

1 Grundlagen

Geodäsie Wissenschaft von der Gewinnung erdbezogener, objektbezogener Beobachtungen und Abbildung in phys. Modelle

Aufgabengebiete (nach Genauigkeit sortiert:) Forschung, Industriemess-technik, Ingenieurgeodäsie, Grundlagen, Detailaufnahme, Bauwesen, Umwelt/RIS, Navigation

Arbeitsprinzipien **Ordnungsprinzip** Vom Grossen ins Kleine, Messungen ins Netz anpassen, **Nachbarschaftsprinzip** Nahe beieinanderliegende Punkte vom gleichen Anschlusspunkt aus bestimmen. Verhinderung von Ungenauigkeiten **Zuverlässigkeit und Kontrolle** unabhängige Kontrollen vornehmen, **Wirtschaftlichkeitsprinzip** So genau wie erforderlich, nicht wie technisch möglich.

Geodätische Bezugsflächen

Ersatzfläche ist immer eng mit der geforderten Genauigkeit und der Ausdehnung des abzubildenden Gebietes verknüpft.

Geoid Fläche senkrecht zur Lotrichtung, Potential der Schwerkraft in allen Punkten gleich, keine analytische Fläche → nur für Schwere und Höhenmessungen, nicht für Lagemessung

Rotationsellipsoid Bezugssystem mit definierter Metrik und Krümmung

Referenzellipsoid Referenzfläche für Landesvermessung. Ersatzfläche für begrenzten Teil des Geoids. Zentrum des Ellipsoids liegt nicht im Erdschwerpunkt, kleine Halbachse b parallel zur Erdachse. CH: Bessel.

Mittleres Erdellipsoid Globale Approximation an das Geoid. Höhenunterschied zwischen Ellipsoid und Geoid = Geoidundulation

Schmiegunskugel lokale Annäherung an das Rotationsellipsoid

Ebene Geeignet für Lagebestimmung, wenn Entfernung vom Berührungspunkt zur Kugel $< 5km$

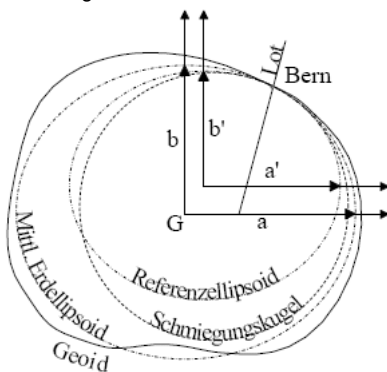


Abb. 1.12 Geoid, mittleres Erdellipsoid, Referenzellipsoid, Schmiegunskugel

Geodätische Koordinatensysteme

Geographische Koordinaten Länge: Winkel zwischen Nullmeridianebene (Greenwich) und Meridianebene, Breite: Winkel zwischen Äquatorebene und Ellipsoidnormale

Geozentrisches, erdfestes, kartesisches Koordinatensystem Nullpunkt im Schwerpunkt der Erde. Z-Achse: Richtung: Rotationsachse. X-Achse. Rechtwinkelig zu Z-Achse, ungefähr in Greenwich. Y-Achse, rechtwinkelig auf X-Z-Ebene. GPS

Ebene, kartesische Koordinatensysteme

Projektion von Rotationsellipsoid oder Schmiegunskugel auf eine Fläche ⇒ Längen-, Winkel-, Flächenverzerrung. Für Landesvermessungen sind winkeltreue Abbildungen zweckmässiger.

Lokales Tangential- & lokales topozentrisches System Theodolite und Nivelierere arbeiten damit. Horizont liegt rechtwinkelig zum Lot.

CH Koordinatensystem Schiefachsige, winkeltreue Zylinderprojektion. Ellipsoid → Kugel → Zylinder Nullpunkt bei der alten Sternwarte in Bern: $Y = 2000000km, X = 6000000km$

Reduktion infolge der Projektion

Distanzen (EDM, GPS) müssen reduziert werden, bevor sie im ebenen Koordinatensystem verwendet werden dürfen. Distanzen aus Koordinaten müssen verbessert werden. Meteokorrigierte Horizontaldistanz muss auf Projektionsfläche CH reduziert werden.

Reduktion auf Projektionsfläche

$$D_0 = d_{hor} - d_{hor} \frac{H_m}{R + H_m}$$

H_m : Mittlere Höhe der beiden Punkte
 R : Erdradius ($\approx 6'379'000m$)

Korrektur wegen Projektionsverzerrung

CH- Projektionssystem bedingt Längenverzerrungen. Abhängig von Nord-Süd Entfernung von Bern und von Nord-Süd Ausdehnung

$$D \approx D_0 + D_0 \frac{X_m^2}{2R^2} + D_0 \frac{\Delta X^2}{24R^2}$$

X_m : N-S-Abstand von Bern = $\frac{1}{2}(X_{P1} + X_{P2})$
 $\Delta X \approx X_{P2} - X_{P1}$

Geodätische Bezugsrichtungen

Geographisch Nord Richtung zur Rotationsachse der Erde

Magnetisch Nord Durch Magnetfeld der Erde vorgegebene Richtung. Ist zeitliche Schwankungen unterworfen wegen Sonnenwinde und Wanderung des magnetischen Pols.

Kartennord Nordrichtung in der Projektionsebene

Azimut $Az(A, B)$ Winkel zwischen Karten-Nord und Verbindung A und B

Meridiankonvergenz γ Winkel zwischen geographisch- und Karten-Nord. Entstehung durch CH Projektion Kugel → Ebene. Meridiane verlaufen nicht durch geographisch Nord

magnetische Deklination δ Winkel zwischen magnetisch- und geographisch Nord.

Winkelbezeichnungen Zenit-, Höhen-, Tiefen-, Nadirwinkel

Masseinheiten und Massverhältnisse

$$\text{Lichtgeschwindigkeit } c \approx 3 \cdot 10^8 [m/s]$$

$$\rho \approx 63.6620 [gon]$$

Umrechnung

$$400gon = 360^\circ = 2\pi rad$$

1. Geodätische Fundamentalformel

$$\frac{b}{r} = \frac{\alpha}{\rho}$$

⇒ 1 mgon Verschiebung = 1m auf 600m

Kathetenzuschlagsformel

$$\Delta d \approx \frac{h^2}{2d_s}$$

Masstab

$$M = \frac{1}{m} = \frac{\text{Zeichenstrecke}}{\text{Naturstrecke}}$$

m : Masstabszahl

Neigungsverhältnisse

Neigung einer Strecke oder Fläche kann ausgedrückt werden durch

Winkel α Steigungs- oder Gefällwinkel (bei Hängen)

Böschungsverhältnis ($h : e$) Bei Querneigung von Strassen und Böschungen

Prozent- oder Promilleangaben Höhenunterschied auf 100 bzw. 1000 Meter horizontaler Strecke. Längsneigung von Verkehrswegen.

2 Basismesstechnik und einfache Hilfsmittel

Jalon

Punktsignalisation ...

Fluchten von Geraden Messen der Distanz von A nach B mit Messband, falls Distanz länger als Band. Aufwinkeln oder Abstecken von Detailpunkten mit Pentaprisma. Visualisierung von Bauachsen

Direktes Einfluchten von Punkten in eine Gerade vom Endpunkt zum Anfangspunkt

Indirektes Einfluchten iterativ mit zwei Beobachtern

Senkel

Lotrechtstellen von Jalon, Abloten von Distanzen, Zentrieren

Doppelpentaprisma

Einfluchten von Punkten in eine Gerade, Verlängern von Fluchten, Aufwinkeln von Punkten auf Messlinie, Abstecken von orthogonalen Werten bezogen auf Messlinie.

Messband

Nur Bänder aus Stahl, Länge maximal 30 Meter.

Durchhang

$$\Delta d \approx \frac{8\Delta h^2}{3d_{Ist}}$$

Staffelmessung in geneigtem Gelände ...

Handgefällemesser Bestimmung von Höhen (Bäume, Gebäude), Kontrolle von künstlichen Neigungen (Böschungen), Absteckung von Achsen mit vordefinierten Längsneigung.

Lageaufnahme

Einbindeverfahren Jalon, Senkel, Messband, zwei Personen. Messlinien werden in ein übergeordnetes Messliniennetz eingebunden. Schnittpunkte einmessen. Kontrollen!!!

Orthogonalverfahren Jalon, Messband, Senkel, Doppelpentaprisma, zwei Personen. Von Messlinie werden rechtwinklige Abstände zu den aufzunehmenden Punkten gemessen. Bestimmung des rechten Winkel mit Doppelpentaprisma. Kontrolle mit Pythagoras.

Zentrierung

optisches Lot Genauigkeit: 0.5mm

Laserlot Vorteil: Handhabung

Zentrierstab Genauigkeit: 1-2mm

Schnurlot Genauigkeit: 2mm bei Windstille

Horizontierung

1. Röhrenlibelle parallel zu zwei Fusschrauben, horizontieren (2)¹. 2. Alhidade um 100gon drehen und einstellen (1). Weitere 100gon \Rightarrow Spielpunkt. Jetzt spielen, bis Spielpunkt ruhig bleibt.

Sensoraufstellung mit optischem Lot/ Laserlot

Ausgangsstellung \rightarrow Grobzentrierung \rightarrow Grobhorizontierung \rightarrow Feinhorizontierung \rightarrow Feinzentrierung

Zwangszentrierung

Anordnung beliebt für alle Messungen die selbe. Nur Messgeräte werden ausgetauscht. Fehlerhafte Zentrierung \Rightarrow Systematische Fehler

Geodätisches Koordinatensystem

positive X-Achse zeigt nach Norden, Y-Achse nach Osten, Winkel im Uhrzeigersinn positiv

3 Ebenes Koordinatenrechnen

X-Achse nach Norden, Y-Achse nach Osten.
Koordinatenpaar: (Y, X) , Winkel im Uhrzeigersinn

Erste Geodätische Hauptaufgabe, Polares Anhängen

Gegeben	Y_A, X_A
Gemessen	$D_{AB}, Az(A, B)$
Gesucht	Y_B, X_B
	$\Delta Y = D_{AB} \sin Az(A, B)$
	$\Delta X = D_{AB} \cos Az(A, B)$

Zweite Geodätische Hauptaufgabe

Gegeben	Y_A, X_A, Y_B, X_B
Gesucht	$Az(A, B), D_{AB}$
	$Az(A, B) = \arctan \frac{\Delta Y}{\Delta X}$
	$D_{AB} = \sqrt{\Delta Y^2 + \Delta X^2}$

$\Delta Y / \Delta X$	+	-	+	-
Quadrant	1	2	3	4
Azimut	0	+200	+200	+400

ΔY und Vorzeichen negativ: $\Rightarrow +400$

Koordinatentransformation

lokale Koordinaten \rightarrow Landeskoordinaten

Translation

$$\begin{bmatrix} Y_P \\ X_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_P \\ x_P \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_0 \\ X_0 \end{bmatrix}$$

Rotation

$(y, x) \rightarrow (Y, X)$, gleichsinnig

$$\begin{bmatrix} Y_P \\ X_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_P \\ x_P \end{bmatrix}$$

Rücktransformation

$$\begin{bmatrix} y_P \\ x_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_P \\ X_P \end{bmatrix}$$

$(y, x) \rightarrow (X, Y)$, ungleichsinnig

$$\begin{bmatrix} Y_P \\ X_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_P \\ y_P \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} y_P \\ x_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \varphi & \cos \varphi \\ \cos \varphi & -\sin \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_P \\ Y_P \end{bmatrix}$$

¹(2)=mit 2 Schrauben

Massstabsfaktor

$$\begin{bmatrix} Y_P \\ X_P \end{bmatrix} = m \begin{bmatrix} y_P \\ x_P \end{bmatrix}$$

Ähnlichkeitstransformation

$$\begin{bmatrix} Y_P \\ X_P \end{bmatrix} = m \begin{bmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_P \\ x_P \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_0 \\ X_0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} y_P \\ x_P \end{bmatrix} = \frac{1}{m} \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_P - Y_0 \\ X_P - X_0 \end{bmatrix}$$

$$m = \sqrt{\frac{(X_P - X_Q)^2 + (Y_P - Y_Q)^2}{(x_P - x_Q)^2 + (y_P - y_Q)^2}}$$

Ähnlichkeitsabbildung ist verzerrungsfrei!

Affine Transformation

$$\begin{bmatrix} Y_P \\ X_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_P \\ x_P \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_0 \\ X_0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} y_P \\ x_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Y_P - Y_0 \\ X_P - X_0 \end{bmatrix}$$

$$m = \sqrt{\frac{(X_P - X_Q)^2 + (Y_P - Y_Q)^2}{(x_P - x_Q)^2 + (y_P - y_Q)^2}}$$

4 Terrestrische Koordinatenbestimmung

Fixpunktfeld der Landes- und Amtlichen Vermessung

Ordnung I. (30-50 km), II. (10-30 km), III. (3-5 km), IV. Ordnung.

Lagefixpunkte 1 (LFP1) Triangulationspunkte (TP) I. - III. Ordnung. Es werden nur Richtung und Winkel gemessen.

Lagefixpunkte 2 (LFP2) TP IV. Ordnung, für Parzellar- und Ingenieurvermessung. Distanzen: 800-1500 m. Nachbarschaftsgenauigkeit

Basispunkte (LFP3) Polygonpunkte.

Terristische Methoden der Netzverdichtung

Bestimmung von Neupunktkordinaten: polygonometrische (linienweise) Bestimmung, punktweise Bestimmung, netzweise Bestimmung

Polygonometrische Bestimmungsarten

Freier Polygonzug Beidseitig nicht an Koordinaten angeschlossen. Lokales Koordinatensystem.

Einseitig (=Koordinaten, Richtung) angeschlossener Polygonzug geringe Kontrollmöglichkeiten, ungünstige Varianzfortpflanzung. Anwendung in Stollen.

Beidseitig (Koordinaten) angeschlossener Polygonzug Als freier Polygonzug berechnen, angehängt an Koordinatenwert von A. Anschließend berechnung des Koordinatenwert E.

