

Vermessungskunde

von

Dr. Ing., Dr. Ing. E. h. Walter Großmann
o. Professor an der Technischen Hochschule Hannover

II

Horizontalaufnahmen und ebene Rechnungen

Zehnte, verbesserte Auflage

Mit 101 Figuren



Sammlung Göschen Band 469/469 a

Walter de Gruyter & Co · Berlin 1967

vormals G. J. Göschen'sche Verlagshandlung · J. Guttentag,
Verlagsbuchhandlung · Georg Reimer · Karl J. Trübner · Veit & Comp.

Die Gesamtdarstellung umfaßt noch folgende Bände:

Band I: Stückvermessung und Nivellieren (Sammlung Göschel Band 468). Inhalt: Grundlagen; Abstecken und Messen gerader Linien; Aufnehmen und Auftragen kleiner Lagepläne; Flächenberechnung; Bestandteile geodätischer Meßinstrumente; Instrumente und Geräte zum Nivellieren; Nivellierverfahren. 12. Aufl. 1965.

Band III: Trigonometrische und barometrische Höhenmessung, Tachymetrie und Absteckungen. (Sammlung Göschel Band 862). Inhalt: Trigonometrische Höhenmessung; Barometrische Höhenmessung; Tachymetrische Instrumente; Tachymetrische und topographische Aufnahmeverfahren; Absteckungsarbeiten. 8. Aufl. 1965.

Für die 1. bis 7. Auflage (1910 bis 1949) dieses Bandes II zeichnete als Verfasser Professor Dr. Paul Werkmeister. 1959 erschien eine vollständige Neubearbeitung (8. Aufl.) von Professor Dr. Walter Großmann, die die Grundlage der 9. Auflage (1963) und dieser vorstehenden Auflage ist.



Copyright 1967 by Walter de Gruyter & Co., vormals G. J. Göschen'sche Verlagshandlung — J. Guttentag Verlagsbuchhandlung — Georg Reimer — Karl J. Trübner — Veit & Comp., Berlin 30. — Alle Rechte, einschl. der Herstellung von Photokopien und Mikrofilmen, von der Verlagshandlung vorbehalten. — Archiv-Nr. 7990679. — Satz und Druck: Walter de Gruyter & Co., Berlin 30. — Printed in Germany.

Inhaltsverzeichnis

1 Der Theodolit und das Messen von Horizontalwinkeln	Seite
11 Horizontal-, Vertikal- und Positionswinkel	7
12 Der Theodolit	7
12.1 Der äußere Aufbau	7
12.2 Die Achsen	8
12.21 Die Vertikal- oder Stehachse	8
12.22 Die Horizontal- oder Kippachse	11
12.23 Die Kollimations- oder Zielachse	11
12.24 Die Libellenachsen	11
12.3 Die Kreise	12
12.31 Der Horizontalkreis	12
12.32 Der Vertikal- oder Höhenkreis	12
12.4 Die Klemmen und die Feinstellschrauben	13
12.5 Die Ablesevorrichtungen	14
13 Nonius und Noniustheodolite	14
13.1 Der Nonius	14
13.2 Die Noniustheodolite	16
14 Ablesemikroskope und Mikroskoptheodolite	16
14.1 Die Einrichtung der Ablesemikroskope	16
14.2 Die Haupttypen der Ablesemikroskope	19
14.21 Das Strichmikroskop	19
14.22 Das Skalamikroskop	21
14.23 Das Koinzidenzmikroskop	22
14.3 Die Mikroskoptheodolite	25
14.31 Die Bautheodolite	25
14.32 Die Ingenieurtheodolite	25
14.33 Die Feinmeßtheodolite	27
14.34 Selbstregistrierende Theodolite	30
15 Zusatzeinrichtungen	30
15.1 Schnurlot, starres Lot und optisches Lot	30
15.2 Die Zwangszentrierung	31
15.3 Sonstige Zusatzeinrichtungen	33
16 Untersuchung und Berichtigung des Theodolits.	33
16.1 Die Achsenfehler	33
16.11 Der Zielachsenfehler	34
16.12 Der Kippachsenfehler	35
16.13 Der Stehachsenfehler	36
16.2 Die Exzentrizitätsfehler	37
16.21 Alhidadenexzentrizität und Zeigerarmknickung	37
16.22 Exzentrizität der Zielachse	38
16.3 Die Kreistellungsfehler	39
16.4 Die mechanischen Fehler in der Praxis	39

