

BE-158

BERICHTE

**IMMISSIONS- UND WINDMESSUNGEN IM RAUM
KÖTSCHACH-MAUTHEN (KÄRNTEN)**



**Immissions- und Windmessungen im Raum
Kötschach-Mauthen (Kärnten)**

BE-158

Wien, November 2000

Auswertung und Bericht:

Wolfgang Spangl

Betreuung der Meßstelle:

Wolfgang Sarny, Erich Singer, Franz Zimmerl

Qualitätssicherung:

Marina Fröhlich, Fritz Lagler, Franz Rokop, Franz Zimmerl

Ergänzende Immissions- und meteorologische Daten wurden dem Umweltbundesamt vom Amt der Kärntner Landesregierung und der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik zur Verfügung gestellt.

Der Autor dankt den Mitarbeitern der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Regionalstelle Klagenfurt, für die Unterstützung bei der Interpretation der Meßergebnisse.

Impressum:

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

© Umweltbundesamt, Wien, 2000
Alle Rechte vorbehalten (all rights reserved)
ISBN 3-85457-517-3

Zusammenfassung

Das Umweltbundesamt betreibt seit Dezember 1990 in Vorhegg eine Luftgütemessstelle im Rahmen des nationalen Hintergrundmessnetzes; sie liegt in 1020 m Höhe westlich von Kötschach-Mauthen (706 m) in Oberkärnten am Übergang zwischen dem Gail- und dem Lesachtal.

Zur Interpretation der Messergebnisse, insbesondere auch zur Beurteilung von Ferntransport, ist die Kenntnis der Transportvorgänge (Wind, Temperaturschichtung), durch welche Schadstoffe aus unterschiedlicher Entfernung an die Messstelle verfrachtet werden, notwendig.

Die Lage der Messstelle Vorhegg an einem Hang über einem Tal bedingt, daß der dort gemessene Wind lokalen Einflüssen unterliegt (Tal- und Hangwindssysteme). Deshalb wurden weiterführende Messungen durchgeführt, welche untersuchen sollten, welche Windverhältnisse sich am Talboden und über dem Gail- und dem Lesachtal ausbilden, wie weit die in Vorhegg gemessenen Windverhältnisse mit dem Wind einige 100 m über dem Gail- und Lesachtal übereinstimmen und in welchem Ausmaß sich die Temperaturschichtung über dem Gailtal auf die Wind- und die Konzentrationsverhältnisse in Vorhegg auswirkt.

Für diese Untersuchungen wurden durch das Umweltbundesamt zwischen März 1997 und Oktober 1998 Windmessungen (bis ca. 300 m über Boden) mittels Akustikradar (SODAR) an zwei verschiedenen Standorten im Raum Kötschach-Mauthen durchgeführt: von März bis Juni 1997 bei Würmlach in der Mitte des Gailtales östlich von Kötschach-Mauthen und von Oktober 1997 bis Oktober 1998 am Eingang des Lesachtales westlich von Kötschach-Mauthen. Ergänzt wurden diese durch Windmessungen im Lesachtal bei Sittmoos südwestlich von Vorhegg. Zudem wurden Messdaten der Stationen Villacher Alpe, Hermagor und Kötschach im Gailtal in die Untersuchungen einbezogen.

Die Windverhältnisse im und über dem in Ost-West-Richtung verlaufenden breiten Gail- und dem engen Lesachtal werden von der Geländeform entscheidend bestimmt. In der Regel treten thermotopographische Strömungsmuster auf, d.h. in und über den Tälern eine Talwindzirkulation, am Hang, wo auch Vorhegg liegt, eine Hangwindzirkulation. Den "Antrieb" dieser Zirkulationsmuster stellt tagsüber die Sonneneinstrahlung dar, welche die Hänge stärker erwärmt als die Luft über der Talmitte und damit das Aufsteigen der erwärmten Luft über den Hängen und in größerem Maßstab das Einströmen der Luft in die Täler verursacht. Nachts fließt infolge stärkerer bodennaher Abkühlung die Luft an den Hängen abwärts und in den Tälern talauswärts.

Dieses Strömungsmuster bedeutet über dem Gail- und Lesachtal tagsüber östlichen, nachts westlichen Wind. Die Messergebnisse des SODARs bestätigen die theoretischen Erwartungen weitgehend.

Am Südhang, an welchem Vorhegg liegt, beobachtet man nachts Nordwind, d.h. Hangabwind, wohingegen der zu erwartende Hangaufwind (Südwind) tagsüber praktisch völlig vom Taleinwind, d.h. Ostwind, verdrängt wird. Bei den Messstellen am Talboden (Kötschach, Hermagor) wird die Talwindzirkulation des Gailtales stark von jener der Seitentäler überlagert.

Die Windgeschwindigkeitsprofile entsprechen über dem Gailtal den theoretischen Erwartungen; die Windgeschwindigkeit nimmt mit der Höhe zu und ist nachmittags höher als nachts. Am Eingang des Lesachtales nimmt hingegen die Geschwindigkeit

in den unteren 100 m nachmittags nicht gegenüber nachts zu, erst in größeren Höhen ist nachmittags eine allerdings starke Zunahme zu beobachten.

Die Kalmenhäufigkeit (Windgeschwindigkeit unter 0,5 m/s) ist im Winter ebenfalls deutlich höher als im Sommer, wobei sie an den Messstellen am Talboden, Kötschach (Winter 72%, Sommer 43%) und Hermagor, wesentlich höher ist als in Vorhegg (Winter 14%, Sommer 8%) und über dem Tal.

Die Schadstoffbelastung kann als großflächig repräsentativ für ländliche alpine Regionen angesehen werden. Im Mittel treten tagsüber, d.h. bei Ostwind die höchsten SO_2 -, NO_2 - und CO-Konzentrationen auf. Die wesentlichen Quellen der registrierten NO_2 -Belastung sowie zum Teil der CO- und SO_2 -Belastung sind Emissionen im Gailtal. Schadstofftransport von diesen Quellen nach Vorhegg findet besonders tagsüber bei gutem Vertikalaustausch über dem Tal statt. Die mittleren Tagesgänge zeigen, daß zumeist morgens, d.h. nach Auflösung der Bodeninversion im Gailtal, die Schadstoffkonzentrationen in Vorhegg rasch ansteigen.

Bei SO_2 lassen sich die höchsten kurzzeitigen Belastungen (max. Tagesmittelwert $0,049 \text{ mg/m}^3$, max. Halbstundenmittelwert $0,159 \text{ mg/m}^3$) in den meisten Fällen mit Ferntransport von Osten aus dem slowenischen Kraftwerk Sostanj erklären, der – sofern er Vorhegg erreicht – auch ganz Kärnten erfaßt. Die Analyse einzelner Episoden zeigt, daß SO_2 -Transport häufig in abgehobenen Luftschichten und begrenzten Schadstoffwolken erfolgt, so daß innerhalb Kärntens ein relativ heterogenes Belastungsbild beobachtet wird.

Die CO-Konzentration wird in Vorhegg durch eine vergleichsweise hohe, nicht von lokalem oder regionalem Transport beeinflusste Hintergrundbelastung bestimmt, welcher der Schadstofftransport aus dem Gailtal überlagert ist.

Die Ozonbelastung ist in Vorhegg, gemittelt über Zeiträume ab ca. 8 Stunden, im österreichweiten Vergleich relativ hoch. Zudem ist in Vorhegg fallweise Ozontransport aus Oberitalien für vergleichsweise hohe kurzzeitige Konzentrationsspitzen (bis $0,20 \text{ mg/m}^3$ als Dreistundenmittelwert an einzelnen Tagen) verantwortlich. Lokale Ozonbildung sowie Ozontransport in lokalem Maßstab spielen praktisch keine Rolle.

Zur Abschätzung der von Schadstofftransport aus dem Gailtal unbeeinflussten Hintergrundkonzentration werden die nächtlichen Werte der mittleren Tagesgänge bei stabiler Schichtung herangezogen. Diese ergeben im Sommer 1998 für SO_2 und NO_2 ca. $0,001 \text{ mg/m}^3$ und für CO ca. $0,15 \text{ mg/m}^3$, im Winter 1997/98 für SO_2 ca. $0,001 \text{ mg/m}^3$, für NO_2 ca. $0,002 \text{ mg/m}^3$ und für CO ca. $0,20$ bis $0,25 \text{ mg/m}^3$.

Die Untersuchung zeigt, daß die lokalen Windverhältnisse insgesamt relativ wenig Einfluß auf das Immissionsgeschehen in Vorhegg haben, sondern daß der Transport belasteter Luft aus dem Gailtal an die Messstelle primär vom Ausmaß des vertikalen Austauschs abhängt. Fallweise Fernverfrachtung von SO_2 und Ozon (teilweise CO) wird von der großräumigen Strömung bestimmt, die weder von den Messstellen im Gailtal noch vom SODAR registriert wird.

Summary

The air quality monitoring site Vorhegg is run by the Austrian Federal Environment Agency since December 1990 as part of the national background monitoring network.

Vorhegg (1020 m) is located west to Kötschach-Mauthen (706 m) in western Carinthia near the transition between the broad Gail and the narrow Lesach Valley.

The objective of AQ monitoring at this site is to observe the regional scale background pollution level, its trend and the contribution by long-range transport, for which purpose the knowledge of pollution transport processes is necessary.

Vorhegg is located at a slope above a valley and therefore locally induced circulation patterns determine the wind at this site. In order to investigate the relation of the wind observed at Vorhegg to the wind patterns in and above the Gail and the Lesach Valley, and the dependence of local wind patterns and concentration levels from the vertical temperature lapse rate, the Federal Environment Agency conducted additional meteorological measurements in the region around Vorhegg. From March to June 1997, in Würmlach east of Kötschach-Mauthen, wind measurements by SODAR were conducted at the centre of the Gail Valley, from October 1997 to October 1998 at the entrance to the narrow Lesach Valley west of Kötschach-Mauthen. Additional meteorological measurements were conducted in Sittmoos in the Lesach Valley south-west of Vorhegg; meteorological data from the high alpine site Villacher Alpe and from Hermagor and Kötschach in the Gail Valley were included.

The circulation pattern above the Gail and the Lesach Valley are characterised by valley wind systems and slope wind systems, each driven by the different amount of ground heating by solar insolation. During daytime, air rises at the slopes which get warmer than the air above the valley centre, and air flows into the valleys. At night, circulation reverses to downward flow at the slopes and out of the valleys.

These circulation patterns could be observed above the Gail and the Lesach Valley; but at the valley bottom local circulation patterns induced by small side valleys, superimpose the valley wind system of the Gail Valley. In Vorhegg at night northern wind (down slope wind) is observed, whereas during daytime the wind into the Lesach Valley completely displaces the – theoretically expected – up slope wind.

The wind velocity profiles observed above the Gail Valley coincide with the theoretical expectation – increasing with altitude during daytime – , whereas above the narrow Lesach Valley such increase can be observed only above some 100 m.

Calms (wind velocity < 0,5 m/s) are observed more frequently during winter than summer and much more frequently at the valley bottom than at higher altitudes.

Elevated SO₂, NO₂ and CO concentrations in Vorhegg on average coincide with eastern wind and can be attributed mainly to emissions in the Gail Valley where the nearest settlements are located. Significant pollutant transport from the valley bottom is observed before noon when the ground level inversion in the valley breaks up.

The highest short-term SO₂ concentrations result from long-range transport from the thermal power plant Sostanj in Slovenia. In most cases polluted air is advected in elevated layers, therefore concentration patterns in Carinthia can be rather inhomogeneous.

The rather high ozone pollution level is representative on a regional scale for this altitude. On some occasions short-term peak values up to 0,20 mg/m³ could be observed, which were attributed to advection from Italy. Local photochemical ozone formation and local ozone transport are of very minor importance.

The average diurnal variation enables to estimate the background concentration – as the nocturnal concentration level, which is only slightly influenced by near-by emissions – for SO₂ and NO₂ in summer 1998 to 0,001 mg/m³, for CO to 0,15 mg/m³; in

winter 1997/98, the background levels can be estimated to 0,001 mg/m³ for SO₂, 0,002 mg/m³ for NO₂ and about 0,20 to 0,25 mg/m³ for CO.

The influence of local wind systems on the pollution in Vorhegg proved to be of minor importance. The main effect is exerted by the vertical exchange with the Gail Valley which is triggered by the vertical temperature gradient. Anyhow, long-range transport could not be investigated by the wind observed above the valleys, but obviously occurs in much higher altitudes.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
1.1	Zielsetzung der Untersuchung	2
1.2	Abkürzungen	3
2	Beschreibung der Messstellen und Messgeräte	4
2.1	Geräteausstattung der Messstellen	7
2.2	Kenndaten der Messgeräte	7
3	Auswertung der Windmessungen	10
3.1	Allgemeine Charakteristika von Tal- und Hangwindssystemen	10
3.2	Die Temperaturschichtung zwischen Kötschach (Talboden) und Vorhegg	10
3.3	Die Windverhältnisse im Sommer	11
3.4	Die Windverhältnisse im Winter	16
3.5	Resümee	18
4	Die Schadstoffbelastung in Vorhegg	19
4.1	Überblick	19
4.2	Mittlere Tagesgänge der Schadstoffkonzentration	20
4.3	Schadstoffwindrosen	21
4.4	Resümee	22
5	Fallstudien	23
5.1	Episode 18. und 19. April 1997	23
5.2	Episode 3. bis 5. Mai 1997	24
5.3	Episode 10. Juni 1997	26
5.4	Episode 16. und 17. Jänner 1998	27
5.5	Episode 29. bis 30. März 1998	29
5.6	Episode 20. bis 24. Juli 1998	30
6	Resümee	32
6.1	Lokale Beeinflussung der Messstellen und Bedarf an zusätzlichen Messdaten	32
6.2	Die Eignung der Messstelle Vorhegg für die Hintergrundmessung	32

1 Einleitung

1.1 Zielsetzung der Untersuchung

Das Umweltbundesamt betreibt seit Dezember 1990 in Vorhegg bei Kötschach-Mauthen (oberes Gailtal, Kärnten) eine Luftgütemessstelle im Rahmen des nationalen Hintergrund-Messnetzes (gesetzlich festgelegt seit 1997 im Immissionsschutzgesetz-Luft, BGBl. I 115/97, §5) und des Ozon-Messnetzes (Ozongesetz, BGBl. 210/92, §3); die Messstelle ist auch in das europaweite EMEP¹-Messnetz eingebunden, welches im Rahmen der Konvention über weiträumige grenzüberschreitende Luftverschmutzung betrieben wird und die Erfassung europäischer Hintergrundwerte für Konzentration und Deposition von Schadstoffen zum Ziel hat.

Die Messstelle befindet sich beim Weiler Vorhegg (Seehöhe 1020 m) nordwestlich von Kötschach-Mauthen (Seehöhe 706 m) in Oberkärnten an einem steilen südsüdost-orientierten Hang. Das enge, v-förmige Lesachtal weitet sich westlich von Kötschach-Mauthen zum breiten, ebenen Gailtal auf; die Messstelle Vorhegg befindet sich oberhalb des Übergangsbereichs des Lesach- ins Gailtal.

Der Zweck der Messung an einer Hintergrundmessstelle ist die Erfassung der regionalen (Skala 100 km) und europäischen Hintergrundkonzentration und von deren zeitlichem Trend, sowie die Beurteilung von Ferntransport, welcher diese Hintergrundkonzentration beeinflusst. Dafür ist u.a. die Kenntnis jener Transportvorgänge notwendig, welche Schadstoffe aus unterschiedlicher Entfernung, d.h. von unterschiedlichen Quellen, an die Messstelle verfrachten, sowie anderer meteorologischer Parameter, welche das Immissionsgeschehen beeinflussen.

Für den Schadstofftransport an eine Messstelle im alpinen Gelände sind Transportprozesse unterschiedlicher Skalen verantwortlich:

- lokale Windsysteme (Hangwind) und vertikale Austauschprozesse bestimmen den Schadstofftransport zwischen dem Talboden und der erhöht gelegenen Messstelle;
- regionale Windsysteme (Talwind) bestimmen den Transport innerhalb der Alpentäler;
- auf größerem Maßstab bestimmt der synoptische Wind die Fernverfrachtung von Schadstoffen.

Die Lage der Messstelle Vorhegg an einem Hang in einem Alpental bedingt, daß der dort gemessene Wind starken lokalen Einflüssen unterliegt. Nachts herrscht in Vorhegg zumeist Nordnordwestwind, d.h. eine hangabwärts gerichtete Strömung, tagsüber Ostwind, d.h. eine in das Lesachtal hinein gerichtete Strömung. Dabei handelt es sich um lokale, thermisch induzierte Strömungsmuster, sog. thermotopographische Zirkulationen. Diese Windverhältnisse sind nur lokal repräsentativ. Da sie in der Regel nur eine seichte bodennahe Luftschicht charakterisieren, lassen sie nur sehr beschränkt Aussagen über den großräumigeren Luftmassen- und damit den Schadstofftransport über dem Tal zu. Deshalb wurden weiterführende Messungen durchgeführt, welche untersuchen sollten

¹ European Monitoring and Evaluation Programme

- welche Windverhältnisse sich am Talboden und über dem Gail- und dem Lesachtal ausbilden;
- wie weit die in Vorhegg gemessenen Windverhältnisse mit dem Wind einige 100 m über dem Gail- bzw. Lesachtal übereinstimmen;
- wie weit die an den Messstellen Kötschach und Hermagor gemessenen Windverhältnisse jene in bzw. über der Talmitte des Gailtales wiedergeben;
- wie weit der im Gipfelniveau gemessene Wind jenen im Gailtal beeinflusst;
- in welchem Ausmaß sich die Temperaturschichtung über dem Gailtal auf die Wind- und Schadstoffkonzentrationsverhältnisse in Vorhegg auswirkt.

Für diese Untersuchungen wurden durch das Umweltbundesamt zwischen März 1997 und Oktober 1998 Windmessungen mittels Akustikradar (SODAR) an zwei verschiedenen Standorten im Raum Kötschach-Mauthen durchgeführt: von März bis Juni 1997 bei Würmlach in der Mitte des oberen Gailtales und von Oktober 1997 bis Oktober 1998 am Eingang des Lesachtalles.

Ergänzt wurden diese Messungen durch Windmessungen im Lesachtal bei Sittmoos (Seehöhe 895 m) südwestlich von Vorhegg. Zudem wurden die Messdaten der Stationen Villacher Alpe, Hermagor und Kötschach im Gailtal in die Untersuchungen einbezogen.

1.2 Abkürzungen

mg/m ³	Milligramm pro Kubikmeter
SO ₂	Schwefeldioxid
NO ₂	Stickstoffdioxid
NO	Stickstoffmonoxid
CO	Kohlenmonoxid
O ₃	Ozon
Wiri	Windrichtung
Wige	Windgeschwindigkeit
m/s	Meter pro Sekunde
SD	Sonnenscheindauer
SBIL	Strahlungsbilanz
GSTR	Globalstrahlung
LUDR	Luftdruck
NIED	Niederschlagsmenge
T	Lufttemperatur
RF	Relative Feuchte

2 Beschreibung der Messstellen und Messgeräte

Die Messstellen, deren Messdaten in die vorliegende Untersuchung einbezogen wurden, sind in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1: Luftgüte- und meteorologische Messstellen im Bereich des Gailtales.

Messstelle	Betreiber	Seehöhe	Koordinaten	Gemessene Komponenten	Zeitraum
Vorhegg	UBA	1020 m	12°58'19" O 46°40'47" N	SO ₂ , NO ₂ , CO, O ₃ , Wiri, Wige, T, RF, SD, GSTR, SBIL, NIED, LUDR	seit 4.12. 90
Sittmoos	UBA	895 m	12°57'20" O 46°40'25" N	Wiri, Wige, T, RF	1.11. 96 – 12.12. 98
Würmlach Hunde- schlittenplatz	UBA	690 m	13°02'05" O 46°39'40" N	Wiri, Wige (SODAR) in Höhen von 50 bis ca. 250 m über Boden	11.3. – 25.6. 97
Sägewerk Haslacher	UBA	710 m	12°58'40" O 46°40'11" N	Wiri, Wige (SODAR) in Höhen von 50 bis ca. 250 m über Boden	8. - 14.10.97, 7.12.97 – 10.2.98, 11.3. – 6.10. 98
Hermagor	KLR ²	600 m	13°22'23" O 46°37'29" N	SO ₂ , NO ₂ , NO, Staub, CO, O ₃ , Wiri, Wige, T, RF	seit 1.5.91
Fürnitz	KLR	515 m	13°48'00" O 46°33'50" N	SO ₂ , NO ₂ , NO, Staub, CO, O ₃ , Wiri, Wige, T, RF	seit 1.10.90
Oberdrauburg	KLR	612 m	12°58'22" O 46°44'53" N	SO ₂ , NO ₂ , NO, Staub, CO, O ₃ , Wiri, Wige, T, RF	seit 1.1.92
Kötschach	ZAMG ³	706 m	12°59'48" O 46°40'34" N	Wiri, Wige, T, RF, SD, GSTR, NIED, LUDR	
Villacher Alpe	ZAMG	2140 m	13°40'00" O 46°36'00" N	Wiri, Wige, T, RF, SD, GSTR, NIED, LUDR	

Die Messstelle Vorhegg liegt auf einem grasbewachsenen, südsüdost-orientierten Hang ca. 300 m über dem Talboden; in der näheren Umgebung befinden sich einzelne Bauernhäuser sowie Wald. Die nächstgelegene größere Siedlung – und damit die nächstgelegene relevante Emissionsquelle – ist Kötschach-Mauthen, die nächstgelegene stärker befahrene Straße findet man am Talboden des Gailtales.

In Vorhegg erfolgte während des im vorliegenden Bericht dokumentierten Zeitraumes die Messung von SO₂ und NO₂ mit einem OPSIS-Gerät. Dieses Messgerät erfasst die mittlere Konzentration mittels "Differential optical absorption spectrometry" (DO-AS) entlang eines Lichtstrahles. Der Lichtempfänger befindet sich in Vorhegg, der Sender in Sittmoos im Lesachtal südwestlich von Vorhegg an der Südseite der Gail; die horizontale Distanz beträgt ca. 1,8 km.

In Sittmoos erfolgte von November 1996 bis Dezember 1998 die Messung von Windrichtung und -geschwindigkeit, Temperatur und relativer Feuchte.

² Amt der Kärntner Landesregierung

³ Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

Die Windmessung mittels Akustikradar (SODAR) erfolgte von 11. März bis 25. Juni 1997 auf dem Hundeschlittenplatz nördlich von Würmlach im Gailtal (Seehöhe 690 m), von 8. bis 14. Oktober 1997, von 7. Dezember 1997 bis 10. Februar 1998 sowie von 11. März bis 6. Oktober 1998 auf dem Gelände des Sägewerkes Hasslacher (Seehöhe 710 m) am Eingang des Lesachtales westlich von Kötschach.

Der Hundeschlittenplatz Würmlach befindet sich im ebenen Gelände in der Mitte des Gailtales, welches hier ca. 1,7 km breit ist. Die Entfernung zum Eingang des Lesachtales, wo sich das Tal verengt, beträgt ca. 2,5 km. Hier sollten die Windverhältnisse über einem ebenen, geradlinig über mehrere 10 km in Ost-West-Richtung verlaufenden Tal erfasst werden.

Das Sägewerk Hasslacher befindet sich westlich von Kötschach-Mauthen unmittelbar an der Verengung des Lesachtales, unterhalb der Messstelle Vorhegg. Hier treten die Effekte der Talverengung und die komplexe Topographie des Lesachtales in Erscheinung.

Die meteorologische Messstelle Kötschach liegt am westlichen Rand dieses Ortsteiles von Kötschach-Mauthen. Die lokalen Windverhältnisse werden durch die Zirkulation im Gailtal sowie in den zum Gailberg-Sattel und zum Plöckenpaß führenden Seitentälern bestimmt.

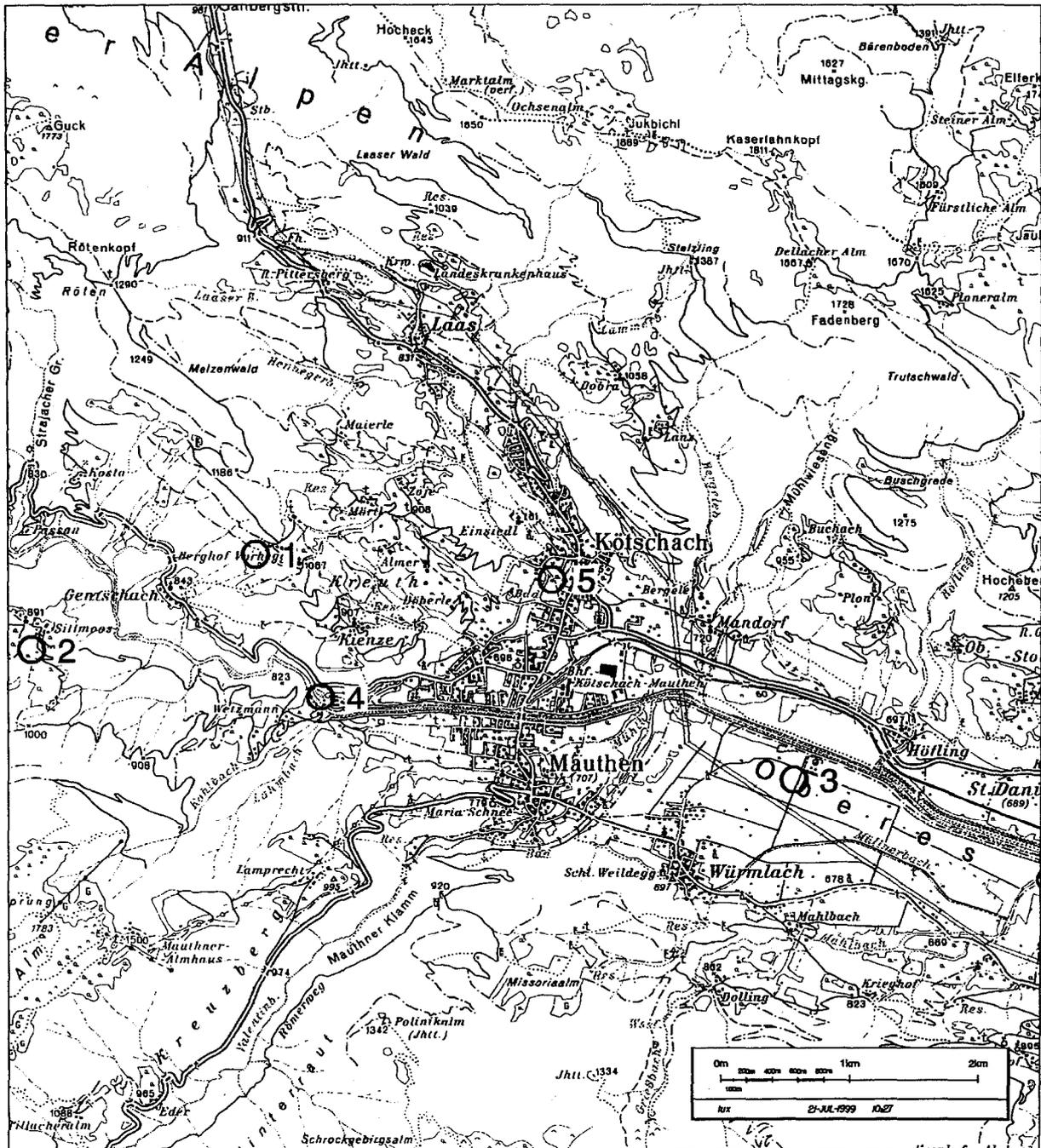
Die Messstelle Hermagor liegt am südlichen Ortsrand dieser Kleinstadt im mittleren Gailtal. Das Gailtal wird östlich von Hermagor durch den Egg-Forst in zwei ost-west-verlaufende Täler geteilt, wobei Hermagor an der Einmündung des Gösseringbachtals in den nördlichen Arm des Gailtales, in welchem sich der Presseggersee befindet, liegt. Aufgrund der relativ komplizierten Talgeometrie im Bereich Hermagor erwiesen sich die dortigen Windmessdaten als nicht repräsentativ für die Talwindzirkulation im Gailtal.

Die Messstelle Villacher Alpe liegt auf dem Gipfelplateau dieses Berges. Infolge der lokalen Geländeform tritt hier ganz überwiegend West- oder Nordwind auf.

Die Messstandorte sind in Abbildung 1 dargestellt.

Abbildung 1: Messstellen im Raum Kötschach-Mauthen.

- 1 Vorhegg
- 2 Sittmoos
- 3 Hundeschlittenplatz Würmlach
- 4 Sägewerk Hasslacher
- 5 Kötschach



2.1 Geräteausstattung der Messstellen

Tabelle 2 gibt die eingesetzten Messgeräte an.

	Messstelle	Messgeräte
Schwefeldioxid	Vorhegg Hermagor, Fürnitz, Oberdrauburg	OPSIS Horiba APSA 350E
Schwebestaub	Hermagor, Fürnitz, Oberdrauburg	FH 62 IN
Stickstoffoxide	Vorhegg Hermagor, Fürnitz, Oberdrauburg	OPSIS Horiba APNA 350E
Kohlenmonoxid	Vorhegg Hermagor, Fürnitz, Oberdrauburg	TECO 48 GFC Horiba APMA 350E
Ozon	Vorhegg, Hermagor, Fürnitz, Oberdrauburg	Horiba APOA 350E
Windrichtung	alle ⁴	Kroneis 263 PRH
Windgeschwindigkeit	"	Kroneis 263 PRH
Lufttemperatur	"	Kroneis NTC-Netzwerk
Relative Feuchte	"	Pernix Haarhygrometer 800L100
Strahlungsbilanz	"	Schenk Strahlungsbilanzmesser 8110
Regenmenge	"	AP23, Fa. Paar
Globalstrahlung	"	Schenk Sternpyranometer 8101
Luftdruck	"	Kroneis Barogeber 317S
Sonnenscheindauer	"	HAENNI Solar 111

2.2 Kenndaten der Messgeräte

2.2.1 Luftgütemessung

Schwefeldioxid

Gerätetype	OPSIS	Horiba APSA-350E
Messprinzip	DOAS ⁵	UV-Fluoreszenz
Untere Nachweisgrenze	0,2 µg/m ³ (0,07 ppb)	1 ppb
Präzision	0,2 µg/m ³ (0,07 ppb)	±2 ppb
Ansprechzeit	45 s	180 s
Kalibrierung	Kalibrierzelle mit hochkonzentriertem Prüfgas	Permeation und Prüfgasflasche

⁴ An allen verwendeten Messstellen werden gleichartige meteorologische Meßgeräte verwendet.

⁵ Differentielle Absorption im visuellen Bereich

Schwebestaub

Gerätetype	Frieseke-Höpfner 62IN
Messprinzip	beta-Absorption (Strahler: Kr 85)
Durchfluß	3 m ³ /h
Analysierter Volumenstrom	3 m ³ /h
Untere Nachweisgrenze	25 µg/m ³
Mittelwertbildung	30 min
Kalibrierung	Null- und Kalibrierfolie von Frieseke-Höpfner

Stickstoffoxide

Gerätetype	OPSIS (NO₂)	Horiba APNA-350E (NO, NO₂)
Messprinzip	Differentielle Absorption im visuellen Bereich	Chemilumineszenz, 2 Kanal-System mit 2 Photomultipliern
Untere Nachweisgrenze	0,2 µg/m ³ (0,1 ppb)	4 ppb
Präzision	0,2 µg/m ³ (0,1 ppb)	±2 ppb
Ansprechzeit	45 s	120 s
Kalibrierung	Kalibrierzelle mit hochkonzentriertem Prüfgas	Verdünnung von NO-Prüfgas mit Kalibrator ML 8550

Kohlenstoffmonoxid

Gerätetype	TECO 48 GFC	Horiba APMA 350E
Messprinzip	IR-Absorption	IR-Absorption
Untere Nachweisgrenze	100 ppb	100 ppb
Präzision	±20 ppb	±20 ppb
Ansprechzeit	180 s	180 s
Kalibrierung	mit zertifiziertem CO-Prüfgas (NIST)	mit CO-Prüfgas (am UBA abgeglichen)

Ozon

Gerätetype	Horiba APOA-350E
Messprinzip	UV-Absorption
Untere Nachweisgrenze	2 ppb
Präzision	±1 ppb
Ansprechzeit	120 s
Kalibrierung	mit Kalibrator TECO 49PS

2.2.2 Meteorologische Geräte

Komponente	Gerät	Messprinzip
Windrichtung und -geschwindigkeit	Kroneis 263 PRH	Windfahne, Schalenkreuz
Temperatur	Kroneis NTC-Netzwerk	NTC-Widerstand
Relative Feuchte	Pernix Haarhygrometer 800L100	Haarhygrometer
Globalstrahlung	Schenk Sternpyranometer 8101	Differentielle Erwärmung schwarzer und weißer Flächen
Strahlungsbilanz	Schenk Strahlungsbilanzmesser 8110	Differentielle Erwärmung schwarzer und weißer Flächen, Differenz oben - unten
Sonnenscheindauer	HAENNI Solar 111	Strahlungsdifferenz zwischen Himmels- und Direktstrahlung
Luftdruck	Kroneis Barogeber 317S	Vakuumdruckdose
Niederschlag	AP23	Beheizter Trichter (500 mm ² Aufangfläche), Registrierung mittels Wippe (1 Wippenimplus = 0,1 mm Niederschlag)

2.2.3 Akustikradar (SODAR)

Das Akustikradar oder SODAR („Sound Detecting and Ranging“) ist ein Messgerät, welches durch Aussenden von Schallimpulsen und Erfassen von in der Luft rückgestreuten Echos Information über Windgeschwindigkeit und -richtung sowie Turbulenz erlaubt. Die ausgesendeten Schallimpulse werden an Dichte-Inhomogenitäten der Atmosphäre reflektiert. Die Laufzeit des Echos ermöglicht die Lokalisierung der reflektierenden Luftpakete. Dichte-Inhomogenitäten werden durch Temperaturunterschiede oder Unterschiede in der Turbulenzstruktur der Atmosphäre hervorgerufen. Mit Hilfe des Dopplereffekts - Frequenzverschiebung des Schalls bei Reflexion an bewegten Objekten - können die horizontale Windrichtung und -geschwindigkeit sowie die vertikale Geschwindigkeit berechnet werden.

Hohe Echointensitäten geben u.a. Aufschluss über Temperaturgradienten, d.h. in erster Linie das Vorhandensein von Inversionen - welche für die Beurteilung der vertikalen Schadstoffausbreitung von großer Relevanz sind - , wobei eine eindeutige Interpretation allein der Echointensität aber problematisch ist. Andere Parameter wie die Streuung der Vertikalgeschwindigkeit bieten weitere Kriterien zur Identifikation von Inversionen.

Das SODAR, welches bei Kötschach-Mauthen eingesetzt wurde, sendet mit drei Antennen - eine ist vertikal ausgerichtet, die anderen beiden sind gegen die Senkrechte um 15°, gegeneinander um 90° gedreht - Schallimpulse von ca. 2 kHz.

Dieses Gerät der schwedischen Herstellerfirma SENSITRON hat eine maximale vertikale Reichweite von 500 m, wobei aufgrund geringer Echointensität die tatsächliche Reichweite meist darunter lag und nur bis in Höhen von ca. 350 m durchgehend Messwerte verfügbar sind. Messergebnisse liegen in Höhenintervallen von 25 m vor.

Die Messdaten wurden in die Immissionsmessdatenbank des UBA eingespielt und gesichtet. Messwerte, die offensichtlich unplausibel waren, wurden manuell ungültig gesetzt; als unplausibel wurden Windgeschwindigkeitswerte über 5 m/s eingestuft, wenn sie doppelt so hoch waren wie der vorangehende oder folgende Wert. Weiters mussten über bestimmte Zeiträume die Werte, die jeweils täglich um 24:00 erfasst wurden, eliminiert werden, da sie als elektronische Artefakte identifiziert wurden.

3 Auswertung der Windmessungen

Die Auswertung der Windmessungen an den SODAR-Standorten sowie an den Messstellen Vorhegg, Sittmoos, Kötschach und Hermagor umfasst Häufigkeitsverteilungen der Windrichtung (Windrosen) und mittlere Tagesgänge von Windrichtung und -geschwindigkeit. Diese werden getrennt für das Sommer- und das Winterhalbjahr dargestellt und interpretiert. Zur Untersuchung des Einflusses der Temperaturschichtung zwischen Talboden und Vorhegg werden mittlere Tagesgänge zudem getrennt für labile, neutrale und stabile Temperaturgradienten dargestellt.

Zur Beurteilung des Windes im Gipfelniveau wurde die Messstelle Villacher Alpe herangezogen, die sich, wie sich zeigt, hierfür aber nur sehr beschränkt eignet.

3.1 Allgemeine Charakteristika von Tal- und Hangwindsystemen

Die beobachteten Windsysteme wurden überwiegend durch die räumlich und zeitlich unterschiedliche Erwärmung der Geländeoberfläche bestimmt und als thermotopographische Zirkulationen bezeichnet. Da sich die Hänge tagsüber stärker erwärmen als die freie Atmosphäre, steigt die Luft tagsüber entlang der Hänge auf (Hangaufwind), nachts kühlen die bodennahen Luftschichten entlang der Hänge stärker ab als die Luft über der Talmitte, so daß die relativ kühlere Luft am Hang abwärts fließt (Hangabwind).

In größerem Maßstab führt tagsüber die stärkere Erwärmung der Berg- und Hangregionen zum Einströmen von Luft in die Täler, so daß sich eine taleinwärts gerichtete Strömung ausbildet. Nachts fließt Kaltluft in den Tälern abwärts.

Die Windgeschwindigkeiten sind dabei jeweils bei den thermisch angetriebenen Strömungen tagsüber höher als beim Abfließen kalter Luft nachts.

Im allgemeinen wechselt die Hangwindzirkulation bei Sonnenauf- und Untergang rasch die Richtung, während der Wechsel im Talwindssystem etwas verzögert erfolgt.

3.2 Die Temperaturschichtung zwischen Kötschach (Talboden) und Vorhegg

Das Ausmaß von vertikalem Luftmassen- und damit auch Schadstoffaustausch bzw. -transport wird vom vertikalen Temperaturgradienten (d.h. von der Temperaturschichtung) bestimmt. Als neutrale Schichtung wird ein adiabatischer Temperaturgradient bezeichnet, wobei aufgrund der in Mitteleuropa auftretenden Feuchteverhältnisse der feuchtadiabatische Temperaturgradient von $0,7^{\circ}\text{C}$ pro 100 m zur Beurteilung herangezogen wird. Eine stärkere Temperaturabnahme mit der Höhe (d.h. mehr als $0,7^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) stellt labile Schichtung dar, bei welcher vertikaler Austausch gefördert wird, eine geringere Temperaturabnahme stellt stabile Schichtung dar, die vertikalen Transport hemmt, wobei ein Extremfall der stabilen Schichtung die Inversion mit Temperaturzunahme mit der Höhe ist.

Die Temperaturschichtung zwischen Kötschach und Vorhegg zeigt, wie zu erwarten, im Mittel nachts zumeist (feucht-)stabile Schichtung und tagsüber (feucht-)labile bzw. neutrale Schichtung.

Im Winter bildet sich im Mittel ab 17:00 eine Inversion aus, die sich um 8:00 auflöst. Tagsüber ist die Schichtung leicht stabil, die Erwärmung am Talboden reicht nicht für Labilisierung aus. Relativ früh, um 16:00, sinkt die Temperatur in Kötschach auf den in Vorhegg beobachteten Wert, da Kötschach um diese Zeit bereits von den unmittelbar westlich des Ortes liegenden Erhebungen beschattet wird. Im Sommer findet man im Mittel zwischen 20:00 und 5:00 isotherme Verhältnisse, morgens rasche Labilisierung (ca. 8:00). Das Temperaturmaximum wird wie im Winter in Kötschach etwas früher (14:00) als in Vorhegg erreicht, wo die Temperatur abends vergleichsweise langsam sinkt; ab ca. 17:00 ist die Schichtung wieder stabil.

Abbildung 2 und 3 zeigen die Häufigkeitsverteilung stabiler, neutraler und labiler Temperaturschichtung zwischen Kötschach und Vorhegg für die Zeiträume November 1997 – März 1998 sowie April – September 1998. Als neutrale Schichtung werden dabei jene Fälle klassifiziert, bei denen die Temperaturdifferenz zwischen Kötschach und Vorhegg um ± 1 °C vom neutralen Temperaturgradienten abweicht, welcher für eine Höhendifferenz von 310 m ca. 2,2 °C beträgt.

Im Winter 1997/98 machen Fälle mit stabiler Schichtung nachts ca. 85 % aus, morgens und abends um 60 % und nachmittags minimal 40%. Labile Schichtung tritt nachts nie auf, morgens und abends in ca. 5 % und nachmittags in maximal 10 % der Fälle. Tagsüber wird also zumeist neutrale Schichtung beobachtet, die nachmittags bis 50 % der Fälle ausmacht.

Im Sommer 1998 tritt nachts stabile Schichtung während 75 bis 80% der Zeit auf, tagsüber reduziert sich die Häufigkeit auf unter 10 %, wobei aufgrund des relativen Temperaturverlaufs von Kötschach und Vorhegg am späten Vormittag die größte Häufigkeit labiler und die geringste Häufigkeit stabiler Verhältnisse beobachtet wird. Labile Schichtung tritt im Sommer nachts immerhin in ca. 8 % der Fälle auf, tagsüber in bis zu 35%. Neutrale Schichtung macht nachts ca. 15 %, tagsüber 50 bis 60 % aus.

3.3 Die Windverhältnisse im Sommer

Zur Darstellung der Windverhältnisse im Sommerhalbjahr werden die Windrichtungsverteilungen (Windrosen) sowie die mittleren Tagesgänge von Windrichtung und –geschwindigkeit an den Bodenmessstellen Vorhegg, Sittmoos, Kötschach und Hermagor für den Sommer 1998⁶, der SODAR-Messungen bei Würmlach im Sommer 1997 und der SODAR-Messungen am Eingang des Lesachtales im Sommer 1998 präsentiert. Abbildung 4 bis 7 zeigen die Windrosen für die Messstellen Vorhegg, Sittmoos, Kötschach und Hermagor für den Sommer 1998, Abbildung 8 bis 10 für die mit dem SODAR bei Würmlach im Gailtal erfassten Höhengniveaus 50 m, 100 m und 200 m über Boden für den Zeitraum vom 11.3. bis 25.6. 1997, Abbildung 11 bis 13 für die mit dem SODAR am Eingang des Lesachtales erfassten Höhengniveaus 50 m, 100 m und 200 m über Boden für den Zeitraum vom 11.3. bis 6.10. 1998.

⁶ Der Zeitraum im Sommer 1998 wurde gewählt, da die SODAR-Messungen einen längeren Zeitraum umfaßten als im Sommer 1997.

