

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  $2^\circ$  — 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 Alhadenlibelle *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

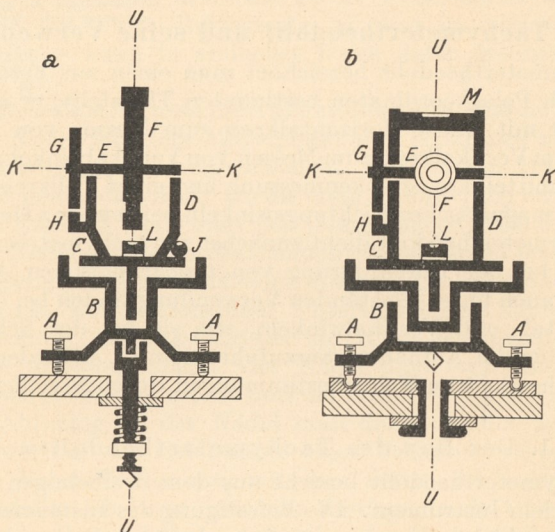


Abb. 41. Schematische Darstellung von einem einfachen Theodolit und einem Repetitionstheodolit.

Vertikalkreises *G*; es kann dies sein eine feste Alhadenlibelle (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  $1^\circ$ ,  $\frac{1^\circ}{2}$ ,  $\frac{1^\circ}{3}$  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

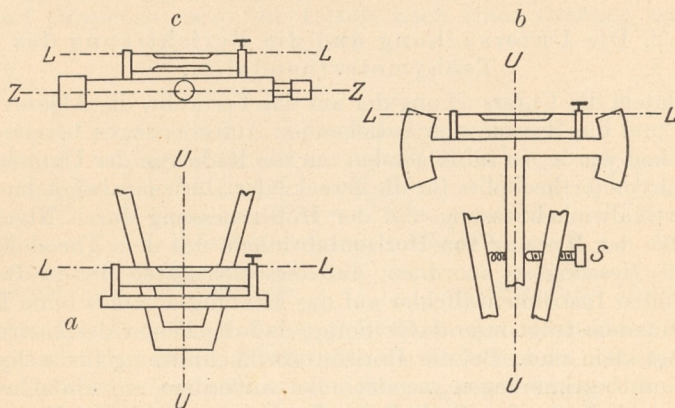


Abb. 42. Libellenanordnungen für Vertikalwinkelmessung.

liegendem Kreis an der beim Okular des Fernrohrs liegenden Ablesevorrichtung bei horizontaler Zielachse  $0^\circ$  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.

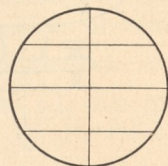


Abb. 43. Gesichtsfeld eines Fernrohrs mit Fadenentfernungsmesser.

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.

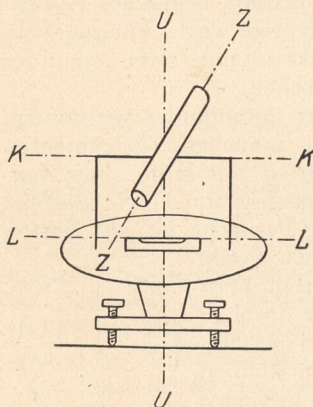


Abb. 44. Die vier Achsen eines Theodolits.

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 gestellt<sup>1</sup>. 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°

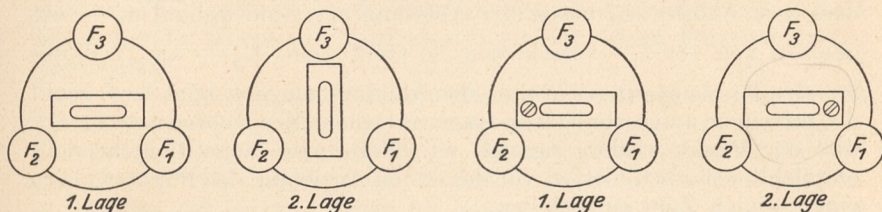


Abb. 45. Vertikalstellen der Umdrehungsachse eines Instruments mit einer Röhrenlibelle.

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 an<sup>2</sup> 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

<sup>1</sup> Man könnte die Umdrehungsachse auch mit Hilfe der Dosenlibelle näherungsweise vertikal stellen.

<sup>2</sup> 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  $0^\circ$  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  $180^\circ$ , zielt denselben Punkt wieder an und macht mit derselben Ablesevorrichtung die Ablesung  $a_2$ . Sind  $a_1$  und  $a_2$  — abgesehen von  $180^\circ$  — 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  $180^\circ$  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  $0^\circ$  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

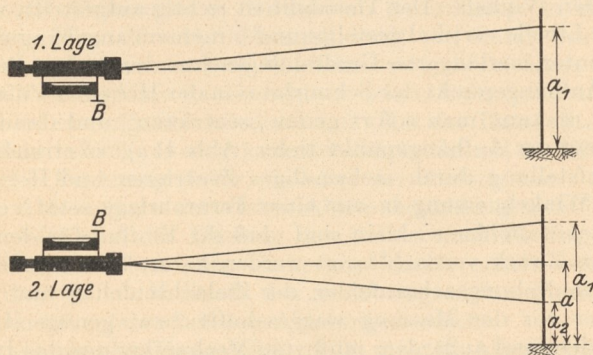


Abb. 47. Untersuchung der Fernrohrlibelle eines Tachymetertheodolits.