	Seite
17 Die Horizontalwinkelmessung	39
17.1 Allgemeine Regeln	39
17.2 Die einfache Winkelmessung	40
17.3 Die Richtungs- oder Satzmessung	40
17.4 Die Repetitionswinkelmessung	43
17.5 Besondere Winkelmeßverfahren	44
17.51 Die Winkelmessung mit Horizontschluß	44
17.52 Die Winkelmessung in allen Kombinationen	45
17.53 Die Sektorenmethode	45
2 Streckenmessung mit Streckenmeßgeräten	
21 Direkte Streckenmessung mit freihängenden Bändern	46
21.1 Grundlagen	46
21.2 Streckenmessung mit einem 100-m-Band	48
21.3 Basismessung mit Invardrähten	50
22 Indirekte Streckenmessung mit Basislatte	51
22.1 Grundlagen	51
22.2 Einrichtung und Aufstellung der Basislatte	52
22.3 Parallaktische Winkelmessung mit dem Theodolit	53
22.4 Anordnung der Messung	53
22.41 Basis am Ende	53
22.42 Basis in der Mitte	54
22.43 Hilfsbasis am Ende	54
22.44 Hilfsbasis in der Mitte	55
22.5 Meßbereiche	55
23 Indirekte Streckenmessung mit Doppelbildtachymetern	56
23.1 Grundlagen	56
23.2 Einfache Doppelbildtachymeter	57
23.3 Doppelbildtachymeter mit Reduktionseinrichtung	59
24 Fehlerbekämpfung bei der optischen Streckenmessung	61
24.1 Bodennahe Refraktion, Flimmern und Schweben	61
24.2 Fehler des Instruments	62
24.3 Fehler der Latte	62
24.4 Fehlerhafte Aufstellung der Latte	63
24.5 Persönliche Fehler	63
25 Streckenmessung mit elektromagnetischen Wellen	64
25.1 Grundlagen	64
25.2 Das Geodimeter	65
25.3 Mikrowellengeräte	70
25.4 Große Reichweiten	72
25.5 Reduktion der abgelesenen Distanzen	73
3 Polygonometrische Punktbestimmung	
31 Anlage und Messung von Polygonnetzen	76
31.1 Ringpolygone und Polygonzüge	76
31.2 Auswahl der Polygonpunkte	78
31.3 Messen der Seiten und Winkel	79

	Seite
32 Grundaufgaben der ebenen Koordinatenrechnung	80
32.1 Der Richtungswinkel	80
32.2 Rechtwinklige Koordinaten aus Strecke und Richtungs- winkel	81
32.3 Strecke und Richtungswinkel aus rechtwinkligen Koordi- naten	82
33 Berechnung der Polygone	84
33.1 Berechnung eines Ringpolygons	84
33.2 Beiderseits angeschlossene Polygonzüge	87
33.3 Einseitig angeschlossene und freie Polygonzüge	90
33.4 Auffinden grober Beobachtungsfehler	91
34 Die Genauigkeit der Polygonierung	92
34.1 Die Fehlertheorie des gestreckten Zuges	92
34.2 Die amtlichen Fehlergrenzen	94
35 Sonderfälle der Polygonierung	95
35.1 Anschluß an unzugängliche Punkte	95
35.2 Ausschalten kurzer Seiten	96
35.3 Polygonzugverknötung	97
35.4 Feinpolygonzüge in Netzen mit Spannungen	99
35.5 Polare Bestimmung von Polygonpunkten	99
36 Aufnahmen und Rechnungen im Liniennetz	100
36.1 Orthogonal- und Polarverfahren	100
36.2 Schnitt zweier Geraden	101

4 Trigonometrische Punktbestimmung

41 Anlage eines Kleindreiecksnetzes	102
41.1 Grundlagen der Dreiecksmessung	102
41.2 Auswahl und Vermarkung der Dreieckspunkte	103
41.3 Messungen im Kleindreiecksnetz	104
41.31 Die Dreiecksseiten	104
41.32 Die Dreieckswinkel	105
42 Exzentrische Winkelmessung	105
42.1 Standpunktzentrierung	106
42.2 Indirekte Bestimmung der Zentrierungselemente	107
42.3 Zielpunktzentrierung	109
42.4 Gebrochene Strahlen	110
43 Berechnung eines Kleindreiecksnetzes	112
43.1 Grundlagen	112
43.2 Berechnung einfacher Figuren	112
43.21 Einfache Dreieckskette	112
43.22 Zentralsystem	113
43.23 Diagonalenviereck	115
44 Das Vorwärtseinschneiden	116
44.1 Allgemeine Lösung	116
44.2 Rechenmaschinenlösungen	117
44.3 Die Genauigkeit des Vorwärtseinschneidens	119
45 Das Rückwärtseinschneiden	119
45.1 Die Kaestnersche Lösung	119
45.2 Die Collinssche Lösung	121
45.3 Die Cassinische Lösung	123
45.4 Die Genauigkeit des Rückwärtseinschneidens	125

