



KfK 3928

Mai 1985

# **Testbericht über das monostatische Doppler-SODAR B**

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

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**



Kernforschungszentrum Karlsruhe

Institut für Meteorologie und Klimaforschung

KfK 3928

Testbericht über das monostatische  
Doppler-SODAR B

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 A0 der Firma Remtech, Frankreich, wurde im Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK) vom Nov. 1982 bis Nov. 1983 getestet. Das SODAR-Gerät, hier als SODAR B bezeichnet, wurde routinemäßig auf der vom Wald umgebenen meteorologischen Wiese des KfK, in der Nähe des 200 m hohen Meßmastes, betrieben. Es besteht aus drei Schalltrichtern, die gemeinsam auf einer Lafette montiert sind und im 3-s-Rhythmus abwechselnd einen Schallimpuls von 1585 Hz und 1615 Hz (gemischt) nach oben abstrahlen.

Das SODAR B hat im Dauerbetrieb eine hohe Verfügbarkeit bewiesen. Während der Testperiode wurde lediglich die Schaumstoffauskleidung der Antennen gegen eine besonders witterungsbeständige Version ausgetauscht. Als Meßdaten wurden u. a. die 10-Minuten-Mittelwerte der Windrichtung, -geschwindigkeit und der Standardabweichung der Vertikalgeschwindigkeit von 60 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 60 m beträgt der Korrelationskoeffizient der Windrichtung mehr als 0,92, ab 80 m derjenige der Windgeschwindigkeit meist mehr als 0,80 und in 100 m derjenige der Standardabweichung  $\sigma_w$  zeitweilig mehr als 0,7.

## Test Report on the Monostatic Doppler SODAR B

### Summary

A monostatic Doppler-Sodar type AO, manufactured by Remtech, France, has been tested at Kernforschungszentrum Karlsruhe, KfK, (Karlsruhe Nuclear Research Center) during the period from November 1982 up to November 1983. The SODAR instrument, here referred to as SODAR B, has been routinely operated on the meteorological meadow of the KfK, which is located close to the 200 m high meteorological tower and is surrounded by forest. The SODAR B comprises three antennas mounted on a common carriage. The antennas transmit alternately in a 3 s sequence an acoustic pulse of 1585 Hz and 1615 Hz (mixed) upwards into the atmosphere.

During the test period the SODAR B has proven a high availability. Only the foam cover inside the antennas had to be replaced by a weather resistant one. 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 60 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 heights the relevant instruments are mounted at the tower. At heights of 60 m and more the correlation coefficient of the wind direction amounts to more than 0.92, the one of the wind velocity at heights of 80 m and more to more than 0.80 and the one of the standard deviation  $\sigma_w$  at 100 m and during certain time periods to more than 0.7.

Gliederung	Seite
1. Aufgabe und Ablauf des Tests	1
2. Betrieb	2
2.1 Betrieb im Testzeitraum	2
2.2 Zeitabschnitte des Betriebes	3
2.2.1 Software-Versionen	3
2.2.2 Hardware-Änderungen	5
3. Betriebserfahrungen	5
4. Berechnung der Windrichtung und -geschwindigkeit aus den drei gemessenen Komponenten	6
5. Direkter Vergleich von SODAR- und Mastdaten	8
5.1 Zeitreihen ohne und mit Niederschlag vom 24.05.1983	9
5.1.1 Rückstreuamplitude $A_w$	9
5.1.2 Windgeschwindigkeit $u$	9
5.1.3 Windrichtung $\theta$	10
5.1.4 Standardabweichung $\sigma_\phi$ der vertikalen Windrichtung	10
5.1.5 Standardabweichung $\sigma_w$ des Vertikalwindes	11
5.1.6 Standardabweichung $\sigma_\theta$ der horizontalen Windrichtung	11
5.2 Zeitreihen ohne Niederschlag vom 30.10.1983	12
5.2.1 Rückstreuamplitude $A_w$	12
5.2.2 Windgeschwindigkeit $u$	12
5.2.3 Windrichtung $\theta$	12
5.2.4 Standardabweichung $\sigma_\phi$ der vertikalen Windrichtung	12
5.2.5 Standardabweichung $\sigma_w$ des Vertikalwindes	12
5.2.6 Standardabweichung $\sigma_\theta$ der horizontalen Windrichtung	13
6. Vergleich durch Regressionsanalyse	13
6.1 Theorie	13
6.2 Allgemeines Vorgehen	15
6.3 Windrichtung $\theta$	15
6.4 Windgeschwindigkeit $u$	16

6.5	Standardabweichung $\sigma_{\phi}$	17
6.6	Standardabweichung $\sigma_w$	17
6.7	Standardabweichung $\sigma_{\theta}$	18
7.	Bestimmung der Ausbreitungskategorie mit Hilfe des $\sigma_{\phi}$	19
8.	Verfügbarkeit der Sodar-Meßwerte	21
9.	Zusammengefaßte Bewertung	23
9.1	Aufstellung und Betrieb	23
9.2	Meßwerte	23
10.	Literatur	26

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 60 bis 420 m über Grund, in Schritten von jeweils 20 m (60 m, 80 m, .... 420 m). Das SODAR B besteht aus drei Schalltrichtern, auf einem gemeinsamen Trailer montiert, die im 3-s-Rhythmus abwechselnd einen Schallimpuls von 1585 Hz und 1615 Hz nach oben abstrahlen. Die reflektierten Schallwellen werden auf die Dopplerverschiebung hin analysiert, welche der Luftbewegung in Richtung des Schallkegels proportional ist. Durch die Meßhöhe (420 m) und die Laufzeit des Signals liegt die Pulswiederholfrequenz fest.

Das SODAR B wurde vom 24.11.1982 bis zum 23.11.1983 auf der meteorologischen Wiese des KfK betrieben. Der Standort wurde von der Herstellerfirma Remtech als geeignet befunden. Auf das Problem der diffusen Festechos durch den umgebenden Wald wird unten eingegangen.

Der Testperiode des SODAR B ging der Test des SODAR B1 voraus. Dieses Gerät war, wie auch das SODAR B, von der Fa. Th. Friedrichs & Co. (Hersteller-Firma Bertin, Frankreich/Vorgänger der Firma Remtech) geliefert worden. Es handelt sich dabei um ein auslaufendes Modell. Dieses Gerät wurde beim Wasserwerk Süd aufgestellt und lief parallel zum SODAR R (Test Ende 1982 beendet). Das SODAR B1 wurde Mitte 1982 aus dem Test genommen und Ende Oktober 1982 durch das neue Modell AO der Firma Remtech, im Gutachten als SODAR B bezeichnet, ersetzt.

Da bei diesem Gerät das Auswerteprogramm auf einer Kassette (Betriebskassette) gespeichert ist, können Programm-Änderungen und

-verbesserungen durch Auswechseln der Betriebskassette leicht vorgenommen werden. Davon wurde während des Tests mehrfach durch den Hersteller Gebrauch gemacht. Dadurch ergeben sich mehrere Betriebsperioden und Zeitabschnitte der Auswertung, s. Kap. 2. Der Umfang der Auswertung umfaßt vereinbarungsgemäß den Vergleich der SODAR-B-Meßwerte (Windrichtung und -geschwindigkeit, Standardabweichungen  $\sigma_{\phi}$  und  $\sigma_{\theta}$  der vertikalen und horizontalen Windrichtung, Standardabweichung  $\sigma_w$  der vertikalen Windgeschwindigkeit) mit denen des Meßmastes in den in Tabn. 6/1 bzw. 6/5 angegebenen Meßhöhen, die Verfügbarkeit des SODAR B und die Bestimmung der Ausbreitungsklasse. Die mögliche Beeinträchtigung der SODAR-Meßwerte durch Lärm wurde nicht ermittelt.

## 2. Betrieb

### 2.1 Betrieb im Testzeitraum

Das monostatische Doppler-SODAR B wurde Mitte Oktober 1982 geliefert und zunächst am Wasserwerk Süd aufgestellt.

Die Installation der in unseren Breiten notwendigen Abtaueinrichtung der Lautsprecher für den Winterbetrieb (ohne die elektrische Spannungsversorgung) erfolgte Ende Oktober 1982. Dabei wurde der Antennenboden mit einer heizbaren Karbon-Matte ausgekleidet. Eine Stromversorgung zum Betrieb der Abtaueinrichtung wurde Ende Februar 1983 geliefert, s. u..

Ebenfalls Ende Oktober 1982 wurde der Hohlraum zwischen Antennenboden und Anhängerplattform ausgeschäumt. Damit sollen Resonanzen des Hohlraumes bei niedrigen Windgeschwindigkeiten ( $u < 3,0$  m/s) vermieden werden. Die Resonanzen führen zu fehlerhaften Ergebnissen, wie Erfahrungen bei Geräten in den USA gezeigt hatten.

Am 22.11.1982 wurde das SODAR B zur Nordwest-Ecke der meteorologischen Wiese gebracht, s. Abbn. 2/1 und 2/2, und dort für die Dauer des einjährigen Tests aufgestellt. Am 24.11.1982 begann der Test. Seit dieser Zeit lief das SODAR B im kontinuierlichen Betrieb.

Vom 01.03.1983 bis zum 25.03.1983 konnte die Abtaueinrichtung vorübergehend betrieben werden. Der deutsche Vertreter der Firma Remtech, die Firma Theodor Friedrichs & Co., hatte die notwendige Stromversorgungseinrichtung zur Verfügung gestellt.

Am 11.07.1983 wurde die geräteeigene Stromversorgung der Abtaueinrichtung geliefert und installiert. Die Abtaueinrichtung wurde allerdings innerhalb des Testzeitraumes nicht kontinuierlich betrieben.

Mitte 1983 stellte sich heraus, daß die akustischen Eigenschaften der Schaumstoff-Auskleidung der Antennen unter den Witterungseinflüssen gelitten hatte. Die Erneuerung der Auskleidung erfolgte am 21./22.10.1983. Gleichzeitig wurden optische Spione zur Kontrolle der Antennen-Innenräume eingebaut. Am 23.11.1983 wurde der Test beendet.

## 2.2 Zeitabschnitte des Betriebes

Der Betrieb des SODAR B kann in neun Zeitabschnitte gegliedert werden, s. Tab. 2/1. Die Abschnitte ergeben sich einmal aus den Änderungen der Betriebs-Software (= Wechsel der Betriebskassette oder Änderungen der Betriebsparameter). Die Firma Remtech lieferte eine neue Betriebskassette oder bat um Änderung der Betriebsparameter, wenn Verbesserungen in der Betriebs-Software durchzuführen waren. Zum anderen ergeben sich Abschnitte durch Änderungen an den Antennen, wie Betrieb der Abtaueinrichtung und Austausch der Schaumstoff-Auskleidung.

### 2.2.1 Software-Versionen

Bei der Software können im gesamten Testzeitraum drei Versionen mit insgesamt 5 Varianten unterschieden werden, die im nachfolgenden kurz erläutert werden.

Betriebskassette Version a (ab 24.11.1983)

Das System arbeitet mit zwei um 30 Hz von einander versetzten Schallsignalen. Damit ist es möglich, die Festechos, die bedingt durch die Umgebung des Standortes auftreten, festzustellen und dadurch verfälschte Daten zu verwerfen.

Betriebskassette Version b (ab 25.01.1983)

Das Grundprogramm ist identisch mit Version a. Es wurde die Festechoerkennung verbessert und verfeinert.

Betriebskassette Version c (ab 02.03.1983)

Das Grundprogramm ist identisch mit der Version b. Es werden jedoch die Daten der 40-m-Meßhöhe systematisch als ungültig ausgegeben.

Betriebskassette Version d (ab 06.05.1983)

Bei der Entscheidung, ob gültige Einzelmeßwerte vorliegen, wird zwischen den Mittelwerten und den Standardabweichungen unterschieden. Horizontale und vertikale Windkomponente werden getrennt geprüft. Die Daten der 40-m-Meßhöhe werden nicht mehr als ungültig ausgegeben, haben jedoch weiterhin keine physikalische Bedeutung.

Betriebskassette Version e (ab 08.08.1983)

Die Sendeleistung wird verdoppelt. Die Antennen werden automatisch in Abhängigkeit der Außentemperatur kompensiert. Die Standardabweichungen der Windgeschwindigkeit werden aus den Radialkomponenten berechnet und bei den Gültigkeitskontrollen verwendet.

### 2.2.2 Hardware-Änderungen

Änderungen in der Hardware, d. h. im Aufbau des SODAR B führten ebenfalls zu einer Unterteilung der Zeitabschnitte. Solche Änderungen waren

- die Inbetriebnahme der Heizung,
- der Stau von Regenwasser in den Antennen und
- das Auswechseln der schadhafte Antenneninnenauskleidung.

### 3. Betriebserfahrungen

Während des Betriebes konnten nachfolgende Erfahrungen gesammelt werden.

Das Antennensystem des SODAR B ist kompakt gebaut. Die drei Antennen stehen fest montiert, und damit eindeutig zueinander orientiert, auf einem Trailer. Die Orientierung der Antennen bezüglich der Nordrichtung am Betriebsort ist daher nur einmal notwendig.

Zur Kontrolle des Antennen-Innenraumes mußte man anfänglich entweder mittels einer Leiter an der Antennenaußenseite hochklettern oder den seitlichen Antenneneinstieg öffnen. Die Kontrolle wurde wesentlich vereinfacht, nachdem optische Spione in die Antennenwand eingebaut waren. Die Kontrolle ist notwendig nach längeren oder heftigen Regen- oder Schneefällen. In die Antennen gefallene Blätter, Äste o. ä. können zur Verstopfung der Wasserablauffröhrchen führen. Die Folge ist ein Wasserstau oder bei Kälte auch eine Vereisung auf dem Antennenboden. Dadurch wird die Antennengeometrie verfälscht, was fehlerhafte Daten zur Folge hat. Inzwischen wurden die Abflußlöcher vergrößert. Außerdem zeigt die Software Version e an, ob sich Wasser in der Antenne gesammelt hat.

Das Reinigen der Antennen - notwendig, wenn hineingefallene oder hineingewehte Blätter, Äste oder sonstige Verschmutzung entfernt werden sollen - ist nach dem Öffnen des Antenneneinstiegs möglich.

Die Kontrolle der Antennen sollte sich nicht nur auf die Sauberkeit des Bodens, sondern auch auf den Zustand der Innenauskleidung erstrecken. Im Herbst hatte die Schaumstoff-Auskleidung durch die Witterungseinflüsse gelitten. Die Auskleidung hatte sich, besonders an den direkt der Witterung ausgesetzten Flächen, verhärtet und war anschließend zerbröckelt. Als Folge davon traten fehlerhafte Daten durch mangelhaft gedämpfte Seitenkeulen des Schallstrahles auf.\*

Die Abtaueinrichtung konnte nicht in vollem Umfang getestet werden. Ein echter Winterbetrieb war nicht möglich, da der Betrieb nur im März 1983 und dann wieder ab Juli 1983 möglich war. Während des Betriebes im März 1983 kam es zu einigen Rechnerausfällen. Nach dem Tausch der CPU-Karte im DEC-Rechner durch die Firma Remtech traten bei eingeschalteter Abtaueinrichtung im Zeitabschnitt 3 keine Störungen mehr auf.

Wegen der von uns gestellten Forderung, den Rechner mit einer TU58 (Kassettenstation) auszustatten, war der Wechsel der Datenkassetten zeitraubend. Jede Datenkassette muß beim Wechsel neu initialisiert werden. Dabei werden verschiedene Abschnitte des Betriebsprogrammes benötigt. Das Laden dieser Programmsegmente in den Rechner erfordert durch den sequentiellen Zugriff viel Zeit und führt zu einem ca. 30minütigen Datenausfall. Durch Einsatz eines Disketten-Laufwerkes ist dieser Nachteil umgehbar.

Wir empfehlen, eine Referenzfläche anzubringen, über die mit Wasserwaage und Kompaß die Ausrichtung des Antennen-Systems vorgenommen bzw. überprüft werden kann.

#### 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 Herstellerfirma stellt hierzu fest:

- Die erwartete Lebensdauer des neuen Schaumstoffes beträgt 2 Jahre; die Garantie beträgt 18 Monate.
- Der Austausch ist mittels Klettverschluß leicht durchführbar.
- Der Rechner überprüft laufend die akustischen Eigenschaften des Schaumstoffes und gibt bei einer Verschlechterung eine entsprechende Fehlermeldung aus.

- die vertikale Windgeschwindigkeitskomponente  $r_3$ ,
- zwei um den Winkel  $\phi$  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  $\phi$  wurde einheitlich auf  $18^\circ$  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  $\phi = 18^\circ$  ergibt sich für die Anordnung der Antennen im KfK:

$$(4-2) \quad A = 3,24 (r_1 - 0,95 \cdot r_3).$$

$B$  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  $\theta$  bestimmt.

Der Winkel  $\alpha$  ist von der Ausrichtung der Antennen her bekannt.  
 Der Winkel  $\theta^*$  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  $\phi$  ersehen werden: Wird  $\phi$  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  $\phi$  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 atmosphärische 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 4-4 entnehmen kann, der Einfluß auf  $\theta^*$  gering, da er zumindest teilweise kompensiert wird. Daher ist, verglichen mit  $u$ , eine geringere Störanfälligkeit der  $\theta^*$ -Messung zu erwarten.

## 5. Direkter Vergleich von SODAR- und Mastdaten

Zum direkten Vergleich von SODAR- und Mastdaten werden beispielhaft die Meßwerte aus 100 m Höhe als Zeitreihe über 24 h darge-



stellt. 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. Es handelt sich um die Zeitreihen vom 24.05. und 30.10.1983. Am 24.05.1983 regnete es zeitweise stark; deshalb wurde dieser Tag angewählt. Der 24.05.1983 liegt auch lange vor dem Datum, an dem die Schaumstoff-Isolierung ausgewechselt wurde. Am 30.10.1983 waren die Antennen mit der neuen Isolierung versehen. Im letzten Zeitabschnitt gab es keine Niederschläge.

Die in den folgenden Abschnitten von Kap. 5 aus den Zeitreihen abgeleiteten Unterschiede zwischen Sodar- und Mastdaten gelten allgemein für den gesamten Auswertzeitraum. Die Zeitreihen vom 24.05. und 30.10.1983 stehen hier nur beispielhaft.

#### 5.1 Zeitreihen ohne und mit Niederschlag vom 24.05.1983

Abb. 5/1 zeigt die Regenmenge im logarithmischen Maßstab. Die Regenmenge wurde auf mm/h umgerechnet.

##### 5.1.1 Rückstreuamplitude $A_w$

Abb. 5/2 zeigt die Rückstreuamplitude  $A_w$  der vertikal gerichteten Antenne. Die Amplitude schwankt von einem 10-Minuten-Mittelwert zum nächsten. Sie wird jedoch durch die Intensität des Niederschlags nicht beeinflusst.

##### 5.1.2 Windgeschwindigkeit $u$

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 jedoch häufig um mehr als 1 m/s niedriger als der Meßwert vom Mast.

Der Regen hat keinen Einfluß auf die Übereinstimmung der Meßwerte. Große Abweichungen der Meßwerte voneinander sind nicht mit starker Regenintensität korreliert. Allerdings liefert das Sodar bei starkem Regen zeitweise keine Meßwerte.

### 5.1.3 Windrichtung $\theta$

Abb. 5/4 zeigt in analoger Weise die gemessenen Windrichtungen. Die beiden Meßwerte sind gut miteinander korreliert. Der Regen beeinträchtigt die Übereinstimmung der beiden Meßwerte nicht.

### 5.1.4 Standardabweichung $\sigma_\phi$ der vertikalen Windrichtung

Vom Sodar wird  $\sigma_\phi$  nicht direkt gemessen, sondern angenähert berechnet:

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

Es sind

- $\sigma_w$ : Mittelwert der vom Sodar gelieferten Standardabweichung der vertikalen Windgeschwindigkeit,
- $u$ : Mittelwert der vom Sodar gelieferten horizontalen Windgeschwindigkeit.

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  $\sigma_\phi$  sind häufig durch kleine Windgeschwindigkeiten des Sodar aufgrund der Berechnung von  $\sigma_\phi$  nach Gleichung (5-1) verursacht (vergleiche mit Spitzen der Windgeschwindigkeit in Abb. 5/3 nach unten). Der Regen hat keinen Einfluß auf die Übereinstimmung der beiden Meßwerte. Zu beachten ist, daß auch die Vektorfahne am Mast bei starkem Regen zeitweise kein  $\sigma_\phi$  liefert.

### 5.1.5 Standardabweichung $\sigma_w$ des Vertikalwindes

Am Mast wird  $\sigma_w$  nicht direkt gemessen, sondern angenähert berechnet:

$$(5-2) \quad \sigma_w = u \cdot \tan \sigma_\phi.$$

Es sind

- $u$ : Mittelwert der horizontalen Windgeschwindigkeit, gemessen mit Schalensternanemometern am Mast,
- $\sigma_\phi$ : Mittelwert der Standardabweichung der vertikalen Windrichtung, gemessen mit Vektorfahnen am Mast.

Die Mast- und Sodar-Meßwerte sind in Abb. 5/6 dargestellt. Die  $\sigma_w$ -Werte beider Meßgeräte sind besser korreliert als die  $\sigma_\phi$ -Werte. Wieder zeigt der Meßwert des Sodar stärkere zeitliche Schwankungen als der Mastwert. Dabei fällt besonders der Peak von 92 cm/s um 9:20 Uhr auf, der auch im Höhenprofil nur bei 100 m auftritt. In 80 m und 120 m Höhe beträgt das  $\sigma_w$  zu dieser Zeit nur 14 cm/s und 28 cm/s. Eine Beeinflussung der Meßwerte durch Regen ist am 24.05.1984 nicht erkennbar.

### 5.1.6 Standardabweichung $\sigma_\theta$ der horizontalen Windrichtung

Bei der Bestimmung des  $\sigma_\theta$  im Sodar B wird das Mittelungsintervall von 10 min in Zeitspannen von ca. 30 s unterteilt. Für jede dieser Zeitspannen wird eine mittlere Windrichtung  $\theta$  bestimmt. Aus den Windrichtungen  $\theta$  aller Zeitspannen wird dann die Standardabweichung  $\sigma_\theta$  berechnet.

Die  $\sigma_\theta$  von Mast und Sodar sind in Abb. 5/7 dargestellt. Die  $\sigma_\theta$  des Sodar schwanken stark (von einem 10-min-Mittelwert zum nächsten) und liegen meist höher als der Mastwert. Eine Korrelation von Mast- und Sodar-Werten ist nicht zu erkennen. Beim Vergleich mit Abb. 5/3 zeigt sich, daß hohe Spitzen von  $\sigma_\theta$  gelegentlich mit zu kleinen Windgeschwindigkeiten des Sodar zusammenfallen.

## 5.2 Zeitreihen ohne Niederschlag vom 30.10.1983

### 5.2.1 Rückstreuamplitude $A_w$

Abb. 5/8 zeigt die Amplitude  $A_w$  der mit der vertikal gerichteten Antenne gemessenen Rückstreuung. Diese schwankt von einem 10-min-Mittelwert zum nächsten; sie zeigt aber auch einen ausgeprägten Gang mit der Tageszeit.

### 5.2.2 Windgeschwindigkeit $u$

Die in Abb. 5/9 dargestellten Windgeschwindigkeiten verhalten sich ähnlich, wie in Abb. 5/3 für den 24.05.1983 festgestellt. Beide Meßwerte sind i. a. gut korreliert. Der Sodarwert schwankt zeitlich stärker als der Mastwert; der Sodarwert liegt häufiger unter als über dem Mastwert. Starke Abweichungen zwischen den Meßwerten beider Instrumente sind nicht mit niedrigen Werten der Rückstreuamplitude  $A_w$  korreliert.

### 5.2.3 Windrichtung $\theta$

Die in Abb. 5/10 dargestellten Windrichtungen sind gut miteinander korreliert. In Einzelfällen betragen die Abweichungen jedoch über  $30^\circ$ .

### 5.2.4 Standardabweichung $\sigma_\phi$ der vertikalen Windrichtung

Die in Abb. 5/11 dargestellten  $\sigma_\phi$  sind kaum miteinander korreliert. Der Sodarwert schwankt zeitlich stark, liegt meist niedriger als der Mastwert und fällt gelegentlich aus.

### 5.2.5 Standardabweichung $\sigma_w$ des Vertikalwindes

Die in Abb. 5/12 dargestellten  $\sigma_w$  weisen eine, wenn auch schwache Korrelation auf. Die Feststellungen von Kap. 5.1.5 gelten auch hier: Der Sodarwert schwankt im Vergleich zum Mastwert stark. Er liegt sowohl höher als auch niedriger als der Mastwert. Eine Korrelation mit  $A_w$  (Abb. 5/8) ist nicht zu erkennen.

### 5.2.6 Standardabweichung $\sigma_\theta$ der horizontalen Windrichtung

Die in Abb. 5/13 dargestellten  $\sigma_\theta$  zeigen schwache Korrelation. Die bereits in Kap. 5.1.6 festgestellten Unterschiede zwischen Sodar- und Mastwerten bzw. die festgestellten Eigenschaften der Sodarwerte gelten auch hier.

## 6. Vergleich durch Regressionsanalyse

### 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.

$$(6-5) \quad A = \frac{\frac{1}{N} \sum x_i y_i - \left(\frac{1}{N} \sum x_i\right) \left(\frac{1}{N} \sum y_i\right)}{\frac{1}{N} \sum x_i^2 - \left(\frac{1}{N} \sum x_i\right)^2}$$

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

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

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 6/6 sind für die in Kap. 2.2 beschriebenen Zeitabschnitte die Kenngrößen A, B und N der Regressionsgeraden und der Korrelationskoeffizient R zusammengestellt. Die Angaben beziehen sich auf alle Meßhöhen, in denen Vergleiche vorgenommen wurden. Die teilweise kurzen Auswerte-Zeitabschnitte und die daher große Zahl von anfallenden Ergebnissen war von der Firma Remtech gewünscht worden.

Auf den Abbn. 6/1 bis 6/12 sind die Punktwolken der Wertepaare von Windrichtung und Windgeschwindigkeit aus den Höhen 60 m, 100 m und 200 m und die daraus errechneten Regressionsgeraden des fünften (06.05.1983 bis 05.08.1983) und letzten (22.10.1983 bis 23.11.1993) Zeitabschnitts dargestellt. Der fünfte Zeitabschnitt wurde gewählt, da er der längste ist und die Sommermonate abdeckt. Der letzte Abschnitt folgt unmittelbar auf den Austausch der Schaumstoff-Isolierung und liegt im Spätherbst. Die Abbn. 6/14 bis 6/19 zeigen die Punktwolken und Regressionsgeraden der Standardabweichungen  $\sigma_w$ ,  $\sigma_\phi$  und  $\sigma_\theta$  für die gleichen Zeitabschnitte.

## 6.3 Windrichtung $\theta$

Zu den Abbn. 6/1 bis 6/6 und der Zusammenstellung der Ergebnisse in den Tabn. 6/1 und 6/2 kann folgendes festgestellt werden:

- Der Korrelationskoeffizient R
  - ist größer als 0,92,
  - hängt nicht von der Jahreszeit oder vom Alter der Schaumstoffisolierung ab,
  - nimmt nur geringfügig und nicht in allen Zeitabschnitten mit der Höhe zu.

Der y-Achsen-Abschnitt B ist fast immer positiv, ändert sich mit der Zeit und ist im ersten und vierten Zeitabschnitt sehr groß. Die Steigung A der Regressionsgeraden ist stets kleiner als 1, ändert sich mit der Zeit und ist im ersten und vierten Zeitabschnitt besonders klein.

