

drehbar angeordnet. Soll das auf dem Schirm entstehende umgeformte Bild an allen Stellen gleich scharf sein, so muß bei der Umformung die Hauptebene der Linse L durch die Schnittgerade A der Bild- und der Schirmebene gehen; die Linse L muß deshalb zum Drehen eingerichtet sein.

Unter den Einbildinstrumenten gibt es solche, die die umgeformten Bilder in einem beliebigen Maßstab liefern, und solche, mit denen die schräg aufgenommenen Bilder umgeformt und zugleich auf einen bestimmten Maßstab gebracht werden können¹. Einbildinstrumente der letzteren Art sind die Entzerrungsgeräte der Photogrammetrie G. m. b. H. München und der Firma C. Zeiß; diese beiden Instrumente sind so eingerichtet, daß bei ihnen die oben angegebene Bedingung — die Hauptebene der Linse L muß durch die Schnittgerade A der Bild- und der Schirmebene gehen — selbsttätig erfüllt wird.

c) Bei den oben erwähnten Zweibildinstrumenten werden bei der Auswertung beide Bilder gleichzeitig verwendet. Ein Bildpaar kann auch in der Weise ausgewertet werden, daß man jedes Bild für sich verwendet; das dabei benutzte Instrument ist der Bildtheodolit², bei dem das auszuwertende Meßbild in einem Bildhalter befestigt und mit dessen Hilfe in diejenige Lage im Raum gebracht wird, die es im Augenblick der Aufnahme hatte. Der Bildtheodolit hat einen theodolitartigen, mit Horizontal- und Vertikalkreis versehenen Teil, der so mit dem Bildträger verbunden ist, daß man nach den einzelnen Punkten des im Träger befestigten Bildnegativs dieselben Horizontal- und Vertikalkwinkel messen kann wie mit einem in dem Punkte, in dem die Aufnahme ausgeführt wurde, aufgestellten gewöhnlichen Theodolit.

Bildtheodolite, die in ihren Grundgedanken auf C. Koppe zurückgehen, werden nach den Angaben von C. Pulfrich und R. Hegershoff von C. Zeiß und G. Heyde gebaut³.

E. Instrumente für flüchtige Aufnahmen.

Flüchtige oder weniger genaue, zur Ausarbeitung in einem kleinen Maßstab bestimmte Messungen werden z. B. auf Reisen ausgeführt zur Festlegung des Reiseweges zwischen den durch astronomische Messungen festgelegten Punkten und zur Aufnahme des durchzogenen Geländestreifens. Man hat dabei Strecken, Winkel und Höhen zu messen. Die zu messenden Strecken sind die horizontalen Entfernungen der in Frage kommenden Punkte. Die Höhen kann man mit dem Barometer oder mit dem Siedethermometer oder mit einfachen, keine feste Aufstellung erfordernden Nivellierinstrumenten messen. Bei der barometrischen Höhenmessung kann man entweder Quecksilberbarometer oder Feder-

¹ Vgl. Gruber, O. v.: Die perspektivischen und optischen Verhältnisse bei der Entzerrung von Fliegerbildern. Z. Instrumentenkde 1922, 161.

² Das Instrument wird auch als Bildmeßtheodolit oder besser Meßbildtheodolit bezeichnet.

³ Vgl. auch Samel, P.: Die Prüfung und Berichtigung eines Bildmeßtheodolits. Bildmessung und Luftbildwesen 1929, 74.

barometer benutzen. Zur Festlegung des Reiseweges in horizontalem Sinn gibt es auch selbstaufzeichnende Instrumente. Zur Festlegung einzelner Punkte und zur Aufnahme von Einzelheiten werden gelegentlich auch Flachwinkel- und Rechtwinkelinstrumente benutzt.

1. Instrumente zur Messung von Strecken.

Die bei flüchtigen Aufnahmen zu messenden Strecken können entweder unmittelbar oder mittelbar gemessen werden.

Die unmittelbare Streckenmessung geschieht mit Hilfe eines Meßbandes, durch Abschreiten oder mit dem Meßrad.

Als Meßbänder benutzt man 20 oder 25 m lange, mit Dezimeterteilung versehene Stahlbänder, die in unbenutztem Zustand aufgerollt werden, und die bei Benutzung an den Enden entweder von Hand oder mit Hilfe von besonderen Stäben straff gezogen werden. Solche Stahlmeßbänder können auch zu gelegentlich vorkommenden genaueren Streckenmessungen verwendet werden.

Bei der Streckenmessung durch Abschreiten oder mit Hilfe des Schrittmaßes benutzt man besondere Instrumente zum Zählen der Schritte. Es gibt selbsttätig wirkende Schrittzähler und solche, die vom Benutzer in Tätigkeit gesetzt werden müssen. Bei den selbsttätigen, meist uhrförmigen Schrittzählern werden die Schritte durch die Bewegung des Körpers auf ein Pendel, und von diesem auf ein Zählwerk übertragen, an dem die Zahl der ausgeführten Schritte abgelesen werden kann. Soll ein selbsttätiger Schrittzähler einwandfrei wirken, so muß er vertikal, z. B. am Rock angehängt, getragen werden; mit Rücksicht auf die nicht zu umgehende Unsicherheit bei der Benutzung des Instruments verwendet man am besten mindestens zwei Instrumente gleichzeitig. Bei den nicht selbsttätig wirkenden Schrittzählern muß die Zählvorrichtung bei jedem Schritt durch einen Fingerdruck in Tätigkeit gesetzt werden.