	Seite
46 Weitere Einschneldeaufgaben	126
46.1 Das mehrfache Rückwärtseinschneiden	126
46.2 Die Aufgabe der beiden Punktpaare	126
47 Vereintes Vor- und Rückwärtseinschneiden	128
47.1 Die Messungsanordnung	128
47.2 Das Orientieren der beobachteten Richtungen	129
47.3 Entwerfen der fehlerzeigenden Figur	130
47.4 Auswahl des günstigsten Punktes	131
47.5 Probe- und Fehlerrechnung	132
48 Grundlagen der Landesvermessung	132
48.1 Anlage eines Landesdreiecksnetzes	133
48.2 Berechnung eines Landesdreiecksnetzes	136
48.3 Die Soldnerschen Koordinaten	137
48.4 Die Gaußschen Koordinaten	139
48.5 Die Gauß-Krügerschen Meridianstreifensysteme	141
49 Koordinatentransformation	142
Neuere Lehr- und Handbücher	146
Sachverzeichnis	147

1 Der Theodolit und das Messen von Horizontalwinkeln

11 Horizontal-, Vertikal- und Positionswinkel

Es seien drei Punkte A , B und C mit unterschiedlichen Meereshöhen gegeben, und es sei im Punkt B der Winkel ABC zu bestimmen. Dabei kommen verschiedene Winkel in Frage. Der Winkel ABC , der in der durch die drei Punkte A , B und C gegebenen — schiefen — Ebene liegt, heißt Positionswinkel; er kann mit einem Sextanten gemessen werden. In der Geodäsie wird dieser Winkel nicht benutzt; man versteht hier vielmehr unter dem Winkel ABC zunächst den Horizontal- oder Lagewinkel α , der im Punkt B von den Projektionen der Seiten BA und BC auf die Horizontale gebildet wird. Sollen darüber hinaus die Punkte A und C gegenüber B im Raum festgelegt werden, so müssen in B die Vertikal- oder Höhenwinkel β_1 und β_2 beobachtet werden, die die Geraden BA und BC mit der Horizontalen durch B bilden. Das Instrument, mit dem sowohl Horizontal- wie Vertikalwinkel gemessen werden können, ist der Theodolit.

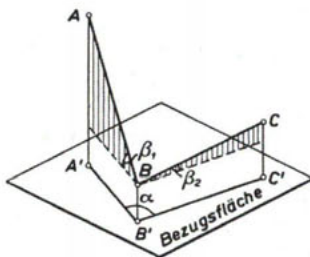


Bild 1.

12 Der Theodolit

12.1 Der äußere Aufbau. Der Theodolit besteht aus dem Unterbau und dem Oberbau. Der Unterbau steht bei der Horizontalwinkelmessung fest; der Oberbau kann um die in die Achsbuchse des Unterbaus hineinfassende Vertikalachse gedreht werden.

Zum Unterbau des Theodolits gehören der Dreifuß mit seinen drei Fußschrauben und der mit einer Gradteilung ausgestattete Horizontal- oder Teilkreis.

Der tragende Teil des Oberbaues ist der Zeigerkreis, der seinen Namen von den an seinem Rande angeordneten Ablesestellen oder Zeigern herleitet und mit einem Fremdwort arabischen Ursprungs auch als *Alhidade* bezeichnet wird. Auf der Alhidade stehen die beiden Fernrohrstützen, die die Horizontal- oder Kippachse und das Fernrohr tragen. Neben dem Fernrohr ist bei den meisten Theodoliten noch ein Höhenkreis angebracht. Ferner befinden sich am Oberbau eine oder mehrere Libellen.

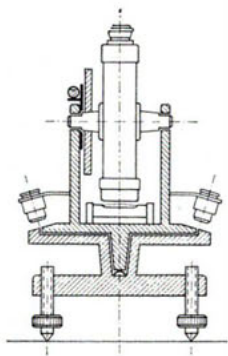


Bild 2. Einfacher Feldmeßtheodolit.

Beim Feldgebrauch wird der Theodolit auf ein Stativ gesetzt, das im Prinzip dem Nivellierstativ [Band I*), 53] entspricht, im ganzen aber etwas kräftiger gebaut ist. Der Stativteller hat in der Mitte einen etwas größeren Ausschnitt, damit das Instrument zum Zentrieren über einem Bodenpunkt nach allen Richtungen

um einige Zentimeter verschoben werden kann. Auf dem Stativ wird der Theodolit — wie das Nivellierinstrument — bei älteren Instrumenten mit Schraubstange und Spiralfeder, bei neueren mit Grundplatte, Federplatte und Anzugschraube befestigt.

12.2 Die Achsen.

12.21 *Die Vertikal- oder Stehachsen* der Theodolite sind verschiedenartig ausgebildet. Man unterscheidet im Hinblick auf ihre Form konische und zylindrische Achsen und im Hinblick auf ihre Anordnung einfache Theodolite und Repetitionstheodolite.

*) W. Großmann, Vermessungskunde I, Stückvermessung und Nivellieren; Slg. Göschen Bd. 468. 12. Aufl. Berlin 1965.

