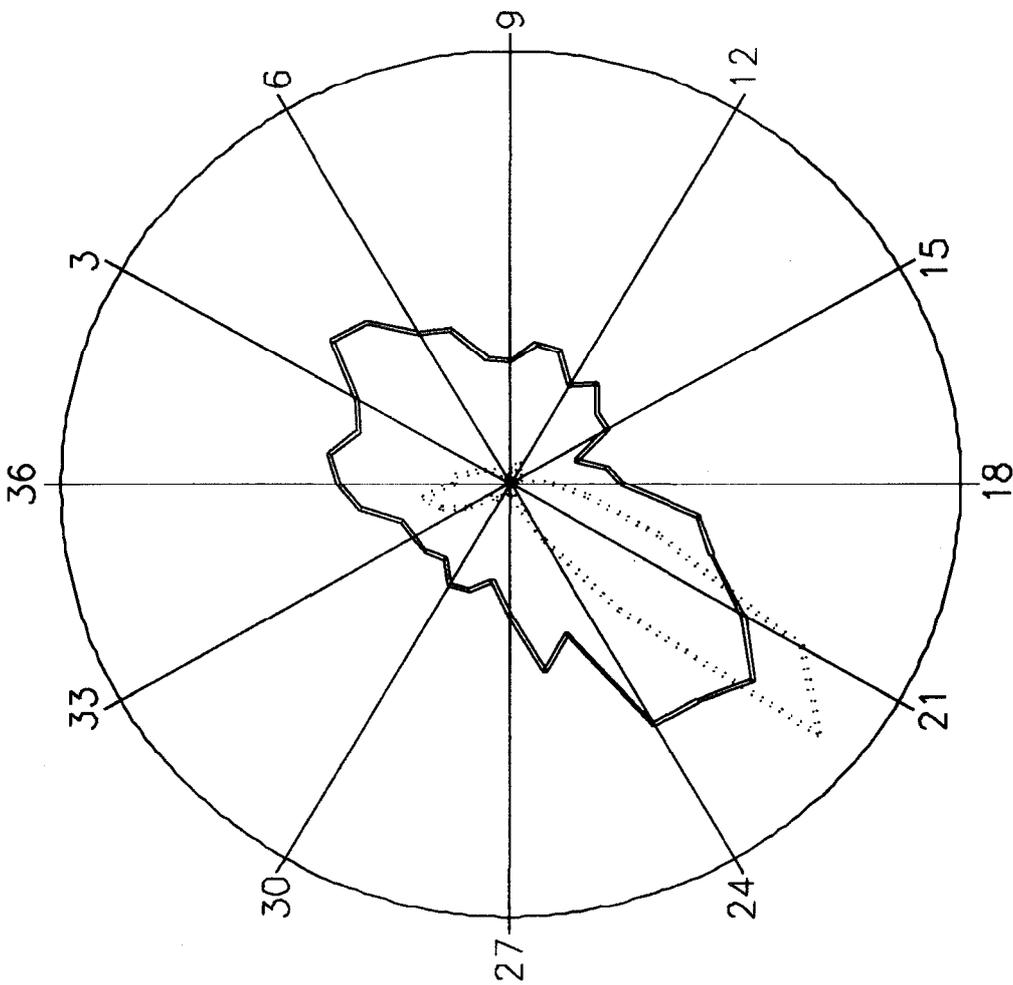
Klasse	Anz.Werte	%	mittl.Konz.
0	497	6.5	0.0078
1	224	2.9	0.0077
2	145	1.9	0.0061
3	81	1.1	0.0064
4	69	0.9	0.0062
5	51	0.7	0.0074
6	52	0.7	0.0078
7	66	0.9	0.0069
8	103	1.4	0.0068
9	105	1.4	0.0056
10	107	1.4	0.0067
11	109	1.4	0.0063
12	96	1.3	0.0076
13	111	1.5	0.0075
14	73	1.0	0.0066
15	52	0.7	0.0066
16	29	0.4	0.0110
17	45	0.6	0.0143
18	130	1.7	0.0258
19	180	2.4	0.0332
20	292	3.8	0.0293
21	779	10.2	0.0285
22	675	8.9	0.0272
23	391	5.1	0.0292
24	287	3.8	0.0236
25	218	2.9	0.0235
26	213	2.8	0.0219
27	156	2.0	0.0287
28	173	2.3	0.0224
29	144	1.9	0.0202
30	138	1.8	0.0176
31	188	2.5	0.0162
32	210	2.8	0.0110
33	370	4.9	0.0086
34	462	6.1	0.0067
35	279	3.7	0.0073
36	312	4.1	0.0078

Windstille (< 0.5 m/s): 497 Werte (6.5%)  
 Ausfall oder nicht gemessen: 1171 Werte

Abbildung 45: Abhängigkeit der mittleren Schwefeldioxid-Konzentration von der Windrichtung in 10 m über Boden für SWindrichtungssektoren von 10°; Oktober 1993 bis März 1994

Arnfels / Possruck Oktober 1993 – März 1994

HMW: Schwefeldioxid [mg/m<sup>3</sup>]  
Windrichtung 10 m



Klasse	Anz.Werte	%	mittl.Konz.
0	1070	13.0	0.0173
1	199	2.4	0.0204
2	131	1.6	0.0179
3	106	1.3	0.0197
4	79	1.0	0.0259
5	46	0.6	0.0247
6	23	0.3	0.0202
7	35	0.4	0.0192
8	24	0.3	0.0148
9	47	0.6	0.0143
10	57	0.7	0.0165
11	84	1.0	0.0163
12	63	0.8	0.0132
13	54	0.7	0.0151
14	19	0.2	0.0128
15	28	0.3	0.0125
16	33	0.4	0.0078
17	40	0.5	0.0109
18	155	1.9	0.0125
19	291	3.5	0.0212
20	588	7.2	0.0239
21	1233	15.0	0.0300
22	1476	18.0	0.0354
23	619	7.5	0.0325
24	244	3.0	0.0321
25	92	1.1	0.0184
26	54	0.7	0.0220
27	36	0.4	0.0150
28	40	0.5	0.0113
29	39	0.5	0.0130
30	61	0.7	0.0134
31	75	0.9	0.0112
32	86	1.0	0.0121
33	184	2.2	0.0123
34	270	3.3	0.0128
35	324	3.9	0.0170
36	204	2.5	0.0192

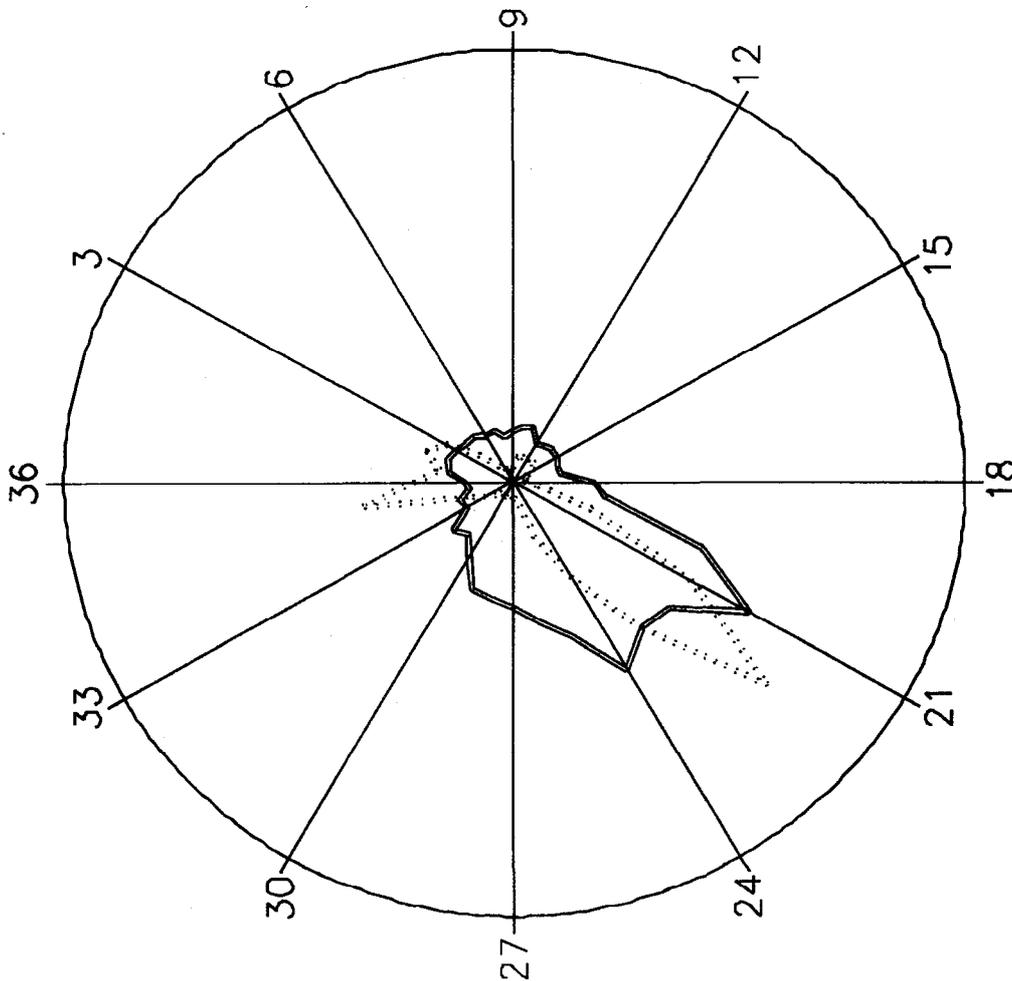
Windstille (< 0.5 m/s): 1070 Werte (13.0%)  
Ausfall oder nicht gemessen: 527 Werte

..... Windrichtungshoefueigkeit 20 %  
 Radius entspricht: 0.05 [mg/m<sup>3</sup>]  
 — Messkomponente

Abbildung 46: Abhängigkeit der mittleren Schwefeldioxid-Konzentration von der Windrichtung in 10 m über Boden für SWindrichtungssektoren von 10°; April bis September 1994

Arnfels / Possruck April – September 1994

HMW: Schwefeldioxid [mg/m<sup>3</sup>]  
Windrichtung 10 m



Radius entspricht:

..... Windrichtungshäufigkeit 20 %  
 — Messkomponente 0.05 [mg/m<sup>3</sup>]

Klasse	Anz.Werte	%	mittl.Konz.
0	710	10.0	0.0075
1	238	3.3	0.0073
2	295	4.1	0.0077
3	245	3.4	0.0073
4	140	2.0	0.0068
5	67	0.9	0.0068
6	52	0.7	0.0062
7	35	0.5	0.0062
8	36	0.5	0.0053
9	48	0.7	0.0059
10	81	1.1	0.0064
11	88	1.2	0.0066
12	86	1.2	0.0051
13	94	1.3	0.0054
14	81	1.1	0.0057
15	54	0.8	0.0057
16	43	0.6	0.0053
17	39	0.5	0.0054
18	36	0.5	0.0089
19	83	1.2	0.0105
20	262	3.7	0.0222
21	545	9.1	0.0302
22	1045	14.7	0.0226
23	531	8.9	0.0221
24	364	5.1	0.0251
25	191	2.7	0.0192
26	58	0.8	0.0164
27	52	0.7	0.0146
28	37	0.5	0.0138
29	53	0.7	0.0133
30	54	0.8	0.0099
31	53	0.7	0.0078
32	72	1.0	0.0087
33	103	1.4	0.0059
34	153	2.1	0.0062
35	483	6.8	0.0049
36	313	4.4	0.0054

Windstille (< 0.5 m/s): 710 Werte (10.0%)  
 Ausfall oder nicht gemessen: 1663 Werte

Abbildung 47: Abhängigkeit der mittleren Schwefeldioxid-Konzentration von der Windrichtung in 10 m über Boden für SWindrichtungssektoren von 10°; Oktober 1994 bis März 1995