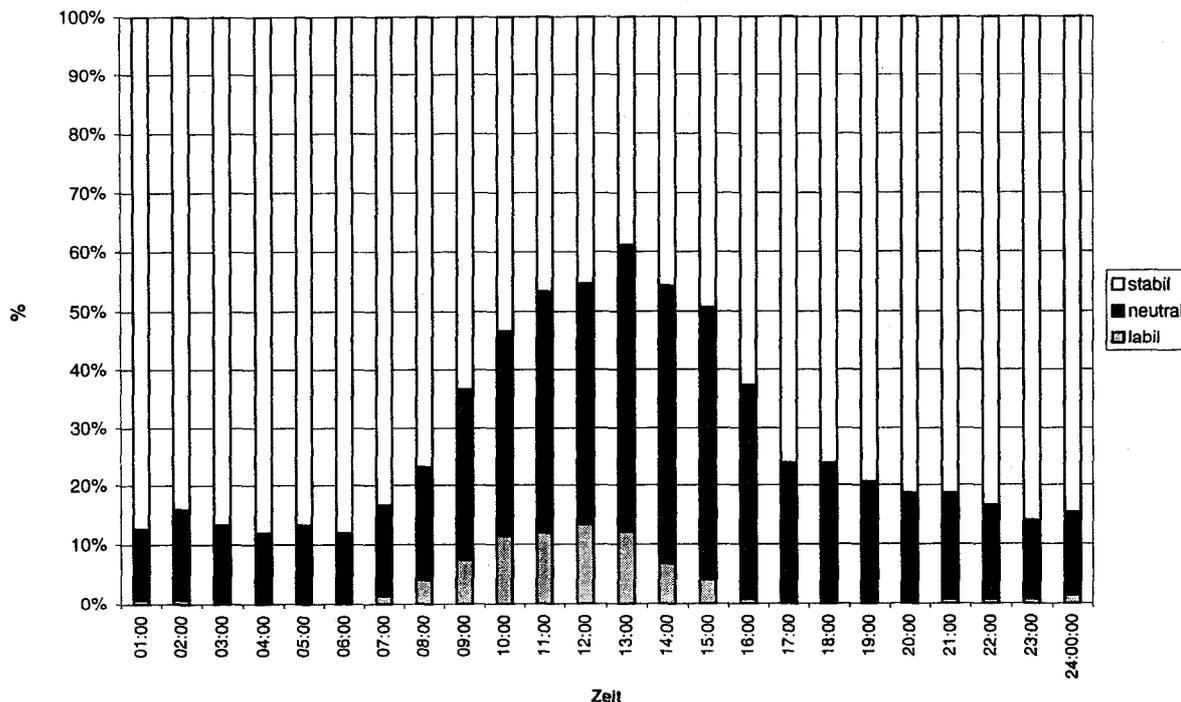


Abbildung 2: Häufigkeitsverteilung stabiler, neutraler und labiler Temperaturschichtung zwischen Kötschach und Vorhegg für November 1997 – März 1998

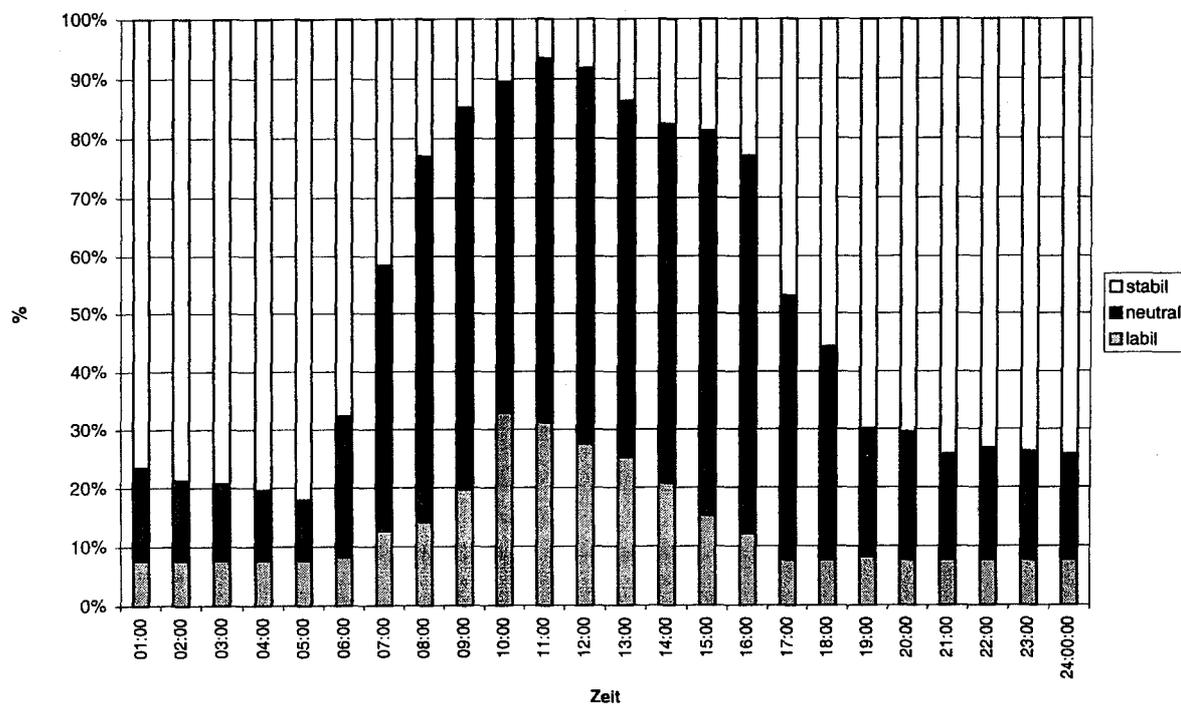


Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung stabiler, neutraler und labiler Temperaturschichtung zwischen Kötschach und Vorhegg für April – September 1998

Angegeben ist für 36 10°-Sektoren die relative Häufigkeit der HMW der Windrichtung aus dem jeweiligen Sektor. Der Sektor 1 für 10° reicht von 5° bis 15°. 90° ist Ost, 180° Süd, 270° West und 360° Nord. Jene Fälle, in denen die Windgeschwindigkeit unter 0,5 m/s liegt, werden als Windstille (Kalme) gesondert ausgewiesen und sind nicht in der Richtungsverteilung enthalten.

Abbildung 14 und 15 zeigen den mittleren Tagesgang von Windrichtung und Windgeschwindigkeit an den Messstellen Vorhegg, Sittmoos, Kötschach und Hermagor im Sommer 1998, Abbildung 16 und 17 zeigen den mittleren Tagesgang von Windrichtung und -geschwindigkeit, gemessen mit dem SODAR bei Würmlach im Zeitraum April bis Juni 1997, Abbildung 18 und 19 zeigen den mittleren Tagesgang von Windrichtung und -geschwindigkeit, gemessen mit dem SODAR am Eingang des Lesachtals im Zeitraum April bis Oktober 1998.

3.3.1 Windrosen

Vorhegg weist als Hauptwindrichtungen Nordnordwest (30 % aus dem Sektor von 330 bis 360°) und Ost (23 % aus dem Sektor 80 bis 100°) auf. Die Ostwindhäufigkeit ist damit deutlich höher als im Winter, die Kalmenhäufigkeit mit 8 % geringer. Im Sommer tritt Taleinwind in Vorhegg wesentlich häufiger in Erscheinung als im Winter.

In Sittmoos kommt der Wind überwiegend aus Ostnordost (Taleinwind) sowie aus Nordwest (Talauswind), wobei im Sommer 1997 zusätzlich Südwest- bis Westwind relativ häufig war. Die große Streuung der Windrichtung ist die Folge des kleinräumig stark strukturierten Geländes im Lesachtal. Die Kalmenhäufigkeit ist mit 8 % niedrig.

Kötschach zeigt im Sommer bei einer hohen Kalmenhäufigkeit von 43 % die Hauptwindrichtungen Ost, Südwest und Nordwest. Dies dürfte jeweils dem Taleinwind des Gailtales sowie dem Talauswind der zum Plöckenpaß (Valentinbach-Tal) südwestlich bzw. zum Gailbergsattel nordwestlich von Kötschach führenden Seitentäler entsprechen. Der Talauswind des Lesachtals wird nicht beobachtet, da dieses weiter südlich ins Gailtal übergeht.

In Hermagor weist die Windrichtungsverteilung Häufigkeitsmaxima bei Westnordwest sowie Ostnordost und Süd auf. Aufgrund der topographischen Lage der Messstelle dürften diese Windrichtungen dem Talauswind des Gösseringbach-Tales, dem Taleinwind im nördlichen Ast des Gailtales (beim Presseggersee) sowie dem Taleinwind in diesen nördlichen Ast bzw. ins Gösseringbach-Tal entsprechen. Die Kalmenhäufigkeit betrug 35%.

Auf der Villacher Alpe wehte ganz überwiegend Wind aus Nord und aus West, wobei die lokale Topographie die großräumig aus Nord bis Südwest kommende Strömung leider stark beeinflusst, so daß die Windverhältnisse auf der Villacher Alpe für die freie Troposphäre über dem Gailtal nicht repräsentativ sein dürften.

Das SODAR erfasste im Sommer 1997 (11.3. bis 25.6.) in 50 m über Würmlach überwiegend westsüdwestlichen (Talauswind) und ostsüdöstlichen Wind (Taleinwind), in 100 und 150 m Höhe zeigt sich ein Häufigkeitsmaximum bei Westsüdwest und bei Westnordwest, wobei letzteres in 200 m Höhe weniger ausgeprägt ist. Die Häufigkeit von Ostwind nimmt mit der Höhe ab, was aber auch an der geringen Datenverfügbarkeit bei labiler Schichtung tagsüber liegt. Der Wind aus Westsüdwest könnte dem Talwind des Valentinbachtals angehören während der Westnordwestwind dem Lesachtal zuzuordnen sein dürfte. Die Kalmenhäufigkeit lag in allen Niveaus bei 2%.

Im Zeitraum vom 11.3. bis 6.10.1998 erfasste das SODAR am Eingang des Lesachtals in Höhen bis 200 m wie im Winter überwiegend Westwind, seltener Ost- sowie Nordnordwestwind, wobei die Häufigkeit von Ostwind mit wachsender Höhe abnimmt. Der 10°-Sektor um 280° (West) machte 50 m über Boden 15 % aus, der 10°-Sektor um 80° (Ost) 6 %, der 10°-Sektor um 340° 3 %; in 200 m sind die entsprechenden Häufigkeiten 15 %, 1 % und 5%. Die Kalmenhäufigkeit lag in 50 m Höhe bei 10 %, in 200 m bei 3%.

Während somit in allen Höhen der (nächtliche) Talauswind von Westen weitaus überwiegt, tritt der Taleinwind von Osten primär in den unteren 150 m in Erscheinung. Der Nordnordwestwind tritt – wie die Analyse einzelner Episoden zeigt – primär im Sommer am späten Nachmittag und am Abend auf, wenn über Teilen des Lesachtals bereits Absinkbewegungen einsetzen und Luft durch die Talenge nordwestlich des SODAR-Standortes talauswärts strömt. Verantwortlich hierfür sind die thermisch induzierten Strömungsmuster über dem Lesachtal, die mit den verfügbaren Messdaten allerdings nicht näher interpretiert werden können. Der Hangwind des nördlich angrenzenden Hanges, auf dem Vorhegg liegt, tritt auch in den untersten Schichten (50 m) praktisch nicht in Erscheinung.

3.3.2 Mittlere Tagesgänge

In Vorhegg weht im Sommer im Mittel nachts nördlicher Wind, tagsüber Wind aus Ost. Die kontinuierliche Drehung über Nordost am Abend ist das Resultat der Mittelung über Ost und Nord.

An den Messstellen am Talboden weht nachts Wind aus West bis Nordwest, der tagsüber auf Südost bis Ost dreht. Die mittleren Tagesgänge der Windrichtung geben mithin die durch die lokale Topographie modifizierten tagesperiodischen Talwindssysteme wieder, welchen auch die Windgeschwindigkeit entspricht. In Vorhegg beträgt diese im Mittel nachts ca. 1,2 m/s, mittags bis 1,9 m/s, in Kötschach nachts 0,8 m/s, nachmittags bis 1,9 m/s. In Vorhegg tritt das Maximum der Geschwindigkeit um 11:00 und damit wesentlich früher auf als am Talboden (13:00 bis 14:00). Vergleichsweise hoch ist die Windgeschwindigkeit in Sittmoos (nachmittags um 2,5 m/s), vermutlich infolge der Kanalisierung des Windes im engen Lesachtal.

Der mittlere Tagesgang der mit dem SODAR über dem Gailtal bei Würmlach im Sommer 1997 gemessenen Windrichtung gibt ebenfalls klar die Talwindzirkulation wieder. Oberhalb von 100 m tritt nachts Westwind auf – in 50 m Höhe kommt der Wind nachts eher aus südwestlicher Richtung – und dreht mit der Höhe leicht auf Südwest; tagsüber weht Südostwind, der mit der Höhe auf Süd dreht. Die Windgeschwindigkeit entspricht über Würmlach den für ein Talwindssystem typischen Verhältnissen, sie steigt tagsüber gegenüber den nächtlichen Werten deutlich an und nimmt mit der Höhe leicht zu. So liegt sie in 50 m nachts bei 2,5 bis 3 m/s, nachmittags bei maximal 4,5 m/s, in 200 m nachts um 3,5 m/s, nachmittags bei maximal ca. 6 m/s.

Am Eingang des Lesachtals weht in Höhen oberhalb von 100 m nachts Westwind, in 50 m kommt der Wind etwas mehr von Norden, möglicherweise infolge eines geringfügigen Einflusses des Hangabwindes des nördlich angrenzenden Hanges. Tagsüber dreht der Wind über Nord auf Nordost (Taleinwind), wobei oberhalb von 200 m der Wind stärker streut, v.a. in Richtung Nord bis Nordwest. Dabei handelt es sich um den zeitweise am späten Nachmittag beobachteten Nordnordwestwind (wie Untersuchungen einzelner Episoden zeigen).

Die Windgeschwindigkeit weist, anders als über dem offenen Gailtal, in den unteren 100 m nur eine sehr geringfügige tagesperiodische Variation auf (um 3 m/s in 100 m), erst oberhalb von 150 m nimmt sie nachmittags gegenüber den nächtlichen Werten deutlich zu (in 200 m nachts um 4 m/s, nachmittags 8 m/s). Das Geschwindigkeitsmaximum tritt in 150 m um 17:00, in 200 m um 13:00 auf.

3.3.3 Mittlere Tagesgänge des Windes in Abhängigkeit der Temperaturschichtung

Die mittleren Tagesgänge für unterschiedliche Temperaturschichtung zwischen Kötschach und Vorhegg wurden auf Basis der u.a. in Abbildung 2 und 3 dargestellten Häufigkeitsverteilung des Temperaturgradienten zwischen Kötschach und Vorhegg (stabile, neutrale oder labile Schichtung) berechnet. Daher ist die Anzahl der für die drei Klassen zu verschiedenen Tageszeiten zur Verfügung stehenden Fälle sehr unterschiedlich verteilt – labile Schichtung tritt fast nur tagsüber auf, stabile Schichtung ist nachts wesentlich häufiger als tagsüber. Nachts treten im Winter keine, im Sommer nur selten labile Verhältnisse auf. Grundsätzlich erwartet man tagsüber bei labiler Schichtung eine ausgeprägtere Ausbildung eines Hang- oder Talwindes als bei stabiler Schichtung.

Abbildung 20 bis 22 zeigen den mittleren Tagesgang der Windrichtung an den Messstellen Vorhegg, Sittmoos, Kötschach und Hermagor für labile, neutrale und stabile Temperaturschichtung im Sommer 1998, Abbildung 23 bis 25 analog für den mit dem SODAR über dem Eingang des Lesachtales erfassten Wind in Höhen von 50 m bis 250 m. Anzumerken ist, daß bei labiler Schichtung nachts sowie bei stabiler Schichtung tagsüber zu wenig Werte für gesicherte Aussagen vorliegen.

Die im Mittel beobachtete Hang- und Talwindzirkulation ist an den Bodenmessstellen bei labiler wie bei stabiler Schichtung klarer ausgeprägt als bei neutraler Schichtung, bei welcher der Wind stärker streut und der Richtungswechsel am Abend unschärfer ist. Die Windgeschwindigkeit zeigt an allen Bodenmessstellen bei allen drei Stabilitätsklassen den charakteristischen Tagesgang einer Tal- oder Hangwindzirkulation mit erhöhten Werten tagsüber (um 2 m/s, nachts um 1 m/s). Sie ist kaum von der Temperaturschichtung abhängig.

Über dem Gailtal bei Würmlach weht bei labiler und stabiler Temperaturschichtung nachts beständiger und vertikal einheitlicher Westwind, bei neutraler Schichtung Südwestwind. Der Wechsel des Talwindes auf südöstliche Richtung am Nachmittag tritt bei labiler Schichtung am deutlichsten in Erscheinung, wenngleich sich bei neutraler Schichtung Südostwind während einer längeren Zeitspanne am Nachmittag zeigt. Stabile Schichtung zeigt nachmittags uneinheitliche Verhältnisse, was u.a. auch an der niedrigen Datenverfügbarkeit liegt.

Die Windgeschwindigkeit zeigt bei labiler Schichtung den für den Talwind charakteristischen Tagesgang mit erhöhten Werten tagsüber (in 100 m 4 bis 5 m/s, nachts 2 bis 3 m/s). Bei neutralen Verhältnissen steigt sie vom Morgen bis zum Nachmittag ebenfalls an (um 4 m/s), weist aber in der Nacht bis in 150 m meist ähnliche Werte auf wie nachmittags, von 200 m aufwärts sogar noch höhere (über 6 m/s).

Im Sommer 1997 tritt über dem Eingang des Lesachtales bei labiler wie stabiler Schichtung nachts vertikal einheitlicher, beständiger West- bis Westnordwestwind auf, während er bei neutraler Schichtung stärker variiert. Tagsüber zeigt sich erwartungsgemäß bei labiler Schichtung vertikal einheitlicher Wind, der zwischen Nord und Ostnordost dreht. Bei neutraler und stabiler Schichtung weist der Wind nicht nur größere Schwankungen auf, sondern kommt in höheren Niveaus mehr aus nördlicher

Richtung als in den unteren 150 m. Der Windverhältnisse über dem Eingang des Lesachtals werden mithin von der Temperaturschichtung relativ wenig beeinflusst.

Die Windgeschwindigkeit über dem Eingang des Lesachtals ist im Sommer bei allen Stabilitätsklassen höher als im Winter, vor allem bei stabiler und neutraler Schichtung, bei welcher sich auch eine sehr starke Zunahme mit der Höhe feststellen lässt. So liegt bei neutraler Schichtung die Windgeschwindigkeit in 50 m tagsüber bei 2 bis 3 m/s, in 200 m bei 6 bis 10 m/s. Die Windgeschwindigkeit weist bei labiler Schichtung in den unteren 150 m nur eine geringe tageszeitliche Variation auf, bei neutraler Schichtung erreicht sie am späten Nachmittag die höchsten Werte, bei stabiler Schichtung mittags sowie in der zweiten Nachthälfte. In höheren Niveaus treten die höchsten Windgeschwindigkeiten stets tagsüber auf, wobei das Maximum bei neutralen Verhältnissen ebenfalls deutlich später auftritt als bei stabilen.

3.4 Die Windverhältnisse im Winter

Abbildung 26 bis 29 zeigen die Windrosen für die Messstellen Vorhegg, Sittmoos, Kötschach und Hermagor für den Winter 1997/98, Abbildung 30 bis 32 für die mit dem SODAR am Eingang des Lesachtals erfassten Höhenniveaus 50 m, 100 m und 200 m über Boden für den Zeitraum vom 7.12. 1997 bis 10.2. 1998. Abbildung 33 bis 36 zeigen die mittleren Tagesgänge der Windrichtung und -geschwindigkeit an den Messstellen Vorhegg, Sittmoos, Kötschach und Hermagor sowie in den mit dem SODAR über dem Eingang des Lesachtals erfassten Niveaus 50 m, 100 m, 150 m, 200 m und 250 m über Boden für den Zeitraum November 1997 bis März 1997.

3.4.1 Windrosen

In Vorhegg sind die Hauptwindrichtungen Nordnordwest (44 % aus dem Sektor 320 bis 360°) und Ost (14 % aus dem Sektor 80 bis 100°). Anders als im Sommer ist im Winter Nordnordwestwind (erwartungsgemäß) wesentlich häufiger als Ostwind. Ostwind entspricht dem Taleinwind in das Lesachtal, Nordnordwestwind dem nächtlichen Hangabwind. Tagsüber wird der Hangaufwind fast immer vom Taleinwind überlagert, während der Talauswind im Lesachtal an der Messstelle Vorhegg nicht beobachtet wird. Die Kalmenhäufigkeit liegt bei 14%.

Sittmoos registriert im Winter praktisch ausschließlich Wind aus Südwest bis Nordwest (Talauswind).

Kötschach registriert im Winter analog wie im Sommer als Hauptwindrichtungen Südost (5,5 % aus 120-140°), Südsüdwest (4,3 % aus 190-210°) und Nordwest (3,9 % aus 280-300°); die Kalmenhäufigkeit ist mit 72 % außerordentlich hoch.

In Hermagor sind im Winter die Hauptwindrichtungen Süd, Ostnordost und Westnordwest. Der deutlich überwiegende Westnordwestwind ist dem Talauswind des Gösseringbach-Tales oberhalb von Hermagor zuzuordnen, der Ostnordostwind dem Taleinwind des nördlichen Teiles des Gailtales (zwischen Presseggersee und Hermagor), der Südwind dem Taleinwind des Gösseringbach-Tales. Die Kalmenhäufigkeit ist in Hermagor mit 51 % hoch.

Im Winter 1997/98 erfasste das SODAR beim Sägewerk am Eingang des Lesachtals ganz überwiegend Westwind, ab 150 m Höhe zudem seltenen Nordwind. Das SODAR registrierte somit ebenso wie die Messstation in Sittmoos praktisch ausschließlich den Talauswind des Lesachtals. Die Kalmenhäufigkeit lag in 50 m bei 17 %, in 200 m bei 10%.

3.4.2 Mittlere Tagesgänge

Die mittleren Tagesgänge zeigen in Vorhegg, Sittmoos, Kötschach und Hermagor einen regelmäßigen Richtungswechsel. In Vorhegg weht nachts Nordwind, der am späten Vormittag auf Süd und im Verlauf des Nachmittags auf Ost dreht; der Nordostwind am Nachmittag ist die rechnerische Mittelbildung von Wind aus Ost und Nordwest.

In Sittmoos weht nachts Westsüdwestwind, der nur nachmittags zeitweise auf Süd dreht. Dagegen wechselt der nächtliche Westnordwestwind in Kötschach bereits morgens auf Südost, am späten Nachmittag weht zeitweise Südwestwind. In Hermagor weht nachts Westnordwestwind, tagsüber Südsüdostwind; der in der Windrose auftretende Ostnordostwind scheint infolge der Mittelbildung in den mittleren Tagesgängen nicht auf.

Die Tagesgänge der Windgeschwindigkeit sind ebenfalls typisch für Tal- und Hangwindzirkulationen; die Geschwindigkeit ist tagsüber höher als nachts, sie liegt im Winter in Kötschach und Hermagor nachts bei 0,4 m/s, tagsüber steigt sie auf maximal 1,2 m/s; im Sommer bis 2,5 m/s. Vorhegg weist bei geringer jahreszeitlicher Variation höhere Geschwindigkeiten von 1,1 bis 1,3 m/s in der Nacht und maximal 1,6 (Winter) bzw. 1,8 m/s (Sommer) am Nachmittag auf.

Am Eingang des Lesachtales über dem Sägewerk erfasste das SODAR im Winter 1997/98 in 100 bis 200 m Höhe nachts im Mittel Westwind, in 50 m Westnordwest- und in 250 m Höhe Nordwestwind. Tagsüber drehte der Wind in allen Höhen auf Nord bis Nordnordost; dies ist die Folge der Mittelbildung über Fälle mit Taleinwind (Ost) sowie den talauswärts gerichteten Nordwestwind. Die Windgeschwindigkeit weist nur eine sehr geringe tageszeitliche Variation auf und nimmt leicht mit der Höhe zu (nachmittags ca. 1,3 m/s in 50 m, um 3 m/s in 200 m).

3.4.3 Mittlere Tagesgänge des Windes in Abhängigkeit der Temperaturschichtung

Bei stabiler Schichtung – welche im Winter die größte Häufigkeit besitzt, v.a. nachts – tritt nachts an den Bodenmessstellen beständiger Hangab- bzw. Talwind auf, tagsüber stellen sich ebenfalls die Verhältnisse entsprechend der thermotopographischen Zirkulation ein. Neutrale Schichtung ist nachts von relativ uneinheitlichem nördlichem bis westlichem Wind gekennzeichnet, tagsüber weht zumeist Südostwind. Labile Schichtung, welche im Winter nur tagsüber auftritt, weist ebenfalls relativ unbeständigen östlichen Wind auf. Die Windgeschwindigkeit entspricht an den Bodenmessstellen bei neutraler und – soweit die geringe Datenverfügbarkeit bei Nacht diese Aussage erlaubt – labiler Schichtung den typischen Verhältnissen des Tal- und Hangwindes, mit einem allerdings relativ späten Maximum. Bei stabiler Schichtung zeigt sich hingegen fast keine tageszeitliche Variation.

Die SODAR-Messung über dem Eingang des Lesachtales zeigt nachts bei stabiler Schichtung sehr beständigen Westwind, der in 250 m deutlich abweichend von Nordwest kommt. Tagsüber dreht der Wind im Mittel leicht auf Nord (rechnerische Überlagerung von West- und Nordostwind). Neutrale Schichtung ist von wesentlich uneinheitlicherem und unbeständigerem Wind geprägt, der allerdings tagsüber stärker auf Nordost wechselt. Die östliche Komponente ist tagsüber bei labiler Schichtung noch deutlicher ausgeprägt.

Über dem Eingang des Lesachtales (SODAR) weist die Windgeschwindigkeit bei neutraler Schichtung fast keine tageszeitliche Variation auf; sie nimmt mit der Höhe deutlich zu und liegt in 50 m um 1,5 m/s, in 200 m bei starker Variabilität bei ca. 4 bis

6 m/s. Bei stabiler Schichtung nimmt die Geschwindigkeit in allen Höhengiveaus bis 200 m tagsüber gegenüber den nächtlichen Werten leicht ab. Sie ist vertikal sehr einheitlich; nachts werden in 50 m um 1,5 m/s, in 200 m 2,5 m/s gemessen.

3.5 Resümee

Am Südhang, an welchem Vorhegg liegt, würde man eine gut ausgebildete Hangwindzirkulation erwarten, d.h. tagsüber Südwind, nachts Nordwind. Während der Hangabwind nachts tatsächlich beobachtet wird, wird der Hangaufwind aber praktisch völlig vom Taleinwind, d.h. Ostwind, überlagert.

An den Messstellen Kötschach und Hermagor im Gailtal werden die Windverhältnisse entscheidend von den dort einmündenden Seitentälern beeinflusst, in Kötschach von den zum Plöckenpaß und zum Gailbergsattel führenden Tälern, in Hermagor von jenem des Gösseringbaches und dem nördlichen Seitenast des Gailtales (Presseggersee). Diese Messstellen erfassen daher in der Regel nicht das Talwindsystem im Gailtal, sondern die entsprechenden Talein- und -auswinde der lokalen Seitentäler.

Wie zu erwarten, weist im Winter der Talaus- bzw. Hangabwind größere Häufigkeit auf als im Sommer, da die Zeiträume ohne Sonneneinstrahlung länger sind. So tritt in Sittmoos im Lesachtal im Winter fast ausschließlich westlicher Wind auf, über dem Eingang des Lesachtales (SODAR) überwiegt er im Winter deutlich.

Die Kalmenhäufigkeit ist im Winter ebenfalls deutlich höher als im Sommer, wobei sie an den Messstellen am Talboden, Kötschach (Winter 72 %, Sommer 43 %) und Hermagor, wesentlich höher ist als in Vorhegg (Winter 14 %, Sommer 8 %) und über dem Tal.

Die Windgeschwindigkeitsprofile entsprechen im und über dem Gailtal den theoretischen Erwartungen; die Windgeschwindigkeit nimmt mit der Höhe zu und ist nachmittags höher als nachts. Über dem Gailtal bei Würmlach lag in 50 m Höhe die Geschwindigkeit nachts um 2,5 m/s, nachmittags um 4,5 m/s, in 200 m nachts um 3,5 m/s, nachmittags um 6 m/s. Am Eingang des Lesachtales nimmt hingegen die Geschwindigkeit in den unteren 100 m nachmittags nicht gegenüber nachts zu (um 2,5 m/s in 50 m), erst in höheren Schichten ist nachmittags eine allerdings starke Zunahme festzustellen (in 200 m nachts um 4,5 m/s, nachmittags bis über 8 m/s).

Zu den überraschenden Ergebnissen der Messungen gehört das Auftreten von starkem Nordwestwind über dem Eingang des Lesachtales am späten Nachmittag und am Abend, vor allem im Sommer und besonders ausgeprägt an sonnigen Tagen. Dieses Phänomen kann durch die vorliegenden Messdaten nicht vollständig erklärt werden. Es ist vermutlich die Folge komplexer Zirkulationsmuster über dem topographisch stark strukturierten Lesachtal und entsteht, sobald an bereits beschatteten Hängen Luft absinkt und infolge des Düseneffekts am engen Talausgang des Lesachtales (mit Geschwindigkeiten von 4 bis 7 m/s in 100 m) ostwärts abfließt. Der Hangabwind des angrenzenden Südhanges konnte am Eingang des Lesachtales nur in sehr seltenen Fällen beobachtet werden.

Die Untersuchung der Windverhältnisse in Abhängigkeit des Temperaturgradienten zwischen Kötschach und Vorhegg zeigt, daß erwartungsgemäß bei labiler Schichtung die tagesperiodischen Zirkulationsmuster mit ausgeprägtem Richtungswechsel am klarsten ausgebildet sind, da diese in der Regel mit sonnigem, strahlungsreichem Wetter verbunden ist. Allerdings treten diese Zirkulationsmuster auch bei neutraler und stabiler Schichtung auf, wobei die Windverhältnisse bei neutraler Schichtung

noch unbeständiger sind als bei stabiler. Die Windgeschwindigkeit zeigt relativ geringe Abhängigkeiten von der Temperaturschichtung.

4 Die Schadstoffbelastung in Vorhegg

4.1 Überblick

Die Messstelle Vorhegg liegt in einer Region mit großräumig im österreichischen Vergleich geringen Emissionsdichten der primären Schadstoffe SO_2 , NO_x und CO . Aufgrund dieser Lage sowie ihrer Situierung am Hang 300 m oberhalb des Tales weist Vorhegg vergleichsweise niedrige Belastungen bei Schwefeldioxid (SO_2), Schwebestaub, Stickstoffoxiden (NO_x , NO , NO_2) und Kohlenstoffmonoxid (CO) auf, die nach aktuellem Kenntnisstand repräsentativ für vergleichbare Standorte im westlichen Kärnten und in Osttirol sind; diese Aussage wird durch die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung weiter unterstützt.

Tabelle 3 gibt die Jahresmittelwerte der Jahre 1991 bis 1999 dieser Schadstoffe sowie von Ozon in mg/m^3 an.

Tabelle 3: Jahresmittelwerte der Schadstoffkonzentration in Vorhegg in mg/m^3

	SO_2	Staub	NO_2	NO	CO	O_3
1991	0,005	0,02	0,006			0,075
1992	0,005	0,02	0,005		0,3	0,077
1993	0,004	0,02	0,005		0,3	0,075
1994	0,003	0,01#	0,007	0,001#	0,2	0,073
1995	0,003	0,01	0,005	<0,001	0,2#	0,072
1996	0,004#		0,004#		0,3	0,072
1997	0,001#		0,002#		0,2	0,063
1998	0,002#		0,003#		0,2	0,075
1999	0,001	0,01	0,003		0,2	0,076

#: Verfügbarkeit der Basiswerte zwischen 50 und 75%, ansonsten über 75%.

Wie die vorliegende Untersuchung sowie weitere Auswertungen zeigen, bestimmen sowohl lokaler Transport als auch Fernverfrachtung die Schadstoffbelastung an der Messstelle. Die wesentlichen Quellen der registrierten Schwebestaub- und NO_x -Belastung sowie zum Teil der CO - und SO_2 -Belastung sind Emissionen im Gailtal. Bei SO_2 lassen sich die höchsten Belastungen (Tagesmittelwerte bis $0,049 \text{ mg}/\text{m}^3$, Halbstundenmittelwerte bis $0,159 \text{ mg}/\text{m}^3$) in den meisten Fällen mit Ferntransport von Osten aus dem slowenischen Kraftwerk Sostanj erklären, der – sofern er Vorhegg erreicht – auch ganz Kärnten erfasst. Die CO -Konzentration wird durch eine vergleichsweise hohe, nicht von lokalem oder regionalem Transport beeinflusste Hintergrundbelastung bestimmt. Die langzeitige Ozonbelastung ist in Vorhegg im österreichweiten Vergleich relativ hoch, bedingt durch die exponierte und emittentenferne Lage der Messstelle, die für einen flachen Tagesgang mit hoher nächtlicher Konzentration verantwortlich ist. Zudem ist fallweiser Ozontransport aus Oberitalien für vergleichsweise hohe kurzzeitige Konzentrationsspitzen (bis $0,20 \text{ mg}/\text{m}^3$ als Dreistundenmittelwert) verantwortlich. Lokale Ozonbildung sowie Ozontransport in lokalem Maßstab spielen praktisch keine Rolle.

4.2 Mittlere Tagesgänge der Schadstoffkonzentration

Abbildung 37 bis 39 geben die mittleren Tagesgänge der Konzentration von SO₂, NO₂, CO und Ozon, gemessen in Vorhegg, für den Zeitraum von November 1997 bis März 1998, Abbildung 40 bis 42 für den Zeitraum von April bis September 1998, jeweils für labile, neutrale und stabile Temperaturschichtung zwischen Kötschach und Vorhegg, an.

4.2.1 Winter 1997/98

Labile Verhältnisse zeigen tagsüber einen Konzentrationsanstieg bei SO₂, NO₂ und CO; so liegt im Mittel die NO₂-Konzentration morgens um 0,003 mg/m³ und steigt vormittags auf ca. 0,004 mg/m³, bei SO₂ ist der Konzentrationsanstieg etwas ausgeprägter, fehlt bei Ozon dagegen völlig; die CO-Konzentration steigt von ca. 0,20 mg/m³ am Morgen bis 0,25 mg/m³ mittags. Im Falle labiler Verhältnisse findet tagsüber Schadstofftransport aus dem Gailtal an die Messstelle statt. Die Ozonkonzentration ist im Mittel bei labiler Schichtung höher als bei neutraler oder stabiler. Nachts liegen im Winter zu wenige Fälle mit labiler Schichtung für eine gesicherte Aussage vor.

Demgegenüber sinken bei neutraler Schichtung die SO₂- und NO₂-Konzentration tagsüber deutlich gegenüber dem nächtlichen Niveau ab (z.B. bei NO₂ von ca. 0,008 auf 0,004 mg/m³), während die Ozonkonzentration komplementär ansteigt. Die CO-Konzentration weist dagegen fast keine zeitliche Variation auf. Bei neutraler Schichtung dürfte die Anreicherung der im Gailtal emittierten Schadstoffe das gesamte Talvolumen nachts mindestens bis in die Höhe von Vorhegg erfassen, während tagsüber die Schadstoffe verdünnt werden. Mitverantwortlich für diesen Tagesverlauf dürfte der Temperaturgradient oberhalb von Vorhegg sein.

Im Winter 1997/98 zeigen alle Schadstoffe bei stabiler Schichtung nur geringe tageszeitliche Variation, wobei die Konzentration der Schadstoffe SO₂, NO₂ und CO niedriger als bei neutraler Schichtung ist. Die CO- und NO₂-Konzentration steigt im Mittel im Verlauf des Nachmittags an, die höchsten Werte treten abends auf (NO₂ abends 0,004 mg/m³, morgens 0,002 mg/m³). Die mittleren Tagesgänge bei stabiler Schichtung deuten darauf hin, daß Schadstofftransport aus dem Gailtal selten stattfindet und die Messstelle Vorhegg meist oberhalb der stabilen Schicht in relativ niedrig belasteter Luft verbleibt.

4.2.2 Sommer 1998

Im Sommer steigt die NO₂-Konzentration unabhängig vom Temperaturgradienten in Vorhegg morgens kurzzeitig rasch an, am stärksten bei stabiler Schichtung (nachts 0,001 mg/m³, morgens bis 0,005 mg/m³); ein zweites niedrigeres Maximum zeichnet sich abends ab. Die CO-Konzentration steigt morgens nur bei stabiler Schichtung an, SO₂ am deutlichsten bei labiler Schichtung. Der mittlere Tagesgang der Ozonkonzentration zeigt keinen nennenswerten Einfluss der Temperaturschichtung.

Geht man davon aus, daß nachts bei stabiler Schichtung die Messstelle in einer von Schadstofftransport aus dem Gailtal nicht beeinflussten Luftmasse liegt und somit eine großräumig repräsentative Hintergrundbelastung erfasst, ergibt sich für SO₂ und NO₂ eine Hintergrundkonzentration von 0,001 mg/m³, bei CO von ca. 0,15 mg/m³.

Bei Ozon führt der ständige, wenn auch verglichen mit Talregionen nur geringfügige Ozonabbau durch trockene Deposition unabhängig von der Temperaturschichtung

nachts zu einem kontinuierlichen Rückgang der Konzentration. Da die lokale und regionale Ozonbildung tagsüber in Oberkärnten nur gering sein dürfte, kann man die nachmittags bei guter Durchmischung auftretende Ozonbelastung als großräumig repräsentativ ansehen, welche relativ unabhängig von der Temperaturschichtung ca. $0,10 \text{ mg/m}^3$ erreicht.

Schadstofftransport – v.a. von NO_2 und CO – aus dem Gailtal an die Messstelle tritt mithin v.a. morgens bei stabilen Verhältnissen auf, d.h. faktisch bei Einsetzen der Labilisierung der Luftschicht am Talboden, wodurch belastete Luft die Messstelle Vorhegg erreicht.

Besonders dieser Sachverhalt deutet darauf hin, daß der Temperaturgradient zwischen Kötschach und Vorhegg zur Erklärung des mittleren Immissionsgeschehens in Vorhegg allein nicht ausreicht; zu einer schlüssigen Interpretation wäre vermutlich die Kenntnis der Temperaturschichtung sowohl zwischen Talboden und Vorhegg als auch oberhalb von Vorhegg notwendig.

4.3 Schadstoffwindrosen

Abbildung 43 zeigt die Schadstoffwindrose für SO_2 (gemessen in Vorhegg) mit dem Bodenwind der Messstelle Vorhegg für den Zeitraum November 1997 bis Oktober 1998. Die Schadstoffwindrose gibt für jeden der 36 10° -Sektoren (sowie gesondert für Kalme) die mittlere Schadstoffkonzentration über jene Zeitpunkte an, zu denen der Wind aus dem jeweiligen Sektor wehte. Abbildung 44 zeigt die Schadstoffwindrose für SO_2 mit dem Wind, der 100 m über dem SODAR-Standort am Eingang des Lesachtales gemessen wurde. Abbildung 45 und 46 zeigen die Schadstoffwindrosen für NO_2 mit dem Wind in Vorhegg sowie 100 m über dem Eingang des Lesachtales.

Die SO_2 -Konzentration ist bei östlichem Wind in Vorhegg im Mittel etwas höher als bei westlichem oder nördlichem, was mit der Lage lokaler Emittenten östlich der Messstelle im Gailtal sowie fallweisem SO_2 -Ferntransport von Osten übereinstimmt, v.a. aber bedeutet, daß bei Tag höhere SO_2 -Konzentrationen die Messstelle erreichen als nachts, da Ostwind praktisch nur tagsüber weht.

Betrachtet man für Sommer 1998 die SO_2 -Konzentration in Abhängigkeit des mit dem SODAR über dem Eingang des Lesachtales gemessenen Wind, so fallen im Mittel erhöhte SO_2 -Belastungen mit Wind aus Ost, Nord oder West zusammen.

Während der SODAR-Messperiode über Würmlach 1996/97 traten in Vorhegg im Mittel höhere SO_2 -Konzentrationen bei südöstlichem bis nordöstlichem Wind auf, d.h. tagsüber.

Ein relativ ähnliches Bild mit aber geringeren Richtungsabhängigkeiten zeigt NO_2 , bei welchem im Mittel bei Wind in Vorhegg aus Ost bis Süd höhere Konzentrationen auftreten. Die Abhängigkeit vom Wind über dem Sägewerk zeigt erhöhte NO_2 -Konzentration bei östlichem bis nördlichem Wind.

Bei CO und Ozon ist keine Windrichtungsabhängigkeit zu erkennen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, daß die mittlere Abhängigkeit der Schadstoffkonzentration von der Windrichtungsverteilung bei SO_2 und NO_2 in erster Linie auf Schadstoffadvektion aus dem Gailtal (bzw. allgemein von Osten) hinweist, wobei aufgrund des tagesperiodischen Wechsels der Windrichtung Transport primär tagsüber erfolgt.

4.4 Resümee

Die Schadstoffwindrosen für Vorhegg zeigen, daß im Mittel bei Ostwind höhere SO_2 -, NO_2 - und CO -Konzentrationen als bei Nordwind auftreten, wobei sich in Kombination mit den mittleren Tagesgängen klar zeigt, daß erhöhte Schadstoffkonzentrationen in der Regel tagsüber auftreten – und somit mit Ostwind koinzidieren – und ganz überwiegend auf Schadstofftransport aus dem Gailtal zurückgeführt werden können.

Im Sommer nimmt die Schadstoffkonzentration unabhängig von der Temperaturschichtung zwischen Kötschach und Vorhegg morgens deutlich zu, am ausgeprägtesten ist dies bei NO_2 (im Mittel Anstieg von 0,001 auf 0,003 mg/m^3) und CO bei stabiler Schichtung. Die Konzentration in Vorhegg steigt an, sobald sich die Bodeninversion im Gailtal auflöst und belastete Luft die Messstelle am Hang erreicht.

Im Winter sehen die Verhältnisse anders aus, in dieser Jahreszeit ist im Mittel der Schadstofftransport bei stabiler Schichtung gering, er tritt bei labiler Schichtung am deutlichsten in Erscheinung. Im Winter ist neutrale Schichtung mit hohen Konzentrationen in der Nacht (NO_2 0,006 bis 0,010 mg/m^3) mit einer Abnahme der Schadstoffbelastung tagsüber verbunden (NO_2 um 0,003 mg/m^3). Neutrale Schichtung umfasst im Winter offenkundig Situationen mit Schadstoffanreicherung in der Nacht in einer auch Vorhegg erfassenden Schicht, und Schadstoffverdünnung bei Labilisierung tagsüber.

Diese Ergebnisse zeigen, daß die wesentlichen Quellen der registrierten NO_2 -Belastung sowie zum Teil der CO - und SO_2 -Belastung Emissionen im Gailtal sind. Schadstofftransport von diesen Quellen nach Vorhegg findet besonders tagsüber bei gutem Vertikalaustausch über dem Tal statt.