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  $0^\circ$  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  $\varphi$  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 feststehenden<sup>1</sup> Horizontalkreis; der Winkel  $\varphi$  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  $0^\circ$  ist; die Ablesung  $b$  stellt dann unmittelbar den Winkel  $\varphi$  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  $180^\circ$  auseinander liegenden Ablesvorrichtungen 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 repetitionweise 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 Ablesvorrichtungen 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 Ablesvorrichtung zwischen  $0^\circ$  und  $10^\circ$  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

<sup>1</sup> 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<br>der<br>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  $0^{\circ} 00' 00''$  ist<sup>1</sup>; die zweite Ablesevorrichtung ist aber trotzdem abzulesen.

Für die Aufschreibung und Rechnung verwendet man einen Vordruck der umstehenden Art. Bei der Rechnung tritt häufig der Fall ein, daß man zu der Differenz zwischen der Endablesung und der Anfangsablesung ein Vielfaches von  $360^{\circ}$  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 Herumgehen um das Instrument nicht möglich oder nicht erwünscht ist.

#### 4. Die Messung von Vertikalwinkeln.

Bei der Messung von Vertikalwinkeln<sup>2</sup> 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 Fernrohrlibelle (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

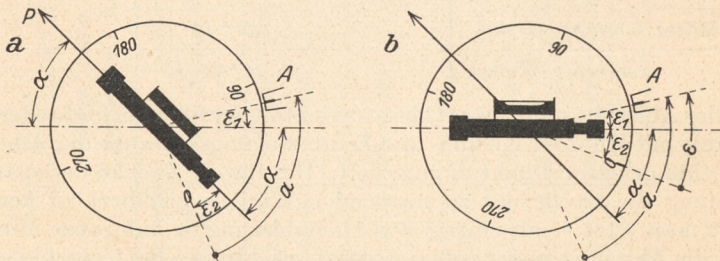


Abb. 48. Vertikalwinkelmessung in einer Fernrohrlage.

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 Fernrohrlibelle horizontal und macht die zugehörige Ablesung  $\varepsilon$ . Den zu messenden Vertikalwinkel  $\alpha$  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  $\varepsilon$  gleich Null ist, so daß die Ablesung  $a$  unmittelbar den Vertikalwinkel  $\alpha$  vorstellt. Der Fehler  $\varepsilon$  ist gleich Null, wenn bei einspielender Fernrohrlibelle (Abb. 42c) und einspielender Nonien- oder

<sup>1</sup> Bei der richtungsweisen Winkelmessung ist dies nicht zu empfehlen.

<sup>2</sup> 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  $\varepsilon$  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  $\alpha$

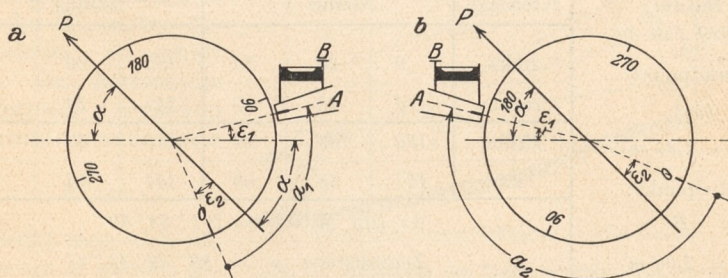


Abb. 49. Vertikalwinkelmessung in zwei Fernrohrlagen.

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  $\varepsilon_1$  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,  $\varepsilon_2$  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  $\varepsilon_1$  und  $\varepsilon_2$  heißt Nullmarkenfehler; bleiben  $\varepsilon_1$  und  $\varepsilon_2$  unverändert — eine Veränderung von  $\varepsilon_1$  kann mit Hilfe der Berichtigungsschraube  $B$  der Nonienlibelle hervorgerufen werden, eine solche von  $\varepsilon_2$  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  $180^\circ$  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  $\Delta E$  einem zu dem Instrument gehörigen Täfelchen zu entnehmen ist. Bildet die durch den mittleren Horizontalfaden bestimmte Zielachse mit der Horizontalen den Vertikalwinkel  $\alpha$  (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

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

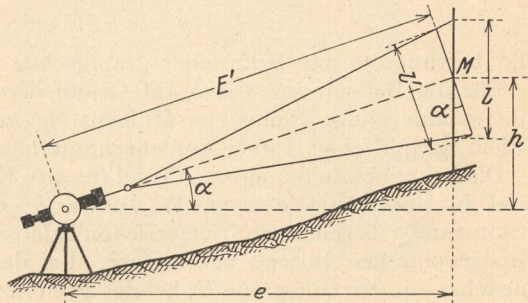


Abb. 50. Benutzung des Tachymetertheodolits zur Messung von Strecken und Höhenunterschieden.