Beidseitig (Koordinaten, Richtung) angeschlossener Polygonzug Kontrollmöglichkeiten: Vergleich berechneten mit vorgegebenen Koordinaten. Vergleich des Azimutes.

Geschlossener Polygonzug, Ringpolygon Grobe Fehler können nicht aufgedeckt werden. Können nicht mittels Drehstreckung eingepasst werden.

Einzelpunkteinschaltung

Netzverdichtung um Koordinaten eines einzelnen Punktes zu bestimmen

Vorwärtseinschneiden Gegeben: $P_1, P_2, Az(1, N), Az(2, N)$
Gesucht: Koordinaten N

$$\alpha = Az(P_1, P_2) - Az(P_1, N)$$

$$\beta = Az(P_2, N) - Az(P_2, P_1)$$

$$\gamma = 200 - \alpha - \beta$$

$$\frac{a}{c} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}, \frac{b}{c} = \frac{\sin \beta}{\sin \gamma}$$

$$Az(P_1, N) = Az(P_1, P_2) \pm \alpha$$

$$Az(P_2, N) = Az(P_2, P_1) \pm \beta$$

$$Y_N = Y_{P_1} + b \sin(Az(P_1, N))$$

$$X_N = X_{P_1} + b \cos(Az(P_1, N))$$

Kontrolle: von P_2 auch berechnen.

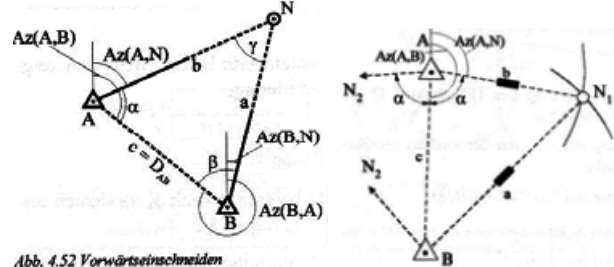


Abb. 4.52 Vorwärtseinschneiden

Seitwärtseinschneiden Auf einem von zwei Fixpunkten kann nicht stationiert werden. Auf Neupunkt wird der Winkel gemessen. \Rightarrow Vorwärtseinschneiden. Gefährlicher Kreis!

Geradenschnitt Koordinaten des Schnittpunktes bestimmen. Gegeben sind vier Punkte.

Bogenschnitt Gegeben: A, B, D_{AN}, D_{BN}

Gesucht: Koordinaten N

$Az(A, B), D_{AB}$ mit 2. GHA

$$\alpha = \arccos\left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}\right)$$

$$Az(A, N) = Az(A, B) \pm \alpha$$

2 Lösungen!

$$Y_N = Y_A + b \sin(Az(P_1, N))$$

$$X_N = X_A + b \cos(Az(P_1, N))$$

Rückwärtseinschneiden Gegeben sind Koordinaten von drei Punkten als auch die Richtung zum Neupunkt. Zwei Winkel beim Neupunkt berechnen, danach Vorwärtseinschneiden. Vorsicht: Punkte sollten nicht auf einem Kreis liegen!

Freie Stationierung Im Fixpunktfeld können die Koordinaten eines beliebigen Punktes bestimmt werden, indem von diesem Punkt aus Richtung und Distanz zu den Fixpunkten gemessen werden.

Richtungs- und Winkelmessung

Winkel werden in orientierten Richtungen angegeben. Horizontalwinkel werden nur berechnet, nicht gemessen. Vertikalwinkel wird gemessen (mit Theodolit).

Horizontale Richtungsmessung Horizontalwinkel wird aus der Differenz zweier Richtungen berechnet. Falls eine der beiden Richtungen durch Ordinate geht, dann wird der Winkel zum Zielpunkt als Azimut bezeichnet. Wird der Winkel mit Abriss berechnet, so heisst der Wert orientierte Richtung.

Vertikalmessung Wird direkt mit Theodolit gemessen, da die Ablesestelle fest installiert und eindeutig definiert ist. Gerät ist horizontal!

Zenitwinkel Zenit als Nullrichtung. Horizontallage entspricht 100 gon.

Höhenwinkel Horizont als Nullrichtung.

Abriss

Berechnung der Orientierung des Horizontalkreises bezüglich Kartennord.

$$O_i = Az(S, F_i) - Ri(F_i)$$

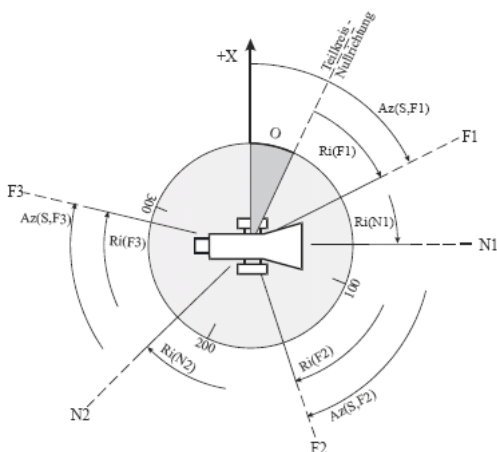


Abb. 4.29 Prinzip des Abrisses. Schematische Darstellung des beobachteten Strahlenbündels zu den Fixpunkten und Neupunkten

Bedeutung und Anwendung Grundlage für Koordinatenberechnung bei polaren Detailaufnahmen, Koordinatenbestimmung mit polyonometrischer Methode, Einzelpunkteinschaltung.

Beurteilungskriterium für Überprüfung des Koordinatenwertes

Beurteilungskriterium für die Überprüfung der Homogenität des Fixpunktnetzes.

Berechnung der Orientierung

Gegeben: Koordinaten S, F1, F2, F3, Richtungen $Ri(F_i)$

Gesucht: O_{Fi}

1. 2. GHA Azimute berechnen $Az(S, F_i)$

2. Orientierungsbetrag O_i n-fach berechnen und mitteln

$$O_i = Az(S, F_i) - Ri_i, \quad O_{mittel} = \frac{\sum O_i}{n}$$

3. Berechnung der orientierten Richtungen R_{or} für alle FP und NP.

$$R_{or} = Ri_i + O_{mittel}$$

4. Rechenkontrolle und Genauigkeitsangabe. Verbesserung:

$$v_i = O_{mittel} - O_{Fi}$$

Probe: $\sum v = 0$

Punkt	ber. Az	beob. Richt	O_{mittel}	R_{OR}	Verb.
F1	Az(S,F1)	Ri(F1)	O_{F1}	$R_{OR}(F1)$	v_{F1}
N1		Ri(N1)		$R_{OR}(N1)$	
F2	Az(S,F2)	Ri(F2)	O_{F2}	$R_{OR}(F2)$	v_{F2}
N2		Ri(N2)		$R_{OR}(N2)$	
F3	Az(S,F3)	Ri(F3)	O_{F3}	$R_{OR}(F3)$	v_{F3}
N3		Ri(N3)		$R_{OR}(N3)$	
		$O_{mittel} =$	$\frac{\sum O_i}{n}$		$\sum v_i = 0$

Distanzreduktion

Instrumentell und meteorologische Korrekturen und geometrische Reduktionen d gemessen, d_s instrumentell korr., d_m Meteokorr., D_0 Kugeldistanz, D Projektionssystem

Meteorologische Korrektur Ist bei Distanzmessverfahren anzubringen, welche elektromagnetische Wellen benutzen. Wellenausbreitungsgeschwindigkeit variiert mit dem Brechungsindex der Luft.

$$d_m = d_s + d_s \cdot 10^{-6} \left(282 - \frac{0.29p}{1 + 0.0037T} \right)$$

Distanzreduktion aus Punkthöhen

Genaueste Reduktionsmethode bei ellipsoidischen Höhen und h_A und h_B genügend genau bekannt sind.

$$D_0 \cong S_0 = \sqrt{\frac{d_m^2 - \Delta h^2}{\left(1 + \frac{h_A}{R}\right) \left(1 + \frac{h_B}{R}\right)}}$$

$$\Delta h^2 = (h_B - h_A)^2$$

Distanzen $< 10km$ Sehndistanz S_0 darf mit Kugeldistanz D_0 gleichgesetzt werden. Ebenfalls dürfen für ellipsoidische Höhen h_A, h_B orthometrische Höhen H_A, H_B gebraucht werden.

Distanzreduktion mit Zenitwinkeln

1. Horizontaldistanz d_{hor} berechnen:

$$d_{hor} = d_m \sin(z) \text{ für Distanzen } \leq 500m$$

$$d_{hor} = d_m \sin \left(z_{mess} - \frac{d_m \sin(z_{mess})}{2R} \rho \right) \text{ für Distanzen } \geq 500m$$

2. Reduktion von d_{hor} auf Kugeldistanz D_0 auf Höhe 0:

$$D_0 = d_{hor} - d_{hor} \frac{H_m}{R + H_m} \text{ mit } R = 6379000m, H_m = (h_A + h_B)/2$$

Reduktion Kugeldistanz \rightarrow Projektionssystem

Projektionssystem der Schweizer Landesvermessung verursacht eine Vergrößerung der Kugeldistanz. Vergrößerung nimmt mit der Nord-/Südentfernung von Bern quadratisch zu.

$$D = D_0 + D_0 \frac{X_m^2}{2R^2} \text{ mit } X_m = \frac{X_A + X_B}{2}, R = 6379000m$$

X_A, X_B X-Koordinaten von Anfangspunkt A bzw. Endpunkt B.

Koordinaten von Bern: 600000/200000. Bei Verwendung der X in Landeskoordinaten, jeweils 200000m subtrahieren.

Tabelle Distanzreduktion

d_s	X_m	[hPa]	Meteokorr.	Hor.dist	Höhenkorr.	Proj.verz.
z	H_m	Temp	d_m	d_{hor}	D_0	D

$$\text{Meteokorrektur} = d_s \cdot 10^{-6} \left(282 - \frac{0.29p}{1 + 0.0037T} \right)$$

$$\text{Reduktion auf Horizontaldistanz} = z_s = z - 0.00433d_s \cdot 10^{-3} \sin(z)$$

$$\text{Horizontaldistanz } d_{hor} = d_m \sin(z_s)$$

$$\text{Korrektur wegen Höhe} = -d_{hor} \frac{H_m}{R + H_m}$$

$$\text{Projektionsverzerrung} = D_0 \frac{X_m^2}{2R^2}$$

Refraktion

$$d_{hor} = d_m \sin \left(z_{mess} - \frac{d_m \sin(z_{mess})}{2R} \rho (1 - \kappa) \right)$$

$$\kappa = 503 \frac{p}{T^2} (0.0342 + \tau)$$

Gegenseitige, gleichzeitige Zenitwinkelbeobachtung

$$d_{hor,AB} = d_m \sin(z_{mess,A})$$

$$d_{hor} = \frac{1}{2} d_{hor,AB} + d_{hor,BA}$$

Refraktionseinfluss Distanzen $> 1km$ können nur dann ausreichend mittels Zenitwinkel reduziert werden, wenn die Ziellinie annähernd horizontal verläuft.

Distanzen kleiner 150m

$$\Delta h = d_m \cos(z)(I - S)$$

I Instrumentenhöhe, S Reflektorhöhe, d_m meteokorrigierte Schrägdist. d_s

Distanzen grösser 150m, Einfluss der Erdkrümmung

$$H_B = H_A + \delta h + k_E - k_R = H_A + d_m \cos(z) + k_E - k_R + I - S$$

k_E Korrekturglied aufgrund Erdkrümmung, k_R terrestrischen REfraktion

$$k_E = \frac{d_{hor}^2}{2R}$$

Grössenordnung des Einflusses:

$$\delta_E = \frac{d_m \sin(z)}{2R} \rho$$

Refraktionskoeffizient

$$\kappa = \frac{R}{R_{Licht}} = 503 \frac{p}{T} \left(0.0342 + \frac{dT}{dh} \right), R_{Licht} \approx 8R$$

$$\Rightarrow k_R = \kappa \frac{d_{hor}^2}{2R}$$

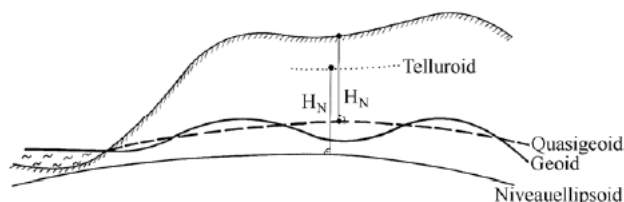


Abb. 5.5 Normalhöhe und Niveauellipsoid

5 Trigonometrische Höhenbestimmung

Methoden der Höhenbestimmung

dynamisch gravimetrisch, barometrisch, hydrostatisch, hydrodynamisch

optisch Fotogrammetrie (digital, analog), Nivellement (trigonometrisch, geometrisch)

elektromagnetisch GPS, SLR/LLR, VLBI

Höhensysteme

Masse und Rotation der Erde führen zum Schwerefeld der Erde. Lotlinien stellen die Richtung der Schwerkraft dar. Tangente an die Lotlinie in einem Punkt heisst Lotrichtung. Betrag der Schwerebeschleunigung ist die Schwere. Fläche gleichen Potentials der Schwerebeschleunigung heissen Niveauflächen.

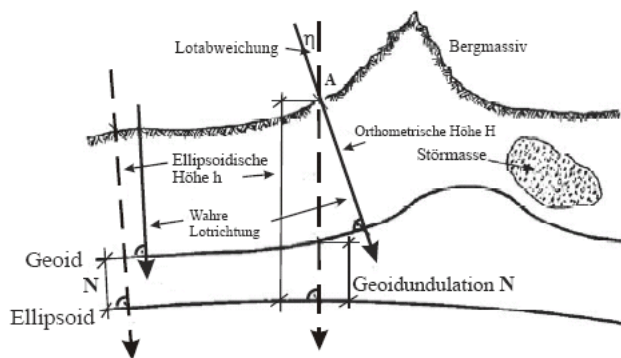
Anforderungen an die Definition von Höhen

1. eindeutig, unabhängig vom gewählten Messweg
2. Wasser soll nicht von selbst zwischen zwei Punkten mit gleicher Höhe fließen
3. Höhen sollen Abstände der Punkte von einer Bezugsfläche sein.
4. Nivellementsreduktionen, die an den gemessenen Höhenunterschieden anzubringen sind müssen so klein sein, so dass in lokalen Bereichen mit unreduzierten Ergebnissen gearbeitet werden kann.