Bei SO_2 lassen sich die höchsten Belastungen (max. Tagesmittelwert 0,049 mg/m^3 , max. Halbstundenmittelwert 0,159 mg/m^3) in den meisten Fällen mit Ferntransport von Osten aus dem slowenischen Kohlekraftwerk Sostanj erklären, der – sofern er Vorhegg erreicht – auch ganz Kärnten erfasst. Die Analyse einzelner Episoden zeigt, daß SO_2 -Transport häufig in abgehobenen Luftschichten und begrenzten Schadstoffwolken erfolgt, so daß innerhalb Kärntens ein relativ heterogenes Belastungsbild beobachtet wird. Aufgrund der sehr komplexen Topographie im Norden Sloweniens lässt sich über den Transport ins Klagenfurter Becken wenig aussagen. Untersuchungen des Schadstofftransports nach Arnfels-Remschnigg in der Südsteiermark zeigten, daß der Einfluss der Temperaturschichtung gering ist und die Schadstoffausbreitung in einer relativ engen Rauchfahne erfolgt. Fallweise konnten erhöhte SO_2 -Belastungen in Vorhegg auch bei Südwestströmung beobachtet und somit Emissionen in Oberitalien zugeordnet werden.

Die CO -Konzentration wird in Vorhegg durch eine vergleichsweise hohe, nicht von lokalem oder regionalem Transport beeinflusste Hintergrundbelastung bestimmt, welcher der Schadstofftransport aus dem Gailtal überlagert ist. Auffallend sind Konzentrationsmaxima bei Südwestströmung (parallel zu Ozon), die Transport aus Oberitalien zugeordnet werden können.

Die Ozonbelastung ist in Vorhegg, gemittelt über Zeiträume von acht Stunden oder mehr, im österreichweiten Vergleich relativ hoch und entspricht der großräumigen Hintergrundbelastung. Die vergleichsweise niedrigere Belastung in den Tälern ist demgegenüber die Folge stärkeren lokalen Ozonabbaus. In Vorhegg ist fallweiser Ozontransport aus Oberitalien für vergleichsweise hohe kurzzeitige Konzentrations-

spitzen (bis $0,20 \text{ mg/m}^3$ als Dreistundenmittelwert) verantwortlich. Lokale Ozonbildung sowie Ozontransport in lokalem Maßstab spielen praktisch keine Rolle.

Für den Sommer erlauben die mittleren Tagesgänge die Abschätzung der von Schadstofftransport aus dem Gailtal unbeeinflussten Hintergrundkonzentration von SO_2 und NO_2 mit ca. $0,001 \text{ mg/m}^3$ und von CO mit ca. $0,15 \text{ mg/m}^3$.

Die Untersuchung zeigt, daß die lokalen Windverhältnisse insgesamt relativ wenig Einfluss auf das Immissionsgeschehen in Vorhegg haben, sondern daß der Transport belasteter Luft aus dem Gailtal an die Messstelle primär vom Ausmaß des vertikalen Austauschs abhängt. Fallweise Fernverfrachtung von SO_2 und Ozon (teilweise CO) wird von der großräumigen Strömung bestimmt, die weder von den Messstellen im Gailtal noch vom SODAR registriert wird.

5 Fallstudien

Dieses Kapitel präsentiert einige Episoden im Detail, wobei v.a. die Windverhältnisse genauer beschrieben werden. Die Auswahl der Episoden erfolgte für Zeiträume, in denen die Immissionskonzentration von besonderem Interesse ist. Bei allen angegebenen Werten handelt es sich, soweit nichts anderes genannt wird, um Halbstundenmittelwerte.

5.1 Episode 18. und 19. April 1997

Am 18.4. 1997 wurde in Vorhegg ein rasches Ansteigen der CO-Konzentration bis $0,4 \text{ mg/m}^3$ beobachtet, was auf Anreicherung der Schadstoffe im Gailtal und Transport belasteter Luft nach Vorhegg zurückgeführt werden kann.

Abbildung 47 und 48 zeigen Windrichtung und -geschwindigkeit in Vorhegg, Kötschach, Hermagor und Sittmoos sowie in 50 und 100 m über Würmlach, sowie die Sonnenscheindauer in Vorhegg und die Temperatur in Vorhegg und Kötschach am 18. und 19.4. 1997. Abbildung 49 zeigt die SO_2 -, NO_2 - und CO-Konzentration in Vorhegg und die NO_2 - und CO-Konzentration in Hermagor.

Großwetterlage

Am 18. April herrschte über Mitteleuropa flache Luftdruckverteilung mit großräumig schwachem, uneinheitlichem Wind. Die über dem Alpenraum liegende Luftmasse kam von Nordwesten und war maritimen Ursprungs, aber relativ trocken, so daß der Bedeckungsgrad gering war. Am 19. April drang von Norden kalte Meeresluft nach Mitteleuropa vor, verbunden mit stärkerer Bewölkung und mäßigen Niederschlagsmengen. Im Bereich der südöstlichen Alpen wehte am 18. und 19.4. schwacher, relativ unbeständiger, meist östlicher Wind.

Lokale meteorologische Situation

Beide Tage waren in Vorhegg zumeist sonnig, gegen Abend bildete sich Bewölkung. In der Nacht vom 17. zum 18. sowie vom 18. zum 19. April bildete sich zwischen Kötschach und Vorhegg eine Inversion aus, in der folgenden Nacht verhinderte aufziehende Bewölkung dagegen eine stärkere Abkühlung im Tal.

Die Windverhältnisse entsprachen nachts weitgehend dem ungestörten Hangab- und Talauswind, d.h. Nordnordwestwind in Vorhegg, westlicher Wind über dem Gailtal in Würmlach (SODAR), in Hermagor, Kötschach und Sittmoos.

Tagsüber war der Wind dagegen relativ unbeständig, nachmittags jeweils etwas konstanter, er variierte über dem Gailtal (Würmlach) zwischen Nordost und Süd, nachmittags kam er über dem Gailtal von Osten. In Kötschach wehte nachmittags Süd-südwestwind (Taleinwind des Tales zum Gailbergsattel). In Sittmoos kam der Wind vormittags aus Nordost bis Südost, nachmittags aus Süd. In Vorhegg wurde vormittags Ostwind beobachtet, nachmittags Südwestwind – d.h. zunächst erfasste der Taleinwind die Messstelle, nachmittags aber der Hangaufwind.

Die Windgeschwindigkeit lag in Hermagor, Kötschach und Sittmoos nachts unter 1 m/s, in Vorhegg und über Würmlach bis 100 m Höhe bei 1 bis 2 m/s, in größeren Höhen bis 4 m/s. Am Vormittag nahm die Windgeschwindigkeit an allen Messstellen etwas zu, zeigte aber erst am Nachmittag das für Talwindssysteme charakteristische Profil, wobei am Talboden 2 bis 3 m/s, in 50 m bis 5 m/s, in größeren Höhen 6 bis 7 m/s erreicht wurden.

Immission

Die hohe CO-Konzentration, welche am 18. und 19.4. in Vorhegg beobachtet wurde, war die Folge generell erhöhter CO-Belastung in den Kärntner Tälern. Aufgrund der nachts und morgens stets auftretenden Inversion kam es in den Tälern zu Schadstoffanreicherung, die sich jeweils v.a. morgens, aber auch abends in vergleichsweise starkem Ansteigen der CO-Belastung ausdrückte, wobei in Hermagor am 18.4. morgens $0,65 \text{ mg/m}^3$, abends $0,75 \text{ mg/m}^3$, am 19.4. morgens $0,80 \text{ mg/m}^3$ erreicht wurden⁷. In Vorhegg blieb die CO-Konzentration bis 18.4. mittags auf einem Hintergrundwert von $0,20 \text{ mg/m}^3$. Vorhegg lag bis zu dieser Zeit stets oberhalb der Inversion und damit außerhalb der belasteten Luft im Gailtal. Der Anstieg auf über $0,40 \text{ mg/m}^3$, der im Verlauf des Nachmittags zu beobachten war, war die Folge von Luftaustausch mit dem Gailtal. Auch bei Ausbildung der Inversion in der Nacht vom 18. zum 19.4. blieb die CO-Konzentration in Vorhegg hoch. Sie sank am Morgen des 19.4. zeitweise unter $0,30 \text{ mg/m}^3$, als die Messstelle vermutlich oberhalb der stabil geschichteten belasteten Luft im Tal zu liegen kam. Erst im Zuge allgemeiner Labilisierung ab dem Abend des 19.4. – als auch die Konzentrationsspitzen an den Tal-messstellen zurückgingen – sank auch in Vorhegg wieder die CO-Belastung.

Die NO_2 - und SO_2 -Belastung wiesen sowohl an den Messstellen in den Tälern wie in Vorhegg einen zu CO parallelen Verlauf auf, der in gleicher Weise durch die Stabilität der bodennahen Atmosphäre bestimmt war. Die lokalen Windverhältnisse hatten auf die Schadstoffbelastung und ihren Verlauf keinen Einfluss.

5.2 Episode 3. bis 5. Mai 1997

Am 3. und 4.5. 1997 wurden in Oberkärnten bei Advektion von Südwesten (Italien) außergewöhnlich hohe Ozonwerte ($0,17 \text{ mg/m}^3$) beobachtet.

Großwetterlage

Ein Hochdruckgebiet bestimmte ab 30. April das Wetter in Mitteleuropa, wobei es noch bis 1.5. verbreitet Bewölkung und Regen gab. Die ab 3.5. vorherrschende warme Luftmasse subtropischen Ursprungs bewirkte dann wolkenloses und windschwaches Wetter. Im Südostalpenbereich lag die Tageshöchsttemperatur am 3.5. bei 26°C . Über den Alpen drehte der Wind von Nordwest auf Südwest und wurde

⁷ Diese CO-Konzentration liegt allerdings weit unter dem Immissionsgrenzwert des Immissionsschutzgesetzes-Luft (10 mg/m^3 als Achtstundenmittelwert)

schwächer. Am 4.5. erreichte eine Warmfrontokklusion von Westen her Mitteleuropa und brachte über weiten Teilen Deutschlands starke konvektive Bewölkung und schauerartige Niederschläge, die sich bis an den Alpennordrand ausbreiteten. Im südöstlichen Alpenraum war es stark bewölkt, aber niederschlagsfrei; die Temperatur erreichte hier nur noch 22°C. Im Gebirge kam starker Südwestwind auf. Am 5.5. erreichte von Westen her eine Kaltfront Mitteleuropa, die starke Bewölkung und verbreitete Niederschläge mit sich brachte, aber westlich von München zum Stehen kam. Vor der Front wehte im Gebirge sehr starker Südwestwind (auf der Villacher Alpe seit 4.5. abends um 12 m/s). In den südlichen Alpentälern stieg die Temperatur bei starker Bewölkung nur auf 20°C, im Oberösterreichischen Alpenvorland aufgrund föhniger Erwärmung bis 27°C.

Lokale meteorologische Verhältnisse

Die Temperaturschichtung zwischen Kötschach und Vorhegg labilisierte sich am 3. und 4.5. tagsüber, nachts bildete sich eine Inversion aus, die sich morgens rasch auflöste. Die Maximaltemperatur lag am 3.5. in Vorhegg bei 23°C, am 4.5. bei 20°C. Am 5.5. blieb dagegen eine Tageserwärmung weitgehend aus, die Temperatur sank im Tagesverlauf ungleichmäßig von 12°C auf 8°C ab. Während der 3.5. weitgehend sonnig war, trat am 4.5. ab mittags zunehmende Bewölkung auf. Der 5.5. war fast andauernd bedeckt.

In der Nacht vom 2. zum 3. sowie vom 3. zum 4.5. entsprachen die Windverhältnisse im und über dem Gailtal dem Talwind mit beständigem Westwind; in Vorhegg wurde Nordnordwestwind beobachtet. Vormittags wehte im und über dem Gailtal Wind aus Ost bis Südost, der am 3.5. nachmittags mehr auf Nord drehte. Die Windgeschwindigkeit lag an beiden Tagen über Würmlach in 50 bis 150 m nachts bei 2 bis 4 m/s, sie stieg nachmittags auf 6 m/s. In Kötschach wehte vormittags überwiegend Südost-, nachmittags Südwestwind, während in Sittmoos vormittags Südost- bis Ostwind, nachmittags unbeständiger südlicher Wind wehte.

Am Nachmittag des 4.5. begannen das mangelnde Strahlungsangebot und das Durchgreifen der großräumigen Strömung die Windverhältnisse im Gailtal zu beeinflussen. Auf der Villacher Alpe wehte ab ca. 17:00 starker beständiger Südwestwind mit bis 12 m/s. In der folgenden Nacht wurde über Würmlach unbeständiger schwacher Wind aus Südost bis Südsüdwest beobachtet, in Vorhegg Nord- bis Ostwind. Lediglich Sittmoos sowie zeitweise Kötschach zeigten in der Nacht Westwind (Talauswind). Zwischen ca. 3:00 und 6:00 stellte sich auch über Würmlach Südwest- bis Westwind ein. Am 5.5. wehte tagsüber über Würmlach relativ beständiger Südostwind, der aufgrund des bedeckten Himmels wohl weniger thermisch gesteuert war als durch die großräumige Luftdruckverteilung. In Vorhegg wehte bis ca. 10:00 nordwestlicher Wind, der anschließend auf unregelmäßigen südlichen Wind überging. Die Windgeschwindigkeit variierte über Würmlach nachts zwischen 2 und 4 m/s, tagsüber zwischen 2 und 6 m/s, am späten Abend erreichte sie in 200 m bis 10 m/s.

Immission

Am 3. und 4.5. wurde in Vorhegg mit Maxima um 0,17 mg/m³ eine relativ hohe Ozonkonzentration beobachtet; andere Messstellen in Oberkärnten und Osttirol wiesen geringfügig niedrigere Konzentrationswerte auf. Gegenüber dem 2.5. (um 0,12 mg/m³) stieg die Ozonbelastung deutlich an; der Wind über den Alpen drehte von Nordwest auf Südwest, und aller Wahrscheinlichkeit nach stammte die nun Oberkärnten erreichende hoch belastete Luft aus Oberitalien. Auffallend ist der relativ langsame Konzentrationsanstieg und das späte Maximum um 20:00 an allen oberkärntner Messstellen am 3.5., was die Annahme von Ferntransport als Ursache des

Belastungsanstieges erhärtet. Regionale photochemische Ozonbildung in diesem Ausmaß ist in Kärnten jedenfalls nicht zu erwarten.

Die Ozonbelastung blieb in Oberkärnten bis zum 5.5. frühmorgens auf einem Niveau um $0,16 \text{ mg/m}^3$ und sank danach bei starker Bewölkung und Eindringen kalter Luftmassen von Westen langsam ab. Insgesamt blieb die Ozonbelastung stets räumlich sehr einheitlich, auch nachts fand – anders als in den Nächten zuvor – kein nennenswerter Konzentrationsrückgang an den in den Tälern gelegenen Messstellen statt.

In Hermagor stieg am 3.5. morgens und abends die NO_2 -Konzentration bei stabiler Schichtung stark an (bis $0,03 \text{ mg/m}^3$); das Ausbleiben vergleichbarer Spitzen am 4.5. deutet auf stärkere Labilisierung hin. Hingegen lag Hermagor am 5.5. morgens offenbar in einer seichten Inversion (das Temperaturprofil zwischen Kötschach und Vorhegg zeigt labile Schichtung), denn die NO_2 -Konzentration erreichte morgens hohe Werte bis $0,07 \text{ mg/m}^3$. In Vorhegg blieb die NO_2 -Konzentration bis 5.5. mittags unter $0,003 \text{ mg/m}^3$, am 5.5. ab 12:00 stieg sie auch hier deutlich an (auf $0,008 \text{ mg/m}^3$). Zu dieser Zeit drehte der Wind in Vorhegg von West auf Südost, es gelangte Luft aus dem Gailtal an die Messstelle.

Bemerkenswert ist der Verlauf der CO-Konzentration in Vorhegg, welcher jenem von Ozon parallel läuft, nicht aber dem von NO_2 . Dies deutet klar darauf hin, daß der Anstieg der CO-Konzentration von ca. $0,25$ auf $0,40 \text{ mg/m}^3$ im Verlauf des 3.5. analog jenem von Ozon auf Ferntransport aus Oberitalien zurückzuführen sein dürfte. Transport belasteter Luft aus dem Gailtal spielte – da die Ozonkonzentration bei deren Advektion jedenfalls zurückgegangen wäre – in diesem Fall keine Rolle. Der parallele leichte Anstieg der SO_2 -Konzentration auf $0,005 \text{ mg/m}^3$ dürfte ebenfalls oberitalienischen Quellen zuzuschreiben sein.

5.3 Episode 10. Juni 1997

Am 10.6. 1997 kam es zu SO_2 -Ferntransport aus Slowenien nach Vorhegg, wo maximal $0,025 \text{ mg/m}^3$ als HMW gemessen wurden.

Großwetterlage

Über Mitteleuropa waren am 10.6. sehr geringe Luftdruckgegensätze zu beobachten. Nördlich der Alpen lag eine Luftmassengrenze zwischen einer mediterranen Luftmasse im Süden und kühlerer Luft, die an den Vortagen von Westen in Mitteleuropa eingeflossen war. Im Mitteleuropa war der Bedeckungsgrad niedrig, über den Alpen bildeten sich aber Quellwolken und teilweise Regenschauer. Der Wind war relativ schwach und uneinheitlich.

Lokale meteorologische Situation

Der 10.6. war in Vorhegg von wechselnder Bewölkung gekennzeichnet. Die Temperatur erreichte in Kötschach maximal 26°C ; nachts bildete sich zwischen Kötschach und Vorhegg eine Inversion, tagsüber labile Temperaturschichtung aus.

Der Wind wehte nachts über dem Gailtal (Würmlach, SODAR) von Westen, in Vorhegg von Norden, die Geschwindigkeit lag in Höhen bis 200 m um 1 bis 2 m/s. Am Morgen wehte über dem Gailtal zunächst Südsüdost-, später beständiger Ost-südostwind, in Vorhegg beständiger Ostwind. Die Windgeschwindigkeit stieg bis Mittag an und erreichte über Würmlach vertikal relativ einheitlich bis 3 m/s.

Diese für die Tal- und Hangwindzirkulation charakteristischen Verhältnisse änderten sich um 13:00, als der Wind zunächst generell schwächer wurde und – vertikal einheitlich – sprunghaft auf Richtungen von Nordost bis Nordnordwest wechselte, wobei ab 15:00 die Geschwindigkeit bei Nordnordostwind über Würmlach bis auf 7 m/s stieg. In Vorhegg wehte Westwind mit 1,5 m/s. Ab 17:00 stellte sich wieder Südostwind über Würmlach und Ostwind in Vorhegg ein, wobei die Geschwindigkeit nun in Vorhegg bis 3 m/s, auf der Villacher Alpe bis 6,5 m/s und über Würmlach bis 10 m/s stieg. Um 19:00, als am Talboden und in Vorhegg Nordwestwind einsetzte, sank die Windgeschwindigkeit allgemein wieder; über Würmlach drehte der Wind aber erst um 22:00 von Südost auf Nordwest.

Die Ursachen der Winddrehung über dem Gailtal auf nördliche Richtungen am frühen Nachmittag sind nicht erfassbar. Die Zunahme der Windgeschwindigkeit ab 17:00 bei Südostwind war mit der Verdichtung der Bewölkung und möglicherweise mit Schauern verbunden.

Immission

Am 10. Juni kam es bei schwachem, aber beständigem Ostwind im Klagenfurter Becken zu SO₂-Transport von Slowenien – aller Wahrscheinlichkeit nach vom Kraftwerk Sostanj – nach Kärnten, der zunächst in Bleiburg mit SO₂-Konzentrationen über 0,03 mg/m³ (zwischen 11:00 und 17:00) zu beobachten war, in Vorhegg zwischen 14:00 und 16:00 mit maximal 0,025 mg/m³, an anderen Kärntner Messstellen in sehr unterschiedlichem Ausmaß; in Hermagor und Fürnitz wurde keine auffallende SO₂-Belastung beobachtet. Der SO₂-Transport erfolgte somit nicht in Bodennähe, die belastete Luft erreichte Vorhegg nicht bei Ostwind über dem Gailtal, sondern während der Phase mit auffrischendem nördlichem Wind. Die im Raum Vorhegg erfassten meteorologischen Daten lassen allerdings keine Schlüsse über den genaueren Transportweg der belasteten Luft zu.

5.4 Episode 16. und 17. Jänner 1998

Am 16.1. 1998 wurde in Vorhegg ein rasches Ansteigen der NO₂- und der CO-Konzentration infolge von Schadstofftransport aus dem Gailtal beobachtet.

Großwetterlage

Der 16. und 17.1. 1998 waren von Einfließen maritimer subpolarer Luftmassen nach Mitteleuropa gekennzeichnet, wobei mehrere teilweise okkludierte Frontalzonen den Alpenraum überquerten. Es war zumeist stark bewölkt, vor allem am Alpennordrand gab es ergiebige Niederschläge.

Lokale meteorologische Situation

Im Gailtal wurden am 16. und 17.1. relativ milde Temperaturen zwischen 1 und 8 °C registriert, am Abend des 17.1. sanken sie unter -2°C. Zwischen Kötschach und Vorhegg bildete sich am 16.1. morgens eine Inversion aus, in der folgenden Nacht dagegen nur leicht stabile Schichtung; tagsüber labilisierte sich der Temperaturgradient jeweils. Der 16.1. war weitgehend bedeckt, am 17.1. schien am frühen Nachmittag die Sonne. Auf der Villacher Alpe wurde bis 17.1. 2:00 starker beständiger Westwind mit 6 bis 10 m/s gemessen. Danach ging die Geschwindigkeit auf unter 2 m/s zurück, der Wind wechselte auf Nord. Im Tagesverlauf des 17.1. stieg die Geschwindigkeit wieder auf 6 m/s.

Trotz der geringen Sonnenscheindauer, die am 16.1. beobachtet wurde, wechselte der Wind im Gailtal am Vormittag von West (Talauswind) auf Nordost über dem Sä-

gewerk und Ost in Vorhegg. In Sittmoos und Hermagor wehte dagegen auch tagsüber zumeist westlicher Wind. Die Windgeschwindigkeit lag auch tagsüber in Höhen bis 200 m über dem Sägewerk zumeist bei nur 1 bis 2 m/s, allein in Vorhegg stieg sie vormittags bis 3 m/s. Ab 19:00 wehte in Vorhegg wieder Nordnordwest, über dem Lesachtal Westnordwestwind.

Der Wechsel des Windes auf der Villacher Alpe von West auf Nordnordwest in Nacht brachte in Vorhegg und Kötschach ab 17.1. 4:00 zeitweise östlichen Wind mit sich. Ab dem Morgen wehte in Vorhegg Nordwestwind, über dem Sägewerk zeitweise Westsüdwest-, zumeist Nordwestwind; die Geschwindigkeit lag um 2 m/s. Ostwind wurde dagegen in Sittmoos (wo die Windgeschwindigkeit tagsüber über 3 m/s stieg), Südost- bis Südwestwind in Kötschach, Südwind in Hermagor beobachtet. Die Bodenmessstellen dürften somit von einem nicht allzu hoch reichenden Taleinwind erfasst worden sein, während die höher gelegenen Luftschichten von der großräumigen nordwestlichen Strömung bestimmt wurden.

Immission

In Hermagor und Fürnitz lag in der Nacht vom 15. zum 16.1. die CO-Konzentration (bei starken Variationen) zwischen 0,5 und 1,4 mg/m³, die NO-Konzentration stieg morgens bis 0,10 mg/m³ in Fürnitz bzw. 0,05 mg/m³ in Hermagor, während die NO₂-Konzentration im Gailtal mit unter 0,02 mg/m³ sehr niedrig war. Erst am Nachmittag sank im Tal die NO-Konzentration, parallel dazu stieg die NO₂-Belastung, wobei Vorhegg, Hermagor und Fürnitz einen sehr parallelen Verlauf aufwiesen, der auf gute vertikale Durchmischung, aber auch hohe horizontale Homogenität hindeutet. Parallel zu NO₂ stieg in Vorhegg auch die CO-Konzentration, wobei die NO₂-Konzentration von 0,002 auf maximal 0,055 mg/m³ stieg, die CO-Konzentration von 0,2 auf bis 0,7 mg/m³. Dieser Anstieg war jedenfalls die Folge von Transport belasteter Luft aus dem Gailtal an die Messstelle, der allerdings erst relativ spät einsetzte.

Jeweils am Abend des 16. und am Morgen des 17.1 stieg die CO-Belastung im Tal wieder deutlich an (über 1,4 mg/m³); in der Nacht vom 16. zum 17.1. pendelte sie sich aber an beiden Stationen um 0,7 mg/m³ ein und lag damit nur wenig höher als in Vorhegg. Die NO₂-Konzentration war in der Nacht in Hermagor und Fürnitz ebenfalls nur wenig höher als in Vorhegg und folgte nicht dem Verlauf der CO-Konzentration an diesen Messstellen; die NO-Konzentration sank unter 0,01 mg/m³. Der relativ starke Wind in der Höhe (Villacher Alpe) verhinderte offenbar die Ausbildung einer Bodeninversion, so daß fast die ganze Nacht über vertikaler Austausch über dem Gailtal stattfand und daher die Schadstoffbelastung vertikal sehr einheitlich war.

Erst am Morgen des 17.1. bildete sich offenbar wieder eine Bodeninversion aus, wie der rasante Anstieg der NO- und CO-Konzentration in Hermagor und Fürnitz (NO auf über 0,07 mg/m³, CO 1,5 mg/m³) zeigt.

In Vorhegg nahm die CO-Konzentration am 17.1. ab Mitternacht nach und nach wieder ab, um sich nachmittags auf ca. 0,2 mg/m³ zu stabilisieren, die NO₂-Konzentration ging auf 0,002 mg/m³ zurück.

Der Belastungsverlauf in Vorhegg war am 16. und 17.1. offenkundig von Luftaustausch mit dem Gailtal bestimmt, worüber allerdings weder der Temperaturgradient zwischen Kötschach und Vorhegg noch die lokalen Windverhältnisse unmittelbar Auskunft geben. Der Temperaturgradient gibt keine Aufschlüsse über das Einsetzen des Austausches zwischen 13:00 und 17:00 am 16.1., hierfür wäre vermutlich eine räumlich besser aufgelöste Kenntnis der Temperaturschichtung über dem Gailtal notwendig.

5.5 Episode 29. bis 30. März 1998

Am 29.3. 1998 erreichte SO_2 -Ferntransport von Osten, d.h. aus Slowenien, die Messstelle Vorhegg (max. HMW $0,03 \text{ mg/m}^3$). Abbildung 50 und 51 zeigen Windrichtung und -geschwindigkeit in Vorhegg, Kötschach, Hermagor und Sittmoos sowie in 50 und 100 m über Würmlach, sowie die Sonnenscheindauer in Vorhegg und die Temperatur in Vorhegg und Kötschach am 29. und 30.3. 1998. Abbildung 52 zeigt die SO_2 -, NO_2 - und CO-Konzentration in Vorhegg und die SO_2 - und CO-Konzentration in Hermagor, Ferlach und Bleiburg.

Großwetterlage

Am 29. und 30.3. 1998 bestimmte ein Hochdruckgebiet das Wetter über Mitteleuropa. Es war überwiegend sonnig, über den Alpen bildeten sich Quellwolken, aber es regnete kaum. Großräumig wehte schwacher, meist östlicher Wind.

Lokale meteorologische Situation

An beiden Tagen war es im Gailtal zumeist sonnig; die Temperatur erreichte in Vorhegg jeweils maximal 16°C . Die Temperaturschichtung zwischen Kötschach und Vorhegg labilisierte sich jeweils ab ca. 8 Uhr; bereits mit dem frühen Temperaturrückgang in Kötschach ab ca. 16 Uhr stellte sich stabile Schichtung ein.

Über dem Eingang des Lesachtales wurde mit dem SODAR nachts ab ca. 19 Uhr vertikal einheitlicher Westwind gemessen, wobei zu Beginn des 29.3. oberhalb von 100 m südwestlicher Wind wehte. Ab 9 Uhr drehte der Wind auf Ost, ab 16 Uhr auf Nordnordwest. Die Windgeschwindigkeit lag nachts bei 3 bis 5 m/s mit deutlicher Höhenzunahme, tagsüber (vertikal einheitlicher) bei 2 bis 4 m/s, abends (bei Nordnordwestwind) bei 5 bis 10 m/s mit deutlicher Höhenzunahme. In Vorhegg trat nachts Nordnordwestwind mit 1 m/s auf, tagsüber (8 bis 21 Uhr) unbeständiger östlicher Wind (Nord bis Südost) mit bis 3 m/s. In Kötschach und Hermagor wurde nachts Nordwestwind, tagsüber Südostwind registriert.

Diese Windverhältnisse werden generell durch die thermotopographische Zirkulation im oberen Gailtal bestimmt. Nachts strömt der Talauswind aus dem Lesachtal talabwärts, tagsüber weht der Taleinwind. Nicht in dieses regelmäßige Muster fügt sich der nachmittags und abends mit dem SODAR erfasste starke Nordnordwestwind ein, welcher vermutlich entsteht, sobald im Lesachtal ab ca. 16 Uhr an beschatteten Hängen Luft abwärts fließt und durch den Düseneffekt des sehr engen Taleinschnitts oberhalb des Sägewerkes das Lesachtal mit hoher Geschwindigkeit und nordnordwestlicher Richtung verlässt. Dieser Talauswind wird bis in 250 m Höhe über Talboden beobachtet, nicht aber in Vorhegg, wo bis in die frühen Nachtstunden hinein östlicher Wind, d.h. eine Kombination von Talein- und Hangaufwind, weht. Auch die Messstellen am Talboden (Kötschach, Hermagor) weisen bis ca. 19 Uhr östlichen, d.h. Taleinwind, auf. Ab 19 Uhr geht über dem SODAR-Standort die Windgeschwindigkeit zurück und der Wind weht direkt von Westen – d.h. nachts beeinflusst die lokale Topographie die talauswärtige Strömung kaum, die westlich des SODAR-Standortes gelegenen Hügelrücken werden schon in 50 m über Boden überströmt.

Der Hangabwind an der Nordseite des Lesachtales (Nordnordwestwind in Vorhegg) wird mit dem SODAR kaum beobachtet. Nur während kurzer Zeitabschnitte, v.a. früh am 29.3., kommt in 50 m der Wind aus etwas mehr nördlicher Richtung als in größeren Höhen.

Immissionssituation

Der 29. und 30.3. 1998 waren Tage mit signifikantem SO₂-Transport von Slowenien über das Drau- und Gailtal westwärts, wofür neben der großräumigen schwachen Ostströmung der Taleinwind in den genannten Tälern verantwortlich war. SO₂-Transport erfolgte dabei in relativ begrenzten "Wolken" und häufig in einer vom Boden abgehobenen Schicht, da in Ferlach bereits zu Beginn des 29.3. die SO₂-Konzentration bei ca. 0,025 mg/m³ lag, in Bleiburg aber noch um 0,010 mg/m³, wo sie um 10:00 auf 0,075 mg/m³ anstieg. In Vorhegg stieg die SO₂-Konzentration um 9:00 von nahe null auf 0,030 mg/m³, sank bis zum Abend langsam wieder ab und bewegte sich dann bis zum 30.3. um 0,010 mg/m³. In Bleiburg und Ferlach wurden an beiden Tagen wiederholt Spitzen bis über 0,05 mg/m³ gemessen, in Hermagor hingegen lag die Konzentration zumeist niedriger als in Vorhegg. An allen Messstellen stieg die Konzentration tagsüber gegenüber den nächtlichen Werten an, was sehr stark auf Transport in abgehobenen Luftschichten und turbulente Einmischung in Bodennähe (bei labiler Schichtung) tagsüber hinweist.

Die NO₂-Konzentration folgte nicht dem Verlauf der SO₂-Belastung, sondern stieg morgens jeweils geringfügig dank Schadstofftransports aus dem Gailtal an. Auch die CO-Konzentration stieg nur teilweise parallel zur SO₂-Belastung an, von ca. 0,25 mg/m³ am Morgen des 29.3. auf maximal 0,40 mg/m³.

5.6 Episode 20. bis 24. Juli 1998

Zwischen 20. und 23.7. stiegen die Ozon-Konzentrationsmaxima von Tag zu Tag an, am 23.7. wurden maximal 0,203 mg/m³ als Halbstundenmittelwert gemessen.

Abbildung 53 und 54 zeigen Windrichtung und -geschwindigkeit in Vorhegg, Kötschach, Hermagor und Sittmoos sowie in 50 und 100 m über Würmlach, sowie die Sonnenscheindauer in Vorhegg und die Temperatur in Vorhegg und Kötschach vom 22. bis 24.7. 1998. Abbildung 55 zeigt die SO₂-, NO₂-, CO- und Ozon-Konzentration in Vorhegg und die Ozon-Konzentration in Hermagor und Oberdrauburg vom 22. bis 24.7.

Großwetterlage

Ab 20.7. bestimmte ein flaches Hochdruckgebiet das Wetter über Mitteleuropa. Feuchte, sehr warme Luft subtropischen Ursprungs erfasste den Alpenraum und Süddeutschland, während kühle maritime Luftmassen über Norddeutschland lagen. Über Mitteleuropa war es wolkenarm, allerdings bildeten sich über den Alpen Quellwolken. Die Temperatur erreichte im südöstlichen Österreich 32°C. Am 21.7. drang eine Frontalzone ins westliche Deutschland vor; die Ostalpen blieben im Bereich sehr warmer südwestlicher Strömung, es war hier fast wolkenlos bei Temperaturen bis 33°C. Am 22.7. erreichte die o.g. Front auch den Ostalpenraum, wo es nun stärkere konvektive Bewölkung und Regenschauer gab; die maximale Temperatur lag bei 30°C. Diese Luftmassengrenze lag auch noch am 23.7. über dem Ostalpenraum, wo es mäßig bewölkt war und maximal 31°C erreichte. Am 24.7. verschob sie sich von den Ostalpen südostwärts, die Temperatur erreichte 28°C. Insgesamt herrschte zwischen 22. und 24.7. in dieser Region schwacher Wind, vor allem nachmittags bildeten sich Quellwolken, allerdings gab es kaum Niederschlag.

Lokale meteorologische Situation

Der 20., 21. und 23.7. waren weitgehend sonnige Tage, am 20.7. bildete sich gegen Abend leichte Bewölkung. Demgegenüber traten am Abend des 22. und 24.7. starke Quellwolken auf.

Aufgrund der sehr starken Tageserwärmung in Vorhegg war der Temperaturgradient gegenüber Kötschach nie labil, tagsüber wurde zumeist Isothermie beobachtet, ab 16 Uhr zumeist bereits eine Inversion.

Die Windverhältnisse entsprachen der bereits im vorigen Kapitel beschriebenen thermotopographischen Zirkulation. Über dem SODAR-Standort am Eingang des Lesachtals wurde nachts bis 8 Uhr vertikal einheitlicher beständiger Westwind mit 4 bis 7 m/s – mit der Höhe stark zunehmend – gemessen, tagsüber Ostwind mit 2 bis 4 m/s. Ab ca. 16 Uhr drehte der Wind auf West (20. und 22.7.) oder Nordwest (21. und 23.7.). Der Nordwestwind ist an den sonnigen Abenden stärker ausgebildet als den bewölkten, sein Auftreten muss somit mit der Stärke der thermischen Konvektion über dem Lesachtal zusammenhängen. Allerdings ist das Zirkulationsmuster über dem (stark strukturierten) Lesachtal allein aufgrund der Geländeform kaum zu interpretieren.

Das Vorrücken der Kaltluft am Nachmittag des 24.7. in den Südalpenbereich unterbrach die regelmäßige Talwindzirkulation, es wehte daraufhin weiterhin Ostwind über dem Lesachtal. Lediglich in 50 m erfasste das SODAR Nordwestwind. Demgegenüber blies in Vorhegg Ostwind. Die Windgeschwindigkeit war am Abend des 24.7. überall mit 1 bis 2 m/s relativ niedrig.

Immissionssituation

Bei geringem Tagesgang – entsprechend der exponierten Lage – erreichte die Ozonkonzentration in Vorhegg am 20.7. $0,11 \text{ mg/m}^3$, am 21.7. $0,15 \text{ mg/m}^3$, am 22.7. $0,17 \text{ mg/m}^3$ und am 23.7. $0,203 \text{ mg/m}^3$ (als HMW). Der Grenzwert der Vorwarnstufe des Ozongesetzes ($0,200 \text{ mg/m}^3$ als Dreistundenmittelwert) wurde nicht überschritten.

Vorhegg war an jedem Tag die höchstbelastete Messstelle in Kärnten, die Ozonkonzentration lag nachmittags jeweils deutlich höher als in Oberdrauburg (maximal $0,14 \text{ mg/m}^3$ am 22.7., $0,16 \text{ mg/m}^3$ am 23.7.) und Hermagor ($0,13 \text{ mg/m}^3$ am 23.7.). Die großräumige Advektion sehr warmer Luft von Südwesten deutet – wie auch schon bei ähnlichen Ozonepisoden, während derer Vorhegg die höchstbelastete Messstelle Kärntens, wenn nicht Österreichs war – auf Ozontransport aus Oberitalien hin.

Die NO_2 -Konzentration stieg in Vorhegg regelmäßig morgens leicht an, wenn Schadstofftransport aus dem Gailtal einsetzte.

Die CO-Konzentration folgte zeitweise dem Verlauf der NO_2 -Konzentration, mit Anstiegen von ca. $0,15$ auf über $0,20 \text{ mg/m}^3$ am Morgen des 20. und 21.7.. Allerdings stieg am 23.7. parallel zum Ansteigen der Ozonbelastung auf $0,20 \text{ mg/m}^3$ auch die CO-Konzentration ungewöhnlich rasch an und erreichte $0,25 \text{ mg/m}^3$. Es kann daher vermutet werden, daß parallel zu Ozon auch CO-reiche Luft aus Italien nach Oberkärnten verfrachtet wurde.

6 Resümee

6.1 Lokale Beeinflussung der Messstellen und Bedarf an zusätzlichen Messdaten

Hinsichtlich des Temperaturprofils Talboden–Vorhegg, welches zur Beurteilung des Vertikalaustausches von Schadstoffen von wesentlicher Relevanz ist, zeigt die vorliegende Untersuchung, daß die Temperaturmessung in Kötschach und Vorhegg zur Beobachtung der thermischen Stabilität der Atmosphäre nur bedingt geeignet ist. Einerseits wird Kötschach (ebenso wie Sittmoos im Lesachtal) relativ früh beschattet, weswegen bereits am Nachmittag die Temperatur zu sinken beginnt, andererseits wird aufgrund seiner exponierten Lage Vorhegg relativ lange besonnt und dürfte deshalb v.a. abends höhere Temperaturen als die freie Talatmosphäre messen. Der Temperaturgradient Kötschach–Vorhegg zeigt deswegen bereits ab dem Nachmittag stabile Schichtung, was für die freie Talatmosphäre nicht repräsentativ sein dürfte, und wodurch tendenziell das Auftreten stabiler Schichtung überschätzt wird.

Davon abgesehen zeigt sich auch, daß die Temperaturschichtung zwischen Kötschach und Vorhegg nicht in allen Fällen eine ausreichende Erklärung für den Schadstofftransport vom Tal nach Vorhegg ist. Für eine präzisere Beurteilung des vertikalen Schadstofftransports wäre einerseits eine zusätzliche Temperaturmessung zwischen Kötschach und Vorhegg vonnöten (um Inversionen zwischen dem Talboden und Vorhegg zu identifizieren), zum anderen oberhalb von Vorhegg (um Inversionen oberhalb von Vorhegg zu erkennen).

Weiters zeigt die Untersuchung, daß die Windverhältnisse an den Messstellen Kötschach und Hermagor im Gailtal für das Haupttal selbst nicht repräsentativ sind, sondern von den lokalen Seitentälern bestimmt werden.

Die Windmessung auf der Villacher Alpe, welche aufgrund ihrer Höhe zur Beurteilung der großräumigen Strömung verwendet werden könnte, wird ebenfalls durch die lokale Topographie stark beeinflusst. Für die Bestimmung des großräumig für den Südostalpenbereich repräsentativen Windes, der zur Beurteilung des Ausmaßes von SO₂-, Ozon- und CO-Ferntransport dienen kann, wäre daher ein mesoskaliges diagnostisches Windfeldmodell erforderlich.

6.2 Die Eignung der Messstelle Vorhegg für die Hintergrundmessung

Hinsichtlich ihrer Lage in Relation zu Emittenten primärer Schadstoffe ist der Standort Vorhegg zweifelsohne zur Messung der Hintergrundbelastung geeignet. Die Emissionsdichte ist im weiteren Umkreis der Messstelle vergleichsweise niedrig und großflächig repräsentativ für den ländlichen alpinen Raum.

Wie überall im alpinen Raum ist das Belastungsniveau nicht nur von der horizontalen, sondern auch von der vertikalen Distanz zu den Emittenten, d.h. von der relativen Höhe über Talboden, abhängig. Man kann daher am Talboden bzw. in geringerer Höhe über Tal höhere, in größerer Höhe geringere Schadstoffkonzentrationen als in Vorhegg erwarten.

