

KfK 3929

Mai 1985

Testbericht über das monostatische Doppler-SODAR R

R. von Holleuffer-Kypke, W. Hübschmann, P. Thomas
Institut für Meteorologie und Klimaforschung

Kernforschungszentrum Karlsruhe

Kernforschungszentrum Karlsruhe

Institut für Meteorologie und Klimaforschung

KfK 3929

Testbericht über das monostatische
Doppler-SODAR R

R. von Holleuffer-Kypke

W. Hübschmann

P. Thomas

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

Zusammenfassung

Ein monostatisches Doppler-SODAR, Typ DS 108 der Firma Rosenhagen, D-200 Norderstedt, wurde im Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK) ab November 1981 bis Ende 1982 getestet. Das SODAR-Gerät, hier als SODAR R bezeichnet, wurde routinemäßig betrieben, und zwar 12 Monate auf der von Wald umgebenen meteorologischen Wiese des KfK, in der Nähe des 200 m hohen Meßmastes, und anschließend 5 Wochen auf einem benachbarten Platz der in geringerem Maße vom umgebenden Wald beeinflusst ist. Das SODAR R besteht aus drei Schalltrichtern, je auf einer Lafette montiert, die im 3-s-Rhythmus abwechselnd einen Schallimpuls von 1675 Hz nach oben abstrahlen.

Das SODAR R hat im Dauerbetrieb eine hohe Verfügbarkeit bewiesen, auch unter winterlichen Bedingungen. Es waren nur wenige Instandsetzungsarbeiten erforderlich. Als Meßdaten wurden u. a. die 10-Minuten-Mittelwerte der Windrichtung, -geschwindigkeit und der Standardabweichung der Vertikalgeschwindigkeit von 40 m bis 420 m Höhe in Schritten von 20 m gespeichert. Diese wurden mit den am Mast gemessenen verglichen, und zwar in denjenigen Höhen, in denen entsprechende Meßgeräte am Mast vorhanden sind. In Höhen ab 100 m beträgt der Korrelationskoeffizient der Windrichtung mehr als 0,95, derjenige der Windgeschwindigkeit mehr als 0,90 und derjenige der Standardabweichung σ_ϕ zeitweilig mehr als 0,7.

Test Report on the Monostatic Doppler SODAR R

Summary

A monostatic Doppler-SODAR, type DS 108, manufactured by Rosenhagen, D-2000 Norderstedt, has been tested at Kernforschungszentrum Karlsruhe, KfK (Karlsruhe Nuclear Research Center) during the period from November 1981 up to the end of 1982. The SODAR instrument, here referred to as SODAR R, has been routinely operated for 12 months on the meteorological meadow of the KfK, which is located close to the 200 m high meteorological tower and is surrounded by forest, and afterwards for 5 weeks at a neighbouring place, which is less influenced by the forest. The SODAR R comprises three antennas mounted each on a carriage. The antennas transmit alternately in a 3 s sequence an acoustic pulse of 1675 Hz upwards into the atmosphere. During the test period the SODAR R has proven a high availability even under winter conditions. Only a few repairs have been necessary. The following data have been measured and recorded, a. o.: the 10 min averages of the wind direction and velocity and the standard deviation of the vertical wind velocity, each from 40 m up to 420 m height in steps of 20 m. These data have been compared with the data measured at the meteorological tower at whichever height the relevant instruments are mounted at the tower. At heights of 100 m and more the correlation coefficient of the wind direction amounts to more than 0.95, the one of the wind velocity to more than 0.90 and the one of the standard deviation σ_{ϕ} during certain time periods to more than 0.7.

Gliederung

	Seite
1. Aufgabe und Ablauf des Tests	1
2. Betrieb des SODAR R	2
2.1 Aufbauphase	2
2.2 Betriebsphasen	3
2.2.1 Betriebsphase I (Zeitabschnitt 1 und 2)	3
2.2.2 Reparatur- und Umbauphase	4
2.2.3 Betriebsphase II (Zeitabschnitt 3)	4
2.2.4 Betriebsphase III (Zeitabschnitt 4)	5
2.3 Betriebserfahrungen	6
2.4 Schalldruck	7
3. Modifikation der Elektronik	8
4. Berechnung der Windrichtung und -geschwindigkeit aus den drei gemessenen Komponenten	9
5. Direkter Vergleich von SODAR- und Mastdaten	11
5.1 Zeitreihen ohne und mit Regen vom 24.07.1982	11
5.1.1 Rückstreuamplitude	11
5.1.2 Windgeschwindigkeit	11
5.1.3 Windrichtung	12
5.1.4 Standardabweichung σ_{ϕ} der vertikalen Windrichtung	12
5.1.5 Standardabweichung σ_w des Vertikalwindes	12
5.2 Zeitreihen mit Schneefall vom 24.12.1981	13
5.2.1 Rückstreuamplitude	13
5.2.2 Windgeschwindigkeit	13
5.2.3 Windrichtung	13
5.2.4 Standardabweichung σ_{ϕ} der vertikalen Windrichtung	13
5.3 Höhenprofile	14
5.3.1 Windgeschwindigkeit	14
5.3.2 Rückstreuamplitude	14

	Seite	
6.	Vergleich durch Regressionsgeraden	14
6.1	Theorie	
6.2	Allgemeines Vorgehen	16
6.3	Windrichtung	17
6.4	Windgeschwindigkeit	18
6.5	Standardabweichung σ_ϕ der vertikalen Windrichtung	20
7.	Bestimmung der Ausbreitungskategorie mit Hilfe des σ_ϕ	21
8.	Verfügbarkeit der SODAR-Meßwerte	23
9.	Zusammengefaßte Bewertung	25
9.1	Aufstellung und Betrieb	25
9.2	Meßwerte	25
10.	Literatur	27

Tabellen

Abbildungen

1. Aufgabe und Ablauf des Tests

Im Oktober 1981 beauftragte die VGB-Kraftwerkstechnik GmbH, Essen (Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber) die Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH (KfK), zwei Doppler-SODAR-Geräte auf dem Gelände des KfK aufzustellen und jeweils für die Dauer eines Jahres zu betreiben. Die SODAR-Geräte wurden von VGB beschafft. Die Meßwerte sollten fortlaufend gespeichert werden, um sie mit den entsprechenden Meßwerten des 200 m hohen KfK-Meßmastes [DI76] zu vergleichen.

Der Meßhöhenbereich betrug 40 bis 420 m über Grund, in Schritten von jeweils 20 m (40 m, 60 m, 80 m, 420 m). Die Testperiode des einen Doppler-SODAR, Typ DS 108 der Firma Rosenhagen (im Gutachten SODAR R genannt), ist inzwischen abgeschlossen. Das SODAR R besteht aus drei Schalltrichtern, je auf einer Lafette montiert, die - entsprechend der Meßhöhe - im 3-s-Rhythmus abwechselnd einen Schallimpuls von 1675 Hz nach oben abstrahlen. Die reflektierten Schallwellen werden auf die Dopplerverschiebung hin analysiert, welche der Luftbewegung in Richtung des Schallkegels proportional ist.

Dieses Gerät wurde im Oktober 1981 auf der von Wald umgebenen Meßwiese des KfK, ca. 200 m vom Meßmast entfernt, aufgestellt. Vom 17. November 1981 bis 19. November 1982 (mit Unterbrechung vom 2. Juni bis 12. Juli 1982 wegen Reparatur und Umbau) wurden die Meßwerte an diesem Standort in Form von 10-Minuten-Mittelwerten registriert und auf Datenträgern gespeichert. Aus Gründen der Praktikabilität und wegen einer von der Firma Rosenhagen vorgeschlagenen Modifikation der Hard- und Software des SODAR R im Juni/Juli 1982 teilt sich der Zeitraum des Betriebes in folgende Auswerteperioden auf:

Zeitabschnitt 1	17.11.1981 - 28.02.1982
Zeitabschnitt 2	01.03.1982 - 02.06.1982
Zeitabschnitt 3	12.07.1982 - 19.11.1982.

Auf Vorschlag der Firma Rosenhagen wurde das Gerät anschließend auf einem benachbarten Standort aufgestellt und betrieben, um den Ein-

fluß des umliegenden Waldes möglichst auszuschließen, s. Kap. 2.
Dadurch ergibt sich eine weitere Auswertungsperiode:

Zeitabschnitt 4 27.11.1982 - 30.12.1982.

Nach Abschluß dieser Periode wurde der Testbetrieb eingestellt.

Der Umfang der Auswertung umfaßt vereinbarungsgemäß den Vergleich der SODAR-R-Meßwerte (Windrichtung und -geschwindigkeit, Standardabweichung der vertikalen Windrichtung σ_{ϕ}) mit denen des Meßmastes in den in Tab. 1/1 angegebenen Meßhöhen, die Verfügbarkeit des SODAR R und die Bestimmung der Ausbreitungsklasse. Die mögliche Beeinträchtigung der SODAR-Meßwerte durch Lärm wurde nicht systematisch ermittelt.

2. Betrieb des SODAR R

2.1 Aufbauphase

Die Lieferung des SODAR R erfolgte Mitte Oktober 1981. Nach mehreren Tests an verschiedenen Stellen auf der meteorologischen Wiese, s. Abb. 2/1, wurde der Standort in der Nordwest-Ecke bezogen, s. Abb. 2/2.

Nachdem eine Hütte für die SODAR-Elektronik, s. Abb. 2/3, und die Magnetbandaufzeichnung aufgestellt und eine 220-V-Versorgung eingerichtet worden war, wurde am 3. November 1981 der Betrieb in einer Aufbauphase aufgenommen.

Störungen innerhalb dieser Aufbauphase ergaben sich aus folgenden Gründen:

- fehlerhafte Eingabe von Parametern an der Tastatur des SODAR R,
- fehlerhafte Schalterstellungen an der angeschlossenen Schreib-/

Lesestation, die zur Datenaufzeichnung diente (zur Datenaufnahme am SODAR R, zur Datenwiedergabe auf einem Decwriter III oder zum Überspielen auf IBM-kompatible DV-Bänder stand zunächst nur eine Schreib-/Lesestation zur Verfügung, und je nach Einsatzart ergaben sich andere Schalterstellungen der Microswitches der Schreib-/Lesestation),

- zu niedrige Raumtemperatur (die SODAR-Elektronik benötigt zum einwandfreien Betrieb eine Umgebungstemperatur $> 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

2.2 Betriebsphasen

Der regelmäßige Betrieb begann am 17. November 1981, d. h. seit diesem Datum werden die Meßdaten archiviert. Beendet wurden die Messungen auf der meteorologischen Wiese am 19. November 1982. Anschließend wurde das SODAR R auf einem Platz bei der Kerntechnischen Hilfsdienst GmbH (KHG) vom 27. November 1982 bis 30. Dezember 1982 betrieben. Der Testzeitraum kann in drei Betriebs- und eine Reparatur und Umbauphase unterteilt werden.

2.2.1 Betriebsphase I (Zeitabschnitt 1 und 2)

Vom 17. November 1981 bis zum 2. Juni 1982 lief das Gerät störungsfrei.

Betriebsunterbrechungen ergaben sich, weil bis zum Beginn des Jahres 1982 nur eine Magnetband-Kassetten-Station zur Verfügung stand. Diese Schreib-/Lesestation wurde beim SODAR R entfernt, wenn Daten auf einem DECWRITER III geschrieben werden sollten bzw. wenn das Programm getestet wurde, mit dem die SODAR-Daten von den Kassetten auf Magnetbänder überspielt werden sollen. Zwei weitere Magnetband-Kassetten-Stationen, die für das Bertin-SODAR und zum Lesen der SODAR-Daten Anfang 1982 angeschafft worden waren, arbeiteten zunächst fehlerhaft und mußten an den Hersteller zurückgesandt werden. Die mit diesen Geräten aufgezeichneten Daten konnten zum Teil nicht mehr gelesen werden. Der Zeitabschnitt 2 endete mit dem 2. Juni 1983. Bis zum Beginn der Betriebsphase II (Zeitabschnitt 3) folgte eine mehrwöchige Reparatur- und Umbauphase.

2.2.2 Reparatur- und Umbauphase

Am 3. Juni 1982 fiel in der Nacht der Sender einer Antenne aus. Zum Zeitpunkt des Ausfalls gab es über dem KfK ein schweres Gewitter. Das Gerät wurde am 8. Juni 1982 von Herrn Scheithe von der Firma Rosenhagen repariert.

Ein Eingangsverstärker für das RESET-Signal war defekt. Nach Auswechseln des Bausteins 4049 war die Antenne wieder betriebsbereit. Da alle drei Antennen im Empfangsbetrieb brummten, wurden die Multiplexer für das unverstärkte Sendesignal ausgewechselt. Herr Scheithe vermutete, daß der letztgenannte Fehler über Induktion durch das Gewitter verursacht wurde. Auch am Rechner wurde ein Fehler festgestellt, dessen Ursache (ggf. Eingangsmultiplexer, EPROM) sich nicht lokalisieren ließ. Der Rechner ging zur Überprüfung zu Firma Rosenhagen.

Die Suche nach der Fehlerursache und die Reparatur wurden dazu ausgenutzt, eine Modifizierung des SODAR R vorzunehmen, s. Abschn. 3. Am 2. Juli 1982 ging das umgebaute SODAR R wieder in Betrieb. Fehlerhafte EPROMs führten dazu, daß der Routinebetrieb mit kontinuierlicher Datenaufzeichnung erst am 12. Juli 1982 wieder startete.

2.2.3 Betriebsphase II (Zeitabschnitt 3)

Die Betriebsphase II umfaßt die Zeit vom 12. Juli 1982 bis zum 19. November 1982. Am frühen Morgen des 21. Juli 1982 fiel Antenne 2 während eines Gewitters aus. Am 22. Juli 1982 stellten die Herren Dr. Peters und Scheithe fest, daß die Relais auf den SUE-Karten verbrannt waren, und die Einschaltautomatik der Antenne defekt war. Nach Wechsel eines Bausteins - jedoch nicht der Relais, die nicht verfügbar waren - arbeitete das SODAR normal.

Am 26. Juli 1982 fiel Antenne 2 erneut aus. Am 27. Juli 1982 tauschte die Firma Rosenhagen drei Empfangs- und drei Sendekarten. Danach arbeitete das SODAR wieder normal.

Auf Wunsch von Dr. Peters wurden die Verbindungskabel zwischen Antennen und Elektronik ca. 80 cm über dem Boden aufgeständert. Damit sollten durch Gewitter verursachte Schäden vermieden werden. Vom 27. Juli 1982 bis 19. November 1982 kam es neben den routinemäßigen Abschaltungen nur zu einem Systemausfall, der durch einen Neustart behoben werden konnte.

2.2.4 Betriebsphase III (Zeitabschnitt 4)

Die Betriebsphase III umfaßt die Zeit vom 27. November 1982 bis zum 30. Dezember 1982.

Das SODAR R wurde am 25. November 1982 von der meteorologischen Wiese innerhalb des KfK zum Gelände der Kerntechnischen Hilfsdienst GmbH (KHG) transportiert, s. Abb. 2/1, und dort am 27. November 1982 routinemäßig wieder in Betrieb genommen. Die KHG hatte sich mit einem mehrwöchigen Probetrieb auf ihrem Gelände einverstanden erklärt. Dieser sollte die Behauptung der Firma Rosenhagen klären, daß die in kleinen Höhen (40 m, 60 m) auftretende, vergleichsweise geringe Übereinstimmung zwischen SODAR- und Mast-Daten (σ_ϕ, u) standortspezifisch ist. Im Gegensatz zur meteorologischen Wiese ist der Wald am neuen Standort vom SODAR weit entfernt bzw. nach Süden und Westen nicht vorhanden, s. Abb. 2/4. Im Norden befindet sich ein Wagenunterstellplatz, die Betriebsgebäude, und ca. 200 m entfernt beginnt der Wald, s. Abb. 2/5. Das SODAR stand dort in einer Entfernung von 760 m in WNW-Richtung zum meteorologischen Mast.

Der neue Standort wurde in Übereinstimmung mit dem Hersteller geprüft und für gut befunden.

Nachdem das SODAR störungsfrei während der Betriebsphase III (Zeitabschnitt 4) funktioniert hatte, wurde es am 30. Dezember 1982 abgeschaltet und ins KfK zurück transportiert.

2.3 Betriebserfahrungen

Die Erfahrungen in der genannten Betriebszeit können in folgenden Punkten zusammengefaßt werden:

- Das Gerät ist problemlos aufzustellen.
- Der Aufstellungsort ist sorgfältig im Hinblick auf mögliche Stör-echos durch Wald, höhere Gebäude oder andere Hindernisse auszuwählen.
- Die Eingabe von Systemparametern ist übersichtlich und verständlich.
- Die Ausgabe der Meßdaten ist frei wählbar.
- Der Anschluß von Peripherie-Geräten (z. B. eines Magnetband-Kassetten-Gerätes) ist problemlos möglich.
- Die Antennen überstehen extreme Witterung (u. a. Schnee, gefrierende Nässe) ohne erkennbare Einflüsse.
- Auf Grund der Kabellänge ist die Entfernung Antenne/SODAR-Elektronik auf ca. 25 m begrenzt.
- Bei Stromausfall erfolgt kein automatischer Neustart des Systems. Beim Neustart müssen Datum und Uhrzeit neu eingegeben werden.
- Die mechanische Aufhängung der Stützen der mobilen Lafetten ist schwach. Das Eigengewicht mit zusätzlicher Belastung durch Nässe, Schnee, Eis hat die Aufhängung der Trailerstützen deformiert. Die Antennen mußten deshalb häufig neu nivelliert werden.
- Das Betriebssystem erfordert die Einhaltung bestimmter Umgebungstemperaturen.
- Bei der Aufstellung des SODAR R ist auf einen ausreichenden Blitzschutz zu achten.

- Im Herbst kommt es durch herabfallendes Laub in den Abflußkanälen der Lautsprecher zu Verstopfungen, die zu einer Wasseransammlung in den Lautsprechern und damit zur Unbrauchbarkeit führt. Eine Reinigung der Lautsprecher ist, da die Antennen begehbar sind, leicht durchführbar.

2.4 Schalldruck

Die drei SODAR-Antennen strahlen im 3-s-Rhythmus einen 1600-Hertz-Impuls ab. Diese regelmäßigen Schallimpulse stellen in der Nähe der Schalltrichter eine Lärmbelästigung dar, die mit zunehmender Entfernung rasch abnimmt, bis die Töne nur noch aufgrund der Frequenz und der gleichmäßigen Wiederholung erkennbar sind und als störend empfunden werden.

Von der Hauptabteilung Sicherheit wurden Schalldruckmessungen im Bereich bis zu den nächstliegenden Bürogebäuden vorgenommen. An jedem Meßort wurde nacheinander 3mal gemessen. Das Ergebnis, s. Abb. 2/6, zeigt, daß der Schalldruck linear, also mit ca. 6dB pro Abstandsverdoppelung, abnimmt (Strahler nullter Ordnung). Es ist eine deutliche und hörbare Abhängigkeit der Schalldrücke von der Neigungsrichtung der Antennen vorhanden: Ist die Antenne zum Beobachter hin geneigt, ist der Lärmpegel höher (obere Meßpunkte, Unterschied ca. 9dB(A)). An einem erhöhten Beobachtungspunkt liegt der Schalldruck erwartungsgemäß höher (um 5 bis 10dB(A) in 40 m Höhe).

Innerhalb der Bürogebäude, in 120 bis 135 m Entfernung, ist auch bei schräg geöffneten Fenstern die Schalldruckerhöhung kaum noch meßbar (ca. 0,5dB(A)). Allerdings kann der Einzelton deutlich wahrgenommen werden, wenn kein Untergrundlärm (z. B. Verkehr) mehr stört. Dies führte anfänglich zu einigen Beschwerden geistig arbeitender Mitarbeiter. Allerdings trat offenbar bald eine Gewöhnung ein; die Beschwerden blieben später aus.

Die in der Arbeitsstättenverordnung, § 15, geforderte maximale Grenze des Lärmpegels von 55dB(A) für geistige Tätigkeiten wird jedenfalls weit unterschritten.

3. Modifikation der Elektronik

Die Reparatur des SODAR R nach dem Antennenausfall am 3. Juni 1982 wurde in der Firma Rosenhagen durchgeführt. Im Zuge dieser Instandsetzung wurde gleichzeitig das Gerät modifiziert.

Im einzelnen sind folgende Erweiterungen vorgenommen worden:

- Das Auflösungsvermögen der Filterbank und damit des Radialwindbereiches im Bereich der Sendefrequenz wurde verdoppelt. Damit sollen Festechos von Dopplerechos geringer Frequenzverschiebung besser getrennt werden und so die Standardabweichung des Vertikalwindes zuverlässiger ermittelt werden.
- Außerhalb der bisherigen Filterbank sind zusätzliche Filter zur besseren Erkennung breitbandiger Störungen um das Meßsignal eingebaut worden.
- Der Speicher des Rechners ist erweitert worden, damit eine genauere Abfrage des besser aufgelösten Spektrums auf Signifikanz der Störeinflüsse und eine Berücksichtigung eventueller breitbandiger Störungen durchgeführt werden kann.
- Die Standardabweichung σ_w der vertikalen Windgeschwindigkeit wird nun nach zwei Methoden ermittelt:
 1. aus der Breite des mittleren Doppler-Peaks (wie bisher),
 2. aus der statistischen Behandlung der Momentanwerte (100 m Höhe, neu aber noch nicht ausgewertet).

4. Berechnung der Windrichtung und -geschwindigkeit aus den drei gemessenen Komponenten

Das monostatische Doppler-SODAR misst im zyklischen 3-s-Rhythmus, s. Abb. 4/1,

- die vertikale Windgeschwindigkeitskomponente r_3 ,
- zwei um den Winkel ϕ gegen die Vertikale geneigte Windgeschwindigkeitskomponenten r_1 und r_2 .

Die beiden Ebenen $r_1 - r_3$ und $r_2 - r_3$ (Neigungsebenen) stehen aufeinander senkrecht. Der Winkel ϕ wurde einheitlich auf 20° festgelegt.

Gesucht wird die Projektion u des wahren Windvektors auf die horizontale Ebene. Zunächst können dessen Projektionen auf die vertikalen Neigungsebenen bestimmt werden. Die Projektion auf die Ebene $r_1 - r_3$, s. Abb. 4/1, sei C . Die Geschwindigkeitskomponenten in Richtung der beiden Schallstrahlen, r_1 und r_3 , sind nach jedem Meßzyklus bekannt. Aus ihnen wird die Projektion von C in die Horizontale, nämlich A bzw. $A' = A$, bestimmt. Aus Abb. 4/1 kann unmittelbar abgelesen werden:

$$(4-1) \quad A = \frac{r_1 - r_3 \cos \phi}{\sin \phi}.$$

Mit $\phi = 20^\circ$ ergibt sich für die Anordnung der Antennen im KfK:

$$(4-2) \quad A = 2,92 (r_1 - 0,94 \cdot r_3).$$

B wird analog zu A in der Neigungsebene $r_2 - r_3$ bestimmt:

$$(4-3) \quad B = \frac{r_2 - r_3 \cos \phi}{\sin \phi}.$$

Aus den beiden orthogonalen Windkomponenten A und B wird entsprechend Abb. 4/2 die horizontale Windgeschwindigkeit u und die horizontale Windrichtung θ bestimmt.

Der Winkel α ist von der Ausrichtung der Antennen her bekannt.

Der Winkel θ^* zwischen u und der Nordrichtung ist, s. Abb. 4/2:

$$(4-4) \quad \theta^* = \alpha - \arctan \frac{r_2 - r_3 \cos \phi}{r_1 - r_3 \cos \phi}.$$

(Beachte: meteorologische Windrichtung $\theta = \theta^* + 180^\circ$.)

Damit kann die horizontale Windgeschwindigkeit u berechnet werden:

$$(4-5) \quad u = \frac{A}{\cos(\alpha - \theta^*)}$$

Aus Abb. 4/1 können die Bedingungen der Festlegung des Winkels ϕ ersehen werden: Wird ϕ kleiner, dann nähern sich r_1 und r_3 einander an. A wird dann aus der Differenz zweier fast gleichgroßer Zahlen berechnet; der Fehler kann entsprechend groß werden. Wird ϕ größer, dann rücken die Meßvolumina für r_1 und r_3 weiter auseinander, so daß die Komponenten r_1 und r_3 weniger gut miteinander korreliert sind. Dies gilt umso stärker, je weniger homogen das Geschwindigkeitsfeld in der atmosphärischen Grenzschicht ist (z. B. Einfluß von Konvektion oder einer stark strukturierten Bodenoberfläche).

Liegen solche atmosphärischen Störeinflüsse vor, welche alle drei gemessenen Komponenten in gleicher Weise beeinflussen, d. h. einen Meßfehler aller drei Komponenten bewirken, dann ist, wie man aus Gleichung 3-4 entnehmen kann, der Einfluß auf θ^* gering, da er zumindest teilweise kompensiert wird. Daher ist, verglichen mit u , eine geringere Störanfälligkeit der θ^* -Messung zu erwarten.

5. Direkter Vergleich von SODAR- und Mastdaten

Zum direkten Vergleich von SODAR- und Mastdaten werden die Meßwerte vom 24.07.1982 aus 100 m Höhe als Zeitreihe über 24 h dargestellt. Auf der Abszisse ist jeweils die Uhrzeit in MEZ, auf der Ordinate sind die Meßwerte des SODAR und des Mastes aufgetragen. Die jeweils vollen 10 min zugeordneten Meßwerte sind durch gerade Striche verbunden.

5.1 Zeitreihen ohne und mit Regen vom 24.07.1982

Abb. 5/1 zeigt die Regenmenge mit logarithmischem Maßstab. Die Regenmenge wurde auf mm/h umgerechnet.

