

13.2 Winkelmessung

Ein Winkel ist die Differenz zweier Richtungen in einer Ebene.

Sind drei Punkte A, B und C mit unterschiedlichen Meereshöhen gegeben (Abb. 3), so heißt der Winkel ABC, der in der durch die drei Punkte definierten schiefen Ebene liegt, Positionswinkel. Er kann z. B. mit einem Sextanten gemessen werden.

In der Vermessungstechnik wird statt des Positionswinkels der Horizontal- oder Lagewinkel (Hz) benutzt, der im Punkt B von den Projektionen der Seiten BA und BC auf die Horizontalebene gebildet wird (Abb. 3).

Sollen darüber hinaus die Punkte A und C gegenüber B im Raum festgelegt werden, so müssen in B die Vertikalwinkel (Vz) gemessen werden, die die Geraden BA und BC mit der durch B gehenden Lotlinie nach dem Zenit bilden. Bei älteren Instrumenten wird statt des Vertikalwinkels der Höhenwinkel α gemessen, der sich auf die Horizontale durch B bezieht (Abb. 3).

13.2.1 Winkelmaße

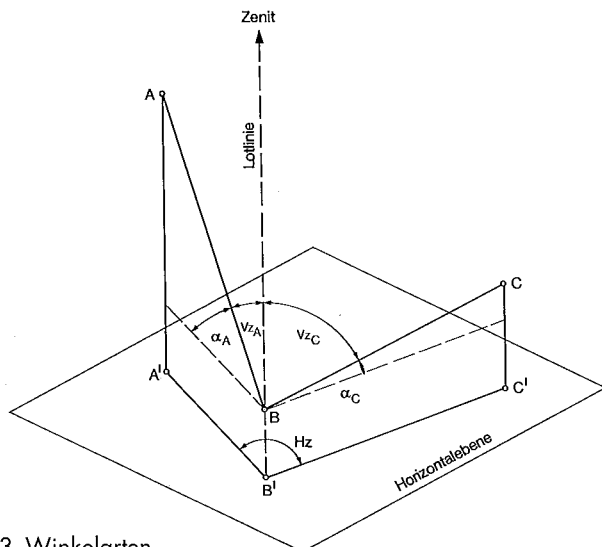
Im Vermessungswesen werden Winkel heute gewöhnlich in der zentesimalen Gon-Teilung angegeben, früher auch als Neugradteilung bezeichnet.

1 voller Kreisumfang = 400 gon

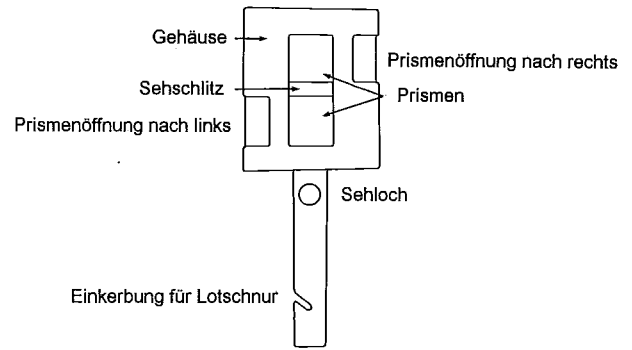
1 gon = 10 dgon = 100 cgon = 1000 mgon

(dgon = Dezigon, cgon = Centigon, mgon = Milligon).

Daneben findet die früher auch im Vermessungswesen übliche Altgradteilung (Sexagesimalteilung) in Nachbardisziplinen wie Geografie, Astronomie oder Navigation noch immer Verwendung. Winkel, die in Altgrad in der Form $\alpha^\circ b' c''$ angegeben sind, können nach der Formel Winkel_{gon} = 10/9 ($\alpha^\circ + b'/60 + c''/3600$) in Gon umgerechnet werden.