Die Beurteilung des Ausmaßes von Schadstoffferntransport ist allerdings weder aufgrund der im Tal gemessenen Windverhältnisse – einschließlich der SODAR-Messungen einige 100 m über Talboden – möglich, noch mit Hilfe von Windmessungen an Bergstationen, da auch diese kein ungestörtes, großräumig repräsentatives

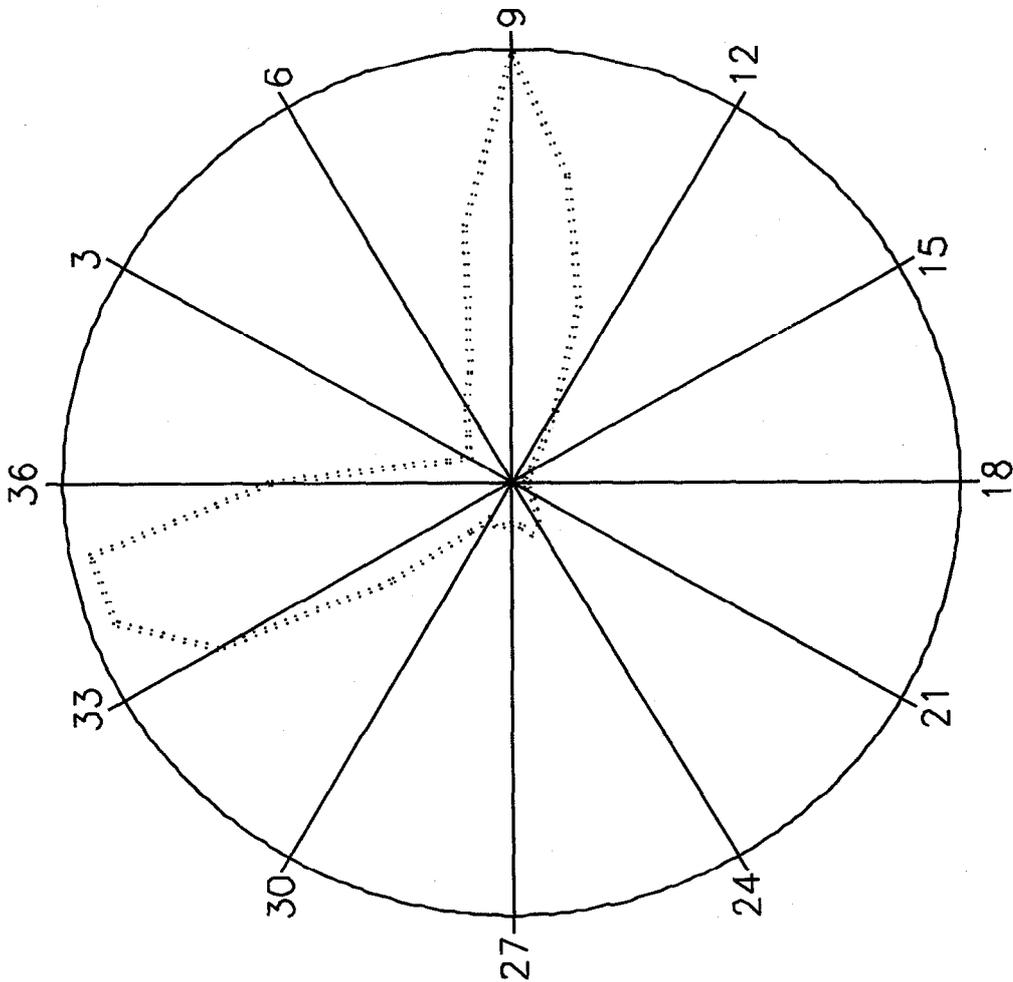
Windfeld erfassen. Die Identifikation von Schadstofftransport ist hier nur unter Verwendung der Messdaten einer Vielzahl von Immissionsmessstellen – die nicht überall zur Verfügung stehen, allerdings in Kärnten bis 1999 in Kärnten betrieben wurden –, sowie optimalerweise unter Zuhilfenahme eines modellierten Höhenwindfeldes möglich.

Abbildung 4: Windrichtungsverteilung in Vorhegg, Sommer 1998

Vorhegg bei Koetschach-Mauthen April – September 1998

Windrichtung

Calme bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s



Radius entspricht:

..... Windrichtungshaeufigkeit 10 %

Klasse	Anz.Werte	%
0	655	8.1
1	183	2.3
2	121	1.5
3	86	1.1
4	101	1.2
5	123	1.5
6	165	2.0
7	220	2.7
8	490	6.0
9	804	9.9
10	583	7.2
11	356	4.4
12	157	1.9
13	82	1.0
14	47	0.6
15	40	0.5
16	21	0.3
17	31	0.4
18	27	0.3
19	26	0.3
20	32	0.4
21	45	0.6
22	49	0.6
23	67	0.8
24	96	1.2
25	104	1.3
26	81	1.0
27	77	0.9
28	82	1.0
29	87	1.1
30	78	1.0
31	121	1.5
32	288	3.5
33	618	7.6
34	764	9.4
35	775	9.5
36	437	5.4

Windstille (< 0.5 m/s): 655 Werte (8.1%)
 Gueltig: 8119 Werte / Ausfall: 665 Werte

Abbildung 5: Windrichtungsverteilung in Sittmoos, Sommer 1998

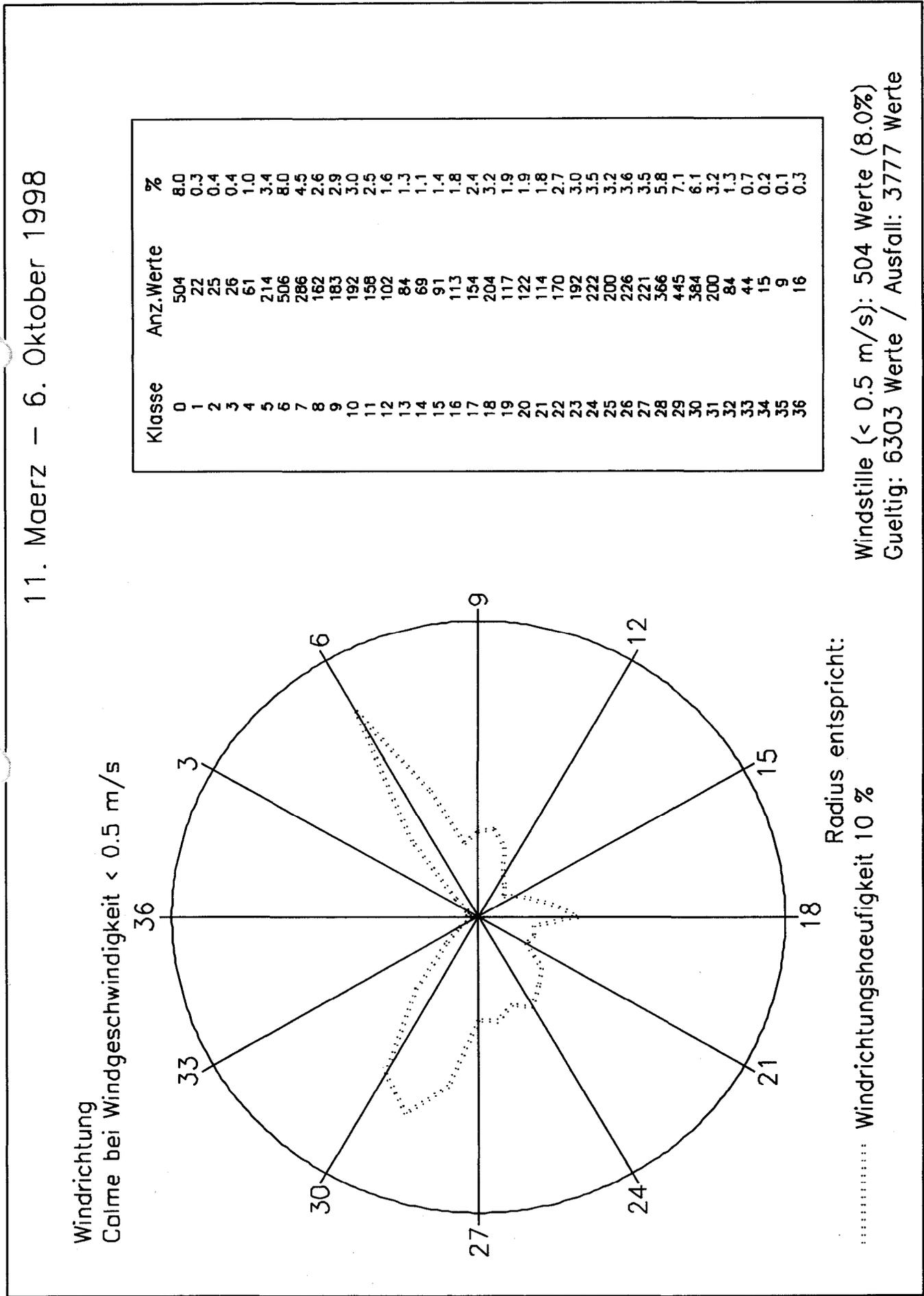


Abbildung 6: Windrichtungsverteilung in Kötschach, Sommer 1998

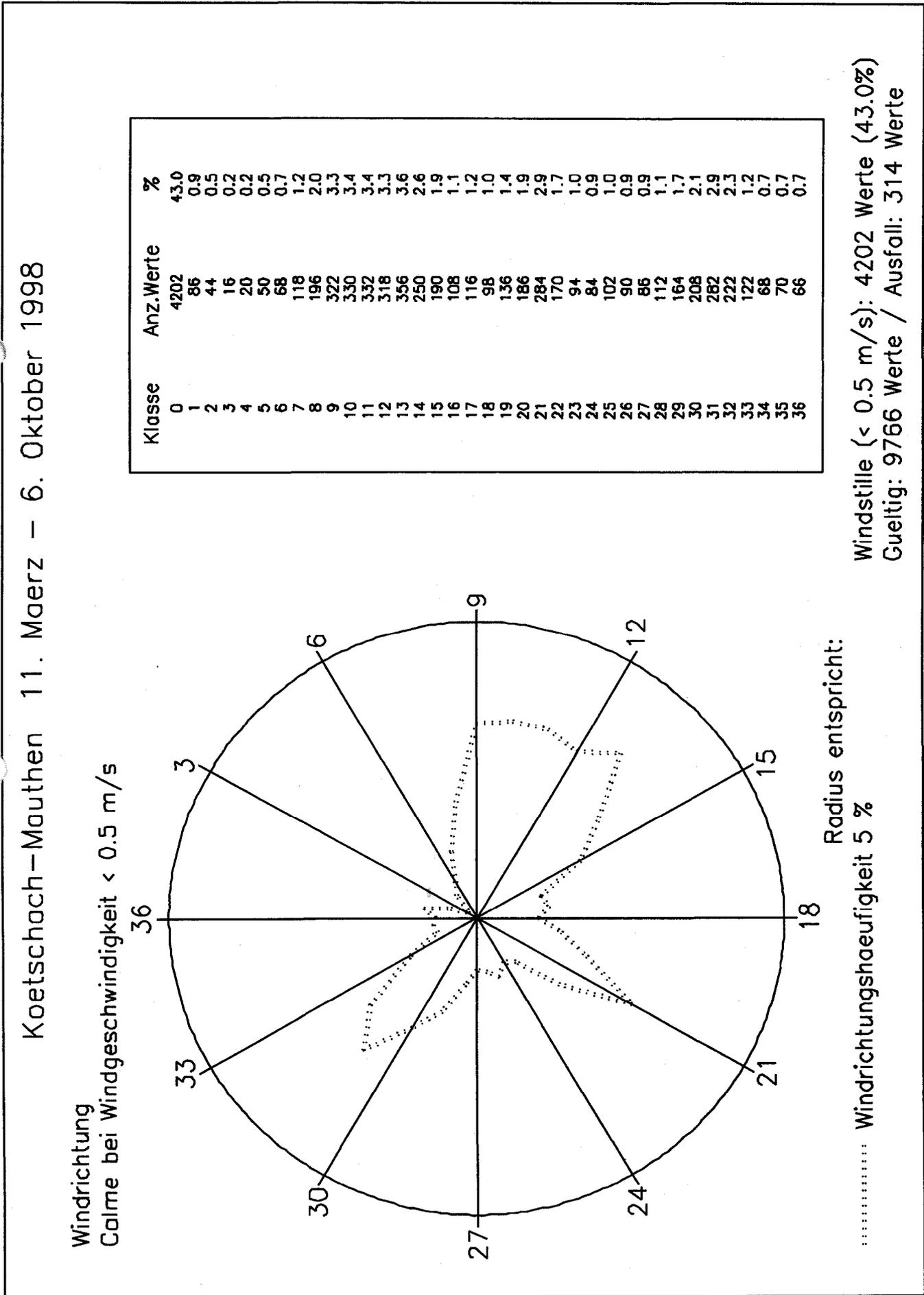
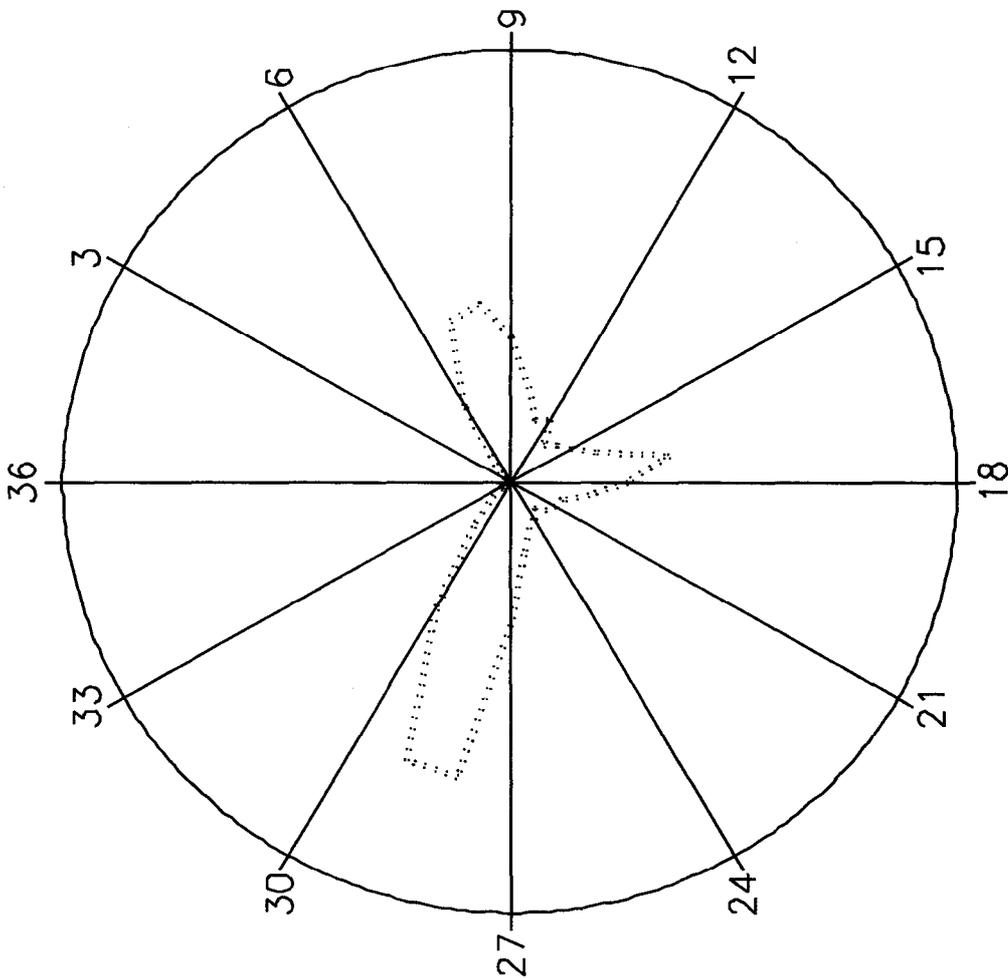


Abbildung 7: Windrichtungsverteilung in Hermagor, Sommer 1998

Hermagor Gailstalstrasse April - September 1998

Windrichtung

Calme bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s



Klasse	Anz.Werte	%
0	3046	34.7
1	7	0.1
2	4	0.0
3	15	0.2
4	27	0.3
5	45	0.5
6	185	2.1
7	351	4.0
8	371	4.2
9	298	3.4
10	200	2.3
11	139	1.6
12	149	1.7
13	100	1.1
14	120	1.4
15	137	1.6
16	181	2.1
17	318	3.6
18	230	2.6
19	155	1.8
20	105	1.2
21	99	1.1
22	90	1.0
23	71	0.8
24	89	1.0
25	100	1.1
26	151	1.7
27	295	3.4
28	608	6.9
29	603	6.9
30	293	3.3
31	108	1.2
32	47	0.5
33	20	0.2
34	13	0.1
35	9	0.1
36	4	0.0

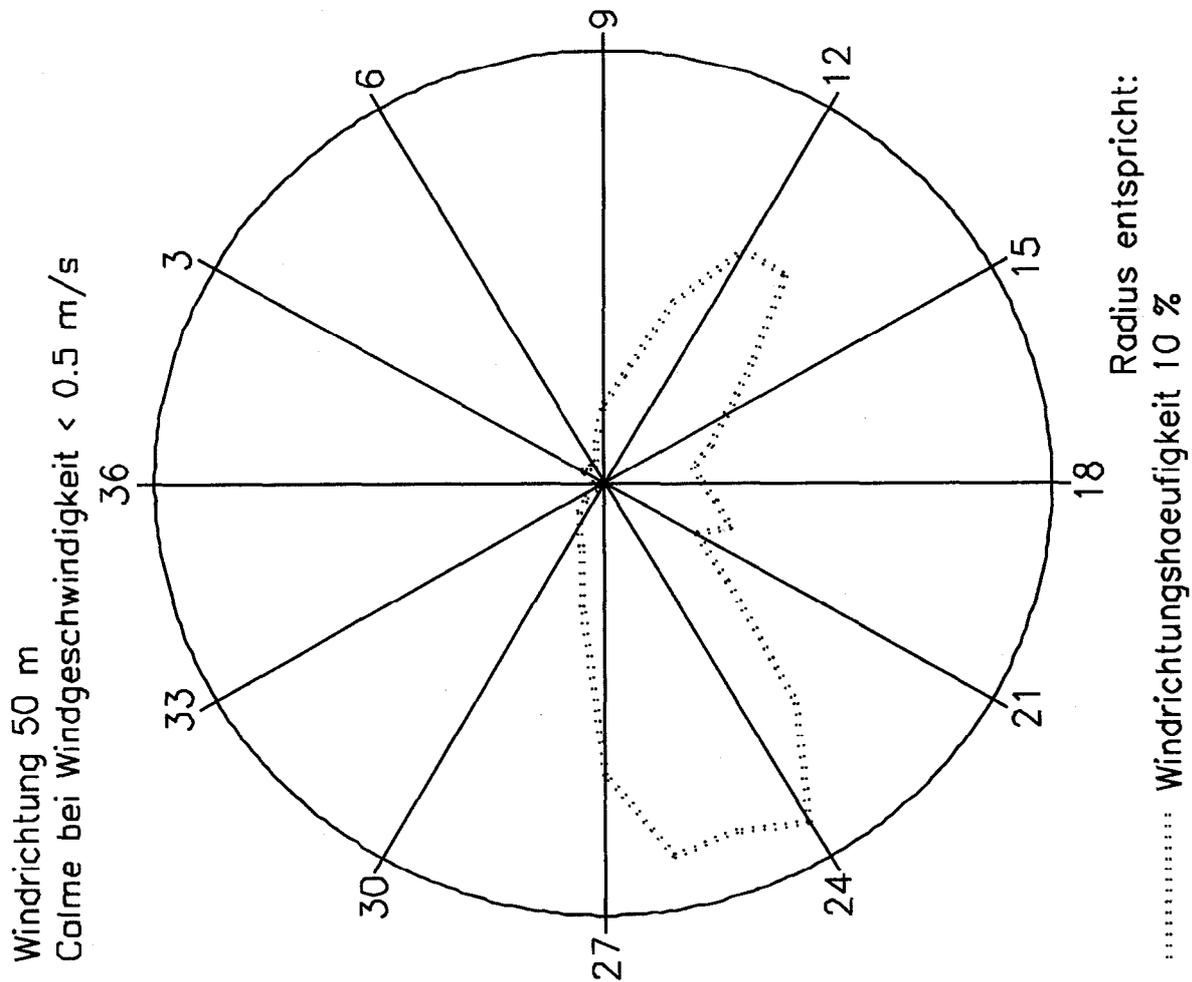
Radius entspricht:

Windrichtungshaeufigkeit 10 %

Windstille (< 0.5 m/s): 3046 Werte (34.7%)
 Gueltig: 8783 Werte / Ausfall: 1 Werte

Abbildung 8: Windrichtungsverteilung in 50 m Höhe über dem Gailtal bei Würmlach, Sommer 1997

11. Maerz - 25. Juni 1997



Klasse	Anz.Werte	%
0	98	2.0
1	5	0.1
2	11	0.2
3	28	0.6
4	22	0.5
5	24	0.5
6	22	0.5
7	27	0.6
8	47	1.0
9	90	1.9
10	123	2.6
11	216	4.5
12	300	6.2
13	302	6.3
14	206	4.3
15	151	3.1
16	121	2.5
17	96	2.0
18	105	2.2
19	120	2.5
20	144	3.0
21	114	2.4
22	171	3.6
23	319	6.6
24	436	9.1
25	412	8.6
26	420	8.7
27	324	6.7
28	139	2.9
29	74	1.5
30	53	1.1
31	42	0.9
32	25	0.5
33	8	0.2
34	1	0.0
35	5	0.1
36	3	0.1

Windstille (< 0.5 m/s): 98 Werte (2.0%)
Gultig: 4804 Werte / Ausfall: 332 Werte

Abbildung 9: Windrichtungsverteilung in 100 m Höhe über dem Gailtal bei Würmlach, Sommer 1997

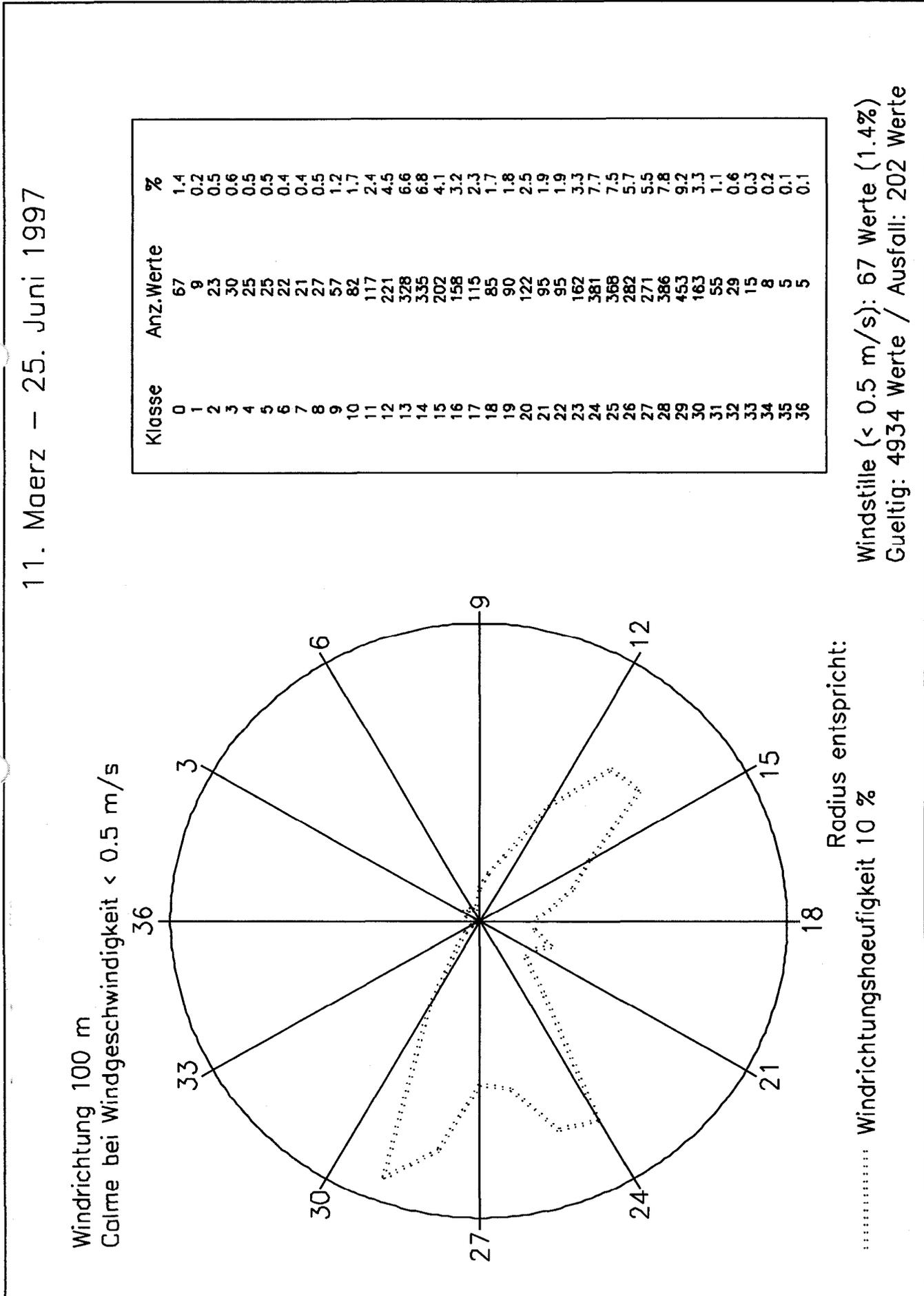
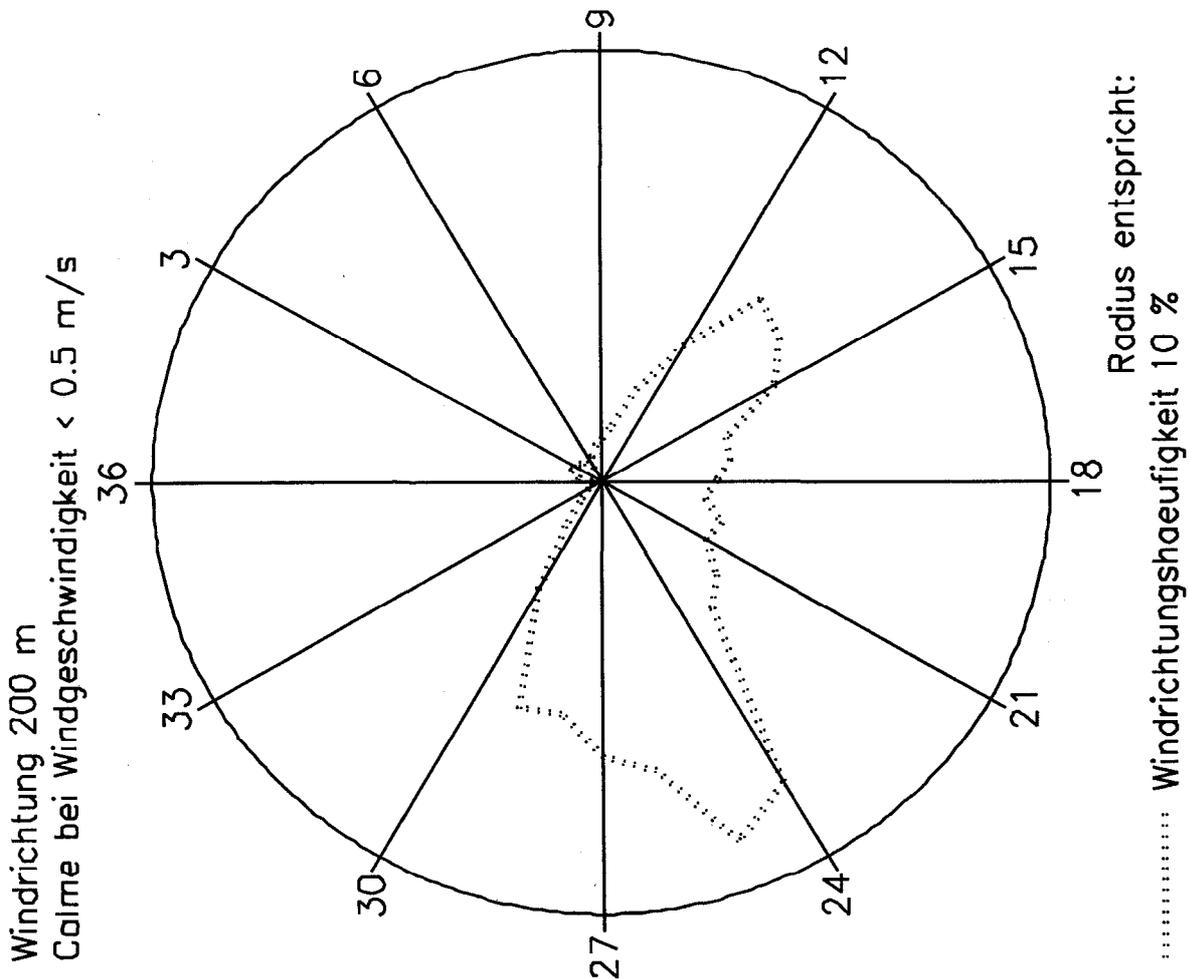


Abbildung 10: Windrichtungsverteilung in 200 m Höhe über dem Gailtal bei Würmlach, Sommer 1997

11. Maerz - 25. Juni 1997

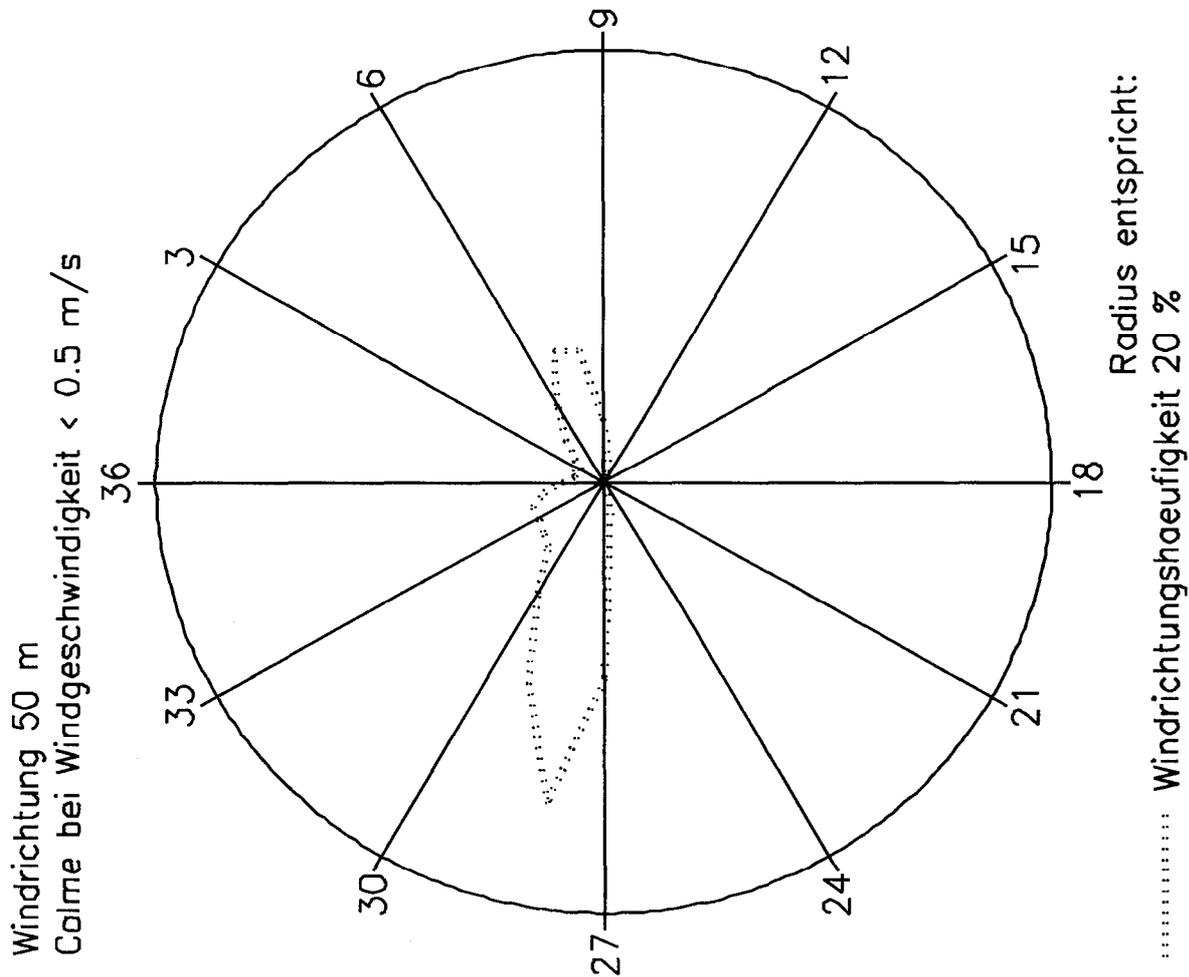


Klasse	Anz.Werte	%
0	78	1.7
1	25	0.5
2	34	0.7
3	30	0.6
4	30	0.6
5	26	0.6
6	16	0.3
7	29	0.6
8	39	0.8
9	46	1.0
10	62	1.3
11	106	2.3
12	169	3.6
13	257	5.5
14	240	5.2
15	206	4.4
16	136	2.9
17	134	2.9
18	118	2.5
19	108	2.3
20	131	2.8
21	123	2.7
22	155	3.3
23	177	3.8
24	373	8.1
25	409	8.8
26	314	6.8
27	294	6.3
28	251	5.4
29	256	5.5
30	131	2.8
31	56	1.2
32	27	0.6
33	17	0.4
34	9	0.2
35	10	0.2
36	11	0.2

Windstille (< 0.5 m/s): 78 Werte (1.7%)
Gultig: 4633 Werte / Ausfall: 503 Werte

Abbildung 11: Windrichtungsverteilung in 50 m Höhe über dem Eingang des Lesachtales, Sommer 1998

11. Maerz - 6. Oktober 1998



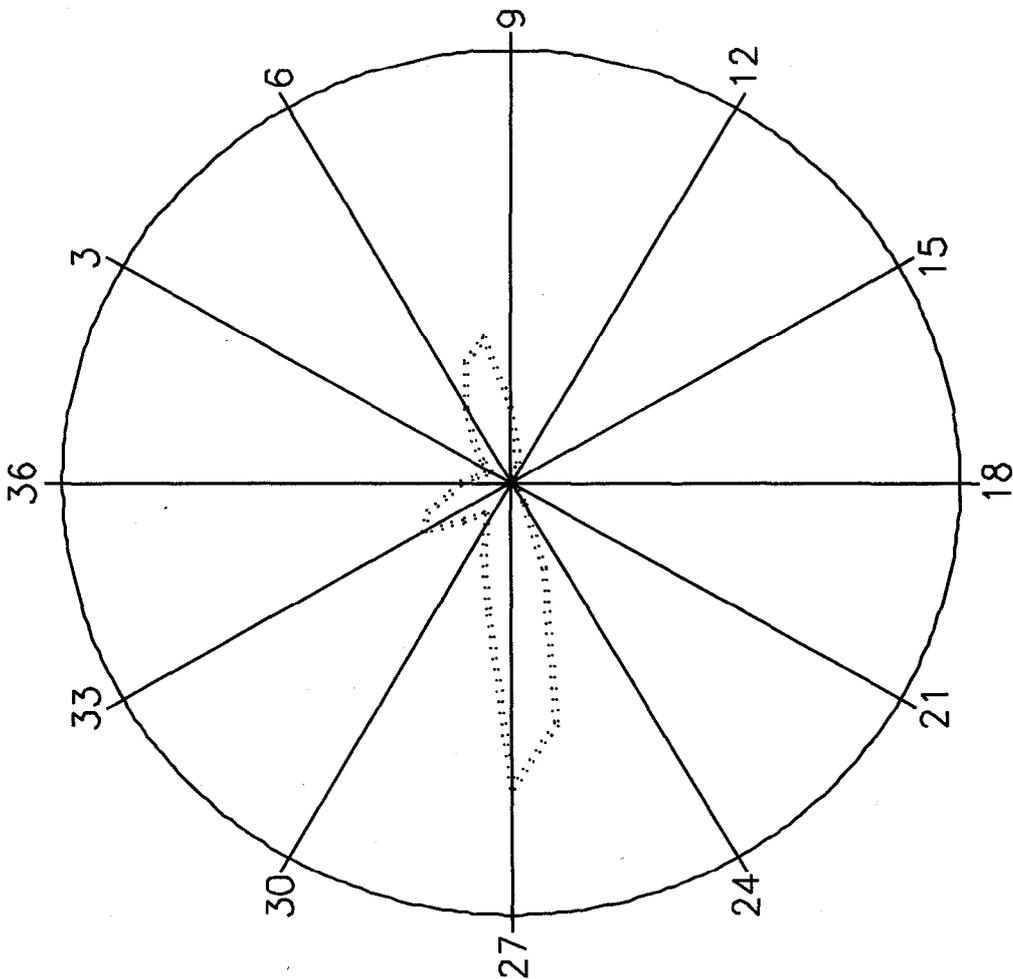
Klasse	Anz.Werte	%
0	916	9.5
1	124	1.3
2	140	1.5
3	111	1.2
4	156	1.6
5	253	2.6
6	401	4.2
7	624	6.5
8	593	6.2
9	285	3.0
10	102	1.1
11	37	0.4
12	20	0.2
13	7	0.1
14	3	0.0
15	1	0.0
16	0	0.0
17	1	0.0
18	1	0.0
19	0	0.0
20	1	0.0
21	1	0.0
22	2	0.0
23	1	0.0
24	0	0.0
25	9	0.1
26	148	1.5
27	884	9.2
28	1453	15.1
29	963	10.0
30	577	6.0
31	376	3.9
32	348	3.6
33	326	3.4
34	326	3.4
35	262	2.7
36	178	1.8

Windstille (< 0.5 m/s): 916 Werte (9.5%)
Gueltig: 9630 Werte / Ausfall: 450 Werte

Abbildung 12: Windrichtungsverteilung in 100 m Höhe über dem Eingang des Lesachtales, Sommer 1998

11. März – 6. Oktober 1998

Windrichtung 100 m
Calmes bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s



..... Windrichtungshäufigkeit 20 %
Radius entspricht:
Windstille (< 0.5 m/s): 655 Werte (6.8%)
Gültig: 9572 Werte / Ausfall: 508 Werte

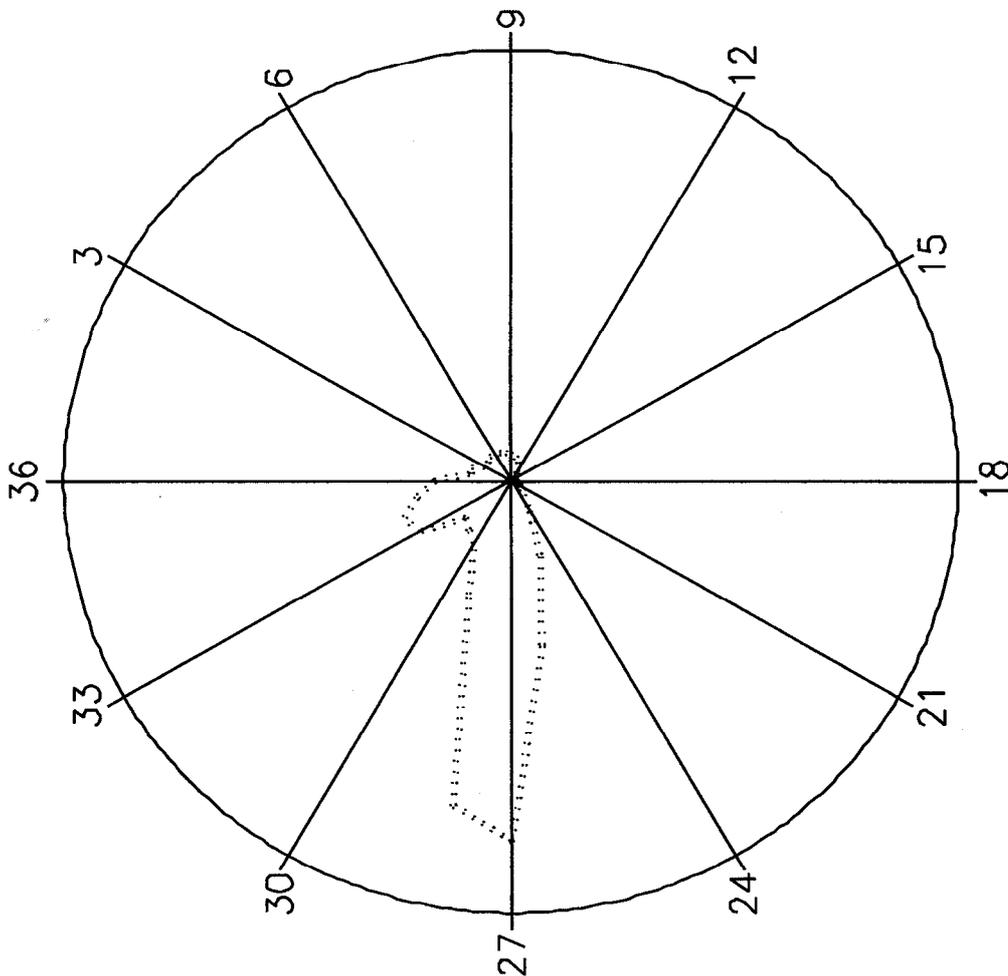
Klasse	Anz.Werte	%
0	655	6.8
1	151	1.6
2	119	1.2
3	99	1.0
4	163	1.7
5	245	2.6
6	388	4.1
7	568	5.9
8	659	6.9
9	339	3.5
10	146	1.5
11	78	0.8
12	29	0.3
13	20	0.2
14	13	0.1
15	9	0.1
16	6	0.1
17	3	0.0
18	0	0.0
19	2	0.0
20	1	0.0
21	3	0.0
22	11	0.1
23	46	0.5
24	113	1.2
25	407	4.3
26	1084	11.3
27	1353	14.1
28	570	6.0
29	345	3.6
30	214	2.2
31	170	1.8
32	267	2.8
33	436	4.6
34	383	4.0
35	263	2.7
36	214	2.2

Abbildung 13: Windrichtungsverteilung in 200 m Höhe über dem Eingang des Lesachtals, Sommer 1998

11. März – 6. Oktober 1998

Windrichtung 200 m

Calme bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s



Radius entspricht:

..... Windrichtungshäufigkeit 20 %

Klasse	Anz.Werte	%
0	153	3.1
1	88	1.8
2	92	1.9
3	67	1.3
4	67	1.3
5	73	1.5
6	68	1.4
7	72	1.4
8	67	1.3
9	63	1.3
10	56	1.1
11	47	0.9
12	25	0.5
13	23	0.5
14	9	0.2
15	14	0.3
16	8	0.2
17	8	0.2
18	14	0.3
19	13	0.3
20	12	0.2
21	21	0.4
22	33	0.7
23	43	0.9
24	82	1.6
25	187	3.8
26	387	7.8
27	826	16.6
28	756	15.2
29	278	5.6
30	165	3.3
31	147	3.0
32	134	2.7
33	240	4.8
34	251	5.1
35	211	4.2
36	170	3.4

Windstille (< 0.5 m/s): 153 Werte (3.1%)
 Gültig: 4970 Werte / Ausfall: 5110 Werte

