

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM**

**KARLSRUHE**

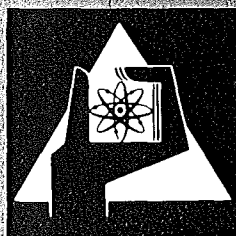
August 1976

KFK 2347

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

**Das meteorologische Meßsystem des  
Kernforschungszentrums Karlsruhe**

H. Dilger



**GESELLSCHAFT  
FÜR  
KERNFORSCHUNG M.B.H.**

**KARLSRUHE**

Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.  
KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

KFK 2347

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

Das meteorologische Meßsystem des Kernforschungszentrums  
Karlsruhe

H. Dilger

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe



## Zusammenfassung

In diesem Bericht wird das meteorologische Meßsystem des Kernforschungszentrums Karlsruhe beschrieben. Dieses Meßsystem dient hauptsächlich zur Erfassung der für die Ausbreitung von Abluftfahnen relevanten Parameter. Es umfaßt insgesamt 47 Geräte zur Messung der Windgeschwindigkeit, der Windrichtung, des Windvektors, der Temperatur, des Taupunkts, der Sonnen- und Wärmestrahlung, des Niederschlags und des Luftdrucks, die überwiegend am 200 m hohen Meßmast montiert sind.

Es wird über die Meßverfahren, die Meßgenauigkeit sowie die Betriebserfahrungen von einigen Jahren berichtet.

## Summary

The Meteorological Measurement System of the Karlsruhe Nuclear Research Center

This report describes the meteorological measurement system of the Karlsruhe Nuclear Research Center. It mainly serves to record the parameters which are important for the diffusion of offgas plume. The system includes 47 instruments in total which are used to measure the wind velocity, the wind direction, the wind vector, the temperature, the dew point, the solar and heat radiation, the precipitations and the atmospheric pressure, most of them mounted at the 200 m high meteorological tower.

Details are given about the measurement techniques, the measurement accuracy and operating experience gathered during several years.

## Inhaltsverzeichnis

|                                      | Seite |
|--------------------------------------|-------|
| 1. Einleitung                        | 1     |
| 2. Beschreibung der einzelnen Geber  | 1     |
| 2.1. Horizontale Windgeschwindigkeit | 1     |
| 2.2. Horizontale Windrichtung        | 3     |
| 2.3. Windvektor                      | 4     |
| 2.4. Temperatur                      | 5     |
| 2.5. Taupunkt                        | 5     |
| 2.6. Strahlung                       | 6     |
| 2.7. Niederschlag                    | 7     |
| 2.8. Luftdruck                       | 7     |
| 3. Zusammenfassung                   | 7     |
| Literatur                            | 8     |
| Tabelle                              |       |
| Abbildungen                          |       |

## 1. Einleitung

Das meteorologische Meßsystem am Kernforschungszentrum Karlsruhe dient zur Erfassung der für die Ausbreitung von Abluftfahnen relevanten Parameter. Seit 1965 werden die Temperatur, die spezifische Feuchte, der Luftdruck, der Niederschlag und die Globalstrahlung in Bodennähe registriert. Ab 1967 werden die Windrichtung und Windgeschwindigkeit am 200 m hohen Meßmast in zwei Höhen, später in sechs bzw. zehn Höhen analog erfaßt. In einer weiteren Ausbaustufe wurde die Datenerfassung /1/ 1971 automatisiert und Messungen des Temperatur- (seit 1972) bzw. Taupunktsprofils (seit 1973) aufgenommen.

Seit 1973 liegen Messungen des Windvektors in zwei Höhen vor.

In diesem Bericht wird das Meßsystem, die Meßverfahren und die Meßgenauigkeit der einzelnen Geber beschrieben sowie die Betriebserfahrungen von mehreren Jahren zusammengefaßt.

## 2. Beschreibung der einzelnen Geber

Die Ausrüstung des 200 m -Mastes mit Meßwertgebern und die Instrumente auf der nahegelegenen Wiese bzw. in der Meßwarte sind aus Abb. 1 ersichtlich und in Tab. 1 aufgeführt. Die Analog- oder Digitalsignale von den Meßwertgebern werden im Prozeßrechner /1/ erfaßt und 10-min-Mittelwerte gebildet. Die Weiterverarbeitung und Speicherung der Daten ist in /2/ beschrieben. Außerdem liegen statistische Auswertungen über zwei Jahre vor /3/.

### 2.1 Horizontale Windgeschwindigkeit

In den Meßhöhen 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 130, 160 m ist an 4 m langen Auslegern in west- und östlicher Richtung je ein Schalensternanemometer montiert. Die Doppelbestückung ist notwendig, weil der Masteinfluß nicht vernachlässigbar ist. Durch den Prozeßrechner wird jeweils derjenige Geber ausgewählt, der im Luv postiert ist.

In Tab. 2 ist der Unterschied zwischen Luv und Lee bei 7 bis 8 m/s Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Windrichtung aufgeführt.

| Windrichtungssektor  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0  | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 |
| 9  | 19 | 29 | 39 | 49 | 59 | 69 | 79 | 89 | 99 | 109 | 119 | 129 | 139 | 149 | 159 | 169 | 179 |
| $\Delta(E-W)$  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |
| [m/s] -0,2 -0,2 -0,3 -0,4 -0,4 -0,4 -0,2 -0,2 +0,4 +0,4 0,2 0,0 -0,2 -0,2 -0,2 -0,2 -0,2 0,0 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |

Tab. 2: Differenz der an einem Ost- und Westausleger gemessenen Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Windrichtung im Intervall 7 bis 8 m/s.

Es treten sowohl Bereiche mit einer Erniedrigung als auch mit einer Erhöhung auf. Die Unterschiede betragen bis zu  $\pm 0,4$  m/s und nehmen mit der Geschwindigkeit zu. Auf der meteorologischen Wiese in 2 m Höhe und am Mastende in 200 m Höhe ist nur ein Instrument angebracht.