#### 6.4 Windgeschwindigkeit u

Abb. 6/13 zeigt für die drei Höhen 60 m, 100 m und 200 m den Korrelationskoeffizienten  $R$  in Abhängigkeit der Standzeit des Sodar im KfK. Aus den Abbn. 6/7 bis 6/12 und der Zusammenfassung der Ergebnisse in den Tabn. 6/3 und 6/4 und in Abb. 6/13 können folgende Feststellungen abgeleitet werden:

- Der Korrelationskoeffizient  $R$  nimmt mit der Höhe zu.
- Der Korrelationskoeffizient hängt von der Standzeit des Sodar im KfK ab.

Dabei nimmt die Übereinstimmung zwischen Sodar- und Mastdaten ständig bis Ende August ab. Diese Abnahme ist in der untersten Meßhöhe 60 m besonders deutlich. Die Abnahme verstärkt sich, nachdem Anfang August 1983 ein neues Programm implementiert wird. Erst nachdem am 25. August 1983 die Temperaturkompensation durch eine Änderung der Referenzfrequenz wirksam wird, steigt der Korrelationskoeffizient wieder an. Die neue Schaumstoff-Isolierung verbessert die Korrelation nicht.

Bei der Interpretation von Abb. 6/13 muß berücksichtigt werden, daß der Korrelationskoeffizient sicher auch von der Jahreszeit und der Häufigkeit bestimmter meteorologischer Situationen abhängt, z. B. Niederschlag und Stark- und Schwachwindlagen.

Ob Niederschlag den Korrelationskoeffizienten beeinträchtigt, wurde im fünften Zeitabschnitt (06.05. bis 05.08.1983) für die Höhe 100 m untersucht. Bei der linearen Regression blieben Wertepaare unberücksichtigt, wenn es im zugehörigen 10-min-Intervall regnete. Obwohl die Zahl der Meßwertepaare von 9420 auf 8679 abnahm, änderten sich die Regressionsgerade und der Korrelationskoeffizient nur geringfügig.

- Die Mastwerte liegen, besonders bei niedrigen Windgeschwindigkeiten, meist höher als die des Sodar, wie der Wert von  $B$  in den



Tabn. 6/3 und 6/4 zeigt. B beträgt häufig mehr als 2 m/s in der Höhe 60 m. Mit zunehmender Höhe nimmt B rasch ab.

- Die mittlere Übereinstimmung von Mast- und Sodarwerten nimmt mit der Höhe zu; denn mit wachsender Höhe nimmt B ab und die Steigung A nähert sich 1. D. h. die Regressionsgerade wird mit wachsender Höhe mehr und mehr zur Winkelhalbierenden zwischen x- und y-Achse.

#### 6.5 Standardabweichung $\sigma_\phi$

Aus den Abbn. 6/14 und 6/15 und der Zusammenstellung der Ergebnisse in den Tabn. 6/5 und 6/6 können folgende Feststellungen abgeleitet werden:

- In den meisten Zeitabschnitten sind die  $\sigma_\phi$  nicht korreliert.
- Die höchsten Korrelationskoeffizienten R gibt es im 4. Zeitabschnitt (R = 0,41 in 100 m Höhe) und im 7. Zeitabschnitt (R = 0,46 in 160 m Höhe).
- Die Sodarwerte liegen häufig beträchtlich höher als die Mastwerte.

#### 6.6 Standardabweichungen $\sigma_w$

Aus den Abbn. 6/16 und 6/17 und der Zusammenstellung der Ergebnisse in den Tabn. 6/5 und 6/6 können folgende Feststellungen abgeleitet werden:

- Der Korrelationskoeffizient R
  - liegt in der Höhe 100 m zwischen 0,54 und 0,72,
  - liegt damit niedriger als bei Windrichtung und Windgeschwindigkeit,
  - ist meist in 100 m Höhe größer als in 160 m Höhe,
  - zeigt keine deutliche Abhängigkeit von der Standzeit des Radar im KfK oder von der Jahreszeit,
- variiert im Laufe der Meßkampagne ziemlich stark.

- Die y-Achsen-Abschnitte sind mit Ausnahme des zweiten Zeitabschnittes klein. Die Regressionsgerade geht nahezu durch den Ursprung. Auch kleine Sodar- und Mastwerte sind korreliert.
- In 100 m Höhe ist mit Ausnahme der kurzen Zeitabschnitte (02.03. - 25.3.1983 und 08.08. - 23.08.1983) die Steigung A nahezu 1; d. h. Sodar- und Mastwerte sind im Mittel annähernd gleich groß.

### 6.7 Standardabweichung $\sigma_{\theta}$

Aus den Abbn. 6/18 und 6/19 und der Zusammenstellung der Ergebnisse in den Tabn. 6/5 und 6/6 können folgende Feststellungen abgeleitet werden:

- $\sigma_{\theta}$  von Sodar und Mast sind bis Anfang August 1983 unkorreliert.
- Eine geringe Korrelation zwischen 0,43 und 0,56 tritt in der Zeit zwischen dem 08.08. und dem 14.10.1983 auf.
- Nach Auswechseln der Schaumstoff-Isolierung sind die  $\sigma_{\theta}$  wieder unkorreliert.
- Auch bei Korrelationskoeffizienten um 0,5 sind die Sodarwerte im Vergleich zu den Mastwerten häufig sehr hoch. Entsprechend ist die Steigung der Regressionsgeraden klein.
- Der y-Achsen-Abschnitt liegt zwischen 3 und 5°.

Längere Mittelungsintervalle von z. B. 30 min verbessern die Korrelation, wie der 5. Zeitabschnitt zeigte (06.05. - 05.08.1983). Hier erhöhte sich das R für 100 m Meßhöhe von 0,218 auf 0,262. Qualitativ zeigen das auch die Abbn. 5/7 und 5/13.

## 7. Bestimmung der Ausbreitungskategorie mit Hilfe des $\sigma_\phi$

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 Kategorienbestimmung nach  $\sigma_\phi$  angesehen werden; denn  $\sigma_\phi$  ist in diesem Zusammenhang die direkteste Meßgröße der atmosphärischen Turbulenz.  $\sigma_\phi$  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  $\sigma_\phi$  des Sodar in 100 m Höhe bestimmt werden kann.

Wie in Kap. 6/5 beschrieben, stimmen die am Mast und mit dem Sodar ermittelten  $\sigma_\phi$  nicht direkt überein. Deshalb werden für das  $\sigma_\phi$  des Sodar neue Grenzen statistisch äquivalent festgelegt.

Der betrachtete Zeitraum ist der Zeitabschnitt 4 (06.05. - 05.08.1983). Es handelt sich hierbei um den längsten Zeitabschnitt, in dem auch jahreszeitlich bedingt die größte Variationsbreite des  $\sigma_\phi$  auftritt. Die Kategorien werden aus 30-Minuten-Mittelwerten bestimmt.

Die  $\sigma_\phi$ /Sodar werden nach drei verschiedenen Verfahren bestimmt:

- (1) Es werden zunächst die 30-Minuten-Mittelwerte der Standardabweichung  $\sigma_w$  des Vertikalwindes und der horizontalen Windgeschwindigkeit  $u$ , gemessen jeweils in 100 m Höhe, gebildet; anschließend wird  $\sigma_\phi$  berechnet.

$$(7-1) \quad \sigma_\phi = \arctan \sigma_w/u.$$

(2) Es werden 30-Minuten-Mittelwerte von  $\sigma_w$  und  $u$  gebildet, wobei zusätzlich arithmetisch über die Höhen 80 m, 100 m und 120 m gemittelt wird. Anschließend wird  $\sigma_\phi$  nach Gleichung (7-1) bestimmt.

(3) Aus den 30-Minuten-Mittelwerten von  $\sigma_w$  und  $u$ , gemessen jeweils in 100 m Höhe, wird  $\sigma_\phi$  folgendermaßen berechnet:

$$(7-2) \quad \sigma_\phi = \arctan \left( \frac{\sigma_w}{\sqrt{u^2 + (2,5 \cdot \sigma_w)^2}} \right).$$

Dieser Ansatz soll verhindern, daß bei kleinen Meßwerten der Geschwindigkeit  $u$  das  $\sigma_\phi$  zu stark anwächst. Der hier eingeführte Faktor 2,5 besagt, daß die Standardabweichung der horizontalen Windgeschwindigkeit hier mit  $\sigma_u = 2,5 \sigma_w$  angesetzt wird. Ist  $u \gg \sigma_w$ , so geht Gleichung (7-2) in Gleichung (7-1) über.

In Tab. 7/1 sind die Grenzwerte, die zur Kategorienbestimmung verwendet werden, zusammengestellt. Die zum  $\sigma_\phi$ /Vektorfahne gehörenden Grenzen sind [NE80] entnommen und werden im KfK angewandt.

Die Tabn. 7/2, 7/3 und 7/4 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  $\sigma_\phi$ /Vektorfahne bzw. nach  $\sigma_\phi$ /Sodar eingeteilt wurde. Die Forderung nach statistischer Äquivalenz verlangt, daß die einander zugeordneten Zahlen weitgehend identisch sind. Die Zahl 3,9 %, die z. B. in Tab. 7/2 im Schnittpunkt der Spalte D mit der Zeile C steht, gibt die Häufigkeit an, mit der nach  $\sigma_\phi$ /Vektorfahne die Kategorie D und nach  $\sigma_\phi$ /Sodar, die Kategorie C erfolgt. Die Zahlen in der Diagonalen geben die Häufigkeiten an, mit der beide Verfahren die gleiche Kategorie bestimmen (eingerahmt). Je weiter die Zahl von der Diagonalen entfernt ist, um so unterschiedlicher sind die Kategorien, die nach beiden Verfahren bestimmt werden.

Aus den Tabn. 7/2, 7/3 und 7/4 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. 7/5 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. 7/2 bis 7/5 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.
- Werden die Sodardaten über die Höhen 80 m, 100 m und 120 m gemittelt, so verbessert sich die Übereinstimmung geringfügig.
- Wird  $\sigma_\phi$ /Sodar nach Gleichung (7-2) berechnet, so verbessert sich die Übereinstimmung kaum.
- Die relativ schlechte Korrelation zwischen den Kategorienbestimmungen nach Vektorfahne und Sodar war nach den Korrelationen der zugehörigen  $\sigma_\phi$  zu erwarten (s. Kap. 6 und Tab. 6/5). Allerdings erhöht sich in dem hier betrachteten Zeitraum 5 (06.05. - 05.08.1983) der Korrelationskoeffizient beim  $\sigma_\phi$ -Vergleich (Höhe 100 m) von 0,32 auf 0,48, wenn von 10-Minuten- zu 30-Minuten-Mittelwerten übergegangen wird.
- Die Korrelationstabellen 7/2 bis 7/4 zeigen die linken unteren Ecken schwach, die rechten oberen Ecken stark besetzt: Es kommt häufig vor, daß die atmosphärische Turbulenz gleichzeitig von der Vektorfahne als schwach und vom Sodar als stark eingestuft wird. Der umgekehrte Fall tritt nur selten und nicht so extrem auf. Das Sodar liefert häufig im Vergleich zur Vektorfahne sehr hohe  $\sigma_\phi$ -Werte (vgl. dazu auch Abb. 6/14).

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

## 8. Verfügbarkeit der Sodar-Meßwerte

Innerhalb von vier aufeinanderfolgenden Zeiträumen (s. Abb. 8/1) wurde untersucht, wie häufig Meßwerte in Abhängigkeit von 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 die Ausfallrate beider Größen zusammengefaßt. Die Ergebnisse sind mit Angabe der betrachteten Zeiträume in den Abbn. 8/1 bis 8/4 dargestellt.

Es sind meist längere Zeiträume als im Kap. 6 untersucht worden, um die Datenflut klein und die Übersichtlichkeit größer zu halten. Im einzelnen ist auf der Abb. 8/1 angegeben, welche Zeitabschnitte (s. Kap. 2 und 6) die hier untersuchten Zeiträume enthalten.

Anhand der Abbn. 8/1 bis 8/4 kann folgendes ausgesagt werden:

- Alle Meßgrößen fallen mit steigender Höhe ab 140 m immer häufiger aus.
- Unterhalb 140 m Höhe verhalten sich die einzelnen Meßgrößen unterschiedlich und auch gleiche Meßgrößen in den verschiedenen Zeiträumen unterschiedlich.
- Die Ausfallrate ändert sich bei keiner Meßgröße monoton mit der Standzeit des Sodar am KfK.
- Die Abhängigkeit der Ausfallrate von der Standzeit ist bei den verschiedenen Meßgrößen unterschiedlich. Nur Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Standardabweichung  $\sigma_\theta$  fallen im 4. Zeitraum (nach Austausch der Schaumstoff-Isolierung) wesentlich seltener aus als früher.

In den Abbn. 8/5 bis 8/8 sind die Ausfallraten in Abhängigkeit des Niederschlags angegeben. Die Abbildungen beziehen sich auf den gesamten Auswertzeitraum (24.11.1982 - 22.11.1983). Unterschieden wird zwischen Zeiten

- (1) mit und ohne Niederschlag,
- (2) mit Niederschlag  $\geq 0,5$  mm/h (4,8 % von (1)),
- (3) mit Niederschlag  $\geq 3,0$  mm/h (0,4 % von (1)).

Anhand der Abbn. 8/5 bis 8/8 kann folgendes ausgesagt werden:

- Die geringste Ausfallrate hat die Rückstreuamplitude  $A_w$ . Es folgen, untereinander allerdings mit nur geringen Unterschieden, Windrichtung  $\theta$  und -geschwindigkeit  $u$  und die Standardabweichungen  $\sigma_w$  und  $\sigma_\theta$ .
- Entsprechend Abb. 8/5 fällt  $A_w$  mit wachsender Höhe immer häufiger aus ohne ein Minimum zwischen 100 und 140 m zu durchlaufen. Niederschläge bis 0,5 mm/h beeinflussen die Verfügbarkeit nicht. Erst bei stärkerem Regen ( $N \geq 3$  mm/h) wird die Ausfallrate erhöht.
- $u$ ,  $\theta$ ,  $\sigma_w$  und  $\sigma_\theta$  fallen mit zunehmendem Niederschlag deutlich häufiger aus. Entsprechend den Abbn. 8/6 bis 8/8 zeigen die Ausfallraten von  $u$ ,  $\theta$ ,  $\sigma_w$  und  $\sigma_\theta$  ein Minimum zwischen den Höhen 80 m bis 140 m. Dieses verschwindet erst bei  $N \geq 3$  mm/h und der dadurch stark erhöhten Ausfallrate.
- Tab. 8/1 zeigt für den Fall (1) vergleichend die Ausfallraten des Sodar- und der Mastinstrumente am KfK. Letztere beziehen sich auf eine 7jährige Statistik (1976 - 1982) und sind unabhängig von der Höhe [KI84]. Während Windrichtung und -geschwindigkeit von Mastinstrumenten seltener ausfallen als beim Sodar, sind die Ausfallraten der Standardabweichungen  $\sigma_w/\sigma_\phi$  und  $\sigma_\theta$  in der Höhe 100 m bei beiden Instrumenten etwa gleich groß.

## 9. Zusammengefaßte Bewertung

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

### 9.1 Aufstellung und Betrieb

- Das SODAR B, Typ AO, hat in 1jährigem Betrieb eine hohe zeitliche Verfügbarkeit bewiesen.
- Winterliche Verhältnisse haben den Betrieb nicht beeinträchtigt. Die Wirksamkeit der Abtaueinrichtung konnte allerdings nicht bei Schnee oder Eisbildung getestet 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 Geräuschbelästigung durch die monoton wiederholten Schallimpulse zu berücksichtigen.

### 9.2 Meßwerte

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

$R \geq 0,92$       Windrichtung

$R \geq 0,80$       Windgeschwindigkeit ab 80 m (Ausnahme Abschnitt 5 und 6).



Daraus wird geschlossen:

- Die Windrichtung wird in allen Höhen zuverlässig gemessen.
- Die Windgeschwindigkeit wird ab 80 m mit der letzten Software-Version zuverlässig gemessen.
- Wegen der Stationierung des Sodar auf der Meßwiese war der Meßwert  $u$  in 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  $\sigma_w$  und  $u$  berechnete Standardabweichung  $\sigma_\phi$  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. Die Meßhöhe 100 m ist wegen der in dieser Höhe maximalen Verfügbarkeit des  $\sigma_w$  empfehlenswert.

## 10. Literatur

[DI76] Dilger, H.:

Das meteorologische Meßsystem des Kernforschungszentrums  
Karlsruhe,  
KFK 2347 (1976)

[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)

[KI84] Kiefer, H., W. Koelzer, L. A. König ed.:

Jahresbericht 1983 der Hauptabteilung Sicherheit,  
KfK 3663 (1984)

Nr.	Zeitabschnitt	Betriebskassetten-Version	Hardware Bedingungen
1	24.11.1982-24.01.1983	a	
2	25.01.1983-01.03.1983	b	
3	02.03.1983-25.03.1983	c	Heizung in Betrieb
4	25.03.1983-06.05.1983	c	
5	06.05.1983-05.08.1983	d	
6	08.08.1983-23.08.1983	e	
7	26.08.1983-19.09.1983	e	Parameter-änderungen*
8	19.09.1983-14.10.1983	e	Feststellung, daß die Schaumstoffauskleidung der Antennen dünner wird
9	22.10.1983-23.11.1983	e	Neue Schaumstoffauskleidung der Antennen

Tab. 2/1: Zeitabschnitte der Datenauswertung

\*Verschiebung der Referenzfrequenz in einen für die automatische Temperaturkompensation sinnvollen Bereich.

Höhe		60 m	80 m	100 m	160 m	200 m	
B in Grad		25	27	14	13	13	24.11.82-24.1.83
A		0,829	0,833	0,887	0,919	0,918	
R		0,923	0,927	0,943	0,955	0,970	
N		4472	7245	7223	6940	6303	
B		8	9	5	8	13	25.1.-1.3.83
A		0,904	0,930	0,921	0,926	0,905	
R		0,964	0,975	0,980	0,986	0,986	
N		1428	2814	3015	3145	2690	
B		2	6	2	8	10	2.3.-25.3.83
A		0,938	0,934	0,950	0,947	0,938	
R		0,948	0,957	0,966	0,970	0,973	
N		1645	1518	1592	1520	1307	
B		22	22	17	19	27	25.3.-6.5.83
A		0,850	0,861	0,876	0,885	0,866	
R		0,933	0,940	0,947	0,950	0,949	
N		5575	5242	5321	4951	4319	

Tabelle 6/1: Korrelation der Windrichtung

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

y: Mast ; x : Sodar

R: Korrelationskoeffizient

N: Meßwertpaare

Höhe		60 m	80 m	100 m	160 m	200 m	
B in Grad		3	4	3	7	12	6.5.-5.8.83
A		0,964	0,974	0,972	0,958	0,951	
R		0,952	0,959	0,963	0,960	0,956	
N		10127	8891	9443	9010	8260	
B		-1	3	3	5	13	8.8.-23.8.83
A		0,993	0,971	0,969	0,974	0,938	
R		0,938	0,960	0,954	0,961	0,955	
N		1339	1339	1572	1660	1618	
B		6	2	-3	3	9	26.8.-19.9.83
A		0,962	0,984	0,990	0,966	0,950	
R		0,936	0,967	0,970	0,978	0,975	
N		2956	2479	2903	3008	2792	
B		11	8	11	14	16	19.9.-14.10.83
A		0,943	0,947	0,923	0,918	0,921	
R		0,920	0,945	0,950	0,961	0,968	
N		2549	2222	2537	2622	2408	
B		10	9	9	12	17	22.10.-23.11.83
A		0,927	0,942	0,937	0,929	0,919	
R		0,942	0,949	0,956	0,958	0,960	
N		3818	3638	3906	3997	3801	

Tabelle 6/2: Korrelation der Windrichtung

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

y: Mast ; x : Sodar

R: Korrelationskoeffizient

N: Meßwertpaare

Höhe		60 m	80 m	100 m	160 m	200 m	
B in m/s		1,7	1,5	1,1	0,9	0,5	24.11.82-24.1.83
A		0,839	0,757	0,855	0,839	0,901	
R		0,860	0,874	0,928	0,958	0,947	
N		4403	5499	7216	6131	6065	
B		2,6	2,2	1,9	0,9	0,4	25.1.-1.3.83
A		0,586	0,711	0,706	0,848	0,948	
R		0,798	0,858	0,869	0,910	0,932	
N		1411	2134	2997	2970	2663	
B		2,1	1,4	1,1	0,5	0,1	2.3.-25.3.83
A		0,621	0,753	0,798	0,862	0,937	
R		0,804	0,882	0,913	0,945	0,945	
N		1653	1447	1607	1430	1289	
B		2,3	1,8	1,4	1,3	1,1	25.3.-6.5.83
A		0,588	0,715	0,776	0,797	0,830	
R		0,735	0,797	0,850	0,894	0,890	
N		5533	5064	5292	4533	4281	

Tabelle 6/3: Korrelation der Windgeschwindigkeit

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

y: Mast ; x : Sodar

R: Korrelationskoeffizient

N: Meßwertpaare

Höhe		60 m	80 m	100 m	160 m	200 m	
B in m/s		1,9	1,4	1,2	1,0	0,9	6.5.-5.8.83
A		0,587	0,744	0,755	0,808	0,838	
R		0,694	0,784	0,821	0,851	0,862	
N		9935	8919	9420	8978	8163	
B		1,9	1,2	1,1	0,8	0,8	8.8.-23.8.83
A		0,502	0,709	0,704	0,768	0,787	
R		0,607	0,768	0,777	0,795	0,782	
N		1337	1353	1571	1670	1623	
B		2,8	1,9	1,4	1,2	0,8	26.8.-19.9.83
A		0,563	0,767	0,816	0,865	0,912	
R		0,658	0,796	0,845	0,881	0,898	
N		2940	2492	2892	3010	2785	
B		2,4	1,6	1,2	0,8	0,5	19.9.-14.10.83
A		0,661	0,831	0,858	0,910	0,949	
R		0,698	0,843	0,895	0,939	0,954	
N		2529	2212	2511	2603	2411	
B		1,4	0,8	0,6	0,5	0,3	22.10.-23.11.83
A		0,756	0,872	0,884	0,894	0,942	
R		0,677	0,820	0,887	0,941	0,960	
N		3837	3679	3877	3882	3830	

Tabelle 6/4: Korrelation der Windgeschwindigkeit

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

y: Mast ; x : Sodar

R: Korrelationskoeffizient

N: Meßwertpaare

Höhe	$\sigma_\phi$ in Grad		$\sigma_w$ in cm/s		$\sigma_\theta$ in Grad		
	100 m	160 m	100 m	160 m	100 m	160 m	
B	4,6	3,6	14	13	6,4	4,1	24.11.82-24.1.83
A	0,031	-0,005	1,15	0,888	0,0258	0,0373	
R	0,071	-0,016	0,684	0,649	0,176	0,258	
N	7416	7194	6781	5850	7149	6553	
B	5,5	3,8	41	40	7,5	4,6	25.1.-1.3.83
A	0,026	0,188	0,917	0,580	0,00552	0,0693	
R	0,044	0,237	0,539	0,413	0,0207	0,191	
N	1587	3113	1583	2938	2937	2783	
B	5,5	3,5	25	23	7,6	4,1	2.3.-25.3.83
A	0,227	0,159	1,31	0,698	0,0536	0,134	
R	0,256	0,289	0,565	0,412	0,171	0,387	
N	664	1479	663	1400	1407	1371	
B	3,9	3,5	17	21	6,9	4,6	25.3.-6.5.83
A	0,399	0,262	1,06	0,795	0,0978	0,0704	
R	0,410	0,330	0,589	0,513	0,214	0,189	
N	5089	4926	5064	4511	4624	4382	
B	4,7	4,0	4	11	6,0	4,5	6.5.-5.8.83
A	0,218	0,248	1,015	0,782	0,0715	0,103	
R	0,324	0,357	0,716	0,652	0,218	0,302	
N	9075	9107	9045	9045	8468	7600	

Tabelle 6/5: Korrelation der Standardabweichungen  $\sigma_\phi$ ,  $\sigma_w$ ,  $\sigma_\theta$ 

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

y: Mast ; x : Sodar

R: Korrelationskoeffizient

N: Meßwertpaare



Höhe	$\sigma_\phi$ in Grad		$\sigma_w$ in cm/s		$\sigma_\theta$ in Grad		
	100 m	160 m	100 m	160 m	100 m	160 m	
B	5,4	4,9	17	13	3,8	3,3	8.8.-23.8.83
A	0,322	0,403	0,677	0,750	0,202	0,192	
R	0,336	0,328	0,596	0,635	0,556	0,511	
N	1213	1284	1213	1277	1184	1428	
B	4,7	2,8	20	20	5,3	3,4	26.8.-19.9.83
A	0,113	0,527	0,976	0,899	0,133	0,174	
R	0,144	0,457	0,657	0,640	0,425	0,525	
N	2703	3005	2689	3001	2509	2567	
B	3,8	2,8	15	15	4,7	2,9	19.9.-14.10.83
A	0,169	0,287	0,916	0,803	0,115	0,127	
R	0,283	0,332	0,616	0,561	0,427	0,465	
N	2495	2501	2477	2481	2036	2226	
B	3,8	3,0	8	9	5,0	3,6	22.10.-23.11.83
A	0,103	0,089	0,901	0,734	0,0856	0,0492	
R	0,160	0,169	0,564	0,527	0,299	0,230	
N	3695	3325	3662	3261	3526	3456	

Tabelle 6/6: Korrelation der Standardabweichungen  $\sigma_\phi$ ,  $\sigma_w$ ,  $\sigma_\theta$ 

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

y: Mast ; x : Sodar

R: Korrelationskoeffizient

N: Meßwertpaare

Kategorie	F	E	D	C	B	A
$\sigma_{\phi}$ (Mast)	1,5°	3,3°	7,0°	10,5°	14,5°	
$\sigma_{\phi}$ (Sodar/100 m) = $\arctan \sigma_w/u$	2,6°	4,1°	6,5°	9,2°	15,2°	
$\sigma_{\phi}$ (Sodar/80 m, 100 m, 120 m) = $\arctan \sigma_w/u$	2,7°	4,2°	6,4°	9,0°	14,3°	
$\sigma_{\phi}$ (Sodar/100 m) = $\arctan (\sigma_w/\sqrt{u^2+(2,5 \sigma_w)^2})$	2,5°	4,0°	6,2°	8,4°	12,8°	

Tab. 7/1: Kategorienbestimmung mit Hilfe der Standardabweichung  $\sigma_{\phi}$  der vertikalen Windrichtung  
Zeitraum: 06.05. bis 05.08.1983

S \ M	A	B	C	D	E	F	Summe
A	0,8	1,2	0,6	0,7	0,5	0,5	4,3
B	2,2	4,9	2,6	1,6	1,3	0,6	13,2
C	0,8	4,9	6,6	3,9	1,3	1,2	18,7
D	0,2	2,5	8,0	10,4	4,5	2,2	27,8
E	0,0	0,2	1,2	9,0	8,5	4,0	22,9
F	0	0	0,1	2,3	7,1	3,6	13,1
Summe	4,0	13,7	19,1	27,9	23,2	12,1	100,0

Tabelle 7/2 : Korrelation der Kategorie, die aus Mastdaten (M) und Sodardaten (S) bestimmt wurden. Angaben in Prozent.  
M:  $\vec{\phi}$ , Vektorfahne, 100 m  
S:  $\vec{\phi} = \arctan(\vec{v}_w/u)$ , 100 m

S \ M	A	B	C	D	E	F	Summe
A	1,0	1,0	0,6	0,7	0,6	0,3	4,2
B	2,3	5,4	2,5	1,8	1,2	0,9	14,1
C	0,7	5,5	6,4	3,8	1,6	1,3	19,3
D	0	1,8	8,5	10,2	4,1	2,1	26,7
E	0	0,0	0,9	9,2	8,9	4,0	23,0
F	0	0	0,1	2,2	6,8	3,6	12,7
Summe	4,0	13,7	19,0	27,9	23,2	12,2	100,0

Tabelle 7/3: Korrelation der Kategorie, die aus Mastdaten (M) und Sodardaten (S) bestimmt wurden. Angaben in Prozent.  
M:  $\sigma_{\phi}$ , Vektorfahne, 100 m  
S:  $\sigma_{\phi} = \arctan(\sigma_w/u)$ , 80 m, 100 m, 120 m

S \ M	A	B	C	D	E	F	Summe
A	0,8	1,1	0,6	0,7	0,5	0,5	4,2
B	2,3	5,2	2,9	1,7	1,3	0,6	14,0
C	0,8	4,7	6,5	4,2	1,4	1,2	18,8
D	0,1	2,5	7,9	10,3	4,5	2,3	27,6
E	0,0	0,2	1,1	9,2	9,1	4,4	24,0
F	0	0	0,1	1,8	6,4	3,1	11,4
Summe	4,0	13,7	19,1	27,9	23,2	12,1	100,0

Tabelle 7/4: Korrelation der Kategorie, die aus Mastdaten (M) und Sodardaten (S) bestimmt wurden. Angaben in Prozent.  
M:  $\sigma_{\phi}$ , Vektorfahne, 100 m  
S:  $\sigma_{\phi} = \arctan (\sigma_w / \sqrt{u^2 + (2,5 \sigma_w)^2})$ , 100 m

Schema	Korrelationskoeffizient	Übereinstimmende Kategorien	Kategorienabweichung 1 Stufe	Kategorienabweichung $\geq 2$ Stufen
$\sigma_{\theta}$	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
$\sigma_{\phi}$ (1)	0,56	35	47	18
$\sigma_{\phi}$ (2)	0,57	36	48	16
$\sigma_{\phi}$ (3)	0,56	35	48	17

Tab. 7/5: Korrelationskoeffizient und prozentuale Häufigkeit von übereinstimmenden bzw. abweichenden Kategorien verschiedener Schemata in bezug auf das  $\sigma_{\phi}$ -Vektorfahne-Schema

$\sigma_{\theta}$ : 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,

$\sigma_{\phi}$  (1) =  $\arctan(\sigma_w/u)$ , 100 m, Sodar,

$\sigma_{\phi}$  (2) =  $\arctan(\sigma_w/u)$ , 80 m, 100 m, 120 m, Sodar,

$\sigma_{\phi}$  (3) =  $\arctan(\sigma_w/\sqrt{u^2 + (2,5 \sigma_w)^2})$ , 100 m, Sodar.