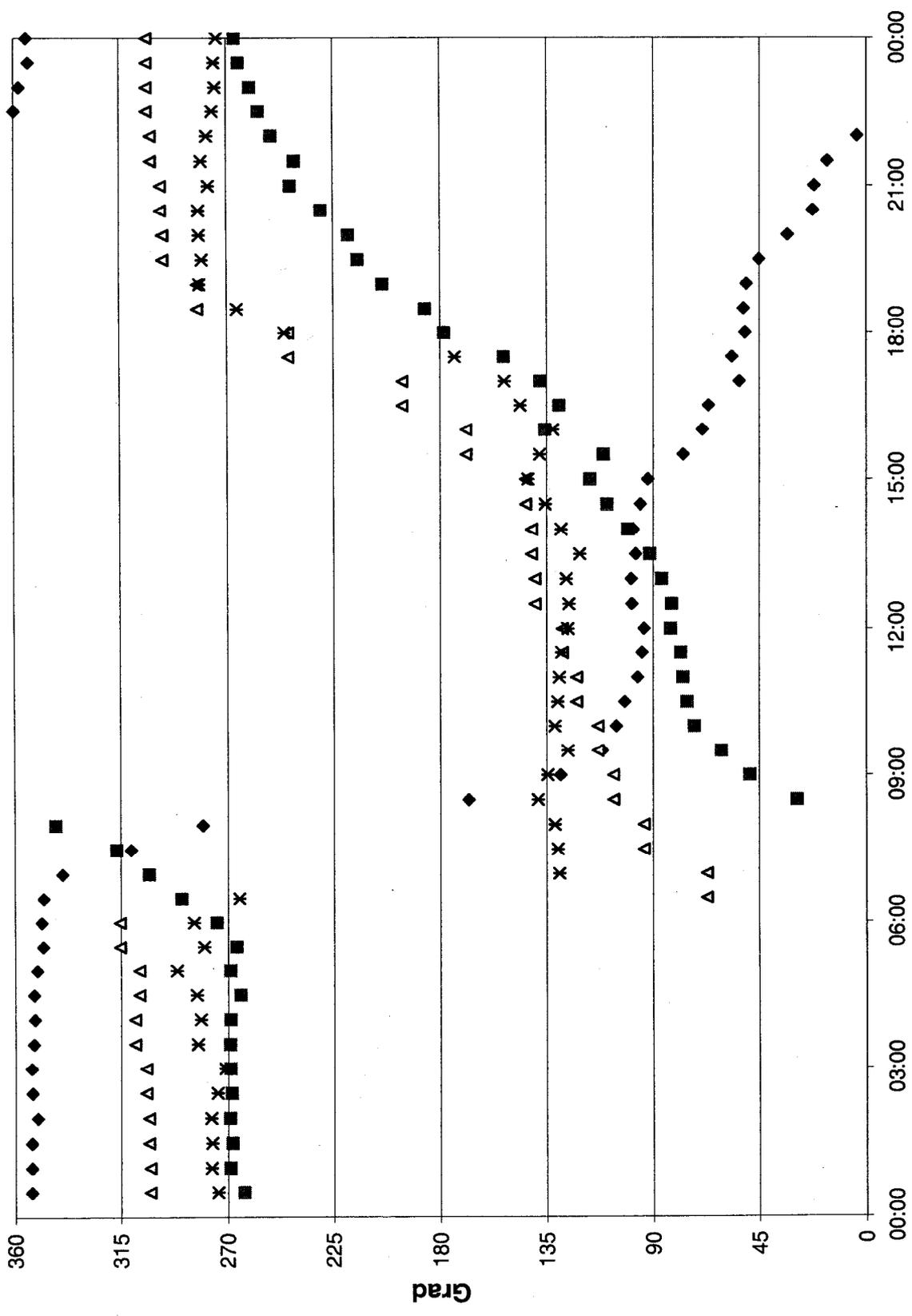


Abbildung 14: Windrichtung, mittlerer Tagesgang, April - Oktober 1998

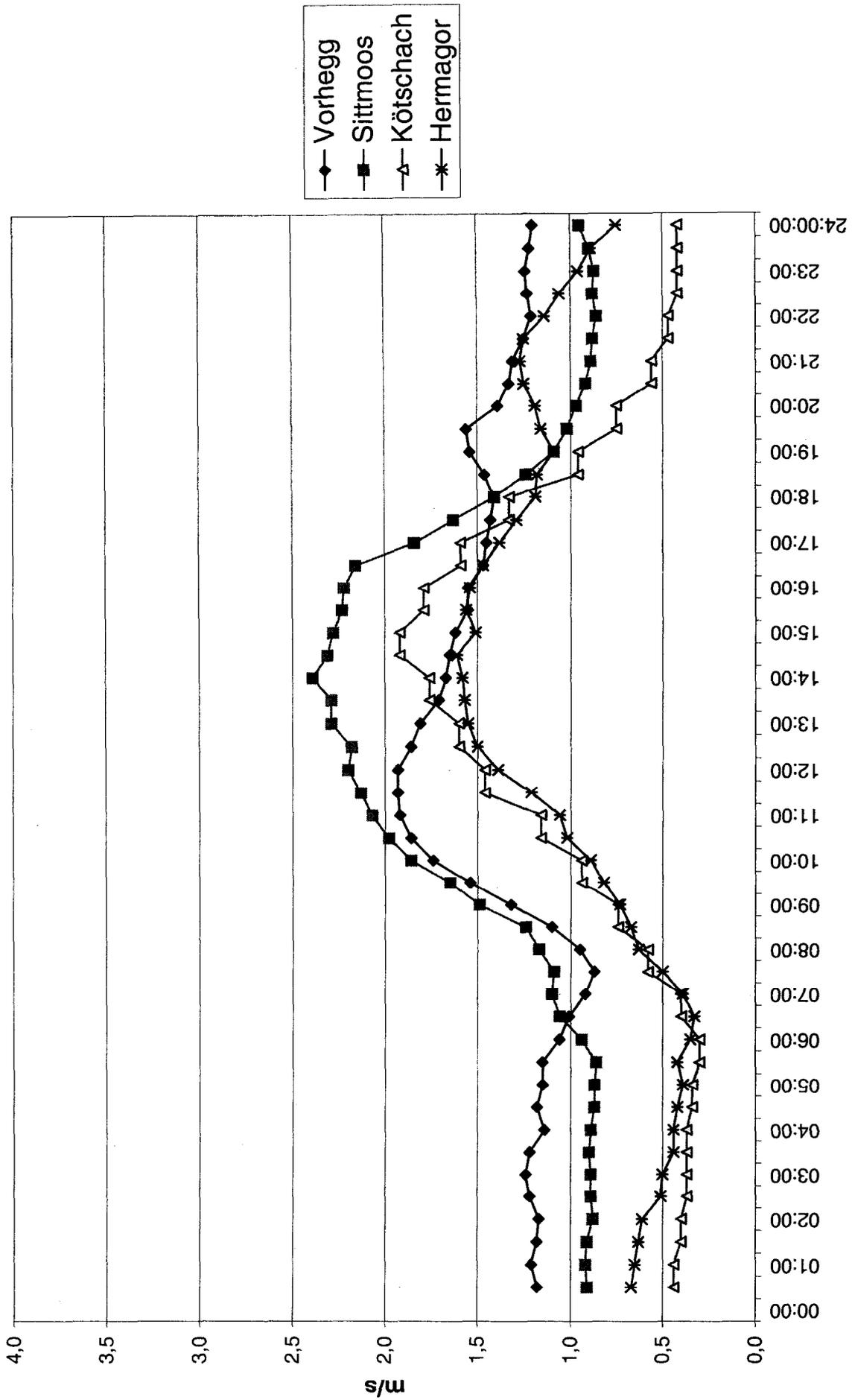


Abbildung 15: Windgeschwindigkeit, mittlerer Tagesgang, April - Oktober 1998

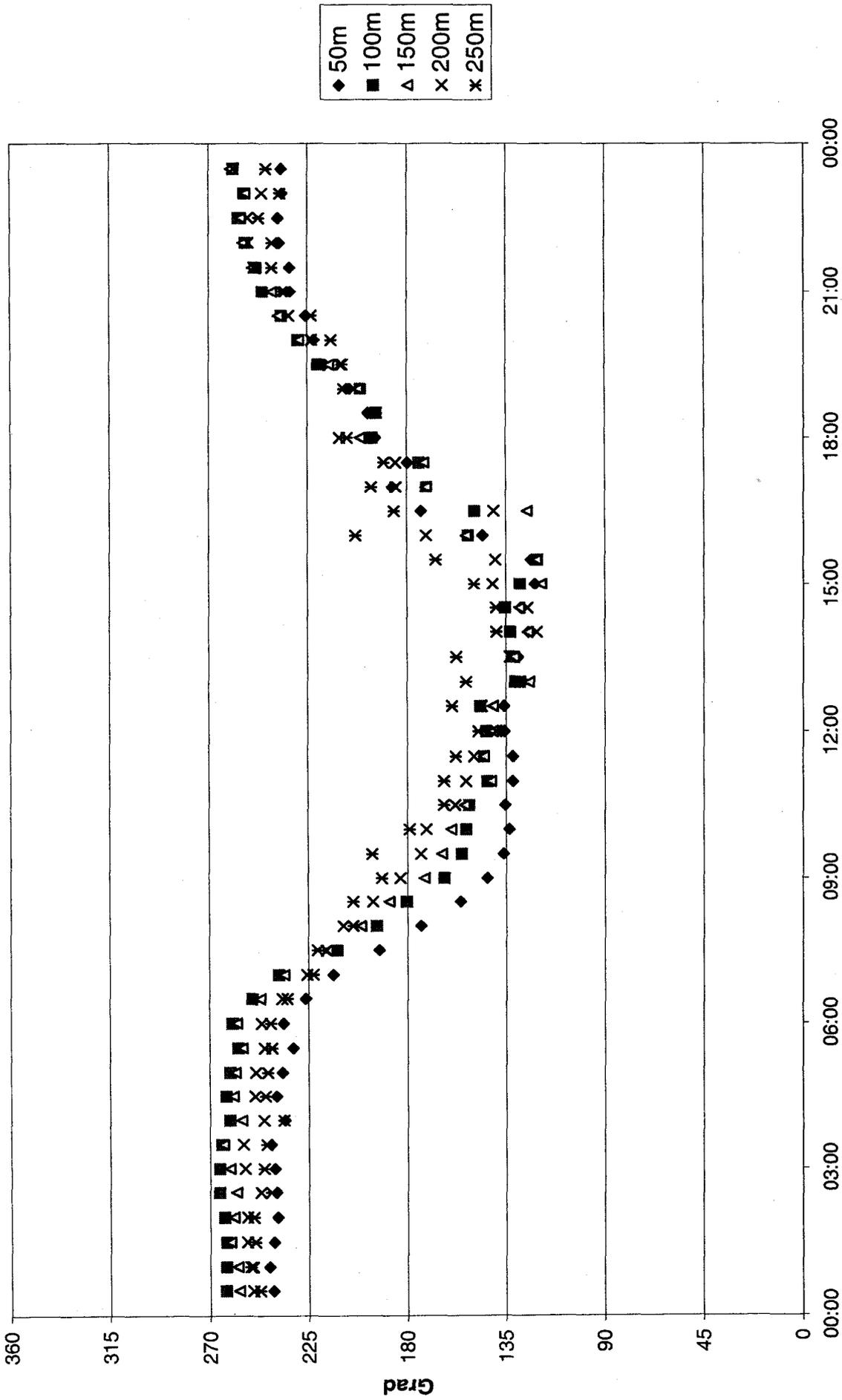


Abbildung 16: Würmlach (SODAR), Windrichtung, mittlerer Tagesgang, April - Juni 1997

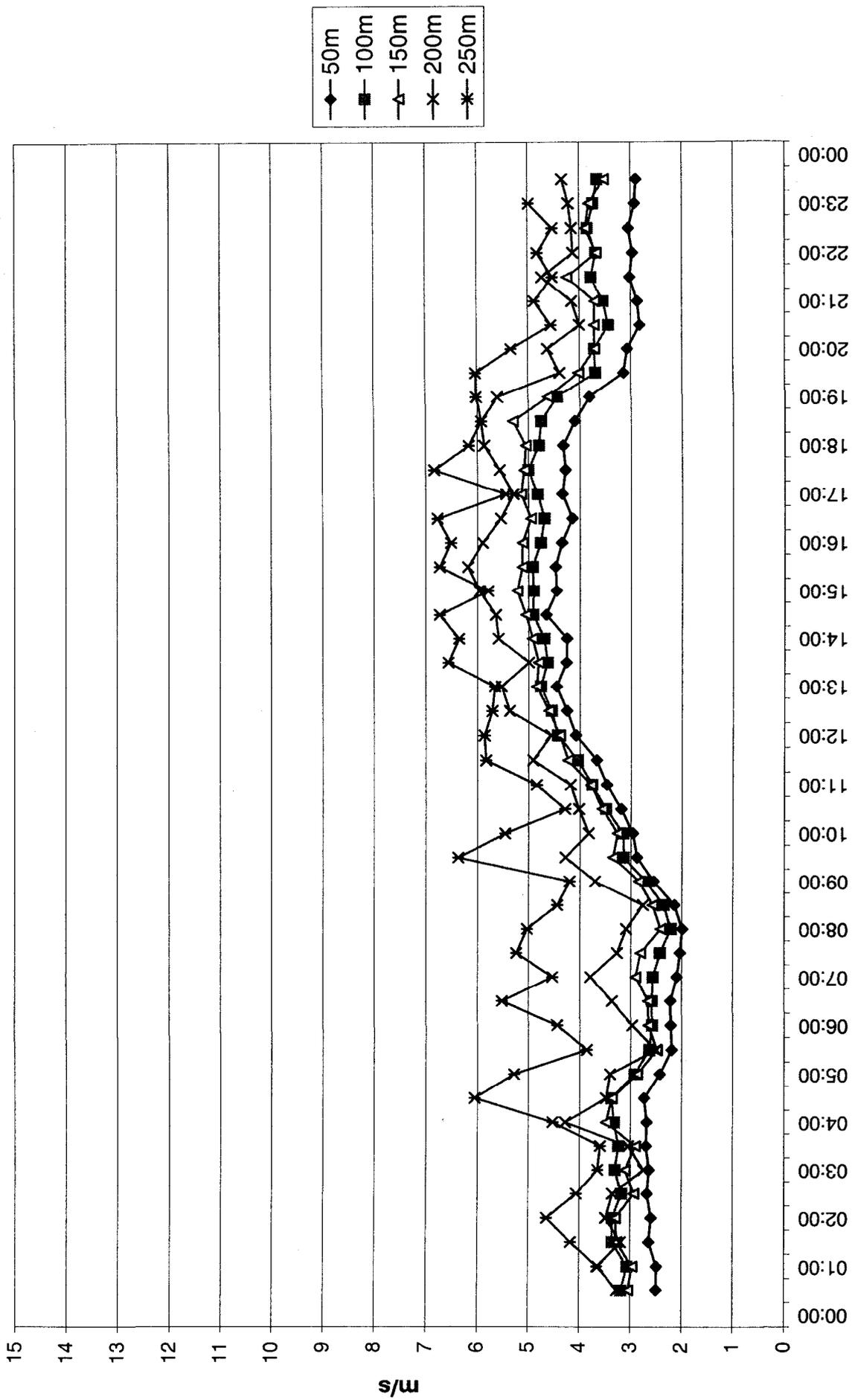


Abbildung 17: Würmlach (SODAR), Windgeschwindigkeit, mittlerer Tagesgang, April - Juni 1997

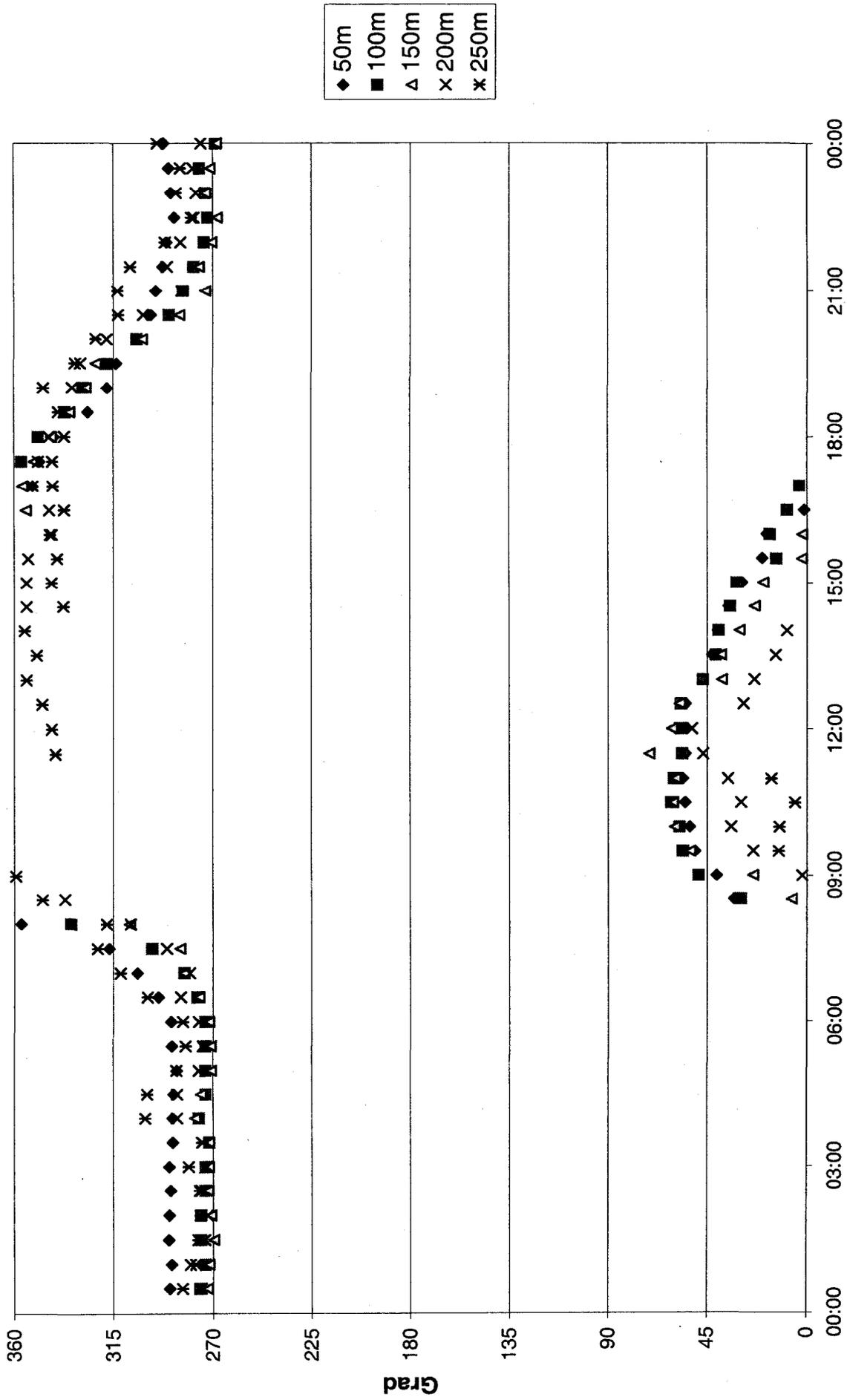


Abbildung 18: Sägewerk am Eingang des Lesachtalles (SODAR), Windrichtung, mittlerer Tagesgang, April - Oktober 1998

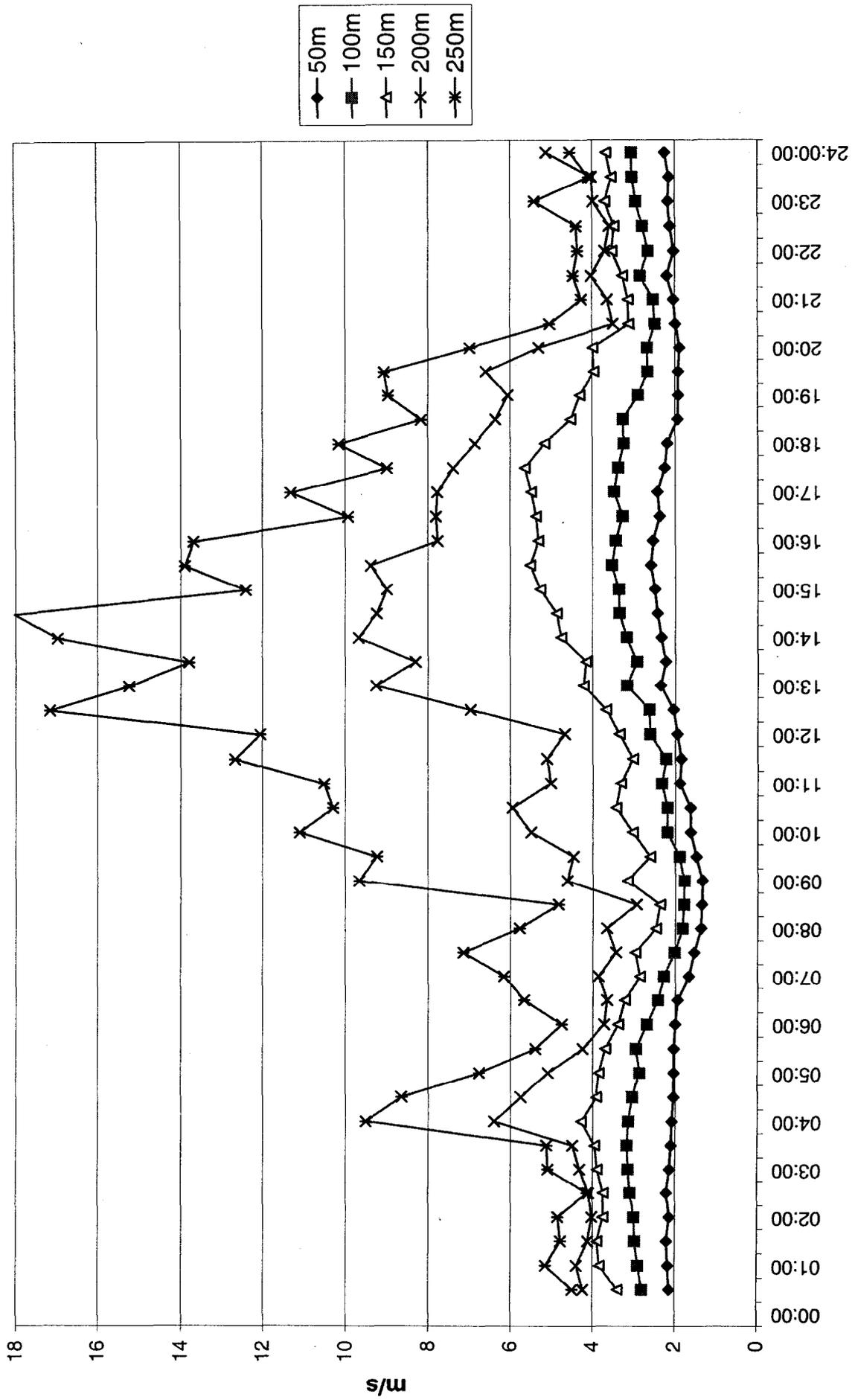


Abbildung 19: Sägewerk am Eingang des Lesachtales (SODAR), Windgeschwindigkeit, mittlerer Tagesgang, April - Oktober 1998

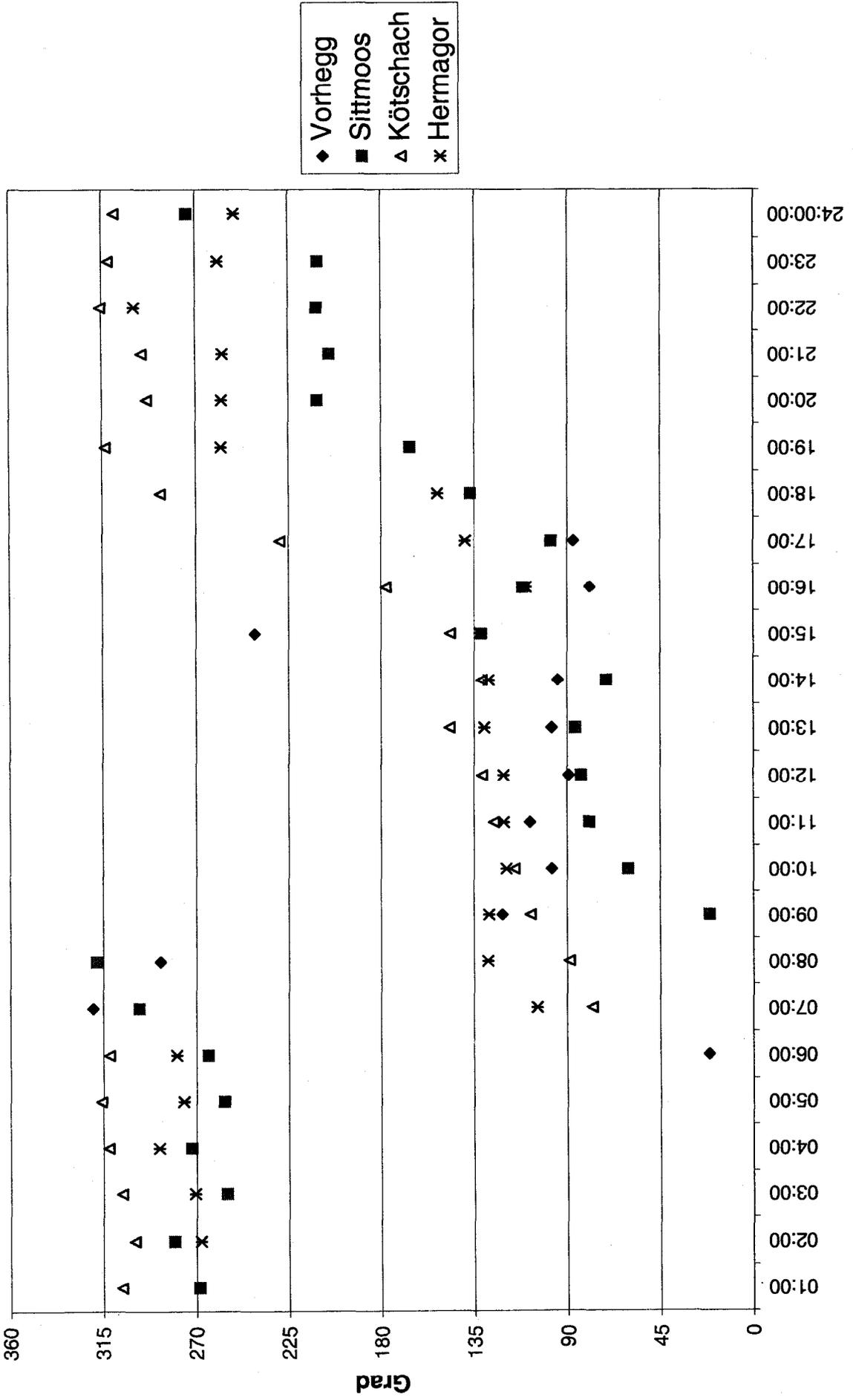


Abbildung 20: Windrichtung, mittlerer Tagesgang, April - Sept. 1998, labile Temperaturschichtung zwischen Kötschach und Vorhegg

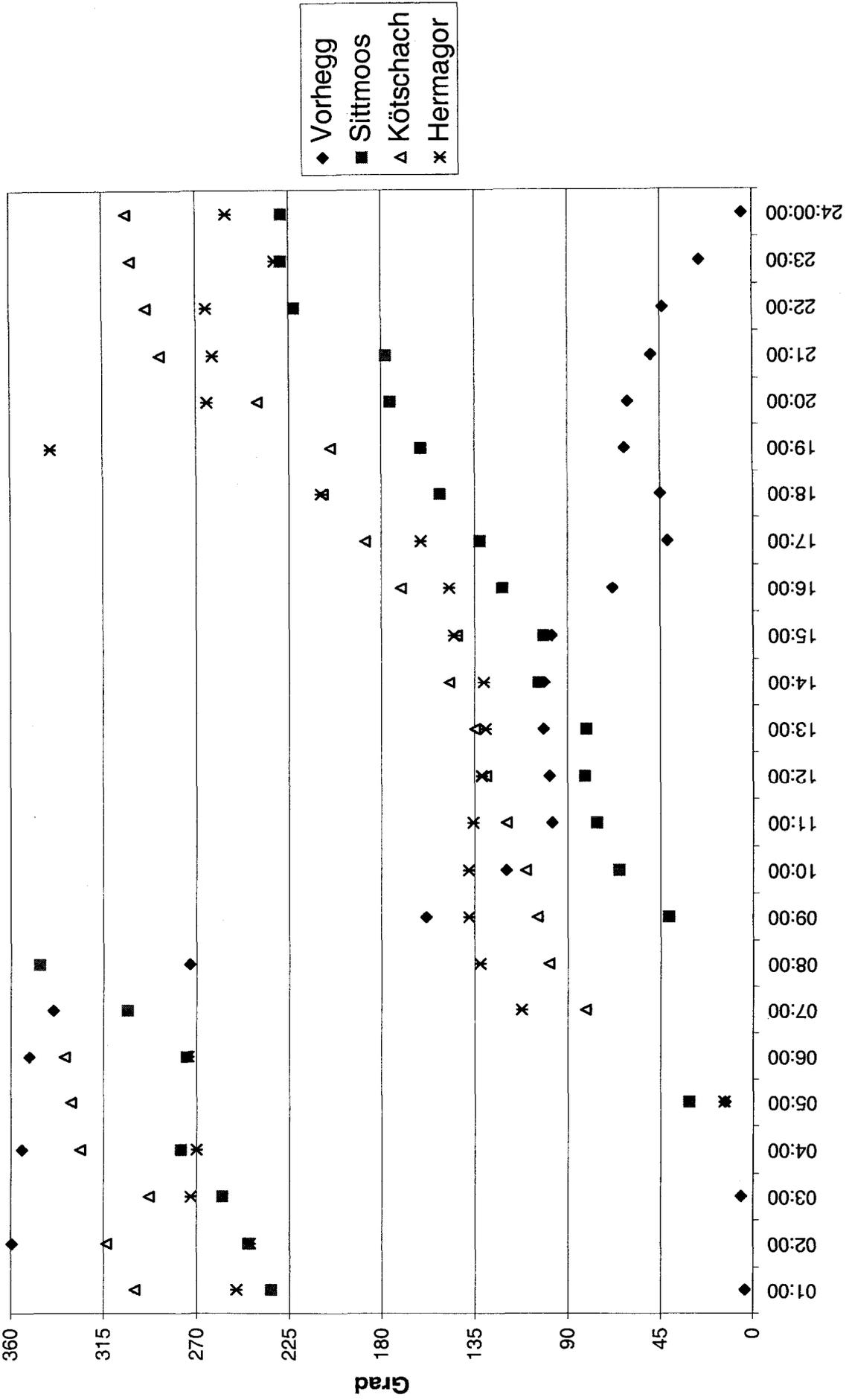


Abbildung 21: Windrichtung, mittlerer Tagesgang, April - Sept. 1998, neutrale Temperaturschichtung zwischen Kötschach und Vorhegg

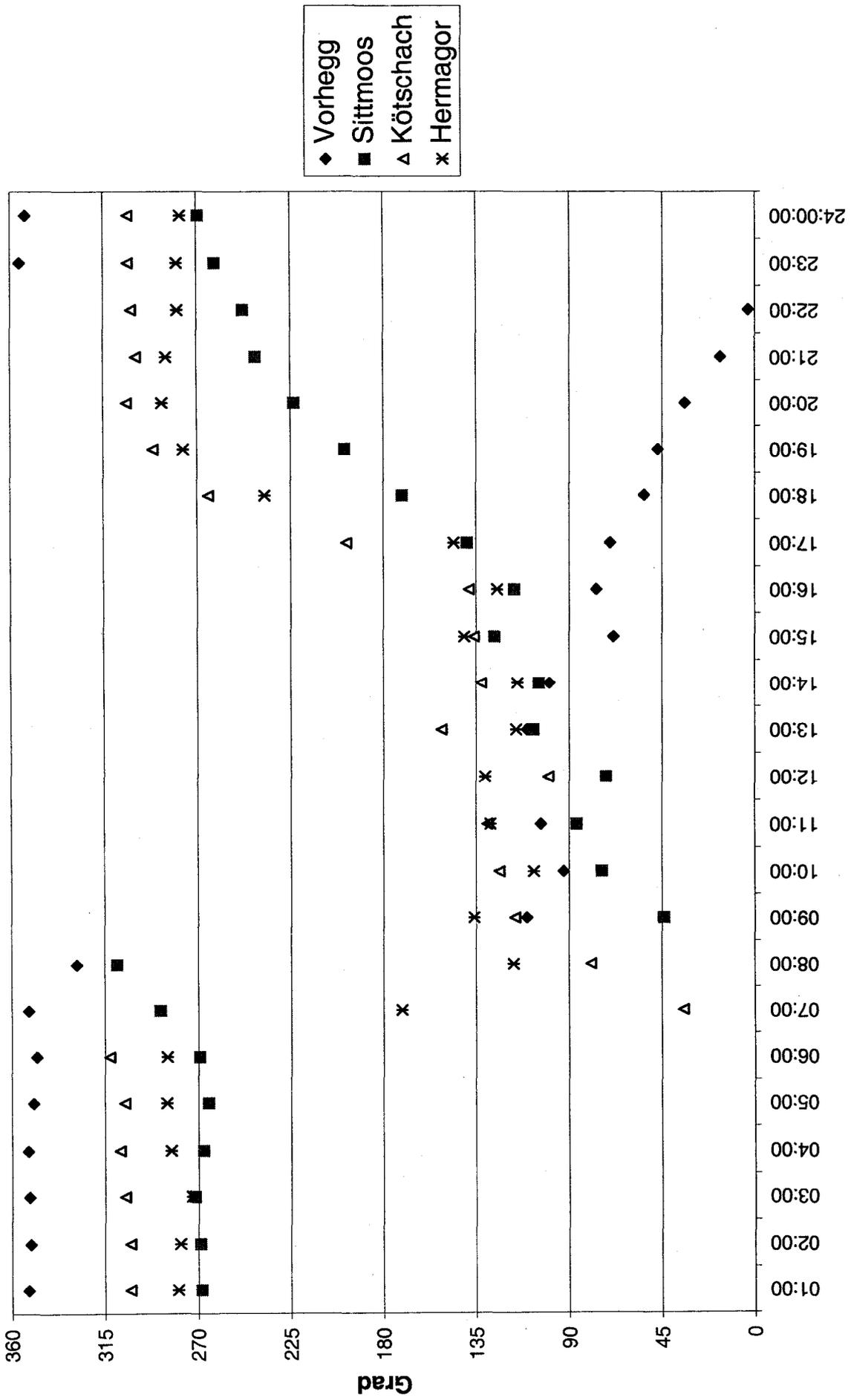


Abbildung 22: Windrichtung, mittlerer Tagesgang, April - Sept. 1998, stabile Temperaturschichtung zwischen Kötschach und Vorhegg

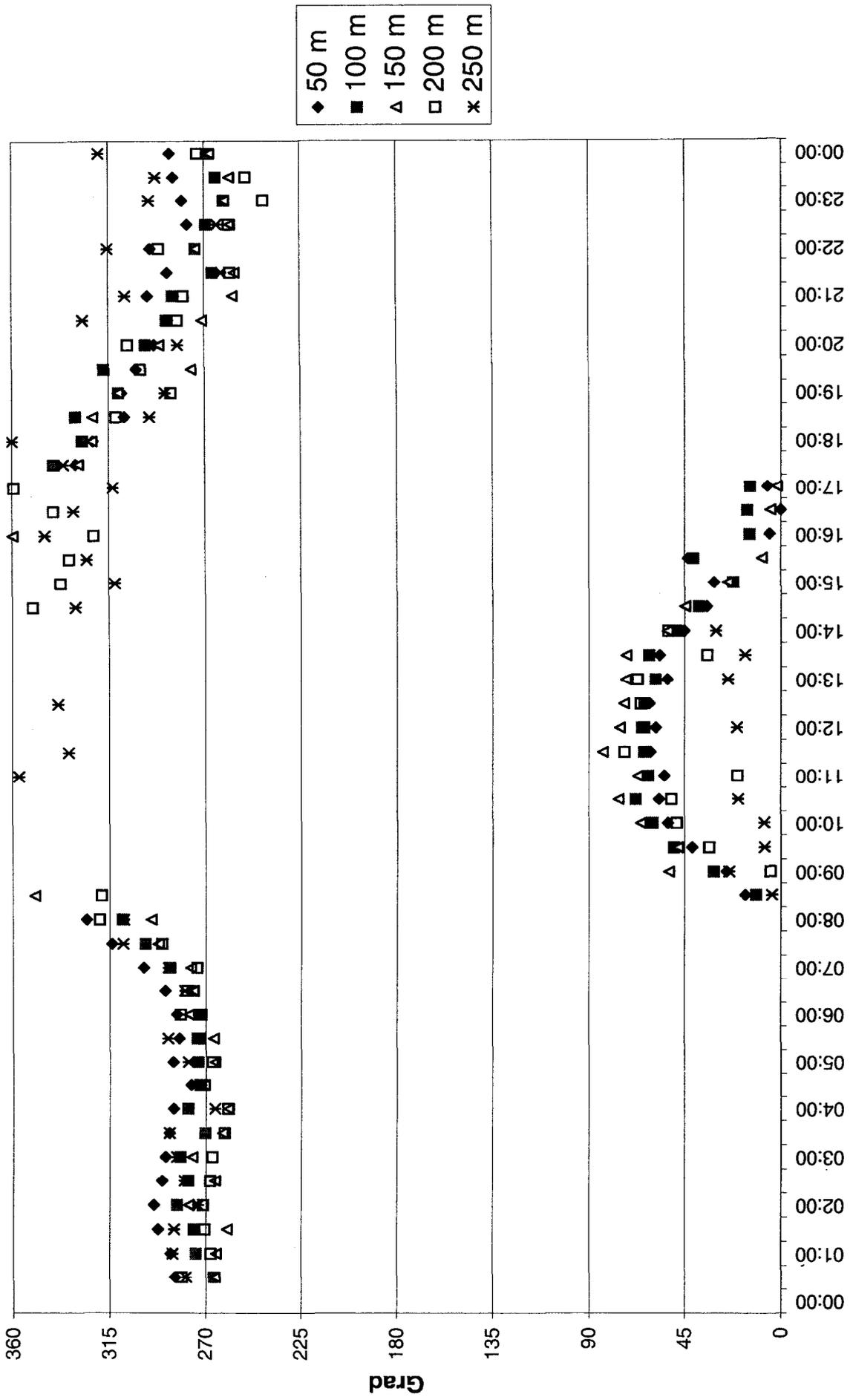


Abbildung 23: Sägewerk am Eingang des Lesachtales (SODAR), Windrichtung, mittlerer Tagesgang, April - Sept. 1998, labile Temperaturschichtung zwischen Kötschach unhd Vorhegg

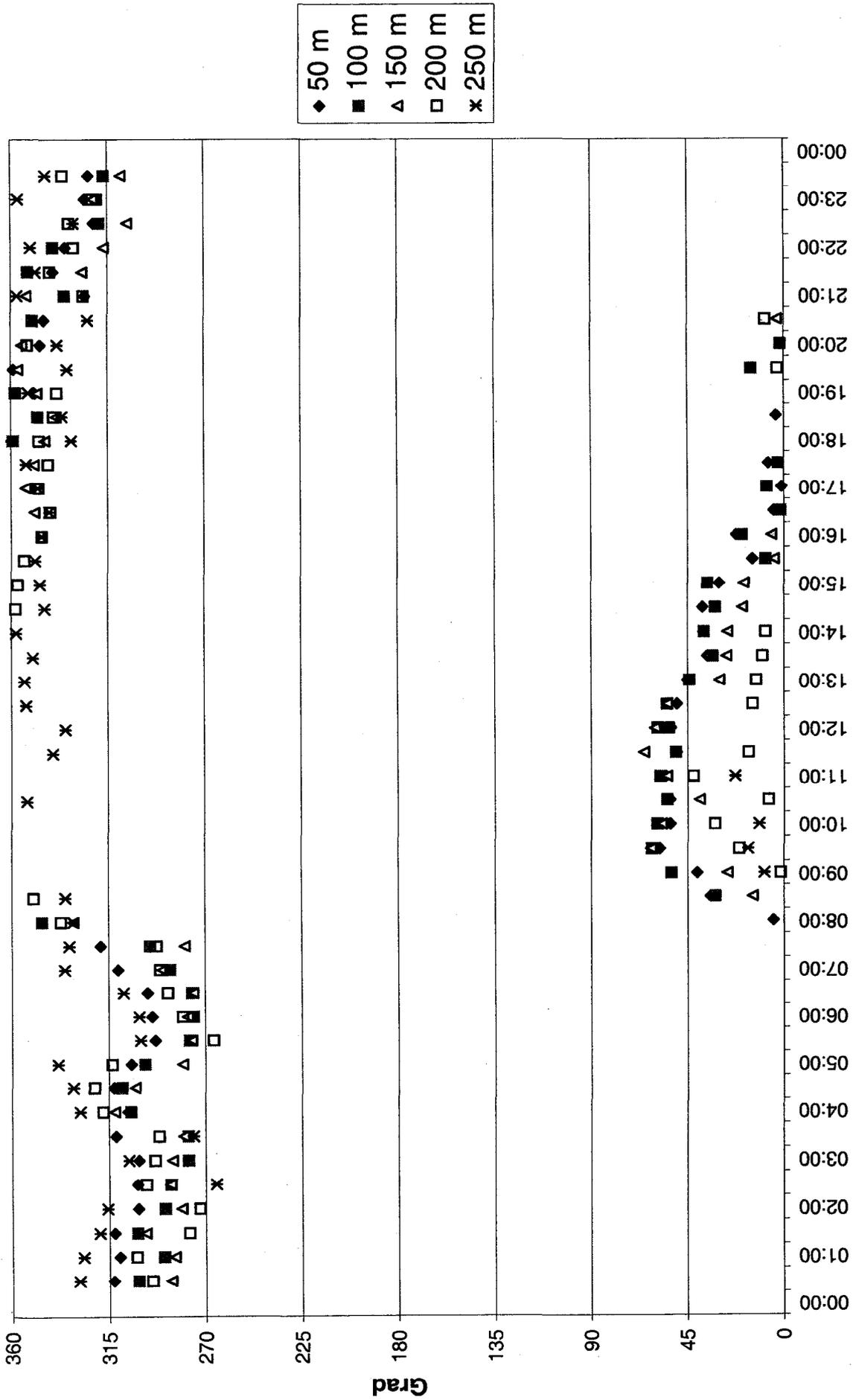


Abbildung 24: Sägewerk am Eingang des Lesachtales (SODAR), Windrichtung, mittlerer Tagesgang, April - Sept. 1998, neutrale Temperaturschichtung zwischen Kötschach unhd Vorhegg