Orthometrische Höhen H_0^A eines Punktes A ist die Länge der Lotlinie zwischen A und dem Geoid. Wegunabhängigkeit: erfüllt; Wasser darf nicht fließen: nicht streng erfüllt; Bezugsfläche = Niveaufläche: erfüllt (Geoid); Grössenordnung der Korrektur klein: im Allgemeinen erfüllt.

Normalhöhen H_N ist die Höhe des entsprechenden Telluroidpunktes über dem Niveauellipsoid. Telluroid gleicht der physischen Erdoberfläche, ist aber keine Aequipotentialfläche. Niveauellipsoid ist ein Rotationsellipsoid, welches gleiche Masse und Rotationsgeschwindigkeit wie die Erde hat. Bezugsfläche für Normalhöhe ist das Quasigeoid. Erdoberfläche - Normalhöhe = Quasigeoid. Wegunabhängigkeit: erfüllt; Wasser darf nicht fließen: nicht erfüllt; Bezugsfläche = Niveaufläche: nicht erfüllt (Quasigeoid ist keine Niveaufläche); Grössenordnung der Korrektur klein: erfüllt.

Ellipsoidische Höhen Mathematisch als Abstände vom jeweiligen Bezugsellipsoid. Haben kein Bezug zum Schwerefeld der Erde. GPS liefert geozentrische, kartesische Koordinaten. Daraus lässt sich die ellipsoidische Höhe h berechnen. Metrische Höhen H eines Höhensystems + Abstände δH der Höhennullfläche vom Bezugsellipsoid: $h = H + \delta H$ Bei orthometrischen Höhen H_0 : $h = H_0 + N$
Geoidundulation N : $B = h - H_0$
Lotabweichung = Winkel η zwischen wahrer Lotrichtung und Ellipsoidnormale



Höhennetze der Schweiz

Höhendatum Ausgangspunkt: Repère Pierre du Niton, Seebucht von Genf. 1902: 373.633 m über Mittelwasser des Mittelmeeres im Hafen von Marseille. Ausgangshöhe: 370.600 m.ü.M

Landesnivellement 1903-1927 (HFP1): 18 Nivellementsschleifen, 4500 km Länge, Standardabweichung für 1 km Doppelnivellement: 1.4 mm. Seit 1993: orthometrische Höhen. LN95: Neuer Fundamentalpunkt in Zimmerwald

Kantonale (HFP2) und kommunale (HFP3) Nivellemente Verdichtung des Landesnetzes

Geometrisches Nivellement

Prinzip Nivellierinstrument, zwei Nivellierlatten, zwei Lattenuntersätze.

$$\Delta h = \text{Rückblick} - \text{Vorblick}$$

Nivellierverfahren **Doppelnivellement** ist eine Hin und Zurückmessung. **Liniennivellement** für Höhenbestimmung, **Flächennivellement** für die Bestimmung einer Geländeform.

Eingehängter Nivellementszug Zug ist beidseitig an höhenmässig bekannten Punkten angeschlossen. Sollte die Regel sein.

Freier Nivellementszug Zug ist nur einseitig angeschlossen. Sollte nicht benutzt werden, da Ausgangshöhe nicht kontrolliert werden kann.

Nivellementsschleife Spezialfall des freien Nivellementszug. In sich kontrolliert, aber Ausgangshöhe nicht überprüfbar.

Nivellementsknoten Von (drei) höhenmässig bekannten Fixpunkten ausgehend zusammenführen. Für Höhenfixpunkt eines neuen Fixpunktes. Mehrfachbestimmung, die ausgeglichen werden kann.

Vorgehen

Im Feld Δh_i , am Ende ΔH , $\sum R$, $\sum V$, $\sum R - \sum V = \sum (R - V)$, $\sum D$ berechnen.

Verteilung des Widerspruchs

$$d = \Delta H_{Hin} - \Delta H_{Ruck} \quad [mm]$$

Aufteilung v der Differenz (Soll - Ist) = w erfolgt gewichtet, proportional zur Distanz

$$v_i = w \frac{D_i}{\sum D_i}$$

Nur Höhen der gesuchten oder vermarkten Punkte werden berechnet.
 Gewicht: $p = \frac{1}{D}$
 Standardabweichung der Gewichtseinheit (für 1 km Weglänge)

$$s_s = \sqrt{\frac{\sum p d d}{2n}}$$

mit n = Anzahl Teilstrecken
 Standardabweichung a , arithmetischen Mittel für 1 km Nivellement

$$s_0 = \frac{s_x}{\sqrt{2}}$$

Standardabweichung gesamte Höhendifferenz

$$s_{[H]} = \frac{s_0}{\sqrt{pH}} = s_0 \sqrt{\sum D}$$

Flächennivellement

Aufnahme diskreter Punkte Lagen der aufgenommenen Punkte müssen bekannt sein. Instrument mit Horizontalkreis, Distanzmessung mit Raster, Distanzfäden oder elektronisch. Kann auch mit Rotationslaser durchgeführt werden.

Trigonometrische Höhenbestimmung

Prinzip Auf Standpunkt A mit Instrumentenhöhe I wird der Zenitwinkel z und die Schrägdistanz d_s oder Horizontalabstand d_{hor} zum Punkt B mit der Reflektorhöhe S gemessen. Schräg-, Horizontalabstand Meteokorrigieren. Höhenunterschied:

$$\Delta h_{AB} = d_m \cos(z) = +(I - S)$$

$$\Delta h_{AB} = d_{hor} \cot(z) + (I + S)$$

Für Distanzen > 150m: Korrekturglieder aufgrund von Refraktion und Erdkrümmung

$$H_B = H_A + \Delta h_{kE} - k_R + I - S = H_A + d_m \cos(z) + k_E - k_R + I - S$$

$$H_B = H_A + d_{hor} \cot(z) + k_E - k_R + I - S$$

Einfluss der Erdkrümmung Beim Instrumentenstandpunkt A wird eine Tangente gelegt. Δh zu Punkt B bezieht sich auf diese Ebene. \Rightarrow Abstand zwischen Ebene und Erdkugel.

$$k_e = \frac{d_{hor}^2}{2R}$$

Größenordnung des Einflusses

$$\delta_E = \frac{d_m \sin(z)}{2R} \rho$$

Einfluss der Refraktion Refraktion entsteht dadurch, dass die Dichte der Luft und damit der Brechungsindex mit zunehmender Höhe abnimmt. In Bodennähe unterliegt der Temperaturgradient starken Schwankungen, der Druckgradient nicht. Bei einer Temperaturabnahme von $1^\circ\text{C}/100\text{ m}$ gilt näherungsweise: $R_{\text{Licht}} \approx 8R$. Der Refraktionskoeffizient κ hängt von den herrschenden atmosphärischen Bedingungen ab.

$$\kappa = \frac{R}{R_{\text{Licht}}} = 503 \frac{p}{T^2}$$

Größenordnung des Einflusses der Refraktion:

$$\delta_R = \kappa \frac{d_m \sin(z)}{R} \rho$$

Korrektur k_r infolge Refraktion

$$k_R = \kappa \frac{d_{hor}^2}{2R}$$

Trigonometrisches Nivellement

Aneinanderreihung von trigonometrischen Höhenmessungen führt zu grösseren Zielweiten \rightarrow höhere Wirtschaftlichkeit, aber mit verfälschenden Einflüsse der terrestrischen Refraktion.

Gegenseitig-gleichzeitige Zenitwinkelmessung Annahme: Refraktionskoeffizient ist gleich. Jedoch hoher Messaufwands

Quasi-simultane Methode Zeitliche Verschiebung zwischen den Beobachtungen

Einfaches und erweitertes Sprungstandverfahren Speziell konstruierte Latte mit 5 Zielmarken (genau kalibriert) und gleicher Anzahl von Prismen. Zenitwinkel und Schrägdistanzen werden bündelweise gemessen.

motorisierte Verfahren Zwei Latten- und 1 Beobachterfahrzeug, zusätzliche Sensoren (Temperatursensor für vertikalen Temperaturgradient). Standardabweichung für ein Kilometer Doppelnivellement liegt bei unter 1 mm. Produktivitätssteigerung um 40-100 %.

Barometrische Höhenmessung

Prinzip Bestimmung des Luftdrucks auf verschiedenen Höhen. Der durchschnittliche Luftdruck p_0 auf Meereshöhe beträgt 760 mm Quecksilber. Bei zunehmende Höhe nimmt der Druck logarithmisch ab (Gasgesetz von Boyle-Mariotte, Gay-Lussac). Der Luftdruck ist abhängig von Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, geographische Breite sowie dem Schwerefeld der Erde.

Instrumente und Genauigkeiten Elektronische Drucksensoren sind konstruktiv als piezoelektrische, piezoresistive, induktive, kapazitive, Widerstands-, Vibrationsdruckaufnehmer gebaut. Mit Schnittstellen und Signalaufbereitung können sie digitale Daten liefern, die weiterverarbeitet werden können. Genauigkeit: 1 m bis wenige Dezimeter. Altimeter ist eine modifizierte Form eines Barometers.

Hydrostatisches Nivellement

Prinzip der kommunizierenden Röhren. Keine Sichtverbindung nötig.

Einfaches hydrostatisches Nivellement Schlauchwaage, eine Weiterentwicklung ist der Nivelliertaster. Flächennivellement im Einmannbetrieb. Genauigkeit zwischen 1 cm und 2 mm.

Präzisionsschlauchwaage Genauigkeiten bis zu 0.01 mm. Die Höhe wird über Abtastsysteme ermittelt.

Höhenbestimmung mit GPS

NAVSTAR GPS liefern 3-D-Koordinaten in geozentrisch-kartesischen Koordinatensystem. Diese lassen sich in ellipsoidische jedes beliebigen Landeskoordinatensystems umformen. Bei Kenntnis des lokalen Geoids ist die Berechnung der orthometrischen Höhe möglich. Zeitlicher Aufwand und Genauigkeit bei Distanzen über 1 km sind beim Satellitenverfahren höher als mit der trigonometrischen Höhenmessung. Nivellierverfahren ist in den meisten Fällen dem Satellitenverfahren überlegen. Über grosse Distanzen und je nach Genauigkeit ist aber GPS wieder wirtschaftlicher.

Weitere Bestimmungsmethoden

Hydrodynamisches Nivellement Wird aus Pegelbeobachtungen gewonnen. Einflussgrößen: Wasserdichte, Luftdruck, Wind- und Bodenreibung, Strömungsverhalten, geostrophische Beschleunigung.

(VLBI) Very Long Baseline Interferometry Laufzeitdifferenzen elektromagnetischer Wellenfronten auf zwei Beobachtungsstationen.

SLR/LLR Satellite LAser RAnging, Lunar Laser Ranging. Laufzeit eines Laserimpulses zwischen Bodenstation und einem Satelliten/ Mond wird gemessen. Bestimmung von 3-D geozentrische Stationskoordinaten.

Satellitenaltimetrie Bewegte Plattform für einen Sensor. Sendet Mikrowellenimpulse im Radarfrequenzbereich aus. Durch Reflexion von der Erdoberfläche wird es wieder empfangen. Die Höhe über der Erdoberfläche kann genähert bestimmt werden. Näherungsweise kann das Geoid im Bereich der Ozeane abgetastet werden.

Genauigkeitsrangliste der Messmethoden

Nivellement, Nachteil: Wirtschaftlichkeit; GPS wenn Distanz > 1km und Geoid mit gewünschter Genauigkeit bekannt, Vorteil: Aufwand; trigonometrische Höhenbestimmung.

6 Geodätische Statistik

Aufgabe Mit Hilfe der Statistik werden Messungen gegenüber Irrtümern gesichert und ihre Genauigkeitsmasse bestimmt. Mit den Messwerten (überbestimmt!) werden folgende statistische Größen bestimmt: Plausibler Wert; Streuung oder Standardabweichung; Genauigkeit und Vertrauensintervall. Unsicherheit der Größen wird durch überbestimmung bestimmt.

Fehlerarten

Grobe Fehler Irrtum oder Wahl eines falschen Modells. Falsch! Messelemente muss durch die Anordnung kontrolliert sein. Unabhängige Kontrollmessungen, Proben, andere Konfiguration, Mehrfachmessung.

Systematische Abweichung Funktionale Komponente der Abweichung. Durch systematische falsche Handhabung, unkalibrierte Messinstrumente, Distanzmessungen mit falscher Frequenz/ Additionskonstante, Refraktionseinflüsse, Erdkrümmung.

Zufällige Abweichung Grenze des Auflösungsvermögen, Rauschen von elektronischen Komponenten, externe Einflüsse (normalverteilt)

Grundlagen

wahrer Wert x_w Tatsächlicher Wert in Natura.

Erwartungswert μ $E(x)$, erstes zentrale Moment der Zufallsvariablen x

Bias δ Abweichung des μ von x_w bei vorhandenen, nicht erfassten, systematischen Fehlern

$$E(x) = \mu = x_w + \delta$$

Wahre Abweichung ϵ Abweichung vom Messwert x_i von x_w .

Verbesserung v Abweichung des x_i von μ . $v = \mu - x_i$

In der Statistik: Ist - Soll, Geodäsie: Soll - Ist. Idee: Messwert muss um diesen Wert verbessert werden.

arithmetisches Mittel \bar{x} Plausibelsten Schätzwert, bei Normalverteilung.

$$\mu = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Abweichung nicht normalverteilt: Benutzung des Median (robuster Schätzwert) \tilde{x} . Medianbildung: Werte vom kleinsten zum grössten geordnet. Median ist der Wert in der Mitte. $\tilde{x} = x_{[(n+1)/2]}$, $\tilde{x} = \frac{1}{2}(x_{[n/2]} + x_{[(n/2)+1]})$

Verteilungsfunktionen

Die Wahrscheinlichkeitsdichte $f(x)$ gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit der die diskreten Zufallsvariablen x_i vorkommen. Die Varianz $V(x) = \sigma^2$ ist das zweite zentrale Moment einer Zufallsvariablen. Zentrale Momente sind Momente bezogen auf den Erwartungswert. Varianz ist ein Mass der Streuung einer Zufallsvariablen um ihren Erwartungswert.