Meßgröße	S o d a r			Mast
	60 m	100 m	200 m	
Windrichtung/ -geschwindigkeit	20 %	11 %	20 %	0,3 % 2 %
St.-Abw. $\sigma_w/\sigma_\phi$	21 %	10 %	24 %	11 %
St.-Abw. $\sigma_\theta$	26 %	13 %	26 %	11 %

Tabelle 8/1: Vergleich der Ausfallraten von Sodar und Mastinstrumenten

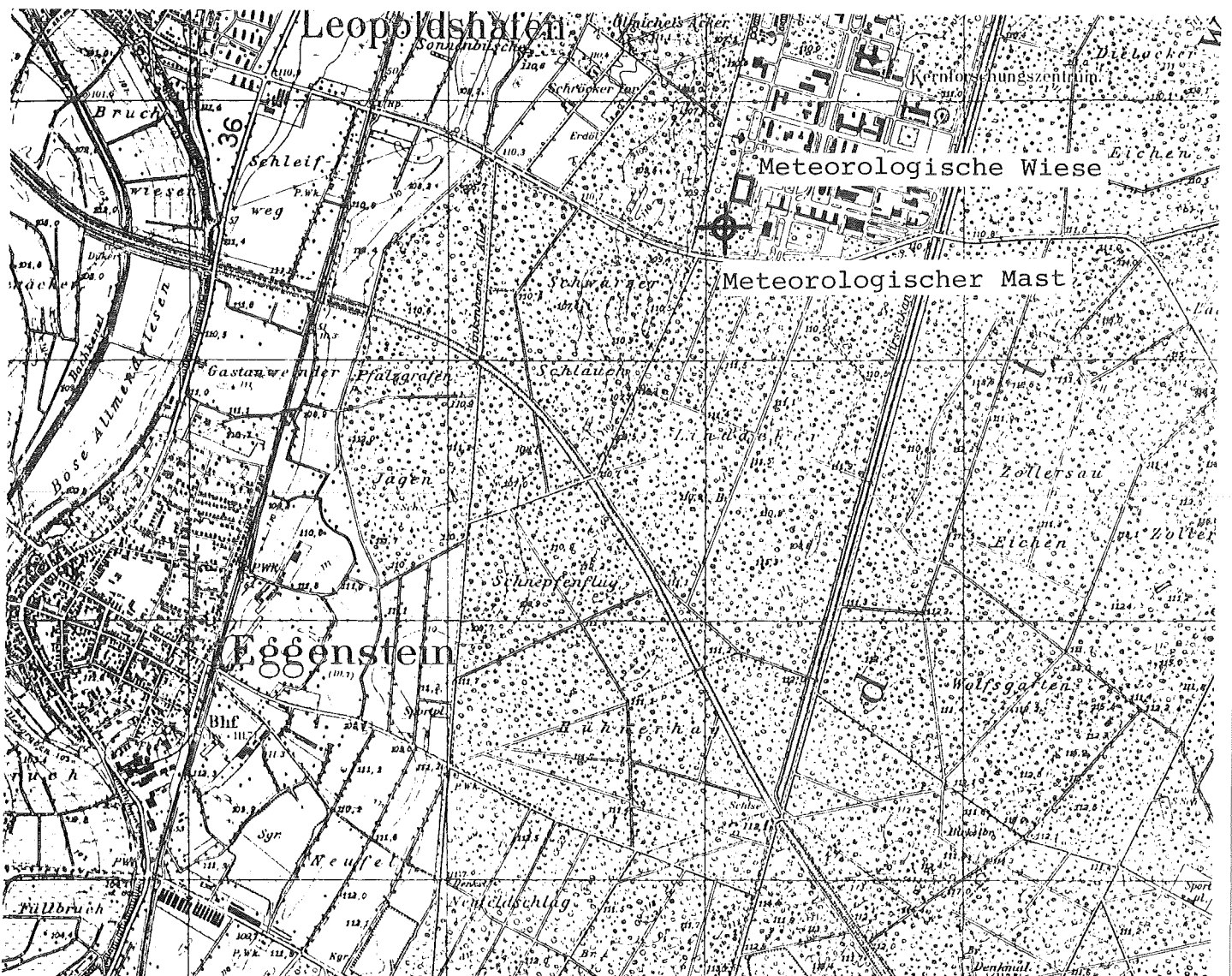


Abb. 2/1: Karte des Kernforschungszentrums Karlsruhe und Umgebung



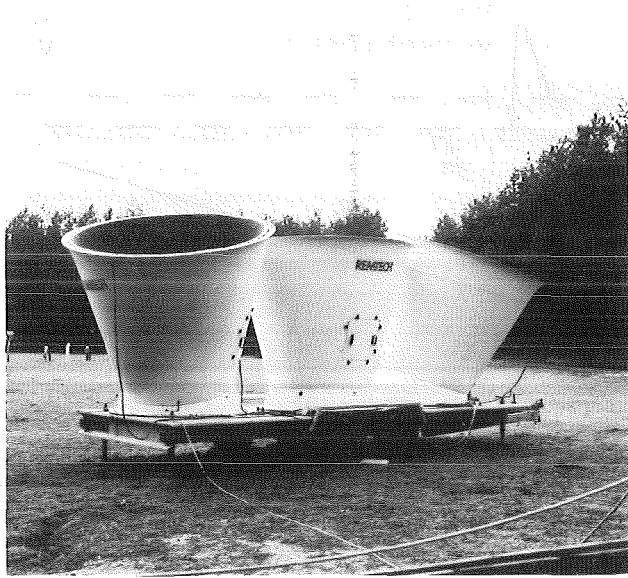


Abb. 2/2: Das Sodar B auf der meteorologischen Wiese



Abb. 2/3: Die Elektronik des Sodar B

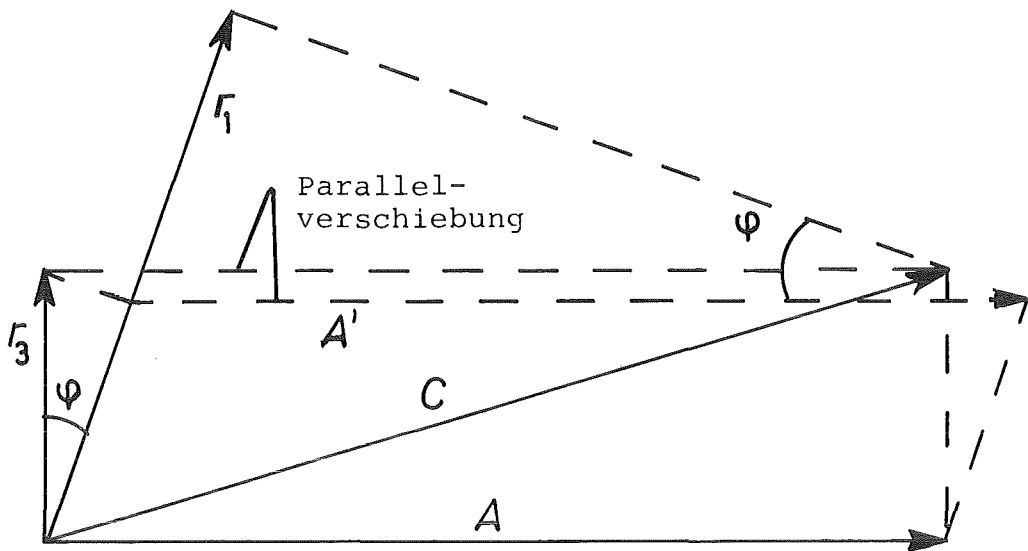


Abb. 4/1: Windgeschwindigkeitskomponenten in der vertikalen Ebene  $r_1 - r_3$

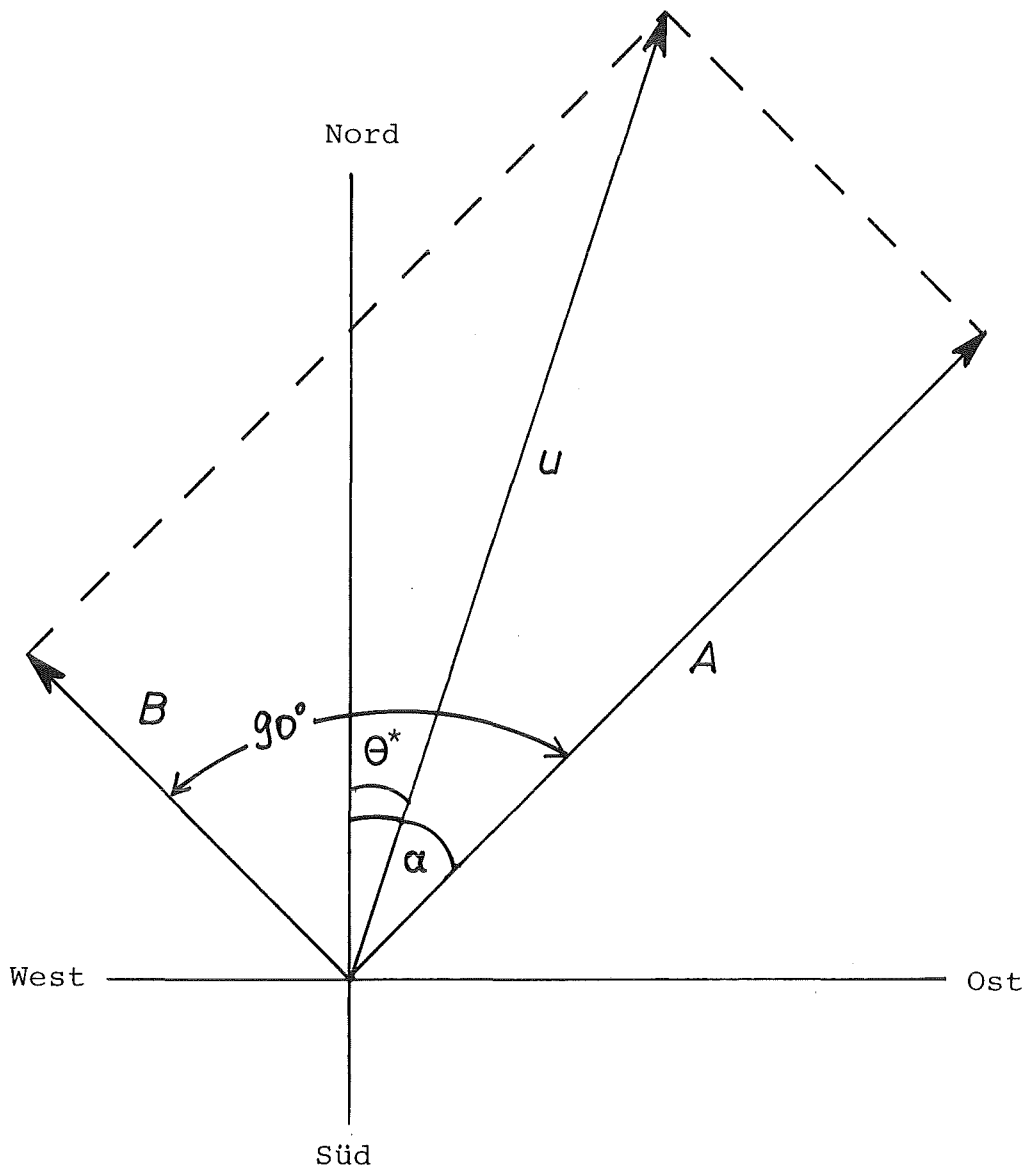


Abb. 4/2: Windgeschwindigkeitskomponenten in der horizontalen Ebene

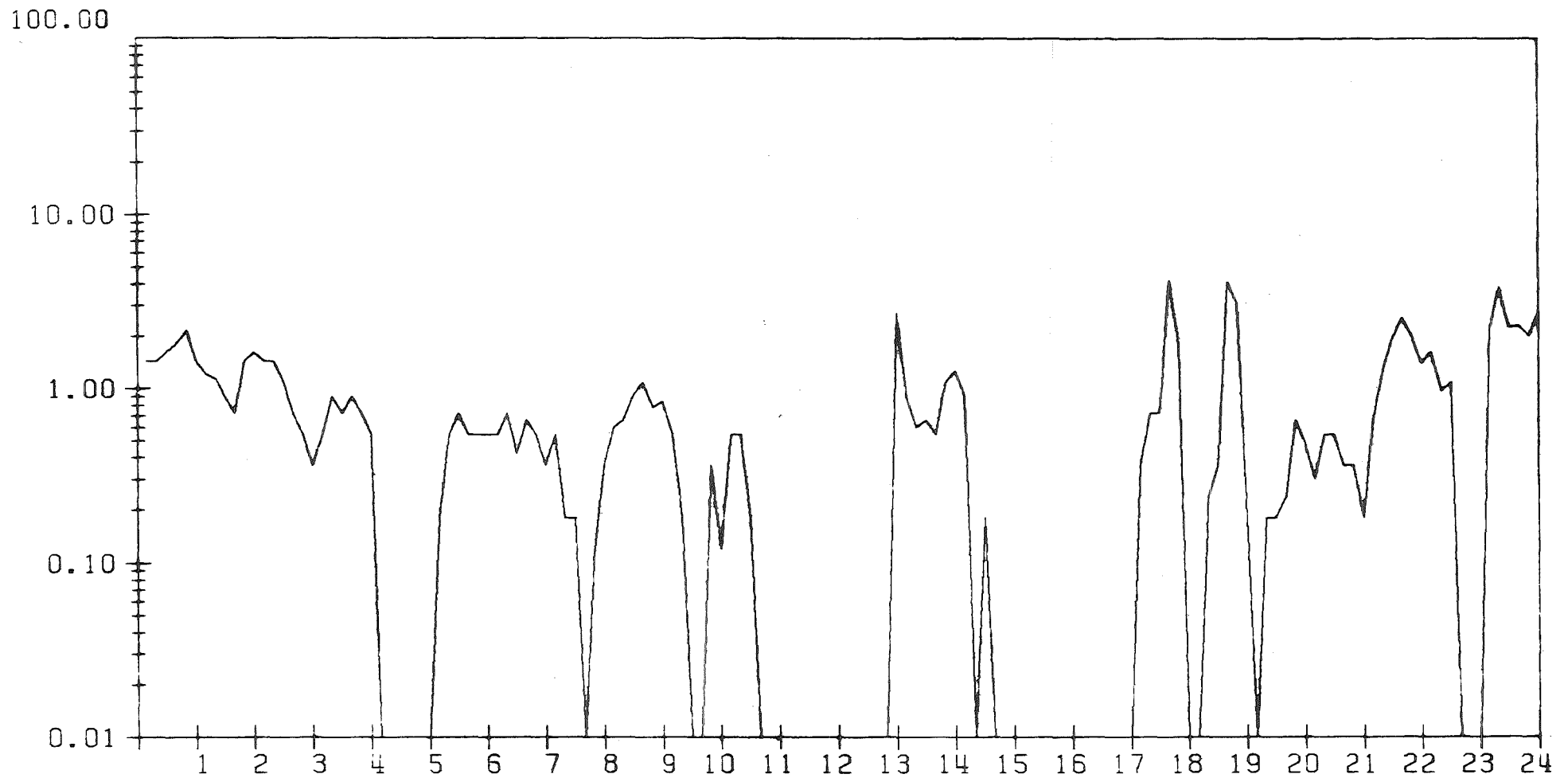


ABB. 5/1:

ZEITREIHE UEBER 24 H DES NIEDERSCHLAGES IN MM/H VOM 24. 5.83

— : SODAR B

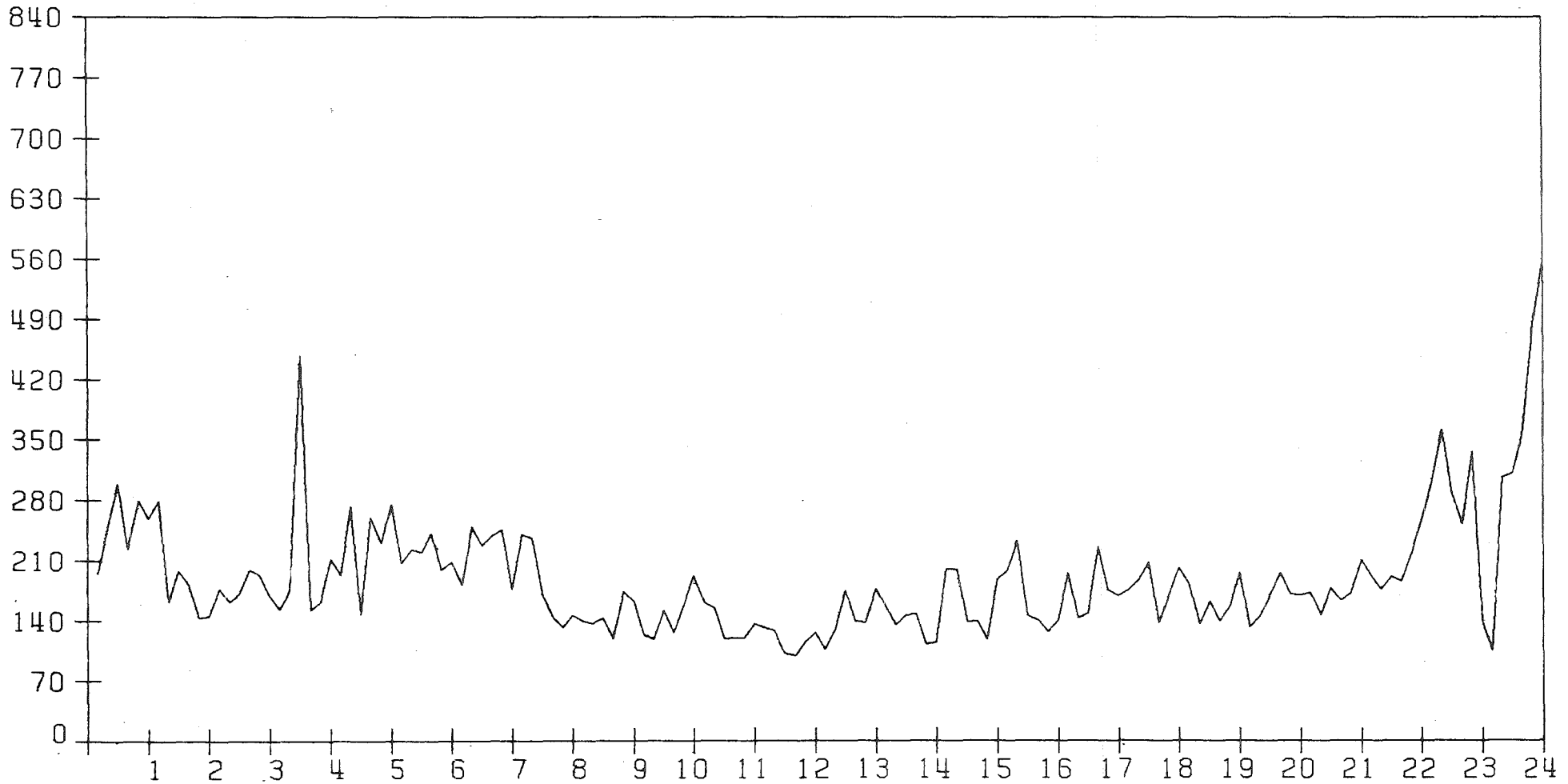


ABB. 5/2: ZEITREIHE UEBER 24 H DER MESSGRÖESSE VON SODAR

AMPLITUDE AUS 100 M HÖEHE IN MV VOM 24. 5.83

-- : MAST  
— : SODAR B

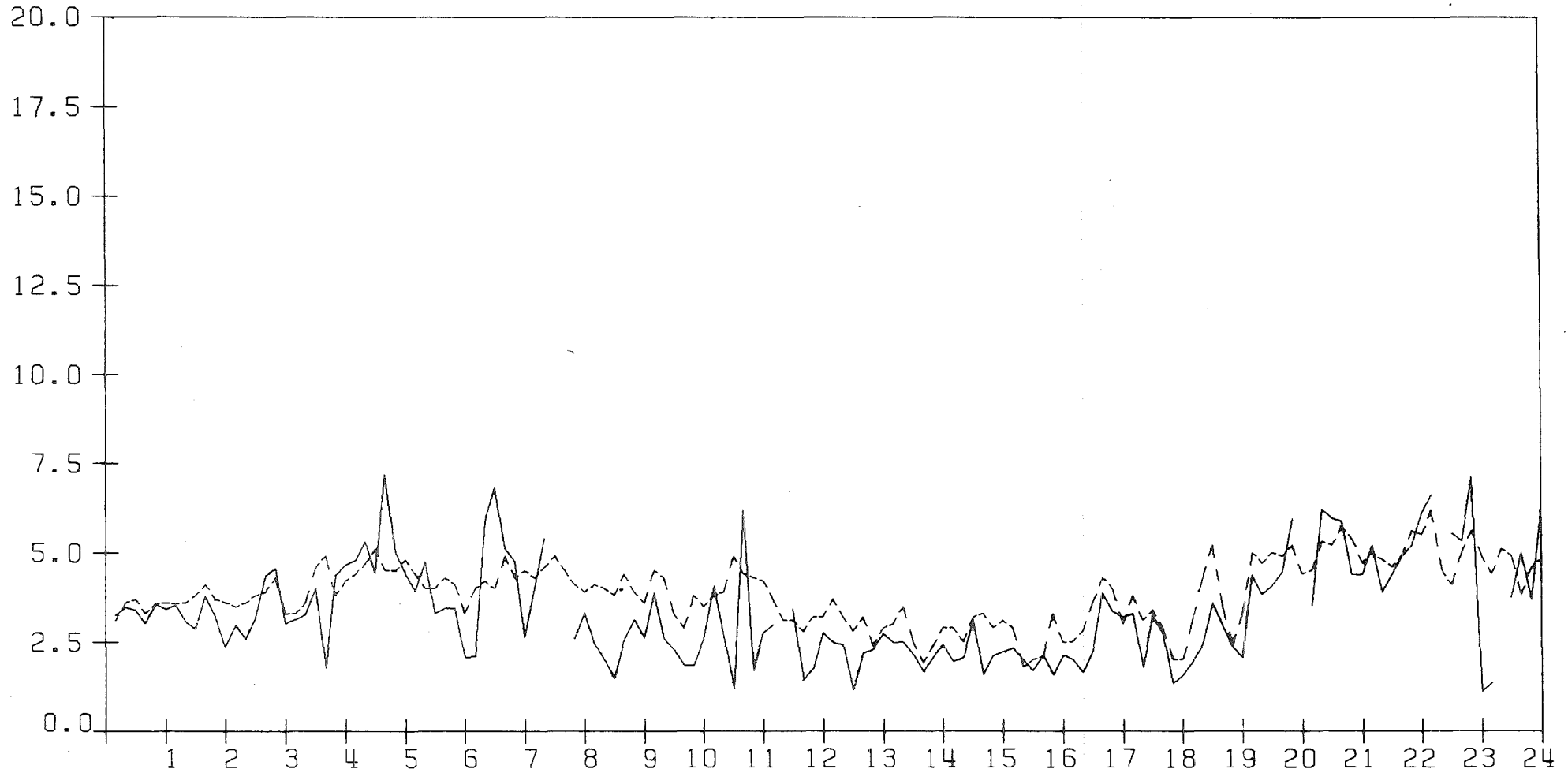


ABB. 5/3: ZEITREIHE UEBER 24 H DER MESSGRÖESSEN VON SODAR UND MAST

WINDGESCHWINDIGKEIT AUS 100 M HÖEHE IN M/S VOM 24. 5.83

-- : MAST  
— : SODAR B

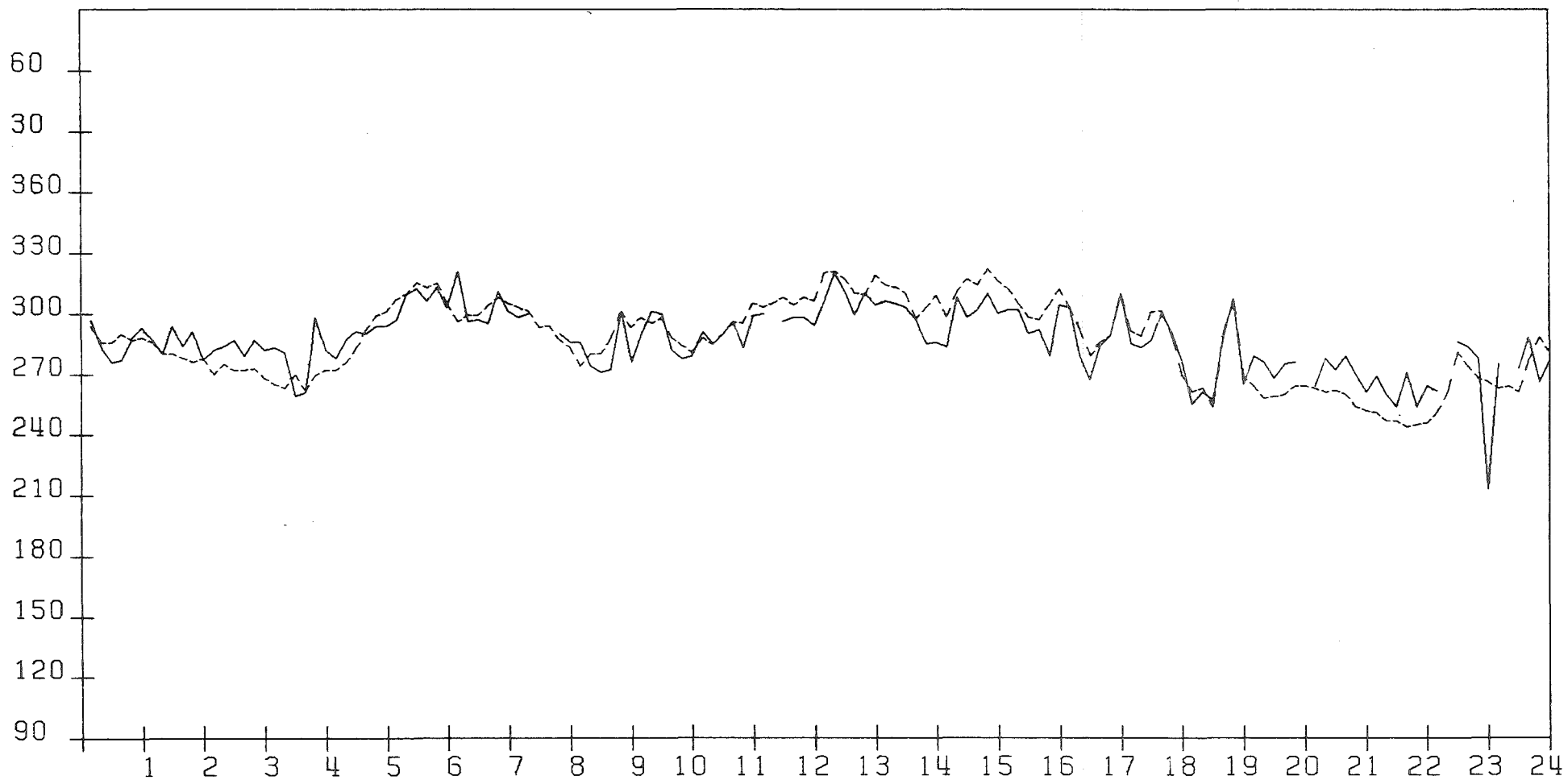


ABB. 5/4: ZEITREIHE UEBER 24 H DER MESSGRÖESSEN VON SODAR UND MAST

WINDRICHTUNG AUS 100 M HÖEHE IN GRAD VOM 24. 5.83

-- : MAST  
— : SODAR B

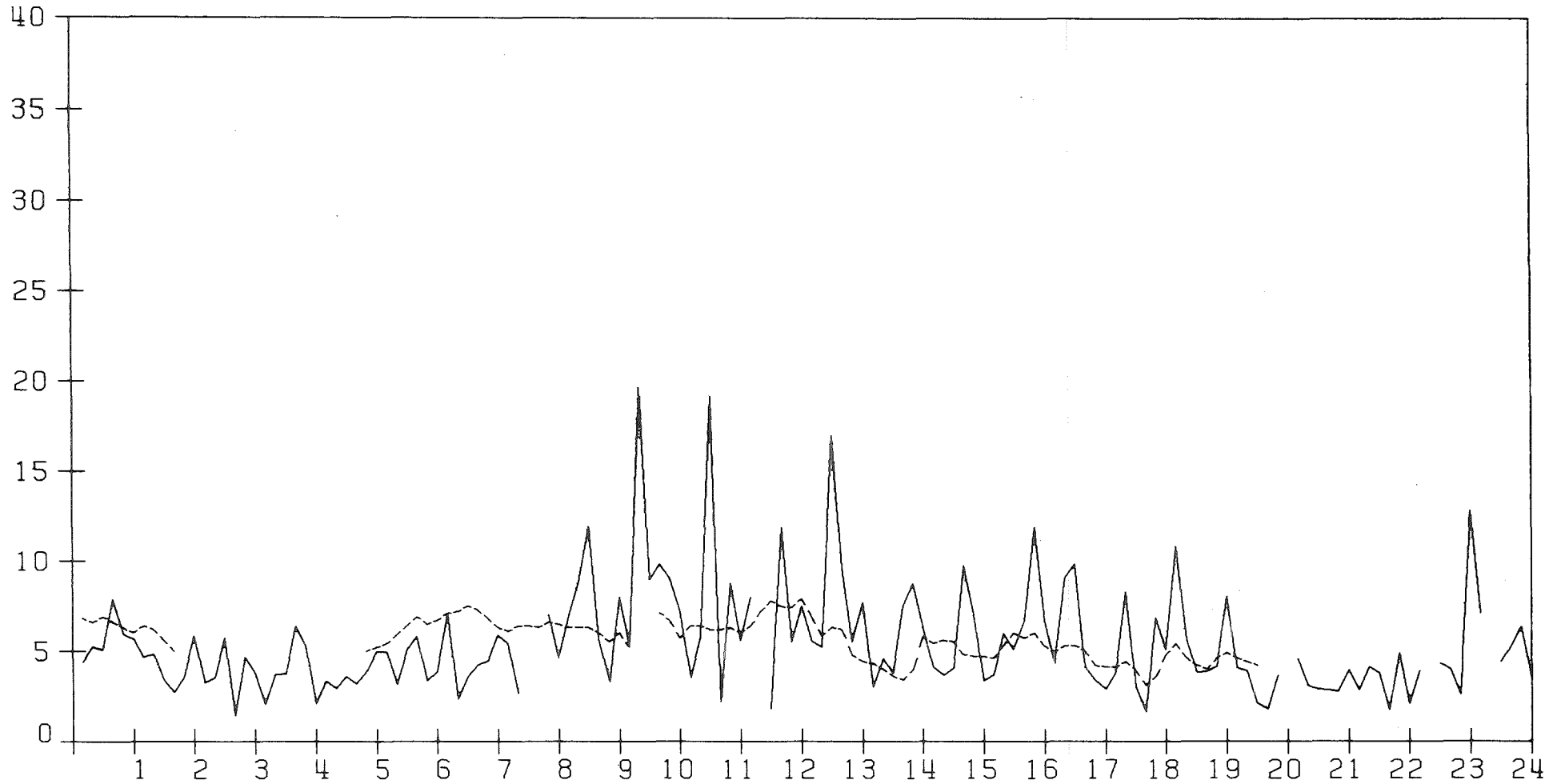


ABB. 5/5: ZEITREIHE UEBER 24 H DER MESSGRÖESSEN VON SODAR UND MAST

SIGMAPHI AUS 100 M HÖEHE IN GRAD VOM 24. 5.83

-- : MAST  
— : SODAR B

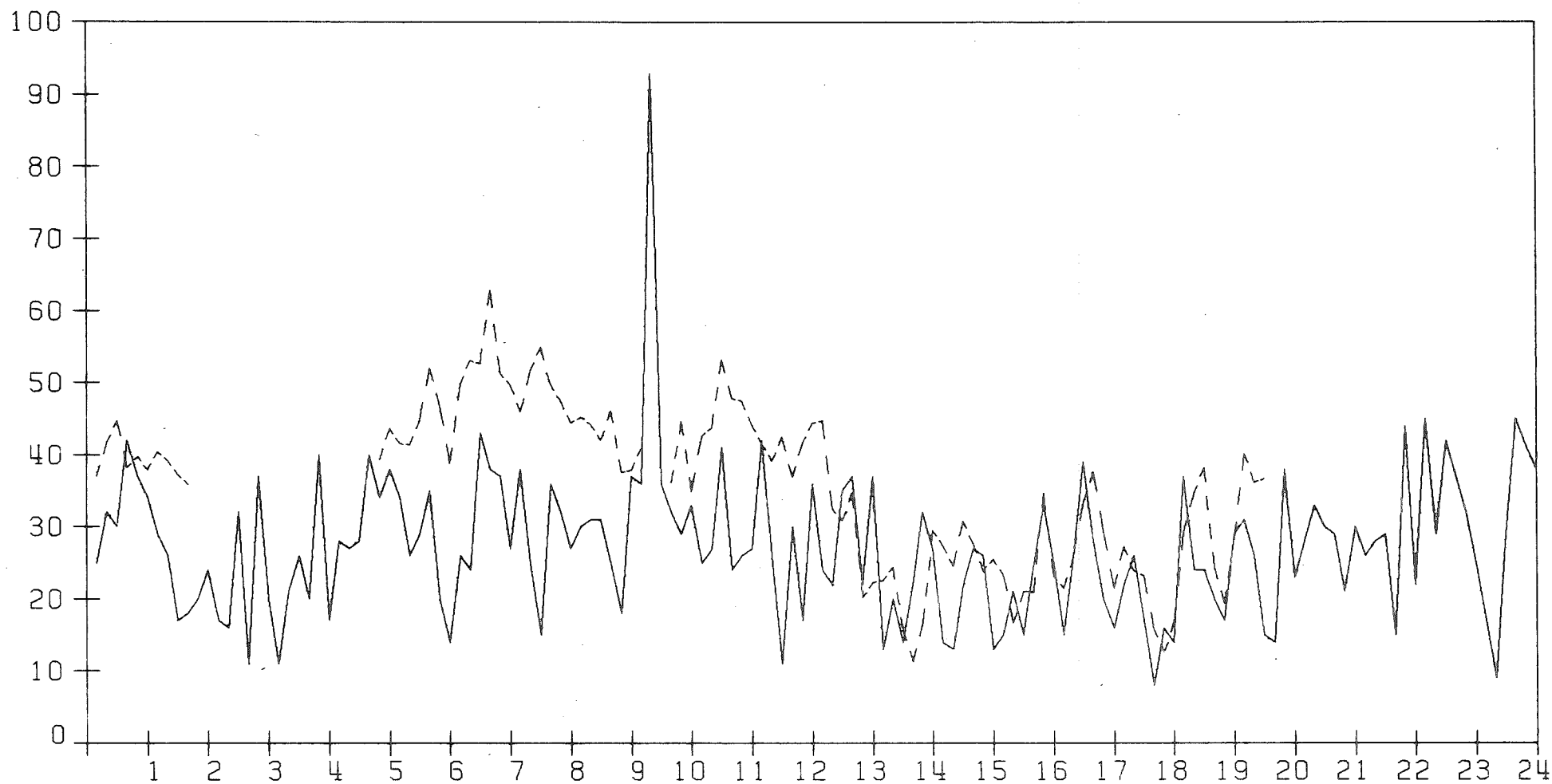


ABB. 5/6: ZEITREIHE UEBER 24 H DER MESSGRÖESSEN VON SODAR UND MAST

SIGMA/W AUS 100 M HÖEHE IN CM/S VOM 24. 5.83



-- : MAST  
— : SODAR B

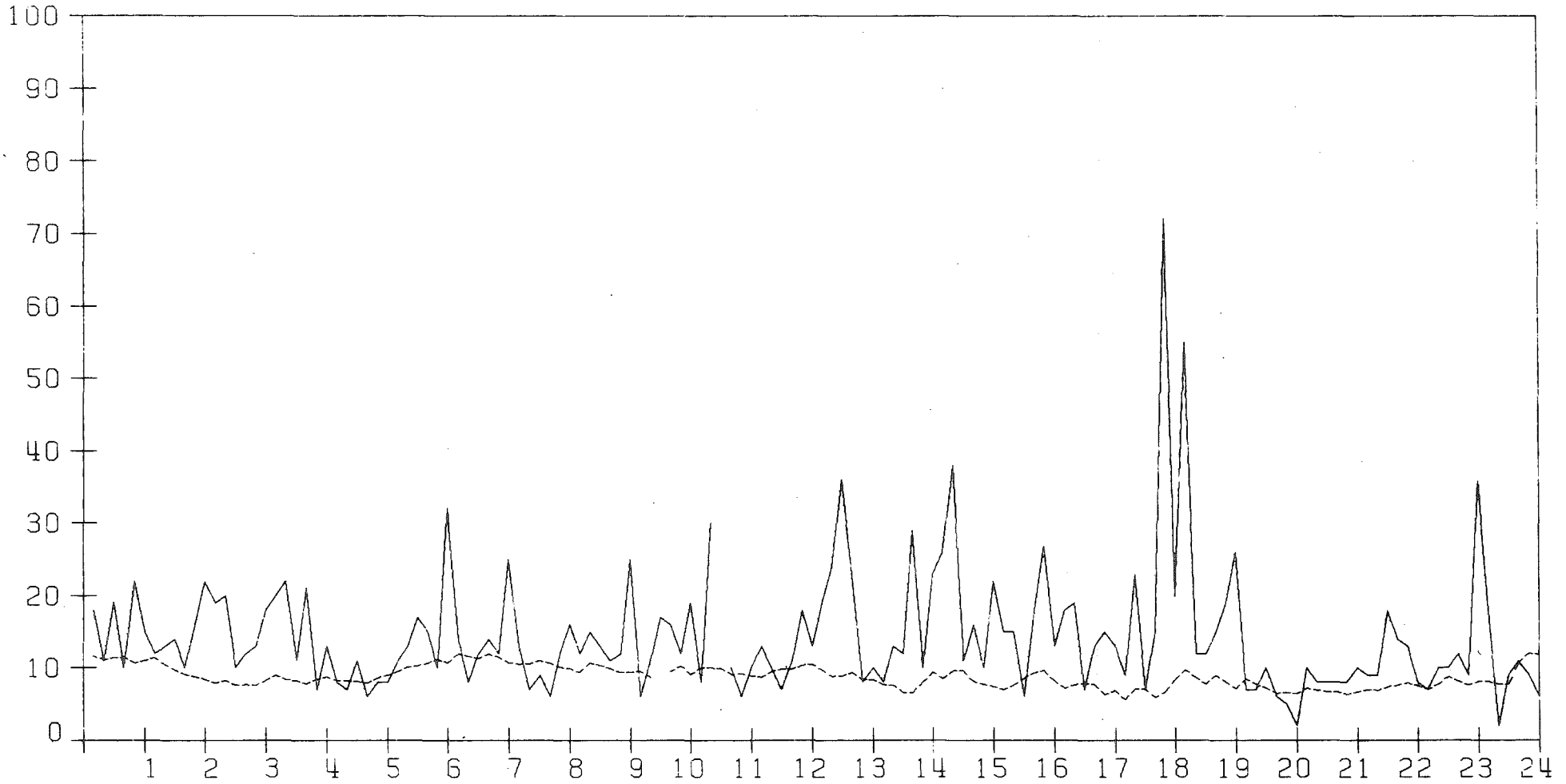