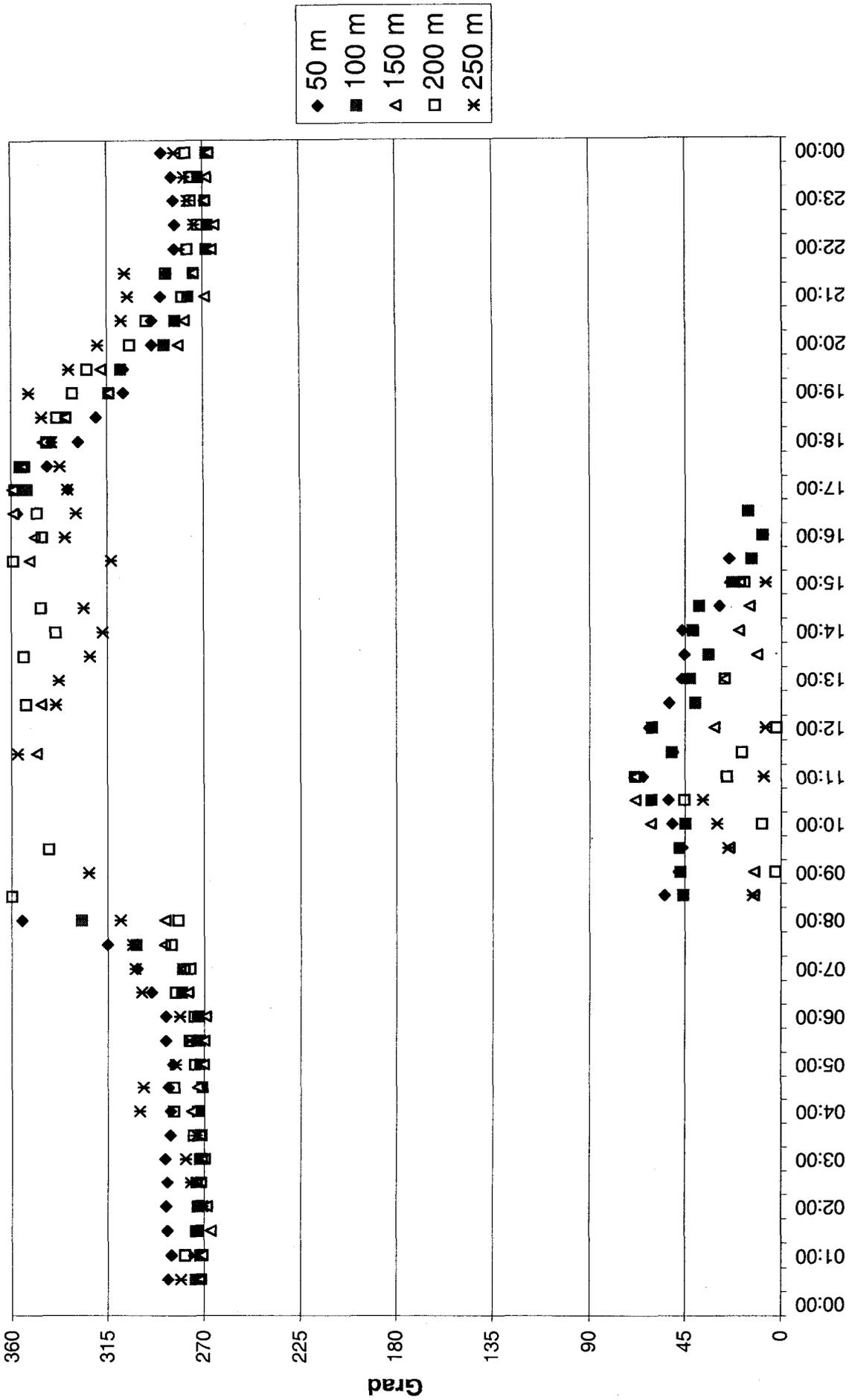


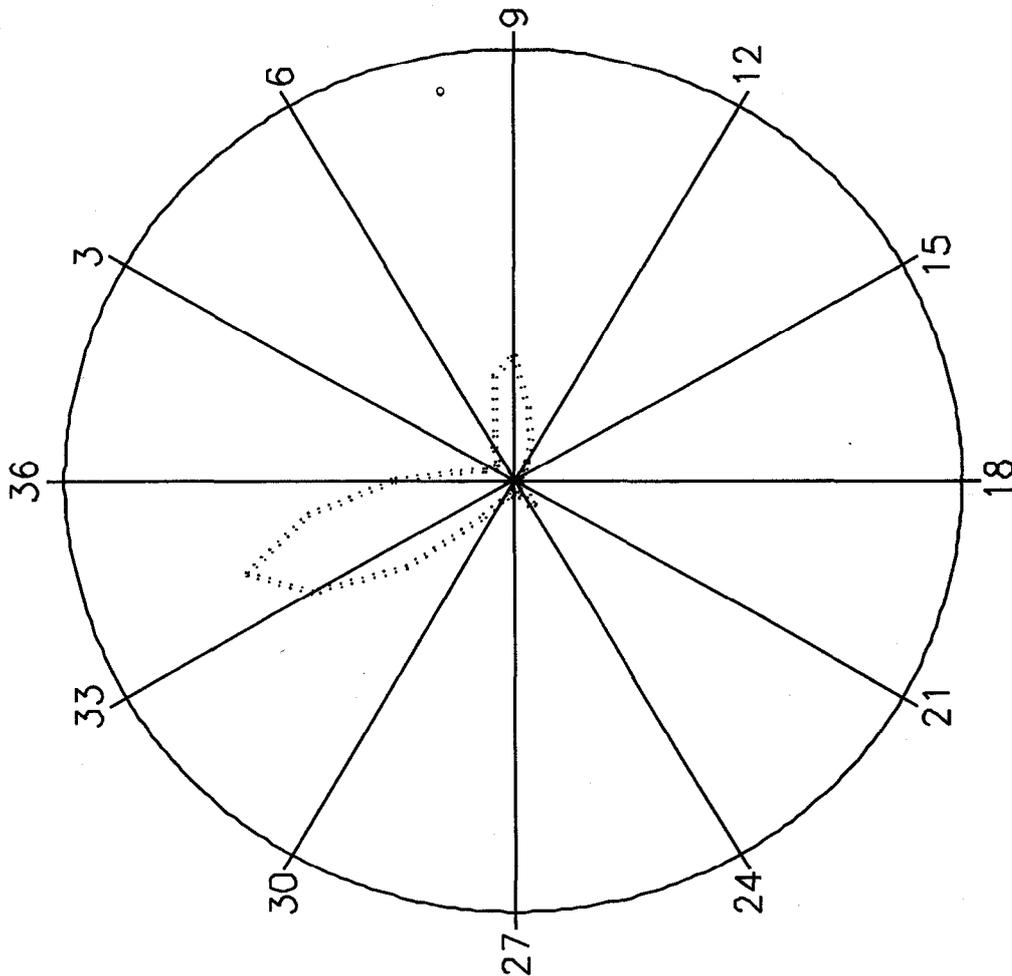
Abbildung 25: Sägewerk am Eingang des Lesachtales (SODAR), Windrichtung, mittlerer Tagesgang, April - Sept. 1998, stabile Temperaturschichtung zwischen Kötschach unhd Vorhegg

Abbildung 26: Windrichtungsverteilung in Vorhegg, Winter 1997/98

Vorhegg bei Koetschach-Mauthen Oktober 1997 – Maerz 1998

Windrichtung

Calme bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s



Radius entspricht:

..... Windrichtungshaeufigkeit 20 %

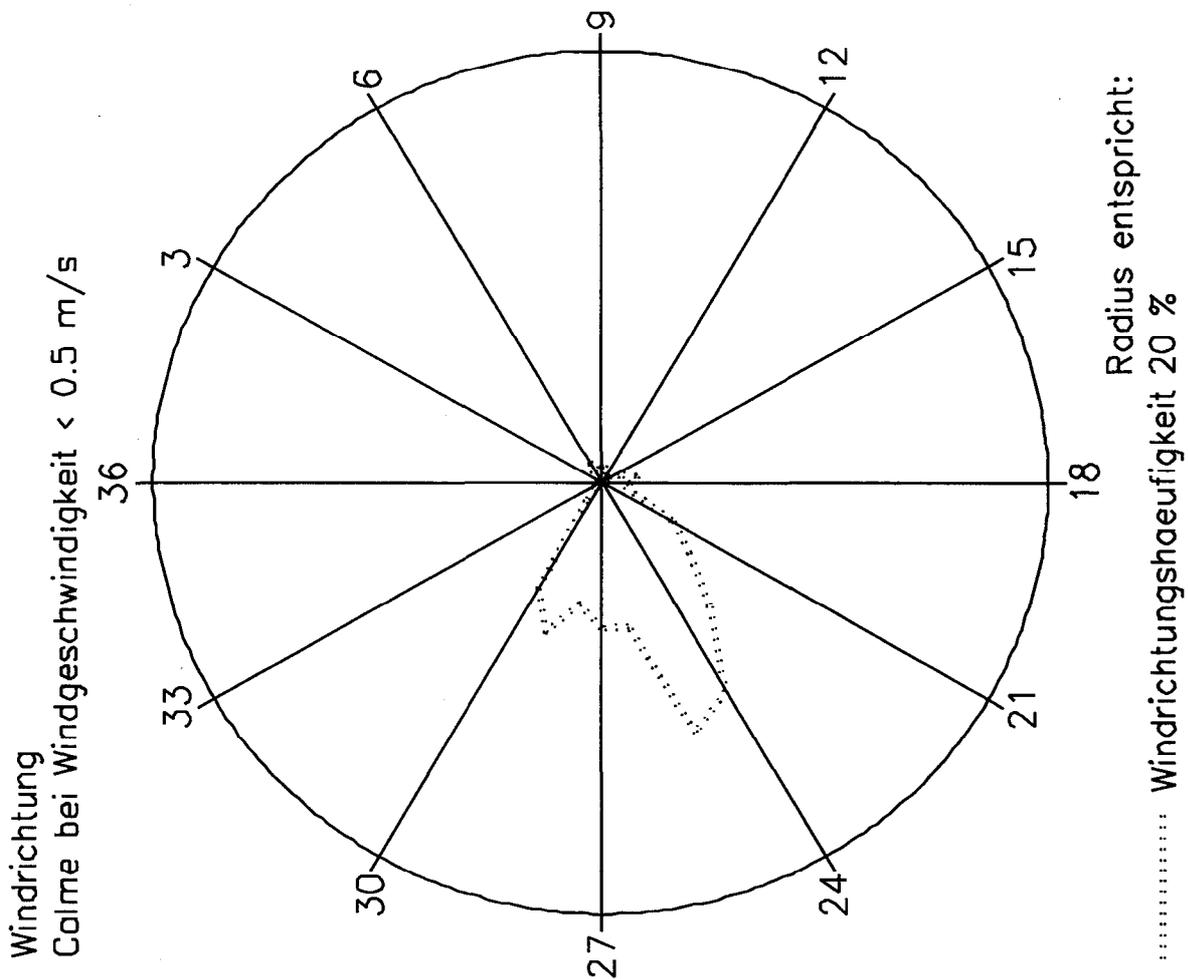
Klasse	Anz.Werte	%
0	1192	13.7
1	213	2.4
2	120	1.4
3	91	1.0
4	94	1.1
5	102	1.2
6	157	1.8
7	216	2.5
8	436	5.0
9	514	5.9
10	305	3.5
11	184	2.1
12	91	1.0
13	60	0.7
14	52	0.6
15	31	0.4
16	26	0.3
17	19	0.2
18	15	0.2
19	17	0.2
20	13	0.1
21	31	0.4
22	42	0.5
23	125	1.4
24	118	1.4
25	71	0.8
26	57	0.7
27	43	0.5
28	62	0.7
29	74	0.8
30	98	1.1
31	205	2.3
32	553	6.3
33	910	10.4
34	1112	12.7
35	816	9.3
36	465	5.3

Windstille (< 0.5 m/s): 1192 Werte (13.7%)

Guetlig: 8730 Werte / Ausfall: 6 Werte

Abbildung 27: Windrichtungsverteilung in Sittmoos, Winter 1997/98

7. Dezember 1997 – 10. Februar 1998



Klasse	Anz.Werte	%
0	279	12.9
1	1	0.0
2	2	0.1
3	3	0.1
4	4	0.2
5	13	0.6
6	23	1.1
7	15	0.7
8	14	0.6
9	16	0.7
10	17	0.8
11	10	0.5
12	7	0.3
13	8	0.4
14	8	0.4
15	6	0.3
16	22	1.0
17	35	1.6
18	28	1.3
19	23	1.1
20	33	1.5
21	80	3.7
22	110	5.1
23	162	7.5
24	240	11.1
25	265	12.3
26	146	6.8
27	146	6.8
28	124	5.8
29	160	7.4
30	123	5.7
31	22	1.0
32	6	0.3
33	3	0.1
34	2	0.1
35	0	0.0
36	0	0.0

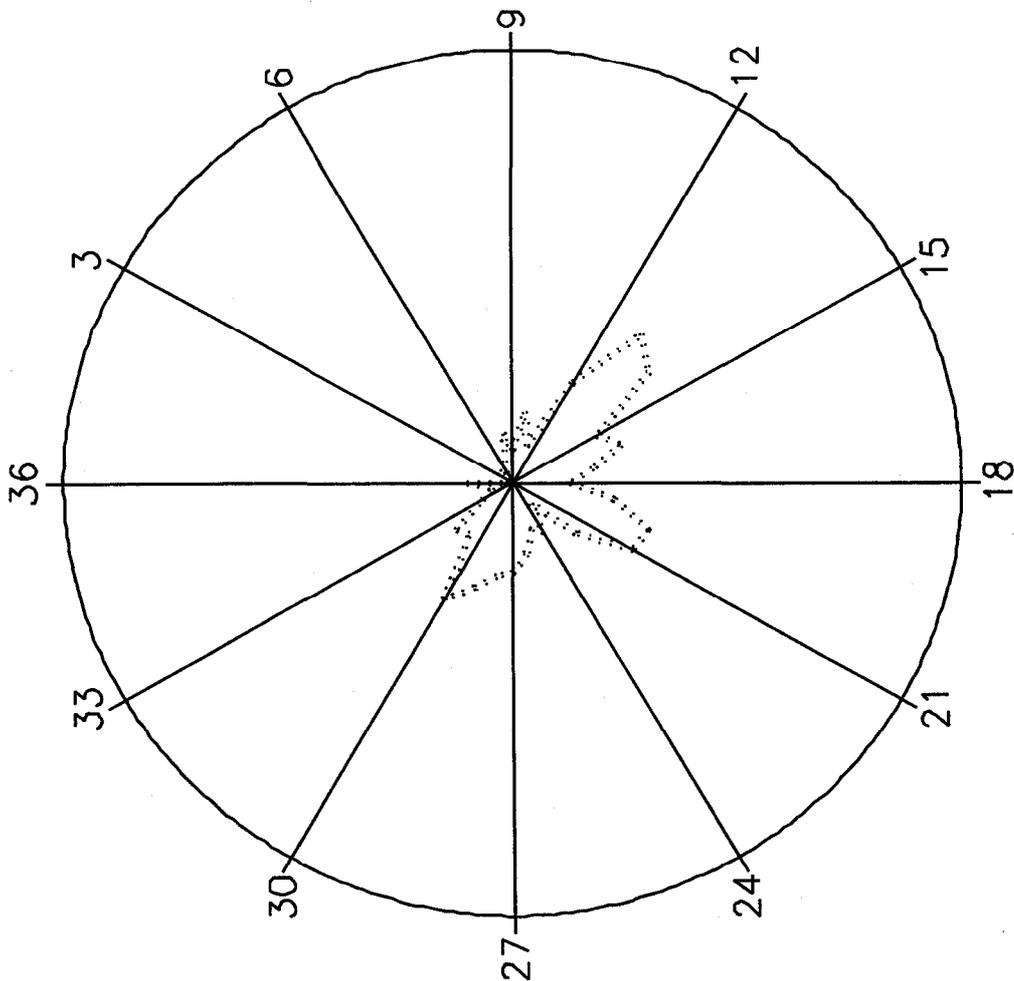
Windstille (< 0.5 m/s): 279 Werte (12.9%)
Gueltig: 2156 Werte / Ausfall: 1012 Werte

Abbildung 28: Windrichtungsverteilung in Kötschach, Winter 1997/98

Koetschach-Mauthen 7. Dezember 1997 – 10. Februar 1998

Windrichtung

Calme bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s



Radius entspricht:

..... Windrichtungshäufigkeit 5 %

Klasse	Anz.Werte	%
0	2248	72.1
1	0	0.0
2	2	0.1
3	0	0.0
4	6	0.2
5	0	0.0
6	4	0.1
7	8	0.3
8	18	0.6
9	12	0.4
10	26	0.8
11	14	0.4
12	42	1.3
13	70	2.2
14	62	2.0
15	34	1.1
16	40	1.3
17	28	0.9
18	20	0.6
19	36	1.2
20	50	1.6
21	48	1.5
22	28	0.9
23	10	0.3
24	20	0.6
25	18	0.6
26	26	0.8
27	32	1.0
28	34	1.1
29	40	1.3
30	48	1.5
31	24	0.8
32	26	0.8
33	12	0.4
34	8	0.3
35	8	0.3
36	16	0.5

Windstille (< 0.5 m/s): 2248 Werte (72.1%)

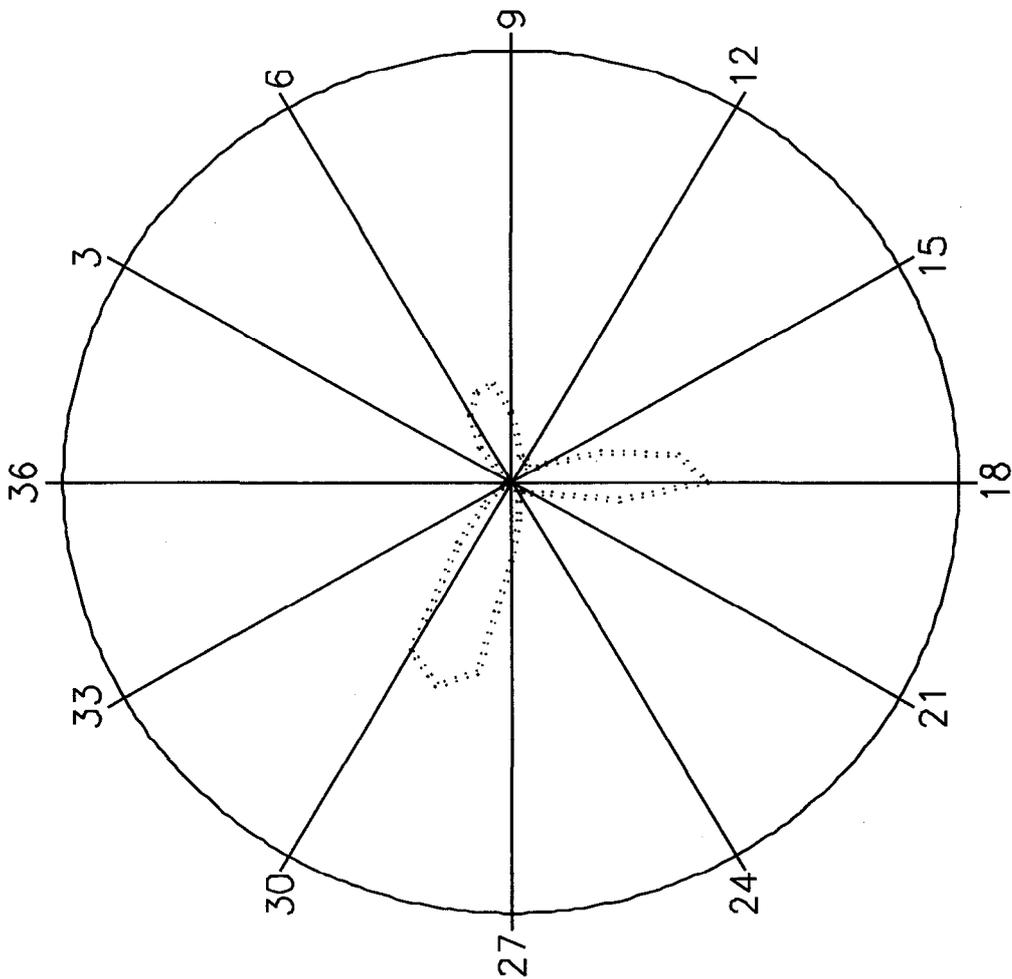
Gültig: 3118 Werte / Ausfall: 50 Werte

Abbildung 29: Windrichtungsverteilung in Hermagor, Winter 1997/98

Hermagor Gailstalstrasse Oktober 1997 – Maerz 1998

Windrichtung

Calme bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s



Radius entspricht:

..... Windrichtungshoefueigkeit 10 %

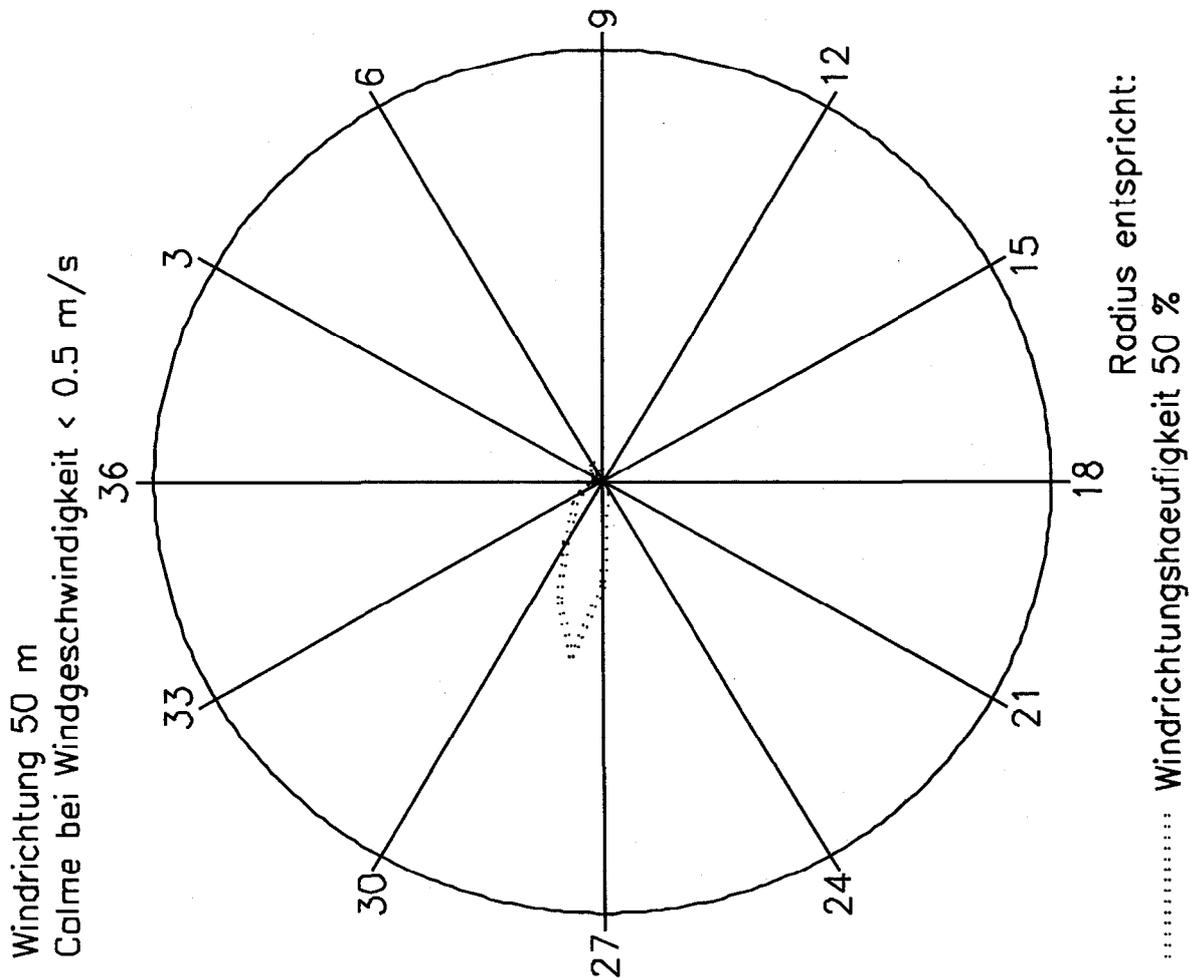
Klasse	Anz.Werte	%
0	4455	51.0
1	5	0.1
2	7	0.1
3	11	0.1
4	27	0.3
5	96	1.1
6	160	1.8
7	197	2.3
8	205	2.3
9	143	1.6
10	81	0.9
11	57	0.7
12	55	0.6
13	49	0.6
14	38	0.4
15	76	0.9
16	185	2.1
17	328	3.8
18	384	4.4
19	213	2.4
20	66	0.8
21	47	0.5
22	29	0.3
23	30	0.3
24	20	0.2
25	42	0.5
26	78	0.9
27	159	1.8
28	392	4.5
29	437	5.0
30	395	4.5
31	163	1.9
32	64	0.7
33	23	0.3
34	10	0.1
35	5	0.1
36	2	0.0

Windstille (< 0.5 m/s): 4455 Werte (51.0%)

Guelting: 8734 Werte / Ausfall: 2 Werte

Abbildung 30: Windrichtungsverteilung in 50 m Höhe über dem Eingang des Lesachtales, Winter 1997/98

7. Dezember 1997 – 10. Februar 1998



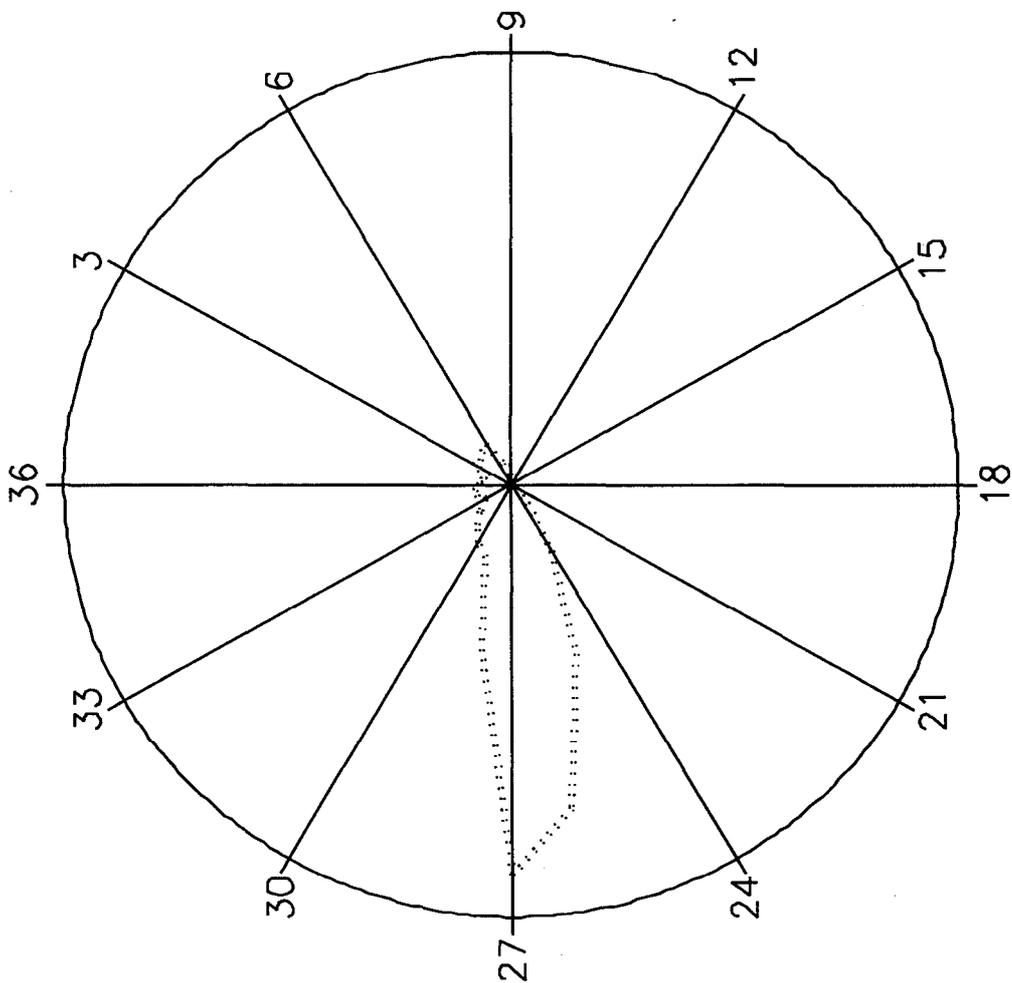
Klasse	Anz.Werte	%
0	449	17.2
1	22	0.8
2	27	1.0
3	29	1.0
4	33	1.3
5	44	1.7
6	63	2.4
7	36	1.3
8	16	0.6
9	0	0.0
10	1	0.0
11	0	0.0
12	0	0.0
13	0	0.0
14	0	0.0
15	0	0.0
16	0	0.0
17	0	0.0
18	0	0.0
19	0	0.0
20	0	0.0
21	0	0.0
22	0	0.0
23	0	0.0
24	0	0.0
25	4	0.2
26	40	1.5
27	317	12.2
28	538	20.6
29	375	14.4
30	216	8.3
31	134	5.1
32	105	4.0
33	74	2.8
34	38	1.5
35	26	1.0
36	27	1.0

Windstille (< 0.5 m/s): 449 Werte (17.2%)
Gültig: 2609 Werte / Ausfall: 559 Werte

Abbildung 31: Windrichtungsverteilung in 100 m Höhe über dem Eingang des Lesachtals, Winter 1997/98

7. Dezember 1997 – 10. Februar 1998

Windrichtung 100 m
Calme bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s



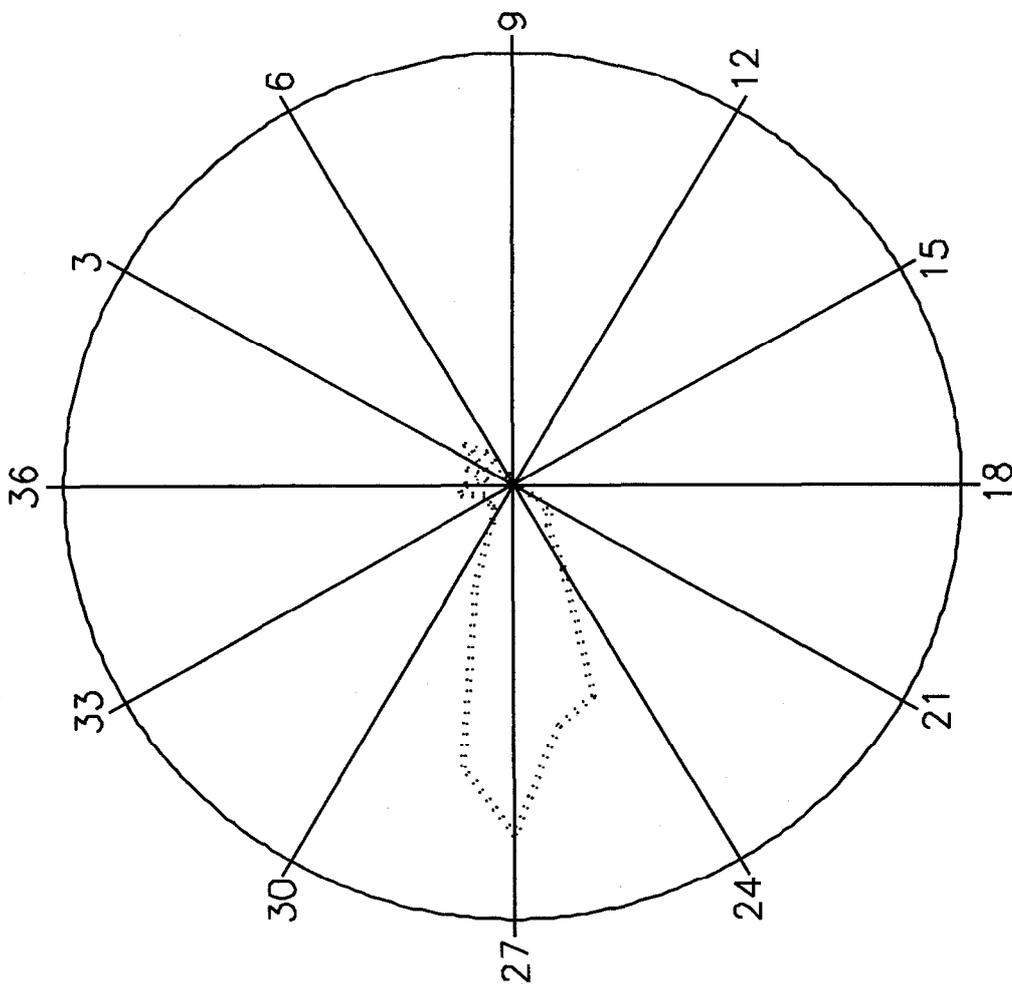
..... Windrichtungshäufigkeit 20 %
Radius entspricht:
Windstillen (< 0.5 m/s): 461 Werte (16.3%)
Gültig: 2835 Werte / Ausfall: 333 Werte

Klasse	Anz.Werte	%
0	461	16.3
1	39	1.4
2	31	1.1
3	54	1.9
4	51	1.8
5	57	2.0
6	62	2.2
7	29	1.0
8	15	0.5
9	14	0.5
10	3	0.1
11	4	0.1
12	1	0.0
13	0	0.0
14	1	0.0
15	0	0.0
16	0	0.0
17	1	0.0
18	1	0.0
19	0	0.0
20	0	0.0
21	0	0.0
22	7	0.2
23	32	1.1
24	100	3.5
25	237	8.4
26	432	15.2
27	512	18.1
28	221	7.8
29	99	3.5
30	85	3.0
31	67	2.4
32	51	1.8
33	37	1.3
34	45	1.6
35	46	1.6
36	40	1.4

Abbildung 32: Windrichtungsverteilung in 200 m Höhe über dem Eingang des Lesachtals, Winter 1997/98

7. Dezember 1997 – 10. Februar 1998

Windrichtung 200 m
Calm bei Windgeschwindigkeit < 0.5 m/s



..... Windrichtungshäufigkeit < 0.5 m/s
Radius entspricht: 20 %

Klasse	Anz.Werte	%
0	173	9.5
1	22	1.2
2	40	2.2
3	26	1.4
4	52	2.9
5	35	1.9
6	9	0.5
7	3	0.2
8	11	0.6
9	2	0.1
10	4	0.2
11	2	0.1
12	3	0.2
13	0	0.0
14	0	0.0
15	0	0.0
16	1	0.1
17	0	0.0
18	1	0.1
19	6	0.3
20	7	0.4
21	24	1.3
22	38	2.1
23	44	2.4
24	81	4.4
25	189	10.4
26	206	11.3
27	295	16.2
28	241	13.2
29	91	5.0
30	34	1.9
31	25	1.4
32	25	1.4
33	25	1.4
34	25	1.4
35	44	2.4
36	38	2.1

Windstille (< 0.5 m/s): 173 Werte (9.5%)
Gueltig: 1823 Werte / Ausfall: 1345 Werte

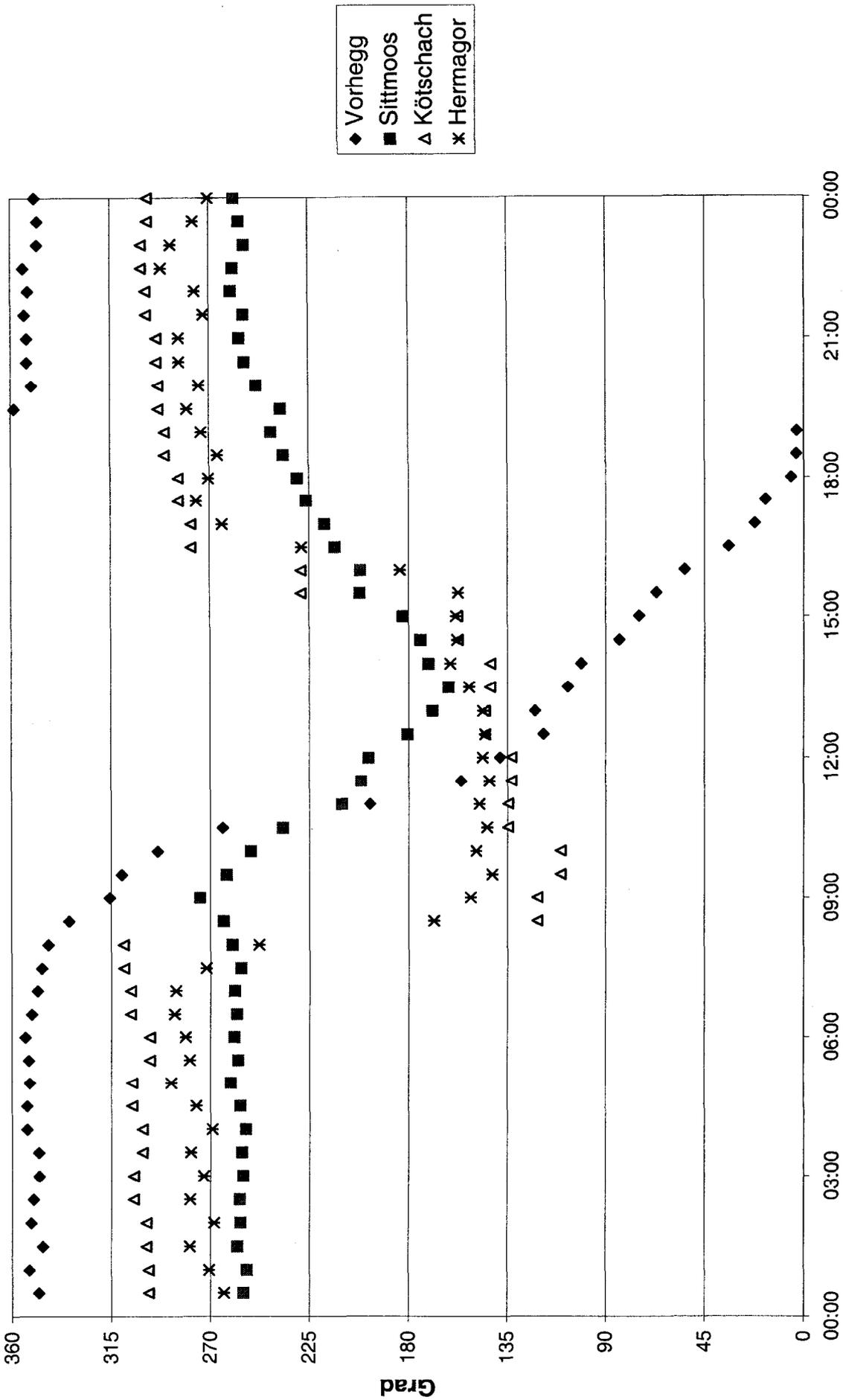


Abbildung 33: Windrichtung, mittlerer Tagesgang, Nov. 1997 - März 1998

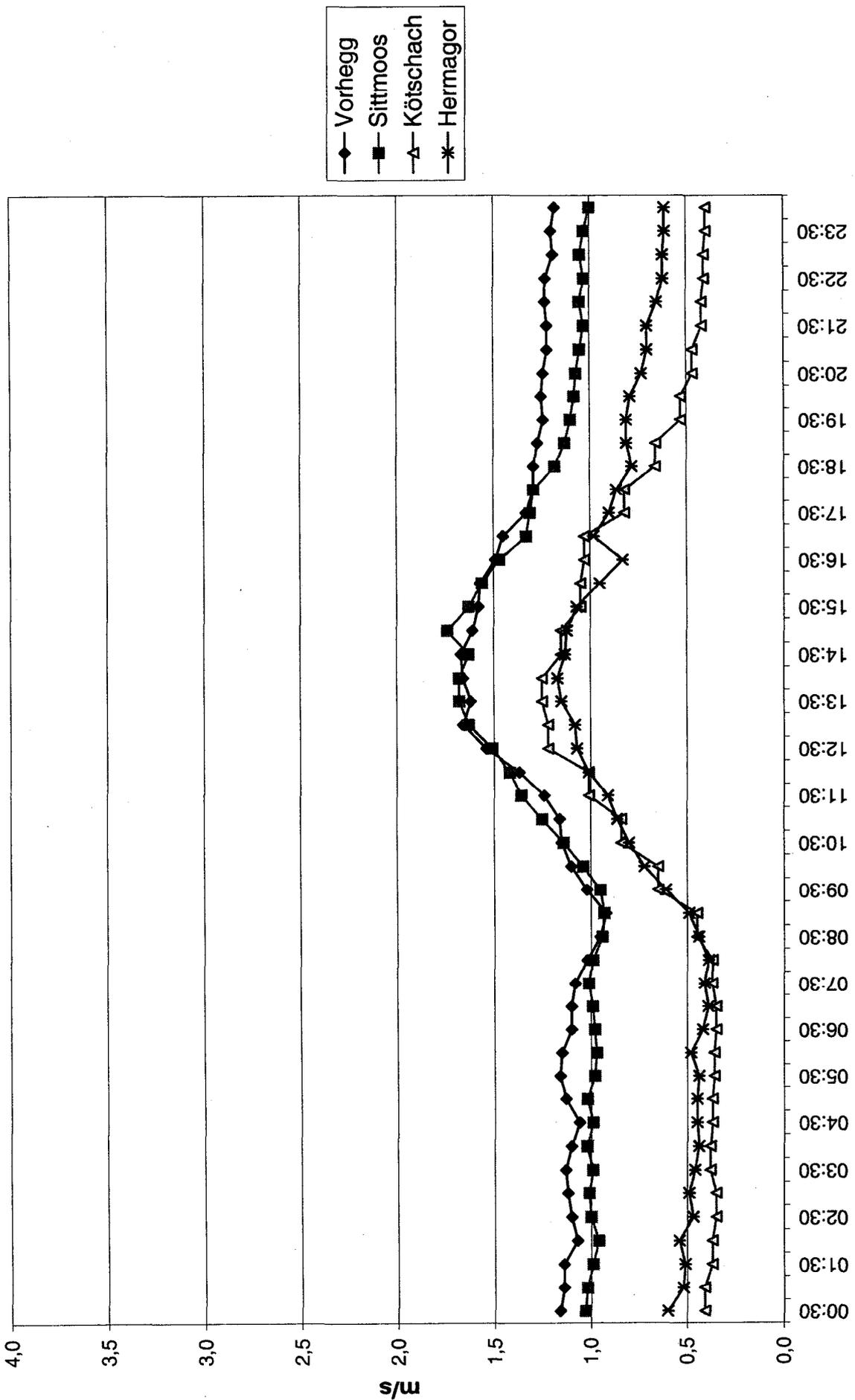


Abbildung 34: Windgeschwindigkeit, mittlerer Tagesgang, Nov. 1997 - März 1998

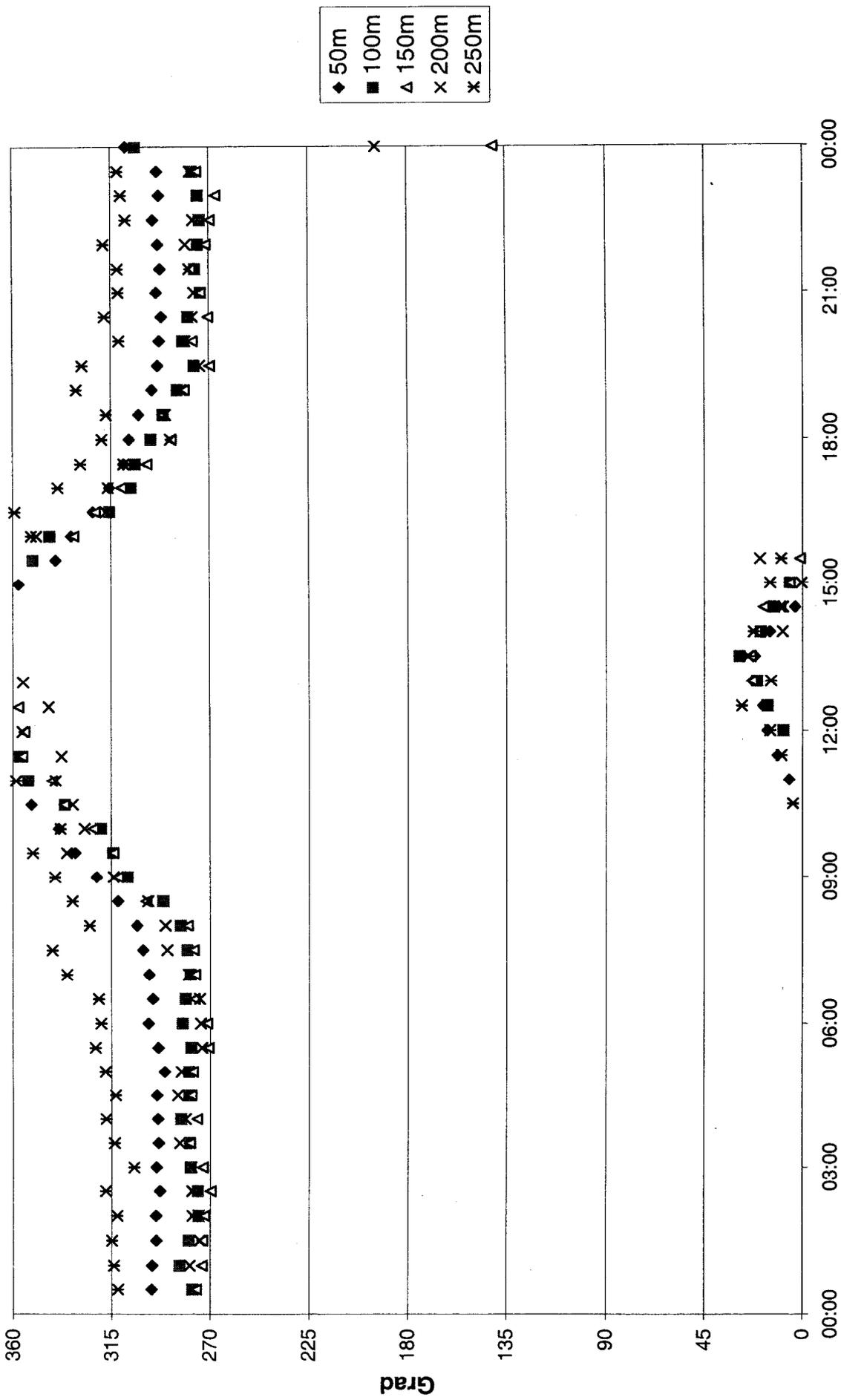


Abbildung 35: Sägewerk am Eingang des Lesachtales (SODAR), Windrichtung, mittlerer Tagesgang, Nov. 1997 - März 1998