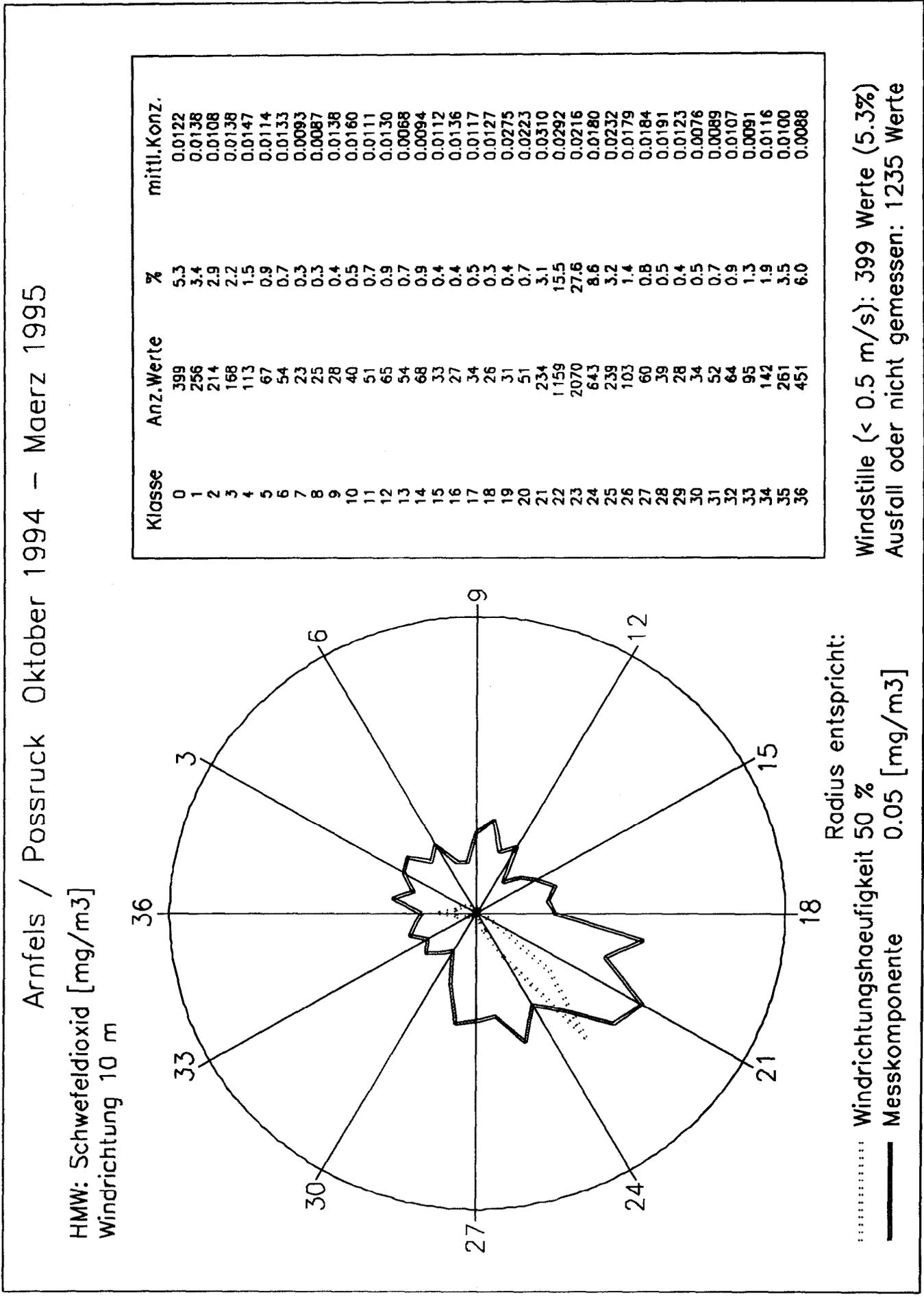
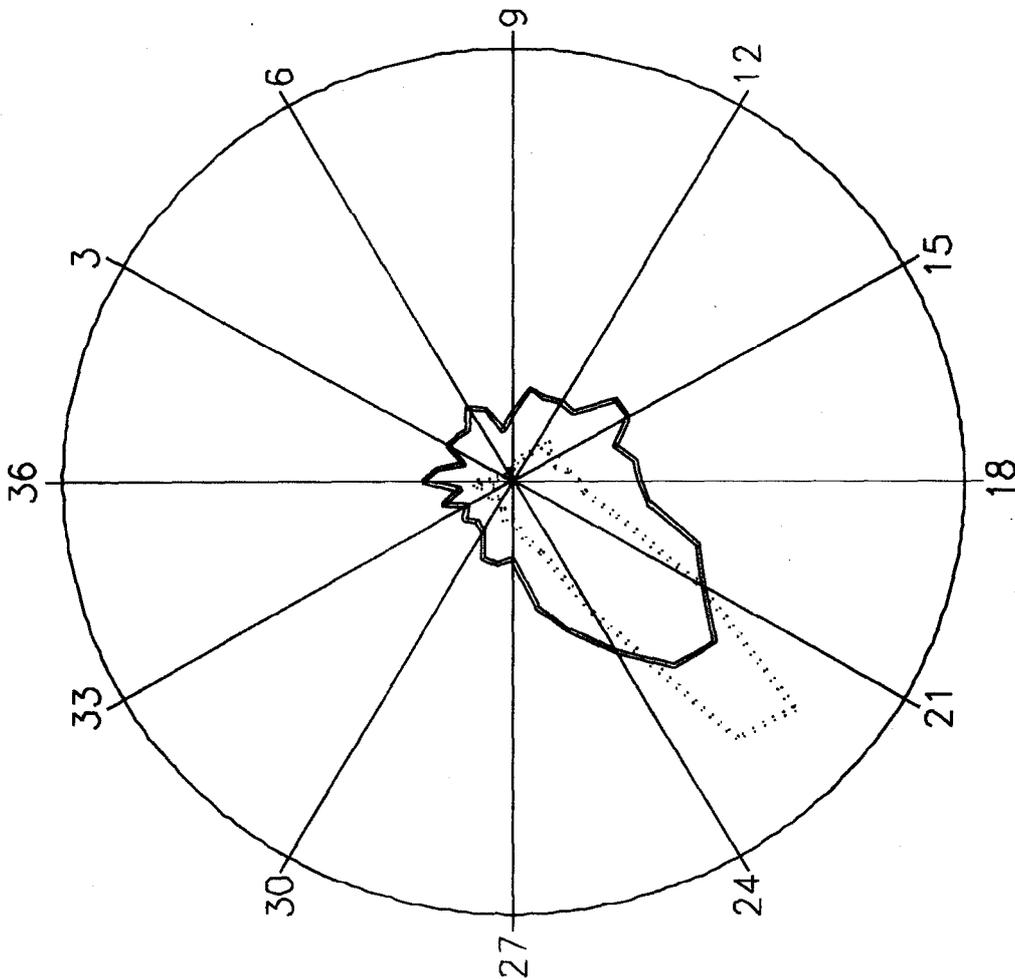


Abbildung 48: Abhängigkeit der mittleren Schwefeldioxid-Konzentration von der Windrichtung in 100 m über Boden für SWindrichtungssektoren von 10°; Oktober 1994 bis März 1995

Arnfels / Possruck Oktober 1994 – März 1995

HMW: Schwefeldioxid [mg/m<sup>3</sup>]  
Windrichtung 100 m



..... Windrichtungshäufigkeit 20 %  
 — Messkomponente 0.05 [mg/m<sup>3</sup>]  
 Radius entspricht: 0.05 [mg/m<sup>3</sup>]

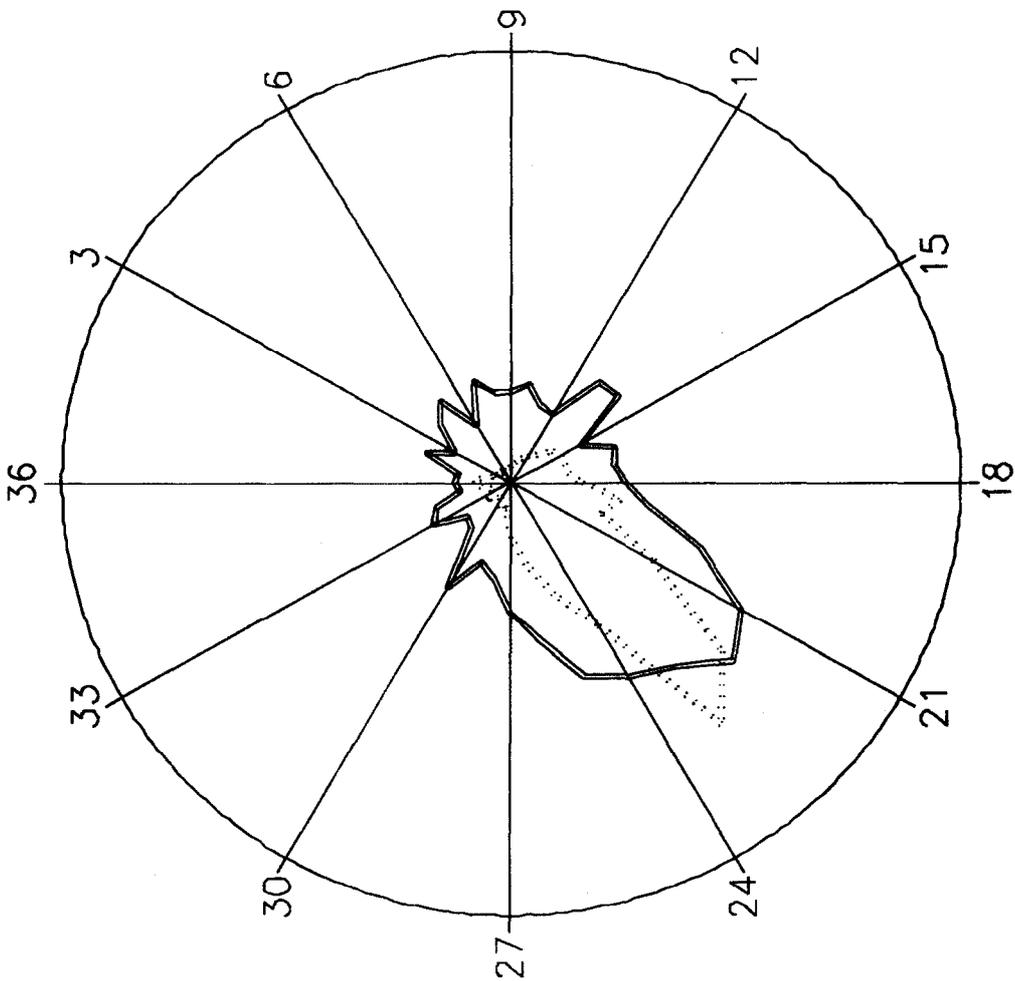
Klasse	Anz.Werte	%	mittl.Konz.
0	80	1.3	0.0133
1	47	0.7	0.0085
2	30	0.5	0.0057
3	28	0.4	0.0084
4	23	0.4	0.0080
5	25	0.4	0.0078
6	32	0.5	0.0099
7	31	0.5	0.0090
8	44	0.7	0.0060
9	36	0.6	0.0079
10	58	0.9	0.0110
11	76	1.2	0.0103
12	97	1.5	0.0107
13	149	2.4	0.0104
14	133	2.1	0.0149
15	143	2.3	0.0149
16	127	2.0	0.0120
17	162	2.5	0.0138
18	183	2.9	0.0141
19	205	3.2	0.0154
20	313	4.9	0.0219
21	599	9.5	0.0243
22	1031	16.3	0.0291
23	978	15.4	0.0279
24	446	7.0	0.0227
25	220	3.5	0.0185
26	174	2.7	0.0147
27	116	1.8	0.0091
28	122	1.9	0.0097
29	87	1.4	0.0097
30	64	1.0	0.0068
31	64	1.0	0.0061
32	84	1.3	0.0070
33	57	0.9	0.0058
34	60	0.9	0.0084
35	109	1.7	0.0060
36	98	1.5	0.0102

Windstille (< 0.5 m/s): 80 Werte (1.3%)  
 Ausfall oder nicht gemessen: 2405 Werte

Abbildung 49: Abhängigkeit der mittleren Schwefeldioxid-Konzentration von der Windrichtung in 200 m über Boden für SWindrichtungssektoren von 10°; Oktober 1994 bis März 1995

Arnfels / Posbruck Oktober 1994 – März 1995

HMW: Schwefeldioxid [mg/m<sup>3</sup>]  
Windrichtung 200 m



..... Windrichtungshäufigkeit 20 %  
 — Messkomponente  
 Radius entspricht:  
 0.05 [mg/m<sup>3</sup>]

Klasse	Anz.Werte	%	mittl.Konz.
0	46	0.8	0.0117
1	82	1.4	0.0059
2	53	0.9	0.0102
3	46	0.8	0.0072
4	31	0.5	0.0105
5	42	0.7	0.0123
6	40	0.7	0.0078
7	26	0.5	0.0125
8	41	0.7	0.0106
9	44	0.8	0.0105
10	56	1.0	0.0115
11	72	1.2	0.0096
12	83	1.4	0.0092
13	98	1.7	0.0152
14	137	2.4	0.0156
15	149	2.6	0.0089
16	146	2.5	0.0122
17	150	2.5	0.0116
18	185	3.2	0.0128
19	285	4.9	0.0154
20	249	4.3	0.0224
21	423	7.3	0.0296
22	711	12.3	0.0324
23	844	14.6	0.0282
24	440	7.6	0.0262
25	319	5.5	0.0241
26	222	3.8	0.0187
27	151	2.6	0.0153
28	71	1.2	0.0113
29	75	1.3	0.0098
30	50	0.9	0.0143
31	51	0.9	0.0089
32	74	1.3	0.0062
33	54	0.9	0.0100
34	56	1.0	0.0090
35	78	1.4	0.0057
36	95	1.6	0.0064

Windstille (< 0.5 m/s): 46 Werte (0.8%)  
 Ausfall oder nicht gemessen: 2961 Werte

# Arnfels SO2

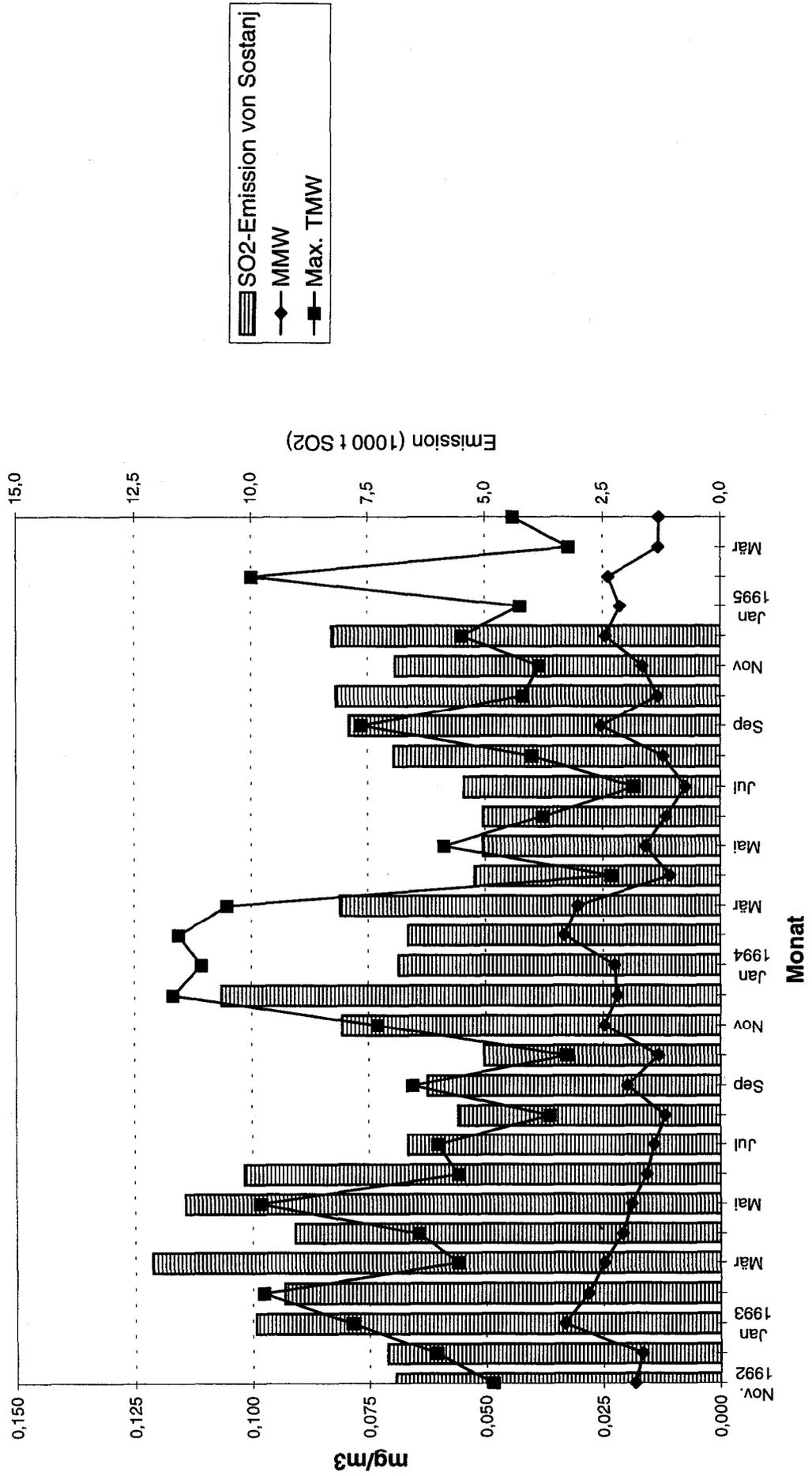


Abbildung 50

Monatsmittelwert der SO<sub>2</sub>-Belastung in Arnfels in Abhängigkeit des Produkts aus SO<sub>2</sub>-Emission von Sostanj und Windrichtungshäufigkeit im Intervall 195 - 240 Grad