ABB. 5/7: ZEITREIHE UEBER 24 H DER MESSGRÖESSEN VON SODAR UND MAST

SIGMATHETA AUS 100 M HÖEHE IN GRAD VOM 24. 5.83

— : SODAR B

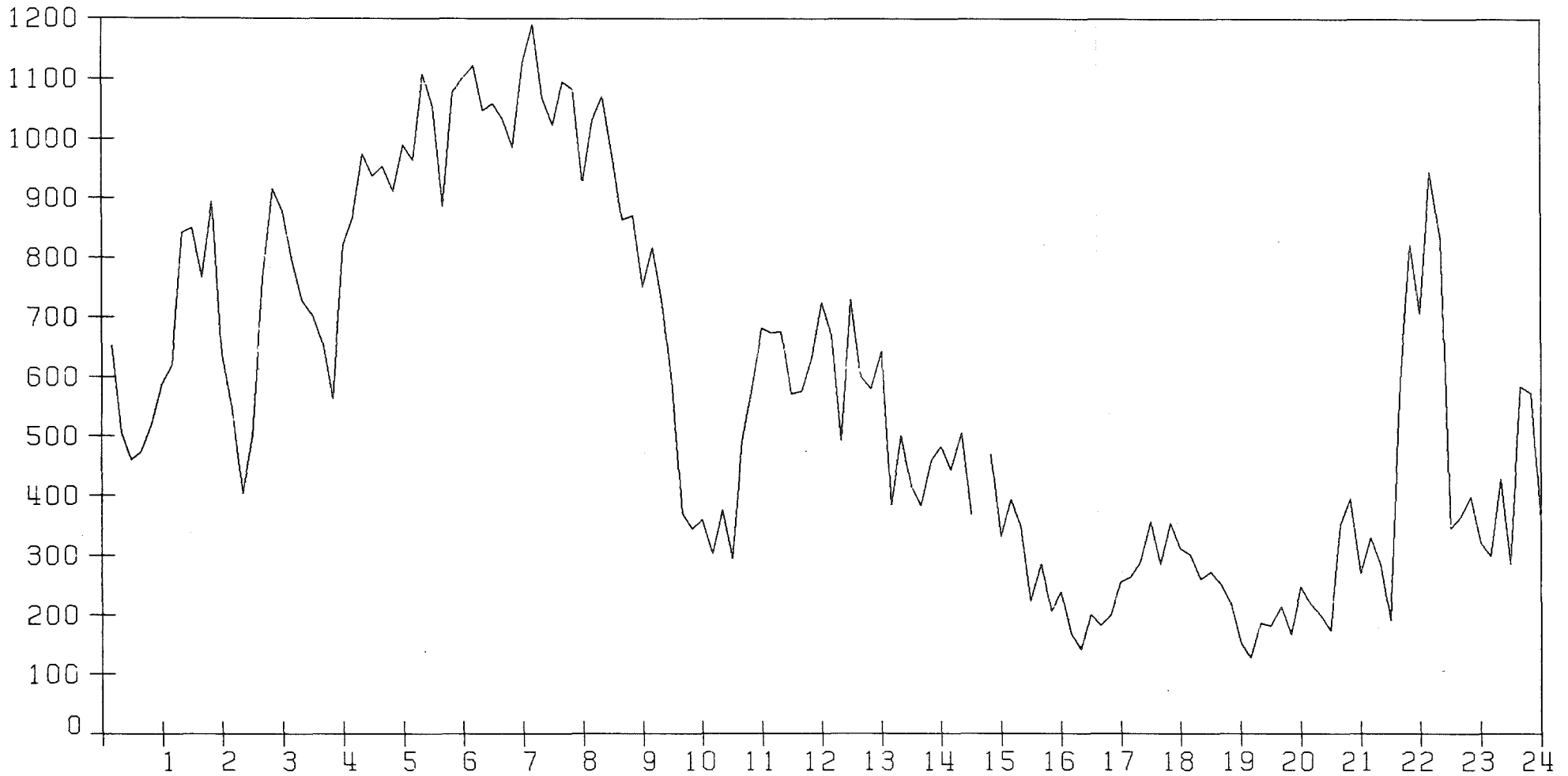


ABB. 5/8: ZEITREIHE UEBER 24 H DER MESSGRÖESSE VON SODAR

AMPLITUDE AUS 100 M HÖEHE IN MV VOM 30.10.83

-- : MAST  
— : SØDAR B

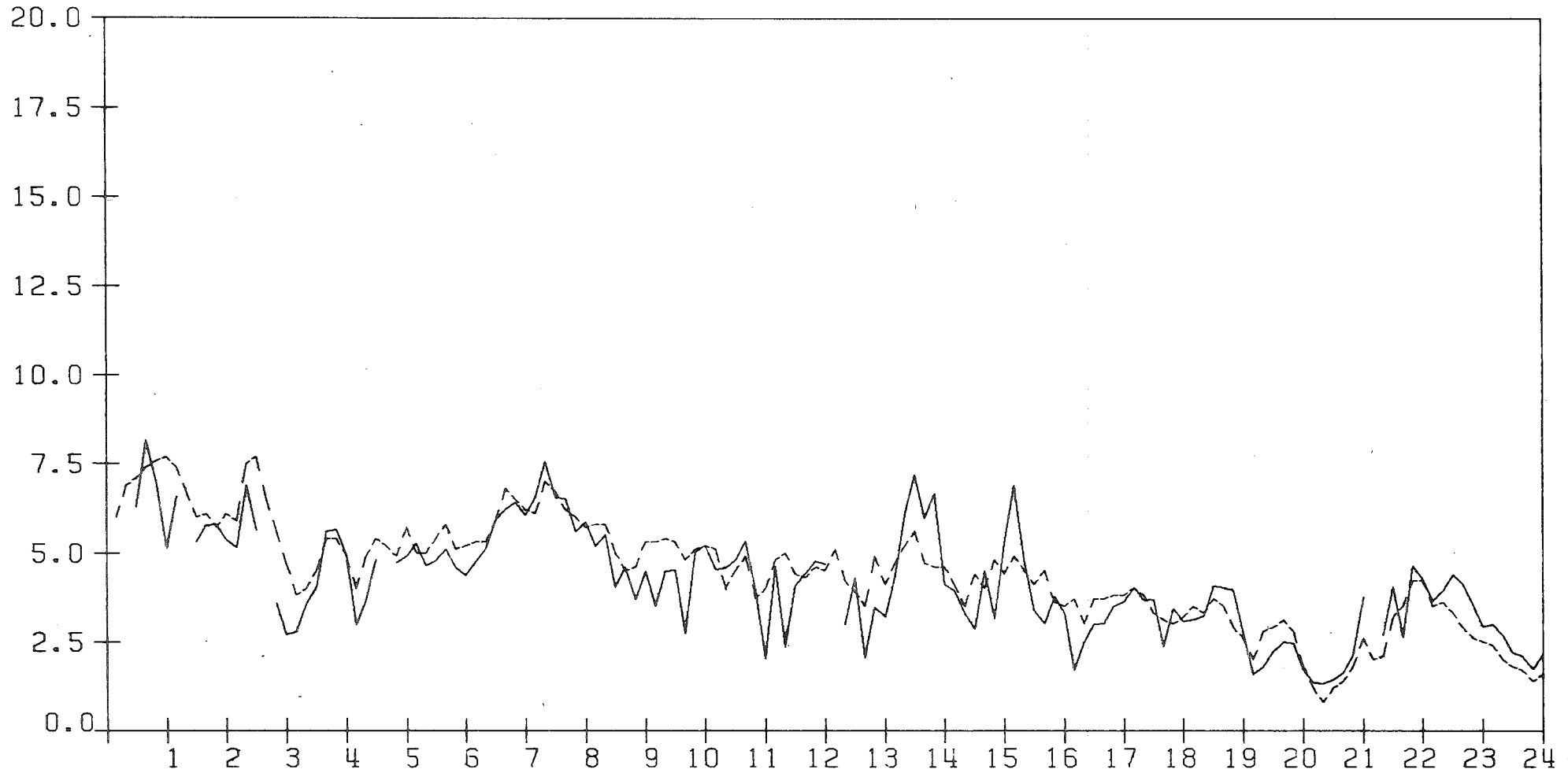


ABB. 5/9: ZEITREIHE UEBER 24 H DER MESSGRÖESSEN VON SØDAR UND MAST

WINDGESCHWINDIGKEIT AUS 100 M HØEHE IN M/S VOM 30.10.83

-- : MAST  
— : SODAR B

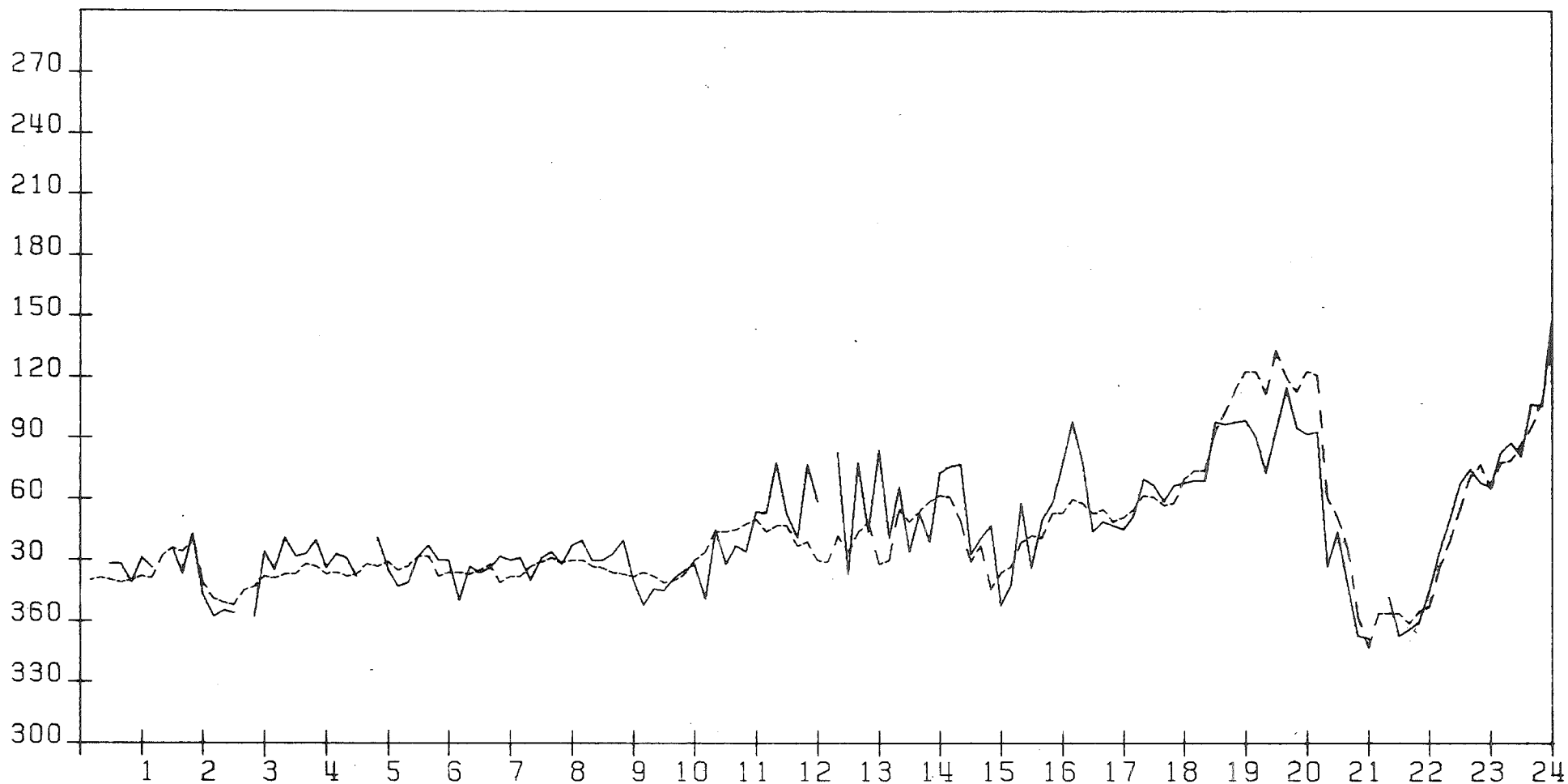


ABB. 5/10: ZEITREIHE UEBER 24 H DER MESSGRÖESSEN VON SODAR UND MAST

WINDRICHTUNG AUS 100 M HÖEHE IN GRAD VOM 30.10.83

-- : MAST  
— : SODAR B

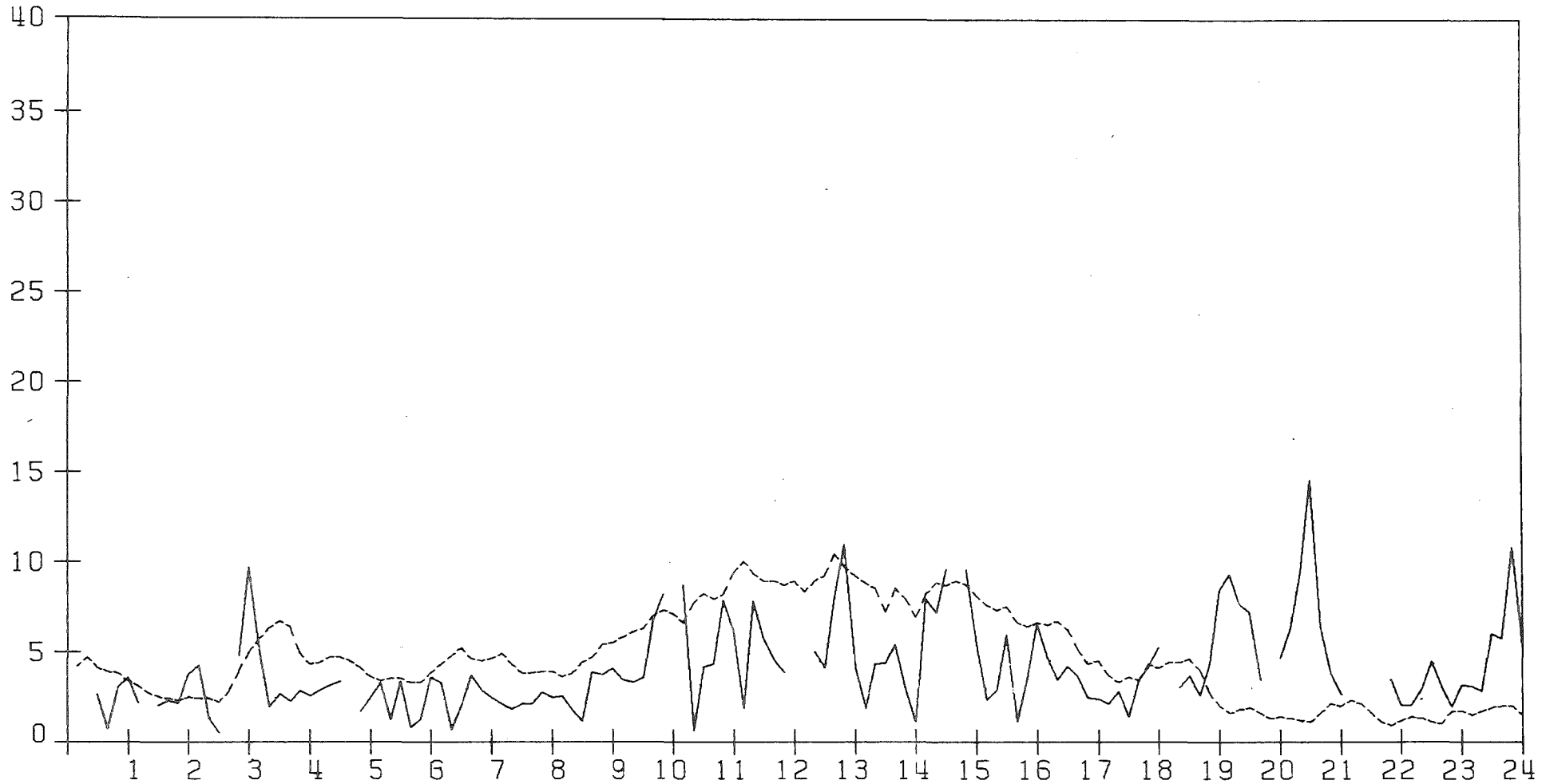


ABB. 5/11: ZEITREIHE UEBER 24 H DER MESSGRÖESSEN VON SODAR UND MAST

SIGMAPHI AUS 100 M HÖEHE IN GRAD VOM 30.10.83

-- : MAST  
— : SODAR B

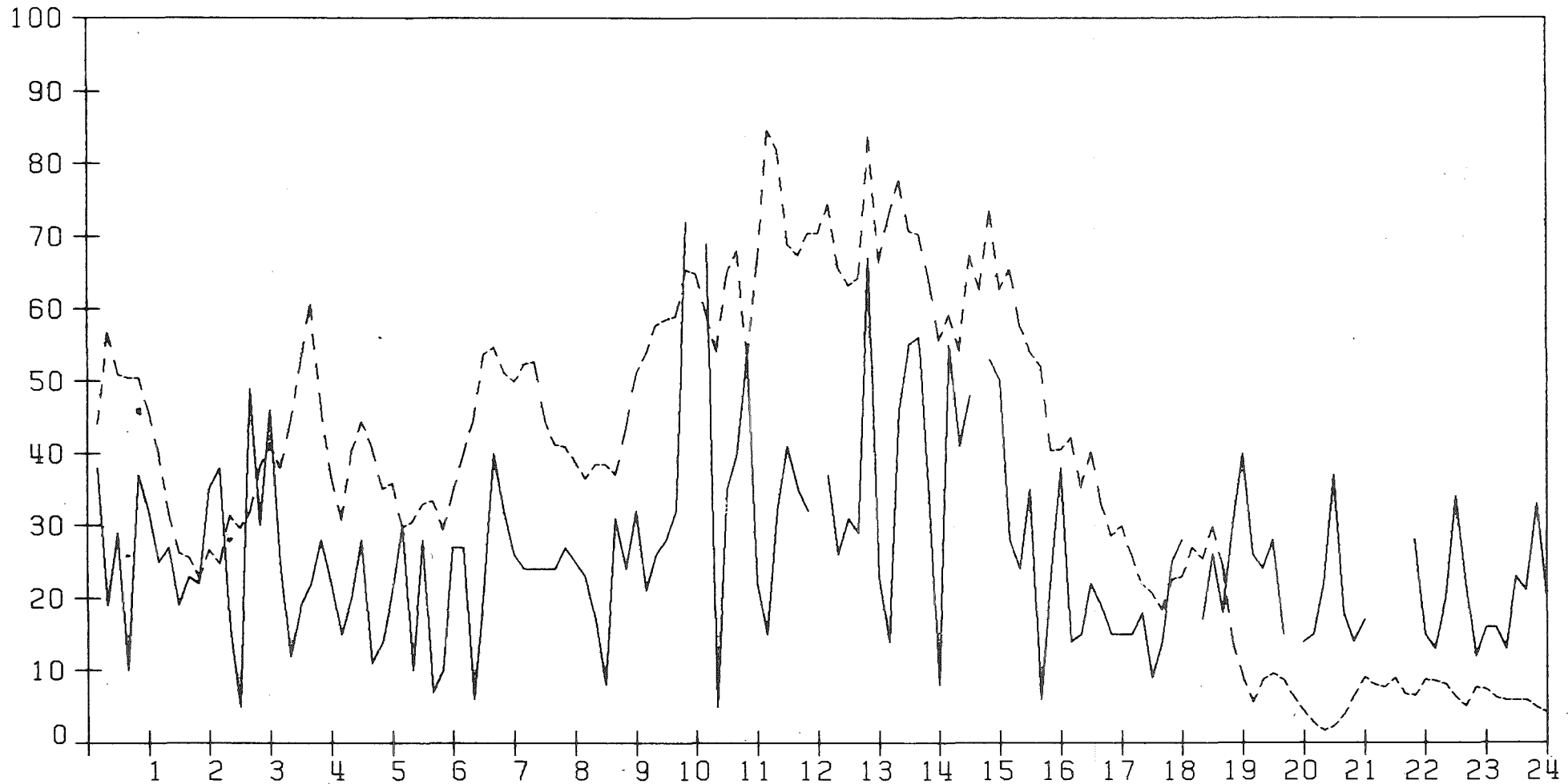


ABB. 5/12: ZEITREIHE UEBER 24 H DER MESSGRÖESSEN VON SODAR UND MAST

SIGMA/W AUS 100 M HÖEHE IN CM/S VOM 30.10.83