5.1.1 Rückstreuamplitude

Abb. 5/2 zeigt die Rückstreuamplitude der vertikal gerichteten Antenne. Die Amplitude schwankt sehr stark von einem 10-Minuten-Mittelwert zum nächsten. Bei einsetzendem Regen, vgl. Abb. 5/1, nimmt die Amplitude ab ca. 14:00 zunächst ab. Während des starken Regens von teilweise über 10 mm/h ist die Amplitude sehr klein bzw. liefert das SODAR keine Meßwerte mehr, vergleiche dazu auch die Abb. 5/3 und 5/4. Ab ca. 22:00 wächst die Amplitude wieder trotz immer noch starken Regens und erreicht gegen 23:00 bei nur noch geringem Niederschlag normale Werte.

5.1.2 Windgeschwindigkeit

Abb. 5/3 zeigt die mit dem SODAR (durchgezogene Linie) und am Mast (gestrichelte Linie) gemessene Windgeschwindigkeit. Die beiden Meßwerte sind im allgemeinen gut miteinander korreliert. Der Meßwert des SODAR liegt im Mittel um 0,3 m/s unter dem Meßwert vom Mast.

Der Regen hat keinen Einfluß auf die Übereinstimmung der Meßwerte. Wie bei der Rückstreuamplitude bereits festgestellt, liefert das SODAR keine Meßwerte bei starkem Regen.

5.1.3 Windrichtung

Abb. 5/4 zeigt in analoger Weise die gemessenen Windrichtungen. Die beiden Meßwerte sind gut miteinander korreliert. Das im Kap. 5.1.2 für die Windgeschwindigkeit beschriebene gilt auch für die Windrichtung.

5.1.4 Standardabweichung σ_ϕ der vertikalen Windrichtung

Das SODAR R bestimmt die Standardabweichung σ_w der vertikalen Geschwindigkeitskomponente w. Mit Hilfe des Mittelwerts der horizontalen Windgeschwindigkeitskomponente u wird das σ_ϕ des SODAR R nachträglich berechnet:

$$(5-1) \quad \sigma_\phi = \arctan (\sigma_w/u).$$

Die Mast- und SODAR-Meßwerte sind in Abb. 5/5 dargestellt. Der mit dem SODAR gemessene Wert schwankt sehr stark, auch von einem 10-Minuten-Mittelwert zum folgenden. Spitzen von σ_ϕ sind häufig mit Spitzen der Rückstreuamplitude korreliert, wie ein Vergleich mit Abb. 5/2 zeigt. Außerdem sind Spitzen von σ_ϕ durch kleine Windgeschwindigkeiten des SODAR verursacht (Spitzen der Windgeschwindigkeit in Abb. 5/3 nach unten).

Die σ_ϕ -Werte des SODAR liegen fast immer höher als die vom Mast. Es gibt jedoch auch Zeiten, in denen die σ_ϕ -Werte des SODAR unter denen vom Mast liegen. In diesen Zeiten ist die Rückstreuamplitude meist klein, wie ein Vergleich mit Abb. 5/2 zeigt. Auch bei starkem Regen liegen die σ_ϕ -Werte vom SODAR unter denjenigen vom Mast.

5.1.5 Standardabweichung σ_w des Vertikalwindes

Abb. 5/6 zeigt einen Vergleich der Standardabweichungen σ_w des Vertikalwindes (SODAR) und σ_ϕ der vertikalen Windrichtung (Mast), ebenfalls vom 24.07.1982. Hiermit wird verdeutlicht, daß die in

Abb. 5/5 beim σ_{ϕ} /SODAR auftretenden extremen Spitzen nicht beim σ_w zu suchen sind, sondern auf kleinen, zeitlich zugeordneten Windgeschwindigkeiten beruhen. Außerdem zeigt Abb. 5/6, daß an diesem Tage keine gute Korrelation zwischen σ_w und σ_{ϕ} vorliegt; denn die Verläufe beider Kurven sind sehr unterschiedlich.

5.2 Zeitreihen mit Schneefall vom 24.12.1981

Abb. 5/7 zeigt den gefallenen Niederschlag in Abhängigkeit der Zeit. Die festgestellte Beeinflussung der SODAR-Meßgrößen bezieht sich auch auf Erfahrungen bei Schneefall am 25.12.1981, am 10.01.1982 und 11.01.1982.

5.2.1 Rückstreuamplitude

Abb. 5/8 zeigt die entsprechende Zeitreihe. Wie bereits in Kap. 5.1.1 festgestellt, schwankt die Amplitude zeitlich stark. Bei Schneefall nimmt die Amplitude ab.

5.2.2 Windgeschwindigkeit

Abb. 5/9 zeigt die entsprechende Zeitreihe. Insgesamt sind die beiden Meßwertreihen wieder gut korreliert. Im Gegensatz zu den Aussagen in Kap. 5.1.2 liegen die SODAR-Werte bei Schneefall deutlich höher als die Mastwerte. Außerdem liefert das SODAR bei starkem Schneefall manchmal keine Meßwerte.

5.2.3 Windrichtung

Abb. 5/10 zeigt die entsprechenden Zeitreihen. Bei starkem Schneefall fällt der Meßwert manchmal aus.

5.2.4 Standardabweichung σ_{ϕ} der vertikalen Windrichtung

Die Meßwerte von Mast und SODAR sind in Abb. 5/11 dargestellt. Im Gegensatz zu dem Befund am 24.07.1982, Kap. 5.1.4, liegen die SODAR-Werte häufig unter den Mast-Werten bzw. sind längere Zeit

gleich Null. Dieser Effekt tritt auch zu Zeiten ohne Schneefall auf. Sehr kleine SODAR-Werte sind meist mit kleinen Rückstreuamplituden korreliert.

5.3 Höhenprofile

5.3.1 Windgeschwindigkeit

In Abb. 5/12 sind die mit SODAR und am Mast gemessenen Höhenprofile der horizontalen Windgeschwindigkeit dargestellt. Es handelt sich um einen Einstunden-Mittelwert mit typisch neutraler Schichtung. Das am Mast gemessene Profil ist glatter und zeigt einen monotoneren Verlauf. Die SODAR-Werte liegen meist niedriger als diejenigen vom Mast. Diese Erfahrungen beziehen sich auch auf andere Zeitabschnitte und gelten meist generell.

5.3.2 Rückstreuamplitude

Abb. 5/13 zeigt das Höhenprofil der Rückstreuamplitude, das mit der vertikal gerichteten Antenne gemessen wird. Es handelt sich um einen 30-Minuten-Mittelwert. Das hier gezeigte Profil mit dem ausgeprägten Maximum in niedriger Höhe ist typisch für eine stabile Schichtung. Die Standardabweichung σ_{ϕ} der vertikalen Windrichtung aus 100 m Höhe gibt die Kategorie E an. In einer weiteren Auswertung der SODAR-Messungen soll untersucht werden, wie diese Profile bei der Kategorie-Bestimmung verwendet werden können.

6. Vergleich durch Regressionsgeraden

6.1 Theorie

In einem kartesischen Koordinatensystem werden die simultan gewonnenen Wertepaare als Punkte eingetragen.

x-Koordinate: SODAR-Wert,
y-Koordinate: MAST-Wert.

Durch die sich ergebende Punktwolke wird die Regressionsgerade

$$(6-1) \quad Y = B + A \cdot x$$

so gelegt, daß die Summe Q der Quadrate der Abstände der Punkte von der Geraden minimal wird.

$$(6-2) \quad Q = \sum_{i=1}^N (y_i - B - Ax_i)^2.$$

N ist die Zahl der Punkte bzw. Wertepaare x_i, y_i .

Die Regressionsgerade wird nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate konstruiert. Dazu werden die partiellen Ableitungen von Q nach A und B gleich Null gesetzt.

$$(6-3) \quad \frac{\partial Q}{\partial A} = -2 \sum (y_i - B - Ax_i) x_i = 0$$

$$(6-4) \quad \frac{\partial Q}{\partial B} = -2 \sum (y_i - B - Ax_i) = 0.$$

Aus den beiden Gleichungen (6-3) und (6-4) ergeben sich die beiden gesuchten Größen

A: Steigung der Regressionsgeraden,

B: y-Achsen-Abschnitt.

$$A = \frac{\frac{1}{N} \sum x_i y_i - \left(\frac{1}{N} \sum x_i\right) \left(\frac{1}{N} \sum y_i\right)}{\frac{1}{N} \sum x_i^2 - \left(\frac{1}{N} \sum x_i\right)^2}$$

$$(6-5) \quad = \frac{\frac{1}{N} \sum x_i y_i - \bar{x} \bar{y}}{\bar{x}^2 - \bar{x}^2} = \frac{\text{cov}(x, y)}{\text{var}(x)}$$

$$(6-6) \quad B = \frac{1}{N} \sum y_i - A \frac{1}{N} \sum x_i = \bar{y} - A \bar{x}$$

Als Maß für die Stärke des Zusammenhangs der Wertpaare x_i, y_i wird der Korrelationskoeffizient

$$(6-7) \quad R = \frac{\text{cov}(x,y)}{\sqrt{\text{var}(x) \cdot \text{var}(y)}} = A \sqrt{\frac{\text{var}(x)}{\text{var}(y)}}$$

$$= \frac{\frac{1}{N} \sum x_i y_i - \left(\frac{1}{N} \sum x_i\right) \left(\frac{1}{N} \sum y_i\right)}{\sqrt{\left(\frac{1}{N} \sum x_i^2 - \left(\frac{1}{N} \sum x_i\right)^2\right) \left(\frac{1}{N} \sum y_i^2 - \left(\frac{1}{N} \sum y_i\right)^2\right)}}$$

angegeben. R ist unabhängig von den Dimensionen der Meßwerte x_i und y_i und ist normiert. Sind die Wertepaare exakt korreliert, d. h. liegen die x_i, y_i -Wertepaare auf der Regressionsgeraden, so ist $R=1$. Sind die Meßwerte x_i und y_i identisch, so ist $A=1$ und $B=0$, d. h. die Regressionsgerade wird zur Winkelhalbierenden des 1. Quadranten der x-y-Ebene.

6.2 Allgemeines Vorgehen

In den Tabn. 6/1 bis 6/4 sind für die in Kap. 1 beschriebenen Zeitabschnitte die Kenngrößen A, B und N der Regressionsgeraden und der Korrelationskoeffizient R zusammengestellt. Eine Ausnahme bezüglich der Zeitabschnitte bildet Tab. 6/4 für σ_ϕ . Die Angaben beziehen sich auf alle Meßhöhen, in denen Vergleiche möglich sind.

Dabei fanden nur solche Meßwertepaare Verwendung, bei denen die zeitlich und in der Höhe zugeordneten SODAR-Meßwerte der Windgeschwindigkeit kleiner oder gleich 30 m/s und die vertikale Rückstreuamplitude größer als 10 mV ist. In den ersten beiden Zeitabschnitten (17.11.1981 - 02.06.1982) lieferte das SODAR keine Windgeschwindig-

keiten, die über 30 m/s lagen. Im dritten Zeitabschnitt traten zwischen dem 19.07.1982 und 13.11.1982 in allen betrachteten Höhen 5 bis 7 solcher Überschreitungen auf; der Meßwert betrug in diesen Fällen weit über 30 m/s. Im vierten Zeitabschnitt trat nur am 27.11.1982 in der Höhe 80 m eine Überschreitung mit 69 m/s auf.

6.3 Windrichtung

In den Abbn. 6/1 bis 6/6 sind die Punktwolken der Wertepaare der Höhen 40 m, 100 m und 200 m und die daraus errechneten Regressionsgeraden des zweiten und dritten Zeitabschnitts dargestellt. Die Zusammenstellung der Ergebnisse in Tab. 6/1 erlaubt folgende Schlüsse:

- Der Korrelationskoeffizient R ist größer als 0,9.
- Die Übereinstimmung ist nicht in allen Zeitabschnitten gleich gut.
- Der zweite Zeitabschnitt (01.03.1982 - 02.06.1982) zeigt die besten Übereinstimmungen, das ist im Frühjahr und Sommer vor der Modifikation der SODAR-Elektronik. Die Korrelation ist hier sehr gut und unabhängig von der Höhe. Die Regressionsgerade geht fast durch den Ursprung und hat die Steigerung 1, d. h. die Mast- und SODAR-Werte sind im Mittel gleich groß.
- Nur wenig schlechter ist die Übereinstimmung im Zeitabschnitt 1 während des Winters. Allerdings nimmt hier die Korrelation von 40 m auf 60 m stark und bis 100 m noch leicht zu. Wie im Zeitabschnitt 2 sind die Mast- und SODAR-Werte im Mittel gleich groß.
- Die Übereinstimmung verschlechtert sich im dritten Zeitabschnitt in der Höhe 40 m und - abgeschwächt - in der Höhe 60 m. Das zeigen auch die Abbn. 6/1 und 6/4, s. die abseits der Regressionsgeraden dichteren Punktwolken auf der Abb. 6/4. Ursache sind u.a. auch die seltenen

extrem hohen Windgeschwindigkeitswerte des SODAR R.

- Nach dem Standortwechsel (im vierten Zeitabschnitt) war die Übereinstimmung wieder besser, aber nicht so gut, wie vor der Modifikation der Elektronik.

6.4 Windgeschwindigkeit

In den Abbn. 6/7 bis 6/12 sind die Punktwolken der Wertepaare der Höhen 40 m, 100 m und 200 m für die Zeitabschnitte 2 und 3 sowie die Regressionsgeraden dargestellt. Die Zusammenstellung der Ergebnisse in Tab. 6/2 erlaubt folgende Schlüsse:

- Die Korrelation zwischen Mast- und SODAR-Werten nimmt mit der Höhe zu, von 40 m bis 80 m stark, dann nur noch geringfügig.
- Der Korrelationskoeffizient R ist ab 80 m Höhe größer als 0.9.
- Die Mastwerte liegen, besonders bei niedrigen Windgeschwindigkeiten höher als die des SODAR, wie der Wert von B in Tab. 6/2 zeigt. Der Unterschied beträgt bei 40 m über 1 m/s und nimmt mit der Höhe ab.
- Die mittlere Übereinstimmung von Mast- und SODAR-Werten nimmt mit der Höhe zu; denn B nimmt mit der Höhe ab und A nähert sich 1, d. h. die Regressionsgerade wird mit wachsender Höhe mehr und mehr zur Winkelhalbierenden von x- und y-Achse.
- Bezüglich der bisherigen Aussagen gibt es bei Höhen von 80 m und darüber keine Unterschiede zwischen den ersten drei Zeitabschnitten. Bei 40 m und 60 m dagegen ist die Korrelation im dritten Zeitabschnitt deutlich schlechter, wie z. B. auch die Abb. 6/10 deutlich zeigt. Ursache sind die extrem hohen Windgeschwindigkeitswerte des SODAR R, wie in Kap. 6.2 und 6.3 bereits aufgeführt. Diese hohen Werte wirken sich stärker aus bei den in kleineren Höhen im Mittel niedrigeren Windgeschwindigkeiten.

- Im 4. Zeitabschnitt, als das SODAR einen anderen Standort hatte, ist die Korrelation wesentlich besser als vorher. Auch die Regressionsgerade unterscheidet sich weniger von der Winkelhalbierenden.

Die zeitliche Mittelung der Windgeschwindigkeiten erfolgt beim SODAR vektorieU beim Mast skalar. Bei starken Windrichtungsschwankungen innerhalb des Mittelungsintervalls liegt das skalare Mittel höher, d. h. der Mast liefert theoretisch höhere Windgeschwindigkeiten. Bei kleinen Windgeschwindigkeiten und kleinen Höhen sind Windrichtungsschwankungen i. a. größer; der Unterschied zwischen den Geschwindigkeiten von Mast und vom SODAR müßte unter diesen Umständen größer sein. Tatsächlich sind die am Mast gemessenen Windgeschwindigkeiten auch größer, vor allem in kleinen Höhen. Es war zu untersuchen, ob dieser beobachtete Unterschied durch die andersartige Mittelung bedingt sein kann.

Die Windgeschwindigkeiten des Zeitabschnittes 2 (01.03.1982 bis 02.06.1982) wurden deshalb nochmals korreliert. Dabei wurden diejenigen Wertepaare verworfen, bei denen die zeitlich und in der Höhe zugeordnete Standardabweichung Σ_{θ} der horizontalen Windrichtung größer als 10° ist. Σ_{θ} wird digital aus Momentanwerten berechnet, die von Schwertwindfahnen am Mast stammen.

Die Ergebnisse sind in Tab. 6/3 mit denjenigen ohne Einschränkung durch Σ_{θ} verglichen. Die Zahl der korrelierten Wertepaare geht, wie erwartet, stark zurück. Die Regressionsgeraden und der Korrelationskoeffizient ändern sich jedoch kaum. Der vermutete Zusammenhang mit der Art der Mittelung ist damit unseres Erachtens widerlegt. Das wird auch durch eine theoretische Untersuchung des Fehlers durch skalare Mittelung der Windgeschwindigkeit [CO82] belegt, in welcher dieser Fehler auf wenige Prozent beziffert wird.

6.5 Standardabweichung σ_ϕ der vertikalen Windrichtung

In den Abbn. 6/13 bis 6/15 sind die Punktwolken der Wertepaare für den dritten Zeitabschnitt der Höhen 40 m ... 100 m und 160 m und die Regressionsgeraden dargestellt.

Tab. 6/4 zeigt den Vergleich der Standardabweichung σ_ϕ der vertikalen Windrichtung. Der erste Zeitabschnitt wurde nicht in Tab. 6/4 aufgenommen, da keine Korrelation feststellbar war. Dagegen wurde im Juli/August 1982 unmittelbar nach der Modifikation der Elektronik eine deutliche Verbesserung der Korrelation festgestellt. Deshalb ist in Tab. 6/4 auch der Zeitabschnitt 12.07.1982 bis 31.08.1982 aufgenommen worden.

Tab. 6/4 erlaubt folgende Schlüsse:

- In der Höhe 40 m sind die SODAR- und Mastwerte nicht korreliert.
- In 100 m und 160 m Höhe ist im Zeitabschnitt 2 und 3 eine Korrelation vorhanden.
- In 160 m Höhe sind die σ_ϕ -Werte besser korreliert als in 100 m Höhe.
- Nach dem 12.07.1982 verbesserte sich die Korrelation zunächst deutlich.
- Im dritten Zeitabschnitt verschlechterte sich die Korrelation wieder. Das wird auch durch den 4. Zeitabschnitt belegt, in welchem SODAR- und Mastdaten unkorreliert sind.

7. Bestimmung der Ausbreitungskategorie mit Hilfe des σ_ϕ

Die Ausbreitungskategorie (nach Pasquill mit den Buchstaben A bis F bezeichnet) kann mit Hilfe verschiedener Verfahren bestimmt werden. Dabei werden meteorologische Parameter benutzt, welche die atmosphärische Turbulenz mehr oder weniger direkt charakterisieren. Am KfK wurden fünf solche Verfahren auf ihre Zuverlässigkeit geprüft und miteinander verglichen [NE80]. Vorbedingung für deren Vergleichbarkeit ist die "statistische Äquivalenz", d. h. im Vergleichszeitraum liefern alle Verfahren die annähernd gleiche Häufigkeit der einzelnen Ausbreitungskategorien. Als zuverlässigstes von diesen fünf untersuchten Verfahren kann die Kategoriebestimmung nach σ_ϕ angesehen werden; denn σ_ϕ ist in diesem Zusammenhang die direkteste Meßgröße der atmosphärischen Turbulenz. σ_ϕ wird im KfK mit einer Vektorfahne in 100 m Höhe am Mast gemessen.

Im folgenden wird das Schema beschrieben, mit dem die Ausbreitungskategorie mit Hilfe des σ_ϕ des SODAR R in 100 m Höhe bestimmt werden kann.

Wie in Kap. 6/5 beschrieben, stimmen die am Mast und mit dem SODAR R ermittelten σ_ϕ nicht direkt überein. Deshalb werden für das σ_ϕ des SODAR R neue Grenzen statistisch äquivalent festgelegt.

Der betrachtete Zeitraum ist der Zeitabschnitt 3 (12.07.1982 - 19.11.1982). Dieser beginnt nach der Modifikation der SODAR-Elektronik; das SODAR stand auf der meteorologischen Wiese nahe dem Mast. Die Kategorien werden aus 30-Minuten-Mittelwerten bestimmt. Dazu werden die dafür benötigten 10-Minuten-Mittelwerte der Standardabweichung σ_w des Vertikalwindes und der Windgeschwindigkeit u geprüft und verworfen, wenn die zugehörige vertikale Amplitude A_w kleiner als 11 mV oder wenn u größer als 30 m/s ist. Anschließend werden die 30-Minuten-Mittelwerte von σ_w und u ermittelt und mit diesen das σ_ϕ berechnet. In einem weiteren Verfahren werden die 30-Minuten-Mittelwerte von σ_ϕ verworfen, wenn der zugehörige 30-Minuten-Mittelwert \bar{A}_w kleiner als 150 mV ist. Es werden stets

nur diejenigen 30-Minuten-Intervalle berücksichtigt, in denen Mast- und SODAR-Werte vorhanden sind. Dadurch ergeben sich 4894 Wertepaare mit und 4507 Wertepaare ohne Einschränkung von $\overline{A}_W > 150$ mV (bei 6240 möglichen Wertepaaren). In Abb. 7/1 sind die Grenzwerte, die zur Kategorienbestimmung verwendet werden, zusammengestellt. Die zum σ_ϕ /Vektorfahnegehörenden Grenzen sind [NE80] entnommen und werden im KfK angewandt.

Die Tabn. 7/1 und 7/2 zeigen die Korrelationsschemata, die folgendermaßen zu lesen sind: Die letzte Zeile bzw. Spalte gibt an, wie häufig eine Kategorie im betrachteten Zeitintervall auftritt, wenn nach σ_ϕ /Vektorfahne bzw. nach σ_ϕ /SODAR R eingeteilt wurde. Die Forderung nach statistischer Äquivalenz verlangt, daß die einander zugeordneten Zahlen weitgehend identisch sind. Die Zahl 3,06 %, die z. B. in Tab. 7/1 im Schnittpunkt der Spalte D mit der Zeile C steht, gibt die Häufigkeit an, mit der nach σ_ϕ /Vektorfahne die Kategorie D und nach σ_ϕ /SODAR, die Kategorie C erfolgt. Die Zahlen in der Diagonalen geben die Häufigkeiten an, mit der beide Verfahren die gleiche Kategorie bestimmen. Je weiter die Häufigkeitsangabe von der Diagonalen entfernt ist, um so unterschiedlicher sind die Kategorien, die nach beiden Verfahren bestimmt werden.

Aus den Tabn. 7/1 und 7/2 läßt sich auszählen, wie häufig die nach beiden Schemata bestimmten Kategorien übereinstimmen, wie häufig sie sich um 1 Stufe, um 2 Stufen und mehr unterscheiden. Das Ergebnis dieser Auszählung ist in Tab. 7/3 denen der anderen Schemata, die im KfK Anwendung finden, gegenübergestellt. Die Zahlen, die zu den Vergleichsschemata gehören, entstammen [NE80]. Sie beziehen sich auf einen Zeitraum von 5 Jahren (1973-1977).

Aufgrund der Tabn. 7/1 bis 7/3 lassen sich die folgenden Aussagen machen:

- Die Häufigkeit übereinstimmender Kategorien ist im Vergleich zu anderen Bestimmungsschemata niedrig.

- Die Häufigkeit der Kategorienabweichung um zwei und mehr Stufen ist im Vergleich zu anderen Bestimmungsschemata hoch.
- Ein Aussortieren von SODAR-Daten mit Hilfe der vertikalen Rückstreuamplitude bringt nur eine unbedeutende Verbesserung.
- Die Übereinstimmung ist relativ besser bei neutraler als bei labiler oder stabiler Schichtung.

Die relativ schlechte Korrelation zwischen der Kategorienbestimmung nach Vektorfahne und SODAR hängt offenbar ursächlich mit der Verschlechterung der Korrelation zwischen σ_ϕ /Vektorfahne und σ_ϕ /SODAR R nach dem 31.08.1982, s. Kap. 6.5, zusammen.

Ähnliche Ergebnisse werden in [GL82] veröffentlicht. Dabei werden Schemata nach der Standardabweichung σ_w des Vertikalwindes und nach dem Temperaturgradienten miteinander verglichen. Die σ_w -Werte stammen ebenfalls von einem Doppler-SODAR.

Eine bessere Korrelation der Kategorien, jeweils bestimmt durch Vektorfahne und SODAR, sind möglicherweise durch folgende Änderungen im SODAR-Schema zu erwarten:

- σ_ϕ wird als Mittelwert aus den Höhen 80 m, 100 m und 120 m berechnet.
- Neben σ_ϕ wird auch das Höhenprofil der vertikalen Rückstreuamplitude A_w bei der Kategorienbestimmung verwendet.

8. Verfügbarkeit der SODAR-Meßwerte

Für den Zeitabschnitt 3 (12.07.1982 bis 19.11.1982) wurde untersucht, wie häufig Meßwerte in Abhängigkeit der Höhe ausfallen. Es werden nur Zeiten berücksichtigt, in denen das SODAR in Betrieb war. Windrichtung und Windgeschwindigkeit unterscheiden sich in ihrer Ausfallrate kaum. Daher ist nur diejenige der Windrichtung angegeben. Die

Standardabweichungen σ_w und σ_ϕ des Vertikalwindes und der vertikalen Windrichtung sind ebenfalls aufgeführt. σ_ϕ fällt am häufigsten aus, da σ_ϕ aus der Windgeschwindigkeit und aus σ_w berechnet wird.