Das Meßrad ist ein z. B. genau 1 m im Umfang messendes Metallrad, das mit Hilfe eines Holzgriffes geschoben oder gezogen wird; die einzelnen Umdrehungen des Rades werden auf ein mit dem Rad verbundenes Zählwerk übertragen und können an diesem abgelesen werden.

Für die mittelbare Streckenmessung bei flüchtigen Aufnahmen kommen in Frage der Fadenentfernungsmesser, der Schraubenentfernungsmesser, ein Doppelbildentfernungsmesser mit Grundstrecke im Standpunkt oder ein Raumbildentfernungsmesser. Der Fadenentfernungsmesser und der Schraubenentfernungsmesser haben den Nachteil, daß im Zielpunkt eine Latte aufgehalten bzw. aufgestellt werden muß. Sollen die Messungen in möglichst kurzer Zeit ausgeführt werden, so verwendet man einen Doppelbildentfernungsmesser oder einen Raumbildentfernungsmesser; das Instrument wird dabei auf einem leichten Stativ aufgestellt, oder es wird — wie beim Raumbildentfernungsmesser mit räumlichem Maßstab im Gesichtsfeld — auch freihändig benutzt.

2. Instrumente zur Messung von Winkeln.

Bei der Ausführung von flüchtigen Aufnahmen hat man Horizontalwinkel oder horizontale Richtungen und Neigungswinkel¹ zu messen.

Das wichtigste Hilfsmittel zur Festlegung von horizontalen Richtungen und damit zum Messen von Horizontalwinkeln ist die Bussole in Gestalt einer Vollkreisbussole. Je nach der angestrebten Genauigkeit und der zur Verfügung stehenden Zeit verwendet man eine Stockbussole oder auch nur eine Freihandbussole.

Sollen gelegentlich Horizontalwinkel etwas genauer gemessen werden als dies mit der Bussole möglich ist, so kann man — wenn man nicht zum Theodolit greifen will — einen Freihandwinkelmesser z. B. in Gestalt eines Sextanten verwenden. Ein für viele Zwecke recht brauchbares Instrument ist der nach den Angaben von C. Pulfrich bei C. Zeiß gebaute Freihandwinkelmesser².

Zur Messung von Neigungswinkeln gibt es besondere, für freihändigen Gebrauch eingerichtete Neigungsmesser verschiedener Bauart. In seiner einfachsten Form besteht ein Neigungsmesser aus einer auf einer Metallplatte angegebenen Gradteilung T (Abb. 59) und einem in dem Teilungsmittelpunkt aufgehängten Pendel P . Mit der Teilung T ist eine — z. B. aus Schlitz und Faden bestehende — Zielvorrichtung AB derart verbunden, daß bei horizontaler Lage von AB die Marke M des Pendels auf den Nullpunkt der Teilung T weist. Die Teilung ist vom Nullpunkt aus nach links und rechts beziffert. Es gibt auch Neigungsmesser, bei denen an Stelle oder neben der Gradteilung eine Teilung vorhanden ist, an der man die Neigung in Prozenten der horizontalen Entfernung abliest.

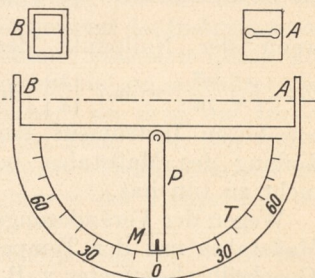


Abb. 59. Neigungsmesser.

3. Quecksilberbarometer.

Die Quecksilberbarometer kann man einteilen in Gefäßbarometer, Heberbarometer und Gefäßheberbarometer; ihrer Beförderungsmöglichkeit entsprechend teilt man sie auch ein in Stations- oder Standbarometer und Feld- oder Reisebarometer. Der Gefäßheberbarometer ist ein ausgesprochenes Stationsinstrument und kommt deshalb hier nicht in Frage; als Reisebarometer eignet sich der Gefäßbarometer, der dann mit einer besonderen Vorrichtung zum Abschließen des Quecksilbers während der Beförderung ausgestattet sein muß.

Einen bei Reisen verwendbaren Gefäßbarometer baut die Firma R. Fueß. Bei diesem Instrument ist das Gefäß G (Abb. 60) unten mit einer Schraube S_1 abgeschlossen; soll das Instrument befördert werden,

¹ Der Neigungswinkel einer nichthorizontalen Geraden ist der Winkel zwischen der Geraden und ihrer Horizontalprojektion.

² Vgl. Pulfrich, C.: Ein neuer Freihand-Winkelmesser. Z. Instrumentenkde 1919, 201.

so dreht man es um, entfernt die Schraube S_1 und setzt an ihre Stelle eine Schraube S_2 , durch welche die mit Quecksilber gefüllte Glasröhre abgeschlossen wird.

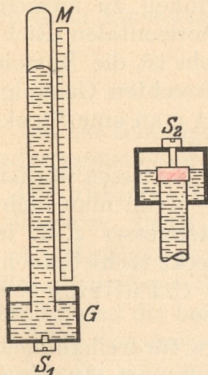


Abb. 60. Gefäßbarometer.

Die an einem Quecksilberbarometer gemachte Ablesung stellt nicht unmittelbar den Luftdruck vor; um diesen zu erhalten, muß man an der Ablesung verschiedene Verbesserungen anbringen, es sind dies die Gefäßverbesserung c_1 , die Temperaturverbesserung c_2 , die Verbesserung c_3 wegen der Kapillardepression, die aus zwei Teilen c_4 und c_5 bestehende Schwereverbesserung und die Standverbesserung c_6 .