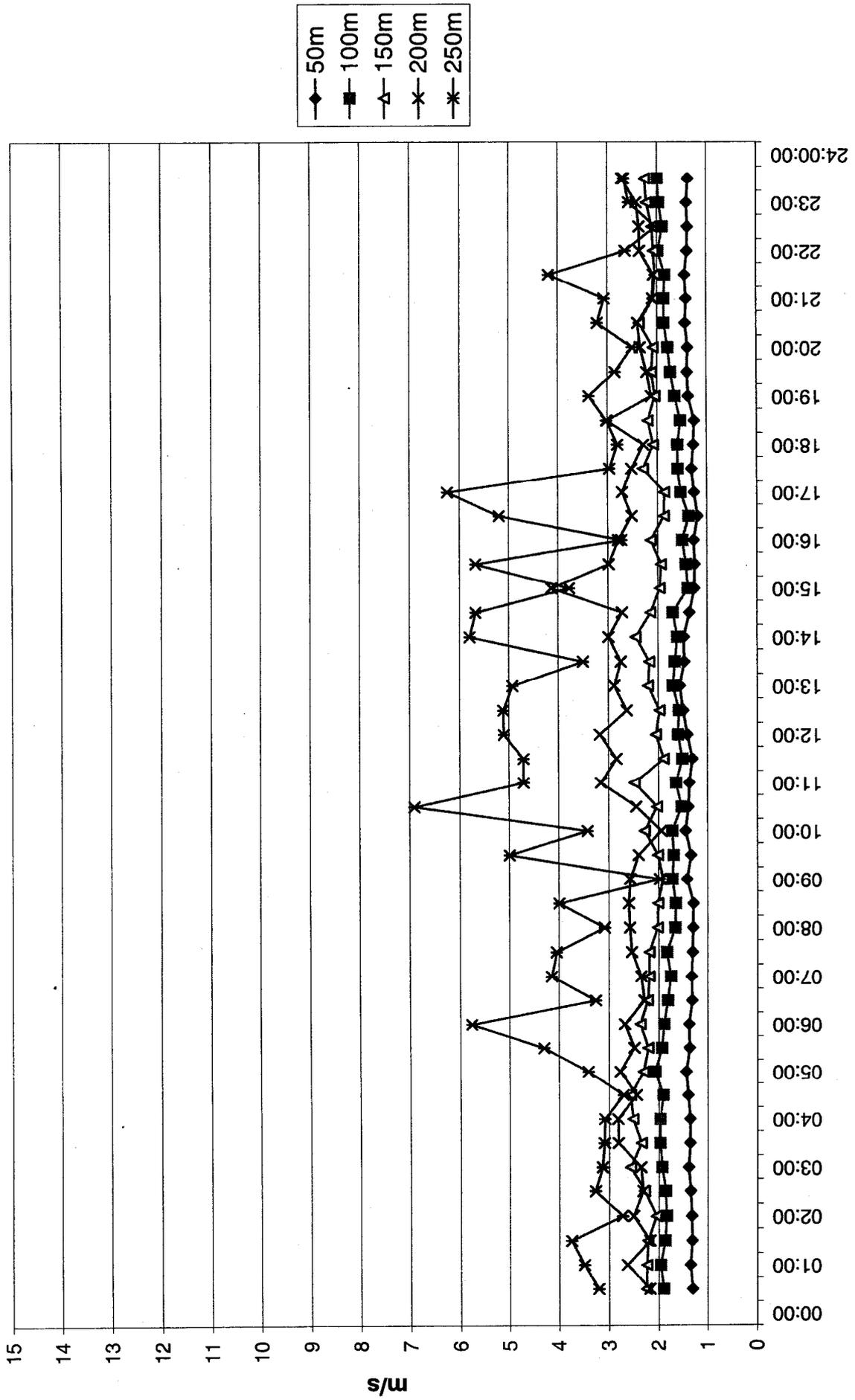


Abbildung 36: Sägewerk am Eingang des Lesachtales (SODAR), Windgeschwindigkeit, mittlerer Tagesgang, Nov. 1997 - März 1998

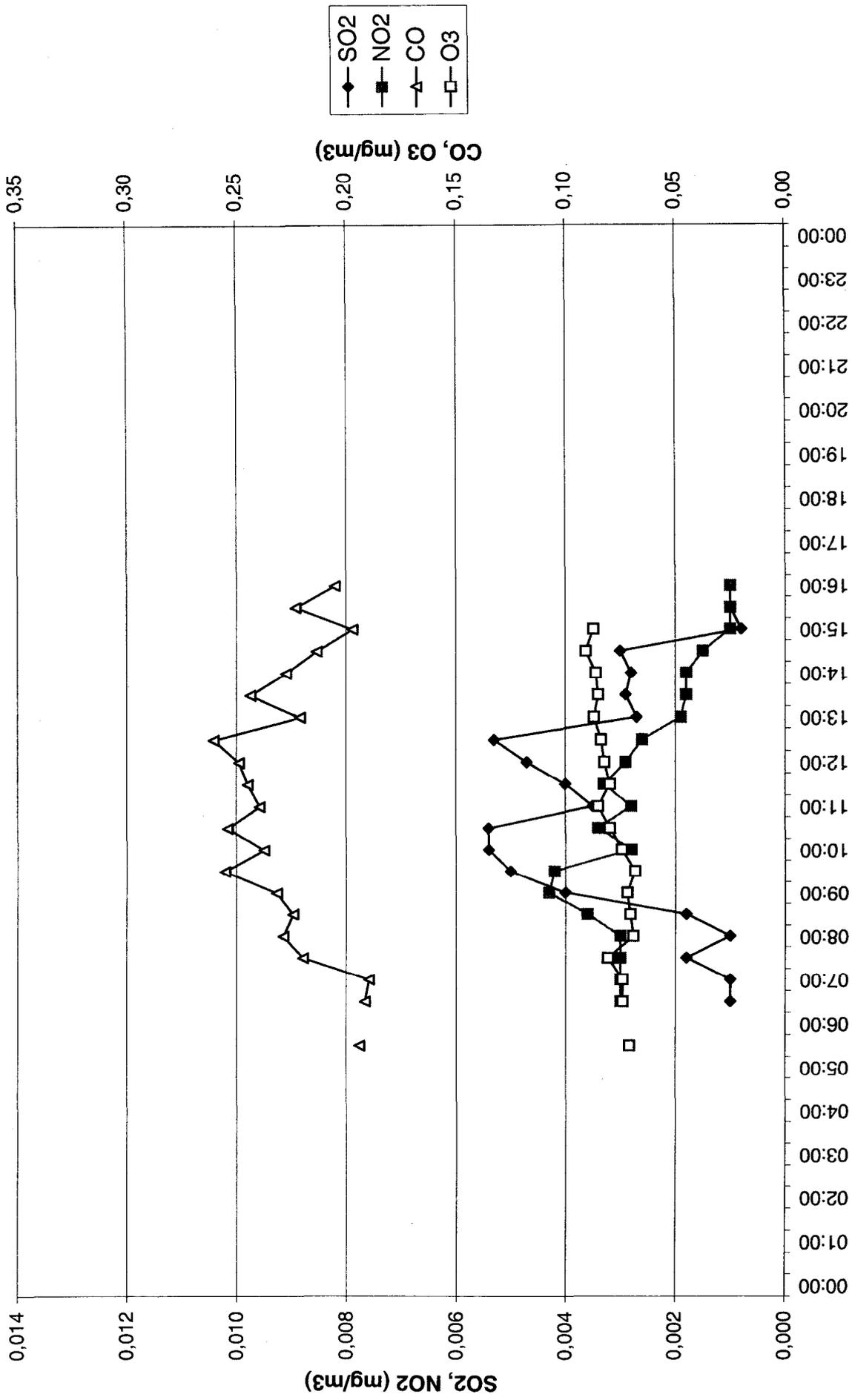


Abbildung 37: Vorhegg, mittlerer Tagesgang der Immissionskonzentration, Nov. 1997 - März 1998, labile Temperaturschichtung zwischen Kötschach und Vorhegg

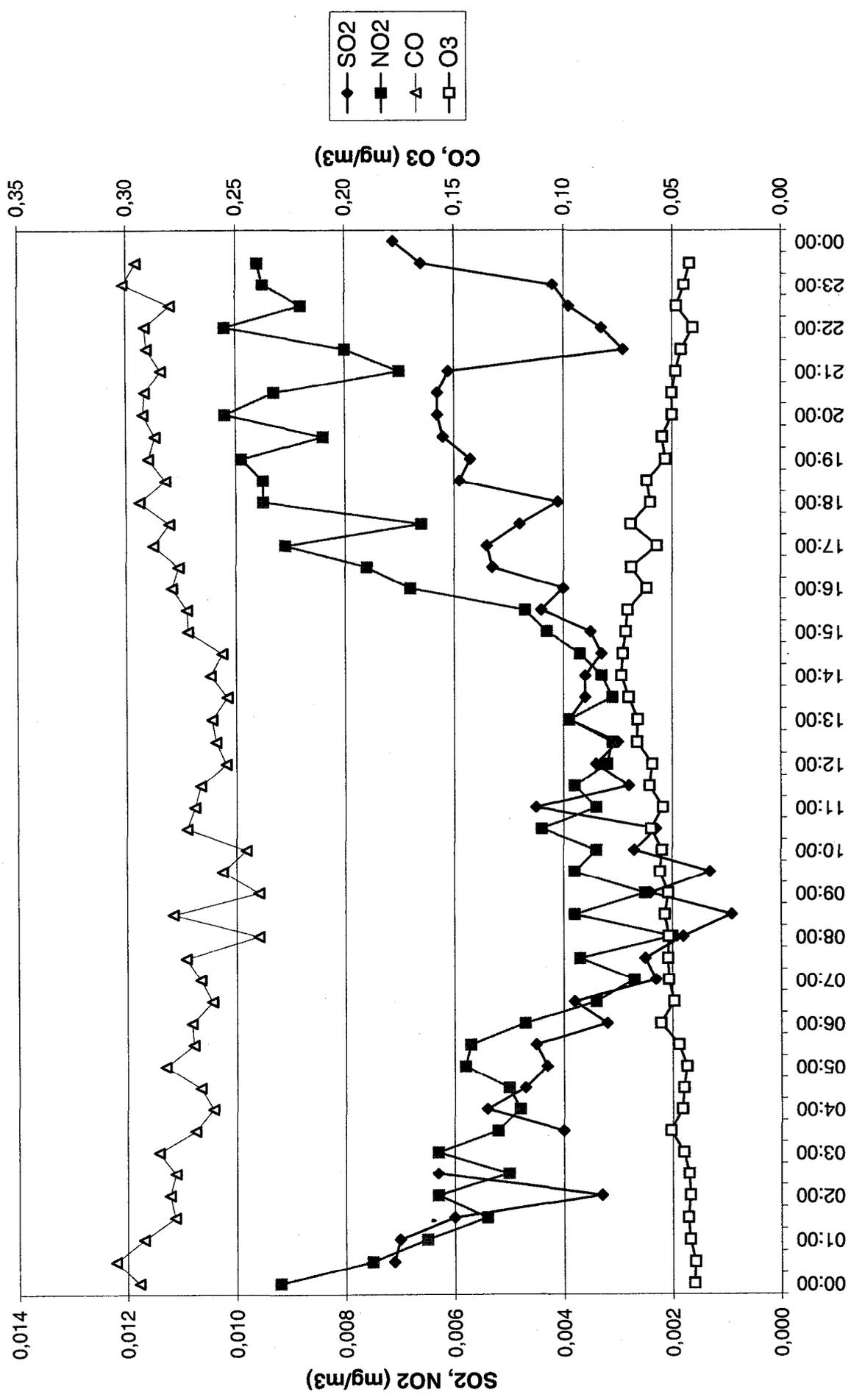


Abbildung 38: Vorhegg, mittlerer Tagesgang der Immissionskonzentration, Nov. 1997 - März 1998, neutrale Temperaturschichtung zwischen Kötschach und Vorhegg

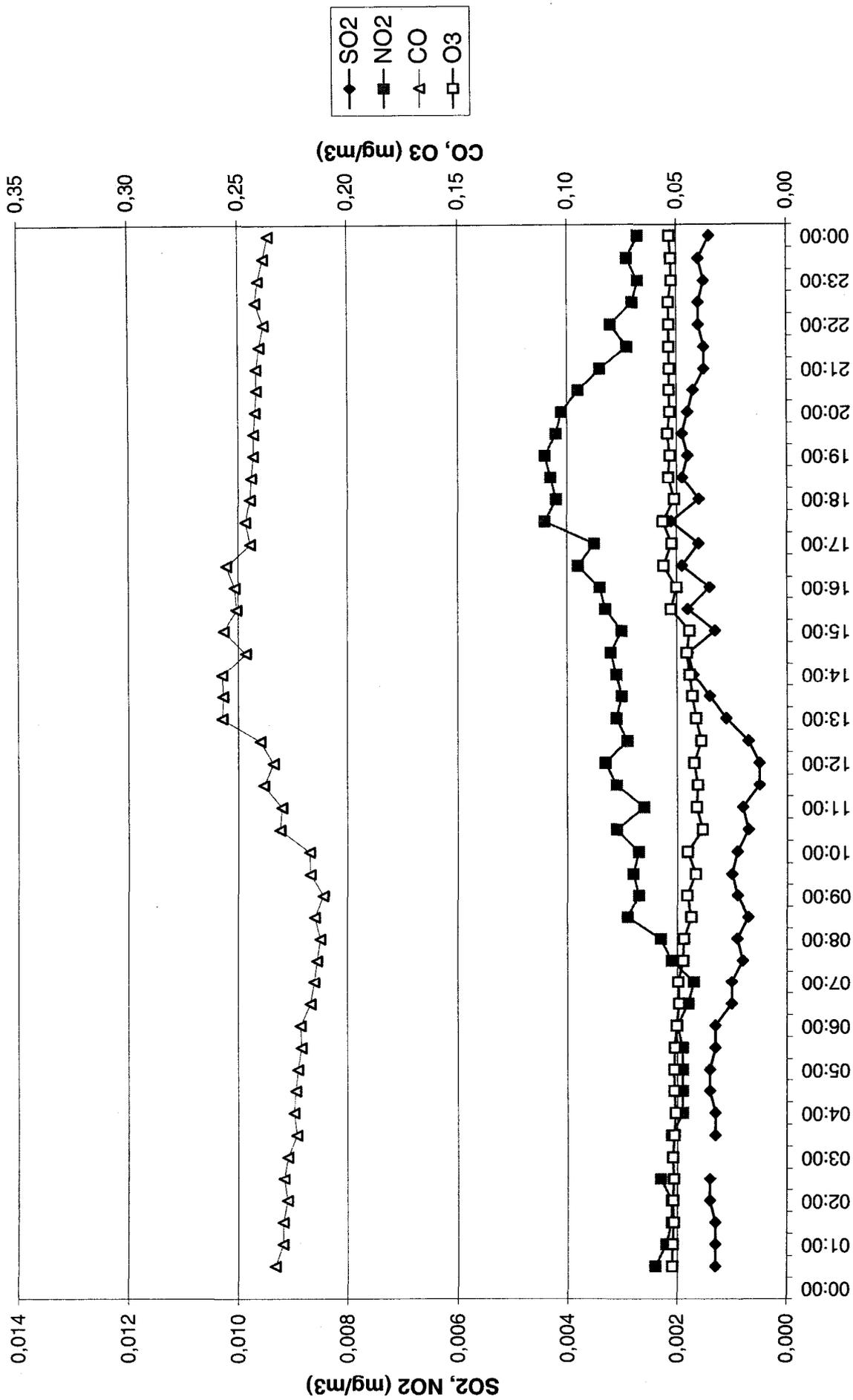


Abbildung 39: Vorhegg, mittlerer Tagesgang der Immissionskonzentration, Nov. 1997 - März 1998, stabile Temperaturschichtung zwischen Kötschach und Vorhegg

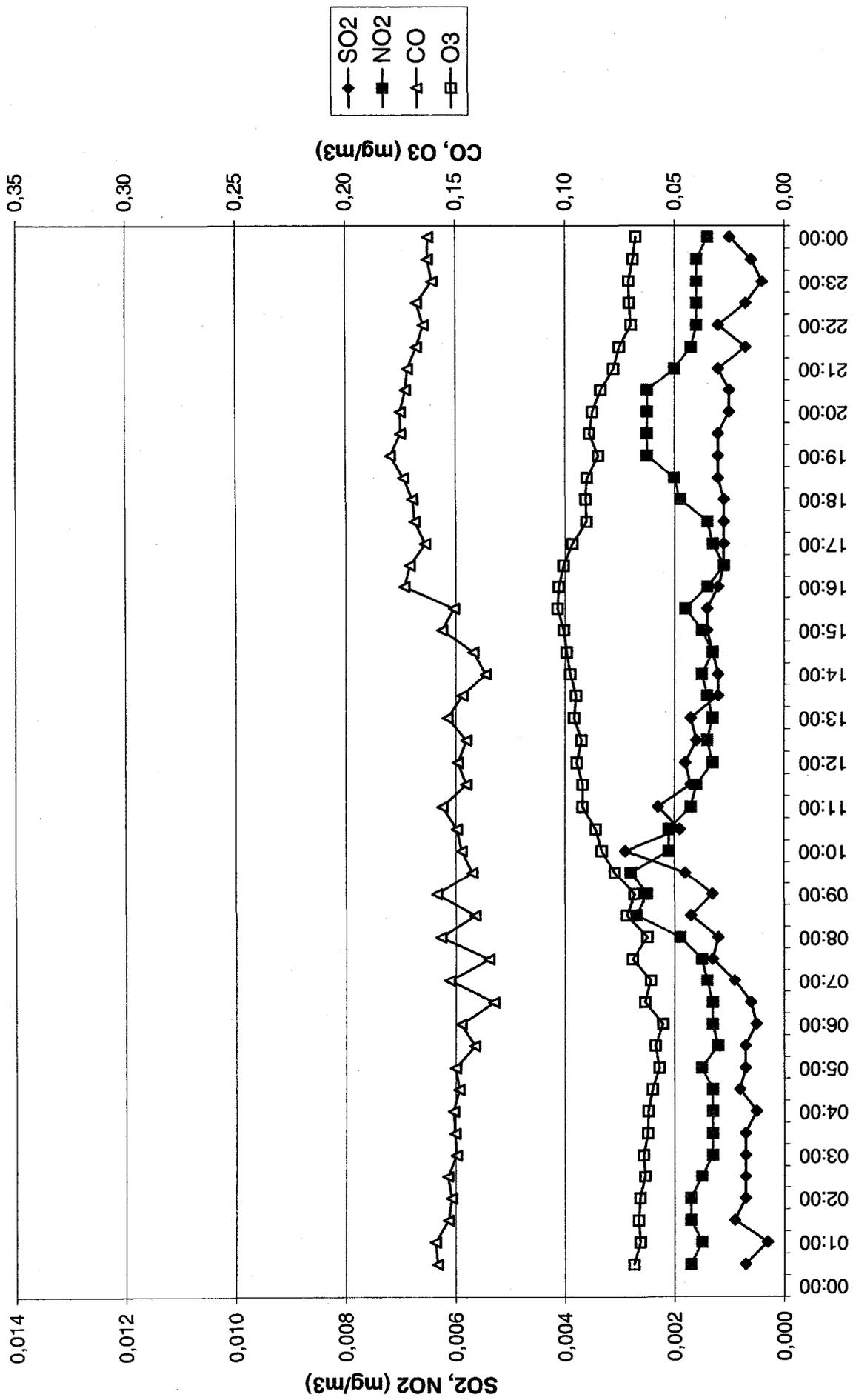


Abbildung 40: Vorhegg, mittlerer Tagesgang der Immissionskonzentration, April - Sept. 1998, labile Temperaturschichtung zwischen Köttschach und Vorhegg

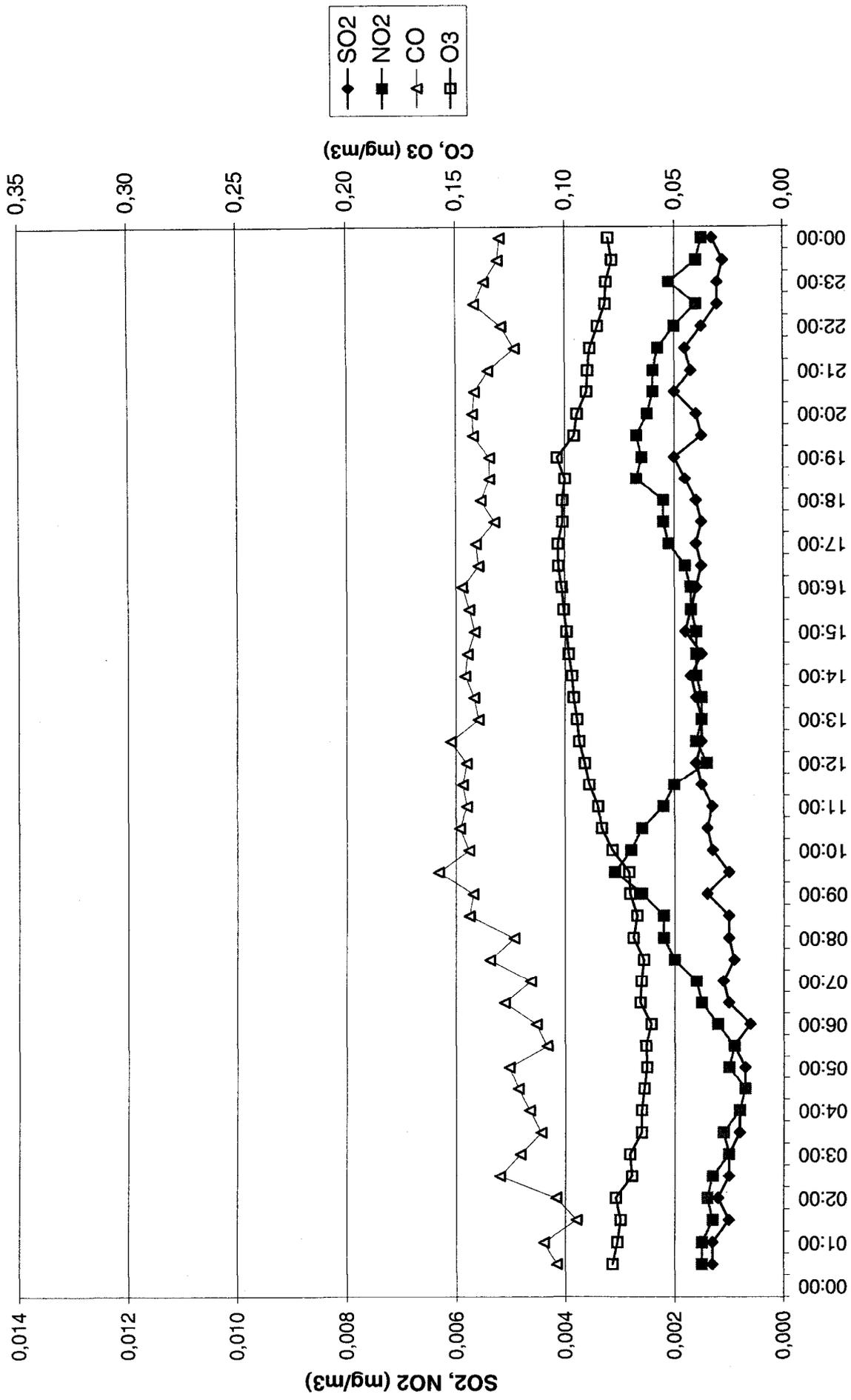


Abbildung 41: Vorhegg, mittlerer Tagesgang der Immissionskonzentration, April - Sept. 1998, neutrale Temperaturschichtung zwischen Köttschach und Vorhegg

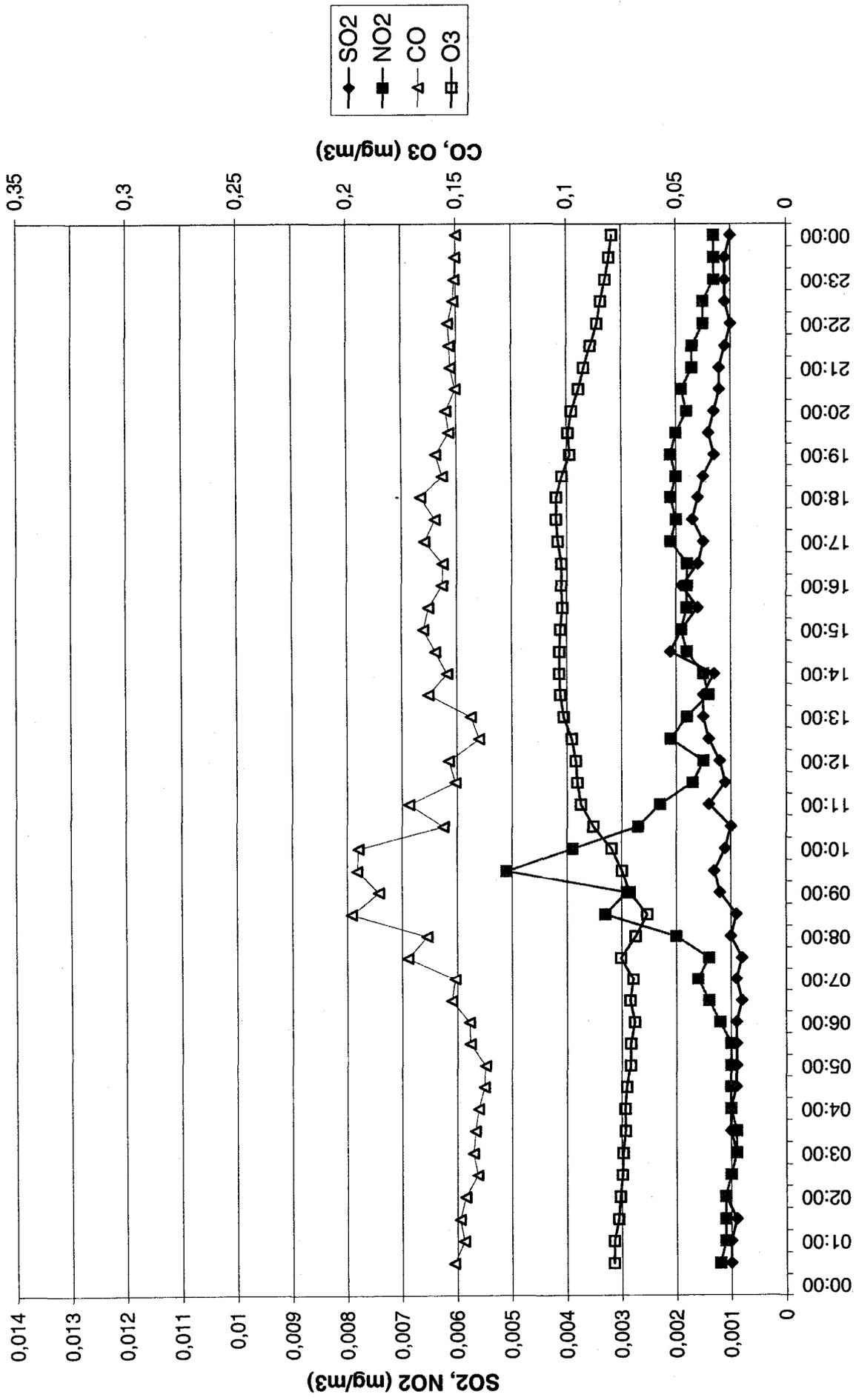
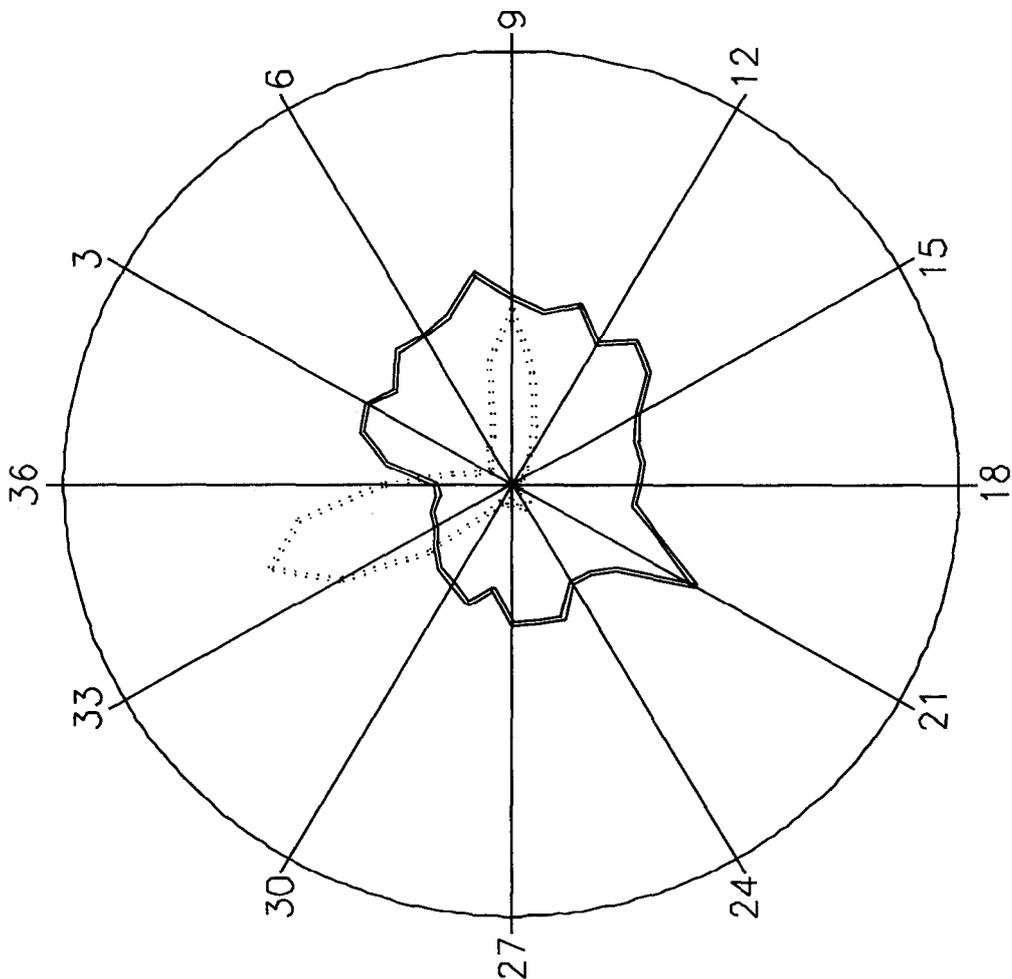


Abbildung 42: Vorhegg, mittlerer Tagesgang der Immissionskonzentration, April - Sept. 1998, stabile Temperaturschichtung zwischen Köttschach und Vorhegg

Abbildung 43: Schadstoffwindrose für SO₂, gemessen in Vorhegg, mit dem Wind der Meßstelle Vorhegg, Nov. 97 – Okt. 98

Vorhegg bei Koetschach-Mauthen November 1997 – Oktober 1998

HMW: Schwefeldioxid [mg/m³]
Windrichtung



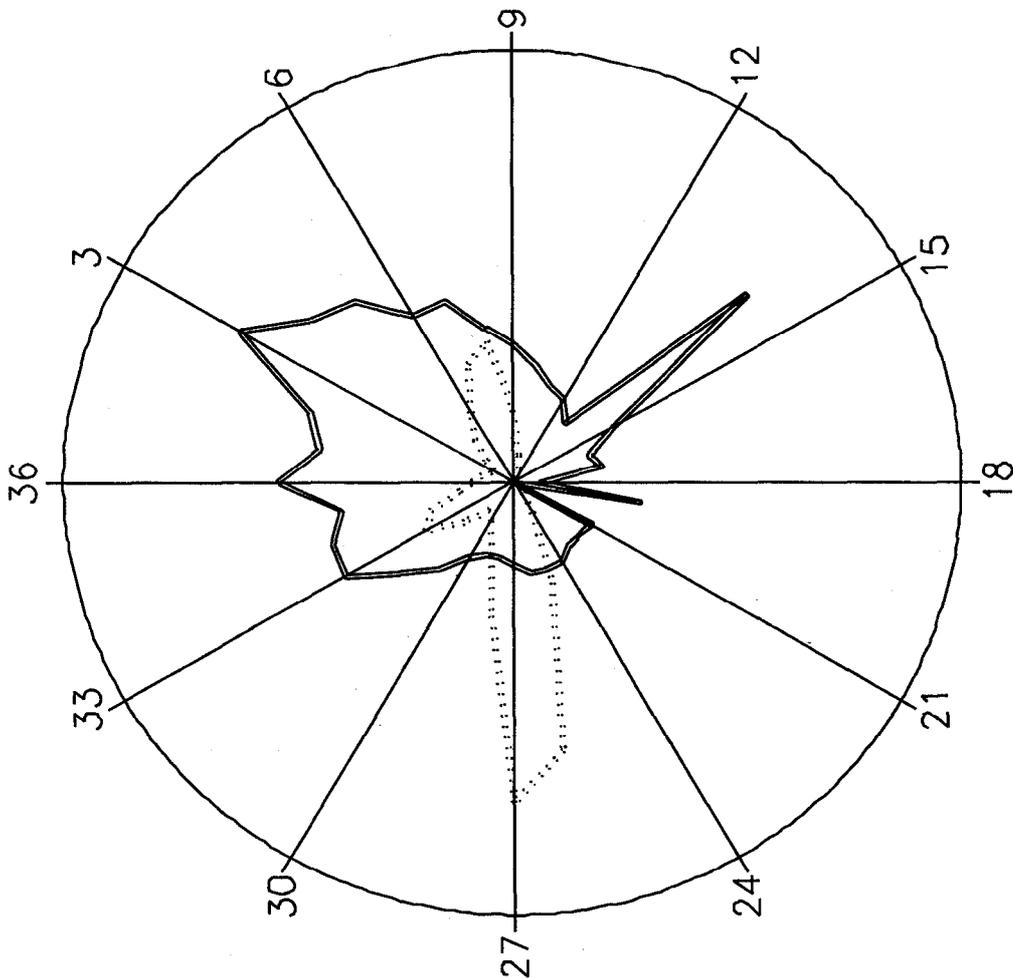
..... Windrichtungshäufigkeit 20 %
 — Messkomponentenverteilung [mg/m³]
 Radius entspricht:

Klasse	Anz.Werte	%	mittl.Konz.
0	853	8.3	0.00175
1	277	2.7	0.00143
2	160	1.6	0.00179
3	111	1.1	0.00188
4	122	1.2	0.00171
5	151	1.5	0.00201
6	207	2.0	0.00199
7	251	2.4	0.00208
8	603	5.8	0.00247
9	838	8.1	0.00217
10	544	5.3	0.00203
11	304	2.9	0.00221
12	167	1.6	0.00189
13	98	1.0	0.00215
14	71	0.7	0.00201
15	63	0.6	0.00163
16	35	0.3	0.00148
17	35	0.3	0.00148
18	30	0.3	0.00143
19	25	0.2	0.00139
20	35	0.3	0.00173
21	47	0.5	0.00236
22	64	0.6	0.00153
23	110	1.1	0.00135
24	133	1.3	0.00132
25	117	1.1	0.00165
26	105	1.0	0.00164
27	68	0.7	0.00162
28	101	1.0	0.00124
29	104	1.0	0.00147
30	98	1.0	0.00134
31	183	1.8	0.00127
32	508	4.9	0.00113
33	917	8.9	0.00099
34	1190	11.5	0.00098
35	1001	9.7	0.00084
36	587	5.7	0.00085

Windstille (< 0.5 m/s): 853 Werte (8.3%)
 Gültig: 10313 Werte / Ausfall: 7207 Werte

Vorhegg bei Koetschhoch-Mauthen November 1997 – Oktober 1998

HMW: Schwefeldioxid [mg/m³]
Windrichtung 100 m



..... Windrichtungshäufigkeit 20 %
 — Messkomponentenverteilung SO₂ [mg/m³]
 Radius entspricht:
 0.05, 0.1, 0.15, 0.2 mg/m³

Klasse	Anz.Werte	%	mittl.Konz.
0	501	6.7	0.00115
1	112	1.5	0.00219
2	83	1.1	0.00240
3	78	1.0	0.00350
4	121	1.6	0.00293
5	194	2.6	0.00274
6	282	3.8	0.00223
7	438	5.9	0.00223
8	496	6.7	0.00182
9	250	3.4	0.00161
10	92	1.2	0.00139
11	53	0.7	0.00121
12	16	0.2	0.00113
13	8	0.1	0.00091
14	8	0.1	0.00340
15	4	0.1	0.00130
16	1	0.0	0.00090
17	2	0.0	0.00100
18	1	0.0	0.00030
19	2	0.0	0.00145
20	0	0.0	0.00000
21	1	0.0	0.00100
22	11	0.1	0.00095
23	50	0.7	0.00095
24	124	1.7	0.00107
25	369	4.9	0.00107
26	935	12.5	0.00106
27	1099	14.7	0.00096
28	449	6.0	0.00089
29	229	3.1	0.00089
30	154	2.1	0.00100
31	128	1.7	0.00132
32	216	2.9	0.00163
33	336	4.5	0.00217
34	295	4.0	0.00214
35	180	2.4	0.00195
36	138	1.9	0.00262

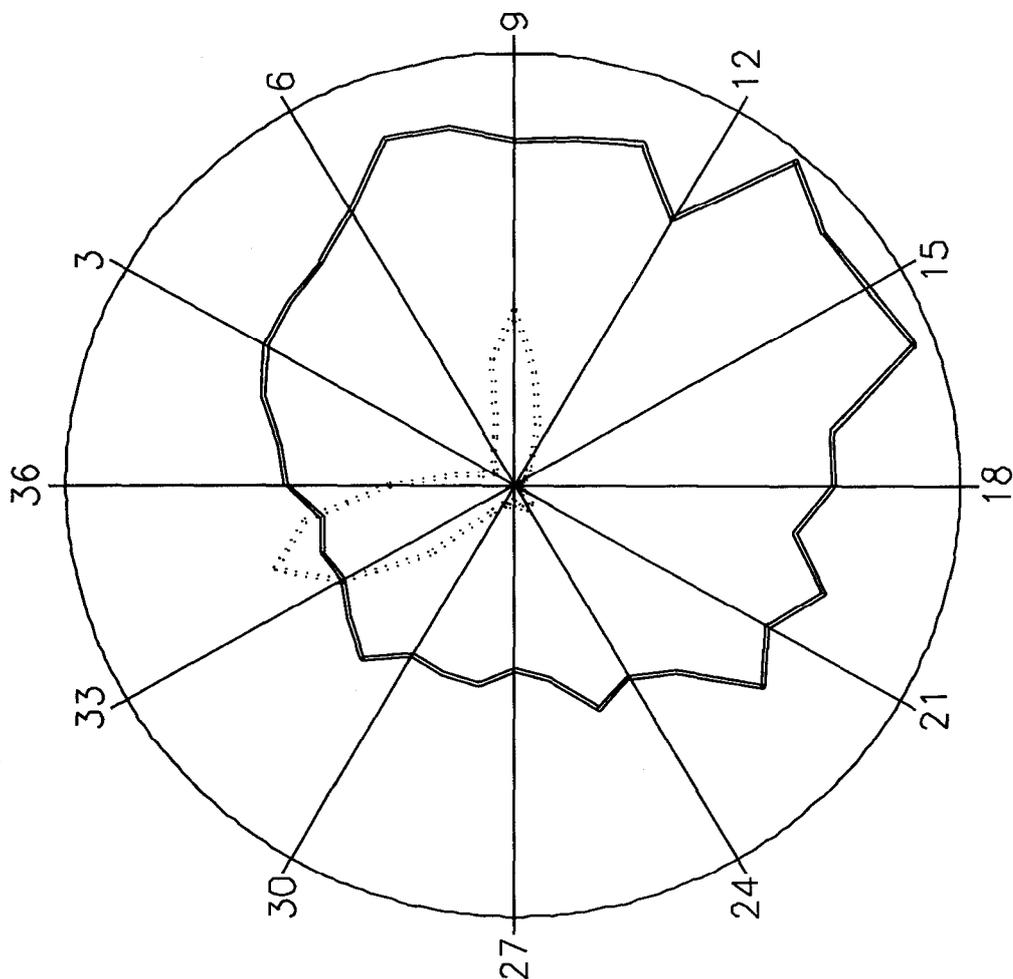
Windstille (< 0.5 m/s): 501 Werte (6.7%)
 Gültig: 7456 Werte / Ausfall: 10064 Werte

Abbildung 44: Schadstoffwindrose für SO₂, gemessen in Vorhegg, mit dem Wind gemessen 100 m über dem Eingang des Lesachtales, Nov. 97 – Okt. 98

Abbildung 45: Schadstoffwindrose für NO₂, gemessen in Vorhegg, mit dem Wind der Meßstelle Vorhegg, Nov. 97 – Okt. 98

