

LEITFÄDEN FÜR DIE AUSBILDUNG
IM DEUTSCHEN WETTERDIENST

NR. 6

Instrumentenkunde

Offenbach am Main 1969
Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes

IS 25

LEITFADEN FÜR DIE AUSBILDUNG
IM DEUTSCHEN WETTERDIENST

NR. 6

551,508

69/5171

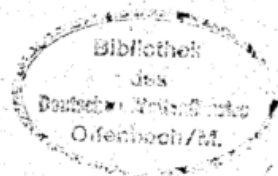
1/10

Instrumentenkunde

Offenbach am Main 1969

Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes

IS 25



69. 3486

Inhalt

	Seite
Vorwort	5
1. Die Messung des Luftdrucks	5
1.1. Allgemeine Hinweise	5
1.2. Das Stationsbarometer	5
1.3. Das Dosenbarometer (Aneroidbarometer)	7
1.4. Der Barograph	8
1.5. Das Siedebarometer (Hypsometer)	9
2. Die Messung des Windes	9
2.1. Allgemeine Hinweise	9
2.2. Windfahne mit Stärketafel (nach WILD)	9
2.3. Universal-Windmesser 82a (FUESS)	9
2.4. Elektrischer Windschreiber mit Registrierung	10
2.5. Windmesser mit elektrischer Fernanzeige für Richtung und/oder Geschwindigkeit ohne Registrierungsmöglichkeit	12
2.6. Schalenhandanemometer	13
2.7. Kontaktanemometer	13
2.8. Selsyn-Windschreiber (Type IAM)	14
2.9. Mechanischer Windschreiber (nach WOELFLE)	15
3. Die Messung der Temperatur	15
3.1. Allgemeine Hinweise	15
3.2. Meßprinzipien und Einteilung der Thermometer	16
3.3. Flüssigkeitsthermometer	16
3.3.1. Quecksilberthermometer	16
3.3.2. Alkoholthermometer	17
3.3.3. Störungen an Flüssigkeitsthermometern und ihre Beseitigung	17
3.4. Deformationsthermometer	18
3.4.1. Bimetallthermometer	18
3.4.2. Bourdonrohr	18
3.4.3. Thermograph	18
3.5. Elektrische Thermometer	18
3.5.1. Widerstandsthermometer	18
3.5.2. Thermoelemente	20
3.6. Strahlungsthermometer (Infrarot-Thermometer)	20
4. Die Messung der Luftfeuchtigkeit	20
4.1. Psychrometer	20
4.2. Hygrometer	21
4.3. Hygrograph	22
4.4. Thermo-Hygrograph	23
5. Die Tetalux-Anlage	23
5.1. Allgemeine Hinweise	23
5.2. Temperaturmeßfühler	24
5.3. Taupunktmeßfühler mit Schutzhütte (Labyrinthhütte)	25
5.4. Reinigung des Taupunktmeßfühlers	25
5.5. Aufstellung der Meßfühler für fernelektrische Messungen	26
5.6. Tetalux-Anzeigegerät	26
5.7. Zubehör zur Tetaluxanlage	27
5.8. Combimet-Einrichtungen	27
6. Die Messung des Niederschlags	28
6.1. Allgemeine Hinweise	28
6.2. Niederschlagsmesser (nach HELLMANN)	28
6.3. Niederschlagsschreiber	29
6.4. Schneemeßgeräte	31
7. Die Messung der Sonnenscheindauer	31
7.1. Allgemeine Hinweise	31
7.2. Der Sonnenscheinautograph (nach CAMPBELL-STOKES)	31
8. Die Bestimmung der Sichtweite	33
8.1. Allgemeine Hinweise	33
8.2. Sichtschätzung	33
8.2.1. Meteorologische Sicht	33
8.2.2. Feuersicht (Nachtsicht)	34
8.2.3. Landebahnsicht (Runway Visual Range, kurz RVR)	34
8.3. Sichtmessung	34
8.3.1. Physikalische Grundlagen	34
8.3.2. Transmissometer	35
8.3.3. Streulichtmesser	35
8.3.4. Lampenzählgeräte	35
8.3.5. Kontrastsichtmeßgeräte	36
8.3.6. Vor- und Nachteile der Gerätetypen	36
8.3.7. Fehlerquellen der Sichtmeßgeräte	36
8.4. Messung der Landebahnsicht	37

	Seite
9. Die Messung der Wolkenuntergrenze	37
9.1. Allgemeine Hinweise	37
9.2. Pilotballon	37
9.3. Wolken Scheinwerfer mit Meßbasis	37
9.3.1. Glühlampenscheinwerfer für Nachtbeobachtung	37
9.3.2. Wolkenhöhenmeßgeräte für Tagbeobachtung (Ceilometer)	38
9.4. Laufzeitmeßgeräte	39
9.4.1. Optisches Laufzeitgerät	39
9.4.2. Hochfrequenz-Laufzeitgerät (Vertikalradar)	39
9.4.3. Laser-Wolkenhöhenmesser	39
9.5. Genauigkeit von Wolkenhöhenmessungen	40
10. Aerologische Messungen	40
10.1. Höhenwindmessung	40
10.1.1. Pilotballonmethode	40
10.1.2. Radarwindmessung	41
10.1.3. Radio-Theodolitmethode	41
10.2. Radiosonde M 60	42
10.3. Vorschriften über die Behandlung von Wasserstoffgasflaschen (beim Füllen von Ballonen)	43
11. Das Wetterradargerät	44
11.1. Allgemeine Hinweise	44
11.2. Prinzip der Arbeitsweise eines Radargerätes	44
11.3. Die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in der Atmosphäre	44
11.4. Besondere Echoformen	46
11.5. Wellenlängen bzw. Frequenzbänder von Wetterradargeräten	47
11.6. Minimalentfernung, Entfernungs- und Winkelauflösevermögen, Meßgenauigkeit	47
11.7. Darstellung der Meßergebnisse	47
12. Die Messung der Radioaktivität der Luft und des Niederschlags	49
12.1. Künstliche und natürliche Aktivität	49
12.2. Meßgeräte zur Überwachung der Beta-Aktivität in der Luft	49
12.3. Meßgerät zur Überwachung der Alpha-Aktivität in der Luft	51
12.4. Die Messung der Dosisleistung	51
12.5. Die Aktivitätsmessung der Niederschläge	52
13. Die Messung der Strahlung	52
13.1. Allgemeine Hinweise	52
13.2. Strahlungsmeißinstrumente	52
13.2.1. Einteilung der Geräte	52
13.2.2. Pyranometer	52
13.2.3. Strahlungsbilanzmesser	53
14. Die mechanischen Registriergeräte (Aufbau und allgemeine Betriebsvor- schriften)	53
14.1. Allgemeine Hinweise	53
14.2. Das Hebelwerk	53
14.3. Die Schreibvorrichtung	54
14.4. Die Registriertrommel	54
14.5. Die Schreibstreifen	54
14.6. Die Zeitmarken	54
14.7. Der Arbeitsgang beim Streifenwechsel	55
14.8. Die Pflege der Geräte	55
14.9. Die Genauigkeit der Aufzeichnungen	55
15. Elektrische Registriergeräte	56
15.1. Allgemeine Hinweise	56
15.2. Linienschreiber	56
15.3. Punktschreiber	56
15.4. Kompensationsschreiber	56
15.5. Bedienung und Wartung der Geräte	57
16. Der Versand von Instrumenten	57
16.1. Quecksilberbarometer	57
16.2. Registriergeräte	57
Literaturhinweise	58

Vorwort

Die genaue und zuverlässige Wetterbeobachtung ist eine unentbehrliche Grundlage aller Arbeiten auf dem Gebiet der Meteorologie, insbesondere des praktischen Wetterdienstes. Nur ein Teil der benötigten Wetterelemente wird durch Augenbeobachtungen festgestellt, z. B. Wetterzustand, Bewölkungsmenge und Wolkenformen; der größte Teil wird jedoch mit besonders konstruierten Instrumenten gemessen. Zweck des vorliegenden Leitfadens ist es, eine Einführung in die Arbeitsweise der gebräuchlichsten meteorologischen Instrumente zu geben.

Zur eingehenden Unterrichtung wird auf die im Literaturverzeichnis genannten Werke verwiesen.

Die namentliche Erwähnung von Herstellern, ihrer Erzeugnisse oder die Abbildung spezieller Firmengeräte erfolgt lediglich aus sachlichen Erwägungen und ist nicht gleichbedeutend mit einer Empfehlung.

Den vorliegenden Leitfaden haben bearbeitet: A. Frisch, K. Gödecke, W. Haas, P. Hess, W. Hußlein, A. Lang, W. Olbers, K. H. Richter, A. Schnell, L. Weickmann.

1. Die Messung des Luftdrucks

1.1. Allgemeine Hinweise

Definition und Bedeutung des Luftdrucks sind im Leitfaden Nr. 1 eingehend behandelt. Zur Messung des Luftdrucks gibt es verschiedene Geräte:

1) Quecksilberbarometer

Mit diesen Barometern wird in Höhe des unteren Quecksilberniveaus (im Gefäß) der herrschende Luftdruck gemessen. Mit diesem steht der Gegen-
druck der im Torricellischen Rohr überstehenden Quecksilbersäule im Gleichgewicht. Das Rohr ist oben geschlossen und soll luftleer sein. Mit dem unteren Ende ragt es in das mit Quecksilber gefüllte Gefäß.

2) Aneroidbarometer

Es werden hierzu fast luftleere Membrandosen, Vi-diosen oder ein Dosensatz aus Kupferberyllium- oder Stahlblech verwendet. Die Formveränderungen der Dosen durch den Luftdruck werden auf eine in Druckeinheiten geeichte Skala oder beim Schreibgerät auf einen Schreibstreifen übertragen.

3) Siedebarometer (Hypsometer)

Der Sättigungsdampfdruck einer Flüssigkeit (Wasser) hängt nur ab von deren Temperatur. Der Siedepunkt einer Flüssigkeit ist erreicht, wenn der Sättigungsdampfdruck gleich dem entgegengesetzt gerichteten äußeren Luftdruck ist. Man kann daher durch Messen der Siedetemperatur mit einem Siedethermometer den Luftdruck bestimmen.

1.2. Das Stationsbarometer

Als Barometerflüssigkeit wird ausschließlich Quecksilber (Hg) verwendet. Die Gründe hierfür sind:

Hg besitzt ein hohes spezifisches Gewicht (13,5951 g/cm³), daher kann das Instrument klein gehalten werden

Hg ist chemisch rein erhältlich

Hg bildet als Säule eine konvexe Kuppe und läßt sich daher eindeutig ablesen

Hg verdampft aufgrund seines geringen Dampfdruckes bei den in der Atmosphäre auftretenden Temperaturen nur geringfügig.

Das im Deutschen Wetterdienst eingeführte Stationsbarometer ist ein Gefäßbarometer (Abb. 1). Seine we-

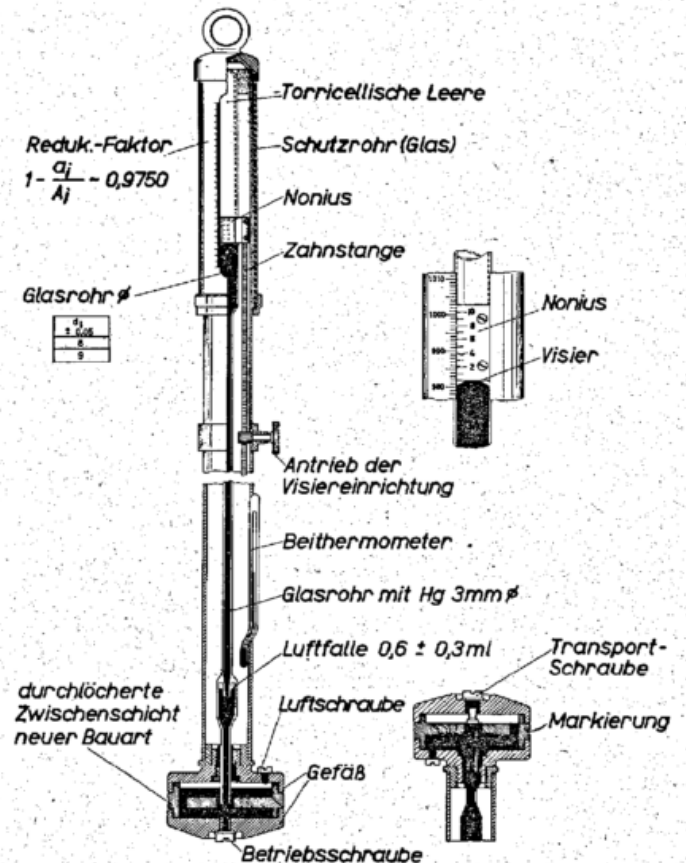


Abb. 1
Schema eines Hg-Stationsbarometers

sentlichsten Teile sind: Barometergefäß, ein mit Quecksilber gefülltes Glasrohr, Hüllrohr (mit Skala, Triebwerk, Aufhängering, Nonius, Beithermometer), Skalenschutzrohr und Zubehör.

Barometergefäß

Das Barometergefäß ist dreiteilig und besteht aus:

1) Gefäßdeckel mit Lufteinlaßschraube

Bei Inbetriebnahme des Instrumentes darf die Schraube nur um 1—2 Umdrehungen geöffnet werden. In der Deckelmitte ist das Quecksilberrohr mittels einer auf diesem Rohr aufgekitteten Metallmuffe mit Gewinde eingeschraubt.

2) Gefäßmittelteil

Dieses besteht aus einem innerhalb des Hg befindlichen Eisenkern, der in der Mitte eine Bohrung für das Quecksilberrohr und zusätzliche Bohrungen zum Durchtritt des Quecksilbers hat. Er dient ferner dazu, das Volumen des Hg zu verringern, die Quecksilberoberfläche so zu heben, daß das offene Rohrende immer (auch beim Neigen oder Umdrehen) in das Hg des Gefäßes hineinragt, und die Temperaturkorrektur infolge des Hg-Volumens zu vermindern. Bei neueren Fertigungen ist am Rande zusätzlich eine größere Bohrung vorgenommen, damit Luftblasen leichter entweichen können.

3) Gefäßboden

An der Unterseite des Bodens befindet sich die Betriebsschraube bzw. Transportschraube.

An den Seiten der Gefäßteile sind als Markierungen senkrecht eingeschlagene Striche angebracht, die beim Zusammenschrauben genau übereinanderstehen müssen, damit das vorgeschriebene Gefäßvolumen eingehalten wird.

Quecksilberrohr (Torricellische Röhre)

Das 85 cm lange und mit Quecksilber gefüllte Glasrohr ist oben geschlossen. Das untere Ende ist mittels einer aufgekitteten Metallmuffe in das Barometergefäß eingeschraubt. Der Innendurchmesser des Rohres beträgt oben 8 oder 9 mm. Unterhalb der Skala ist das Rohr verengt. Im unteren Teil des Rohres befindet sich eine Luftfalle, die sog. BUNTEN'sche Spitze. Diese soll die Luftbläschen auffangen, die an der Rohrinnenwand aufsteigen. Der obere Teil der größtenteils mit Quecksilber gefüllten Röhre ist im Idealfall luftleer; meist befindet sich aber vom Füllen her ein Luftrest oberhalb der Quecksilbersäule, der einen Gegen- druck erzeugt und eine zu niedrige Anzeige bewirkt. Diese wird bei der Eichung durch eine zusätzliche Hg-Menge kompensiert. Falls nach der Eichung Luft in den Raum oberhalb der Hg-Säule gelangen sollte, so werden die Meßergebnisse im oben angegebenen Sinne verfälscht.

Hüllrohr mit Nonius und Beithermometer

Durch das Hüllrohr aus Messing wird das Quecksilberrohr geschützt. In das Hüllrohr sind das Triebwerk mit Nonius und das Beithermometer eingebaut. Für die Ablesung des Quecksilberstandes hat das Hüllrohr auf zwei gegenüberliegenden Seiten einen länglichen Ausschnitt. Längs des vorderen Ausschnittes ist eine feste Millimeter- bzw. Millibareinteilung angebracht. Am Hüllrohr befindet sich außerdem im Meßbereich der Nonius mit Zahnstange und Antrieb. Der Nonius dient zur genauen Ablesung des Barometerstandes auf $\frac{1}{10}$ Skalenteil. Der Nonius hat eine zehnteilige Skala, von der jeder Teilstrich 1,9 Teilen der Hauptskala entspricht. Der untere Rand des ringförmigen Nonius dient als Visier für die Ablesung und ist zugleich die Nulllinie der Noniusskala. Der Nonius mit Skala ist durch ein Skalenschutzrohr (Glaszylinder) gegen Verschmutzung und mechanische Beschädigung ge-

schützt. Um eine bessere Ablesung des Barometerstandes zu ermöglichen, ist hinter der Skala eine Lampenbeleuchtung angebracht und die Rückseite des Glaszylinders mattiert.

Auf das Hüllrohr ist eine Eisenkappe mit Haken zum Aufhängen des Barometers aufgeschraubt. Diese Eisenkappe hält gleichzeitig das drehbare Skalenschutzrohr fest.

Skala

Da beim Stationsbarometer der Nullpunkt im Gerät nicht eingestellt werden kann, beide Quecksilberspiegel sich aber mit dem Luftdruck ändern, muß eine „reduzierte Skala“ verwendet werden, in deren Teilung die Innenquerschnitte des Glasrohrs q und des Gefäßes Q eingehen, wobei q/Q etwa 1:40 ist. Wenn das Hg im Glasrohr um 100 mm steigt, sinkt der Hg-Spiegel im Gefäß bei dem angegebenen Querschnittsverhältnis um 2,5 mm. Daher sind 100 mm Länge auf der Skala in 102,5 Einheiten geteilt. Die Zahlen an der Skala sind keine Längen-, sondern Druckangaben.

Fehlerquellen

1) Verlust von Quecksilber

Bei Quecksilberverlust muß das Instrument sofort umgetauscht werden, weil die Eichung nur für eine bestimmte Quecksilbermenge gültig ist.

2) Schlechtes Vakuum

Ein absolutes Vakuum ist technisch nicht realisierbar, da u. a. das Quecksilber einen von der Temperatur abhängigen Dampfdruck besitzt. Der hierauf zurückzuführende Fehler ist praktisch zu vernachlässigen. Das Vakuum wird auch durch Luftreste verschlechtert, deren Einfluß u. U. berücksichtigt werden muß. Man kann Luft oberhalb der Quecksilbersäule feststellen, in dem man das Barometer neigt, bis das Quecksilber am oberen Ende des Glasrohrs anschlägt. Dabei zeigt sich eine Luftblase. Eine flache Luftblase bis zu einem Durchmesser von nicht mehr als 3 mm, die sich beim Neigen des Barometers am oberen Ende der Quecksilbersäule zeigt, ist zulässig. Ist die Luftansammlung größer, muß das Gerät umgetauscht werden. Ein schlechtes Vakuum ist auch daran zu erkennen, daß beim Anschlagen des Hg an die Glasröhre ein dumpfer Ton entsteht.

3) Verschmutzung des Quecksilbers

Die Höhe des Meniskus der Quecksilberkuppe soll mindestens 0,7 mm betragen. Ist er flacher, kann eine Verschmutzung des Quecksilbers oder des Glases vorliegen. Das Barometer ist umzutauschen, weil sich mit der Verschmutzung auch das spezifische Gewicht des Quecksilbers ändert. Zur Kontrolle soll die Quecksilberkuppe monatlich einmal bei steigendem und einmal bei fallendem Luftdruck gemessen werden.

4) Abgenutzte Triebstange des Nonius

Bei abgenutzter Triebstange muß das Instrument ausgetauscht werden.

Transport des Barometers

Vor dem Transport des Barometers ist die Lufteinlaßschraube fest anzuziehen. Dann ist das Barometer vom Haken zu nehmen und langsam so lange zu neigen, bis das Quecksilber die Glasröhre vollständig ausfüllt. Nun wird das Instrument umgedreht, bis das Gefäß oben ist und anschließend die Betriebsschraube durch die Transportschraube ersetzt. Die etwa am Gewinde der Betriebsschraube haftenden Quecksilbertröpfchen müssen in das Gefäß zurückgeklopft werden.

Die Transportschraube hat einen federnden Bolzen, der das offene Ende der Quecksilberöhre verschließt und somit eine Bewegung des Quecksilbers verhindert,

die sonst leicht zur Zertrümmerung des Glasrohrs führen könnte. Das Barometer muß fest im Transportkasten liegen; es darf sich nicht in Längsrichtung bewegen können. Durch Filz oder Papier ist das Instrument festzulegen. Es ist vor harten Stößen zu schützen und muß so transportiert werden, daß der Gefäßteil höher liegt als der Skalenteil.

Herrichtung zum Gebrauch

Nach der Entnahme des Barometers aus dem Transportkasten ist die Transportschraube durch die Betriebschraube zu ersetzen (Gefäß nach oben). Am Federbolzen haftendes Quecksilber ist in das Gefäß zurückzuklopfen. Wenn die Betriebsschraube fest angezogen ist, kann das Barometer langsam umgedreht und aufgehängt werden. Nach dem Lösen der Lufteinlaßschraube (nur 1—2 Umdrehungen) ist das Barometer betriebsfertig. Die erste Messung soll erst vorgenommen werden, wenn sich die Temperatur des Barometers der Zimmertemperatur angeglichen hat.

Aufhängung des Barometers

Das Stationsbarometer soll in einem Raum untergebracht sein, der möglichst geringe Temperaturschwankungen aufweist, und ist vor direkter Wärmestrahlung (Sonne, Heizung) sowie Erschütterungen und Stößen zu schützen. Der Aufhängehaken soll etwa 1,75 m über dem Erdboden angebracht werden, so daß sich die Skala in Augenhöhe befindet. Die Kröpfung des Hakens muß ca. 5 cm aus der Wand herausragen, damit das Barometer frei und somit einwandfrei senkrecht hängt. Das Gefäß des Barometers kann gegebenenfalls durch einen Schutzring gesichert werden. Wie bereits erwähnt, ist zur genaueren Einstellung des Nonius und der Quecksilberkuppe in der Wand hinter dem Barometer eine mit Mattglas abgeschirmte Lampe anzubringen. Vor Inbetriebnahme des Stationsbarometers ist die Höhe des Instrumentes, und zwar die Höhe der Mitte des Hg-Gefäßes, genau zu vermessen.

1.3. Das Dosenbarometer (Aneroidbarometer)

Gegenüber dem Quecksilberbarometer haben die Dosenbarometer gewisse Vorteile. Sie gestatten eine viel schnellere Bestimmung des Luftdruckes, weil die Ablesungen weder in bezug auf Temperatur noch auf Schwerebeschleunigung korrigiert zu werden brauchen. Mit Aneroiden kann direkt der Luftdruck in Stationshöhe, bei ausreichend niedrig gelegenen Stationen auch

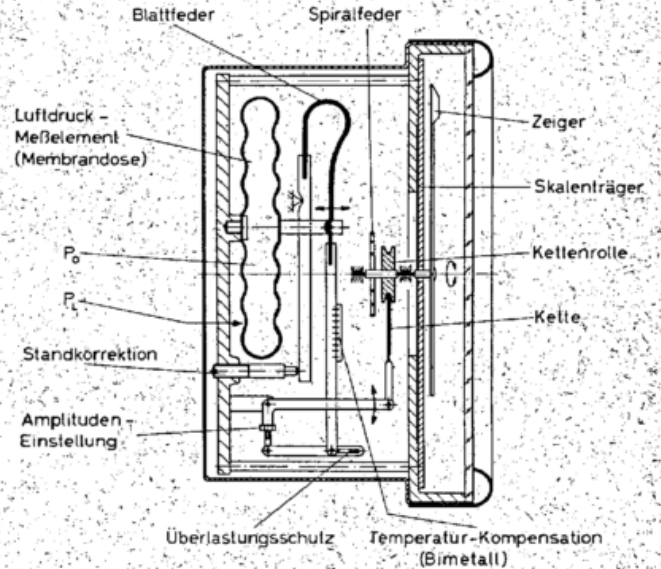


Abb. 2
Schema eines Aneroid-Barometers

der auf Meeressniveau umgerechnete Luftdruck abgelesen werden. Sie haben ein geringeres Gewicht, und lassen sich leichter transportieren. Die Genauigkeit der Messung ist jedoch bei den meisten Geräten geringer

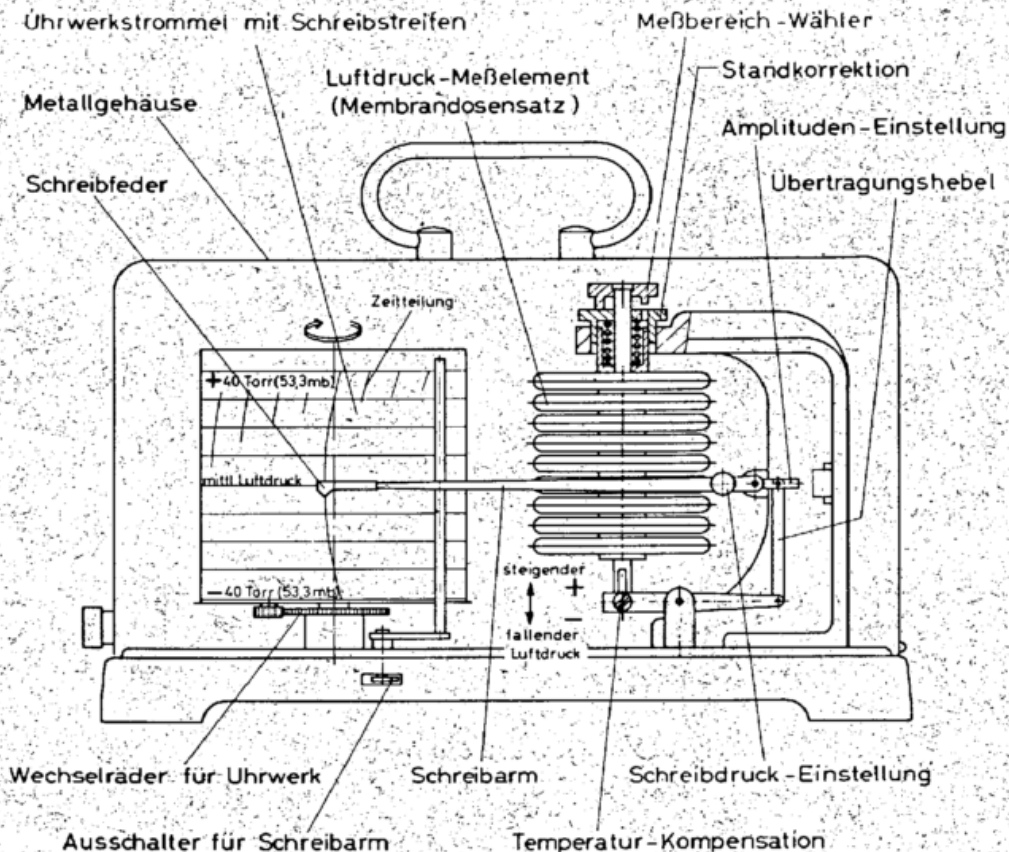


Abb. 3
Schema eines Barographen

als bei Quecksilberbarometern. Es gibt aber auch Präzisionsgeräte, deren Meßgenauigkeit höher liegt.

Die im Wetterdienst gebräuchlichen Dosenbarometer (Abb. 2) enthalten einen Satz selbstfedernder Vidiedosen, in deren Hebelwerk zur Ausschaltung des Temperatureinflusses ein Bimetallstreifen eingeschaltet ist. Die Vidiedosen sind der Hauptbestandteil des Dosenbarometers. Sie dienen als Meßfühler und sind flache, runde, dünnwandige Gefäße aus Stahl oder Kupferberyllium, die fast luftleer sind (Innendruck höchstens 5 mb). Die Oberfläche ist gewellt. Die früher üblichen Neusilberdosen mit zusätzlicher Innen- oder Außenfeder entsprechen nicht mehr den heutigen Anforderungen.

1.4. Der Barograph

Der Barograph (Abb. 3) dient der Registrierung des Luftdruckverlaufs am Beobachtungsort. Das Meßelement besteht aus einem System von mehreren aufeinander gesetzten Vidiedosen, deren Formänderungen sich summieren und den Ausschlag vergrößern. Wie beim Dosenbarometer sind dies flache, runde, dünnwandige Gefäße aus Stahl oder Kupferberyllium, die bis auf einen geringen Innendruck von etwa 5 mb leergepumpt sind. Boden und Deckel der Vidiedosen sind gewellt. Luftdruckänderungen führen zu Deformationen des Dosensatzes, die durch einen Hebel über ein Gestänge auf einen Schreibarm übertragen werden.

Der Dosensatz ist auf einer Grundplatte aufgebaut, die im Gehäuseboden eingelassen ist. Auf ihr befindet sich eine Stellschraube, die mit einer Blattfeder verbunden ist und mit deren Hilfe der Dosensatz als Ganzes gehoben oder gesenkt werden kann. Auf diese Weise werden Standkorrekturen (Nullpunkteinstellungen) vor-

genommen. Da sowohl der Dosensatz als auch das Gestänge temperaturabhängig sind, ist zum Ausgleich im Übertragungssystem ein Bimetallplättchen eingeschaltet.

Es gibt Barographen, die auf sechs bis sieben verschiedene Meßbereiche eingestellt werden können, so daß das gleiche Gerät für beliebige Seehöhen zu verwenden ist. Zu diesem Zweck ist das Verbindungsstück zwischen den Übertragungsachsen mit bezifferten Einstecklöchern für den Kupplungsstift versehen. Ein Textschild am Gehäuseboden gibt für jede Seehöhe die Nummer des zu benutzenden Einsteckloches sowie des zugehörigen Schreibstreifens an. Durch eine von außen bedienbare Zeitmarkenvorrichtung können Zeitmarken aufgezeichnet werden; durch Druck auf einen aus der Rückwand hervorstehenden Knopf mit Blattfeder markiert die Schreibfeder einen kurzen senkrechten Strich. Das Gehäuse braucht dabei nicht geöffnet zu werden.

Aufstellung

Der Barograph wird zweckmäßigerweise auf eine Konsole an einer tragenden Wand in der Nähe des Barometers aufgestellt. Fensternähe ist zu vermeiden, da beim Öffnen des Fensters wegen der durch den Wind hervorgerufenen Druckschwankungen Fehlregistrierungen entstehen. Um eine ruhige und erschütterungsfreie Aufstellung zu erreichen, empfiehlt es sich, die vier Füße des Schreibgerätes auf Filz- oder Schaumstoffunterlagen zu stellen. Das Gerät muß immer waagrecht stehen.

Mikro-Barograph

An einigen Dienststellen des Deutschen Wetterdienstes sind zur besonders genauen Druckaufzeichnung Mikro-Barographen mit großer Empfindlichkeit im Ge-

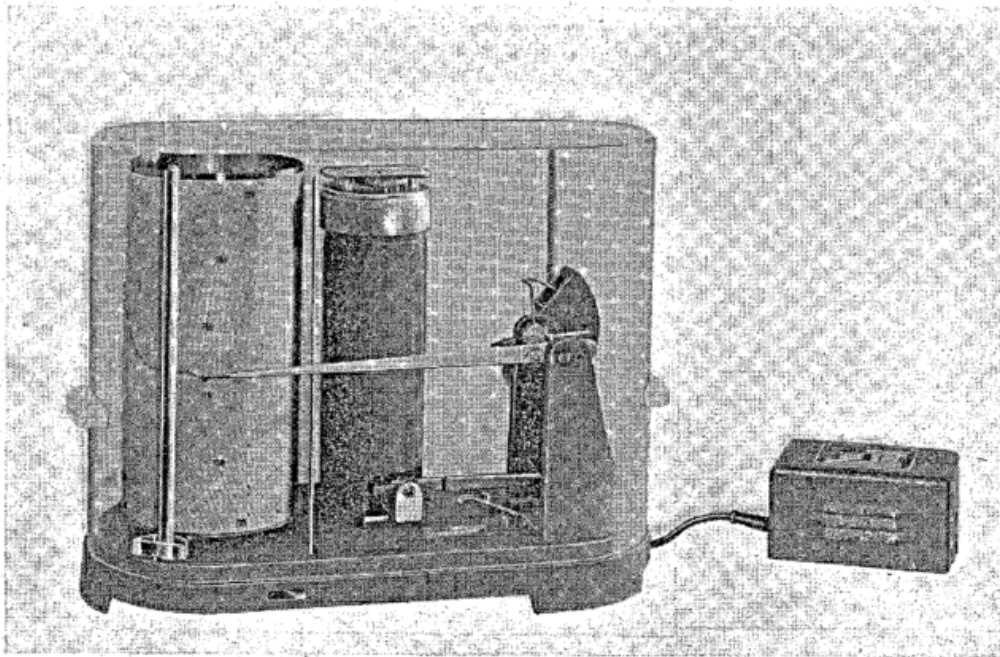


Abb. 4
Mikrobarograph mit Transformator

brauch (Abb. 4). Die Registrierpapiere sind geteilt in 0,2 (mm Hg)_n, wobei 1 (mm Hg)_n 5 mm Schreibhöhe entspricht. Daneben sind auch Skalen in mb oder Torr in Gebrauch.

Der Dosensatz besteht aus 15 Einzeldosen, die innerhalb einer mit Öl gefüllten Dämpfungskammer hängend angeordnet sind. Die Übertragung der Bewegungen erfolgt durch ein Hebelsystem. Die Kammer der Öldämpfung enthält ein Spezialöl. Beim Transport muß die Kammer leer sein. Die Oberfläche der Dämpfungsflüs-

sigkeit soll ca. 1 cm unterhalb der oberen Kante der Dämpfungskammer liegen. Ein kleiner, elektromagnetisch wirkender Vibrator, der mit 6-8 V aus einem Klein-Transformator gespeist wird, erzeugt eine leise, kaum spürbare Vibration des Gestells und des Meßwerkes, die zur weiteren Herabsetzung der Lagerreibung und wegen der besseren Schreibfedereinstellung zur Steigerung der Genauigkeit beiträgt.

Die Einstellung der 12 verschiedenen Höhenbereiche erfolgt durch Drehen der oberhalb des Dosensatzes an-

geordneten Stellschraube, die zu diesem Zweck mit einer entsprechend bezifferten Teilscheibenanordnung ausgerüstet ist.

Die Umlaufzeit dieser Barographen beträgt 1 Tag oder 1 Woche.

1.5. Das Siedebarometer (Hypsometer)

Die Messung des Luftdrucks durch Bestimmung der Siedetemperatur des Wassers baut auf der Tatsache auf, daß bei allen Flüssigkeiten der Siedepunkt eine Funktion des Luftdruckes ist. Eine Flüssigkeit beginnt zu sieden, sobald ihr Dampfdruck gleich dem äußeren Luftdruck wird.

Das hierzu benutzte Hypsometer (Abb. 5) besteht aus einem Siedegefaß, dem Mantelgefäß für den Dampf und einem Thermometer. Das Thermometer (Siedethermometer) ist oberhalb des Quecksilbergefäßes so konstruiert, daß die darüber befindliche Kapillare auf ihrer

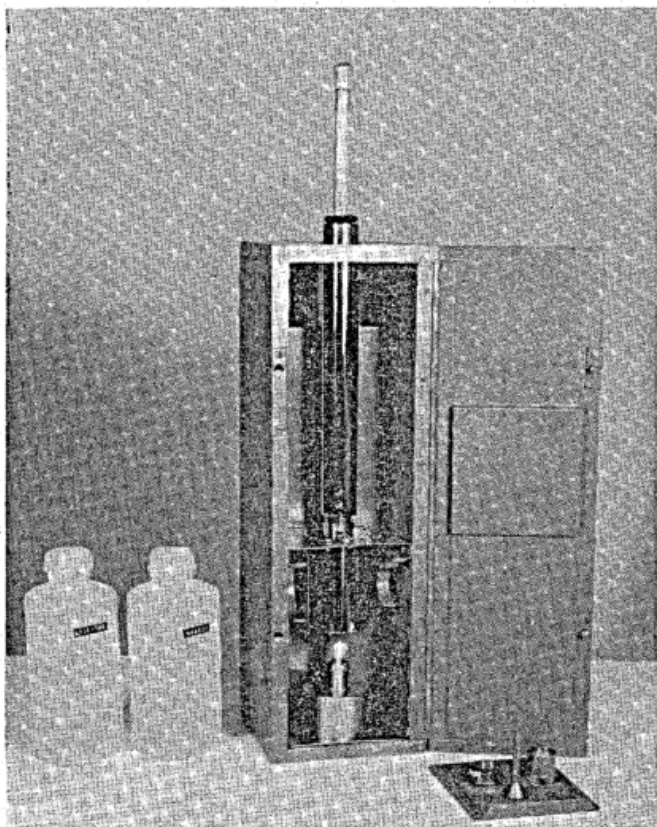


Abb. 5
Hypsometer im Kochschrank

ganzen Länge nur einen sehr kleinen Temperaturbereich umfaßt (95° — 105° C), der in 0,02 oder 0,01 Grad geteilt ist. Meist wird an Stelle einer Temperaturskala direkt eine Druckskala (Millimeter oder Millibar) verwendet. Die Temperaturmessung kann auch durch elektrische Platin-Widerstandsthermometer erfolgen. Eine Änderung des Siedepunktes um 0,03 Grad entspricht einer Druckänderung von 1 mb.

Arbeitsweise des Hypsometers

Die Temperatur des Dampfes des in einem Gefäß mit einer Spiritusflamme oder mit elektrischer Heizung zum Sieden gebrachten destillierten Wassers wird mittels des oben beschriebenen Siedethermometers in einem Mantelgefäß gemessen und daraus der auf der Flüssigkeit lastende Druck bestimmt. Durch den nachströmenden Dampf wird das Gefäß des Thermometers dauernd auf Siedetemperatur gehalten. Einer Schwerekorrektur bedarf das Meßergebnis nicht.

Verwendungszweck

Das Hypsometer mit Spiritusheizung wird vor allem bei Expeditionen verwendet, bei denen das Mitführen eines Quecksilberbarometers unzumutbar ist. Daneben benutzt man es mit elektrischer Heizung als mobiles Kontrollgerät für Stationsbarometer. Auch in einigen Radiosondemodellen wird das Hypsometer mit speziellen Füllflüssigkeiten zur Messung niedriger Luftdrucke verwendet.

2. Die Messung des Windes

2.1. Allgemeine Hinweise

Der Wind ist eine gerichtete Größe (Vektor) und erfordert deshalb die Messung zweier Bestimmungsgrößen, der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit. Als Windrichtung wird die Himmelsrichtung bezeichnet, aus welcher der Wind kommt. Sie wird angegeben in einer

36teiligen Skala im synoptischen Dienst,
32teiligen Skala im Klimadienst.

Die Windgeschwindigkeit wird durch den in der Zeiteinheit zurückgelegten Weg angegeben, und zwar in kn (Knoten), m/s oder km/h.

Der Bodenwind

Unter Bodenwind versteht man die Luftbewegung bis zu etwa 20—30 m über dem Erdboden. Er wird wesentlich beeinflusst durch die Beschaffenheit der Erdoberfläche. Größere Hindernisse (Bäume, Häuser) können hinsichtlich der Richtung und auch der Geschwindigkeit des Bodenwindes starke Abweichungen verursachen.

Aufstellung der Geräte

Der Aufstellungsort muß so gewählt werden, daß die Messungen unbeeinflusst von Hindernissen durchgeführt werden können. Auch auf einem vollkommen freien Gelände muß sich die Windfahne mindestens 6 m über dem Erdboden befinden. Umlegbare Eisenmaste haben sich gut bewährt. Bei der Aufstellung auf einem Gebäude muß die Windfahne (Geber) den höchsten Gebäudeteil um mindestens 6 m überragen.

2.2. Windfahne mit Stärketafel (nach WILD)

Die WILD'sche Windfahne (Abb. 6) findet fast nur noch im Klimadienst Verwendung. Es handelt sich hier um ein sehr einfaches Meßgerät für Windrichtung und Windstärke, das aus einer rechteckigen Blechtafel besteht, die durch eine Windfahne immer senkrecht zum Wind gestellt wird. Je nach der Windgeschwindigkeit wird die Blechtafel vom Winddruck verschieden hoch gehoben. Sie zeigt an den Stiftmarken des Gradbogens die jeweilige Windstärke an.

Die Bestimmung der Windrichtung erfolgt durch Vergleich der Stellung der Windfahne mit dem die vier Haupthimmelsrichtungen anzeigenden Richtkreuz, bei welchem die Nordrichtung durch ein „N“ gekennzeichnet ist. Zwischen den Gradbogenmarken, der Windgeschwindigkeit in m/s und der Beaufortskala bestehen folgende Beziehungen:

Gradbogenmarke	1	2	3	4	5	6	7	8
Windgeschwindigkeit m/s	0	2	4	6	8	11	14	20
Windstärke nach Beaufort	0	2	3	4	5	6	7	9

Es sind auch Windfahnen mit 7 Gradbogenmarken in Betrieb (s. Anleitung für den Beobachter an den Klimahauptstationen des Deutschen Wetterdienstes, S. 26).

2.3. Universal-Windmesser 82a (FUESS)

Zur Aufzeichnung des Windgeschwindigkeitsverlaufes, der Windrichtungsschwankungen und des Windweges wurden als Staudruckmesser ausgebildete aero-

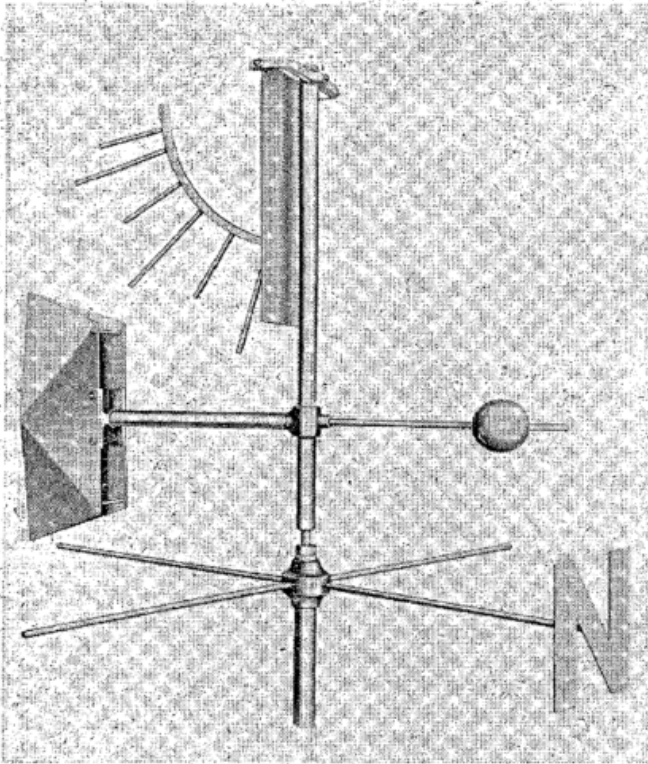


Abb. 6
Windfahne mit Stärketafel (nach WILD)

dynamische Windmesser (Firmenbezeichnung: FUESS-Universal 82a) im Deutschen Wetterdienst früher viel verwendet. Dieses, auch „Böenschreiber“ genannte Gerät, ist nur noch in wenigen Exemplaren in Betrieb. Daher soll hier lediglich das Meßprinzip kurz erklärt werden:

Der in einem Staurohr (Abb. 7) aufgenommene Winddruck (Gesamtdruck) wird durch eine Rohrleitung unter

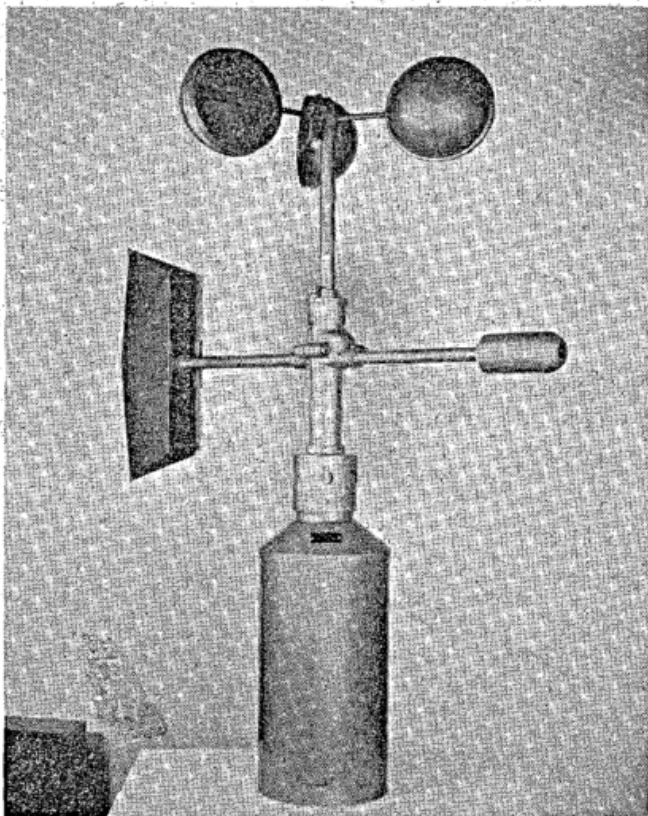


Abb. 7
Universal-Windmesser 82a — Geberteil (mit Staudüse)

ein glockenförmiges Gefäß geleitet, das in einer Flüssigkeit schwimmt (Tauchschwimmer)*). Die besondere Formgebung des Tauchschwimmers ermöglicht eine lineare Anzeige der Windgeschwindigkeit (Abb. 8).

Windweg und Windrichtung werden mechanisch auf das Registriergerät übertragen. Darum muß der Schreiber senkrecht unter dem Geber aufgestellt sein, und die

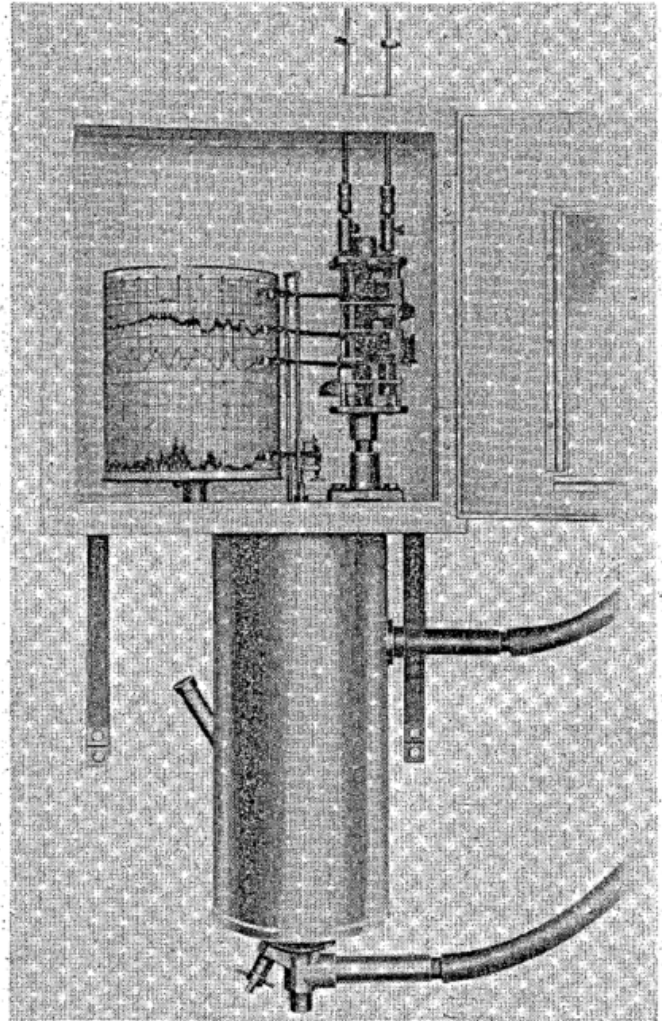


Abb. 8
Universal-Windmesser 82a — Registriergerät

Entfernung darf höchstens 25 bis 30 m betragen. Windrichtung und -geschwindigkeit können an zusätzlichen Tochterstationen elektrisch angezeigt werden.