Ist der Maßstab M (Abb. 60) mit dem Gefäß G fest verbunden, und fallen der Nullpunkt des Maßstabes und die Oberfläche des Quecksilbers im Gefäß bei der Barometerablesung b_0 zusammen, so ist eine andere Ablesung b um c_1 zu $\left\{ \begin{array}{l} \text{verkleinern} \\ \text{vergrößern} \end{array} \right\}$, wenn der Nullpunkt des Maßstabes $\left\{ \begin{array}{l} \text{eintaucht} \\ \text{absteht} \end{array} \right\}$; dabei ist $c_1 = (b - b_0) \frac{d^2}{D^2}$, wobei $\left\{ \frac{D}{d} \right\}$ der Durchmesser $\left\{ \begin{array}{l} \text{des Gefäßes} \\ \text{der Röhre} \end{array} \right\}$ ist. Bei dem erwähnten Instrument von R. Fueß ist die Gefäßkorrektion in der Teilung des Maßstabes berücksichtigt, so daß man mit ihr nichts mehr zu tun hat.

Wegen der Veränderungen der Längen der Quecksilbersäule und des Maßstabes mit der Temperatur muß man die Ablesungen an einem Quecksilberbarometer z. B. auf 0° umrechnen; dies erfordert die Anbringung der Wärmeverbesserung¹ $c_2 = -b(\alpha - \beta)t$, wobei b der abgelesene Barometerstand, t die Temperatur von Quecksilber und Maßstab und $\left\{ \frac{\alpha}{\beta} \right\}$ der Wärmeausdehnungskoeffizient des $\left\{ \begin{array}{l} \text{Quecksilbers} \\ \text{Maßstabes} \end{array} \right\}$ ist.

Infolge der gegenseitigen Anziehung von Glas und Quecksilber entsteht die Kapillardepression; die Ablesungen am Barometer sind um c_3 zu klein. Der Wert von c_3 ist abhängig vom inneren Durchmesser des Rohres und von der Höhe der Quecksilberkuppe; c_3 kann besonders, durch Versuche bestimmten Tafeln² entnommen werden.

Die beiden Schwereverbesserungen c_4 und c_5 sind durch die Veränderlichkeit der Fallbeschleunigung mit der geographischen Breite φ und der Meereshöhe H bestimmt; es läßt sich zeigen, daß $c_4 = -b\beta \cos 2\varphi$ und $c_5 = -\frac{2bH}{r}$, wobei b der abgelesene Barometerstand, r der Erdradius und $\beta = 0,00265$ ist.

Die Standverbesserung c_6 ist bei jedem Instrument eine andere; sie muß durch Vergleichen mit einem Normalbarometer bei verschiedenen Barometerständen bestimmt werden.

¹ Eine Tafel für c_2 — bezogen auf einen Messingmaßstab — ist enthalten in dem Lehrbuch der praktischen Physik von F. Kohlrausch.

² Siehe Kohlrausch, F.: Lehrbuch der praktischen Physik.

Ein bei der Ausführung von barometrischen Höhenmessungen zur Messung der Lufttemperatur gebrauchtes Hilfsinstrument ist der Schleuderthermometer; es ist dies ein an einer etwa 0,5 m langen Schnur befestigter Thermometer, der so lange von Hand durch die Luft geschleudert wird, bis die an ihm gemachte Ablesung dieselbe bleibt.

4. Federbarometer.

Bei den als Feld- oder Standbarometer benutzbaren Federbarometern wird der Luftdruck mit Hilfe der Hebungen bzw. Senkungen des Deckels einer luftleeren Dose gemessen. Von den verschiedenen Bauarten eignet sich am besten diejenige von Naudet, die besonders von den Firmen O. Bohne (Berlin) und G. Lufft (Stuttgart) hergestellt wird. Bei dem Instrument nach Naudet werden die kleinen Bewegungen des Dosen- deckels mit Hilfe eines Hebelsystems auf ein Gliederkettchen und von diesem vergrößert auf einen Zeiger übertragen; die zu dem Zeiger gehörige Teilung gibt meist ganze oder halbe Millimeter, so daß man durch Schätzung auf 0,1 mm genau ablesen kann. Da der Stand des Zeigers außer vom Luftdruck auch von der Temperatur der Instrumententeile abhängig ist, so werden die Federbarometer einerseits durch entsprechende Umhüllung gegen Temperaturschwankungen geschützt und andererseits mit einem Thermometer versehen, an dem die Innentemperatur des Instruments abgelesen werden kann; von den beiden genannten Firmen werden auch „kompensierte“ Federbarometer gebaut, bei denen der Zeigerstand unabhängig von der Temperatur der Instrumententeile ist.

Die an einem Federbarometer gemachte Ablesung ist — wie beim Quecksilberbarometer — nicht unmittelbar der Luftdruck. Sollen die bei verschiedenen Luftdrucken und verschiedenen Innentemperaturen gemachten Ablesungen miteinander verglichen und weiterverwertet werden, so muß man an den einzelnen Ablesungen drei Verbesserungen anbringen; es sind dies die Temperaturverbesserung, die Teilungsverbesserung und die Standverbesserung. Diese Verbesserungen müssen für jedes Instrument durch entsprechende Untersuchungen besonders bestimmt werden; das Ergebnis einer solchen Untersuchung drückt man aus in einer Gleichung von der Form

$$A_t = A + at + b(A_t - C) + c, \quad \text{wobei} \quad A_t = A + at.$$

Dabei sind A_t die umgerechnete Ablesung, A die ursprüngliche Ablesung, a der Temperaturkoeffizient, t die Innentemperatur, at die Temperaturverbesserung, b der Teilungskoeffizient, C ein beliebiger, gleich einer runden Zahl angenommener Barometerstand, $b(A_t - C)$ die Teilungsverbesserung und c die Standverbesserung.