Zur Messung werden dreischalige Anemometer (Typ 114H, Fa. Rosenhagen, Abb. 2) verwendet. Die Geräte erzeugen photo-elektrisch 180 Impulse/Umdrehung. Durch die große Impulsrate ist es auch noch in der Nähe der Anlaufschwelle von etwa 0,4 m/s möglich, mit ausreichender Genauigkeit zu messen. Die Abhängigkeit der Impulsfrequenz  $I$  von der Geschwindigkeit  $u$  zeigt Abb. 3. Diese Eichkurve wurde von der Aerodynamischen Versuchsanstalt in Göttingen aufgenommen und dient als Standard für unsere Meßgeräte. Zur Berechnung der Geschwindigkeit aus der gemessenen Impulsfrequenz wurde die Kurve in Abb. 3 im Prozeßrechner durch ein Polynom 3. Grades approximiert. Damit bleiben die systematischen Rechenfehler für  $u \leq 35$  m/s unterhalb 0,1 m/s. Die Eichkurven der verschiedenen Anemometer unterscheiden sich geringfügig. Vergleichsmessungen im Windkanal des Instituts für Strömungslehre und Strömungsmaschinen der Universität Karlsruhe ergaben Abweichungen von der Standard Eichkurve bei 1,5 um  $\pm 0,16$  m/s; bei 10 um  $\pm 0,14$  m/s, bei 20 um  $\pm 0,18$  m/s und bei 30 um  $\pm 0,27$  m/s. Diese individuellen Abweichungen der Anemometer werden für meteorologische Routinemessungen als tolerierbar angesehen. Deshalb werden für alle Meßhöhen einheitlich das an die Eichkurve approximierete Polynom 3. Grades verwendet. Dadurch wird der Tausch von Meßgeräten vereinfacht.



Der oben erwähnte Windkanal arbeitet erst bei  $u \geq 1,5$  m/s zuverlässig. Für den Schwachwindbereich wurde ein Testgerät entwickelt /4/, bei dem die I-u-Abhängigkeit der Anemometer verglichen wird mit derjenigen des Standardanemometers (vgl. Abb. 4). Bei konstantem Gasstrahl werden hintereinander die Impulsfrequenz des Standardanemometers, des Testanemometers und wieder des Standardanemometers gemessen. Auf diese Weise ist es möglich,  $u$  auf 0,05 m/s genau zu bestimmen.

Im Anlaufbereich bis 0,8 m/s ergab sich eine relativ starke Abhängigkeit des Bewegungsverhaltens von der Art und der Menge des Kugellageröls. Durch die Routineprüfung mit dem Testgerät nach dem Einbau neuer Lager können Geräte mit zu großer Lagerreibung aussortiert werden. Diese Geräte werden nochmals in der Werkstatt überprüft. Das Anlaufverhalten der Anemometer wird dann als ausreichend angesehen, wenn für  $u \leq 1,5$  m/s die Abweichung vom Standardgerät  $\leq 0,1$  m/s ist. Die gesamte Meßgenauigkeit ergibt sich aus Tab. 1.

Während eines 10-Minutenabschnitts werden im Rechner alle 4 s die höchste und niedrigste Windgeschwindigkeit sowie die Zahl der Windstillen ( $u < 0,4$  m/s) festgehalten.

Die Anemometer bedürfen keiner routinemäßigen Wartung. Die häufigste Ausfallursache ist zu große Lagerreibung durch Staubanfall. Dieser Fehler wird durch regelmäßige Kontrolle des Windprofils vorallem im Schwachwindbereich erkannt. Vereinzelt Ausfälle waren durch Defekte im Impulsformer und Verstärker bedingt. Bei Schwachwinden, bei denen sich das Anemometer noch drehte, gab es keine Impulse mehr ab. In Zusammenarbeit mit der Abteilung Datenverarbeitung und Instrumentierung wurde eine neue elektronische Einheit entworfen, die bei der geringsten Bewegung Impulse erzeugt.

## 2.2 Horizontale Windrichtung

Die horizontale Windrichtung wird in 40 m, 60 m, 80 m, 100 m 160 m und 200 m mit Schwertwindfahnen (Typ 1466H, Fa. Lambrecht, Abb. 5) an 4 m langen Auslegern auf der Westseite gemessen. Dabei wird eine dem Richtungswinkel pro-

portionale Gleichspannung von 0 bis 10 V abgegeben. Die Windrichtung läßt sich, unter Berücksichtigung des Fehlers bei der Richtungsjustierung, auf  $\pm 3^\circ$  genau bestimmen; die geringste erfaßbare Richtungsdivergenz beträgt  $1^\circ$ . Aus den alle 4 s im Rechner gemessenen Richtungswinkeln wird die mittlere Richtung und die mittlere quadratische Streuung  $\sigma$  über jeweils 10 min berechnet.

Die Schwertwindfahnen sind sehr robust und bedürfen keiner Wartung. Im gesamten Meßzeitraum über mehrere Jahre fielen nur einige Geräte durch Blitzschlag oder Hagel aus. Etwa alle drei Jahre wird die Richtungsjustierung überprüft.

### 2.3 Windvektor

Zur Messung des Windvektors in 40 m und 100 m Höhe werden Vektorfahnen (Typ 1053 III, Fa. Meteorology Research, Inc., Abb. 7) verwendet, die dem Inklinationswinkel, dem Azimutwinkel und dem Betrag des Windvektors proportionale Analogsignale von 0 bis 5 V abgeben. Die Meßprinzipien sind dabei dieselben, wie bei dem weiter oben beschriebenen Schalensternanemometer und der Schwertwindfahne. Die Meß- und Justiergenauigkeit beträgt beim Azimutwinkel  $\pm 3^\circ$ , beim Inklinationswinkel  $\pm 2^\circ$ . Bei der Windgeschwindigkeit hängt die Genauigkeit weitgehend von der Lagerreibung ab. Die Lager werden getauscht, wenn die mit der Vektorfahne gemessene Geschwindigkeit bei stabiler Schichtung um 10 % kleiner als die mit dem Schalensternanemometer in der entsprechenden Höhe ist. Die Auflösung der einzelnen Meßgrößen ist in Tab. 1 angegeben. Eine elektronische Schaltung erzeugt der mittleren quadratischen Abweichung des Inklinations- und Azimutwinkels proportionale Analogsignale (Sigmameter). Dabei werden Fluktuationen mit Frequenzen  $\nu \geq 1/180$  Hz erfaßt.

Die Vektorfahnen sind störungsanfälliger als die vorgenannten Geräte. Es traten folgende Ausfallursachen auf. Schwanz- und Propeller abgebrochen; Kugellager schwergängig; Potentiometer, Photozelle defekt; bei Schneefall, Reifbesatz oder Regen mit wenig Wind hängt der Schwanz der Fahne nach unten. Bei der Berechnung des Sigmaxwertes der horizontalen Windrichtungsfluktuationen treten Fehler auf, wenn die Fahne eine Drehung  $> 540^\circ$  macht, da beim Überstreichen des Potentiometerspaltes ein Richtungssprung von  $360^\circ$  vorgetäuscht wird. Um diesen Fehler zu eliminieren, wurde zusammen mit der Abteilung Datenverarbeitung und Instrumentierung ein elektronisches Zusatzgerät entwickelt.