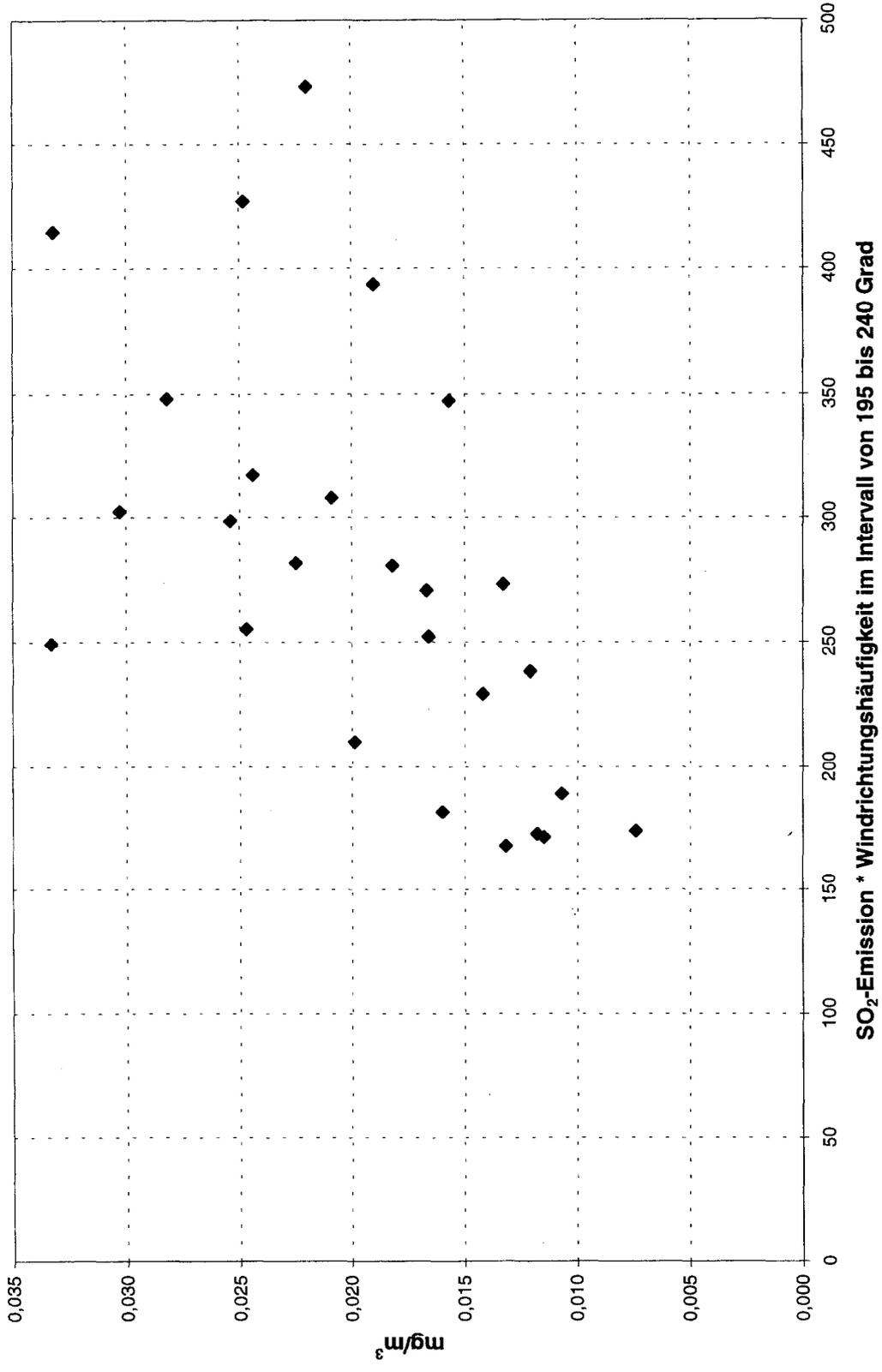
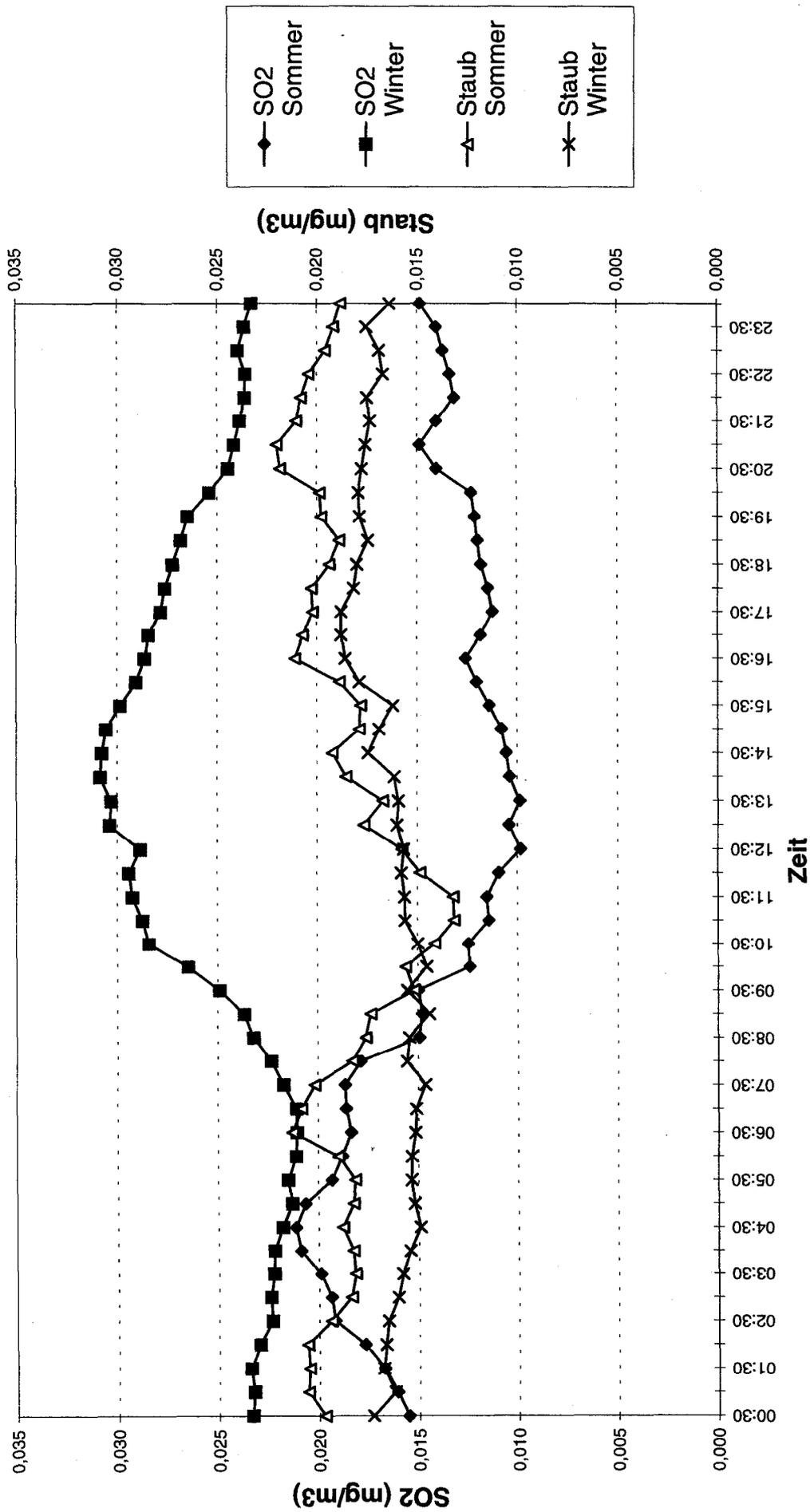


Abb. 51

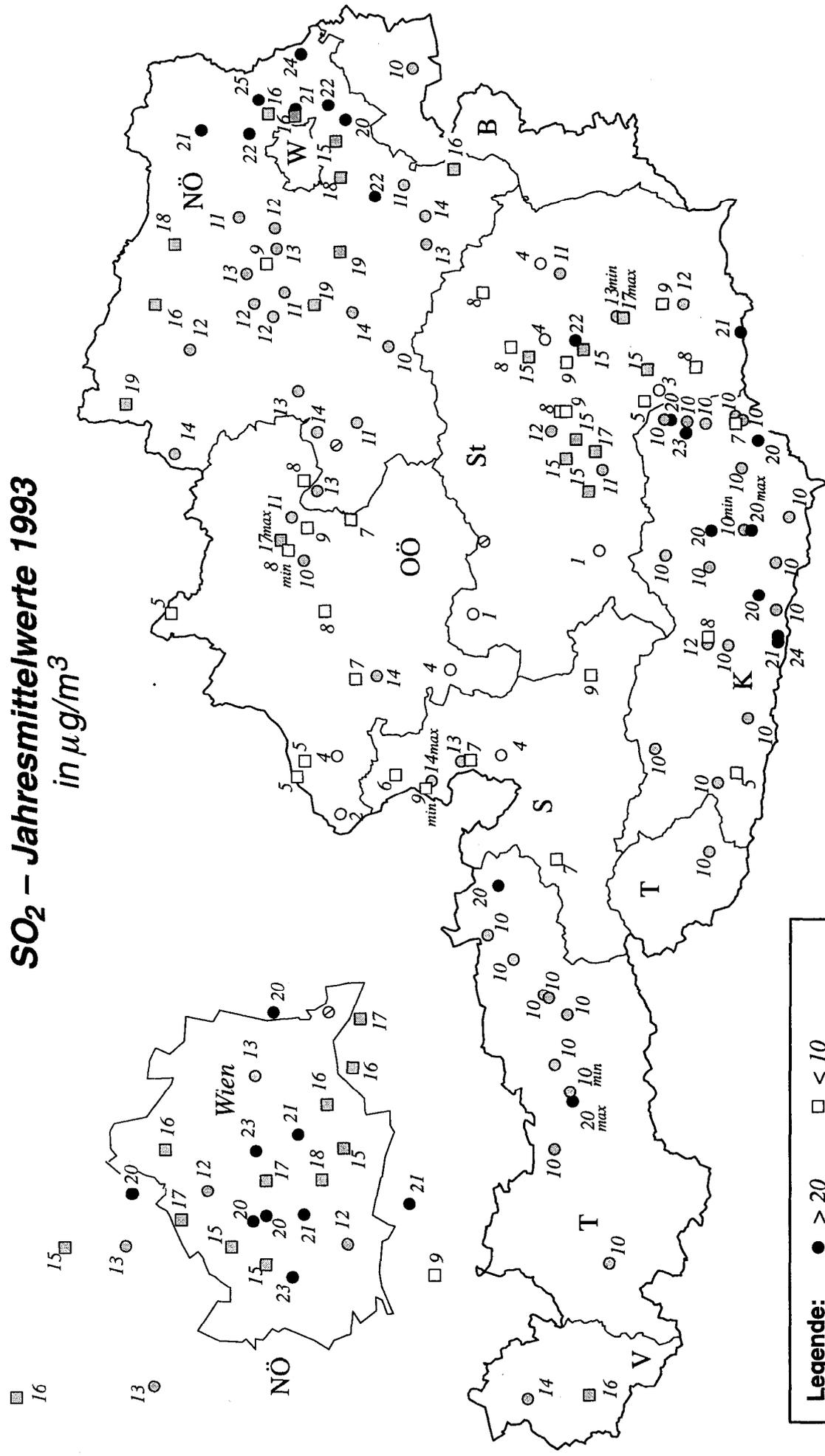
# Arnfels - Mittlere Tagesgänge



Sommer: April - September 1994  
 Winter: Oktober 1994 - März 1995

Abb. 52

# SO<sub>2</sub> – Jahresmittelwerte 1993 in µg/m<sup>3</sup>

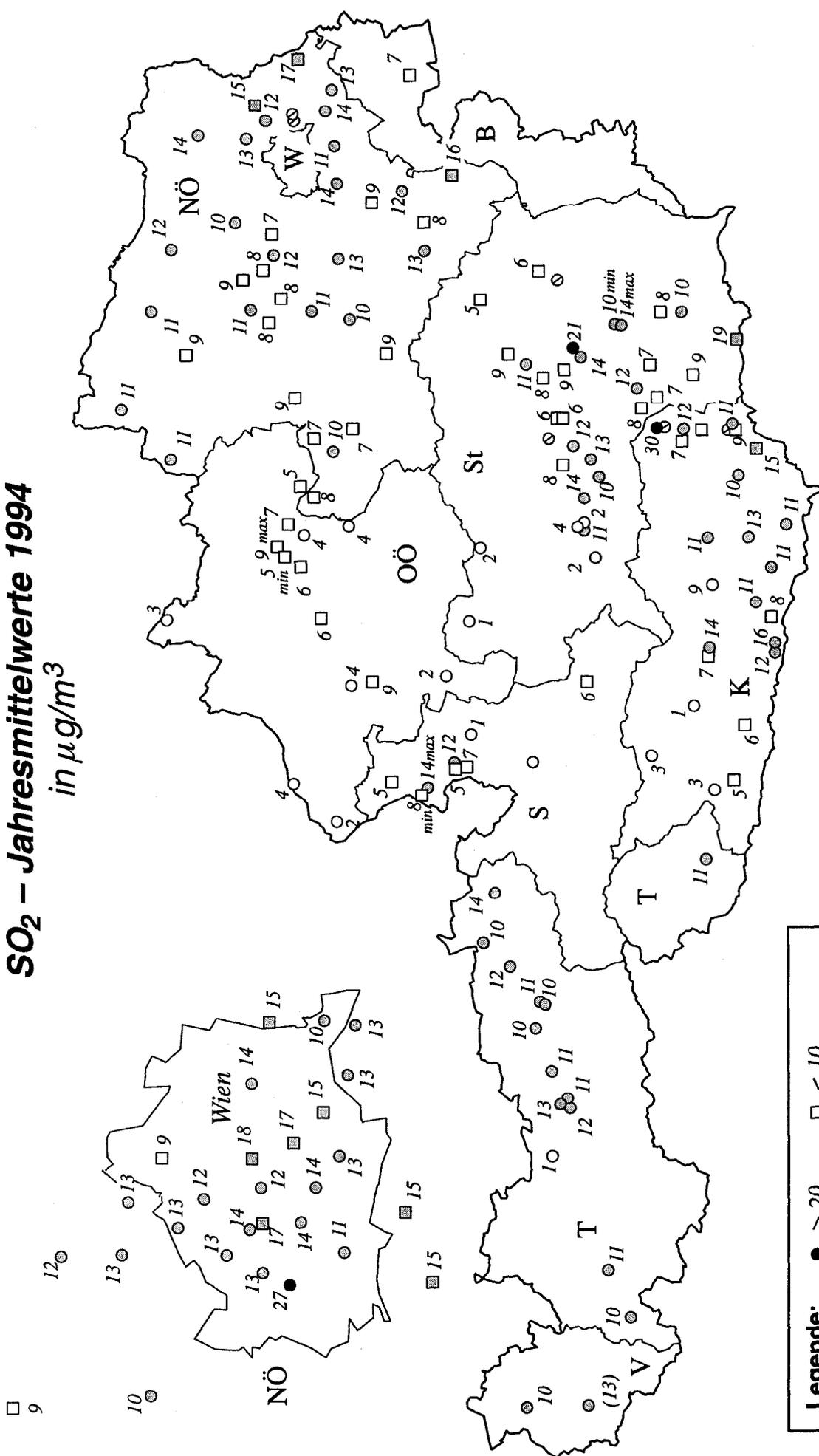


In Graz, Linz, Salzburg, Klagenfurt und Innsbruck sind die Meßstellen mit dem höchsten und dem niedrigsten Wert angegeben.  
In Tirol und an den meisten Kärntner Meßstellen sind die Werte auf 10 µg/m<sup>3</sup> genau angegeben.