Der Temperaturkoeffizient a wird für sich, und zwar zuerst bestimmt; den Teilungskoeffizienten b und die Standverbesserung c bestimmt man gemeinsam.

Den Temperaturkoeffizient a bestimmt man dadurch, daß man an dem Instrument bei möglichst verschiedenen Innentemperaturen Ablesungen macht und dabei die in der Zeit zwischen den einzelnen Ab-

lesungen eingetretenen Luftdruckänderungen durch je gleichzeitiges Ablesen an einem Quecksilberbarometer oder einem zweiten, in der Temperatur und Höhenlage nicht veränderten Federbarometer ermittelt. Die Untersuchung führt man im Winter aus; man bringt dabei das seiner Umhüllung entnommene Instrument unter Einhaltung derselben Höhenlage zuerst ins Freie und dann in verschieden erwärmte Räume, wobei vor Ausführung der einzelnen Ablesungen das Instrument so lange in jeder neuen Temperatur liegen muß, bis anzunehmen ist, daß seine einzelnen Teile die Temperatur angenommen haben.

Ein Beispiel für die Bestimmung des Temperaturkoeffizienten eines Federbarometers ist das folgende:

Zeit h	Quecksilber- barometer auf 0° umger. mm	Federbarometer		Innen- temperatur °
		Luftdruck abgelesen mm	auf 762,2 umger. mm	
10	762,2	760,6	760,6	— 8,5
12	761,4	760,2	761,0	+ 18,5
14	759,1	758,3	761,4	+ 46,0
16	758,0	756,7	760,9	+ 30,0
18	757,6	756,4	761,0	+ 21,5

Trägt man in einem rechtwinkligen Koordinatensystem die Temperaturen als Abszissen und die zugehörigen, auf 762,2 mm umgerechneten Ablesungen als Ordinaten an, so erhält man die fehlerzeigende Punkt-

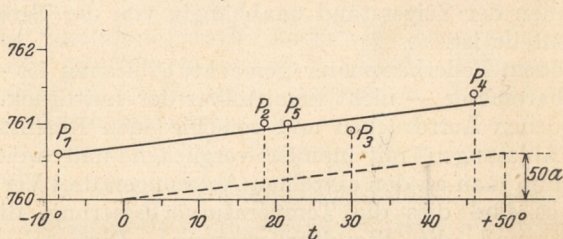


Abb. 61. Bestimmung des Temperaturkoeffizienten eines Federbarometers.

reihe P_1 bis P_5 (Abb. 61); zeichnet man für diese nach Gutdünken die plausibelste Gerade, so findet man mit dieser für $t = 50^\circ$ den Wert $at = 0,6$ mm, also $a = -0,01_2$.

Den Teilungskoeffizienten b und die Standverbesserung c ermittelt man in der Weise, daß man bei möglichst verschiedenen Luftdrücken die Ablesungen am Federbarometer mit den gleichzeitig gemachten und umgerechneten Ablesungen an einem Quecksilberbarometer oder einem Siedethermometer¹ vergleicht. Verschiedene Luftdrucke erhält man dadurch, daß man die Vergleichen über einen längeren Zeitabschnitt ausdehnt, oder daß man Vergleichen in verschiedenen Meereshöhen vornimmt.

Beispiel. Zur Bestimmung des Teilungskoeffizienten b und der Standverbesserung c für den Federbarometer mit dem Temperatur-

¹ Vgl. den folgenden Abschnitt 5 „Der Siedethermometer“.

koeffizienten $a = -0,01_2$ wurden an ihm und an einem Quecksilberbarometer je gleichzeitig in fünf Punkten mit verschiedenen Meereshöhen die folgenden Ablesungen gemacht:

Federbarometer Luftdruck A mm	Innen- temperatur t °	$A_t = A + at$ mm	Umgerechnete Ablesungen am Quecksilber- barometer A_r mm	$A_r - A_t$ mm	$A_t - C$ für $C = 700,0$ mm mm
723,5	18,3	723,3	725,5	2,2	+ 23,3
716,0	18,2	715,8	717,7	1,9	+ 15,8
705,4	18,1	705,2	706,9	1,7	+ 5,2
697,4	18,3	697,2	698,6	1,4	— 2,8
685,2	18,4	685,0	685,8	0,8	— 15,0

Schreibt man die oben angegebene Gleichung in der Form

$$A_r - A_t = b (A_t - C) + c$$

und betrachtet man die fünf zu $A_t - C$ und $A_r - A_t$ gehörigen Wertepaare als rechtwinklige Koordinaten, so erhält man fünf, eine fehlerzeigende Punktreihe bildende Punkte P_1 bis P_5 (Abb. 62); deren plausibelste Gerade ergibt $c = +1,4$ mm und für $c = 0$ und $A_t - C = 50$ den Wert $b (A_t - C) = 1,8$ mm, also $b = +0,03_6$.

Die Gleichung des den vorstehenden Untersuchungen zugrunde liegenden Federbarometers lautet somit

$$A_r = A - 0,01_2 t + 0,03_6 (A_t - C) + 1,4.$$

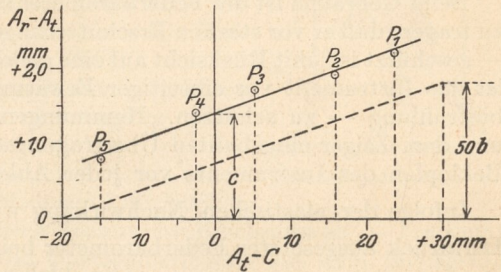


Abb. 62. Bestimmung des Teilungskoeffizienten und der Standverbesserung eines Federbarometers.