## 2.4 Temperatur

Die Temperatur wird in 2 m, 30 m, 60 m, 100 m, 130 m, 160 m und 200 m Höhe mit belüfteten Widerstandsthermometern (Abb. 7) an 2 m langen Auslegern in östlicher Richtung gemessen. Im Meßkopf sind ein Doppel-Pt 100-Element und zwei Präzisionswiderstände von  $100 \Omega$  zu einer Brücke geschaltet. Um den Fühler sind konzentrisch zwei Strahlungsschutzrohre aus rostfreiem Stahl angebracht. Die Brücke wird mit Konstantstrom von  $2,540\text{mA}$  gespeist und liefert bei hochohmiger Messung eine von den Zuleitungen und Kontaktwiderständen unabhängige Spannung. Bei dem gewählten Konstantstrom entspricht die Spannung in mV etwa der halben Temperatur in  $^{\circ}\text{C}$ .

Jeder Fühler wird in einem bewegten Wasserbad geeicht. Ein systematischer Fehler entsteht durch die Eigenerwärmung beim Durchfluß des Konstantstromes. Dieser Fehler ist aber  $\leq 0,01 \text{ K}$ . Insgesamt beträgt die Meßunsicherheit  $\pm 0,03 \text{ K}$ . Somit ist es möglich, den Temperaturgradienten zwischen benachbarten Meßhöhen auf  $\pm 0,1 \text{ K}$  genau zu bestimmen.

Fehlmessungen treten bei Ausfall des Lüftermotors auf.

Einmal im Jahr wird der Lüftermotor getauscht und werden die Strahlungsschutzrohre gesäubert. Falls diese nicht aus korrosionsfreiem Material gefertigt sind, müssen sie nach einigen Monaten gewechselt werden.

## 2.5 Taupunkt

Der Taupunkt wird in 2 m, 30 m, 100 m und 200 m Höhe mit einem LiCl-Gerät gemessen (Model E712, Fa. Sprenger, Abb. 8). Durch ein elektronisch gesteuertes Heizungssystem wird in einer Meßkammer die Temperatur in Abhängigkeit von der Luftfeuchte so eingeregelt, daß das Zweistoffsystem  $\text{LiCl-H}_2\text{O}$  auf der von Druck und Temperatur abhängigen Umwandlungskurve fest-flüssig gehalten wird. Diese Umwandlungskurve verläuft in einem  $\log p-1/T$ -Diagramm nahezu parallel zur Sättigungsdampfdruckkurve von  $\text{H}_2\text{O}$ , vgl. Abb. 9. Durch Messen der Umwandlungstemperatur (Kammertemperatur) kann somit der Sättigungsdampfdruck und damit der Taupunkt bestimmt werden. Die Kammertemperatur wird mit einem Doppel-Pt100-Element (Genauigkeit 1/3 DIN), das mit zwei Normalwiderständen von  $113,80 \Omega$  zu einer Brücke geschaltet ist, gemessen (vgl. Abschnitt 2.4). Der Taupunkt

wird mit einer Auflösung von 0,1 K auf  $\pm 0,4$ K genau bestimmt.

Die Meßwerte des Geräts müssen täglich überprüft und nach Bedarf Kontrollmessungen mit einem Aspirationspsychrometer durchgeführt werden. Fehlmessungen traten durch Kontaktprobleme bei der Widerstandsmessung der LiCl-H<sub>2</sub>O-Lösung, bei Ausfall des Lüftermotors und durch Eindringen von Feuchtigkeit bei starkem Regen auf. Nach etwa vier Wochen muß die LiCl-Lösung erneuert werden, weil sie durch Luftbeimengungen verunreinigt oder zersetzt ist.

## 2.6 Strahlung

Die Strahlungsmessung erfolgt mit einem Doppel-Pyrano-Pyrradiometer (Typ PD des Physikalisch-Meteorologischen Observatoriums Davos, Abb. 10) in 1,5 m Höhe über der Meßwiese. Mit diesem Gerät ist es möglich, die kurzwellige Strahlung im sichtbaren und nahen infraroten Bereich  $0,28 < \lambda < 2,9 \mu\text{m}$  und die kurz- und langwellige Strahlung im Bereich  $0,30 < \lambda < 50 \mu\text{m}$  im oberen und unteren Halbraum getrennt zu messen. Das Pyranometer ist mit zwei Halbkugeln aus Filterglas abgedeckt, das Pyrradiometer mit einer Polyäthylenhaube. Die Thermosäulen in den Teilgeräten haben eine Empfindlichkeit von etwa 300 mV je  $\text{W}/\text{cm}^2$  einfallender Strahlung. Um die langwellige Teilstrahlung angeben zu können, wird in den Gebirgen, die diesen Bereich erfassen, die Körpertemperatur mit zwei Pt 100-Fühlern gemessen. Damit kann die langwellige Eigenstrahlung des Meßinstruments bei der Auswertung berücksichtigt werden. Mit den Geräten wird eine Auflösung von  $0,07 \text{ mcal}/\text{cm}^2$  erreicht; die Meßgenauigkeit beträgt  $\pm 5\%$ .

Falschmessungen treten beim Pyrradiometer auf, wenn sich Schnee, Reif, Tau oder Regen auf der Polyäthylenhaube abgesetzt haben. Das Pyranometer mißt falsch, wenn sich Schnee und Reif auf der Glashalbkugel festgesetzt haben.

Etwa alle 6 Monate wird die Polyäthylenhaube ausgetauscht. Tägliche Überprüfung der Oberflächenbeschaffenheit der Glashalbkugeln und Säubern von Staub bzw. Vogelkot ist notwendig.

## 2.7 Niederschlag

Die Niederschlagsmenge wird mit einem Gerät von 200 cm<sup>2</sup> Öffnungsfläche in 1,1 m Höhe über der Meßwiese gemessen, s. Abb. 11. Der Wasserstandsanzeiger ist mit einem Schleifpotentiometer gekoppelt. Dieses wird von einem Konstantstrom durchflossen und gibt je nach Wasserstand einige hundert mV ab. Die Meßgenauigkeit beträgt  $\pm 1\%$ . Die kleinste registrierbare Niederschlagsmenge ist 0,02 mm. Im Prozeßrechner wird aus der Differenz des Wasserstandes nach jeweils 10 min, die in diesem Zeitraum gefallene Niederschlagsmenge berechnet. Ausfallzeiten ergaben sich bei verklemmten Schwimmer, verstopften Zuflußleitungen. Das Auffanggerät muß täglich auf Verschmutzung überprüft werden.

## 2.8 Luftdruck

Der Luftdruck wird mit einem Dosenbarometer in der Meßwarte gemessen. Höhenänderungen der übereinandergelagerten Dosen werden über ein Hebelsystem auf den Schleifer eines Potentiometers übertragen. Dieses wird von einem Konstantstrom durchflossen und gibt einige hundert mV Spannung ab.

Die Meßgenauigkeit beträgt bei einer Auflösung von 0,1 mbar  $\pm 0,5$  mbar.

Fehlmessungen ergaben sich durch Reibung des Potentiometerschleifers.