Werte beliebiger Normalverteilung lässt sich in standardisierte Werte einer Zufallsvariablen transformieren. Erfahrungswert $E(z) = 0$ und Varianz $V(z) = 1$, Transformation: $z = \frac{x-\mu}{\sigma}$. μ und σ Erwartungswert bzw. Standardabweichung der Zufallsvariablen x . Wahrscheinlichkeitsdichte: $\varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-1/2z^2}$

Verteilungsfunktion gibt Wahrscheinlichkeit an, mit der ein Messwert im Bereich liegt: $\Phi(z) = \int_{-\infty}^z \varphi(t) dt$

μ und σ sind Lage- und Formparameter der Dichtefunktion. Variation von μ verschiebt den Graph auf der x -Achse, σ beschreibt die Breite.

Schiefe Verteilung Messwerte x_i folgen einer schiefen Verteilung, dann gibt der Median \tilde{x} einen zutreffenden, robusteren, empirischen Mittelwert an. Auf beiden Seiten des Medians liegen gleichviele Messwerte. Mass für die Schiefe:

$$\gamma = \frac{1}{\sigma^3} E([X - \mu]^3)$$

Genauigkeitsmasse

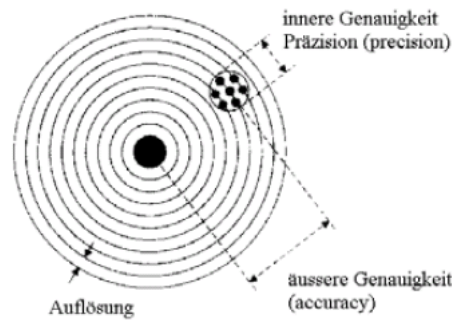
Innere Genauigkeit Synonym für Präzision. Zufällige Streuung. Mass für die Reproduzierbarkeit.

Äussere Genauigkeit Berücksichtigung der systematischen Abweichungen.

Auflösung Kleinste Zählheit.

Varianz Die Minimierung der Varianz ist Gegenstand der Ausgleichsrechnung in der Geodäsie. Diese beruht in den meisten Fällen auf der Methode der kleinsten Quadrate. Die beste lineare erwartungstreuere Schätzung liefert identische Ergebnisse.

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2$$



Doppelbeobachtung Jeder Messwert wird unabhängig vom anderen mit derselben Genauigkeit gemessen. Die Standardabweichung lamm aus den Differenzen d der Doppelbeobachtung ermittelt werden. Wahre Wert der Differenz ist 0. Standardabweichung einzelner Beobachtung;

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum dd}{2n}}$$

Standardabweichung des Mittels zweier Beobachtungen

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\sum dd}{n}}$$

Empirische Varianz entspricht der Varianz in der Wahrscheinlichkeitsrechnung, aber μ ist nicht bekannt und muss geschätzt werden (deskriptive Statistik), durch Bildung des arithmetischen Mittels \bar{x} .

$$s^2 = \frac{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}{n - u}$$

Freiheitsgrad $f = n - u$: Anzahl der n Messungen abzüglich der u Unbekanten. Für das arithmetische Mittel ist $u = 1$.

Empirische Standardabweichung

$$s = 1 \sqrt{s^2}$$

Standardabweichung einer einzelnen Beobachtung:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right)}$$

Standardabweichung des arithmetischen Mittels

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Gewicht

Notwenig bei Verknüpfung von Messungen verschiedener Genauigkeiten. Gewichte p_i verhalten sich umgekehrt proportional zur Streuung (Varianz) der jeweiligen Beobachtungsgrösse: $p_i = \frac{\text{const}}{s_i^2}$. Bei Distanzen, wo die Genauigkeit a priori übereinstimmt, wird das Gewicht umgekehrt proportional zur Distanz D verteilt.

$$p = \frac{1}{D} \text{ geometrische Nivellement}$$

$$p = \frac{1}{D^2} \text{ trigonometrische Nivellement}$$

Standardabweichung, die das Gewicht 1 hat:

$$s_0 = \sqrt{\frac{\sum p_i x_i^2 - \frac{(\sum p_i x_i)^2}{\sum p_i}}{n-1}}$$

Bei Doppelbeobachtung: Standardabweichung einer Beobachtung mit p_i :

$$s_i = \frac{s_0}{\sqrt{p_i}}$$

Standardabweichung des Mittels von zwei Beobachtungen mit $p = 1$:

$$s_{\bar{x}} = \frac{s_0}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\sum p d d}{n}}$$

Schutz vor groben Fehlern

EINE MESSUNG IST KEINE MESSUNG!

Zuverlässigkeit einer Beobachtung ist ein Mass für die Wahrscheinlichkeit, dass ein grober Fehler entdeckt wird. Grundsätzlich sollten doppelt so viele Beobachtungen vorliegen, als die Anzahl unbekannt. Bei topographischen Aufnahmen kann Zuverlässigkeit auch erreicht werden, indem die Messung durch vorgegebene Eigenschaften der erfassten Objekte überprüft werden. Bei Polygonzügen ist die Zuverlässigkeit in Querrichtung zum Zug kritisch.

Beispiele

Distanzmesserkalibrierung μ ist bekannt.

Messwerte	$\epsilon = x_i - \mu$	ϵ^2
\vdots	\vdots	\vdots
Σ	$\Sigma \epsilon$	$\Sigma \epsilon^2$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 = \frac{1}{n} \sum \epsilon^2$$

Standardabweichung bei Doppelmessung

$$s = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2n}}$$

1. Mess	2. Mess	d	d^2
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
		Σd	Σd^2

Distanzmessung: empirische Varianz und Standardabweichung

$$s^2 = \frac{\sum v^2}{n - u} \quad u = \# \text{ Unbekannte}$$

Messwerte	$x_i - x$	$v = x - x_i$	v^2
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
$x = \frac{1}{n} \Sigma$	Σ	Σv	Σv^2

Genauigkeitsangaben beim Abriss Standardabweichung (gemittelten) Orientierung:

$$s_O = \sqrt{\frac{\sum vv}{n-1}} \quad s_{O_{\text{mittel}}} = \frac{s_0}{\sqrt{n}}$$

Standardabweichung einer orientierten Richtung

$$s_{R_{OR}} = (n+1) \sqrt{\frac{\sum vv}{n(n^2-1)}} \quad \text{mit } n = \text{Anzahl Anschlussrichtungen}$$

Standpunkt			Anschlusspunkte		
Punkt	Y	X	Punkt	Y	X
A	F1
Neupunkt			F2
N1	/	/	F2

Punkt	Ger. Az	Beob. R	Az - R	R + O _m	v=(4)-(5)	vv
F1	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
		$O_m = \frac{1}{n} \Sigma Az - R$	/		Σv	Σv^2

Gewichtetes Mittel bei Nivellementsknoten Höhe N wurde von A, B, C, D aus durch geometrisches Nivellement bestimmt. HN_0 ist die freiwählbare Bezugshöhe.

HN_i	$\Delta HN_i = HN_i - HN_0$	D_i	$p_i = \frac{1}{D_i^2}$	$p_i \Delta HN_i$	$p_i \Delta HN_i^2$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
HN_0			Σp_i	Σ	Σ

Gewichtetes Mittel:

$$HN = \frac{\sum (p_i \Delta HN_i)}{\sum p_i} \quad (1)$$

$$\Rightarrow H = HN_0 + HN \quad (2)$$

Standardabweichung der Gewichtseinheit

$$s_0^2 = \frac{1}{n-1} \left(\sum p_i \Delta HN_i^2 - \frac{1}{\sum p_i} \left(\sum p_i \Delta HN_i \right)^2 \right)$$

Standardabweichung für ein Nivellement der Länge $D_i = \frac{1}{p_i}$:

$$s_i = \frac{s_0}{\sqrt{p_i}}$$

Gewichtet gemittelte Höhe von N hat eine Standardabweichung von

$$S_{HN} = \frac{s_0}{\sqrt{\sum p_i}}$$

Wichtige Formeln

p : Gewicht einer Beobachtung	$p_i = \frac{s_0^2}{s_i^2}$
s_0 : Standardabweichung einer Beobachtung mit Gewicht 1	
Verbesserung	$v_i = \mu - x_i$
Differenz der Doppelbeobachtung	$d = x_2 - x_1$
arithmetisches Mittel	$\mu = \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$
gewichtetes Mittel	$\hat{x} = \frac{\sum p_i x_i}{\sum p_i}$
Median	$\tilde{x} = x_{(n+1)/2}$ n ungerade $\tilde{x} = \frac{x_{n/2} + x_{n/2+1}}{2}$ n gerade
Varianz	$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \mu)^2}{n}$
empirische Varianz	$s = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1} = \frac{\sum vv}{n-1}$
empirische Standardabweichung	$s = (+) \sqrt{s^2}$
Standardabweichung einzelne Beobachtung	$s = \sqrt{\frac{\sum vv}{n-1}}$
einzelne Beobachtung aus Doppelbeobachtung	$s = \sqrt{\frac{\sum dd}{2n}}$
arithmetisches Mittel	$s = \frac{s}{\sqrt{n}}$
Mittel zweier Beobachtungen aus Doppelbeobachtung:	$s_{\bar{x}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\sum dd}{n}}$
der Gewichtseinheit	$s_0 = \sqrt{\frac{\sum pvv}{n-1}}$
Beobachtung mit Gewicht p_i	$s_i = \frac{s_0}{\sqrt{p_i}}$
Gewichtseinheit aus Doppelbeob.	$s_0 = \sqrt{\frac{\sum pdd}{2n}}$
Mittel zweier Beobachtungen mit $p = 1$ (Doppelbeob.)	$s_{\bar{x}} = \frac{s_0}{\sqrt{2}}$
einer Orientierung	$s_0 = \sqrt{\frac{\sum vv}{n-1}}$
gemittelten Orientierung	$s_{O_{\text{mittel}}} = \frac{s_0}{\sqrt{n}}$
orientierten Richtung	$s_{R_{OR}} = (n+1) \sqrt{\frac{\sum vv}{n(n^2-1)}}$

Toleranzen

Spielraum der zulässigen Abweichung.

Nennmass Mass, das zur Kennzeichnung von Grösse, Gestalt und Lage eines Bauteils angegeben und in den Konstruktions- oder Bauplan eingetragen wird.

Istmass Durch Messung festgestellt.

Istabmass Differenz zwischen Istmass und Nennmass

Grösstmass Grösst zulässige Mass

Kleinstmass Kleinst zulässige Mass

Grenzabmass Differenz zwischen Grösst-/ Kleinstmass und Nennmass

Toleranz Differenz zwischen Grösst- und Kleinstmass

7 Aufnahme

Aufnahme ist die Grundlage zur Erfassung, Speicherung und Darstellung von künstlichen oder natürlichen Objekten. Aufnahmetechnik richtet sich nach Wirtschaftlichkeit, Genauigkeit, Verfügbarkeit und Termine. Sie dient ein thematisches Abbild eines vorhandenen Objekts zu erstellen.

Basisinformation Ein Objekt wird eindeutig durch die Metrik (Geometrie [Lage im Raum, Ausdehnung], Topologie [Verknüpfung von Punkten oder Linien zu einem Objekt]) und der Thematik (Beschreibung des Objekts nach vorgegebenen Kriterien).

Aufgabenbereiche Kataster, Kartographie, Geologie, Klimatologie, Versorgungsunternehmen, Bauwesen, Telekommunikation, Industrieanlagen.

Diskrete Punkte, Vektorpunkte

Einzelpunkte Repräsentativer Punkt eines Objekts. X,Y,Z-Koordinaten werden gleichzeitig bestimmt. Effizient, der Situation angepasst, braucht genaue Kenntnis der erreichbaren Genauigkeiten, Verwendung und Weiterverarbeitung der erhobenen Daten.

Profil- und Rasteraufnahme Wird nach einem starren Aufnahmeschema vorgegangen. Raster ins Gelände oder Objekt übertragen, dann wie bei Einzelpunktaufnahme. Vorteil: Abstecken der Rasterpunkte mit einfachen Mitteln möglich. Die Höhe kann mit einfachen Messverfahren ermittelt werden. Auswahl an diskreten Punkten erschwert. Nachteil: starr, unflexibel, eher aufwändig. Liefert aber gute Resultate bei sorgfältiger Wahl des Rasters.

Alle Punkte, Rasterdaten

Primäre Scannverfahren Flächenhafte Aufnahme, Scanverfahren, Photogrammetrie. Ein Objekt wird mit einer Vielzahl von Messpunkten in regelmässigen Abständen abgetastet (berührungsfrei)

Sekundäre Scanverfahren Scannen von Plänen und Karten

Polare Verfahren

Tachymetrie mit Reflektor Tachymeter so stationieren, dass möglichst viele Punkte gesehen werden können. Die elektronischen Tachymeter erlauben die Berechnung 3D-Koordinaten und deren Registrierung. Vermessungsskizze und sorgfältige Punktcodierung unerlässlich.

Tachymeter, reflektorlos Gerät arbeitet mit Laufzeit- Puls- Messverfahren. Sind für Aufnahme unzugänglicher Strukturen geeignet. Genauigkeit ist geringer.

Theodolit-Messverfahren Ein Situationspunkt kann mit räumlichem Vortwärtseinschneiden von 2 bekannten Punkten bestimmt werden.