Im Unterbau des einfachen Theodolits oder Einachsers (Bild 2) sind Dreifuß und Teilkreis durch einen Rohrstutzen fest miteinander verbunden. Im Innern des Stutzens befindet sich die Dreifußbuchse, in der der Achszapfen der Alhidade auf einer Entlastungsfeder ruht.

Beim Repetitionstheodolit [17.4] ist die feste Verbindung von Dreifuß und Teilkreis aufgegeben und statt dessen ein drehbarer Teilkreis eingebaut, der *Limbus* heißt. Der Repetitionstheodolit hat also zwei Vertikalachsen, die Alhi-

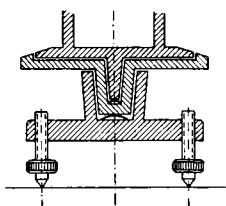


Bild 3.
Reichenbachsches Achssystem.

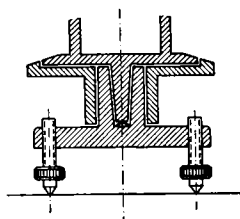


Bild 4.
Bordasches Achssystem.

datenachse und die Limbusachse, deren jede eigene Klemmen und Feinbewegungsschrauben besitzt [12.4]. Je nach Anordnung der Achsen, die bei älteren Instrumenten durchweg konisch sind, unterscheidet man die Reichenbachsche und die Bordasche Bauart.

Bei Reichenbach (Bild 3) sitzt in der Dreifußbuchse der Achszapfen des Limbus und in einer Ausbohrung des Limbuszapfens der Achszapfen der Alhidade. Beide Achszapfen ruhen auf Entlastungsfedern.

Bei Borda (Bild 4) nimmt die Dreifußbuchse nur den Achszapfen der Alhidade auf. Die hohle Limbusachse umfaßt den Dreifußstutzen von außen, so daß Limbus- und Alhidadenachse einander nicht berühren.

Die neueren Theodolite sind überwiegend mit Zylinderachsen ausgestattet und, soweit sie Repetitionseinrichtungen besitzen, mit Achsgefügen versehen, die etwa der Bordaschen

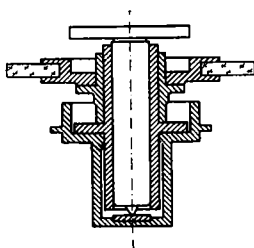


Bild 5. Zeiss'sches Achssystem.

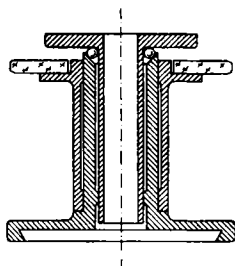


Bild 6. Wild'sches Achssystem.

Anordnung entsprechen. Die Alhidadenachse ruht entweder mit einer am unteren Ende des Achszapfens angebrachten Kugel auf der Grundfläche der Buchse (System Zeiss), oder sie wird am oberen Ende durch ein Kugellager und am unteren Ende durch einen Führungsring gehalten (System Wild). Bei den Theodoliten der Firma Kern ist das Kugellager bis an den Rand der Alhidade nach außen gerückt. Ein kurzer Achszapfen dient lediglich der Führung.

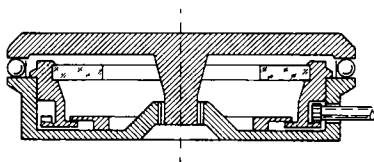


Bild 7. Kern'sches Achssystem.

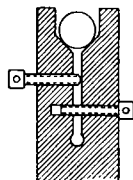


Bild 8. Kippachsenlager.

Zwischen dem einfachen und dem Repetitionstheodolit stehen Instrumente, die wegen ihrer hohen Ablesegenauigkeit keine Repetitionseinrichtung haben, aber einfache Vorrichtungen zum Verstellen des Limbus besitzen. Bei älteren Typen dieser Art wird der Limbus mit der Hand gedreht und in der gewünschten Stellung durch Reibung festgehalten. Bei neuen Instrumenten kann er meistens durch einen auf ein Zahnrad wirkenden Knopf verstellt werden.

Bei Instrumenten für die Zwangszentrierung [15. 2] bilden Oberbau, Kreise und Achsensystem ein in sich zusammenhängendes Oberteil, das mittels einer Klemmvorrichtung im Dreifuß festgehalten wird und nach Lösen der Klemme herausgehoben werden kann (Bild 30).

12.22 *Die Horizontal- oder Kippachse* ermöglicht das Auf- und Abkippen des Fernrohrs in der Vertikalen. Die Lager, in denen die zylindrischen Achszapfen der Kippachse ruhen, sind bei älteren Instrumenten aufgeschnitten, damit ein Kippachsenende durch Betätigung zweier Schrauben um kleine Beträge gehoben oder gesenkt werden kann (Bild 8). Bei neueren Instrumenten fehlt dieser Schlitz, weil bei ihnen die Kippachse ausreichend sicher rechtwinklig zur Stehachse gelagert ist.