Eine Wartung ist nicht notwendig.

## 3. Zusammenfassung

In Tabelle 1 sind die Meßhöhen, Meßgrößen, Gerätetypen, Meßprinzipien, Genauigkeit G, Auflösung A, Ausfallzeiten, Ausfallursachen, das durchschnittliche Wartungsintervall und das Abfrageintervall im Rechner aufgeführt. Die Ausfallzeiten der einzelnen Geber gelten nur für die Zeiträume, in denen die gesamte Datenerfassungsanlage in Betrieb war. Sie enthalten aber nicht nur die Ausfallzeiten der Meßgeräte selbst, sondern auch diejenigen Zeiten, in denen Teilbereiche der Datenerfassung (z.B. Digitalvoltmeter) ausgefallen waren. Die gesamten meteorologischen Daten werden täglich auf einem Datensichtgerät

kontrolliert, so daß Fehlmessungen rasch erkannt und die Ursachen dafür behoben werden können. Die Ausfallzeiten aller Gerätetypen mit Ausnahme von Vektorfahnen und Taupunktfühler konnten im Mittel über die letzten zwei Jahre unter 3,1 % gehalten werden. Diese Ausfallzeiten können nur noch unwesentlich verbessert werden. Bei den Vektorfahnen und Taupunktfühlern wird eine Ausfallrate  $\leq 10$  % angestrebt.

### Literatur

- /1/ Süß, F., Thomas, P.: On-line Datenerfassung und Datenaufbereitung in einer Kopplung meteorologischer Turm - PDP-8/I - CALAS-System, KFK 1934, April 1974
- /2/ Nagel, D., Thomas P.: Aufbereitung der meteorologischen Daten und Beschreibung der Datenträger, KFK 1948, April 1974
- /3/ Dilger, H., Nester, K., Vogt, S.: Statistische Auswertungen des Wind-, Temperatur- und Feuchteprofils sowie der Strahlung und der Windrichtungsfluktuationen am Kernforschungszentrum Karlsruhe, KFK 2164, Juli 1975
- /4/ Dilger, H., Thomas, P.: Cup Anemometer Testing Device for Low Wind Speeds, J. of Appl. Meteorology, 14 (1975) S. 414-415

| Meßgröße, Meßhöhe  | Gerätetyp, Meßprinzip   | Genauigkeit G, Auflösung A   | Ausfallzeiten<br>in %                  | Ausfallursachen  | Wartungs-<br>intervall | Abfrage-<br>intervall<br>im Rechner |
|--|---|--|--|--|------------------------|-------------------------------------|
| Horizontale Windgeschwindigkeit in 2, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 130, 160, 200 m                         | Schalensternanemometer, Photoelektrische Impulserzeugung, 180 Impulse je Umdrehung  | G: $u < 1,5: \pm 0,16$<br>$u = 1,5: \pm 0,21$<br>$u = 10: \pm 0,14$<br>$u = 20: \pm 0,24$<br>$u = 30: \pm 0,28$<br>A: 0,1 m/s  | 1973: 2,2<br>1974: 2,4<br>1975: 0,6    | Kugellagerreibung zu groß  | 1 1/2 a                | 4 s                                 |
| Horizontale Windrichtung in 40, 60, 80, 100, 160, 200 m  | Schwertwindfahne, Spannungsabgriff an Potentiometer   | G: $\pm 3^0$<br>A: $1^0$   | 1973: 7,1<br>1974: 1,7<br>1975: 0,1    | Hagel oder Blitzschäden  | 3 a                    | 4 s                                 |
| Windvektor und mittlere quadratische Streuung der horizontalen und vertikalen Windrichtung in 40 und 100 m | Vektorfahnen<br>$\theta, \phi$ : Spannungsabgriff an Potentiometer<br>$ \vec{v} $ : Photoelektrische Impulserzeugung<br>$\sigma_\theta, \sigma_\phi$ : Elektronische Berechnung für $v \geq 1/180$ Hz | G: $\theta: \pm 3^0$<br>$\phi: \pm 2^0$<br>$ \vec{v} : \pm 1\%$<br>$\sigma_\theta, \sigma_\phi: \pm 2\%$<br>$\theta: 1^0$<br>$\phi: 0,1^0$<br>A: $ \vec{v} : 0,1$ m/s<br>$\sigma_\theta, \sigma_\phi: 0,1^0$ | 1973: 28,0<br>1974: 16,5<br>1975: 16,2 | Propeller, Schwanz abgebrochen, Potentiometer, Photozelle defekt, Kugellagerreibung zu groß, bei Reifensatz oder Niederschlag bei geringem Wind hängt der Schwanz der Fahne nach unten | 1/4 a                  | 4 s                                 |
| Temperatur in 2, 30, 60, 100, 130, 160, 200 m  | Widerstandsthermometer, Doppel-Pt-100 in Brückenschaltung mit Normalwiderständen  | G: $\pm 0,03$ K<br>A: 0,01 K   | 1973: 9,4<br>1974: 1,6<br>1975: 1,4    | Lüftermotor defekt, Verschmutzung der Strahlungsschutzrohre  | 1 a                    | 20 s                                |
| Taupunkt in 2, 30, 100, 200 m  | LiCl-Gerät, Messung der Gleichgewichtskammertemperatur mit Pt-100 Fühlern   | G: $\pm 0,4$ K<br>A: $\pm 0,1$ K   | 1973: 21,7<br>1974: 12,1<br>1975: 12,6 | Schlechter Kontakt der Widerstandsmeßstrecke, Lüftermotor defekt, Eindringen von Feuchtigkeit bei starkem Regen  | 1 mon                  | 20 s                                |
| Strahlung in 1,5 m   | Pyrano-Pyrradiometer<br>Thermospannung<br>Meßbereiche:<br>$0,28 < \lambda < 2,9$ $\mu\text{m}$<br>$0,30 < \lambda < 50$ $\mu\text{m}$<br>im oberen und unteren Halbraum getrennt                      | G: $\pm 5\%$<br>A: $0,07$ mW/cm <sup>2</sup>   | 1973: 2,6<br>1974: 2,3<br>1975: 2,0    | Absetzen von Schnee, Reif, Tau oder Regentropfen beim Pyrradiometer, Absetzen von Schnee und Reif beim Pyranometer   | 1/2 a                  | 20 s                                |
| Niederschlag in 1,1 m  | Niederschlagsmesser<br>200 cm <sup>2</sup> Auffangfläche, Spannungsabgriff an Potentiometer   | G: $\pm 1\%$<br>A: $\pm 0,02$ mm   | 1973: 28,5<br>1974: 0,5<br>1975: 2,5   | Verschmutzung, Potentiometer defekt  | im Sommer wöchentlich  | 10 min                              |
| Luftdruck in 0 m   | Dosenbarometer, Spannungsabgriff an Potentiometer   | G: $\pm 0,5$ mbar<br>A: 0,1 mbar   | 1973: 11,5<br>1974: 0,9<br>1975: 5,3   | Potentiometerreibung zu groß   | keine                  | 10 min                              |