Photogrammetrische Verfahren

GPS-Verfahren

Genauigkeit je nach Beobachtungsverfahren 1cm für die Lage, 3cm für Höhe. **Vorteile** Messung kann gleichzeitig mit der Attributierung der aufgenommenen Punkte stattfinden. Leistungsfähige Aufnahmemethode, ähnlicher Zeitaufwand wie bei der Polarmethode. Gut geeignet für die Vermessung vom Situationspunkten im offenen Gelände. Zwischen Referenzpunkten und dem aufzunehmenden Punkt ist keine direkte Sichtverbindung notwendig. **Nachteile** Bei horizontabdeckung sind teilweise zu wenig Satelliten verwendbar. GPS liefert WGS84-System Koordinaten. Transformation ins Benutzersystem.

Einbinde- und Orthogonal-Verfahren

Einbindeverfahren werden die Umrisslinien eines Objektes bis zu einem übergeordneten Messliniennetz verlängert.

Orthogonalverfahren Rechnen von Koordinaten und das Zeichnen eines Planes mit einfachen Hilfsmitteln, da alle Masse im rechten Winkel zueinander stehen.

Laser Profiler

Ermöglicht das Aufnehmen von Profilen. Reflektorlos arbeitender Distanzmesser, in einer Ebene frei drehbar angeordnet. Profile können in einer Auflösung von ca. 0.1 gon abgetastet werden. Anwendung bei Aufnahme von Hohlräumen (Tunnel, ...).

Laser Scanner

Tastet einen definierten Raumbereich ab. Misst berührungsfrei Azimut und Distanz und speichert dies. Mit Auswertesoftware kann ein digitales Höhenmodell erstellt werden. Prinzip eines Tachymeters mit berührungsfreiem Distanzmes-

Nivellier-Verfahren

Staffelmethode

Messprinzip: In der jeweiligen Lattenlage werden Horizontal- und Vertikaldistanzen gemessen. Empfehlenswert in steilen Geländen und bei schlechten Sichtverhältnissen. **Vorarbeiten:** Profillinien mit Jalons visualisieren. Zeichner bereitet pro Profil ein Blatt vor mit Bezeichnung des Profils (x-Wert), Bezugshorizont im lokalen oder Landessystem, Ausgangshöhe (z-Wert), sowie den Massstab. **Messung und Ausrüstung:** Messung erfolgt in Profillinie. Der Zeichner steht vor dem Profil. Latte wird horizontal auf dem Achspunkt in Profillrichtung aufgehoben. Zeichner zeichnet die Lage, Höhe und Länge der Latte massstäblich in die Zeichnung. Danach Aufnahme aller signifikanten Geländepunkte. **Kontrolle der Aufnahme und Auswertung:** Zeichner hat den gezeichneten Geländeschnitt mit der Realität zu vergleichen bevor eine neue Aufnahme erfolgt.

Distanzmessverfahren

Mit Hand-Laser-Meter. Gerät sind mit oder ohne Datenausgang ausgestattet und können für Aufnahmen und Absteckungen eingesetzt werden. Mit Leica Disto werden reflektorlos Messungen ausgeführt. Es können auch Flächen und Kubaturen direkt am Gerät berechnet werden. In Verbindung mit Laptop (CAD) können Auswertungen sofort an Ort erfolgen. Für Aufnahme von komplizierten Objekten kann der Disto auf einen Theodolit aufgesetzt werden. → Tachymeter.

Messverfahren

Vorbereitung Unterlagen beschaffen (Pläne, Messprotokolle, Fixpunktkoordinaten).

Rekognoszieren Detailaufnahme mit einfachen Hilfsmitteln, Aufsuchen von Fixpunkten.

Aufnahme aller Situationspunkte, Geländepunkte (z.B. Bruchkanten, Kanten, Wannen und Kuppen), verdeckte Punkte

Aufnahme verdeckter Punkte Einbinde-, Orthogonalverfahren, einfaches Verlängern, Hidden Point (Stab mit zwei Reflektoren. Abstände vom Fusspunkt zu den beiden Reflektoren ist bestimmt. Messung mit Tachymeter auf beide Reflektoren. Tachymeter berechnet die gesuchten Punktkoordinaten.

Auswertung und Abschluss ...

Raster, Längen-, Querprofile

	Raster	Längen und Querprofil
Art des Objekts	Flächenhaft	Linienhaft
# Achsen	> 1	1
Wahl der Achsen	Rasterpunktfestlegung (Lage, Rasterweite) ist projektspezifisch	Achse ist definiert und damit die Lage des Längsprofils. Definiert werden Profilabstände (z.B. Kilometrierung der Querprofile).
Koord.sys.	y,x, lokales System H: Landessystem	Y,X,H: Landessystem

Übersicht Messverfahren

Photogrammetrie/ Luftbild Zweckmässig bei grossen und überregionalen Projekten. Bei allen Geländeformen möglich.

Polarverfahren / GPS Universell einsetzbar und bei flächenmässig begrenzten Projekten ideal. Bei der Absteckung kann gleichzeitig die Geländeaufnahme erfolgen.

Nivellierverfahren Im ebenen Gelände gut (Raster, Längen- und Querprofilaufnahme), bei starker Neigung ungeeignet.

Staffelmethode Ebenes Gelände: Raster und Längenprofil, ungeeignet. Querprofil OK. **Mässig geneigt:** Gut bei Querprofilaufnahme, Ungeeignet für Längenprofile. **Weniger bei Raster. Stark geneigt:** Raster, weniger geeignet, Längenprofile, ungeeignet, Querprofil gut.

Rasteraufnahme

sind Aufnahmen von Geländeschnitten, die rechtwinklig zueinander stehen und sich schneiden. Rastermaschen können quadratisch oder rechteckig sein. In der Regel werden nur die Höhen der Rasterpunkte bestimmt (Koordinatensystem eindeutig).

Polares Verfahren, Vorgehen Lokales System: Rasterpunkt sowie Rasterrichtung oder zweiten Eckpunkt abstecken. Tachymeter auf Eckpunkt stationieren und Teilkreis auf die abgesteckte Richtung orientieren. Rasterpunkte abstecken und Geländehöhe bestimmen. Mit GPS ähnliches Verfahren.

Nivellierverfahren Messgerät: Nivellier oder Rotationslaser. Raster abstecken und mit Jalons sichern. Abgesteckte Linien sollen in der Falllinie des Geländes liegen.

Kontrolle Doppelaufnahme, Stickproben, Konstruktion der Höhenlinien direkt im Feld, visueller Vergleich.

Längensprofilaufnahme

Beschreibt den Geländeverlauf in der Projektachse. Höhen in den Profilverpunkten bestimmt.

Messverfahren wird durch Grösse des Objekts und der Geländeform bestimmt. Bei Absteckung der Profilverpunkte: GPS, Polar. Liniennivellement kann bei passender Geländeform sinnvoll sein.

Kontrolle Doppelaufnahme, Anschluss an weitere höhenmässig bekannte Punkte.

Querprofil

liegen immer im rechten Winkel zur Tangente an die Projektachse. Detaillierte Aufnahme. Soll auch das Gelände zwischen benachbarten Profilen repräsentieren.

Polares Verfahren/ GPS Längs- und Querprofile können gleichzeitig aufgenommen werden.

Nivellierverfahren Arbeit mit dem Instrumentenhorizont. Das Profil kann auch direkt im Feld gezeichnet werden.

Staffelmethode ...

Kontrolle Doppelaufnahme von markanten Punkten, Feldvergleich nach der Auswertung. Visuelle Kontrolle.

Amtliche Vermessung

Grundlagenerstellung für das eidgenössische Grundbuch. Grundlage für die Erfassung von Daten und zum Erstellen von Plänen. Daten der AV liegen in graphischer und numerischer Form vor, als auch im GIS. In Zukunft sind die Daten nur noch in GIS-Form zu finden. Alle Daten sind öffentlich. Pläne der AV werden permanent nachgeführt.

Layer Um nach AV93 erhobene Daten in RIS (Relational Interface System) abzulegen, wurde in der Technischen Verordnung der Amtlichen Vermessung (TVAV) 8 Ebenen vorgeschrieben. Fixpunkte, Bodenbedeckung, Einzelobjekte/Linienelemente, Höhen, Monenklatur, Liegenschaften, Rohrleitungen, Administrative und Technische Einteilung.

Messverfahren Polar, in Kombination mit Einbinde- und Orthogonalverfahren, Photogrammetrisch, GPS.

Bezugssystem Landeskoordinaten.

Darstellung Grundbuch: Situations- und Eigentumsgrenzen, lagerichtig, Massstäbe 1:250-1:2000. **Übersicht:** Situation und Topographie. Massstäbe 1:2500: lagerichtig, 1:5000, 1:10000: generalisiert.

Leitungsaufnahme

Für Unterhalt von Versorgungsanlagen ist die genaue Lage (Y,X,Z) von Leitungen unerlässlich. Verwaltet werden die Daten in Leitungskatastern, die neu nur noch auf GIS oder CAD basierend erstellt werden.

Messverfahren Polar, Anwendung des Hidden-Point Stab, ev. in Kombination mit GPS, in Anlagen mit Photogrammetrie. Ortungsgeräte zur Detektion unterirdischer Leitungen

Bezugssystem Landeskoordinaten, lokale Bezugssysteme.

Darstellung Situations und Eigentumsgrenzen, lagerichtig, inkl. Beschreibung der Höhenlage der Leitungen. Massstäbe 1:50 bis 1:2000.

Genauigkeitsanforderungen

Genauigkeit der Aufnahme ist abhängig von: Bedarf, Geräte, Know-How, Zeit, Wirtschaftlichkeit, Personal, Wetter.

Anforderungen in der AV sind methodenunabhängig formuliert. Durch AV erhobene Daten müssen für jede Ebene getrennt festgelegten Anforderungen bezüglich Lage- und Höhengenaugigkeit genügen.

Genauigkeitsanforderungen**						
Informationsebene	Punktart*	Lagegenauigkeit in cm				
		TS 1	TS 2	TS 3	TS 4	TS 5
Fixpunkte	LFP 2	0.7 + s	1.7 + 2s	1.7 + 2s	3.3 + 2s	3.3 + 2s
	LFP 3		1.8 + 5.7√s'	1.8 + 5.7√s'	3.6 + 10.6√s'	3.6 + 10.6√s'
		Höhengenaugigkeit in cm				
	LFP 2	1.7 + 2s	1.7 + 2.7s	1.7 + 2.7s	3.3 + 2.7s	3.3 + 2.7s
	LFP 3		5 + 8s'	5 + 8s'	10 + 15s'	10 + 15s'
	HFP 2		0.03 + 0.3s	0.03 + 0.3s		
	HFP 3		2s			

* LFP = Lagexfixpunkte, HFP = Höhenfixpunkte
 ** s = Distanz in Kilometern zwischen zwei beliebigen benachbarten Punkten
 s' = Distanz in Kilometern zwischen dem betreffenden Punkt und dem nächsten Anschlusspunkt

Tab. 7.3 Genauigkeitsanforderungen für die Ebene Fixpunkte

Genauigkeitsanforderungen									
Informationsebene	Punktart	Lagegenauigkeit in cm				Höhengenaugigkeit in cm			
		TS 2	TS 3	TS 4	TS 5	TS 2	TS 3	TS 4	TS 5
Einzelobjekte	*	10	20	50	100				
Linienelemente	**	25	50	100	200				
Höhen	*					20	100 + 350tanα***		****
	**						100 + 350tanα***		****
Liegenschaften Rohrleitungen ¹⁾	*	3.5	7	15	35				
	**	20	35	75	150				

* im Gelände exakt definierter Punkt: Gebäudeecke, Mauerpunkt etc.
 ** nicht exakt definierter Punkt: Wald-, Wiesen-, Weiderand etc.
 *** α = Winkel der mittleren Geländeneigung in gon
 **** in der TS 5 ist die Höhengenaugigkeit des DHM25 (Digitales Höhenmodell mit 25m Rasterabstand der Swisstopo) massgebend
¹⁾nur überregionale Gas- und Ölleitungen

Tab. 7.4 Genauigkeitsanforderungen für die Ebenen „Einzelobjekte / Linienelemente“, „Höhen“, „Liegenschaften“ und „Rohrleitungen“

Genauigkeitsanforderung im Bauwesen Aufnahme f. Projektierung: Geländedarstellung ≤ 20cm, bestehende bauliche Anlagen ≤ 5cm. **Aufnahmen von fertig erstellten Anlagen** für RIS/GIS, AV, Landeskartenwerk. Siehe Tabelle. **Aufnahmen/ Abnahmen von Bauteilen, Endabnahmen** Je nach Bauteil ≤ 1mm bis ≤ 3cm. **Bestandesaufnahmen, Ausführungswerke, Werkdokumentation** ≤ 1cm bis ≤ 5cm

Kontrollen der Aufnahmen Kontrollen zur Vermeidung grober und systematischer Fehler, Reduktion zufälliger Fehler. Kontrollen: Doppelaufnahme (Stichprobe), Kontrollmasse, Konstruktionsmasse, Vermessungsskizze. Angaben von Codierung und Attributen, Vermessungsskizze mit Darstellung des Höhenlinienverlauf, von Bruchkanten, Kuppen, Wannern, Interpolationsvermerke. Lagebestimmung von Höhenlinien (Stichprobe).

Auswertung der Aufnahmedaten

Computergestützte Auswertung Vorarbeiten: Berechnen der Koordinaten der Aufnahmepunkte. Beurteilung der Messdaten, Einhaltung der Genauigkeitsanforderungen durch Doppelaufnahme, Kontroll- und Konstruktionsmasse. **Weiterverarbeitung RIS, CAS**

Computergestützte Auswertung im Gelände Sofortiger Feldvergleich. Vermessungsskizze muss nicht erstellt werden...

Manuelle Auswertung im Feld für kleine Gebiete sinnvoll, in vorhandenen Plänen Punkte ergänzen.

Polare Aufnahme Aufnahme eines Fixpunktes und Teilkreis darauf orientieren. **Kontrolle** weiteren Fixpunkt anzielen und Messung auf Plan kontrollieren. Aufnahme der Detailpunkte.