3 Winkelarten



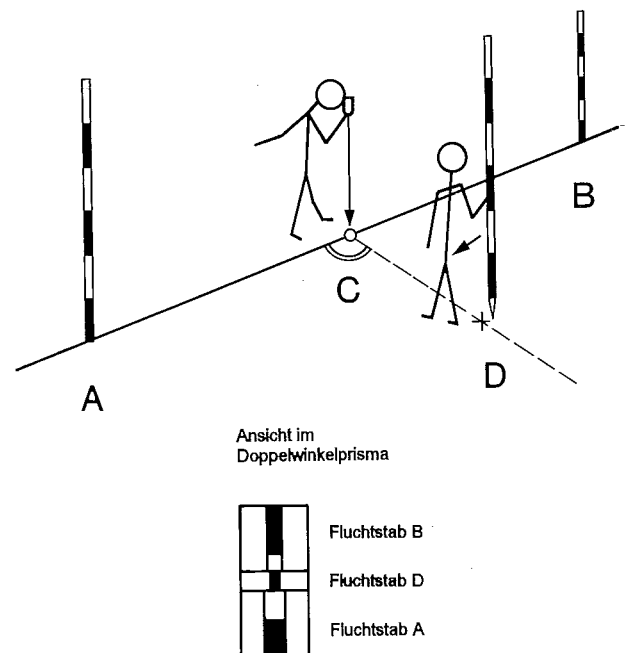
4 Doppelwinkelprisma

Beispiel:

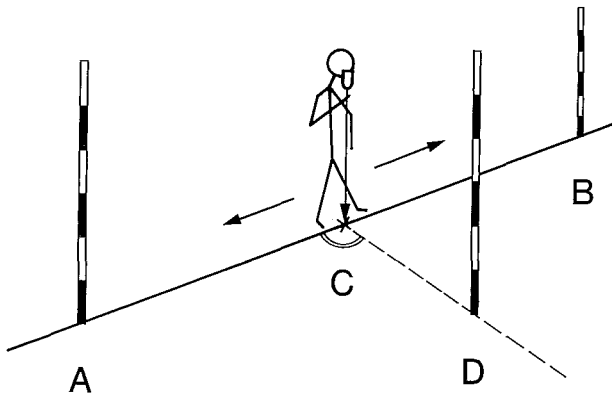
$$57^\circ 27' 11'' = 10/9 (57^\circ + 27/60 + 11/3600) = 63,8367 \text{ gon.}$$

13.2.2 Rechte Winkel

In der praktischen Ausgrabungsvermessung müssen häufig rechte Winkel abgesteckt werden. Für Rechtwinkelabsteckungen geringer und mittlerer Genauigkeit benutzt man handliche Rechtwinkelgeräte wie Winkelprisma oder Kreuzscheibe. Winkelprismen eignen sich für die Arbeit in ebenem oder leicht geneigtem Gelände. Am weitesten verbreitet ist das Doppelwinkelprisma (Abb. 4), das aus zwei übereinanderliegenden Fünfseitprismen zusammengesetzt ist. Ein Prisma lenkt den Zielstrahl rechtwinklig nach links, das andere rechtwinklig nach rechts ab. Beide zusammen liefern somit einen Umlenkwinkel von 200 gon, also eine gerade Linie.



5 Abstecken eines rechten Winkels mit dem Doppelwinkelprisma.



6 Ermittlung eines Lotfußpunktes mit dem Winkelprisma.

Messvorgänge:

a) Abstecken eines rechten Winkels in einem Punkt (Lot errichten)

Soll von einem Punkt C auf einer Standlinie A-B aus ein rechter Winkel abgesteckt werden, so wird das Doppelpentagonprisma mit einem Schnurlot über Punkt C gehalten (Abb. 5). Der Beobachter weist den Gehilfen so lange ein, bis der Fluchtstab D sich mit den Bildern von A und B deckt.

b) Ermittlung eines Winkelfußpunktes

(Lot füllen)