2.4. Elektrischer Windschreiber mit Registrierung

Meßprinzip

Elektrische Windschreiber sind Geräte mit vollelektrischer Übertragung der Meßwerte. Sie dienen zur Aufzeichnung von Böen, von Mittelwerten der Geschwindigkeit sowie der Windrichtung (Abb. 9).

An die Geräte können mehrere Tochteranzeigergeräte angeschlossen werden.

Die wesentlichen Bestandteile solcher Geräte sind:

1. Geber mit Windfahne und Schalenstern
2. Schreibgerät (Aufzeichnung auf Trommel oder Band) (Abb. 10, 11)
3. Verteilerkasten bzw. Schalttafeln
4. Windmast
5. Elektrische Anzeigergeräte (Abb. 12)
6. Stromversorgungsanlagen.

*) Da auf die Oberfläche des Schwimmers der statische Luftdruck wirkt, sind die Ausschläge des Schwimmers der Differenz von Gesamtdruck und statischem Druck proportional.

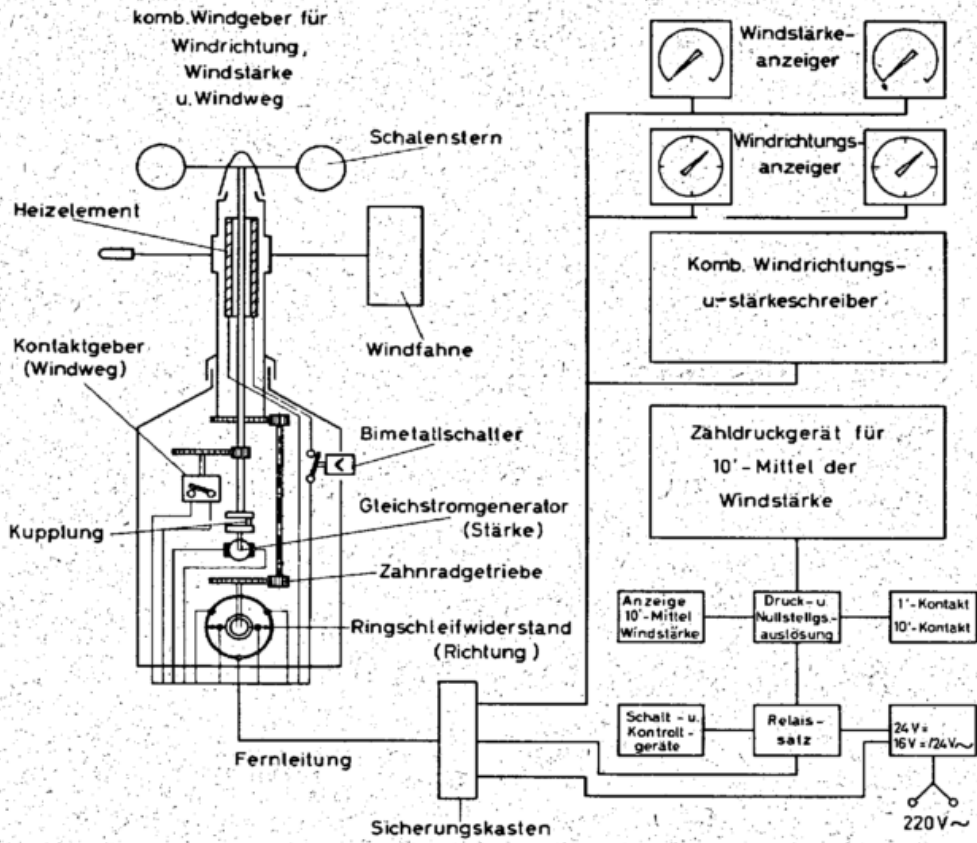


Abb. 9
Schema einer elektrischen Windfernmeßanlage

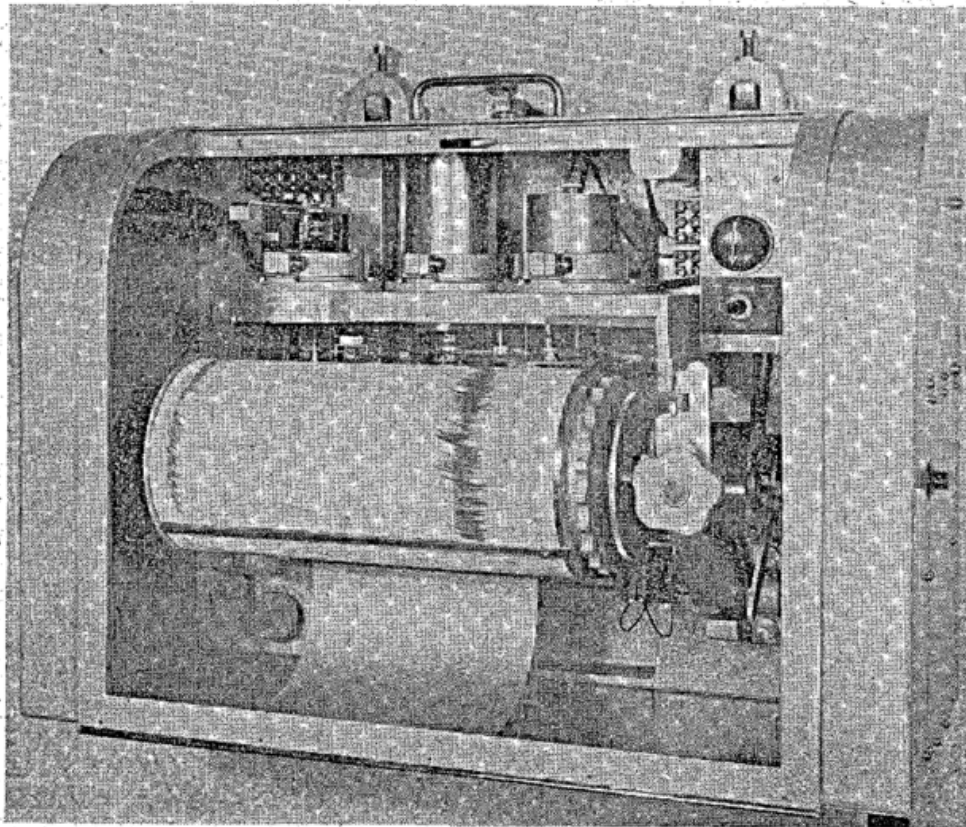


Abb. 10
Elektrischer Universal-Windschreiber 90 z, Schreibgerät mit Trommelaufzeichnung

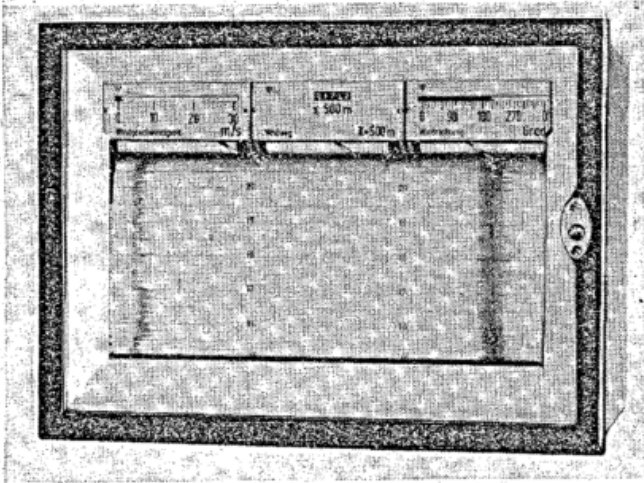


Abb. 11
Kombinierter Linienschreiber für Windgeschwindigkeit, -weg und -richtung

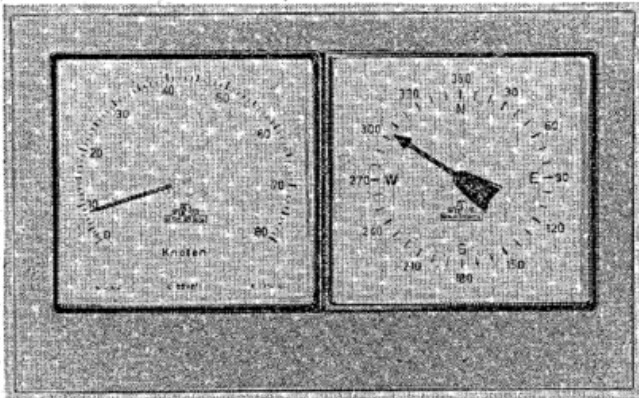


Abb. 12
Geschwindigkeits- und Richtungsanzeiger für elektrischen fernanzeigenden Windmesser

Windmast

Es wird allgemein ein 10 m langer, umlegbarer Stahlrohrmast verwendet (wegen der Aufstellung s. 2.1. und „Vorschriften und Betriebsunterlagen“ Nr. 3, S. 1/6).

Arbeitsweise

a) Augenblickswerte der Windgeschwindigkeit (Böen)

Auf der Achse des Schalensterns sitzt der Rotor eines Gleichstrommeßgenerators. Dieser erzeugt eine der Umdrehungsgeschwindigkeit des Schalensterns und damit der Windgeschwindigkeit proportionale Klemmenspannung, die über eine Leitung auf ein im Schreibgerät befindliches Drehspulmeßwerk übertragen wird. Die Registrierung folgt allen Schwankungen der Windstärke, so daß die Augenblickswerte ablesbar sind. Dieses Meßprinzip erfordert keine zusätzliche Hilfsenergie. Die geringste Anlaufgeschwindigkeit liegt im allgemeinen etwas über 0,5 m/s.

Die Registrierstreifen sind in Knoten bzw. Meter/Sekunde (1 kt \triangleq 0,5 m/s) geteilt.

b) Mittelwerte der Windgeschwindigkeit

Eine Registrierung von Mittelwerten der Windgeschwindigkeit läßt sich durch verschiedene Maßnahmen erreichen. So kann z. B. der Windschreiber mit einer besonderen Öldämpfung ausgerüstet werden, so daß lediglich Mittelwerte zur Aufzeichnung gelangen. Eine andere Methode besteht darin, daß der Schalenstern ein Kontaktwerk betätigt, das nach einem bestimmten Windweg einen Impuls auslöst. Diese Impulse werden im Schreibgerät durch ein Schrittschaltwerk summiert und fortlaufend aufgezeichnet. Nach einem fest einge-

stellten Zeitintervall (z. B. 10 Minuten) wird der Schreibarm durch eine Schaltvorrichtung auf die Nulllinie zurückgeführt.

c) Windrichtung

Die Windrichtung wird kontinuierlich durch ein Gleichstrom-Drehfeldsystem übertragen. Der Schreibstift zeichnet synchron mit der Stellung der Windfahne die jeweilige Richtung des Windes auf. Für die Stromversorgung ist eine Gleichspannung erforderlich.

d) Registrierung

Die Registrierung der Meßwerte geschieht entweder mit Tinte auf normalem Registrierpapier, auf Wachspapier oder elektrisch auf einem metallbedampften Spezial-Diagramm-Papier. Bei der letztgenannten Methode entsteht beim Anlegen einer Wechselspannung von 220 Volt zwischen Schreibspitze und Schreibtrommel durch Verbrennung des Papiers ein feiner, schwarzer Kurvenzug. Diese Registrierart hat gegenüber der Tintenregistrierung den Vorteil größerer Feinheit. Allerdings müssen die Schreibstifte täglich mit einer Messingbürste von Asche-Resten gesäubert werden. Sehr saubere Registrierungen sind auch auf Wachspapier möglich.

e) Schreibgerät

Schreibgeräte werden in verschiedenen Ausführungen hergestellt. Ein Teil der Geräte enthält eine Trommel mit Tagesumlauf (Abb. 10) zur Befestigung des Schreibstreifens, andere sind als Bandschreiber ausgebildet (Abb. 11).

Alle Schreibgeräte sind in einem Metallschrank mit verglaster Tür eingebaut.

Am gleichen Geber können außer dem Schreibgerät noch mehrere Tochterstationen für Richtungs- und Geschwindigkeitsanzeige angeschlossen werden. Diese Anzeigergeräte (Abb. 12) werden in runden oder rechteckigen Gehäusen als kombinierte oder als einzelne Geräte geliefert. Die üblichen Geschwindigkeitsanzeigergeräte besitzen Drehspulmeßsysteme. Sie tragen Teilungen in Knoten bzw. Meter/Sekunde; teilweise besitzen sie zwei umschaltbare Meßbereiche.

Der Zeiger des Windrichtungsanzeigergerätes bewegt sich, ebenso wie der entsprechende Schreibstift, synchron mit der Windfahne. Die unterlegte Skale ist in 360° und in die Hauptwindrichtungen geteilt.

f) Stromversorgung

Die Verbindung zwischen Geber und Schreiber wird durch mehradriges Kabel hergestellt. Dabei können Entfernungen bis zu einigen Kilometern überbrückt werden. Zum Betrieb ist eine Gleichspannung erforderlich, die — je nach Leitungswiderstand — zwischen 12 und 48 Volt liegt.

Für die Registrierung der Meßwerte wird eine Wechselspannung von 220 Volt benötigt.

2.5. Windmesser mit elektrischer Fernanzeige für Richtung und/oder Geschwindigkeit ohne Registrierungsmöglichkeit

Der Schalenstern dieses Gerätes ist, ähnlich wie unter 2.4.a) beschrieben, mit einem Meßgenerator gekuppelt. Jedoch kann hierfür, wegen des Wegfalls der Registrierungseinrichtung und des damit verbundenen geringeren Leistungsbedarfes, auch ein Wechselstromgenerator verwendet werden. Die erzeugte Spannung wird über ein zweiadriges Kabel, ggf. über einen Meßgleichrichter, einem Spannungsmeßgerät (Drehspulgerät) zugeleitet, das direkt in m/s oder Knoten geeicht ist.

Messung und Anzeige der Windrichtung erfolgt entweder wie unter 2.4.c) beschrieben oder es wird eine Windfahne benutzt, die einen über acht kreisförmige

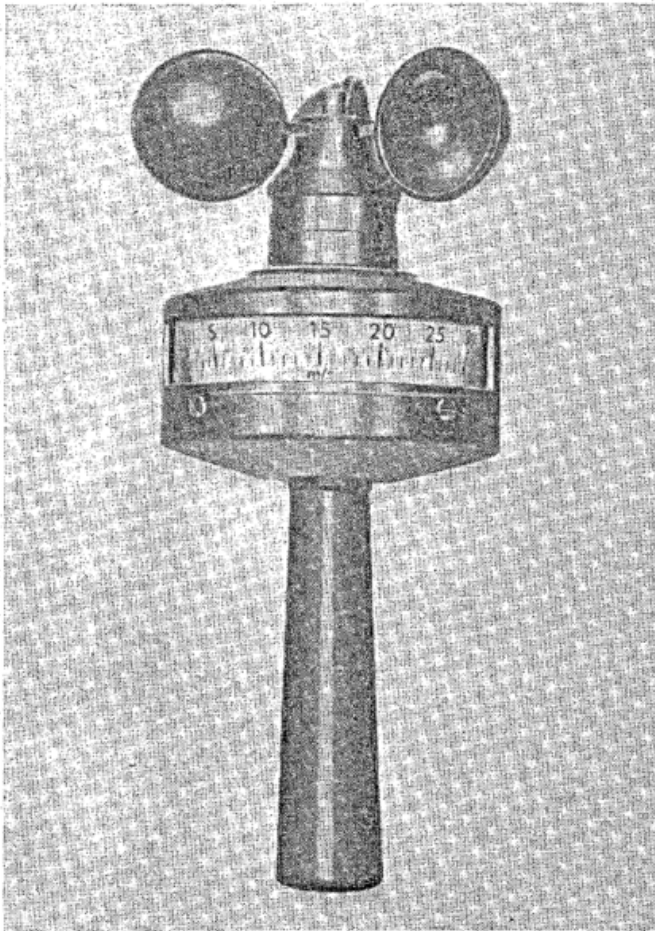


Abb. 13
Schalen-Handwindmesser mit m/s-Anzeige

Kontakte schleifenden Kontaktarm trägt. Diese acht Kontakte sind durch Leitungen mit dem Anzeigergerät und einer Stromquelle verbunden. Im Anzeigergerät sind 8 kleine Glühlampen entsprechend den 8 Kontakten kreisförmig angeordnet. Je nach der Stellung des Kontaktarmes der Windfahne wird der Stromkreis für ein Lämpchen geschlossen, das durch sein Aufleuchten die Stellung der Windfahne und damit die Windrichtung angibt. Neben den 8 Hauptwindrichtungen, die damit fixiert sind, können auch noch die Zwischenwindrichtungen abgelesen werden. In diesem Falle hat der Schleifarm mit zwei benachbarten Lamellen Kontakt, so daß zwei benachbarte Lämpchen aufleuchten. Bei NNE-Wind leuchten z. B. gleichzeitig die Lämpchen für N und NE.

2.6. Schalenhandanemometer

Es gibt eine ganze Reihe verschiedener Konstruktionen von Schalenhandanemometern. Man kann sie in zwei Gruppen einteilen:

- 1) Handwindmesser mit direkter Anzeige der Windgeschwindigkeit, z. B. in m/s (Abb. 13)
- 2) Handwindmesser zur Bestimmung des Windweges (Abb. 14). (Der Windweg ist der von der bewegten Luft zurückgelegte Weg in Längen-Einheiten).

Bei direkt anzeigenden Geräten wird durch einen auf der Schalensternachse angebrachten permanenten Magneten in einer darunter drehbar angeordneten Metalltrommel ein Wirbelstrom erzeugt, dessen Größe von der Rotationsgeschwindigkeit des Schalensternes abhängig ist und der die Trommel gegen die Kraft einer Spiralfeder verdreht. Ein an der Trom-

mel angebrachter Zeiger gibt auf einer Skala die Windgeschwindigkeit an.

Windwegmesser arbeiten mit einem Schalenstern, dessen Drehzahl der Windgeschwindigkeit nahezu proportional ist. Die Zahl der Umdrehungen wird auf ein mechanisches Zählwerk mit mehreren Stufen (z. B.

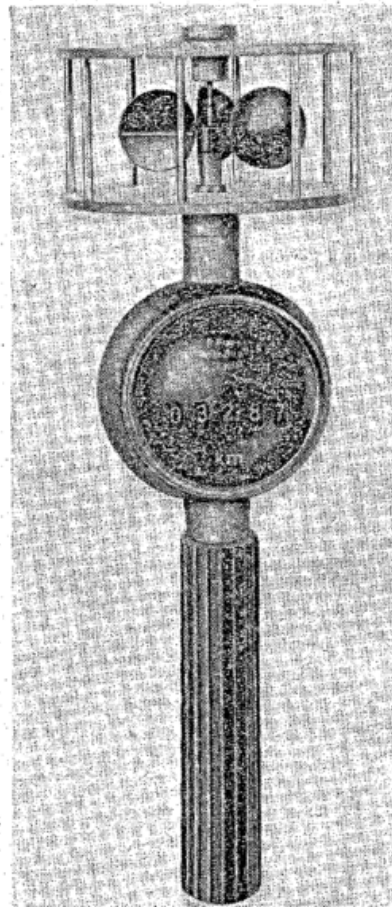


Abb. 14
Schalen-Handanemometer mit Windweg-Anzeiger (km)

1—100 m, 100—1 000 m, 1 000—10 000 m usw.) oder ein mehrstelliges Ziffernzählwerk mit springenden Zahlen übertragen.

Bei einzelnen Konstruktionen ist das Zählwerk arretierbar. Manche Instrumente ermöglichen eine Nullstellung der Anzeige vor Beginn der Messung. Zur Bestimmung der Windgeschwindigkeit ist eine Stoppuhr nötig. Der angezeigte Windweg (in m) dividiert durch die gemessene Zeit (in Sekunden) ergibt die Windgeschwindigkeit in m/s.

2.7. Kontaktanemometer

Das Kontaktanemometer (Abb. 15, 16) ist ein Meßgerät für die mittlere Windgeschwindigkeit. Das durch den Wind in Rotation versetzte Schalenkreuz bewegt ein Untersetzungsgetriebe mit einer Kontakteinrichtung, die jeweils nach einer bestimmten Anzahl von Umdrehungen des Schalenkreuzes und damit nach einem bestimmten Windweg einen Kontakt schließt. Es gibt Kontaktanemometer für 100, 250, 500 und 1 000 m Windweg. Das Kontaktanemometer ist durch eine 2adrige Leitung mit dem Registriergerät — einem Kontakt-Chronographen (Abb. 16) — und einer Stromquelle (4—6 Volt-Batterie oder Klingeltrafo) verbunden. Bei der Kontaktbildung erhält das Schreibrelais im Chronographen einen Stromstoß, und die Schreibfeder macht auf der papierbespannten Registriertrommel eine Mar-

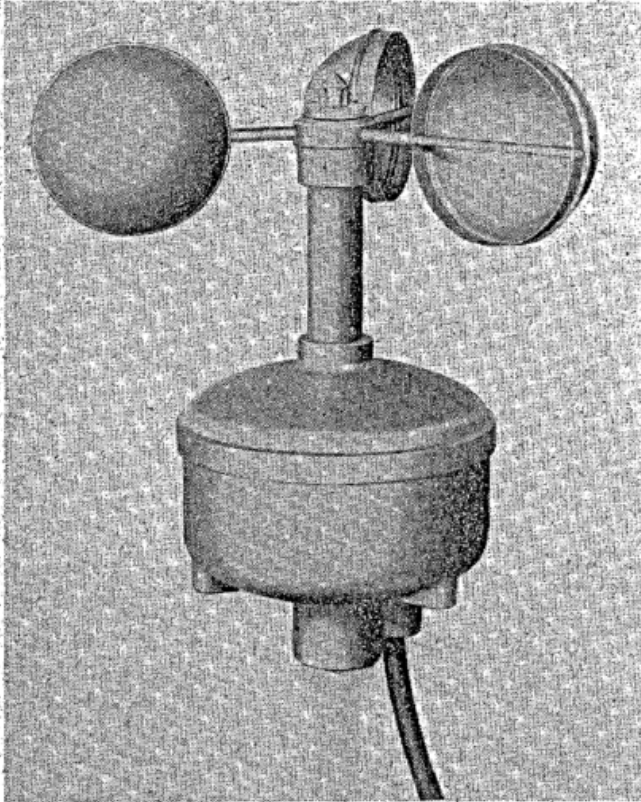


Abb. 15
Kontaktanemometer — Geber

ke. Aus der Registrierung kann der Windweg pro Zeiteinheit und damit die mittlere Windgeschwindigkeit bestimmt werden. Die Anlaufgeschwindigkeit des Schalenkreuzes liegt bei etwa 1 m/s.

2.8. Selsyn-Windschreiber (Type IAM)

Der Selsyn-Windschreiber liefert auf einem Wachspapierband eine laufende Aufzeichnung des Windweges (mittlere Windgeschwindigkeit) und der Windrichtung. Er besteht aus dem Geber und dem Registriergerät. Zu dem Geber gehört ein Schalenkreuz, das durch ein Untersetzungsgetriebe mit einem sogenannten Selsyn-Gerät (self-synchronisation) gekuppelt ist, und eine Windfahne, die direkt mit der Achse eines 2. Selsyngerätes verbunden ist. Selsyn-Geräte haben in ihrem Aufbau eine gewisse Ähnlichkeit mit Drehtransformatoren; werden 2 Selsyngeräte miteinander verbunden und mit Wechselstrom gespeist, so folgt das 2. Gerät genau jeder Drehung, die die Achse des ersten Selsyngerätes ausführt.

Im Selsyn-Windmeßgerät sind die beiden Selsyngeräte des Gebers mit zwei entsprechenden Geräten im Empfänger verbunden. Diese Selsyngeräte im Empfänger bewegen 2 Schreibwalzen mit spiralförmigen Schreibrippen; auf der einen Schreibwalze wird auf einem fortlaufenden Wachspapierstreifen die Windrichtung und auf der anderen Schreibwalze der Windweg aufgezeichnet.

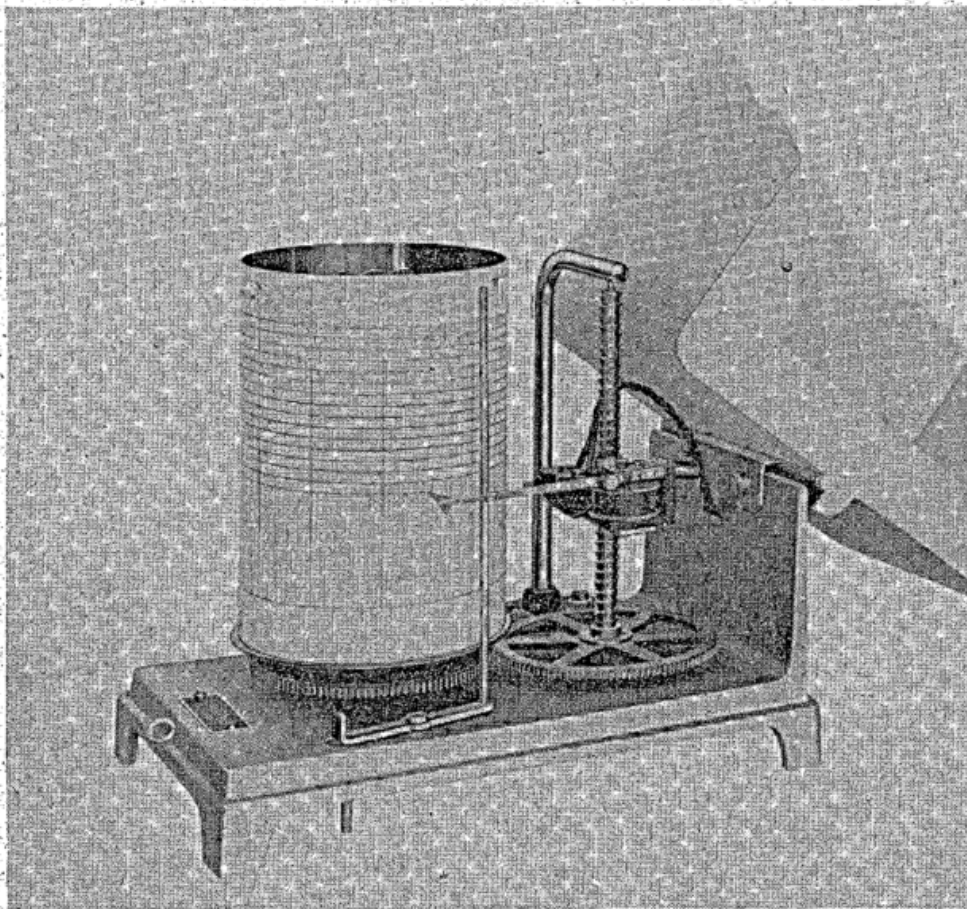


Abb. 16
Chronograph eines Kontaktanemometers

2.9. Mechanischer Windschreiber (nach WOELFLE)

Das Gerät (Abb. 17) dient zur fortlaufenden und wartungsfreien Registrierung von Windrichtung und Windweg. Hilfsenergie zur Verstärkung der Meßwerte bzw. zum Betrieb wird nicht benötigt. Sein Einsatz ist daher in solchen Fällen angebracht, in denen über einen längeren Zeitraum hinweg ein Überblick über die Windverhältnisse gewonnen werden soll, ohne das umfangreiche Montage- und Anschlußarbeiten durchzuführen sind.

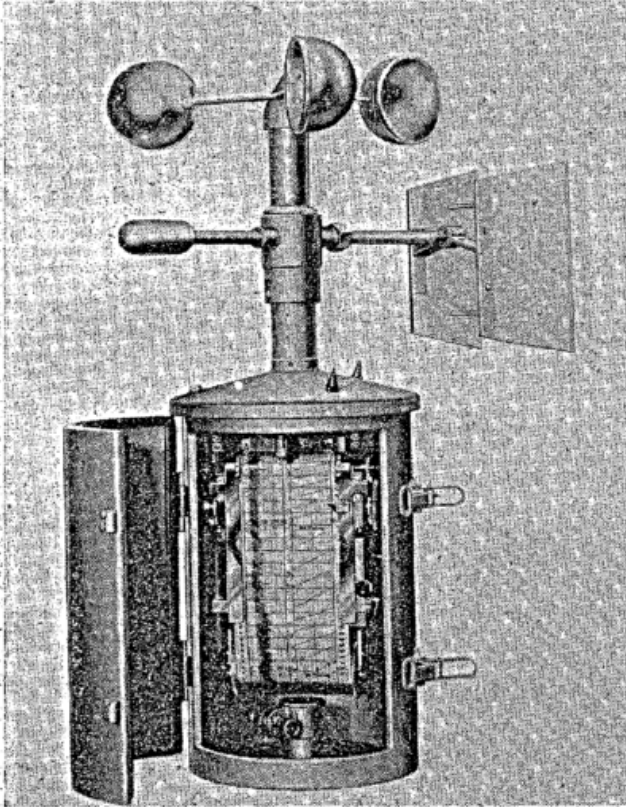


Abb. 17.
Mechanischer Windschreiber (nach WOELFLE)

Als Geber für die Windrichtung dient eine Windfahne, als Geber für den Windweg ein Schalenstern, der über der Windfahne angeordnet ist. Beide Geber bewegen über entsprechende, verschieden untersetzte Getriebe je eine Schreibwalze. Jede Schreibwalze ist mit einer wendelförmigen, um den Umfang der Walze laufenden Schreibrippe versehen. Die Walze liegt auf dem Wach-Registrierpapier auf, wobei der Druck der Schreibrippe eine Registrierkurve erzeugt. Dieses tintenlose Registrierverfahren gewährleistet eine hohe Betriebs-sicherheit der Registriereinrichtung. Für die Inbetrieb-haltung des Gerätes muß jeweils im Abstand von vier Wochen das Wachspapier gewechselt und das Uhrwerk für das Bandschreibertransportwerk aufgezogen werden. Im übrigen arbeitet das Gerät wartungsfrei. Jedem Gerät liegen zwei Auswertelineale bei, mit deren Hilfe aus dem registrierten Windweg die mittlere Windge-schwindigkeit einer beliebig gewählten Beobach-tungsperiode bzw. das Stundenmittel leicht zu ermitteln sind.

3. Die Messung der Temperatur

3.1. Allgemeine Hinweise

In der Meteorologie arbeitet man mit dem Begriff der „Lufttemperatur“, die nur die mittlere kinetische Energie der Luftmoleküle, aber nicht die Energie der Raumstrahlung erfaßt. Sie ist definiert durch die Anzeige eines strahlungsgeschützten Thermometers, mit dem sich die atmosphärische Luft im Gleichgewicht be-findet.

Die von der Sonne, den Menschen und sonstigen Wär-mespendern (Heizkörper usw.) ausgehende Strahlung bewirkt eine zusätzliche Erwärmung des Thermometers und somit eine höhere Temperaturangabe. Um die wahren Lufttemperaturen zu erhalten, sind die Thermo-meter durch einen geeigneten Strahlungsschutz von fälschenden Strahlungseinflüssen abzuschirmen.

Den in der Meteorologie am häufigsten angewandten Strahlungsschutz stellt die Thermometerhütte (Klima-hütte) dar (Abb. 18). Die als Doppeljalousien ausgebil-deten Wände bestehen aus 6—8 mm starkem Holz. Die Hütte hat ein Dach mit Zwischenboden, der mit

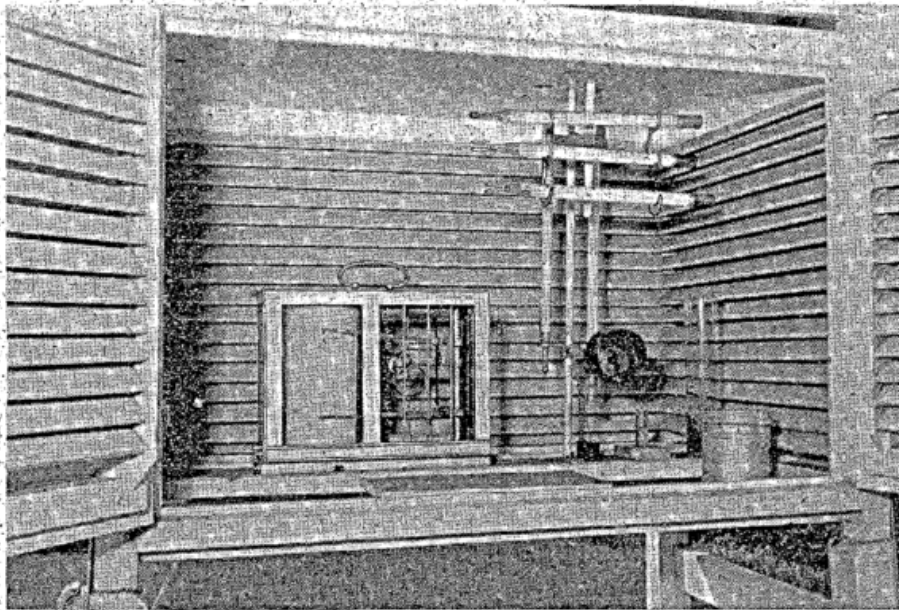


Abb. 18

Inneres einer Thermometerhütte (Klimahütte).
Rechts, senkrecht stehend, die Thermometer des Psycho-meters, Regenmeßglas; waagrecht Maximum-, Minimum- sowie Erdbodenthermometer (für 5 cm über der Erde); links ein Thermo-Hygrograph.

Öffnungen zur Ventilation versehen ist sowie einen gegen Bodenstrahlung schützenden dreiteiligen Boden. Die Hütte wird auf ein Holzgestell aufgebaut, das so tief in die Erde eingegraben wird, daß sich die Thermometergefäße 2 m über dem Erdboden befinden. Die Hütentüre muß nach Norden zeigen, damit beim Öffnen der Türe die Instrumente nicht von der Sonne bestrahlt werden können. Zur Erleichterung der Ablesung ist vor der Hütte ein dreistufiger Tritt aufgestellt. Er darf mit der Hütte nicht in Verbindung stehen bzw. nicht an die Hütte angelehnt werden, damit Erschütterungen vermieden werden. Sämtliche Hüttenteile sind innen und außen mit einer weißen Lackfarbe gestrichen, um das Holz vor Verwitterung zu schützen und den Einfluß der Sonnenstrahlung zu mindern. Die Hütte soll auf grasbewachsenem Boden stehen und ihre unmittelbare Umgebung frei von Hindernissen sein, damit eine gute Luftzirkulation gewährleistet ist.

Nachteile der Hütte sind Verfälschungen der Temperatur bei schwachen Winden und bei Sonnenstrahlung, da sich dann infolge der großen Wärmekapazität ein eigenes Hüttenklima ausbilden kann. Es können Fehlmessungen gegenüber dem Freiland bis zu mehreren Grad Celsius vorkommen.

Eine weitere Möglichkeit, strahlungsfehlerfreie Lufttemperaturen zu messen, ist die Verwendung eines ASS-MANN-Psychrometers (s. 4.1.).

3.2. Meßprinzipien und Einteilung der Thermometer

Mehrere physikalische Zusammenhänge werden bei der Temperaturmessung benutzt. Eine Temperaturänderung führt

- 1) zur Änderung des Volumens von Flüssigkeiten, die in Glasgefäße eingeschlossen sind (die Ausdehnung der Flüssigkeitsmenge wird bei Flüssigkeitsthermometern (Quecksilber- und Alkoholthermometer) zur Messung benutzt)
- 2) zur Formänderung von
 - a) zwei verschweißten Metallstreifen, die verschiedene Ausdehnungskoeffizienten haben
 - b) von Metallröhren mit Flüssigkeiten (nach diesem Prinzip arbeiten die Deformationsthermometer; Bimetalle, Bourdonrohr)
- 3) zur Widerstandsänderung eines stromdurchflossenen Leiters (Widerstandsthermometer)
- 4) zu einer elektrischen Spannung (Thermospannung) in einem Stromkreis, der aus zwei verschiedenen Metallen besteht, wenn die Verbindungsstellen der beiden Metalle verschiedene Temperaturen aufweisen (Thermoelemente)
- 5) zu unterschiedlicher Ausstrahlung im infraroten Spektralbereich.

3.3. Flüssigkeitsthermometer

Als Meßflüssigkeit werden allgemein Quecksilber oder eine organische Flüssigkeit (meist Alkohol) verwendet.

3.3.1. Quecksilberthermometer

a) Aufbau

Die Quecksilberthermometer (Abb. 19) bestehen, wie alle Flüssigkeitsthermometer, aus dem Thermometerge-

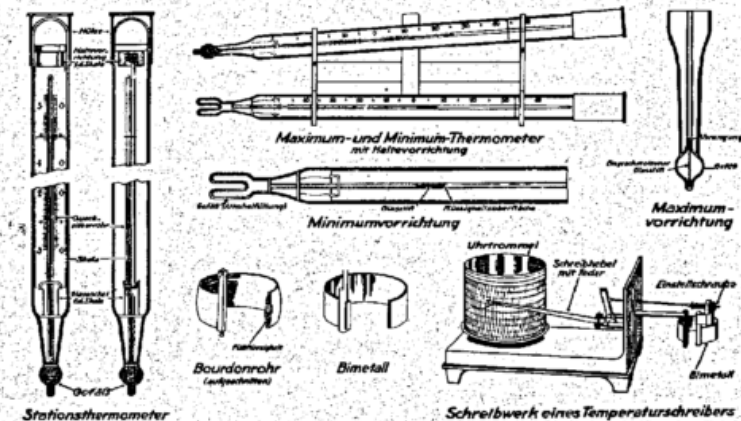


Abb. 19
Instrumente für die Temperaturmessung

fäß, der Kapillare, der Skala, dem durchsichtigen Hüllrohr sowie der Flüssigkeit. Als Füllflüssigkeit wird chemisch reines und gasfreies Quecksilber benutzt. Der normale Meßbereich liegt zwischen $+200^{\circ}\text{C}$ und -38°C . Zur Erweiterung des Meßbereiches nach niederen Temperaturen hin kann als Anzeigeflüssigkeit eine Legierung von Thallium und Quecksilber verwendet werden. Der Erstarrungspunkt dieser Legierung liegt bei -60°C .

Man unterscheidet zwischen Stab- und Einschlußthermometern. Bei den Stabthermometern ist die Temperaturskala auf den dickwandigen Kapillaren aufgezätzt, bei den Einschlußthermometern befindet sich eine gesonderte, unverschiebbare Milchglasskala hinter der Kapillare.

Bei den meisten innerhalb des Deutschen Wetterdienstes im Gebrauch befindlichen Thermometern handelt es sich um Einschlußthermometer. Für alle Thermometer soll nur gut gealtertes Jenaer Glas verwendet

werden. Zu den Quecksilberthermometern gehören die Stations-, Maximum- und Erdbodenthermometer.

Stationsthermometer (Psychrometer — Thermometer, Abb. 18, 19)

Die Stationsthermometer sind Einschlußthermometer mit $1/5$ -Grad-Teilung und einem Meßbereich (Skala) von -35°C bis $+45^{\circ}\text{C}$.

An das kugelförmige Quecksilbergefäß ist eine Kapillare angeschmolzen. Hinter der Kapillare ist eine Milchglasskala unverschiebbar befestigt. Kapillare und Skala sind von einem durchsichtigen Hüllrohr umgeben, das sich nach dem Gefäß hin verjüngt und dort verschmolzen ist. Die Kapillare ist an ihrem oberen Ende etwas erweitert. Über dem Skalenteil muß die Kapillare möglichst gleichen Querschnitt haben. Der Kapillarraum oberhalb des Hg-Fadens kann nach den neuesten Normvorschriften mit einem trockenen, sauerstofffreien

Gas gefüllt oder gasfrei sein. (Ältere Hg-Thermometer haben keine Gasfüllung.) Die Gasfüllung soll nach Möglichkeit ein Zerreißen des Fadens und ein Überdestillieren verhindern. Das Hüllrohr ist am oberen Ende zugeschmolzen. Den Abschluß am oberen Ende bildet eine festgekittete zylinderförmige Metallkappe.

Es sollen nur Thermometer verwendet werden, die geprüft und mit einem Prüfschein ausgestattet sind.

Als Psychrometer-Thermometer (s. 4.1.) werden zwei der obengenannten Thermometer verwendet, von denen das eine Thermometergefäß mit einem Befeuchtungsstrumpf aus Mull überzogen ist und außerdem ventiliert wird. Die Anordnung gestattet neben der Ablesung der Lufttemperatur die Bestimmung des Dampfdruckes, der rel. Feuchte und des Taupunktes.

Maximum-Thermometer

Das Maximum-Thermometer (Abb. 18, 19) dient zur Feststellung der Höchsttemperatur. Es besitzt eine $\frac{1}{2}$ -Grad-Teilung und einen Meßbereich (Skala) von -30°C bis $+50^{\circ}\text{C}$. In das Quecksilberggefäß ist ein Glasstift eingeschmolzen, der in die Kapillare hineinragt und dort eine Verengung hervorruft. Durch diese Verengung dringt das Quecksilber zwar bei Temperaturerhöhung infolge Ausdehnung in die Kapillare, es kann aber bei sinkender Temperatur ohne zusätzliche Kraft nicht zurückfließen, so daß die Höchsttemperatur am oberen Ende des abgerissenen Quecksilberfadens abgelesen werden kann. Nach jeder Ablesung muß das in der Kapillare befindliche Quecksilber zurückgeschleudert werden. Im übrigen ist der Aufbau wie beim Stations-Thermometer. Das Maximum-Thermometer wird in der Hütte etwas schräg gelagert, wobei das Thermometergefäß ein wenig tiefer liegt.

Erdbodenthermometer (Erdboden-Tiefenthermometer)

Thermometer für geringe Tiefen (bis einschl. 20 cm): An das Thermometergefäß schließt sich ein gerader, senkrecht nach oben führender Schaft, dessen Länge der gewählten Meßtiefe entspricht. Zur besseren Ablesung ist das Thermometer oberhalb dieser Länge, also oberhalb des Erdbodens schräg abgeknickt. Die Mitte des Quecksilberggefäßes muß in der vorgesehenen Meßtiefe liegen; dies ist der Fall, wenn die durch einen Glaswulst am Gefäßschaft gekennzeichnete Tiefenmarke genau mit der Erdoberfläche abschneidet.

Ein eisener Rahmen, auf dem die Thermometer nebeneinander angebracht sind, ist mit seinen beiden Enden in den Erdboden versenkt. Jedes Thermometer berührt nur mit seinem oberen Ende den Rahmen in einem federnden Halter. Der Meßbereich ist je nach Tiefe abgestuft, die Teilung beträgt $\frac{1}{5}$ Grad.

Thermometer für größere Tiefen (bis einschl. 100 cm): Für größere Tiefen werden zur Vergrößerung der thermischen Trägheit Thermometer mit einem großen Quecksilberggefäß benutzt, die in einer mit Handgriff versehenen Holzröhre, neuerdings eine Kunststoffröhre, eingelassen sind. Am unteren Ende ist zum mechanischen Schutz der Thermometer eine Kupferkappe angebracht. Zum Schutz und zur Führung des als Thermometerträger dienenden Holz- oder Kunststoffrohres ist ein Glas-, PVC-, notfalls auch ein Tonrohr in die Erde versenkt, dessen Länge so bemessen ist, daß die Kupferkappe am Ende des Rohres den Erdboden berührt.

Eine über das Schutzrohr übergreifende Schutzkappe mit eingelegtem Filzring verhindert sowohl das Eindringen von Wasser als auch die Entstehung von Luftströmungen innerhalb des Schutzrohres.

Der Meßbereich beträgt -10°C bis $+30^{\circ}\text{C}$, die Teilung $\frac{1}{5}$ Grad.

3.3.2. Alkoholthermometer

Als Meßflüssigkeit verwendet man meist eine organische Flüssigkeit. Um ein Überdestillieren der Flüssigkeit nach Möglichkeit zu unterbinden, soll die Kapillarerweiterung mit Luft oder einem gegenüber der Flüssigkeit indifferenten Gas gefüllt sein. Der Vorteil dieser Flüssigkeitsthermometer gegenüber den Quecksilberthermometern besteht darin, daß man auch Temperaturen unterhalb des Erstarrungspunktes von Quecksilber messen kann. Nachteilig ist vor allem die größere Trägheit, die durch besondere technische Maßnahmen herabgesetzt werden muß.

Flüssigkeitsthermometer werden meist als Minimumthermometer verwandt (Abb. 18, 19). Diese dienen zur Messung von Tiefsttemperaturen. Als Thermometerflüssigkeit verwendet man meist ungefärbten Alkohol. Innerhalb der Anzeigeflüssigkeit der Kapillare befindet sich zur Feststellung der Tiefsttemperatur ein beweglicher, meist rot oder blau gefärbter Glasstift, der bei Temperaturabnahme vom Meniskus der zurückfließenden Flüssigkeit infolge der Oberflächenspannung mitgenommen wird, so daß am rechten Rand des Stiftes die aufgetretene niedrigste Temperatur abgelesen werden kann. Bei steigenden Temperaturen bleibt der Stift liegen und die Flüssigkeit breitet sich seitlich am Stift vorbei aus. Die Länge des Alkoholfadens gibt die momentane Temperatur an. Das Gefäß des Thermometers ist gabelförmig ausgebildet. Dadurch wird die Oberfläche vergrößert und die thermische Trägheit so weit herabgesetzt, daß sie diejenige der Hg-Thermometer erreicht.

Der Meßbereich beträgt -40°C bis $+40^{\circ}\text{C}$, die Teilung $\frac{1}{2}$ Grad. Das Minimum-Thermometer ist immer horizontal zu lagern, um ein selbständiges Gleiten des Stiftes zu vermeiden.

3.3.3. Störungen an Flüssigkeitsthermometern und ihre Beseitigung

1) Abreißen des Fadens an Hg-Thermometern

Das Abreißen des Fadens tritt am häufigsten auf einem Transport durch Erschütterung und Stoß auf. Tritt der Fehler bei Thermometern ohne Gasfüllung im oberen Kapillarraum auf, so läßt sich der Faden wieder vereinigen, indem man das Thermometer einige Male kräftig und ruckweise durch die Luft schwingt, wobei darauf zu achten ist, daß die Skala hochkant stehen muß. Führt diese Behandlung nicht zum Ziel, so kann man das Thermometer mit dem Gefäß auf eine elastische Unterlage aufstauchen.

2) Luft- oder Gasbläschen zwischen zerrissenem Faden von Hg- und Alkoholthermometern

Befindet sich ein Luft- oder Gasbläschen zwischen zerrissenen Fäden, so gelingt es nicht, den Faden mit Hilfe des unter 1) beschriebenen Verfahrens zu vereinigen. Man geht dann folgendermaßen vor: Sitzt ein Bläschen im oberen Teil der Kapillare, so wird das Thermometer im Wasserbad langsam so lange erwärmt, bis der Faden in die obere Kapillarerweiterung gelangt. Meist wandert dann unter Beklopfen des Thermometers das Gasbläschen in die obere Erweiterung. Befindet sich das Gasbläschen im unteren Teil der Kapillare, so darf die Wiedervereinigung des Fadens nur durch Abkühlung des Hg bzw. der Flüssigkeit erfolgen. Man kühlt so lange, bis alles Hg oder alle Flüssigkeit im Thermometergefäß vereinigt ist.

3) Überdestillieren der Füllflüssigkeit

Man erkennt ein Überdestillieren daran, daß sich die Kapillarinne wand und -erweiterung mit der Flüssigkeit beschlägt oder daß sich gar Tröpfchen an ihr bilden.

Zur Beseitigung dieses Fehlers zerreißt man künstlich den Flüssigkeitsfaden durch ruckweises Schleudern des Thermometers. Dann erwärmt man das Thermometer langsam im Wasserbad so lange, bis das abgerissene Fadenstück in den mit berdestillierter Flüssigkeit beschlagenen Kapillarteil eingedrungen ist und sich dort mit dem Beschlag oder den Tröpfchen vereinigt hat. Sodann verbindet man den abgerissenen Fadenteil durch erneute Erwärmung im Wasserbad wieder mit dem Hauptteil der Thermometerflüssigkeit.

