

Einleitung.

Die Aufgabe der Topographie besteht in der Herstellung von Karten, in denen sowohl der Grundriß als auch die Geländeformen des in Frage kommenden Gebietes dargestellt sind. Zur Anfertigung einer solchen Karte müssen mit Benutzung von gewissen Instrumenten durch Anwendung von bestimmten Messungsverfahren Aufnahmen im Gelände ausgeführt werden; um deren Ergebnisse in Form einer Karte vervielfältigen zu können, müssen sie zuerst kartographisch bearbeitet werden. Dementsprechend werden im folgenden zunächst die topographischen Instrumente, dann die topographischen Meßverfahren und im Anschluß daran die Ausführung von topographischen Aufnahmen behandelt; zuletzt werden die kartographische Bearbeitung der Aufnahmen und ihre Vervielfältigung besprochen.

I. Die topographischen Instrumente.

Die für topographische Aufnahmen in Frage kommenden Instrumente sind der Tachymetertheodolit, der Meßtisch mit der Kippregel und die photogrammetrischen Instrumente, bei denen man zwischen Aufnahmeinstrumenten und Auswertungsinstrumenten zu unterscheiden hat. Der Besprechung dieser Instrumente vorausgehend werden im folgenden zunächst die wichtigsten Einzelteile der Instrumente behandelt.

Außer den genannten Instrumenten verwendet der Topograph gelegentlich auch Instrumente für flüchtige Aufnahmen; von ihnen wird am Schluß dieses Abschnitts die Rede sein.

A. Einzelteile der topographischen Instrumente.

Die im folgenden zu besprechenden einzelnen Teile der Instrumente sind das Zielfernrohr, die Libelle und die Vorrichtungen zum Ablesen an Teilungen; im Anschluß an diese werden die Hilfsmittel zur mittelbaren Streckenmessung und die Bussole behandelt.

1. Das Zielfernrohr.

Das Zielen mit einem Fernrohr erfordert eine als Zielachse bezeichnete feste Gerade; diese ist bestimmt durch eine in dem Fernrohr angebrachte Zielmarke. Als Zielmarke verwendet man im einfachsten Fall den Schnittpunkt von zwei, senkrecht zueinander stehenden Spinnfäden oder auf einem dünnen Glasplättchen angegebenen Geraden; das durch diese gebildete, aus dem „Horizontalfaden“ und dem „Vertikalfaden“ bestehende Fadenkreuz wird auf einer zugleich als Blende

zum Abhalten von Randstrahlen dienenden Platte befestigt. Die Fadenzkreuzplatte ist in dem Fernrohr z. B. mit Hilfe von zwei Paar Druckschrauben (Abb. 1) derart angebracht, daß sie in der Richtung der Schrauben um kleine Beträge verschoben werden kann. Damit den beiden Fäden eine bestimmte — horizontale bzw. vertikale — Stellung gegeben werden kann, ist die Fadenzkreuzplatte zusammen mit den sie haltenden Schrauben drehbar angeordnet.

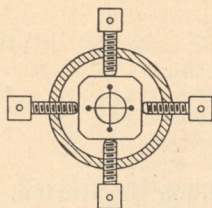


Abb. 1. Befestigung der Fadenzkreuzplatte im Fernrohr.

Bei dem aus der Objektivlinse L_1 mit großer Brennweite und der Okularlinse L_2 mit kleinerer Brennweite bestehenden einfachen oder Kepler'schen Fernrohr (Abb. 2) wird von dem zu betrachtenden Gegenstand AB durch das Objektiv ein verkleinertes und umgekehrtes Bild $A'B'$ entworfen, das durch das als Lupe wirkende Okular betrachtet wird. Da der Abstand a der beiden Linsen L_1 und L_2 oder die Länge des Fernrohrs von der Entfernung e des Gegen-

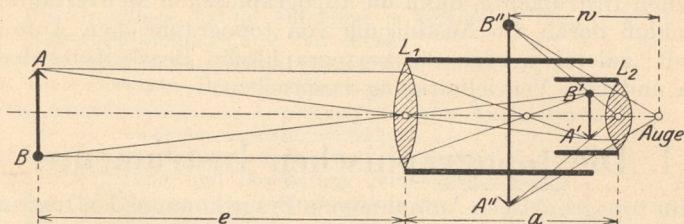


Abb. 2. Wirkungsweise des einfachen Fernrohrs.

standes abhängig ist, so werden L_1 und L_2 in zwei verschiedenen Röhren befestigt, von denen die engere Okularröhre in der weiteren verschoben werden kann.

Damit der Gegenstand AB mit dem Fadenzkreuz einwandfrei angezielt oder dieses mit dem Gegenstand zur Deckung gebracht werden kann, ist es notwendig, daß das Fadenzkreuz in derselben Ebene mit $A'B'$ liegt; dies ist der Fall, wenn das vom Fadenzkreuz durch das Okular L_2 gesehene Bild ebenso wie das von $A'B'$ durch L_2 gesehene Bild $A''B''$ in der dem Beobachter eigentümlichen deutlichen Sehweite w liegt. Ist dies nicht der Fall, so besteht ein Zustand, der als Parallaxe bezeichnet wird. Keine Parallaxe ist vorhanden, wenn man das Fadenzkreuz und den Gegenstand zu gleicher Zeit im Fernrohr gut sieht.

Da die deutliche Sehweite w und damit die Entfernung zwischen der Okularlinse L_2 und dem Fadenzkreuz F für verschiedene Beobachter verschieden sind, so muß die Entfernung zwischen L_2 und F um kleine Beträge verändert werden können; für diesen Zweck ist entweder das Fadenzkreuz F (Abb. 3a) oder besser die Okularlinse L_2 (Abb. 3b) zum Verschieben eingerichtet. Das durch das Okular gesehene Bild des Fadenzkreuzes bringt man vor Benutzung des Fernrohrs zu Zielungen dadurch in deutliche Sehweite, daß man das Fernrohr — bei beliebigem Abstand zwischen Objektiv und Okular — gegen einen hellen Hinter-

grund richtet und dann die Entfernung zwischen Okular und Fadenkreuz solange verändert, bis das letztere in scharfen schwarzen Strichen erscheint.

Das scharfe Einstellen eines Gegenstandes mit dem Fernrohr geschieht durch entsprechende Veränderung des Abstandes zwischen dem Objektiv und der das Fadenkreuz und die Okularlinse enthaltenden

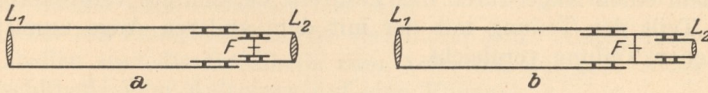


Abb. 3. Anordnungen zum Einstellen des Fadenkreuzes.

Okularröhre. Wurde ein Punkt mit einem der beiden Fäden des Fadenkreuzes angezielt, und bewegt man dann das Auge vor dem Okular, so dürfen die Bilder von Fadenkreuz und Punkt sich gegenseitig nicht verschieben; findet eine Verschiebung der beiden Bilder statt, so ist entweder der Punkt oder das Fadenkreuz nicht scharf eingestellt.

Mit Rücksicht auf die sphärische und chromatische Abweichung verwendet man an Stelle des einfachen oder Keplerschen Fernrohrs zusammengesetzte Fernrohre mit achromatischen Objektiven; es sind dies das Fernrohr von Huygens (Abb. 4a) und insbesondere dasjenige

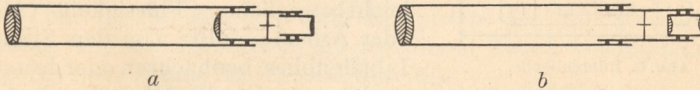


Abb. 4. a) Fernrohr nach Huygens, b) Fernrohr nach Ramsden.

von Ramsden (Abb. 4b). Neuerdings wird vielfach ein Fernrohr mit unveränderlichem Abstand zwischen Objektiv und Fadenkreuz (Abb. 5) verwendet, bei dem die Scharfeinstellung des betrachteten Gegenstandes durch Verschieben einer zwischen dem Objektiv und dem Fadenkreuz angeordneten Linse erfolgt; zur Scharfeinstellung des Fadenkreuzes ist die Entfernung zwischen diesem und dem aus zwei Linsen bestehenden Okular veränderlich. Dieses Fernrohr mit innerer Einstelllinse hat im Vergleich zu dem seither viel benutzten Ramsdenschen Fernrohr insbesondere den Vorzug, daß das Innere des Fernrohrs besser gegen Staub und Feuchtigkeit abgeschlossen ist. Das oben beim einfachen Fernrohr in bezug auf das Einstellen von Fadenkreuz und Gegenstand Gesagte gilt auch für die zusammengesetzten Fernrohre.



Abb. 5. Fernrohr mit innerer Einstelllinse.

Die besprochenen Fernrohre sind solche, bei denen das Bild eines betrachteten Gegenstandes umgekehrt erscheint. Es gibt auch Fernrohre, die infolge eines vorgeschalteten Prismas aufrechte Bilder ergeben; diese Fernrohre finden bei topographischen Instrumenten keine Anwendung.

Die Genauigkeit des Zielens mit einem Zielfernrohr wird mit Hilfe des mittleren Zielfehlers μ angegeben, der insbesondere von der Ver-

größerung v des Fernrohrs abhängig ist. Je nach der Gestalt des anzuzielenden Gegenstandes, der Ruhe der Luft, der Beleuchtung und der Form der Zielmarke ist $\mu = \pm \frac{3''}{\sqrt{v}}$ bis $\pm \frac{10''}{\sqrt{v}}$.

Die Vergrößerung eines Fernrohrs kann man dadurch bestimmen, daß man das Fernrohr gegen eine gleichmäßige Teilung richtet und das mit dem einen Auge durch das Fernrohr betrachtete vergrößerte Bild eines Teils der Teilung mit der mit dem anderen Auge unmittelbar gesehenen Teilung vergleicht.

2. Die Libelle.

Das wichtigste Hilfsmittel zum Horizontallegen oder Vertikalstellen von Geraden und Ebenen ist die Libelle, die in zwei, als Röhrenlibelle und Dosenlibelle bezeichneten Formen vorkommt.

a) Die **Röhrenlibelle** ist eine für gröbere Zwecke gebogene und für feinere Zwecke im Innern nach einem Kreisbogen tonnenförmig ausgeschliffene zylindrische Glasröhre (Abb. 6), die zum Schutze gegen Beschädigungen und für die Befestigung an einem Instrument in Metall gefaßt ist. Die an ihren Enden meist zugeschmolzene Röhre ist bis auf die wenige Zentimeter lange Libellenblase mit einer leichtbeweglichen Flüssigkeit (Alkohol oder Äther) gefüllt. Um den Stand der Libellenblase beobachten oder feststellen zu können, ist die Glasröhre auf ihrer

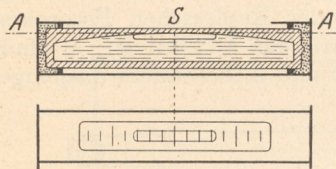


Abb. 6. Röhrenlibelle.

Außenseite mit einer Teilung versehen, deren Striche entweder 2,26 mm (eine Pariser Linie) oder 2 mm oder auch 2,5 mm voneinander entfernt sind; der Mittelpunkt dieser Teilung ist der Spielpunkt S der Libelle. Die Libelle „spielt ein“, wenn der Mittelpunkt der Blase mit dem Spielpunkt zusammenfällt; ist dies nicht der Fall, so „schlägt die Libelle aus“.

Die Tangente A im Spielpunkt S an den Ausschleifungsbogen heißt die Achse der Libelle; sie liegt bei einspielender Libelle horizontal. Der Winkel, um den man eine Libelle neigen muß, damit ein Blasenende um einen Teil der Teilung weiterbewegt wird, heißt die Empfindlichkeit oder die Angabe der Libelle. Die Empfindlichkeit der bei topographischen Instrumenten benutzten Libellen liegt zwischen 10 und 60 Sekunden.

Bei der Doppel- oder Wendelibelle (Abb. 7) ist die Glasröhre an zwei, einander gegenüberliegenden Stellen ausgeschliffen; die durch die beiden Teilungsmittelpunkte bestimmten Spielpunkte S_1 und S_2 werden so angebracht, daß die beiden Libellenachsen A_1 und A_2 parallel sind.

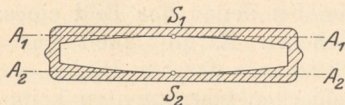


Abb. 7. Doppel- oder Wendelibelle.

Bei einer von H. Wild eingeführten Vorrichtung befindet sich über der Libelle ein Prismensystem, das eine Beobachtung der Libellenblase in der Längsrichtung der Libelle ge-

stattet. In dem Gesichtsfeld dieser Vorrichtung erscheint die Blase ihrer Länge nach geschnitten; schlägt die Libelle aus, so haben die beiden Blasenteile die in der Abb. 8a angegebene Stellung, spielt sie ein, so fallen wie in der Abb. 8b die Enden der beiden Blasenteile zusammen.

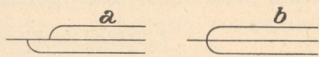


Abb. 8. Libellenblase bei Beobachtung in ihrer Längsrichtung.

Eine Libelle kann entweder fest oder abnehmbar mit einem Instrument verbunden sein. Abnehmbare oder lose Libellen sind die Reitlibelle zum Aufsetzen auf eine Achse und die Tischlibelle zum Aufsetzen auf eine Ebene.

Soll mit einer Röhrenlibelle eine Gerade horizontal gelegt oder vertikal gestellt werden, so muß man an die Libelle die Anforderung stellen, daß ihre Achse parallel bzw. senkrecht zu der betreffenden Geraden ist. Die Untersuchung, ob diese Anforderung erfüllt ist, geschieht dadurch, daß man die Libelle — bei Tischlibellen mit Hilfe einer auf die Unterlage wirkenden Schraube, bei fest oder lose mit einem Instrument verbundenen Libellen mit Benutzung der Fußschrauben des Instruments — zum Einspielen bringt und dann ihre beiden Enden — bei Tisch- und Reitlibellen durch Umsetzen und bei einer mit einem Instrument verbundenen Libelle durch Drehen des betreffenden Instrumententeiles — vertauscht; zeigt die Libelle hierauf einen Ausschlag, so entspricht dieser dem doppelten Fehler der Libelle und wird deshalb zur Hälfte mit den zum Einspielen der Libelle benutzten Schrauben und zur Hälfte mit der für diesen Zweck vorhandenen Berichtigungsvorrichtung der Libelle beseitigt.

Die Berichtigung einer Libelle setzt voraus, daß die Libelle und damit die Libellenachse um kleinere Beträge um eine horizontale, quer zur Libelle liegende Gerade G (Abb. 9) geneigt werden kann. Die hierzu erforderliche Vorrichtung besteht im einfachsten Fall aus einer Zugschraube Z mit einer ihr entgegenwirkenden Spiralfeder S . Die Berichtigungsvorrichtung besteht auch aus zwei, auf das eine Libellenende wirkenden Druckschrauben D_1 und D_2 (Abb. 10a) oder aus einer Zugschraube Z in Verbindung mit zwei Druckschrauben D_1 und D_2 (Abb. 10b).

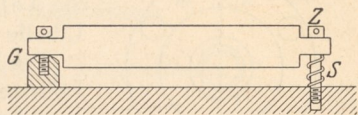


Abb. 9. Berichtigungsvorrichtung einer Röhrenlibelle.

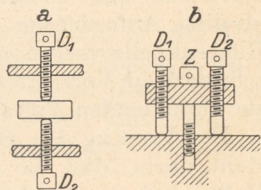


Abb. 10. Berichtigungsvorrichtungen für Röhrenlibellen.

Hat man eine Ebene — z. B. diejenige einer Meßtischplatte — mit Hilfe einer Röhrenlibelle in Gestalt einer Tischlibelle horizontal zu legen, so muß man zwei, ungefähr senkrecht zueinander liegende Geraden der Ebene horizontal legen. Soll eine Gerade — z. B. die Umdrehungsachse eines Instruments — mit Hilfe einer mit ihr fest verbundenen Röhrenlibelle vertikal gestellt werden, so muß man sie in zwei, ungefähr senkrecht zueinander stehenden Richtungen vertikal stellen.

Die Bestimmung der Empfindlichkeit oder Angabe einer Libelle, deren ungefähre Kenntnis für manche Zwecke erwünscht ist, kann man dann rasch genähert vornehmen, wenn die Libelle mit einem

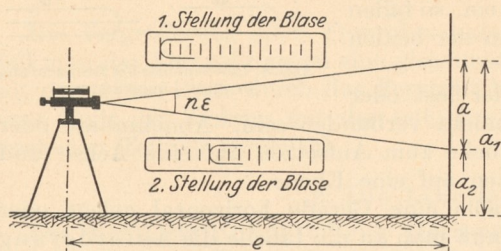


Abb. 11. Bestimmung der Angabe einer Röhrenlibelle.

Fernrohr (Abb. 11) verbunden ist. Man stellt dabei das eine Blasenende auf einen Strich der Libellentheilung ein und macht an einem in der Entfernung e aufgestellten Maßstab mit dem Horizontalfaden des Fernrohrs die Ablesung a_1 ; hierauf bewegt man dasselbe Blasenende um n z. B. gleich fünf oder zehn Teile vorwärts und macht die neue Ablesung a_2 an dem Maßstab. Ist $a_1 - a_2 = a$, so erhält man die Libellenangabe ε aus $\varepsilon = \frac{1}{n} \frac{a}{e} \varrho$, wobei $\varrho = \frac{180^\circ}{\pi}$ ist.

b) Die Dosenlibelle ist ein in Metall gefaßtes, zylinderförmiges Glasgefäß (Abb. 12), dessen Glasdeckel im Innern kugelförmig ausgeschliffen ist. Das Gefäß ist bis auf die kreisförmige Libellenblase mit einer leicht-

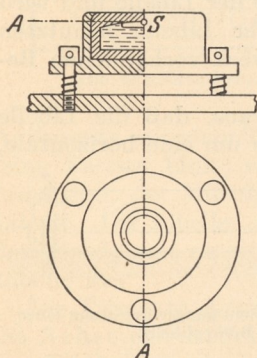


Abb. 12. Dosenlibelle.

beweglichen Flüssigkeit gefüllt; sein Boden ist zugeschmolzen. Zur Beobachtung des Libellenstandes ist auf der Außenseite des Deckels ein Kreis angegeben, dessen Mittelpunkt der Spielpunkt S der Libelle ist. Die Tangentialebene A im Spielpunkt S an die Ausschleifungskugel heißt die Achse der Libelle; sie liegt bei einspielender Libelle horizontal.

Die Dosenlibelle ist entweder fest mit einem Instrument verbunden oder als Tischlibelle ausgebildet.

Soll mit einer Dosenlibelle eine Ebene horizontal gelegt oder eine Gerade vertikal gestellt werden, so muß man an die Libelle die Anforderung stellen, daß ihre Achse parallel zu der Ebene bzw. senkrecht zu der Geraden ist. Die Untersuchung, ob diese Anforderung erfüllt ist, wird in ähnlicher Weise wie bei der Röhrenlibelle vorgenommen. Die für eine Berichtigung einer Libelle erforderliche Vorrichtung besteht z. B. aus drei Zugschrauben mit drei sie umhüllenden Spiralfedern.

Der Vorzug der Dosenlibelle im Vergleich zur Röhrenlibelle besteht darin, daß die Horizontallegung einer Ebene — Ebene einer Meßtischplatte — und die Vertikalstellung einer Geraden — Um-drehungsachse eines Instruments — mit Hilfe einer Dosenlibelle in einer Lage oder Stellung der Libelle ausgeführt werden kann. Die Dosenlibelle kommt wegen ihrer geringen Empfindlichkeit von 1—5 Minuten zunächst für weniger genaue Einstellungen in Frage; dabei leistet

sie aber wertvolle Dienste. Instrumente, die öfters neu aufgestellt werden müssen, sollten außer der Röhrenlibelle eine Dosenlibelle haben; die rohe und die genäherte Aufstellung des Instruments erfolgen dann mit Benutzung der Dosenlibelle, für die feinere Aufstellung verwendet man die Röhrenlibelle.

3. Vorrichtungen zum Ablesen an Teilungen.

Die genaue Ablesung an feinen Teilungen erfordert besondere Vorrichtungen. Die wichtigsten Ablesevorrichtungen sind der Nonius und das Ablesemikroskop. Jede Ablesevorrichtung ist mit einer Nullmarke versehen, durch deren Lage zur Teilung die jeweilige Ablesung bestimmt ist; die Aufgabe der Ablesevorrichtung besteht darin, den Abstand d der Nullmarke vom vorhergehenden Strich der Teilung zu bestimmen.

a) Der **Nonius** (Abb. 13) ist eine mit der Nullmarke beginnende, in der Richtung der Teilung gehende, in n Teile geteilte Hilfsteilung, deren Länge mit $(n - 1)$ Teilen der Hauptteilung übereinstimmt. Ist $\left\{ \begin{smallmatrix} T \\ N \end{smallmatrix} \right\}$ der Wert — bei einer Kreisteilung des Winkels — zwischen zwei aufeinanderfolgenden Strichen der $\left\{ \begin{smallmatrix} \text{Hauptteilung} \\ \text{Noniusteilung} \end{smallmatrix} \right\}$, so ist $nN = (n - 1)T$

also $T - N = \frac{T}{n}$. Der Unterschied $a = T - N$ heißt die Angabe

des Nonius. Fällt ein

Noniusstrich mit irgend-

einem Strich der Hauptteil-

lung zusammen (Abb. 13),

so ist der Unterschied zwi-

schen den beiden nächsten

Strichen von Nonius und

Teilung gleich a , zwischen

den beiden übernächsten gleich $2a$ usw.; die Noniusstriche sind des-

halb von der Nullmarke aus nach Vielfachen von a beziffert, so

daß die an einem Noniusstrich angeschriebene Zahl bei seinem Zu-

sammenfallen mit einem Teilungsstrich den Wert des Abstandes d

zwischen der Nullmarke und dem dieser vorhergehenden Teilungsstrich

vorstellt.

Jede Ablesung mit einem Nonius zerfällt insofern in zwei Teile

als man zuerst die dem letzten Teilungsstrich vor der Noniusnullmarke

zukommende Ablesung und sodann den Abstand d dieser beiden Striche

bestimmen muß. Den Abstand d bestimmt man durch Aufsuchen des-

jenigen Noniusstriches, der mit irgendeinem Strich der Teilung zu-

sammenfällt.

Bei dem in den Abb. 14 angegebenen Beispiel einer Kreisteilung

ist $T = 20'$ und $n = 20$; die Angabe a des Nonius ist demnach $a = \frac{T}{n}$

$= \frac{20'}{20} = 1'$, d. h. man kann mit ihm auf 1 Minute genau ablesen. Die

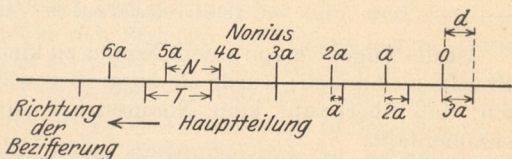


Abb. 13. Noniusbezeichnung.

der Nullmarke M des Nonius entsprechende Ablesung ist $58^\circ 20' + d$, wobei $d = 7'$ ist, so daß also die Ablesung $58^\circ 27'$ beträgt.