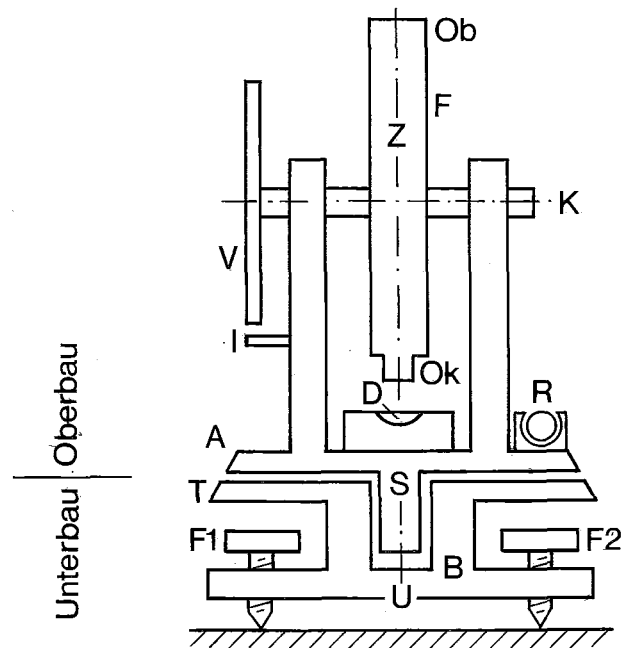
Ist der Lotfußpunkt C eines gegebenen Punktes D auf der Standlinie A-B zu suchen, so fluchtet sich der Beobachter zunächst in die Standlinie ein. Er bewegt sich dann auf der Standlinie seitlich, bis der Fluchtstab des Punktes D mit den Bildern der Fluchtstäbe A und B genau auf einer Linie liegt (Abb. 6).

Die Winkelabweichungen bei der Arbeit mit dem Doppelpentagonprisma liegen, ohne Zentrier- bzw. Ablotfehler, bei etwa 0,02 gon, d. h. bis zu einer Lotlänge von 30 m lässt sich eine Absteckgenauigkeit von etwa 1 cm erreichen.

Im Gegensatz zum Winkelprisma kann die mit rechtwinklig angeordneten Sehschlitzen versehene Kreuzscheibe auch im steilen Gelände (bis etwa 35 gon Neigung) eingesetzt werden. Die Kreuzscheibe ist auf einen starren Lotstab montiert, der in den Boden gesteckt werden kann. Die Genauigkeit der Winkelabsteckung mit der Kreuzscheibe entspricht in der Praxis etwa der des Doppelpentagonprismas.

13.2.3 Der Theodolit

Als Theodolit (Abb. 7) bezeichnet man ein Instrument zum Messen von Horizontalwinkeln (genauer: Horizontalrichtungen) und Vertikalwinkeln. Der Vertikalwinkel ist bei den meisten Instrumenten auf die Richtung nach dem Zenit bezogen und wird dann auch als Zenitwinkel bezeichnet. Die Richtung nach dem Zenit steht senkrecht auf der Horizontalen und muss durch eine besondere „(Höhen-)In-



7 Aufbau eines einfachen Theodoliten:

Ob = Objektiv, Z = Zielachse, F = Fernrohr, K = Kippachse, V = Vertikalkreis, I = Höhenindex, Ok = Okular, D = Dosenlibelle, R = Röhrenlibelle, A = Alhidade mit Ablesevorrichtung, T = Horizontalalkreis, S = Steckzapfen, B = Dreifußbüchse, F1, F2 = Fußschrauben (F3 nicht sichtbar), U = Umdrehungs- bzw. Stehachse.

dexlibelle“, oder einen automatischen Kompensator, festgelegt werden.

Die Hauptbestandteile eines Theodoliten sind:

- Ober- und Unterbau
- Einrichtungen zum Senkrechtstellen der Vertikalachse, auch Umdrehungs- oder Stehachse genannt (Libellen oder Kompensatoren),
- ein um die Vertikalachse und die Kippachse drehbares Fernrohr,
- ein horizontaler und ein vertikaler Teilkreis,
- Einrichtungen zum Ablesen dieser Kreisteilungen.