Tab. 1: Eigenschaften des meteorologischen Meßsystems

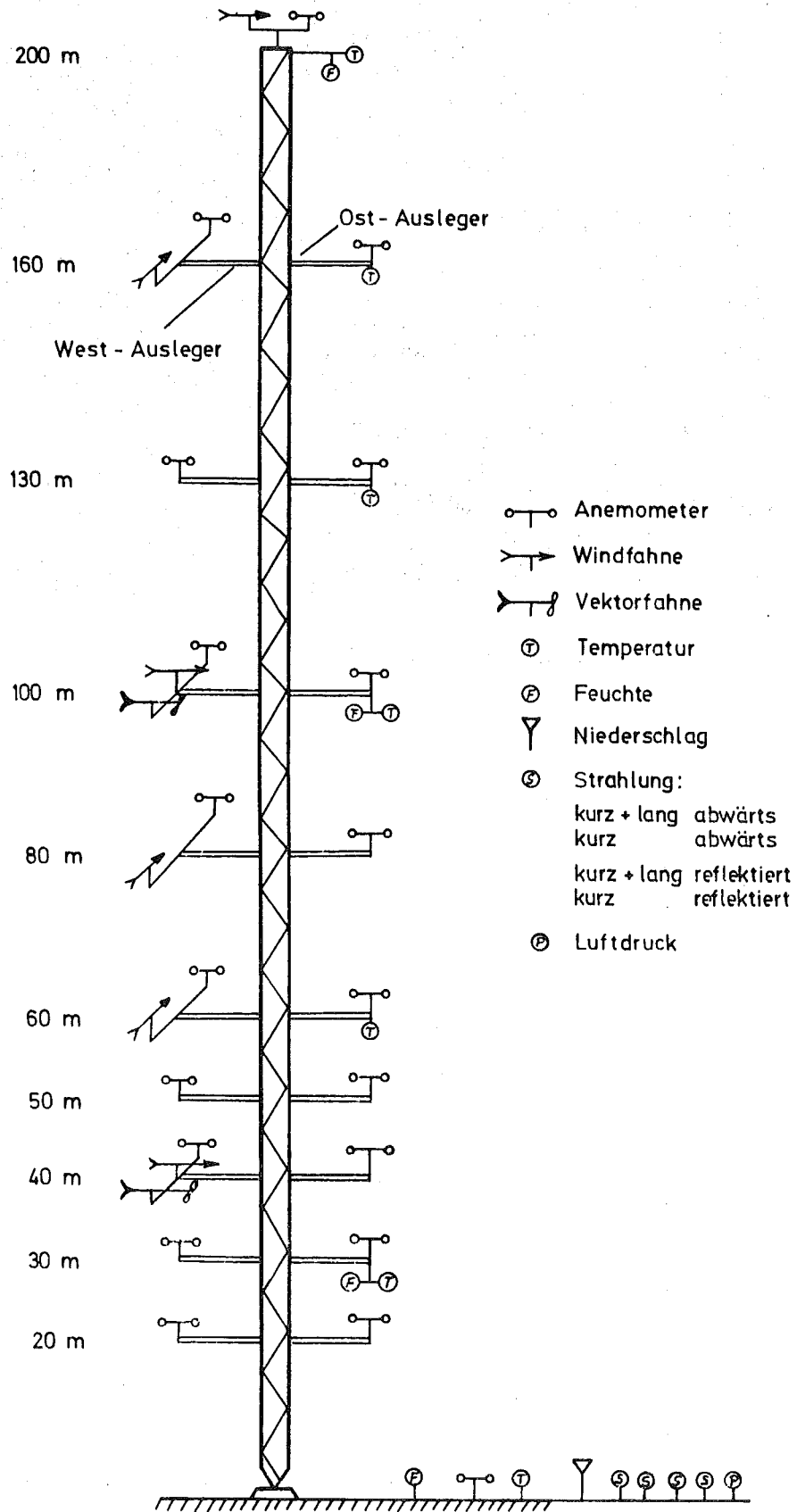


ABB. 1 Instrumentierung des Meßmastes



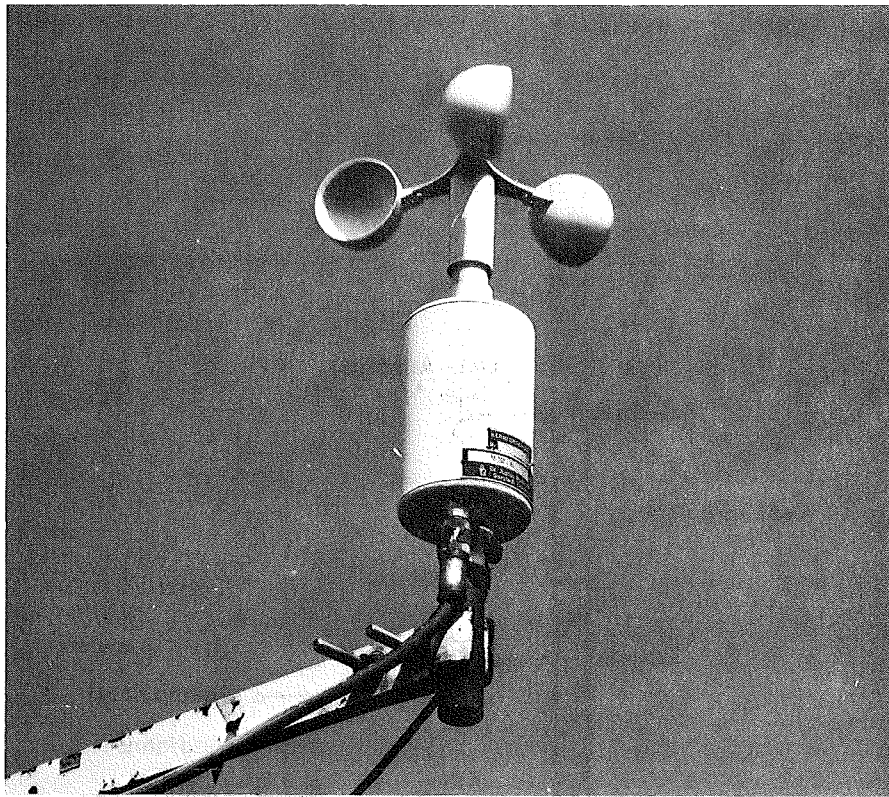


ABB. 2 SCHALENSTERNANEMOMETER