Graphik: Umweltbundesamt

Abbildung 53

# SO<sub>2</sub> – Jahresmittelwerte 1994 in µg/m<sup>3</sup>



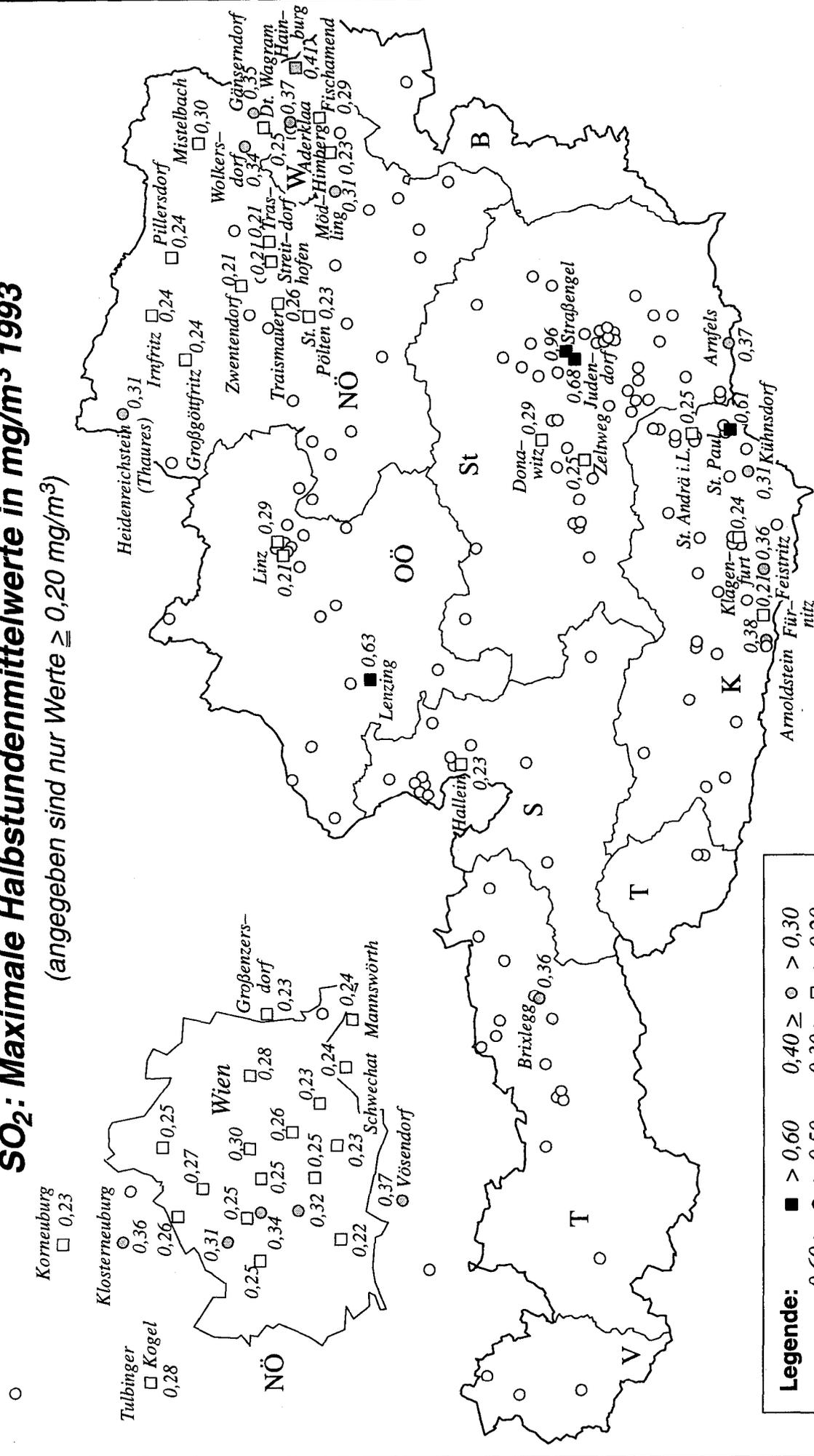
**Legende:**

●	≥ 20	□	< 10
■	< 20	○	< 5
⊙	< 15	⊖	= kein Wert

In Graz, Linz und Salzburg sind die Meßstellen mit dem höchsten und dem niedrigsten Wert angegeben.

# SO<sub>2</sub>: Maximale Halbstundenmittelwerte in mg/m<sup>3</sup> 1993

(angegeben sind nur Werte  $\geq 0,20$  mg/m<sup>3</sup>)



Graphik: Umweltbundesamt

Abbildung 55



# Arnfels Schwebstaub

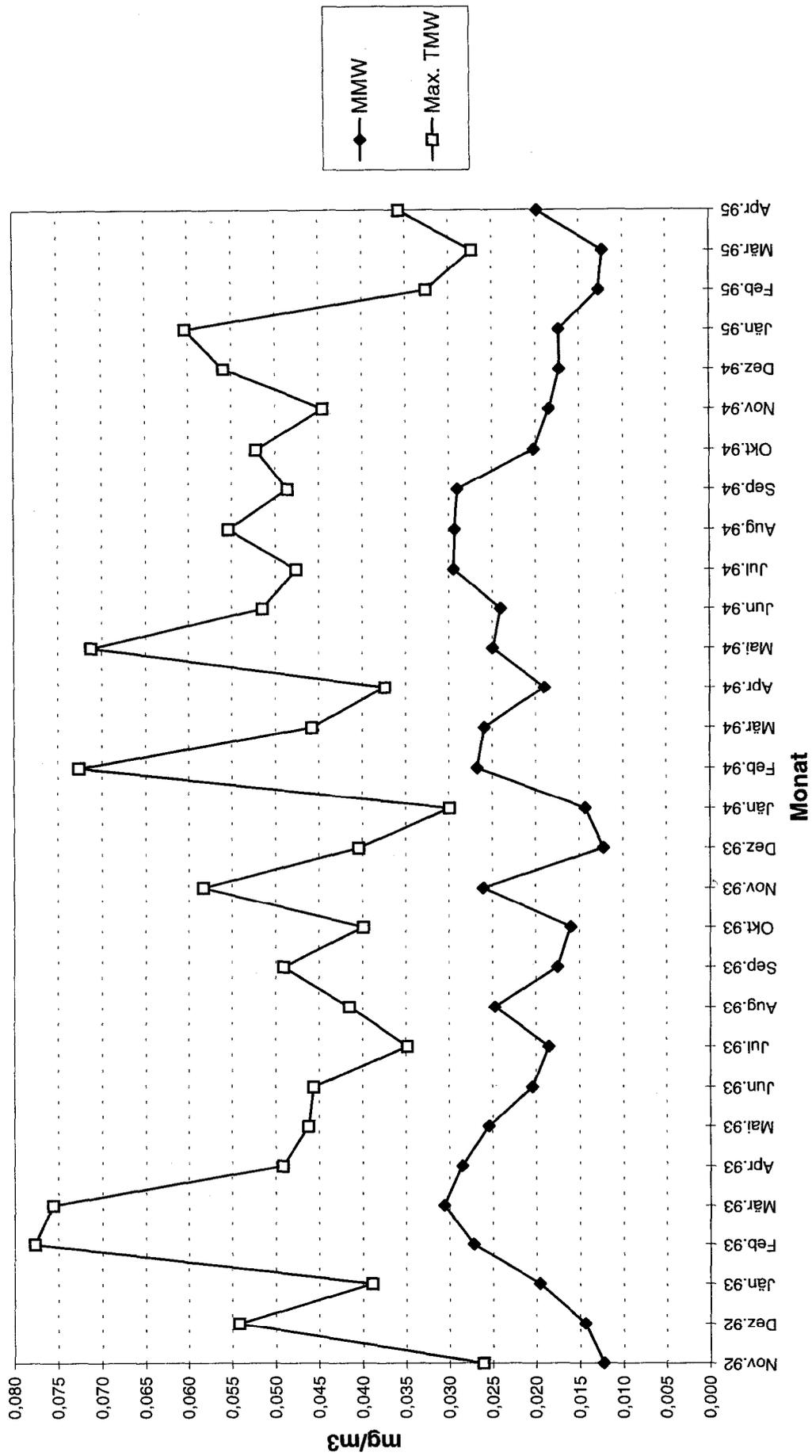
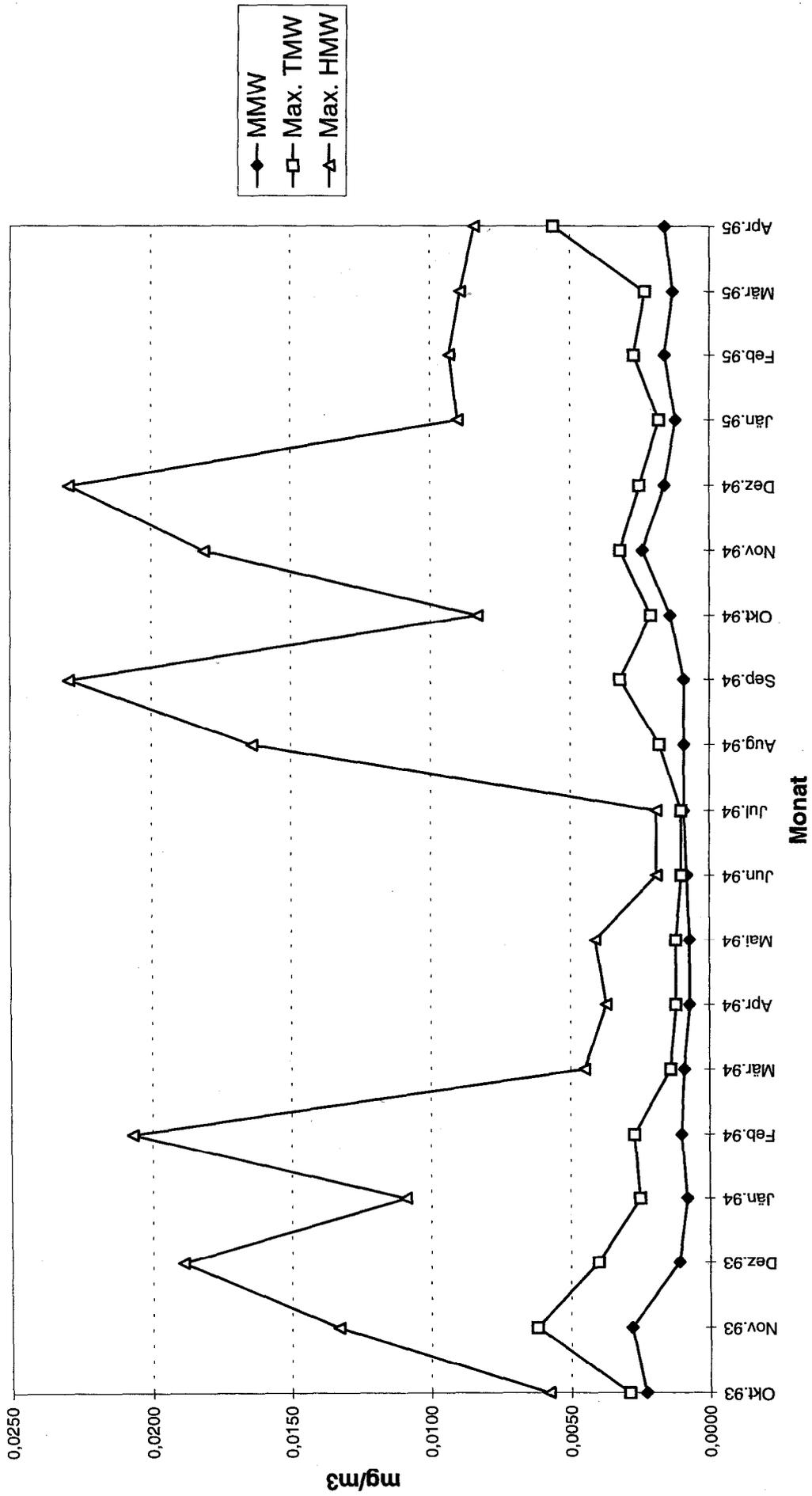
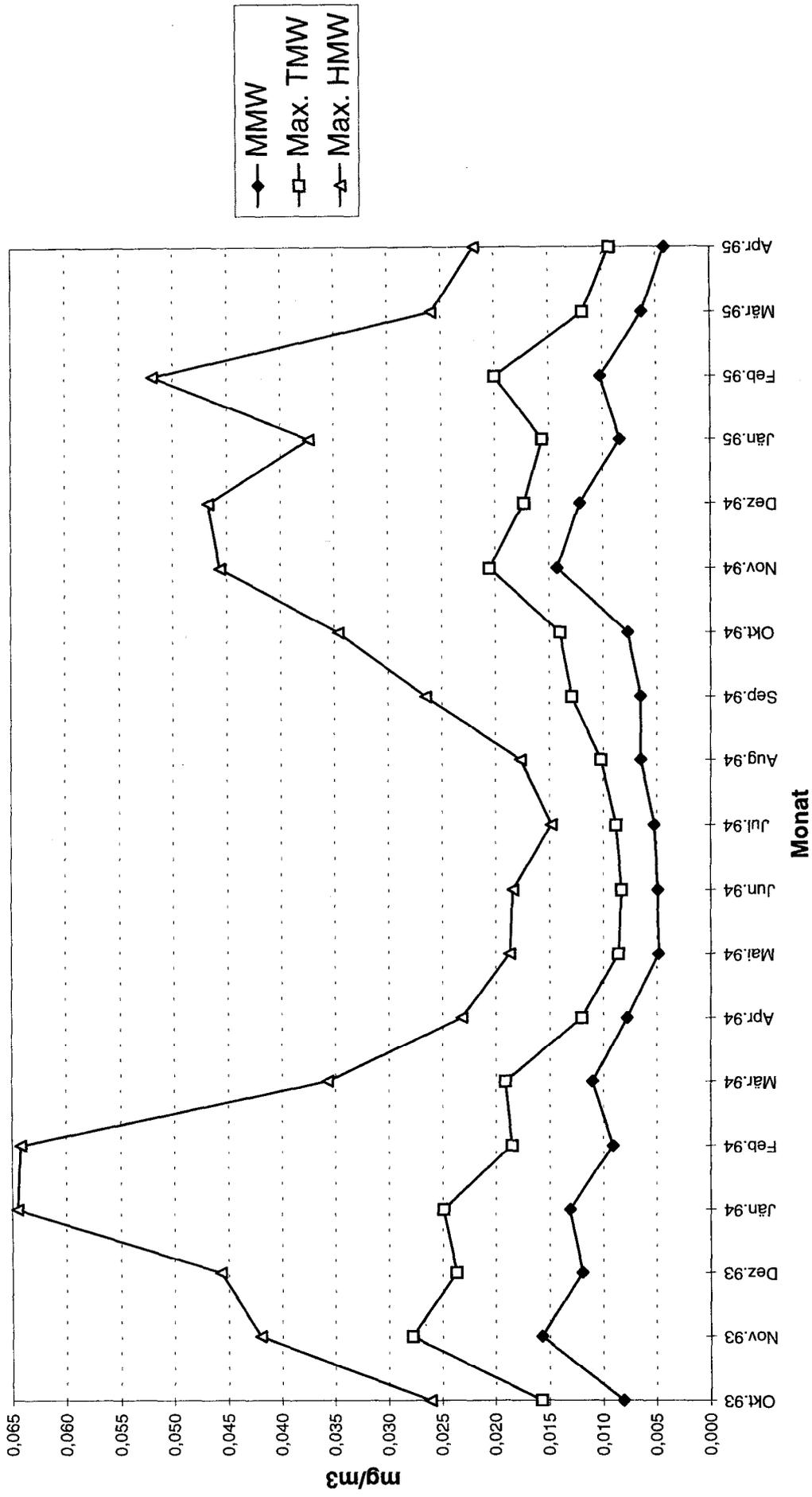