Die Erwärmung muß besonders bei gasgefüllten Thermometern vorsichtig vorgenommen werden, weil sonst bei zu großem Druck des Gases im Kapillarraum die Kapillarerweiterung zersprengt wird.

4) Glasstift außerhalb der Flüssigkeit des Minimumthermometers

Das Thermometer wird vorsichtig so lange geschleudert oder auf elastischer Unterlage gestaucht, bis der Glasstift wieder in die Flüssigkeit hineingetrieben ist.

3.4. Deformationsthermometer

3.4.1. Bimetallthermometer

Es besteht aus zwei miteinander verschweißten Metallstreifen, die verschiedene Ausdehnungs-Koeffizienten besitzen (Abb. 19). Da sich Stahl gut verschweißen läßt, ist die Kombination von zwei verschiedenen Stahlarten am günstigsten. Das Meßprinzip besteht darin, daß sich bei Temperaturänderungen die beiden Metalle verschieden stark in ihrer Ausdehnung ändern und dadurch zu einer Verbiegung des Bimetalles führen. Diese Krmmungsbewegung wird auf ein Anzeigegerät übertragen. Das eine Ende des meist fast geschlossenen, kreisförmigen Bimetalls ist fest mit dem Gerät verbunden, während das andere Ende frei beweglich ist. Der Ausschlag des freien Endes ist bei gleicher Temperaturänderung um so größer, je dünner und je länger das Bimetall ist und je größer der Unterschied der Wärmeausdehnungs-Koeffizienten der beiden Lamellen ist, die den Streifen bilden.

3.4.2. Bourdonrohr

Das Bourdonrohr (Abb. 19) hat als Thermometerkrper ein dünnwandiges, elastisches Metallrohr, das kreisbogenförmig gekrümmt ist und fast den Querschnitt einer flachen Ellipse besitzt. Es ist mit einer thermometrischen Flüssigkeit gefllt; Temperaturschwankungen bewirken durch die verschieden starke Ausdehnung des Metalls und der Flüssigkeit eine Krümmungsänderung des Rohres.

Das Bourdonthermometer besitzt im Vergleich zum Bimetallthermometer eine größere Trägheit. Es ist auch gegen mechanische Beschädigungen empfindlicher als das Bimetallthermometer und wird heute praktisch nicht mehr verwandt, höchstens noch bei Fernthermographen mit Kapillarleitung, bei denen das Bourdonrohr mit Quecksilber gefllt ist.

3.4.3. Thermograph (Temperaturschreiber)

Allgemeines

Der Thermograph (Abb. 20, 21) dient der laufenden Registrierung der Lufttemperatur. Er wird im allgemeinen in der Thermometerhütte aufgestellt.

Meßprinzip und Aufbau

Als Meßfühler dient ein fast ringförmiges Bimetall, das sich bei Temperaturänderungen streckt oder krümmt. Diese temperaturabhängige Bewegung wird von einem am freien Ende des Bimetalls angebrachten Hebel über eine Schubstange auf ein Hebelsystem und

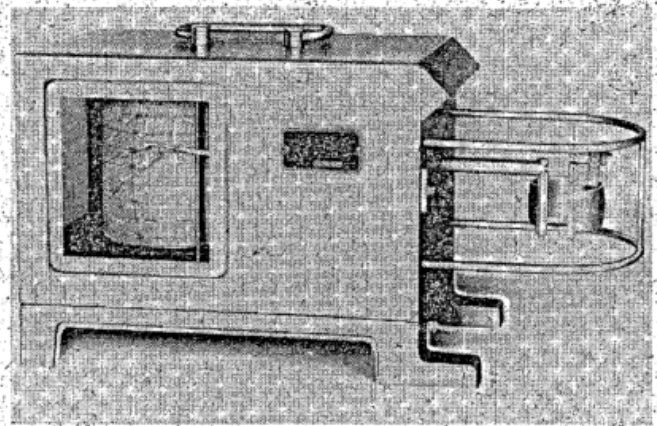


Abb. 20
Thermograph (Meteil außen)

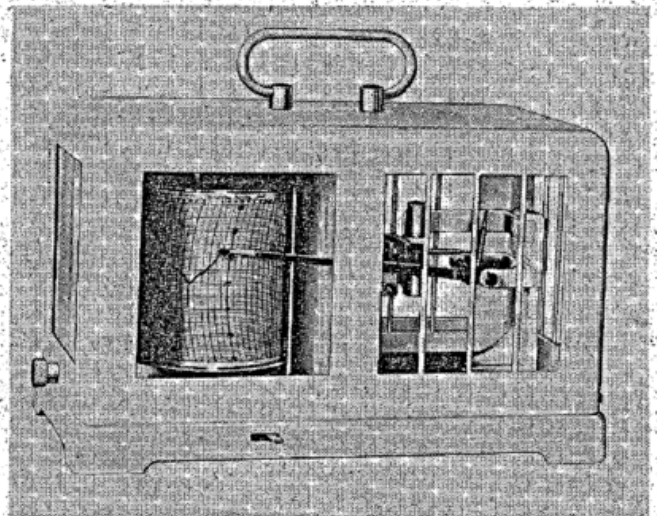


Abb. 21
Thermograph (Meteil innen)

von diesem auf einen Schreibarm mit Schreibfeder übertragen. Alle Lagerstellen bestehen aus korrosionsbeständigen Werkstoffen.

Die Schreibfeder liegt durch das Eigengewicht des Schreibarmes mit stets gleichem Druck am Registrierstreifen an und kann durch einen Hebel von außen abgehoben werden.

Das Meßelement (Bimetall) ist so angeordnet, daß es von der Luft ungehindert umspült werden kann.

Das Metallgehäuse hat einen wetterfesten Schutzanstrich. Das mit Scharnieren angesetzte Oberteil kann zur Bedienung hochgeklappt werden. Die Umlaufzeit der Schreibtrommel kann wahlweise eine Woche oder einen Tag betragen. Die Einstellung des Schreibarmes mit Feder auf den richtigen Temperaturwert erfolgt durch Änderung der Schubstangenlnge mittels einer dafür vorgesehenen Rändelmutter am freien Ende des Bimetalls.

Die Amplitudenjustierung erfolgt durch die Veränderung der Länge des Hebels, mit dem die Schubstange an der Schreibhebelachse angreift. Die Meßgenauigkeit der Thermographen beträgt etwa $\pm 0,2$ bis $0,3$ Grad.

3.5. Elektrische Thermometer

3.5.1. Widerstandsthermometer

Bei dieser Art von Thermometern wird die Eigenschaft der Metalle (Kupfer, Nickel oder Platin), bei Temperaturerhöhung ihren elektrischen Widerstand zu vergrößern, ausgenutzt.

Am häufigsten wird Platin verwendet. Ein Platinfühler mit einem Widerstand von 100 Ohm und einer Temperatur von 0° C ändert seinen Widerstand um ca. 0,4 Ohm pro 1 Grad. Er eignet sich für einen Temperaturbereich von -200° C bis +500° C.

Es gibt Platinmeßwiderstände in verschiedener Ausführung:

1) Frei ausgespannte Platindrähte von 0,02 bis 0,03 mm Durchmesser; sie liefern verstrahlungsfreie Lufttemperaturen, sind aber für Routinemessungen im allgemeinen wegen ihrer mechanischen Empfindlichkeit wenig geeignet.

2) Ein Platindraht, der um einen dünnen Glimmerstreifen gewickelt ist. Diese Anordnung ist betriebssicherer als die unter 1) beschriebene.

3) In Glas oder Keramik eingeschmolzener Meßdraht. Länge und Dicke der Ausführungen sind verschieden. In dieser Form werden die Meßfühler meist für Fernmeßanlagen an Flugwetterwarten und Wetterwarten verwendet. Wegen der schlechten Wärmeleitfähigkeit des Glases ist die Trägheit dieser Fühler größer als bei 1) und 2); sie liegt in derselben Größenordnung wie bei den Quecksilberthermometern.

Zu den Widerstandsthermometern gehören auch die Halbleiterelemente, die u. a. für agrarmeteorologische und aerologische Messungen verwendet werden. Die ge-läufigsten Bezeichnungen für diese Elemente sind Thermistore oder NTC-Widerstände. Im Gegensatz zu den Metallen, bei denen der Widerstand mit wachsender Temperatur nur wenig zunimmt, erfolgt bei den Halbleitern, die einen negativen Temperaturkoeffizienten besitzen, eine Widerstandsabnahme nach einer exponentiellen Funktion mit zunehmender Temperatur. Als Material wird eine Mischung aus Magnesium- und Titanoxyd oder aus Magnesium- und Nickeloxyd genommen. Die äußere Form richtet sich nach dem Verwendungszweck. Gewöhnlich werden für Temperaturmessungen dünne Stäbchen verschiedener Stärke und Länge geliefert, die als Stabthermistore bezeichnet werden, oder in Form von kleinen Kügelchen als Kugel- oder Perlt-hermistore mit einem Durchmesser von etwa 1 mm. Trotz des etwa zehnmal größeren negativen Temperaturkoeffizienten (NTC) der Thermistore haben diese die Platinwiderstandsthermometer noch nicht verdrängt, weil es noch nicht gelungen ist, für alle NTC-Widerstände die gleiche Eichkurve zu erreichen und die Widerstände auch über längere Zeit konstant zu erhalten. Dies ist wichtig wegen der Austauschbarkeit beim Ausfall der Geräte.

Die Messung des Widerstandes von Platinfühlern oder von Halbleitern geschieht in einer Brückenschaltung nach WHEATSTONE. Die entsprechenden Vorgänge werden in Abbildung 22 erläutert. W_2 , W_3 und W_4 sind temperaturunabhängige Widerstände aus Konstantan oder Manganin; W_x ist der Widerstand des Platinfühlers bzw. Halbleiters. An A und B wird eine Spannung gelegt, die durch die beiden Zweige der Brücke einen Strom von nur wenigen Milliampere fließen läßt, um die Temperatur nicht durch die Stromwärme zu verfälschen. Das Galvanometer in der Diagonalen der Brücke zwischen C und D zeigt keinen Ausschlag, wenn die Verhältnisse W_x/W_2 und W_3/W_4 gleich sind. Ändert sich W_x mit der Temperatur, so ist die Brücke nicht mehr im Gleichgewicht. Das Galvanometer schlägt aus. Die Skala wird direkt in °C geteilt. Da unter bestimmten Umständen die Zuleitung vom Meßfühler zum Meßgerät sehr groß werden kann, muß der Widerstand der elektrischen Zuleitungskabel beim Abgleichen des Meßgerätes berücksichtigt werden, um Meßfehler auszuschalten.

Vielfach wird bei Widerstandsthermometern nicht die hier beschriebene Ausschlagsmethode angewandt, da bei

ihr jede Änderung im Brückenbereich, sei es nun eine Änderung der angelegten Spannung oder der Leitungswiderstände, die Anzeige beeinflusst. Man arbeitet viel-

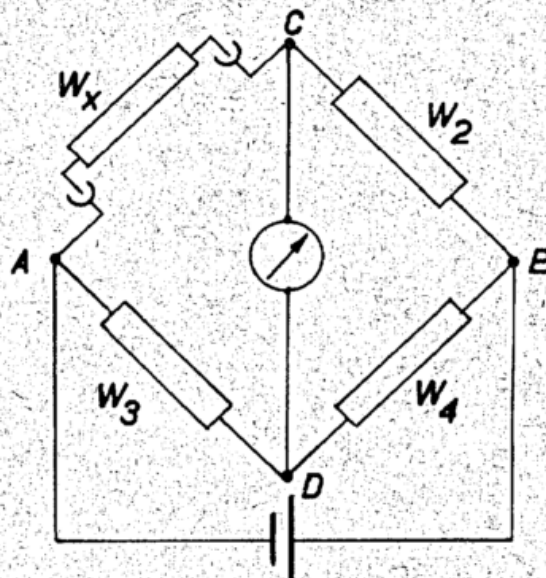


Abb. 22
Brückenschaltung mit Ausschlagsmethode

mehr nach der Nullmethode (Abb. 23). Der Brücken-zweig W_3/W_4 wird durch ein Potentiometer ersetzt, dessen Schleifer den Punkt D bildet. Dieses Potentiometer wird nun so eingestellt, daß W_x/W_2 gleich W_3/W_4 ist; dies ist bei Ausschlag Null der Fall. Die Stellung des Potentiometerschleifers gibt dann das Widerstandsverhältnis und damit die Größe von W_x an. Die Potentiometerskala kann direkt in Temperatureinheiten geeicht werden. Da

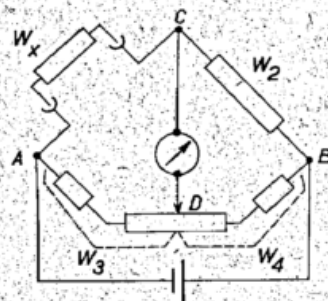


Abb. 23
Brückenschaltung mit Nullmethode

nur die Abweichung von Null beobachtet wird, kann ein viel empfindlicheres Brückeninstrument verwandt werden, was der Genauigkeit der Messung zugute kommt. Änderungen der angelegten Spannung haben bei der Nullmethode keinen Einfluß, solange sie in Grenzen bleiben; natürlich darf die Stromquelle nicht ganz ausfallen.

Sind die Zuleitungskabel starken Temperaturschwankungen und damit größeren Änderungen ihres Widerstandes ausgesetzt, so ist die Dreileiterschaltung nach Abb. 24 anzuwenden, bei der sich temperaturbedingte Widerstandsänderungen in den Außenleitern aufheben.

Sollen mehrere Meßfühler (Widerstandsmeßfühler) angeschlossen werden, so schaltet man nach Abbildung 25, wobei alle Brücken-zweige fest angeschlossen bleiben und nur in der Diagonalen umgeschaltet wird. Hiermit werden Fehlmessungen durch Übergangswiderstände im Schalter vermieden, weil im Augenblick der Messung kein Strom fließt.

Für Registrierungen mittels Kompensographen sind automatische abgleichende Meßbrücken mit Verstärker und Nullmotor in Gebrauch (s. a. 15.4.).

Elektrische Thermometer werden besonders für Fernmessungen bzw. -registrierungen verwendet (s. a. 5. Tetalux-Anlage).

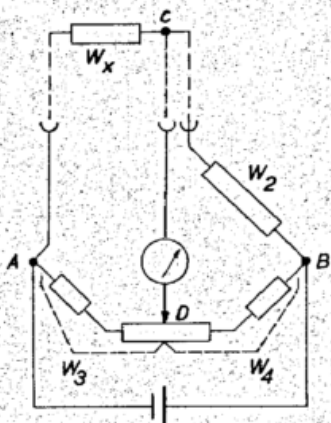


Abb. 24

Brückenschaltung mit Nullmethode und Dreileiterschaltung

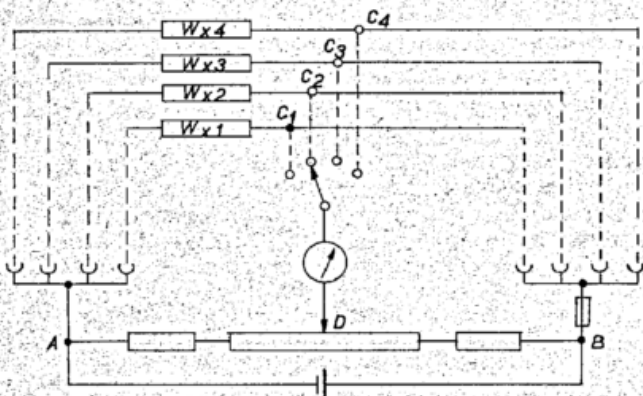


Abb. 25

Schaltung für mehrere (hier vier) Meßfühler

3.5.2. Thermoelemente

Eine andere Methode der elektrischen Temperaturmessung beruht auf der Tatsache, daß in einem Stromkreis, der aus zwei verschiedenen Metallen gebildet ist, an den beiden Verbindungsstellen jeweils eine Kontaktspannung entsteht. Diese Kontaktspannung entsteht durch die Elektronenwanderung, die in jedem Leiter stattfindet, an der Berührungsstelle zweier Metalle jedoch von der einen Seite leichter, von der anderen schwerer möglich ist. Haben die beiden Berührungsstellen die gleiche Temperatur, so heben sich die Kontaktspannungen auf. Bei einer Temperaturdifferenz zwischen den beiden Berührungsstellen wird dieses Gleichgewicht gestört, eine Kontaktspannung überwiegt, und es fließt ein Strom. Die Differenz der beiden Kontaktspannungen wird Thermospannung, die Anordnung Thermoelement genannt (Abb. 26). Die Größe der Thermospannung ist von der Temperaturdifferenz und der Wahl der beiden Metalle abhängig. Meist werden auf der einen Seite Kupfer, auf der anderen Konstantan verwandt. Da es sich um eine Differenzmessung handelt, ist eine Temperaturmessung nur möglich, wenn die Temperatur einer der beiden Verbindungsstellen bekannt ist.

Der Aufbau der Thermoelemente ist aus Abbildung 26 ersichtlich. Mit jedem Ende eines Konstantandrahtes

ist z. B. ein Kupferdraht verbunden (Lötung, Schweißung, Quetschung oder andere Verbindungsart), so daß man die beiden Berührungsstellen S_1 und S_2 erhält. Die

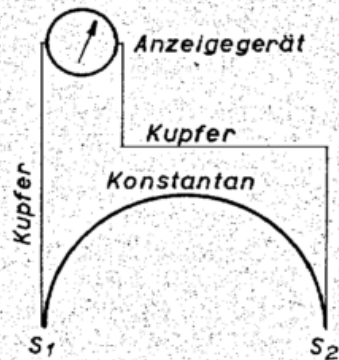


Abb. 26

Thermoelement mit Anzeigegerät (Schema)

freien Kupferenden sind nicht direkt miteinander verbunden, der Stromkreis wird vielmehr über die Zuleitungsdrähte und das Anzeigegerät geschlossen.

Hält man nun die Berührungsstelle S_2 auf konstanter Temperatur, z. B. auf 0°C , die Berührungsstelle S_1 auf Lufttemperatur, so kann aus der entstehenden Thermospannung die Lufttemperatur bestimmt werden.

Der Vorteil der Thermoelemente besteht darin, daß die Temperatur örtlich getrennt von der Meßstelle angezeigt oder registriert werden kann, ohne daß eine besondere Hilfsstromquelle erforderlich ist. Sie werden besonders dort verwendet, wo Flüssigkeits- und Widerstandsthermometer nicht gebraucht werden können, z. B. für mikrometeorologische Studien und zur Bestimmung von Oberflächentemperaturen. Zur Erreichung einer größeren Gesamtspannung werden mehrere Thermoelemente zu einer sogenannten Thermosäule oder Thermobatterie hintereinander geschaltet.

3.6. Strahlungsthermometer (Infrarot-Thermometer)

Strahlungsthermometer messen die von der Oberfläche eines Körpers ausgehende Wärmestrahlung. Um die wahre Oberflächentemperatur messen zu können, muß die Messung in einem Spektralbereich erfolgen, in dem die Wärmestrahlung keiner Absorption durch Wasserdampf oder andere Luftbestandteile unterliegt und der Einfluß der reflektierten Sonnenstrahlung ausgeschaltet wird. Vielfach benutzt man bei Infrarotthermometern den Spektralbereich zwischen 8 und 14μ , das sogenannte „Atmosphärische Fenster“, das keine Wasserdampf- und Kohlendioxidabsorptionsbanden aufweist und praktisch außerhalb des Einflußbereiches der reflektierten Sonnenstrahlung liegt.

Das Infrarotthermometer besteht im wesentlichen aus einem Filter, das nur in dem oben erwähnten Spektralbereich durchlässig ist und einem Bolometer, d. h. einem durch die Strahlung erwärmten, sehr empfindlichen elektrischen Meßfühler.

Infrarotthermometer werden z. B. bei der berührungslosen Temperaturmessung von Blattoberflächen, der Messung der Oberflächentemperaturen des Bodens oder des Wassers von Flugzeugen oder Satelliten aus verwendet.

4. Die Messung der Luftfeuchtigkeit

4.1. Psychrometer

Das Psychrometer besteht aus einem „trockenen“ und einem „feuchten“ Thermometer. Es arbeitet nach folgendem Prinzip:

In einer mit Wasserdampf nicht gesättigten Luft verdunstet flüssiges Wasser. Zur Verdunstung wird Wärmeenergie benötigt, die der Umgebung entnommen wird und zu deren Abkühlung führt. Die Verdunstung und somit die Abkühlung ist umso größer, je trockener die Luft und je größer damit die Verdunstungsmöglichkeit ist. Beim Psychrometer gibt das eine, stets feucht gehaltene Thermometer („feuchtes Thermometer“) aufgrund der Verdunstung Wärmeenergie ab; dabei sinkt die Temperatur des feuchten Thermometers. Gleichzeitig wird Wärme aus der Luft zugeführt. Wenn sich Wärmeabgabe durch Verdunstung und Wärmezufuhr aus der Luft das Gleichgewicht halten, bleibt die Temperatur des feuchten Thermometers konstant. Der Temperaturunterschied zwischen dem trockenen und dem feuchten Thermometer wird so zu einem Maß für die Luftfeuchtigkeit. Je größer das Sättigungsdefizit und somit die Trockenheit der Luft ist, desto größer ist auch die sogenannte psychrometrische Differenz der Thermometerablesungen. Zur Beschleunigung des Ausgleichsvorganges wird mittels eines besonders konstruierten Ventilators, des Aspirators, ein gleichmäßiger Luftzug von 2—3 m/s an der Kugel des feuchten Thermometers erzeugt. Der Aspirator wird durch ein Uhrfederwerk bzw. Elektromotor betrieben.

Das Hüttenpsychrometer (Abb. 18)

Die für das Psychrometer verwendeten Quecksilberthermometer sind unter 3.3.1. beschrieben. Sie werden an einem oberen und einem unteren Thermometerhalter befestigt, die beide an einer in der Hütte befindlichen senkrechten Stange angebracht sind.

Das „trockene“ Thermometer ist im oberen Halter links festgeklemmt und ragt durch den Ring des unteren Halters. Das „feuchte“ Thermometer ist im oberen Halter rechts festgeklemmt und ragt in das Glasansatzrohr des unteren Halters hinein. Die Einführungsstelle wird durch einen Lederring abgedichtet. Die Kugel des feuchten Thermometers ist mit einem Schlauchgewebe überzogen; es soll fest am Quecksilbergemäß anliegen. Vor der Messung ist es anzufeuchten.

Am unteren Halter befindet sich oberhalb des Glasansatzrohres ein Ansatzstück, auf den der Aspirator zum Belüften des feuchten Thermometers aufgesetzt wird. Nach beendeter Messung werden der Aspirator abgenommen und die Öffnungen des Glasansatzrohres und des Ansatzstückes durch Korken abgedichtet. Durch das Abdichten wird die Feuchtigkeit am Gewebeüberzug des feuchten Thermometers erhalten.

Der Aspirator ist monatlich einmal zu überprüfen (s. Anleitung für den Beobachter an den Klimahauptstationen).

Aspirations-Psychrometer nach ASSMANN

Nach dem gleichen Prinzip arbeitet auch das Aspirationspsychrometer nach ASSMANN (Abb. 27). Der Strahlungsschutz wird jedoch hier dadurch gewährleistet, daß beide Thermometer von reflektierenden Metallrohren umhüllt werden. Ein am oberen Ende des Gerätes angebrachter Ventilator saugt den Luftstrom gleichmäßig an beiden Thermometern vorbei, so daß auch das trockene Thermometer ventiliert wird. Mit diesem Aspirationspsychrometer können auch im Freien außerhalb der Hütte Messungen durchgeführt werden. Wenn das Gerät in voller Sonne richtig anzeigen soll, muß der Ventilatorstrom mindestens 1,7 m/s betragen.

4.2. Hygrometer

Die Eigenschaft des menschlichen Haares, sich bei Wasseraufnahme auszudehnen und bei Wasserentzug zu verkürzen, wird in Hygrometern zum Messen der relativen Feuchte verwendet. Der Betrag der Längenänderung folgt ungefähr der von GAY-LUSSAC ge-

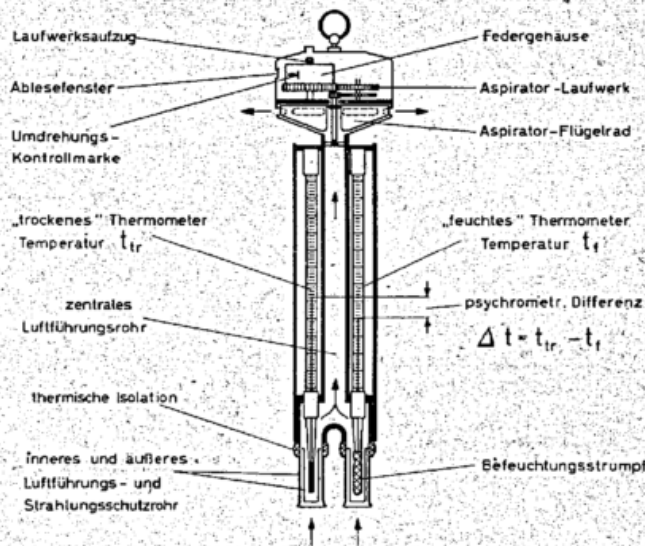


Abb. 27
Schema eines Aspirations-Psychrometers

fundenen Abhängigkeit, d. h. es ergeben sich größere Änderungen bei niedrigen Luftfeuchten, dagegen kleinere Änderungen bei hohen relativen Feuchten.

Als Meßfühler werden nur gut entfettete Haare verwendet. Sie dürfen keinesfalls gedehnt oder gar überdehnt werden. Verschmutzung und Kälte behindern die Reaktionsfähigkeit der Haare.

Haarhygrometer gibt es in verschiedenen Ausführungen (Abb. 28). In einem solchen Instrument ist ein

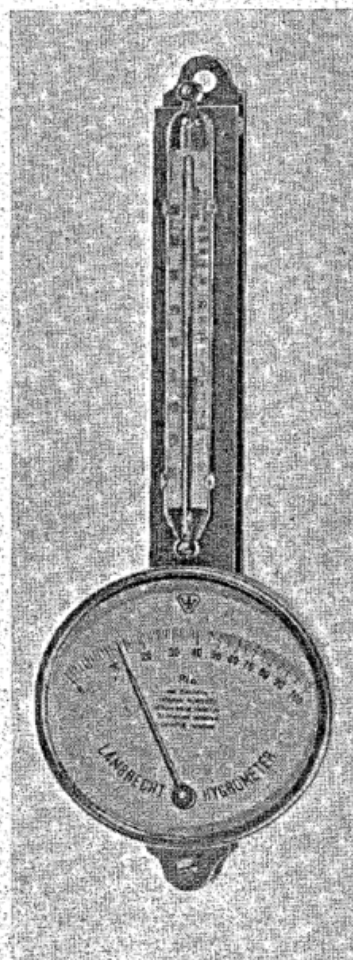


Abb. 28
Hygrometer in Polymerform

Bündel von präparierten Haaren an einem Ende fest eingespannt, während das andere Ende an einer Blattfeder befestigt ist, die mit dem Gehäuse verbunden ist. Die Stellung der Blattfeder und damit der Aufhängepunkt des Haares kann mittels einer Schraube (Stand-schraube) verändert werden. Das untere Ende des Haares ist am Ende einer als Amplituden-Hebel wirkenden Schraube befestigt, die auf der Zeigerachse sitzt und die Längenänderung des Haares auf den Zeiger überträgt. Hinter dem Zeiger befindet sich die in Feuchteprozent geteilte Skala.

Zur Überprüfung der Eichung dient der als Transportschutz beigegebene Metallhohlzylinder, der innen mit einem Filzbelag ausgekleidet ist. Der Zylinder wird ca. 1 Minute in destilliertes Wasser getaucht, bis der

Filzbelag gut angefeuchtet ist und wird dann von oben über die Deckplatte bis auf den Fuß des Gerätes geschoben.

Der Zeiger soll nach einiger Zeit 96% relative Feuchte anzeigen, andernfalls ist er mit der Standschraube auf 96% einzustellen.

4.3. Hygrograph

Der Hygrograph (Abb. 29) dient zur Messung und zeitgerechten Registrierung der relativen Feuchte. Als Meßfühler werden allgemein Menschenhaare verwendet. Teilweise sind auch sogenannte Pernixhaare im Gebrauch. Das sind Haare, die eine mechanische Vorbehandlung durch Walzen derart erfahren haben, daß ihre

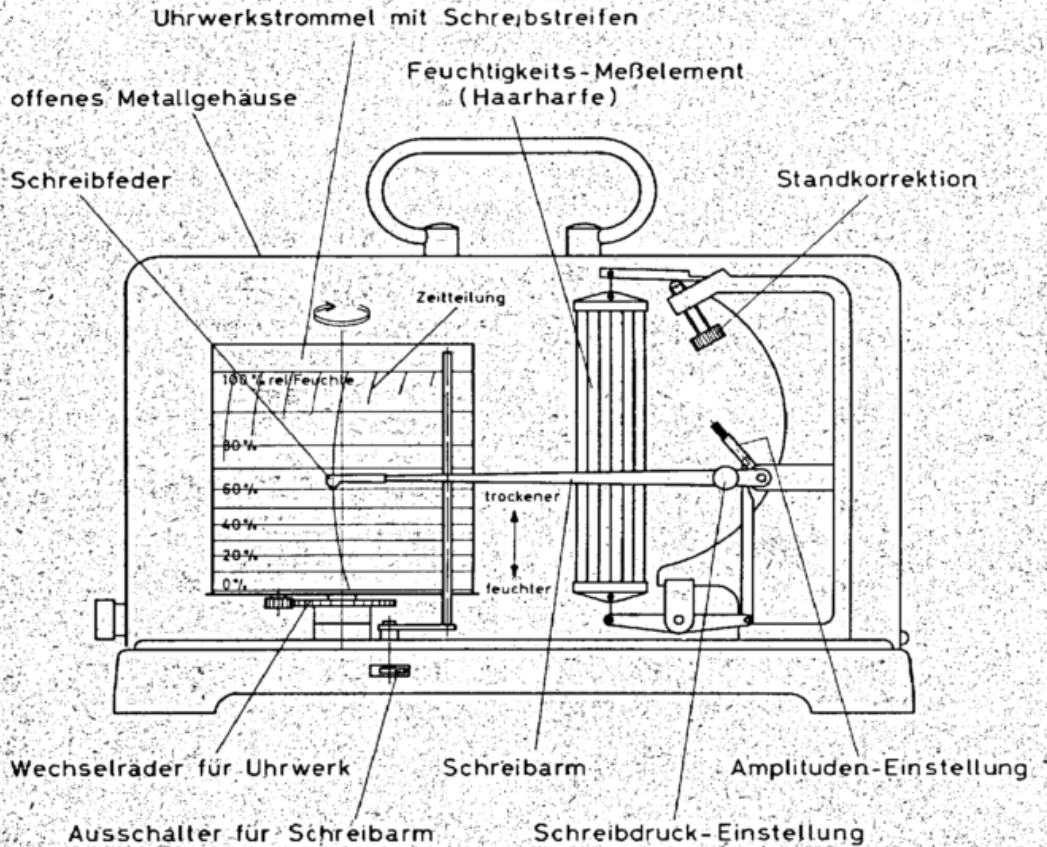


Abb. 29
Schema eines Hygrographen

äußere Schicht (Keratin-Schicht) zum Teil zerquetscht wurde. Dadurch wird ihre Trägheit geringer, aber auch ihre Ausschlagcharakteristik wird verändert, so daß für Pernix-Haare besondere Registrierstreifen benötigt werden.

Ebenso wie bei Hygrometern sind auch bei Hygrographen die Meßfühler vor Dehnung oder Zerrung zu bewahren, da sie andernfalls als Feuchte-Indikatoren unbrauchbar werden. Zur Registrierung der Luftfeuchtigkeit werden Hygrographen in der Klimahütte, also belüftet, aber sonnen- und niederschlagsgeschützt aufgestellt.

Bei allen Hygrographen der verschiedenen Fabrikate wird der Ausschlag des Meßfühlers über ein verstellbares Hebelgetriebe auf einen Zeiger mit Schreibfeder übertragen. Diese Schreibfeder zeichnet auf einer mit Registrierpapier bespannten, uhrwerksgetriebenen Trommel die relative Feuchte laufend auf. Bei der Eichung wird jeder einzelne Meßfühler durch Veränderungen am Übertragungsmechanismus auf den vorge-

gebenen Registrierstreifen abgeglichen. Die Stellung der Amplitudenschraube ist maßgebend für die Vergrößerung des Meßfühler-Ausschlages; mit der Standschraube, die als einzige vom Beobachter in gewissen Fällen bedient werden darf, werden Korrekturen der Anzeige bei Vergleichsmessungen, z. B. bei der Überprüfung des 96%-Wertes, vorgenommen.

Zeitmarken dürfen nur durch Bewegung des Schreibarmes in Richtung auf niedrigere Feuchte angebracht werden, da sonst der Meßfühler gedehnt wird. Die Schreibfeder kann von außen durch einen Ausrücker, der auf den Schreibarm wirkt, vom Papier abgehoben werden. Für den Transport des Gerätes wird der Schreibarm zum Zweck der Vermeidung mechanischer Belastungen des Fühlers so an den Ausrücker angebunden, daß die Schreibfeder etwa auf 10% relative Feuchte zeigt.

Die Registriertrommel ist nach dem Hochklappen des Gehäuse-Deckels zugänglich. Sie ist mit einer Rändelmutter auf der Achse befestigt und zum Transport aus dem Gerät zu entfernen.

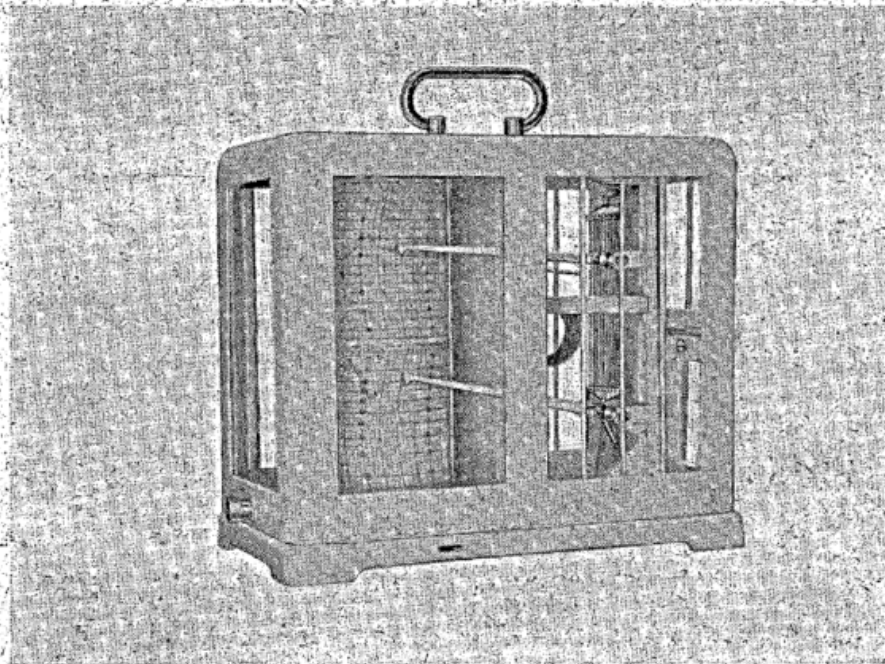


Abb. 30
Thermo-Hygrograph (Meßelemente innen)

Die im Deutschen Wetterdienst gebräuchlichen Hygrographen unterscheiden sich im wesentlichen durch die Form und die Anbringung der Meßfühler voneinander.

Bei dem in Abbildung 29 dargestellten Gerät wird eine Haarharfe als Meßfühler verwendet, die senkrecht hängt und im wesentlichen durch das Gewicht des Schreibarmes gespannt wird. Diese Haarharfe ist an einem Metallbügel angebracht. Die Standkorrekturschraube befindet sich an diesem Metallbügel.

Der Schreibfederdruck ist mittels einer Rändelschraube am rechten Ende des Schreibarmes einzustellen.

Die 96⁰/₁₀-Kontrolle erfolgt durch Einhüllen des Gerätes mit einem feuchten Tuch.

4.4. Thermohygrograph

Der Thermohygrograph ist eine Kombination aus den vorher beschriebenen Thermographen und Hygrographen.

Er registriert die Temperatur und die relative Luftfeuchte auf einem gemeinsamen Schreibstreifen (Abb. 30, 31).

5. Die Tetalux-Anlage

5.1. Allgemeine Hinweise

Die Tetalux-Anlage wird für die fernelektrische Anzeige von Temperatur- und Taupunkt-Meßwerten überall dort eingesetzt, wo zwischen Meßfühler und Anzeige größere Entfernungen liegen und die Meßwerte fortlaufend benötigt werden. Der Name Tetalux ist eine Abkürzung aus **Temperatur, Taupunkt und Lux** (Licht).

Die Anlage besteht aus einem, nach der Nullmethode (s. Abschn. 3, Abb. 23, 24, 25) arbeitenden Lichtmarken-Anzeigegerät mit eingebauter Brückenschaltung, den elektrischen Widerstandsmeßfühlern für Temperatur und Taupunkt sowie dem Fernmeßkabel, den Kabelanschlußdosen bzw. Verteilerkästen und den Haltern für die Meßfühler.

Die Tetalux-Anlage ist in ihrer Normalausführung für den Anschluß von 5 Meßstellen ausgelegt, kann aber bei

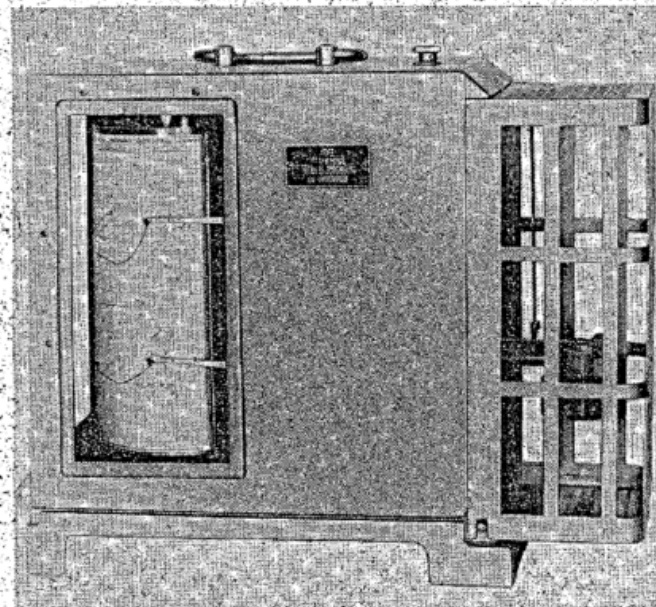


Abb. 31
Thermo-Hygrograph (Meßelemente außen)

Bedarf auch für eine größere Anzahl von Meßstellen vorgesehen werden. In Abbildung 32 ist der Kabelplan einer derartigen Tetalux-Anlage dargestellt. Für den Einsatz auf Schiffen wird zwecks Ausschaltung der durch Seegang und Schiffsschwankungen verursachten Lichtmarkenbeeinflussung ein stärker gedämpftes Anzeigemeßwerk in Verbindung mit einem vorgeschalteten elektronischen Verstärker benutzt. Gleichzeitig wird bei diesem unter der Bezeichnung „Tetatic“ in Gebrauch befindlichen Anzeigegerät die Brückenspannung in regelmäßigem Takt unterbrochen (Tickgeräusch), wobei die Lichtmarke jedesmal kurzzeitig in ihre Nullage zurückschwingt.

Beide Gerätetypen enthalten einen Netzteil für die Versorgungsspannungen (Beleuchtung, Beheizung der Taupunktmeßfühler, Speisung der Brückenschaltung).

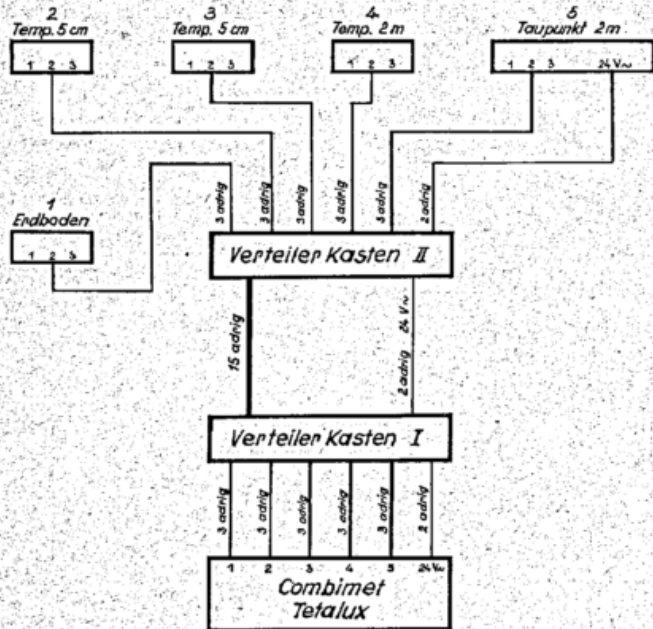


Abb. 32
Kabelplan einer Tetalux-Anlage

5.2. Temperaturmeßfühler

Aufgabe und Meßprinzip von Widerstandsthermometern wurden bereits in Abschnitt 3.5.1. allgemein behandelt. Als Temperaturmeßfühler für die Tetalux-Anlage werden sogenannte Platin-Hartglas-Widerstände verwendet. Die temperaturabhängige Änderung des Widerstandes einer Platindrahtwicklung wird dabei für die Erfassung der Temperatur benutzt. Der Widerstand der Wicklung ist in genormter Ausführung auf 100 Ohm bei 0°C abgeglichen. Bei den in verschiedenen Abmessungen (z. B. 50 mm lang, 5 mm Durchmesser oder 30 mm lang, 3 mm Durchmesser) lieferbaren Hartglas-Meßwiderständen ist die Platindrahtwicklung bifilar (zweidrähtig) auf einem Hartglasstab angeordnet und mit einer dünnen Glasschicht umschmolzen. Wenn die an einem Ende herausgeführten Anschlußdrähte gegen Feuchtigkeit geschützt in einem geeigneten Halter aus Isolierstoff mit dem Anschlußkabel verbunden werden, sind derartige Meßfühler auch im Freien sehr betriebs-sicher. Sie werden je nach ihrer Verwendung als Hüt-ten- und Erdbodenthermometer (5 cm) über eine was-serdichte Kabelanschlußdose oder über einen entspre-chenden Kabelkasten mit dem Fernmeßkabel (Erdka-bel) verbunden. Da die Widerstandsänderung für je 10 Grad nur etwa 3,9 Ohm beträgt und eine Meßgenau-igkeit von 0,1 grad (entspr. 0,039 Ohm) angestrebt wird, müssen alle Kabelverbindungen durch Lötung erfolgen. Für strahlungsgeschützte Messungen der Lufttemper-atur im Freien wurde beim Instrumentenamt Hamburg eine Kugelhütte mit doppeltem Strahlenschutz entwik-kelt, die sich besonders auf Flughäfen und an Bord von Schiffen bewährt hat (Abb. 33). In der Kugelhütte ist der Meßwiderstand senkrecht unter zwei übereinander angebrachten Aluminium-Halbschalen angeordnet. Von der Unterseite her ist der Meßfühler ebenfalls gegen Niederschlags- und Strahlungseinwirkung durch zwei kleinere Halbschalen geschützt. Die Belüftung erfolgt über einen zwischen Ober- und Unterschale vorhande-nen Ringschlitz. Der Luftaustausch innerhalb des obern Schalenraumes wird durch gegen Niederschlag abge-deckte Öffnungen in den oberen Halbschalen sicherge-stellt. Mit wenig Materialaufwand und daher geringster Eigenwärmekapazität wird durch die Kugelform ein sehr wirksamer Schutz gegen Strahlungs- und Nieder-schlagseinflüsse sowie ein festigkeitsmäßig solider me-chanischer Aufbau erreicht.

Da die Kugelhütte über ein Tragrohr mit der gleich-zeitig als Halterung dienenden Kabelanschlußdose ver-bunden ist, wird eine weitgehend unbeeinflusste Mes-sung der Lufttemperatur ermöglicht. Vergleichsmes-sungen mit frei in Thermometerhütten angebrachten Meßfühlern ergaben bei extrem starker Einstrahlung und geringer Windgeschwindigkeit eine Überlegenheit

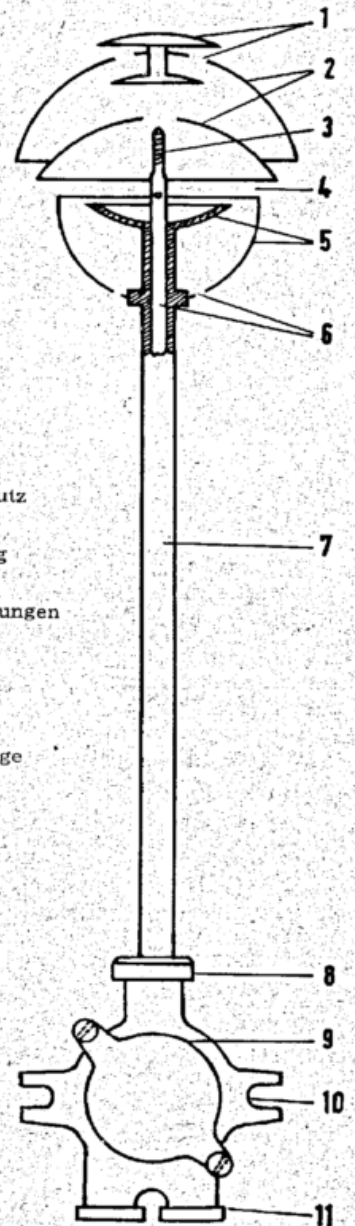


Abb. 33
Schema der Kugelhütte (nach BAUMBACH)
mit Temperaturmeßfühler

der Kugelhütte. Infolge der Kugelform bleibt auch bei starkem Schneefall und bei Rauheis der Ringschlitz frei, so daß die Kugelhütte bei elektrischen Fernmeß-anlagen die Thermometerhütte ersetzen kann.

Für fernelektrische Messungen der Wassertemperatur, z. B. an Bord von Schiffen, ist der Platin-Hartglas-Widerstand in einem Hüllrohr aus rostfreiem Stahl ange-bracht, das mit einem Einschraubgewinde (1/2" R) ver-sehen ist. Das Oberteil derartiger Wassertemperatur-Meßfühler besteht entweder aus einer wasserdichten Kabelanschlußdose oder aus einem Stopfbuchsen-Ka-belanschluß. Eine Bleischauch-Ausführung kann auch für fernelektrische Erdbodentemperatur-Messungen in verschiedenen Tiefen verwendet werden.

5.3. Taupunktmeßfühler mit Schutzhütte (Labyrinthhütte)

Zur Bestimmung der für den Feuchtigkeitsgehalt der Luft und besonders für die Sicht- und Nebelvorhersage maßgebenden Taupunkttemperatur werden für die fernelektrische Messung Taupunktmeßfühler verwendet, die nach einem elektrolytischen Prinzip arbeiten.

Ihre Funktion beruht darauf, daß gesättigte Lithiumchloridlösung (LiCl-Lösung) einen erheblich niedrigeren Sättigungs-Dampfdruck als Wasser der gleichen Temperatur besitzt und gleichzeitig durch Absorption ständig Wasser aus der Umgebungsluft aufnimmt.

Bei Erwärmung steigt der Sättigungsdampfdruck an, und die Absorption wird geringer. Feuchtes LiCl leitet im Gegensatz zum trockenen LiCl den elektrischen Strom gut.