Konstruktion der Geländeform rechnerisch mit dem Strahlensatz: $d_i = \frac{d_{AB}}{\Delta H_{AB}} \cdot \delta h_i$. graphisch mit transparentem Millimeterpapier. mit direkt aufgenommenen Höhenlinien: genaueste Methode, aufwendig → Kote der aufzunehmenden Höhenlinie und Höhenunterschied δh zwischen Kote und Station ist bekannt, Reflektor wird in der Nähe der gesuchten Höhenlinie aufgestellt, Station zeigt Höhenunterschied an. **Korrekturwert** $\Delta h_{ist} - \delta h_{soll} + I - S$, wird übermittel und Reflektor entsprechend versetzt.

Darstellungsformen von Informationen in Karten und Plänen

Situation und Topographie **Topographie**: Darstellungsform der dritten Dimension: Höhenlinien, Zwischenlinien, kotierte Punkte, Schraffen. **Situation**: Objekte tatsächlicher Natur (Bodenbedeckung, Vegetation, Bauten), Vermessungspunkte, immaterielle Objekte (Parzellen- und Gemeindegrenzen)

Höhenlinien Schichtlinien, Niveaukurven oder Isohypsen → Äquidistanz:

$$\Delta H = \frac{m}{1000}$$

m : Massstab

Schraffen für Böschungen verwendet.

Zwischenlinien Wenn die Geländeform zwischen Höhenlinien nicht symmetrisch ist.

Beschriftung bestehende Geländehöhen werden kursiv geschrieben, Projekthöhen normal, jede eingeführte Linie wird beschriftet, **Höhenangaben** Fixpunkte auf cm, nicht eindeutig definierte Punkte auf dm, eindeutig definierte Punkte auf cm.

Plan Darstellung lagetreu teilweise generalisiert. 1:2'500- 1:10'000.

Karte Nicht lagetreu. Stark generalisiert: > 1:25'000

Das digitale Geländemodell Über Koordinaten X , Y und H digital beschrieben. DHM: digitales Höhenmodell, DEM: digit. Elevations Modell, DTM: Digital Terrain Modell.

Punktarten Punktdaten welche nur Lage- und Höheninformationen beinhalten und solche welche Zusatzinfo (Topographie) enthalten

Begriffe **Markante Punkte** Kuppen, Mulden; **Geländelinie** Verbindung von Einzelpunkten (1. harte Bruchkanten, so dass Höhenlinien gebrochen werden; 2. weiche Strukturlinien, Höhenkurven werden bei Geländebrüchen ausgerundet); **Bruchkanten** Zusatzinfos; **Grat- und Tallinien** spez. Bruchkanten, beschreiben Zusammenstossen von zwei Teilflächen entlang der Falllinie; **Strukturlinie** unscharfer Übergang zwischen verschiedenen geneigten Teilflächen; **Falllinie** Verlauf der grössten Flächenneigung, **Vermaschung** Verbindung von einzelnen Punktdaten zu kleinen geschlossenen Flächen; **DHM 25** DHM mit Rasterabstand 25m, ausreichend für Arbeiten in den Projektstufen.

Theorie der Geländemodelle **Dreiecksvermaschung** Dreieck wird aufgebaut, wenn der Umkreis von drei Geländepunkten keine weiteren Punkte beinhaltet, rechenintensiv, Vermaschung darf keine Geländebruchlinien schneiden.

8 Absteckung

Punktversicherung Die örtliche Markierung eines Punktes, Punktückerversicherung gilt für die rückwärtige Versicherung einer Punktversicherung.

Kontrolle unerlässlich unabhängige Kontrolle durchzuführen! Möglichkeiten: Punkt auf unabhängige Art ein zweites mal abstecken, abgesteckte von zweiter Station aus einmessen, Kontrollmasse.

Dokumentation Berechnungen für die Koordinaten der abgesteckten Pläne mit eindeutiger Darstellung (inkl. Punktversicherungen, etc.)

Absteckverfahren (Messverfahren)

Abstecken von Richtungen **Fluchten**: Einfluchten von Zwischenpunkten in eine Gerade; abzusteckende gerade ist eine Projektachse, die im Raum direkt realisiert wird. **Einfluchten von Punkten in einer Vertikalebene**: alle Punkte liegen auf einer Geraden, Fluchten von Auge oder mit Messfernrohr, muss beim Einfluchten das Fernrohr gekippt werden, weil Punkte auf verschiedener Höhe liegen so wird in beiden Fernrohrlagen gemessen. **Verlangern einer Geraden**: Absteckung der Punkte in beiden Fernrohrlagen (Zielachsenabweichung) → Mittel bilden. **Direkt im Raum realisierte Fluchtgerade (Richtlaser)**: Fluchtgerade kann mit div. Sensoren realisiert werden, meist werden sichtbare Laser verwendet.

Visieren (Höhenabsteckungen): die Punkte werden beim Einvisieren in eine beliebige geneigte Ebene höhenmassig abgesteckt, alle Punkte liegen im Aufriss in einer Geraden, das Visieren kann mit Richtlaser, Messfernrohr oder von Auge erfolgen. **Visieren mit freiem Auge**: Einvisieren von Zwischenpunkten, Verdichtung des Höhennetzes, Visuren (Broschen) haben feste Länge.

Lotung von Punkten errichten einer Vertikalen im Gelände und deren Verwendung als Referenzlinie für Messungen und Absteckungen. Vertikale ist identisch mit dem Verlauf der Lotlinie. Verwendung: Hochbau, errichten von Stahlkonstruktionen, Schachtablotungen, Turm- und Kaminbau. **Mechanische Lotung**: einfachste Methode, Gewicht an Schnur oder Draht. Genauigkeit: ± 1 cm bei einer Höhendifferenz von bis zu 100m. **Optische Lotung**: optische Lotlaser, hohe Genauigkeit, Messungen in vier je um 100gon versetzte Lagen → sehr grosse Genauigkeit.

Abstecken von Ebenen **Horizontale Ebenen** **Nivellieren**: Ebene durch Absteckung diskreter Z-Koordinaten beschrieben. **Rotationslaser**: Ebene durch rotierenden Laserstrahl beschrieben, Laser unsichtbar → Sensoren. **Schlauchwaage (hydrostatisch)**: siehe oben. **Vertikale Ebenen** **Rotationslaser**: Ebene nicht durch das Zentrum des Geräts. Vorgehen: Aufstellen des Lasers, orientieren des Strahls (ein Punkt muss gegeben sein). **Geneigte Ebene**: im Verkehrsbau, einseitig und zweiseitig geneigte Ebenen, mit Nivellier, Rotationslaser oder Tachymeter.

Möglichkeiten neuer Tachymeter Distanz Tracking: Die Absteckung wird wesentlich leichter, nachdem Reflektor aufgestellt und erste Messung ausgelöst wurde, liefert Tachymeter Korrekturwerte für Verschiebung des Reflektors.

Tracklight: Strahlenbüschel der vom Instrument ausgestrahlt wird, verschiedene Farben zeigen richtigen Bereich an.

Absteckung von 1D, 2D und 3D Koordinaten **Abstecken mit freier Stationierung**: vorhandene Fixpunkte ermöglichen oft nur ungenügende Visuren zu den abzusteckenden Punkten. SP im Gelände wählen, dass genügend Anschlusspunkte vorhanden sind. **Absteckung mit real time GPS**: Referenzempfänger an einem bestimmten Punkt aufgestellt, weiterer Empfänger (Rover) steckt die Punkte ab, Rover muss seine Position in Echtzeit liefern, damit aber doch im differentiellen Modus gearbeitet werden kann muss Funkverbindung zwischen Rover und Referenzempfänger stehen; Referenzempfänger sendet die Phasen zum Rover. **Abstecken mit polaren Verfahren**: mit Tachymeter von einem bestimmten Punkt aus, zur Orientierung des Teilkreises sollten min. 2 Anschlusspunkte gegeben sein, Abstecken ist iterativer Prozess: Einweisen, Kontrollieren, Korrigieren. **Indirekte polare Verfahren**: falls Sicht zwischen Station und abzusteckenden Punkten nicht gegeben ist über Hilfspunkte (Bogenschnitt oder Orthogonal (beliebiger Hilfspunkt bestimmen und mit Jalon markieren, Tachymeter rechnet entlang der Hilfslinie damit Hilfspunkt2 kürzeste Distanz zum abzusteckenden Punkt aufweist, anschliessend mit Messband und Pentaprisma abstecken)).

Beispiele zu den Absteckverfahren **Abstecken von Richtungen** Typischen Einsätze von Richtlasern sind (Bsp): *im Kanalbau*: Verlegen von Rohrleitungen, *im Tunnelbau*: Steuern von Vortriebsmaschinen, *im Hoch- und Industriebau*: Steuern von Schalung *im Tiefbau*: Steuern von Baumaschinen und Belagsbaumaschinen. → Während des Vortriebes muss ständig der Vortrieb und die Ausrichtung des Lasers geprüft werden!

Lotungen **Optische Lotung**: Eine spezielle Anwendung der Lotung im Untertagebau ist die Doppellotung. Diese ermöglicht neben der Punktübertragung auch die Übertragung der oberirdischen Richtungen via Schacht in den Untertagebereich.

Abstecken von Ebenen mit Rotationslasern **Horizontale Ebenen**: Die Absteckung von horizontalen Ebenen mit einem Rot-Laser bringt erhebliche Vorteile gegenüber der nivellistisch oder der trigonometrischen Höhenabsteckung. Der Kompensator des Lasers garantiert die horizontale Aussendung der Strahlen. Falls dieser Zustand nicht mehr gewährleistet ist, schaltet das Gerät ab.

Abstecken von 1D-, 2D- und 3D-Koordinaten im Hochbau Höhenübertragung im Hochbau: Falls Höhen in allgemeinen Hochbauten übertragen oder kontrolliert werden sollen, so sind die Genauigkeitsanforderungen ≥ 1 cm **Einsatz Nivellier:** Geometrisches Nivellement über das Treppenhaus mit möglichst langen Nivellierlaten. Oder Höheübertragung über Aussenfassade mit Teleskopsteckplatten oder bei grossen Höhenunterschieden mit einem berührungslos aufgehängtem Messband (50 N eingepannt). **Einsatz elektronischer Tachymeter:** Die Reflektorhöhen werden zweckmässig auf die Instrumentenhöhe eingestellt, die Distanz D kann beliebig gewählt werden. Mit Hilfe der Distanz zu den Reflektoren erhält man die Höhendifferenzen bezüglich der Kippachse des Tachymeters.

Absteckung im allg. Hochbau, 2D Koordinaten Schnurgerüst: ausserhalb der Baugrube, auf dem die Bauachsen versichert sind, zwischen Versicherungen werden Schnüre gespannt um Achsen zu visualisieren. **Zustandigkeiten:** Bauherrschaft / Bauleitung: Absteckung der Hauptachsen, Versicherung von Hohenfixpunkten, bei grossen Objekten auch die Lagefix Punkte; Unternehmen: erstellen der Schnurgerüste, Sekundärachsen, Profilierungsarbeiten, Erhaltung der Fixpunkte Vorgehen: Bauleitung legt im Einvernehmen mit dem Unternehmen Hauptachsen fest; die Achsen werden auf dem Schnurgerüst versichert; Absteckung ist der Baupolizei zu melden; Übergabe der Absteckung an das Unternehmen. Meist führt die Absteckung ein kommunaler Vermessungsdienst aus (im Auftrag der Bauleitung und der Baupolizei, Kontrollmechanismen unabdingbar). **Anforderungen:** Schnurgerüst muss stabil sein, die Laden (Schalbretter) sollen horizontal und rechtwinklig zueinander sein, Achsen mit Farbe kennzeichnen und beschriften, im Absteckungsplan muss Lage Orientierung und Form des Bauwerks eindeutig definiert sein. **Messverfahren:** Polare oder GPS Verfahren (GPS eingeschränkt, da Verbindung zu Satelliten in Überbauung nicht immer gewährleistet) **Polares Verfahren mit Tachymeter mit integrierter Software:** Wahl der Station, Anschlusspunkte berücksichtigen; abstecken der Bauachsen: zwei Punkte auf Schnurgerüst aufmessen, Programm rechnet dann beide Verschiebungsmasse zur Achse. **Tachymeter ohne Rechnerunterstützung:** benötigt werden Standpunktkoord. sowie weitere bekannte Punkte zur Orientierung des Teilkreises. Vorgehen: Stationspunkt wird als Ursprung eines lokalen Koordinatensystems gewählt, Transformation der Daten ins lokale System (wenn Bauachsen parallel, nur eine Gebäudeecke definieren), Absteckung von Station aus: Orientierung des Teilkreises (bekanntem Punkt anzielen und am Teilkreis Azimutwert einstellen, danach Kontrolle), Alhidade drehen bis Kreisstelle dem Azimut der Achse entspricht, Orientierung des Teilkreises auf 0.00gon in dieser Position, Absteckung kann nun beginnen, Reflektor auf Messpunkt stellen, Teilkreis zeigt Richtung im lokalen System an.

9 Geodätische Instrumente

Richtungsmessung: Winkel zwischen zwei Lichtstrahlen; **Distanzmessung:** Laufzeitmessung von Lichtwellen durch Atmosphäre; Wellenlänge des sichtbaren Lichts: violett (390nm) bis rot (780nm); Lichtgeschwindigkeit im Vakuum: $c_0 = 2.99792458 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; Elektromagnetische Wellen, welche die Grenzfläche zweier transparenter Medien unterschiedlicher (optischer) Dichte durchlaufen werden gebrochen und reflektiert.

Reflexionsgesetz Einfallswinkel = Ausfallwinkel, gilt auch für raue Oberflächen. (Gesetz stark vereinfacht: Teil der Strahlung tritt in das reflektierende Medium ein und wird erst dann reflektiert \rightarrow wichtig für Distanzmessung ohne Reflektor.