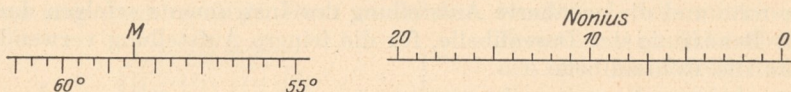


Abb. 14. Nonius mit 1'-Angabe.

In dem Beispiel der Abb. 15 ist $T = 30'$ und $n = 30$, also $a = \frac{T}{n} = 1'$. Die der Zeichnung entsprechende Ablesung ist $33^\circ 30' + d = 33^\circ 30' + 22' = 33^\circ 52'$.

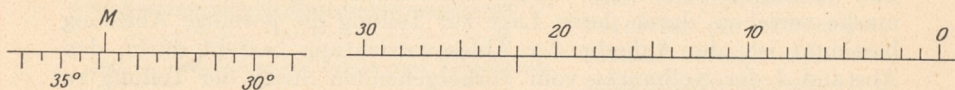


Abb. 15. Nonius mit 1'-Angabe.

Für das in den Abb. 16 angedeutete Beispiel ist $T = 20'$ und $n = 2 \times 20 = 40$, also $a = \frac{T}{n} = \frac{20 \times 60}{40} = 30''$, d. h. man kann mit dem Nonius auf 30 Sekunden genau ablesen. Die Ablesung ist $18^\circ 40' + d = 18^\circ 40' + 12' 30'' = 18^\circ 52' 30''$.

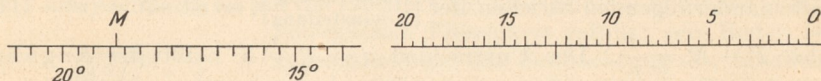


Abb. 16. Nonius mit 30''-Angabe.

Ist die Angabe a von einem Nonius zu klein gewählt, so fallen mehrere Striche zusammen; wurde sie zu groß gewählt, so tritt häufig der Fall ein, daß überhaupt kein Noniusstrich mit einem Teilungsstrich zusammenfällt.

Mit Rücksicht darauf, daß die Ebene der Teilung und diejenige des Nonius nie vollständig genau zusammenfallen, empfiehlt es sich, auch die gegenseitige Stellung der links und rechts von dem mit einem Teilungsstrich zusammenfallenden Noniusstrich liegenden Nonius- bzw. Teilungsstriche zu vergleichen; mit Rücksicht hierauf ist der Nonius mit „Überstrichen“ vor der Nullmarke versehen. Erfordert die Ablesung mit einem Nonius eine Lupe, so stellt man diese so ein, daß der für die Ablesung in Frage kommende Noniusstrich in der Mitte des Gesichtsfeldes steht.

b) Beim **Ablesemikroskop** kann man verschiedene Arten unterscheiden; es sind dies das Strichmikroskop, das Skalamikroskop, das Noniusmikroskop, das Planglasmikroskop und das Schraubenmikroskop. Der Abstand d der mit dem Mikroskop fest verbundenen Nullmarke von dem letzten Strich der Teilung wird bei dem Strichmikroskop geschätzt, beim Skalamikroskop mit einer besonderen Teilung gemessen, beim Noniusmikroskop mit einem Nonius bestimmt, beim Planglasmikroskop mit einer Schraube in Verbindung mit einer planparallelen Glasplatte ermittelt und beim Schraubenmikroskop mit einer Schraube in Verbindung mit einem beweglichen Faden gemessen. An Instru-

menten für topographische Zwecke kommen vor das Strichmikroskop, das Skalamikroskop und vielleicht noch das Noniusmikroskop.

Die Ablesemikroskope haben eine starke Vergrößerung und deshalb ein kleines Gesichtsfeld; die Bezifferung der Teilung muß daher z. B. bei Kreisteilungen so weit gehen, daß jeder einzelne Gradstrich beziffert ist.

α) Das Strichmikroskop (Abb. 17) besteht aus der das Objektiv *A* haltenden Röhre *B* und dem in *B* verschiebbaren Okular *C*. In der Röhre *B* befindet sich eine Platte *D* mit dem Ablesestrich in Gestalt eines Spinnfadens oder einer Geraden auf einem Glasplättchen; die Strichplatte *D* kann meist mit Hilfe von zwei, gegeneinander wirkenden Druckschrauben *E*₁ und *E*₂ um kleine Beträge in der Richtung der Teilung *F* verschoben werden. Das Mikroskop wird in einer besonderen Röhre *G* derart gehalten, daß der Abstand zwischen Teilung *F* und Objektiv *A* durch Verschieben des Mikroskops verändert und das Mikroskop außerdem gedreht werden kann.

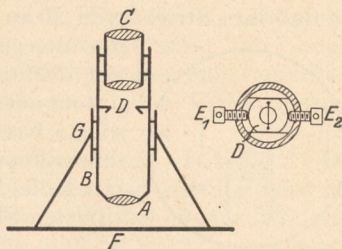


Abb. 17. Strichmikroskop.

An das Strichmikroskop werden zwei Anforderungen gestellt; es müssen nämlich erstens der Ablesestrich auf der Platte *D* und die Striche der Teilung *F* zu gleicher Zeit gut sichtbar sein, und zweitens muß der Ablesestrich parallel zu den Strichen der Teilung liegen. Diese Anforderungen verlangen ein Einstellen des Strichmikroskops; dabei wird zunächst durch Verschieben des Okulars *C* der Ablesestrich und sodann durch Verschieben des ganzen Mikroskops in der Fassung *G* die Teilung scharf eingestellt, wobei zusammen mit der Verschiebung des Mikroskops dieses so gedreht wird, daß der Ablesestrich parallel zu den Strichen der Teilung liegt. Wurde von einem Beobachter ein Strichmikroskop richtig eingestellt, so daß er die Bilder des Ablesestriches und der Teilung zu gleicher Zeit scharf, also parallaxenfrei sieht, und soll das Mikroskop von einem anderen Beobachter mit einer anderen deutlichen Sehweite benutzt werden, so hat dieser nur das Okular *C* entsprechend zu verschieben.

Wird ein Strichmikroskop zum Ablesen an einer Kreisteilung benutzt, so wird diese meist in der Weise ausgeführt, daß ihre Striche einen Abstand von 10 Minuten haben; mit dem Ablesestrich des Mikroskops können dann noch einzelne Minuten geschätzt werden. Für eine solche Kreisteilung — mit Einteilung des rechten Winkels in 90 Grade¹ — ist das Gesichtsfeld eines Strichmikroskops in der Abb. 18 angegeben; die Ablesung beträgt dabei 63° 27'.

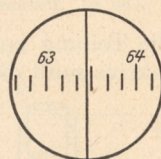


Abb. 18. Gesichtsfeld von einem Strichmikroskop.

¹ Wenn im folgenden nichts bemerkt ist, so wird stillschweigend immer die Sexagesimalteilung oder alte Teilung mit 1 Rechten = 90°, 1° = 60' und 1' = 60'' vorausgesetzt.

β) Das Skalamikroskop hat an Stelle des einfachen Striches beim Strichmikroskop eine auf einem Glasplättchen angegebene Skala; diese ist meist derart ausgeführt, daß — im Mikroskop gesehen — zehn Teile der Skala mit einem Teil der Teilung übereinstimmen, so daß man unmittelbar auf $\frac{1}{10}$ und durch Schätzung auf $\frac{1}{100}$ eines Teils der Hauptteilung ablesen kann. Wird ein Skalamikroskop zur Ablesung an einer Kreisteilung verwendet, so hat diese meist eine Einteilung in $\frac{1}{3}$ Grade, so daß ihre Striche von 20 zu 20 Minuten gehen; mit einem Mikroskop

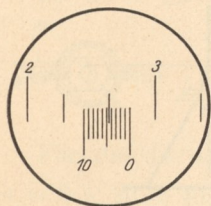


Abb. 19. Gesichtsfeld von einem Skalamikroskop.

der angegebenen Art kann man dann unmittelbar auf 2 Minuten und durch Schätzung auf 0,2 Minuten oder 12 Sekunden genau ablesen. Für eine solche Kreisteilung ist das Gesichtsfeld eines Skalamikroskops in der Abb. 19 angegeben; die Ablesung mit Hilfe der der Hauptteilung entgegengesetzt bezifferten Skala ergibt bei dem gezeichneten Beispiel $2^\circ 40' + 4,5$ Teile oder $2^\circ 40' + 9',0$ oder $2^\circ 49' 00''$.

Das Skalamikroskop muß man nicht nur wie das Strichmikroskop einstellen, sondern auch noch abstimmen. Ein Skalamikroskop ist abgestimmt, wenn — im Mikroskop gesehen — die Länge S der Skala genau übereinstimmt mit dem Abstand

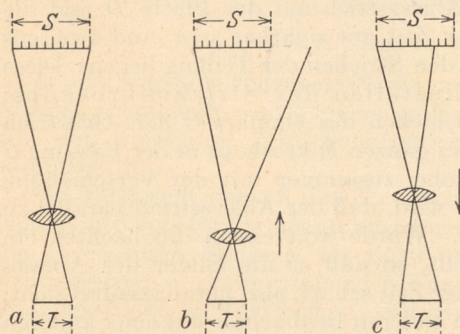


Abb. 20. Abstimmen von einem Skalamikroskop.

Abstand T zweier Striche der Teilung (Abb. 20a). Die Untersuchung, ob ein zuvor eingestelltes Mikroskop abgestimmt ist, geschieht dadurch, daß man die Nullmarke oder den Nullstrich der Skala auf einen Strich der Teilung einstellt; erscheint dann S kleiner als T (Abb. 20b), so muß man das Objektiv gegen die Skala zu verschieben, erscheint S größer als T (Abb. 20c), so muß man das Objektiv gegen

die Teilung zu verschieben. Nach einer solchen Verschiebung des Objekts muß die Teilung erneut eingestellt werden, worauf der Vorgang wiederholt wird. Das Einstellen und Abstimmen des Skalamikroskops erfordert die in der Abb. 21 angedeutete Einrichtung, bei der — im Gegenteil zum Strichmikroskop — auch das Objektiv für sich zum Verschieben eingerichtet ist.

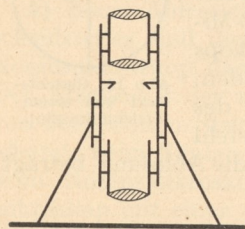


Abb. 21. Skalamikroskop.

γ) Das Noniusmikroskop unterscheidet sich vom Skalamikroskop dadurch, daß an Stelle der Skala ein der Teilung entsprechender Nonius im Gesichtsfeld erscheint. Das Noniusmikroskop muß ebenfalls eingestellt und abgestimmt werden.

4. Vorrichtungen zur mittelbaren Streckenmessung.

Für die unmittelbare Messung von Strecken verwendet man im einfachsten Falle ein Meßband oder Meßplatten. Bei topographischen Aufnahmen tritt an die Stelle der unmittelbaren Streckenmessung die mittelbare Streckenmessung. Der Grundgedanke der mittelbaren Streckenmessung besteht darin, daß man die gesuchte Strecke s mit Hilfe eines Dreiecks mit einem kleinen Winkel ε ermittelt, von dem man eine Seite — die Grundstrecke oder Basis b — und die erforderlichen Winkel kennen bzw. bestimmen muß. Der der Grundstrecke gegenüberliegende kleine Winkel ε heißt mikrometrischer oder auch parallaktischer Winkel. Die Instrumente zur mittelbaren oder optischen Streckenmessung heißen Entfernungsmesser oder Distanzmesser oder Telemeter.

Man kann die Entfernungsmesser verschiedenfach einteilen. Da die Grundstrecke entweder im Standpunkt des Instruments oder im Zielpunkt liegen kann, und der mikrometrische Winkel umgekehrt dann im Zielpunkt bzw. Standpunkt liegt, so kann man die Entfernungsmesser einteilen in Entfernungsmesser mit der Grundstrecke im Standpunkt oder Zielwinkelentfernungsmesser und Entfernungsmesser mit der Grundstrecke im Zielpunkt oder Standwinkelentfernungsmesser. Ferner kann man die Entfernungsmesser einteilen in Entfernungsmesser mit unveränderlicher Grundstrecke und veränderlichem mikrometrischem Winkel und Entfernungsmesser mit veränderlicher Grundstrecke und unveränderlichem mikrometrischem Winkel.

a) Entfernungsmesser mit der Grundstrecke im Standpunkt. $\alpha)$ Mikrometrischer Winkel ε unveränderlich und Grundstrecke b veränderlich. Der Abstand s eines Punktes Z (Abb. 22) von einer durch mehrere Fluchtstäbe ausgefluchteten Geraden AB kann z. B. mit Hilfe eines Winkelspiegels bestimmt werden, dessen Spiegelebenen einen Winkel von $45^\circ \pm \frac{\varepsilon}{4}$ bilden¹, so daß mit

ihm unveränderliche Winkel von $90^\circ \pm \frac{\varepsilon}{2}$

abgesteckt werden. Die doppelte Benutzung des Winkelspiegels ergibt zwei Punkte S_1 und S_2 und damit die Grundstrecke $S_1S_2 = b$;

es ist dann $s = \frac{b}{2 \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}}$.

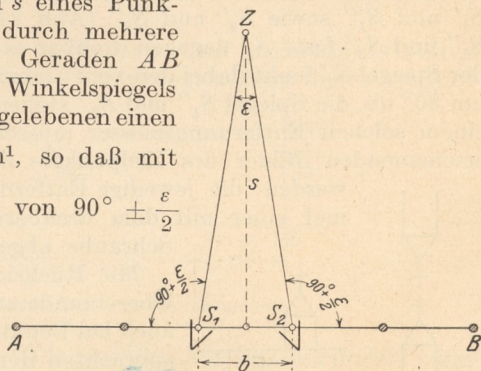


Abb. 22.
Mittelbare Streckenmessung mit einem Winkelspiegel.

Verwendet man zur Messung von b ein Meßband mit entsprechender, einfach zu berechnender Teilung, so kann man daran unmittelbar s ablesen.

¹ An Stelle eines Winkelspiegels verwendet man praktisch besser ein entsprechend geschliffenes Prisma; ein Prisma dieser Art wird von M. Hensoldt und Söhne hergestellt.

β) Grundstrecke b unveränderlich und mikrometrischer Winkel ε veränderlich. Ein Entfernungsmesser dieser Art besteht in seiner einfachsten Form (Abb. 23) aus zwei Spiegeln S_1 und S_2 , von denen S_1 fest und S_2 drehbar mit einem Brettstück verbunden sind. Beim Gebrauch wird der Spiegel S_2 solange gedreht, bis das im Spiegel S_1 gesehene Bild des Zielpunktes Z genau z. B. unter dem unmittelbar — senkrecht zu S_1S_2 — gesehenen Punkt Z liegt; die Entfernung s kann dann an einer mit dem Spiegel S_2 verbundenen Teilung unmittelbar abgelesen werden.

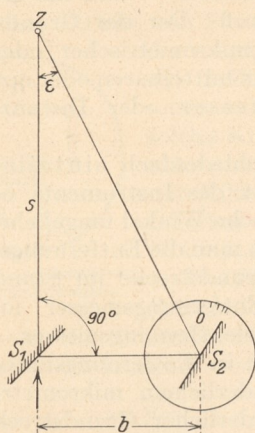


Abb. 23. Einfacher Entfernungsmesser mit unveränderlicher Grundstrecke.

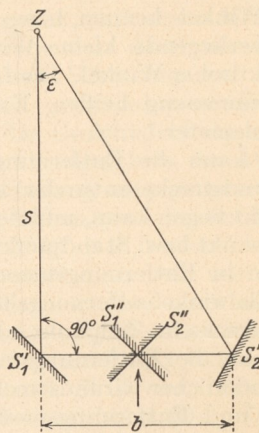


Abb. 24. Doppelbildentfernungsmesser.

An Stelle von nur zwei Spiegeln kann man auch zwei Spiegelpaare S'_1 und S'_2 sowie S''_1 und S''_2 (Abb. 24) verwenden, von denen S'_1 , S'_2 und S''_1 fest, S'_2 dagegen drehbar in einem Rohr angeordnet sind; der Spiegel S'_1 lenkt dabei den vom Zielpunkt Z kommenden Lichtstrahl um 90° ab, die Spiegel S'_2 und S''_2 stehen senkrecht übereinander. Bei einem solchen Entfernungsmesser müssen die beiden im Gesichtsfeld erscheinenden Bilder des Zielpunktes Z genau übereinandergestellt werden; die jeweilige Entfernung kann dann an der Trommel einer mit dem drehbaren Spiegel S'_2 verbundenen Schraube abgelesen werden.



Abb. 25. Bilder des Zielpunktes beim Kehrbildentfernungsmesser.

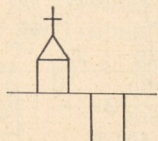


Abb. 26. Bilder des Zielpunktes beim Schnittbildentfernungsmesser.

Mit Rücksicht auf die Schwierigkeit des Übereinanderstellens der beiden Bilder — auch bei Benutzung einer im Gesichtsfeld angebrachten Geraden — werden diese Doppelbildentfernungsmesser oder Koinzidenzentfernungsmesser mit „Kehrbildern“ und mit „Schnittbildern“ hergestellt. Beim Kehrbild- oder Invertentfernungsmesser steht das eine Bild aufrecht und das andere umgekehrt (Abb. 25); beim Schnittbild- oder Halbbildentfernungsmesser erscheint der Zielpunkt in der Mitte durchgeschnitten, so daß man zwei halbe Bilder (Abb. 26) sieht.

b) Entfernungsmesser mit der Grundstrecke im Zielpunkt. α) Mikrometrischer Winkel ε unveränderlich und Grundstrecke b veränderlich. Ein solcher Entfernungsmesser besteht in seiner einfachsten Form aus einer T-förmigen Grundplatte (Abb. 27) mit drei in S , M_1 und M_2 senkrecht zur Platte befestigten Nadeln für die Zielung; durch

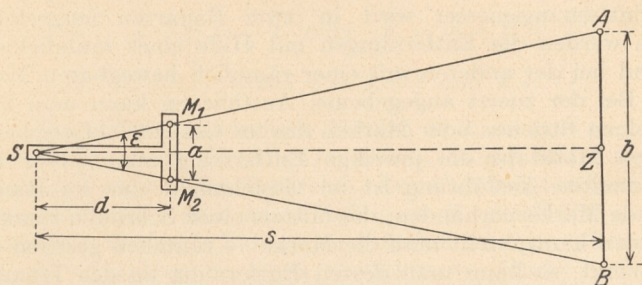


Abb. 27. Grundgedanke des Fadenentfernungsmessers.

die beiden Geraden SM_1 und SM_2 ist dabei der mikrometrische Winkel ε bestimmt. Ist $AB = b$ die an einem im Zielpunkt Z senkrecht zu ZS gehaltenen Maßstab abgelesene, durch SM_1 und SM_2 bestimmte Grundstrecke, so erhält man die Strecke s zwischen dem Standpunkt S und dem Zielpunkt Z aus $s = \frac{b}{a} d$, wobei a der Abstand der Zielmarken M_1 und M_2 , und d der Abstand der Zielmarke S von M_1M_2 ist; mit Rücksicht auf die Unveränderlichkeit von a und d kann man auch schreiben $s = kb$.

Der in der Abb. 27 angedeutete Grundgedanke findet Anwendung beim Fadenentfernungsmesser, auf den später besonders eingegangen wird.

β) Grundstrecke b unveränderlich und mikrometrischer Winkel ε veränderlich. Bei den Entfernungsmessern dieser Art wird

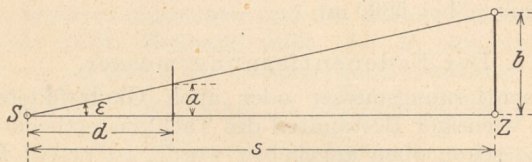


Abb. 28. Grundgedanke des Schraubenentfernungsmessers.

im Standpunkt S (Abb. 28) mit Hilfe einer Teilung im Gesichtsfeld eines Fernrohrs oder einer Schraube im unveränderlichen Abstand d von S die Strecke a gemessen, die der im Zielpunkt Z senkrecht zu ZS gestellten Grundstrecke b entspricht; es ist dann $s = \frac{b}{a} d$, oder, da b und d unveränderlich sind, $s = \frac{k}{a}$. Dieses Verfahren der Entfernungsmessung findet insbesondere Anwendung beim Schraubenentfernungsmesser, von dem ebenfalls später noch die Rede sein wird.

c) Außer den seither betrachteten, eine nur einäugige Beobachtung erfordernden Entfernungsmessern gibt es noch den auf dem stereoskopischen oder räumlichen Sehen beruhenden, also zweiäugige Beobachtung verlangenden Raumbildentfernungsmesser oder **stereoskopischen Entfernungsmesser**, bei dem die Grundstrecke im Standpunkt liegt. Dieser Entfernungsmesser wird in zwei Bauarten hergestellt; bei der einen werden die Entfernungen mit Hilfe eines räumlichen Maßstabes und bei der anderen mit einer räumlich bewegbaren Marke gemessen. Bei der zuerst angegebenen Ausführung kann man zwischen den einzelnen Strichen oder Marken des im Gesichtsfeld erscheinenden räumlichen Maßstabes die jeweilige Entfernung unmittelbar ablesen. Bei der zweiten Ausführung ist im Gesichtsfeld eine im Raum freischwebende Marke vorhanden, die mittels einer Schraube räumlich bewegt werden kann; stellt man die Marke — räumlich gesehen — über den Zielpunkt, so kann man dessen Entfernung an der Trommel der auf die Marke wirkenden Schraube ablesen. Das Instrument mit räumlichem Maßstab im Gesichtsfeld kann freihändig benutzt werden; dasjenige mit räumlich bewegbarer Marke erfordert eine feste Aufstellung auf einem entsprechenden Stativ.

Die Firma C. Zeiß fertigt drei, für topographische Zwecke in Frage kommende stereoskopische Entfernungsmesser mit Grundstrecken von 36, 50 und 70 cm Länge und festem Maßstab im Gesichtsfeld. Das Instrument mit 36 cm langer Grundstrecke kann zur Messung von Strecken von 30—1000 m benutzt werden; dabei hat man mit Fehlern von mindestens 0,1 bzw. 50 m zu rechnen. Das Instrument mit 50 cm langer Grundstrecke dient zur Messung von Strecken von 100 m an, wobei man mit einem Fehler von mindestens 0,5 m zu rechnen hat; bei 500 m langen Strecken muß man mit Fehlern von mindestens 10 m und bei 1000 m mit 50 m rechnen. Das Instrument mit 70 cm langer Grundstrecke kommt für Strecken von 100—5000 m Länge in Frage; die zu erwartenden Fehler sind mindestens 0,1 m bei 100 m, 10 m bei 1000 m und 250 m bei 5000 m.