Wenn eine feuchte LiCl-Schicht über einer Elektrodenanordnung an einer elektrischen Spannung liegt, fließt ein elektrischer Strom, der die Schicht erwärmt und trocknet. Sobald dabei der Dampfdruck der Umgebungsluft überschritten wird, gibt die LiCl-Lösung Wasserdampf ab. Gleichzeitig nimmt dann ihr elektrischer Widerstand zu und der geringer werdende Heizstrom läßt die Temperatur und damit den Dampfdruck wieder absinken. Beim Überschreiten des Dampfdruckgleichgewichtes absorbiert das LiCl wieder Wasserdampf aus der Umgebungsluft, der elektrische Widerstand wird geringer, und der Heizstrom steigt wieder an.

Auf diese Weise wird ständig der Gleichgewichtszustand zwischen dem Dampfdruck der LiCl-Lösung und dem Dampfdruck der Umgebungsluft erhalten. Die mit einem Platin-Meßwiderstand gemessene Gleichgewichts- oder Umwandlungstemperatur der LiCl-Lösung ist auf diese Weise abhängig vom Dampfdruck der Umgebungsluft und steht daher in eindeutiger Beziehung zu ihrer Taupunkttemperatur. Die Umwandlungstemperatur liegt etwa 20—60 grd höher als die Taupunkttemperatur.

Die Genauigkeit der Einstellung der Gleichgewichtstemperatur ist abhängig von den physikalischen Eigenschaften der LiCl-Lösung, von der vorhandenen Ventilation und in bestimmter Weise vom Aufbau des Meßfühlers.

Die beim Deutschen Wetterdienst verwendeten Taupunktmeßfühler sind eine Eigenentwicklung. Als Träger für die Meß- und Elektrodenwicklung dient ein Hartglasrohr, in das nahe der Oberfläche die Platinwicklung für die Temperaturmessung eingeschmolzen ist. Der Widerstand wird meist auf 100 Ohm oder 2 x 100 Ohm (für den Anschluß von zwei Anzeige- oder Registriergeräten) ausgelegt.

Über das Glasrohr ist zur Aufnahme der LiCl-Lösung ein Glasfasergewebestrumpf gezogen, der bifilar mit zwei getrennten Elektrodendrähten aus Silber in Abständen von 2,1 mm umwickelt ist. Die über die Elektroden aufgeheizte LiCl-Lösung im Glasfasergewebe liegt also nahe dem Temperaturfühler. Dadurch sind die Wärmeleitungsverluste gering.

Der Glasrohrträger ist über einem angekitteten Sockel mit einer Steckfassung verbunden, an deren Stifte die Anschlußdrähte der Platindrähtwicklung und der Elektrodendrähte geführt sind.

Der Taupunktmeßfühler ist auf diese Weise leicht auswechselbar. Die Heizspannung für die Elektroden beträgt etwa 24 V Wechselspannung. Wie zahlreiche Untersuchungen ergaben, läßt sich der Taupunkt im positiven Temperaturbereich mit einer absoluten Genauigkeit besser als $\pm 0,5$ grd bestimmen; im negativen Temperaturbereich liegt der Fehler zwischen 0,5 und 1,0 grd. Der Taupunktmeßfühler kann infolge seiner

Gleichgewichtsfunktion nur zuverlässig arbeiten, wenn ein Ventilationswert von einigen cm/s nicht überschritten wird. Für Messungen im Freien ist daher eine besonders konstruierte Schutzhütte (Labyrinthhütte) notwendig (Abb. 34). Durch ein doppelwandiges Gehäuse

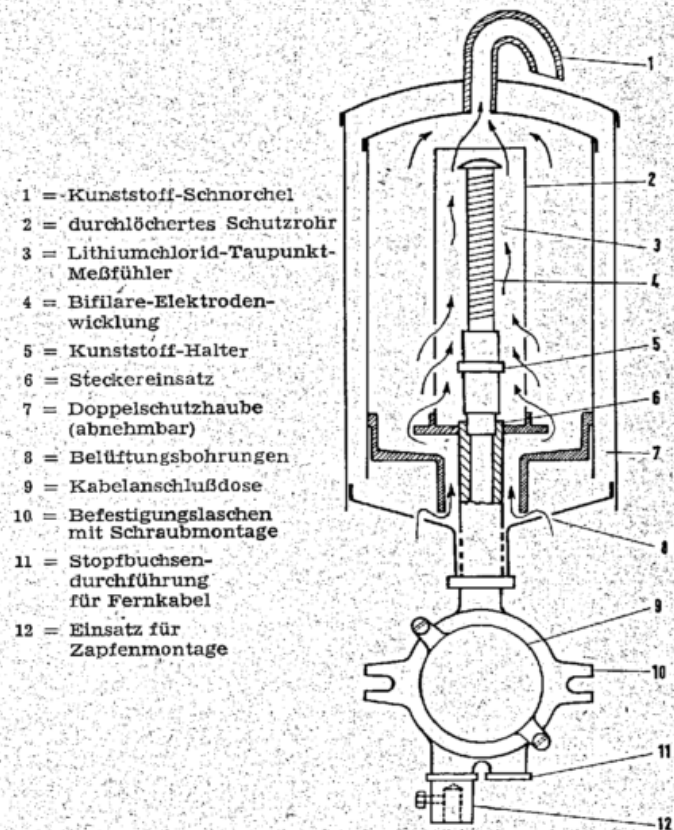


Abb. 34
Schema der Taupunkt-Labyrinthhütte mit Lithiumchlorid-Meßfühler

wird die Wirkung der Sonneneinstrahlung weitgehend beseitigt. Die horizontale Windgeschwindigkeit ist durch ein über dem senkrecht angebrachten Taupunktmeßfühler befindliches durchlöcheretes Rohr ausgeschaltet. Der notwendige Luftaustausch erfolgt durch die Eigenkonvektion des aufgeheizten Meßfühlers und durch die vertikale Turbulenz der freien Atmosphäre. Eine am Dach der Taupunkt-Schutzhütte angebrachte Schnorchelöffnung und am Unterteil angebrachte Löcher sind so bemessen, daß der erforderliche Ventilationswert annähernd konstant bleibt. Nur bei völliger Windstille und bei Nebel ist man allein auf die Wirkung der Eigenkonvektion angewiesen.

Fehler bei hohen relativen Feuchten nahe 100%, die z. B. durch zusätzliche Verdampfung der Nebeltropfen und durch Übersättigung gelegentlich auftreten können, lassen sich bei diesem Meßverfahren nicht beseitigen.

Die Einstellträgheit des Taupunktmeßfühlers ist auch bei tiefen Temperaturen etwa dieselbe wie bei normalen Haarhygrometern. Die Taupunkthütte ist zerlegbar eingerichtet, so daß der Meßfühler mit verschraubbarem Steckanschluß leicht ausgetauscht werden kann. Für den Anschluß des Fernmeßkabels ist am Unterteil eine wasserdichte Kabeldose für Zapfenbefestigung am Gerätemast angebracht.

5.4. Reinigung des Taupunktmeßfühlers

Der Taupunktmeßfühler muß in Abständen von 1—2 Monaten gereinigt und neu mit gesättigter Lithiumchlorid-Lösung bestrichen werden. Die Notwendigkeit

der Reinigung ist dann gegeben, wenn die gemessenen Taupunktwerte systematische Abweichungen in Richtung einer zu tiefen Anzeige von mehr als 0,5 bis 0,8 grad ergeben. Für die eindeutige Ermittlung derartiger Abweichungen ist es ratsam, mehrfache Vergleiche mit Psychrometermessungen vorzunehmen, weil unter gewissen Bedingungen auch bei einzelnen Psychrometermessungen Fehler in der Taupunktbestimmung auftreten können.

Ist ein Austausch des Taupunktmeßfühlers notwendig, so wird dieser nach Abschalten der Betriebsspannung vorsichtig aus seiner Steckverbindung herausgezogen, wobei man den Fühler nur an seinem Kunststoffsockel anfassen darf. Der Meßfühler wird zunächst in einem mit destilliertem Wasser gefüllten Becher ausgewaschen, indem man ihn bis zum Kunststoffsockel eintaucht und mehrfach hin- und herbewegt. Der Stecker darf dabei niemals feucht werden. Bei starker Verschmutzung kann der Fühler auch vorher mit Wasser und Seife unter Zuhilfenahme einer Bürste gereinigt werden. Die Elektroden-Wicklung darf dabei nicht verschoben oder beschädigt werden. Da die erforderliche gründliche Trocknung nach dem Spülen einige Zeit erfordert, ist es zweckmäßig, den vorhandenen Ersatzfühler einzusetzen. Dieser wird bei waagerechter Haltung mit der im Reinigungsgerät vorhandenen Lithiumchloridlösung betropft und dabei leicht gedreht. Der Zustand völliger Durchtränkung ist an der eintretenden Naßfärbung des Glasfasergewebes gut erkennbar. Ein Übermaß an LiCl-Lösung bewirkt eine Vergrößerung der Trägheit und eine zu hohe Anzeige. Zu wenig Lösung ergibt eine zu tiefe Anzeige. Die Güte der Messung hängt weitgehend von der richtigen Behandlung des Gebers ab. Ein sicheres Funktionieren nach der Neubefeuchtung wird erreicht, wenn der Fühler nach etwa 20 Minuten Betriebszeit nochmals mit LiCl-Lösung behandelt wird. Vor dem Einsetzen des Meßfühlers in die Steckeinrichtung ist darauf zu achten, daß Steckerstifte und Buchsen vollkommen trocken und sauber sind. Schmutzansatz auf der Oberfläche des Feuchtfühlers selbst ergibt wegen der hohen Hygroskopizität des Lithiumchlorids keine Abweichungen der Taupunkttemperatur.

Bei Stromausfall nimmt der Fühler zunehmend Feuchtigkeit aus der Luft auf, welche die LiCl-Lösung verdünnt, so daß sie schließlich herabtröpft und dabei die Isolation des Sockels stört. Bei Stromausfall ist deshalb der Fühler grundsätzlich aus der Halterung herauszunehmen und auszuwaschen.

5.5. Aufstellung der Meßfühler für fernelektrische Messungen

Wenn eine Thermometerhütte zur Verfügung steht, kann der Temperaturmeßfühler mittels Thermometerhalter am Thermometerträger befestigt werden. Für den Anschluß des Fernmeßkabels und des Meßfühlerkabels wird dazu am Boden des Hütteninnenraumes eine wasserdichte Kabeldose angebracht.

Der Taupunktmeßfühler sollte zwecks Erzielung unbeeinflusster Meßbedingungen nur in der im Abschnitt 5.3. beschriebenen Schutzhütte verwendet werden. Die Schutzhütte kann an einem kurzen Haltestab von 13 mm Durchmesser am Hüttdach angebracht werden.

Bei Aufstellung beider Meßfühler im Freien wird ein Gerätehalter aus verzinktem Stahlrohr (3/4" oder 1") mit Querstrebe, Verspannösen und Aufsetzplatte verwendet. In Höhe der Querstrebe (ca. 1,8 m über dem Erdboden) ist eine wasserdichte Kabelanschlußdose angebracht, in welcher das Fernmeßkabel endet, und die Meßfühleranschlüsse verlötet werden.

Kugelhütte und Taupunkthütte werden mit ihren Kabelanschlußdosen an der Querstrebe angebracht. Der

Gerätemast wird bis zur Aufsetzplatte in den Erdboden gesteckt und mit Abspannseilen fest verankert.

Für Temperaturmessungen in 5 cm Höhe über dem Erdboden wird der Temperaturmeßfühler waagrecht an einem Steckhalter mit Schutzkorb angebracht.

Zur Vermeidung direkter Sonnenbestrahlung kann zwar in ähnlicher Weise wie beim Erdboden-Minimumthermometer ein Strahlungsschutzdach verwendet werden. Meßtechnisch günstiger ist die Anwendung einer dem Tagbogen der Sonne entsprechend geformten Sonnenblende, weil damit die natürliche Ventilation sowie die natürliche Ausstrahlung des Bodens kaum behindert werden.

Die Blende besteht aus 1 mm starkem korrosionsbeständigem Leichtmetallblech. Sie wird an drei Steckankern oder an dünnen Holzpfählen so befestigt, daß der Meßfühler bei jedem Sonnenstand völlig beschattet wird. Die Kabelanschlußdose wird in ca. 0,5 m Abstand an einem Erdpfahl angebracht.

5.6. Tetalux-Anzeigerät

Das Anzeigerät (Abb. 35) ist ein wesentlicher Bestandteil der Tetalux-Fernmeßanlage. Es ist in einem staub- und spritzwasserdichten lackierten Stahlblechgehäuse eingebaut. An seiner Frontplatte sind Meßstellenschalter, Einblickfenster mit den Skalen für Temperatur und Taupunkt, Mattscheibe für die Lichtmarkeneinstellung und der Skaleneinstellknopf angebracht. Innerhalb des Gehäuses sind die Meßeinrichtung mit allem Zubehör sowie der Netzteil für Brückenspannung, Beleuchtung und Taupunktmeßfühler-Beheizung eingebaut.

Die Wirkungsweise der beim Tetalux verwendeten Brückenschaltung mit Nullabgleich wurde bereits im Abschnitt 3.5.1. beschrieben. Die Widerstandsänderung des Meßfühlers wird durch das mit den Skalen gekoppelte Schleifdrahtpotentiometer so abgeglichen, daß im Diagonalzweig der Brücke, d. h., im Lichtmarkengalvanometer kein Strom fließt und daher die Lichtmarke sich in ihrer Nullstellung befindet. Der jeweils eingestellte Temperatur- oder Taupunktwert kann an den beleuchteten, in °C geeichten Skalen abgelesen werden.

Abbildung 35 zeigt schematisch die Vorderfront eines Tetalux-Gerätes. Im oberen Einblickfenster ist die Temperatur (a), im unteren die Taupunkttemperatur (b) abzulesen. Die richtige Einstellung der Meßwerte ist erreicht, wenn sich die vertikale Marke im Lichtfleck mit der auf der Mattscheibe (c) eingravierten Strichmarke deckt. Die Skala läßt sich nur mit dem Feinststellknopf (d) über den ganzen Meßbereich drehen. Die Einschaltung der angeschlossenen fünf Meßstellen erfolgt durch die entsprechend bezeichneten Drucktasten (e). Eine besonders bezeichnete Taste (f) dient zur Kontrolle der Lichtmarken-Nullstellung. Bei notwendig werdender Nullpunkt-korrektur ist das Galvanometer bei eingedrückter Taste (f) mit Hilfe eines Schraubenziehers durch Drehen der Einstellschraube (g) links unter der Mattscheibe genau auf Null einzustellen.

Die Stromanschlußklemmen sind innerhalb des Gerätes mit Netz 220 V~, Heizspannung für Taupunkt 24 V~, Beleuchtung 4-6 V~ und Brückenspannung 2 V~ bezeichnet.

Daten des Tetalux-Anzeigerätes

Meßbereich der Temperatur:	-40°C bis +40°C
Meßbereich der Taupunkttemperatur:	-30°C bis +30°C
Temp.-Meßgenauigkeit = Anzeigegenauigkeit:	± 0,1 grad
Taupunktmeßgenauigkeit	< ± 0,5 grad
bei Minustemperaturen	± 0,5 bis 1,0 grad
Skaleneinteilung	1/2 grad

Meßwert-Empfindlichkeit für Tetalux: $2,5 \times 10^{-6}$ A/mm

Meßstellenschalter:	Drucktastenaggregat
Taste 1—4	= 4 Temperatur-Meßstellen
Taste 5	= 1 Taupunkt-Meßstelle
Taste f	= Galvanometer-Abgleich

Thermometerstrom: 2mA

Anschluß und Abgleich der Tetalux-Anlage erfolgt durch die Instrumentenämter. Dabei müssen die Leitungswiderstände des Fernmeßkabels durch Ausgleichwiderstände im Gerät abgeglichen und die Skalenwerte mit Hilfe von Eichwiderständen überprüft werden.

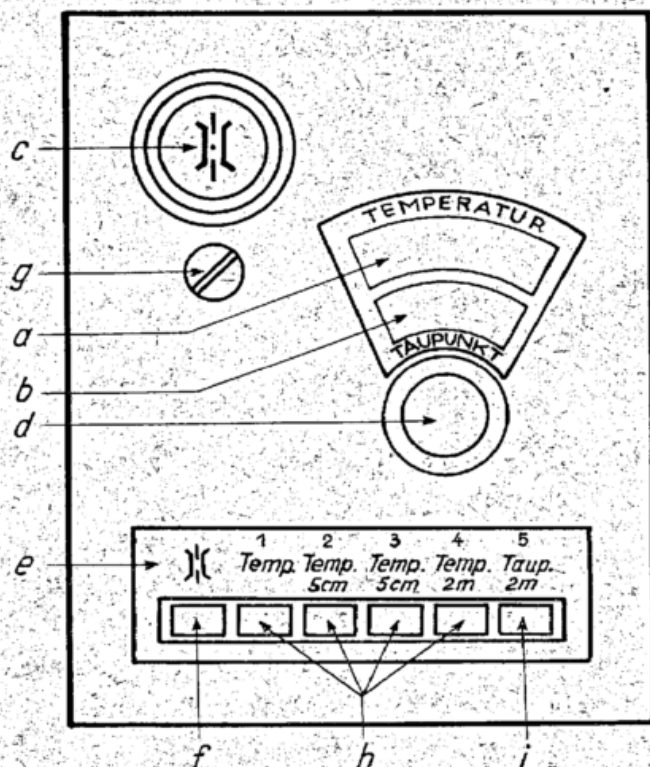


Abb. 35

Tetalux-Anzeigergerät (Skizze)

a = Temperaturskala, b = Taupunktskala, c = Mattscheibe mit Strichmarke zur Galvanometereinstellung, d = Feinstellknopf, e = Drucktastenbezeichnung, f = Taste für die Kontrolle der Nullstellung des Galvanometers, g = Einstellschraube für Galvanometer, h = Tasten für verschiedene Temperaturmeßstellen, i = Taste für Taupunktmessung

Für die Feineinstellung der Skalen auf den zugehörigen Meßwert ist innerhalb des Tetalux für jede Meßstelle ein Einstellpotentiometer vorgesehen. Während eine Potentiometereinstellung für die Temperaturfühler nur in seltenen Fällen erforderlich ist, muß beim Austausch der Taupunktmeßfühler infolge unvermeidlicher Fertigungstoleranzen nach Ablauf der Einstellzeit (Anheizen) ein Abgleich auf den Skalenwert nach psychrometrischen Vergleichsmessungen erfolgen.

Bei Inbetriebnahme des Taupunktmeßfühlers brennt die grüne Kontrollampe an der Frontplatte des Tetalux (bzw. Tetatic) so lange, bis der Gleichgewichtszustand der Dampfdrucke erreicht ist. Der Abgleich darf erst nach völligem Erlöschen der Kontrollampe, frühestens nach 20 bis 30 Minuten vorgenommen werden. Die Netzspannung 220 V~ (rote Kontrollampe) bleibt ständig eingeschaltet, da sonst der Taupunktmeßfühler keine Heizspannung erhält.

Das unter 5.1. angeführte Tetatic-Gerät für den speziellen Einsatz auf Schiffen besitzt außer dem Meßspannungsverstärker und dem elektronisch betriebenen Unterbrecherrelais für die Brückenspannung den gleichen grundsätzlichen Aufbau wie das Tetalux. Lediglich die

Brückenspannung wird an diesem Gerät zwecks Ausschaltung von Bordnetzeinflüssen (z. B. HF Störspannungen der Bordsender) einer 1,5 V Trockenbatterie (sogenannte Leakproof-Batterie) entnommen. Die Batterie befindet sich unter einer gekennzeichneten Abdeckplatte an der Frontseite des Gerätes und muß nach etwa 1/2-jährlicher Betriebszeit ausgetauscht werden. Der Zeitpunkt eines notwendigen Austausches ist an der zunehmenden Unempfindlichkeit der Lichtmarkeneinstellung erkennbar.

5.7. Zubehör zur Tetalux-Anlage

Notwendiges Zubehör zur Tetalux- bzw. Tetatic-Anlage ist das Reinigungsgerät. Es ist in einem Holzkasten untergebracht und enthält folgende Teile:

- 1 Flasche mit Schraubverschluss, enthaltend destilliertes Wasser
- 1 Flasche mit Schraubverschluss und Glaspipette, enthaltend 30 ccm Lithiumchloridlösung
- 2 Becher (Kunststoff)
- 1 Seifendose mit einem Stück Kernseife
- 2 Reinigungsbürsten
- 1 Schraubenzieher
- 1 Ersatz-Taupunktmeßfühler, verschiedene Ersatzlampchen sowie verschiedene Ersatzsicherungen.

Der Austausch und die Reinigung der Taupunktmeßfühler wurde unter Abschnitt 5.4. näher erläutert.

5.8. Combimet-Einrichtungen

Combimet-Einrichtungen sind in verschiedenen Ausführungen im Gebrauch (z. B. Abb. 36). Sie vereinigen mehrere meteorologische Anzeige- und Schreibgeräte zu einer Einheit. Neben den Fernmeßanlagen wie Tetalux, Ceilograph, Transmissometer, Kompensograph und Windschreiber sind auch Barometer und Barograph in Instrumentenschränken oder in Instrumentenwänden zusammengefaßt. Der Vorteil solcher Combinationseinrichtungen (Combimet), die besonders bei den Flugwetterwarten, an Landebahnbeobachtungsstellen, Bordwetterwarten und auch bereits bei moderneren Wetterwarten aufgestellt wurden, besteht darin, daß die Vielzahl der erforderlichen Fernmeßkabel zentral zugeführt und die notwendigen Versorgungs- und Beleuchtungseinrichtungen eingebaut werden können. Für den Meteorologen und den Beobachter bietet die räumliche Zusammenfassung der Geräte eine schnellere Information über die meteorologischen Meßdaten. Montage, Wartung, Instandsetzung und Austausch von Geräten sind leichter durchzuführen und ersparen bauliche Maßnahmen und Veränderungen in den Diensträumen.

Entsprechend dem Umfang der Instrumentierung werden Combimet-Schränke, Tischaufsätze oder Instrumentenwände eingesetzt. Bei den Bordwetterwarten wird ein Schiffscombimet verwendet, in dem Tetalux, Schiffsaneroide, Schiffsbarograph, Wind-, Schiffskurs- und Fahrtanzeiger sowie Zeituhr für GMT-Ablesung vereinigt sind.

Die Instrumentenwand für Flugwetterwarten enthält außer den Schreibern für Wind, Wolkenhöhe, Sicht, Temperaturen, Taupunkt und Luftdruck das Stationsbarometer mit Beleuchtung. Mit dem weiteren Ausbau der Flughäfen wird auch die meteorologische Instrumentierung ständig erweitert. Daher gibt es bisher keine Norm-Combimet-Ausführungen.

Der Einbau von Combimet-Anlagen wird nur von den Instrumentenämtern durchgeführt.

Die in Combimet-Anlagen eingebauten elektrischen Einrichtungen für Beleuchtung und Versorgungsspannungen entsprechen den VDE-Vorschriften.

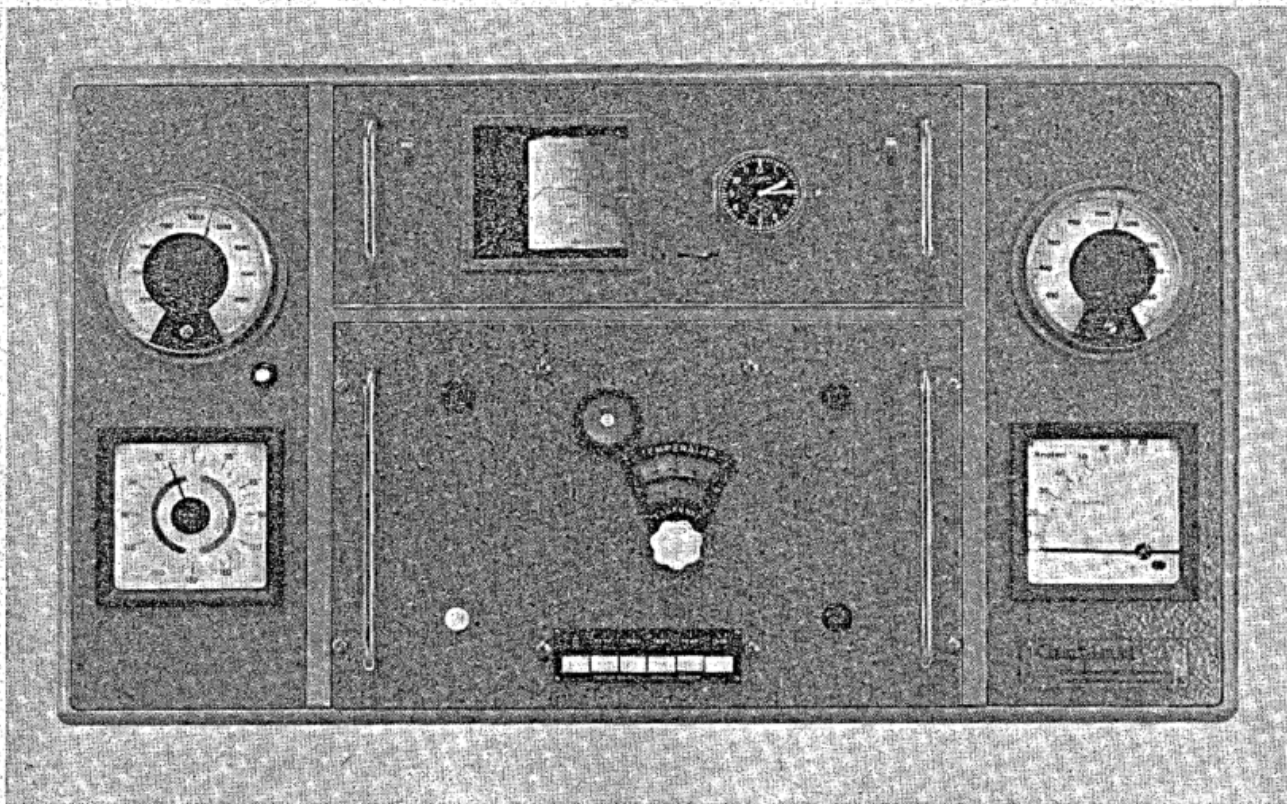


Abb. 36
Combimet mit Tetalux, Dosenbarometer, Barograph, Wind-
richtungs- und -geschwindigkeitsanzeige, Uhr

Das Eichen der Geräte, das Auswechseln der Meßfühler sowie die Wartung der Taupunktmeßfühler und der in die Combimet-Einrichtung eingebauten Geräte darf nur von dem für diese Arbeiten bestimmten Personenkreis vorgenommen werden.

6. Die Messung des Niederschlags

6.1. Allgemeine Hinweise

Zur Charakterisierung der Niederschläge sind außer der Angabe der Niederschlagsart und -form nachstehende Größen erforderlich:

- 1) Menge des Niederschlags
- 2) Intensität des Niederschlags
- 3) Dauer des Niederschlags.

Die Menge des Niederschlags wird durch die in Millimeter gemessene Wasserhöhe angegeben, die der Niederschlag auf einer waagerechten Fläche bilden würde, wenn nichts abflösse, versickerte oder verdampfte.

Die Intensität und die Niederschlagsdauer sind eine Folge der Niederschlagsart (z. B. Landregen, Schauer).

Die Niederschlagsdichte erhält man durch das Dividieren der Monatssumme des Niederschlags durch die Zahl der Niederschlagstage.

Zur Feststellung der Niederschlagsmengen verwendet man Niederschlagsmesser, deren Auffangflächen in Form und Größe festgelegt sind. Aus meßtechnischen Gründen verwendet man eine Auffangfläche von 200 cm², bei Gebirgsniederschlagsmessern dagegen eine von 500 cm².

Die für die Mengenumrechnung benutzten Meßgläser entsprechen in ihrer Skaleneinteilung der entsprechenden Auffangfläche. Sie sind in mm geeicht; es entfällt daher jede Umrechnung.

Die im Deutschen Wetterdienst allgemein verwendeten Niederschlagsmesser gehen auf eine Konstruktion von Prof. HELLMANN (1854—1939) zurück.

6.2. Niederschlagsmesser (nach HELLMANN)

6.2.1. Beschreibung

Der Niederschlagsmesser (Abb. 37) besteht aus Zinkblech bzw. verzinktem Eisen. Seine Einzelteile sind:

Zylindrisches Auffanggefäß mit konischem Trichter, Unterteil, Sammelkanne, Halter, Schneekreuz, Deckel, Meßglas.

Das Auffanggefäß hat eine kreisförmige Auffangfläche von 200 cm², die durch einen Messingring begrenzt wird. Der Durchmesser beträgt 159,6 mm.

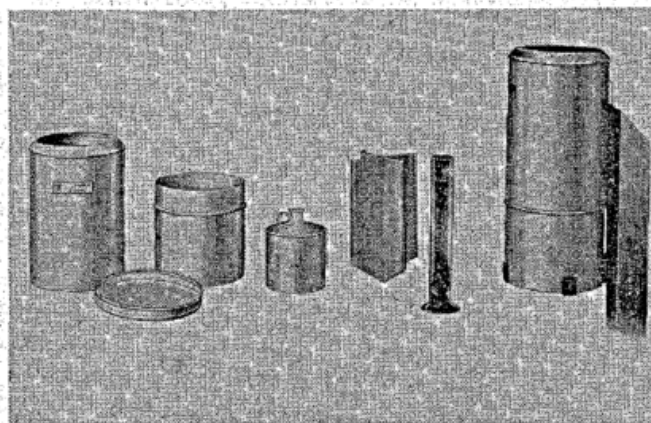


Abb. 37
Niederschlagsmesser (nach HELLMANN)

Im Auffanggefäß ist ein trichterförmiger Boden mit einer Ablauföffnung, durch die der Niederschlag in die im Unterteil stehende Sammelkanne läuft.

Die Sammelkanne steht unverrückbar in einer am Boden des Unterteils fest angebrachten (ringförmigen oder auch aus drei Stützen bestehenden) Unterlage. Da-

mit wird das Hineinragen der Ablauftülle in den Sammelkannenhals gesichert.

Zwischen der Sammelkanne und der der unmittelbaren Besonnung ausgesetzten Außenmantelfläche befindet sich eine etwa 3 cm dicke Luftschicht. Sie soll das Wasser in der Sammelkanne gegen Verdunstung schützen.

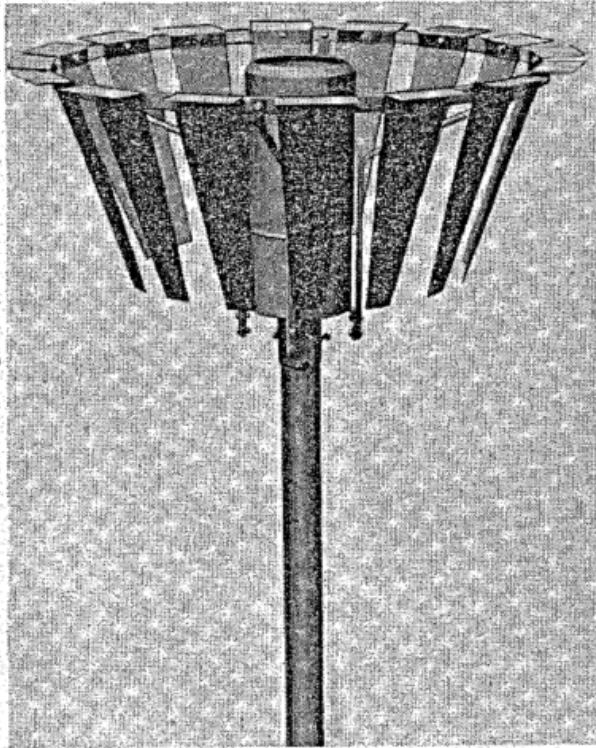


Abb. 38
Windschutzring (nach WOELFLE) für Niederschlagsmesser

zen. Das Unterteil trägt auf einem wulstartigen Ring das Auffanggefäß. Der Halter dient der Aufhängung des Niederschlagsmessers an einem Holzpfehl.

Das Schneekreuz ist ein kreuzförmiger Einsatz, der nur vor zu erwartenden Schneefällen in das Auffanggefäß eingesetzt wird. Er soll das Wiederhinauswehen des gesammelten Schnees verhindern.

Der Deckel wird dann auf das Auffanggefäß gelegt, wenn Schnee o. ä. in einem erwärmten Innenraum zum Schmelzen gebracht wird. Durch den Deckel soll eine evtl. Verdunstung verhindert werden.

Das Meßglas dient zur Bestimmung der Niederschlagshöhe in Millimeter. Es ist ein etwa 24 cm hohes zylindrisches Gefäß, auf dessen Außenseite eine Teilung in mm eingätzt ist. Um auch kleinste Niederschlagsmengen genau ausmessen zu können, läuft der Hohlraum des Meßglases unten in eine konische Spitze aus.

6.2.2. Aufstellung des Niederschlagsmessers

Ein etwa 1,40 m langer und 10 cm starker vierkantiger Pfehl aus Eichen-, Lärchen- oder auch harzigem Fichtenholz soll oben etwas schräg abgesägt werden, damit sich nach Aufstellung im Winter keine Schneehauben bilden können, die u. U. in das Auffanggefäß fallen. Nun wird der Halter so hoch am Pfehl angeschraubt, daß die Kante des Messingringes vom Auffanggefäß etwa 10 cm über das spitze Pfehlende hinausragt. Der Pfehl wird so eingegraben, daß der Halter nach Norden zeigt, die Schrägung nach Süden, die Auffangfläche vom Niederschlagsmesser waagrecht liegt und einen Abstand von 1 Meter vom Erdboden hat. In Gebieten mit hoher Schneelage, wo der Wind den

Schnee vom Erdboden in das Gefäß wirbeln könnte, ist eine Höhe von 1,25 bis 1,50 m zweckmäßig.

Das Auffanggefäß mit Trichter ist öfter von Verschmutzungen zu reinigen (Blätter o. ä.).

6.2.3. Niederschlagsmesser mit Windschutzring

Durch den Niederschlagsmesser wird die Luftströmung in der Umgebung des Gerätes gestört und die Niederschlagsmessung dadurch verfälscht. Zur Schaffung homogener Windverhältnisse über den Auffanggefäßen wird beim Deutschen Wetterdienst ein Windschutzring nach WOELFLE verwendet. Dieser besteht aus einem eisernen Haltering von ca. 1 m Durchmesser, an dem 15 Federstahl-Blechlamellen (10 cm breit, 50 cm lang) innen fest aufgehängt sind. Sie sind so gebogen, daß sie nach oben einen offenen Kegelstumpf bilden. Das gesamte System ist auf den Standpfehl montiert, auf dem auch der Niederschlagsmesser sitzt. Auffangfläche und Haltering des Schutzringes befinden sich in gleicher Höhe (Abb. 38).

6.3. Niederschlagsschreiber

6.3.1. Beschreibung

Zur Aufzeichnung der Menge, Intensität und Zeit des gefallenen Niederschlags werden im Deutschen Wetterdienst Niederschlagsschreiber nach HELLMANN verwendet (Abb. 39).

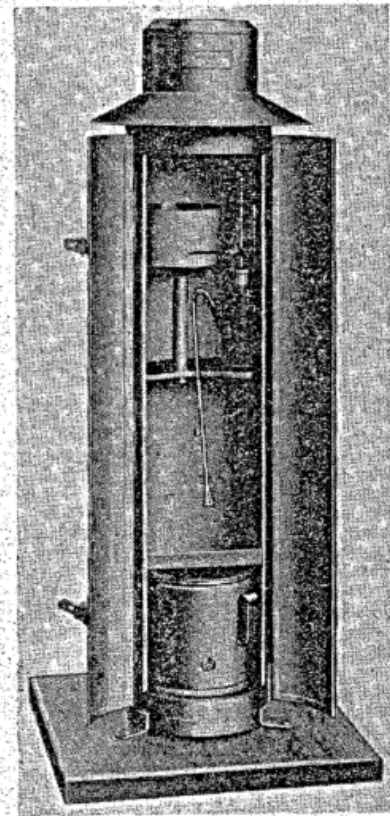


Abb. 39
Schreibender Niederschlagsmesser (nach HELLMANN)

Der Niederschlagsschreiber besteht aus einem zylindrischen Blechgehäuse (Abb. 40). Im oberen Teil ist der Auffangtrichter (A) angebracht, dessen Auffangfläche 200 cm² beträgt und von einem scharfkantigen Messingring umgrenzt ist. Vom Auffangtrichter führt ein Metallrohr in ein zylindrisches Gefäß (B), in dem sich ein Schwimmer (C) befindet. Eine am Schwimmer befestigte Schwimmerstange ragt aus dem zylindrischen Ge-

fäß heraus und trägt einen beweglichen Schreibarm (Z) mit Schreibfeder, der von einer Führungsstange senkrecht gestützt wird. Die Schreibfeder zeichnet die Bewegung des Schwimmers (Niederschlagshöhe) auf einen Schreib-

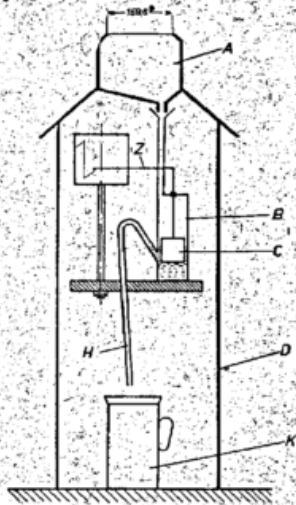


Abb. 40

Schema des Niederschlagsschreibers (nach HELLMANN)
 A = Auffangtrichter, D = Gehäuse, C = Schwimmer, B = Zylindrisches Schwimmergefäß, H = Glasheberrohr, K = Auffangkanne, Z = Registrierfederarm

streifen, der auf einer Trommel mittels Haltespange befestigt ist. Die Trommel ruht auf einer eigenen Achse links vom Schreibgerät.

Vom zylindrischen Gefäß führt ein Stutzen nach links oben. In diesem Stutzen ist ein Heberrohr (H) aus Glas befestigt, das nach einer Biegung nach unten führt. Unter der unteren Glasrohröffnung steht ein Auffanggefäß (K).

6.3.2. Arbeitsweise

Fließt Niederschlag in den Auffangtrichter, so gelangt er durch das Metallrohr in das zylindrische Schwimmergefäß. Hier hebt er den Schwimmer und mit ihm die Schreibfeder, die mit Tinte die Niederschlagshöhen-Ganglinie aufzeichnet (Abb. 41).

Bei weiterem Zufließen steigt der Wasserspiegel im Gefäß und mit ihm das Wasser im Stutzen und im Heberrohr entsprechend an. Wird das Wasserniveau so weit angehoben, daß es die Umbiegungsstelle des Glasheberrohres überschreitet, so wird die im Gefäß enthaltene Niederschlagsmenge in die auf dem Boden des Gehäuses stehende Sammelkanne entleert. Dieser Entleerungsvorgang wird als „Abhebern“ bezeichnet. Bei richtiger Einstellung des Gerätes schreibt die Feder im Augenblick des Abheberns am oberen Streifenrand bei 10 mm und nach dem Abhebern auf der Nulllinie. Bei andauerndem Niederschlag füllt sich das zylindrische Gefäß erneut und der oben beschriebene Vorgang wiederholt sich.

6.3.3. Aufstellung

Bei der Aufstellung wird der Niederschlagsschreiber mit drei am Gehäuseunterteil angebrachten Laschen auf drei ca. 50 cm tief in die Erde getriebene Holzpflocke oder auch auf einem Betonsockel aufgeschraubt. Dabei soll die Türe der vorherrschenden Hauptwindrichtung (Wetterseite) abgewandt sein. Falls erforderlich, kann man das Gehäuse auch mit verzinkten Eisendrähten nach drei Seiten verankern.

Die Auffangfläche soll 1,15 m waagrecht über dem Erdboden liegen. Der Aufstellungsplatz muß den gleichen Bedingungen entsprechen, wie sie für die Aufstellung nichtregistrierender Niederschlagsmesser gelten.

Werden beide Niederschlagsmessertypen nebeneinander aufgestellt, so soll ihr Abstand voneinander 1 bis 2 m betragen, so daß sie sich nicht gegenseitig stören, andererseits aber die Meßergebnisse wenig voneinander abweichen.

6.3.4. Überprüfung und Justierung

Da in den Auffangtrichter gewehrte Blätter u. ä. leicht das Metallrohr verstopfen können, soll bei jedem Streifenwechsel auch der Trichter überprüft und evtl. gereinigt werden.

Das Einsetzen eines neuen Glasheberrohres in den Ansatzstutzen des Schwimmergefäßes ist wegen Bruchgefahr vorsichtig vorzunehmen. Hierbei sind die Vorschriften des Lieferanten genau zu befolgen. Zum Ju-

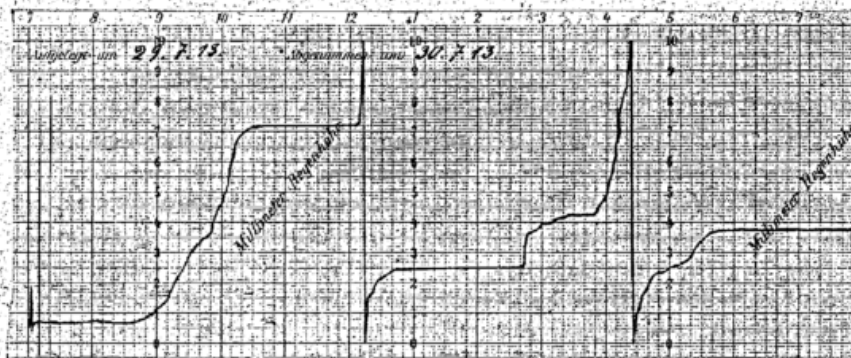


Abb. 41

Registrierung eines Niederschlagsschreibers

stieren wird der Niederschlagsschreiber zunächst durch langsames Eingießen von Wasser in das Auffanggefäß in Betrieb gesetzt. Dabei steigt der Schwimmer, und die Feder zeichnet eine senkrechte Ganglinie; schließlich kommt es zum Abhebern. Sofort hört man mit dem Zugießen von Wasser auf, während die Schreibfeder mittlerweile auf oder nahe Null zurückgeht. Muß die Nullstellung korrigiert werden, dann löst man die Klemm-

schraube des Gleitkörpers und verschiebt diesen auf der Schwimmerstange so weit, daß die Feder genau auf der Nulllinie schreibt. Nun wird die Klemmschraube wieder angezogen. Aus Sicherheitsgründen soll die richtige Nulleinstellung mehrmals durch Eingießen und Abhebern überprüft werden. Ist hiernach noch eine kleine Korrektur notwendig, kann dies durch Drehen der Einstellschraube (Feineinstellung) geschehen.

Bei der Nullpunkteinstellung ist darauf zu achten, daß der Schwimmer nicht auf dem Boden des Schwimmergefäßes aufsetzt. Sollte dies jedoch der Fall sein, kann man durch Verschieben des Glasheberrohres und gleichzeitiges Verstellen des Schreibhebels diesen Fehler beseitigen. Das Aufsetzen des Schwimmers auf dem Gefäßboden beeinflusst die Registrierung, weil der Schwimmer bei Regen zu spät anspricht und damit zu geringe Niederschlagsmengen gemessen werden.

Sollte das Abhebern nicht bei 10 mm eintreten, ist das Glasheberrohr nach Lockerung der Feststellvorrichtung nach oben oder nach unten zu verschieben, bis die richtige Einstellung erreicht ist. Dann wird, entsprechend den Vorschriften der Hersteller, die Feststellvorrichtung wieder angezogen. Beim Überprüfen des Abhebers darf man das Wasser kurz vor dem Abhebern nur ganz vorsichtig eingießen.

Die Achsen des Schwimmers und der Registriertrommel sollen genau senkrecht stehen. Der Schreibarm muß so gebogen sein, daß die Schreibfeder senkrecht auf dem Papier aufliegt.

6.3.5. Störungen und deren Beseitigung

Störungen beim Abhebern beruhen meist auf einer Verunreinigung des Glasheberrohres durch Staub, Fett, Ruß u. ä. in der Umbiegungsstelle. Zur Beseitigung solcher Störungen wird das Rohr herausgenommen, mit Seifen- oder Waschmittellauge gereinigt und gründlich mit reinem Wasser gespült.

Eine weitere Fehlerquelle kann eine fehlerhafte Dichtung am Stutzen des Schwimmergefäßes sein. Hier muß die Dichtung ausgewechselt werden. Oft braucht aber auch nur die Verschlussschraube fest angezogen zu werden.

Verstopfte Durch- und Abflußrohre können mit einer Zylinderbürste von Insekten, Laub usw. gereinigt werden.

Bei allen Überprüfungen und Reparaturen ist darauf zu achten, daß die Teile des Übertragungsmechanismus nicht verbogen werden. Die Schwimmerstange mit der Gleitvorrichtung muß sich leicht bewegen lassen. Fehlerhafte Streifen dürfen nicht verwendet werden. Bei Streifen mit schiefer Schnitt verlaufen die Registrierungen nicht parallel zu den Niederschlagshöhenlinien. Nicht senkrecht stehende Achsen vom Uhrwerk und Schwimmergefäß kann man nach Lösung der Mutter am unteren Ende der Trommelachse bzw. der Flügelschraube unterhalb des Schwimmergefäßes durch Unterlegen von dünner Holzplättchen oder Blechstückchen korrigieren.

6.3.6. Außerbetriebsetzung

Da der Niederschlagsschreiber zur Aufzeichnung von Schneefällen nicht ohne weiteres geeignet ist, soll das Gerät dort, wo stärkere Fröste aufzutreten pflegen, nur während der frostfreien Zeit in Betrieb bleiben. Sobald stärkere Fröste zu erwarten sind, müssen Uhrwerk, Schwimmergefäß, Glasheberrohr und Sammelkanne herausgenommen und bis zum Frühjahr trocken aufbewahrt werden. Bei dieser Gelegenheit ist auch das Schwimmergefäß zu reinigen, dessen Kappe durch Linksdrehen über zwei einander gegenüberliegende Führungstifte abnehmbar ist. Der im Freien verbleibende Teil des Niederschlagsschreibers wird während des Winters mit dem dazugehörigen Deckel gut verschlossen.

An verschiedenen Stationen sind heizbare Niederschlagsschreiber in Betrieb, bei denen das Einfrieren des Schwimmers durch eine eingebaute Heizung verhindert wird, die auch den Schnee im Auffanggefäß zum Abschmelzen bringt.

6.4. Schneemeßgeräte

Die wichtigsten Schneemeßgeräte sind der Schneepegel zur Messung der Schneehöhe und der Schneeausstecher zur Bestimmung der Schneedichte.

Schneepegel

Der Schneepegel ist ein Leichtmetallrohr oder ein rechteckiger, metallüberzogener Meßstab mit einer 50 oder auch 100 cm längen geprägten Strichteilung in Zentimeter, deren Anfangspunkt an der unteren Kante liegt.

Zum Messen der Schneehöhe wird der Pegel in die Schneedecke bis zum Boden durchgestoßen und die Schneehöhe an der Skala abgelesen.

Schneeausstecher

Der Schneeausstecher ist ein zylindrisches Gefäß von 200 cm² Querschnitt, das unten offen und gezähnt und oben mit einem Deckel verschlossen ist. Am Deckel befindet sich ein Handgriff. Die Länge des Gerätes ist 60 cm, jedoch gibt es auch solche von 95 cm Länge. Zum Schneeausstecher gehört eine Schneeschäufel (schaufelartige Blechplatte) mit Handgriff.