Da  $\Delta E$  im allgemeinen klein ist, so kann man auch so schreiben<sup>1</sup>

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

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. Jordan<sup>2</sup>; eine recht bequeme, als „Sinustafel“ bezeichnete numerische Tafel wurde vom Bayerischen Topographischen Bureau bearbeitet<sup>3</sup>. Bei der ersten Tafel geht man zunächst mit der Hilfsgröße  $E$ , bei der zweiten mit dem Vertikalwinkel  $\alpha$  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

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

<sup>2</sup> 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.

<sup>3</sup> Die Tafel geht bei  $\alpha$  bis  $30^\circ$  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

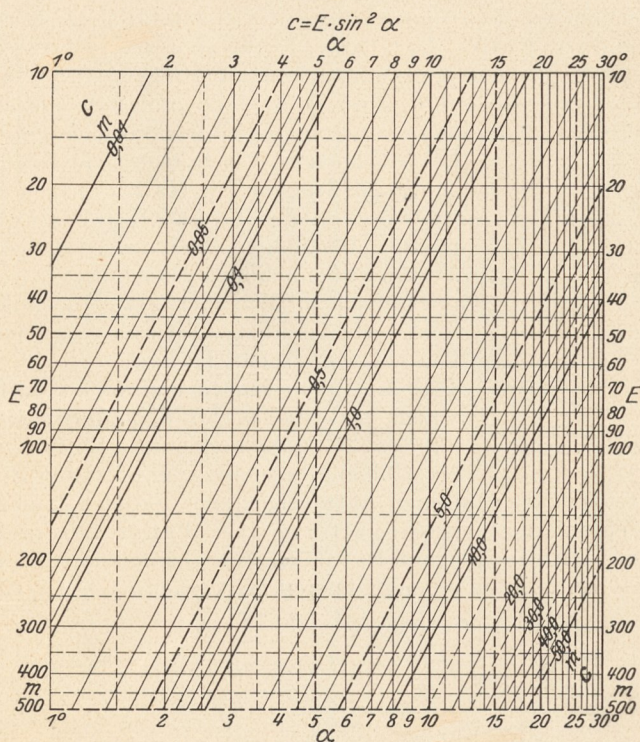


Abb. 51.

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  $\alpha$  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  $\frac{\alpha}{\varrho}$ , 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

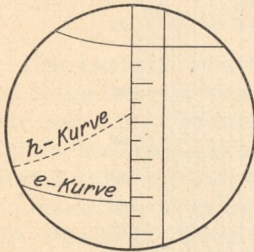


Abb. 52. Gesichtsfeld des Hammer-Fennel-Tachymeters.

selbstrechnender Tachymeter im eigentlichen Sinne ist das von E. Hammer angegebene<sup>1</sup>, 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  $\mu_{\Delta E}$ ,  $\mu_l$  und  $\mu_\alpha$  von  $\Delta E$ ,  $l$  und  $\alpha$ . Für den durch  $\mu_{\Delta E}$  an  $e$  hervorgerufenen mittleren Fehler  $\mu_e'$  gilt  $\mu_e' = \mu_{\Delta E} \cos^2 \alpha$ ; nimmt man dabei den hinsichtlich  $\alpha$  ungünstigsten Fall an, indem man  $\alpha = 0$  setzt, so erhält man  $\mu_e' = \mu_{\Delta E}$ . Man muß demnach  $\Delta E$  mit derselben Genauigkeit kennen, mit der man  $e$  bestimmen will.

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

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

Für den Einfluß  $\mu_e'''$  eines Fehlers  $\mu_\alpha$  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,   |
| $\mu_e'''$ | $= 0$ | $0,01$ | $0,01$ | $0,02$ | $0,02$ | $0,03$ 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, 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

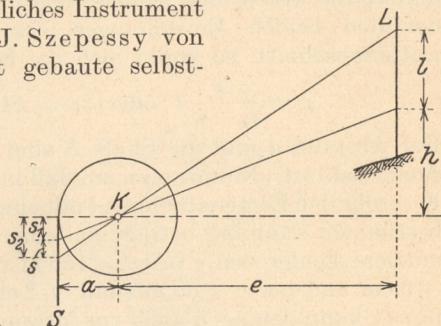


Abb. 53. Grundgedanke des Tachymeters von Szepessy.

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

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  $\pm 5$  cm, bei  $e = 100$  m rund  $\pm 3$  cm und bei  $e = 50$  m rund  $\pm 2$  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-

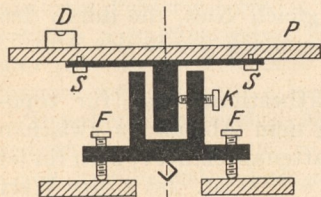


Abb. 54. Meßtisch.