Unterschieden wird zwischen Zeiten

- mit und ohne Niederschlag (in Abb. 8/1 $A_w, \theta, \sigma_w, \sigma_\phi$)
- mit Niederschlag $\geq 0,5$ mm/h (in Abb. 8/1 $A'_w, \theta', \text{ff.}$)
- mit Niederschlag $\geq 3,0$ mm/h (in Abb. 8/1 $A''_w, \theta'', \text{ff.}$).

Die Ergebnisse sind in Tab. 8/1 und Abb. 8/1 zusammengestellt.

Anhand von Tab. 8/1 lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Wird bezüglich des Niederschlags nicht differenziert, so sind die Ausfallraten bis 120 m annähernd konstant und wachsen dann mit der Höhe rasch an.
- Die Ausfälle nehmen mit der Niederschlagsintensität stark zu. Das gilt besonders für A_w und σ_w .
- Bei Niederschlag nehmen die Ausfallraten zunächst mit der Höhe ab und steigen anschließend wieder an.
- Die höchste Verfügbarkeit haben die vertikale Rückstreuamplitude A_w und die Standardabweichung σ_w des Vertikalwindes.
- Windrichtung und Windgeschwindigkeit fallen bis zu einer Höhe von 120 m in etwa 7 % der Zeit aus. Die Ausfallraten der entsprechenden Mastinstrumente liegen unabhängig von der Höhe im gesamten Jahr 1982 unter 0,8 % (Schwertwindfahnen) und unter 4 % (Anemometer).

9. Zusammengefaßte Bewertung

Folgende Feststellungen können aufgrund des Testbetriebs und des Datenvergleichs getroffen werden.

9.1 Aufstellung und Betrieb

- Das SODAR R, Typ DS 108, hat in über 1jährigem Betrieb eine hohe zeitliche Verfügbarkeit bewiesen.
- Winterliche Verhältnisse (Schnee, gefrierende Nässe) haben den Betrieb nicht beeinträchtigt.
- Das SODAR R sollte gegen Blitzschlag geschützt werden.
- Bei der Wahl des Aufstellungsortes sind
 - a) störende Festechos durch einen ausreichenden Abstand von Wald, Gebäuden und anderen Hindernissen möglichst zu vermeiden,
 - b) die Geräuschbelästigungen durch die monoton wiederholten Schallimpulse zu berücksichtigen.

9.2 Meßwerte

- Die Verfügbarkeit der Meßinformation ist stark von den atmosphärischen Bedingungen beeinflusst; daher weichen die Meßwerte gelegentlich stark von den am Mast gemessenen ab, ohne durch Plausibilitätsprüfungen verworfen zu werden.
- Folgende Korrelationskoeffizienten wurden beim Vergleich der Meßwerte des SODAR R mit denen des Meßmastes ermittelt:

R \geq 0,9	Windrichtung
R \geq 0,9	Windgeschwindigkeit ab 80 m
R $>$ 0,7	Standardabweichung σ_{ϕ} ab 100 m Höhe im Zeitabschnitt vom 12.07. 1982 bis 31.08.1982.

Daraus wird geschlossen:

- Die Windrichtung wird in allen Höhen zuverlässig gemessen.
- Die Windgeschwindigkeit wird ab 80 m an beiden Standorten, s. Kap. 2, zuverlässig gemessen.
- Bei Stationierung des SODAR auf der Meßwiese war der Meßwert in 40 m und 60 m Höhe teilweise beeinträchtigt.
- Die mit dem SODAR gemessenen Windgeschwindigkeiten sind im Mittel kleiner als die des Mastes; die Unterschiede nehmen mit steigender Höhe ab.
- Die aus σ_w und u berechnete Standardabweichung σ_ϕ kann ab 100 m Höhe zur Bestimmung der Ausbreitungskategorie verwendet werden. Die bei "statistischer Äquivalenz" bestimmte Ausbreitungskategorie weicht im Einzelfall relativ häufig von der mit einer Vektorfahne bestimmten Kategorie ab.

- [DI76] Dilger, H.:
Das meteorologische Meßsystem des Kernforschungszentrums
Karlsruhe,
KFK 2347 (1976)
- [CO82] Coppin, P. A.:
An Examination of Cup Anemometer Overspeeding,
Met. Rundschau 35, S. 1-11 (1982)
- [GL82] Gland, H., J. P. Granier:
Acoustic Sounder Data Meteorological Input in Dispersion
Estimates, 13th Intern. Techn. Meeting on Air Poll. Modeling
and its Application,
Ile des Embiez, France (1982)
- [NE80] Nester, K.:
Statistisch äquivalente Verfahren zur Bestimmung von Aus-
breitungskategorien,
Seminar on Radioactive Releases and their Dispersion in the
Atmosphere following a Hypothetical Reactor Accident,
Risø (1980)
- [SU74] Süß, F., P. Thomas:
On-line Datenerfassung und Datenaufbereitung in einer Kopplung
meteorologischer Turm - PDP-8/I - CALAS-System,
KFK 1934 (1974)

Meßhöhe			
200 m	θ	u	
160 m	θ	u	σ_ϕ
100 m	θ	u	σ_ϕ
80 m	θ	u	
60 m	θ	u	
40 m	θ	u	σ_ϕ

Tab. 1/1: Meßhöhe, in denen die Mast- und SODAR-Meßwerte verglichen wurden.

θ Windrichtung

u Windgeschwindigkeit

σ_ϕ Standardabweichung der vertikalen
Windrichtung

Höhe	40 m	60 m	80 m	100 m	160 m	200 m	
B in Grad	5,7	-5,5	-4,0	-4,6	-0,8	3,7	17.11.81-28.2.82
A	0,976	1,015	1,005	0,997	0,983	0,979	
R	0,900	0,949	0,966	0,978	0,972	0,968	
N	9961	10246	10292	10045	9887	9479	
B	2,9	-1,7	-1,0	-1,8	-0,6	2,3	1.3.-2.6.82
A	0,973	0,975	0,981	0,977	0,978	0,974	
R	0,976	0,981	0,983	0,982	0,981	0,975	
N	10501	11427	11779	12066	12250	12111	
B	24,1	7,0	2,6	5,8	6,7	5,9	12.7.-19.11.82
A	0,821	0,907	0,941	0,915	0,936	0,941	
R	0,889	0,937	0,959	0,952	0,957	0,971	
N	15934	15901	15893	15884	15280	13566	
B	-17,7	-12,2	-5,3	-3,1	-0,8	1,8	27.11.-30.12.82
A	1,061	1,026	1,014	0,982	0,997	0,984	
R	0,934	0,969	0,975	0,984	0,991	0,989	
N	3780	3760	3751	3757	3534	3312	

Tabelle 6/1: Korrelation der Windrichtung

$$y = B + A \cdot x$$

y: Mast ; x : Sodar

R: Korrelationskoeffizient

N: Meßwertpaare

Höhe	40 m	60 m	80 m	100 m	160 m	200 m	
B in m/s	1,6	1,2	0,8	0,8	0,7	0,7	17.11.81-28.2.82
A	0,685	0,815	0,849	0,863	0,870	0,909	
R	0,702	0,854	0,916	0,933	0,961	0,966	
N	9218	9969	10028	9590	9649	9152	
B	1,2	0,9	0,7	0,6	0,7	0,8	1.3.-2.6.82
A	0,678	0,808	0,840	0,870	0,903	0,933	
R	0,801	0,884	0,926	0,937	0,956	0,957	
N	10795	11281	11163	12016	12208	12133	
B	1,4	1,4	0,9	0,8	1,0	0,5	12.7.-19.11.82
A	0,820	0,860	0,952	0,975	0,938	1,036	
R	0,625	0,766	0,888	0,912	0,925	0,941	
N	15250	15325	15789	15667	14864	13229	
B	1,1	0,7	0,7	0,5	0,4	0,5	27.11.-30.12.82
A	0,739	0,860	0,846	0,929	0,992	1,012	
R	0,859	0,938	0,951	0,967	0,973	0,978	
N	3836	3756	3004	3880	2735	3397	

Tabelle 6/2: Korrelation der Windgeschwindigkeit

$$y = B + A \cdot x$$

y: Mast ; x : Sodar

R: Korrelationskoeffizient

N: Meßwertpaare

Höhe	40 m	60 m	80 m	100 m	160 m	200 m	
B	1,2	0,9	0,7	0,6	0,7	0,8	keine Einschränkung
A	0,678	0,808	0,840	0,870	0,903	0,933	
R	0,801	0,884	0,926	0,937	0,956	0,957	
N	10795	11281	11163	12016	12208	12133	
B	1,0	0,9	0,6	0,7	0,9	1,0	$\Sigma \theta \leq 10^\circ$
A	0,585	0,755	0,860	0,872	0,885	0,912	
R	0,797	0,872	0,943	0,953	0,958	0,956	
N	2647	4765	6623	7981	9580	9706	
B							σ_ϕ
A							
R							
N							

Tabelle 6/3: Korrelation der Windgeschwindigkeit im Zeitabschnitt 2 (1.3.-2.6.82)

$$y = B + A \cdot x$$

y: Mast ; x : Sodar

R: Korrelationskoeffizient

N: Meßwertpaare

Höhe	40 m	60 m	80 m	100 m	160 m	200 m	
B in Grad	9,2			3,4	1,9		1.3.-2.6.82
A	-0,028			0,315	0,445		
R	-0,063			0,514	0,702		
N	10323			11994	12084		
B	6,2			2,8	2,4		12.7.-19.11.82
A	0,062			0,231	0,298		
R	0,177			0,536	0,614		
N	13286			14072	14631		
B	7,3			2,2	2,2		12.7.-31.8.82
A	0,026			0,354	0,391		
R	0,075			0,686	0,751		
N	5490			5581	5281		
B	11,1			5,1	3,6		27.11.-30.12.82
A	-0,041			-0,007	0,056		
R	-0,124			-0,019	0,124		
N	2148			4203	4105		

Tabelle 6/4: Korrelation der Standardabweichung σ_{ϕ} der vertikalen Windrichtung

$$y = B + A \cdot x$$

y: Mast ; x : Sodar

R: Korrelationskoeffizient

N: Meßwertpaare

S \ M	A	B	C	D	E	F	Summe
A	1,72	1,27	0,57	0,33	0,14	0,39	4,41
B	1,92	2,82	1,66	1,21	0,33	0,65	8,58
C	0,49	3,15	4,09	3,06	1,96	1,04	13,79
D	0,08	1,16	5,31	15,43	7,89	3,74	33,61
E	0,02	0,06	1,14	8,99	9,30	4,52	24,03
F	0,02	0,18	1,19	4,50	4,58	5,11	15,57
Summe	4,25	8,64	13,96	33,51	24,19	15,45	100,00

Tabelle 7/1 : Korrelation der Kategorie, die aus Mastdaten (M) und Sodardaten (S) bestimmt wurde. Angaben in Prozent.

M: $\vec{\sigma}$, Vektorfahne, 100 m

S: $\vec{\sigma} = \arctan(\vec{\sigma}_w/u)$, 100 m

S \ M	A	B	C	D	E	F	Summe
A	2,02	1,51	0,60	0,11	0,11	0,29	4,64
B	2,00	3,03	1,80	1,15	0,42	0,38	8,81
C	0,47	3,20	4,13	3,02	1,89	0,82	13,51
D	0,07	1,02	5,41	15,58	7,90	3,64	33,61
E	0,00	0,00	1,00	9,56	9,83	4,42	24,81
F	0,02	0,07	0,67	4,02	4,88	4,97	14,62
Summe	4,57	8,85	13,60	33,44	25,03	14,51	100,00

Tabelle 7/2: Korrelation der Kategorie, die aus Mastdaten (M) und Sodardaten (S) bestimmt wurde. Angaben in Prozen.

M: $\tilde{\sigma}$, Vektorfahne, 100 m

S: $\tilde{\sigma} = \arctan(\tilde{\sigma}_W/u)$, 100 m, $\overline{A}_W \geq 150$ mV

Schema	Korrelationskoeffizient	Übereinstimmende Kategorien	Kategorienabweichung 1 Stufe	Kategorienabweichung ≥ 2 Stufen
Σ_{θ}	0,88	72	27	1
TG/u	0,82	59	37	4
SB/u	0,68	47	41	12
p	0,68	48	40	12
SY/u	0,70	47	42	11
σ_{ϕ} (Sodar)	0,55	39	42	19
σ_{ϕ} (Sodar) $A_W \geq 150 \text{ mV}$	0,61	40	44	16

Tabelle 7/3: Korrelationskoeffizient und prozentuale Häufigkeit von Übereinstimmenden bzw. abweichenden Kategorien verschiedener Schemata in bezug auf das σ_{ϕ} - Vektorfahne-Schema

Σ_{θ} : Standardabweichung der horizontalen Windrichtung,
 TG/u: Temperaturgradient und Windgeschwindigkeit,
 SB/u: Strahlungsbilanz und Windgeschwindigkeit,
 p: Exponent des vertikalen Windgeschwindigkeits-Profiles,
 SY/u: synoptische Beobachtung und Windgeschwindigkeit

Höhe in m	A_w	Windrichtung	σ_w	σ_ϕ
40	0.28	7.29	0.33	7.34
60	0.36	7.59	0.44	7.62
80	0.23	7.63	0.33	7.69
100	0.30	7.71	0.37	7.75
120	0.52	7.69	0.58	7.76
140	0.71	9.17	0.81	9.30
160	1.47	11.17	1.60	11.23
180	3.35	16.21	3.69	16.28
200	5.77	21.06	6.55	21.14
220	8.08	26.84	10.30	26.93
240	10.95	32.10	15.83	32.24
260	12.73	37.97	19.47	38.12
280	14.31	42.86	22.47	43.06
300	16.26	47.85	26.04	48.13
320	19.09	52.23	29.53	52.57
340	22.34	56.82	33.58	57.36
360	25.31	61.29	37.43	62.00
380	27.91	64.12	40.90	65.13
400	31.50	67.30	44.63	68.63
420	37.66	67.71	53.67	71.27

Tab. 8/1a: Ausfälle der SODAR-Meßwerte in %
(mit und ohne Niederschlag)
zwischen dem 12.07.82 und dem 19.11.82

A_w vertikale Rückstreuamplitude
 σ_w Standardabweichung des Vertikalwindes
 σ_ϕ Standardabweichung der vertikalen Windrichtung

Höhe in m	A_w	Windrichtung	σ_w	σ_ϕ
40	5.87	10.30	6.29	10.44
60	3.29	9.87	4.01	10.01
80	2.72	8.73	4.01	9.30
100	3.72	11.02	4.72	11.30
120	4.72	11.73	5.72	12.16
140	5.01	15.02	6.58	15.74
160	8.44	18.60	9.59	19.03
180	10.59	22.17	12.88	22.60
200	12.88	27.61	15.59	28.04
220	15.74	35.62	18.88	35.91
240	21.46	40.63	24.13	40.92
260	26.18	47.93	29.18	48.21
280	26.18	50.93	31.76	51.79
300	30.04	55.65	36.34	56.22
320	31.47	61.95	37.91	62.09
340	34.62	65.24	42.92	65.95
360	43.06	72.39	50.50	72.68
380	40.63	74.68	52.22	75.97
400	46.21	78.97	58.66	79.69
420	54.08	80.69	67.95	83.26

Tab. 8/1b: Ausfälle der SODAR-Meßwerte in %
(Niederschlag $\geq 0,5$ mm/h)
zwischen dem 12.07.82 und dem 19.11.82

A_w vertikale Rückstreuamplitude
 σ_w Standardabweichung des Vertikalwindes
 σ_ϕ Standardabweichung der vertikalen Windrichtung

Höhe in m	A_w	Windrichtung	σ_w	σ_ϕ
40	20.99	27.07	21.55	27.62
60	12.15	25.41	13.81	25.97
80	9.94	21.55	13.81	23.20
100	9.39	25.41	12.71	26.52
120	8.29	22.10	12.15	23.20
140	8.29	25.97	14.36	28.18
160	12.15	33.70	15.47	35.36
180	14.36	34.81	22.65	36.46
200	17.13	40.88	25.41	42.54
220	15.47	46.41	25.41	47.51
240	22.65	53.04	32.60	54.14
260	27.62	58.56	35.91	59.67
280	24.31	58.01	39.23	60.77
300	30.94	62.43	46.41	63.54
320	29.83	71.27	46.41	71.27
340	24.86	67.96	45.30	69.61
360	41.44	76.24	55.80	76.80
380	27.62	72.93	52.49	76.24
400	35.91	80.11	60.77	82.32
420	53.04	82.32	70.72	86.19

Tab. 8/1c: Ausfälle der SODAR-Meßwerte in %
(Niederschlag $\geq 3,0$ mm/h)
zwischen dem 12.07.82 und dem 19.11.82

A_w vertikale Rückstreuamplitude
 σ_w^w Standardabweichung des Vertikalwindes
 σ_ϕ^w Standardabweichung der vertikalen Windrichtung

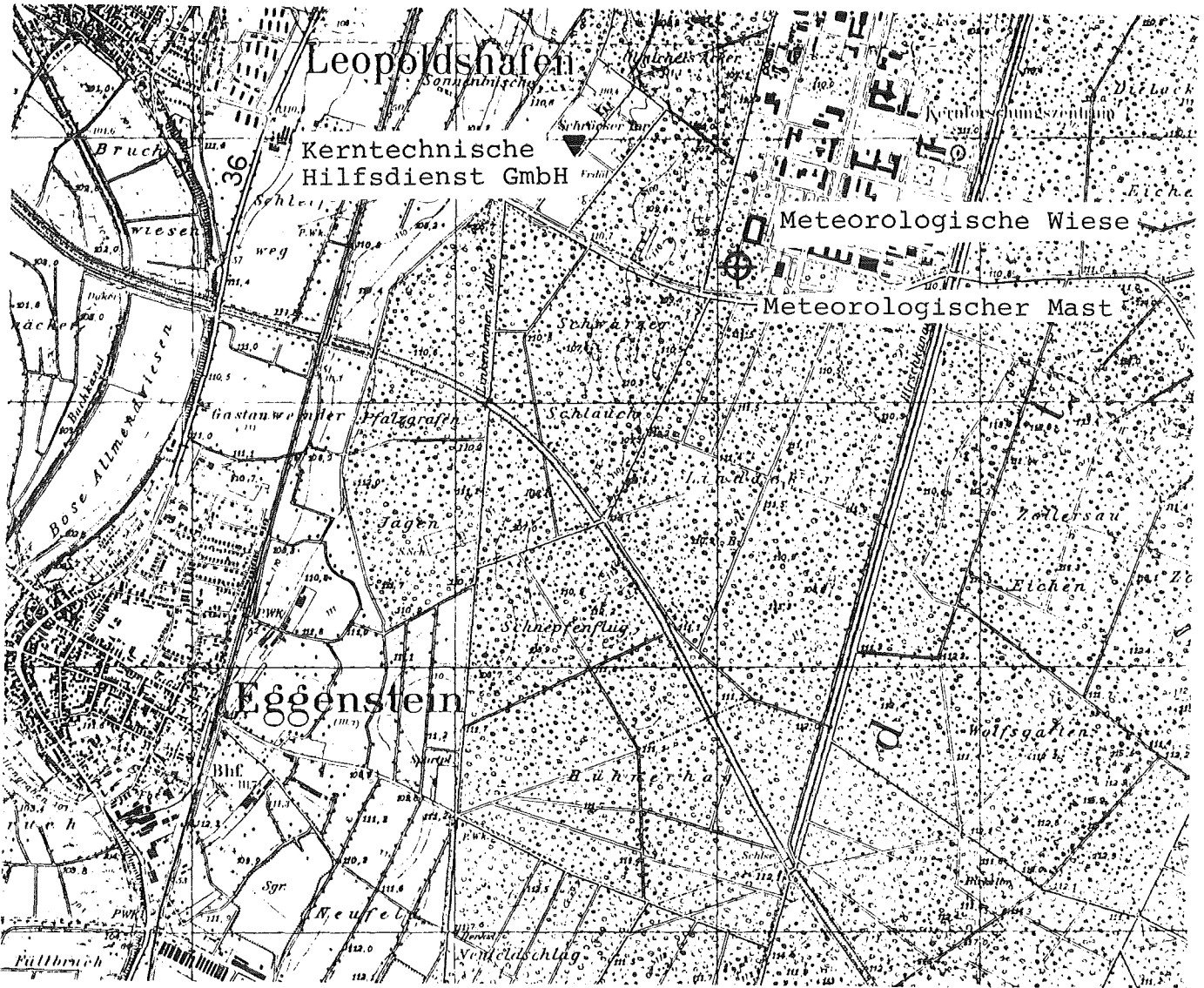


Abb. 2/1: Karte des Kernforschungszentrums Karlsruhe und Umgebung

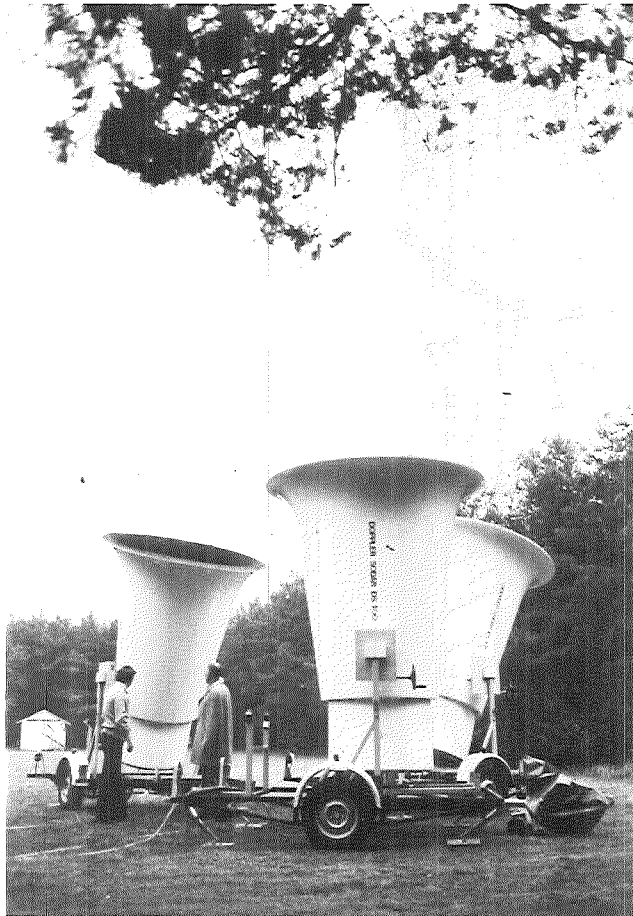


Abb. 2/2: SODAR R: Antennen auf der meteorologischen Wiese des KfK, Blickrichtung nach Süden



Abb. 2/3: SODAR R: Elektronik

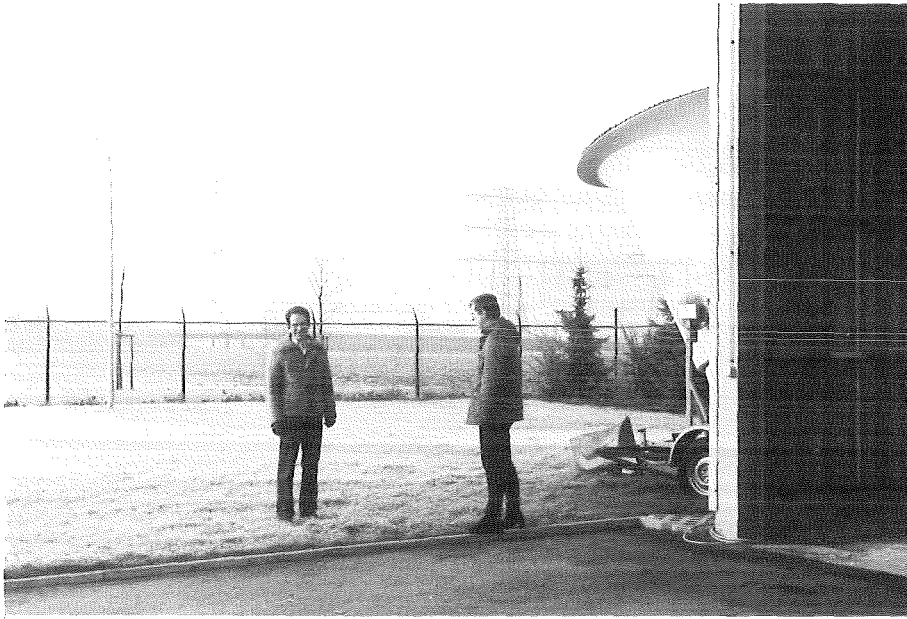


Abb. 2/4: SODAR R auf dem Gelände der Kern-
technischen Hilfsdienst GmbH (KHG),
Blickrichtung nach Südwesten



Abb. 2/5: SODAR R auf dem Gelände der Kern-
technischen Hilfsdienst GmbH (KHG),
Blickrichtung nach Norden