In der Mitte der Kippachse ist das Meßfernrohr angebracht. Die Fernrohrstützen sollen so hoch sein, daß man das Fernrohr durchschlagen kann. Reicht der Raum zum Durchschlagen nicht aus, so müssen die Achslager so ausgebildet sein, daß die Kippachse nebst dem Fernrohr umgelegt, d. h. aus den Achslagern herausgehoben und mit vertauschten Achszapfen wieder eingelegt werden kann.

Bei den hauptsächlich für Höhenwinkelmessungen eingerichteten Instrumenten ist das Fernrohr gelegentlich am Ende der Kippachse außerhalb der Lager angebracht [16.22].

12.23 *Die Kollimations- oder Zielachse* des Fernrohrs ist (genau genug) die Gerade durch Fadenschnittpunkt und Mittelpunkt des Objektivs bei Einstellung auf ∞ [Band I 52.3]. Ihre Lage kann durch Justierung in beschränktem Umfang verändert werden [16.11].

12.24 *Die Libellenachsen*. Auf der Alhidade sind eine oder mehrere Libellen angebracht, die vor allem zum Lotrechtstellen der Stehachse gebraucht werden [Band I 51.3]. Älteren Instrumenten ist oftmals eine Reitlibelle beigegeben, die auf die Kippachse aufgesetzt werden kann. Sie dient — indem man sie die Drehungen um die Stehachse mitmachen läßt — zum besonders genauen Lotrechtstellen der Stehachse; man benutzt sie ferner zum Beseitigen des Kippachsenfehlers [16.12].

12.3 Die Kreise.

12.31 *Der Horizontalkreis* besteht entweder aus Metall (Messing) oder aus Glas. Die Teilung ist rechtsläufig; bei Messingkreisen ist sie in einen am Rande des Kreises eingelassenen schmalen Silberstreifen*) eingeschnitten; in Glaskreise wird die Teilung geritzt oder sie wird photographisch aufgebracht und eingätzt. Je größer der Kreisdurchmesser ist, um so weniger wirken sich etwaige Teilungsfehler aus; der Limbusdurchmesser wird daher vielfach als Gütemerkmal für einen Theodoliten angesehen. Feldmeßtheodolite haben Limbusdurchmesser von 6—10 cm, wobei die Kreise meistens in 20' oder 30' alter oder in 0,5° neuer Teilung unterteilt sind.

12.32 *Der Vertikal- oder Höhenkreis* wird aus demselben Material gefertigt wie der Horizontalkreis und ist auch ähn-

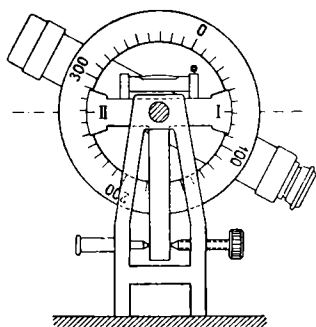


Bild 9. Höhenkreis mit Zeigerlibelle.

lich geteilt wie dieser; nur ist er meistens etwas kleiner. Während aber bei der

Horizontalwinkelmessung der Teilkreis feststeht und die Alhidade sich bewegt, sitzt der Höhenkreis auf der Kippachse und macht alle Bewegungen des Fernrohres mit. Die Höhenzeiger dagegen sind in Höhe der Kippachse befestigt und müssen jedesmal in die für die Ablesung erforderliche Ausgangslage gebracht werden. Dazu

sind die älteren Instrumente mit einer Höhenzeigerlibelle versehen, die der Beobachter mit einer Feinbewegungsschraube einspielen läßt. Bei den meisten neuen Instrumenten dagegen stellt der Höhenzeiger sich mit Hilfe eines der Schwerkraft gehorchenden Kompensators automatisch in die Ausgangs-

*) Der Ausdruck Limbus (= lat. Saum) bezieht sich ursprünglich nur auf diesen Silberstreifen; heute versteht man darunter allgemein einen drehbaren Teilkreis.

lage ein. Der Höhenkreis ist meistens, wie das Bild 9 zeigt, so geteilt, daß nicht Höhenwinkel (α), sondern Zenitdistanzen ($z = 100^\circ - \alpha$) abgelesen werden*).

12.4 Die Klemmen und die Feinstellschrauben sind erforderlich, um die Kreise oder das Fernrohr in einer bestimmten Lage festhalten und scharf einstellen zu können. Beim Einachser muß die Alhidade gegenüber dem Limbus, beim Zweiachser außerdem der Limbus gegenüber dem Dreifuß festgelegt werden können. Die dafür erforderlichen Klemmen sind gleichzeitig ein besonders wichtiger Teil der Repetitionseinrichtung [17.4].