Der Horizontalalkreis liegt im festen, mit dem Stativ zu verbindenden Instrumentenunterbau, zu dem auch Dreifuß mit Fußschrauben und die Achsbüchse zur Aufnahme des Oberbausteckzapfens gehören.

Zum drehbaren Oberbau gehören der Achszapfen, die Ableseeinrichtung für den Horizontalalkreis, Libellen (Dosenlibellen zur Grobhorizontierung können auch im Unterbau liegen), Fernrohrträger, Kippachse, Fernrohr mit Strichplatte und der Vertikalkreis mit Ablesevorrichtung. Moderne Theodoliten verfügen zudem über ein optisches Lot, das genaues Zentrieren der Instrumente gewährleistet.

Zum leichteren Auffinden und Einstellen eines Zieles ist das Fernrohr mit einem Grobvisier (Kimme und Korn oder Kollimator) versehen.

Theodolitoberbau und Fernrohr können durch Klemmschrauben in jeder Lage festgehalten werden. Die Fein-

einstellung eines Zieles erfolgt durch Feinbewegungsschrauben (Höhen- bzw. Seitenfeintrieb).

Theodolite werden nach Genauigkeitsklassen in Fein- oder Sekundentheodolite (hohe Messgenauigkeit), Ingenieurtheodolite (mittlere Messgenauigkeit) und Bautheodolite (geringe Messgenauigkeit) unterteilt und nach dem Konstruktionsprinzip der Ablesevorrichtungen in zwei Gruppen unterteilt. Bei Grabungsvermessungen werden Bau- und Ingenieurtheodolite eingesetzt.

13.2.3.1 Ablesevorrichtungen

Nach der Art ihrer Ablesevorrichtungen lassen sich Theodolite in optische und elektronische Instrumente einteilen.

a) Optische Ablesevorrichtungen

Die Richtungs-/Winkelablesung bei optischen Instrumenten erfolgt an Teilkreisen, die mit einer Strichteilung versehen sind. Der Messwert ergibt sich aus einer „Grobablesung“ für volle Gon-Zahlen und einer „Feinablesung“ für die Stellen nach dem Komma.

Die häufigste Ablesevorrichtung bei optischen Theodoliten ist das sogenannte Skalenmikroskop (Abb. 8). Andere Vorrichtungen sind Strichmikroskop und optische Mikrometer. Mechanische Ableseeinrichtungen, z. B. Nonien, werden kaum noch verwendet.

b) Elektronische Ablesevorrichtungen

Bei elektronischen Theodoliten erfolgt der „Abgriff“ der Teilkreisstellung vollautomatisch. Der Messwert liegt in binärer Form vor und wird nach Umwandlung in Dezimalzahlen in einem Display angezeigt (Abb. 9). Er kann bei vielen Instrumenten auch gespeichert und rechnerisch weiterverarbeitet werden.

Elektronische Theodolite müssen mit Strom versorgt wer-

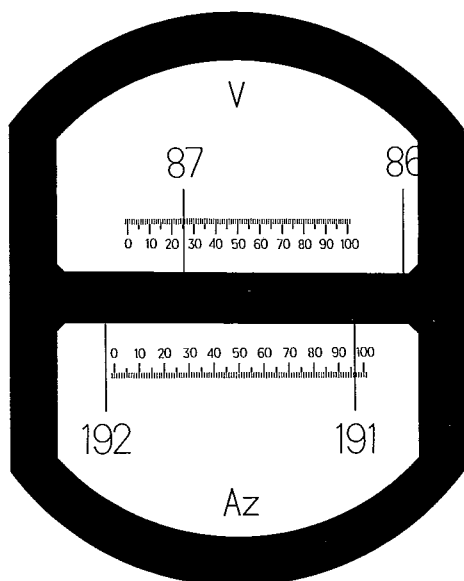
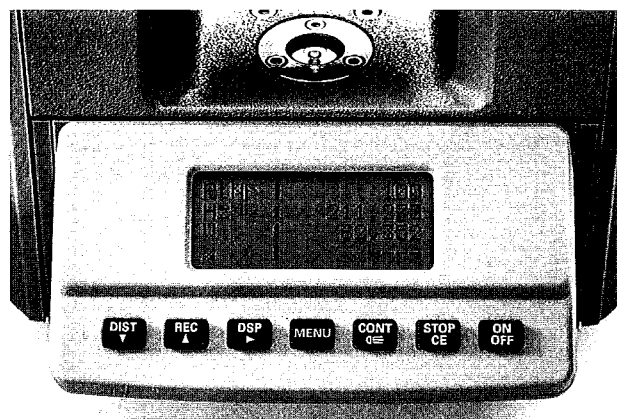