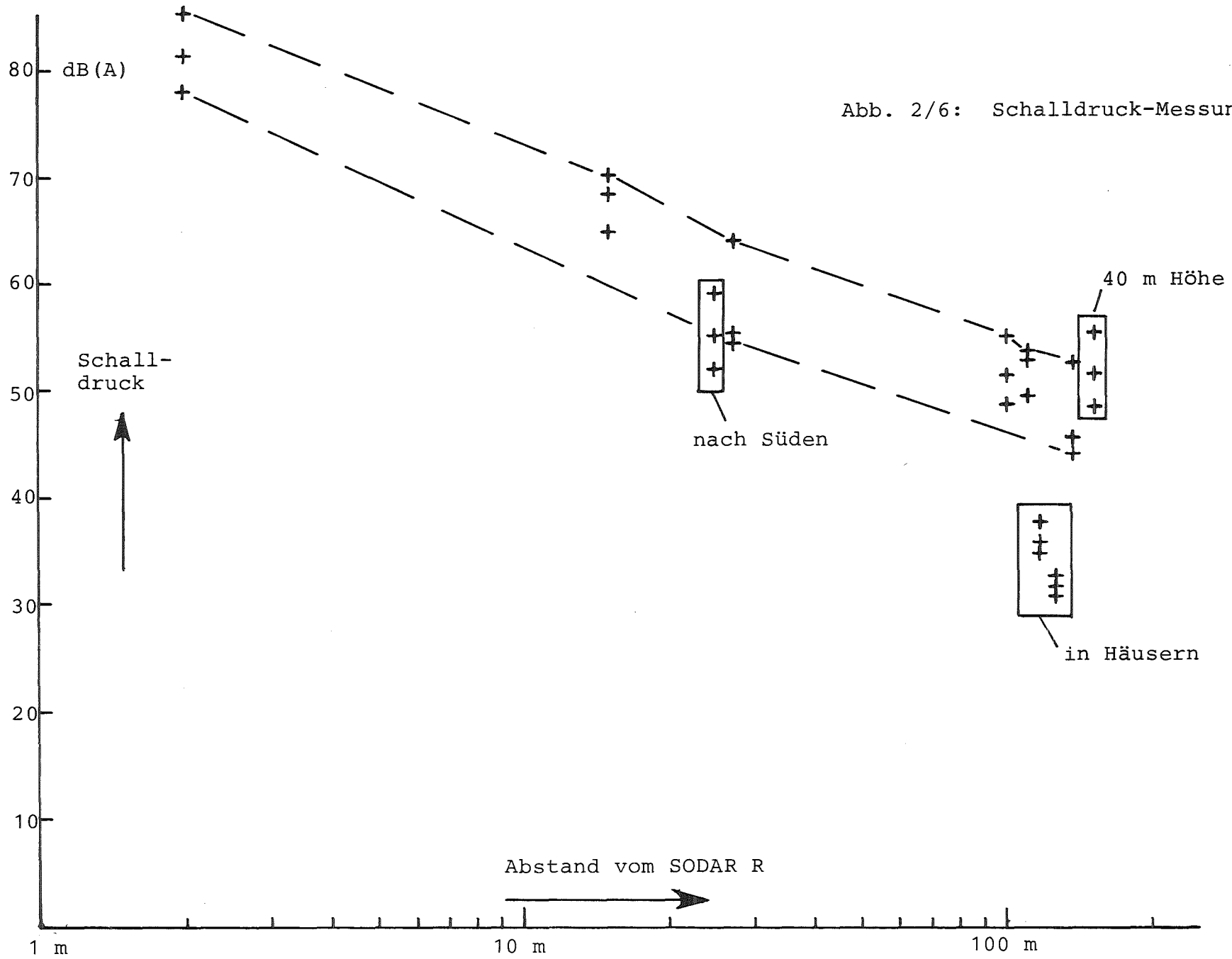


Abb. 2/6: Schalldruck-Messungen

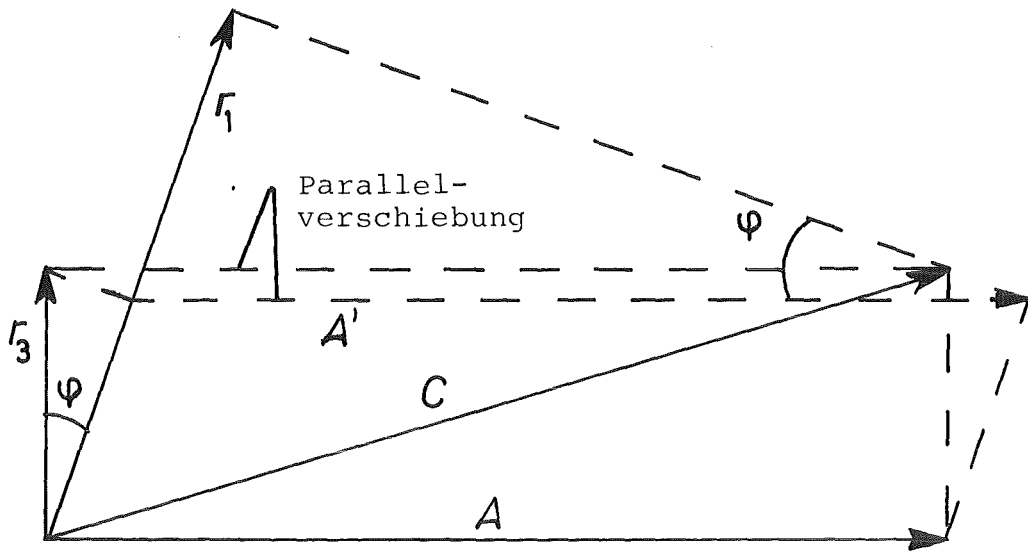


Abb. 4/1: Windgeschwindigkeitskomponenten in der vertikalen Ebene $r_1 - r_3$

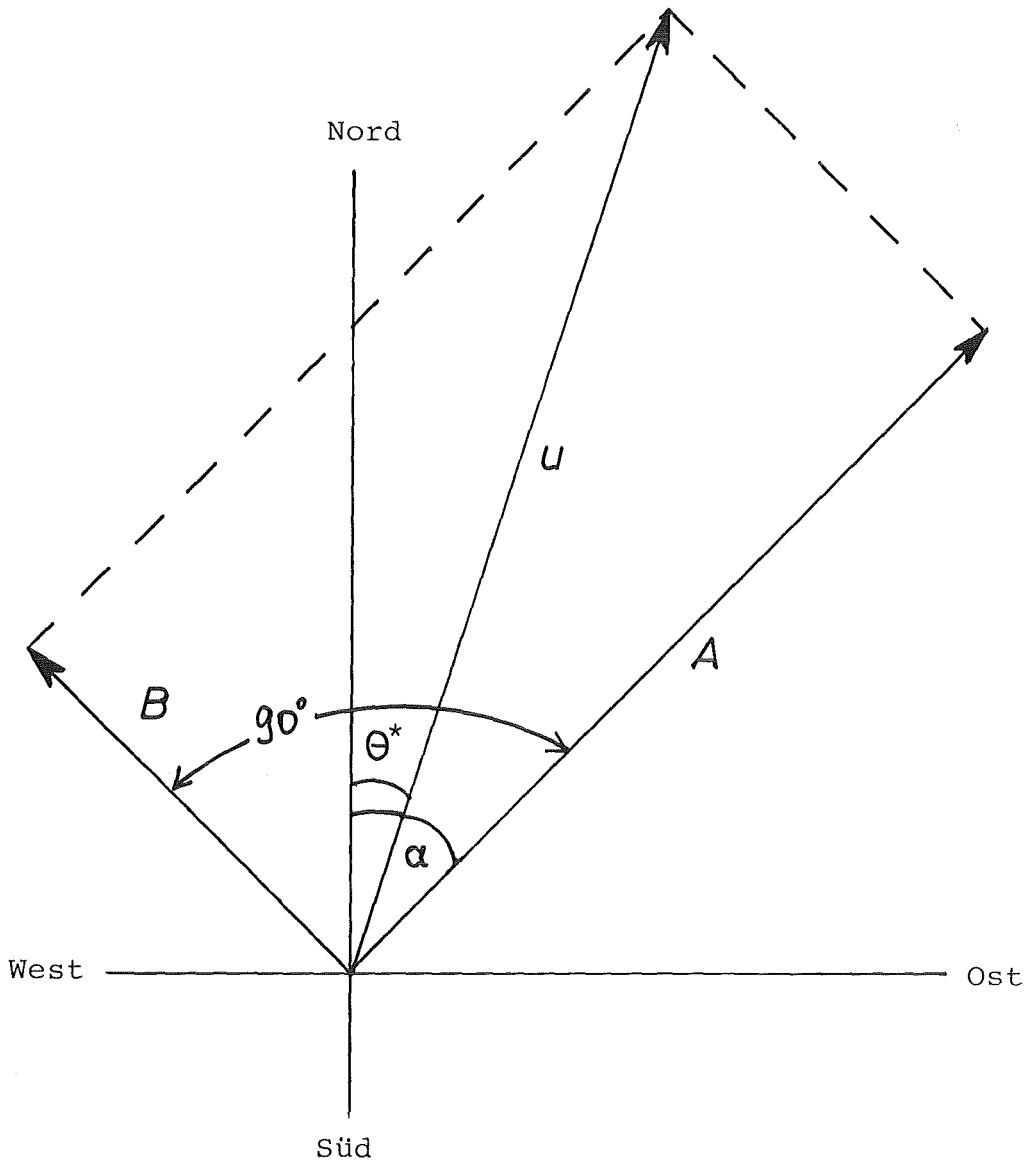


Abb. 4/2: Windgeschwindigkeitskomponenten in der horizontalen Ebene

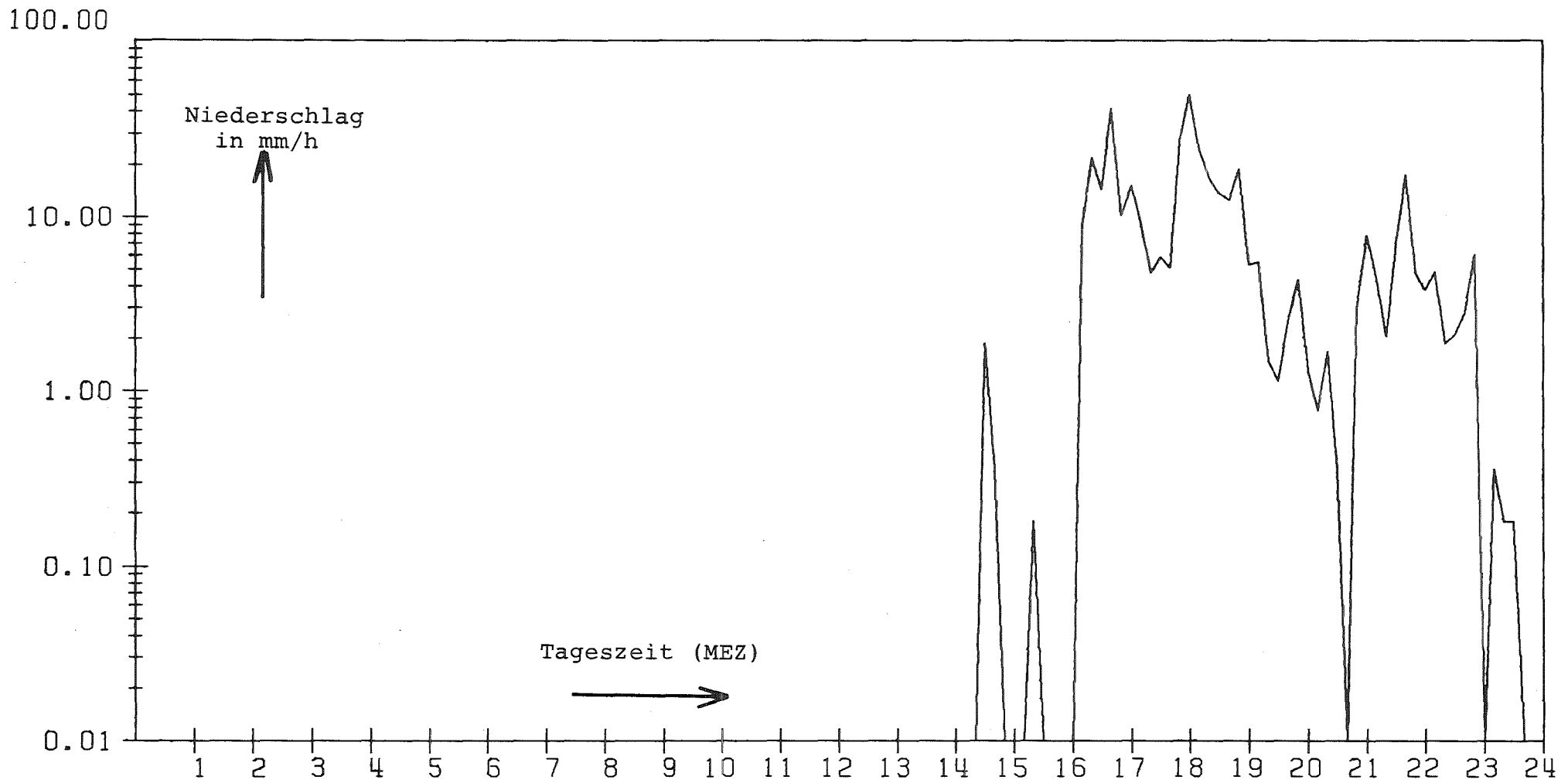


ABB. 5/1:

ZEITREIHE UEBER 24 H DES NIEDERSCHLAGES IN MM/H VOM 24. 7.82

— : SODAR R

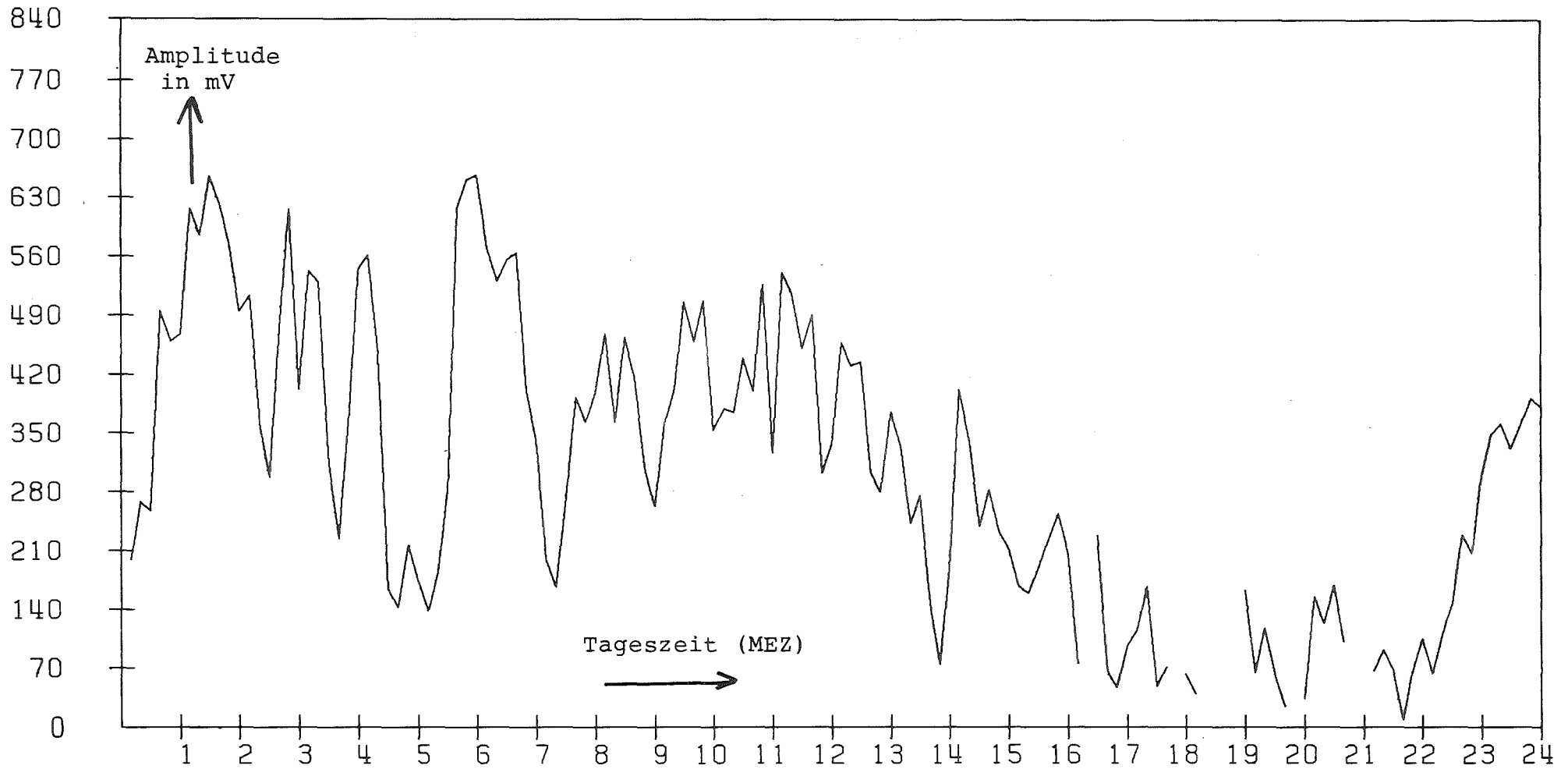


ABB. 5/2: ZEITREIHE UEBER 24 H DER MESSGRÖESSE VON SODAR

AMPLITUDE IN mV AUS 100M HÖEHE VOM 24.07.82

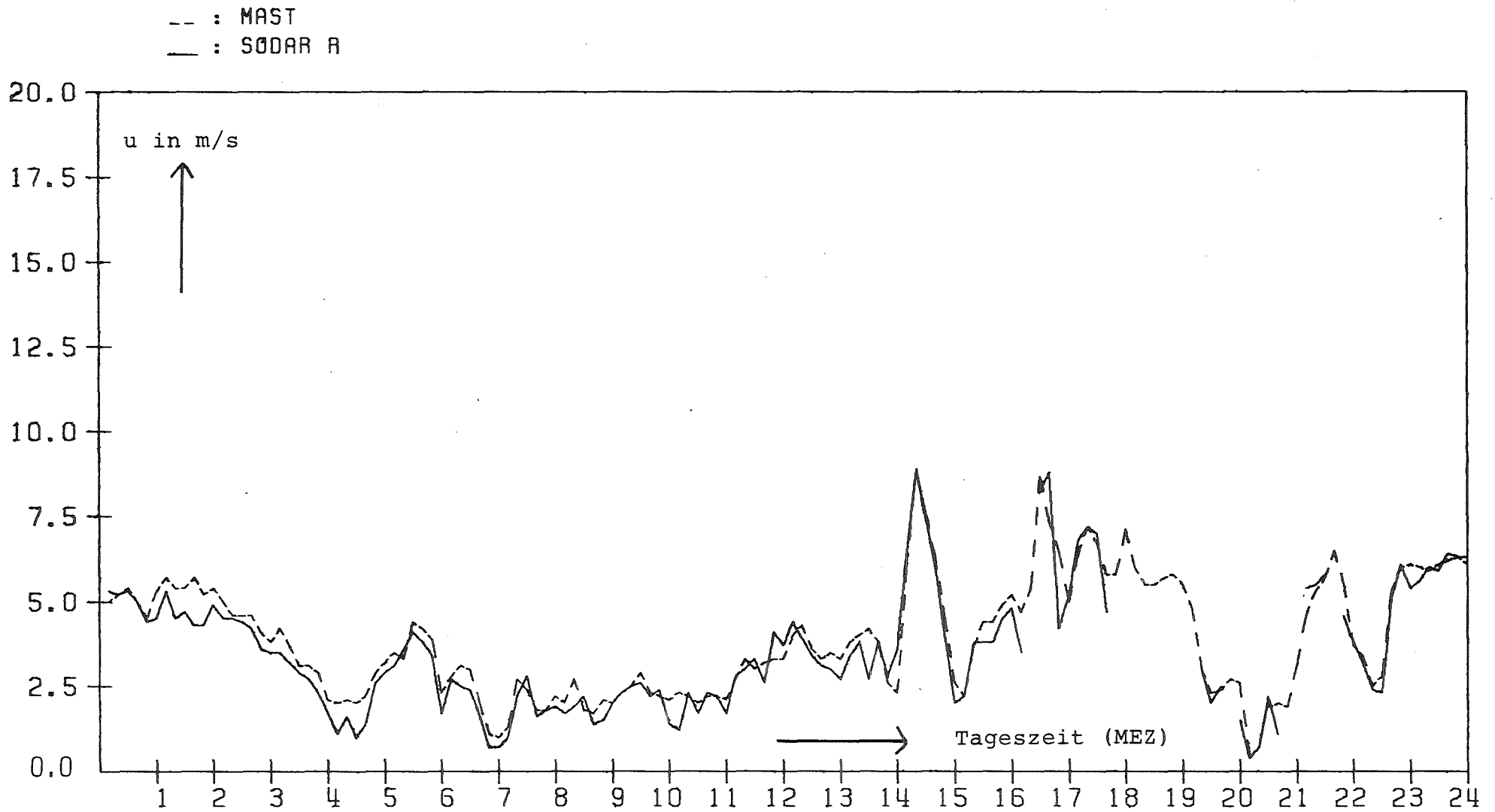
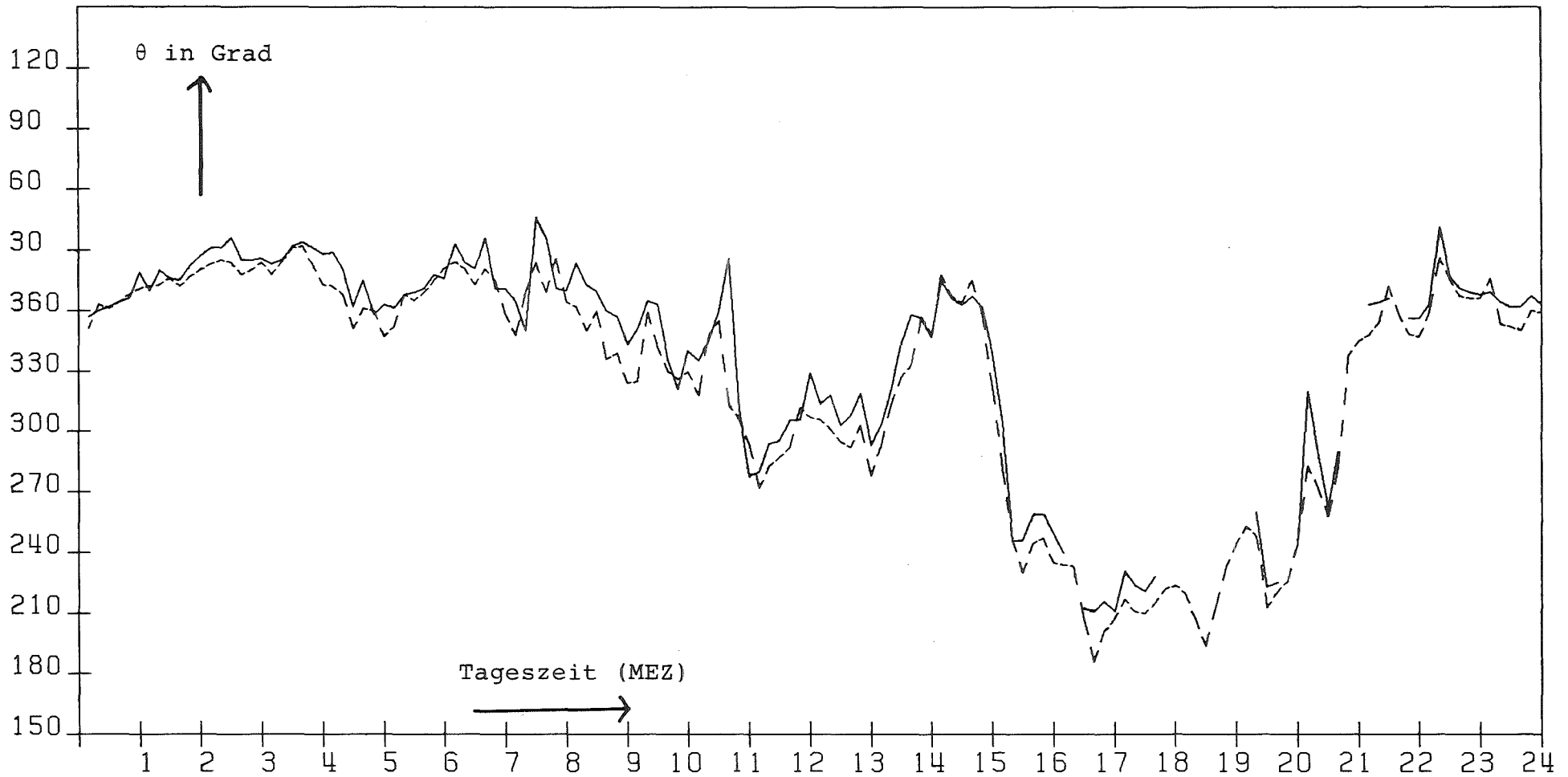