Das Bild 10 zeigt eine *Zentralklemme*, wie sie bei Repetitionstheodoliten Reichenbachscher Bauart angewandt wird. Mit Hilfe einer Schraube und eines Klemmstückes wird ein mit einem Ausleger versehener Ring fest an die Buchse des Limbus angepreßt. An dem Ausleger befindet sich ein Zapfen, an den eine an der Alhidade angebrachte Feinbewegungsschraube und ihre Gegenfeder angreifen, um so der Alhidade eine beschränkte Feinbewegung zu ermöglichen. Eine ähnliche Einrichtung erlaubt die Festlegung und Feinbewegung des Limbus gegenüber dem Dreifuß. Auch die in Bild 11 dargestellte Kippachsenklemme beruht auf diesem Prinzip.

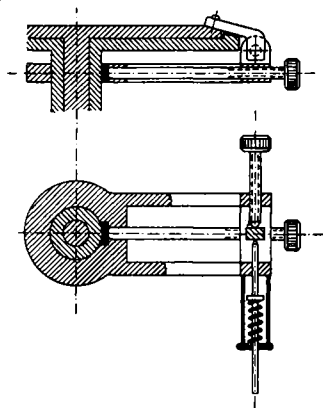


Bild 10. Zentralklemme und Feinbewegungsschraube.

Bei der zuerst von der Firma Carl Zeiss-Jena gebauten *Mahlerklemme* sind Klemme und Feinbewegungsschraube

*) W. Großmann, Vermessungskunde III, Trigonometrische und barometrische Höhenmessung, Tachymetrie und Absteckungen, S. 8 ff. Slg. Götschen Bd. 862. 8. Aufl. Berlin 1965.

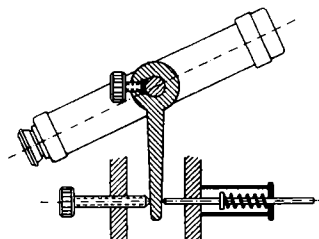
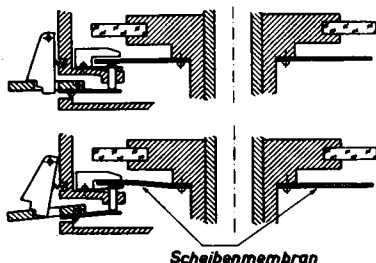


Bild 11. Kippachsenklemmung.

nur an der Alhidade angebracht (Bild 12 oben). Mit dem Limbus aber, der in der Ruhelage durch Reibung auf der Achse fest sitzt, ist eine Scheibenmembran verbunden, die sich mit Hilfe eines am Alhidenrande angebrachten Hebels gegen die Alhidade pressen läßt, so daß der

Limbus an den Bewegungen der Alhidade teilnehmen kann (Bild 12 unten).

12.5 Die Ablesevorrichtungen, kurz Zeiger genannt, sind überwiegend entweder als Nonius oder als Ablesemikroskop ausgebildet. Die Art der Ablesevorrichtung ist für den Benutzer von so entscheidender Bedeutung, daß die Theodolite meistens allein nach ihrer Ablesevorrichtung als Nonius-theodolite, Mikroskop-theodolite usw. bezeichnet werden. Da insbesondere bei neueren Instrumenten die Art der Ablesevorrichtung den Gesamtaufbau des Theodolits sehr weitgehend bestimmt, werden unter 13 und 14 die Ablesevorrichtungen in ihrer Verbindung mit den entsprechenden Theodolitkonstruktionen besprochen.



Scheibenmembran

Bild 12. Mahlerklemme.

13 Nonius und Noniustheodolite

13.1 Der Nonius ist eine kurze Hilfsteilung, die auf der Alhidade angebracht ist und mit dem Limbus in einer Ebene liegt. Der Grundgedanke der Konstruktion ist folgen-

der: Es liegen $(n-1)$ Einheiten T der Kreisteilung und n Einheiten N der Noniusteilung einander gegenüber, so daß

$$(n-1) T = nN$$

ist. Der Unterschied

$$T - N = \frac{T}{n} = a$$

wird als Angabe des Nonius bezeichnet. Fällt demnach der x^{te} Noniusstrich mit einem Strich der Kreisteilung zusammen, so ist der Abstand der Nullmarke des Nonius von dem vorangehenden Strich der Kreisteilung $x \cdot a$.

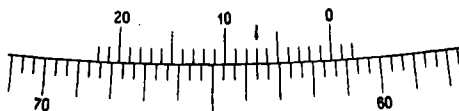


Bild 13. Nonius.

Der in Bild 13 dargestellte Kreis ist in $\frac{1}{3}^\circ = 20'$ geteilt, d. h. $T = 20'$. Der Nonius hat 20 Teile; mithin ist $a = 20'/20 = 1'$. Zur Ablesung sucht man zunächst den der Nullmarke des Nonius vorangehenden Strich der Kreisteilung auf und notiert diesen Wert, also in dem abgebildeten Beispiel die Zahl $61^\circ 20'$; dann geht man am Nonius so weit nach links, bis ein Noniusstrich und ein Strich der Kreisteilung „koinzidieren“, d. h. so gegeneinanderstoßen, daß sie als eine Gerade erscheinen. Das ist der Fall bei dem 7. Noniusstrich. Also lautet die Gesamtablesung: $61^\circ 27'$.