Figure 8 Circle readings (400 \times): Vertical (V) 87.255 $^{\circ}$; Horizontal (Az) 191.965 $^{\circ}$ (Horizontal circle appears yellow; vertical, white)

8 Ablesung am Skalenmikroskop eines optischen Theodoliten. Zenitwinkel $V = 87,255$ gon, Horizontalrichtung $H_z = 191,965$ gon.



9 Digitale Winkelablesung an der Sichtanzeige/Display eines elektronischen Theodoliten. Unten: Bedienungstastatur.

den. Zur Energieversorgung dienen gewöhnlich handliche Nickel-Cadmium-Akkumulatoren, die in die Instrumente integriert sind. Daneben können externe Akkus angeschlossen werden.

13.2.3.2 Instrumentenfehler – Prüfung und Berichtigung

Theodolite sind wie alle Messinstrumente infolge begrenzter Herstellungsgenauigkeit mit Fertigungstoleranzen behaftet. Diese Toleranzen sind in der Regel nicht stabil, sondern können sich durch Transportbeanspruchung, häufigen Instrumenteneinsatz, Witterungseinflüsse usw. mit der Zeit verändern.

Die wichtigsten Instrumentenfehler sind

- Ziellinienfehler
- Kippachsenfehler
- Indexfehler.

Da sie sich durch Messung in zwei Fernrohrlagen und Mittelbildung eliminieren lassen, ist diese Messanordnung bei hohen Genauigkeitsanforderungen Pflicht. Bei Messungen mit geringerer Genauigkeit, die in nur einer Fernrohrlage durchgeführt werden, verfälschen die Instrumentenfehler das Ergebnis. Um die Abweichungen möglichst klein zu halten, sollten Theodolite deshalb in regelmäßigen Abständen in einer Fachwerkstatt untersucht und bei Bedarf neu justiert werden.

Nicht zu den Instrumentenfehlern zählt der Stehachsenfehler. Er entsteht durch ungenaue Horizontierung des Theodoliten, ist also ein sogenannter Aufstellungsfehler. Bei vielen elektronischen Instrumenten können der Ziellinien-, Kippachsen- und Indexfehler intern abgespeichert und rechnerisch berücksichtigt werden. Zudem lässt sich die Stehachsenschiefe meist durch Kompensatoren eliminieren. Gleichwohl sollten auch elektronische Instrumente regelmäßig fachmännisch überprüft und justiert werden.

13.2.3.3 Durchführung der Winkelmessung

Vor der Durchführung von Winkel- bzw. Richtungsmessungen wird der Theodolit in der Regel auf einem Stativ

Grabungsprojekt: A-dorf

Seite Standpunkt: Hilfspunkt H1
 Satz 1 Beobachtet am 19.03. 1995 h Beobachter: Lang Wetter: heiter
 Instrument: Wild T1000 Nr. Streckenmeßausrüstung Nr. Bandmaß Nr.