5. Der Fadenentfernungsmesser.

Der Fadenentfernungsmesser oder auch Okularfadenentfernungsmesser ist ein wichtiger Bestandteil des Tachymetertheodolits und der Kippregel; wie schon oben angegeben wurde, ist er ein Entfernungsmesser mit veränderlicher Grundstrecke im Zielpunkt und mit unveränderlichem mikrometrischen Winkel im Standpunkt. Der nur 30 bis 60 Minuten große mikrometrische Winkel ε ist bestimmt durch die Brennweite f des Objektivs eines Fernrohrs und zwei, zu beiden Seiten des eigentlichen Horizontalfadens auf der Fadenplatte des Fernrohrs in unveränderlichem Abstand aufgezoogene bzw. angegebene „Distanzfäden“. Soll die horizontale Entfernung E zwischen zwei in derselben Höhe gelegenen Punkten S und Z gemessen werden, so stellt man das entfernungsmessende Fernrohr in S und in Z einen auf einer Latte angegebenen Maßstab mit Zentimeter- oder Dezimeterteilung vertikal auf und liest an diesem den mit E veränderlichen Abschnitt l zwischen

den beiden Distanzfäden ab; man erhält dann E als Funktion von l und den Abmessungen des Fernrohrs.

Für das meistbenutzte Ramsdensche Fernrohr (Abb. 29) mit der Objektivbrennweite f , dem Fadenabstand a und dem Abstand d zwischen Objektiv und Fernrohrmitte¹ ist

$$E - (d + f) = \frac{f}{a} l \quad \text{oder} \quad E = (d + f) + \frac{f}{a} l$$

oder

$$E = c + kl, \quad \text{wobei} \quad c = d + f \quad \text{und} \quad k = \frac{f}{a}.$$

Da a , d und f unveränderliche Größen sind, so sind auch c und k unveränderlich; c heißt die Additionskonstante und k die Multiplikationskonstante des Fernrohrs. Der Fadenabstand a wird meist derart gewählt, daß k eine runde Zahl — z. B. gleich 100 — ist. Der mikrometrische Winkel ε hat seinen Scheitel in dem äußeren Brennpunkt F des Objektivs, der auch anallaktischer Punkt heißt.

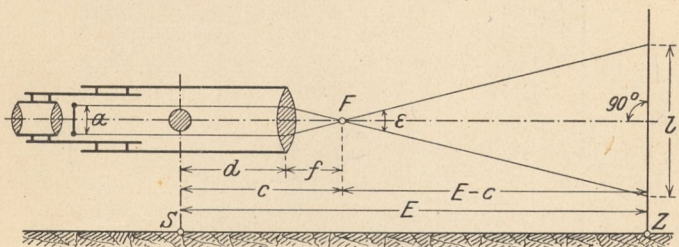


Abb. 29. Wirkungsweise des Fadenentfernungsmessers eines Fernrohrs nach Ramsden.

Bei dem Fernrohr nach Ramsden erfolgt die Bestimmung der Konstanten c und k getrennt. Man erhält c genügend genau durch unmittelbares Abmessen² von d und f aus $c = d + f$. Für die Konstante k genügt unmittelbare Abmessung von f und a nicht; man bestimmt k dadurch, daß man mehrere Entfernungen das eine Mal mittelbar mit dem Fadenentfernungsmesser und das andere Mal unmittelbar mit Meßplatten oder einem Meßband mißt. Ist E_i eine unmittelbar gemessene Entfernung und l_i der entsprechende Abschnitt an dem Maßstab, so ist $k = \frac{E_i - c}{l_i}$. Man führt die Bestimmung von k in der Weise aus, daß man für mehrere Punkte in am besten ungerunden Entfernungen zwischen 30 und 60 m zuerst die Abschnitte l bestimmt und sodann vom Brennpunkt F aus die Entfernungen $E - c$ mißt.

Beispiel für eine Konstantenbestimmung. An einem Fernrohr Ramsdenscher Art wurde abgemessen $d = 14$ cm und $f = 21$ cm,

¹ Ist das Fernrohr mit einem Theodolit verbunden, so liegt die „Fernrohrmitte“ in der Umdrehungsachse des Theodolits.

² Die Brennweite f kann man dadurch bestimmen, daß man die Objektivlinse herauschraubt und dann mit ihr das Bild eines sehr weit entfernten Gegenstandes (Sonne) auf einem Papier auffängt; in den meisten Fällen genügt es, mit dem Fernrohr einen weit entfernten Gegenstand einzustellen; f ist dann gleich dem Abstand zwischen Objektiv und Fadenkreuz. Vielfach ist f vom Mechaniker angegeben.

so daß $c = d + f = 35$ cm ist. Zur Bestimmung von k wurden 10 Punkte benutzt; die Messung ergab bei ungefähr horizontaler Lage des Fernrohrs und vertikaler Stellung des Maßstabes in den Streckenendpunkten die folgenden Werte:

Punkt	Ablesungen am Maßstab m	l m	$E - c$ * m	k **
1	1,100	0,382	38,83	101,65
	1,482			
2	1,100	0,397	40,30	101,51
	1,497			
3	1,100	0,418	42,41	101,46
	1,518			
4	1,100	0,436	44,28	101,56
	1,536			
5	1,100	0,450	45,66	101,47
	1,550			
6	1,000	0,471	47,81	101,51
	1,471			
7	1,000	0,489	49,64	101,51
	1,489			
8	1,000	0,509	51,68	101,53
	1,509			
9	1,000	0,526	53,42	101,56
	1,526			
10	1,000	0,547	55,53	101,52
	1,547			

Damit erhält man im Mittel $k = 101,53 \pm 0,02$. Für das Fernrohr gilt somit die Gleichung $E = 0,35 + 101,53 l$.

Die Berechnung von E auf Grund der Gleichung $E = c + kl$ geschieht am einfachsten mit Hilfe der Gleichung $E = k_0 l + \Delta E$, in der

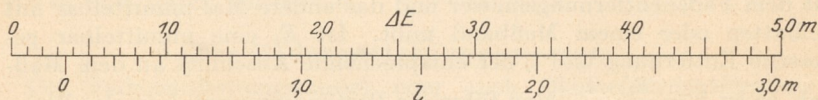


Abb. 30. Tafel zur Bestimmung von ΔE bei der Gleichung $E = 100l + \Delta E$ eines entfernungs-messenden Fernrohrs.

k_0 gleich einer runden Zahl — also z. B. gleich 100 — angenommen wird, und $\Delta E = c + (k - k_0) l$ ist; die ΔE -Werte kann man dabei mittels einer graphischen Tafel bestimmen. Eine solche Tafel zeigt für die Gleichung $E = 0,35 + 101,53 l = 100 l + \Delta E$ die Abb. 30.

* Die Strecken $E - c$ wurden mit Meßblättern gemessen.

** Da k in der Nähe von 100 liegt, so setzt man zur Berechnung der einzelnen k -Werte $k = 100 + \Delta k$; damit erhält man $E - c = kl = 100 l + l \Delta k$ und $\Delta k = \frac{(E - c) - 100 l}{l}$. Die Berechnung der Δk -Werte kann man mit Hilfe des Rechenschiebers ausführen.

Bei dem Fernrohr mit innerer Einstellinse kann man die Gleichung zur Berechnung einer Entfernung E aus dem Maßstababschnitt l ebenfalls auf die Form bringen $E = c + kl$; dabei sind aber c und k infolge des veränderlichen Abstandes zwischen der inneren Einstellinse und dem Objektiv nicht unveränderlich, sondern von E bzw. l abhängig. Liegt k in der Nähe eines runden Wertes k_0 — z. B. 100 — so schreibt man

$$E = c + kl = k_0 l \pm \Delta E,$$

wobei ΔE eine Funktion von l ist. Die Bestimmung der Werte ΔE für bestimmte runde Werte von l — z. B. $l = 0,20; 0,40; \dots 1,00; 1,20 \dots 2,00$ m — geschieht in ähnlicher Weise wie die Bestimmung von k beim Ramsdenschen Fernrohr; nur mißt man dabei zweckmäßigerweise die Entfernungen E und nicht $E - c$. Die Genauigkeit der einzelnen ΔE -Werte kann man in einfacher Weise dadurch erhöhen, daß man für jeden l -Wert mehrere, in E nur um wenige Dezimeter verschiedene Punkte wählt.

Beispiel. Für ein Fernrohr mit innerer Einstellinse, dessen Multiplikationskonstante in der Nähe von 100 liegt, wurden zur Bestimmung der ΔE -Werte der Gleichung $E = 100 l + \Delta E$ 10 Gruppen von je 6 Punkten benutzt; die Messung der Strecken E mit Meßblättern und der Abschnitte l an dem vertikal aufgestellten Maßstab und bei ungefähr horizontalem Fernrohr ergab die nachstehenden Werte:

Gruppe	Punkt	Ablesungen am Maßstab m	l m	E m	Gruppe	Punkt	Ablesungen am Maßstab m	l m	E m
I	1	1,644 1,450	0,194	19,51	III	1	2,164 1,570	0,594	59,55
	2	1,647 1,450	0,197	19,70		2	2,178 1,580	0,598	59,74
	3	1,6485 1,450	0,1985	19,91		3	2,180 1,580	0,600	59,94
	4	1,651 1,450	0,201	20,15		4	2,171 1,570	0,601	60,10
	5	1,652 1,450	0,202	20,31		5	2,173 1,570	0,603	60,27
	6	1,655 1,450	0,205	20,48		6	2,183 1,580	0,603	60,47
II	1	1,915 1,520	0,395	39,50	IV	1	2,422 1,630	0,792	79,58
	2	1,917 1,520	0,397	39,70		2	2,437 1,640	0,797	79,76
	3	1,918 1,520	0,398	39,88		3	2,428 1,630	0,798	79,98
	4	1,910 1,510	0,400	40,05		4	2,439 1,640	0,799	80,15
	5	1,911 1,510	0,401	40,25		5	2,441 1,640	0,801	80,30
	6	1,913 1,510	0,403	40,45		6	2,444 1,640	0,804	80,44

Gruppe	Punkt	Ablesungen am Maßstab m	l m	E m	Gruppe	Punkt	Ablesungen am Maßstab m	l m	E m
V	1	2,722 1,730	0,992	99,52	VIII	1	3,590 2,000	1,590	159,54
	2	2,735 1,740	0,995	99,75		2	3,592 2,000	1,592	159,70
	3	2,725 1,730	0,995	99,99		3	3,593 2,000	1,593	159,92
	4	2,731 1,730	1,001	100,15		4	3,594 2,000	1,594	160,12
	5	2,741 1,740	1,001	100,30		5	3,598 2,000	1,598	160,28
	6	2,735 1,730	1,005	100,47		6	3,605 2,000	1,605	160,46
VI	1	3,013 1,820	1,193	119,51	IX	1	3,890 2,100	1,790	179,55
	2	2,995 1,800	1,195	119,70		2	3,892 2,100	1,792	179,70
	3	3,016 1,820	1,196	119,90		3	3,895 2,100	1,795	179,87
	4	3,017 1,820	1,197	120,15		4	3,897 2,100	1,797	180,09
	5	3,019 1,820	1,199	120,31		5	3,901 2,100	1,801	180,29
	6	3,022 1,820	1,202	120,48		6	3,905 2,100	1,805	180,47
VII	1	3,290 1,900	1,390	139,53	X	1	3,940 1,950	1,990	199,51
	2	3,293 1,900	1,393	139,71		2	3,945 1,950	1,995	199,76
	3	3,295 1,900	1,395	139,91		3	3,948 1,950	1,998	199,95
	4	3,299 1,900	1,399	140,09		4	3,950 1,950	2,000	200,18
	5	3,301 1,900	1,401	140,29		5	3,950 1,950	2,000	200,31
	6	3,302 1,900	1,402	140,47		6	3,952 1,950	2,002	200,50

Gleicht man die Messungen gruppenweise in der in der Abb. 31 angedeuteten Weise graphisch aus, so erhält man für die runden Werte von E die folgenden Werte von ΔE :

$$\begin{array}{rcccl}
 E = & 20,00 & 40,00 & 60,00 & 80,00 & 100,00 \text{ m} \\
 \Delta E = + & 0,05 & 0,08 & 0,03 & 0,19 & 0,22 \text{ m} \\
 E = & 120,00 & 140,00 & 160,00 & 180,00 & 200,00 \text{ m} \\
 \Delta E = + & 0,31 & 0,33 & 0,47 & 0,33 & 0,29 \text{ m.}
 \end{array}$$

Unterzieht man auch diese Werte einer graphischen Ausgleichung (Abb. 32), so ergeben sich die Werte

$E =$	0,00	50,00	100,00	150,00	200,00 m,
$\Delta E = +$	0,00	0,11	0,22	0,33	0,44 m

und damit die in der Abb. 33 angegebene Tafel.

Da das Huygenssche Fernrohr sich weniger für die Entfernungsmessung eignet, so wird es kaum mehr dazu verwendet.

Bei dem nach Porro benannten oder anallaktischen Fernrohr ist die Additionskonstante c gleich Null, so daß $E = kl$; die Bestimmung der Multiplikationskonstanten k geschieht in derselben Weise wie beim Ramsdenschen Fernrohr.

Das im vorstehenden über den Fadenentfernungsmesser Gesagte gilt nur für den Fall, daß Standpunkt und Zielpunkt gleich hoch liegen, so daß die Zielung über den mittleren Horizontalfaden horizontal oder senkrecht zu dem vertikal gehaltenen Maßstab ist; der allgemeine Fall wird später behandelt.

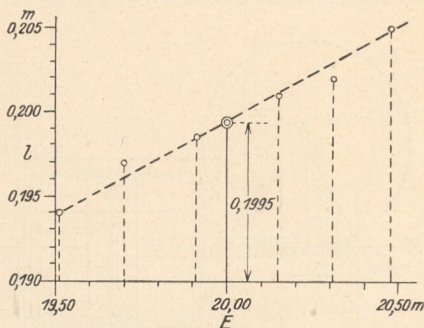


Abb. 31. Ausgleichung einer Gruppe von Beobachtungen bei der Bestimmung der Multiplikationskonstanten eines entfernungsmessenden Fernrohrs mit innerer Einstellinse.

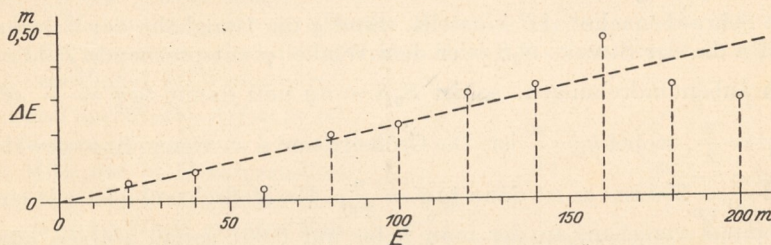


Abb. 32. Ausgleichung der Werte verschiedener Gruppen von Beobachtungen bei der Bestimmung der Multiplikationskonstanten eines entfernungsmessenden Fernrohrs mit innerer Einstellinse.

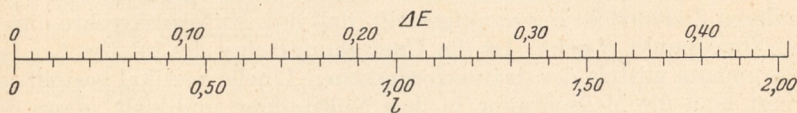


Abb. 33. Tafel zur Bestimmung von ΔE bei der Gleichung $E = 100 l + \Delta E$ eines entfernungsmessenden Fernrohrs.

6. Der Schraubenentfernungsmesser.

Beim Schraubenentfernungsmesser liegt — wie schon früher angegeben wurde — die unveränderliche Grundstrecke b im Zielpunkt und der veränderliche mikrometrische Winkel ε im Standpunkt; die Messung von ε erfolgt nicht unmittelbar in Gradmaß, sondern mittelbar mit Hilfe seiner Tangens. Die Bestimmung des Tangenswertes des Winkels ε geschieht mittels einer horizontal oder vertikal wirkenden Meßschraube; da die Verwendung einer horizontal wirkenden Schraube

hinsichtlich der Bequemlichkeit und der Genauigkeit der Messung im Vorteil ist, so soll im folgenden nur von einer solchen die Rede sein.

Die Streckenmessung mit einer horizontal wirkenden Meßschraube besteht im Grundgedanken darin, daß man die gesuchte Strecke s als Höhe eines gleichschenkligen Dreiecks bestimmt, dessen horizontal

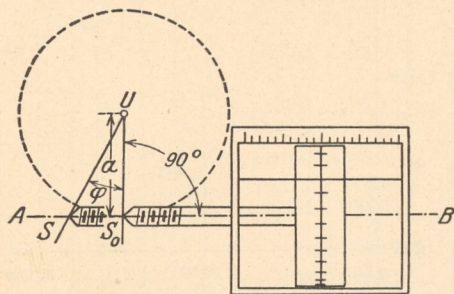


Abb. 34. Wirkungsweise der Tangensschraube eines Schraubenentfernungsmessers.

liegende Grundlinie durch eine, z. B. 2 m lange Strecke an einer Latte angegeben ist, und bei dem man den kleinen Winkel an der Spitze mit Hilfe einer als Tangensschraube wirkenden Meßschraube ermittelt. Die Meßschraube ist derart mit einem um eine vertikale Achse U (Abb. 34) drehbaren Zielfernrohr verbunden, daß bei ihrer Nullstellung die Schraubenachse AB senkrecht zur Verbindungsgeraden zwischen Umdrehungsachse U und Schraubenspitze S_0 steht. Einer Vorwärtsbewegung der Schraubenspitze von S_0 nach S entspricht ein Winkel φ , für den $\operatorname{tg} \varphi = \frac{S_0 S}{a}$ ist, wenn a den Abstand der Umdrehungsachse von der Schraubenachse AB vorstellt. Sind g die Ganghöhe der Schraube und n die der Strecke $S_0 S$ oder dem Winkel φ entsprechende Zahl von Schraubenumdrehungen, so ist $S_0 S = ng$ und damit $\operatorname{tg} \varphi = \frac{ng}{a}$ oder $\operatorname{tg} \varphi = \frac{n}{k}$, wobei $k = \frac{a}{g}$ ist. Die Größen a und g werden z. B. so gewählt, daß $\frac{a}{g} = 200$ ist; es ist dann $\operatorname{tg} \varphi = \frac{n}{200}$. Die Meßschraube ist mit einer Trommel versehen, an der man n bis auf 0,001 genau ablesen kann.

Bei der Messung einer kleineren Strecke s (Abb. 35) wird im Zielpunkt Z die die Grundstrecke b tragende Latte mit Hilfe einer besonderen Zielvorrichtung so aufgestellt, daß ihre Mittelsenkrechte durch den Standpunkt S geht. Ist die Umdrehungsachse des in S stehenden Instruments mittels der dazu erforderlichen Libelle vertikal gestellt, so bringt man die Meßschraube in ihre Nullstellung und zielt dann die Mitte M der Grundstrecke b mit Benutzung einer hierfür vorhandenen Feinbewegungsschraube an. Die jetzt beginnende eigentliche Messung besteht in der Anzielung der Enden E_1 und E_2 der Grundstrecke b mit jedesmaliger Ablesung der Schraubenstellungen n_1 und n_2 ¹; es ist dann $s = a \frac{b}{ng}$ oder $s = \frac{kb}{n}$, wobei $n = n_1 + n_2$ ist. Ist $\frac{a}{g}$ z. B. gleich 200 und $b = 2,000$ m, so hat man zur Berechnung von s die Gleichung

¹ Es ist hierbei angenommen, daß die Teilung zur Ablesung der ganzen Schraubenumdrehungen von der Schraubennullstellung aus nach rechts und links beziffert ist.

$s = \frac{400}{n}$. Zur Erhöhung der Genauigkeit erfolgt die Messung von n_1 und n_2 nicht nur einmal, sondern z. B. fünfmal. Alle Einstellungen der

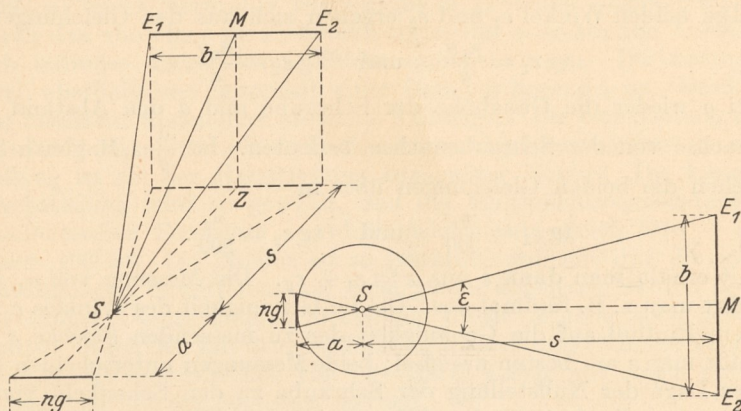


Abb. 35. Einfachste Art der Streckenmessung mit einem Schraubenentfernungsmesser.

Punkte E_1 und E_2 erfolgen mit Drehen der Schraube im Uhrzeigersinn. Man kann so z. B. 150 m lange Strecken mit einem mittleren Fehler von ± 3 bis ± 5 cm messen.

Die Messung einer größeren Strecke $AB = s$ (Abb. 36) verlangt die Benutzung eines Hilfspunktes H , den man am besten so wählt, daß der Winkel $AHB = \varphi \approx 90^\circ$, und daß die Strecke $AH \approx \sqrt{s}$ ist. Die Messung von $AH = b$ erfolgt mit Hilfe der in H aufgestellten 1 m langen Meßlatte in der oben angegebenen Weise mit der Meßschraube des in A aufgestellten Theodolits. Der Winkel $HAB = \alpha$ wird mit Benutzung des Horizontalkreises des Theodolits in zwei Fernrohrlagen gemessen. Die Messung des kleinen Winkels ε in B erfolgt mit der Meßschraube in der Weise, daß man die Schraube auf Null

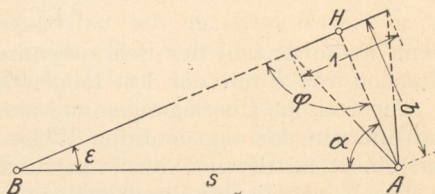


Abb. 36. Streckenmessung mit einem Schraubenentfernungsmesser mit Benutzung eines Hilfspunktes.