Über den Ablesestellen sind Lupen angebracht, die zur Scharfstellung in ihren Fassungen ein wenig verschoben werden können. Zweckmäßig beachtet man außer den koinzidierenden Strichen noch die Stellung der beiden benachbarten Strichpaare. Damit das auch dann möglich ist, wenn der erste oder der letzte Strich der Noniusteilung mit einem Strich der Kreisteilung koinzidiert, sind meistens außerhalb der Endstriche des Nonius je ein oder zwei zusätzliche Striche als „Überteilung“ angebracht. Liefert kein Strichpaar eine genaue Koinzidenz, so hält man das Mittel aus den beiden am besten passenden Strichpaaren an.

13.2 Die Noniustheodolite werden heute in Deutschland kaum noch gebaut. Die vorhandenen Instrumente sind entweder Einachser oder Repetitionstheodolite. Meistens sind sie mit zwei Nonien versehen; Höhenkreise sind nicht immer vorhanden. Hinsichtlich der Genauigkeit unterscheidet man Bautheodolite, Ingenieurtheodolite und Feinmeßtheodolite.

Die Bautheodolite sind einfache Theodolite, deren Kreise in ganze oder halbe Grade geteilt sind und an ihren Nonien 1 bis 2 Alt- oder Neuminuten hergeben (Bild 2).

Die Ingenieurtheodolite besitzen in der Regel eine Reichenbachsche Repetitionseinrichtung und einen Höhenkreis. Beide Kreise sind vorwiegend in $\frac{1}{2}^\circ$ oder $\frac{1}{3}^\circ$ alter Teilung bzw. $1''$ oder $\frac{1}{2}''$ neuer Teilung geteilt. Die Nonien liefern $30''$ oder $20''$ bzw. $1'$ oder $50''$.

An Feinmeßtheodoliten finden sich Nonien nur in Verbindung mit Mikroskopen [14.22].

14 Ablesemikroskope und Mikroskoptheodolite

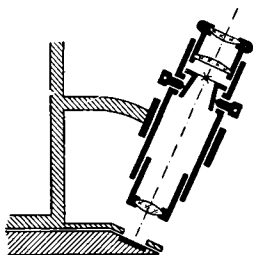


Bild 14. Schnitt durch
Ablesemikroskop
alter Art.

14.1 Einrichtung der Ablesemikroskope. Das Ablesemikroskop besteht in seiner einfachsten Form aus einem Tubus oder Hauptrohr, in das von unten das in einem Rohrstutzen gefaßte Objektiv und von oben das Okular hineingeschoben ist. Es wird bei älteren Instrumenten von einem am Oberbau befestigten Mikroskopträger gehalten. Bei neueren Instrumenten ist es

vielfach in einem Fernrohrträger untergebracht und mit einem Ableseokular versehen, das sich neben dem Fernrohrkular befindet (Bild 23).

In optischer Hinsicht kann das Mikroskop als ein Fernrohr mit kurzbrennweitigem Objektiv angesehen werden, bei dem der Gegenstand sich zwischen einfacher und doppelter Brennweite befindet. Der Gegenstand ist ein Ausschnitt aus der Limbusteilung. In der Bildebene des Mikroskops ist an Stelle eines Fadenkreuzes eine Ablesemarke eingebaut, deren Abstand von dem vorhergehenden Teilstrich der Limbusteilung bestimmt werden muß. Je nach den Mitteln, mit denen diese Bestimmung vorgenommen wird, unterscheidet man Strichmikroskope, Skalamikroskope und Koinzidenzmikroskope.

Damit die Mikroskope einwandfreie Ablesungen liefern, haben sie mehrere optische Bedingungen zu erfüllen; es müssen infolgedessen entsprechende Einstellmöglichkeiten vorhanden sein, die sich am einfachsten an dem im Bild 14 schematisch dargestellten Mikroskop älterer Bauart erläutern lassen.

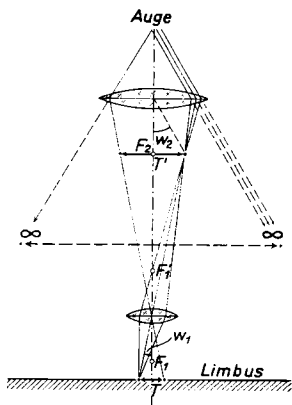


Bild 15. Strahlengang im Ablesemikroskop.

a) Damit ein scharfes Bild des Kreisausschnittes in der Ebene der Ablesemarke entsteht, muß der Abstand der Bildebene vom Objektiv — d. h. die Bildweite — geändert werden können. (Dazu kann das Objektiv auf und ab bewegt werden.)