Zielpunkt	Lage		Mittel	Richtungen	Mittel der Richtungen	Direktions-Richtungs-Winkel	Bemerkungen $\mu = \pm \dots$	Fehler-rechnung
	I	II						
P1	185.417	420	185.4185	0.0000				
P2	226.267	274	226.2705	40.8520				
P3	226.465	470	226.4675	41.0490				
P4	268.540	545	268.5425	83.1240				
P5	378.869	873	378.8710	193.4525				

10a Messprotokoll einer Horizontalwinkelmessung in zwei Fernrohrlagen mit Mittelbildung (satzweise Richtungsmessung).
 Erläuterung:

1. Zielpunkte in Fernrohrlage I von links nach rechts der Reihe nach anzielen und Richtungen ablesen.
2. In Fernrohrlage II alle Punkte in umgekehrter Reihenfolge anzielen und Richtungen ablesen; nur die Nachkommastellen der um ca. 200 gon (Kontrolle!) verschiedenen Ablesungen notieren.
3. Mittel der Ablesungen aus Lage I und II bilden.
4. Reduzierung der gemittelten Richtungen auf den Anfangsstrahl, d.h. der erste Richtungswert wird von den übrigen Richtungen abgezogen.

Grabungsprojekt: B-stadt I

Instrument: Wild T1000 Nr. Streckenmeßausrüstung Nr. Bandmaß Nr. 19.03.1995

Zielpunkt (Gmkg.)	Ablesungen Lage		Kontrolle I + II $\approx 400_{gon}$	2Vz = (I+400)-II	Vz	Gesamt-mittel	Bemerkungen (Ziel) $\mu = \pm \dots$	Fehlerbe-rechnung		
	I	II						d	v	(dd) vv
Satz: <u>1</u>	Standpunkt: <u>H2</u>									
P1	91.341	308.661	400.002	182.680	91.3400					
P2	98.878	301.123	400.001	197.755	98.8775					
P3	101.142	298.861	400.003	202.281	101.1405					
P4	104.193	295.808	400.001	208.385	104.1925					

10b Messprotokoll einer Zenitwinkelmessung in zwei Fernrohrlagen mit Mittelbildung.
 Erläuterung:

1. Zielpunkte in Fernrohrlage I anzielen und Vertikalwinkel ablesen.
2. Vorgang in Fernrohrlage II wiederholen.
3. Addition der Winkelwerte aus Lage I und II sollte 400 gon ergeben (Kontrolle!); Abweichungen nach unten oder oben sind durch Ziellinien- und Indexfehler bedingt.
4. Berechnung des fehlerfreien Vertikalwinkels Vz nach der Formel $Vz = [(Ablesung\ I + 400\ gon) - Ablesung\ II] / 2$.

über einem vermarkten Standpunkt aufgestellt, mittels optischem Lot, Schnurlot oder Lotstab zentriert und durch Einspielen der Libellen horizontalisiert.

Nach Grobeinstellung mit Hilfe von Kollimator oder Grobvisier und Feststellung des Theodoliterbaues mittels Klemmschrauben erfolgt die Feineinstellung des Strichkreuzes auf das Ziel durch Betätigen der Höhen- und Seitenfeintriebe und die Ablesung der Messwerte an den Ablesevorrichtungen.

Bei Theodoliten, die nicht über Kompensatoren zur (Höhen-)Indexstabilisierung verfügen, muss vor Ablesung des Vertikalkreises eine sogenannte (Höhen-)Indexlibelle eingespielt werden.

Bei der Arbeit mit optischen Theodoliten werden die Messergebnisse gewöhnlich handschriftlich in einem Messprotokoll oder Feldbuch festgehalten. Dafür wurden

eine Reihe von Formularen entwickelt (z. B. Abb. 10 a, b).

Die meisten elektronischen Instrumente bieten automatische Datenregistrierung. Die Messwerte werden mit Informationen zu ihrer eindeutigen Zuordnung, z. B. Punktnummern, verknüpft und als Datensätze abgespeichert. Ihre Eingabe erfolgt manuell auf der Tastatur des Instruments (interner Datenspeicher) oder auf dem Tastenfeld eines Feldrechners (externer Datenspeicher).

Dipl.-Ing. Hermann Kerscher
Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege
Unterer Graben 37
85 049 Ingolstadt