Zur Messung der Schneedichte wird mittels des Schneeausstechers eine von der Schneeoberfläche bis zum Erdboden reichende Schneemasse senkrecht ausgestochen, deren Höhe man an einem seitlich am Schneeausstecher angebrachten Maßstab ablesen kann. Nun wird die Schneeschäufel dicht über dem Erdboden unter den Ausstecher geschoben, um ein Herausfallen des Schnees beim Hochheben zu verhindern. Der Schnee wird in einem temperierten Raum langsam aufgetaut und das Schmelzwasser im Meßzylinder eines Niederschlagsmessers gemessen. Der Quotient Menge des Schmelzwassers in mm durch Schneehöhe in cm ergibt dann den Wassergehalt des Schnees je cm und somit die Schneedichte.

7. Die Messung der Sonnenscheindauer

7.1. Allgemeine Hinweise

Die Messung hat den Zweck, die stündliche und tägliche Sonnenscheindauer auf Zehntel Stunden genau zu ermitteln.

Das im Deutschen Wetterdienst eingeführte Gerät nach CAMPBELL-STOKES benutzt die Wärmestrahlung der Sonne als Mittel zur selbsttätigen Aufzeichnung, indem die Strahlung mittels einer Glaskugel eine Spur in einen Kartonstreifen einbrennt.

7.2. Der Sonnenscheinautograph (nach CAMPBELL-STOKES)

7.2.1. Beschreibung

Der wichtigste Teil des Sonnenscheinschreibers nach CAMPBELL-STOKES (Abb. 42) ist eine massive Glaskugel (G) (Durchmesser etwa 96 mm, Brechungsindex 1,510), die konzentrisch in einer metallenen Kugelschalenzzone (K) liegt. Die im Brennpunkt der Glaskugel gesammelten Sonnenstrahlen hinterlassen auf einem in die Metallschale eingelegten Kartonstreifen entsprechend dem scheinbaren Lauf der Sonne eine Brennspur.

Das Kugelschalenzstück kann nach Lockerung der großen, unterhalb des Bügels (B) befindlichen Schraube verschoben und auf die geographische Breite des Beobachterortes eingestellt werden. Eine Skala am Träger (T) gestattet die Einstellung auf halbe Grade genau. Einstellungen dieser Art erfolgen beim Aufstellen des Gerätes. Nachdem die Schraube wieder fest angezogen wurde, darf die Einstellung nicht mehr geändert werden.

Die Schale enthält zur Einlagerung der Kartonstreifen drei sich überlappende Nutenpaare, die je nach der maximalen Sonnenhöhe, d. h. mit der Jahreszeit wechselnd, zu gebrauchen sind. Von diesen Nutenpaaren

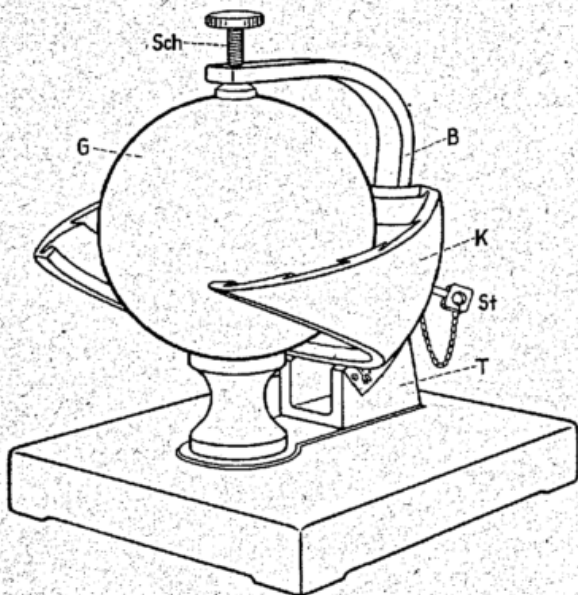


Abb. 42
Schema eines Sonnenscheinschreibers
(nach CAMPBELL-STOKES)
B = Bügel, G = Glaskugel, K = Kugelschalenzone,
Sch = Schraube, St = Metallstift, T = Träger

dient das unterste für den Sommer, das mittlere für das Frühjahr und den Herbst (genauer: für die Zeit um die Tag- und Nachtgleichen), das obere für den Winter.

Die aus biegsamem Karton bestehenden, in ganze und halbe Stunden eingeteilten Schreibstreifen haben (ebenefalls nach der Jahreszeit) verschiedene Formen. Die

geraden Streifen gehören in das mittlere, die kleinen gekrümmten in das obere, die großen gekrümmten in das untere Nutenpaar (Abb. 43).

7.2.2. Aufstellung

Bei der Wahl des Standortes für das Gerät ist darauf zu achten, daß die Glaskugel während des ganzen Tages nicht beschattet wird, d. h. daß die Sonnenstrahlen den ganzen Tag über ungehindert registriert werden können. Allgemein sind Erhebungen in der Umgebung bis zu drei Grad über dem Horizont noch zulässig, da erst von dieser Höhe ab die Sonnenstrahlen auf dem Schreibstreifen erkennbare Brennschpuren erzeugen.

In Meridiannähe, d. h. im Süden der Station, dürfen die Erhebungen sogar weit höher sein, so z. B. in Hamburg bis zu 13 Grad, in München bis zu 18 Grad.

Der Unterbau für das Gerät muß so standfest und massiv sein, daß seine Position weder durch Temperatur- und Feuchtigkeitseinflüsse noch durch Erschütterungen verändert werden kann. Er soll deshalb nicht aus Holz, sondern nur aus Stein, festem Mauerwerk oder gegebenenfalls auch aus Metall bestehen.

7.2.3. Justierung, Justierfehler

Zunächst wird durch Ablesen der Winkelteilung unterhalb des Bügels geprüft, ob das Gerät auf die geographische Breite des Beobachtungsortes eingestellt ist. Erst dann wird das Gerät auf der hergerichteten Unterlage (Nivellierplatte oder Befestigungsrahmen) befestigt.

Die genaue Ausrichtung auf die Südrichtung (Ortsmeridian) kann mit einem Kompaß erfolgen. Besser ist jedoch die Bestimmung der Südrichtung mit Hilfe der Sonne.

Die Sonne kulminiert im Meridian, d. h. sie steht am wahren Mittag um 12.00 Uhr wahre Ortszeit (WOZ)

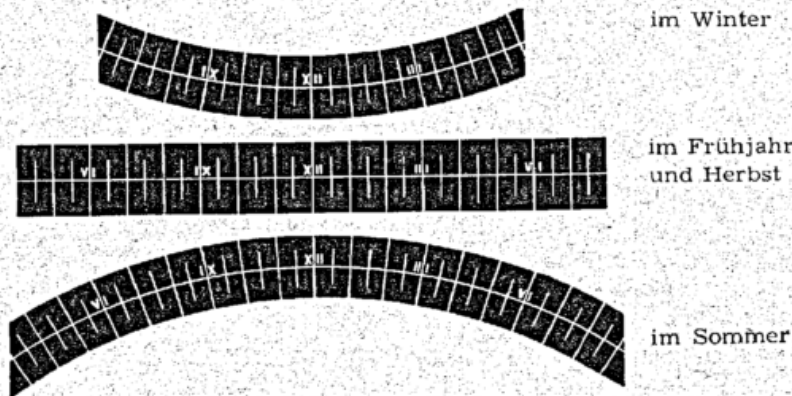


Abb. 43
Registrierstreifen für den Sonnenscheinschreiber

am höchsten und genau im Süden der Station. Um zu wissen, welche mitteleuropäische Zeit (MEZ) der wahren Ortszeit entspricht, muß zunächst durch Anwendung der „Zeitgleichung“ (Z) die mittlere Ortszeit (MOZ) errechnet werden:

$$MOZ = WOZ - Z$$

Die genauen Werte von Z können aus den Tabellen des Astronomischen Jahrbuches entnommen werden. Je nach Jahreszeit schwanken diese Werte zwischen etwa +16,4 bis -14,4 Minuten.

Die mittlere Ortszeit muß dann noch in MEZ umgewandelt werden. Die MEZ ist gleich der mittleren Ortszeit des 15. Längengrades östlich von Greenwich. Um die MOZ in MEZ zu verwandeln, muß für einen Ort

der geographischen Länge λ der Betrag von $(15 - \lambda) \cdot 4$ min zur MOZ addiert werden.
Beispiel:

Offenbach (Main), 10. März
Zeitgleichung Z = +10 Minuten,
geographische Länge 08°45' E
15 Grad minus 8 Grad 45 Minuten = 6°15' \triangle
25 Minuten im Zeitmaß

d. h.: 12 Uhr MOZ = 12 Uhr und 25 Minuten MEZ
12 Uhr WOZ = 12 Uhr und 10 Minuten MOZ
 \triangle 12 Uhr und 35 Minuten MEZ

Der Sonnenscheinschreiber ist in diesem Fall so auszurichten, daß der Brennpunkt um 12 Uhr 35 Minuten MEZ genau auf dem 12-Uhr-Strich des Streifens liegt.

Wurden die Justierungen richtig ausgeführt, so verlaufen die Brennsuren parallel zur Mittellinie der Registrierstreifen. Eine symmetrische Spur, die nicht parallel zur Mittellinie verläuft, deutet auf eine falsche Einstellung der geographischen Breite hin. Eine unsymmetrische Spur wird durch ungenaue Meridianeinstellung oder ungenaue Horizontierung verursacht. Eine Spur, die bei Tag- und Nachtgleiche richtig, aber in anderen Jahreszeiten nicht parallel zur Mittellinie verläuft sowie das Breiterwerden der Brennsur in Streifenrandnähe deuten auf falsche Zentrierung der Kugel hin.

7.2.4. Auswechseln der Streifen

Beim Auflegen eines neuen Streifens ist darauf zu achten, daß der 12-Uhr-Strich mit der Mittagslinie (einem eingeritzten Mittelstrich im Innern der Kugelschale) genau zusammenfällt.

Die Kugelschale ist auf der 14-Uhr-Linie mit drei Löchern versehen, durch die von der Rückseite her ein mit einer Kette an dem Gerät angehängter Metallstift (St) so weit eingeführt wird, daß er den Kartonstreifen durchsticht und ihn festhält. Dadurch wird ein Verdrücken des Streifens verhindert. Außerdem kann man nachher für die Auswertung erkennen, ob der Streifen richtig eingelegt war.

7.2.5. Wartung des Gerätes

Glaskugel und Metallschale müssen öfter von Staub und Verschmutzung gereinigt werden. Im Winter ist eine erhöhte Aufmerksamkeit für das Gerät notwendig, weil Eis, Schnee und Reif auf der Glaskugel und auch auf dem Streifen die Aufzeichnung einer Brennsur unmöglich machen. Es ist daher vor Sonnenaufgang evtl. vorhandener Eis-, Schnee- oder Reifbelag mit der Hand oder einem Holzspan vorsichtig zu entfernen. Es empfiehlt sich, die Kugel mit einem Frostschutzmittel einzureiben, das den Reif- bzw. den Eisansatz verhindert. Als geeignetes Mittel hat sich Glyzerin oder ein Glykol (z. B. Glysantin, Genantin o. ä.) erwiesen, das mit einem weichen sauberen Pinsel fein auf die Kugel aufgetragen wird.

Da auch die Nuten der Kugelschale verschmutzen und der Schmutz verhärtet, sind sie mit einem angespitzten Hölzchen ab und zu zu reinigen.

7.2.6. Meßgenauigkeit

Man muß sich darüber im klaren sein, daß die Erzielung von streng vergleichbaren Ergebnissen mit dem Sonnenscheinschreiber nach CAMPBELL-STOKES auch bei einer überall gleichartigen Auswertung der Streifen begrenzt ist. Da die Stundenlängen auf dem Streifen nur etwa 2 cm, die Breite der Brennsur aber etwa 2 mm beträgt, erzeugt schon eine kurze Einwirkung der Sonnenstrahlung einen runden Brennfleck, der in seiner Längenausdehnung einer Zeitdauer von 6 Minuten entspricht. Viele kurze Einwirkungen können unkontrollierbar die scheinbare Gesamtsonnenscheindauer erheblich erhöhen. Für die Auswertung der Streifen gibt es ausführliche Anweisungen.

Gegenüber den durch die Meßmethode und unterschiedliche Auswertung hervorgerufenen Unsicherheiten erscheinen die Fehler durch geringfügig abweichende Abmessungen der Kugel und Kugelschalen sowie deren Zentrierung, der Kugeldurchlässigkeit und der Brechungsexponenten gering. Das zur Registrierung verwendete Papier ist genormt. Es besteht aus dunkelblauem Karton von 0,2 mm Stärke, auf den die Stunden- und Halbstundenlinien sowie die Mittellinie weiß

aufgedruckt sind. Vorkommende geringe Abweichungen in der Kartonstärke und -farbe haben sich praktisch als bedeutungslos gezeigt.

8. Die Bestimmung der Sichtweite

8.1. Allgemeine Hinweise

Die Sichtweite wird im wesentlichen durch folgende Erscheinungen beeinflusst:

a) Trübungspartikel, die aus Wasser, Eiskristallen, Staub, Ruß oder chemischen Schwebstoffen bestehen können.

b) Sprunghafte Dichteänderungen in der Atmosphäre, die bei kleinräumiger, unregelmäßiger Verteilung das Luftflimmern, bei größeren Flächen Spiegelungen (Fata Morgana) bewirken.

Nur ein Teil des vom hellen Hintergrund kommenden Lichts gelangt direkt zum Beobachter. Das restliche Licht wird durch die Trübungspartikel teilweise absorbiert, teilweise reflektiert oder gestreut. Das reflektierte oder gestreute Licht kann unter Umständen aus einer anderen Richtung als der ursprünglichen zum Auge des Beobachters gelangen, so unter anderem auch aus Richtung des dunklen Sichtziels. Die Folge ist, daß der helle Hintergrund dunkler, das dunkle Sichtziel heller wirkt. Weil das Auge sich der neuen Gesamthelligkeit des empfangenen Bildes anpaßt, wird nur die Aufhellung des dunklen Sichtziels bemerkt. Aus diesem Grund nähert sich für das Auge bei Sichtverschlechterung die Helligkeit eines entfernten Sichtziels immer mehr der des Hintergrunds, um schließlich mit diesem übereinzustimmen, während die allgemeine Verdunkelung nicht bewußt wahrgenommen wird. Den Verlust des Lichtes durch Absorption, Reflexion und Streuung längs des Ausbreitungsweges bezeichnet man als Auslöschung (Extinktion).

Sprunghafte Dichteänderungen in der Atmosphäre wirken sich bei kleinräumiger, unregelmäßiger Verteilung im wesentlichen nur als Flimmern der Luft aus. Beim Flimmern, das durch das Emporstrudeln warmer Luft infolge starker Einstrahlung entsteht, werden die Konturen der Sichtziele schnell wechselnd verzerrt und dadurch schwerer erkennbar, was einer Sichtminderung gleichkommt. Bei Dichteänderungen entlang größeren Flächen entstehen Spiegelungen oder Brechungen (z. B. Fata Morgana), die u. u. sogar eine Sichtverbesserung bewirken können.

8.2. Sichtschätzung

8.2.1. Meteorologische Sicht

Die meteorologische Sicht ist definiert als die größte Entfernung, in der ein schwarzer Gegenstand ausreichender Größe (Gesichtswinkel 0,5 bis 5°) gegen den Horizont Himmel mit dem bloßen Auge sichtbar ist und seine Umrisse erkennbar sind (der Gebrauch von Ferngläsern oder Theodoliten ist hierbei ausgeschlossen).

Um einen Gegenstand zu erkennen, muß er sich von seinem Hintergrund in Helligkeit oder Farbe unterscheiden. Das Farbunterscheidungsvermögen des menschlichen Auges ist geringer als das Schwarz-Weiß-Unterscheidungsvermögen. In den Grenzfürfernungen wird daher immer nur der Helligkeits-, genauer Leuchtdichteunterschied beobachtet. Der von einem normalen Auge gerade noch wahrnehmbare Leuchtdichteunterschied oder Kontrast liegt je nach Beobachtungsbedingungen zwischen 2 und 5%, das heißt, bei einer Leuchtdichte des Horizont Himmels von 100% kann die des Sichtziels noch 95 bis 98% betragen.

Zur Schätzung der meteorologischen Sicht wählt man für einen gegebenen Standort eine ausreichende Zahl

sich gut gegen den Hintergrund abhebender dunkler Objekte aus, deren Entfernungen vom Standort dann einer Karte entnommen werden. Es empfiehlt sich die Anfertigung einer Sichtmarkenkarte, auf der die Objekte in der betreffenden Himmelsrichtung in groben Umrissen gezeichnet und mit einer Entfernungsangabe versehen werden. Da die Sicht nicht immer in allen Richtungen gleich ist, sollen vor allem für die kürzeren Entfernungen Sichtziele etwa gleicher Entfernung in verschiedenen Richtungen ausgewählt werden.

Unterhalb eines Schwinkels von etwa 0,5 Grad werden Objekte bei sonst gleichen Bedingungen vom Auge schlechter wahrgenommen als Objekte, die einen größeren Schwinkel umfassen, d. h. kleine Objekte verschwinden bei Sichtverschlechterung früher als größere trotz gleicher Entfernung. Als Tagessichtmarken werden markante Ziele von schwarzer oder dunkler Farbe im Gelände ausgewählt, deren scheinbare Größe (Sehswinkel) 0,5 bis 5 Grad betragen soll. Die Dicke eines normalen Bleistifts in Armlänge ausgestreckt vom Beobachter, überdeckt etwa einen Winkel von 0,5 Grad, eine ausgestreckte Hand (Breite) einen solchen von 10 Grad.

8.2.2. Feuersicht (Nachtsicht)

Zur Sichtschätzung bei Nacht benutzt man Lichtquellen (normale weiße Rundstrahler) in bekannter Entfernung. Bei zu großen Lücken müssen ggf. gesonderte Lichtquellen (Sichtleuchten) aufgebaut werden, um eine geschlossene Kette von Nachtsichtzielen zu erhalten. Das menschliche Auge ist ein Organ, das in der Vielfalt seiner Möglichkeiten allen technischen Geräten überlegen ist; es vermag u. a. sich jeder herrschenden Helligkeit derart anzupassen, daß es immer im günstigsten Empfindlichkeitsbereich arbeitet. Für die Umstellung auf einen stark abweichenden Bereich wird jedoch eine gewisse Anpassungszeit (Adaptationszeit) benötigt. Diese Adaptationszeit macht z. B. beim Hinaustrreten aus einem hellen Raum in die dunkle Nacht ein Verweilen von mehreren Minuten erforderlich, bis eine brauchbare Sichtschätzung angestellt werden kann. Am Tage trägt außer dem Licht vom hellen Hintergrund auch das übrige Himmelsgewölbe zur Aufhellung des vom Auge erfaßten Luftvolumens bei, während bei Nacht nur das Licht der Sichtleuchte die dunklen Partien aufhellt. Bei sonst gleichen Verhältnissen ist daher der Kontrast und damit die Nachtsicht (Feuersicht) größer als die meteorologische Sicht (bis zum Vierfachen bei 200 m met. Sicht).

8.2.3. Landebahnsicht (Runway Visual Range = RVR)

Unter RVR versteht man die größte Entfernung, in der die Landebahn, spezielle Markierungen oder Leuchten vom Piloten am Aufsetzpunkt gesehen werden können. Der Pilot nimmt hierbei den Kontrast zwischen den Orientierungshilfen und dem als Hintergrund vorhandenen Flugplatzgelände wahr. Bei schlechter Sicht kommen praktisch nur die Landebahnrand- oder Mittellinienfeuer in Betracht. Letztere werden im Deutschen Wetterdienst jedoch nicht zur Bestimmung der RVR herangezogen, da die verwendeten Unterflurfeuer auf Grund der engen Bündelung des Lichtstrahls und ihrer raschen Verschmutzung hierzu nicht geeignet sind. Die Landebahnrandfeuer sind üblicherweise in einem Winkel von 3° zur Anflugrichtung und leicht nach oben zeigend aufgestellt.

Bei eingeschalteter Landebahnbeleuchtung ist wegen deren hoher Lichtstärke und der Bündelung des Lichtes für die kürzeren Entfernungen der Kontrast für die RVR selbst bei normaler Tageshelligkeit größer als der für die meteorologische Sicht, so daß die RVR bei Tage den doppelten, bei Nacht den vierfachen Wert der meteorologischen Sicht erreichen kann (s. a. Feuersicht).

Der Faktor, mit dem die (geschätzte) meteorologische Sicht zu multiplizieren wäre, um die RVR angeben zu können, wird mit zunehmender Tageshelligkeit (Aufhellen des Hintergrundes) und größerer Entfernung der Feuer vom Beobachter (Abnahme der Beleuchtungsstärke nach der Tragweitenformel) kleiner. Er unterschreitet schließlich den Wert eins, d. h. die RVR wird kleiner als die meteorologische Sicht. Von diesem Punkt an ist statt der RVR die meteorologische Sicht zu melden. Diese Grenzentfernung, wo die RVR gleich der meteorologischen Sicht ist, ist nur am Tage bei stark durchstrahltem (leuchtendem) Nebel von praktischer Bedeutung. Sie beträgt, wenn die größte Lichtstärke der Landebahnfeuer eingeschaltet ist, im Mittel bei:

finsterer Nacht	mehr als 10,0 km
mittlerer Dämmerung	7,7 km
normalem Tag	2,2 km
leuchtendem Nebel	0,6 km

Der Beobachter sieht die Landebahnbeleuchtung im allgemeinen nicht unter dem gleichen Winkel wie ein über der Mittellinie der Landebahn befindlicher Flugzeugführer. Es empfiehlt sich daher der Aufbau einer Kette von Feuern des gleichen Typs, die der Beobachter im Bedarfsfall zur Bestimmung der RVR einschalten kann. Die Feuer sollen auf einen um eine halbe Landebahnbreite neben dem Beobachter gelegenen Punkt ausgerichtet sein.

Die modernen Landebahnscheinwerfer haben eine Austrittsöffnung von etwa 0,1 m². Eine Lichtquelle dieser Größe wird in Entfernungen bis herab zu etwa 600 m als Punkt wahrgenommen, bei kürzerer Entfernung wirkt sie flächenhaft. Die Folge davon ist, daß für eine RVR unter 600 m der Umrechnungsfaktor zwischen RVR und meteorologischer Sicht (bei dunkler Nacht bis zu 4) nicht mehr nach dem photometrischen Entfernungsgesetz unbegrenzt ansteigt, sondern mit kleiner werdender RVR wieder absinkt. Hinzukommt, daß während einer Landung die Achsen der Lichtbündel der stärkeren Landebahnrandfeuer bei dieser kurzen Entfernung am Piloten vorbeigehen, so daß er die schwächere Mittellinienbeleuchtung anvisiert.

8.3. Sichtmessung

8.3.1. Physikalische Grundlagen

Zur Sichtmessung muß eine physikalisch einwandfreie Verknüpfung zwischen der Sichtweite, dem vom Auge wahrgenommenen Leuchtdichte-Kontrast und dem Grad der Trübung der Luft hergestellt werden.

Als Sichtweite ist die Länge einer Luftsäule, die die Helligkeit des eintretenden Lichtes von 2700° K Farbtemperatur auf 5% ihres Ursprungswertes herabsetzt, definiert. Sie wird als Normsichtweite bzw. Meteorological Optical Range (MOR) bezeichnet. Der o. g. Wert von 5% entspricht einem Leuchtdichte-Kontrast von 5%. Er liegt für ein geübtes Auge und bei bekannten Sichtzielen etwas zu hoch und gibt daher kleinere Werte als die meteorologische Sicht. Vielfach wird aus diesem Grunde ein Wert von 2% empfohlen.

Allen heute gebräuchlichen Sichtmeßgeräten (Abb. 44) ist gemeinsam, daß sie jeweils nur einen Teil des Trübungsphänomens erfassen und hieraus auf das Ganze schließen. Sie messen den Grad der Trübung entweder aus dem Lichtverlust durch Extinktion an den Trübungspartikeln auf einer Strecke oder aber die Streuung (Lichtumlenkung) in einem Raum. Die Messung jeweils nur eines Teils des Trübungsphänomens setzt voraus, daß verschiedenartige Trübungen in ihren Auswirkungen gleich sind. Dies trifft zwar im Normalfall zu, jedoch sind Abweichungen möglich (z. B. Staub und Ruß

mit viel Absorption, aber wenig Streuung und Reflexion, dagegen Schnee mit wenig Absorption, aber viel Streuung und Reflexion).

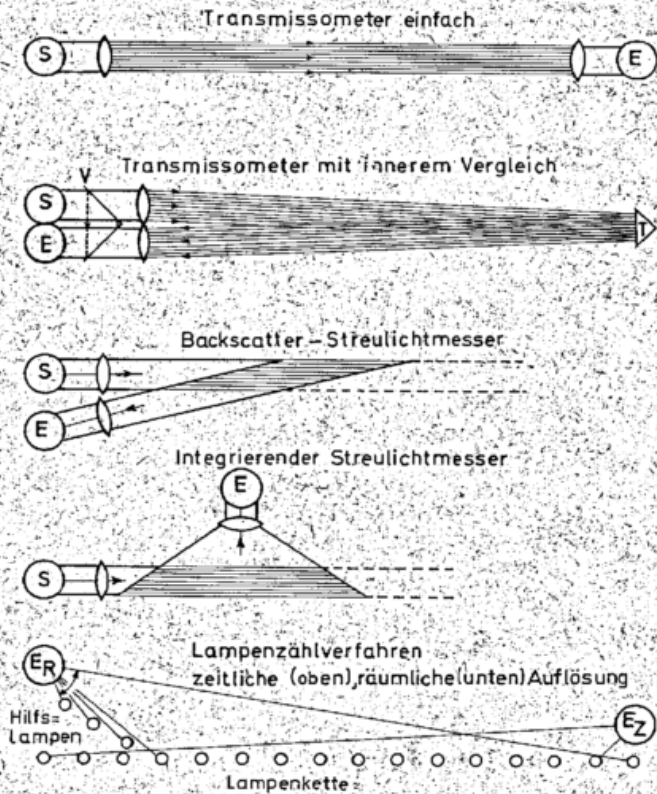


Abb. 44

Verschiedene Sichtmeßverfahren (schematische Darstellung)
S = Sender, E = Empfänger, T = Tripelspiegel,
V = Vergleichsweg

8.3.2. Transmissometer

Diese Gerätegruppe (Abb. 45) mißt die Extinktion und damit den Lichtverlust durch Trübungspartikel auf einer Strecke; dabei sind entweder Lichtsender und Lichtempfänger an je einem Ende der Strecke aufgebaut oder aber Lichtsender und Lichtempfänger sind an dem einen Streckenende zu einem Gerät vereinigt, während am anderen Ende der Strecke ein Umlenkmittel (Tripelspiegel) den Lichtstrahl zum Ausgangspunkt zurückwirft. Im ersten Fall durchläuft der Lichtstrahl die Meßstrecke einmal, im zweiten Fall zweimal.

Moderne Geräte arbeiten mit moduliertem oder Impulslicht, um es durch Ausschaltung des Tageslichts von

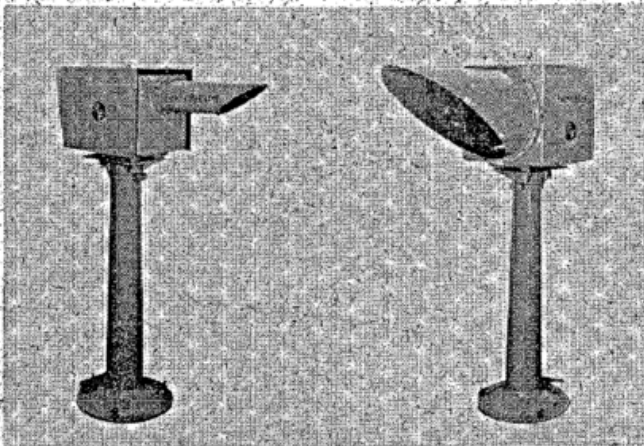


Abb. 45

Transmissometer — Sender und Empfänger

diesem unterscheiden zu können. Die Geräte mit Sender und Empfänger an verschiedenen Enden der Meßstrecke arbeiten über längere Zeiträume nicht konstant und bedürfen daher der Überwachung und Nachregulierung (Nacheichung). Bei den Geräten mit Sender und Empfänger im gleichen Gehäuse und Umlenkung der Lichtstrahlen durch Tripelspiegel ist durch einen inneren Vergleichsweg die Eichkonstanz gewährleistet. Da die Sicht in Abhängigkeit von der Trübung einer Exponentialfunktion folgt, hängt der mit einer gewünschten Meßgenauigkeit erfassbare Meßbereich von der Länge der Meßstrecke ab; er beträgt etwa 1 x Meßstrecke bis 30 x Meßstrecke; weil die moderne Luftfahrt zu immer geringeren Sichtweiten, bei denen noch Landungen durchgeführt werden dürfen, übergeht und die RVR bis zum Vierfachen der meteorologischen Sicht beträgt, ist es erforderlich, die Meßstrecken diesen neuen Gegebenheiten anzupassen, was zu Entfernungen von 50 bis 75 m führt.

8.3.3. Streulichtmesser

Diese Gerätegruppe (Abb. 46, 47) mißt das aus einem Luftraum durch Streuung austretende Licht einer Impulslichtquelle, deren Licht nicht auf direktem Weg zum Empfänger gelangen kann. So wie man abseitsstehend

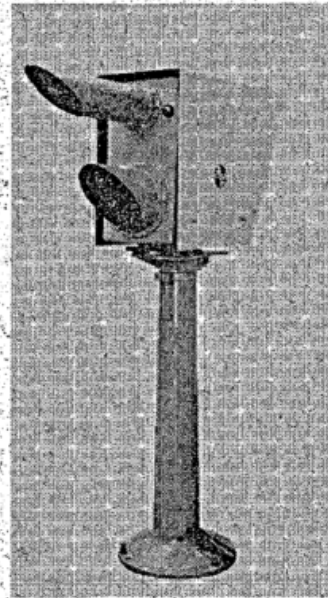


Abb. 46

Streulichtmesser (Backscatterer) — Sender mit Empfänger

das Strahlenbündel aus einem Scheinwerfer um so besser sieht, je mehr Licht durch Trübungspartikel nach anderen Richtungen gestreut wird, so ist auch hier Helligkeitszunahme gleichbedeutend mit Sichtabnahme. Die Praxis hat gezeigt, daß keine wesentlichen Unterschiede der Meßresultate bestehen zwischen Geräten, die nur die Rückwärtsstreuung (Backscatter-Geräte) und solchen, die einen großen Streuwinkelbereich erfassen (integrierende Streulichtmessung).

8.3.4. Lampenzählgeräte

Diese Gerätegruppe (Abb. 44) zählt aus einer Lampenkette (meist übliche Landebahnfeuer) die Zahl der noch sichtbaren Glieder aus und ermittelt so die Sichtweite aus der bekannten Entfernung des gerade nicht mehr sichtbaren letzten Gliedes. Die Auszählung geschieht entweder durch automatisches Schwenken eines Fernrohres über die Lampenkette hinweg oder durch zeitlich nacheinander erfolgreiches Aufleuchten und Verlöschen der Lampen.

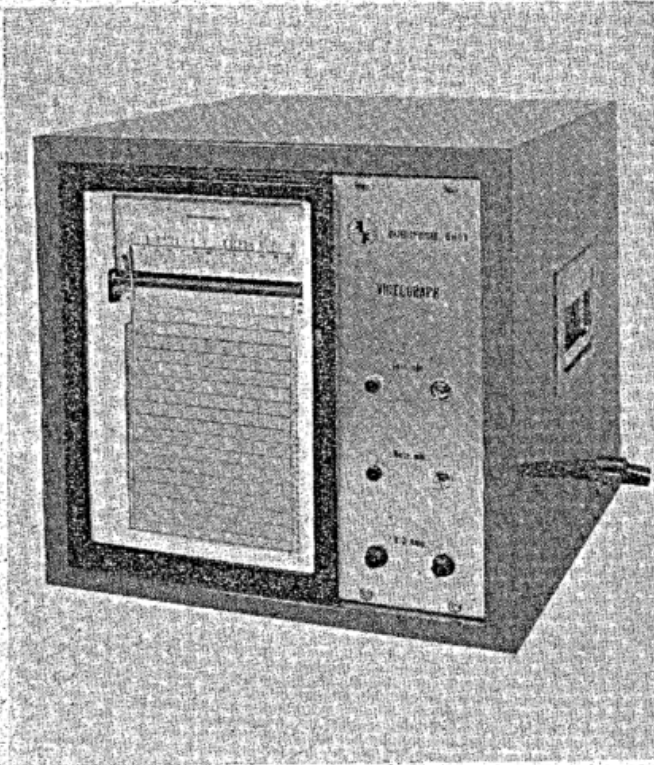


Abb. 47
Streulichtmesser (Backscatter) — Anzeigegerät

Da die Flugsicherheit einen Geräteaufbau in der optischen Achse der Landebahnbeleuchtung nicht zuläßt, sind in jedem Falle zusätzliche Lampen erforderlich. Der zeitlichen Auflösung durch geschaltete Lampen ist hierbei der Vorzug vor der räumlichen Auflösung zu geben, insbesondere weil mit der zeitlichen Auflösung wesentlich größere Entfernungen gemessen werden können, ohne daß die Lampen miteinander verschwimmen. Grundsätzlich haftet den Lampenzählgeräten der Nachteil an, daß sie nicht einwandfrei eichbar und auf keinen Fall eichkonstant sind, weil es im praktischen Betrieb unmöglich ist, die zahlreichen optisch wirksamen Glasflächen sauber zu halten.

8.3.5. Kontrastsichtmeßgeräte

Eine Messung des Kontrastes würde ein Äquivalent zum Sichteindruck des Beobachters unter Einschluß aller Sichtkomponenten ermöglichen. Die Geräte wären eichbar und damit Absolutgeräte und Eichnormale für alle anderen Gerätegruppen. Leider besteht bis heute keine betriebsfähige Ausführung dieses Sichtmessertyps.

8.3.6. Vor- und Nachteile der Gerätetypen

Von den obengenannten 4 Sichtmeßgerätgruppen (Abb. 44) empfehlen sich für die Praxis die Transmissometer und die Streulichtmesser.

Die Transmissometer haben im Vergleich zu anderen Geräten den Vorteil des größeren erfaßten Raumes und bei den Spitzengeräten zusätzlich den der Eichkonstanz im Dauerbetrieb. Zudem wird von ihnen gleichzeitig auch das thermisch bedingte Flimmern der Luft erfaßt. Demgegenüber eignen sich die Streulichtmesser wegen des Fehlens der Gegenstation für alle mobilen Einsätze und für Orte, an denen eine Gegenstation mit geeigneter Meßstrecke nicht möglich ist (Leuchttürme). Der erfaßte Raum ist sehr viel kleiner als bei Transmissometern. Bei schlechten Sichtverhältnissen sind fast immer starke zeitliche und örtliche Schwankungen der Trübung zu

verzeichnen, denen die Anzeige der Streulichtmesser stärker unterworfen ist als die der Transmissometer, so daß die Streulichtmesser vor allem bei guter Sicht wegen der dann meist gleichförmigen Trübungsverteilung gute Resultate, bei schlechter Sicht jedoch schwer lesbare Anzeigen liefern. Für die Aufstellung auf Flugplätzen empfehlen sich daher die Transmissometer; für alle Anwendungen, bei denen die Errichtung einer Gegenstation nicht möglich oder zu aufwendig ist, die Streulichtmesser. Bei den Streulichtmessern haben wegen des weiter außerhalb liegenden und daher der Beeinflussung durch das Gerät selbst weniger unterliegenden Meßvolumens „Backscattergeräte“ (Abb. 46, 47) gewisse Vorteile gegenüber integrierenden Streulichtmessern (Abb. 48).

Die Transmissometer und die Streulichtmesser liefern die MOR direkt oder auf dem Umweg über die Streuung. Legt man anstelle der 5% Schwelle eine solche von 2% zugrunde, so entspricht das Meßresultat weitgehend der meteorologischen Sicht, ist in Wirklichkeit aber immer nur ein Maß für die Trübung der Luft.

8.3.7. Fehlerquellen der Sichtmeßgeräte

Der größte Feind aller optischen Geräte ist die Verschmutzung. Selbst ein geringer Verschmutzungsgrad stört schon das einfache Betrachten durch Brille, Fernglas oder Lupe. Um ein Vielfaches größer ist die Störung bei einem Meßgerät. Bei Sichtmeßgeräten werden durch Heizung und Ventilation Vorkehrungen gegen ein Beschlagen getroffen. Die Verunreinigung der Atmosphäre erfordert jedoch eine regelmäßige Reinigung der optischen Grenzfläche gegen die Außenluft, wobei je nach örtlichen Verhältnissen (allgemeine Verschmutzung, auf Flughäfen: Kerosin-Dunst moderner Strahltriebwerke) die Reinigung wöchentlich oder in kürzeren Zeitabständen bis täglich erfolgen muß. Die sonstigen Störungen sind meist in elektronischen oder Kabel-

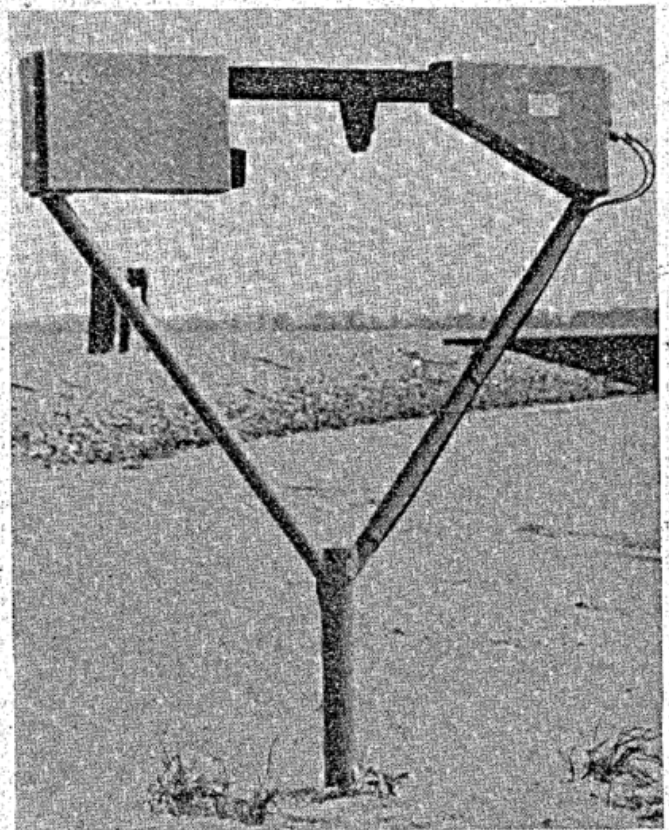


Abb. 48
Integrierender Streulichtmesser

fehlern zu suchen. Soweit nicht durch einfaches Auswechseln von Einschüben Abhilfe geschaffen werden kann, ist die Behebung der Störung Sache des Fachmannes.

8.4. Messung der Landebahnsicht

Die RVR resultiert aus den Komponenten

- a) Trübung der Luft
- b) Kontrast zwischen der Lichtstärke der Landebahnfeuer und der des Hintergrundes bzw. des Umfeldes (Umfeldleuchtdichte).

Die Trübung der Luft ist durch Sichtmeßgeräte bestimmbar.

Die Lichtstärke der Landebahnfeuer hängt von den verwendeten Fabrikaten ab und kann als bekannt vorausgesetzt werden. Wegen der Ausrichtung und starker Bündelung des Lichtkegels der Landebahnfeuer erscheint dem Piloten bei Betrachtung der Landebahnrandfeuer höchstens ein einzelnes Feuer auf jeder Seite mit voller Lichtstärke. Die in Richtung des Piloten im Durchschnitt wirksame Lichtstärke der Befuerung ist daher gegenüber der Höchstintensität wesentlich herabgesetzt. Im Deutschen Wetterdienst wird zur Berechnung der RVR $\frac{1}{5}$ der Lichtstärke der auf höchste Intensität geschalteten Landebahnrandfeuer berücksichtigt.

Die Umfeldleuchtdichte wird entweder photoelektrisch gemessen oder es werden hierfür Erfahrungswerte zugrunde gelegt, die sich z. B. in einer Tabelle mit den Stufen „Nacht - Dämmerung - Tag“ verwenden lassen.

Durch laufende Eingabe der Meßwerte für Trübung, Lichtstärke der Landebahnfeuer und Umfeldleuchtdichte in eine Rechenanlage läßt sich direkt die RVR gewinnen. Hierdurch wird eine beständige analoge oder digitale Anzeige und Registrierung der RVR, wie sie von der Luftfahrt gefordert wird, ermöglicht.

9. Die Messung der Wolkenuntergrenze

9.1. Allgemeine Hinweise

Die Wolkenhöhen-Bestimmung basiert auf der verschiedenartigen Lichtschwächung durch Streuung einerseits an Luft- und Dunstpartikeln, andererseits an Wassertröpfchen und Eiskristallen. Die Untergränze einer Wolke ist als die Zone anzusehen, in der die Lichtschwächung von der einen in die andere Art überwechselt. Gerade in den kritischen Fällen ist die Untergränze sehr unscharf. Auch hängt die vertikale Ausdehnung der Übergangzone von der angewendeten Beobachtungsmethode ab.

Die Höhe der Wolkenuntergränze sollte vorzugsweise durch objektive Meßmethoden ermittelt werden. Gegenwärtig werden folgende Methoden angewandt:

- a) Schätzung mit bloßem Auge
- b) Flugzeugführer-Beobachtung
- c) Messung mit Pilotballon
- d) Messung mit Wolkenscheinwerfer
- e) Messung mit Radar oder ähnlichem

Nachstehend werden die einzelnen Meßmethoden behandelt.

9.2. Pilotballon

Der Aufstieg eines meteorologischen Ballons mit angenommener konstanter Steiggeschwindigkeit kann zur Ermittlung der Wolkenhöhe benutzt werden, indem man die Zeit mißt, die zwischen dem Start des Ballons und dem Eintauchen in die Untergränze der Wolke verstreicht. Diese Ballone brauchen nicht so groß zu sein,

wie die für Höhenwindmessung benutzten. Ballongewichte von 5 bis 10 g sind ausreichend. Sie sollen kugelförmig und für Steiggeschwindigkeiten von etwa 120 bis 150 m/min aufgeblasen sein. Als Füllgas wird Wasserstoff verwendet.

Zur Beobachtung wird ein Feldstecher, Fernrohr oder Theodolit benutzt. Es muß sorgfältig unterschieden werden zwischen Fällen, in denen man den Ballon in eine Wolke eintauchen sieht und solchen, in denen er durch Wolken verschleiert wird, die in geringerer Höhe durch das Gesichtsfeld treiben.

Die Methode kann auch bei Nacht benutzt werden, wenn man eine elektrische Stablampe an den Ballon hängt. In diesem Fall ist dann ein Ballon mit einem Gewicht von etwa 30 g zu verwenden.

Außer bei sehr starkem Wind können Wolkenhöhen bis zu 800 m mit der Ballomethode gemessen werden.

Auf diese Weise durchgeführte Messungen der Wolkenuntergränze sind nur mit Einschränkungen zu verwenden, da die mittlere Steiggeschwindigkeit eines Ballons besonders in den ersten paar hundert Metern merklich von der angenommenen Steiggeschwindigkeit abweichen kann (infolge von Einflüssen von Vertikalströmungen, Turbulenz, Niederschlag und auch der unterschiedlichen Ballonform).

Über ebenem Untergrund sind Fehler von 250 m in 1000 m Höhe möglich; größere Fehler können bei Vorhandensein von Wirbeln vorkommen, die durch Häuser, Bäume usw. verursacht werden.

9.3. Wolkenscheinwerfer mit Meßbasis

9.3.1. Glühlampenscheinwerfer für Nachtbeobachtung

Zur Messung der Wolkenhöhe bei Nacht wird üblicherweise ein Scheinwerfer benutzt (Abb. 49).

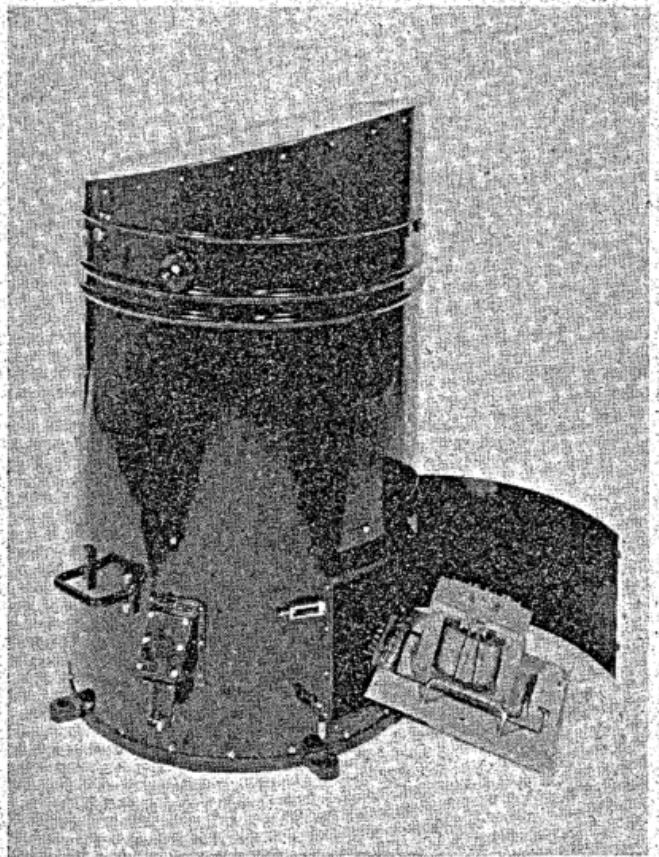


Abb. 49
Nachtwolkenscheinwerfer

Bei bekannter Basis wird der Höhenwinkel des Lichtflecks gemessen, der an der Wolkenuntergrenze erzeugt wird, wenn der Strahl eines Scheinwerfers an dem einen Ende der Meßbasis senkrecht die Wolkendecke anstrahlt und der Fleck vom anderen Ende der Basis aus beobachtet wird (Abb. 50). Voraussetzung ist, daß

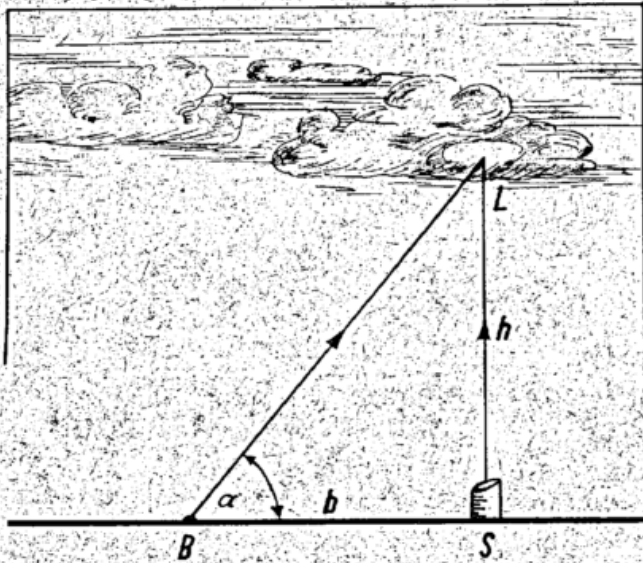


Abb. 50

Meßprinzip des Nachtwolkenscheinwerfers
 α = Höhenwinkel, b = Basis, h = Höhe, B = Beobachterstandort, S = Scheinwerfer, L = Lichtfleck an der Wolke

der Scheinwerfer einen genügend lichtstarken und eng gebündelten Lichtstrahl liefert. Große Scheinwerfer, die für den Dauereinsatz zur Messung der Wolkenhöhe konstruiert sind, erzeugen einen Lichtstrahl mit einem Streuwinkel von nicht mehr als etwa 2° und einer Höchstlichtstärke von etwa $3 \cdot 10^6$ Millionen Kerzen. Diese Leistung kann mit einer eng gewendelten Glühlampe (Lichtwülfampe mit Lebensdauer 100 Stunden) von etwa 250 oder 500 Watt und einem Parabolspiegel guter Qualität von etwa 40 bis 60 cm Durchmesser erzielt werden. Ein solcher Scheinwerfer ermöglicht die Messung von Wolkenhöhen von mehr als 1000 m.