ABB. 5/3: ZEITREIHE UEBER 24 H DER MESSGRÖESSEN VON SODAR UND MAST

WINDGESCHWINDIGKEIT IN M/S AUS 100M HÖEHE VOM 24.07.82

-- : MAST
— : SODAR R



- 47 -

ABB. 5/4: ZEITREIHE UEBER 24 H DER MESSGRÖESSEN VON SODAR UND MAST

WINDRICHTUNG AUS 100 M HÖEHE IN GRAD VOM 24. 7.82

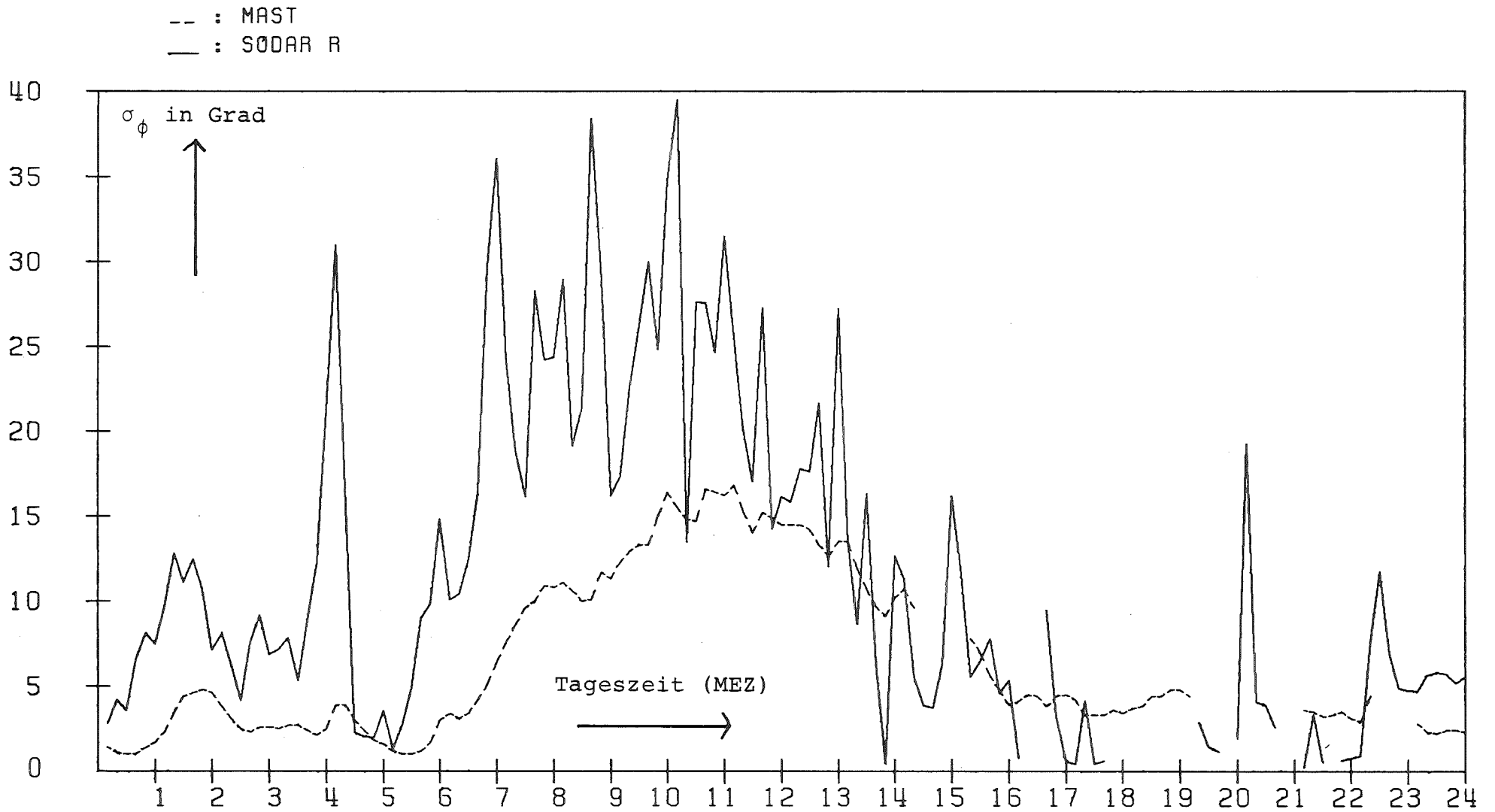


ABB. 5/5: ZEITREIHE UEBER 24 H DER MESSGRÖESSEN VON SODAR UND MAST

SIGMAPHI IN GRAD AUS 100M HÖEHE VOM 24.07.82

-- : MAST
— : SODAR A

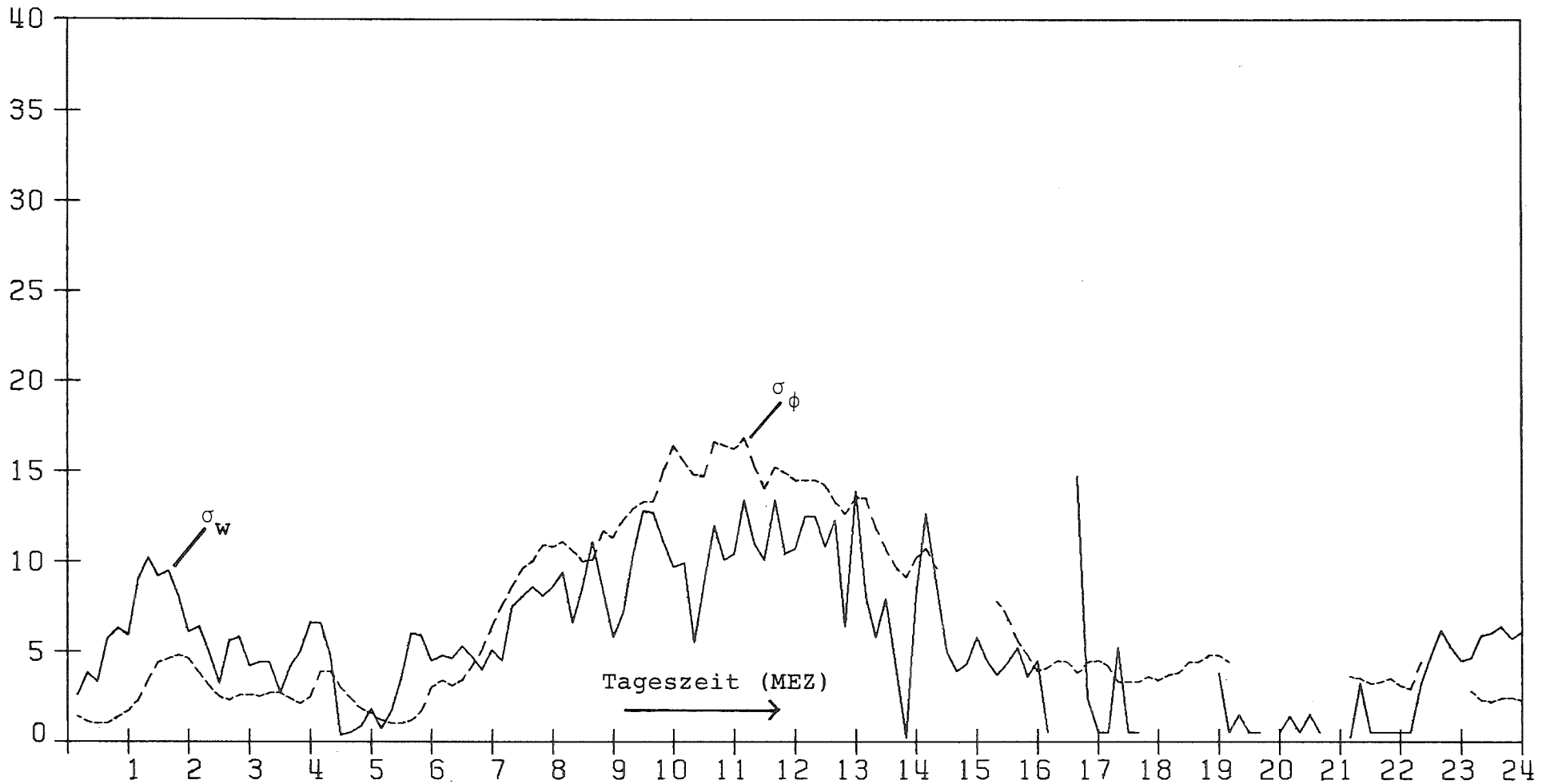


ABB. 5/6: ZEITREIHE UEBER 24 H DER MESSGRÖESSEN VON SODAR UND MAST VOM 24.07.82

SIGMAPHI AUS 100 M HÖEHE IN GRAD (VEKTORFAHNE)

SIGMA W SODAR AUS 100 M HÖEHE IN 1/10 M/S

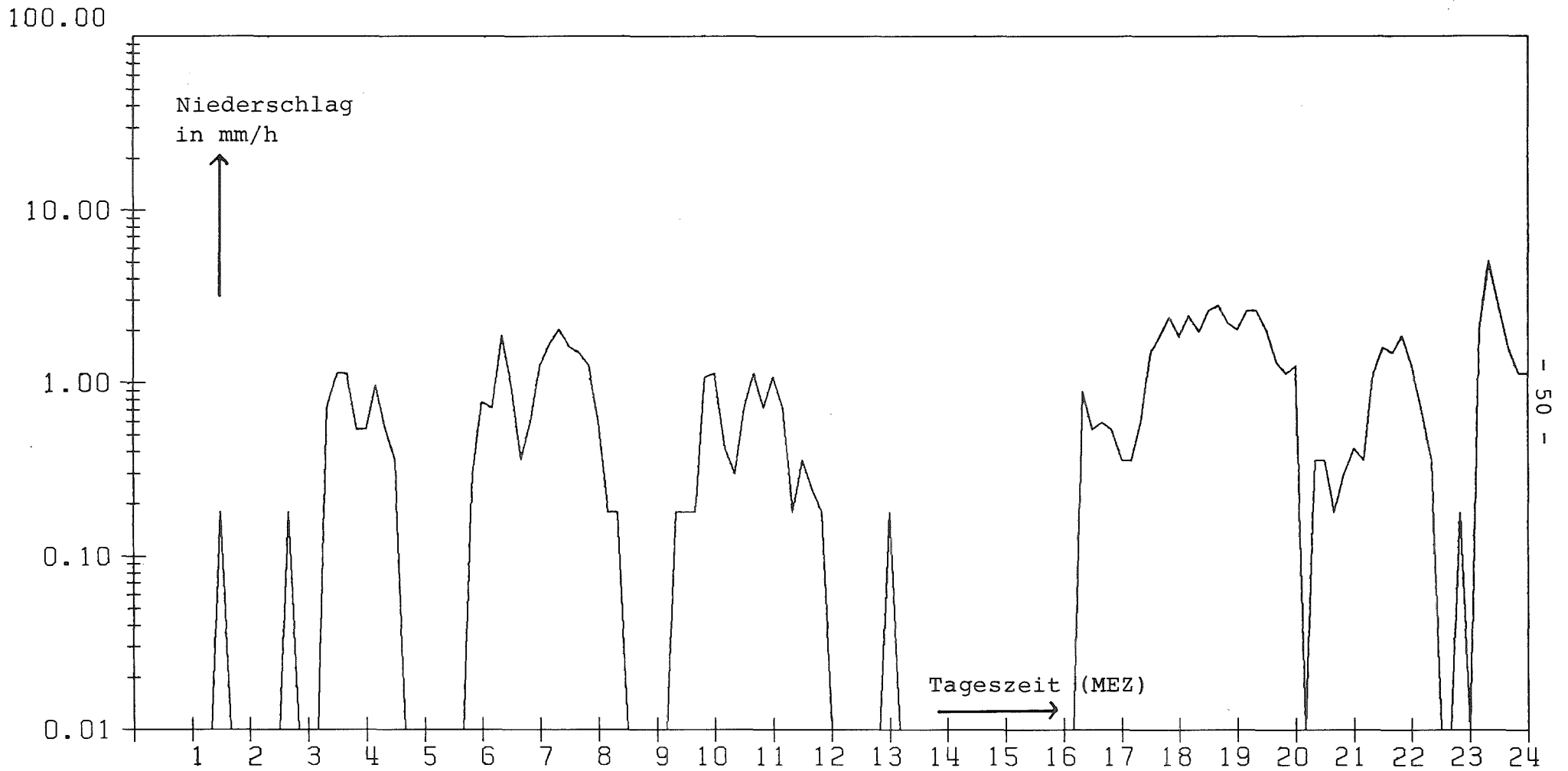


ABB. 5/7:

ZEITREIHE UEBER 24 H DES NIEDERSCHLAGES IN MM/H VOM 24.12.81

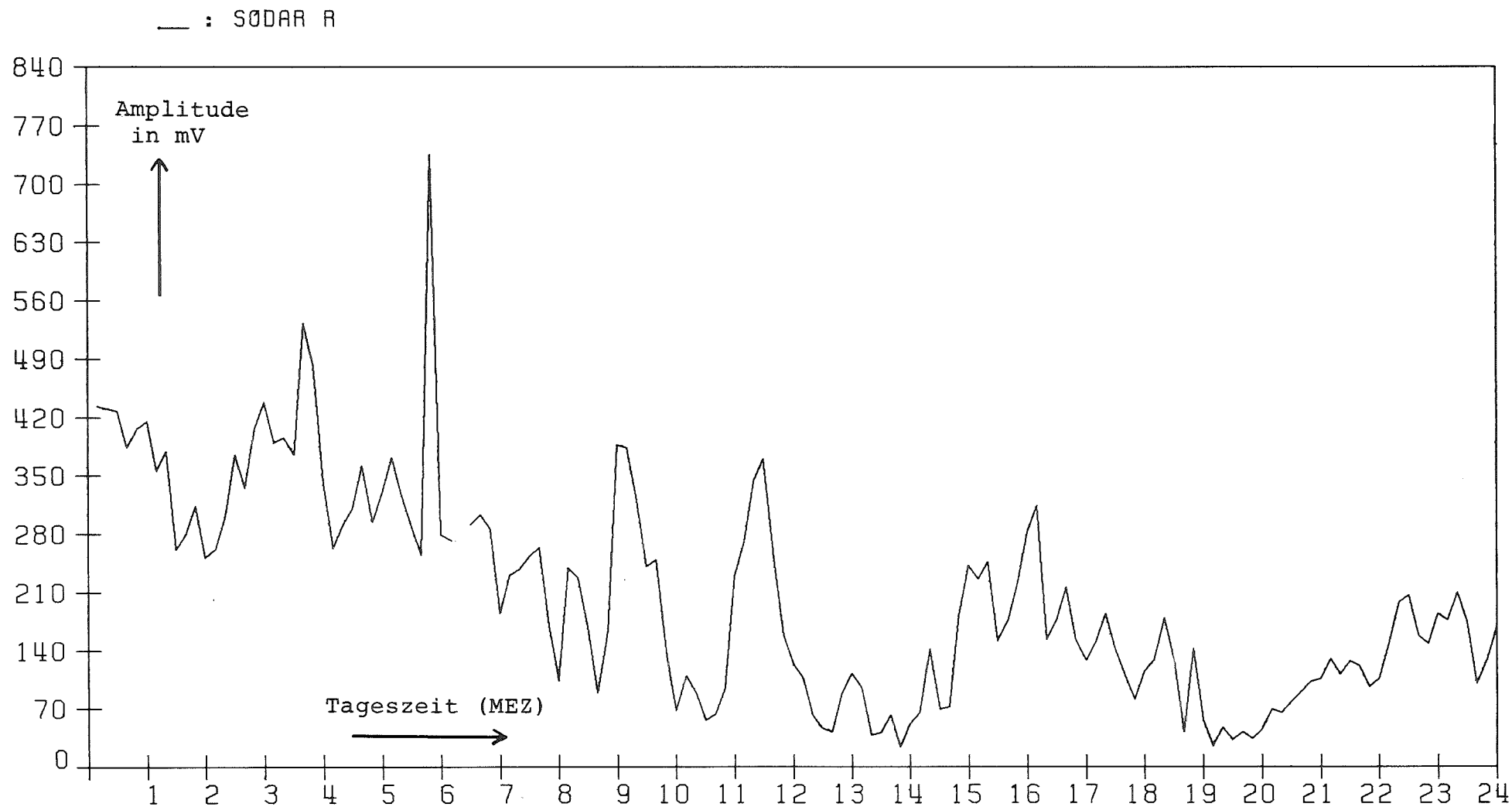


ABB. 5/8: ZEITREIHE UEBER 24 H DER MESSGRÖESSE VON SODAR

AMPLITUDE AUS 100 M HÖEHE IN mV VOM 24.12.81

-- : MAST
— : SODAR R

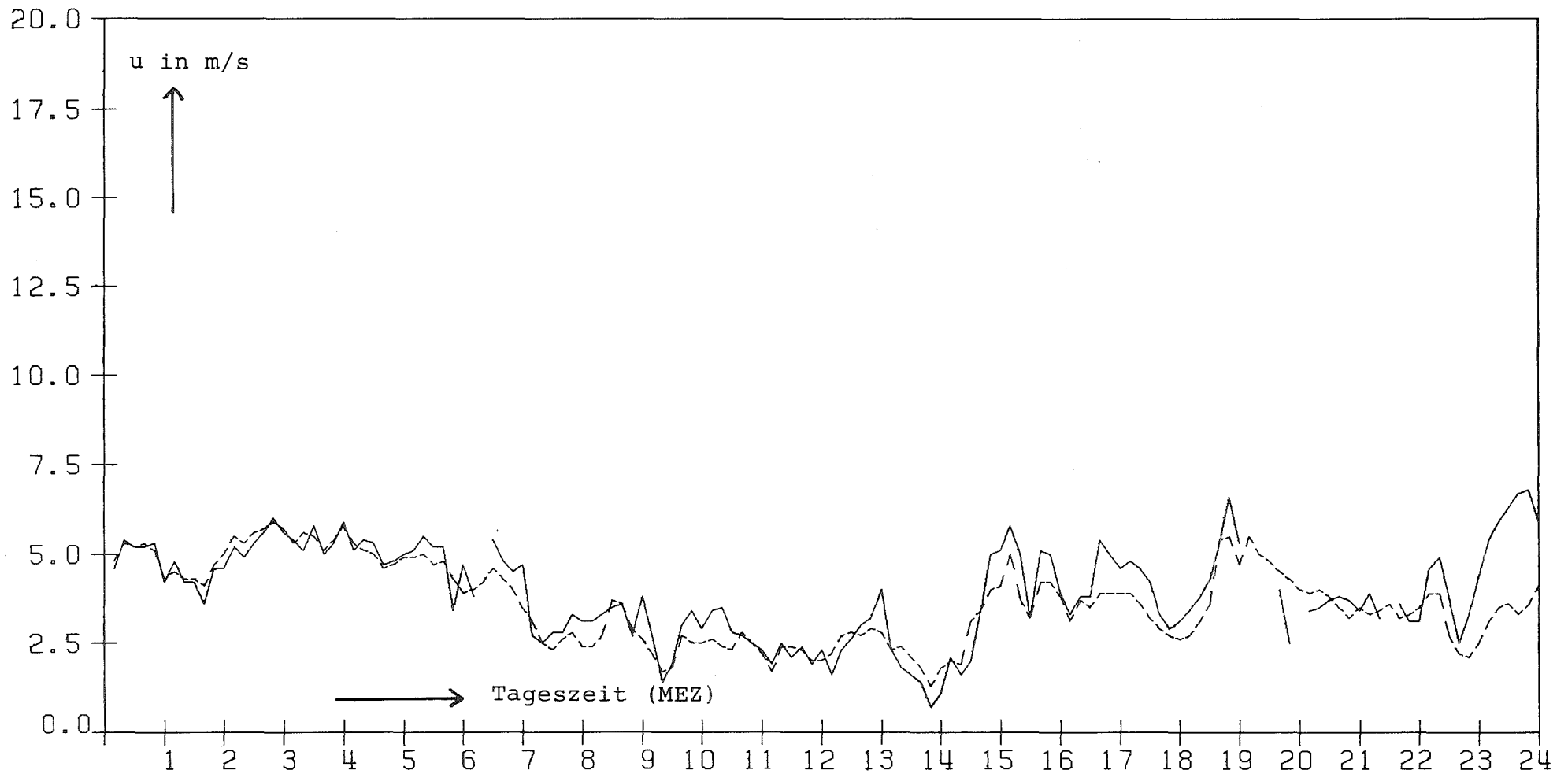


ABB. 5/9: ZEITREIHE UEBER 24 H DER MESSGRÖESSEN VON SODAR UND MAST

WINDGESCHWINDIGKEIT AUS 100 M HÖEHE IN M/S VOM 24.12.81

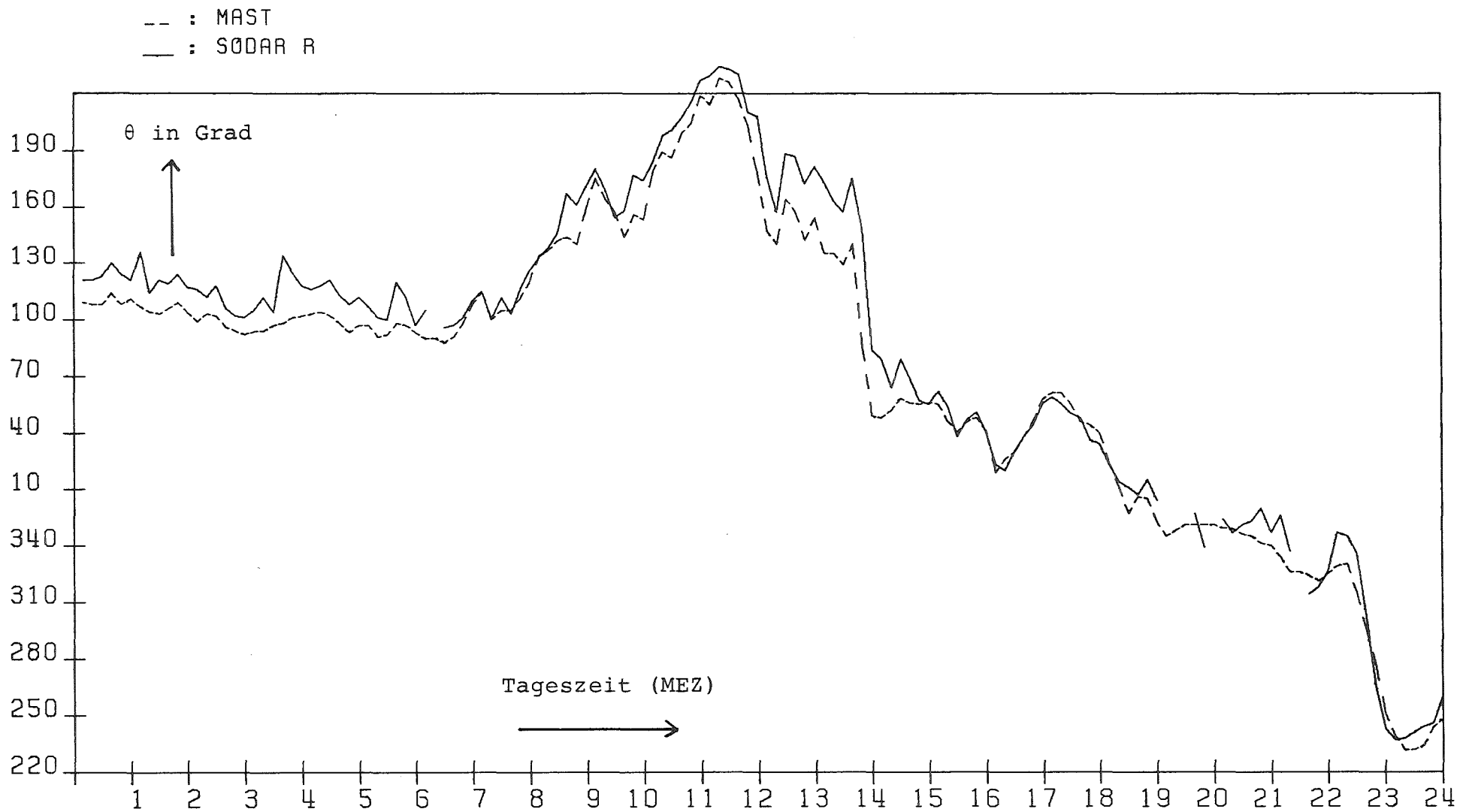


ABB. 5/10: ZEITREIHE UEBER 24 H DER MESSGRÖESSEN VON SODAR UND MAST

WINDRICHTUNG AUS 100 M HÖEHE IN GRAD VOM 24.12.81

-- : MAST
— : SODAR R

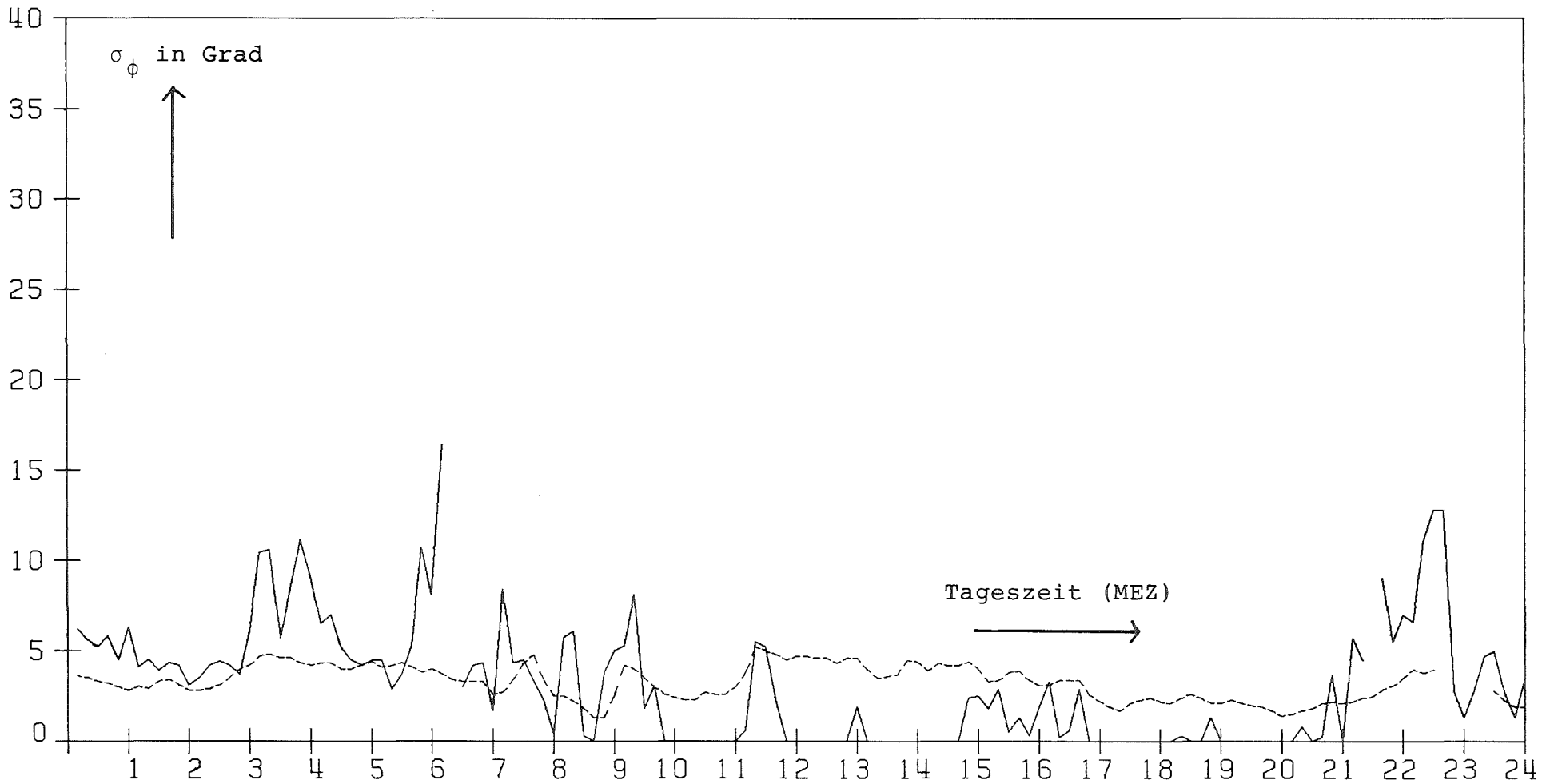


ABB. 5/11: ZEITREIHE UEBER 24 H DER MESSGRÖESSEN VON SODAR UND MAST

SIGMAPHI AUS 100 M HÖEHE IN GRAD VOM 24.12.81

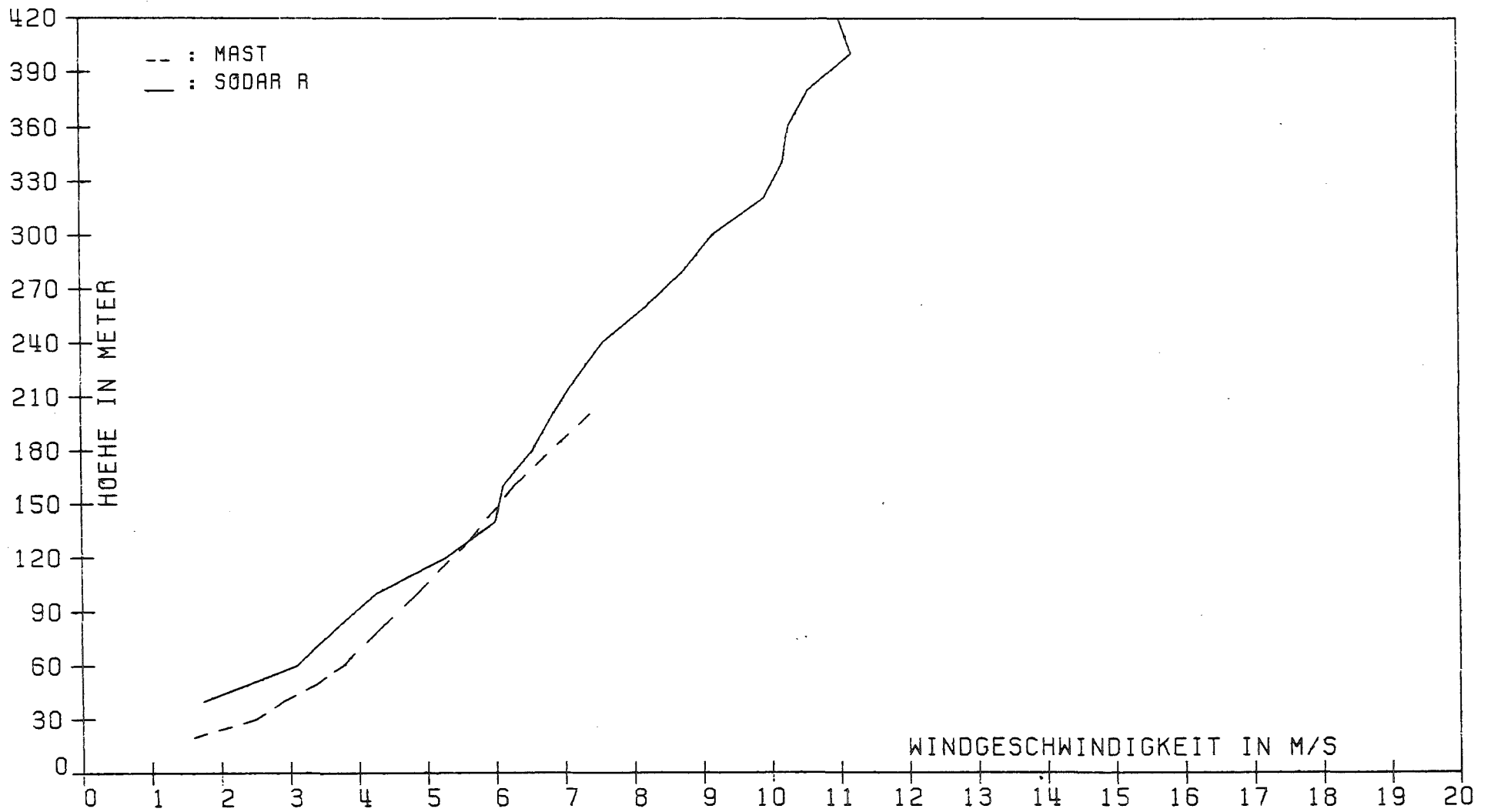


ABB. 5/12:

MITTLERES WINDGESCHWINDIGKEITSPROFIL VOM 22. 9.1982 5: 0 BIS 6: 0

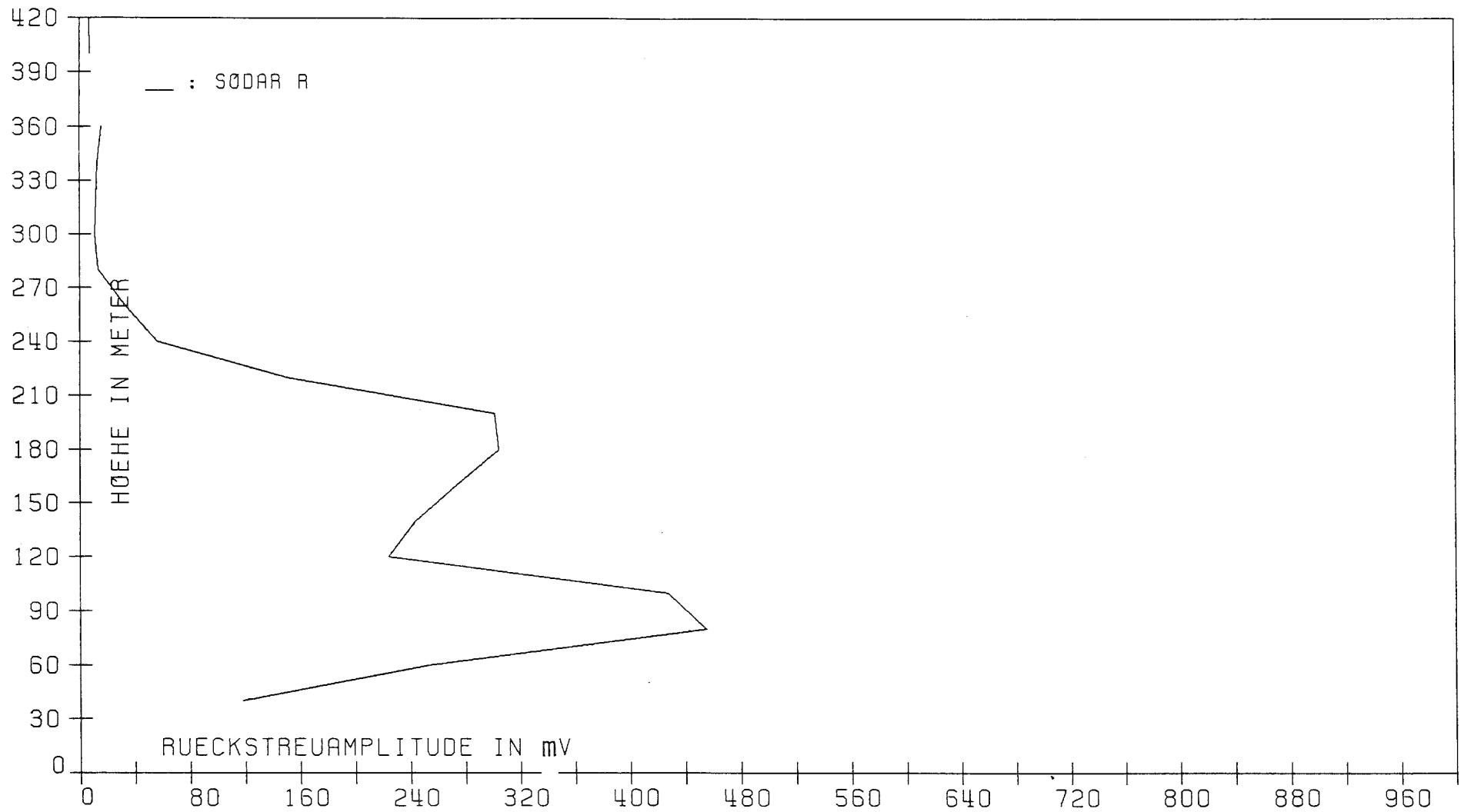


ABB. 5/13:

PROFIL DER RUECKSTREUAMPLITUDE IN mV VOM 13. 7.1982 5:30 BIS 6: 0

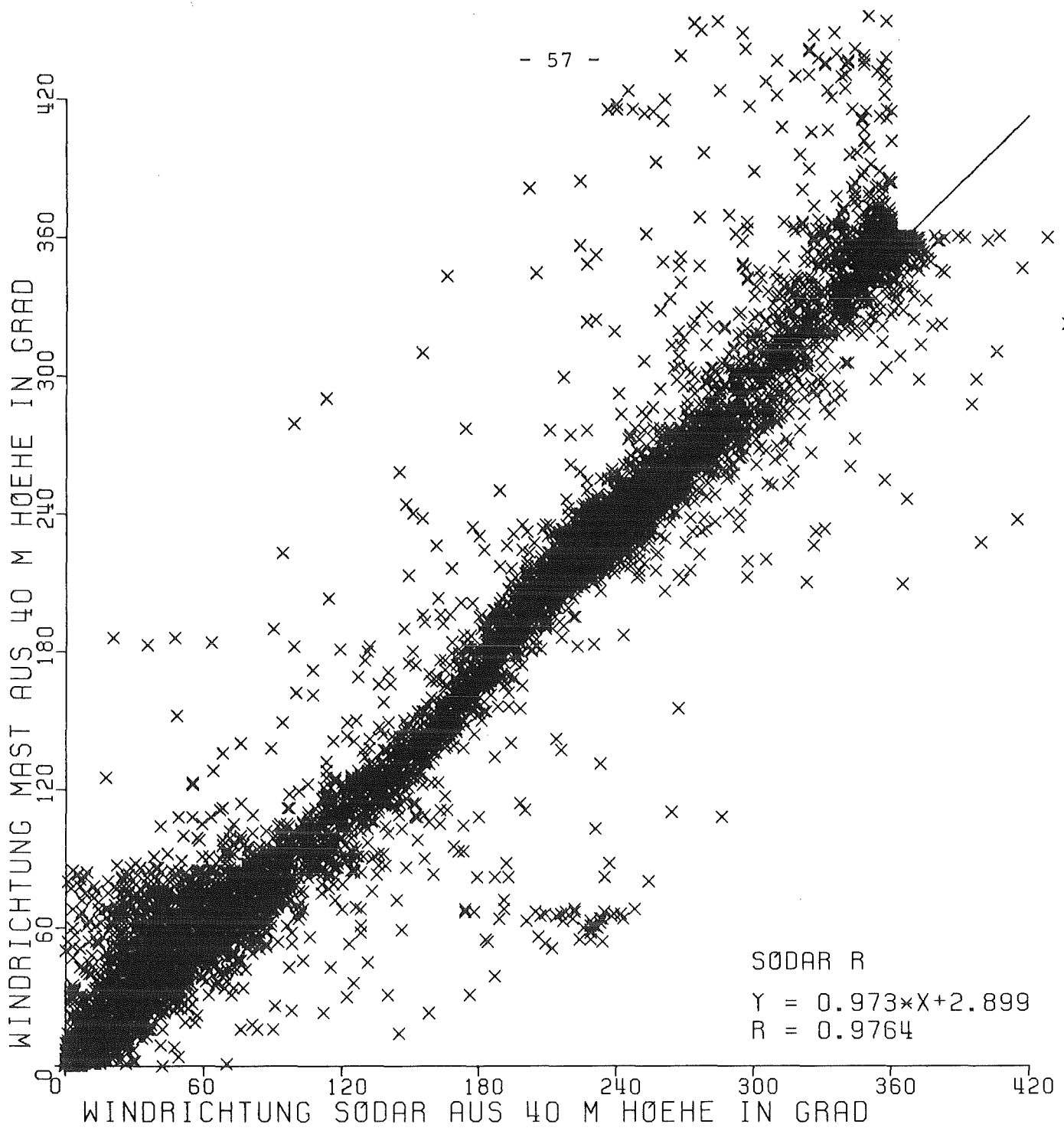


ABB. 6/1: 1.3.1982 BIS 2.6.1982

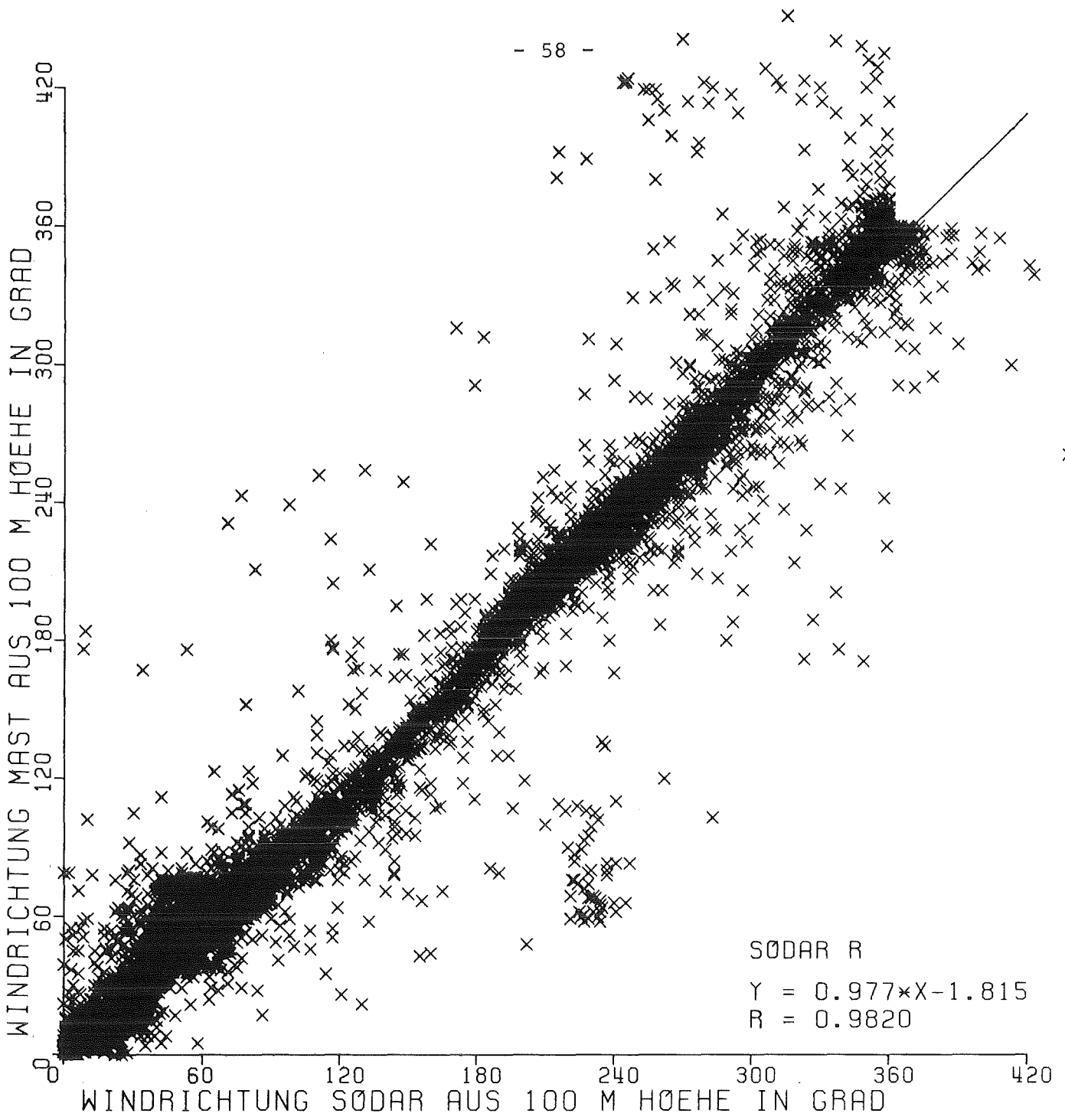


ABB. 6/2: 1.3.1982 BIS 2.6.1982

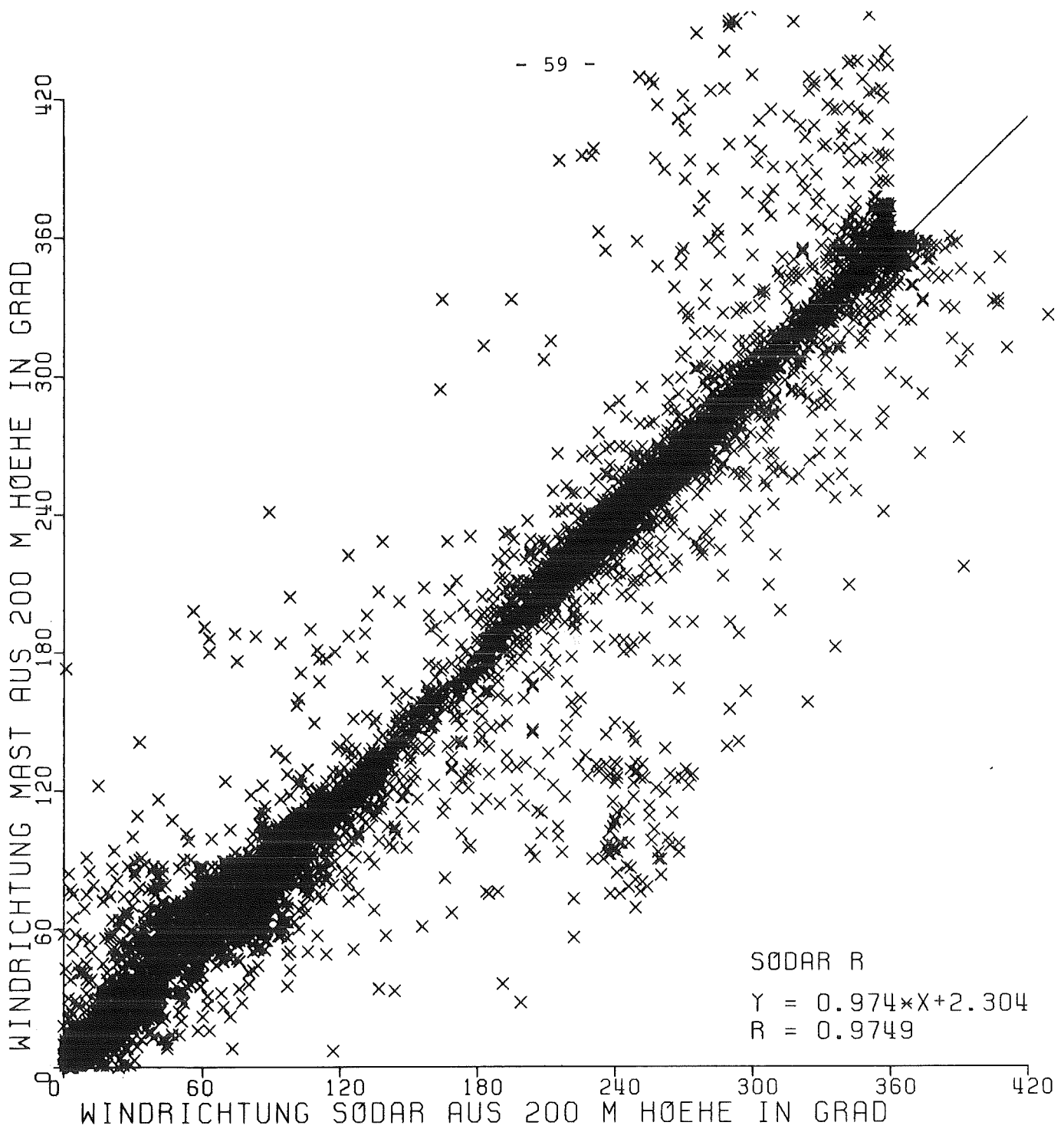


ABB. 6/3: 1.3.1982 BIS 2.6.1982

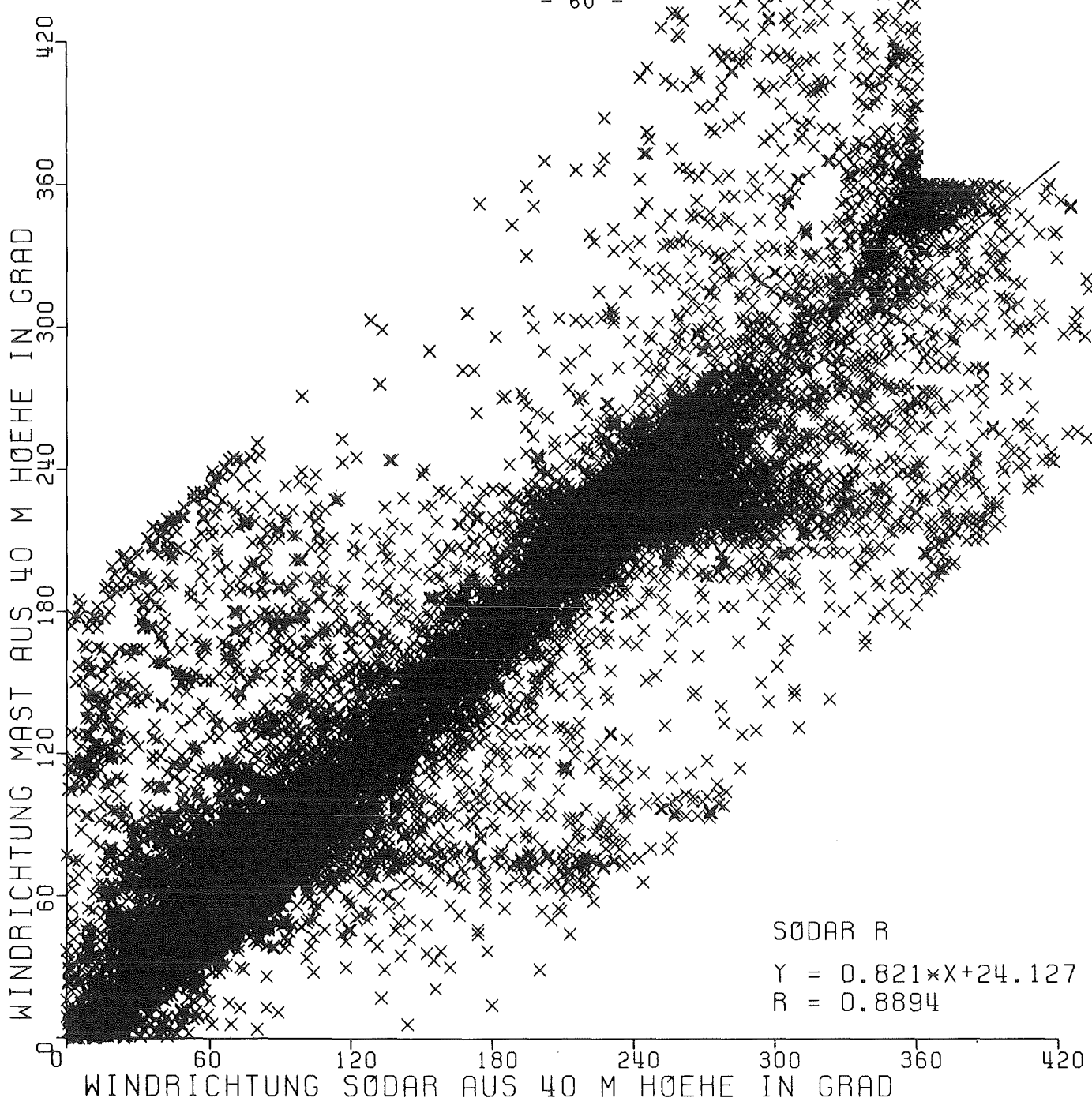


ABB. 6/4: 12.7.1982 BIS 19.11.1982

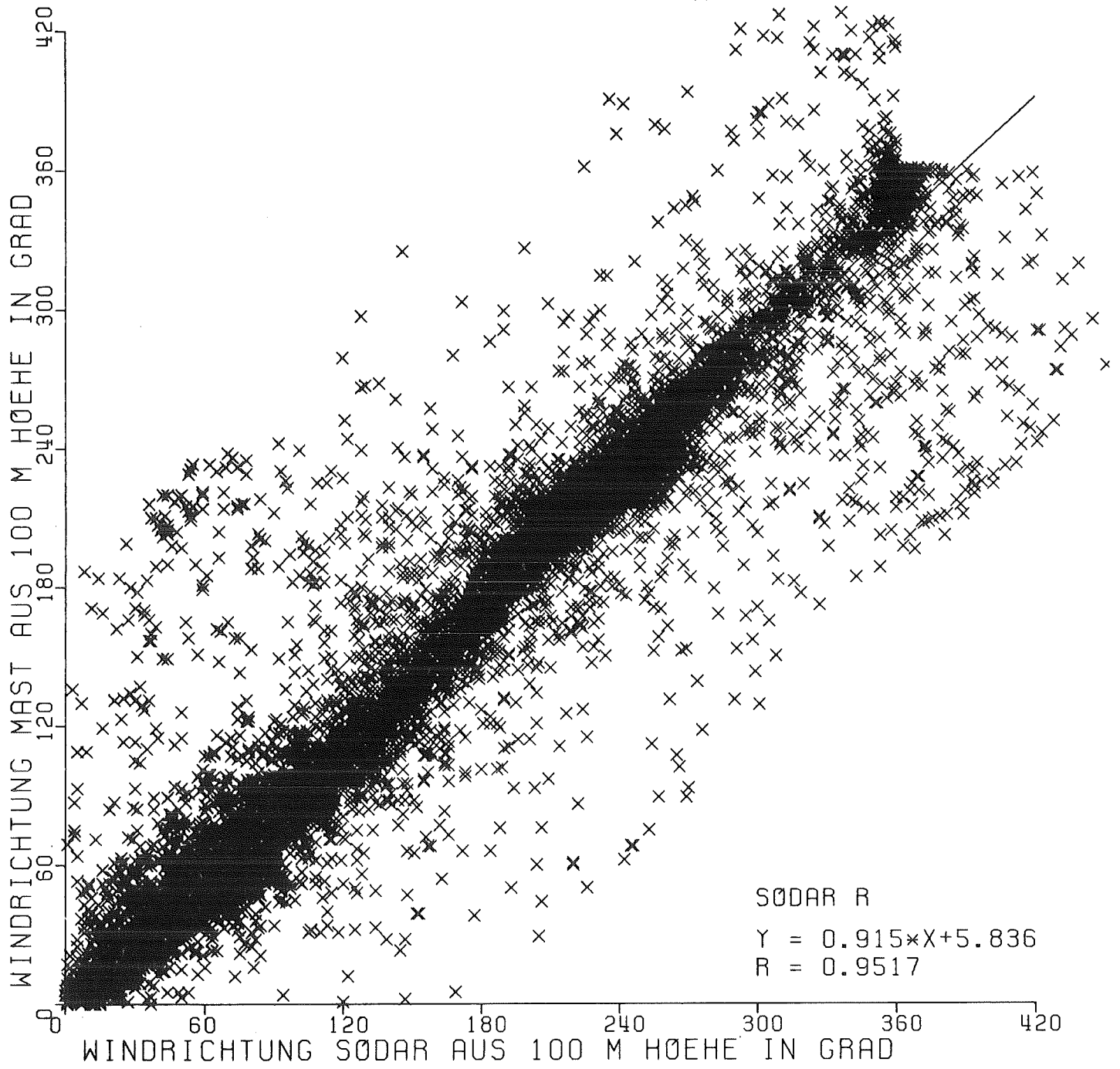


ABB. 6/5: 12.7.1982 BIS 19.11.1982

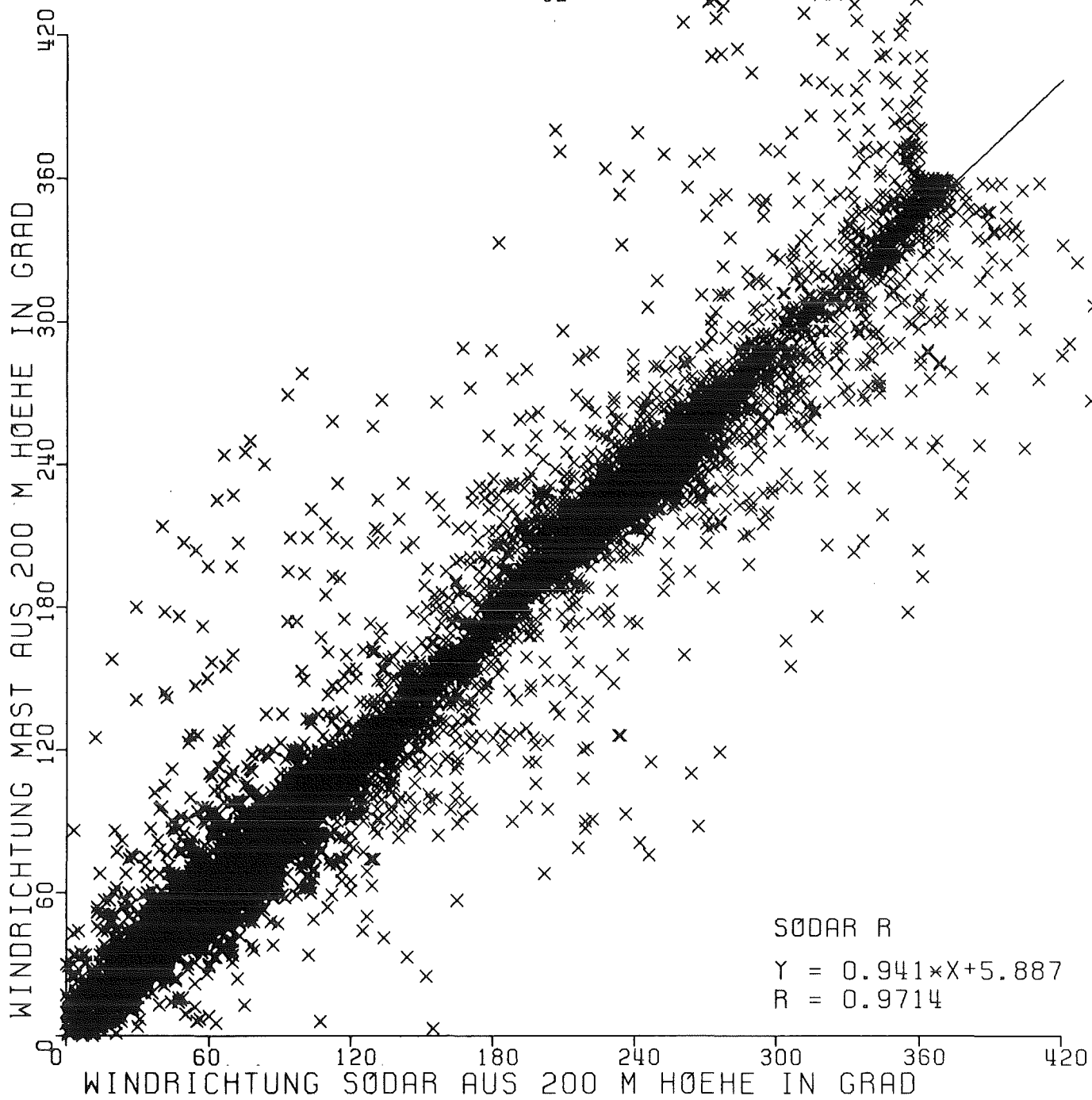


ABB. 6/6: 12.7.1982 BIS 19.11.1982

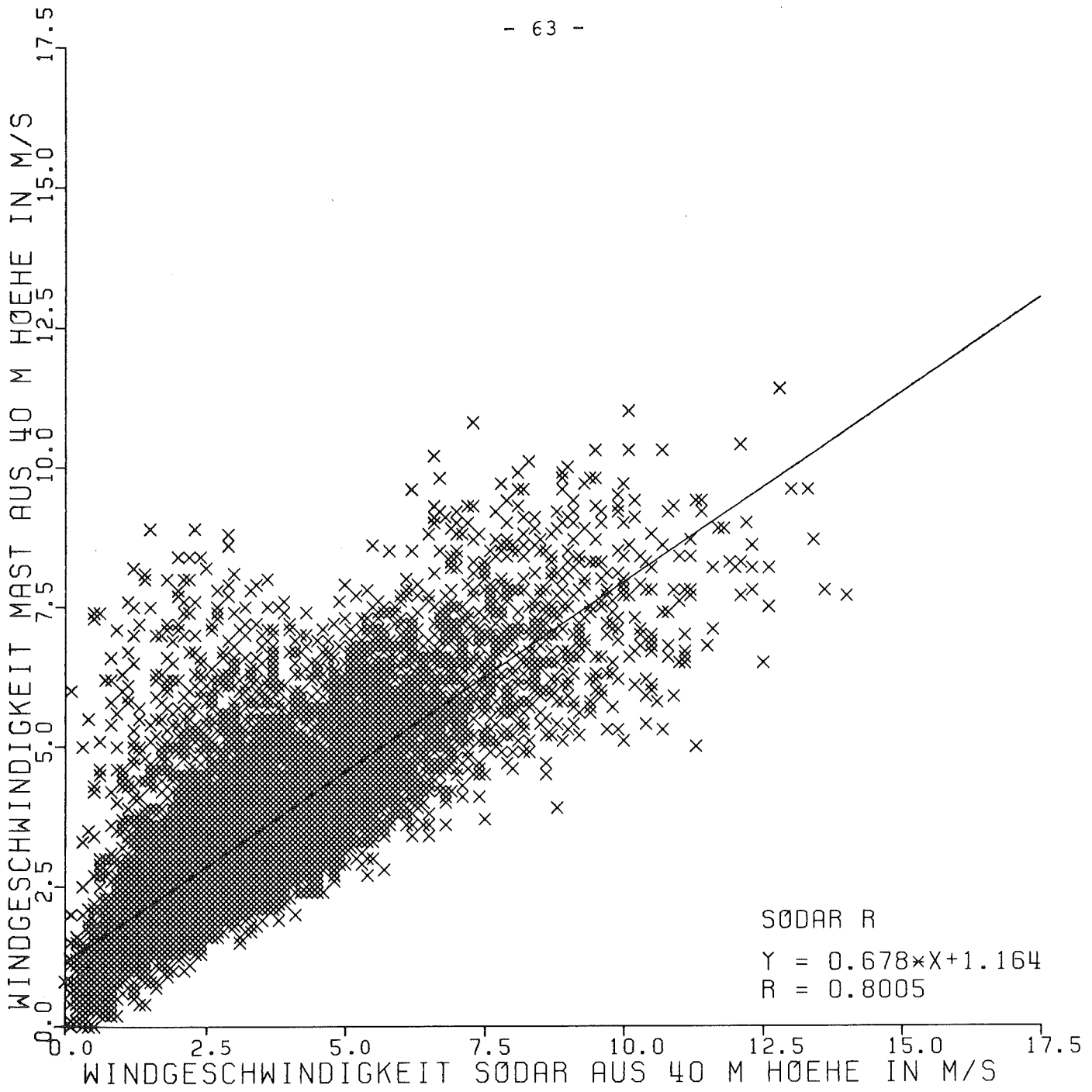


ABB. 6/7: 1.3.1982 BIS 2.6.1982

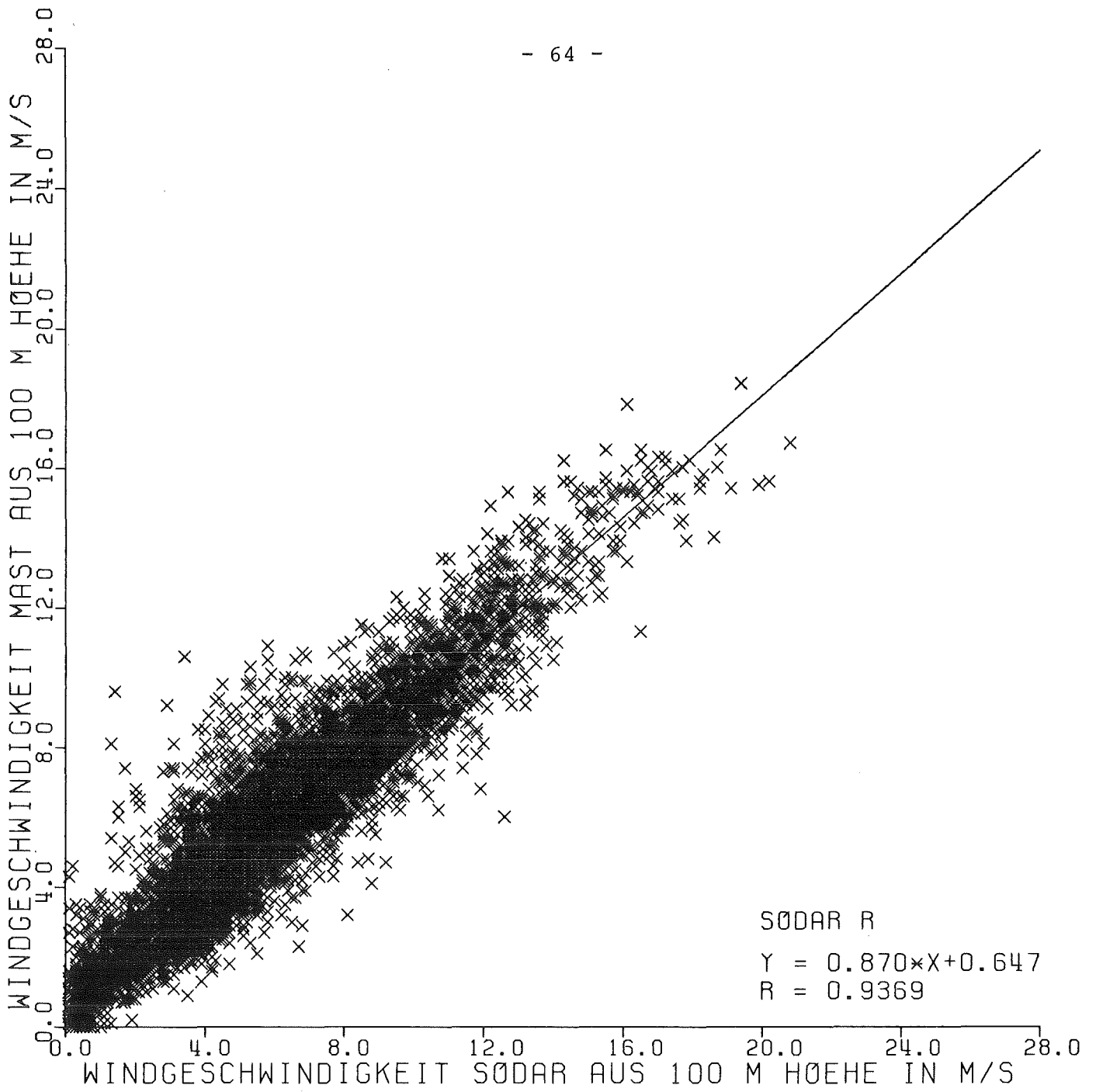


ABB. 6/8: 1.3.1982 BIS 2.6.1982

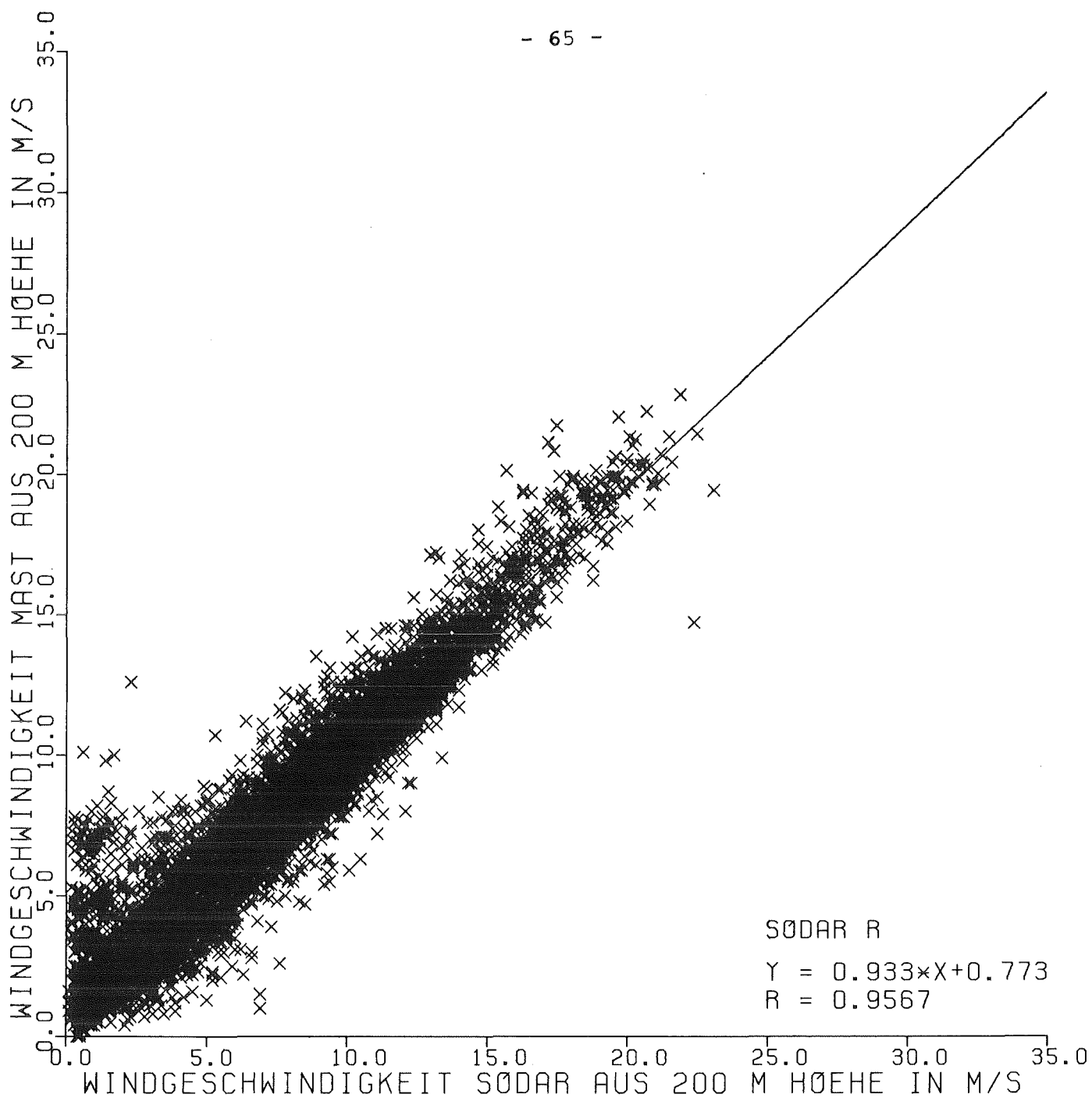


ABB. 6/9: 1.3.1982 BIS 2.6.1982

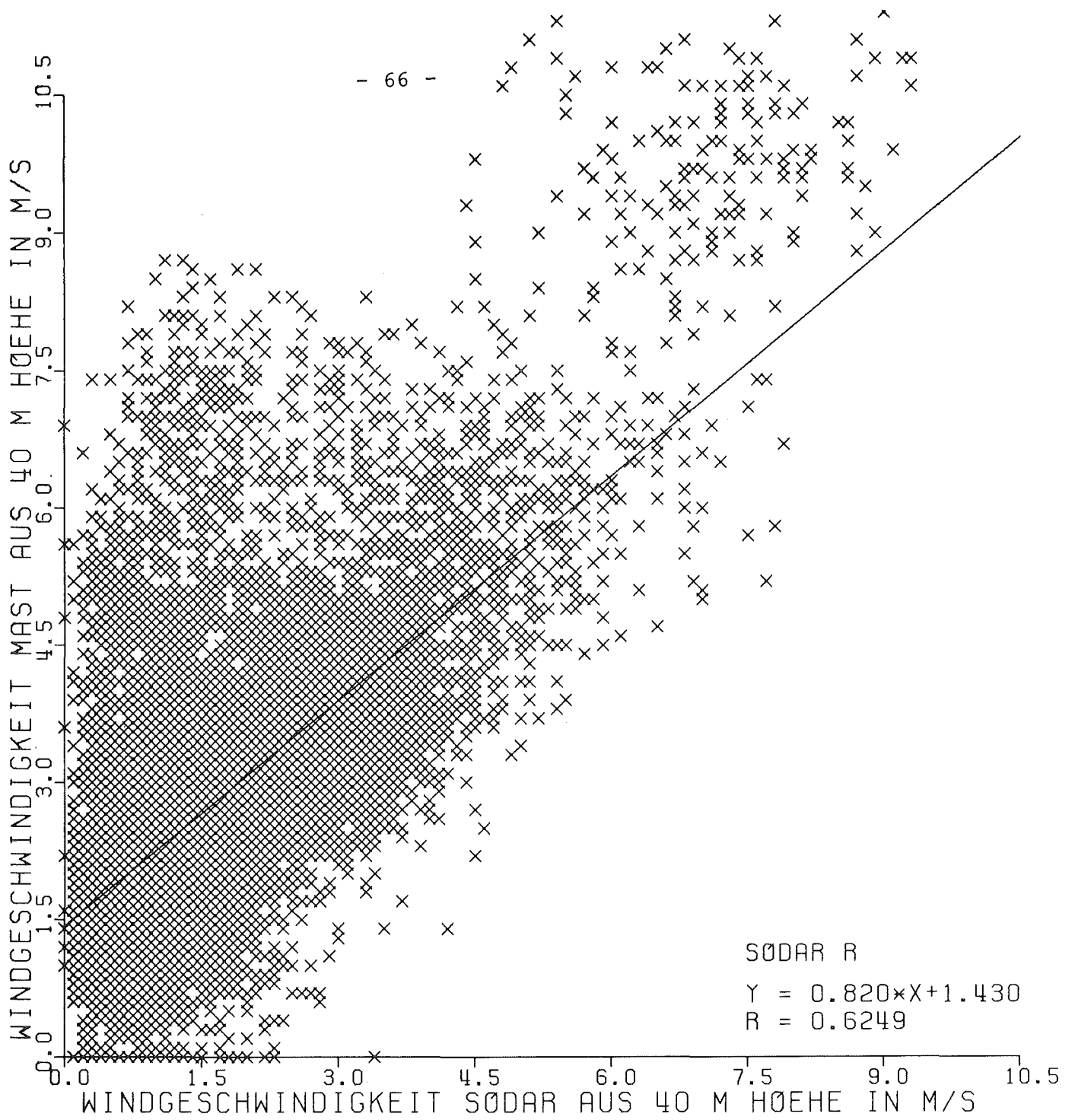


ABB. 6/10: 12.7.1982 BIS 19.11.1982

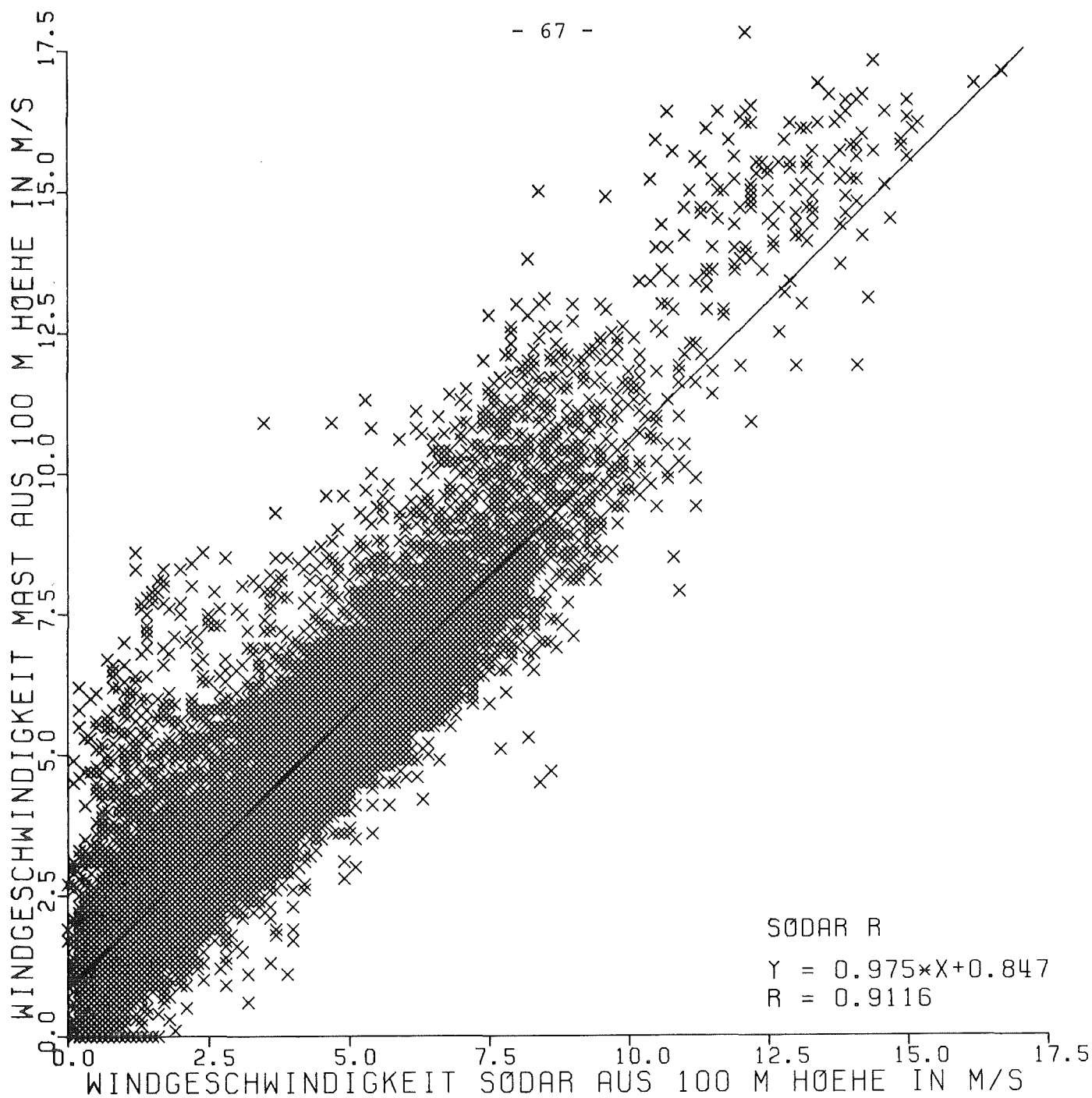


ABB. 6/11: 12.7.1982 BIS 19.11.1982