b) Befindet sich in der Bildebene außer dem Nullstrich eine Skala od. dgl., so muß, damit die Skala genau mit dem Bilde eines entsprechenden Teilungsintervalls zu-

sammenpaßt, der Abstand des Mikroskops vom Teilkreis — d. h. die Gegenstandsweite — geändert werden können. (Das erreicht man durch Verschieben des ganzen Mikroskops im Mikroskopträger.)

c) Damit der Winkelabstand der beiden Ablesemikroskope verändert werden kann — etwa um ihn genau auf $2 R$ zu bringen —, soll entweder das Mikroskop im ganzen oder seine Nullmarke durch seitlich wirkende Schrauben ein wenig verstellt werden können.

d) Neben diese drei für die Justierung erforderlichen — objektiven — Einstellungsmöglichkeiten tritt noch eine subjektive Forderung: Der jeweilige Beobachter muß, um die Ablesemarke in die für sein Auge günstigste Sehweite zu bringen, das Okular in der Okularfassung verschieben können.

Als Beispiel werde die Justierung der Mikroskope beschrieben, in deren Bildebene eine Skala eingebaut ist. In diesem Falle besagt die Bedingung *b*, daß im Gesichtsfeld des Mikroskops die Skala *s* und das Bild des Teilungsintervalls *T* die gleiche scheinbare Länge haben müssen.

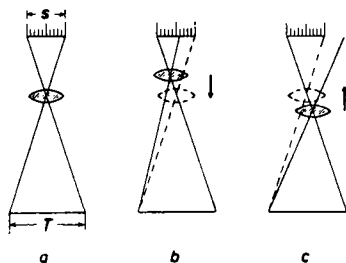


Bild 16. Abstimmen der Skala.

In Bild 16 Figur *a* ist das der Fall, in Figur *b* ist *s* größer, in Figur *c* kleiner als das Teilungsintervall. In den beiden letzten Fällen ist eine Abstimmung erforderlich.

Zu diesem Zweck hat der Beobachter zuerst durch Verschieben des Okulars die Skala für sein Auge scharf zu stellen. Dann bewegt er das Mikroskop so lange auf und ab, bis auch

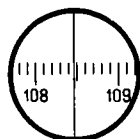
die Kreisteilung scharf erscheint. Ist jetzt $s > T$, so hat er das Objektiv der Kreisteilung zu nähern; er muß aber gleichzeitig, da die Bildweite bei abnehmender Gegenstandsweite größer wird, den Abstand von Bildebene und Objektiv vergrößern; bei $s < T$ sind die Bewegungsrichtungen umgekehrt. Der Vorgang muß im

Wege systematischen Probierens so lange wiederholt werden, bis der Abstand der äußersten Skalenstriche genau mit der entsprechenden Einheit der Kreisteilung übereinstimmt. Der Unterschied zwischen der Skalenausdehnung s und dem Bilde des zugehörigen Teilungsintervalls T wird als Run bezeichnet. Die Erfüllung der obengenannten Bedingung b heißt daher auch Runbeseitigung.

Die Runbeseitigung ist eine ziemlich diffizile und langwierige Arbeit. Ein modernes Instrument, bei dem das Mikroskop im Fernrohrträger untergebracht ist, wird zweckmäßig zur Justierung an die Herstellerfirma eingeschickt. Abgesehen vom einfachen Strichmikroskop kann der Run bei jeder Mikroskopart auftreten; nur ist seine Beseitigung in der Regel nicht so einfach zu übersehen wie im Falle des Mikroskops mit einer Skala in der Bildebene.

14.2 Die Haupttypen der Ablesemikroskope. Die Ablesemikroskope treten in so unterschiedlichen Formen auf, daß es vor allem für den Anfänger sehr schwer ist, eine Übersicht zu gewinnen. Die nachstehende Unterteilung soll das erleichtern. Man unterscheidet 3 Grundtypen: das Strichmikroskop, das Skalamikroskop (mit der Nebenform Nominusmikroskop) und das Koinzidenzmikroskop. Jede dieser Typen kann sowohl ohne wie mit (mechanischem oder optischem) Mikrometer gebaut werden.

14.21 *Das Strichmikroskop.* Das einfache Strichmikroskop hat als Ablesemarke einen Strich, der durch einen Spinnfaden gebildet oder auf einer Strichplatte eingätzt ist. Bei der Justierung braucht nur die erste der in 14.1 genannten Bedingungen erfüllt zu werden. Der Teilkreis eines Strichmikroskoptheodolits ist in der Regel in $10'$ oder $10''$ eingeteilt. Zur Ablesung hat man lediglich den Abstand des Ablesestriches von den nächsten Teilstrichen auf $\frac{1}{10}$ des Teilkreisintervalls zu schätzen. Die Ablesegenauigkeit ist nicht sehr hoch; doch kann man sehr schnell und sicher ablesen.



Ablesung: 108,47''

Bild 17.
Strichmikroskop.