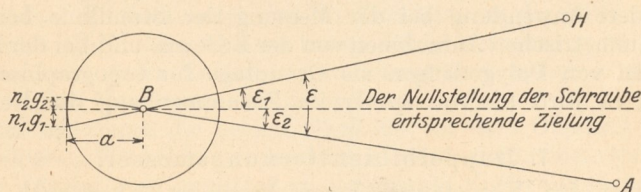


Abb. 37. Messung eines kleinen Horizontalwinkels mit einer Tangenschraube.

stellt und bei festgeklebtem Oberbau den Unterbau des Instruments in eine solche Stellung bringt, daß durch die Zielachse des Fernrohrs der Winkel ε in zwei ungefähr gleich große Winkel ε_1 und ε_2 (Abb. 37) zer-

legt wird. Bei festgeklebtem Unter- und Oberbau zielt man dann mit Hilfe der Meßschraube z. B. zuerst den Punkt H und sodann den Punkt A an und macht dabei an der Schraube die Ablesungen n_1 und n_2 . Die beiden Winkel ε_1 und ε_2 ergeben sich aus den Gleichungen

$$\operatorname{tg} \varepsilon_1 = \frac{n_1 g}{a} \quad \text{und} \quad \operatorname{tg} \varepsilon_2 = \frac{n_2 g}{a},$$

wobei g wieder die Ganghöhe der Schraube und a den Abstand der Drehachse von der Schraubenachse bedeuten. Ist $\frac{a}{g}$ z. B. gleich 200, so gehen die beiden Gleichungen über in

$$\operatorname{tg} \varepsilon_1 = \frac{n_1}{200} \quad \text{und} \quad \operatorname{tg} \varepsilon_2 = \frac{n_2}{200}.$$

Damit erhält man dann ε aus $\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$. Die Messung von n_1 und n_2 führt man z. B. fünfmal aus. Da die Genauigkeit des Winkels ε von großem Einfluß auf die Genauigkeit der zu messenden Strecke s ist, so mißt man ε am besten zweimal; beide Messungen unterscheiden sich in der Lage der Nullstellung der Schraube zu den Schenkeln von ε .

Hat man die drei Stücke $AH = b$, Winkel $HAB = \alpha$ und Winkel $HBA = \varepsilon$ des Dreiecks ABH gemessen, so findet man die gesuchte Strecke s (Abb. 36) nach dem Sinussatz aus

$$s = b \frac{\sin \varphi}{\sin \varepsilon}, \quad \text{wobei} \quad \varphi = 180^\circ - (\alpha + \varepsilon).$$

Die Strecke b erhält man hierfür aus

$$b = \frac{200}{n},$$

wenn n die Anzahl der Schraubenumdrehungen ist, die man bei der Messung von b mit der 1 m langen Latte erhalten hat.

Theoretische Überlegungen und praktische Versuche¹ haben ergeben, daß man in der angedeuteten Weise eine rund 1000 m lange Strecke mit einem mittleren Fehler von rund $\pm 0,5$ m messen kann.

Die Vorteile der Streckenmessung mit einer Tangenschraube bestehen insbesondere darin, daß man unabhängig von dem Höhenunterschied zwischen dem Standpunkt und dem Zielpunkt sofort die horizontale Strecke erhält, und daß man — abgesehen von Sichthindernissen — unabhängig von Messungshindernissen ist.

Die Streckenmessung mit dem Schraubenentfernungsmesser findet insbesondere Anwendung bei der Messung der Standlinie bei stereophotogrammetrischen Aufnahmen von der Erde aus und bei der Messung der Seiten von Polygonzügen als Grundlage für topographische Aufnahmen; es wird hiervon später im Zusammenhang die Rede sein.

7. Doppelbildentfernungsmesser.

Zunächst für Katastermessungen bestimmt, aber auch für die Streckenmessung bei Polygonzügen als Grundlage für topographische Aufnahmen in Frage kommend, sind die Entfernungsmesser von

¹ Vgl. Werkmeister, P.: Streckenmessung mit Hilfe des Zeißschen Streckenmeßtheodolits. Z. Vermessungswesen 1922, 321–332 u. 353–363.

A. Aregger, R. Bosshardt und H. Wild; alle drei Instrumente sind Doppelbildentfernungsmesser mit der Grundstrecke im Zielpunkt.

a) Bei dem Instrument von A. Aregger¹ befindet sich vor dem Objektiv eines Fernrohrs ein besonders gebautes Doppelbildprisma, durch das von einer im Zielpunkt horizontal aufgestellten Latte zwei, sich teilweise überdeckende Bilder erzeugt werden. Die Latte trägt zwei, oberhalb und unterhalb einer Geraden liegende, im Gesichtsfeld des Fernrohrs aneinander stoßende Teilungen. Die eine Teilung ist die Hauptteilung, an der schiefe Entfernungen abgelesen werden; die andere Teilung ist ein der Hauptteilung angepaßter Nonius. Die Länge der Hauptteilung wird so gewählt, daß die Multiplikationskonstante des anallaktischen Fernrohrs — Additionskonstante gleich Null — genau gleich 100 ist. Der Nonius ist so gestaltet, daß mit ihm die schiefen Entfernungen unmittelbar auf 5 cm genau abgelesen werden können; bei einiger Übung können Bruchteile dieser Angabe noch geschätzt werden. Nach den mit dem Entfernungsmesser ausgeführten Versuchen können mit ihm Strecken von 60—100 m Länge mit einem mittleren Fehler von ± 3 cm gemessen werden.

b) Der Hauptteil des nach den Angaben von R. Bosshardt unter Mitwirkung von A. König bei C. Zeiß gebauten „Reduktionstachymeters“² ist ein entfernungsmessendes Fernrohr, bei dem von der im Zielpunkt horizontal aufgestellten Latte dadurch zwei Bilder erzeugt werden, daß vor der unteren Hälfte des Objektivs zwei gleich starke Glaskeile hintereinander angebracht sind. Die Lattenteilung besteht aus einer Hauptteilung und einem Nonius; im Gesichtsfeld des Fernrohrs erscheinen beide übereinander, so daß mit dem Nonius an der Hauptteilung abgelesen werden kann. Das Fernrohr und die Lattenteilungen sind so ausgeführt, daß die Länge der zu messenden Strecke gleich dem 100fachen der Ablesung an der Latte ist.

Fällt kein Noniusstrich ganz genau mit einem Strich der Hauptteilung zusammen, so wird der in Frage kommende Noniusstrich durch eine Parallelverschiebung des Lichtstrahls in der oberen Hälfte des Fernrohrs zum Zusammenfallen mit einem Strich der Hauptteilung gebracht; dies geschieht mit Hilfe einer dem oberen Teil des Objektivs vorgeschalteten planparallelen Glasplatte, die mit einer Schraube um eine — bei horizontal liegendem Fernrohr — vertikale Achse gedreht werden kann. Die Schraube hat eine Trommel mit Teilung, an der man unmittelbar die Zentimeter und durch Schätzung die Millimeter der zu messenden Entfernung ablesen kann. Diese Einrichtung ist so einfach, daß man von jeder Entfernung in kurzer Zeit mehrere, voneinander unabhängige Messungen ausführen kann.

Wäre der durch die beiden Glaskeile vor dem Objektiv bestimmte parallaktische Winkel immer derselbe, so würde man schiefe Entfernungen messen; damit man unmittelbar horizontale Entfernungen erhält, sind

¹ Eine ausführliche Beschreibung des Instruments hat A. Aregger in der Schweiz. Z. Vermessungswesen 1926, 217, gegeben.

² Vgl. Bosshardt, R.: Das neue Reduktionstachymeter. Schweiz. Vermessungswesen 1927, 1.

die beiden Keile drehbar angeordnet. Jede Kippbewegung des Fernrohrs um eine horizontale Achse wird mit Hilfe von zwei Zahnrädern auf die beiden Glaskeile übertragen; der parallaktische Winkel erreicht dadurch seinen größten Wert bei horizontal und seinen kleinsten Wert — gleich Null — bei vertikal liegendem Fernrohr.

Eingehende Untersuchungen haben ergeben, daß für Strecken bis etwa 150 m Länge bei normalen Sichtverhältnissen kein Unterschied besteht zwischen den Ergebnissen der Messung mit Meßblättern und derjenigen mit dem Entfernungsmesser von R. Bosshardt.

c) Bei dem Entfernungsmesser von H. Wild¹ werden von der horizontal aufgestellten Latte durch zwei übereinander liegende, vor dem Objektiv eines Fernrohrs angebrachte Glaskeile zwei aneinander stoßende Bilder entworfen, von denen das untere den mit einer Dezimeterteilung versehenen linken Lattenteil und das obere den mit einer Zentimeterteilung versehenen rechten Lattenteil zeigt. Das Fernrohr und die Lattenteilung sind so eingerichtet, daß man die durch die beiden Bilder bestimmte Ablesung mit 100 multiplizieren muß, um die zu messende Entfernung — auf Meter genau — zu erhalten.

Die Größe des durch die beiden fest eingebauten Glaskeile erzeugten parallaktischen Winkels kann mit Hilfe von zwei, vor den Keilen symmetrisch um eine — bei horizontalem Fernrohr — vertikale Achse drehbaren planparallelen Glasplatten um kleine Beträge verändert werden. Durch Drehen der planparallelen Platten mittels einer Schraube kann man die — im allgemeinen zunächst nicht zusammenfallenden — Striche der Zentimeter- und der Dezimeterteilung der Latte zum Übereinstimmen bringen; an der Teilung der Schraubentrommel können dann die Dezimeter und Zentimeter der zu messenden Strecke abgelesen werden.

Der Wildsche Entfernungsmesser liefert — wie der von A. Aregger — die schiefe Entfernung zwischen Standpunkt und Zielpunkt; die gemessene Entfernung muß deshalb durch Multiplikation mit dem Kosinus des hierfür zu messenden Vertikalwinkels auf die Horizontale umgerechnet werden.

Die Genauigkeit der Streckenmessung mit dem Wildschen Instrument ist ungefähr dieselbe wie bei dem Instrument von R. Bosshardt, das aber unmittelbar die horizontale Entfernung liefert.

Da die drei im vorstehenden besprochenen Instrumente zunächst zur genauen Messung von kürzeren — etwas bis 150 m langen — Strecken dienen, so werden sie auch als Präzisionsdistanzmesser bezeichnet. Die den Instrumenten beigegebenen, horizontal zu verwendenden Latten sind je mit einer besonderen Vorrichtung versehen, mit deren Hilfe man die Latte senkrecht zu der zu messenden Strecke einstellen kann; die Vorrichtung ist dabei derart, daß man die Stellung der Latte vom Instrument aus beurteilen kann.

¹ Vgl. Hammer, E.: Der neue Wildsche Theodolit mit Präzisionsdistanzmesser. Z. Instrumentenkde 1925, 353.

8. Die Bussole.

Die Bussole kommt in zwei Bauarten vor, die man als Vollkreisbussole und Strichbussole bezeichnen kann. Die mit einer Zielvorrichtung verbundene Vollkreisbussole oder Büchsenbussole dient zur Messung des von der magnetischen Nordrichtung aus gezählten magnetischen Richtungswinkels einer Geraden; die mit einer Anlegekante versehene Strichbussole oder Kastenbussole dient zum Einrichten einer Geraden in die magnetische Nordrichtung, sie heißt deshalb auch Einrichtebussole.

a) Die **Vollkreisbussole** besteht aus einer bei ihrer Benutzung horizontal schwingenden Magnetnadel *N* (Abb. 38) und einer Kreisteilung *T*; die Spitze *S*, auf die die Nadel mit einem Hütchen aufgesetzt ist, und um die die Nadel schwingt, fällt mit dem Mittelpunkt des Teilkreises zusammen. Bei Bussolen für einfache Messungen ist die Nadel eine Rhombennadel; Bussolen für genauere Messungen haben Balkennadeln. Die der horizontalen Lage des Teilkreises entsprechende Lage der Nadel wird durch Verschieben des kleinen Gewichtes *G* auf der Nadel hergestellt. Mit Rücksicht auf die durch Erschütterungen entstehenden Beschädigungen der Spitze *S* oder des Nadelhütchens muß die Nadel vor jeder Beförderung von der Spitze *S* abgehoben werden; die Bussole ist für diesen Zweck mit einer besonderen Vorrichtung versehen. Der Teilkreis ist meist in ganze oder halbe Grade geteilt, so daß an ihm durch Schätzung auf $0,1^\circ$ genau abgelesen werden kann.

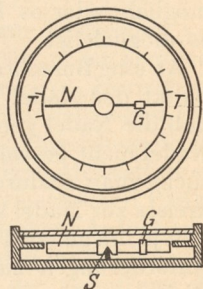


Abb. 38. Vollkreisbussole.

Die Vollkreisbussole findet in drei als Freihandbussole, Stockbussole und Reitbussole bezeichneten Ausführungen Verwendung. Die Freihandbussole wird — wie der Name sagt — freihändig verwendet; bei der Stockbussole ist der untere Teil des Gehäuses derart ausgebildet, daß die Bussole auf einen Stock oder Stab gesetzt werden kann; die Reitbussole ist mit einem Träger versehen, mit dessen Hilfe sie auf die horizontal liegende Kippachse eines Tachymetertheodolits gesetzt werden kann.

Die zum Messen von Winkeln bestimmte Vollkreisbussole ist mit einer Zielvorrichtung versehen; diese hat bei der Freihand- und bei der Stockbussole die Form eines mit dem Bussolengehäuse und damit dem Teilkreis fest verbundenen Schlitz-Fadendiopters, bei der Reitbussole¹ ist die Zielvorrichtung das Fernrohr des Theodolits. Da der Teilkreis alle Drehungen in horizontalem Sinn der mit ihm in fester Verbindung stehenden Zielebene mitmacht und die magnetischen Richtungswinkel im Uhrzeigersinn gemessen werden, so ist der Teilkreis gegen den Uhrzeigersinn beziffert. Liegt demnach der Nullstrich der Bussolenteilung

¹ Bei manchen Instrumenten trifft man an Stelle einer Reitbussole eine zwischen die Träger des Fernrohrs eingebaute Bussole; ein grundsätzlicher Unterschied zwischen einer solchen und einer Reitbussole besteht nicht.

in der Zielebene beim Fadenteil des Diopters bzw. über dem Objektiv des Fernrohrs (Abb. 39), so stellt die der Zielung nach einem Punkt Z entsprechende Ablesung an dem Teilkreis den magnetischen Richtungswinkel α vor. Für manche Zwecke ist es bequem, wenn die an der Bussole gemachten Ablesungen nicht „magnetische“ Richtungswinkel, sondern „geodätische“, von der $+x$ -Richtung eines Koordinatensystems aus gemessene Richtungswinkel vorstellen; dies erfordert, daß man die Bussolenteilung in dem Gehäuse um den erforderlichen Betrag drehen und dann wieder festklemmen kann. Bei der Reitbussole ist dies im allgemeinen immer möglich, oder es kann in einfacher Weise dafür gesorgt werden, daß es möglich ist.

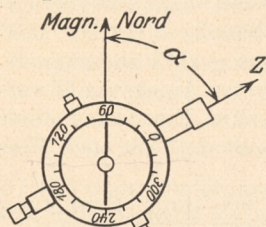


Abb. 39. Messung des magnetischen Richtungswinkels einer Geraden.

An eine Bussole stellt man die Anforderungen, daß der Schwingungspunkt der Nadel mit dem Mittelpunkt des Teilkreises zusammenfällt, daß die Nadel genügend magnetisch ist, und daß das Hütchen und die Nadel nicht beschädigt sind. Ob die erste Anforderung erfüllt ist, untersucht man dadurch, daß man bei verschiedenen Stellungen des Teilkreises zur Nadel an beiden Nadelenden abliest, wobei beide Ablesungen sich je um genau 180° unterscheiden müssen. Die auf die beiden anderen Anforderungen sich beziehenden Untersuchungen kann man in der Weise ausführen, daß man die der zur Ruhe gekommenen Nadel entsprechende Ablesung macht, der Nadel dann mit einem schwachen Magnet einen Ausschlag erteilt und die Nadel wieder zur Ruhe kommen läßt; die Ablesung an der Nadel muß dann dieselbe sein wie zuvor. Steht — wie bei der Reitbussole eines Tachymetertheodolits — die Bussole in fester Verbindung mit dem horizontal liegenden Teilkreis eines Theodolits, so kann man eine durchgreifende Untersuchung der Bussole dadurch ausführen, daß man am Horizontalkreis des Theodolits der Reihe nach z. B. die Einstellungen 0° , 30° , 60° ... macht und für jede die Bussole abliest.

b) Die **Strichbussole** besteht aus einer in einem rechteckigen Gehäuse untergebrachten Magnetnadel N (Abb. 40), deren Nordende beim Gebrauche auf eine mit dem Gehäuse fest verbundenen Strichmarke M zeigen muß, die meist auf beiden Seiten mit einer wenige Grade umfassenden Gradteilung versehen ist. Die eine

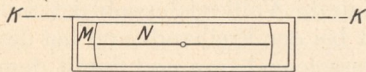


Abb. 40. Strichbussole.

Kante K des Gehäuses dient als Lineal zum Zeichnen von Geraden oder zum Anlegen an solche. Die Nadel ist mit einer Vorrichtung zum Abheben von der Spitze versehen, so daß sie bei Beförderungen vor Beschädigungen geschützt werden kann. Die Strichbussole findet insbesondere Verwendung zur Einrichtung der Platte des Meßtisches.

c) Bei einer nach **Schmalcalder** benannten, am besten auf einem Stock benutzten Bussole ist der Teilkreis mit der Nadel verbunden und schwingt so mit dieser; die Ablesungen werden mit Hilfe eines mit

der Zielebene verbundenen Prismas ausgeführt. Bei der Fluidbussole ist das Gehäuse zur Dämpfung der Schwingungen der Magnetnadel mit einer Flüssigkeit gefüllt.

d) Bei der Verwendung einer Bussole zu Messungen hat man zu beachten, daß die durch die Bussole bestimmten Richtungen von der Deklination abhängig sind, und daß diese nicht nur jährlichen, sondern auch regelmäßigen täglichen Schwankungen — bis etwa 10 Minuten — und außerdem plötzlichen Störungen — unter Umständen bis 2° — unterworfen ist. Ferner hat man zu berücksichtigen, daß die Bussole nicht in der Nähe von eisernen Zäunen, Geleisen, Masten u. dgl. und von Starkstromleitungen mit Gleichstrom verwendet werden darf.

B. Der Tachymetertheodolit und seine Verwendung.

Als Tachymetertheodolit bezeichnet man einen zur Festlegung von Punkten nach Polarkoordinaten bestimmten Theodolit; er ist demnach ein Theodolit mit einem Horizontalkreis zum Messen von Horizontalwinkeln, einem Vertikalkreis zum Messen von Vertikalwinkeln, einer Einrichtung für mittelbare Streckenmessung und einer Vollkreisbussole zur Messung von magnetischen Richtungswinkeln bei gewissen Meßverfahren.

Der Tachymetertheodolit dient zunächst zur tachymetrischen Punktbestimmung bei der Durchführung von topographischen Aufnahmen; er kann aber auch unter Umständen Verwendung finden bei der Messung von Horizontal- und Vertikalwinkeln, wie sie bei der Schaffung der Grundlagen für die Aufnahme auszuführen sind. Außerdem kann der Tachymetertheodolit zu Höhenbestimmungen durch Nivellieren benutzt werden.

1. Der Bau des Tachymetertheodolits.

Der Tachymetertheodolit besteht aus dem dreibeinigen Stativ und dem eigentlichen Instrument. Die Befestigung des Instruments auf dem Stativteller geschieht entweder mit einer als Stengelhaken bezeichneten Schraube mit einer kräftigen, das Instrument leicht andrückenden Spiralfeder (Abb. 41a) oder mit einer Schraube, die auf eine mit den Fußschrauben in Verbindung stehende Platte wirkt (Abb. 41b). Für manche Zwecke ist es notwendig, daß das Instrument vor dem letzten Anziehen der Befestigungsschraube um einige Zentimeter von der Mitte aus nach allen Seiten auf dem Stativteller verschoben werden kann.

Bei dem Instrument selbst unterscheidet man zwei Hauptteile, den Unterbau und den Oberbau. Der Unterbau besteht aus den drei Fuß- oder Stellschrauben *A* (Abb. 41) und dem Limbus *B* mit dem Horizontalkreis. Beim einfachen Theodolit (Abb. 41a) ist der Limbus und damit der Teilkreis fest mit dem Unterbau verbunden; beim Repetitions-theodolit (Abb. 41b) ist der Limbus mit dem Teilkreis drehbar im Unterbau angeordnet. Am Unterbau selbst oder an der Schraube zum Befestigen auf dem Stativteller ist ein Haken zum Anhängen eines Schnurlothes.

Der im Unterbau drehbare Oberbau besteht aus der Alhidade *C* mit der Vorrichtung zum Ablesen am Teilkreis, den beiden Fernrohr-

trägern *D*, der Kippachse *E*, dem Fernrohr *F*, dem mit der Kippachse verbundenen Vertikalkreis *G* und der an einem Fernrohrträger angebrachten Vorrichtung *H* zum Ablesen am Vertikalkreis.

Für den Gebrauch muß die Umdrehungsachse *U* des Theodolits mit Hilfe der Fußschrauben *A* vertikal gestellt werden; die hierzu erforderliche Röhrenlibelle ist entweder eine fest mit der Alhidade verbundene Alhidadenlibelle *J* (Abb. 41 a) oder eine lose, auf die Kippachse gesetzte Reitlibelle *M* (Abb. 41 b). Für die erste, genäherte Aufstellung des Instruments ist es vorteilhaft, wenn eine z. B. zwischen den Fernrohrträgern angebrachte Dosenlibelle *L* vorhanden ist. Die Messung von Vertikalwinkeln erfordert eine Röhrenlibelle parallel zur Ebene des

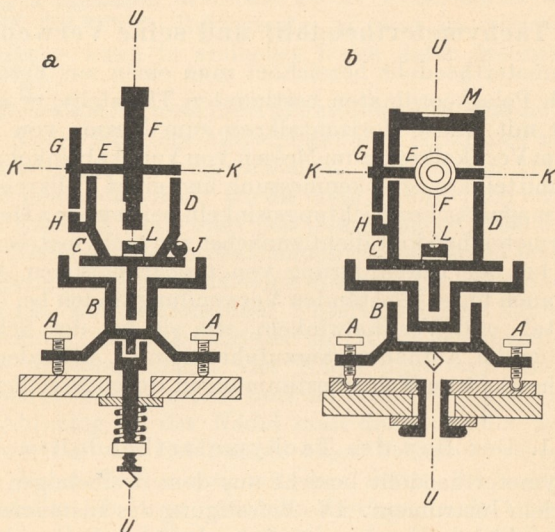


Abb. 41. Schematische Darstellung von einem einfachen Theodolit und einem Repetitionstheodolit.

Vertikalkreises *G*; es kann dies sein eine feste Alhidadenlibelle (Abb. 42 a) oder besser eine mit der Ablesevorrichtung verbundene, mit einer Feinbewegungsschraube *S* um kleinere Beträge drehbare Nonien- bzw. Mikroskoplibelle (Abb. 42 b) oder auch eine auf dem Fernrohr angebrachte Fernrohrlibelle (Abb. 42 c) in Gestalt einer Doppellibelle. Jede Libelle ist mit einer Berichtigungsvorrichtung versehen, von der bei der Untersuchung des Instruments noch die Rede sein wird.

Zur Festhaltung von bestimmten Stellungen der drehbaren Teile — Limbus beim Repetitionstheodolit, Alhidade und Fernrohr mit Vertikalkreis — sind Klemmschrauben erforderlich; zu jeder Klemmschraube gehört eine Feinbewegungs- oder Mikrometerschraube, mit deren Hilfe der geklemmte Teil noch um kleine Beträge gedreht werden kann. Außer dem einfachen Theodolit mit festem Horizontalkreis und dem Repetitionstheodolit mit drehbarem, aber mit Klemm- und Feinbewegungsschraube versehenem Teilkreis werden auch noch Instrumente mit von

Hand drehbarem Teilkreis gebaut, der nur durch Reibung festgehalten wird.