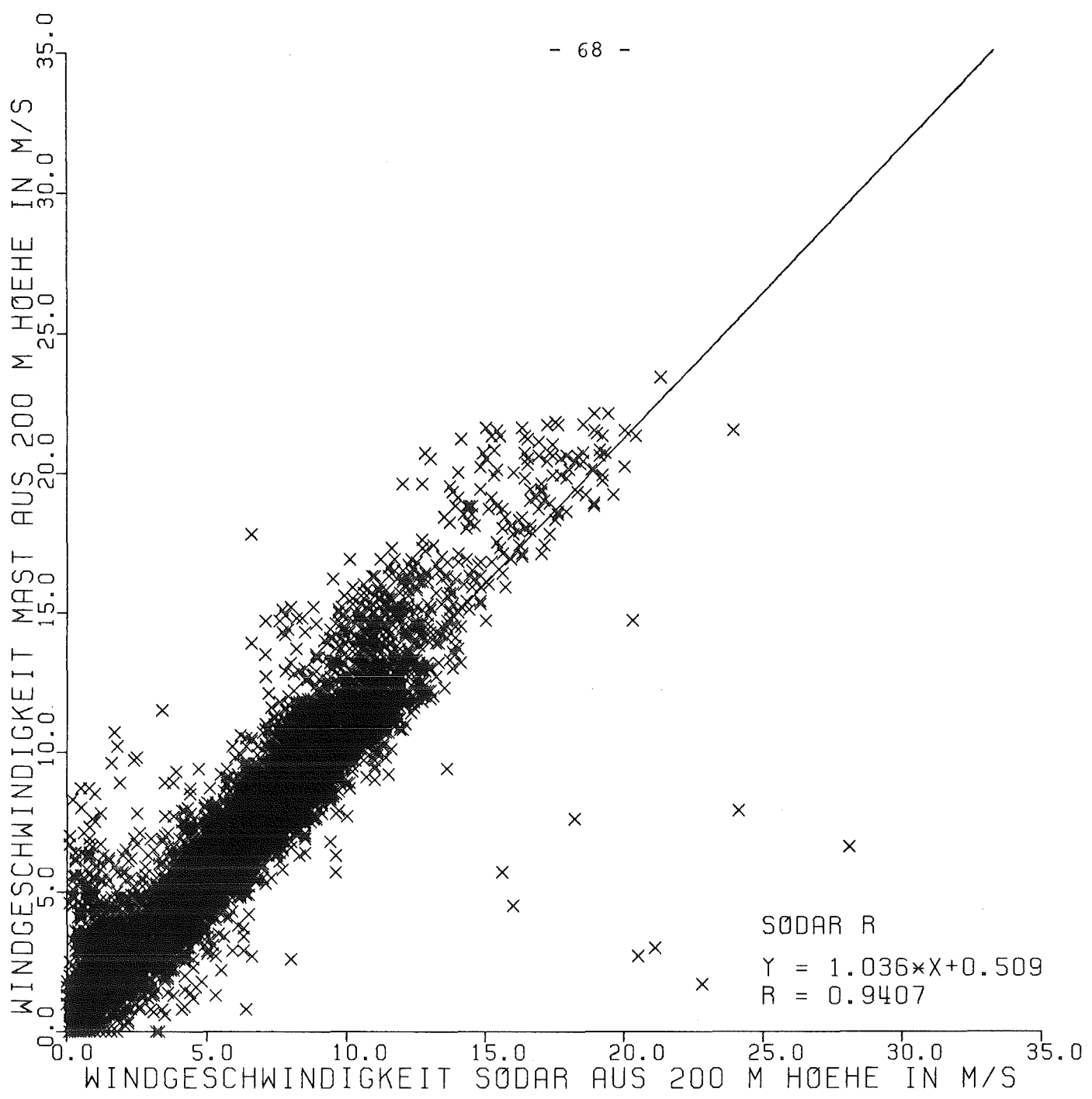


ABB. 6/12: 12.7.1982 BIS 19.11.1982

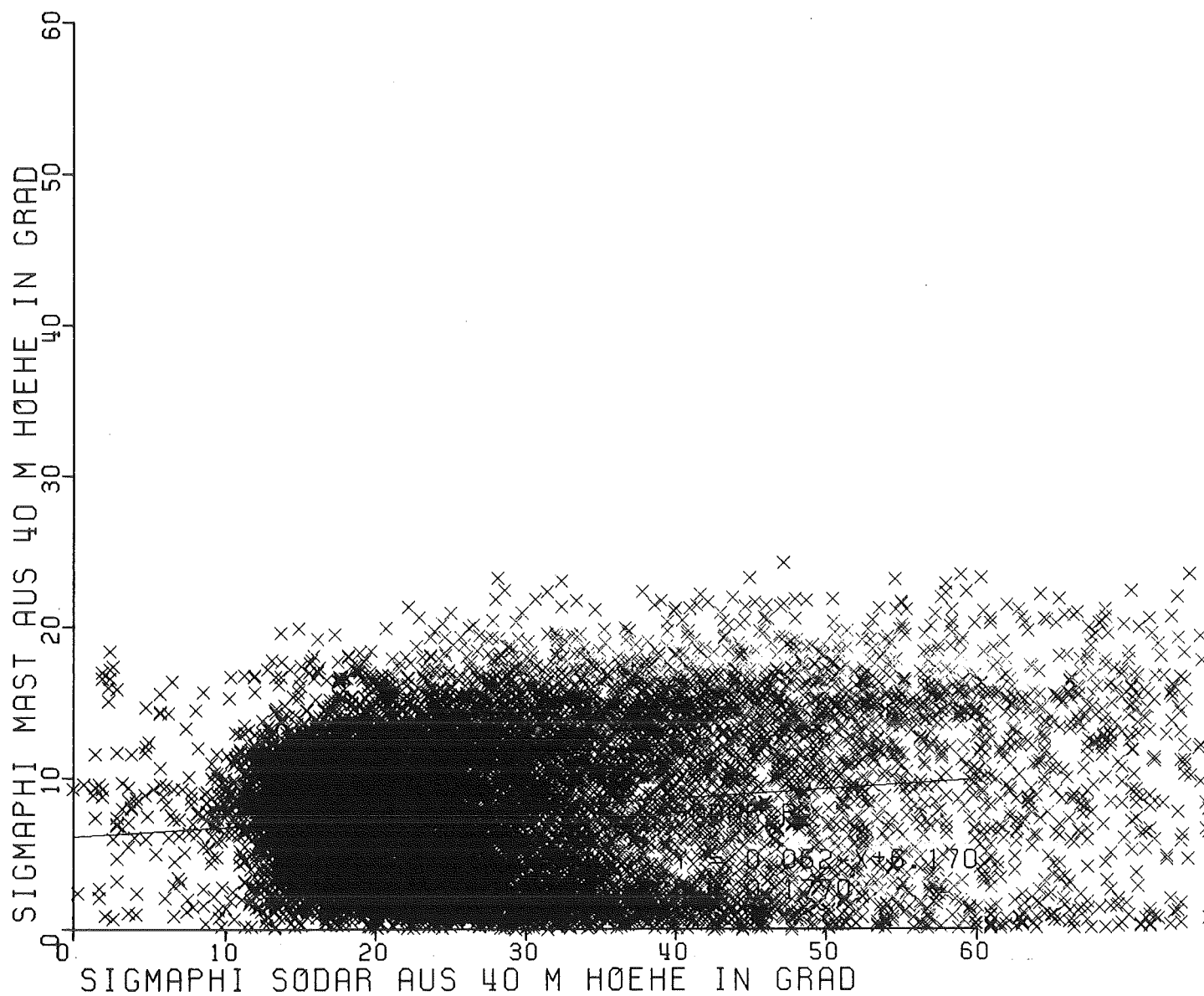


ABB. 6/13: 12.7.1982 BIS 19.11.1982

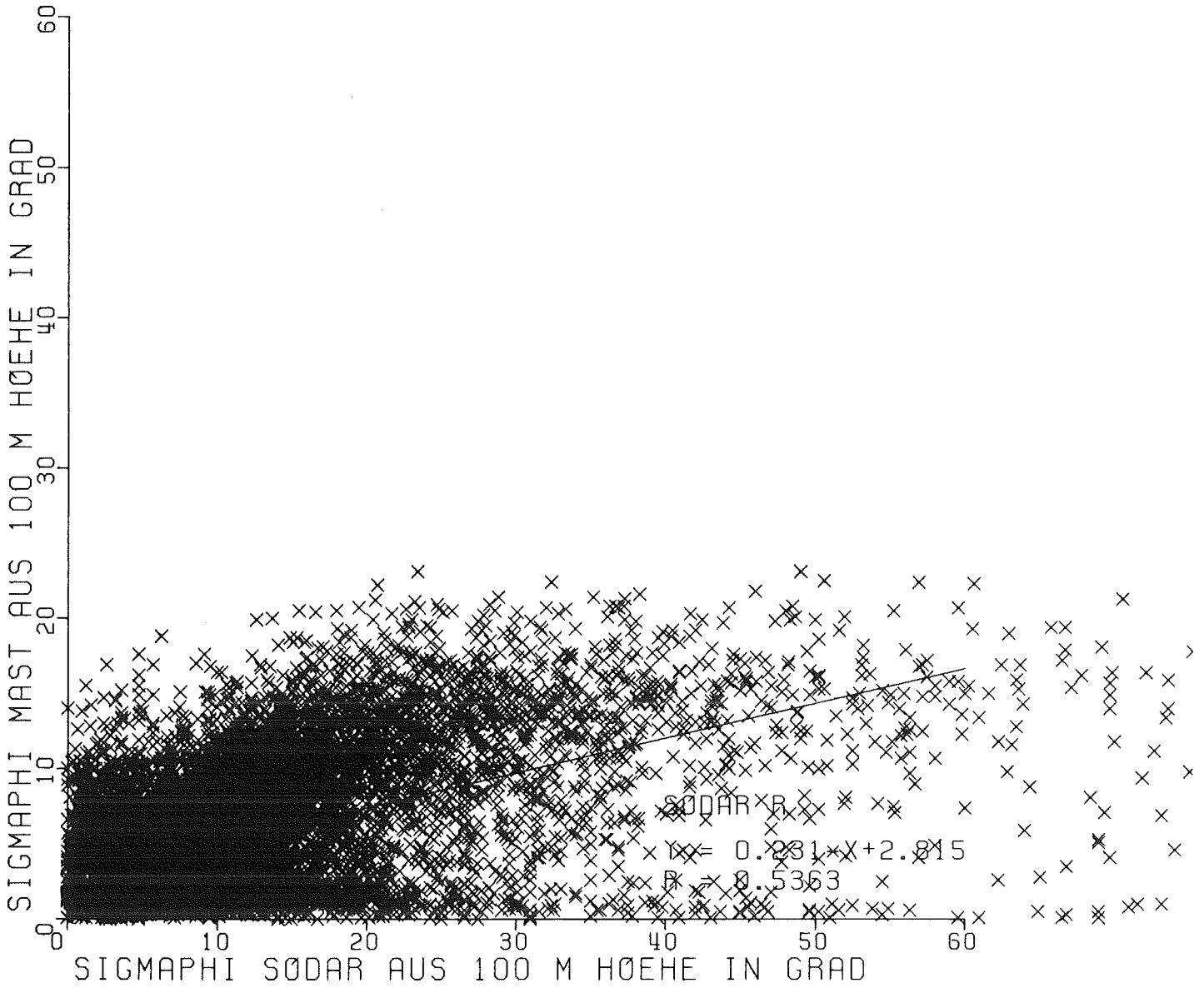


ABB. 6/14: 12.7.1982 BIS 19.11.1982

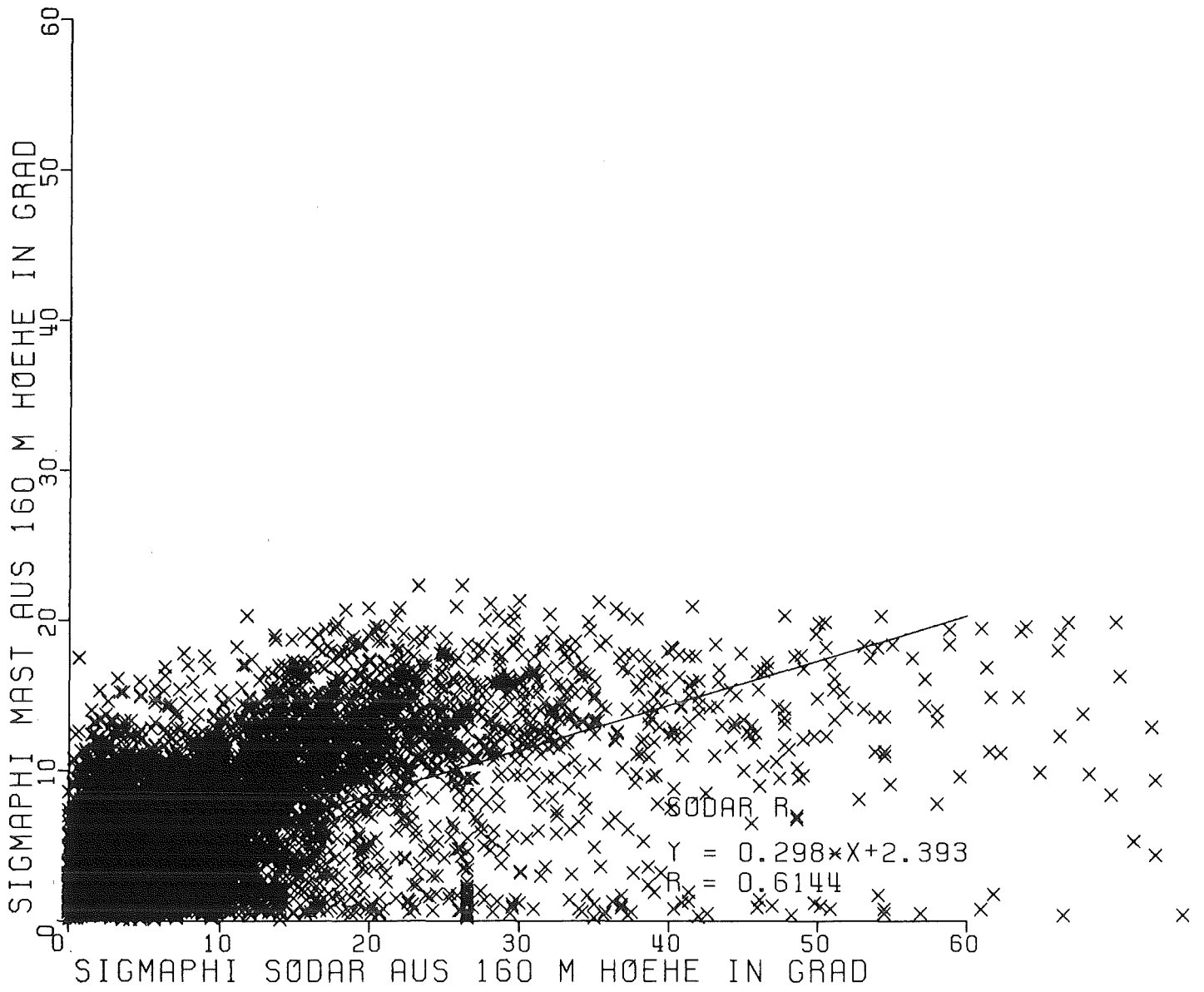


ABB. 6/15: 12.7.1982 BIS 19.11.1982

Kategorie	F	E	D	C	B	A
σ_ϕ (Mast)	1,5°	3,3°	7,0°	10,5°	14,5°	
σ_ϕ (Sodar)	4,9°	7,3°	12,2°	18,4°	29,0°	
σ_ϕ (Sodar), $\overline{A_w} \geq 150$ mV	5,1°	7,45°	12,2°	17,9°	28,0°	

SODAR R



Vektorfahne

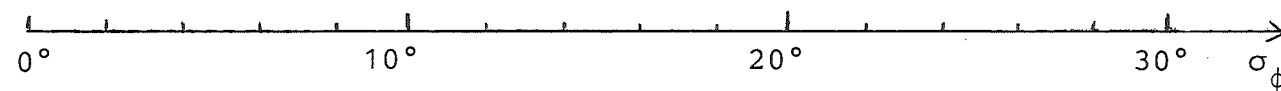
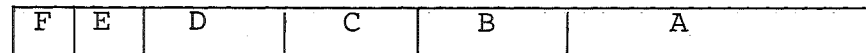


Abb. 7/1: Kategorienbestimmung mit Hilfe der Standardabweichung σ_ϕ der vertikalen Windrichtung in 100 m Höhe
Zeitraum: 12.7. bis 19.11.1982

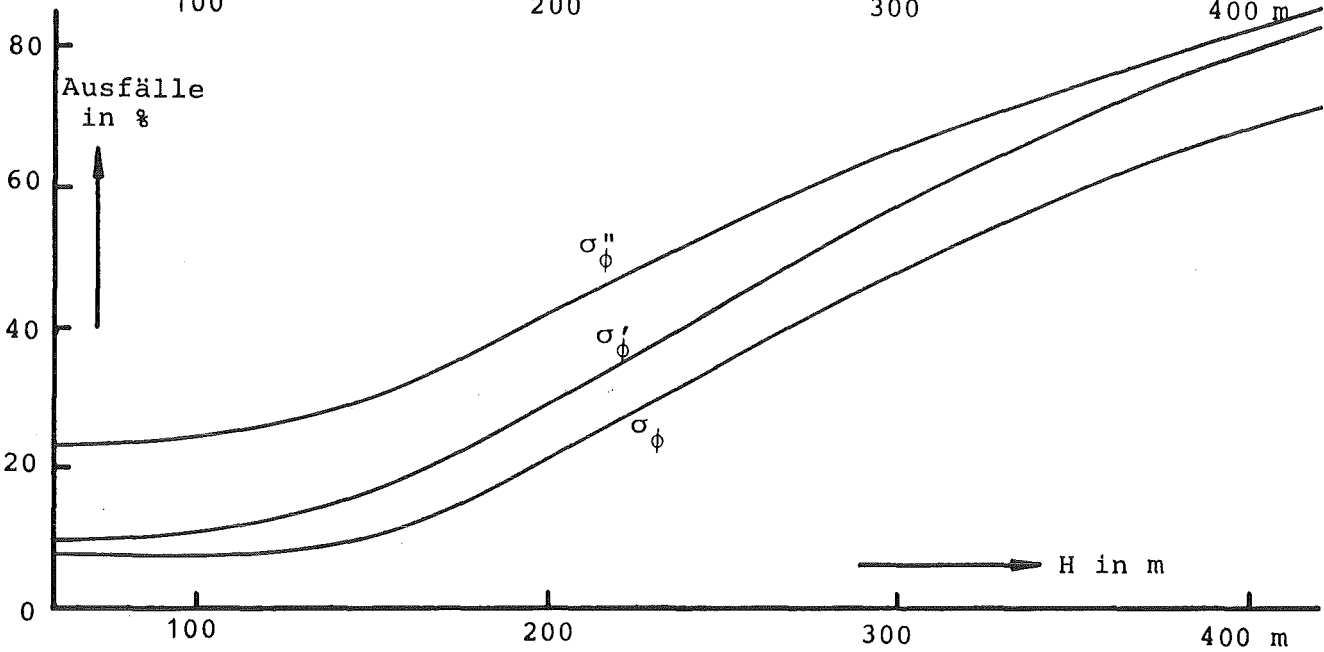
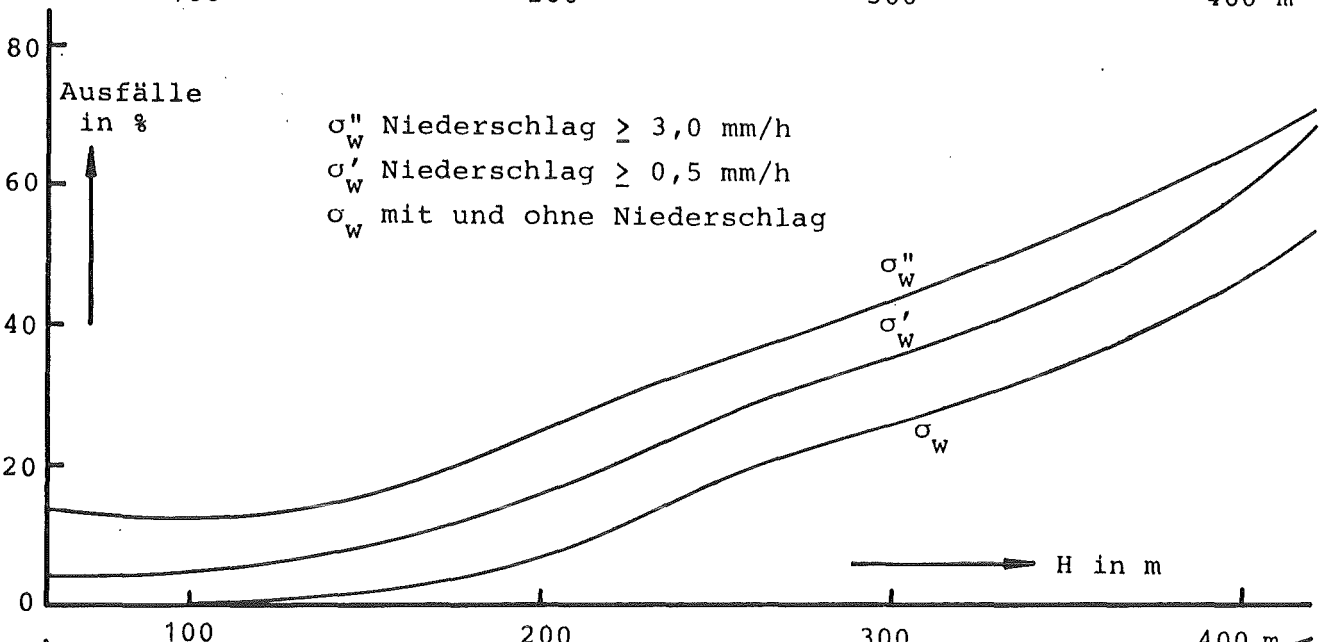
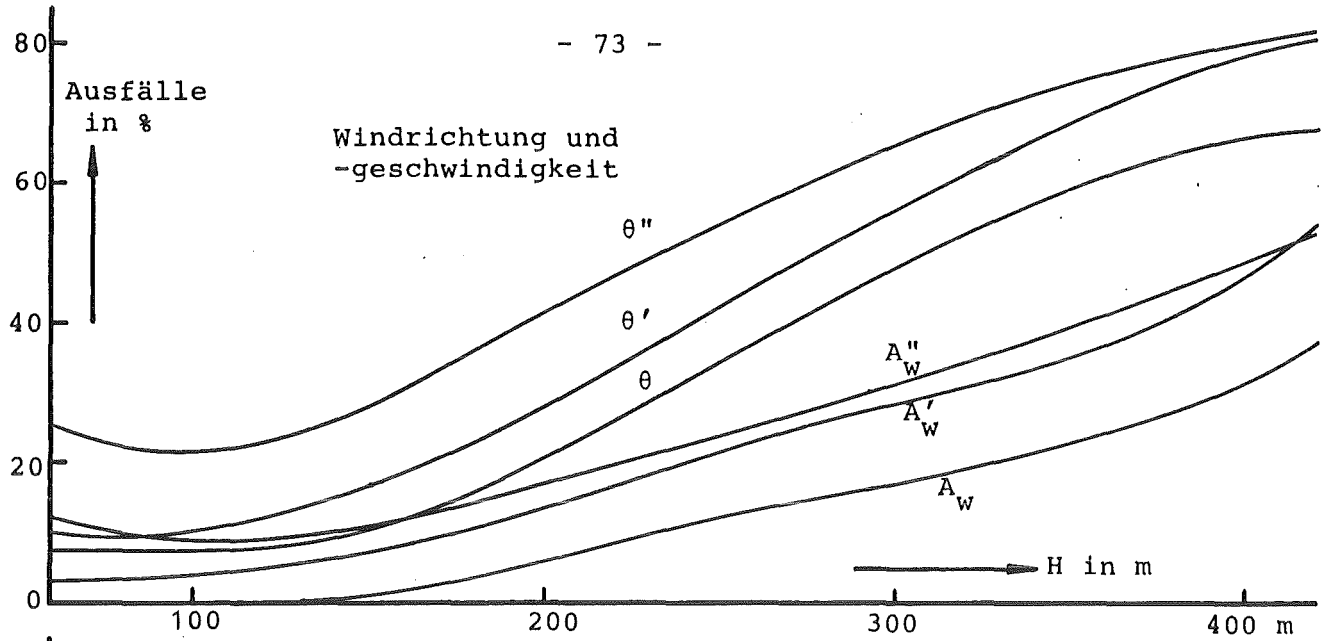


Abb. 8/1: Ausfälle der Meßwerte