Für den praktischen Gebrauch schreibt man die Gleichung in der Form

$$A_r = A + v_1 + v_2$$

und bestimmt die an der Ablesung A anzubringenden Verbesserungen mit Hilfe von zwei graphischen Tafelchen; solche für das im vorstehen-

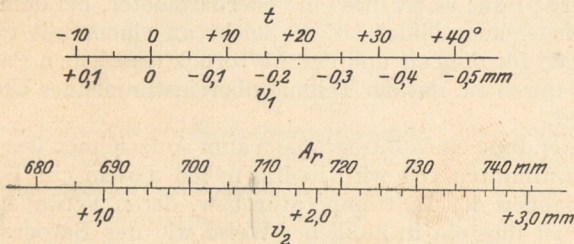


Abb. 63. Tafeln zur Bestimmung der Verbesserungen eines Federbarometers.

den benutzte Instrument zeigt die Abb. 63. Für z. B. $A = 708,7$ mm und $t = 15,3^\circ$ erhält man $A_r = 708,7 - 0,2 + 1,7 = 710,2$ mm.

Der Temperaturkoeffizient a ist — auch bei den als kompensiert

bezeichneten Instrumenten — mit der Zeit veränderlich und sollte in Abständen von mindestens zwei Jahren neu bestimmt werden. Da bei der am Thermometer des Federbarometers abzulesenden Innentemperatur t mit einer Unsicherheit von mindestens $\pm 1^\circ$ gerechnet werden muß, so sollte a — für den Fall, daß man den Luftdruck mit keinem größeren Fehler als $\pm 0,1$ mm bestimmen will — nicht größer sein als 0,14. Auch der Teilungskoeffizient b und die Standverbesserung c sind nicht unveränderlich und müssen deshalb im Abstand von etwa zwei Jahren neu bestimmt werden; besonders c kann infolge von starken Erschütterungen des Instruments große Veränderungen erfahren. Für gewisse Messungsverfahren braucht man b und c nicht zu kennen; a sollte stets bekannt sein. Bei den meisten, für Höhenmessungen bestimmten Federbarometern kann man die Standverbesserung c mit Hilfe einer am Boden des Instruments von außen sichtbaren Schraube verändern bzw. für einen bestimmten Luftdruck auf Null stellen; ein solcher Eingriff in das Instrument empfiehlt sich schon deshalb nicht, weil c einfach berücksichtigt werden kann.

Beim Gebrauch ist der Federbarometer so — am besten horizontal — zu tragen, daß er vor starken Erschütterungen — z. B. durch den Körper — geschützt ist; mit Rücksicht auf eine gleichbleibende Innentemperatur ist das Instrument vor einseitiger Erwärmung — z. B. durch Sonnenbestrahlung — zu schützen. Hemmungen in den zwischen der Dose und dem Zeiger eingebauten Übertragungsteilen werden durch leichtes Beklopfen des Instruments vor jeder Ablesung ausgelöst.

Infolge der elastischen Nachwirkung wird ein einem $\begin{cases} \text{abnehmenden} \\ \text{zunehmenden} \end{cases}$ Luftdruck ausgesetzter Federbarometer beim Übergang in einen gleichbleibenden Luftdruck zunächst noch $\begin{cases} \text{fallen} \\ \text{steigen} \end{cases}$ und erst nach einiger Zeit seinen richtigen Stand einnehmen; hierauf hat man bei der Ausführung von Messungen unter Umständen in der Weise Rücksicht zu nehmen, daß man vor jeder Ablesung genügend lange wartet.

Für manche Zwecke, z. B. zur Ausführung von fortlaufenden Beobachtungen an demselben Orte verwendet man mit Vorteil einen den Barometerstand bzw. die Luftdruckänderungen selbsttätig aufzeichnenden Barographen; es ist dies ein Federbarometer, bei dem der Zeiger als Schreibfeder ausgebildet ist, die leicht an einem mit entsprechenden Teilungen für die Zeit und den Luftdruck versehenen Papierstreifen anliegt, der durch ein mit der Teilung übereinstimmendes Uhrwerk fortbewegt wird.

Bei Verwendung eines Barographen zum Aufzeichnen des Luftdrucks in einem bestimmten Ort wird häufig neben diesem ein Thermograph zum Aufzeichnen der Lufttemperatur bzw. deren Veränderungen verwendet; es ist dies ein in ähnlicher Weise wie der Barograph wirkender Metallthermometer.

5. Der Siedethermometer.

Mit dem Siedethermometer wird die vom Luftdruck abhängige Siedetemperatur des Wassers bestimmt. Das Instrument besteht aus dem

Spiritusbrenner *A* (Abb. 64), dem Wasserbehälter *B* und dem Thermometer *C*. Der Wasserbehälter und die Flamme des Brenners sind von einem beide gegen Luftzug schützenden Gefäß *D* umgeben. Der Wasserbehälter *B* geht nach oben in eine Röhre *E* über, in der der Thermometer mit Hilfe eines verschiebbaren Gummiringes *F* gehalten wird.