-- : MAST  
— : SODAR B

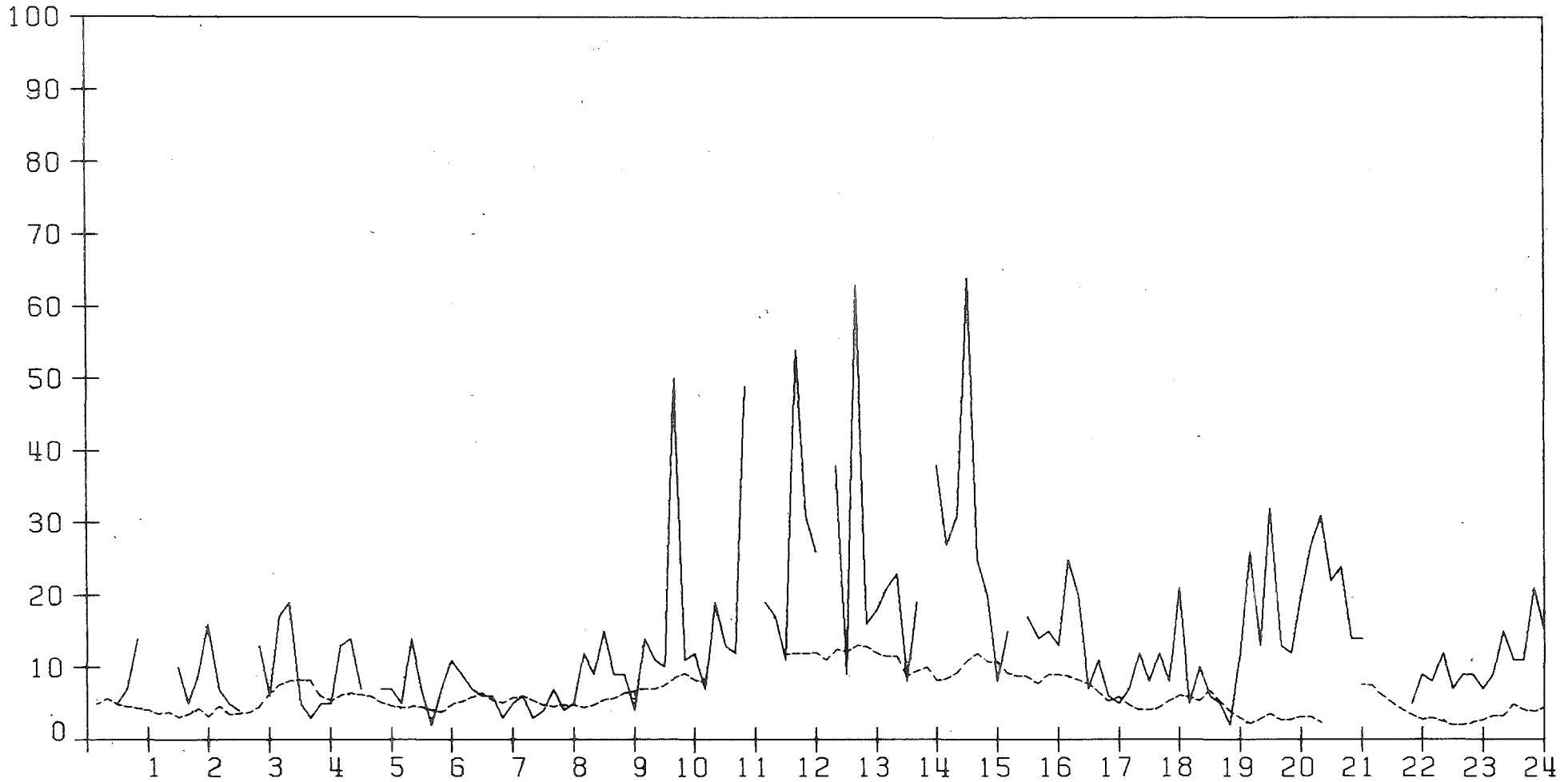


ABB. 5/13: ZEITREIHE UEBER 24 H DER MESSGRÖESSEN VON SODAR UND MAST

SIGMATHETA AUS 100 M HÖEHE IN GRAD VOM 30.10.83

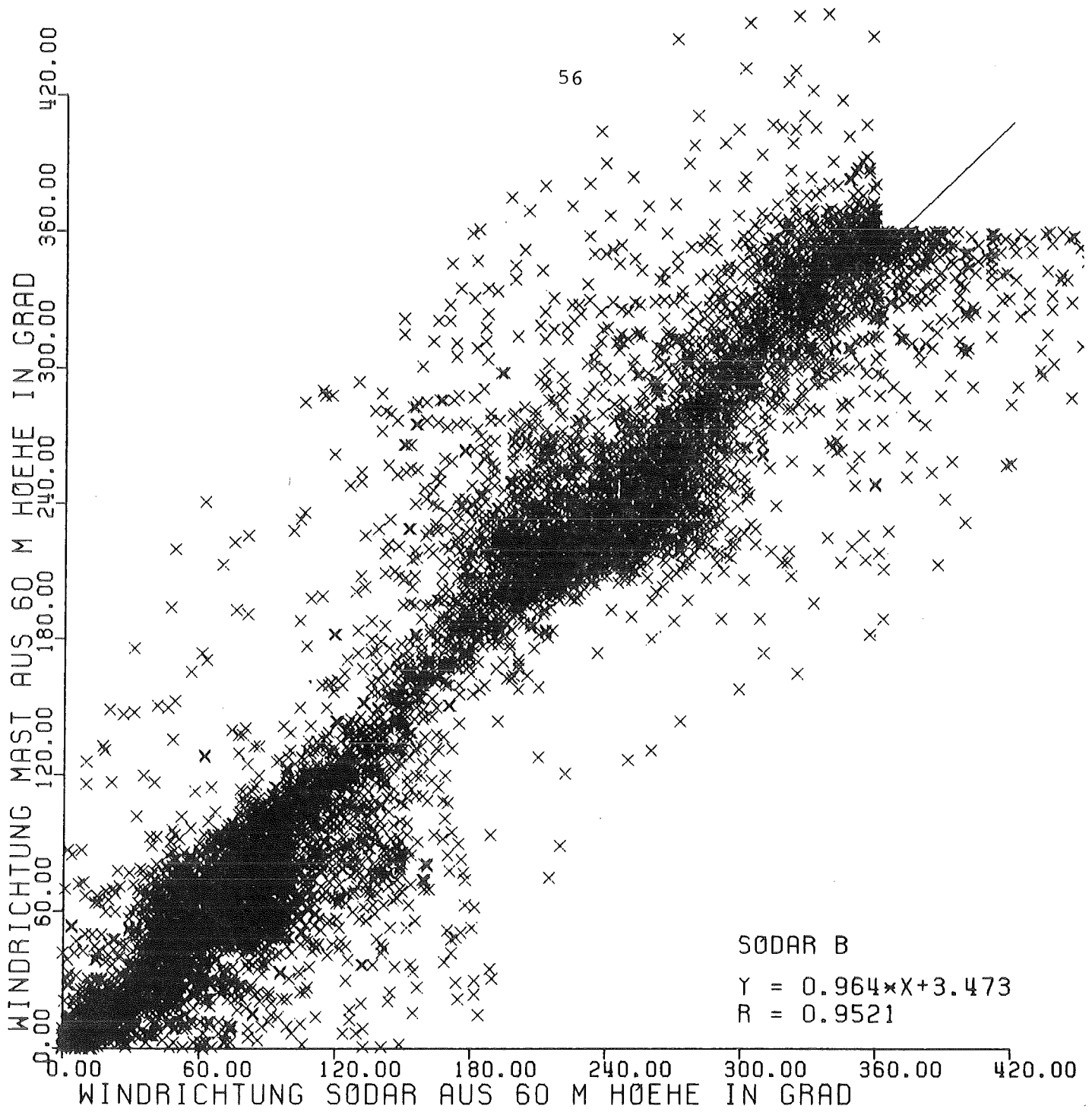


ABB. 6/1: 6.5.1983 BIS 5.8.1983



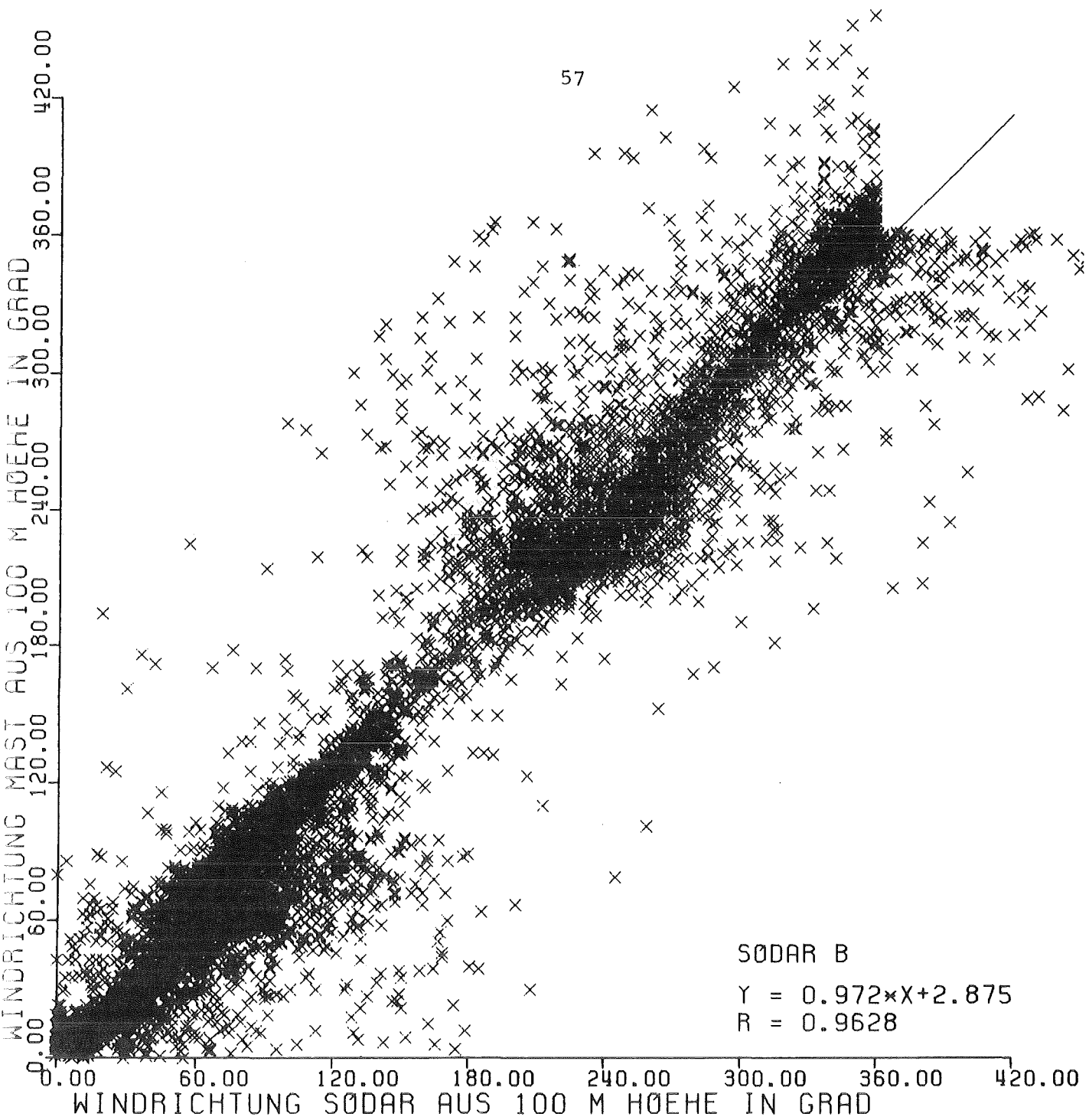


ABB. 6/2: 6.5.1983 BIS 5.8.1983

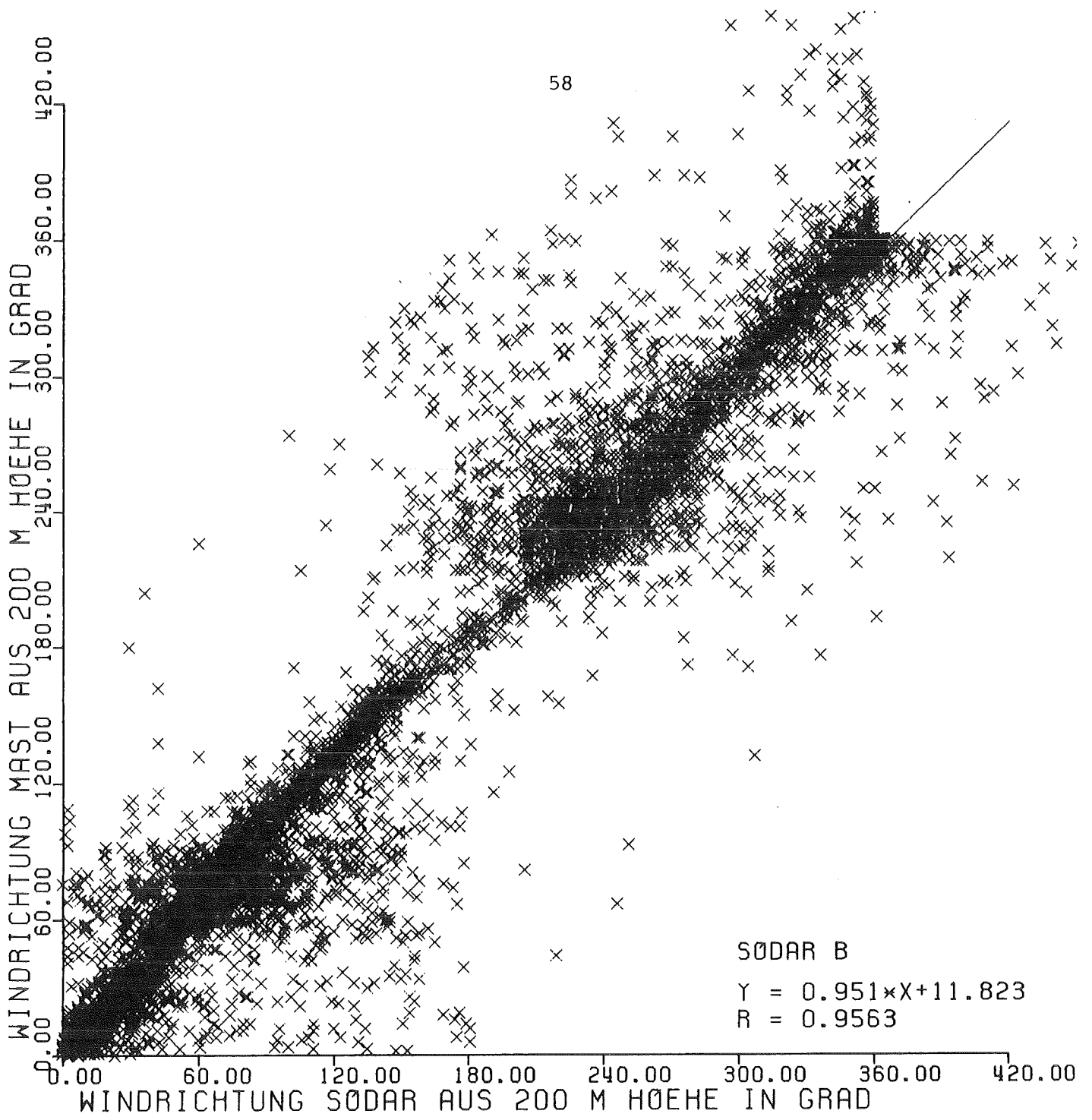


ABB. 6/3: 6.5.1983 BIS 5.8.1983

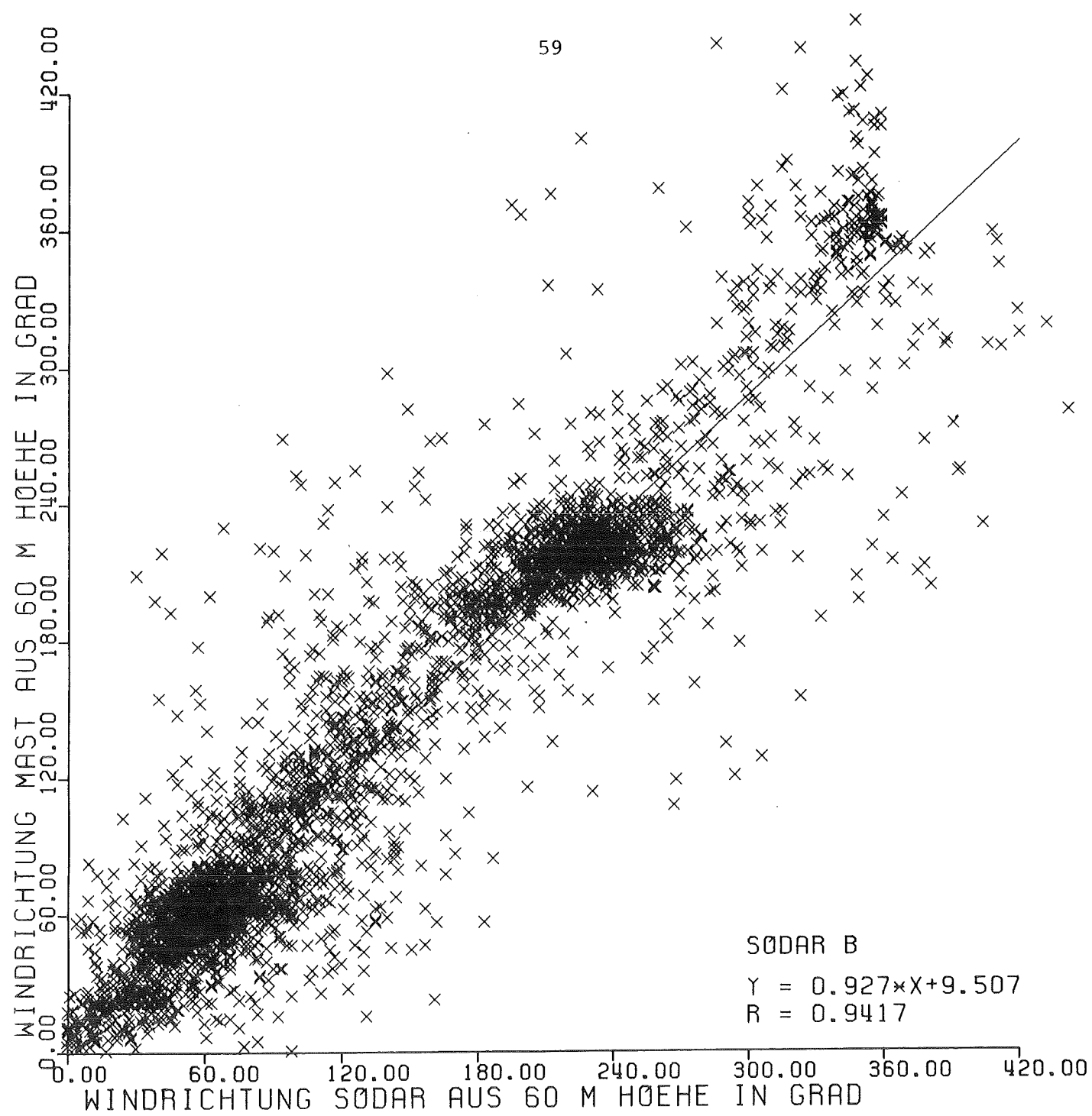


ABB. 6/4: 22.10.1983 BIS 23.11.1983

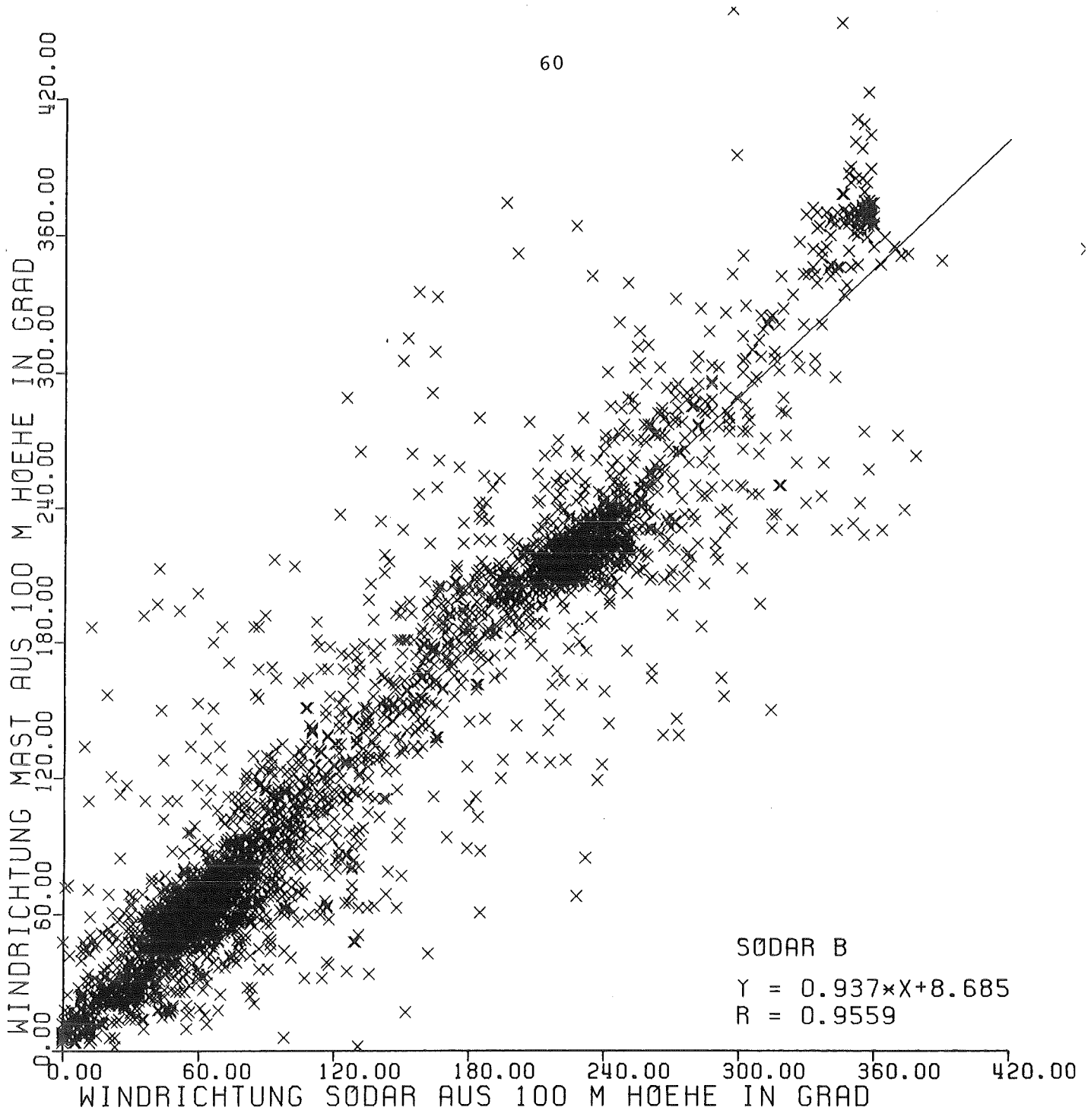


ABB. 6/5: 22.10.1983 BIS 23.11.1983

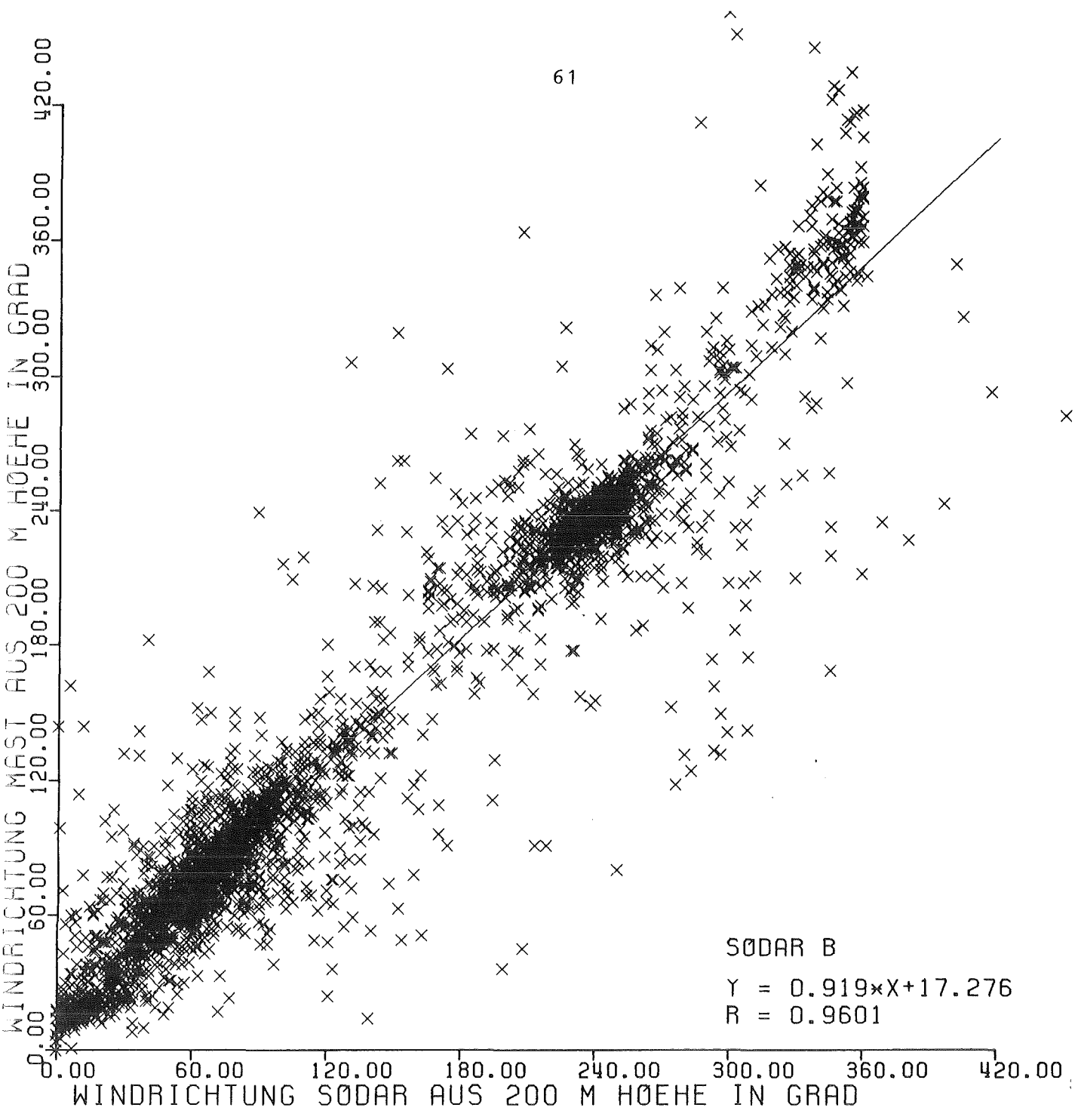


ABB. 6/6: 22.10.1983 BIS 23.11.1983

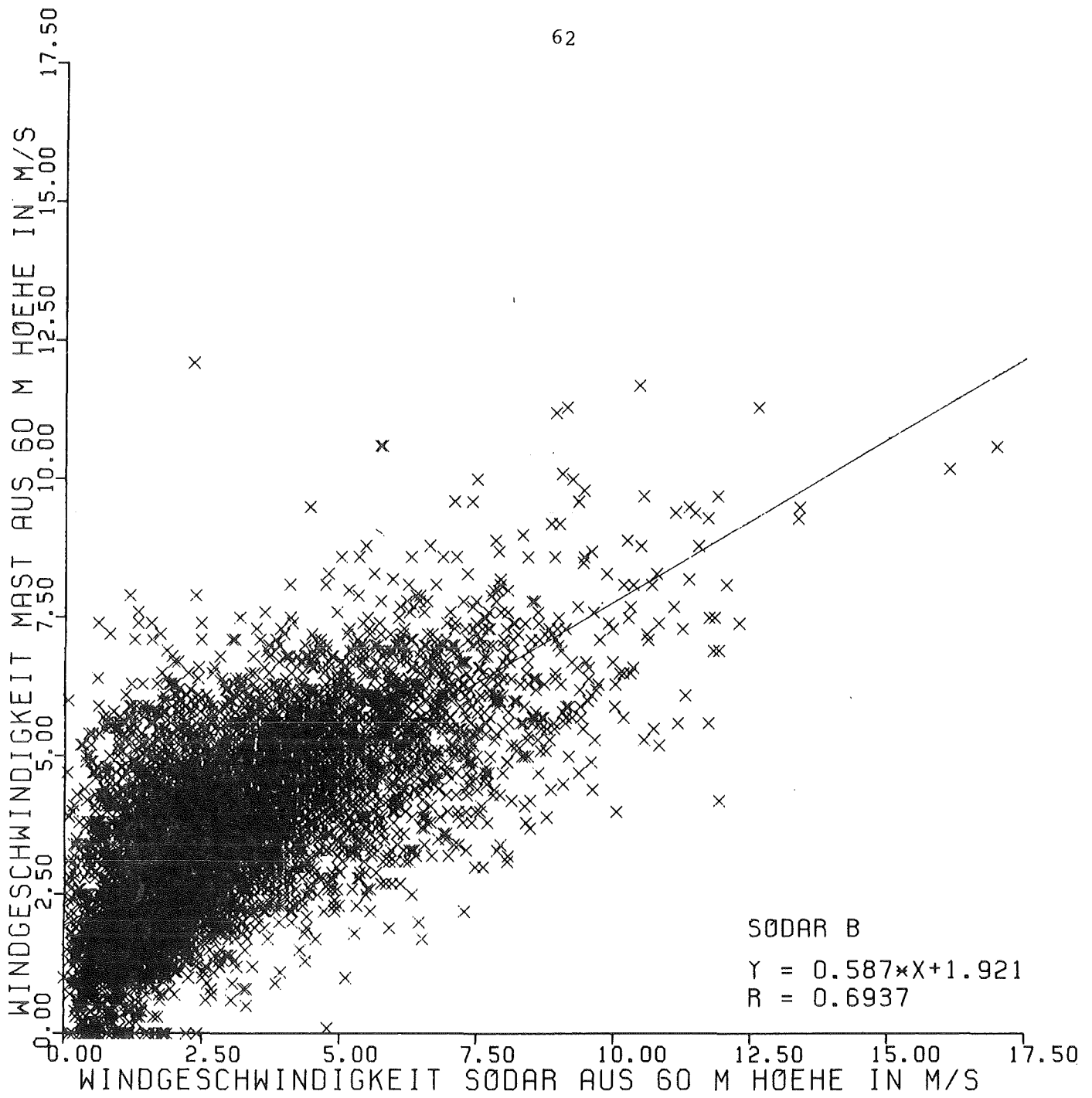


ABB. 6/7: 6.5.1983 BIS 5.8.1983

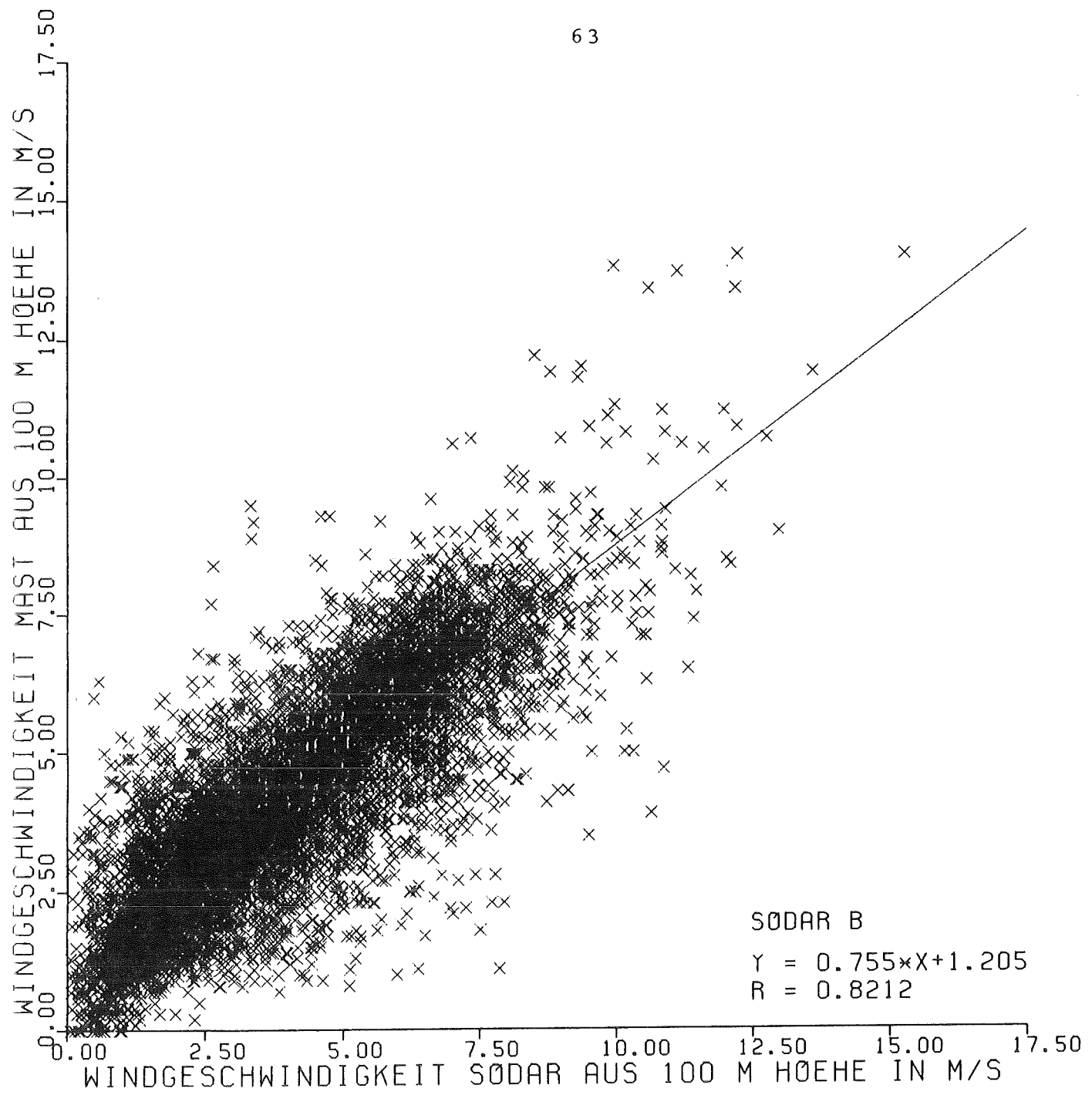


ABB. 6/8: 6.5.1983 BIS 5.8.1983

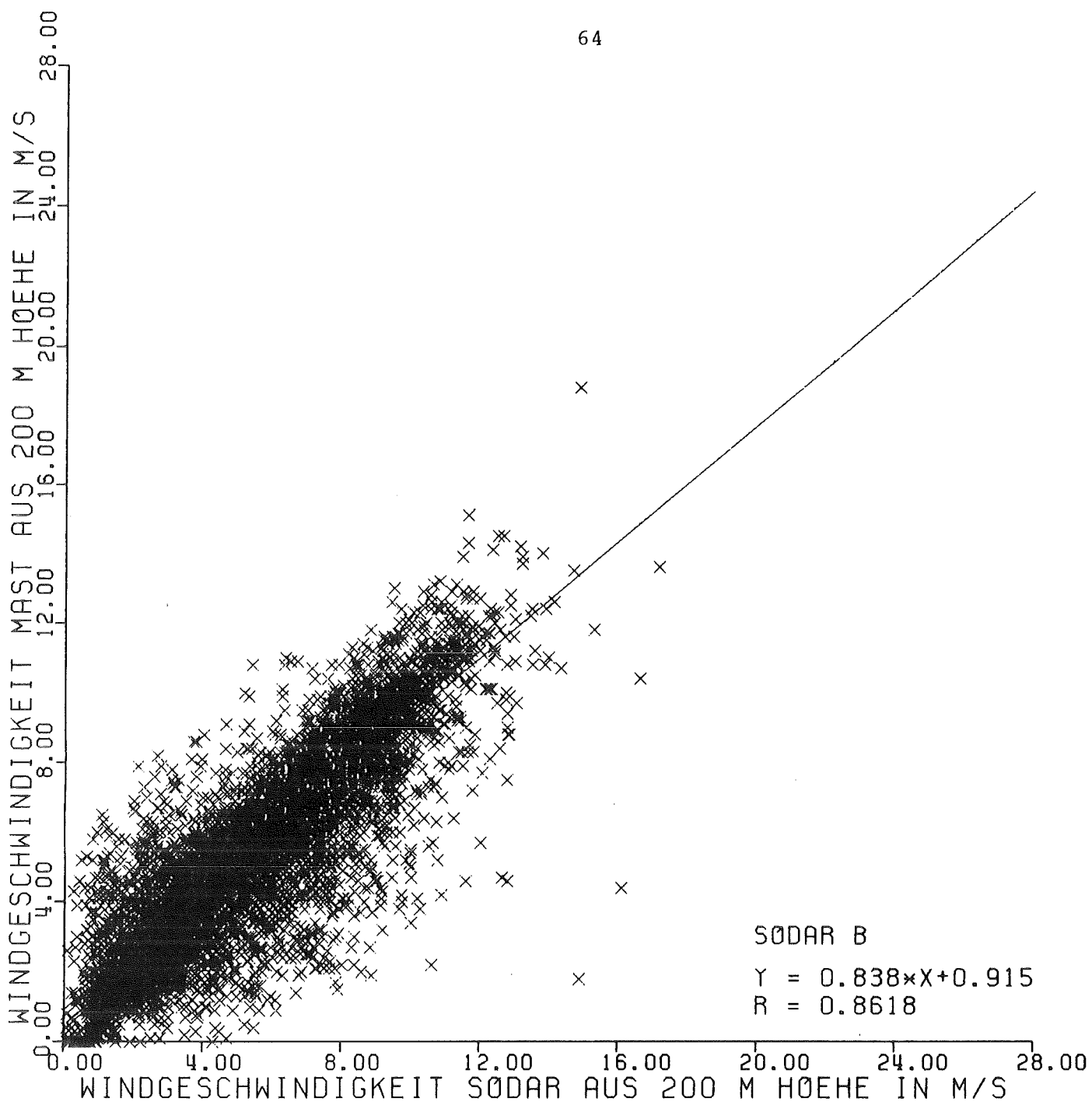


ABB. 6/9: 6.5.1983 BIS 5.8.1983



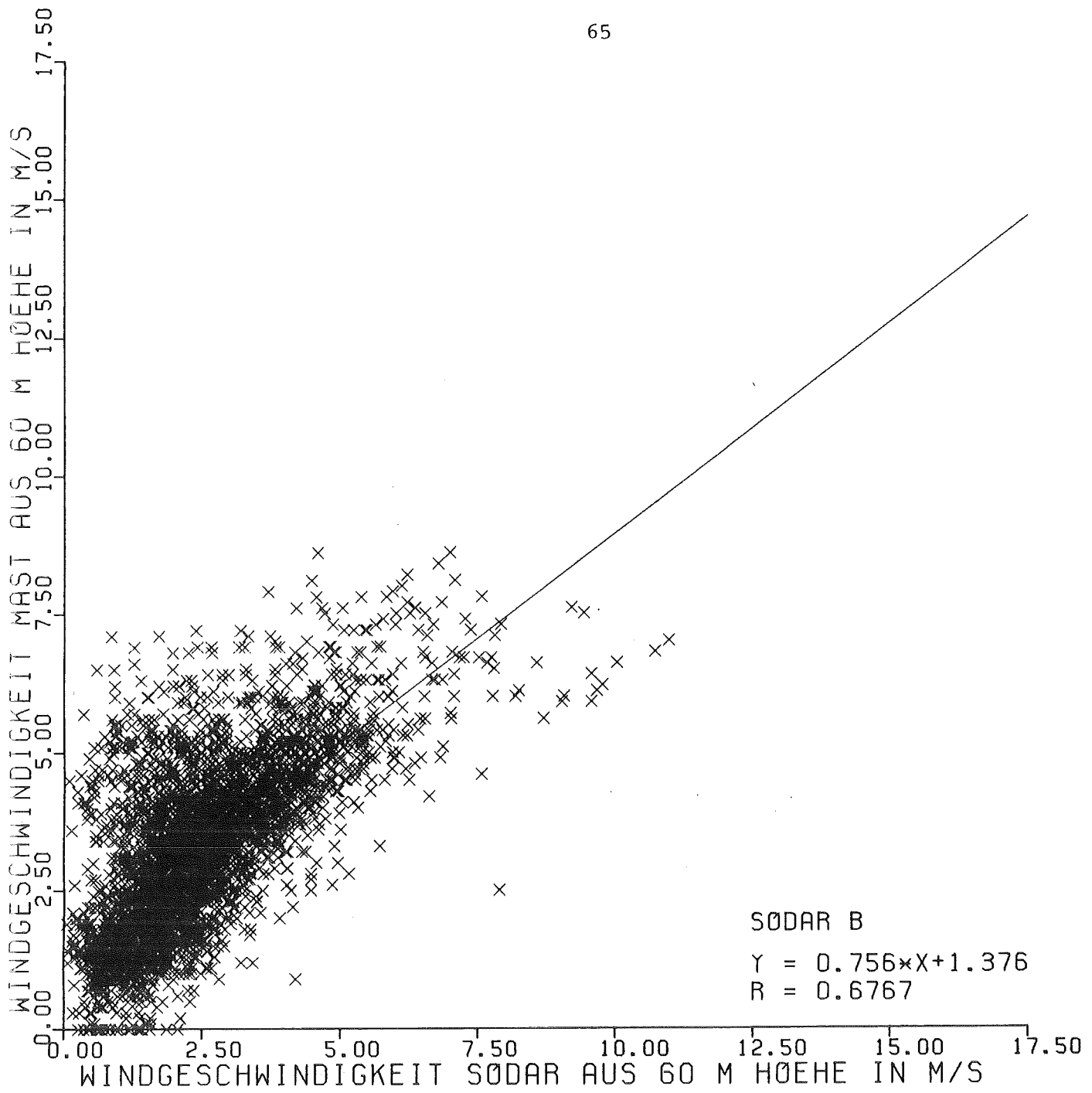


ABB. 6/10: 22.10.1983 BIS 23.11.1983

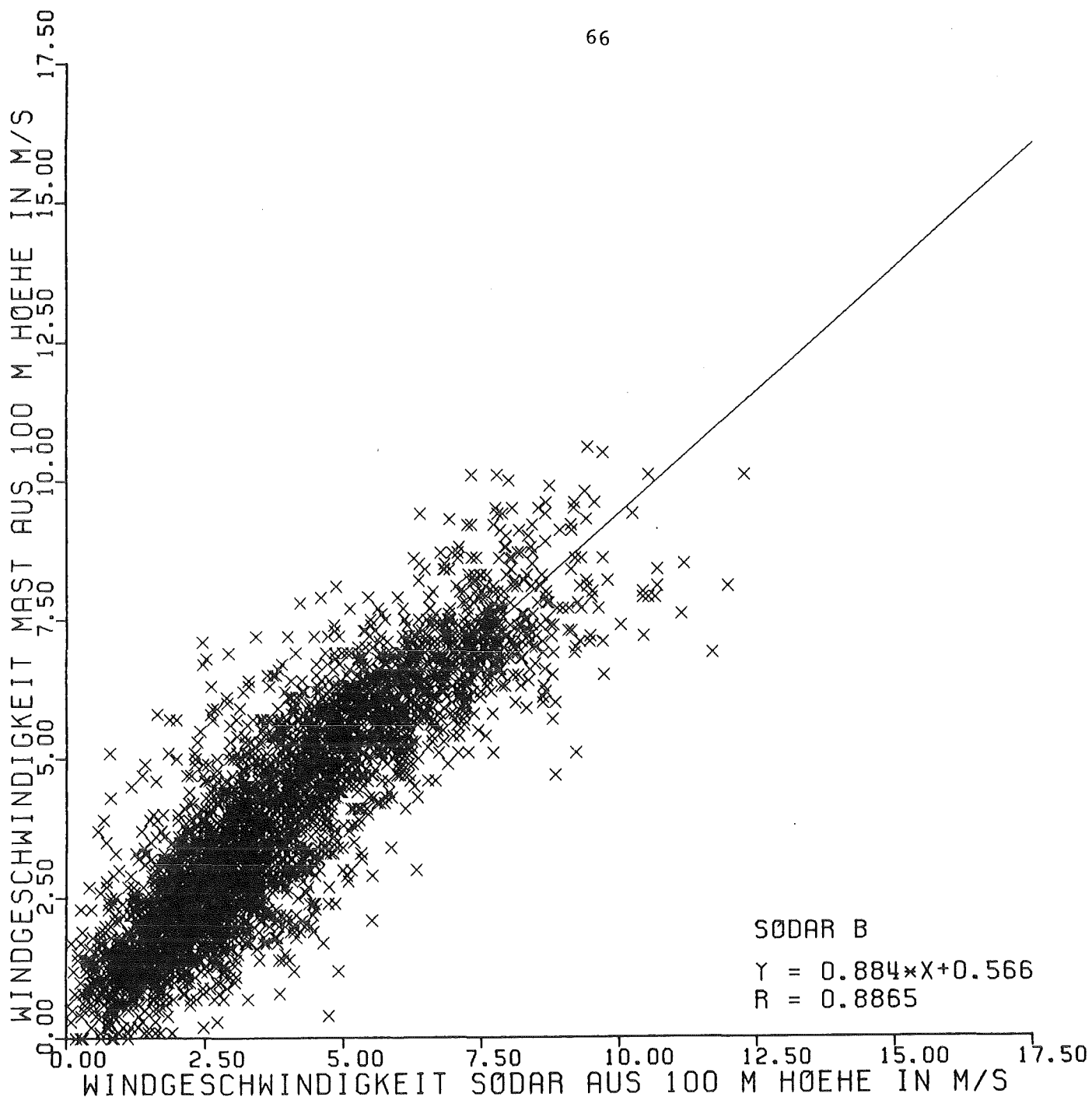