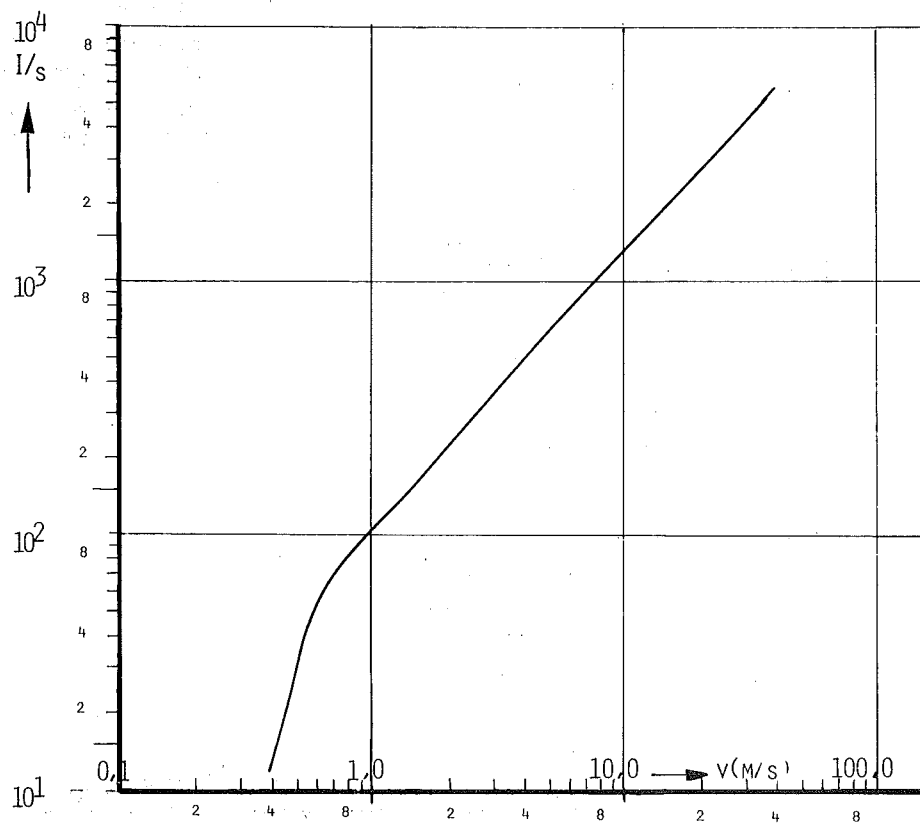


ABB. 3 ABHÄNGIGKEIT DER IMPULSFREQUENZ DES SCHALENSTERNANEMOMETERS VON DER MITTLEREN ANBLASGESCHWINDIGKEIT

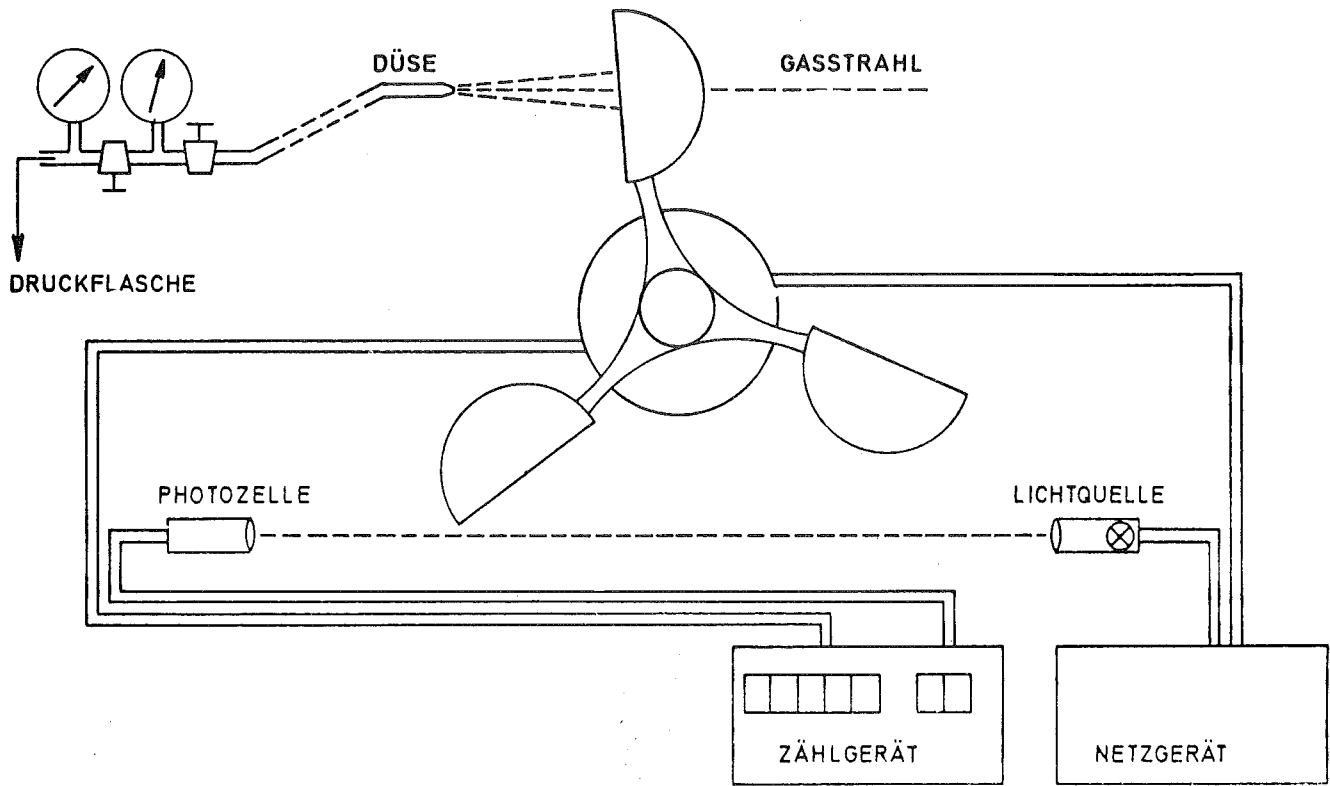


ABB. 4 SCHEMA DER TESTANORDNUNG

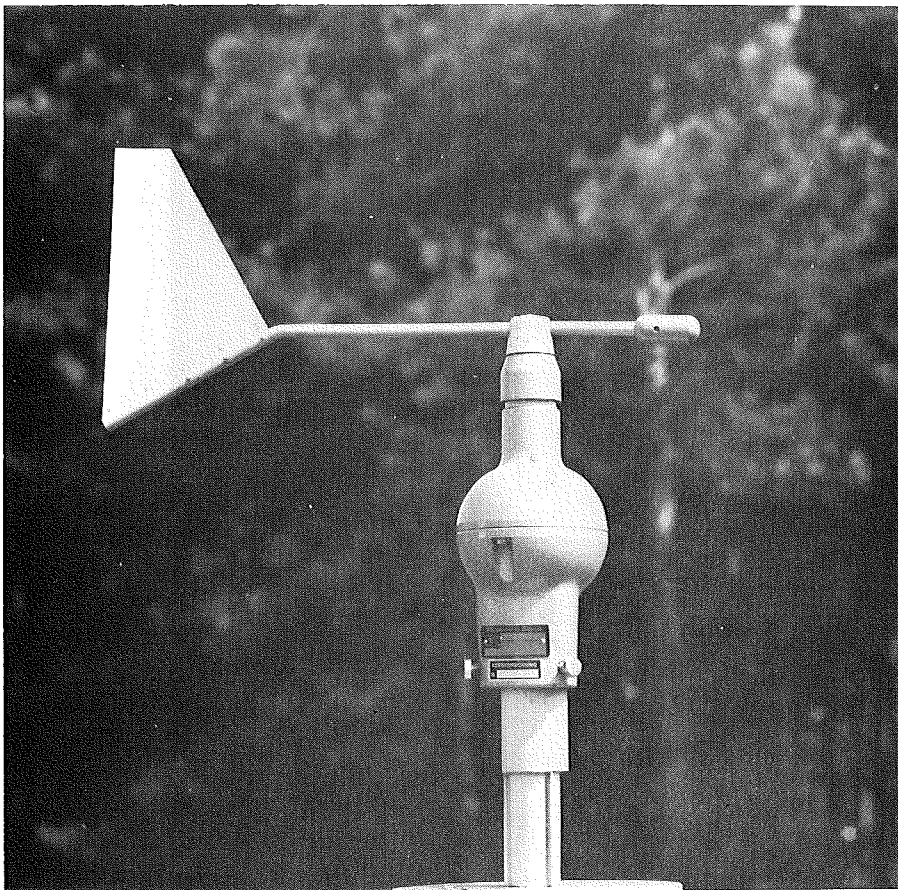