Zum Schutz der auf Silberstreifen angegebenen Teilungen sind die Teilkreise mit einem Verdeck versehen. Die Teilungseinheit der beiden Kreise richtet sich insbesondere nach dem Kreisdurchmesser und der Art der Ablesevorrichtung; es kommen vor die Werte 1° , $\frac{1^\circ}{2}$, $\frac{1^\circ}{3}$ und $\frac{1^\circ}{6}$. Die Richtung der Bezifferung des Horizontalkreises entspricht der des Uhrzeigers. Die Bezifferung des Vertikalkreises geht am besten gegen den Uhrzeigersinn, und zwar von $0-360^\circ$ derart, daß bei links

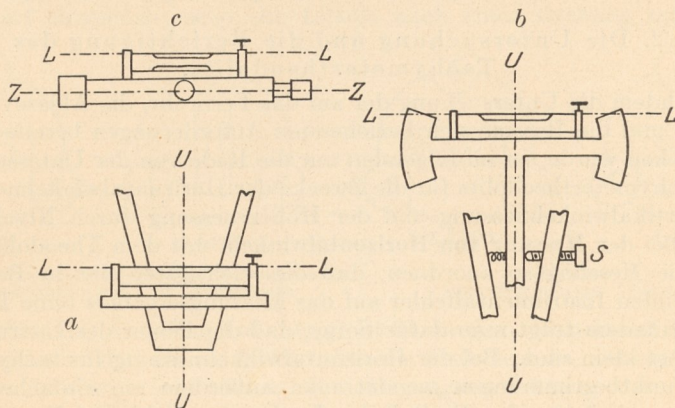


Abb. 42. Libellenanordnungen für Vertikalwinkelmessung.

liegendem Kreis an der beim Okular des Fernrohrs liegenden Ablesevorrichtung bei horizontaler Zielachse 0° abgelesen wird. Für genauere Messungen ist insbesondere der Horizontalkreis mit zwei, einander gegenüberliegenden Ablesevorrichtungen versehen.

Die Kippachse und das Fernrohr sind fest miteinander verbunden. Der eine der beiden Fernrohrträger ist bei manchen Instrumenten horizontal oder vertikal aufgeschnitten, so daß mit Hilfe einer Zug- und einer Druckschraube das eine Kippachsenende um kleine Beträge gehoben oder gesenkt werden kann. Das Fernrohr ist am besten zwischen den beiden Fernrohrträgern angeordnet; es gibt aber auch Instrumente mit seitlich angebrachtem Fernrohr. Zweckmäßig ist es, wenn das Fernrohr durchgeschlagen werden kann, so daß das Objektiv und das Okular in ihrer Lage einfach vertauscht werden können.

Für die mittelbare Streckenmessung mit dem Tachymetertheodolit eignet sich am besten der Fadenentfernungsmesser; das „Fadenkreuz“ des Fernrohrs (Abb. 43) besteht deshalb aus dem Vertikalfaden für die Horizontalwinkelmessung, dem Horizontalfaden für die Vertikalwinkelmessung und zwei weiteren Horizontalfäden für die Streckenmessung.

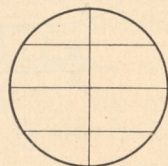


Abb. 43. Gesichtsfeld eines Fernrohrs mit Fadenentfernungsmesser.

Die Bussole ist am besten eine auf die Kippachse des Fernrohrs aufsetzbare Reitbussole, die bei Nichtbenutzung im Instrumentenkasten untergebracht werden kann; beim Aufsetzen der Bussole ist zu beachten, daß der Nullstrich ihrer Teilung z. B. stets über dem Objektiv des Fernrohrs liegen muß. Es gibt auch Instrumente, bei denen die Bussole zwischen den Fernrohrträgern eingebaut ist.

Zur Behandlung des Instruments ist besonders zu bemerken, daß man das Instrument beim Aus- und Einpacken und bei der Beförderung in verpacktem oder unverpacktem Zustand vor raschen und starken Stößen hüten soll; außerdem ist das Instrument vor Feuchtigkeit, Staub, Sonnenbestrahlung und starken Spannungen zu schützen.

2. Die Untersuchung und die Berichtigung des Tachymetertheodolits.

Nachdem die Untersuchung der auf das Fernrohr, die Ablesevorrichtungen und die Bussole sich beziehenden Anforderungen bereits früher besprochen wurde, ist im folgenden nur die Rede von der Untersuchung des Tachymetertheodolits für die Zwecke der Horizontalwinkelmessung, der Vertikalwinkelmessung und der Höhenmessung durch Nivellieren.

a) Bei der Messung von Horizontalwinkeln mit dem Theodolit kann man die Messung so anordnen, daß die wichtigsten der in Betracht kommenden Instrumentalfehler auf das Messungsergebnis ohne Einfluß sind; trotzdem trägt man dafür Sorge, daß die Fehler des Instruments möglichst klein sind. Bei der Horizontalwinkelmessung für tachymetrische Punktbestimmungen wendet man außerdem ein einfaches Verfahren an, bei dem der Einfluß der Instrumentalfehler nicht unschädlich gemacht wird; man muß deshalb das Instrument von Zeit zu Zeit — z. B. nach größeren Beförderungen — untersuchen und erforderlichenfalls berichtigen.

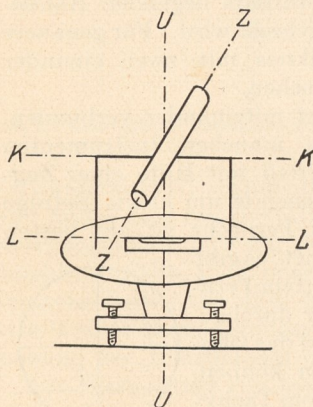


Abb. 44. Die vier Achsen eines Theodolits.

Bei einem Theodolit kann man vier Achsen unterscheiden: die Umdrehungsachse U (Abb. 44), die Kippachse K , die Zielachse Z und die Libellenachse L . An einen Theodolit stellt man die Anforderung, daß bei vertikal stehender Umdrehungsachse die Zielachse beim Kippen des Fernrohrs eine vertikale Ebene beschreibt. Damit die Umdrehungsachse U mit Hilfe der vorhandenen Libelle vertikal gestellt werden kann, muß U senkrecht zur Libellenachse L sein; die genannte Anforderung ist erfüllt, wenn zweitens die Zielachse Z senkrecht zur Kippachse K steht, so daß Z beim Kippen des Fernrohrs eine Ebene beschreibt, und wenn drittens die Kippachse K senkrecht zur Umdrehungsachse U steht, so daß bei vertikaler Stellung von U jene Ebene eine Vertikalebene wird. Bei den auf diese Einzelanforderungen sich beziehenden Untersuchungen hat man zu unterscheiden, ob die vor-

handene Libelle eine Alhidadenlibelle *J* (Abb. 41 a) oder eine Reitlibelle *M* (Abb. 41 b) ist.

α) Ist eine Alhidadenlibelle vorhanden, so wird die Untersuchung des Instruments folgendermaßen ausgeführt:

1. Umdrehungsachse *U* senkrecht zur Libellenachse *L*. Man stellt zunächst die Libelle parallel zur Verbindungsgeraden zweier Fußschrauben, hierauf über die dritte Fußschraube und läßt in beiden Lagen die Libelle einspielen (Abb. 45); damit ist die Umdrehungsachse *U* näherungsweise — so gut es die noch nicht untersuchte Libelle erlaubt — vertikal gestellt¹. Nun stellt man die Libelle entweder in die Richtung über zwei Fußschrauben oder über eine Fußschraube und läßt sie scharf einspielen; zeigt die Libelle nach einer Drehung um 180°

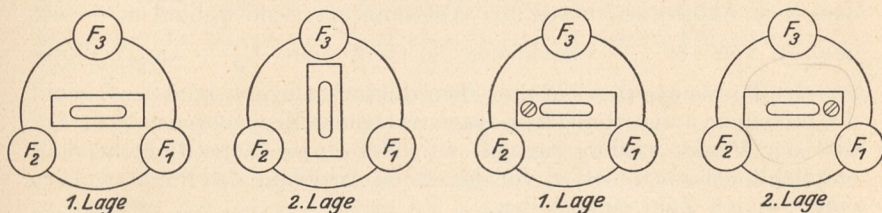


Abb. 45. Vertikalstellen der Umdrehungsachse eines Instruments mit einer Röhrenlibelle.

Abb. 46. Untersuchung einer Libelle.

(Abb. 46) einen Ausschlag, so entspricht dieser dem doppelten Libellenfehler und wird deshalb zur Hälfte mit einer Fußschraube und zur Hälfte mit der hierfür erforderlichen Berichtigungsverrichtung der Libelle weggeschafft. Hat man die Vertikalstellung der Umdrehungsachse *U* mit der so berichtigten Libelle verbessert, so wird das Verfahren wiederholt.

2. Zielachse *Z* senkrecht zur Kippachse *K*. Zur Untersuchung dieser Anforderung gibt es verschiedene Verfahren; bei dem einfachsten davon wird der Horizontalkreis benutzt. Man zielt bei vertikal stehender Umdrehungsachse *U* und festgeklebtem Teilkreis einen gut bezeichneten, mit dem Instrument ungefähr in derselben Höhe liegenden, mindestens 100 m entfernten Punkt scharf an² und macht mit der einen Ablesevorrichtung die Ablesung a_1 am Teilkreis; hierauf schlägt man das Fernrohr durch, dreht den Oberbau um etwa 180°, zielt denselben Punkt wieder an und macht mit derselben Ablesevorrichtung die Ablesung a_2 . Stimmen — abgesehen von 180° — a_1 und a_2 nicht überein, so stellt man $\frac{a_1 + a_2}{2}$ mit der Feinbewegungsschraube der Alhidade am Teilkreis ein und verschiebt dann die Fadenkreuzplatte mit den für diesen Zweck vorhandenen Schrauben (Abb. 1) so weit, bis der Punkt

¹ Man könnte die Umdrehungsachse auch mit Hilfe der Dosenlibelle näherungsweise vertikal stellen.

² Einen Punkt mit dem Fernrohr anzielen, heißt den Vertikalfaden zur Deckung bringen mit dem Punkt; dies erfordert eine genäherte Einstellung des Fernrohres von Hand und eine genaue — nach Festklemmung der Obertheile des Instruments — mit Hilfe der Feinbewegungsschraube. Den Vertikalfaden benutzt man ungefähr in der Nähe des Horizontalfadens.

wieder angezielt ist. Ist der Theodolit ein Repetitionstheodolit, so läßt sich eine kleine Verschärfung des Verfahrens dadurch erreichen, daß man vor der Anzielung des Punktes a_1 genau z. B. gleich 0° einstellt.

Im allgemeinen empfiehlt sich eine Wiederholung des Verfahrens.

3. Kippachse K senkrecht zur Umdrehungsachse U . Auch für diese Anforderung gibt es verschiedene Verfahren; bei dem einfachsten wird ebenfalls der Horizontalkreis verwendet. Man zielt bei vertikal stehender Umdrehungsachse U und festgeklebtem Teilkreis einen im Vergleich zum Instrument sehr hoch gelegenen Punkt scharf an und macht am Teilkreis mit der einen Ablesevorrichtung die Ablesung a_1 ; hierauf schlägt man das Fernrohr durch, dreht den Oberbau um ungefähr 180° , zielt denselben Punkt wieder an und macht mit derselben Ablesevorrichtung die Ablesung a_2 . Sind a_1 und a_2 — abgesehen von 180° — verschieden, so stellt man $\frac{a_1 + a_2}{2}$ am Teilkreis

mit der Feinbewegungsschraube der Alhidade ein und hebt bzw. senkt das mit einem aufgeschnittenen Lager versehene Kippachsenende derart, daß der Punkt wieder angezielt ist. Bei einem Repetitionstheodolit empfiehlt sich auch hier, a_1 vor der ersten Anzielung des Punktes gleich einer runden Zahl einzustellen.

β) Ist eine Reitlibelle vorhanden, so gestaltet sich die Untersuchung des Instruments folgendermaßen:

1. Libellenachse L parallel zur Kippachse K . Nach — wenigstens genäherter — Vertikalstellung der Umdrehungsachse U mit der noch nicht untersuchten Libelle oder mit der Dosenlibelle läßt man die Reitlibelle bei festgeklebtem Oberbau entweder mit zwei Fußschrauben — erste Lage in Abb. 45 — oder mit einer Fußschraube — zweite Lage in Abb. 45 — scharf einspielen und setzt die Libelle durch Vertauschen ihrer beiden Enden um; zeigt sich nun ein Ausschlag bei der Libelle, so entspricht er dem doppelten Fehler zwischen L und K und wird deshalb zur einen Hälfte mit einer Fußschraube und zur anderen Hälfte mit der Berichtigungsvorrichtung der Libelle weggeschafft. Das Verfahren wird so lange wiederholt, bis kein Ausschlag nach dem Umsetzen der Libelle auftritt.

2. Umdrehungsachse U senkrecht zur Libellenachse L . Bei der hierauf sich beziehenden Untersuchung verfährt man in derselben Weise, wie wenn die Libelle eine Alhidadenlibelle wäre; zeigt sich dabei nach der Drehung des Oberbaus um 180° ein Ausschlag der Libelle, so entspricht er ebenfalls dem doppelten Fehler und wird zur Hälfte mit einer Fußschraube und zur anderen Hälfte durch Heben bzw. Senken des aufgeschnittenen Lagers beseitigt. Auch hier empfiehlt sich eine Wiederholung der Untersuchung nach erforderlicher Berichtigung.

3. Zielachse Z senkrecht zur Kippachse K . Die Untersuchung und die Berichtigung werden genau in derselben Weise ausgeführt wie für den Fall, daß eine Alhidadenlibelle vorhanden ist.

Da bei der Untersuchung eines Instruments mit Alhidadenlibelle ein sehr hochgelegener Punkt erforderlich ist und ein solcher z. B. im freien Felde nicht ohne weiteres zu haben ist, so ist es bequem, wenn

dem Instrument neben der festen Alhidadenlibelle eine bei der Benutzung des Instruments zu Messungen im Kasten untergebrachte Reitlibelle beigegeben ist.

Wie aus dem Vorstehenden hervorgeht, kann man von den Instrumentalfehlern den Umdrehungsachsenfehler — davon herrührend, daß die Umdrehungsachse nicht senkrecht zur Libellenachse steht —, den Zielachsenfehler — davon herrührend, daß die Zielachse nicht senkrecht zur Kippachse steht — und den Kippachsenfehler — davon herrührend, daß die Kippachse nicht senkrecht zur Umdrehungsachse steht — in einfacher Weise beseitigen bzw. so klein machen, daß sie ohne Einfluß auf das Messungsergebnis sind; nicht unmittelbar möglich ist dies bei dem von einer Exzentrizität der Alhidade herrührenden Fehler. Ein solcher ist vorhanden, wenn der Schnittpunkt der Alhidadenumdrehungsachse mit der Ebene des Teilkreises nicht mit dessen Mittelpunkt zusammenfällt.

b) Bei der Messung von Vertikalwinkeln soll die Umdrehungsachse des Theodolits vertikal stehen; da dies mit einer Libelle — am einfachsten in Gestalt einer Alhidadenlibelle — bequem zu erreichen ist für den Fall, daß die Umdrehungsachse senkrecht zur Libellenachse steht, so untersucht und berichtigt man die gegenseitige Stellung dieser beiden Achsen in der oben angegebenen Weise.

Ein besonders bei tachymetrischen Punktbestimmungen benutztes Verfahren zur Messung von Vertikalwinkeln setzt voraus, daß das Instrument mit einer Nonienlibelle (Abb. 42 b) und einer Fernrohrlibelle (Abb. 42 c) versehen ist; man stellt dabei die Anforderung, daß die Ablesung am Vertikalkreis bei horizontal liegender Zielachse und einspielender Nonienlibelle genau 0° sein soll. Die Horizontallegung der Zielachse geschieht mit der Fernrohrlibelle; sie setzt voraus, daß die Achse dieser Libelle parallel zu der Zielachse ist. Die hierauf sich beziehende Untersuchung ist besonders einfach für den Fall, daß die Fernrohrlibelle eine Doppellibelle (Abb. 7) ist; sie besteht darin, daß

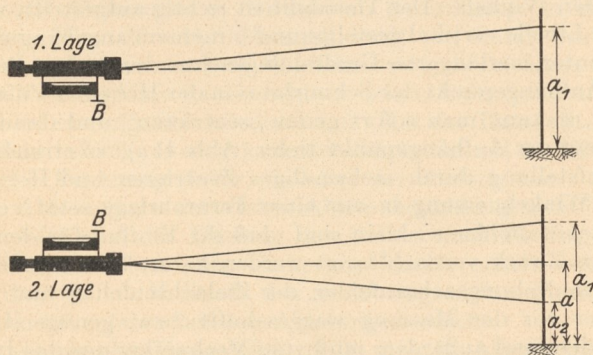


Abb. 47. Untersuchung der Fernrohrlibelle eines Tachymetertheodolits.

man zuerst in der einen Fernrohrlage — mit Libelle unten — und dann in der anderen Fernrohrlage — mit Libelle oben — (Abb. 47) bei scharf einspielender Libelle an einem in etwa 40—50 m Entfernung vertikal

aufgestellten Maßstab abliest. Werden dabei zwei verschiedene Ablesungen a_1 und a_2 gemacht, so liegt die Zielachse nicht parallel zu den beiden Libellenachsen, also bei einspielender Libelle nicht horizontal; da die horizontale Lage der Zielachse durch die Ablesung $a = \frac{a_1 + a_2}{2}$ bestimmt ist, so stellt man diese ein und bringt die dann ausschlagende Libelle wieder zum Einspielen mit Hilfe ihrer Berichtigungsvorrichtung B . Das Einspielen der Libelle vor der Ausführung der Ablesungen a_1 und a_2 , sowie das Einstellen der Ablesung a erreicht man bei festgeklebtem Fernrohr mit Benutzung der Feinbewegungsschraube des Fernrohrs.

Ist dafür gesorgt, daß die Zielachse parallel zur Achse der Fernrohrlibelle liegt, so läßt man diese scharf einspielen und stellt dann mit der auf die Nonienlibelle wirkenden Feinbewegungsschraube S (Abb. 42 b) die Ablesung 0° mit dem Nonius ein; schlägt die Nonienlibelle jetzt aus, so bringt man sie mit ihrer Berichtigungsschraube zum Einspielen.

c) Wird der Tachymetertheodolit zur **Höhenmessung durch Nivellieren** verwendet, so muß er mit einer Fernrohr- oder Nivellierlibelle (Abb. 42 c) ausgerüstet sein, mit deren Hilfe die Zielachse horizontal gelegt werden kann; es muß dann die Zielachse parallel zu den beiden Achsen der Fernrohrlibelle liegen. Die Untersuchung dieser Anforderung geschieht in der vorhin angegebenen Weise (Abb. 47).

3. Die Messung von Horizontalwinkeln.

Bei der Messung von Horizontalwinkeln kann man zwei Verfahren unterscheiden; bei dem einen mißt man jeden Winkel nur einmal oder in einer Fernrohrlage, bei dem anderen mißt man jeden Winkel zweimal, und zwar in jeder der beiden möglichen Fernrohrlagen je einmal.

Jeder Winkelmessung voraus geht die Aufstellung des Theodolits in oder über dem auf dem Boden gegebenen Scheitelpunkt des zu messenden Winkels. Der Theodolit ist richtig aufgestellt, wenn seine mittels der Libelle vertikal gestellte und mit einem angehängten Schnurlot nach unten verlängerte Umdrehungsachse durch den Punkt geht. Liegt der Aufhängepunkt des Schnurlotes in der Höhe der Fußschrauben (Abb. 41 b), so kann man sofort genau „zentrieren“ und dann „horizontieren“; liegt der Aufhängepunkt tiefer (Abb. 41 a), so erreicht man die richtige Aufstellung durch mehrmaliges Zentrieren und Horizontieren.

a) Die **Winkelmessung in nur einer Fernrohrlage** setzt voraus, daß die Instrumentalfehler so klein sind, daß ihr Einfluß für den in Frage kommenden Zweck vernachlässigt werden kann; bei ihr müssen demnach der Umdrehungsachsenfehler, der Zielachsenfehler und der Kippachsenfehler vor der Messung weggeschafft bzw. genügend klein gemacht werden, und außerdem muß vom Mechaniker aus das Instrument so gebaut sein, daß der Alhidadenexzentrizitätsfehler und die Fehler in der Teilung des Horizontalkreises verschwindend klein sind.

Soll in einem Standpunkt S der Winkel φ gemessen werden zwischen zwei Punkten A („Punkt links“) und B („Punkt rechts“), so zielt man

der Reihe nach A und B mit dem Vertikalfaden an und macht nach jeder Zielung die Ablesung a bzw. b an dem während der Messung feststehenden¹ Horizontalkreis; der Winkel φ ist dann gleich der Differenz $b - a$. Ist das Instrument ein Repetitionstheodolit oder ein einfacher Theodolit mit von Hand drehbarem Horizontalkreis, so kann man den Kreis so einstellen, daß die der Zielung nach A entsprechende Ablesung a genau gleich 0° ist; die Ablesung b stellt dann unmittelbar den Winkel φ vor.

b) Bei der Winkelmessung in zwei Fernrohrlagen werden der Zielachsenfehler, der Kippachsenfehler und der Alhidadenexzentrizitätsfehler durch die Anordnung der Messung unschädlich gemacht; da dies beim Umdrehungsachsenfehler nicht in einfacher Weise erreichbar ist, so hat man vor der Messung dafür Sorge zu tragen, daß die Umdrehungsachse senkrecht zur Libellenachse und damit bei einspielender Libelle vertikal steht. Der Einfluß eines Exzentrizitätsfehlers der Alhidade läßt sich auch dadurch unschädlich machen, daß man nach jeder Zielung an zwei, einander gegenüberliegenden Stellen des Teilkreises abliest; die Benutzung von zwei, rund 180° auseinander liegenden Ablesevorrichtungen dient außerdem zur Erhöhung der Genauigkeit der Messung.

Man kann bei der Messung von Horizontalwinkeln zwei Arten unterscheiden; es sind dies die richtungsweise Winkelmessung und die repetitionssweise Winkelmessung.

α) Die richtungsweise Winkelmessung oder Winkelmessung aus Richtungen kommt dann in Frage, wenn in einem Standpunkt die Winkel zwischen mehr als zwei Zielpunkten zu messen sind. Die Messung besteht darin, daß man bei feststehendem bzw. festgeklammtem Teilkreis die Zielpunkte von links nach rechts — der Bezifferung des Teilkreises entsprechend im Uhrzeigersinn — der Reihe nach anzielt und nach jeder Zielung die Ablesungen an beiden Ablesevorrichtungen macht; hierauf schlägt man das Fernrohr durch und wiederholt die Zielungen und Ablesungen in der zweiten Fernrohrlage in umgekehrter Reihenfolge. Eine derartige Messung heißt ein Satz; das Verfahren wird daher auch als satzweise Winkelmessung bezeichnet.