Abb. 57. Monatsmittelwerte und maximale monatliche Tagesmittelwerte der Schwebstaubkonzentration

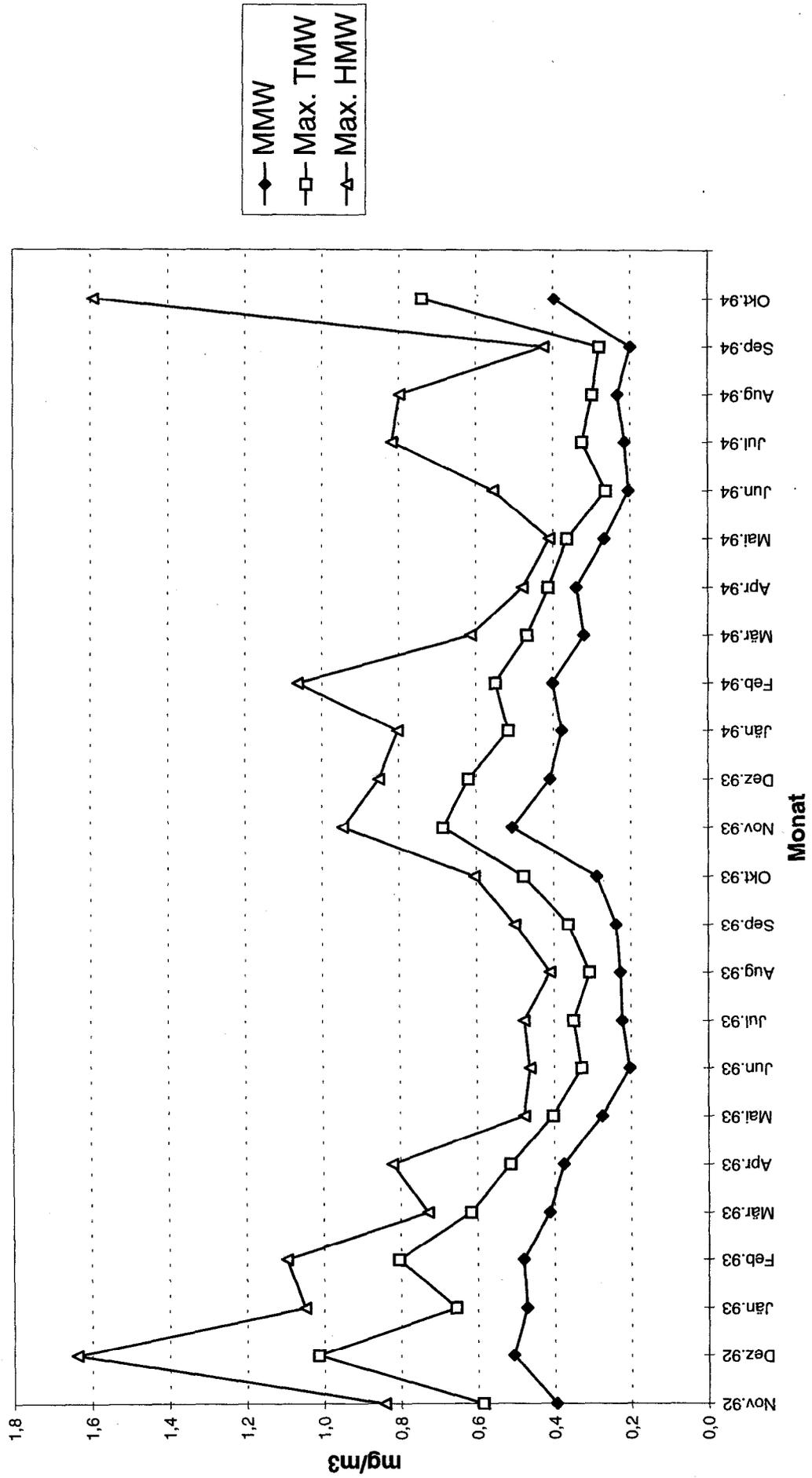
# Arrfels NO



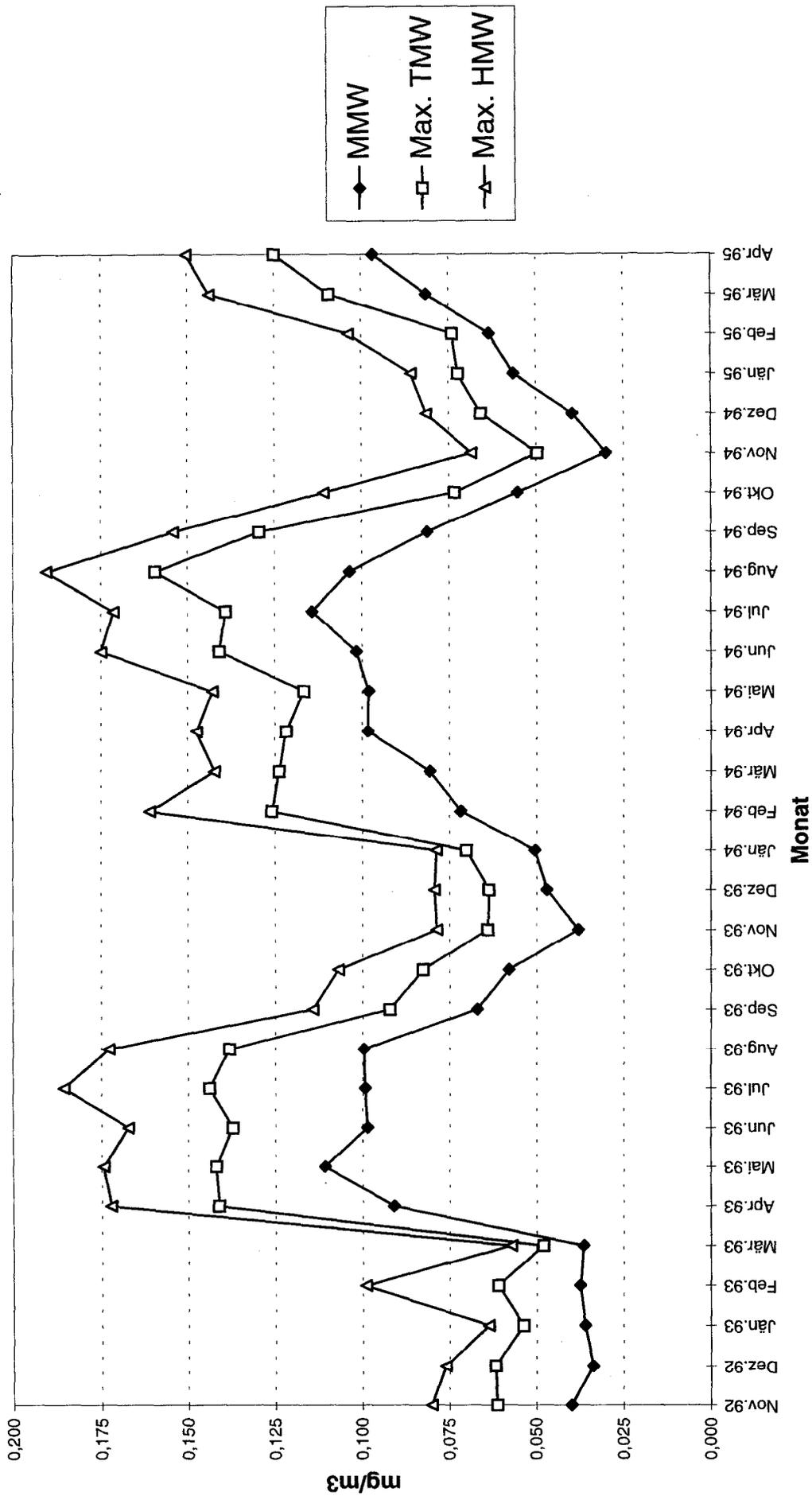
# Arnfels NO2



# Arnfels CO



# Arrfels O3



# Arrfels 14. - 16. 7. 1993

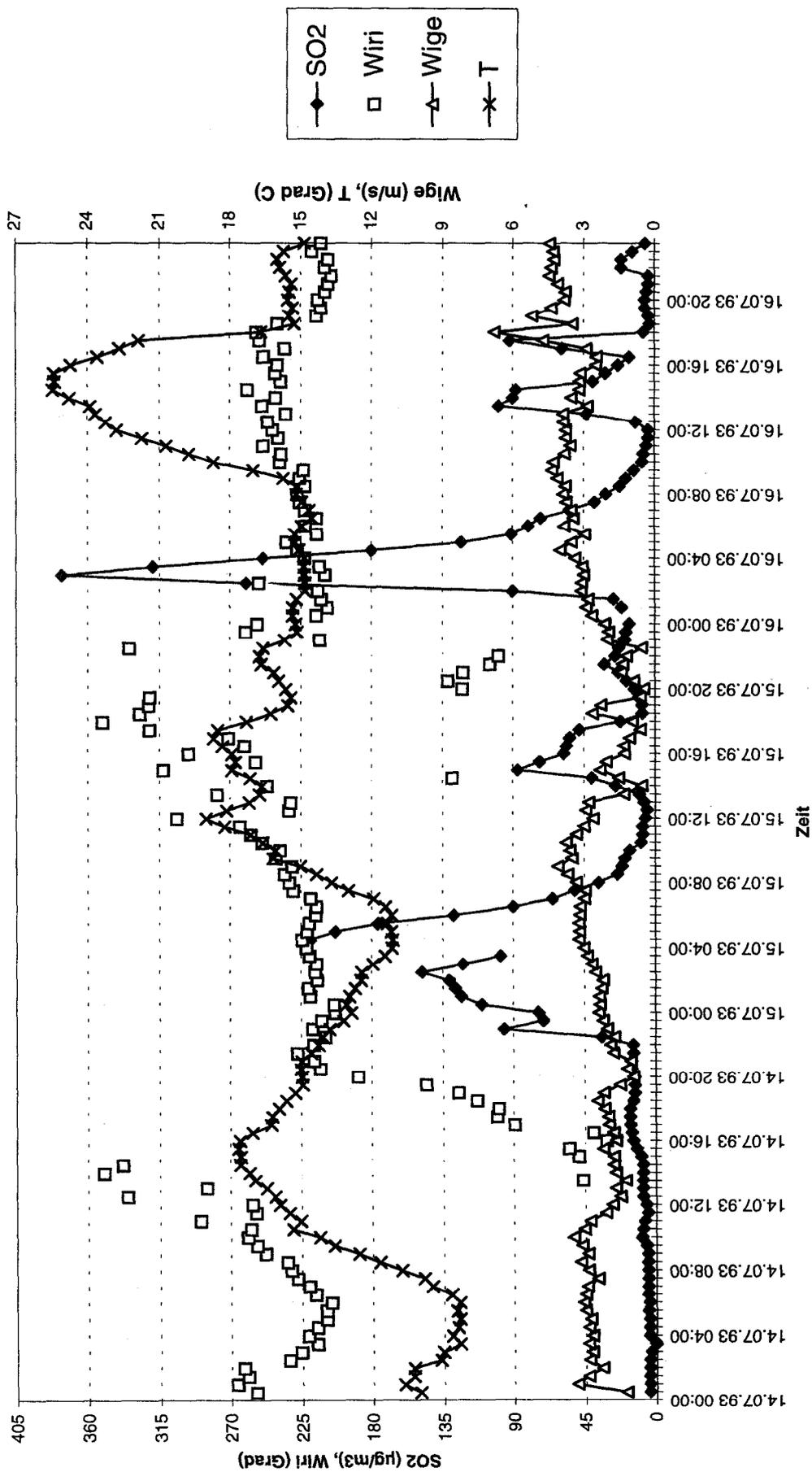


Abb. 62: SO2-Konzentration, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Temperatur