ABB. 6/11: 22.10.1983 BIS 23.11.1983

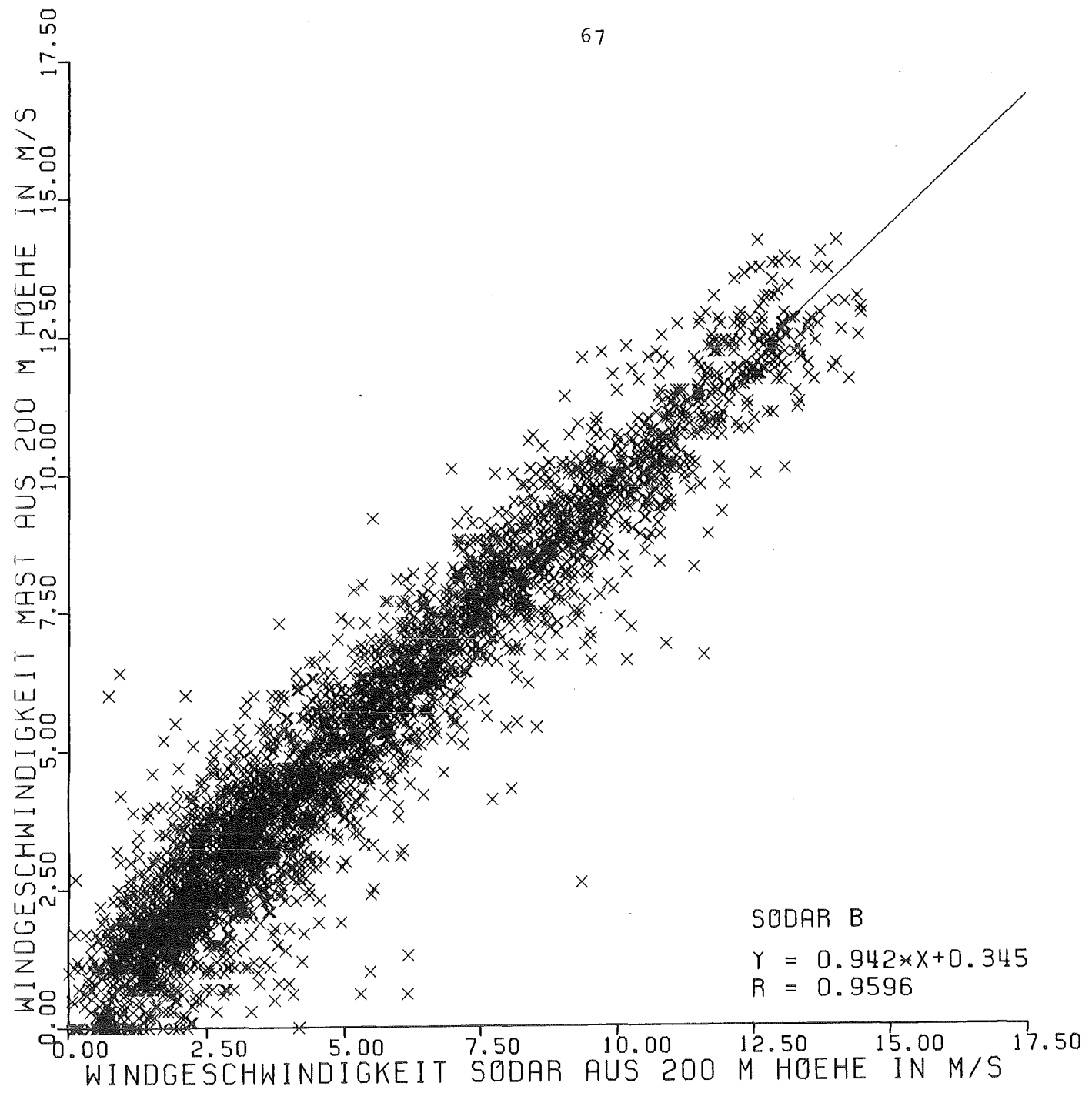


ABB. 6/12: 22.10.1983 BIS 23.11.1983

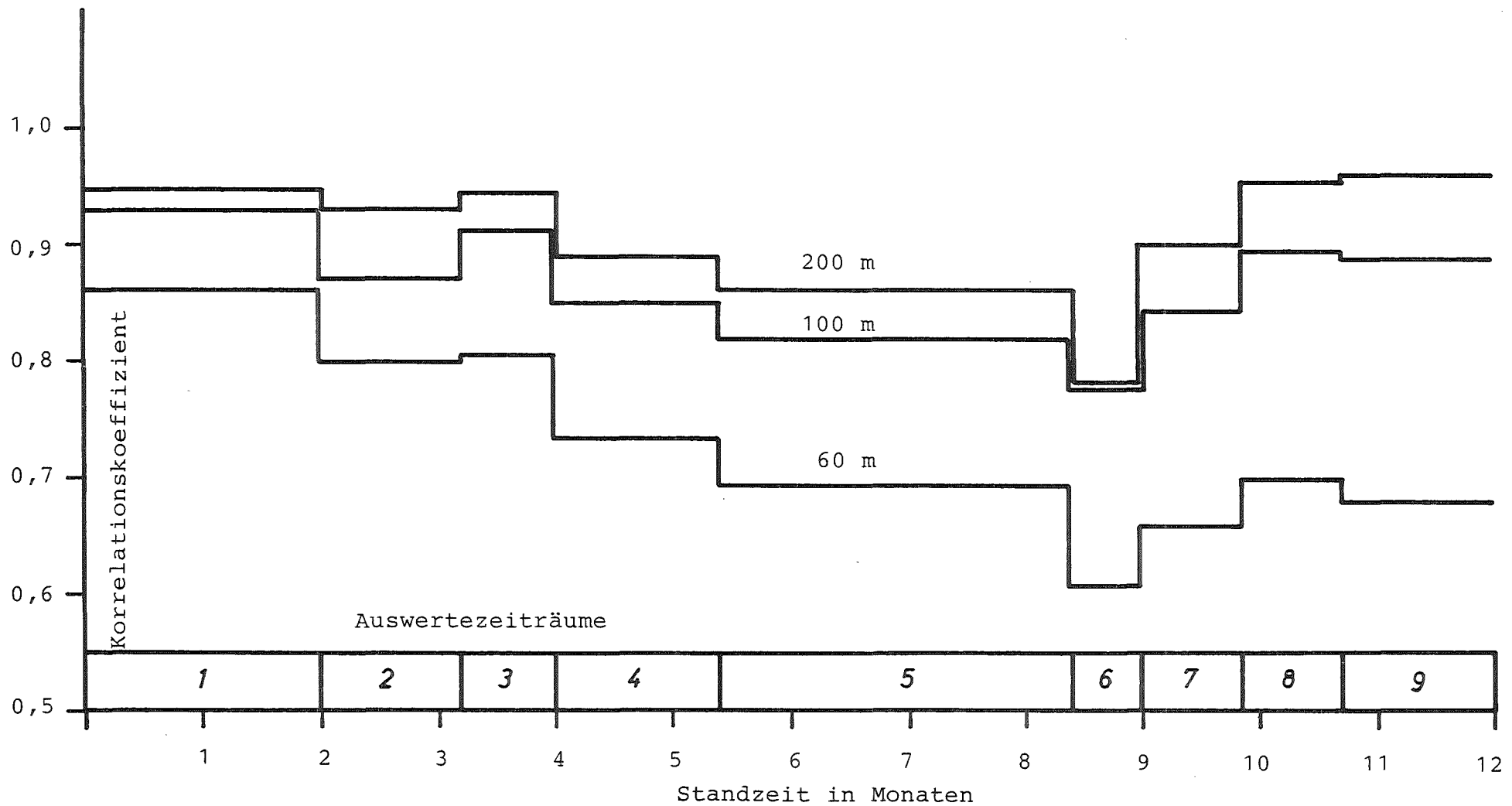


Abb. 6/13: Korrelationskoeffizient beim Vergleich der Windgeschwindigkeiten über der Standzeit des Sodar

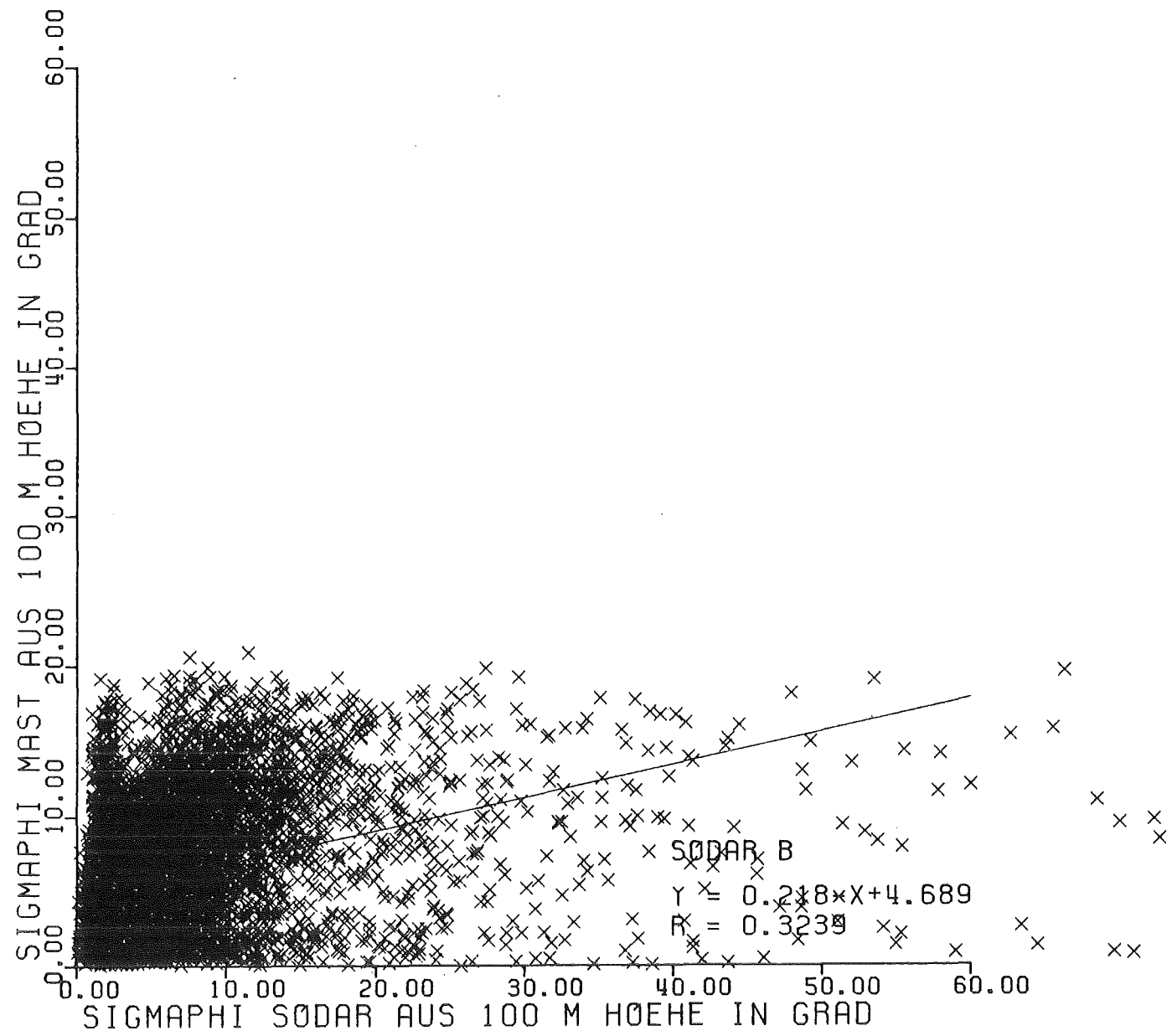


ABB. 6/14: 6.5.1983 BIS 5.8.1983

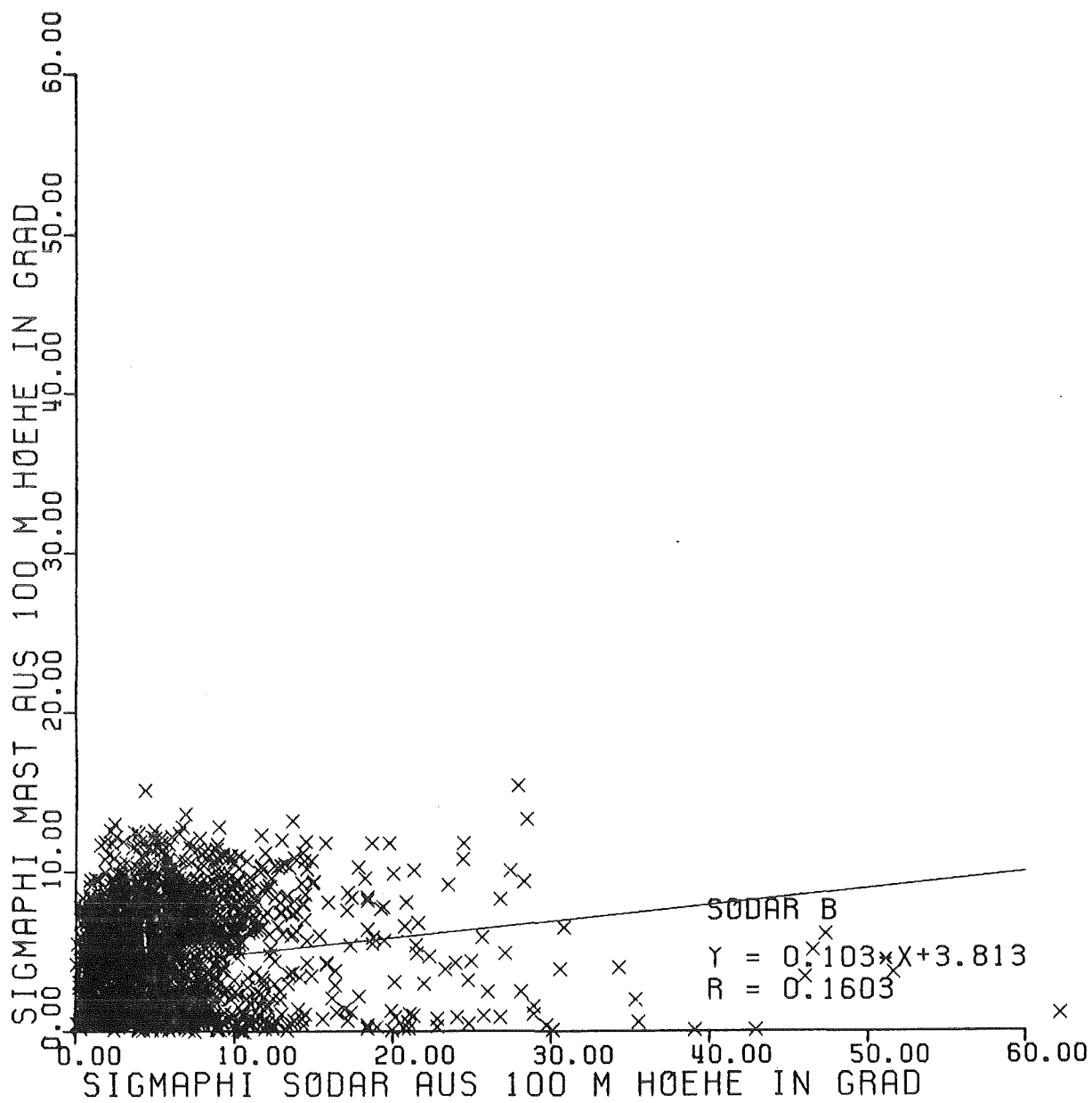


ABB. 6/15: 22.10.1983 BIS 23.11.1983

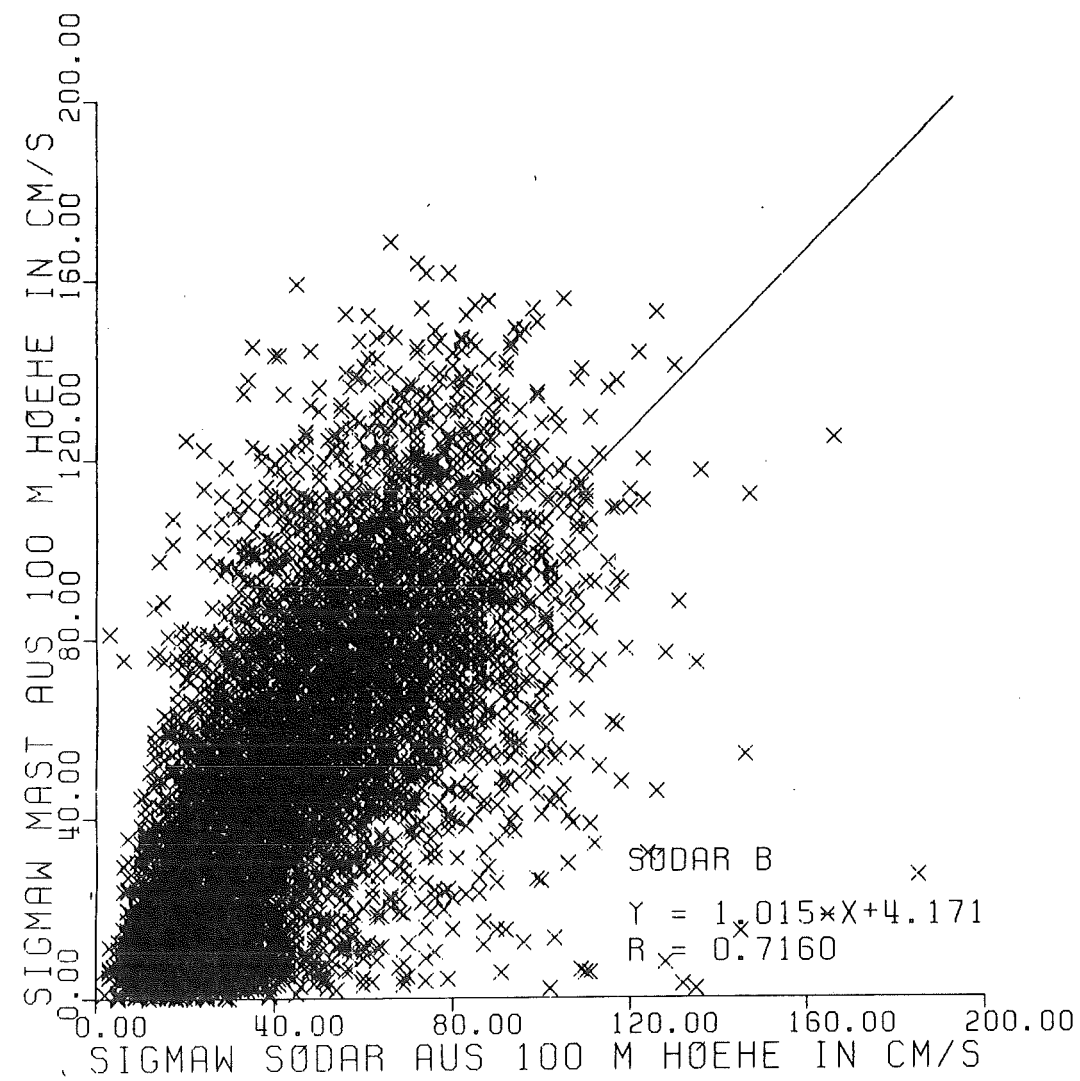


ABB. 6/16: 6.5.1983 BIS 5.8.1983

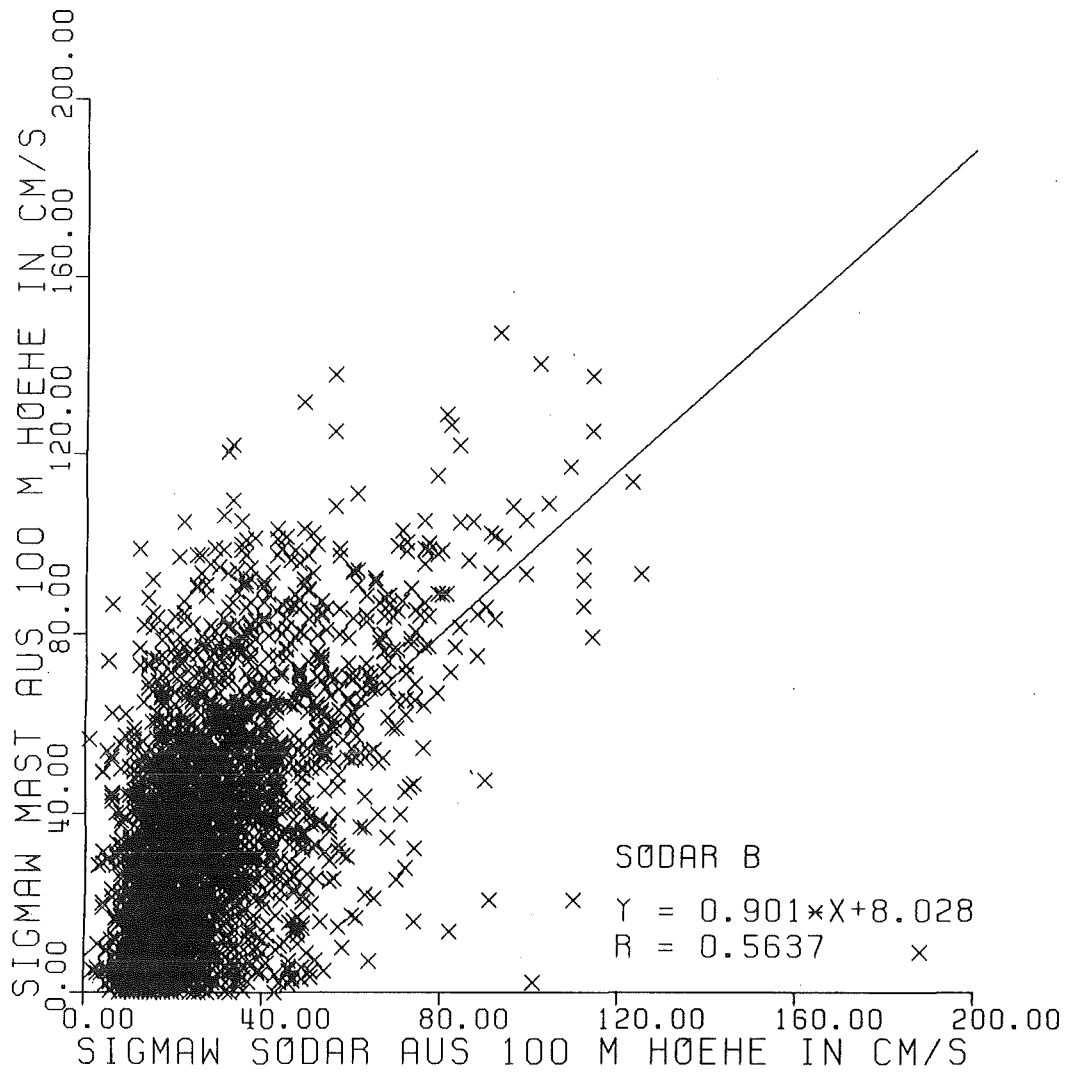


ABB. 6/17: 22.10.1983 BIS 23.11.1983



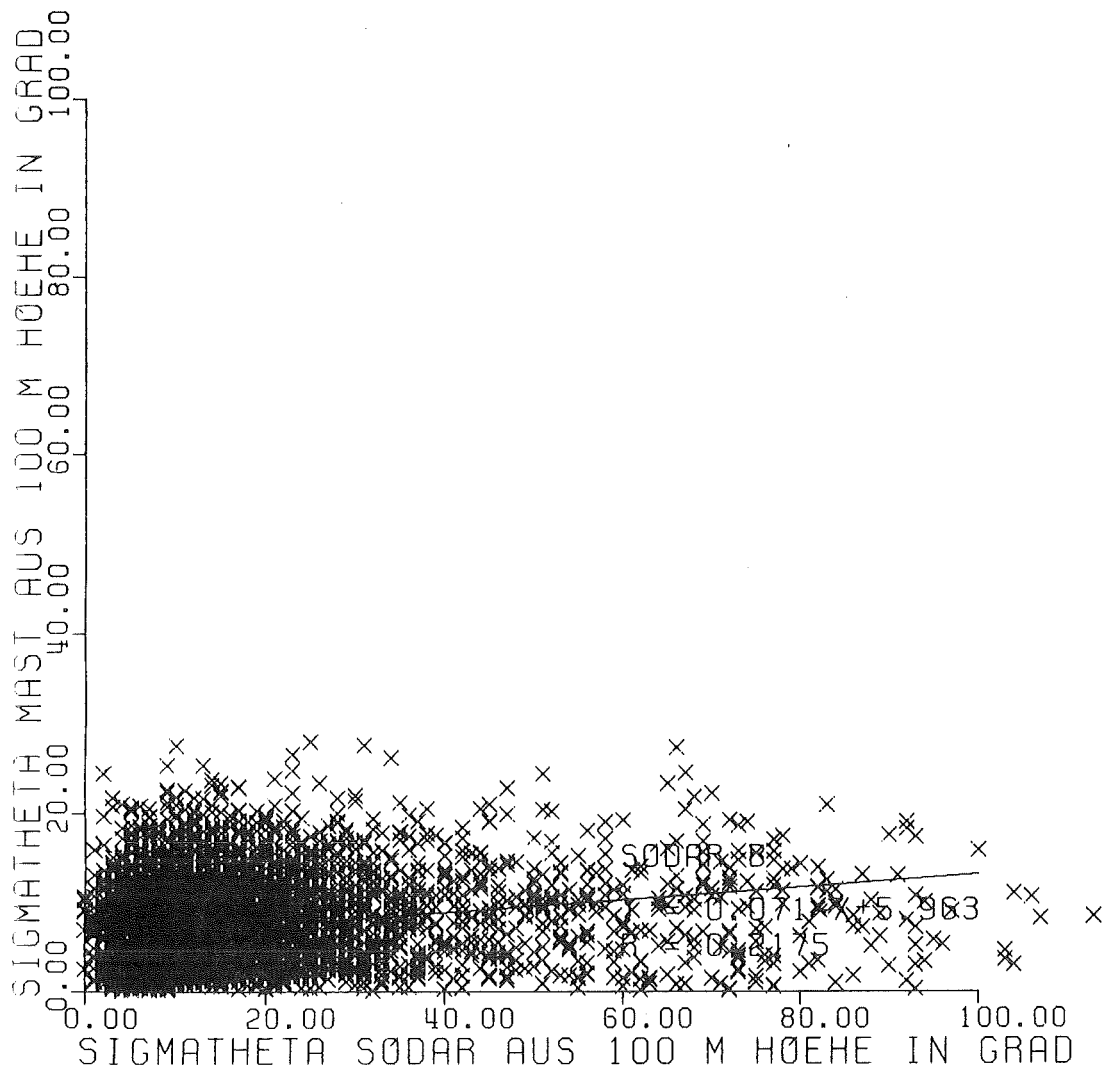


ABB. 6/18: 6.5.1983 BIS 5.8.1983

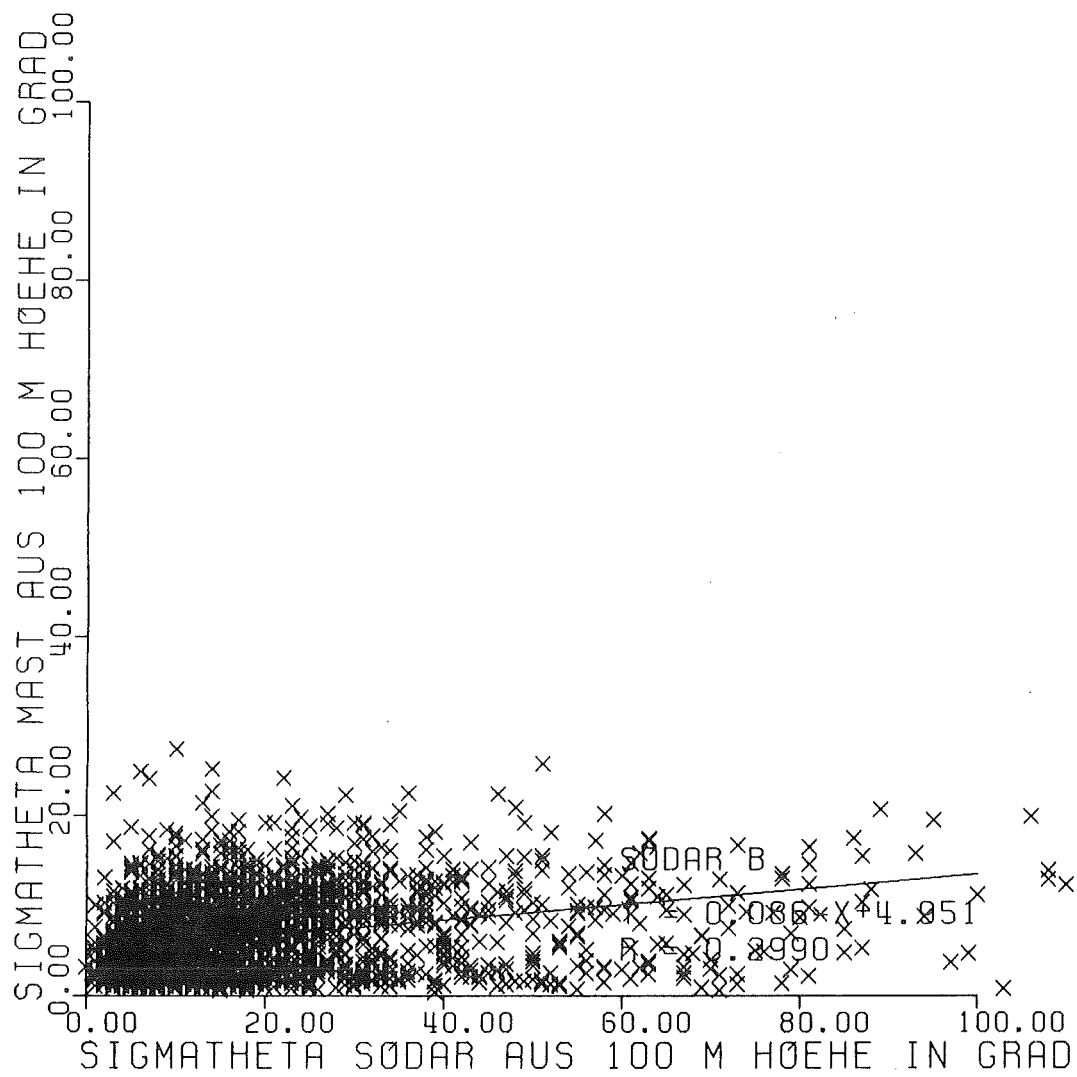


ABB. 6/19: 22.10.1983 BIS 23.11.1983

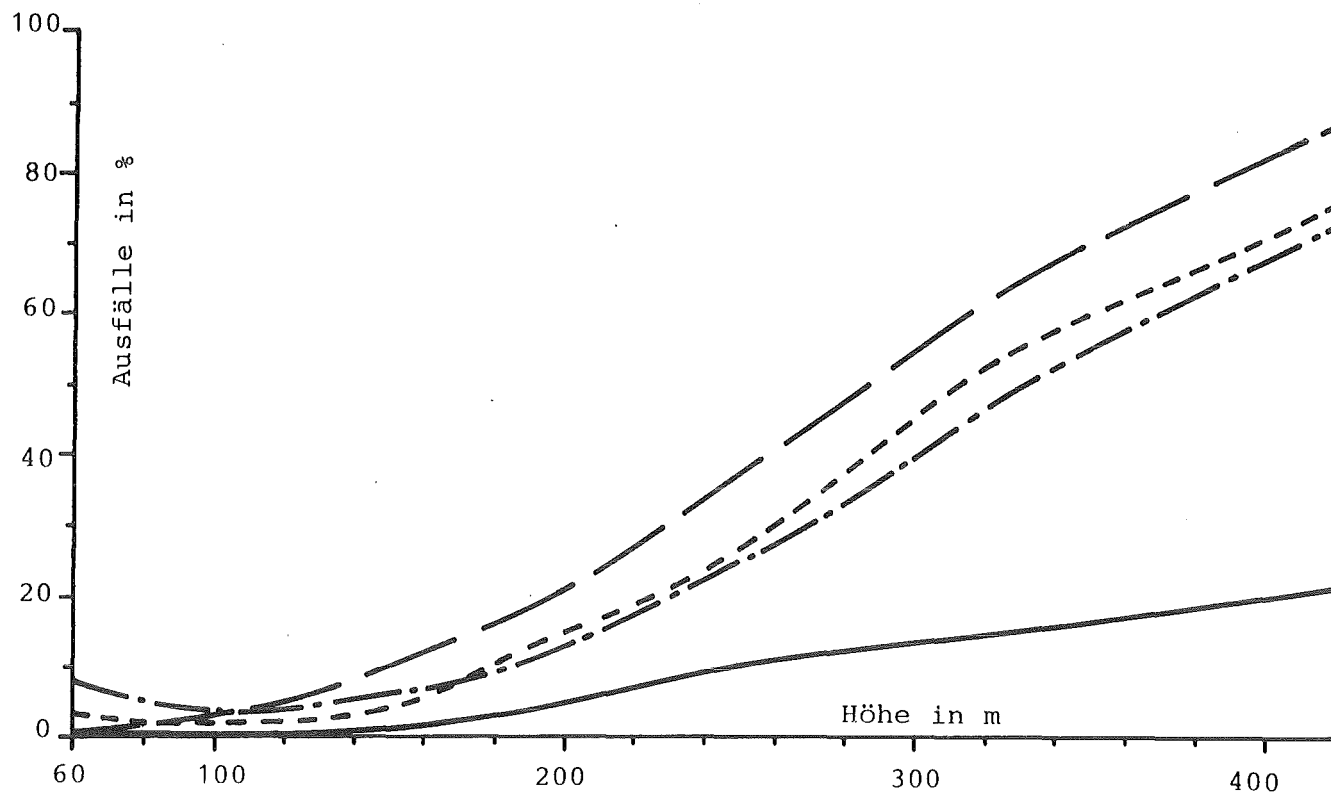


Abb. 8/1: Ausfälle der Rückstreuamplitude  $A_w$

—————	24.11.82 bis 06.05.83: Abschnitt 1 - 4
—————	06.05.83 bis 05.08.83: Abschnitt 5
—————	08.08.83 bis 14.10.83: Abschnitt 6 - 8
—————	22.10.83 bis 23.11.83: Abschnitt 9