In einem vorhandenen Scheinwerfer erhöht die Verwendung einer stärkeren Lampe die Reichweite des Scheinwerfers kaum. Die Glühwendel wird größer und hat nur eine Vergrößerung des Lichtflecks an der Wolke zur Folge, während die Leuchtdichten der Lampe und des Lichtflecks gleich bleiben.

Da die Leistung eines Scheinwerfers sehr stark von der Fokussierung (genaue Einstellung der Lichtquelle

in den Brennpunkt des Hohlspiegels) abhängt, ist eine bequeme Einrichtung zur Brennweiteinstellung vorgesehen. Es müssen von Zeit zu Zeit Prüfungen der Schärfe des Brennpunktes durchgeführt werden, da die Wendel der Glühlampe sich bei Alterung der Lampe verlagern kann.

Die Senkrechtstellung des Scheinwerferstrahles soll mit einer Genauigkeit von weniger als 1° gewährleistet sein. Deshalb wird der Scheinwerfer nach Möglichkeit auf ein tief gegründetes Betonfundament gestellt. Eine Meßbasis von etwa 200 bis 250 m Länge ist im allgemeinen erwünscht. Der Höhenwinkel des Lichtflecks wird am besten mit einem Pendelquadranten (Abb. 51) gemessen, der entweder in Winkelgrade oder, wenn das Gerät dauernd mit der gleichen Basis benutzt wird, unmittelbar in Wolkenhöhen geteilt ist. Für die Umrechnung gilt die Beziehung

$$h = b \cdot \tan \alpha$$

h = Wolkenhöhe
 b = Meßbasis
 α = Höhenwinkel

9.3.2. Wolkenhöhenmeßgeräte für Tagbeobachtung (Ceilometer)

Der gewöhnliche Glühlampenscheinwerfer kann nur bei Nacht benutzt werden. Erst durch Modifizierung der Lichtquellen, z. B. durch Zerhacken des Gleichlichtes mittels einer rotierenden Lochscheibe, kann das Meßprinzip bei Tage verwendet werden. Der für das menschliche Auge unsichtbare, modulierte Lichtfleck an der Wolkenuntergrenze kann nur durch einen photoelektrischen Empfänger aufgefunden werden. Dieser wird in einer fernrohrähnlichen Anordnung montiert;

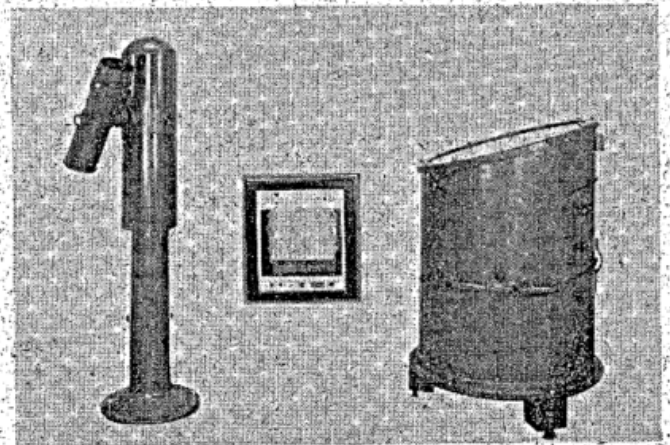


Abb. 52

Ceilograph mit Scheinwerfer, Detektor und Registriergerät

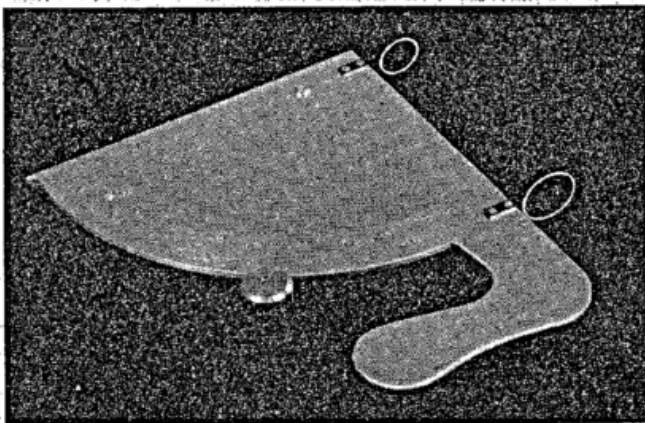


Abb. 51

Pendel-Quadrant

die optische Achse wird in einer senkrechten Ebene durch Scheinwerfer und Lichtfleck an der Wolke auf- und abwärts geschwenkt. Die Photozelle nimmt das modulierte Licht des Flecks an der Wolke und gleichzeitig das viel stärkere Tages-Gleichlicht auf und wandelt beide in elektrische Ströme um. In dem der Photozelle nachgeschalteten Verstärker wird die vom Lichtfleck herrührende Wechselstrom-Komponente von der vom Tageslicht herrührenden Gleichstrom-Komponente getrennt und verstärkt. Der photoelektrische Empfänger sucht den Lichtfleck an der Wolke. Die zugehörige Höhe der Wolkenuntergrenze wird registriert oder angezeigt.

In dem beim Deutschen Wetterdienst fast ausschließlich benutzten impuls-optischen Wolkenhöhenmesser „Ceilograph“ (Abb. 52, 53) wird als Lichtquelle eine mit Edelgas gefüllte Blitzlampe benutzt, die aus einem Hochspannungskondensator gespeist wird. Die Blitz-

folgefrequenz beträgt etwa 5 bis 10 Hz. Der Schwenkarm des Empfängers bewegt sich in etwa 60 Sekunden auf und ab, so daß zwei Meßpunkte je Minute registriert werden.

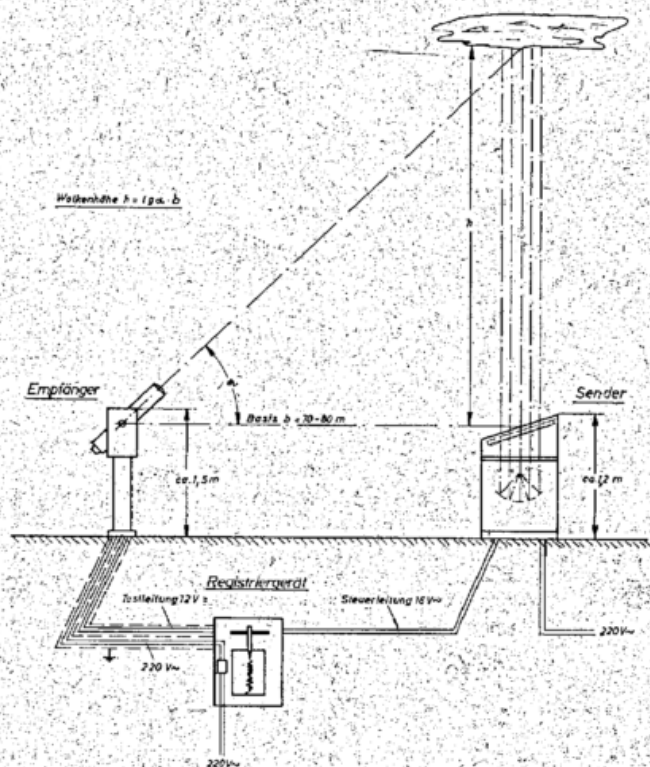


Abb. 53

Schema für die Aufstellung des Cellographs zur Bestimmung der Wolkenuntergrenze

Die Meßbasis beträgt üblicherweise etwa 75 m, kann aber zur möglichst genauen Messung ganz tiefer Wolken noch kürzer gewählt werden.

Der Scheinwerfer wird wahlweise mit zwei verschiedenen Blitzlampen geliefert:

a) abgeschmolzene Xenonlampe, Lebensdauer etwa 300 Betriebsstunden, erzielbare Reichweite 800 bis 1000 m. Das Gerät ist mit einer gedämpften Ausführung des Entladungskreises lieferbar. Hierbei beträgt die Lebensdauer der Lampe etwa 2000 Betriebsstunden. Die Reichweite geht dabei um etwa 200 m zurück.

b) demontable Funkenkammer, die nach jeweils etwa 40 Betriebsstunden gereinigt und mit Argon aufgefüllt werden muß, erzielbare Reichweite 1000 m und mehr.

9.4. Laufzeitmeßgeräte

9.4.1. Optisches Laufzeitgerät

Eine weitere Möglichkeit zur Messung der Wolkenuntergrenze besteht darin, daß ein Scheinwerfer Lichtimpulse senkrecht nach oben aussendet und die Laufzeit zwischen der Aussendung eines Impulses und der Aufnahme des von der Wolkenuntergrenze reflektierten bzw. gestreuten Impulses mit einem photoelektrischen Empfänger, der dicht neben dem Scheinwerfer stehen kann, und einem Kathodenstrahlzillographen oder einem anderen elektronischen Kurzzeitmeßgerät gemessen wird. Dieses System hat den Vorteil, daß keine Meßbasis benötigt wird.

9.4.2. Hochfrequenz-Laufzeitgerät (Vertikalradar)

Die von Regentropfen reflektierte und im Empfänger eines Wetterradargerätes wieder empfangene Hochfre-

quenzenergie eines Radargerätes ist proportional der sechsten Potenz des Tropfendurchmessers. Hierauf ist es zurückzuführen, daß Radargeräte wesentlich empfindlicher für die Feststellung der im Niederschlag vorkommenden, relativ großen Tropfen sind, als für die sehr kleinen Wolkentropfchen, auf deren Erfassung es bei der Messung der Wolkenuntergrenze ankommt. Die von Wolkentropfchen reflektierte Hochfrequenzenergie ist außerdem von der verwendeten Radarwellenlänge abhängig.

Die üblichen Wetter- und Regen-Radargeräte mit etwa 3,2 cm Wellenlänge (9 400 MHz) sind nur bedingt oder überhaupt nicht geeignet, sämtliche Arten von Wolken zu entdecken. Diese Radargeräte lassen sich außerdem üblicherweise nicht senkrecht nach oben richten,

Längere Wellen als 3 cm kommen aus rein physikalischen Gründen nicht in Frage. Aufgrund von wolkenphysikalischen Voraussetzungen muß eine möglichst kleine Wellenlänge gewählt werden. Bei niederschlagsfreiem Wetter sind Wellen von etwa 0,86 cm (35 000 MHz) nach Erprobungen in USA (und Deutschland) brauchbar, jedoch nicht für Untergrenzen unter 500 m (entsprechend einer Laufzeit von etwa 1 μ s*). Diese sind jedoch für den Flugwetterdienst von besonderer Bedeutung.

Obwohl die Meßgenauigkeit optischer Verfahren größer ist als die der Radarmethoden, können letztere bei Wolkenhöhen oberhalb von 1 500 m den optischen Verfahren überlegen sein, besonders wenn es sich darum handelt, Obergrenzen von Wolken, mehrere Wolkenschichten oder eine sehr hohe Schicht zu ermitteln. Unterhalb von 1 500 m sind die optischen Verfahren geeigneter.

9.4.3. Laser-Wolkenhöhenmesser

In neuerer Zeit wurden Geräte zur Messung der Wolkenhöhe entwickelt, welche die Eigenschaften des Lasers benützen. Bei diesen Geräten, die einen Rubin-Laser enthalten, wird ein extrem stark gebündelter Impuls kohärenten Lichtes von einigen zehn Nanosekunden*) Dauer und einer Leistung in der Größenordnung Megawatt senkrecht nach oben abgestrahlt. Gleichzeitig läuft eine sehr genaue elektronische Uhr an. Das emittierte Licht wird an den Wassertropfen der Wolken diffus gestreut und zu einem kleinen Teil zum Empfänger reflektiert, der mit einer sehr empfindlichen Photozelle ausgestattet ist. Das Eintreffen des reflektierten Lichtimpulses wird mit Hilfe der elektronischen Zeituhr registriert. Aus der gemessenen Laufzeit wird die Wolkenhöhe ermittelt, die sowohl angezeigt als auch registriert werden kann.

Mit den derzeit verfügbaren Geräten sind Messungen von Wolkenhöhen zwischen etwa 30 m und 10 000 m möglich. Die Meßgenauigkeit hängt von der elektronischen Zeitauflösung ab und liegt etwa bei ± 10 m. Die Anzeigegenauigkeit hängt dagegen von dem verwendeten Anzeige- bzw. Registriergerät und dem jeweils benutzten Meßbereich ab. Wolkenschichtungen sind mit dem Lasergerät nur gelegentlich bei sehr dünnen Wolkenschichten feststellbar.

Wesentliche Vorteile dieser Geräte sind, neben der hohen Meßgenauigkeit, der Wegfall der erforderlichen Meßbasis und die leichte Verlegbarkeit des Gerätes. Nachteilig sind der bis jetzt noch relativ hohe Anschaffungspreis und die verhältnismäßig geringe Pulsfrequenz.

*) 1 Nanosekunde (ns) = 10^{-9} s

*) 1 μ s (Mikrosekunde) = 10^{-6} s

9.5. Genauigkeit von Wolkenhöhenmessungen

Die Erzielung einer hohen Genauigkeit bei der Messung der Wolkenhöhen ist weitgehend dadurch begrenzt, daß im allgemeinen die Wolkenuntergrenze nicht scharf ist. Die Untergrenze ist nicht nur diffus, sondern oft ausgefranst und sehr veränderlich. Kurzzeitige Beobachtungen, wie z. B. bei Verwendung von Ballonen, können daher sehr wenig charakteristisch für die Wolkenuntergrenze als ganzes sein. Die Scheinwerfermethode gibt zuverlässigere Ergebnisse. Es ist anzunehmen, daß oberhalb 1 000 m eine Genauigkeit zwischen 5 und 10% der tatsächlichen Höhe im allgemeinen erreichbar ist, unterhalb davon ist sie je nach Wolkenart geringer. Die Reichweite der photoelektrischen Geräte hängt sehr von der genauen Justierung der optischen Achsen von Scheinwerfer und Empfänger ab.

10. Aerologische Messungen

Unter aerologischen Messungen wird im folgenden die Bestimmung des Höhenwindes sowie der Wetterelemente Luftdruck, Lufttemperatur und Luftfeuchte in der freien Atmosphäre verstanden. Der Höhenwind kann optisch (z. B. Pilotballonmethode) und elektrisch (Radar und Radiotheodolit) bestimmt werden; zur Messung der übrigen genannten Wetterelemente wird die Radiosonde eingesetzt.

10.1. Höhenwindmessung

10.1.1. Pilotballonmethode

Die wohl einfachste Methode zur Messung des Höhenwindes ist die Verwendung eines mit Wasserstoff gefüllten Gummiballons von etwa 50—100 cm Durchmesser, dessen Steiggeschwindigkeit aus dem Auftrieb ermittelt wird. Der nötige Auftrieb in Gramm kann mit besonderen Vorrichtungen, z. B. der Füllwaage, gemessen werden. Er wird umso größer, je mehr Was-

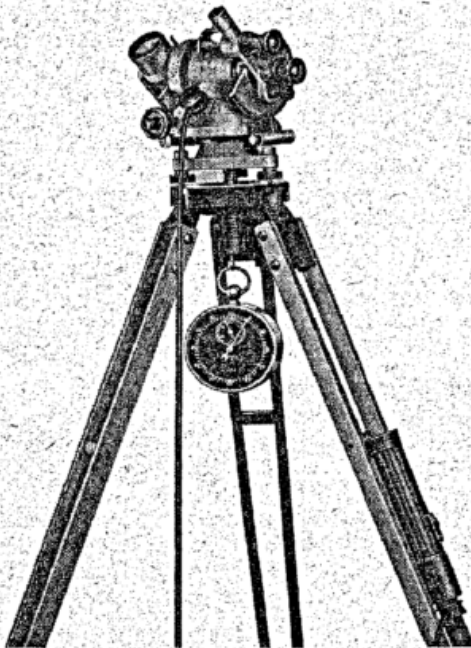


Abb. 54
Askania-Ballontheodolit

serstoff der Ballon enthält, und kann so variiert werden, daß eine bestimmte Aufstiegsgeschwindigkeit, meist 200—300 m je Minute, gegeben ist. Die für bestimmte Steiggeschwindigkeiten benötigten freien Auftriebswerte werden aus Tabellen entnommen. Hat der

Ballon noch eine Anhängelast, z. B. Nachtbeleuchtung, zu tragen, so ist das Gewicht derselben dem freien Auftrieb aus der Tabelle noch zuzuschlagen. Die Summe beider wird als Füllgewicht bezeichnet, das der Ballon freischwebend, d. h. ohne zu sinken oder zu steigen, zu tragen hat. Nur wenn ein Ballon keine Anhängelast zu tragen hat, ist der freie Auftrieb gleich dem Füllgewicht.

Zur Verfolgung der frei aufsteigenden und mit dem Wind driftenden Ballone benutzt man einen optischen Ballon-Theodolit (Abb. 54), der das Ablesen von Azimut- und Höhenwinkel gestattet bzw. die Werte auf einen Papierstreifen aufdruckt.

Der Ballontheodolit läßt sich um eine vertikale Achse um 360° schwenken (Azimutwinkel) und hat eine um 90° geknickte Fernrohrachse, so daß Höhenwinkel bis 90° erfaßt werden können. Neben dem Hauptfernrohr mit dem Fadenkreuz haben Ballontheodoliten meist noch ein Suchfernrohr mit schwächerer Vergrößerung und größerem Gesichtsfeld.

Vor der Messung ist der Theodolit standsicher aufzustellen und mit Hilfe der beiden Libellen durch Drehen der drei Fußschrauben zu horizontieren. Wenn das Gerät richtig horizontiert ist, müssen während einer Drehung des Theodolits um 360° die Libellenblasen unverändert stehen bleiben. Falls sich diese verändern, ist der Theodolit entweder nicht standsicher aufgestellt oder nicht richtig horizontiert worden, bzw. sind die Libellen dejustiert. Im letzten Falle muß das Gerät ausgetauscht werden. Nach der Horizontierung erfolgt die Einnordnung. Das Fadenkreuz des Hauptfernrohres wird mit einem markanten Punkt im Gelände (z. B. Kirchturmspitze) zur Deckung gebracht, dessen Winkelabstand von der Nordrichtung genau bekannt ist. Sein Azimutwinkel auf der verdrehbaren Teilkreisscheibe wird mit der Ablesemarke zur Deckung gebracht und mit einer Feststellschraube fixiert. Schließlich wird zur Messung noch eine Signalluhr benötigt, da die Höhe beim Einfachanschnitt mit nur einem Theodolit aus dem Produkt Steiggeschwindigkeit mal Steigzeit bestimmt wird.

Der Meßvorgang verläuft folgendermaßen:

Der Ballon wird unmittelbar neben dem Theodolit gestartet. Gleichzeitig wird die Signalluhr eingeschaltet. Der frei wegfliegende Ballon wird nun vom Beobachter mit dem Theodolit verfolgt, wobei darauf zu achten ist, daß sich sein Bild jeweils in der Mitte des Fadenkreuzes des Theodolitfernrohres befindet. Im Abstand von jeweils einer Minute werden die Werte des Seitenwinkels (Azimut) und des Höhenwinkels (Höhe) abgelesen bzw. bei registrierenden Theodoliten ausgedruckt, bis der Ballon unsichtbar wird oder platzt. Unter der Annahme, daß der Ballon gleichmäßig aufsteigt und frei mit der Luftströmung verfrachtet wird, stellt die Projektion der Ballonbahn auf die horizontale Ebene den Höhenwind dar (Abb. 55). Die jeweilige horizontale Entfernung (e) des Ballons vom Standort des Theodolits läßt sich aus dem Höhenwinkel (φ) und der bekannten Höhe (h) (Steiggeschwindigkeit \times Zeit) mittels der Cotangensfunktion berechnen. Auf einem Polarkoordinatendiagramm (z. B. Moltschanoff-Auswertegerät) werden in einem bestimmten Maßstab (z. B. 1:25 000 oder 1:50 000) die jeweiligen Fußpunkte der Ballonbahn in der Azimutrichtung (α) aufgetragen und miteinander verbunden. So ergibt sich die Horizontalprojektion der Flugbahn des Ballons und damit von Fußpunkt zu Fußpunkt der mittlere Höhenwind nach Richtung und Stärke für die durchflogene Schicht. Dieser mittlere Höhenwind ist höhenmäßig der Schichtmitte zuzuordnen.

Die Pilotballonmethode hat zwei wesentliche Nachteile. Erstens ist in Wirklichkeit die Steiggeschwindigkeit nicht immer konstant. Dadurch können die Höhen-

berechnungen aus Steiggeschwindigkeit und Flugzeit und somit auch die ermittelten Windgeschwindigkeiten falsch werden. Zweitens kann der Ballon nur solange verfolgt werden, wie er sichtbar bleibt, also nicht in einer Wolke verschwindet. Bei Schlechtwetterlagen versagt die Methode unter Umständen vollkommen.

Die Fehlermöglichkeit einer falschen Höhenbestimmung der einzelnen Meßpunkte kann man durch Doppelschnitte vermeiden:

Der Ballon wird mit zwei Theodoliten angepeilt, die in einer genau ausgemessenen gegenseitigen Entfernung von mehreren Kilometern (Standorte der Theodolite und voraussichtlicher Platzpunkt sollen nach Möglichkeit

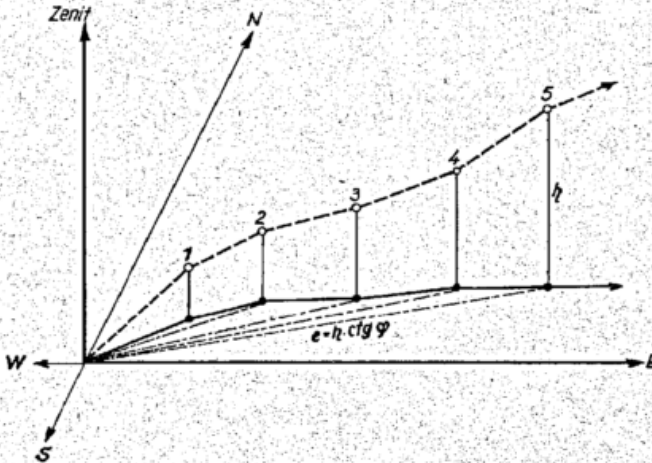


Abb. 55

Ballonbahn und deren Projektion auf die Ebene. An den Raumpunkten stehen die Zeitangaben der Messungen in Minuten. h = Höhe des Meßpunktes über der Ebene, e = Horizontalentfernung des Fußpunktes von h zum Ausgangspunkt

ein gleichseitiges Dreieck bilden) aufgestellt werden. Diese Methode ist aber sehr umständlich und wird nur selten angewandt. Den zweiten Nachteil, nur bei wolkenarmem Wetter messen zu können, überwindet man dadurch, daß der Ballon nicht optisch, sondern elektrisch verfolgt wird. Dies ist bei der Höhenwindmessung mit Radargeräten und Radiotheodoliten der Fall.

10.1.2. Radarwindmessung

Das Meßprinzip ist ähnlich wie bei der Pilotballonmethode. Für die Radarwindmessung muß das Ballongespann mit einem Körper versehen werden, der die vom Radargerät (Abb. 56) ausgehenden Kurzwellen reflektiert. Dieser Reflektor, der gelegentlich auch Target genannt wird, besteht aus einem Gestell aus Holz oder Leichtmetallrohr, das mit Aluminiumfolie (Abb. 57) oder einem metallisierten Kunststoffnetz bespannt ist. Die Form des Reflektors ist so berechnet, daß die Größe der reflektierten elektromagnetischen Energie von Drehungen des Reflektors möglichst nicht beeinflusst wird (sog. Tripelspiegel). Ein Bruchteil der vom Radargerät ausgesandten elektromagnetischen Energie trifft das Target und wird von diesem zurückgeworfen. Wiederum nur ein Bruchteil dieser reflektierten Energie wird im Empfängerteil des Gerätes aufgenommen. Dabei werden Azimut- und Höhenwinkel sowie aus der Messung der Laufzeit des Impulses die Schrägentfernung des Targets abgelesen bzw. registriert. Bei der Auswertung werden die Höhe und die Horizontal-Entfernung aus den gemessenen Azimut- und Erhebungswinkeln sowie der Schrägentfernung mit Hilfe trigonometrischer Funktionen berechnet.

Bei größeren Schrägentfernungen müssen die Erdkrümmung und unter Umständen auch die im allgemeinen nicht geradlinig erfolgende Ausbreitung des

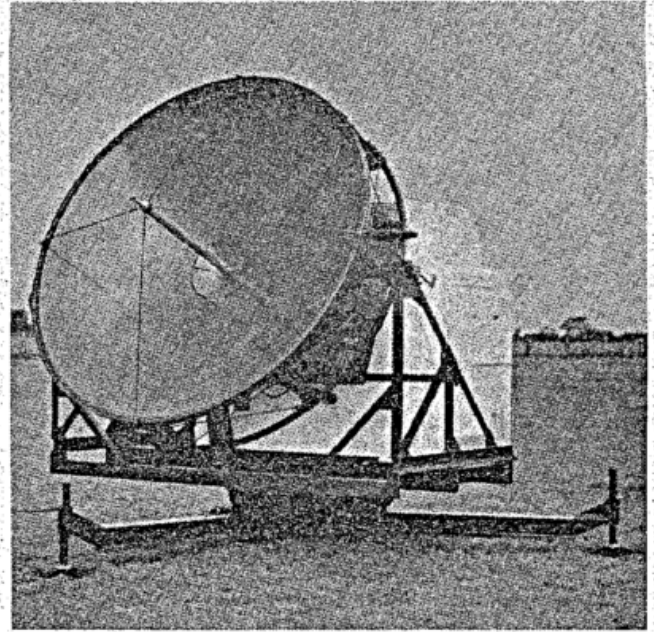


Abb. 56
Wind-Radargerät WF 2

Radarstrahls in der Atmosphäre berücksichtigt werden. Bei Radiosondenaufstiegen (s. 10.2.) werden in der Regel gleichzeitig Radarwindmessungen durchgeführt (Abb. 60).

10.1.3. Radiotheodolitmethode

Bereits mit dem Aufkommen der Radiosondentechnik vor mehr als 30 Jahren wurde versucht, bekannte Möglichkeiten der elektrischen Richtungsbestimmung, der Funkpeilung, zur Ortung von Radiosonden-Sendern zu benutzen und damit zur elektrischen Bestimmung des

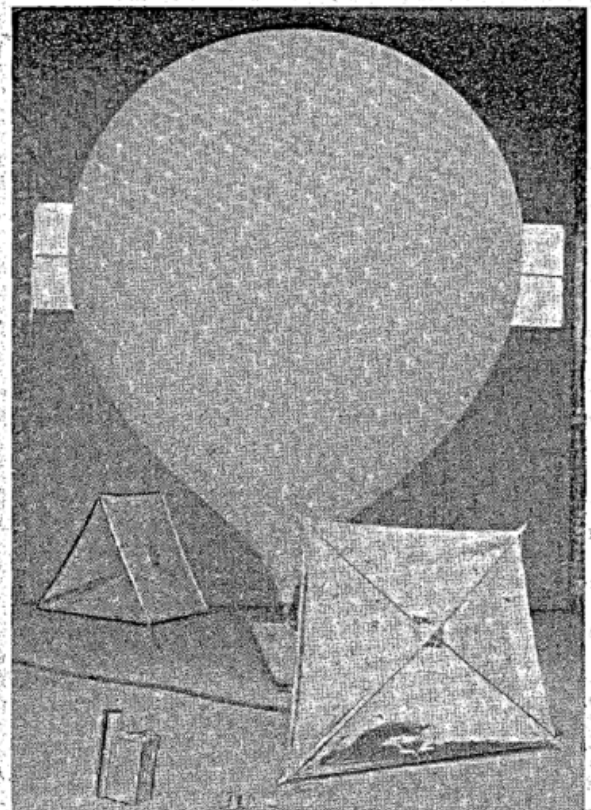


Abb. 57
Ballongespann mit Target (Aluminiumfolie)

Höhenwindes zu kommen. Wie beim optischen Doppelschnitt würde damals von zwei, mehrere Kilometer auseinanderliegenden Empfangsstationen der auf Mittel- oder Kurzwelle arbeitende Sender angepeilt und so aus den festgestellten jeweiligen Azimutwinkeln seine Bahn über Grund ermittelt.

Aber erst die Verwendung der später in Anwendung gekommenen Ultrakurzwellen (unter 10 Meter) ermöglichte die Konstruktion sogenannter „elektrischer Theodolite“, die neben der Messung der Azimutwinkel auch die der Höhenwinkel gestatteten. Zwei Systeme wurden entwickelt:

Bei dem einen werden die Azimut- und Erhebungswinkel direkt gemessen. Die zur Windberechnung noch benötigte Höhe gewinnt man bei gleichzeitiger Wind- und Radiosondenmessung aus den thermodynamischen Meßwerten. Bei ausschließlich beabsichtigter Windmessung startet man den Ballon mit einer Radiosonde, die nur ein Druckmeßteil enthält (Baroswitch). Mit Hilfe der Druckmessung und einer zu einem früheren Termin gewonnenen thermodynamischen Höhenbestimmung kann man — unter Inkaufnahme einer gewissen Unsicherheit — auf die aktuelle Höhe schließen.

Bei dem zweiten System wird der Phasenunterschied zwischen der gesendeten und der zurückkehrenden modulierten Welle zur Messung der Schrägentfernung benutzt. Hier steht ein Sender am Boden, der entweder dauernd oder impulsweise ausstrahlt. Seine Signale werden von einem der Radiosonde mitgegebenen Empfänger aufgenommen und verstärkt. Die verstärkten Signale werden zur Modulation einer Trägerwelle benutzt, die von einem Sender in der Radiosonde wieder ausgestrahlt und an der Bodenstation empfangen werden. Für den Hin- und Rückweg werden zwei verschiedene Wellenlängen verwendet. Auf dem Wege zurück werden bei verschiedenen Geräten auch die Meßdaten einer mitfliegenden Radiosonde übermittelt. Die Peilantennen werden meist automatisch nachgeführt und die Winkel- und Entfernungswerte automatisch ausgedruckt. Einige Systeme rechnen mit Hilfe angeschlossener elektronischer Rechner Windrichtung und -geschwindigkeit sowie die Daten der begleitenden Sondenmessung selbständig aus.

Das zuletzt beschriebene System wird im Unterschied zu dem vorher beschriebenen Primärradar, das rein passive Reflexion an einem metallischen Reflektor verwendet, als „Sekundärradar“ oder auch als „Transponder-System“ bezeichnet.

10.2. Radiosonde M 60

Im Deutschen Wetterdienst wird z. Z. im Routinedienst die Radiosonde M 60 (Abb. 58) verwendet.

Aufbau- und Meßprinzip

Die Radiosonde dient zur fortlaufenden Messung der Wetterelemente Luftdruck, Temperatur und Luftfeuchte in der Atmosphäre bis in große Höhen. Sie hat die äußere Form eines kleinen rechteckigen Kastens, der die Meßfühler und einen kleinen Kurzwellensender zur Übermittlung der Meßergebnisse an die Bodenbeobachtungsstelle enthält. Die Radiosonde wird an einem mit Wasserstoffgas gefüllten Gummiballon befestigt, der frei aufsteigt (Abb. 57, 60). Die erreichbare Gipfelhöhe hängt von der Größe des Ballons, der Güte des Ballonmaterials und äußeren Faktoren ab. Während der gesamten Aufstiegszeit werden die gemessenen Werte zur Bodenstation gefunkt. Nach dem Platzen des Ballons schwebt das Gerät, an einem Fallschirm hängend, zum Erdboden.

Meteorologischer Teil

Die Messung von Luftdruck, Lufttemperatur und Luftfeuchte erfolgt mechanisch mittels einer tempera-

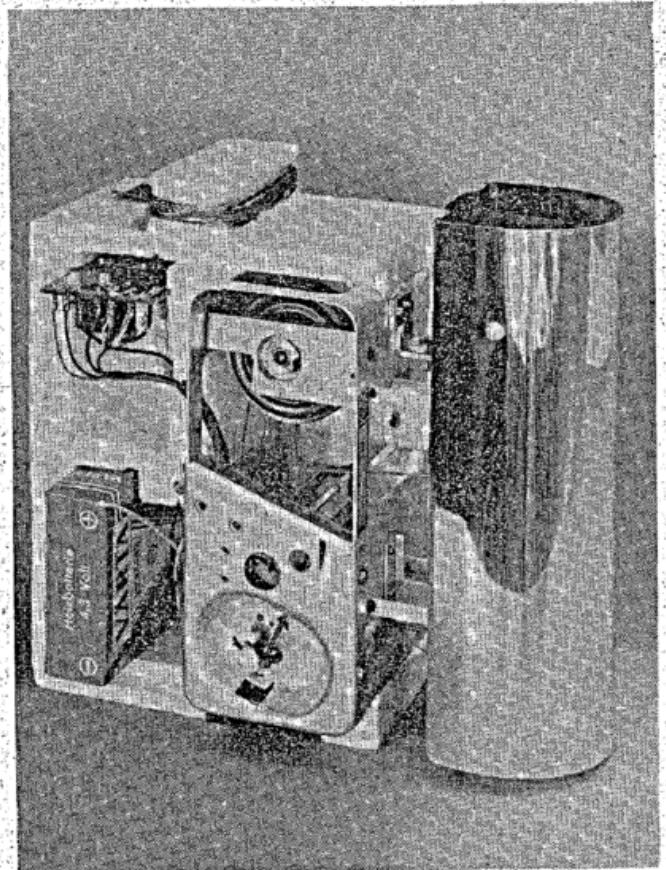


Abb. 58
Radiosonde M 60

turkompensierten Druckdose (Vidiedose), eines Bimetallthermometers und eines Pernixhaares. Als Träger der Meßelemente, des Strahlungsschutzes und der Übertragungsvorrichtung dient ein Aluminiumpreßrahmen. Dieser ist im rechten Fach eines aus Isolierstoff gefertigten Gehäuses untergebracht. Die Meßelemente für Temperatur und Feuchte sind an den Seitenwänden des Preßrahmens befestigt, das temperaturkompensierte Druckaggregat bildet mit seinem Gußrahmen innen eine versteifende Strebe. Bimetallthermometer und Haarhygrometer befinden sich in einem Strahlungsschutzrohr. Das Haarhygrometer, ein ca. 12 cm langes, präpariertes und gewalztes Doppelhaar, liegt in der Achse des Bimetalls und ist gegen Reißen gesichert. Der Aluminiumpreßrahmen ist in seiner unteren Hälfte mit einem Deckelstück verschlossen und versteift. An diesem Deckelstück sind der Motor mit Getriebe, das

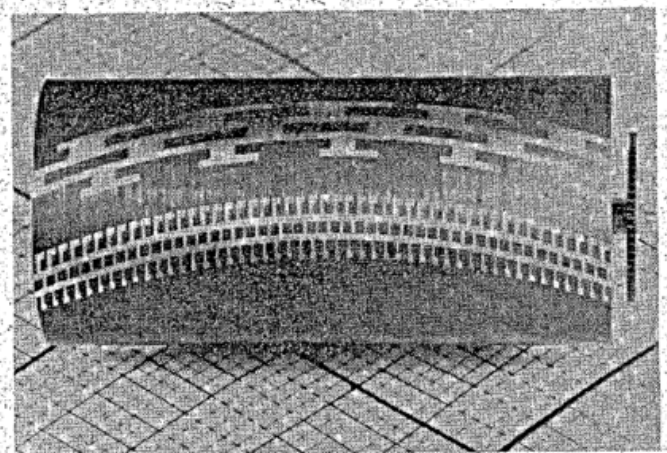


Abb. 59
Morsewalze der Radiosonde M 60

obere Lager einer Signalwalze sowie alle elektrischen Anschlüsse für den meteorologischen Teil montiert.

Übertragungsmechanismus

Die Fernübertragung der Meßwerte von Luftdruck (P), Temperatur (T) und rel. Feuchte (U) erfolgt mit einer Art von Morsezeichen. Eine rotierende Morsewalze (Abb. 59) tastet in der Reihenfolge U, T, P die Zeiger der drei Meßfühler ab, wobei sie die jeweiligen Meßwerte in bestimmte Morsezeichen verwandelt, die dann vom Kurzwellensender der Sonde ausgestrahlt und an der Bodenstation mit Hilfe eines Hörfrequenzempfängers aufgenommen werden. Die Morsewalze der Sonde ist als Halbzylinder ausgebildet und hat 500 parallel nebeneinander liegende Rillen, die in Richtung des Drehungssinnes verlaufen. Zum Teil ist die Walze elektrisch isoliert (grüne Färbung), zum Teil leitend (blank). Während des Abtastvorganges wird durch die Zeigerspitze an den blanken Stellen einer Rille der Stromkreis des Senders geschlossen. Dabei werden bei jedem Durchgang zwei Morsezeichen gegeben. Zehn verschiedene Morsebuchstaben mit Zahlenbedeutung ermöglichen eine fortlaufende Numerierung der Rillen. Es kann so jederzeit festgestellt werden, welche Rille von den insgesamt 500 der Zeiger gerade durchlaufen hat. Welches der drei Meßelemente gerade getastet wurde, ist an der Reihenfolge nach der zwischen geschalteten Pause zu erkennen.

Obwohl nur 100 verschiedene Morsezeichenkombinationen möglich sind, ist ein Irrtum ausgeschlossen, da sich die Werte des Druckes, der Temperatur und der relativen Feuchte von Umdrehung zu Umdrehung relativ langsam und nicht sprunghaft ändern. Aus der Eichkurve können zu jeder Rillenummer entsprechende Werte des Luftdruckes, der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte herausgelesen werden. Die Sonden werden in der Regel über einen Druckbereich von ca. 1 000 bis 20 mb, über einen Temperaturbereich von +30°C bis -70°C und bei der relativen Feuchte über einen Bereich von 100 bis 20% geeicht, so daß sie bei der gegebenen Anzahl von 500 Rillen auf der Walze den Luftdruck auf ca. 2 mb, die Lufttemperatur auf 0,2 bis 0,3 Grad und die Feuchte auf etwa 1 Prozent genau angeben können.

Der Antrieb der Walze erfolgt durch einen Kleinstmotor, der etwa zehn Walzenumdrehungen je Minute bewirkt. Das heißt, daß bei einer Steiggeschwindigkeit von 350 m/min für alle 35-m-Höhenunterschiede je eine Luftdruck-, Temperatur- und Feuchteangabe erfolgt. Der Motor wird durch eine kleine 4,5 Volt-Trockenbatterie angetrieben, die gleichzeitig auch den Heiz- und Anodenstrom der Senderöhre liefert.

Sendeanlage

Bei der Abtastung der Morsewalze durch die Zeigerspitzen der Meßfühler werden Morsesignale von dem Kurzwellensender ausgestrahlt, der nach einer Dreipunktschaltung im Ultrakurzwellenband arbeitet. Die Senderschwingungen werden von der an der Sonde befestigten Antenne ausgestrahlt, deren Länge etwa der halben Wellenlänge des Senders entspricht. Unter dem Ballon wird der (geschlossene) Fallschirm und bei gleichzeitiger Radar-Höhenwindmessung der Reflektor angebracht (Abb. 60).

Aufnahme und Auswertung

Die Werte der Morsezeichen (Rillennummern) des Druckes, der Temperatur und der rel. Feuchte werden fortlaufend in ein Millimeterpapier eingepunktet, dessen Ordinate die Zeit ist. Auf dem Diagramm wird dann der Temperatur- und Feuchteverlauf in der Atmosphäre unter Berücksichtigung der Trägheit des Thermometers und des Haares und eventueller Temperaturverfälschung durch die Sonnenstrahlung rekonstruiert. Mit Hilfe der markanten Punkte, deren

Druck-, Temperatur- und Feuchtwerte der Eichkurve entnommen werden, wird der sog. „Temp“ in ein thermodynamisches Diagrammpapier übertragen, auf dem die Höhenberechnung der Hauptisobarenflächen erfolgt.

Technische Daten:

Zeichenfolge:	Feuchte — Temperatur — Druck
Senderfrequenz:	Ultrakurzwellenband
Reichweite:	ca. 250 km
Meßbereiche:	Druck 1 000 . . . 20 mb in 500 Stufen zu ca. 2 mb
	Temperatur +30°C bis -70°C in 500 Stufen zu ca. 0,25°C
	Feuchte 100 . . . 20% in 80 Stufen zu je 1%
Meßelemente:	Döppelvidiodose, Bimetal, Velox- oder Pernix-Haar
Maße:	210 x 110 x 220 mm
Gewicht:	mit Batterie ca. 650 Gramm.

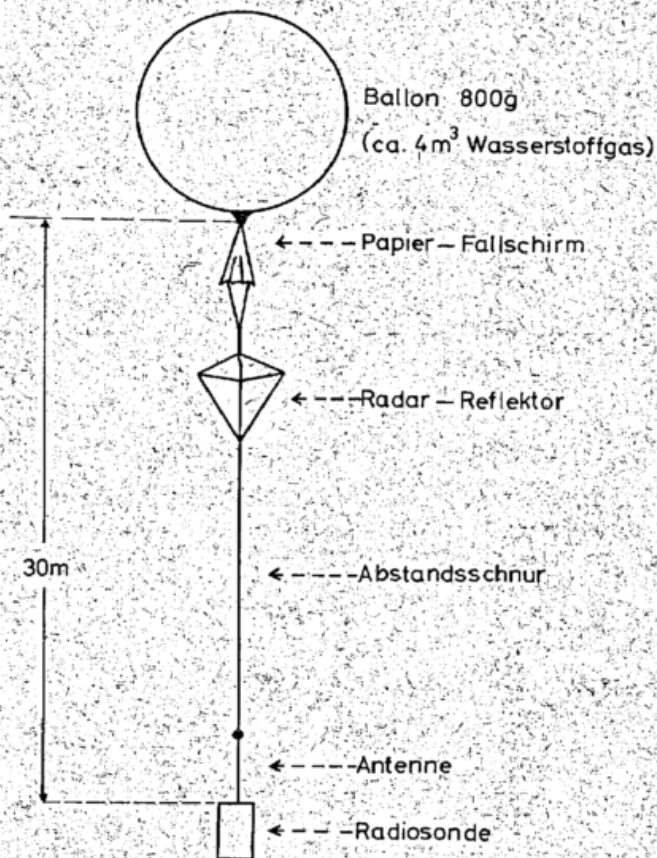


Abb. 60

Aufstiegsgeräts für Radiosonden- und Radarwindaufstieg

10.3. Vorschriften über die Behandlung von Wasserstoffgasflaschen (beim Füllen von Ballonen)

Wasserstoffgas wird in Stahlflaschen aufbewahrt. Eine Flasche enthält 6 m³ Wasserstoffgas unter einem Druck von 150 Atmosphären.

Für die Lagerung der Gasflaschen sind die Unfallverhütungsvorschriften der Gewerbeaufsichtsbehörden strengstens zu beachten. Nachstehend erfolgt eine Zusammenfassung von Vorsichtsmaßnahmen (Auszug aus DIN 4670):

- 1) Schutz vor übermäßiger Erwärmung und Sonnenbestrahlung. Aufbewahrung der Flaschen in einem normaltemperierten Raum, nicht zusammen mit leicht entzündlichen Stoffen.
- 2) Flaschen nicht werfen, auch nicht beim Legen aneinanderschlagen lassen.

3) Aufstellung möglichst senkrecht, durch Ketten oder Klammern unterhalb des Flaschenhalses sichern. Müssen sie aus örtlichen Gründen liegend aufbewahrt werden, so dürfen nicht zwei oder mehr Lagen aufeinandergepackt werden.

4) Ausreichende Entlüftung des Aufbewahrungsraumes. In geschlossenen Räumen entsteht durch Mischung mit Luft „Knallgas“, das bei Entzündung (Entzündungstemperatur 560°C) mit großer Gewalt explodiert. Explosionsgefährdung besteht, wenn 4 bis 75,6% Wasserstoffgas mit Luft gemischt sind. Deshalb kein Feuer, kein offenes Licht, nicht rauchen! Ein Warnungsschild, das auf komprimierte, brennbare Gase hinweist und offenes Feuer sowie das Rauchen verbietet, muß gut sichtbar in der Nähe der Wasserstoff-Flaschen angebracht sein.

5) Reduzierventil (Druckminderventil) verwenden! Austrittsnippel des Reduzierventils so richten, daß der Gasstrahl niemals den mit der Füllung beschäftigten Bediensteten oder eine Flasche treffen kann, wenn der Füllschlauch vom Nippel abspringen sollte.

6) Bei Gebrauch müssen Wasserstoff-Flaschen elektrisch gut geerdet sein (z. B. an einer Wasserleitung), das gleiche gilt für zu füllende Ballone. Entleerte Flaschen sind zu schließen.

7) Bedienstete, die Umgang mit Wasserstoff-Flaschen haben, müssen vorher über einschlägige Bestimmungen für den Umgang mit Wasserstoffgas gemäß Druckgasverordnung (DIN 4670) und entsprechender Vorschriften des Deutschen Wetterdienstes belehrt werden. Die Belehrung ist halbjährlich zu wiederholen und aktenkundig zu machen.

11. Das Wetter-Radargerät

11.1. Allgemeine Hinweise

Das Wort Radar ist ursprünglich eine Abkürzung des englischen Ausdrucks „radio detection and ranging“, heute ist diese Abkürzung ein fester Begriff für einen Gerätetyp geworden, bei dem die Ortung von Zielen mit Hilfe von gerichteten hochfrequenten Impulsen und einer Laufzeitmessung durchgeführt wird.

In der Meteorologie benutzt man das Radargerät überwiegend zur Ortung der Niederschläge und zur Feststellung ihrer Intensität (Wetterradar) sowie zur Messung des Höhenwindes (Windradar). In letzterem Fall wird ein an einem freiaufsteigenden Ballon angehängtes reflektierendes Ziel (Target) mit dem Radar verfolgt (s. a. 10.1.2.). Weitere meteorologische Anwendungsbereiche des Radars sind die Wolkenhöhenmessung mit Vertikalradar (s. a. 9.4.2.) und Turbulenzmessungen. Die Messung der Turbulenz und auch die Messung des Niederschlags mit Radargeräten sind z. Z. noch Objekte der Forschung, obwohl besonders auf dem zuletzt genannten Gebiet in letzter Zeit erhebliche Fortschritte zu verzeichnen waren. Einzelheiten über diese spezielle Anwendung des Radars sind u. a. in dem Bericht „Radar Measurement of precipitation for hydrological purposes“ by E. KESSLER and K. E. WILK (WMO/IHD-Rep. No. 5) enthalten.

11.2. Prinzip der Arbeitsweise eines Radargeräts

Die wesentlichen Bestandteile einer Radaranlage sind der Sender, die Antenne, der Empfänger und die Anzeigegeräte (Abb. 61).

Im Sendeteil werden mit Hilfe einer Senderöhre (Magnetron) kurze Impulse hochfrequenter elektromagnetischer Schwingungen erzeugt, die mit einer bestimmten Pulsfrequenz wiederholt werden. Pulslänge und Pulsfrequenz müssen so aufeinander abgestimmt sein, daß in

der Pause zwischen zwei Impulsen noch Echos aus der größten vorgesehenen Reichweite des Gerätes empfangen werden können. Die erzeugten Schwingungen werden über Hohlleiter einer meist paraboloidförmigen Antenne zugeführt und von ihr gebündelt abgestrahlt. Trifft die elektromagnetische Strahlung auf Hindernisse, wie z. B. Wassertropfen, Schneekristalle usw., so wird

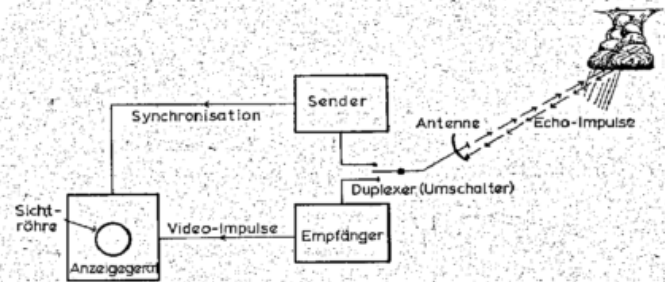


Abb. 61
Einfaches Schema einer Wetterradaranlage

sie diffus reflektiert. Ein kleiner Teil der reflektierten Strahlung gelangt wieder zur Antenne zurück, die unmittelbar nach der Sendung eines HF-Impulses mit Hilfe des sog. Duplexers auf den Empfänger umgeschaltet wird.