ABB. 5 SCHWERTWINDFAHNE

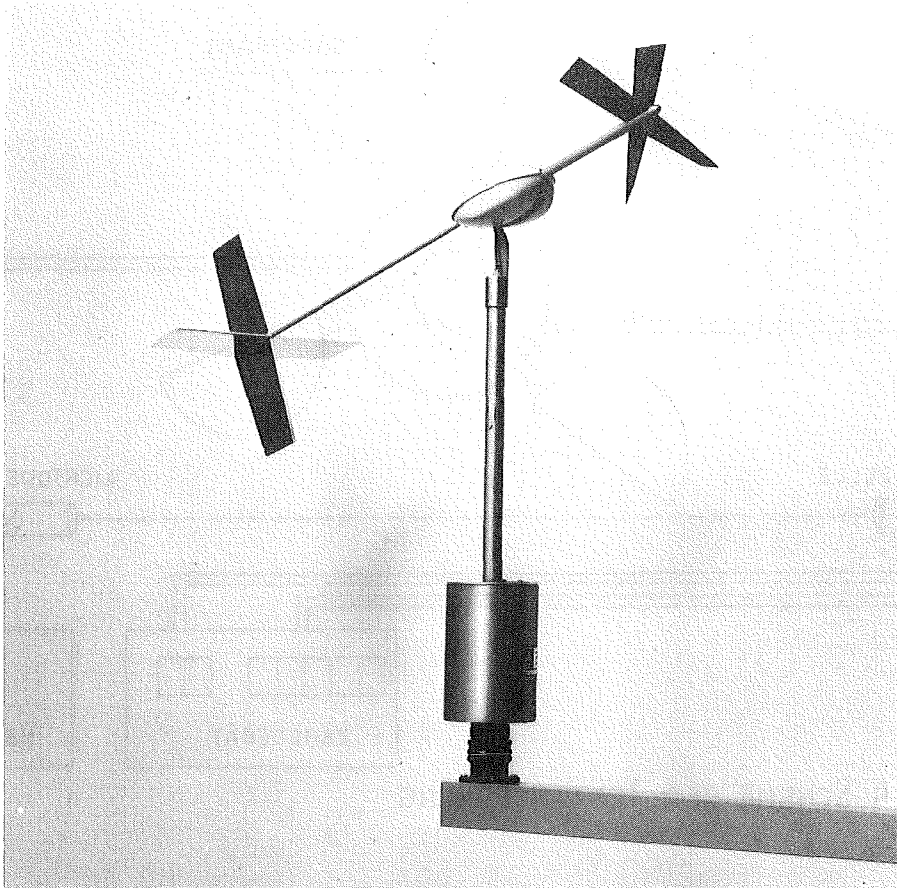


ABB. 6 VEKTORFAHNE

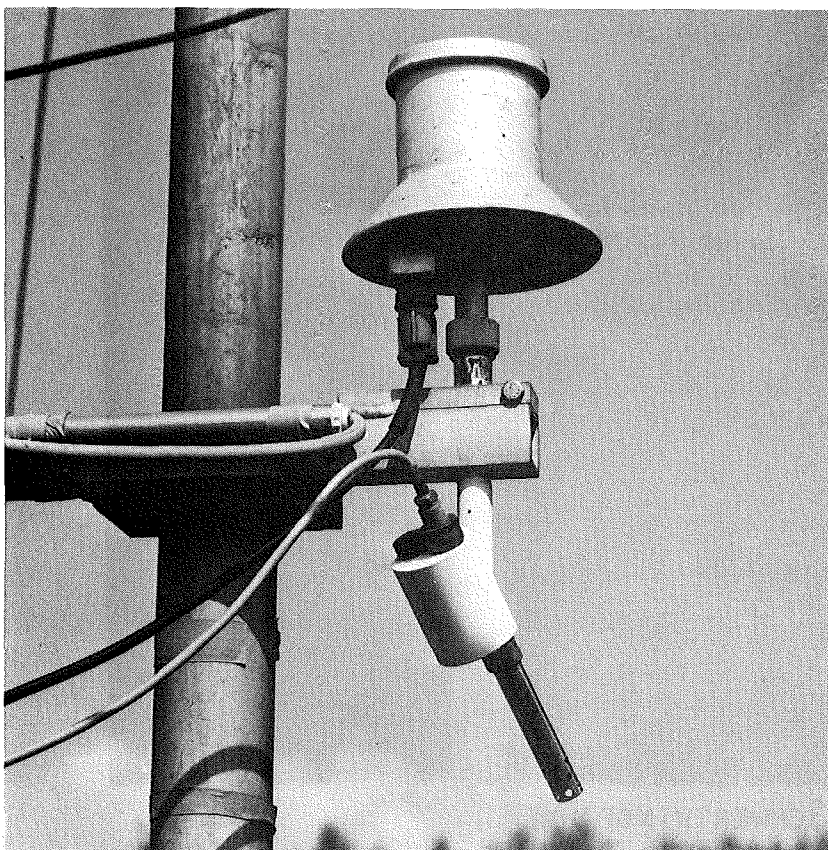


ABB. 7 BELÜFTETES WIDERSTANDSTHERMOMETER

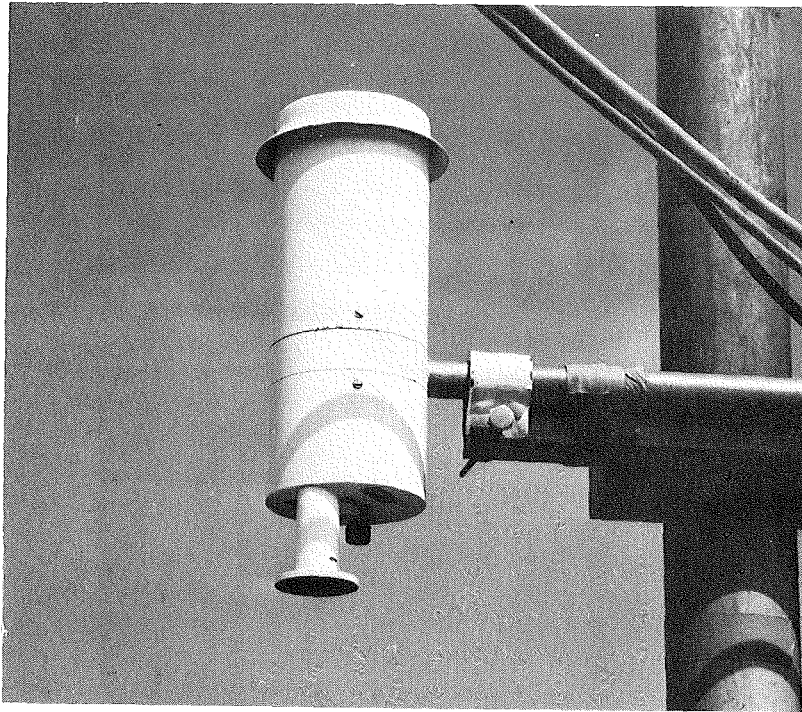