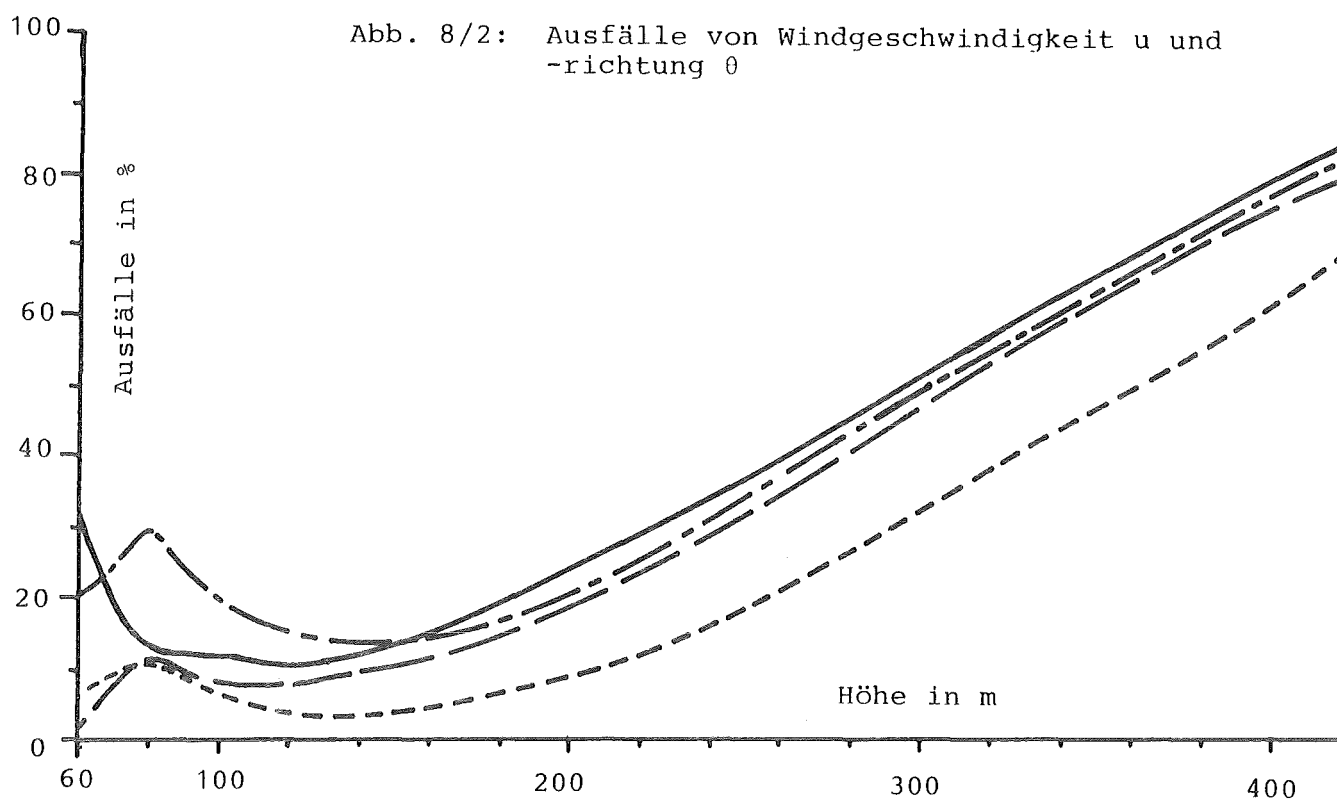


Abb. 8/2: Ausfälle von Windgeschwindigkeit  $u$  und -richtung  $\theta$

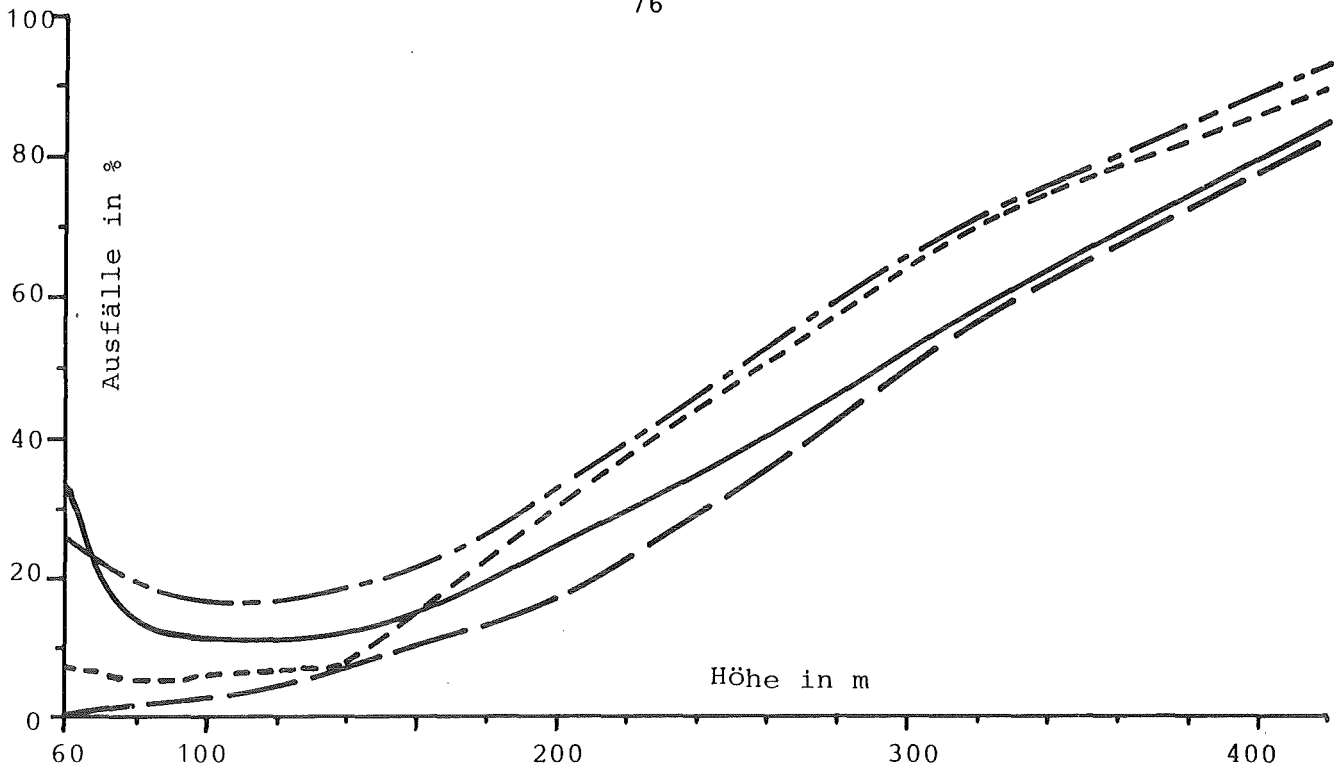


Abb. 8/3: Ausfälle der Standardabweichung  $\sigma_w$

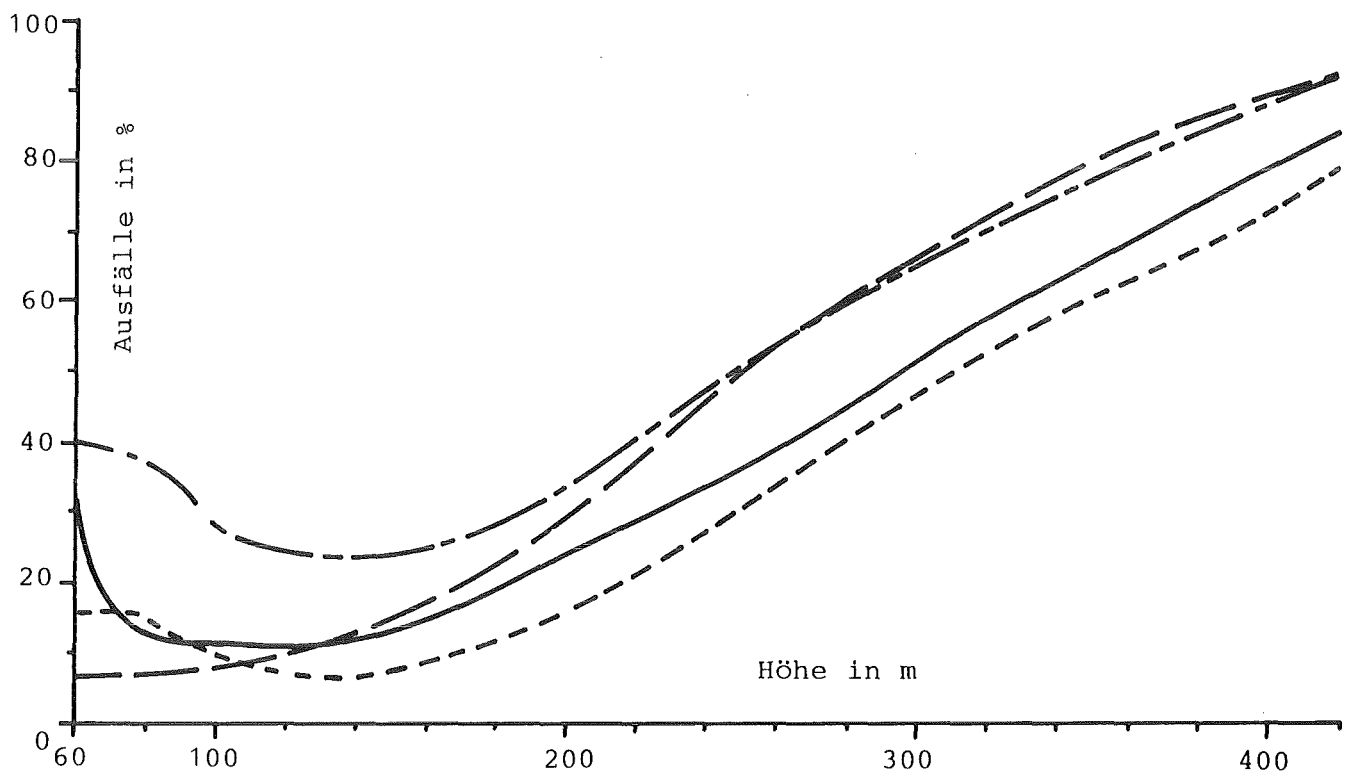


Abb. 8/4: Ausfälle der Standardabweichung  $\sigma_\theta$

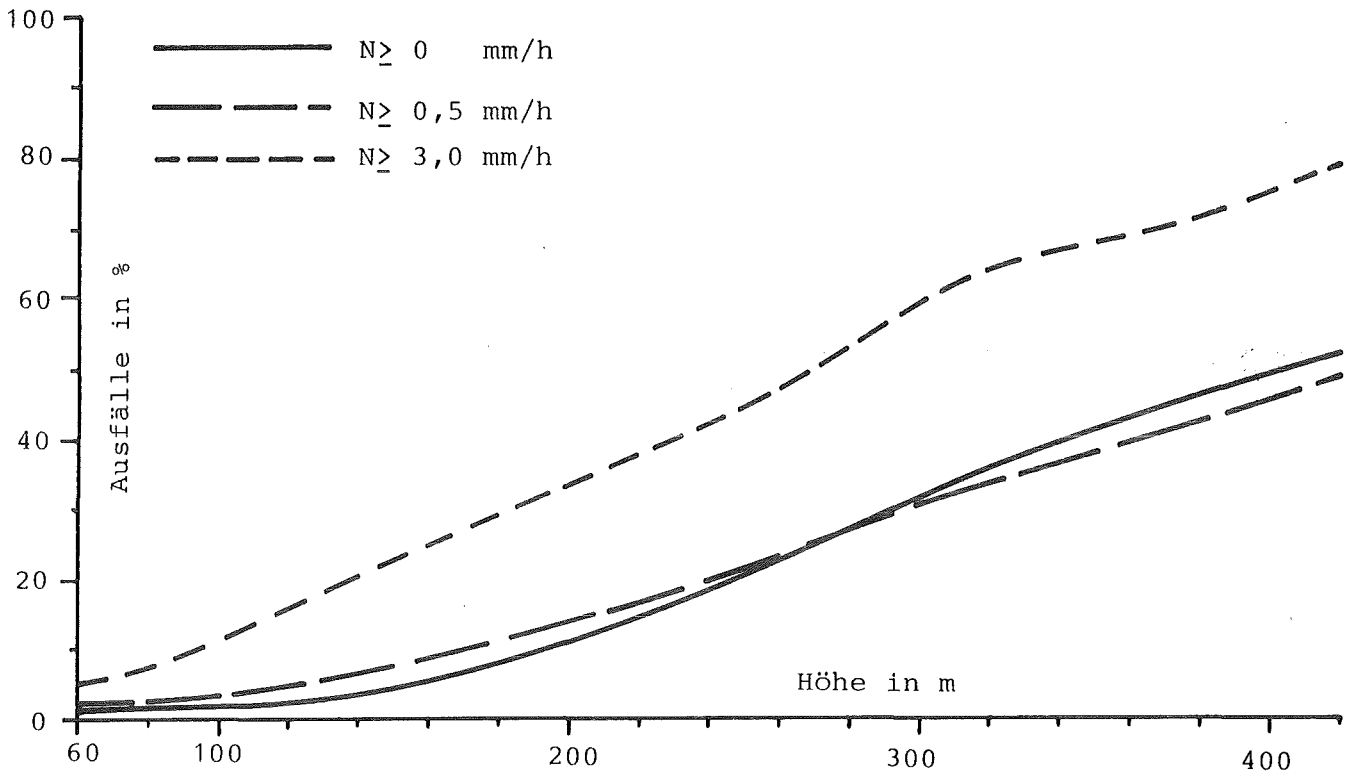


Abb. 8/5: Ausfälle der Rückstreuamplitude  $A_w$  in Abhängigkeit des Niederschlags  $N$

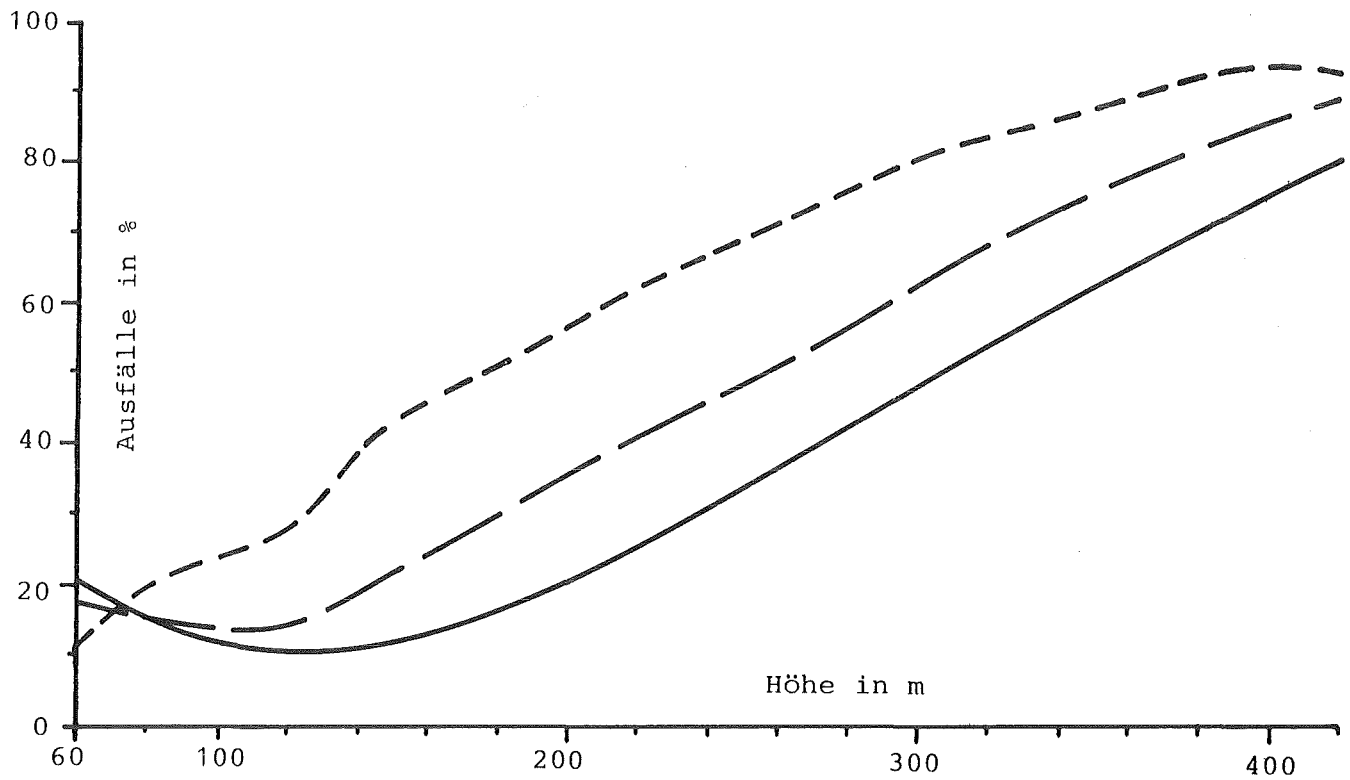


Abb. 8/6: Ausfälle von Windgeschwindigkeit  $u$  und -richtung  $\theta$  in Abhängigkeit des Niederschlags  $N$

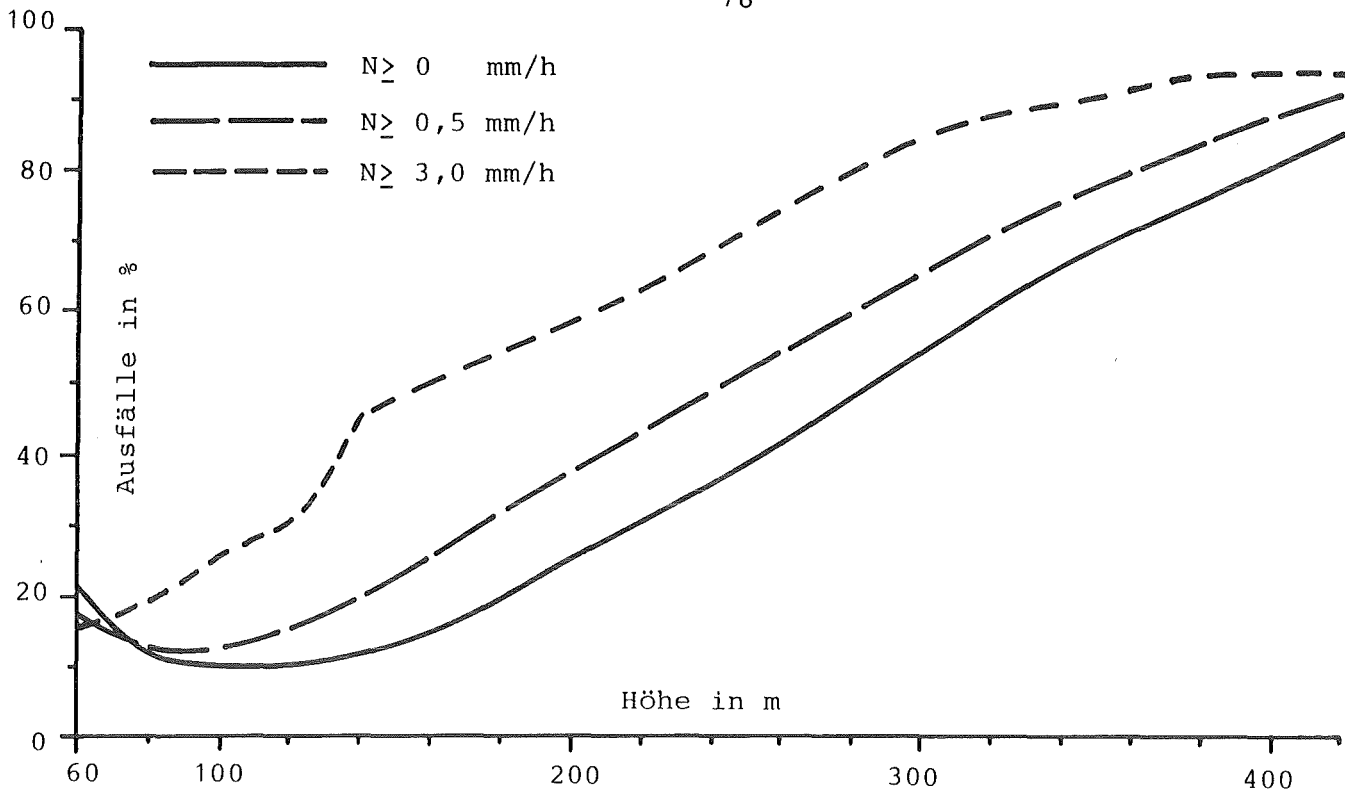


Abb. 8/7: Ausfälle der Standardabweichung  $\sigma_w$  in Abhängigkeit des Niederschlags  $N$

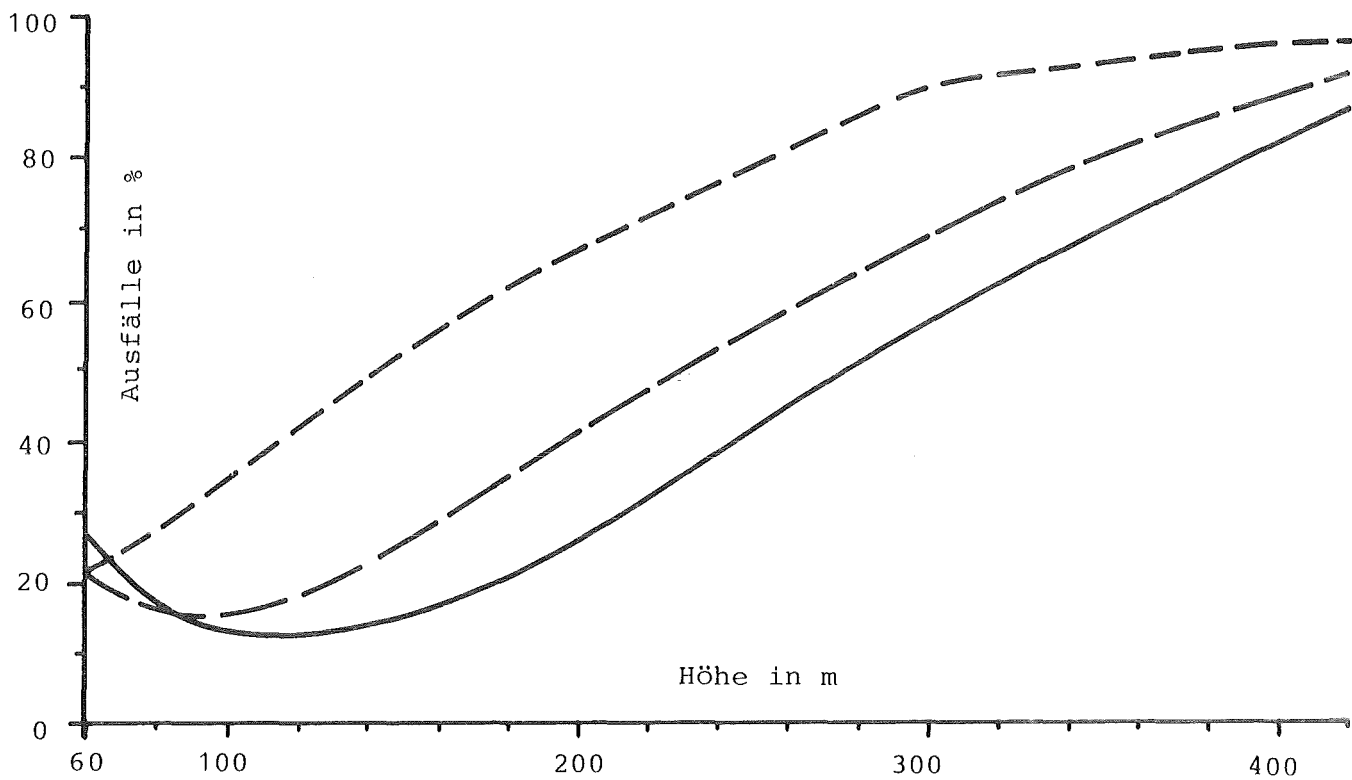


Abb. 8/8: Ausfälle der Standardabweichung  $\sigma_\theta$  in Abhängigkeit des Niederschlags  $N$