# Arnfels 5. - 7. 12. 1993

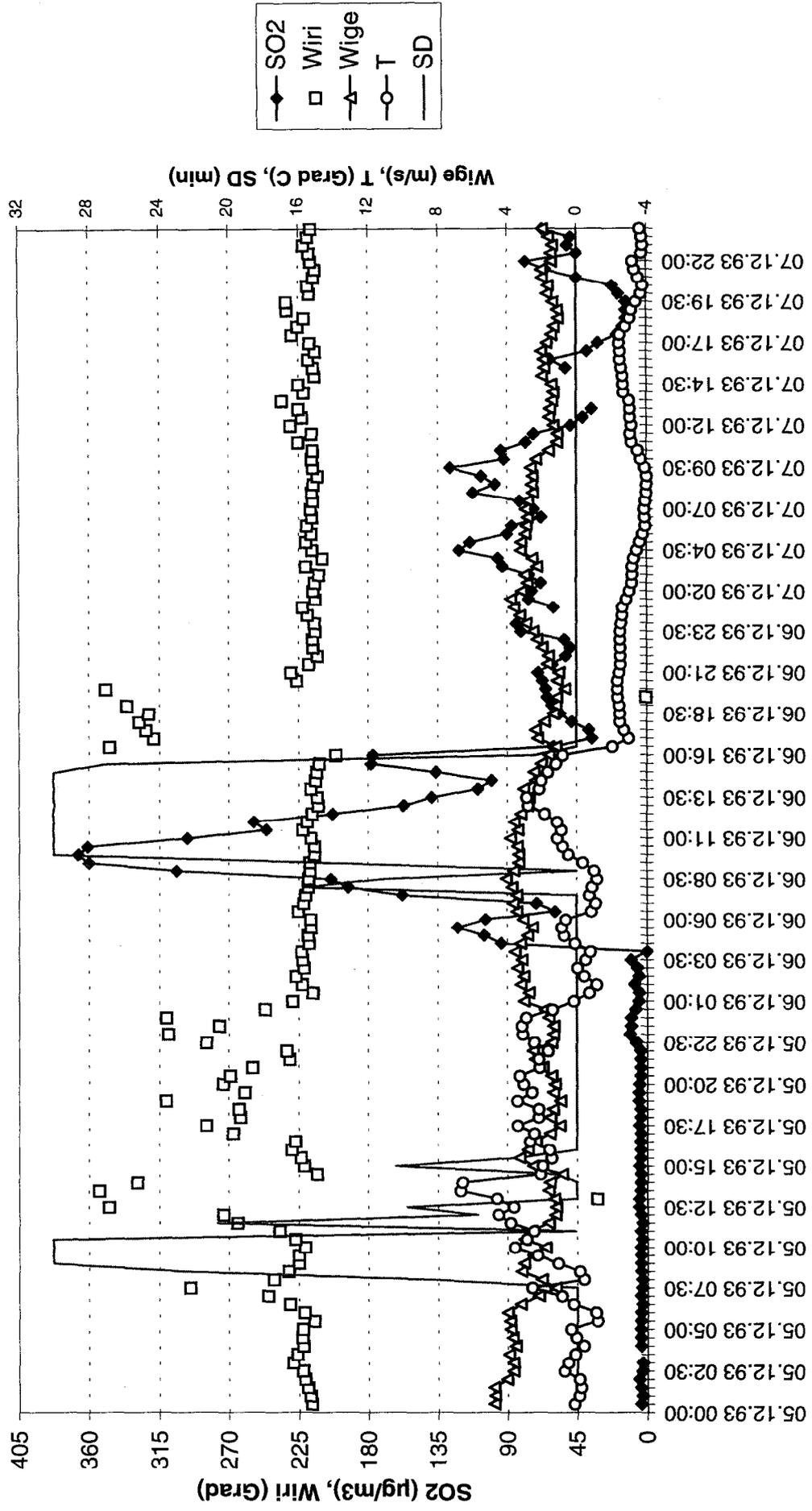


Abb. 63: SO<sub>2</sub>-Konzentration, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Temperatur, Sonnenscheindauer

Armfels, 24.-26.1. 1994

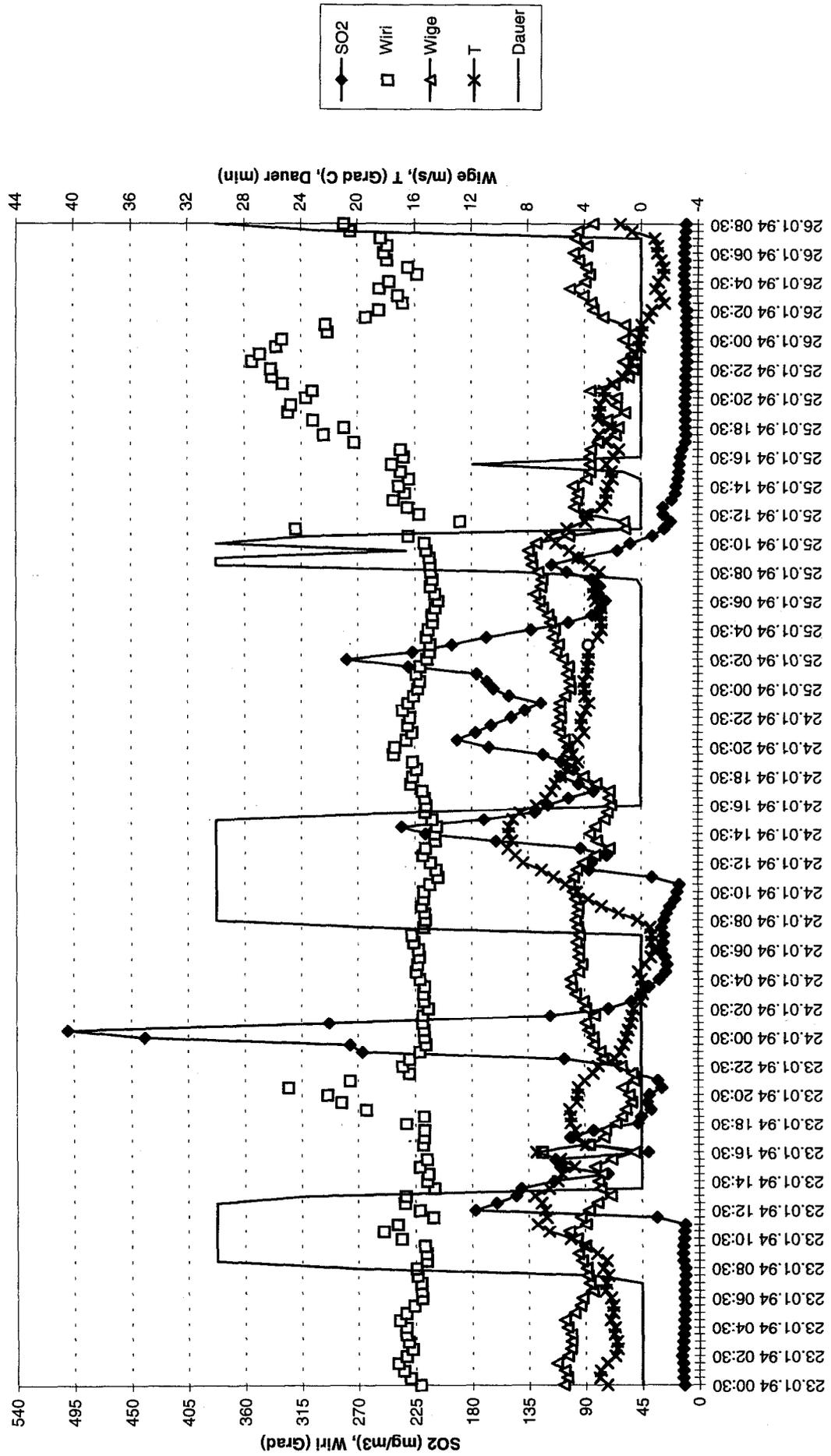


Abb. 64: SO2-Konzentration, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Temperatur, Sonnenscheindauer

Arrfels, 19. - 23.2. 1994

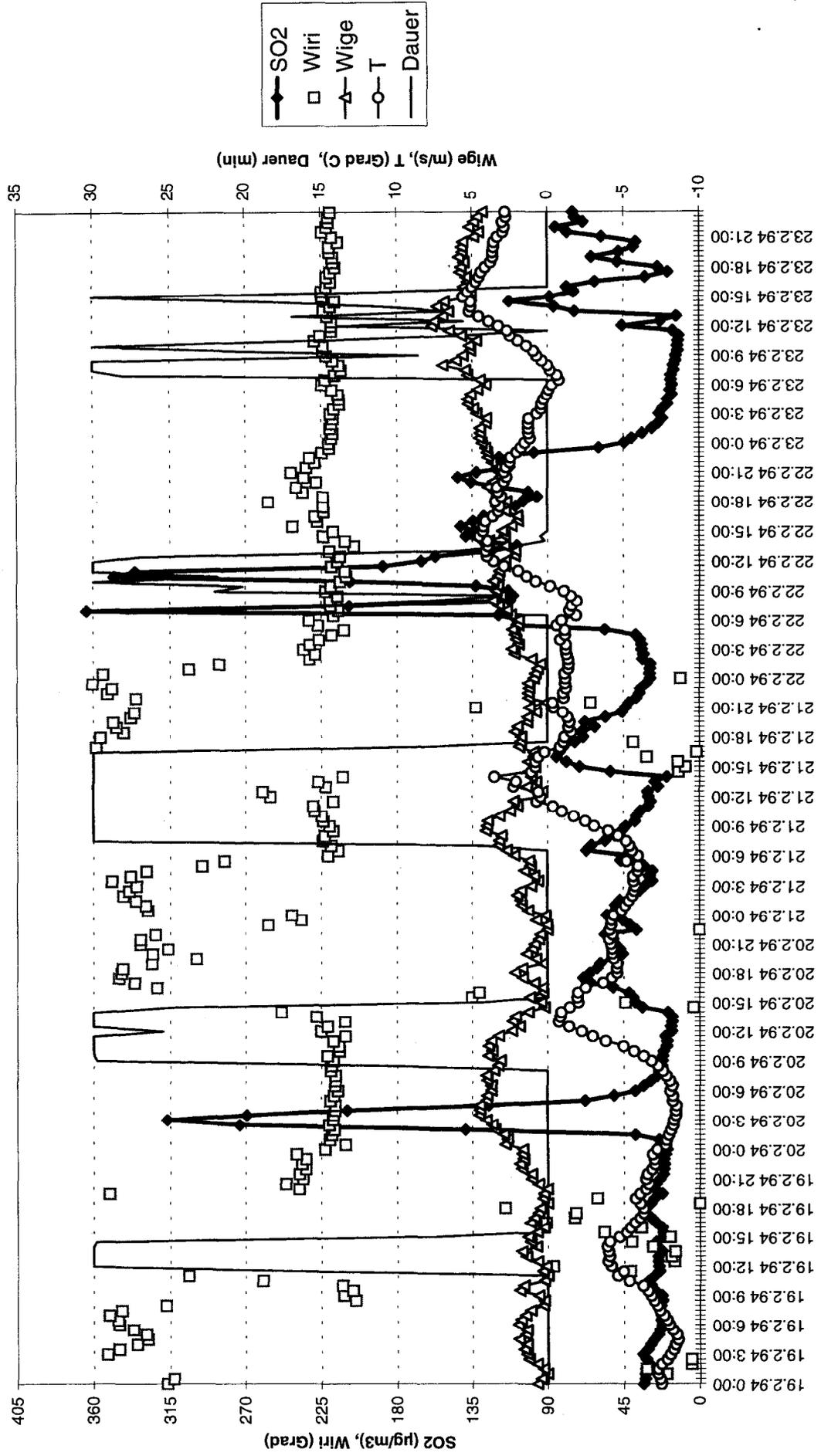


Abb. 65: SO2-Konzentration, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Temperatur, Sonnenscheindauer