Brechungsindex

$$n = \frac{c_0}{c_x} \quad \text{mit } c_0 = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Licht wird beim Eintritt vom dünneren ins dichtere Medium zum Lot hin abgelenkt. Lichtstrahl läuft durch den Weg mit der kleinsten optischen Weglänge:

$$= \int_S^P n(s) ds$$

Brechungsgesetz von Snellius:

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$$

Grad der Ablenkung hängt vom Brechungsindexverhältnis und von der Wellenlänge λ ab. Dispersion (Abhängigkeit von Wellenlänge λ), **Totalreflexion:** Ist vom Brechungsindizes zweier Medien abhängig. **Absorption.**

Reflexionsprismen sind Prismen mit mehreren polierten Flächen, an denen Lichtstrahlen durch Totalreflexion oder durch Reflexion an verspiegelten Flächen gebrochen werden. **Pentaprisma** ermöglicht eine rechtwinklige Ablenkung des Zielstrahles. Strahlengang ist rotationsinvariant.

Reflektor, Prismenreflektor räumliche Ecke eines Würfels. Jeder einfallende Strahl wird parallel zu sich selber reflektiert.

Planparallele Platte Parallelversatz eines Zielstrahls

$$q \approx \frac{n-1}{n} d \tan \alpha_1$$

optischer Keil Erzeugung kleiner, konstanter Ablenkungen.

Optische Linsen Sammellinse: paralleles Strahlenbündel konvergiert. Divergenz bei Zerstreuungslinse.

Abbildungen optische Linsen und Spiegel $f > 0$: Konkav, sonst konvex.

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{a} + \frac{1}{f} \quad \frac{y}{a} = \frac{y'}{b}$$

a = Gegenstandsweite, b = Bildweite, f = Brennweite, y = Gegenstandsgrösse, y' = Bildgrösse.

Konvexe Linsen				
Lage	Typ	Lage	Orientierung	rel. Grösse
$\infty > a > 2f$	reell	$f < b < 2f$	umgekehrt	verkleinert
$a = 2f$	reell	$b = 2f$	umgekehrt	gleich gross
$f < a < 2f$	reell	$\infty > b > 2f$	umgekehrt	vergrössert
$a = f$		$\pm \infty$		
$a < f$	virtuell	$ b > a$	aufrecht	vergrössert
Konkave Linsen				
beliebig	virtuell	$ b < f $	aufrecht	verkleinert

Abbildungsfehler von Linsen und Beseitigung chromatische Aberration: Aufgrund Dispersion erfolgt die Strahlenbrechung unterschiedlich stark. Es entstehen die einzelnen Spektralfarben. Mittels Kombination unterschiedlicher Gläser lässt sich dies weitgehend verhindern. **Sphärische Aberration:** Randstrahlen schneiden sich nicht im Punkt der Zentralstrahlen. Lässt sich mit Blenden verhindern.

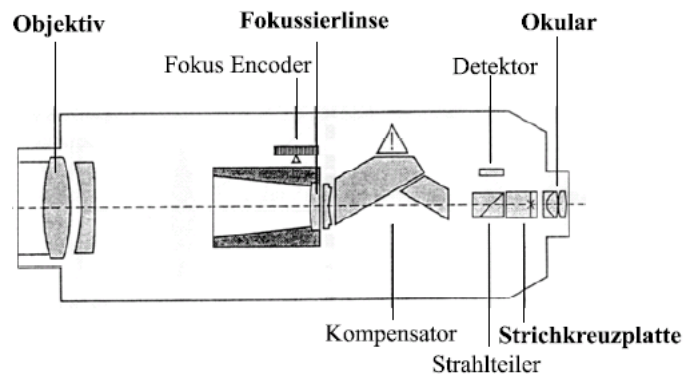


Abb. 9.24 Schnitt durch das Leica NA3000

Instrumente zur Neigungsmessung

Flüssigkeitssensoren Prinzip der kommunizierenden Röhren.

Libellen Bestandteil zum Horizontal- oder Vertikalstellen von Achsen.

Dosenlibellen Zylindrisch geschmolzener Glaskörper. Wirkt in allen Richtungen.

Röhrenlibellen Zylindrische Glasröhre. Wirkt nur in Längsrichtung.

Koinzidenzlibelle Zusätzliche Prismenoptik. Deckung der Blasenenden ist die eindeutige Einstellung der Libelle.

Flüssigkeitssensor mit elektrischem Abgrill Horizontale Flüssigkeitsoberfläche in Relation zum geneigten Gefäss.

Definitionen Libellenachse: Tangente an die Schlickkurve.

Spielpunkt: Punkt, in dem die Tangente an die Schlickkurve senkrecht zur Stehachse steht.

Ausschlag: Blasenort bei Umschlag der Libelle.

Pendelsysteme ...

Elektronische Neigungsmesser Hauptbestandteil ist ein mechanischer Lotsensor.

Nivellierinstrumente

Nivelliere mit Röhrenlibelle Hat einfach eine Libelle für die Horizontierung. Geringe Abhängigkeit von elektrischen und magnetischen Feldern.

Komensatornivelliere Einfluss kleiner Neigungen der optischen Achse auf die Auslenkung des Zielstrahls ausschalten.

Digitalnivelliere Optisch: Kompensatornivellier.

Rotationslasernivellier ...

Nivellierverfahren

Nivellierprobe aus der Mitte und Exzentrisch Fester Höhenunterschied wird zweimal gemessen. Einmal aus der Mitte, einmal Exzentrisch. Eine Zielachsabweichung α wirkt sich aus der Mitte bei Rück- und Vorblick gleich aus.

Punkt	R	V	R-V	Distanz	Instr.
B	1.732			21m	Mitte
A		1.058	+0.674	21m	
B	1.687			2m	Mitte
A		1.015	+0.672	44m	
			+2mm		
Zielachse um +2mm/42 Meter geneigt					

Nivellierprobe nach Näbauer Bei „aus der Mitte und Exzentrisc“ muss umfokussiert werden. Dies wird hier minimiert.

$$a_2 = a_1 - b_1 + 2\Delta + b_2 \Rightarrow \Delta = 0$$

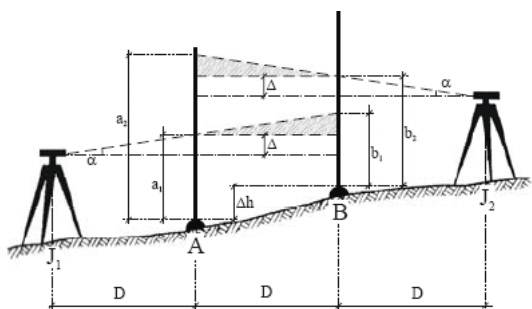


Abb. 9.70 Nivellierprobe nach Näbauer

nach Förstner Gleich wie bei Näbauer, Instrument und Latte vertauscht.

Justierung eines Rotationsnivelliers vier jeweils um 100gon gedrehte und gleich entfernte Latten, Sensoren werden mit vom Rotationsnivellier erzeugten Ebene in Schnitt gebracht.

Laborverfahren Das Parallelstellen von Ziel- und Libellenachse kann im Labor mit einem horizontalen Kollimator erfolgen.

Richtungs- und Winkelmessung mit einem Theodoliten

Z=Zielachse, K=Kippachse, L=Libellenachse, V=Vertikal-(Steh-)achse

Achsbedingungen Zielachse \perp Kippachse, sonst c =Zielachsabweichung; Kippachse \perp Stehachse, sonst i =Kippachsabweichung;

Zielachsabweichungen (Kollimationsfehler): variiert mit Temperatur und Distanz. $\sin(f_c) = \frac{\sin c}{\sin z}$, $f_c = \frac{c}{\sin(z)}$ ist proportional zu c und nimmt mit ansteigendem Zenitwinkel ab, für $z = 100gon$ (Zielung im Horizont) wird $f_c = c$

Bestimmung der Abweichung Punkt im Horizont in beiden Lagen Anzielen und Richtung A_1 und A_2 ablesen. $c = \frac{A_2 - A_1 - 200gon}{2}$ wird durch Messung in 2 Lagen eliminiert.

Kippachsenabweichung Einfluss von i ist $\tan(f_i) = \frac{\tan i \cos z}{\sin z}$, $f_i = \frac{i}{\tan(z)}$. Einfluss f_i ist proportional zu i und nimmt mit dem Zenitwinkel ab, für $z = 100gon$ ist $f_i = 0$. Kippachsabweichung hat auf horizontale Zielung keinen Einfluss.

Bestimmung der Kippachsabweichung Theodolit wird horizontalisiert, danach hochgelegener Punkt in 1. und 2. Lage anvisieren.

$$A_1 = A_0 - \frac{c}{\sin z} - i \frac{1}{\tan(z)}$$

$$A_2 = A_0 + 200gon + \frac{c}{\sin z} + i \frac{1}{\tan(z)}$$

$$i = 1/2 \left(A_2 - A_1 - \frac{2c}{\sin z} \pm 200gon \right) \tan z$$

durch Messung in 2 Lagen eliminiert.

Stehachsschiefe keine instrumentenbedingte Abweichung sondern Folge schlechter Horizontierung. Einfluss: $f_v = v \sin u \cot(z)$. $u = 100gon$, v = Winkel Kippachseben - Horizontalen. Einfluss wird durch Messung in zwei Lagen nicht eliminiert.

Exzentrizität der Zielachse Steh- und Zielachse schneiden sich nicht. Einfluss: $A = A' \varphi$, $\sin \varphi = \frac{e}{d}$, Ablesung in Lage 1. A : Ablesung am Horizontalkreis mit Exzentrizität, A' : Soll-Ablesung ohne Exz., e : Exzentrizität; d : Abstand zw. Stationspunkt P und Kreismittelpunkt.

Lage 2: $B = A' + 200gon + \varphi$. B : Ablesung ohne Exz. $\varphi = \frac{B-A}{2} - 100gon$, $A' = \frac{1}{2}(A + (B - 200gon))$ durch Messung in 2 Lagen eliminiert.

Indexabweichung Nullstelle des Vertikalteilkreises ist nicht im Zenit

Arten der Ablesung Diametrale Ablesung bei optischen Theodoliten höhere Genauigkeit, gegenüberliegende Teilkreisstellen werden aufeinander abgebildet und mit einem Koizidenzmikrometer abgelesen. \rightarrow Elimination der Exzentrizität des Teilkreises. **Elektronische Theodoliten Inkrementaler Winkelabgriff**: auf Teilkreis ist Gitter mit Codemuster aufgebracht. An Lichtschranke entsteht Ausgangssignal wenn Teilkreis bewegt wird, Signal wird in Impuls umgeformt. **Dynamischer Abgriff**: Teilkreis rotiert mit konstanter Drehzahl, Lichtschranke misst wie viele Striche durchgehen \rightarrow proportional zum Winkel, sehr genau (Auflösung = 0.01mgon) **Codierte Verfahren** Teilkreis mit Code versehen, einzelne Stellen des Codes werden positionsmässig bestimmt, zuerst Groablesung, dann Feinablesung.

Kompensatoren und elektrische Neigungsmesser in Theodoliten Instrumentenneigung wird mit Neigungssensor gemessen und die am Vertikalkreis abgegriffene Richtung rechnerisch kompensiert. **Elektronische Neigungssensoren** Präzisionsinstrumente besitzen einen Zwei-Achsenkompensator um Einfluss der Querneigung zu eliminieren. Analog zu Libellen haben Kompensatoren einen Nulllagefehler (analog zum Hohenindexfehler), er lässt sich durch 2 Lagen Messung eliminieren.

Mechanische Distanzmessung Strichmassstab alle Massstabträger, die durchgehende Strichteilung aufweisen. **Endmassstabe** keine durchgehende Strichteilung, sondern nur End- und Anfangsstrich. **Messband** aus Federstahl; Länge max. 30m; zulässige Abweichung: $\Delta I = 0.2 + I \cdot 0.0001 [mm]$ I : Teilstrichabstand in mm, erzielte Genauigkeit liegt im cm Bereich, kann aber durch exakte Kalibrierung, einer konstanten Zugspannung (50N), rechnerischer Berücksichtigung des Durchhangs, Temperaturkorrektur $k_T = \alpha_T(T - T_0)e$ infolge Materialausdehnung und einer mm-Teilung an der Ablesestelle um eine Zehnerpotenz gesteigert werden. α_T = Ausdehnungskoeff., T = Mess-, T_0 = Bezugstemp., e = Strecke. **Schieblehre** zur Messung von Aussendurchmessern von Körpern. **Distometer** zur Messung relativer Abstandsänderungen zweier Punkte.

Distanz	Verfahren / Instrument	Genauigkeit	Bemerkung
0 - 0.1 m	Schieblehre	0.1 - 0.2 mm	
0 - 2 m	Doppelmeter	1 - 2 mm	
0 - 30 m	Basislatte	0.3 - 2 mm	heute selten, Spezialanwendungen (Industrie etc.)
0 - 50 m	Laserinterferometer	0.05 - 0.1 mm Auflösung: 0.3µm	zur Kalibrierung geodätischer Messmittel
1 - 100 m	Messband, elektrooptische Freihanddistanzmesser	5 - 10 cm	zur Messung kurzer und mittlerer Strecken
1 - 100 m	optische Messung mit Distanzfäden	10 - 20 cm	nur noch in Verbindung mit Nivellieren und einfachen Theodoliten
1 - 2000 m	elektrooptische Distanzmessung	0.5 - 2 cm	heute meist in Tachymeter eingebaut, Genauigkeit abhängig von der Atmosphäre in bodennahen Schichten
1 m - 20 km	GPS (differenziell)	5 mm + 1 ppm	Genauigkeit abhängig von Ionosphäre und Troposphäre. Keine Sichtverbindung zwischen Stationen notwendig, jedoch Sichtbarkeit mehrerer Satelliten unabdingbar
100 - 5000 km	Very long Baseline Interferometry (VLBI) Distanzmessung mit Radioteleskopen unter Nutzung von Quasaren	5 - 10 mm	eingesetzt in der Forschung und Erdmessung zur Bestimmung der Kontinentaldrift, Erdbebenvorhersage, etc.