Bei der Messung eines Satzes beginnt man mit demjenigen Zielpunkt, der am schärfsten angezielt werden kann. Hat der Theodolit einen drehbaren Horizontalkreis, so sorgt man mit Rücksicht auf die Übersichtlichkeit und die Rechnung dafür, daß bei der Zielung nach dem ersten Punkt die Ablesung an der ersten Ablesevorrichtung zwischen 0° und 10° liegt. Während der Messung des Satzes muß die Lage des Teilkreises dieselbe bleiben; eine Sicherung hierfür erhält man dadurch, daß man nach jedem Halbsatz den zuerst angezielten Punkt nochmals anzielt und die entsprechenden Ablesungen macht.

Zur Erhöhung der Genauigkeit mißt man im allgemeinen mehrere Sätze; damit man nicht bei jedem Satz ungefähr dieselben Ablesungen

¹ Beim einfachen Theodolit (Abb. 41a) steht der Kreis ohne weiteres fest; beim Repetitionstheodolit (Abb. 41 b) muß er mit der Klemmschraube des Limbus festgehalten werden.

erhält, und mit Rücksicht auf etwa vorhandene Teilungsfehler des Kreises ändert man zwischen je zwei Sätzen bei der Messung von n Sätzen die Lage des Teilkreises um $\frac{180^\circ}{n}$. Dies setzt aber einen drehbaren Teilkreis voraus. Zwischen je zwei Sätzen hat man die Aufstellung

Richtungsweise Winkelmessung.									
Datum: 1929, Juli 29.					Bemerkungen: Zum Polygonnetz von A.				
Wetter: ruhig, bewölkt.									
Instrument: 57.									
Standpunkt	Satz	Zielpunkt	1. Fernrohrlage			2. Fernrohrlage			Gesamt-Mittel
			Nonius 1	No. minus 2	Mittel	Nonius 1	No. minus 2	Mittel aus beiden Fernrohrlagen	
A	1.	B	0 11 30	11 00	11 15	180 12 00	12 00	0 11 38	0 00 00
		C	29 45 00	45 00	45 00	209 45 30	45 45	29 45 19	29 33 41
		D	314 56 30	56 30	56 30	134 57 00	57 00	314 56 45	314 45 07
		E	345 12 30	12 30	12 30	165 13 30	13 30	345 13 00	345 01 22
2.		B	90 05 30	05 15	05 23	270 05 00	05 00	90 05 12	0 00 00
		C	119 39 00	39 00	39 00	299 38 30	38 30	119 38 45	29 33 37
		D	44 50 15	50 15	50 15	224 50 00	50 00	404 50 08	314 44 56
		E	75 07 00	06 30	06 45	255 06 00	06 30	435 06 30	345 01 18

des Theodolits mit dem angehängten Schnurlot und die Stellung der Umdrehungsachse mit der Libelle nachzusehen und wenn notwendig zu verbessern. Während der Messung eines Satzes darf man die Stellung der Umdrehungsachse nicht verändern, die Fußschrauben also nicht berühren.

Zur Aufschreibung und Berechnung der Messung verwendet man einen Vordruck von der obenstehenden Art. Bei der richtungsweisen

Winkelmessung berechnet man im allgemeinen nicht einzelne Winkel, sondern Richtungen; diese bezieht man dabei meist auf die Richtung nach dem ersten Zielpunkt, die dann die Anfangs- oder Nullrichtung vorstellt.

β) Die repetitionsweise Winkelmessung kommt insbesondere dann zur Anwendung, wenn einzelne Winkel mit großer Genauigkeit zu messen sind und die Genauigkeit der Ablesevorrichtungen des Teilkreises eine geringe ist. Die Messung besteht darin, daß man den zu bestimmenden Winkel mehrmals, und zwar in jeder Fernrohrlage gleich oft mißt und dabei nur die der ersten Zielung nach dem einen Punkt und die der letzten Zielung nach dem anderen Punkt entsprechenden zwei Ablesungen an dem Horizontalkreis macht.

Die Messung beginnt mit der Anzielung des links gelegenen Punktes *L* mit Benutzung der Klemm- und Feinbewegungsschraube vom Limbus;

Repetitionsweise Winkelmessung.

Standpunkt: <i>A</i>	Zielpunkt	Anzahl der Mess.	Nonius 1			Nonius 2		
			°	'	''	°	'	''
	<i>L</i>	0	0	00	00	180	00	30
	<i>R</i>	1	74	23	—	—	—	—
		6	86	19	30	266	19	30
	Differenz		86	19	30	86	19	00
	Mittel 6 facher Winkel		446° 19' 15''					
	Einfacher Winkel		74° 23' 13''					

nach der Ablesung an beiden Ablesevorrichtungen wird bei feststehendem Teilkreis mit Hilfe der Klemm- und Feinbewegungsschraube der Alhidade der rechts gelegene Punkt *R* angezielt. Um für die Zwecke der späteren Rechnung die Größe des zu messenden Winkels genähert zu kennen, macht man jetzt — als einzige Zwischenablesung — auf ganze Minuten genau die Ablesung an der ersten Ablesevorrichtung. Bei festgeklemmter Alhidade, so daß die Ablesungen am Teilkreis sich nicht ändern, zielt man nun wieder mit Hilfe der Limbusschrauben den Punkt *L* an; hierauf wird bei festgeklemmtem Limbus der Punkt *R* mittels der Alhidadenschrauben angezielt und damit der Winkel zum zweitenmal gemessen. Soll der Winkel $2n$ mal gemessen werden, so wird er in der ersten Fernrohrlage n mal in der angegebenen Weise — Anzielen des Punktes $\begin{Bmatrix} L \\ R \end{Bmatrix}$ mit den Schrauben $\begin{Bmatrix} \text{des Limbus} \\ \text{der Alhidade} \end{Bmatrix}$ — gemessen; sodann wird das Fernrohr durchgeschlagen und der Winkel in der zweiten Fernrohrlage in derselben Weise ebenfalls n mal gemessen. Nach der letzten Anzielung des Punktes *R* werden an den zwei Ablesevorrichtungen die entsprechenden Ablesungen gemacht.

Mit Rücksicht auf die Übersichtlichkeit bei der Messung und die Bequemlichkeit bei der Rechnung empfiehlt es sich, vor der ersten Zielung nach dem Punkt *L* die Alhidade so zum Limbus (Teilkreis)

einzustellen, daß die Ablesung an der ersten Ablesevorrichtung genau gleich $0^{\circ} 00' 00''$ ist¹; die zweite Ablesevorrichtung ist aber trotzdem abzulesen.

Für die Aufschreibung und Rechnung verwendet man einen Vor-
druck der umstehenden Art. Bei der Rechnung tritt häufig der Fall
ein, daß man zu der Differenz zwischen der Endablesung und der An-
fangsablesung ein Vielfaches von 360° addieren muß; ob und wie weit
dies notwendig ist, zeigt die Größe des einfachen Winkels.

Da man bei der Ausführung der Ablesungen den Teilkreis (Limbus)
mit der festgeklebten Alhidade beliebig drehen kann, also nicht um
das Instrument herum gehen muß, so eignet sich die repetitionsweise
Winkelmessung besonders auch für solche Fälle, bei denen ein Herum-
gehen um das Instrument nicht möglich oder nicht erwünscht ist.

4. Die Messung von Vertikalwinkeln.

Bei der Messung von Vertikalwinkeln² kann man zwei Verfahren
unterscheiden; bei dem einen mißt man jeden Winkel nur in einer
Fernrohrlage oder einmal, bei dem andern mißt man jeden Winkel in
beiden Fernrohrlagen, also zweimal.

a) Die Winkelmessung in einer Fernrohrlage erfordert eine Fernrohr-
libelle (Abb. 42c) — am besten in Form einer Doppellibelle —, deren
Achsen parallel zur Zielachse des Fernrohres liegen müssen. Bei der
Messung (Abb. 48) zielt man bei vertikal gestellter Umdrehungsachse

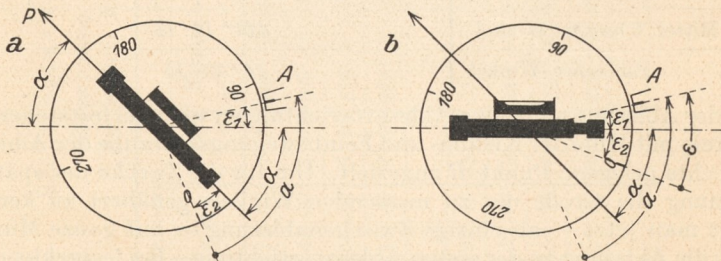


Abb. 48. Vertikalwinkelmessung in einer Fernrohrlage.

den in Frage kommenden Punkt P mit dem Horizontalfaden an und
macht an der Ablesevorrichtung A — bei der Messung in nur einer
Fernrohrlage genügt die Ablesung an nur einer Ablesevorrichtung —
die Ablesung a ; hierauf legt man die Zielachse mit Hilfe der Fernrohr-
libelle horizontal und macht die zugehörige Ablesung ε . Den zu messenden
Vertikalwinkel α erhält man dann aus $\alpha = a - \varepsilon$, wobei $\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$.
Für die Messung ist es bequem, wenn die den Fehler der Nullmarke
vorstellende Ablesung ε gleich Null ist, so daß die Ablesung a unmittelbar
den Vertikalwinkel α vorstellt. Der Fehler ε ist gleich Null, wenn bei
einspielender Fernrohrlibelle (Abb. 42c) und einspielender Nonien- oder

¹ Bei der richtungsweisen Winkelmessung ist dies nicht zu empfehlen.

² Der Vertikalwinkel einer nicht horizontalen Geraden (Zielung) ist der Winkel
zwischen der Geraden und ihrer Horizontalprojektion.

Mikroskoplible (Abb. 42b) die Ablesung gleich Null ist. Da auch während der Ablesung von a der Fehler ε der Nullmarke gleich Null sein muß, so muß die Nonienlibelle vor der Ablesung von a mit Hilfe der Schraube S (Abb. 42b) zum Einspielen gebracht werden; hierfür ist es bequem, wenn die Umdrehungsachse des Instruments gut vertikal, also senkrecht zur Achse der Alhidadenlibelle steht. Ist — wie in den meisten Fällen — das Instrument mit einer Alhidaden-, einer Nonien- und einer Fernrohrlibelle versehen, und will man dafür sorgen, daß der Nullmarkenfehler gleich Null ist, so stellt man zuerst die Umdrehungsachse senkrecht zur Achse der Alhidadenlibelle (Abb. 42a) und mit dieser vertikal; sodann macht man in der oben angegebenen Weise (Abb. 47) die Achsen der Fernrohrlibelle parallel zur Zielachse. Läßt man jetzt die Fernrohrlibelle mit der Feinbewegungsschraube des Fernrohrs einspielen und stellt man mit der Feinbewegungsschraube S der Nonienlibelle (Abb. 42b) die Ablesung $0^\circ 00' 00''$ ein, so muß die Nonienlibelle einspielen; ist dies nicht der Fall, so bringt man sie mit Hilfe ihrer Berichtigungsvorrichtung zum Einspielen.

Bei Vertikalwinkelmessungen für Geländeaufnahmen genügt im allgemeinen eine Genauigkeit von einer Minute; als Ablesevorrichtung für den Vertikalkreis empfiehlt sich daher das Strichmikroskop im Zusammenhang mit einer $\frac{1}{6}$ Gradteilung, so daß man durch Schätzung auf ganze Minuten genau ablesen kann.

b) Die **Winkelmessung in zwei Fernrohrlagen** ist am einfachsten mit einer Nonienlibelle; zweckmäßig ist es, wenn neben dieser noch eine Alhidadenlibelle vorhanden ist. Bei der Messung zielt man bei vertikal stehender Umdrehungsachse in der ersten Fernrohrlage — z. B. mit „Kreis links“ — den Punkt P (Abb. 49), nach dem der Vertikalwinkel α

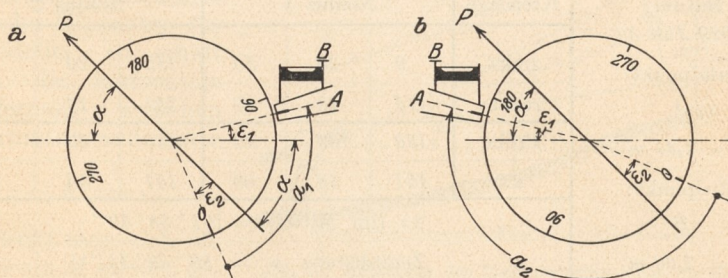


Abb. 49. Vertikalwinkelmessung in zwei Fernrohrlagen.

gemessen werden soll, mit dem Horizontalfaden an und liest an beiden Ablesevorrichtungen ab; hierauf schlägt man das Fernrohr durch, zielt den Punkt P — mit „Kreis rechts“ — wieder an und liest an beiden Ablesevorrichtungen ab. Vor der Ausführung der Ablesungen — aber nach der Zielung — muß die Nonienlibelle nachgesehen und erforderlichenfalls mit ihrer Feinbewegungsschraube zum Einspielen gebracht werden.

Sind ε_1 der — mit Rücksicht auf die während der Ablesung einspielende Nonienlibelle — unveränderliche Winkel zwischen der Horizontalen durch den Kreismittelpunkt und dem Halbmesser nach der

Nullmarke A der Ablesevorrichtung, ε_2 der unveränderliche Winkel zwischen dem Halbmesser nach dem Nullpunkt der Kreisteilung und der Projektion der Zielachse in die Teilkreisebene und a_1 bzw. a_2 die den beiden Fernrohrlagen entsprechenden Ablesungen an der einen Ablesevorrichtung, so bestehen die Gleichungen

$$a_1 = \alpha + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \quad \text{und} \quad a_2 = 180^\circ - \alpha + \varepsilon_1 + \varepsilon_2. \quad (1)$$

Durch Subtrahieren dieser Gleichungen erhält man

$$a_2 - a_1 = 180^\circ - 2\alpha \quad \text{oder} \quad a_2 - a_1 = 2z,$$

also

$$z = \frac{a_2 - a_1}{2}, \quad \text{wobei} \quad z = 90^\circ - \alpha. \quad (2)$$

Durch Addieren der Gleichungen (1) ergibt sich

$$a_1 + a_2 = 180^\circ + 2(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) \quad (3)$$

und

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = \frac{a_1 + a_2}{2} - 90^\circ.$$

Die Summe ($\varepsilon_1 + \varepsilon_2$) der beiden Winkel ε_1 und ε_2 heißt Nullmarkenfehler; bleiben ε_1 und ε_2 unverändert — eine Veränderung von ε_1 kann mit Hilfe der Berichtigungsschraube B der Nonienlibelle hervorgerufen werden, eine solche von ε_2 durch Verschieben der Fadenkreuzplatte des Fernrohrs —, so erhält man mit der Summe ($a_1 + a_2$) insofern eine Probe, als diese bei der Messung verschiedener Winkel dieselbe sein muß.

Messung von Vertikalwinkeln in zwei Fernrohrlagen.

Datum:	Kreislage	Nonius 1			Nonius 2		
1929 Juli 30		°	'	''	°	'	''
Standpunkt:	links	9	20	30	189	20	00
A	rechts	171	18	30	351	19	00
$i = 1,47\ m$	Probe	180	39	00	180	39	00
Zielpunkt:	$2z$	161	58	00	161	59	00
B	$2z$ (im Mittel) = $161^\circ 58' 30''$						
$z = 2,00\ m$	Zenitdistanz $z = 80^\circ 59' 15''$						
	Vertikalwinkel $\alpha = 9^\circ 00' 45''$						

Bei der Vertikalwinkelmessung in zwei Fernrohrlagen liest man an zwei Ablesevorrichtungen ab; sind a_1' und a_2' die der zweiten entsprechenden Ablesungen, so gelten die Gleichungen

$$z = \frac{a_2' - a_1'}{2} \quad \text{und} \quad \varepsilon_1' + \varepsilon_2 = \frac{a_1' + a_2'}{2} - 90^\circ.$$

Für die Aufschreibung der Ablesungen und die Ausführung der Rechnung verwendet man einen Vordruck der vorstehenden Art. Bei der Berechnung von $2z$ als Differenz der den beiden Fernrohrlagen

entsprechenden Ablesungen a_1 und a_2 hat man zu beachten, daß bei einem $\left\{ \begin{smallmatrix} \text{Höhen-} \\ \text{Tiefen-} \end{smallmatrix} \right\}$ Winkel $2z$ $\left\{ \begin{smallmatrix} \text{kleiner} \\ \text{größer} \end{smallmatrix} \right\}$ als 180° sein muß; hieraus ergibt sich, ob man a_1 von a_2 — wie bei der oben angenommenen Art der Bezifferung — oder a_2 von a_1 subtrahieren muß, um $2z$ zu erhalten.

Soll zur Erhöhung der Genauigkeit ein Vertikalwinkel mehrmals gemessen werden, so verändert man zwischen je zwei Messungen den Nullmarkenfehler mit Hilfe der Berichtigungsschraube der mit den Ablesevorrichtungen verbundenen Libelle; die Ablesungen sind dann bei jeder neuen Messung andere.

5. Die Messung von Strecken und Höhenunterschieden mit dem Tachymetertheodolit.

Soll die Entfernung zwischen zwei Punkten mit dem Fadenentfernungsmesser des Tachymetertheodolits bestimmt werden, so stellt man in dem einen Punkt den Theodolit und in dem andern eine „Tachymeterlatte“ vertikal auf und liest an dieser den durch die beiden entfernungsmessenden Fäden bestimmten Lattenabschnitt lab ; für den Fall, daß die Zielung über den mittleren Horizontalfaden horizontal liegt oder senkrecht zu der Latte steht, erhält man — wie früher gezeigt wurde — die Entfernung E aus $E = k_0 l \pm \Delta E$, wobei k_0 eine runde Zahl, z. B. gleich 100, und ΔE einem zu dem Instrument gehörigen Täfelchen zu entnehmen ist. Bildet die durch den mittleren Horizontalfaden bestimmte Zielachse mit der Horizontalen den Vertikalwinkel α (Abb. 50) und ist E' die schiefe Entfernung zwischen der Mitte M des Lattenabschnitts und der Kippachse des Theodolits, so erhält man die horizontale Entfernung e zwischen Instrument und Latte aus

$$e = E' \cos \alpha.$$

Denkt man sich die Latte um M so weit gedreht, bis sie senkrecht zur Zielung über den Mittelfaden steht, und bezeichnet man den Abschnitt zwischen den beiden entfernungsmessenden Fäden an der schiefstehenden Latte mit l' , so ist

$$E' = k_0 l' \pm \Delta E.$$

Beachtet man, daß $l' \approx l \cos \alpha$ ist, so erhält man

$$E' = k_0 l \cos \alpha \pm \Delta E$$

und damit

$$e = k_0 l \cos^2 \alpha \pm \Delta E \cos \alpha.$$

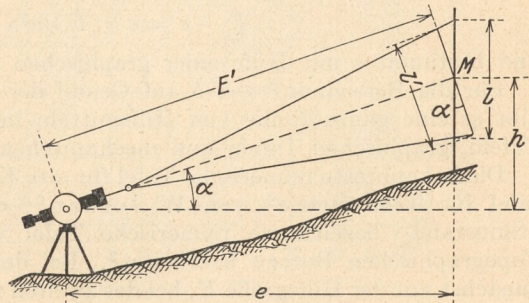


Abb. 50. Benutzung des Tachymetertheodolits zur Messung von Strecken und Höhenunterschieden.

Da ΔE im allgemeinen klein ist, so kann man auch so schreiben¹

$$e \approx k_0 l \cos^2 \alpha \pm \Delta E \cos^2 \alpha \approx (k_0 l \pm \Delta E) \cos^2 \alpha$$

oder

$$e \approx E \cos^2 \alpha, \quad \text{wobei} \quad E = k_0 l \pm \Delta E. \quad (1)$$

Die Größe E bedeutet dabei eine Hilfsgröße für die Rechnung.

Der Höhenunterschied h zwischen der Kippachse des Instruments und dem durch den Mittelfaden bestimmten Punkt M der Latte ergibt sich aus

$$h = e \operatorname{tg} \alpha. \quad (2)$$

Beachtet man die Gleichung (1), so findet man

$$h = e \operatorname{tg} \alpha \approx E \cos^2 \alpha \operatorname{tg} \alpha$$

oder

$$h \approx \frac{1}{2} E \sin 2\alpha, \quad \text{wobei} \quad E = k_0 l \pm \Delta E. \quad (3)$$

Den Lattenabschnitt l liest man je nach der verlangten Genauigkeit auf Millimeter oder Zentimeter genau ab und verwendet dementsprechend eine Latte mit Zentimeter- oder eine solche mit Halbdezimeterteilung. Für die bequeme Ablesung von l stellt man den einen der beiden äußeren Horizontalfäden mit Hilfe der Feinbewegungsschraube des Fernrohrs auf einen Strich der Lattenteilung, z. B. auf 1,00 m ein. Die Latte wird mit Benutzung einer angeschraubten Dosenlibelle vertikal gehalten.

Zur Berechnung von e auf Grund der Gleichung (1) schreibt man diese am besten in der Form

$$E - e = c = E \sin^2 \alpha$$

und bestimmt c mit Hilfe einer graphischen Tafel (Abb. 51).

Für die Berechnung von h auf Grund der Gleichungen (2) oder (3) gibt es eine ganze Reihe von Hilfsmitteln in Form von numerischen Tafeln, graphischen Tafeln und mechanischen Vorrichtungen.

Die bekannteste numerische Tafel für alte Kreisteilung ist die „Hilfs-tafel für Tachymetrie“ von W. Jordan²; eine recht bequeme, als „Sinustafel“ bezeichnete numerische Tafel wurde vom Bayerischen Topographischen Bureau bearbeitet³. Bei der ersten Tafel geht man zunächst mit der Hilfsgröße E , bei der zweiten mit dem Vertikalwinkel α in die Tafel ein; die letztere Anordnung bietet den Vorteil, daß bei Einschaltungen zwischen den Tafelwerten diese unmittelbar nebeneinander und nicht auf verschiedenen Seiten stehen. Eine numerische Tafel für neue Kreisteilung ist die „Tachymetertafel“ von N. Jadanza, deutsche Ausgabe besorgt von E. Hammer.

Die „Graphische Tachymetertafel für alte Kreisteilung“ von P. Werkmeister ist eine Tafel mit Punktskalen und einer Geraden

¹ Vgl. Hammer, E.: Über die Näherungen bei Anwendung des Fadendistanzmessers in der Tachymetrie. Z. Vermessungskunde 1905, 721.

² Die Tafel reicht in E bis 250 m. Eine von F. Reger bearbeitete Ergänzungstafel zu der Tafel von W. Jordan geht in E bis 350 m.

³ Die Tafel geht bei α bis 30° und in E bei kleineren Vertikalwinkeln bis 300 m, bei größeren bis 100 m.

zum Ablesen. Die Tafel reicht in E von 5—500 m und in h von 0,1—70 m; sie liefert h überall auf mindestens 0,1 m genau. Die von der Topographischen Abteilung des Reichsamts für Landesaufnahme bearbeitete „Graphische Kotentafel“ für alte Kreisteilung ist eine Tafel mit Kurvenskalen; die Tafel reicht im allgemeinen für alle mit dem Meßtisch und der Kippregel auszuführenden Messungen aus.