Der Thermometer hat entweder eine Teilung zur Ablesung der Siedetemperatur des Wassers oder eine solche zur unmittelbaren Ablesung des Luftdrucks; im ersten Fall ist meist ein Grad in 20 Teile eingeteilt, so daß man durch Schätzung mit Benutzung einer Lupe auf $0,005^\circ$ genau ablesen kann. Hat der Thermometer eine Luftdruckteilung, so hat diese meist Striche von 2 zu 2 mm, so daß der Luftdruck durch Schätzung auf 0,2 mm genau abgelesen werden kann. Ist die Thermometerteilung eine Temperaturteilung, so erhält man aus den an dieser gemachten Ablesungen den entsprechenden Luftdruck mit Hilfe der in der Abb. 65 angegebenen Tafel.

Die an einem Siedethermometer gemachten Ablesungen erfordern die Anbringung einer „Standverbesserung“; diese muß für jedes Instrument besonders durch Vergleichen mit einem Normalbarometer bei verschiedenen Luftdrücken

— z. B. durch die Physikalisch-Technische Reichsanstalt — bestimmt werden. Das Herausragen des Quecksilberfadens aus dem Siedegefäß erfordert unter Umständen die Anbringung einer entsprechenden Verbesserung; Angaben über eine solche findet man auf den jeweiligen Prüfungsscheinen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

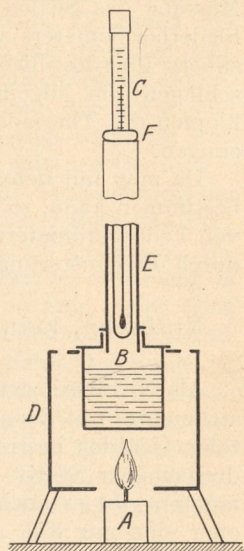


Abb. 64. Siedethermometer.

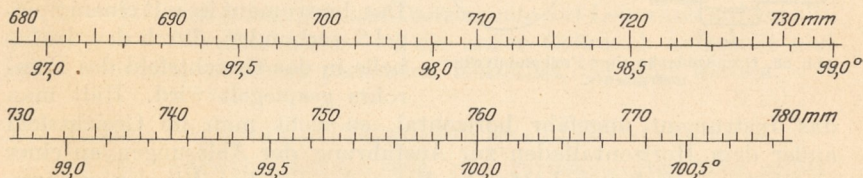


Abb. 65. Tafel zur Bestimmung des Luftdrucks für eine gemessene Siedetemperatur von Wasser.

Beim Gebrauch wird der Siedethermometer an einem windgeschützten Ort aufgestellt; das benutzte Wasser muß rein, also insbesondere salzfrei sein. Das Siedegefäß soll reichlich zur Hälfte gefüllt sein. Den Gummiring *F* verschiebt man derart, daß die in Frage kommende Ablesestelle des Thermometers nur soviel als zur Ablesung notwendig ist — also etwa 0,5 cm — über die Röhre *E* hinausragt. Die Röhre *E* und das Thermometer *C* müssen beide vertikal stehen, so daß eine gegenseitige Berührung nicht stattfindet. Die Flamme des Spiritusbrenners soll stets auf ungefähr derselben, vom Verfertiger des Instru-

ments angegebenen Höhe gehalten werden. Die Ablesungen werden etwa 5 Minuten nach Beginn des Siedens vorgenommen. Im allgemeinen empfiehlt sich die Wiederholung der Messung, wobei man vor der zweiten Messung das Sieden für kurze Zeit unterbricht. Beim Gebrauch des Siedethermometers zeigt es sich häufig, daß kleine Mengen des Quecksilbers überdestillieren und sich an dem oberen Röhrenteil niederschlagen; im allgemeinen kann man sie durch Schwingen und Beklopfen des Thermometers wieder mit dem übrigen Quecksilber vereinigen.

Da man mit dem Siedethermometer absolute Werte des Luftdrucks bestimmen kann, so wird er insbesondere auf Reisen zur Überwachung von Federbarometern in bezug auf ihre Standverbesserung benutzt, die durch Erschütterungen Veränderungen ausgesetzt ist.

6. Einfache, keine feste Aufstellung erfordernde Nivellierinstrumente.

Als Nivellierinstrumente im weiteren Sinne bezeichnet man alle Instrumente, mit denen man Höhenunterschiede mit Hilfe von horizontalen Geraden bestimmen kann. Neben den beim Gebrauch auf einem dreibeinigen Stativ befestigten und fest aufgestellten Nivellierinstrumenten gibt es auch solche, die freihändig verwendet werden können oder eine nur lose Aufstellung erfordern; es sind dies das Freihandnivellierinstrument, der Nivellierstab und die geschlossene Kanalwage.

a) Das Freihandnivellierinstrument besteht aus einem Fernrohr *F* (Abb. 66) mit geringer Vergrößerung und einer wenig empfindlichen Libelle *L*; Fernrohr und Libelle sind so miteinander verbunden,

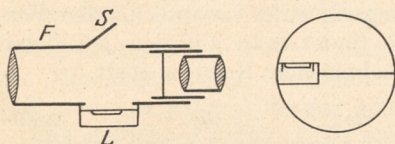


Abb. 66. Grundgedanke eines Freihandnivellierinstrumentes.

daß die Zielachse und die Libellenachse parallel zueinander sind, so daß bei einspielender Libelle die Zielachse horizontal liegt. Das Instrument ist mit einem Spiegel *S* verbunden, durch den die Libelle in das Gesichtsfeld des Fernrohrs gespiegelt wird. Hält man

das Instrument ungefähr horizontal, so sieht man im Gesichtsfeld außer dem Horizontalfaden zur Ausführung der Ablesungen an einer vertikal aufgehaltene Latte die Blase der Libelle; bei der geringen Empfindlichkeit der Libelle kann man diese durch entsprechendes Neigen des Instruments zum Einspielen bringen. An Stelle der vollständig freihändigen Benutzung kann man das Instrument auch auf einem Stab verwenden.

b) Der Nivellierstab¹ besteht aus dem rund 1,5 m langen Stab *S* (Abb. 67), dem Rechtwinkelpisma *P*, der Dosenlibelle *D* und der Einstellmarke *M*. Der aus Holz gefertigte Stab ist unten mit einer eisernen Spitze versehen, so daß er leicht in den Boden gedrückt werden kann. Das Prisma, die Dosenlibelle und die Einstellmarke können für die

¹ Vgl. Werkmeister, P.: Nivellierstab. Z. Instrumentenkde 1921, 355.