ABB. 8 TAUPUNKTMESSGERÄT

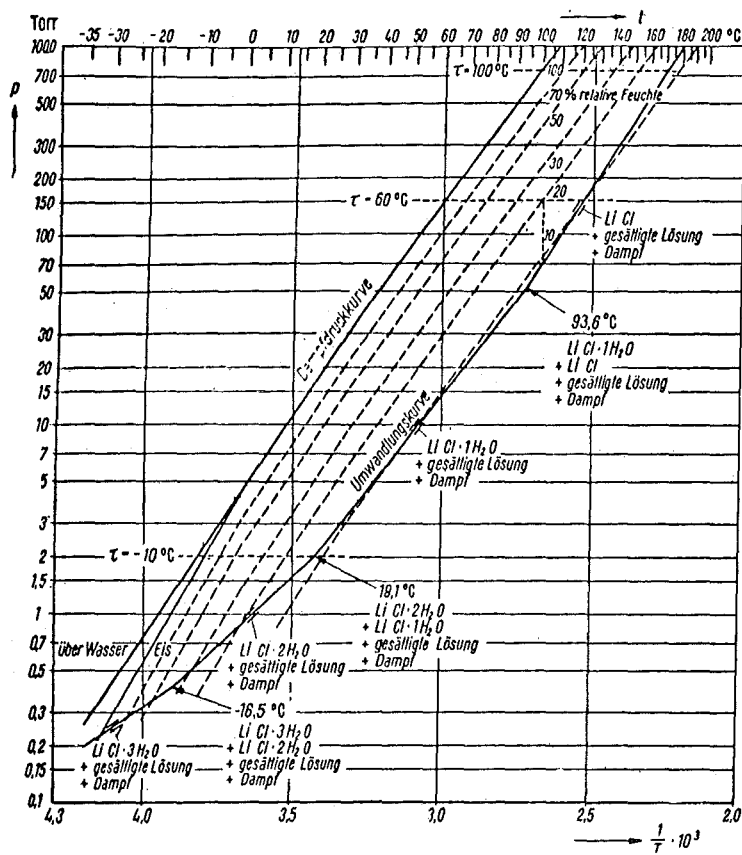


ABB. 9 DAMPFDRUCK-UMWANDLUNGSKURVE DES LITHIUMCHLORIDS

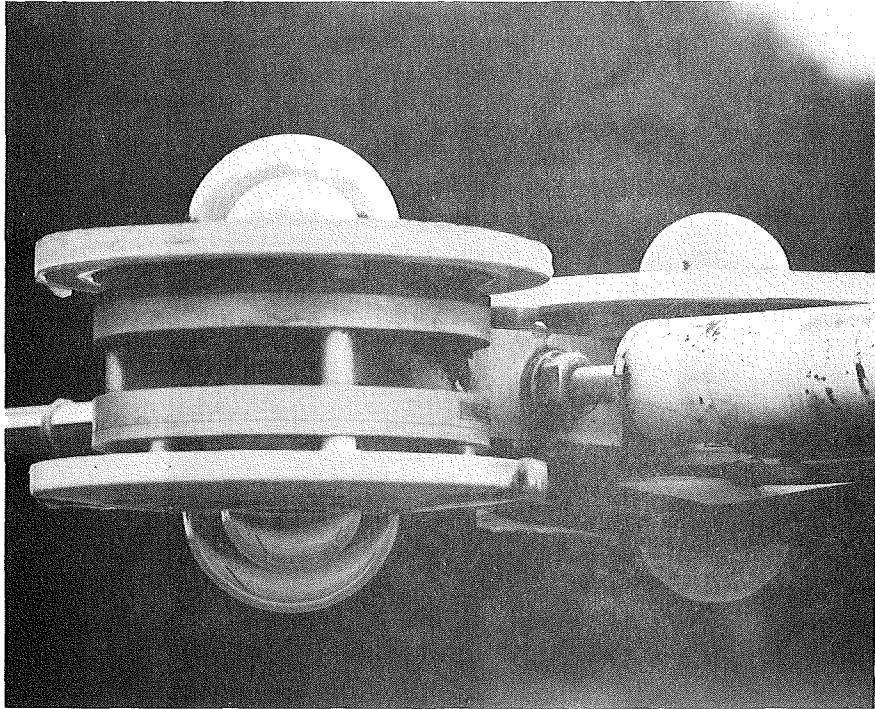


ABB. 10 DOPPELPIRANO-DOPPELPIRRADIOMETER



ABB. 11 REGENMESSGERÄT