Armfels, 19. - 23. 2. 1994

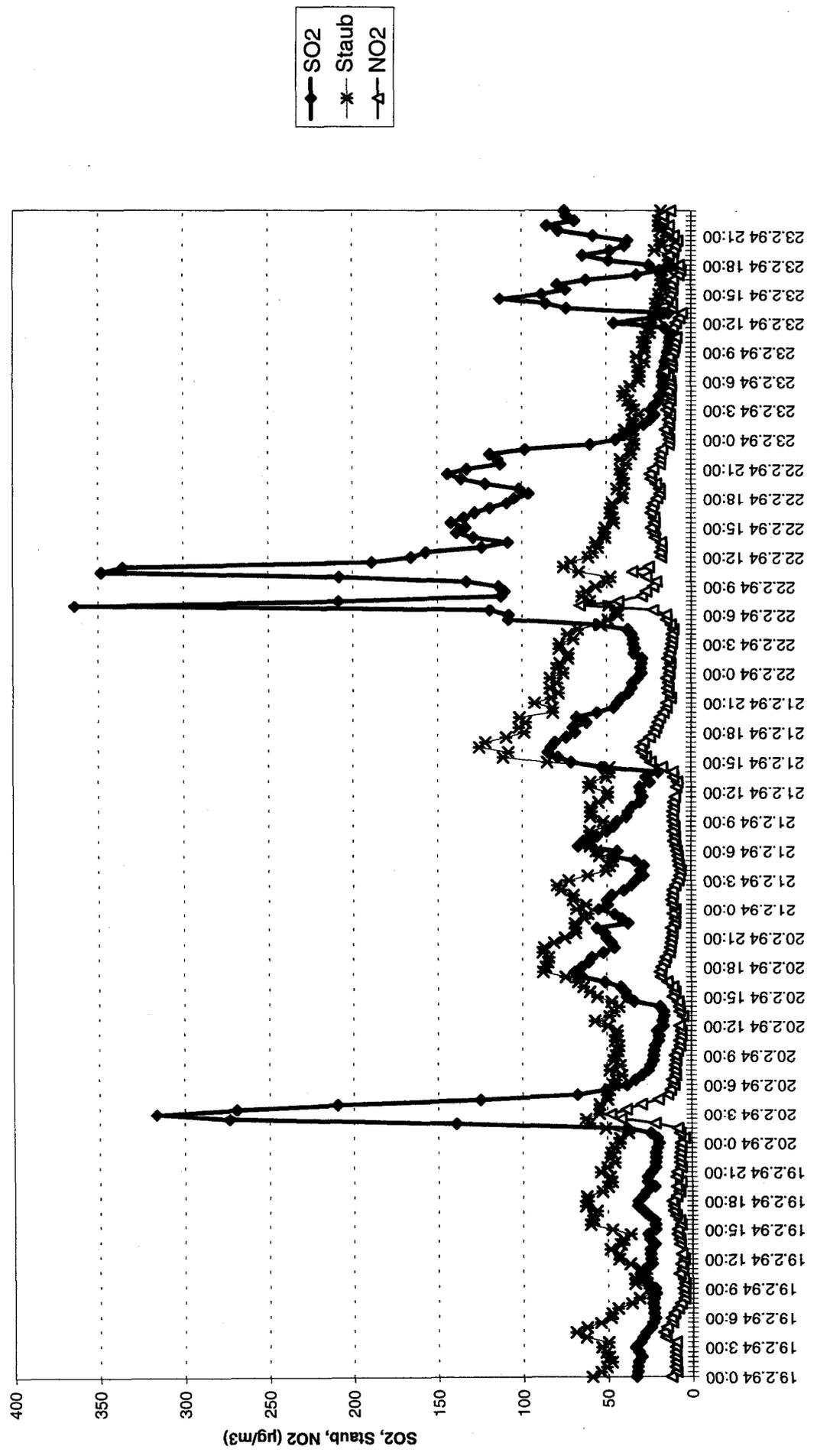


Abb. 66: SO<sub>2</sub>-, Schwebstaub- und NO<sub>2</sub>-Konzentration

Arnfels 2.12.1994

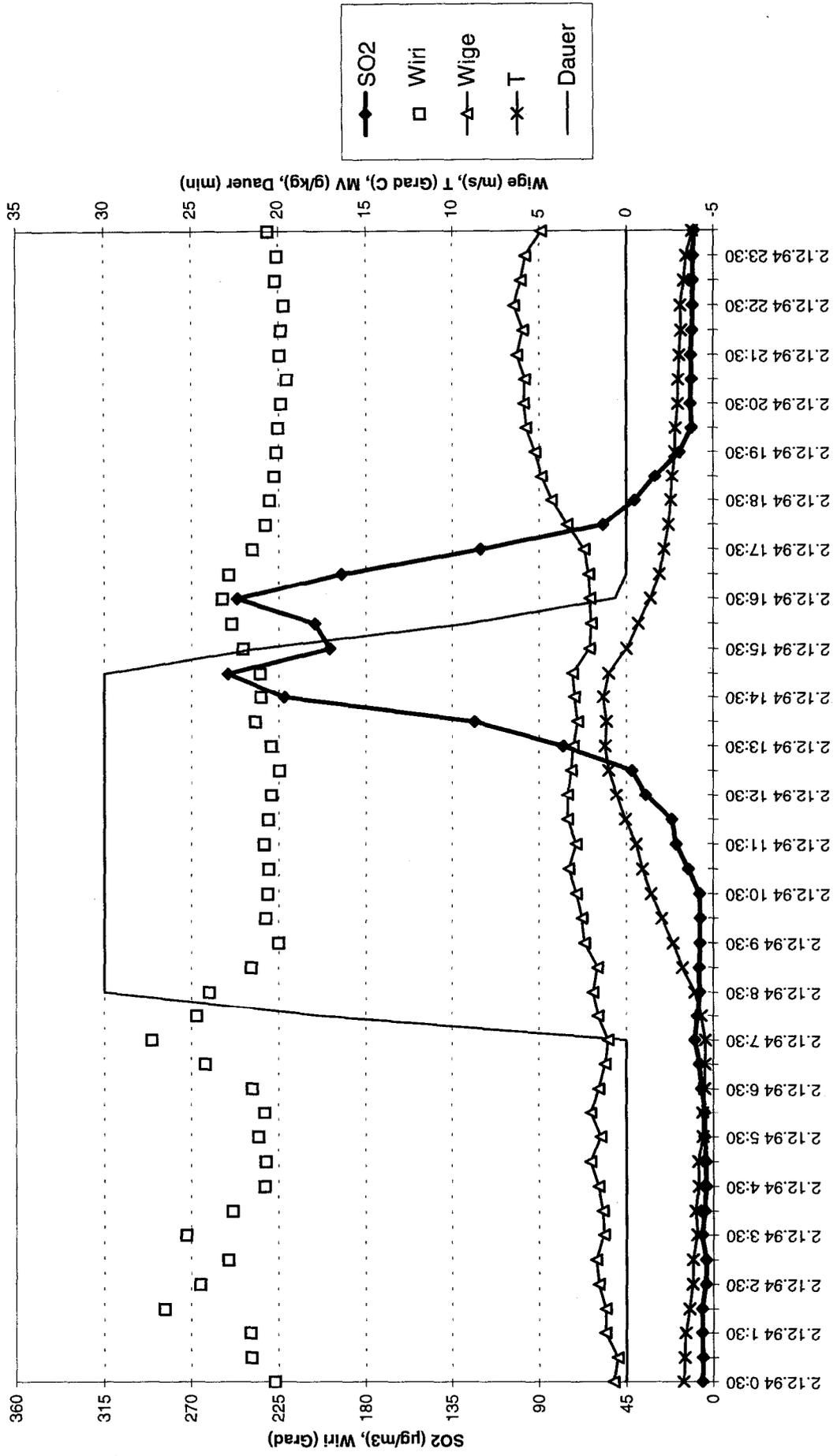


Abb. 67: SO2-Konzentration, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Temperatur, Sonnenscheindauer