Beförderung abgeschraubt werden. Die Dosenlibelle ist auf ihrer Oberseite mit einer in roter Farbe angegebenen Geraden G versehen; durch diese Gerade und die Einstellmarke M ist die Zielachse AZ bestimmt. Beim Gebrauch des Stabes gibt man ihm von Hand diejenige Stellung, bei der die im Prisma gesehene Dosenlibelle einspielt; gibt man dann durch Auf- und Abbewegen des Kopfes dem Auge diejenige Stellung, bei der die Marke M mit der Geraden G zusammenfällt, so ergibt die Verlängerung der im Prisma gesehenen Geraden G über den Prismenrand hinaus die horizontale Zielung Z . Die Untersuchung des Nivellierstabes geschieht in einfacher Weise mit Hilfe von zwei gleich hoch gelegenen, etwa 30 m voneinander entfernten Punkten; ein sich zeigender Fehler kann mit der Libelle weggeschafft werden, die für diesen Zweck mit einer Berichtigungsvorrichtung versehen ist. Die Genauigkeit des Nivellierstabes beträgt bei 130 m großen Zielungen etwa ± 5 cm.

Gesichtsfeld im Prisma

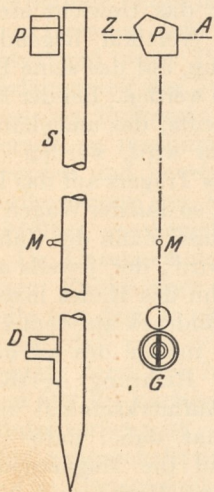
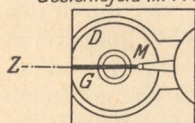


Abb. 67. Nivellierstab.

c) Die geschlossene Kanalwaage (Abb. 68) besteht aus einer z. B. kreisförmigen Glasröhre, die zum Teil mit gefärbtem Wasser gefüllt ist; die horizontale Gerade ist durch die beiden Wasserstände A und B bestimmt. Die Kanalwaage wird freihändig verwendet.

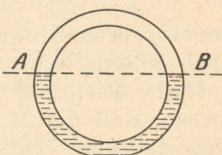


Abb. 68. Kanalwaage.

Zur Ablesung der Höhenunterschiede verwendet man bei Benutzung der im vorstehenden angegebenen Instrumente auf Leinwand aufgemalte Teilungen — Nivellierbänder —, die außer Gebrauch aufgerollt und beim Gebrauch an einem passenden Holzstück befestigt werden.

7. Den Lageplan selbstaufzeichnende Instrumente.

Von Th. Ferguson wurden drei, den zurückgelegten Weg selbsttätig aufzeichnende, als Pedograph, Hodograph und Zyklograph bezeichnete Instrumente angegeben¹; der Pedograph wird vom Fußgänger, der Hodograph auf dem Schiff und der Zyklograph auf dem Fahrrad verwendet. Von diesen Instrumenten kann insbesondere der Pedograph unter Umständen gute Dienste leisten.

Der Pedograph besteht aus einem halbkreisförmigen Kasten K (Abb. 69), in dem eine beim Gebrauch vertikal liegende Platte P zum Aufnehmen der Zeichnung um eine beim Gebrauch horizontale Achse A drehbar befestigt ist; die Drehung der Platte erfolgt mit Hilfe eines an der Außenseite des Kastens angebrachten Handgriffs. Die Zeichenplatte

¹ Vgl. Koll, F.: Automatische Meßinstrumente. Z. Vermessungswesen 1905, 245.

P steht durch eine Schnur ohne Ende in Verbindung mit einem Ring *R* an der horizontalen Schmalseite des Kastens *K*. In dem Mittelpunkt des mit einer Marke *M* versehenen Ringes *R* schwingt eine Magnetnadel *N*. Auf der Platte *P* sitzt ein kleiner Wagen *W*, der durch den

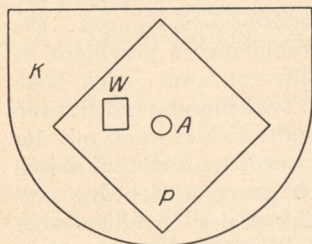
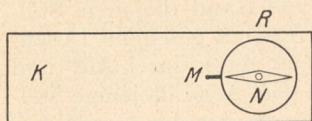


Abb. 69.
Grundgedanke des Pedographen.