Das wichtigste und bequemste mechanische Hilfsmittel ist der logarithmische Rechenschieber, der entweder in seiner gewöhnlichen

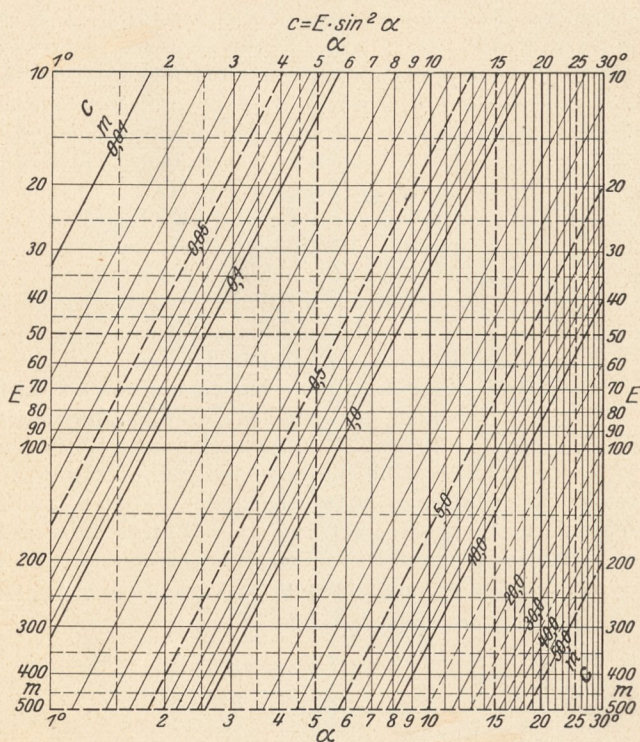


Abb. 51.

Form oder in einer Sonderform als „Tachymeterschieber“ benutzt werden kann. Benutzt man den gewöhnlichen, mit einer Tangensskala versehenen Rechenschieber, so rechnet man nach der Gleichung (2) bzw. $\log h = \log e + \log \operatorname{tg} \alpha$; für die Bestimmung der Kommastellung hat man dabei zu beachten, daß $\operatorname{tg} \alpha$ genähert gleich $\frac{\alpha}{\varrho}$ (wobei $\varrho = \frac{180^\circ}{\pi}$) oder ganz rund gleich $\frac{\alpha}{60}$ ist. Bei den besonders eingerichteten Tachymeterschiebern wird auf Grund der Gleichung (3) gerechnet; die Schieber sind dementsprechend mit einer nach α bezifferten, durch $\frac{1}{2} \sin 2\alpha$ bestimmten Teilung versehen. Die Rechnung erfolgt auf Grund der

Gleichung $\log h = \log E + \log \frac{1}{2} \sin 2\alpha$ in der beim Rechenschieber üblichen Weise. Zur Bestimmung der Kommastellung hat man zu beachten, daß $\frac{1}{2} \sin 2\alpha$ genähert gleich $\frac{\alpha}{\rho}$, also ganz rund gleich $\frac{\alpha}{60}$ ist.

Außer dem mit einem Vertikalkreis versehenenen „Kreistachymeter“ gibt es auch noch „Schiebetachymeter“; es sind dies Tachymetertheodolite mit besonderen Schiebevorrichtungen zur mechanischen Berechnung von e und h auf Grund der Gleichungen (1) bis (3) oder ähnlicher Gleichungen. Instrumente dieser Art sind diejenigen von Wagner-Fennel und von Puller-Breithaupt. Die auch als „selbstrechnende“ Tachymeter bezeichneten Schiebetachymeter sind für die Arbeiten des Topographen zu schwerfällig und unhandlich und haben deshalb bei topographischen Aufnahmen nur wenig Verwendung gefunden. Ein

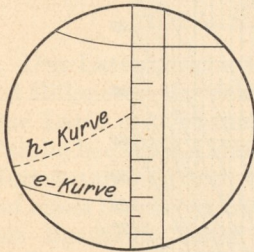


Abb. 52. Gesichtsfeld des Hammer-Fennel-Tachymeters.

selbstrechnender Tachymeter im eigentlichen Sinne ist das von E. Hammer angegebene¹, erstmals von der Firma Otto Fennel Söhne gebaute Instrument, bei dem die Berechnung von e und h nach den Gleichungen (1) und (3) auf optischem Wege erfolgt. Im linken Teil vom Gesichtsfeld des Fernrohrs erscheinen bei dem Hammerschen Tachymeter (Abb. 52) zwei Kurven — die e -Kurve und die h -Kurve —, an denen — abgesehen von dem Multiplizieren mit 100 bzw. 20 — die horizontale Entfernung e und der Höhenunterschied h unmittelbar an der im

Zielpunkt vertikal gehaltenen Latte abgelesen werden können.

In bezug auf die Genauigkeit der Streckenmessung mit dem Fadenentfernungsmesser ist zunächst zu bemerken, daß man die horizontale Entfernung e bei genaueren Messungen nach der Gleichung

$$e = k_0 l \cos^2 \alpha \pm \Delta E \cos \alpha$$

berechnet; genügt eine geringere Genauigkeit, so verwendet man die Näherungsgleichung

$$e \approx E \cos^2 \alpha, \quad \text{wobei} \quad E = k_0 l \pm \Delta E.$$

Die Genauigkeit von e ist abhängig von der Größe der mittleren Fehler $\mu_{\Delta E}$, μ_l und μ_α von ΔE , l und α . Für den durch $\mu_{\Delta E}$ an e hervorgerufenen mittleren Fehler μ_e' gilt $\mu_e' = \mu_{\Delta E} \cos^2 \alpha$; nimmt man dabei den hinsichtlich α ungünstigsten Fall an, indem man $\alpha = 0$ setzt, so erhält man $\mu_e' = \mu_{\Delta E}$. Man muß demnach ΔE mit derselben Genauigkeit kennen, mit der man e bestimmen will.

Zwischen dem durch μ_l an e verursachten mittleren Fehler μ_e'' und μ_l besteht die Beziehung $\mu_e'' = k_0 \mu_l \cos^2 \alpha$ oder für den in bezug auf α mit $\alpha = 0$ ungünstigsten Fall $\mu_e'' = k_0 \mu_l$; für $k_0 = 100$ ist demnach $\mu_e'' = 100 \mu_l$.

¹ Vgl. Hammer, E.: Der Hammer-Fennelsche Tachymetertheodolit und die Tachymeterkipregel zur unmittelbaren Lattenablesung von Horizontalabstand und Höhenunterschied. Stuttgart 1901.

Für den Einfluß μ_e''' eines Fehlers μ_α läßt sich zeigen, daß $\mu_e''' = \frac{\Delta\alpha}{\varrho} E \sin 2\alpha$, wobei $\varrho = \frac{180^\circ}{\pi}$ ist. Setzt man entsprechend der Gleichung (3) $E \sin 2\alpha = 2h$, so ergibt sich die Beziehung $\mu_e''' = 2h \frac{\Delta\alpha}{\varrho}$, damit erhält man für z. B. $\Delta\alpha = 1'$ die Werte

h	$= 0$	10	20	30	40	50 m,
μ_e'''	$= 0$	$0,01$	$0,01$	$0,02$	$0,02$	$0,03$ m.

Ein in bezug auf Einfachheit bei der Bestimmung der horizontalen Entfernung e und des Höhenunterschiedes h dem oben angeführten Instrument von E. Hammer ähnliches Instrument ist der nach den Angaben von J. Szepessy von der Firma F. Süss in Budapest gebaute selbst-rechnende Tachymeter. Der Grundgedanke dieses Instruments ergibt sich aus der Abb. 53,

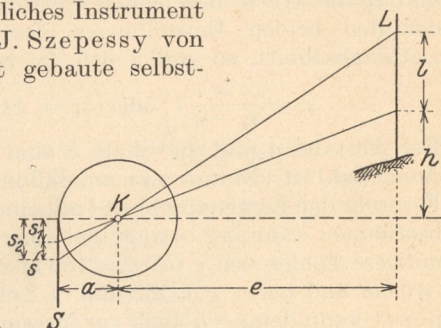


Abb. 53. Grundgedanke des Tachymeters von Szepessy.

in der L eine im Zielpunkt vertikal aufgestellte Latte und S eine im Abstand a von der Kippachse K des Instruments vertikal, mit dem Nullpunkt in der Horizontalen durch K angeordnete Skala vorstellen. Entspricht einem durch zwei Skalenstriche mit den Werten s_1 und s_2 bestimmten Skalenstück s ein an der Latte abzulesender Lattenabschnitt l , so erhält man die horizontale Entfernung e aus

$$e = \frac{a}{s} l \quad \text{oder} \quad e = kl, \quad \text{wenn} \quad k = \frac{a}{s}.$$

Den Höhenunterschied h zwischen der Kippachse und dem durch s_1 bestimmten Lattenpunkt findet man aus

$$h = \frac{e}{a} s_1.$$

Die Skala S ist bei dem Instrument zentral auf die Stirnfläche des Vertikalkreises projiziert und wird von hier mit Hilfe eines Linsen- und Prismensystems in das Gesichtsfeld des Fernrohrs übertragen, so daß in diesem einerseits die Skala S und andererseits die Latte L erscheinen. Die Additionskonstante des Fernrohrs ist gleich Null, die durch den Horizontalfaden bestimmte Zielachse geht demnach wie in der Abb. 53 stets durch die Kippachse K .

Benutzt man das Instrument zu Punktbestimmungen für topographische Zwecke, so bestimmt man den dem Abstand s zwischen zwei Strichen der Skala S entsprechenden Lattenabschnitt l ; man findet dann die Entfernung e aus $e = kl$, wobei $k = 100$ ist. Ist s_1 der Wert des zur Bestimmung des Höhenunterschiedes h benutzten Striches der Skala S , so erhält man h aus

$$h = \frac{e}{100} s_1 \quad \text{oder} \quad h = l s_1.$$

Die mit dem Instrument erreichbare Genauigkeit kann man bei der Messung von kürzeren, etwa bis 150 m langen Strecken dadurch erhöhen, daß man in der Gleichung $e = kl$ unter Ausnutzung der ganzen Länge der Latte L die Konstante k möglichst klein oder den Lattenabschnitt l möglichst groß macht; dies erfordert aber zwei Fernrohereinstellungen. Der Vorgang bei der Messung besteht darin, daß man den Horizontalfaden des Fernrohrs zunächst genähert auf das untere Lattenende und sodann genau auf den nächstgelegenen Strich der Skala S einstellt; hierauf stellt man genähert das obere Lattenende und dann genau den nächstgelegenen Strich von S mit dem Horizontalfaden ein. Sind s_1 und s_2 die Werte der beiden eingestellten Striche der Skala S und l der den beiden Einstellungen des Horizontalfadens entsprechende Lattenabschnitt, so ergibt sich die horizontale Entfernung e aus

$$e = \frac{a}{s_2 - s_1} l \quad \text{oder} \quad e = kl, \quad \text{wenn} \quad k = \frac{a}{s_2 - s_1}.$$

Der Abstand a und die Skala S sind derart, daß k in jedem Fall eine runde Zahl ist. Nimmt man an, daß man mit dem 30fach vergrößernden Fernrohr den Lattenabschnitt l mit einem mittleren Fehler von $\pm 0,001$ m bestimmen kann, so beträgt bei einer auf 3 m ausgenutzten Latte der mittlere Fehler von e bei $e = 150$ m rund ± 5 cm, bei $e = 100$ m rund ± 3 cm und bei $e = 50$ m rund ± 2 cm. Der Tachymeter von J. Szepessy kann demnach auch zur Messung der Strecken bei Polygonzügen verwendet werden.

C. Der Meßtisch mit der Kippregel.

Der Meßtisch mit der Kippregel findet hauptsächlich Verwendung bei tachymetrischen Punktbestimmungen für die Zwecke von topographischen Aufnahmen. Der Unterschied zwischen der Festlegung eines Punktes mit dem Meßtisch und der mit dem Tachymetertheodolit besteht darin, daß die Richtung beim Meßtisch in der Zeichnung — graphisch — und beim Tachymetertheodolit in Zahlen — numerisch — festgelegt wird.

1. Der Bau des Meßtisches und der Kippregel.

Der Meßtisch (Abb. 54) besteht aus dem Stativ, dem Fußgestell und der etwa 60 auf 60 cm großen Holzplatte P . Der untere, die drei Fuß- oder Stellschrauben F tragende Teil des Fußgestelles geht nach oben in eine Büchse über, in der der obere Teil mit einem Zapfen drehbar ist. Die Platte P ist mit Hilfe von drei, von Hand lösbaren Schrauben S mit dem oberen Teil des Fußgestells verbunden. Zur Festhaltung einer bestimmten Stellung der Platte P ist eine Klemmschraube K vorhanden, die mit einer Feinbewegungsschraube zur genauen Einstellung der Platte verbunden ist. Die Befestigung des Fußgestells auf dem Stativ ge-

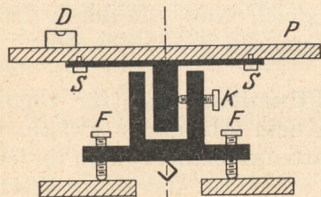


Abb. 54. Meßtisch.

schiebt in derselben Weise wie beim Theodolit entweder mit einem Stengelhaken mit Spiralfeder oder besser mit einer auf eine Fußplatte wirkenden Schraube. Die Horizontallegung der Platte *P* mittels der Fußschrauben *F* geschieht mit Benutzung einer lose aufsetzbaren, meist nicht zum Berichtigen eingerichteten Dosenlibelle *D*.

Die Kippregel (Abb. 55) besteht aus dem etwa 60 cm langen, an seiner einen Kante abgeschrägten Metallineal *A*, dem ein- oder zweiarmligen Kippachsenträger *B*, der Kippachse *C*, dem Fernrohr *D* und dem Vertikalkreis *E*. Libellen sind am besten vier vorhanden, eine auf dem Lineal sitzende Querlibelle *F*, eine Reitlibelle *G* zum Aufsetzen auf die Kippachse *C*, eine Libelle *H* auf dem Fernrohr und eine mit

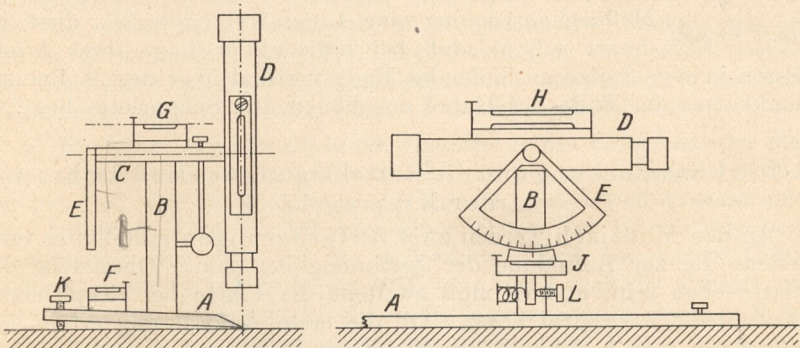


Abb. 55. Kippregel.

der Ablesevorrichtung des Vertikalkreises verbundene Libelle *J*; jede der Libellen ist mit einer Berichtigungsvorrichtung versehen. Die genaue Horizontallegung der Kippachse *C* während der Messung auf der mit der Dosenlibelle genähert horizontierten Meßtischplatte geschieht auf Grund der Libelle *F* mit Hilfe der Schraube *K*. Die Reitlibelle *G* wird nur zum Untersuchen und Berichtigen des Instruments benutzt. Die Fernrohrlibelle *H* ist mit Rücksicht auf die Untersuchung am besten eine Doppellibelle. Die Nonienlibelle *J* kann mit Hilfe einer besonderen Schraube *L* zum Einspielen gebracht werden.

Das — mit Rücksicht auf die Untersuchung der Kippregel — zum Durchschlagen eingerichtete Fernrohr ist mit einem Fadenentfernungsmesser mit der Multiplikationskonstanten gleich 100 ausgerüstet.

Eine bestimmte Lage des Fernrohrs wird mit einer Klemmschraube festgehalten; das festgeklemmte Fernrohr kann mit Hilfe einer Feinbewegungs- oder Kippschraube um kleine Beträge geneigt werden.

Der Vertikalkreis *E* ist wie beim Theodolit fest mit dem Fernrohr verbunden, so daß er beim Kippen des Fernrohrs dessen Bewegungen mitmacht. Da für die mit der Kippregel zu messenden Vertikalwinkel eine Genauigkeit von einer Minute im allgemeinen ausreicht, so mißt man mit der Kippregel die Vertikalwinkel nur in einer Fernrohrlage und liest dabei nur an einer Stelle des Vertikalkreises ab, der deshalb

nicht als Vollkreis ausgebildet sein muß. Als Ablesevorrichtung findet man meist den Nonius; doch ist auch hier — wie beim Tachymetertheodolit — das Strichmikroskop zu empfehlen.

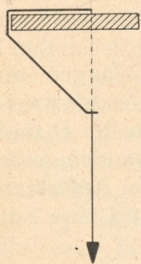


Abb. 56. Lotgabel.

Zum Einrichten der Meßtischplatte mit Hilfe der magnetischen Nordrichtung ist der Meßtischausrüstung meist eine Bussole in Gestalt einer Strich- oder Kastenbussole beigegeben; in allgemeinen ist diese fest mit dem Lineal verbunden.

Vielfach ist der Meßtisch so aufzustellen, daß ein an einer bestimmten Stelle der horizontalen Meßtischplatte liegender Punkt vertikal über dem ihm in der Natur entsprechenden Punkt liegt. Für diesen Zweck befindet sich bei der Meßtischausrüstung eine Lotgabel (Abb. 56); diese ist derart gebaut, daß bei horizontaler Lage ihres Armes dessen in eine Spitze auslaufendes Ende vertikal über dem Aufhängepunkt eines im Ende der Gabel anzuhängenden Schnurlotes liegt.

2. Die Untersuchung und die Berichtigung des Meßtisches und der Kippregel.

An den Meßtisch werden zwei Anforderungen gestellt; es muß erstens die zur Aufnahme der Zeichnung bestimmte Oberfläche der Platte eben sein, und es muß zweitens die Platte bei einspielender Dosenlibelle horizontal liegen. Ob die erste Anforderung erfüllt ist, untersucht man in der üblichen Weise mit Hilfe der Kante eines guten Lineals. Die Dosenlibelle untersucht man in der früher angegebenen Weise, wobei man sie mit den Fußschrauben einspielen läßt und dann um 180° umsetzt; sollte sich darauf ein Ausschlag zeigen, so entspricht er dem doppelten Libellenfehler, der durch entsprechendes Abschleifen der Aufsatzfläche der Libelle zu beseitigen wäre.

Bei den an die Kippregel zu stellenden Anforderungen hat man insofern zwei Arten zu unterscheiden, als die Kippregel zur Festlegung von horizontalen Richtungen und zur Messung von Vertikalwinkeln Verwendung findet.

a) Bei einer zur Festlegung von horizontalen Richtungen aufgestellten Kippregel muß die Zielachse beim Kippen des Fernrohrs eine Vertikalebene beschreiben; daraus ergeben sich die folgenden Einzelanforderungen:

α) Die Achse der Reitlibelle G muß parallel sein zur Kippachse C , so daß diese bei einspielender Libelle horizontal liegt. Die auf diese Anforderung sich beziehende Untersuchung geschieht in der Weise, daß man die Reitlibelle mit der Schraube K scharf einspielen läßt und dann die Libelle umsetzt; zeigt sich dabei ein Ausschlag, so entspricht er dem doppelten Libellenfehler und wird deshalb zur Hälfte mit der Schraube K und zur Hälfte mit der Berichtigungsvorrichtung der Reitlibelle weggeschafft. Spielt die untersuchte und erforderlichenfalls berichtigte Reitlibelle ein, so muß auch die Querlibelle F auf dem Lineal einspielen; ist dies nicht der Fall, so bringt man sie mit ihrer Berichti-

gungsvorrichtung zum Einspielen. Die Horizontallegung der Kippachse erfolgt dann beim Gebrauch der Kippregel mit Hilfe der Lineallibelle F .

β) Die Zielachse des Fernrohrs muß senkrecht stehen zur Kippachse. Bei der Untersuchung, ob diese Anforderung erfüllt ist, zielt man einen mindestens 100 m entfernten, in ungefähr derselben Höhe wie die Kippregel liegenden Punkt P bei horizontaler Kippachse an und zeichnet die durch die Linealkante bestimmte Gerade; hierauf schlägt man das Fernrohr durch, dreht die Kippregel um einen durch eine Nadel bezeichneten, am Rande der Meßtischplatte gelegenen Punkt um rund 180° und zielt den zuvor benutzten Punkt P bei horizontaler Kippachse wieder an. Zeichnet man die der zweiten Zielung entsprechende, durch die Linealkante bestimmte Gerade, und fällt diese mit der ersten nicht zusammen, so entspricht der Winkel zwischen beiden Geraden dem doppelten Zielachsenfehler; man stellt deshalb die Linealkante auf die Winkelhalbierende ein und verschiebt dann das Fadenkreuz so weit, bis der Punkt P wieder angezielt ist.

γ) Die Linealkante soll in oder parallel zu der Kippebene der Zielachse liegen. Ist diese Anforderung nicht erfüllt, so ist dies unschädlich für den Fall, daß die Zielpunkte alle ungefähr gleich weit entfernt sind, und daß man stets ungefähr denselben Punkt der Linealkante beim Anlegen benutzt. Die auf die Anforderung sich beziehende Untersuchung geschieht in der Weise, daß man der Länge des Lineals entsprechend zwei Nadeln senkrecht in die Meßtischplatte steckt und mit der dadurch bestimmten Geraden bei horizontaler Platte einen etwa 100 m entfernten Punkt anzielt; legt man dann die Linealkante an die beiden Nadeln an, so zeigt ein Blick durch das Fernrohr, ob die Anforderung erfüllt ist oder nicht.

h) Bei einer zur **Messung von Vertikalwinkeln** bestimmten Kippregel soll der Fehler der Nullmarke der Ablesevorrichtung gleich Null sein; dies ist der Fall, wenn bei einspielender Nonienlibelle und horizontal liegender Zielachse die Ablesung am Vertikalkreis gleich Null ist. Hieraus ergeben sich folgende Einzelforderungen:

α) Die Zielachse muß parallel sein zu den beiden, unter sich parallelen Achsen der Fernrohrlibelle. Bei der Untersuchung dieser Anforderung liest man zunächst in der einen Fernrohrlage — mit Libelle unten — und dann in der anderen Fernrohrlage — mit Libelle oben — bei gut einspielender Libelle an einem in etwa 40–50 m Entfernung vertikal aufgestellten Maßstab ab. Sind die dabei gemachten Ablesungen a_1 und a_2 verschieden, so liegt die Zielachse nicht parallel zu den beiden Libellenachsen und demnach bei einspielender Libelle nicht horizontal.