Armfels Windrichtung 2.12.1994

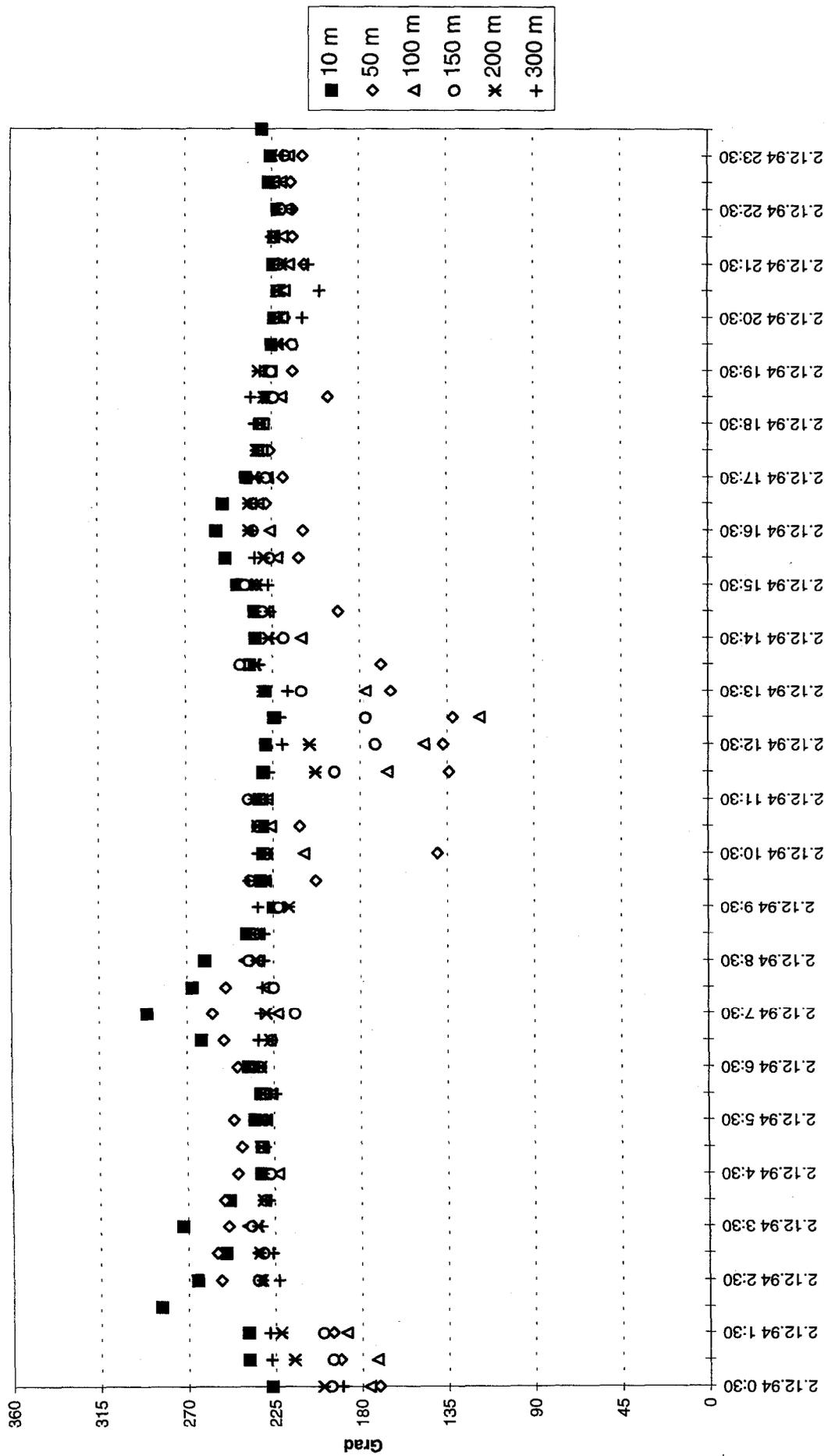


Abb. 68. Windrichtung

Armfels Windgeschwindigkeit 2.12.1994

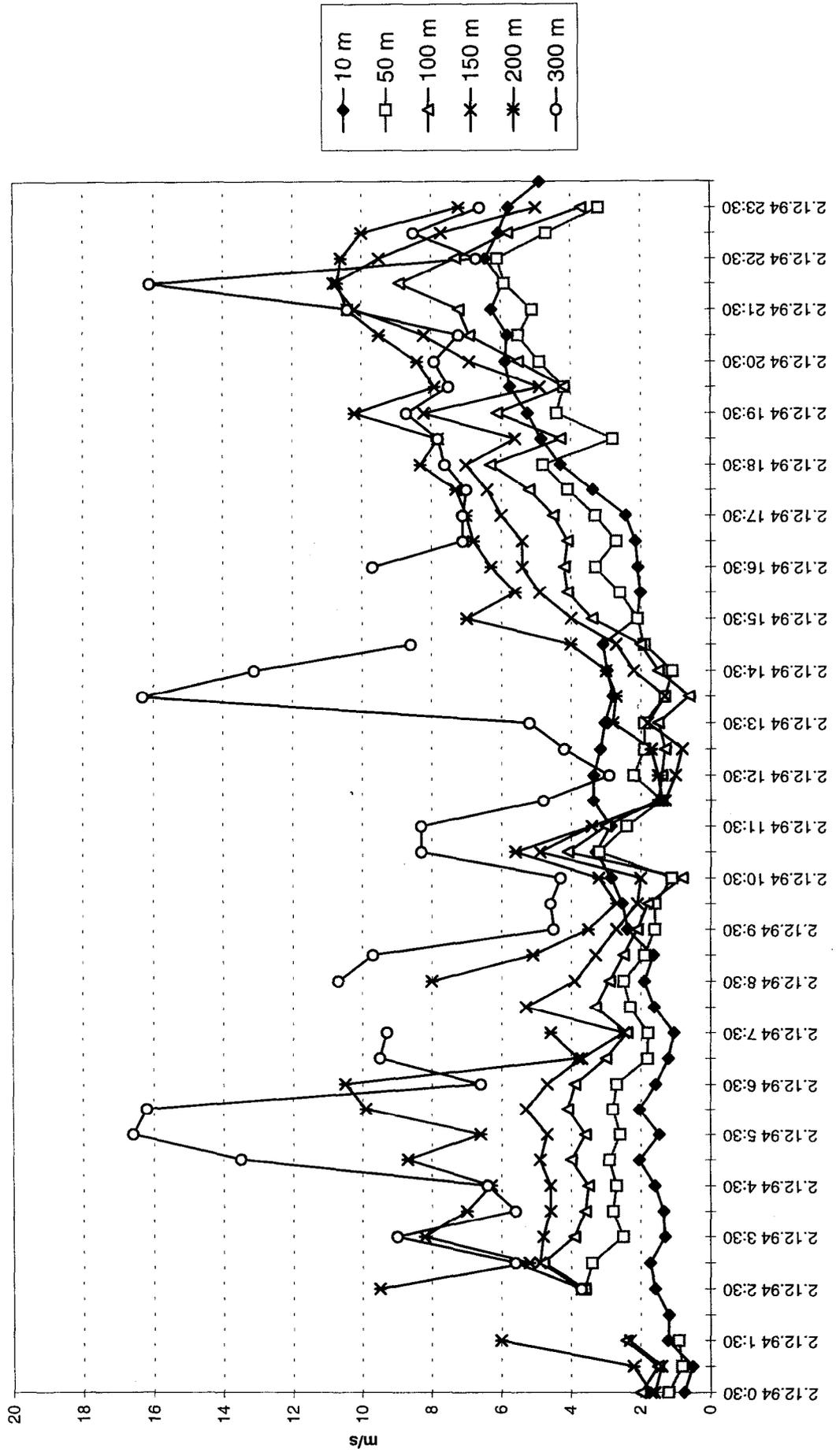


Abb. 69. Windgeschwindigkeit

Armfels 4.-8.2.1995

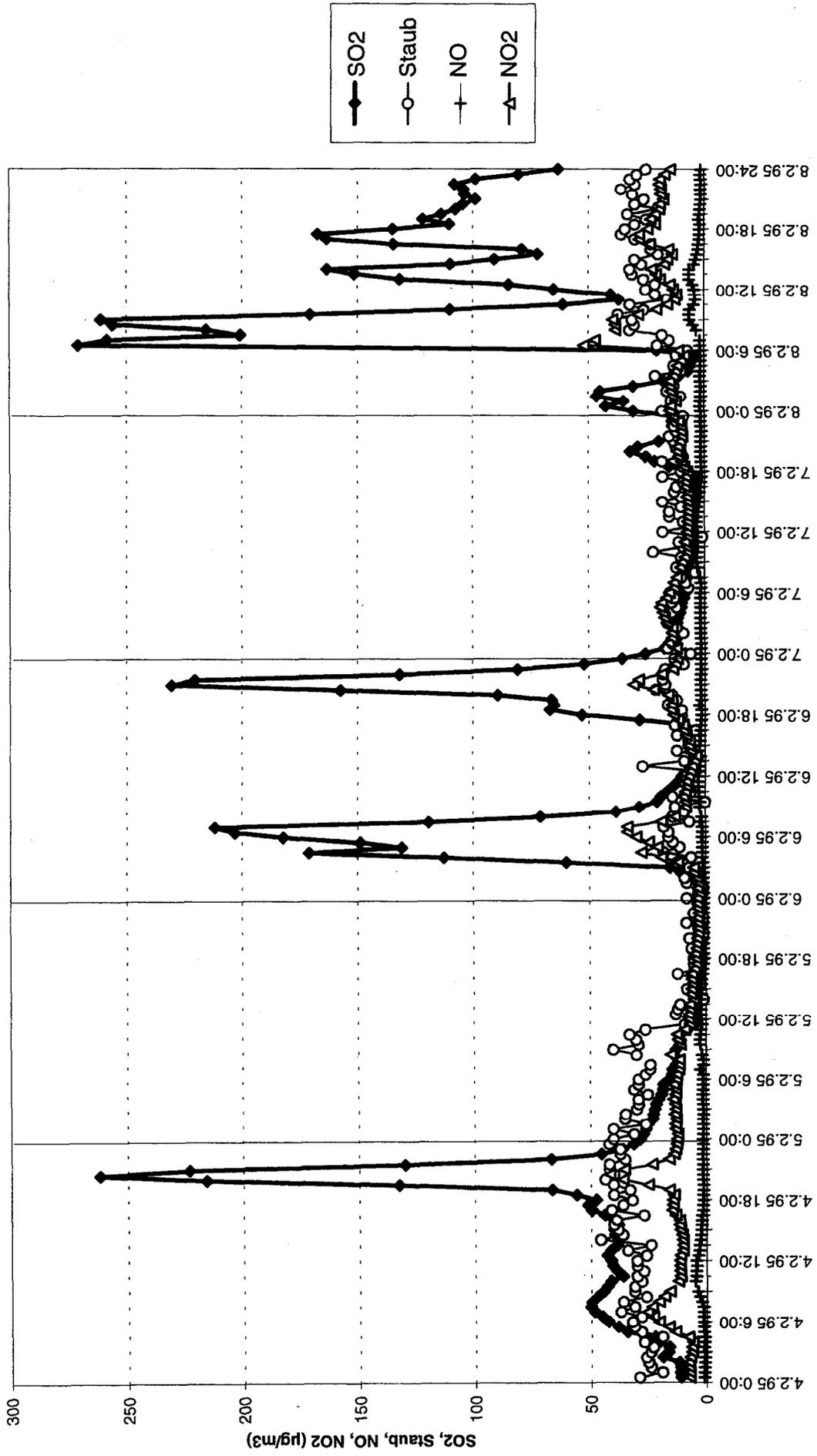


Abb. 70. Konzentration von SO<sub>2</sub>, Schwebstaub, NO, NO<sub>2</sub>

Arnfels 4.-8.2.1995

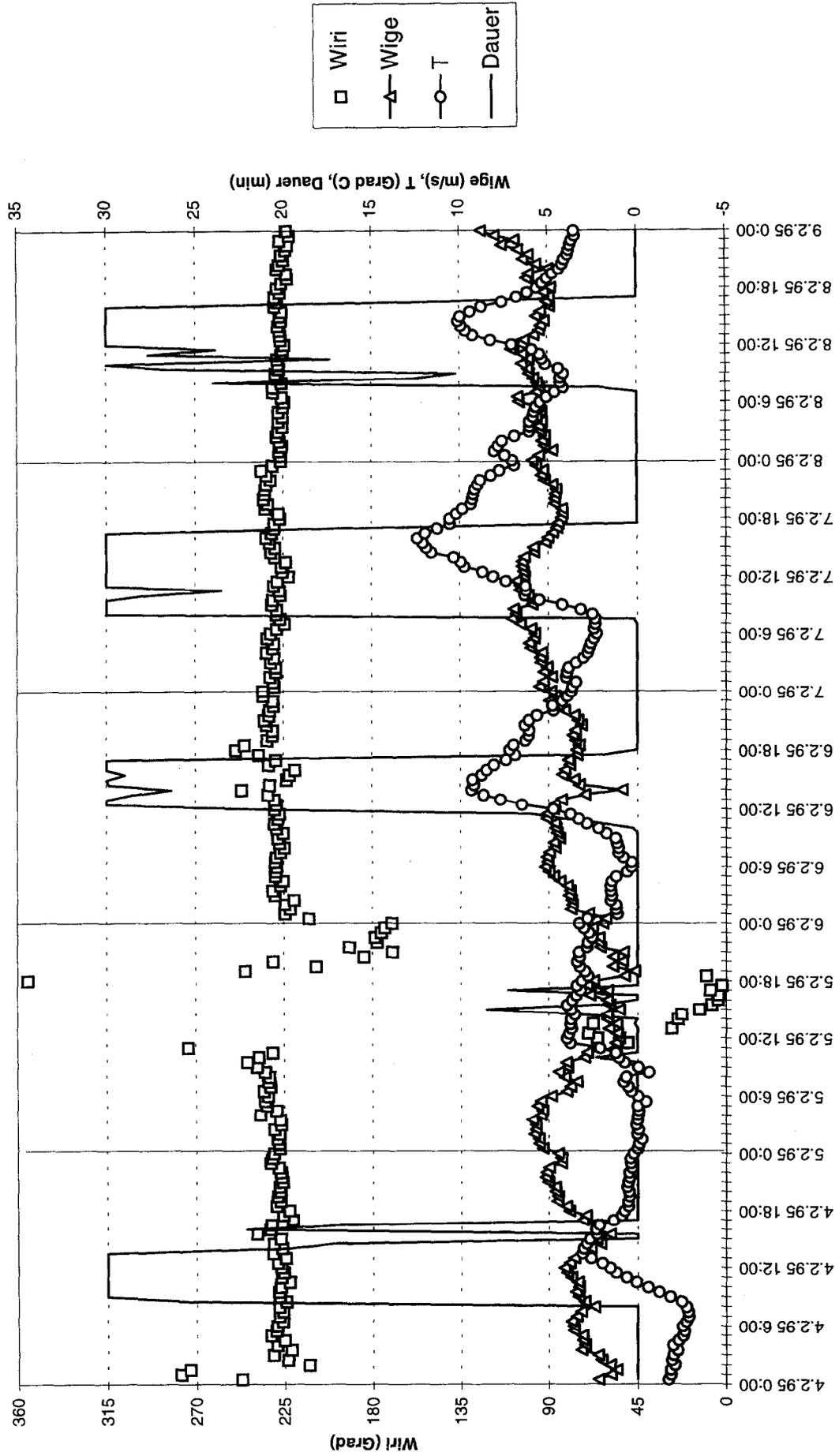


Abb. 71. Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Temperatur, Sonnenscheindauer

Arnfels Windrichtung 4.-8.2.1995

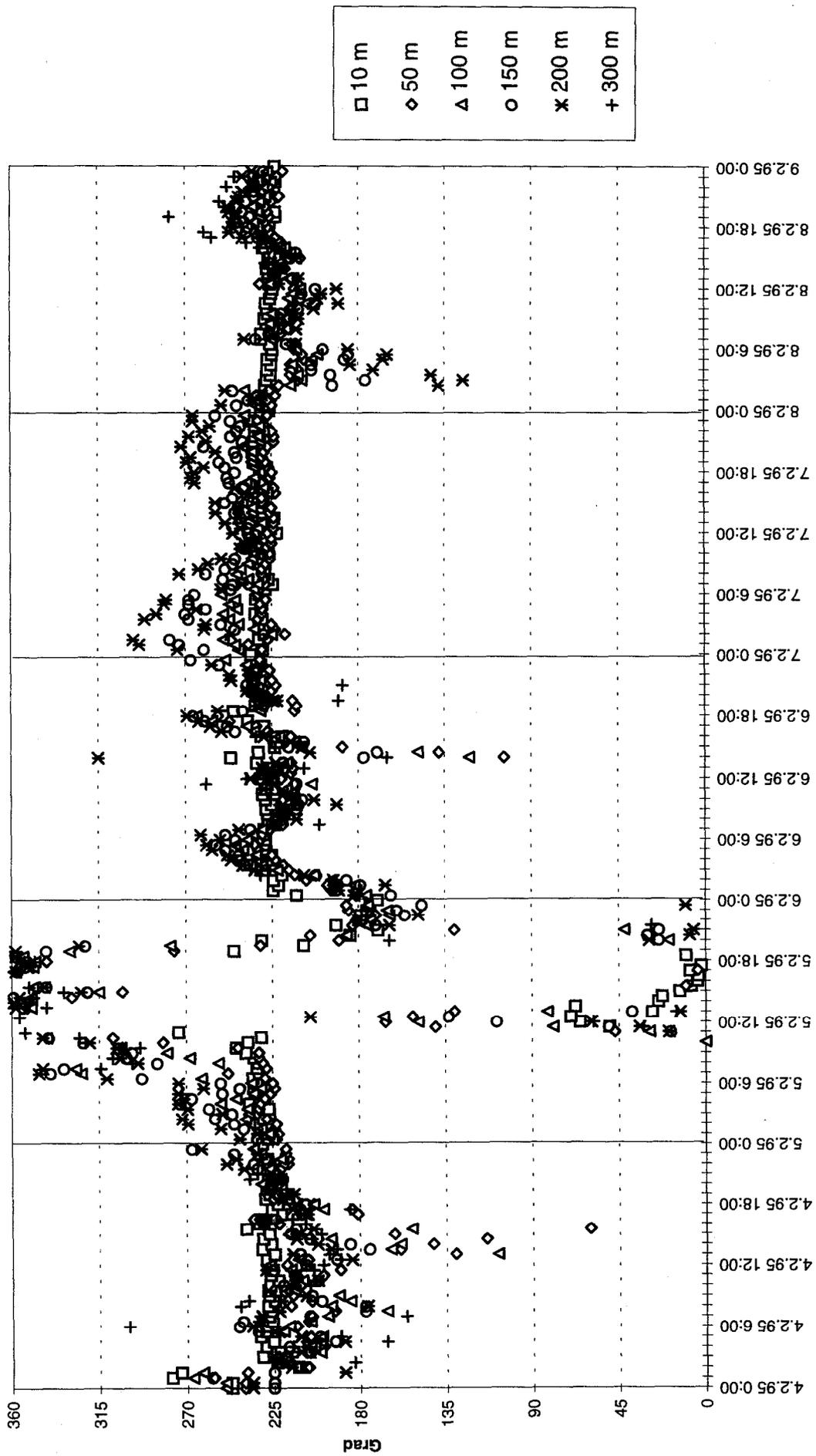


Abb. 72. Windrichtung in Höhen von 10 m bis 300 m über Boden

Arnfels Windgeschwindigkeit 4.-8.2.1995

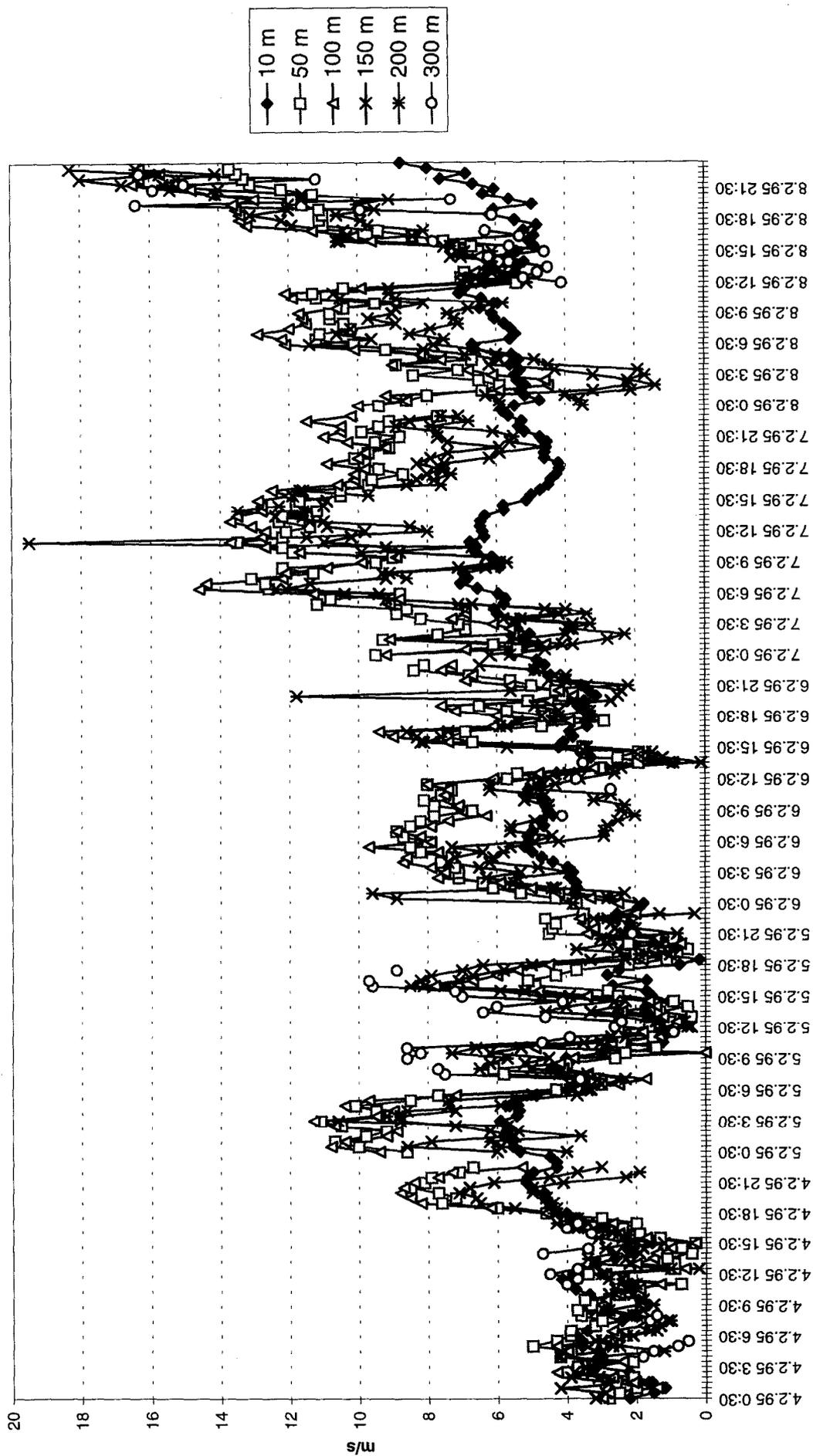


Abb. 73. Windgeschwindigkeit in Höhen von 10 m bis 300 m über Boden