Deckel des Kastens leicht angedrückt wird. Der Wagen ist mit einem pendelnden, ihm stets dieselbe Richtung gebenden Gewicht versehen, das beim Bewegen des Instruments ähnlich wie dasjenige eines Schrittzählers wirkt; das Gewicht steht mit einem kleinen, vertikal liegenden Zahnrad in Verbindung, auf das seine Bewegungen übertragen werden. Bei der Benutzung des Instruments, das umgehängt an der Seite getragen wird, werden die einzelnen Schritte des Trägers auf das Instrument übertragen, so daß der Wagen *W* schrittweise um je einen Zahn des Zahnrades weiterbewegt wird; der jeweils am Papier anliegende Zahn des Rades macht dabei einen kleinen Eindruck auf dem Papier. Da der Wagen infolge des an ihm angebrachten Gewichts sich stets in derselben Richtung, vertikal nach unten, bewegt, so hat der Träger seine Aufmerksamkeit nur auf die Richtung des Weges einzustellen; er hat dabei dafür zu sorgen, daß die Marke *M* des Ringes *R* stets auf die Magnetnadel eingestellt ist. Fallen für eine bestimmte Richtung Marke und Magnetnadel zusammen, und ändert der Träger an einer Stelle die Richtung, so weist die Marke nicht mehr auf die Magnetnadel; damit dies wieder eintritt, muß die Platte *P* und damit der mit ihr verbundene Ring *R* mit Hilfe des erwähnten Handgriffs so weit gedreht werden, bis *M* mit *N* wieder zusammenfällt.

Das Instrument ist praktisch erprobt und kann bei Aufnahmen in ebenem Gelände wertvolle Dienste leisten¹.

Von der Firma G. Heyde wird nach den Angaben von R. Huguers-hoff ein Instrument gebaut, bei dem die Marschzeit und die Wegrichtung selbsttätig aufgeschrieben werden.

8. Rechtwinkel- und Flachwinkelinstrumente.

a) Von den verschiedenen **Rechtwinkelinstrumenten** zum Errichten und Fällen von Loten ist das empfehlenswerteste das Fünfseitprisma. Es ist dies ein Glasprisma mit einem zu einer Diagonale symmetrischen Viereck als Querschnitt, bei dem die durch diese Diagonale geteilten Winkel 45° bzw. 90° groß sind (Abb. 70), und bei dem die den 45° großen Winkel einschließenden Seitenflächen Spiegel sind. Der Winkel zwischen einem auf einer nicht belegten Seitenfläche auffallenden Strahl und dem

¹ Vgl. Hammer, E.: Z. Instrumentenkde 1903, 277 u. 1904, 57.

ihm entsprechenden, an der anderen nicht belegten Seitenfläche austretenden Strahl ist gleich einem Rechten. Wegen der Handlichkeit ist die Prismenkante, in der der 45° große Winkel liegt, abgeschliffen, so daß das für den Gebrauch in Metall gefaßte Prisma die Form eines fünfseitigen hat. Das Fünfseitprisma kann entweder freihändig mit einem angehängten Schnurlot oder besser auf einem Holzstab benutzt werden.

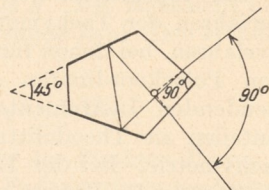


Abb. 70. Fünfseitprisma.

Bei der Verwendung des Prismas zum Errichten des Lotes in einem gegebenen Punkt einer Geraden sieht man in der Richtung des Lotes und weist Punkte von diesem in der Verlängerung der im Prisma gesehenen Punkte der Geraden ein. Hat man den Fußpunkt des Lotes von einem gegebenen Punkt P auf eine Gerade zu bestimmen, so sieht man am besten in der Richtung der Geraden und bewegt in ihr das Prisma so lange hin und her, bis die Verlängerung des im Prisma gesehenen Bildes von P mit den unmittelbar gesehenen Punkten der Geraden zusammenfällt.

Die Untersuchung des Fünfseitprisma beruht auf dem Satz, daß in einem Punkt einer Geraden nur ein Lot möglich ist; sie erfolgt mit Hilfe von drei, in einer Geraden liegenden Punkten A , S und B in der Weise, daß man in S zuerst das Lot auf SA und dann auf SB errichtet. Zeigt sich bei der Untersuchung ein Fehler, so muß das Prisma vom Optiker nachgeschliffen werden; ein einmal als richtig befundenes Fünfseitprisma ist — im Gegensatz zu dem veralteten Winkelspiegel — stets gebrauchsfertig.

Die Genauigkeit beim Abstecken von rechten Winkeln mit dem Fünfseitprisma beträgt ± 1 bis ± 2 Minuten.

b) Ein **Flachwinkelinstrument** zum Aufsuchen von Punkten einer Geraden besteht z. B. aus zwei übereinander angeordneten Fünfseitprismen P_1 und P_2 (Abb. 71). Die Verwendung eines solchen Prismenkreuzes geschieht in der Weise, daß man — senkrecht zur Geraden sehend — das Instrument so lange senkrecht zur Geraden hin und her bewegt, bis die in den beiden Prismen gesehenen Bilder der beiden gegebenen Punkte der Geraden genau übereinanderliegen. Die Untersuchung eines Prismenkreuzes beruht auf dem Satze, daß durch zwei Punkte nur eine Gerade möglich ist; sie erfolgt deshalb dadurch, daß man zwischen zwei Punkten A und B einen Punkt der Geraden bestimmt, zuerst mit A links und sodann mit A rechts. Bei den neueren Prismenkreuzen sind die beiden Prismen unveränderlich in der Fassung befestigt, so daß ein ausnahmsweise sich zeigender Fehler nur vom Mechaniker beseitigt werden kann.

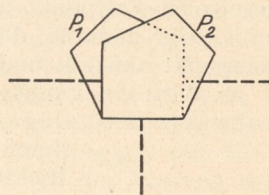


Abb. 71. Prismenkreuz.