Vorhegg bei Koetschach-Mauthen November 1997 – Oktober 1998

HMW: Stickstoffdioxid [ppb]
Windrichtung



Klasse	Anz. Werte	%	mittl. Konz.
0	918	8.6	1.66
1	287	2.7	1.06
2	163	1.5	1.19
3	113	1.1	1.28
4	121	1.1	1.31
5	154	1.4	1.34
6	207	1.9	1.46
7	261	2.4	1.71
8	632	5.9	1.68
9	872	8.1	1.59
10	565	5.3	1.63
11	321	3.0	1.69
12	176	1.6	1.42
13	104	1.0	1.96
14	76	0.7	1.81
15	65	0.6	1.83
16	39	0.4	1.91
17	40	0.4	1.45
18	27	0.3	1.43
19	28	0.3	1.28
20	37	0.3	1.48
21	51	0.5	1.31
22	67	0.6	1.46
23	122	1.1	1.14
24	137	1.3	1.03
25	118	1.1	1.11
26	105	1.0	0.92
27	72	0.7	0.86
28	104	1.0	0.94
29	108	1.0	0.94
30	108	1.0	0.92
31	186	1.7	1.06
32	535	5.0	0.97
33	966	9.0	0.88
34	1224	11.4	0.92
35	1020	9.5	0.87
36	601	5.6	1.02

Windstille (< 0.5 m/s): 918 Werte (8.6%)
Gültig: 10730 Werte / Ausfall: 6790 Werte

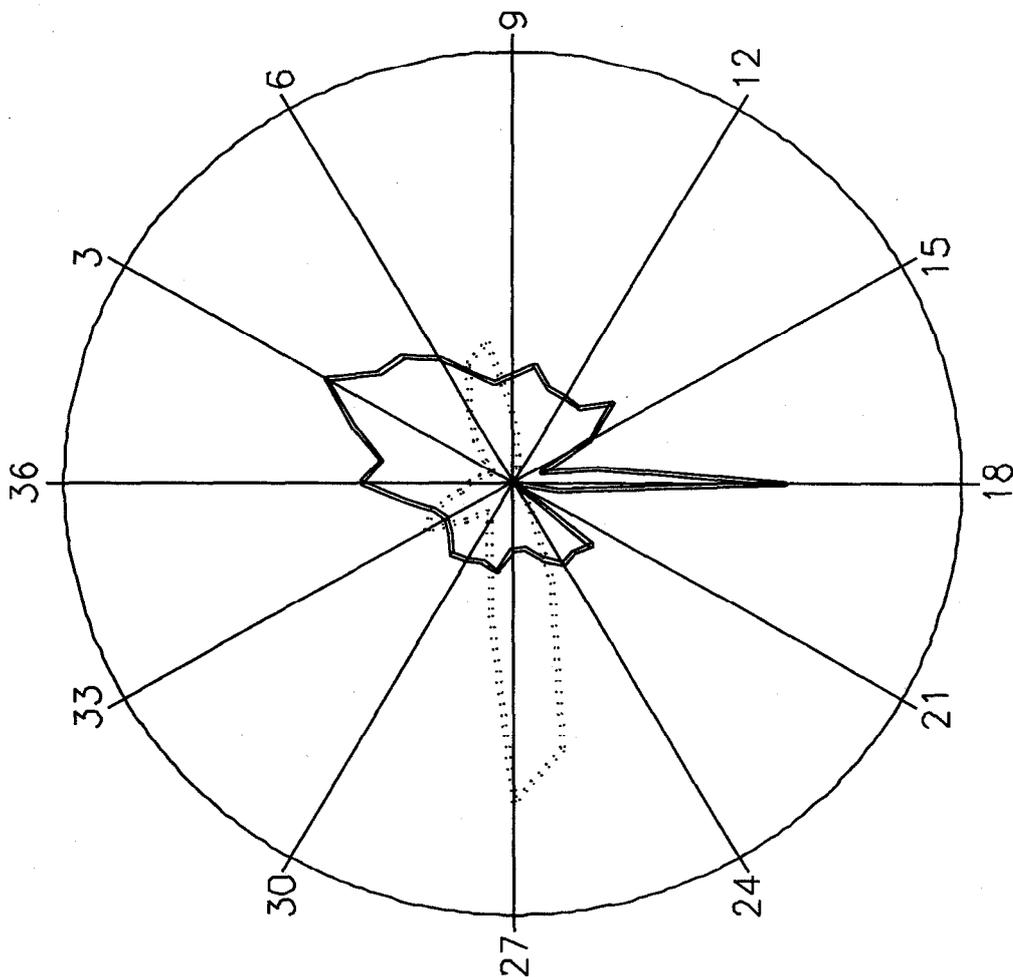
Radius entspricht:

..... Windrichtungshäufigkeit 20 %
—— Messkomponentenverteilung [ppb]

Abbildung 46: Schadstoffwindrose für NO₂, gemessen in Vorhegg, mit dem Wind gemessen 100 m über dem Eingang des Lesachtales, Nov. 97 – Okt. 98

Vorhegg bei Koetschach-Mauthen November 1997 – Oktober 1998

HMW: Stickstoffdioxid [ppb]
Windrichtung 100 m



..... Windrichtungshäufigkeit 20 %
 — Messkomponentenverteilung [ppb]

Radius entspricht:

Klasse	Anz. Werte	%	mittl. Konz.
0	526	6.8	1.39
1	116	1.5	1.49
2	88	1.1	1.89
3	83	1.1	2.42
4	126	1.6	1.96
5	203	2.6	1.91
6	297	3.8	1.67
7	455	5.9	1.36
8	510	6.6	1.18
9	257	3.3	1.24
10	102	1.3	1.38
11	53	0.7	1.17
12	18	0.2	1.15
13	9	0.1	1.14
14	10	0.1	1.45
15	4	0.1	0.99
16	1	0.0	0.33
17	3	0.0	0.97
18	1	0.0	3.05
19	2	0.0	0.51
20	0	0.0	0.00
21	0	0.0	0.00
22	11	0.1	1.14
23	53	0.7	1.05
24	124	1.6	1.10
25	386	5.0	0.95
26	972	12.5	0.79
27	1146	14.8	0.79
28	469	6.0	1.06
29	240	3.1	0.99
30	164	2.1	1.04
31	138	1.8	1.08
32	218	2.8	0.92
33	348	4.5	0.86
34	303	3.9	0.95
35	183	2.4	1.22
36	147	1.9	1.69

Windstille (< 0.5 m/s): 526 Werte (6.8%)
 Gültig: 7766 Werte / Ausfall: 9754 Werte

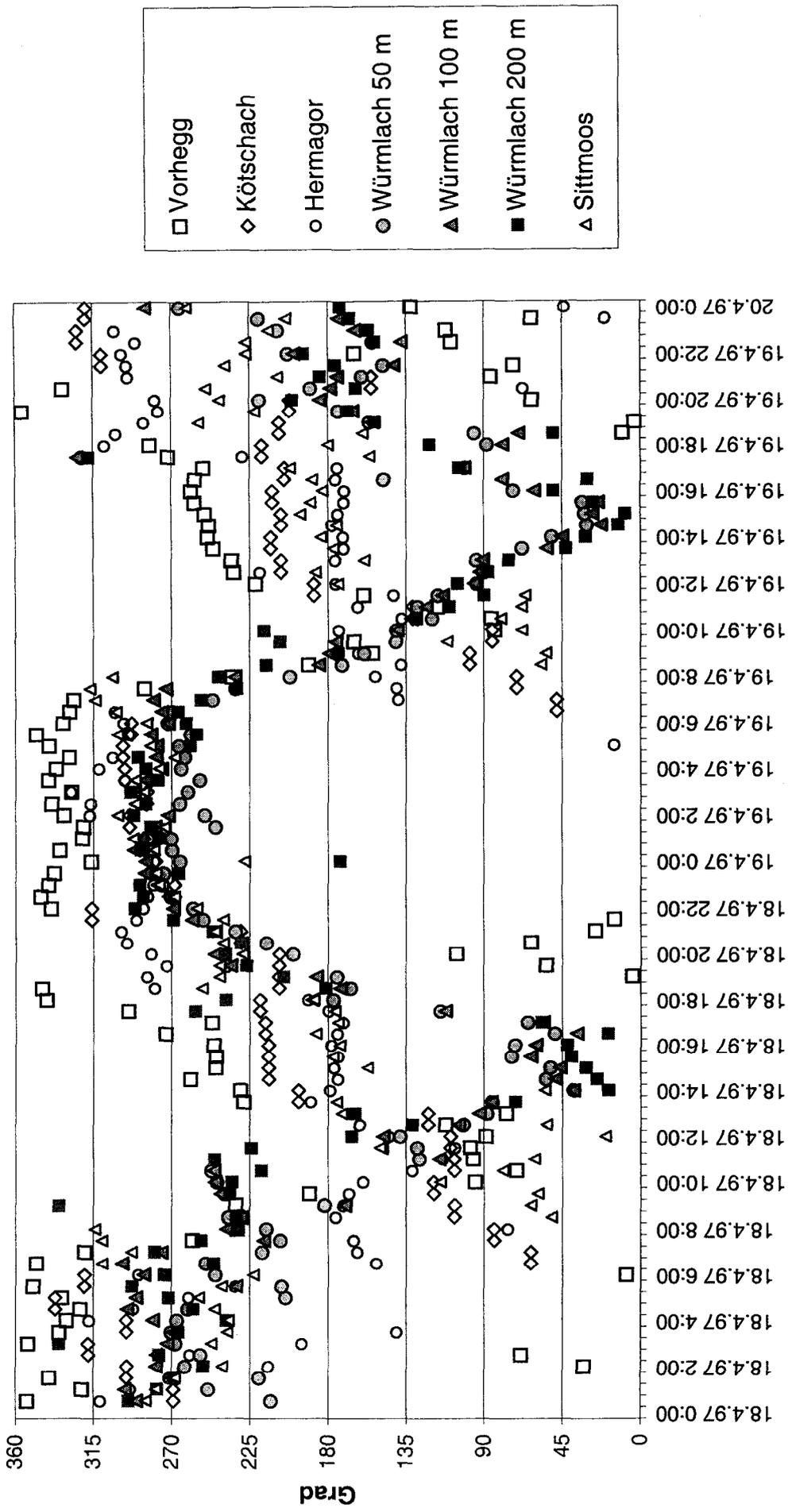


Abbildung 47: Windrichtung, 18. - 19. 4. 1997

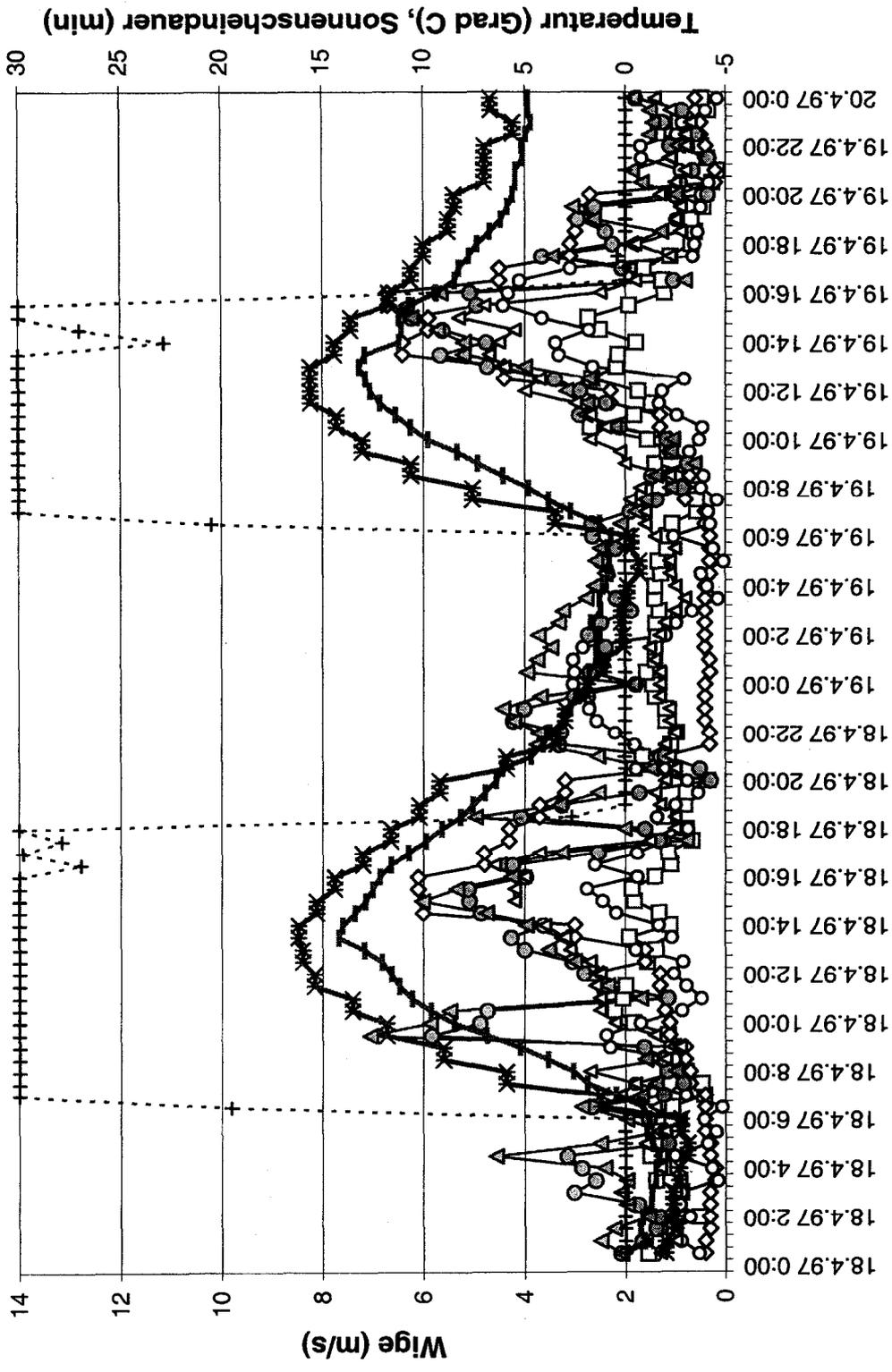
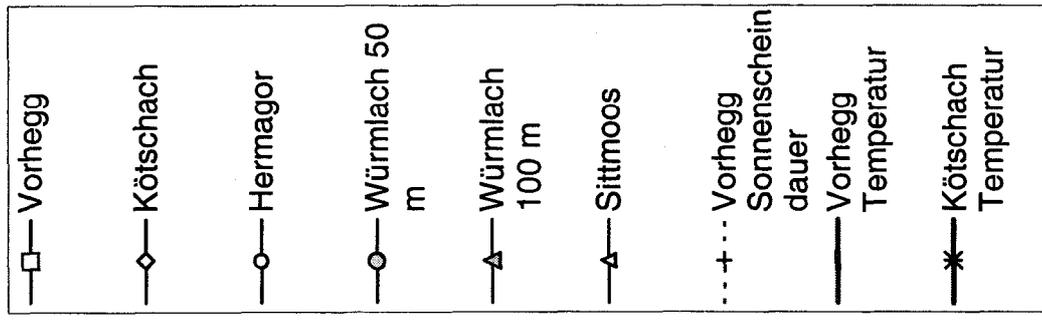


Abbildung 48: Windgeschwindigkeit, Sonnenscheindauer, Temperatur; 18. - 19. 4. 1997

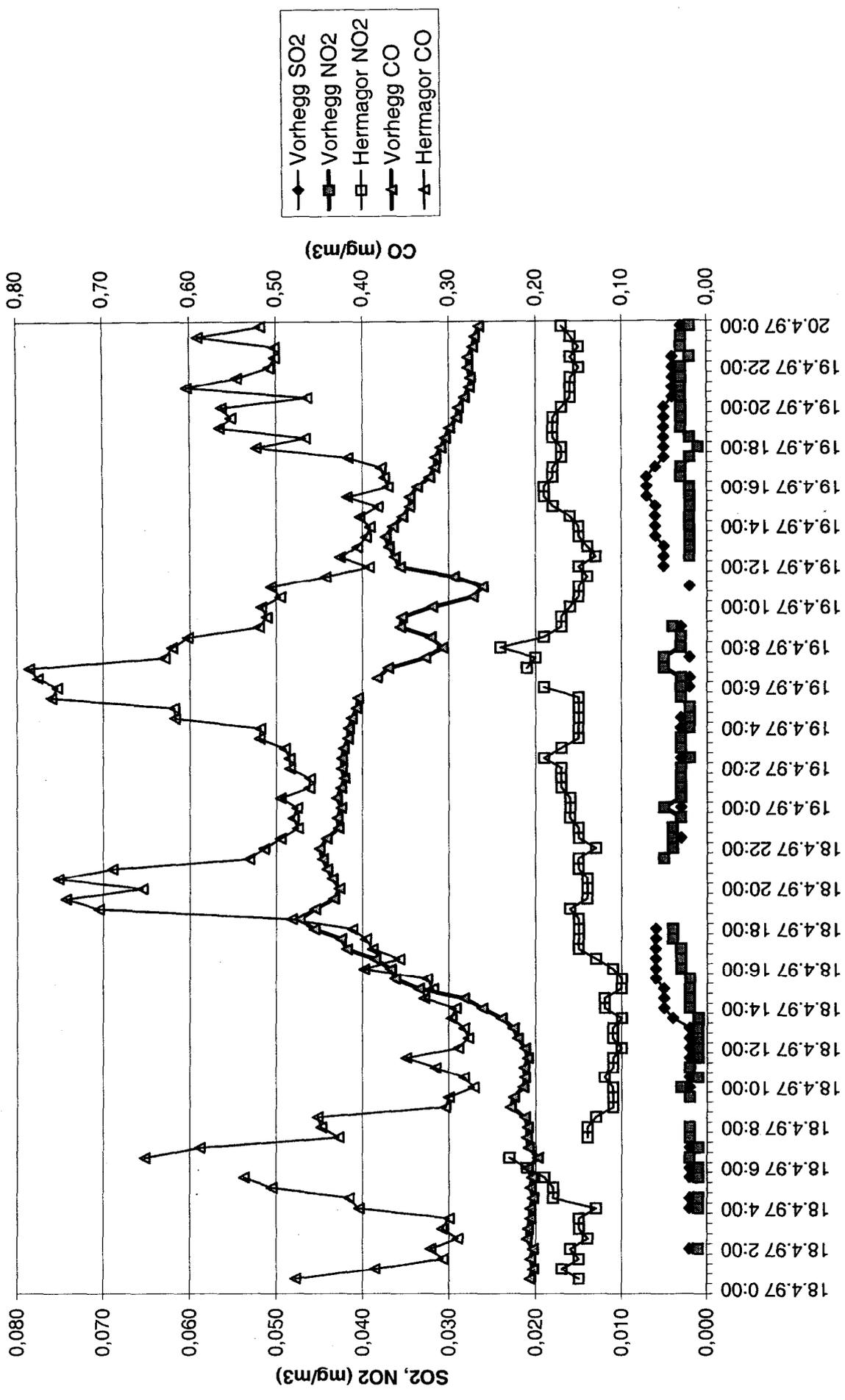


Abbildung 49: Immissionskonzentration, 18. - 19. 4. 1997

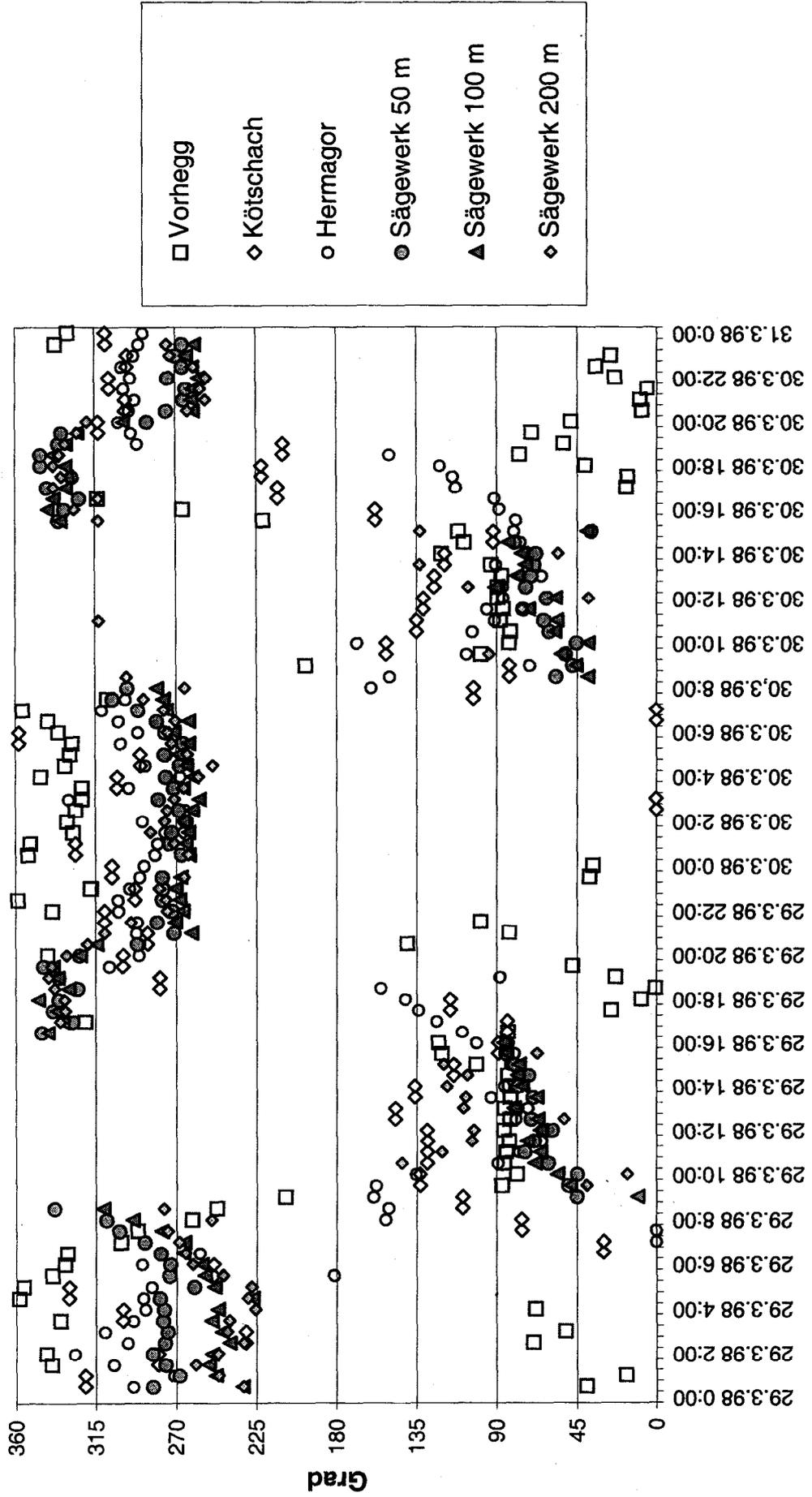


Abbildung 50: Windrichtung, 29. - 30. 3. 1998

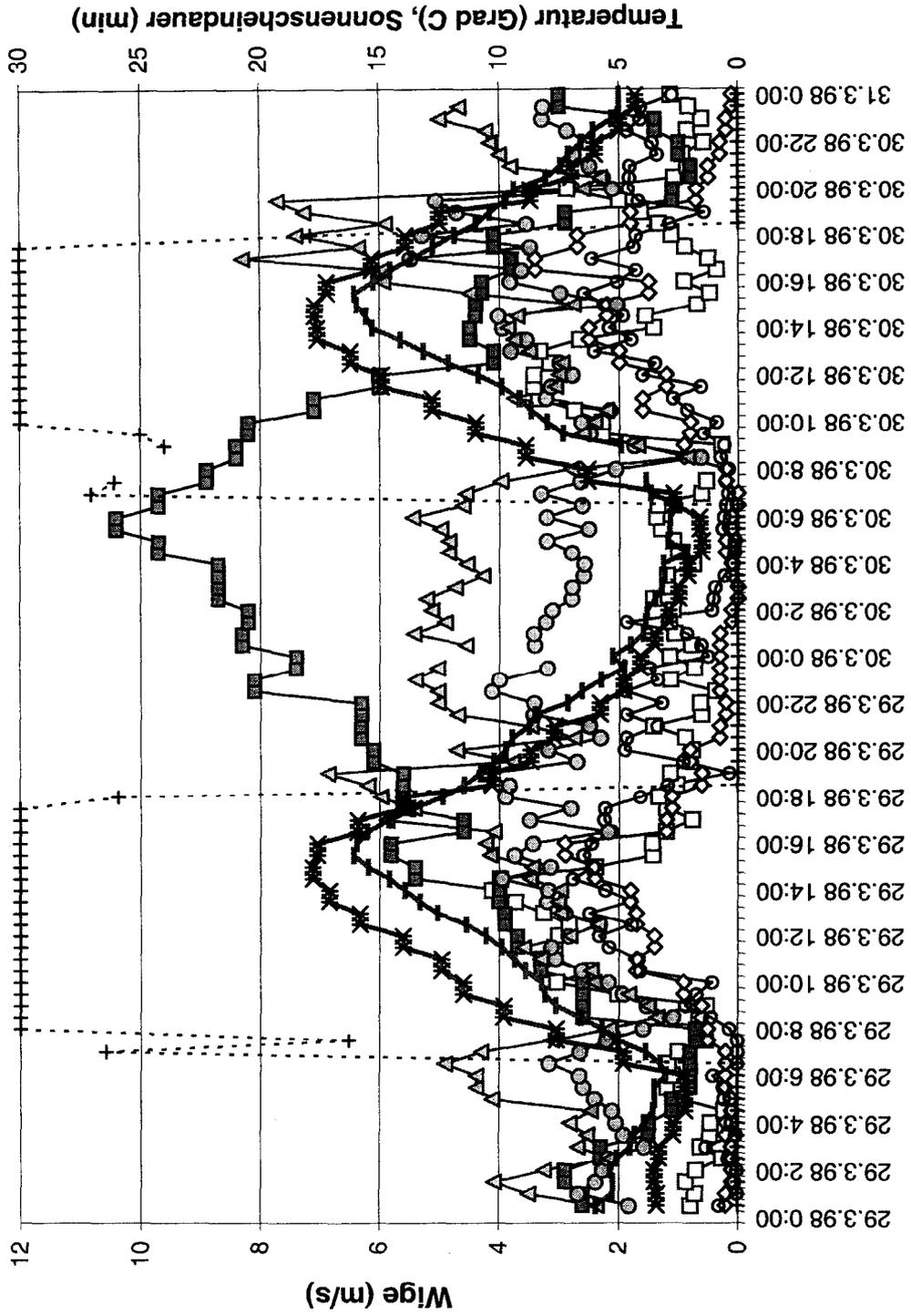
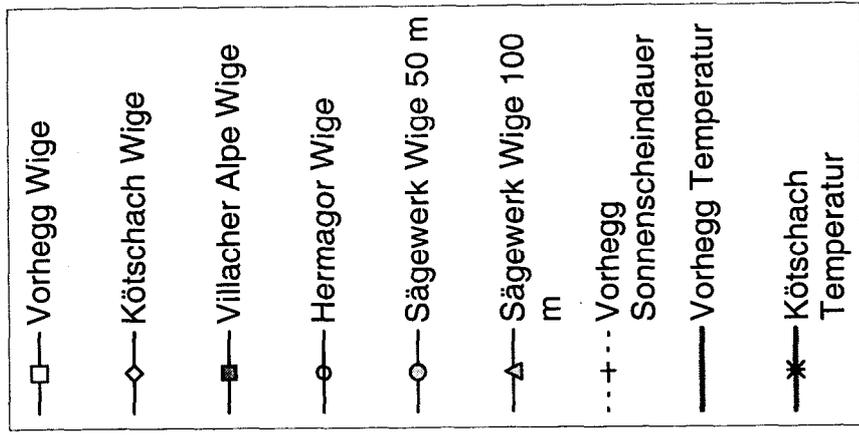


Abbildung 51: Windgeschwindigkeit, Sonnenscheindauer, Temperatur; 29. - 30. 3. 1998

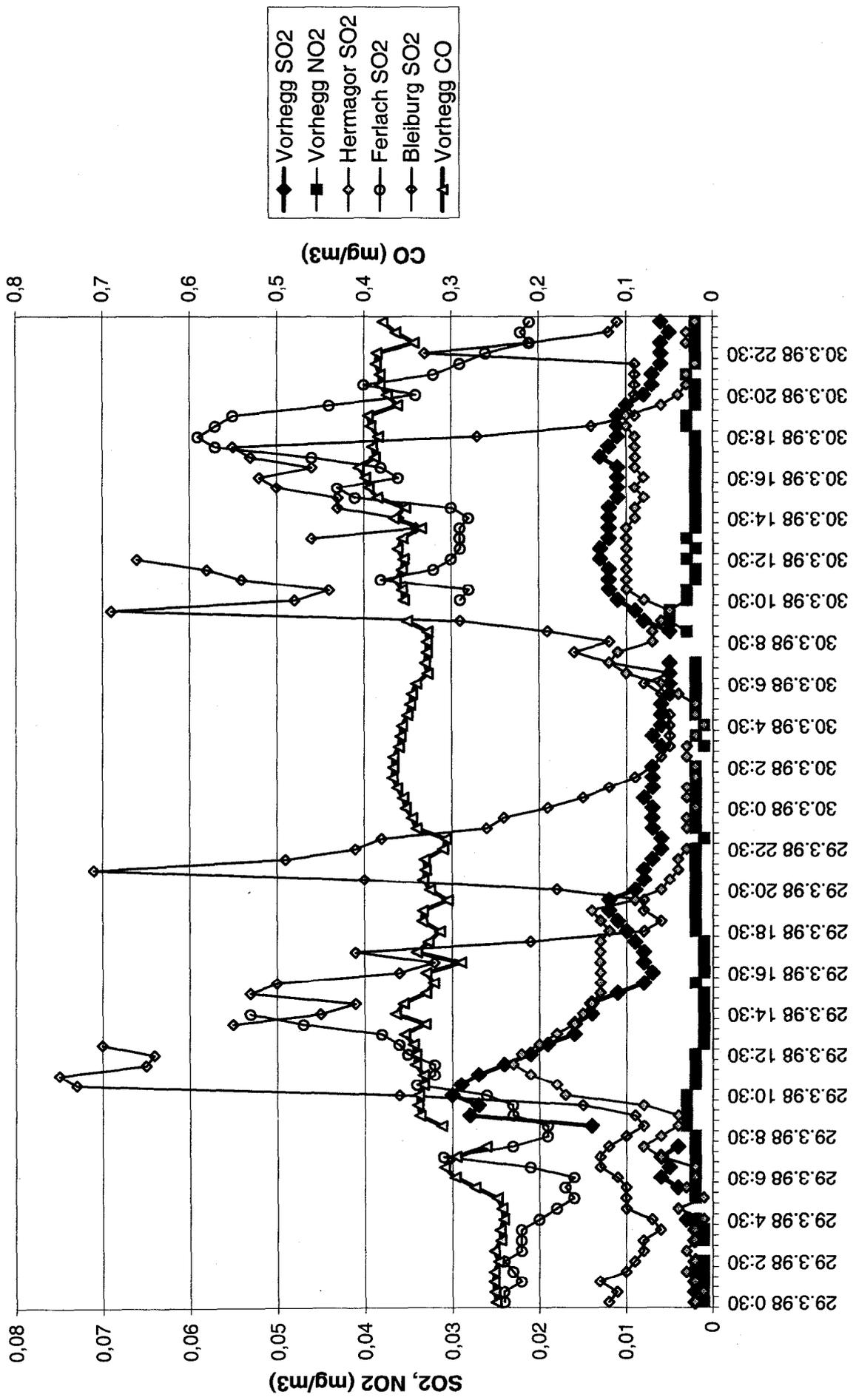


Abbildung 52: Immissionskonzentration, 29. - 30. 3. 1998

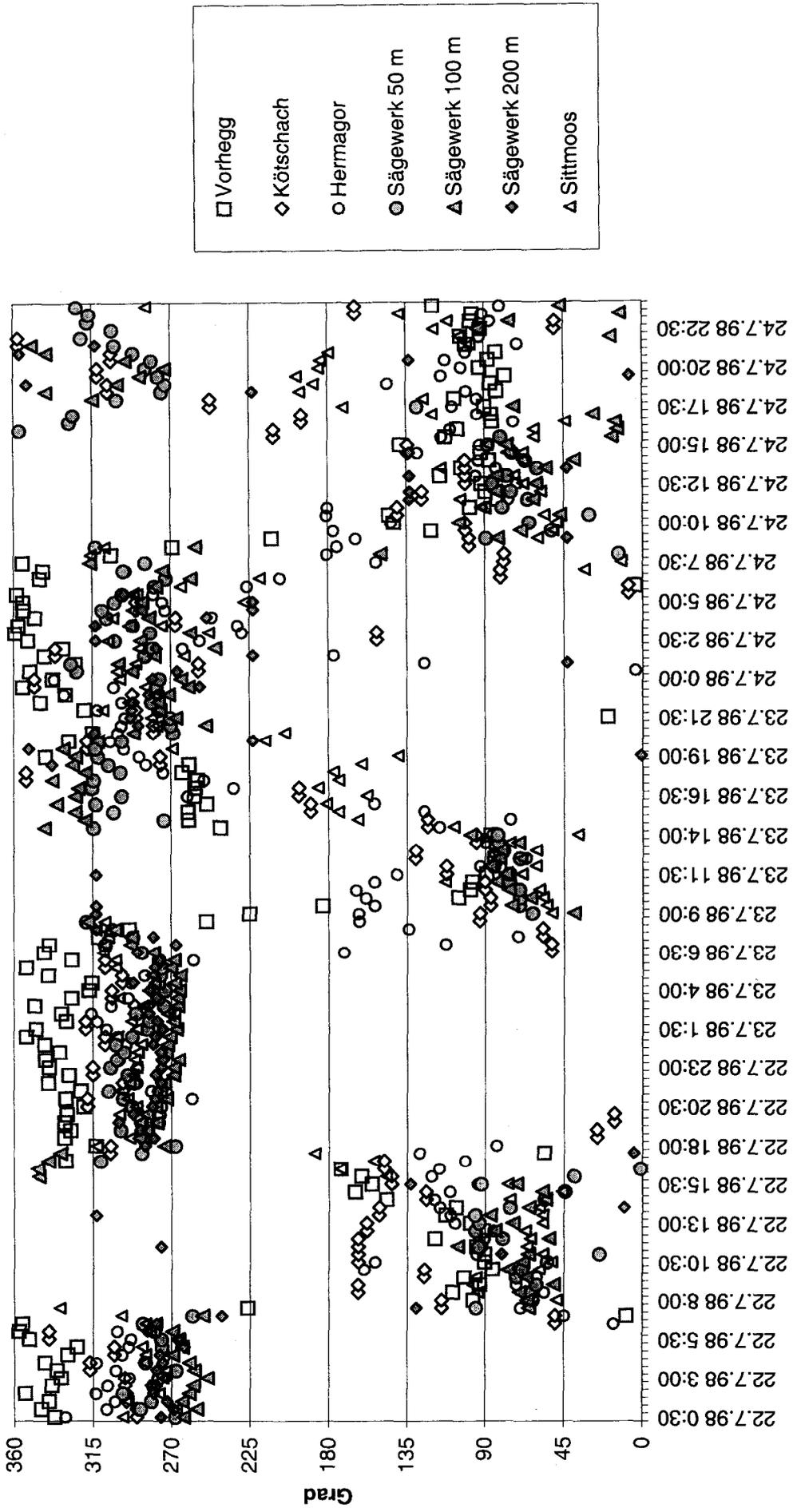


Abbildung 53: Windrichtung, 22. - 24. 7. 1998

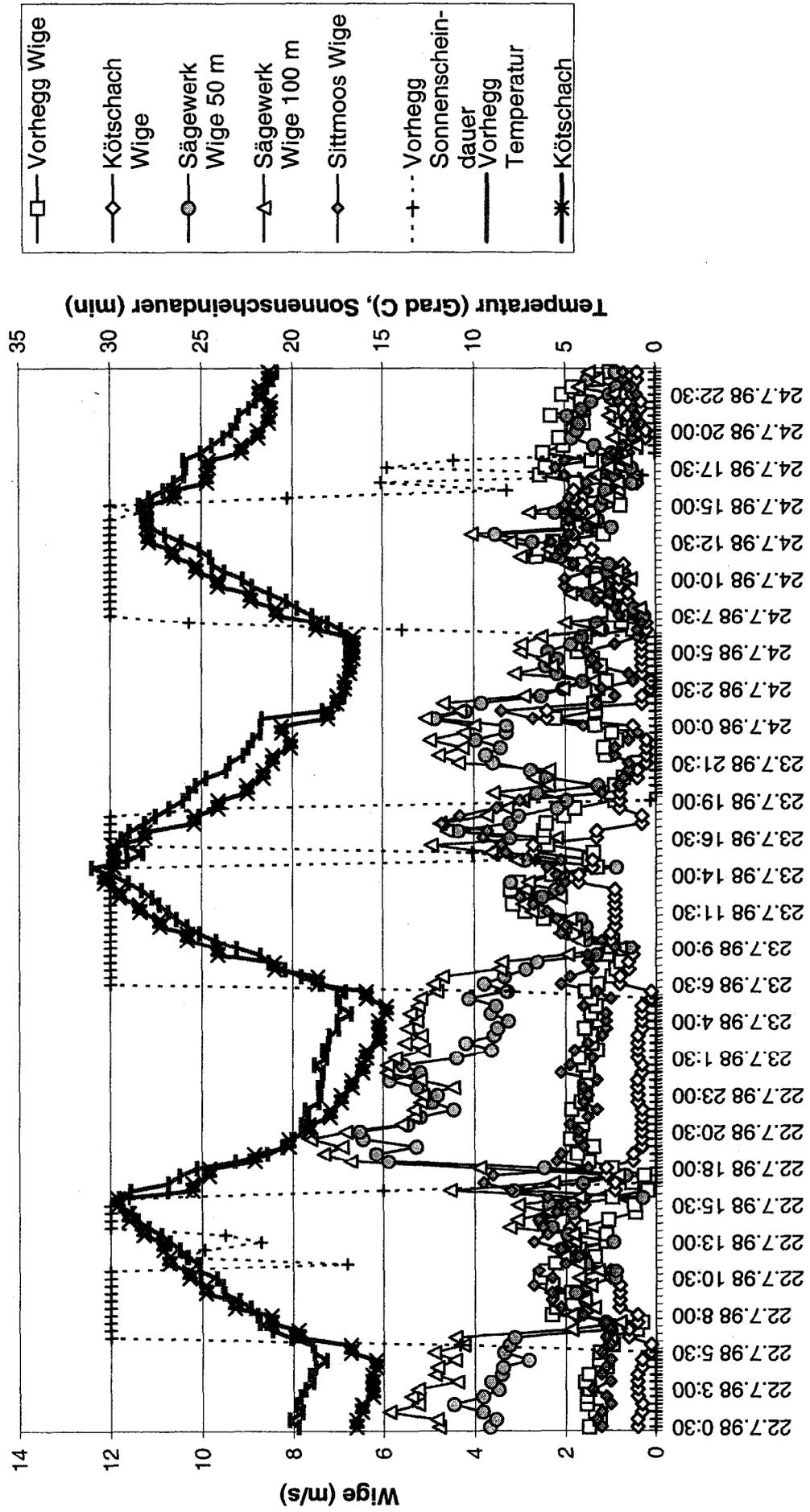


Abbildung 54: Windgeschwindigkeit, Sonnenscheindauer, Temperatur, 22. - 24. 7. 1998

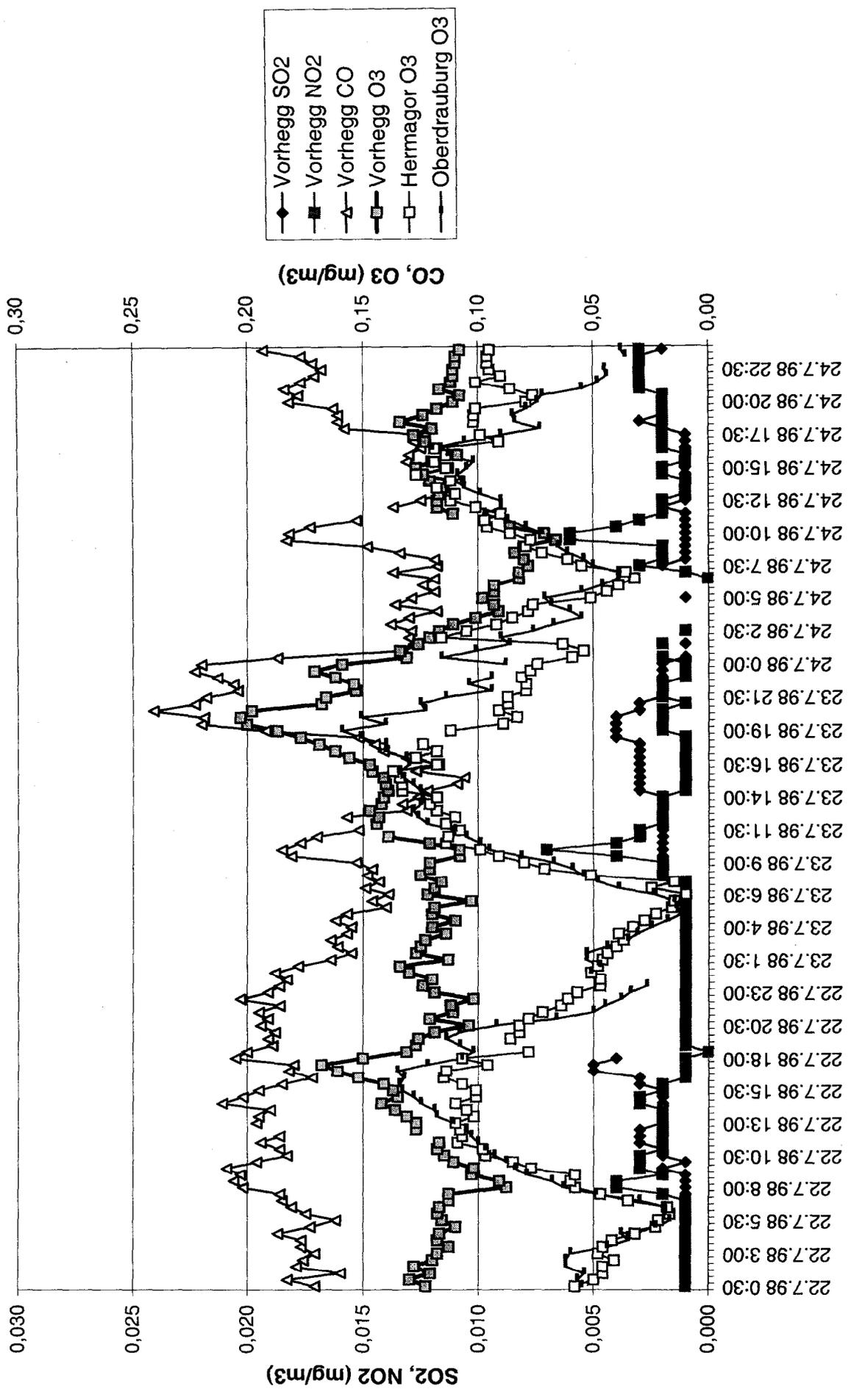


Abbildung 55: Immissionskonzentration, 22. - 24. 7. 1998