Die empfangenen Hochfrequenzimpulse werden mit den HF-Schwingungen eines Oszillators (Klystrons) im Mischer (Mixer) überlagert. Die dabei entstehende Differenzfrequenz (Zwischenfrequenz) wird durch automatische Regelung der Klystronfrequenz immer auf einem bestimmten Wert gehalten. Die Echoimpulse werden mit einem Zwischenfrequenzverstärker um etwa den Faktor 10^6 verstärkt und anschließend mit einem Gleichrichter in Gleichstromimpulse umgewandelt (Videoimpulse). Diese werden im Videoverstärker nochmals verstärkt, bevor sie dem Anzeigegerät zugeleitet werden. Zur Anzeige wird eine Kathodenstrahlröhre verwendet.

Die Bestimmung der Entfernung (Schrägentfernung) des angepeilten Objektes erfolgt durch die Messung der Laufzeit der Wellen von der Antenne zum reflektierenden Objekt und wieder zurück. Hierbei wird die Tatsache benutzt, daß sich elektromagnetische Wellen im Raum mit einer Geschwindigkeit von etwa 300 000 km/s (Lichtgeschwindigkeit) ausbreiten.

Die Lichtgeschwindigkeit c , die Frequenz ν und die Wellenlänge λ sind durch die Formel $\lambda = \frac{c}{\nu}$ miteinander verknüpft. Eine ähnliche Formel besteht für die Impulslänge L , die Impulsdauer τ und die Lichtgeschwindigkeit c

$$L = \tau \cdot c \quad (L \text{ in Meter, } c \text{ in Meter/s, } \tau \text{ in Sekunden)}$$

Bei einer Pulsdauer von einer Mikrosekunde (1 μ s) beträgt die Pulslänge daher 300 m.

Bei der Laufzeitmessung ist zu berücksichtigen, daß der Radarimpuls in der Zeit t zwischen ausgehendem und eintreffendem Impuls die doppelte Wegstrecke zwischen Radar und Ziel zurücklegt. Eine Laufzeit von 1 μ s entspricht daher einer Entfernung zwischen Ziel und Antenne von nur 150 m.

11.3. Die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in der Atmosphäre

11.3.1. Molekulare Absorption

Die Strahlungsdichte eines punktförmigen Strahlers ist im materiefreien Raum proportional der Sendenergie und umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung. Wegen der Richtwirkung der Radarantenne kommt bei Radargeräten ein weiterer Proportionalitäts-

faktor dazu, der den Antennengewinn gegenüber Rundstrahlern angibt. In der Atmosphäre wird die Sendenergie jedoch nicht nur durch die Ausbreitung der Welle im Raum, sondern auch durch atmosphärische Gase wie Wasserdampf, Sauerstoff usw. geschwächt (molekulare Absorption).

Im Wellenlängenbereich zwischen einigen hundertstel μm und wenigen cm werden die Wellen z. T. so stark absorbiert, daß die Atmosphäre praktisch undurchdringlich ist. Dazwischen liegen jedoch Bereiche, in denen die Wellen die Atmosphäre ohne stärkere Schwächung durchdringen können (sog. atmosphärische Fenster). Ein solches Fenster befindet sich z. B. im Bereich des sichtbaren Lichts. Für Wetterradar-Geräte werden Fenster bei 8,6 cm, 3,2 cm und 5,6 cm Wellenlänge genutzt.

11.3.2. Dämpfung durch Niederschlag

Die molekulare Absorption spielt bei Wellenlängen, die von meteorologischen Radargeräten benutzt werden, keine bedeutende Rolle. Dagegen sind die Verluste an Hochfrequenzenergie, die durch Absorption und Streuung an den festen und flüssigen Bestandteilen der Atmosphäre erfolgen, nicht zu vernachlässigen. Je größer die Streuung, ein desto größerer Energieanteil der Radarstrahlung gelangt zur Antenne zurück. Insgesamt ist dieser Anteil jedoch nur ein Bruchteil der gestreuten Energie. Die Dämpfung der Radarwellen durch Niederschlag hängt von der Dielektrizitätskonstanten, dem Tropfengrößenspektrum bzw. der Niederschlagsintensität und der Wellenlänge ab. Bei einer Niederschlagsintensität von 1 mm/h wird die 3,2 cm Welle z. B. rund 25mal so stark gedämpft wie die 10 cm Welle. Bei stärkeren Niederschlägen ist das Verhältnis noch wesentlich ungünstiger.

11.3.3. Streuung

Elektromagnetische Wellen werden durch feste und flüssige Bestandteile in der Atmosphäre gestreut. Die Streuung ist proportional der sechsten Potenz des Teilchenradius. Das bedeutet, daß große Regentropfen die elektromagnetische Strahlung in wesentlich stärkerem Maße streuen als kleine Tropfen. Daher ergeben einzelne große Tropfen ein besseres Echo, als viele kleine Tropfen, die denselben Wassergehalt besitzen. Die Streuung hängt außerdem von der Dielektrizitätskonstanten und der Wellenlänge ab. Bei Wellenlängen, die im Verhältnis zum Teilchenradius groß sind, ist die Streuung umgekehrt proportional zur vierten Potenz der Wellenlänge. Dies bedeutet, daß längere Wellen beim Durchgang durch ein Regengebiet weit weniger gestreut werden als kürzere und daher eine größere Reichweite besitzen. Andererseits sind wegen der geringeren Rückstreuung Radargeräte mit relativ großen Wellenlängen für die Erfassung von schwächeren Niederschlägen weniger gut geeignet.

11.3.4. Radargleichung

Kennt man die technischen Daten des Wetterradargerätes und die Eigenschaften des reflektierenden Zieles, kann man mit Hilfe der die Ausbreitung der Hochfrequenzwellen bestimmenden physikalischen Gesetze berechnen, welcher Bruchteil der gesendeten Energie wieder zum Empfänger zurückgelangt. Umgekehrt kann man auch aus der empfangenen Hochfrequenzenergie auf gewisse Eigenschaften des Zieles schließen. Die Beziehung zwischen Sendeleistung und empfangener Leistung stellt die sog. Radargleichung dar. In diese Gleichung gehen die Sendeleistung, die Wellenlänge, die Antenneneigenschaften, die Eigenschaften des Zieles,

die Dämpfung der Welle in Abhängigkeit von der Entfernung und dem dämpfenden Medium und die Polarisierung der gesendeten Welle ein. Die in der Meteorologie benutzte spezielle Form der Radargleichung kann u. a. aus dem unter 11.1. erwähnten WMO-Report No. 5 oder dem Bericht Nr. 109 der DVL (H. BORCHARDT: Physikalisch-technische Grundlagen der meteorologischen Anwendung von Radar nach Erfahrungen mit der Wetterradaranlage des Instituts für Mikrowellen in der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt e. V. Mülheim/Ruhr 1960) entnommen werden.

11.3.5. Atmosphärische Refraktion

Ähnlich wie die Lichtwellen verlaufen auch die Radarwellen infolge meteorologischer Einflüsse nicht genau geradlinig, sondern auf einer gekrümmten Bahn. Um die Berechnung des gekrümmten Radarstrahls gegenüber der ebenfalls gekrümmten Erdoberfläche zu vereinfachen, nimmt man den Radarstrahl als geradlinig an und berücksichtigt die Krümmung durch einen entsprechend veränderten Erdradius. Man kann aber auch umgekehrt die Erdoberfläche als geradlinig ansehen und die Krümmung des Radarstrahls mit einer dem reduzierten Erdradius entsprechenden Krümmung berücksichtigen. In der Standardatmosphäre nimmt die Temperatur mit der Höhe um $0,65^\circ\text{C}$, der Dampfdruck um $0,33\text{ mb}$ pro 100 m ab. Die sich aufgrund dieser meteorologischen Daten ergebende Krümmung des Radarstrahls relativ zu einer ebenen Erde ist gleich $\frac{1}{3}$ Erdradius (Erdradius $\approx 6370\text{ km}$). In der Standardatmosphäre ist der Horizont für Radarstrahlen um etwa 15% gegenüber dem optischen Horizont vergrößert. Die Brechung der Radarwellen wird in erster Linie durch vertikale Wasserdampfunterschiede bewirkt. Da die Temperatur- und Feuchteverteilung in der Atmosphäre im allgemeinen nicht der Standardatmosphäre entspricht, ist die Brechung der Radarstrahlen wetterabhängig.

Ist die Temperaturabnahme mit der Höhe geringer und die Feuchteabnahme größer als in der Standardatmosphäre, so werden die Radarstrahlen stärker gekrümmt und der Radarhorizont erweitert. Man spricht hierbei von Superrefraktion bzw. Überreichweiten. Wird infolge von besonders starker vertikaler Feuchteabnahme bzw. Temperaturzunahme der Radarstrahl so stark gekrümmt, daß er denselben Krümmungsradius wie die Erde bekommt, ist die Reichweite des Radarstrahls geometrisch nicht begrenzt. Lediglich die Dämpfungseffekte bewirken eine allmähliche Abnahme der Strahlungsenergie. Ist die Temperaturabnahme mit der Höhe größer und die Feuchteabnahme geringer als in der Standardatmosphäre, wird die Krümmung des Radarstrahls und damit die Reichweite des Radarstrahls verringert (Subrefraktion). Bei diskontinuierlichen Feuchte- und Temperaturänderungen in der Atmosphäre können die Radarwellen an den Unstetigkeitsstellen reflektiert werden. Bei räumlich ausgedehnten Diskontinuitätsflächen werden die Wellen u. U. zwischen zwei solchen Flächen, bzw. einer Diskontinuitätsfläche und dem Boden während der Ausbreitung ständig hin und her reflektiert (ähnlich wie bei der Totalreflexion im optischen Bereich). Die Schicht, in der die Reflexionen stattfinden, bezeichnet man als Wellenleiter (duct).

Solche Wellenleiter finden sich besonders häufig über See. Sie werden meist durch eine sehr starke Abnahme des Wasserdampfes mit der Höhe hervorgerufen.

Der Radarhorizont für Ziele am Erdboden kann in der Standardatmosphäre aus der Formel

$$R_H [\text{km}] = 4,122 \sqrt{H_A [\text{m}]}$$

berechnet werden. R_H ist die Entfernung des Radarhorizonts in km, H_A die Antennenhöhe in m. Die maxi-

male Radarreichweite (range in sight) gegenüber Zielen, die sich in einer Höhe H_z über dem Erdboden befinden, gibt folgende Formel wieder:

$$R_S \text{ [km]} = 4,122 (\sqrt{H_A \text{ [m]}} + \sqrt{H_z \text{ [m]}}).$$

Die maximale Radarsichtweite ist in Abbildung 62 für drei verschiedene Antennenhöhen graphisch dargestellt.

Bei einer Aufstellungshöhe eines Radargerätes von z. B. 50 m können in 400 km Entfernung Ziele unterhalb

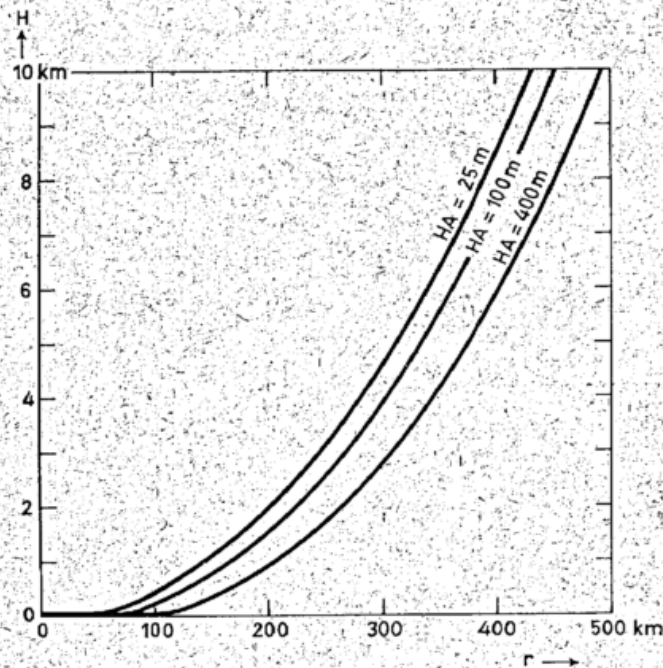


Abb. 62
Maximale Radarsichtweite für verschiedene Antennenhöhen (H_A)

von ca. 8 km Höhe nicht mehr beobachtet werden, so daß in der Praxis nur noch sehr hochreichende Cumulonimben während des Sommerhalbjahres festgestellt werden können. Falls es nicht möglich ist, das Radargerät auf einem die Umgebung wesentlich überragenden Punkt (Berg usw.) aufzustellen, ist es nicht sinnvoll, den Entfernungsbereich, den das Radargerät überblicken soll, zu vergrößern. Häufig werden Radargeräte auf Türmen, Bauwerken usw. aufgestellt. Dies ist vor allem deswegen notwendig, um die Abschattung des Radarstrahls durch Hindernisse in der Nähe des Aufstellungsortes zu vermeiden oder zu verringern. Die oben erwähnte Mindesthöhe, oberhalb der meteorologische Ziele in einer gewissen Entfernung erst festgestellt werden können, kann durch Aufstellungshöhen der Geräte von einigen zehn Metern über Grund nicht wesentlich reduziert werden.

Bei den Ausbreitungsbetrachtungen ist zu berücksichtigen, daß der Radarstrahl bei geradliniger Ausbreitung infolge der Richtwirkung der Antenne die Form eines Kegels annimmt, dessen Spitze bei der Antenne liegt, und dessen Längsachse mit der Achse des Antennenparaboloids zusammenfällt. Infolge der Krümmung des Radarstrahls in der Atmosphäre erhält die Strahlkeule die Form eines leicht gebogenen Hornes (s. Abb. 63). Der Öffnungswinkel des Strahlkegels wird als Breite des Radarstrahls (beamwidth) bezeichnet. Er ist als der Winkel definiert, unter dem von der Antenne aus diejenigen Punkte gesehen werden, auf denen die Hochfrequenzenergie auf die Hälfte der Energie in der Strahlachse zurückgegangen ist. Die Strahlbreite beträgt bei den üblichen Wetterradargeräten meist zwi-

schen ein und vier Grad. Sie kann in vertikaler und horizontaler Richtung verschieden sein. Die Strahlbreite bewirkt eine mit der Entfernung wachsende Unsicherheit in der Ortsbestimmung eines Zieles, da u. U. auch Ziele, die nicht auf der Strahlachse liegen, Echos beisteuern können. Bei Erhebungswinkeln um 0° ist zu berücksichtigen, daß bei den üblichen Aufstellungshöhen der Antennen von 10 bis 50 m über dem allgemeinen Geländeniveau der Teil der Strahlkeule, der den Boden trifft, durch Streuung und Reflexion ausgelöscht wird, so daß er für die Feststellung von entfernteren Zielen nicht mehr in Frage kommt.

Die Feststellbarkeit eines meteorologischen Zieles hängt von der Summe der von den einzelnen reflektierenden Teilchen (Regentropfen usw.) innerhalb eines bestimmten Volumens zurückgestreuten Energie ab und von dem Prozentsatz, mit dem dieses Volumen die Strahlkeule ausfüllt. Räumlich begrenzte meteorologische Ziele, die auf geringe Entfernung noch gut erkennbare Echos abgeben, sind in größerer Entfernung u. U. nicht mehr feststellbar, da sie einen zu geringen Prozentsatz des Strahlvolumens ausfüllen.

11.4. Besondere Echoformen

Bei der Wetterbeobachtung mit Radargeräten können eine Reihe von Erscheinungen auftreten, die die Auswertung der Schirmbildanzeige erschweren. Hierzu gehören z. B. Geisterechos (angels), die bei verschiedenen Wetterbedingungen festgestellt werden können, aber nicht auf Niederschläge oder Wolken zurückzuführen sind. Als Ursachen werden Vogel- und Insekenschwärme, aber auch Inhomogenitäten des Brechungsindex, Staubansammlungen usw. angegeben. Bödenechos (ground clutter) entstehen durch Reflexion an orographischen Hindernissen, Brücken, Gebäuden usw. Der Effekt ist besonders auffällig bei Überreichweiten. Meeresechos entstehen durch Reflexionen an der Meeresoberfläche. Mehrfachechos werden bei entfernten Zielen beobachtet, wenn die Laufzeit des Impulses länger ist, als die Sperrzeit des Senders und die Sendezeit

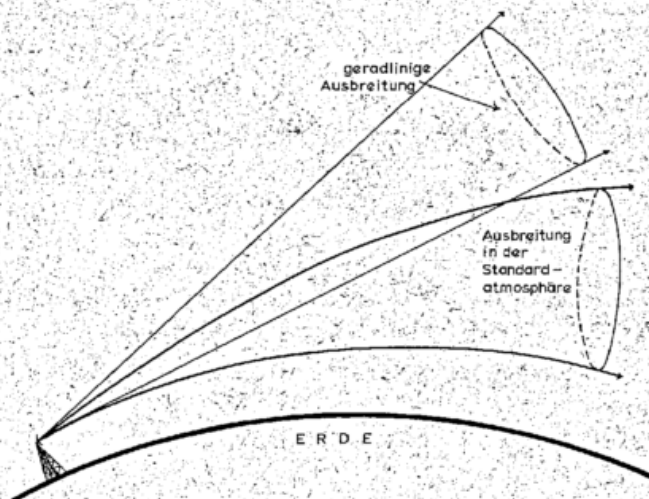


Abb. 63
Ausbreitung der Radarstrahlen

zusammengenommen. Reflektierte Echos kommen durch die Reflexion von Niederschlagsechos an einem Hindernis in der Nähe des Radargerätes zustande. Einzelheiten über diese Erscheinungen sowie Erläuterungen der verschiedenen mit meteorologischen Zielen zusammenhängenden Echoformen müssen aus der einschlägigen Literatur entnommen werden.

11.5. Wellenlängen bzw. Frequenzbänder von Wetterradargeräten

Wellenlänge	Frequenzband	Frequenz	Verwendungszweck
ca. 0,86 cm	K-Band	ca. 35 000 MHz	Wolkenhöhenradar
ca. 3,2 cm	X-Band	ca. 9 500 MHz	Wetter/Windradar
ca. 5,7 cm	C-Band	ca. 5 500 MHz	Wetter/Windradar
ca. 10 cm	S-Band	ca. 3 000 MHz	Wetter/Windradar

Wetterradargeräte mit einer Wellenlänge von 10 cm werden vor allem in solchen Gegenden der Erde eingesetzt, in denen mit Starkniederschlägen, Hurricans, Tornados usw. zu rechnen ist. Die geringe Dämpfung der 10 cm-Welle durch Niederschläge ist ein entscheidender Faktor für die Erkennung der Niederschlagsgebiete auch in großen Entfernungen. Auch für die numerische Erfassung der Niederschläge und die Windmessung hat diese Wellenlänge offensichtlich Vorteile. In gemäßigten Breiten mit überwiegend schwächeren Niederschlägen sind dagegen Geräte mit einer Wellenlänge von ca. 3 cm verhältnismäßig verbreitet.

11.6. Minimalentfernung, Entfernungs- und Winkelauflösevermögen, Meßgenauigkeit

11.6.1. Minimalentfernung

Mit allen Radargeräten können Ziele erst außerhalb einer Minimalentfernung festgestellt werden, die durch Betriebsdaten des Gerätes sowie die Eigenschaften des Zieles gegeben ist (Impulslänge, Umschaltdauer des Duplexers, Rückstrahlquerschnitt des Zieles usw.). Sie beträgt im allgemeinen einige 100 m.

11.6.2. Entfernungsauflösung

Die Entfernungsauflösung eines Radargerätes, d. h. seine Fähigkeit, zwei Ziele in verschiedener radialer Entfernung, aber unter dem gleichen Azimut noch getrennt darzustellen, wird durch die Länge der ausgesandten HF-Impulse bestimmt. Sind die zwei Ziele weniger als die halbe Pulslänge voneinander entfernt, so werden sie nicht mehr getrennt abgebildet, da die rückwärtige Flanke des Echo-Impulses des zuerst erreichten Zieles später reflektiert wird, als die Vorderflanke des Echo-Impulses des nachfolgenden Zieles. Die Echo-Impulse gehen also ineinander über. Ein Radargerät mit einer Pulsdauer von z. B. 2 μ s kann Ziele trennen, die weiter als 300 m voneinander entfernt sind. Das Auflösungsvermögen kann nicht beliebig verkleinert werden, da jeder Impuls mindestens einige hundert Schwingungen umfassen muß und auch die mittlere Leistung des Gerätes mit der Pulsdauer abnimmt.

11.6.3. Winkelauflösung

Die Winkelauflösung eines Radargerätes ist seine Fähigkeit, zwei Ziele in gleicher Entfernung, aber unter verschiedenem Seiten- (oder Höhen-) Winkel noch getrennt auf dem Bildschirm erkennbar zu machen. Sie ist abhängig von der Strahlbreite der Antenne. Diese wird als derjenige Winkel definiert, der zwischen den beiden Punkten liegt, an denen die Energie auf die Hälfte des Maximalwertes abgefallen ist. Ziele, die weniger als die Strahlbreite auseinander liegen, können nicht mehr getrennt werden. So können z. B. mit einem Radargerät mit einer Strahlbreite von 1° zwei Ziele in einer Entfernung von 180 km nicht mehr unterschieden werden, wenn ihr Abstand kleiner als 3 km ist. Entsprechend müssen Ziele in 90 km Abstand ca. 1,5 km voneinander entfernt sein, um einzeln erfaßt werden zu können.

Zur Erzeugung einer gleichgroßen Strahlbreite (d. h. gleich starker Bündelung) wie bei einer kurzen Wellenlänge sind bei größeren Wellenlängen größere Anten-

nen notwendig. Da einer Vergrößerung der Antennenfläche aus wirtschaftlichen und technischen Gründen Grenzen gesetzt sind, ist die Strahlbreite bei Radargeräten mit kürzeren Wellen im allgemeinen geringer und die Winkelauflösung daher besser.

11.6.4. Meßgenauigkeit

Hohe Auflösung ist die Voraussetzung für eine gute Meßgenauigkeit. Diese wird von zusätzlichen Faktoren wie Zeitmeßgenauigkeit, der Darstellungsform der Meßergebnisse (Ablesegenauigkeit) u. a. bestimmt. Bei Schirmbilddarstellungen (PPI und A-Scope, s. a. 11.7.) beträgt die Entfernungsmeßgenauigkeit zwischen 0,5 und 1% der Maximalentfernung des jeweils eingestellten Entfernungsbereiches. Hohe Meßgenauigkeiten lassen sich dagegen mit dem sog. A/R-Scope (s. 11.7.) erreichen, bei dem die Entfernung mit elektronischen Hilfsmitteln gedehnt wird (expanded sweep).

Die Winkelmeßgenauigkeit ist bei der Schirmbilddarstellung (P.P.I.) etwa $\pm 1^\circ$ in der Mitte des Schirms, am Rande etwas besser. Durch technische Maßnahmen kann die Winkelmeßgenauigkeit ebenso wie die Entfernungsmeßgenauigkeit verbessert werden, z. B. durch Vergleichspeilung mit Hilfe eines umlaufenden Radarstrahls (conical scan). Hiervon wird bei Windmeßgeräten Gebrauch gemacht.

11.7. Darstellung der Meßergebnisse

11.7.1. Amplitudendarstellung (A-Scope)

Wenn A-Darstellung benutzt wird, steht die Antenne still und strahlt nur in einer bestimmten Azimutrichtung ab. Auf einer Kathodenstrahlröhre werden der Sendeimpuls am 0-Punkt einer horizontalen Zeit- bzw. Entfernungsskala (Zeitachse), der Echoimpuls in Abhängigkeit von seiner Laufzeit bzw. der Entfernung des Zieles angezeigt. Die Ablenkung des Elektronenstrahls senkrecht zur Zeit/Entfernungsachse ist der Amplitude des Echos proportional.

Eine Variante des A-Scopes ist das sog. A/R-Scope. Hierbei können Teilabschnitte des gesamten Entfernungsbereiches herausgegriffen und auf die gesamte Skalenlänge vergrößert werden.

11.7.2. Schirmbildanzeige (Plan-Position-Indicator = P.P.I.)

Bei dieser Darstellung rotiert die Antenne mehrmals in der Minute um eine vertikale Achse. Der Elektronenstrahl, der wie beim A-Scope entsprechend der Laufzeit des Impulses von einem Nullpunkt aus abgelenkt wird, ist im allgemeinen unsichtbar (dunkelgetastet). Sobald im Empfänger ein Echoimpuls eintrifft, wird dieser hellgetastet und als heller Punkt auf der Bildröhre aufgezeichnet (Abb. 64).

Der Nullpunkt der Ablenkung liegt beim P.P.I. im allgemeinen in der Mitte einer kreisförmigen Elektronenstrahlröhre. Der Elektronenstrahl läuft synchron mit der Antenne um und wird in der jeweiligen Antennenrichtung radial abgelenkt (Polarkoordinatendarstellung). Festgestellte Ziele werden dabei unter der richtigen Entfernung und dem richtigen Azimutwinkel aufgezeichnet.

Da der Bildschirm mit einer fluoreszierenden Schicht versehen ist, die eine lange Nachleuchtdauer besitzt, entsteht durch die dauernde Drehung der Antenne der Eindruck eines geschlossenen Bildes. In das Bild werden elektronisch Entfernungsringe in konstantem Abstand, ein Entfernungsring mit variablem Abstand sowie die 360°-Marke eingeblendet.

Im allgemeinen besitzen die Geräte mehrere einstellbare Entfernungsbereiche. Der größte einstellbare Entfernungsbereich ist bei den meisten gebräuchlichen Wetterradargeräten 250 nautische Meilen (s. 11.3.5.).

11.7.3. ISO-Echo-Darstellung (ISO-ECHO-DEVICE)

Moderne Geräte verbinden mit der P.P.I.-Darstellung häufig eine sog. ISO-Echo-Darstellung (ISO-ECHO-

DEVICE). Mit ihr können die empfangenen Niederschlagsechos in quantitativer Weise untersucht werden (Abb. 65). Die einfachste Art der Darstellung besteht darin, daß man denjenigen Anteil der vom Niederschlag zurückgestrahlten Energie vom Bildschirm auslöscht, der einen bestimmten Pegel überschreitet. Man erhält dadurch bei der Wiedergabe beispielsweise von Gewittern oder Schauern zwei Umrißlinien (contour lines): Eine äußere, die das Gebiet eingrenzt, in dem



Abb. 64
Schirmbildanzeige nach der P.P.I.-Darstellung

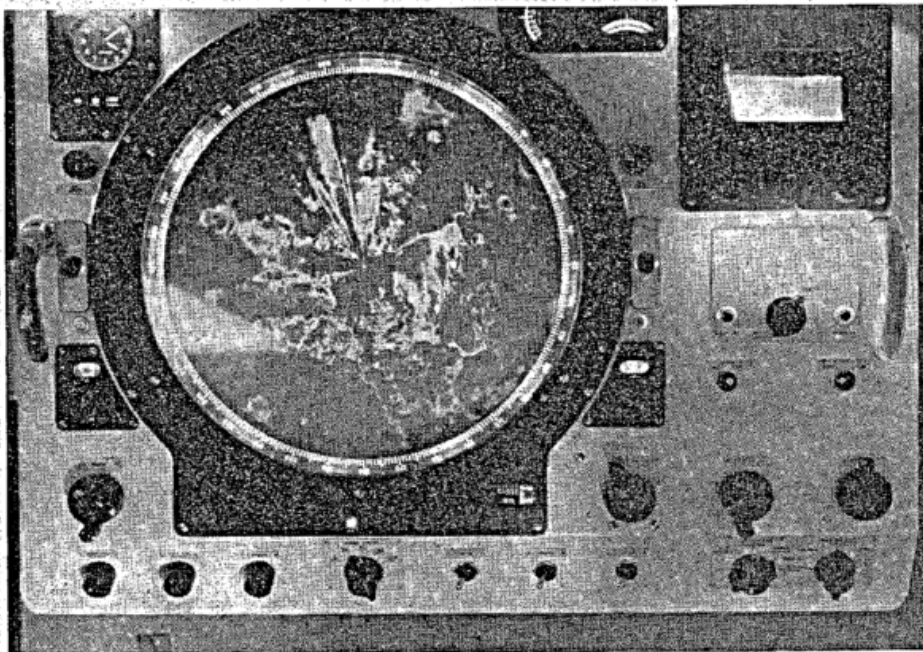


Abb. 65
Schirmbildanzeige nach der Iso-Echo-Darstellung

sich das Niederschlagsecho durch seine Helligkeit gerade vom atmosphärischen Rauschen abhebt, und eine innere Umrißlinie, die den ausgelöschten Raum umgibt, in dem nach Voraussetzung der vorher festgelegte Empfangspegel bzw. eine diesem Pegel entsprechende Nie-

derschlagsintensität erreicht oder überschritten wird. Aufwendigere Geräte erlauben die Diskriminierung des Radarechos nach einer ganzen Zahl von vorgewählten Energiepegeln bzw. Niederschlagsintensitäten. Durch spezielle Schaltungen ist es möglich, direkt die Umrisse

von festgelegten Niederschlagsintensitäten auf dem Bildschirm sichtbar zu machen. Bei anderen Konstruktionen werden Niederschlagsintensitäten, die zwischen zwei festgelegten Pegeln liegen, jeweils durch unterschiedliche Helligkeitsstufen kenntlich gemacht. Das ankommende Signal wird im allgemeinen auf die Entfernungsdämpfung und die Dämpfung durch atmosphärische Gase korrigiert. Bei komplizierten Geräten wird auch die Dämpfung durch den Niederschlag berücksichtigt. Letzteres ist besonders bei der 3-cm-Wellenlänge nützlich, die eine verhältnismäßig starke Niederschlagsdämpfung aufweist.

Die ISO-Echo-Darstellung wird sowohl beim P.P.I. als auch beim R.H.I. (s. 11.7.4.) angewandt.

11.7.4. Entfernung-Höhen-Darstellung (Range-Height-Indicator = R.H.I.)

Im Gegensatz zur P.P.I.-Darstellung dreht sich die Antenne nicht um eine vertikale Achse. Bei der R.H.I.-Darstellung (Abb. 66) läßt man die Antenne wie beim A-Scope in eine bestimmte Azimutrichtung abstrahlen, in der man Niederschlagsgebiete festgestellt hat. Dabei schwenkt die Antenne um eine horizontale Achse auf und ab. Auf dem Bildschirm wird das Niederschlags-echo in Abhängigkeit von der Entfernung und der Höhe dargestellt. Man erhält auf diese Weise einen senkrechten Schnitt durch das Niederschlagsgebiet. (Wegen evtl. ISO-Echo-Darstellung s. 11.7.3.)

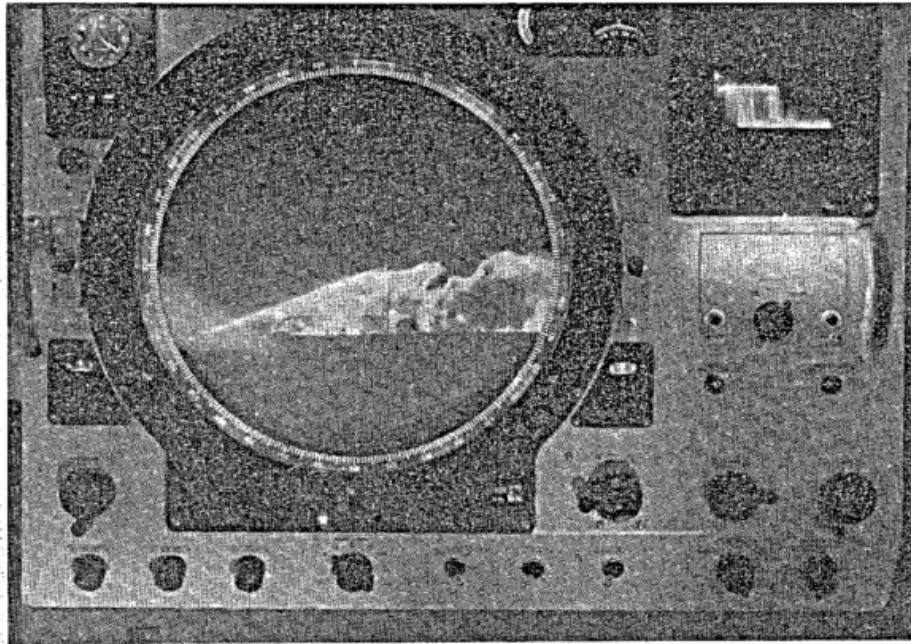


Abb. 66
Schirmbildanzeige nach der Entfernung-Höhendarstellung (R.H.I.)

12. Die Messung der Radioaktivität der Luft und des Niederschlags

12.1. Künstliche und natürliche Aktivität

Vom Deutschen Wetterdienst wird die langlebige künstliche Radioaktivität in der Luft sowie in den Niederschlägen überwacht. Künstliche Radioaktivität gelangt hauptsächlich durch Kernwaffenversuche und Abluft von Kernreaktoren in die Atmosphäre. Die stets vorhandene natürliche Aktivität, welche auf radioaktive Mineralien im Boden oder die kosmische Höhenstrahlung zurückgeht, wird aber notwendigerweise mitgemessen und muß berücksichtigt werden.

Die aus dem Boden stammende, natürliche Radioaktivität geht im allgemeinen auf den Zerfall von Uran-Radium, Uran-Actinium oder Thorium zurück. In den Zerfallsreihen dieser drei zu den Schwermetallen gehörenden Mineralien ist eine gasförmige Phase (Radon, Actinon, Thoron) vorhanden, mit deren Hilfe die natürliche Radioaktivität in die Luft gelangt. Die Aktivität des sehr kurzlebigen Actinons und seiner Folgeprodukte kann für unsere Messungen vernachlässigt werden. Dies gilt jedoch nicht für Radon, Thoron und Folgeprodukte. Um deren Einfluß zu eliminieren, schaltet man im allgemeinen zwischen Probenahme und Messung eine Verzögerungszeit ein, die so bemessen ist, daß die natürliche Radioaktivität infolge des radioakti-

ven Zerfalls so klein geworden ist, daß sie die Messungen nicht mehr stört. Andere, mehr direkte Meßmethoden erfordern erheblichen technischen Aufwand.

12.2. Meßgeräte zur Überwachung der Beta-Aktivität in der Luft

Beim Deutschen Wetterdienst wird z. Z. nur die an Luftverunreinigungen — an das sog. Aerosol — gebundene Aktivität gemessen.

Um die Messung mit der erforderlichen Genauigkeit durchführen zu können, muß das Aerosol angereichert werden. Dies geschieht dadurch, daß man eine bestimmte Menge Luft mit Hilfe einer Pumpe durch einen Filter saugt und die Aktivität des Aerosols ausmißt, das auf diesem Filter zurückgehalten wird.

Der Abscheidegrad des Filters muß dabei bekannt sein. Ein hoher Abscheidegrad bedeutet, daß ein großer Anteil des durchgesaugten Aerosols vom Filter zurückgehalten wird. Das Rückhaltevermögen ist von den Eigenschaften des Filters, aber auch von der Größenverteilung des Aerosols, der Anströmgeschwindigkeit und anderen Faktoren abhängig. Von guten Filtern wird verlangt, daß sie einen möglichst hohen Abscheidegrad haben und der Prozentsatz, mit dem Teilchen einer bestimmten Größe durchgelassen werden, für alle Teilchengrößen möglichst gleich ist. Die durch

das Filter gesaugte Luftmenge muß genau bekannt sein, um die Aktivität pro Volumeneinheit Luft berechnen zu können. Die Luftüberwachungsanlagen enthalten daher entweder Meßgeräte zur Messung des Luftdurchsatzes oder Vorrichtungen, welche diesen — unabhängig von der Belegung des Filters mit Aerosol — konstant halten.

Das mit Aerosol beaufschlagte Filter wird unmittelbar während der Bestäubung oder im Anschluß daran

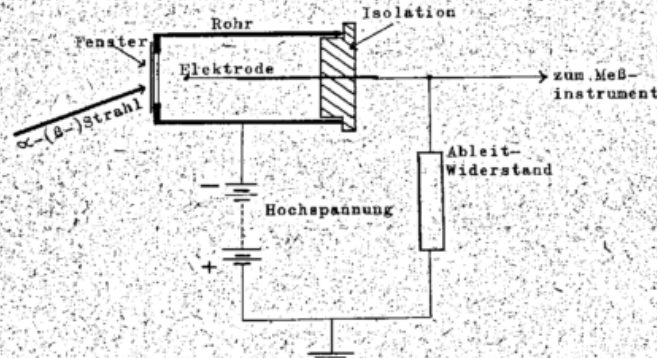


Abb. 67
Schema eines Spitzenzählers (Endfensterzählrohr)

auf Aktivität ausgemessen. Eine weitere Messung erfolgt bei den Geräten des Deutschen Wetterdienstes nach 48 bzw. 120 Stunden.

Als Strahlungsdetektoren können verschiedene Instrumente dienen, von denen hier das GEIGER-MÜLLER-Zählrohr und der Szintillationszähler erwähnt werden sollen. Das GEIGER-MÜLLER-Zählrohr (Abb. 67, 68) ist in seiner einfachsten Bauart ein mit einem



Abb. 68
Ausführung eines Endfensterzählrohrs

speziellen Gas gefüllter Metallzylinder, dessen Wand gleichzeitig als Elektrode dient. Die zweite Elektrode ist ein dünner Metalldraht, der axial durch den Zylinder geführt wird. Am Zylinder liegt eine negative Spannung, die dicht unter derjenigen liegt, bei der eine selbständige Entladung im Gas auftritt. Die geringe Ionisation, die ein einzelnes in das Rohr eintretendes α - oder β -Teilchen im Gas erzeugt, löst dann bereits eine stoßweise selbständige Entladung aus (Stoßionisation), die bei geeigneter Schaltung sofort wieder erlischt. Der Stromstoß, der hierbei entsteht, führt an einem zwischen dem Draht und der Erde liegendem Widerstand zu einem Spannungsimpuls, der mit einem Meßgerät beobachtet wird. Das Eindringen der Alpha-

oder Beta-Strahlung in den Zylinder wird durch ein dünnes Fenster in der Zylinderwand ermöglicht.

Völlig verschieden von dem GEIGER-MÜLLER-Zählrohr ist der Szintillationszähler. Dieser nutzt die Tatsache aus, daß ionisierende Teilchen in bestimmten Stoffen, z. B. NaJ, Lichtblitze hervorrufen. Diese werden durch Sekundärelektronenvervielfacher in Strom umgewandelt und gleichzeitig verstärkt. Szintillationszähler haben ein hohes Auflösungsvermögen. Sie sind besonders zum Nachweis energiereicher Gammastrahlung geeignet. Bei den Luftüberwachungsanlagen des Deutschen Wetterdienstes werden im allgemeinen GEIGER-MÜLLER-Zählrohre verwandt. Nach der o. a. Verzögerungszeit enthalten die Meßproben unter Umständen nur noch sehr geringe Radioaktivität. Um diese nachweisen zu können, ist das mit Verzögerung messende Zählrohr mit einem Bleimantel umgeben, der den Nulleffekt herabsetzt. Der Nulleffekt ist diejenige Impulsrate, die auch ohne Präparat gemessen wird. Er geht auf verschiedene Ursachen, u. a. auf die kosmische Höhenstrahlung und apparative Eigenschaften zurück. Der Nulleffekt muß von Zeit zu Zeit bestimmt werden und ist von der gemessenen Gesamtimpulsrate in Abzug zu bringen. Die Zahl der Netto-Impulse allein ist noch kein Maß für die in der Luft vorhandene Radioaktivität. Bei ihrer Berechnung müssen noch die Ansprechwahrscheinlichkeit und die Geometrie des Zählrohrs sowie andere Faktoren berücksichtigt werden.

Einheit der Radioaktivität ist das Curie (Ci), das sind $3,7 \cdot 10^{10}$ Zerfälle pro Sekunde. Im allgemeinen wird die Aktivität in Luft und Niederschlägen in Picocurie (pCi) angegeben, das sind 10^{-12} Ci. Die Empfindlichkeit der Überwachungsgeräte wird mit einem Präparat genau bekannter Radioaktivität festgestellt, dessen mittlere Energie möglichst weitgehend der mittleren Energie der künstlichen Strahler entspricht. Beim Deutschen Wetterdienst wird K 40 bei Beta-Messungen als Eichsubstanz verwendet.

Die Prinzipien verschiedener Luftüberwachungsgeräte mit kontinuierlich bewegtem Filterband sind aus

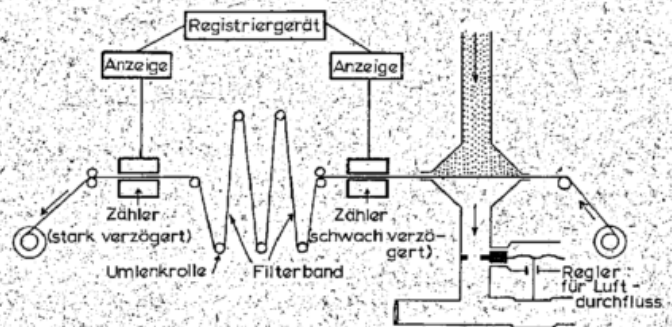
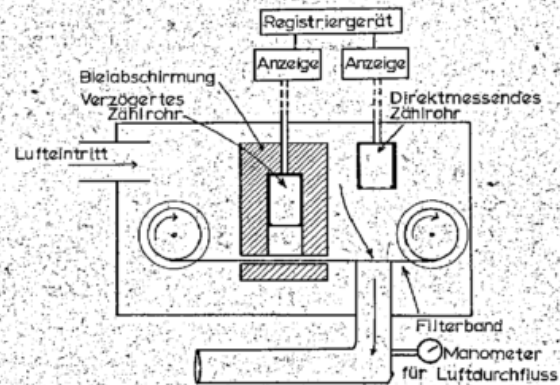


Abb. 69
Schematische Darstellung verschiedener Ausführungsformen von Luftüberwachungsanlagen

Abbildung 69 zu entnehmen. Anlagen dieser Art werden beim Deutschen Wetterdienst verwendet. Daneben gibt es auch Geräte mit feststehendem oder schrittweise bewegtem Filter. Mit Luftfiltergeräten kann auch die Messung der Alpha-Aktivität durchgeführt werden, wenn man darauf achtet, daß für Alpha-Strahlung empfindliche Zählrohre und spezielle Filter verwendet werden. Beim Deutschen Wetterdienst wird zur Messung der Alpha-Strahlung jedoch im allgemeinen das nachfolgend beschriebene Prinzip verwendet.

12.3. Meßgerät zur Überwachung der Alpha-Aktivität in der Luft

Die Probenahme erfolgt mit einem elektrostatischen Abscheider. Bei diesem Gerät saugt ein Staubsauger die aerosolhaltige Luft an. Diese wird an einer Hoch-

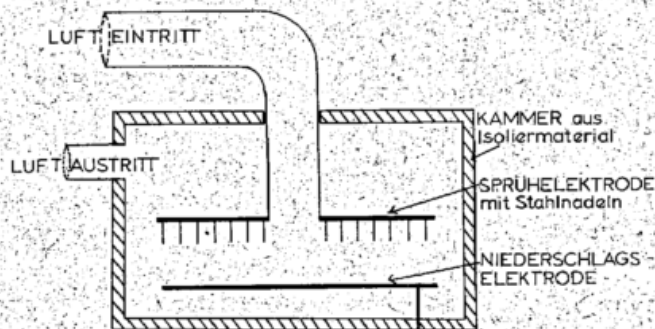


Abb. 70
Schematische Darstellung eines Elektrofilters

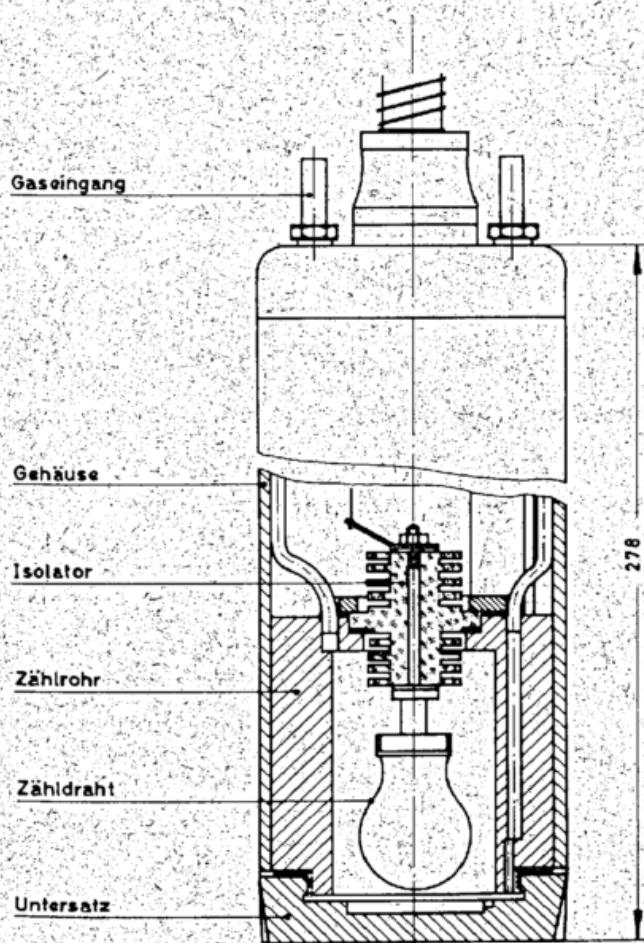


Abb. 71
Aufbau des Methandurchflußzählers FH 407

spannungselektrode vorbeigeführt, welche zahlreiche Spitzen besitzt (Grammophonnadeln). Zwischen der Hochspannungselektrode und einem als Gegenelektrode wirkenden Probeschälchen findet eine Koronaentladung statt. Die Aerosolpartikel werden in der Koronaregion aufgeladen und auf der entgegengesetzt geladenen Elektrode, dem Präparateschälchen, abgeschieden. Das Prinzip eines elektrostatischen Abscheiders (Elektrofilters) zeigt Abbildung 70. Der Vorteil der elektrostatischen Abscheidung besteht darin, daß das Meßgut bei nicht zu langer Saugzeit (etwa 1/2 — 1 Stunde) bei praktisch gleichbleibendem Abscheidegrad in sehr feinverteilter Form auf das Probeschälchen aufgebracht wird.