Der horizontalen Lage der Zielachse entspricht die Ablesung $a = \frac{a_1 + a_2}{2}$; man stellt deshalb a mit Benutzung der Kippschraube des Fernrohrs am Maßstab ein und bringt die dann ausschlagende Libelle mit Hilfe ihrer Berichtigungsvorrichtung wieder zum Einspielen.

β) Liegt die Zielachse parallel zu den Achsen der Fernrohrlibelle, so läßt man diese scharf einspielen und stellt dann mit der zu der Nonien-

libelle gehörigen Feinbewegungsschraube L (Abb. 55) am Vertikalkreis die Ablesung 0° ein; schlägt die Nonienlibelle hierauf aus, so bringt man sie mit Hilfe ihrer Berichtigungsvorrichtung zum Einspielen.

3. Die Verwendung des Meßtisches mit der Kippregel.

Bei der Verwendung des Meßtisches mit der Kippregel zu tachymetrischen Punktbestimmungen müssen Richtungen festgelegt, Strecken und Vertikalwinkel gemessen und Höhenunterschiede berechnet werden.

Die Festlegung von Richtungen erfolgt unmittelbar in der Zeichnung mit Hilfe der Linealkante der Kippregel.

Die Messung der Strecken mit dem Fadenentfernungsmesser der Kippregel geschieht genau in derselben Weise wie mit dem Tachymetertheodolit. Soll die horizontale Entfernung e zwischen dem Instrument und einem Zielpunkt Z gemessen werden, so läßt man in Z eine Tachymeterlatte vertikal aufhalten und liest an ihr den durch die beiden entfernungsmessenden Fäden bestimmten Lattenabschnitt l ab; man erhält dann e aus

$$e = E \cos^2 \alpha, \quad \text{wobei} \quad E = k_0 l \pm \Delta E.$$

Dabei ist k_0 eine runde Zahl, z. B. gleich 100; ΔE ist einem zu der betreffenden Kippregel gehörigen Täfelchen zu entnehmen. Bei der Messung des Vertikalwinkels α genügt für den angegebenen Zweck die Messung in einer Fernrohrlage; dabei liest man — für den Fall, daß der Nullenmarkenfehler gleich Null ist — bei einspielender Nonienlibelle unmittelbar α ab.

Den Höhenunterschied h zwischen der Kippachse des Instruments und dem durch den Mittelfaden bestimmten Lattenpunkt findet man aus

$$h = e \operatorname{tg} \alpha$$

oder

$$h = \frac{1}{2} E \sin 2\alpha, \quad \text{wobei} \quad E = k_0 l \pm \Delta E.$$

In bezug auf die Messung von l und α , sowie die Berechnung von e und h gelten die früher beim Tachymetertheodolit angeführten Einzelheiten.

Durch die Aerotopograph G. m. b. H. wird ein nach den Angaben von R. Huguershoff gebautes, als Autotachygraph bezeichnetes Instrument¹ in den Handel gebracht; es ist dies ein meßtischartiges Instrument mit einem als stereoskopischer Entfernungsmesser mit räumlich einstellbarer Marke ausgebildeten Fernrohr. Das Instrument bietet insbesondere den Vorteil, daß in den Zielpunkten keine Latte aufgehalten werden muß; es kommt deshalb zunächst zur Festlegung von unzugänglichen Punkten in Frage.

D. Die Instrumente der Photogrammetrie.

Die in der Photogrammetrie oder Phototachymetrie benutzten Instrumente kann man einteilen in Aufnahmeinstrumente und Aus-

¹ Vgl. Werkmeister, P.: Z. Instrumentenkd 1929, 25.

wertungsinstrumente; mit den ersteren erfolgt die Aufnahme und mit den letzteren die Auswertung von Meßbildern.

1. Die photogrammetrischen Aufnahmeinstrumente.

Die Aufnahmeinstrumente der Photogrammetrie lassen sich einteilen in Stativinstrumente und Freihandinstrumente; die ersteren werden für die Aufnahme fest aufgestellt und dienen zu Aufnahmen von der Erde aus, die letzteren werden während der Aufnahme freihändig gehalten und finden zunächst bei Aufnahmen aus Luftfahrzeugen Verwendung¹. Der wichtigste Teil von jedem Aufnahmeinstrument ist die Meßkammer.

Die Meßkammer ist eine mit einem verzeichnungsfreien Objektiv und Zentralverschluß versehene photographische Kammer, bei der die lichtempfindliche Schicht der Platte während der Aufnahme stets in demselben Abstand f vom Objektiv O (Abb. 57) liegt; das Kammer-

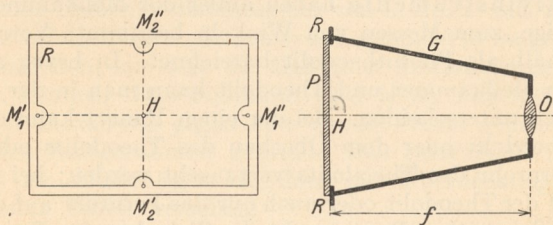


Abb. 57. Meßkammer.

gehäuse G ist deshalb starr und mit einem Rahmen R versehen, an den die Platte P vor der Aufnahme angedrückt wird. Der Anlegerahmen R und das Objektiv O sind so mit dem Gehäuse G verbunden, daß die optische Achse des Objektivs senkrecht zu der photographischen Platte P steht.

Für die Auswertung eines mit einer Meßkammer aufgenommenen Meßbildes muß man seine „innere Orientierung“ kennen. Die innere Orientierung eines Meßbildes ist bestimmt durch die Lage des hinteren Objektivhauptpunktes zur Bildebene bei der Aufnahme; man kann diese Lage auf verschiedene Arten angeben, z. B. mit Hilfe der als Bildhauptpunkt bezeichneten Projektion H des Objektivhauptpunktes auf die Bildebene oder mit Hilfe eines durch den Objektivhauptpunkt nach bestimmten Punkten des Bildes gehenden Strahlenbündels. Bei Benutzung des Bildhauptpunktes H ist die innere Orientierung bestimmt durch die Lage dieses Punktes und die Bildweite f . Den Bildhauptpunkt H erhält man als Schnittpunkt der Verbindungsgeraden von zwei auf dem Anlegerahmen angebrachten Markenpaaren M_1 und M_2 , die bei der Aufnahme mitabgebildet werden. Die Bildweite f ist bei der vom Mechaniker auf unendlich eingestellten Kammer gleich

¹ Daß die zu Aufnahmen aus Luftfahrzeugen benutzten Instrumente nicht nur freihändig gehalten werden, sondern auch im Fahrzeug eingebaut verwendet werden, bedeutet im vorliegenden Fall keinen grundsätzlichen Unterschied.

der Brennweite des Objektivs¹. Verwendet man ein Strahlenbüschel zur Festlegung der inneren Orientierung, so ist diese z. B. bestimmt durch die Winkel im Objektivhauptpunkt zwischen dem Schnittpunkt eines Achsenkreuzes einerseits und den vier, die beiden Achsen bestimmenden Marken andererseits². Die letztere Art der Angabe der inneren Orientierung einer Kammer hat insbesondere den Vorteil, daß die Orientierungswerte auch dann unverändert bleiben, wenn die Bildplatte im Augenblick der Aufnahme am Markenrahmen nicht vollständig anliegt.

Bei Meßkammern kommen Plattengrößen zwischen 9×12 und 24×30 cm und Brennweiten zwischen 100 und 1000 mm vor; für Geländeaufnahmen von der Erde aus haben sich die Plattengröße 13×18 cm und eine Brennweite von etwa 20 cm am meisten bewährt. Bei Freihandinstrumenten werden hauptsächlich 13×18 cm große Platten und Brennweiten zwischen 15 und 25 cm verwendet.

Die Stativinstrumente haben außer der Meßkammer noch eine theodolitartige, zum Messen von Winkeln bestimmte Vorrichtung; sie werden deshalb als Phototheodolit bezeichnet. In bezug auf die Verbindung von Meßkammer und Theodolit kann man in der Hauptsache drei Bauarten unterscheiden. Bei der einen Bauart kann die Kammer mit dem Theodolit oder dem Oberbau des Theodolits oder auch nur mit dem Fernrohr des Theodolits vertauscht werden; bei der anderen Bauart wird der Theodolit oder auch nur das Fernrohr auf die Kammer gesetzt; bei der dritten Bauart geht die Zielachse des Fernrohrs durch die Kammer, wobei das Kammerobjektiv zugleich Fernrohrobjektiv sein kann oder nicht.

Unter den Stativinstrumenten gibt es solche, bei denen die Meßkammer nur mit vertikaler stehender Bildebene benutzt wird, und solche, bei denen die Kammer und damit die Bildebene, z. B. für Aufnahmen in steilem Gelände, beliebig oder um bestimmte unveränderliche Beträge geneigt werden kann. In bezug auf die Bequemlichkeit bei der Auswertung verdienen Aufnahmen mit vertikaler Bildebene den Vorzug. Um die nur für Aufnahmen mit vertikaler Bildebene eingerichteten Instrumente auch in steilem Gelände verwenden zu können, ist bei ihnen das Objektiv zum Verschieben in vertikalem Sinn eingerichtet, oder es ist die Kammer z. B. mit drei, übereinander angeordneten Objektiven versehen.

Die an einen Phototheodolit zu stellenden Anforderungen, die hierauf sich beziehenden Untersuchungen und die unter Umständen nötigen Berichtigungen sind von der Bauart des Instruments abgängig³.

¹ Vgl. z. B. Werkmeister, P.: Bestimmung der inneren Orientierung der Kammer eines Phototheodolits. Z. Instrumentenkde 1930.

² Zur Messung dieser Winkel baut G. Heyde einen besonderen Theodolit nach den Angaben von R. Huguershoff.

³ Vgl. z. B. die von C. Pulfrich gemachten Angaben in der Druckschrift Mess 145 von C. Zeiß; ferner Hohanner, H.: Ein neuer Universalphototheodolit. Internat. Arch. Photogrammetrie 5, 228 und Doležal, E.: Das Phototachymeter Doležal-Rost. Internat. Arch. Photogrammetrie 6, 219.

Die Freihandinstrumente bestehen aus einer mit Handgriffen versehenen Meßkammer mit Zielvorrichtung, Dosenlibelle und Auslöser. Die wenig empfindliche Dosenlibelle kann in der Zielrichtung geneigt und mit Hilfe einer Gradteilung auf einen bestimmten Neigungswinkel eingestellt werden. Der hebelartig wirkende Auslöser ist in der Nähe des rechten Handgriffs derart angebracht, daß er durch einen Druck mit dem Zeigefinger betätigt werden kann. Mit Rücksicht auf die vom Luftfahrzeug aus meist rasch hintereinander auszuführenden Aufnahmen werden besondere, einen raschen Wechsel der Platten ermöglichende „Wechselkassetten“ verwendet.

Zu den Freihand-, d. h. nicht fest aufgestellten Instrumenten gehören die als Reihenbildner bezeichneten Kammer, die im Luftfahrzeug eingebaut selbsttätig eine zusammenhängende Reihe von Aufnahmen herstellen, durch deren Aneinanderreihung ein größerer Geländestreifen lückenlos überdeckt wird. Ein Instrument dieser Art ist z. B. die selbsttätig arbeitende Reihenmeßbildkammer von C. Zeiß¹ mit 21 cm Brennweite; bei ihr erfolgen die Aufnahmen auf einem 60 m langen und 19 cm breiten Filmstreifen, mit dem 460 Meßbilder hintereinander aufgenommen werden können. Das Filmband wird je im Augenblick der Aufnahme durch Staudruck gegen eine ebene Platte gedrückt und mit dieser an den Anlegerahmen gepreßt. Das Instrument ist mit einer Vorrichtung zur selbsttätigen Regelung der Überdeckung der aufeinander folgenden Bilder versehen.

2. Die photogrammetrischen Auswertungsinstrumente.

Die Auswertungsinstrumente kann man in zwei Gruppen einteilen; die eine Gruppe umfaßt die Instrumente zur Auswertung von Aufnahmen in horizontalem und vertikalem Sinn, zur anderen Gruppe gehören diejenigen Instrumente, mit denen eine Auswertung nur in horizontalem Sinn möglich ist. Die Instrumente der ersten Gruppe gestatten demnach die Festlegung von jedem Punkt nach Lage und Höhe; mit den nur bei horizontalem Gelände in Betracht kommenden Instrumenten der zweiten Gruppe kann man jeden Punkt nur seiner Lage nach festlegen. Die Instrumente der ersten Gruppe erfordern zwei, von verschiedenen Standpunkten aus aufgenommene Meßbilder, man kann sie daher als Zweibildinstrumente bezeichnen; bei den Instrumenten der zweiten Gruppe geschieht die Auswertung auf Grund von nur je einem Bild, sie sind deshalb Einbildinstrumente.

a) Die Zweibildinstrumente haben die folgende Aufgabe zu lösen: Von einem Stück der Erdoberfläche wurde von zwei verschiedenen Punkten aus je ein Meßbild aufgenommen, auf Grund von diesen beiden Bildern soll das Geländestück nach Lage und Höhe dargestellt werden; die beiden Bildebenen können dabei beliebig im Raum liegen.

Zweibildinstrumente sind der von C. Pulfrich erdachte Stereokomparator von C. Zeiß, der nach den Gedanken von E. v. Orel bei

¹ Vgl. Schneider, F.: Ein neues Reihenbildgerät für Luftmeßaufnahmen. Bildmessung u. Luftbildwesen 1926, 29.

C. Zeiß gebaute Stereoautograph¹, der von R. Hugershoff erdachte Autokartograph² von G. Heyde, der nach den Angaben von W. Bauersfeld bei C. Zeiß hergestellte Stereoplanigraph³, der von M. Gasser angegebene Doppelprojektor, der von H. Wild erdachte und gebaute Autograph⁴ und der nach den Angaben von R. Hugershoff von G. Heyde gebaute Aerokartograph⁵.

Der Stereokomparator gestattet nur punktweise Auswertung der Bilder; mit den anderen Instrumenten können die Bilder linienweise ausgewertet werden. Der Stereokomparator und der Stereoautograph kommen zunächst zur Auswertung von Bildern in Frage, die von der Erde aus mit vertikalen Bildebenen aufgenommen wurden; der Autokartograph, der Stereoplanigraph, der Doppelprojektor, der Aerokartograph und der Autograph können auch zur Auswertung von Bildern benutzt werden, die vom Luftfahrzeug aus aufgenommen wurden.

b) Mit den Einbildinstrumenten kann man schräg, vom Luftfahrzeug aus aufgenommene Bilder so umformen oder entzerren, daß sie die Eigenschaften von Bildern mit horizontaler Bildebene haben; die Instrumente heißen deshalb auch Umformer oder Entzerrungsinstrumente. Da ein umgeformtes oder entzerrtes Bild — ungefähr horizontales Gelände vorausgesetzt — unmittelbar den Grundriß des von ihm erfaßten Geländestücks liefert, so heißen die Einbildinstrumente auch Grundrißbildner.

Die Hauptteile eines Einbildinstruments sind die Lichtquelle Q (Abb. 58), die Kondensorlinse K , der Bildhalter B , die Linse L und

der Projektionsschirm S . Der Bildhalter B dient zur Befestigung der Negativplatte des umzuformenden Bildes; auf dem Schirm S wird entweder ein lichtempfindliches Papier oder eine lichtempfindliche Platte zum Auffangen des umgeformten Bildes angebracht. Der Winkel ν zwischen den Ebenen des Bildhalters B und des Schirmes S muß

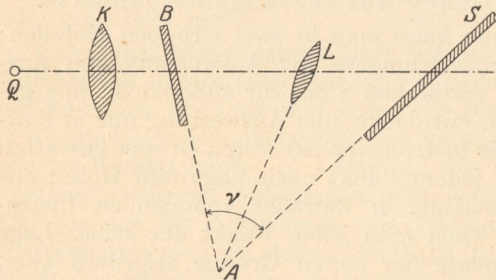


Abb. 58. Grundgedanke der Entzerrungsgeräte.

gleich dem Neigungswinkel des Bildes gegen die Horizontale im Augenblick der Aufnahme sein; Bildhalter B und Schirm S sind deshalb

¹ Vgl. Lüscher, H.: Der Stereoautograph Modell 1914, seine Berichtigung und Anwendung. Z. Instrumentenkde 1919, 2.

² Vgl. Doležal, E.: Photogrammetrische Instrumente. Internat. Arch. Photogrammetrie 6, 288.

³ Vgl. Gruber, O. v.: Der Stereoplanigraph der Firma Carl Zeiß, Jena. Z. Instrumentenkde 1923, 1.

⁴ Vgl. Die Photogrammetrie und ihre Anwendung bei der schweizerischen Grundbuchvermessung und bei der allgemeinen Landesvermessung. Sammlung von Referaten. Brugg 1926, 141.

⁵ Vgl. Gruner, H.: Der Aerokartograph nach Prof. Dr.-Ing. Hugershoff, Stuttgart.

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.

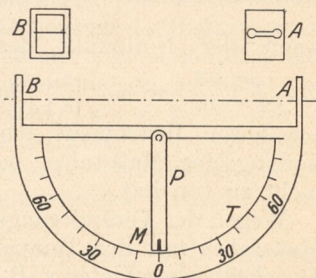


Abb. 59. Neigungsmesser.

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.

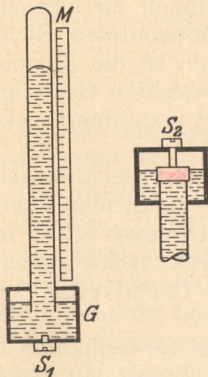


Abb. 60. Gefäßbarometer.

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 $\left\{ \begin{smallmatrix} \text{verkleinern} \\ \text{vergrößern} \end{smallmatrix} \right\}$, wenn der Nullpunkt des Maßstabes $\left\{ \begin{smallmatrix} \text{eintaucht} \\ \text{absteht} \end{smallmatrix} \right\}$; dabei ist $c_1 = (b - b_0) \frac{d^2}{D^2}$, wobei $\left\{ \frac{D}{d} \right\}$ der Durchmesser $\left\{ \begin{smallmatrix} \text{des Gefäßes} \\ \text{der Röhre} \end{smallmatrix} \right\}$ 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 $\left\{ \begin{smallmatrix} \text{Quecksilbers} \\ \text{Maßstabes} \end{smallmatrix} \right\}$ 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-

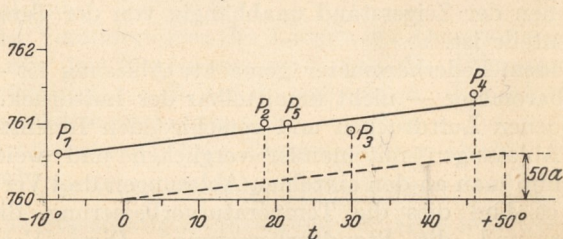


Abb. 61. Bestimmung des Temperaturkoeffizienten eines Federbarometers.

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

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

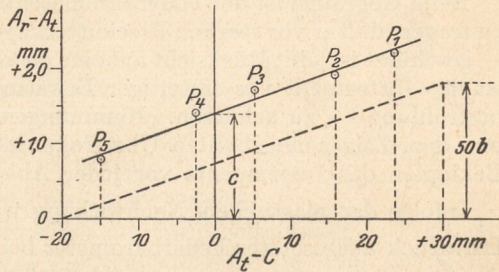


Abb. 62. Bestimmung des Teilungskoeffizienten und der Standverbesserung eines Federbarometers.

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-

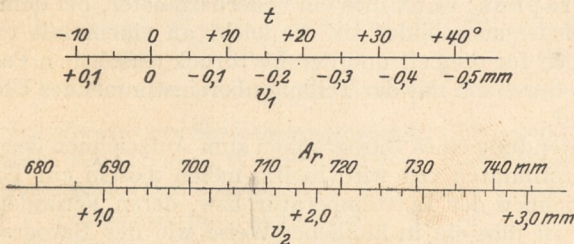


Abb. 63. Tafeln zur Bestimmung der Verbesserungen eines Federbarometers.

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.

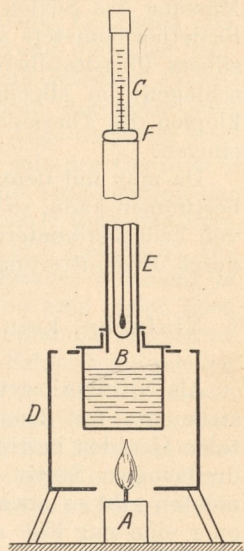


Abb. 64. Siedethermometer.

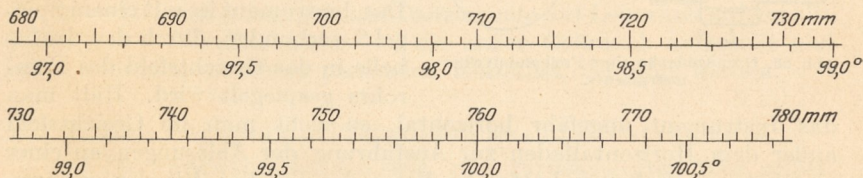


Abb. 65. Tafel zur Bestimmung des Luftdrucks für eine gemessene Siedetemperatur von Wasser.

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,

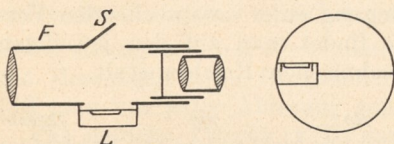


Abb. 66. Grundgedanke eines Freihandnivellierinstrumentes.

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 gesichene 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

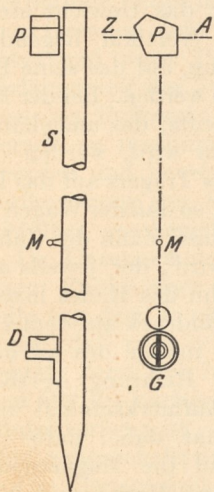
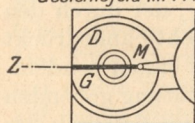


Abb. 67. Nivellierstab.

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.

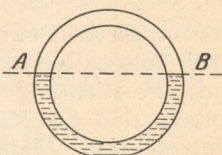


Abb. 68. Kanalwaage.

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

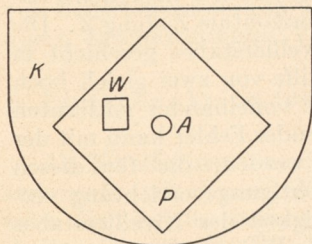
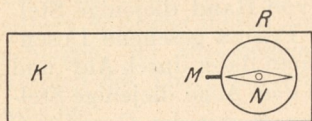


Abb. 69.
Grundgedanke des Pedographen.

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. Hugerhoff 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 von besser auf einem Holzstab benutzt werden.

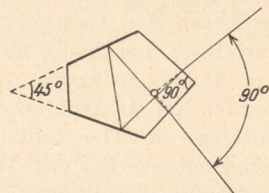


Abb. 70. Fünfseitprisma.

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.

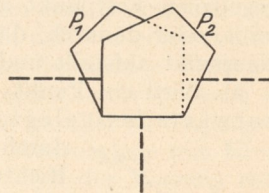


Abb. 71. Prismenkreuz.