Eine Fixierung der Meßprobe ist im allgemeinen nicht erforderlich. Selbstabsorptionseffekte spielen bei der Messung praktisch keine Rolle. Das mit Aerosol beaufschlagte Probeschälchen wird bei der im Deutschen Wetterdienst üblichen Meßanordnung in einem Methandurchflußzähler auf seine Aktivität ausgemessen. Bei dieser Art von Zählern (Abb. 71) kann die Probe unmittelbar in den Zählraum eingebracht werden. Damit wird die Absorption der Strahlung im Zählrohrfenster sowie in der Luftschicht zwischen dem Fenster des Zählrohrs und dem Präparat vermieden. Ein ganz wesentlicher Vorteil des Durchflußzählers besteht darin,

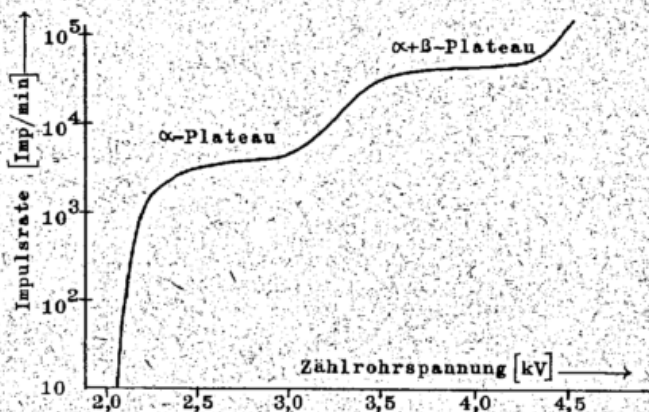


Abb. 72
Charakteristik des Methandurchflußzählers

daß Alpha- und Beta-Strahler durch Änderung der Höhe der an das Zählrohr gelegten Hochspannung voneinander getrennt gemessen werden können (Alpha-Messung im sog. Alpha-Plateau, Alpha- und Beta-Messung im Beta-Plateau, Abb. 72). Ein weiterer Vorteil ist, daß praktisch keine Alterungserscheinungen des Zählrohrs auftreten, da das Methangas im Zählrohr laufend erneuert wird. GEIGER-MÜLLER-Zähler, bei denen das Gas abgeschlossen ist, können dagegen infolge Alterung des Gases unbrauchbar werden.

12.4. Die Messung der Dosisleistung

Bei der Bestrahlung der Materie kann eine Reihe physikalischer Effekte, wie z. B. Ionisation, Lichterzeugung in einem Szintillator, Wärmeerzeugung, chemische Reaktionen u. a. beobachtet werden, die für die Strahlungsmessung benutzt werden können. Die Energie für die genannten Effekte wird der Strahlung von der Materie entzogen.

Die Fähigkeit der Gamma- und Röntgenstrahlung, die Luft zu ionisieren, wird zur Definition der Einheit „Röntgen“ benutzt. Diese lautet:

Ein **Röntgen** entspricht der Strahlenenergie, die durch Ionisation in 1 cm³ (= 0,001293 g) Luft elektrische Ladung von einer elektrostatischen Einheit oder eine Ener-

gieabsorption von 87,7 erg pro 1 Gramm Luft oder von ca. 93 erg pro 1 Gramm Wasser bzw. weichem Gewebe erzeugt.

Die in Röntgen gemessene Strahlungsgröße bezeichnet man auch als Expositions-dosis oder kurz als Dosis.

Bei den im Deutschen Wetterdienst gebräuchlichen Meßinstrumenten wird jedoch im allgemeinen nicht die Dosis, sondern die Dosis pro Zeiteinheit, die sog. Dosisleistung (r/h) gemessen.

Am besten geeignet für die Dosisleistungsmessung sind die sog. Ionisationskammern. Wenig geeignet sind im Prinzip GEIGER-MÜLLER-Zählrohre (GM-Zählrohre), die jedoch ihrer einfachen Handhabung wegen in der Praxis trotzdem vielfach benutzt werden. Die Anzeige dieser Detektoren ist stark energieabhängig. Dieser unerwünschte Effekt kann durch die Verwendung von Kompensationsfiltern reduziert werden. Auch die neben der Gamma-Strahlung vorhandene Beta-Strahlung stört die Messungen. Der Eintritt der Beta-Strahlung in den Zählraum kann durch Abdecken der Zählrohrfenster bzw. durch geeignete Wandstärke des Zählrohrs verhindert werden.

Die Dosisleistungsmesser des Deutschen Wetterdienstes sind im allgemeinen mit GM-Zählrohren ausgestattet.

12.5. Die Aktivitätsmessung der Niederschläge

Zur Sammlung des Niederschlages sind Plastikwannen am besten geeignet. Niederschlagswannen aus Metall müssen einen Kautschukanstrich haben oder mit einer Plastikfolie ausgekleidet sein, um Ionenaustauscheffekte zu vermeiden, die zu einer Verfälschung der gemessenen Zählrate führen würden. Der aufgefangene Niederschlag wird in Plastikflaschen aufbewahrt, nach Zusatz von etwas Salpetersäure eingedampft und der feste Rückstand nach Ablauf der vorgeschriebenen Abfallzeit (120 h) auf seine Beta-Aktivität ausgemessen. Zuvor ist der feste Rückstand mit etwas Kollodiumlösung zu fixieren. Zur Aktivitätsmessung wird das Präparat unter ein ähnliches Zählrohr gelegt, wie es bei den Luftfiltergeräten besprochen wurde.

Man mißt entweder die in einer bestimmten Zeit auftretenden Impulse oder die Zeit, die vergeht, bis eine gegebene Impulszahl erreicht wird. Die Selbstabsorption der Meßprobe muß bei der Auswertung berücksichtigt werden.

13. Die Messung der Strahlung

13.1. Allgemeine Hinweise

Die verschiedenen Strahlungsströme in Richtung auf die Erdoberfläche und von ihr weg gehören zu den wichtigsten Größen im Wärmehaushalt der Erde als Ganzes und jedes einzelnen Ortes auf der Erdoberfläche oder in der Atmosphäre. Strahlungsmessungen sind erforderlich

- a) zur Untersuchung des Energieumsatzes im System Erde-Atmosphäre und seiner zeitlichen und räumlichen Veränderung,
- b) zur Untersuchung der Atmosphäre hinsichtlich ihrer Trübung und Bestimmung der Bestandteile wie Staub und Wasserdampf,
- c) zur Untersuchung der Verteilung und Veränderung von Einstrahlung, Ausstrahlung und Strahlungsbilanz, und
- d) zur Befriedigung des Bedarfs der Biologie, Medizin, Landwirtschaft, Bautechnik und Industrie an Strahlungsmeßwerten.

13.2. Strahlungsmeißinstrumente

13.2.1. Einteilung der Geräte

Instrumente zur Messung der Sonnen- und Himmelsstrahlung sind im allgemeinen Beobachtungsdienst nur vereinzelt im Gebrauch. Die Gebräuchlichsten benutzen die Wärmewirkung der Strahlung als Meßgrundlage. Die Strahlungswärme dient zur Erhöhung der Temperatur eines Auffangkörpers. Zur Temperaturmessung werden hierbei Instrumente mit Bimetallen oder elektrischen Thermometern (Thermoelemente oder Widerstandsthermometer) benutzt. Diese Geräte messen entweder nur die unmittelbare Sonnenstrahlung (absolut: Pyrheliometer; relativ: Aktinometer) oder die zerstreute Strahlung des ganzen Himmels einschließlich der unmittelbaren Sonnenstrahlung (Pyranometer) oder die Temperaturstrahlung der Luft bzw. der Erde (Pyrgeometer) oder die Differenz zwischen der Einstrahlung von oben und der Ausstrahlung des Erdbodens (Strahlungsumsatz- oder -bilanzmesser).

Alle diese Meßverfahren benutzen als Auffangkörper, dessen Temperaturerhöhung oder -abnahme gemessen werden soll, einen „schwarzen Körper“, der die Strahlung über den ganzen Wellenbereich verschluckt (absorbiert) und in Wärme verwandelt. Der Wellenbereich der Strahlung erstreckt sich über Wellenlängen von etwa 0,4 μm bis 2,5 μm . Dieser Bereich entspricht der Durchlässigkeit von Glas.

13.2.2. Pyranometer

Alle Pyranometer messen eine Temperaturdifferenz entweder zwischen schwarzen und weißen Flächen oder zwischen schwarzen Flächen und der Temperatur der umgebenden Luft. Alle Pyranometer sind außerdem durch eine meist halbkugelförmige Glasglocke gegen Wind und Niederschlag geschützt. Dadurch bleibt der Beitrag der langwelligen Strahlung über 3 μm unberücksichtigt. Eine ideal weiße Fläche wirft die dem sogenannten kurzwelligen (sichtbaren) Bereich zugehörigen Strahlen zurück und verschluckt nur die langwelligen. Durch die Verwendung schwarzer und weißer Flächen können einzelne Wellenbereiche, z. B. nur der kurzwellige, besonders gemessen werden.

Auf die Beschreibung der im Forschungsdienst eingesetzten Strahlungsmeißinstrumente muß hier verzichtet werden. Eingang in den praktischen Stationsbetrieb haben nur der Bimetall-Strahlungsschreiber nach ROBITZSCH (der vielfach mißverständlichweise auch Aktinograph genannt wird) und das Solarimeter nach MOLL-GORCZYNSKI, in einzelnen Fällen auch noch Strahlungsbilanzmesser gefunden.

Strahlungsschreiber nach ROBITZSCH

Der Strahlungsschreiber nach ROBITZSCH enthält als Meßelement zwei weiße und einen schwarzen Bimetallstreifen, die nebeneinander liegen und an einem Ende fest miteinander verbunden sind. Die anderen Enden der beiden weißen Streifen sind an einer im Gehäuse eingebauten Säule befestigt. Das freie Ende des schwarzen Streifens bewegt über ein Hebelwerk den Schreibarm, der wie bei den anderen meteorologischen Schreibgeräten (Barograph, Thermograph, Hygograph) auf einer mit Schreibstreifen belegten Uhrtrommel den zeitlichen Verlauf der Strahlung aufzeichnet. Der Ausschlag des Schreibarmes ist fast ausschließlich von dem Temperaturunterschied zwischen dem schwarzen und den weißen Streifen abhängig; er ist bei guter Justierung des Gerätes unabhängig von der jeweiligen Lufttemperatur. Da die langwellige Strahlung von beiden Streifenarten in nahezu gleichem Betrage verschluckt wird, die kurzwellige aber nur von dem schwarzen Streifen, gelangt im wesentlichen nur die im kurzwelligen

(sichtbaren) Strahlenbereich auf die waagerechte Ebene zugestrahlte Energie der unmittelbaren Sonnen- und der zerstreuten Himmelsstrahlung (gemessen in Kalorien je Quadratzentimeter und Minute oder in Milliwatt je Quadratzentimeter) zur Aufzeichnung.

Die Bimetallstreifen sind durch eine Glasglocke vor der abkühlenden Wirkung der Lüftbewegung und vor Niederschlägen geschützt. Die Glasglocke schirmt außerdem die langwellige (nicht sichtbare) Ausstrahlung der Bimetalle ab. Die (nächtliche) Ausstrahlung bleibt daher auf das Gerät praktisch wirkungslos.

Solarimeter von MOLL-GORCZYNSKI

Bei dem Solarimeter von MOLL-GORCZYNSKI wird als Strahlungsempfänger eine Thermobatterie verwendet, die eine Fläche von $1,2 \times 1,2 \text{ cm}^2$ ausfüllt und durch zwei konzentrische halbkugelförmige Glasglocken von je 2 mm Dicke abgedeckt ist. Unter einer Thermobatterie versteht man die Hintereinanderschaltung mehrerer Thermolemente (s. a. 3.5.2.).

Die Thermobatterie des Solarimeters besteht aus abwechselnd aneinander gelöteten dünnen Manganin- und Konstantanlamellen von etwa 1 mm Breite, 12 mm Länge und 0,003 mm Dicke, wobei jede zweite Lötstelle bei elektrischer Isolation durch ein gut leitendes Metallstück wärmeleitfähig mit einer unter die Säule gelegten Grundplatte verbunden ist. Die Mitbestrahlung der inaktiven Lötstellen und auch der Grundplatte beeinflusst den Nullpunkt des Apparates nur wenig.

Der Strahlungsempfänger mißt die Temperaturdifferenz zwischen einigen (12) thermisch sehr wenig trägen aktiven („warmen“) Lötstellen, und den inaktiven („kalten“) Lötstellen, die in einem thermisch trägen Körper unterhalb der Meßfläche liegen.

Kalibrierung und Auswertung der Pyranometer

Die Bestimmung des Skalenwertes der Pyranometer erfolgt meistens durch die Feststellung der Differenz zwischen der Strahlung von Sonne und Himmel gemeinsam und der vom Himmel allein und dem Vergleich der so bestimmten reinen Sonnenstrahlungswerte mit der aus Pyrheliometer- oder Aktinometer-Messungen zu errechnenden Bestrahlungsstärke der Sonne auf die horizontale Fläche. Die üblichen Maßeinheiten, die für Bestrahlungsstärken benutzt werden, sind Milliwatt pro Quadratzentimeter ($\text{mW} \cdot \text{cm}^{-2}$) und in Deutschland vor allem noch Kalorien pro Quadratzentimeter und Minute ($\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$). Zur Umrechnung dieser Maßeinheiten kann die nachstehende Tabelle dienen.

$\text{mW} \cdot \text{cm}^{-2}$	$\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$	$\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$
1	0,01433	0,01
69,8	1	0,698
100	1,433	1

Die Thermobatterie hat in der neuesten Ausführung des Solarimeters eine Empfindlichkeit von etwa 7,9 mV je $\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ und einen Innenwiderstand von etwa 8 Ohm. Üblicherweise wird die erzeugte elektrische Spannung mit einem Millivoltschreiber registriert.

Die Registrierungen der Pyranometer werden im Hinblick auf Stunden-, Halbtags- oder Tagessummen ausgewertet.

13.2.3. Strahlungsbilanzmesser

Die Strahlungsbilanzmesser ermitteln unmittelbar den Strahlungsumsatz (d. h. die Differenz zwischen Ein- und Ausstrahlung) einer jeden Fläche, über die sie gehalten werden, und zwar sowohl im Wellenlängenbereich der meteorologischen (langwelligen) Temperaturstrahlung wie auch der sichtbaren Strahlung, sie sollen also diese Strahlungsbereiche nahezu vollkommen absor-

bieren. Da kein Stoff bekannt ist, der bei einer unerläßlichen Beständigkeit gegen Witterungseinflüsse für alle Wellenlängen des Gebietes der Temperaturstrahlung durchlässig ist, werden fast alle Meßgeräte für Strahlungsbilanz der Luft frei ausgesetzt.

Zur Vermeidung des Windeinflusses werden verschiedene Verfahren benutzt. Einen Strahlungsbilanzmesser stellte MICHELSON 1923 her. Er besteht aus zwei geschwärzten Metallblechen, von denen das eine nach oben, das andere nach unten gerichtet ist. Ihre Temperaturdifferenz wird thermoelektrisch bestimmt und durch Heizung der geringer temperierten Fläche auf Null gebracht. Die hierzu nötige Heizleistung ist gleich der Strahlungsbilanz der Fläche, über die der Apparat parallel zu ihr gehalten wird. Das gleiche Prinzip wurde 1952 von W. WAGNER angewandt. Die Herstellung dieses Meßgerätes („WAGNER-Platte“) wurde später von S. BAUMBACH und O. KOBER weiter verbessert und entscheidend vereinfacht.

Im Strahlungsbilanzmesser („Lupolen-Gerät“) nach R. SCHULZE werden zwei geschwärzte Thermobatterien ähnlicher Art wie beim Solarimeter, jedoch nicht durch Glasglocken, sondern durch für Wärmestrahlung durchlässige dünne Polyäthylen-Hauben geschützt, so angeordnet, daß die eine Batterie die Einstrahlung von oben, die andere die Ausstrahlung oder die reflektierte Strahlung vom Erdboden mißt. Die durch Gegeneinanderschaltung gewonnene Differenz der Thermospannungen ist ein Maß für die Strahlungsbilanz.

14. Die mechanischen Registriergeräte (Aufbau und allgemeine Betriebsvorschriften)

14.1. Allgemeine Hinweise

Für die meisten meteorologischen Elemente sind fortlaufende Beobachtungsreihen erforderlich. Die dafür notwendigen fortlaufenden Messungen werden durch registrierende Instrumente ermöglicht. Wegen der Bedeutung dieser Aufzeichnungen müssen die Registrierinstrumente sorgfältig gepflegt und bedient werden.

Bei jedem Registrierinstrument sind grundsätzlich zwei Teile zu unterscheiden:

- 1) das Aufnahmegerät (Meßfühler), das fortlaufend das zu untersuchende meteorologische Element mißt, sowie
- 2) das Schreibgerät, das mittels mechanischer oder elektrischer Übertragung die vom Aufnahmegerät (Meßfühler) gemessene Größe bzw. Richtung eines meteorologischen Elementes fortlaufend aufzeichnet.

Die Registriergeräte sind unbedingt erschütterungsfrei aufzustellen, damit nicht unfreiwillige Zeitmarken aufgezeichnet werden.

14.2. Das Hebelwerk

Um eine einwandfreie Übertragung vom Aufnahmegerät zum Schreibgerät zu gewährleisten, müssen die Achsen der Hebel fest in ihren Lagern sitzen, es darf keine größere „Achsenluft“ entstehen. Andererseits darf keine stärkere Reibung im Achsenlager, z. B. durch Schmutz, Staub usw. entstehen, da sonst die Aufzeichnungen der Schreibfeder verfälscht werden. Deshalb sind die Achsen und Lager des Hebelwerkes stets vor Verschmutzung zu schützen sowie alle 4 bis 6 Monate zu reinigen und mit Uhrmacheröl leicht einzuölen. Zum Reinigen verwendet man am besten einen weichen Haarpinsel oder ein weiches Tuch. Dabei darf auf keinen Fall eine Verstellung von Schrauben vorgenommen oder eine Achse aus ihrem Lager gehoben werden. Außenteile, die frisch mit Tinte bespritzt wurden, reinigt man am besten durch Absaugen der Tinte mit einer Pipette oder mit Löschpapier.

14.3. Die Schreibvorrichtung

Bei jedem Streifenwechsel wird die Schreibfeder mit Hilfe der Abhebevorrichtung vom Schreibstreifen abgehoben und mit Tinte nachgefüllt; dabei empfiehlt es sich, auch die Federspitze mit Tinte anzufeuchten. Auf keinen Fall darf durch ungenügendes Auffüllen die Registrierung unterbrochen werden. Die Feder muß stets sauber sein, sonst wird die Strichführung zu dick oder setzt bei Verstopfung überhaupt aus. Um dies zu verhindern, reinigt man die Feder von Zeit zu Zeit mit einem dünnen Blechstreifen oder einem Streifen glatten steifen Papiers. Führt dies nicht zum Ziel, dann nimmt man die Schreibfeder vorsichtig vom Schreibhebel ab, reinigt sie mit einem kleinen Pinsel, der in Spiritus getaucht wird, und spült dann mit Wasser nach. Beim Wiederaufsetzen der Feder ist darauf zu achten, daß die Länge des Schreibhebels unverändert bleibt, da sonst eine Veränderung des Ausschlages (Amplitude) eintritt. Wenn sich die Federspitze abgenutzt hat, ist ein Federwechsel nötig. Oft ist auch der Federdruck für eine zu dünne oder zu starke Liniensführung verantwortlich zu machen. Meist läßt sich der Federdruck durch eine Stellschraube regulieren, anderenfalls muß er durch vorsichtiges Biegen des Schreibarmes in der entsprechenden Richtung ausgeglichen werden. Um nachzuprüfen, ob der Federdruck richtig reguliert wurde, neigt man das Instrument nach vorn. Bei ungefähr 30 Grad Neigung nach vorn (also entgegen dem Federdruck) soll sich die Schreibfeder von der Trommel abheben. Durch eine an der Fußplatte angebrachte Abhebevorrichtung, die von außen bedient wird, wird die Schreibfeder außer Betrieb gesetzt. Dies erfolgt vor jedem anderen Handgriff am Instrument mit Ausnahme beim Anbringen der Zeitmarken.

Beim Neuauflegen des Streifens soll jedesmal der Stand der Schreibfeder geprüft werden. Zu diesem Zweck vergleicht man die in der Registrierung angegebenen Meßwerte mit den entsprechenden Werten der nicht schreibenden Instrumente, z. B. Barometer, Thermometer usw.

Abweichungen der Registrierung von diesen Werten können verursacht werden

a) durch Verschiebung der Nullpunkteinstellung der Feder. Unter Nullpunkteinstellung versteht man die bei der Inbetriebnahme des Instrumentes vorgenommene Einstellung der Feder auf den zum gleichen Zeitpunkt am entsprechenden nichtschreibenden Instrument abgelesenen Wert. Ist diese Einstellung auf irgend eine Weise verändert worden, so zeigt das Registrierinstrument im Vergleich mit dem nicht schreibenden Instrument dauernd um den gleichen Betrag zu hohe oder zu niedrige Werte (s. a. 14.9).

b) durch Änderung der Länge des Hebelarmes (Amplitudenverschiebung). Sie kann dadurch hervorgerufen werden, daß beim Federwechsel die neue Feder nicht den gleichen Abstand vom Drehpunkt der Hebelübertragung wie die alte besitzt oder daß die Amplitudenstellschraube sich gelockert hat. Da in diesem Falle zur Neueinstellung des Gesamtausschlages (Amplitude) eine genaue Eichung des Instrumentes notwendig ist, darf der Beobachter die Amplitudenschraube nicht verstellen, sondern muß das Gerät an das zuständige Instrumentenamt einsenden.

c) durch Verbiegung der Trommelachse (s. a. 14.4.),

d) durch fehlerhaftes Auflegen des Registrierstreifens.

14.4. Die Registriertrommel

Die Registriertrommel besteht aus einem Metallzylinder, dessen Größe den jeweiligen Erfordernissen angepaßt ist. Der untere Rand steht leicht über, damit der Registrierstreifen gleichmäßig aufsitzen kann. Die Befestigung des Streifens auf der Trommel besorgt eine

leicht gebogene Metallschiene. Die Metallschiene ist am oberen Trommelrand in einer Aussparung eingelassen, während ihr freies Ende genügend weit aus dem am unteren Trommelrand angebrachten Schlitz herausstehen soll. Das Uhrwerk, das in der Trommel eingebaut ist, muß regelmäßig und rechtzeitig aufgezogen werden (meist beim Streifenwechsel). Zeigt die Uhr eine Gangdifferenz, so muß die an der Oberseite der Trommel angebrachte Reguliervorrichtung vorsichtig betätigt werden (s = langsam, f = schnell), die zum Schutz gegen Verschmutzung angebrachte Schwenklappe ist nach der Regulierung wieder zu schließen. Das Uhrwerk soll vom Beobachter nicht geölt werden, weil ein zu stark geöltes Uhrwerk leicht verschmiert. Wird die Trommel abgenommen, so muß man sich hüten, dabei die Achse zu verbiegen. Diese Gefahr besteht sowohl beim Abnehmen wie beim Wiederaufsetzen. Um festzustellen, ob die Achse noch gerade steht, dreht man die Trommel (bei vollkommen gelockerter Schraube am Achsenende) einmal herum und überprüft die aufgezeichnete Linie, die vollkommen gerade sein muß.

14.5. Die Schreibstreifen

Zur vorgeschriebenen Zeit wird auf die Trommel ein neuer Registrierstreifen aufgelegt. Dieser muß folgende Beschriftung tragen:

- a) Ort der Beobachtung
- b) Datum: Tag, Monat, Jahr
- c) Genaue Auflegezeit
- d) Nummer des Gerätes und Herstellerfirma
- e) Bei Wochenstreifen neben den Tagesnamen das zugehörige Datum
- f) Nach Abnahme des Streifens Datum und Uhrzeit der Abnahme.

Für diese Eintragungen ist meist ein vorgedruckter Raum auf dem Streifen vorhanden. Nach Abnahme des Streifens sind bei den Zeitmarken die genauen Zeiten zu vermerken.

Auf jedem Streifen darf nur eine Registrierkurve vorhanden sein. Mehrere Kurven sind nur bei dem Niederschlagsschreiber unter bestimmten Umständen zulässig. Auf fettigen Registrierstreifen schreibt die Feder nicht, die Streifen sind dann mit Schlemmkreide, die in einem kleinen Leinenbeutel eingepackt ist, abzureiben und dann mit einem sauberen Leinenläppchen wieder gut abzuwischen. Der Registrierstreifen muß auf der Trommel fest und glatt anliegen.

14.6. Die Zeitmarken

Da der Gang der Registrieruhren immer etwas unregelmäßig ist, müssen für spätere Bearbeitungen sog. Zeitmarken auf dem Registrierstreifen angebracht werden. Die Anbringungszeiten sind festgelegt und zwar jeweils direkt nach einer Ablesung an einem nicht registrierenden Instrument. Zur Anbringung der Zeitmarken bewegt man den Schreibhebel vorsichtig um einige Millimeter aus seiner augenblicklichen Lage nach oben, indem man ihn mit dem Finger oder dem Bleistift leicht berührt. Beim Barographen befindet sich außerhalb der rechten Seitenwand ein Knopf für das Anbringen der Zeitmarken. Beim Hygographen darf man jedoch den Hebel nur so bewegen, daß dabei das Haar entspannt wird, also nach niedrigen Skalenwerten hin.

Die Zeitmarke darf nur wenige mm (höchstens 3 mm) lang sein, da eine größere Bewegung des Schreibhebels aus seiner jeweiligen Lage eine Beschädigung des Instrumentes hervorrufen kann.

Eine nachträgliche Anbringung der Zeitmarken ist auf jeden Fall zu unterlassen.

14.7. Der Arbeitsgang beim Streifenwechsel

- 1) Neuen Streifen vorbereiten und ordnungsmäßig beschriften.
- 2) Abnahmezeitmarke auf altem Streifen anbringen und genauen Zeitpunkt später vormerken.
- 3) Schreibfeder von der Trommel abheben.
- 4) Schutzgehäuse öffnen.
- 5) Streifen auswechseln. Hierzu soll die Trommel abgenommen werden. Zu diesem Zweck wird die Rändelmutter auf der Trommelachse entfernt und die Trommel vorsichtig hochgezogen. Dabei ist darauf zu achten, daß die Schreibfeder nicht am unteren Trommelrand hängenbleibt. Dann zieht man die Spange nach oben ab, wodurch der alte Streifen sich ablöst. Das Ende der Registrierung ist zu vermerken.
- 6) Aufziehen der Uhr, evtl. neue Regulierung.
- 7) Auflegen des neuen Registrierstreifens. Der untere Streifenrand muß auf dem vorstehenden Trommelrand allseitig aufsitzen. Während die rechte Hand die Spange einsetzt, wird mit der linken Hand der Registrierstreifen glatt an die Trommel angelegt, so daß die parallelen Linien der Teilung an den Streifenenden genau aneinanderpassen. Das freie Streifenende darf nicht unter der Spange hervorragen. Ist der Streifen zu lang, so ist das überstehende Ende entweder nach innen umzulegen oder abzuschneiden.
- 8) Schreibfeder mit Tinte auffüllen, nötigenfalls reinigen.
- 9) Trommel wieder aufsetzen. Die Trommel darf dabei nicht an der Achse herunterfallen, weil sonst das Getriebe beschädigt werden kann. Sie sitzt richtig, wenn Trieb und Zahnkranz ineinandergreifen können. Dann ist die Rändelmutter aufzuschrauben, aber nicht zu fest anzuziehen.
- 10) Feder probeweise anlegen. Durch vorsichtiges Aufsetzen der Schreibfeder überzeugt man sich, daß diese bei vorsichtiger Berührung des Streifens einen feinen Punkt schreibt. Dann ist die Schreibfeder in Ordnung und der Schreibarm kann wieder abgehoben werden. Notfalls versucht man, die in der Feder befindliche Tinte durch ein zugespitztes Hölzchen in die Spitze der Feder zu führen. Gelingt dies nicht, so ist die Feder zu feinigen.
- 11) Trommel auf die Anfangszeit der neuen Aufzeichnung einstellen. Ohne daß die Feder schreibt, muß die Trommel nun so eingestellt werden, daß die Federspitze an dem richtigen Zeitpunkt mit dem Schreiben beginnt. Diese Einstellung erfordert eine besondere Vorsicht, denn man darf die Trommel nur rückwärts drehen. Rückwärtsdrehen bedeutet also eine Drehung gegen den Uhrzeiger, von vorn gesehen von links nach rechts. Weil die Zähne des Trieb- und Standzahnades unterhalb der Trommel „Zahnluft“ haben, muß diese durch Rückwärtsdrehen bis zum genauen Einstellungs-punkt unwirksam gemacht werden (Ausschaltung des „toten Ganges“). Nur durch Drehen entgegen dem Uhrzeiger ist der gewünschte Anfangspunkt der neuen Registrierung einzustellen. Dann wird die Rändelmutter fest angezogen. Die Uhrzeit des Beginns der Registrierung ist auf dem Streifen zu vermerken.
- 12) Das Gehäuse schließen und die Schreibfeder anlegen, Zeitmarke des Auflegetermines anbringen.
- 13) Nach einigen Minuten nachsehen, ob das Gerät ordnungsgemäß schreibt.

Soweit nicht anders angeordnet bzw. vorgesehen, werden die Registrierstreifen nach MEZ aufgelegt und nach MOZ ausgewertet.

14.8. Die Pflege der Geräte.

Die Metallteile der Schreibgeräte sind von Schmutz, Tintenspritzern und Rost freizuhalten. Tintenspritzer werden mit Löschpapier aufgesaugt, nachdem man sie gegebenenfalls mit reinem Wasser, lauwarmer Seifenlösung oder in hartnäckigen Fällen in Spiritus gelöst hat. Rost wird mit Petroleum gelöst und dann mit einem Lappen abgewischt.

Ungenauigkeiten in der Aufzeichnung können ihre Ursachen in starken Reibungswiderständen, hervorgerufen durch klemmende Lager im Übertragungsteil, oder durch zu starken Federdruck sowie in der Verschmutzung, Verharzung oder in der Lockerung der Lager haben. Die Aufzeichnungen hinken in diesen Fällen immer etwas hinter den wahren Werten nach. Wenn eine solche Reinigung ohne Erfolg ist, muß das Gerät dem Instrumentenamt zur Überholung eingeschickt werden.

14.9. Die Genauigkeit der Aufzeichnungen

Standeneinstellung

Die Einstellung des Schreibgerätes muß so vorgenommen werden, daß der momentane Wert des betreffenden Elementes auf dem Streifen angezeigt wird. Ist diese Einstellung fehlerhaft, so sind sämtliche aufgezeichneten Werte um einen bestimmten, nahezu gleichen Betrag zu hoch oder zu niedrig. Um diesen Betrag muß die Einstellung verbessert werden (Standverbesserung des Gerätes). Den richtigen Stand erhält man durch den Vergleich der Ableseergebnisse der Kontrollgeräte mit den Werten der Aufzeichnung zu den Zeitpunkten, welche die einzelnen Zeitmarken angeben. Ist die Standverbesserung (Mittelwert aus allen während einer Woche festgestellten Differenzen) festgelegt und ihr Wert beträchtlich, so ist das Gerät um diesen Stand bei aufliegender Feder vor Abnahme des Streifens zu verbessern; eine Abnahmezeitmarke erübrigt sich dann natürlich.

Ausschlag (Amplitude)

Ein Fehler im Ausschlag oder in der Amplitude liegt dann vor, wenn der Unterschied zwischen Kontrollgerät und Aufzeichnung an einem Punkte der Aufzeichnung Null ist und von diesem Punkte nach beiden Seiten proportional zunimmt, so daß z. B. die hohen oder tiefen Werte eine andere Abweichung von den an dem Kontrollgerät abgelesenen Werten haben als die mittleren, wenn also die Ausschlagsweite für eine bestimmte Änderung des betreffenden Elements nicht richtig angezeigt wird. In diesem Falle ist die Aufzeichnung entweder überhöht (zu große Amplitude) oder abgeflacht (zu kleine Amplitude).

Die Amplitude wird durch eine Änderung im Hebel-system der Übertragung neu eingestellt. Da dem Beobachter die für die Prüfung des Gerätes notwendigen Einrichtungen fehlen, darf er eine Änderung in der Ausschlagweite (Amplitudeinstellung) niemals selbst vornehmen. Das Gerät ist in solchen Fällen zwecks Neueinstellung zu melden und an das zuständige Instrumentenamt einzusenden.

Nachträgliche Aufzeichnungen

Es kommt vor, daß auf dem Streifen Teile der Aufzeichnungen undeutlich sind oder fehlen. Ein nachträgliches Einzeichnen ist nicht zulässig, dasselbe gilt für fehlende Zeitmarken. Ebenso dürfen falsche Aufzeichnungen nicht verbessert werden. Die Registrierungen müssen ihren uneingeschränkten Wert als Originalkunden behalten.

15. Elektrische Registriergeräte

15.1. Allgemeine Hinweise

Diese Gruppe von Registriergeräten dient zur Aufzeichnung von meteorologischen Größen, die von Meßfühlern in elektrische Größen umgewandelt werden. Die Aufzeichnung geschieht kontinuierlich oder intermittierend. Zur kontinuierlichen Aufzeichnung dienen Linienschreiber und Einfachkompensationsschreiber. Intermittierende Aufzeichnungen liefern die Punktschreiber und die Mehrfachkompensationsschreiber (Kompensographen). Weitere Schreiber, die nach anderen Prinzipien arbeiten, sind, soweit sie im Wetterdienst Verwendung finden, bei den jeweiligen Anlagen mit aufgeführt (Wind, Wolkenhöhe usw.).

15.2. Linienschreiber

Bei diesen Registriergeräten geschieht die Aufzeichnung kontinuierlich entweder mit Tintenfeder-, mit Metallpapier- oder Wachpapierschrieb. Beim Metallpapierschrieb wird ein Metallstift am Zeigerschreibarm über einen Registrierstreifen geführt, der aus einer dünnen Metallschicht auf Papierunterlage besteht. Durch eine angelegte Schreibspannung (ca. 30—60 V zwischen Metallstift und metallischem Papierstreifen) wird an der Berührungsstelle die Metallbeschichtung weggebrannt und damit die Schreibspur sichtbar gemacht.

Wegen der durch die Schreibfeder oder den Schreibstift auf dem Registrierstreifen verursachten Reibung werden zur Nachführung relativ große Stellkräfte benötigt; die elektrischen Meßwerke sind daher verhältnismäßig kräftig, benötigen jedoch entsprechende Spannungen am Eingang, so daß die meisten Meßfühler wie Widerstandsthermometer, Thermoelemente u. a. nicht zu ihrer Betätigung ausreichen. Daher werden Linienschreiber vor allem zur Registrierung der Ausgangsgrößen elektronischer Meßinstrumente verwendet.

15.3. Punktschreiber

Diese Registriergeräte liefern eine intermittierende Aufzeichnung nach dem Druckprinzip. Eine Folge von Punkten wird dadurch erzeugt, daß in automatischer Folge ein Fallbügel den Zeiger-Schreibarm auf ein Farbband drückt, das nun seinerseits auf dem Registrierstreifen einen Punkt erzeugt. Bei entsprechend häufiger Punktfolge wird auf dem Registrierstreifen ein durchlaufender Schrieb erzeugt, wobei jedoch in Kauf genommen werden muß, daß zwischenzeitliche Feinheiten verloren gehen. Wird der Eingang des Meßwerks umgeschaltet und gleichzeitig ein Farbbandwechsel bewirkt, so ist es möglich, bis zu 6 Meßwerte auf einem Streifen in ebensovielen Farben zu registrieren, wobei allerdings die Pausen von einem Punkt derselben Meßkurve bis zu deren nächstem das Sechsfache betragen; die Feinheiten im Verlauf einer Messung werden dann noch weiter unterdrückt als beim Einzelschreiber.

In den Pausen zwischen den Druckvorgängen kann sich der Zeiger-Schreibarm ohne Reibung am Registrierstreifen frei einstellen und benötigt daher nur eine geringe Stellkraft. Die elektrischen Meßwerke der Punktschreiber sind infolgedessen in der Regel empfindlicher als die der Linienschreiber, so daß damit auch die Aufzeichnung der Ausgangswerte von Widerstandsthermometern und Thermosäulen in begrenztem Umfang möglich ist.

15.4. Kompensationsschreiber

Diese Registriergeräte können sowohl kontinuierliche als auch intermittierende Aufzeichnungen liefern. Kontinuierliche Registrierungen wie beim Linienschreiber er-

hält man mit Einfachkompensationsschreibern, während die Mehrfachkompensationsschreiber bis zu 12 Meßfühler mit Punktfolgen in verschiedenen Farben nach dem Druckprinzip zur Aufzeichnung bringen.

Kompensationsschreiber (auch Kompensographen genannt) werden überall dort eingesetzt, wo die anzuzeigende elektrische Größe (z. B. von Widerstandsthermometern) oder bei Mehrfachanzeige die kleinste der anzuzeigenden elektrischen Größen für eines der üblichen Meßwerke in Linien- oder Punktschreibern nicht ausreichen oder eine höhere Genauigkeit gefordert wird. Bei den Kompensationsschreibern wird die elektrische Ausgangsgröße des Meßfühlers verstärkt und damit ein Vielfaches der sonst möglichen Stellkraft erzielt, so daß die Anzeige auch sehr kleiner Abweichungen mit hoher Genauigkeit erfolgt.

Da es sich bei den elektrischen Ausgangsgrößen von Widerstandsmeßbrücken oder Thermoelementen um Gleichspannungen handelt, die Verstärkung von Gleichspannungen einerseits nur mit sehr hohem Aufwand möglich, andererseits die zeitliche Konstanz dieser Verstärkung nur sehr schwer zu gewährleisten ist, so wird mit Wechselspannungsverstärkung und Nullabgleich gearbeitet. Das geschieht wie folgt (Abb. 73): Die anzuzei-

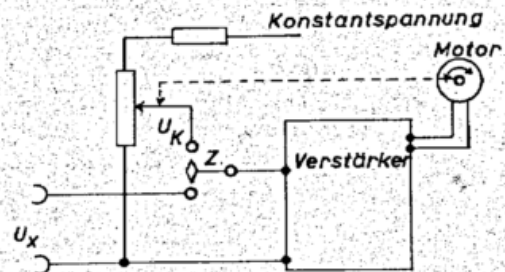


Abb. 73
Schaltung für Spannungsgeber

gende Spannung U_x wird mit der eines Potentiometer-schleifers U_k verglichen, wobei an dem Potentiometer eine Konstantspannung liegt. Ein Zerhacker Z legt abwechselnd U_x und U_k an den Eingang eines Verstärkers. Sind beide verschieden, so entsteht am Eingang eine Wechselspannung, die hoch verstärkt wird. Je nach der Richtung der Abweichung von U_x und U_k ist die Ausgangsspannung um 180° in der Phase gedreht. Mittels Phasenvergleichs der hohen Ausgangsspannung mit einer Hilfsspannung fester Phasenlage wird entweder durch einen Phasendiskriminator mit anschließendem Gleichstrommotor oder direkt durch einen Zwei-Phasen-Motor der Schleifer des Potentiometers und damit U_k solange nachgeführt, bis $U_x = U_k$ ist. In diesem Augenblick wird die Wechselspannung im Eingang gleich Null und der Motor bleibt stehen.

Mit dem Schleifer des Potentiometers ist der Zeiger-Schreibarm des Registriergerätes verbunden, der Wert für $U_x = U_k$ wird aufgezeichnet. Die Einstellung auf diesen Wert erfolgt mit großer Kraft und sehr schnell, so daß auch bei 12 Meßfühlern noch eine dichte Punktfolge bei hoher Genauigkeit erzielt wird.

Handelt es sich nur um die Aufzeichnung der Ausgangsgröße von Widerstandsgebern (z. B. Widerstandsthermometern), so kann das Potentiometer mit der Konstantspannung gleich als Brückenpotentiometer im Zweig $W_3 - W_4$ dienen, wie bei den Widerstandsthermometern für die Nullmethode beschrieben; die Konstantspannung wird Brückenhilfsspannung (Abb. 74). Anstelle des Meßinstrumentes in Abb. 23 bzw. 24 tritt der Zerhacker Z.

Für den Anschluß mehrerer Meßfühler (Widerstandsgeber) gilt das für Widerstandsthermometer zu Abb. 25 Gesagte.

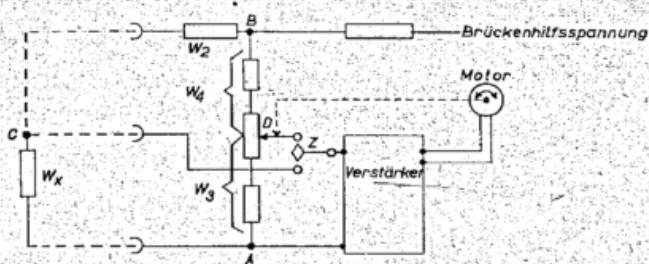


Abb. 74
Schaltung für Widerstandsgeber

15.5. Bedienung und Wartung der Geräte

Für Bedienung und Wartung der elektrischen Registriergeräte sind die Betriebsanleitungen der Lieferfirmen maßgeblich. Schaltungsänderungen sind zu unterlassen, da hierbei die Geräte gefährdet sind.

16. Der Versand von Instrumenten

Beim Versand von Instrumenten sind eine ganze Reihe von Vorsichtsmaßnahmen zu beachten. Bei Post- oder Bahnversand sind die Pakete auffällig zu kennzeichnen durch Aufschriften oder Klebezettel wie „Vorsicht! Empfindliche Instrumente! Nicht werfen oder stürzen!“. Die Oberseite des Paketes muß noch besonders mit dem Wort „Oben“ gekennzeichnet werden.

16.1. Quecksilberbarometer

- 1) Verschickung ohne Begleitperson. Hier muß das gesamte Quecksilber umgefüllt werden; die Umfüllung ist sehr vorsichtig durchzuführen, damit kein Queck-

silber verloren geht, sie soll nicht vom Beobachter, sondern nur von einem Fachmann des Instrumentenwesens vorgenommen werden.

- 2) Verschickung mit Begleitperson. Bei dieser Art der Versendung kann der Beobachter das Instrument selbst versandfertig machen. Der Vorgang selbst wurde unter Abschnitt 1.2. genauer beschrieben.

Der Umgang mit Quecksilber erfordert besondere Vorsicht. Wird es durch Bruch des Glasrohres oder Undichtwerden der Verkittung frei, so ist zu beachten, daß Quecksilberdämpfe sehr giftig sind und daß das Quecksilber schnellstens in einem Gefäß aufgesammelt werden muß. Kleinste zurückbleibende Tropfen können mit Zinkoxydpulver gebunden und entfernt werden.

16.2. Registriergeräte

Bei den Registriergeräten (Barograph, Thermograph u. a.) ist stets die Verbindung zwischen dem Meßfühler (Vidiedose, Bimetall, Haar) und dem Hebelmechanismus zu lösen, da der Meßfühler auch während des Transportes weiterarbeitet. Grundsätzlich muß beachtet werden, daß weder die Amplitude noch die Nullpunkteinstellung verändert werden darf.

Die Trommel ist abzunehmen und gesondert zu verpacken. In jedem Fall ist außerdem der Schreibarm am Zapfen der Federabhebevorrichtung festzubinden. Die Tinte ist vorher mit einem Stück Löschpapier aus der Feder zu entfernen.

Die so vorbereiteten Geräte müssen gut gepolstert in einem starken Karton verpackt werden.

Auch beim Versand von Thermometern ist auf die gut gepolsterte Lage des Instruments und auf die Druckfestigkeit des Kartons zu achten.

Literaturhinweise

- BATTAN, L. J.: Radar meteorology. Chicago: University of Chicago Press 1959.
- BORCHARDT, H.: Physikalisch-technische Grundlagen der meteorologischen Anwendung von Radar nach Erfahrungen mit der Wetterradaranlage des Instituts für Mikrowellen in der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt e. V., Mülheim (Ruhr). 1960 = DVL — Bericht Nr. 109.
- Deutscher Wetterdienst: Anleitung für die Beobachter an den Klimahauptstationen des Deutschen Wetterdienstes. 7. neu bearb. Aufl. Offenbach a. M. 1965.
- Deutscher Wetterdienst: Anleitung für die Beobachter an den Niederschlagsstationen des Deutschen Wetterdienstes. Ausg. 1966. Offenbach a. M. 1966.
- Deutscher Wetterdienst: Leitfaden für die Ausbildung im Deutschen Wetterdienst:
Nr. 1: Allgemeine Meteorologie. Bearb. v. Th. Meissner, P. Bohr und P. Hess. Offenbach a. M. 1966.
Nr. 4: Wetterbeobachtung. Bearb. v. K. Schneider und A. Schnell. Offenbach a. M. 1967.
- Deutscher Wetterdienst: Beobachterhandbuch für Meldestellen des synoptischen Dienstes. Offenbach a. M. 1961 = Vorschriften und Betriebsunterlagen Nr. 3.
- FRÜNGEL, F.: Der impulsoptische Wolkenhöhenmesser. Arch. Meteor. Geophys. Bioklimat. B 10 (1960) S. 243—251.
- GRUNDMANN, W.: Meteorologische Meßgeräte am Erdboden. In: Linkes Meteorologisches Taschenbuch. Neue Ausgabe 3. Bd. Leipzig 1957. S. 272—340.
- HESSE, W. (Hrsg.): Handbuch der Aerologie. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig 1961.
- HOFMANN, G.: Meteorologisches Instrumentenpraktikum. München: Meteorologisches Institut der Universität 1960 = Wissenschaftliche Mitteilungen Nr. 5.
- JONES, R. F. u. a.: Use of ground-based radar in meteorology. Geneva: World Meteorological Organization 1966 = WMO-No. 193. TP. 99 = Technical Note No. 78.
- KELLOGG, W. W.: Meteorological soundings in the upper atmosphere. Geneva: World Meteorological Organization 1964 = WMO-No. 153. TP. 73 = Technical Note No. 60.
- KLEINSCHMIDT, E.: Handbuch der meteorologischen Instrumente. Berlin: Springer Verlag 1935.
- Meteorological Office: Handbook of meteorological instruments. P. I. II. London: H. M. Stationery Office 1956/1961.
- OLBERS, W. u. HERZOG, F.: Das objektive Sichtmeßgerät (Transmissometer) des Instrumentenamtes Hamburg. Optik 22 (1965) S. 29—34.
- PERLAT, A. et PETIT, M.: Mesures en météorologie. Paris: Gauthier-Villars 1961.
- RUPPERSBERG, G. H.: Bericht über den derzeitigen Stand der Sichtmessung mit automatischen Sichtgeräten. Düsseldorf: Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation 1966.
- SAWYER, J. S.: Performance requirements of aerological instruments. Geneva: World Meteorological Organization 1962 = WMO-No. 119. TP. 54 = Technical Note No. 45.
- SUSCHNY, O.: The measurement of atmospheric radioactivity. Geneva: World Meteorological Organization 1968 = WMO-No. 231. TP. 124 = Technical Note No. 194.
- WOELFLE, F.: Aerologische Meßgeräte. In: Linkes Meteorologisches Taschenbuch. Neue Ausgabe 3. Bd. Leipzig 1957. S. 349—420.
- World Meteorological Organization: Guide to meteorological instrument and observing practices. 3rd ed. Geneva 1968 = WMO-No. 8. TP. 3.

Nachweis der Firmenbilder

Folgende Firmen haben dankenswerterweise Bildunterlagen zur Verfügung gestellt:

AEG	Abb. 48
ASKANIA	„ 54
FRÜNGEL	„ 45, 46, 47, 52, 53
FUESS	„ 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 16, 20, 31
GRAW	„ 58, 59
LAMBRECHT	„ 2, 3, 4, 5, 11, 13, 17, 21, 27, 28, 29, 30, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43
PINTSCH	„ 49, 51
PLESSEY	„ 56
SELENIA	„ 64, 65, 66

Leitfäden für die Ausbildung im Deutschen Wetterdienst

Nr. 1	Allgemeine Meteorologie. (Th. Meissner, P. Bohr, P. Hess) . .	DM 6,90
Nr. 2	Grundlagen der Wettervorhersage. Synoptische Methoden. (H. Mollwo)	DM 5,70
Nr. 3	Grundlagen der Wettervorhersage. Statistische Methoden	In Bearbeitung
Nr. 4	Wetterbeobachtung (K. Schneider, A. Schnell)	DM 5,10
Nr. 5	Seewetterdienst und Maritime Meteorologie. (H. Markgraf)	DM 5,10
Nr. 6	Instrumentenkunde	