Optische Distanzmessung mit parallaktischen Winkeln Entfernung zw. zwei Punkten wird aus einem parallaktischen Dreieck abgeleitet. *Messung mit Distanzstrichen* Feldverfahren, geringere Genauigkeit, auf Strichkreuzplatte hat es in der Vertikalen zwei Distanzstriche, diese begrenzen einen parallaktischen Winkel, so dass der von ihnen begrenzte Lattenabschnitt mit $k = 100$ multipliziert wird \rightarrow Distanz; bei schräger Visur: $e = (kl \sin z) \sin z$ e : Horizontalabstand, l : Lattenabschnitt *Distanzmessung mit horizontalem parallaktischem Winkel (Basislatte)* im Nahbereich (<10m) Genauigkeiten unter 0.5mm, Basislatten haben konst. Länge von 2m od. 1m und werden horizontal und normal zur Beobachtungsrichtung aufgestellt, parallaktischer Winkel wird mittels Präzisionstheodolit gemessen $d = \frac{b}{2} \cot\left(\frac{\gamma}{2}\right)$

Elektronische Distanzmessung (elektrooptische) Signal wird von einem Sender ausgesendet und über die Distanz geschickt. Signal wird von einem Empfänger aufgenommen. Signallaufzeit multipliziert mit c_0 ergibt die Distanz.

Modulation Veränderung der Signalparameter; als Träger fungieren Mikrowellen oder Lichtwellen.

Modulationsformen Amplitudenmodulation Änderung der Amplitude der Trägerschwingungen mit dem Signal.

Phasenmodulation Änderung der Phasenlage der Trägerschwingungen in Abhängigkeit vom Modulationssignal.

Polarisationsmodulation wird bei Mekometer eingesetzt, Polarisations-eigenschaften wird in funktionaler Abhängigkeit zur Modulationsfrequenz geändert.

Wellenbereiche extrem kurzwellige kosmische Strahlung bis zu Radiowellen von einigen km Länge Wellenbereiche der el. Entfernungsmessung: sichtbares Licht und angrenzender Bereich der Infrarotstrahlung mit $0.4 - 1.3 \mu m$ für elektrooptische Distanzmessung. Ausschnitt aus dem Bereich der Radiowellen $\lambda_1 = 0.195m$ und $\lambda_2 = 0.2445m$ für Mikrowellen des NAVSTAR-GPS.

Extinktion Zusammenwirken von Streuung und Absorption, für elektrooptische Messungen weist im Hinblick auf Extinktion die IR-Strahlung höhere Reichweite auf als die mit sichtbarer Strahlung.

Entfernungsmessung durch Lichtinterferenzen Interferenz Überlagerung zweier Lichtwellen; ein mit einem Laser erzeugter Strahl wird mittels einem Strahlteiler (Interferometer) in zwei kohärente Teilstrahlen gleicher Intensität aufgespalten und nach durchlaufen unterschiedlicher Wegstrecken zur Überlagerung gebracht; ein Photodetektor zählt Hell-Dunkel-Wechsel die durch Verschieben des Reflektors hervorgerufen werden; Mass für Wegunterschied: $d = N \frac{\lambda}{2}$.

Ein-Moden-Verfahren bei Benutzung einer Frequenz; Mangel: hoher Justieraufwand, keine Information über Bewegungsrichtung;

Zwei-Moden-Verfahren (zwei Frequenzen) interferometrischen Verfahrens: Vorteile: höchste Auflösung, grösste Genauigkeit. Nachteile: hoher Messaufwand, auf Strecke von ca. 50m beschränkt.

Impulsmessverfahren Sender sendet nur während kurzer Zeit, das gesamte Wellenpaket dient als Messsignal (Puls), Messung der Laufzeit eines Impulses ergibt Distanz zum Reflektor $d = \frac{1}{2} \frac{c_0}{n} t$ n : Brechungsindex des Mediums. Vorteil: grössere Reichweite, wegen energiereicher Impulse, Verfahren über grössere Distanzen reflektorlos. Nachteile: hoher technischer Aufwand, u.a. durch atmosphärische Einflüsse hervorgerufene Pulsdeformationen.

Phasenvergleichsverfahren 90% aller EDM arbeiten damit; Das Messergebnis wird von einer Massstabswellenlänge λ abgeleitet; Frequenz f erzeugt λ : $\lambda = \frac{c_0}{n \cdot f}$ einer kontinuierlich ausgestrahlten Trägerwellenlänge wird ein sinusförmiges Signal aufmoduliert (Amplitudenmodulation), Licht wird dabei in seiner Intensität mit einer Modulationsfrequenz verändert, die Messwellenlänge ausgestrahlt zu einem Reflektor und trifft im Empfänger phasenverschoben ein: $d = \frac{1}{2} (N\lambda + \Delta\lambda)$, $\Delta\lambda = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \lambda \Delta\varphi$: Phasenverschiebung, wird digital gemessen. Vorteile: ausgereiftes Verfahren, kompakte Geräte. Nachteile: eindeutige Streckenmessung ist für Strecken länger als die Massstabswellenlänge mit einer einzigen Massstabswellenlänge nicht möglich.

Kalibrierung Instrumente sind auf Sollwerte abzugleichen und die Korrekturen sind rechnerisch anzubringen, Bestimmung der Abweichung nennt man Kalibrierung.

Additionskorrektur Unterschied zwischen innerem und äusserem Lichtweg einer Instrument-Reflektor-Kombination ist eine Additionskorrektur anzubringen, zur Bestimmung werden auf Vergleichsstrecken Soll und Ist Werte gemessen: $a = AC - (AB + BC)$ a =Additionskonstante (Messwerte werden zuerst meteorologisch, geometrisch und instrumentell (Frequenz) korrigiert).

Frequenzkorrektur beim Phasenvergleichsverfahren soll durch die Modulation der Trägerwellenlänge mit der Modulationsfrequenz f eine bestimmte Wellenlänge erzeugt werden; weicht diese Frequenz von ihrer Sollfrequenz f_M ab so ist zu korrigieren $k_{Frequenz} = \frac{f_M - f}{f}$ [ppm=parts per million]. Die frequenz- (oder massstabs-) korrigierte Distanz $d_f = d_{Roh} + k_{Frequenz} d_{Roh}$

Die **Meteorologische Korrektur** beruht auf der Abweichung des tatsächlichen Brechungsindex n von der Normatmosphäre, Messwellenlänge λ und die Laufzeit des Pulses t ändert sich: $\lambda = \frac{c_0}{n \cdot f}$, $t = \frac{2nd}{c_0}$. Das heisst, dass man instrumentenbautechnisch eine bestimmte Modulationswellenlänge λ durch die Auswahl der Modulationsfrequenz f_M festlegen kann. **Phasengeschwindigkeit** Ausbreitungsgeschwindigkeit einer monochromatischen Welle. Da bei EDM

Geräten das Licht moduliert ist, verhält es sich wie ein schmales Frequenzband von Wellen unterschiedlicher Wellenlänge, d.h. wie eine Wellengruppe. **Gruppengeschwindigkeit** ist immer kleiner als Phasengeschw. der einzelnen Wellenlängen. Man unterscheidet deshalb: Phasen- und Gruppenbrechungsindex.

Tachymeter und Totalstationen

Tachymeter = Schnellmesser, Kombination von Richtungssensoren und eines Distanzmessers, gleicht im äusseren Aufbau einem Theodolit, zur Bestimmung von räumlichen Koordinaten, viele Hersteller motorisieren die Horizontal- und Vertikalbewegung, Leuchtdiode (search lights oder track lights) erleichtern die Absteckung, Diodenlaser um Zielpunkte zu markieren, Genauigkeit: $1ppm = 1mm/1km$. Richtung: $0.2 \text{ bis } 1.5 [mgon]$, Distanz: $1 \text{ bis } 5mm + 1 \text{ bis } 5ppm$. **Elektronischer Tachymeter** elektronischer Theodolit mit Distanzmessteil **Totalstation** elektronischer Tachymeter, stand-alone-System mit Applikationssoftware, numerische Auswertung der gemessenen Werte **Trackingfähige Systeme** motorisierte Theodolite oder Tachymeter mit automatischer Zielerfolgung. **Totalstationen mit automatisierter Zielpunktverfolgung und -erfassung** Aufnahme und Absteckung im Ein-Mann-Betrieb \rightarrow optischer Kontakt zwischen Totalstation und Reflektor, wird dann der Reflektor bewegt so folgt das Fernrohr der Totalstation nach.

Genauigkeitsklasse	Anwendung	Std.-Abw. für 1 km Doppel-nivellement	Beispiel	Typ	Horizontierung
niedere + mittel	Bau	3 - 10 mm	NK 01 (Wild)	analog	Libelle
hoch	Ing.-Nivellement	1 - 3 mm	NA 820 (Leica) NAK 1 (Wild)	analog analog	Kompensator Kreuzfedergelenk
sehr hoch	priz. Ing.-Niv.	0.5 - 1 mm	NA 2002 (Leica) DINI 21 (Zeiss) SDC 30 (Sokkia) DL 102 (Topcon)	digital digital digital digital	Pendelkompensator Pendelkompensator Kompensator Kompensator
höchste	Priz.-Niv.	< 0.5 mm	NA 3003 (Leica) NA2 (Leica) N3 (Leica) DINI 11 (Zeiss) DL 101 (Topcon)	digital analog analog digital	Pendelkompensator Kompensator Libelle Pendelkompensator Kompensator

Tab. 9.6 Genauigkeitsklassen von Nivellicern

Genauigkeitsklasse	Anwendung	Genauigkeit für eine 1x in beiden Lagen gemessene Richtung	Beispiel	Abgriff	Kompensator
niedrig	Bau, einfache Geländeaufnahme	10 mgon	Theo 080 (Zeiss)	Strichmikroskop	-
mittel	Ing.-Arbeiten Polygonierung Absteckung	1-5 mgon	T1 (Leica) T1000 (Leica)	Strichmikroskop Codeabgriff	- Pendel
hoch	Punktbestimmung Feinabsteckung Industrieanwendung	0.2 - 1 mgon	T1600 (Leica) T2002 (Leica) TCA1100 (Leica) TCA1800 (Leica)	Code dynamisch Code Code	Pendel Flüssigkeits-K Flüssigkeits-K Flüssigkeits-K
höchste	Tunnelabsteckung astronom. Beob. Industrieanwendung	< 0.2 mgon	T3, T4 (Wild) DKM3A (Kern) T3000 (Leica) TCA2003 (Leica)	Koinzidenz- Mikrometer dynamisch Code	- Flüssigkeits-K Flüssigkeits-K Flüssigkeits-K

Tab. 9.8 Theodolite / Tachymeter: Genauigkeitsklassen

Genauigkeitsklasse	Anwendung	Genauigkeit etwa	Beispiel	Typ	Reichweite
gering	Bau	5mm + 5 ppm	Di 1000 Disto*	Phasenvergleich Impuls (Reflektorlos)	1 km <100 m
mittel	topographische Aufnahmen	3 mm + 2 ppm 3-5mm + 1ppm	Di 1600 Di 3000	Phasenvergleich Impuls	6 km 11 km
hoch	Ingenieurvermessung	1 mm + 1 ppm	Di 2002 TCA-Serie	Phasenvergleich	6 km
Präzision	Präzisionsaufgaben der Ing.-Geodäsie	0.2mm + 0.2ppm	Mekometer ME5000 (wird nicht mehr hergestellt)	frequenzvariierende Polarisationsmodulation mit Nullabgleich	8 km

Tab. 9.10 Genauigkeitsklassen EDM

Das Globale Positionierungssystem (GPS)

Bestandteile des NAVSTAR-GPS (Navigation System with Time and Ranging-GPS) In drei Segmente unterteilt: **Weltraumsegment** 24 Satelliten auf 6 kreisförmigen Bahnen mit Bahnneigung von 55° von ca. 20200 km Höhe; Umlaufzeit: 11h 58 min (+3 Reserve); **Genauigkeit**: Lage: 1cm; Höhe: 3cm; **Kontrollsegment**: Masterkontrollstation in Colorado Springs, sowie 4 weitere Monitorstationen entlang des Äquators. Alle 6 Sekunden werden Messungen ausgelöst und wegen bekannter Effekte korrigiert, über 15min-Intervalle geglättet. Die Ergebnisse werden wieder an die Satelliten weitergeleitet. **Aufgaben**: Kontrolle des Systems, Bestimmung der GPS Systemzeit, Beobachtung der Atomuhren der Satelliten, Beobachtung der Satelliten und ihrer Bahndaten, Übertragung der Navigationsdaten an die Satelliten. **Nutzersegment**: Summe aller Empfänger. Hauptkomponenten eines Empfängers: Hochfrequenzteil für Signallidentifizierung und -verarbeitung, Mikroprozessor für Empfängerkontrolle, Datenerfassung und Navigationslösung, Nutzerkommunikation, Bedienungs- und Anzeigefeld, Datenspeicher, Präzisionsoszillator, Stromversorgung. **Signalstruktur**: Die Satelliten senden fortlaufend Signale mit einer speziellen Signalstruktur aus: zwei Trägerfrequenzen

$$L1 = 154 \cdot 10.23MHz = 1575.42MHz \rightarrow 19.05cm$$

$$L2 = 120 \cdot 10.23 \text{ MHz} = 1227.60 \text{ MHz} \rightarrow 24.45 \text{ cm}$$

Verwendung einer zweiten Frequenz ermöglicht es die Einflüsse der Ionosphäre auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Signale zu erfassen. Jeder Satellit sendet beide Trägerwellen aus, deren Navigationssignale (Codes) und Navigations- und Systemdaten (Messages) überlagert sind.

L1 mit Präzisions P-Code (Precise) und dem weniger genauen C/A Code in Form eines PRN-Codes (Pseudo Random Noise) moduliert.

L2 nur mit P-Code moduliert.

P-Code für genauere Positionsbestimmung, Wiederholungsrate von 267 Tagen, Frequenz: 10.23MHz, Wellenlänge: 29.31cm, jeder Satellit sendet nur spezielles 7 Tage dauerndes Segment des Codes. $\lambda = \frac{c}{f}$.

C/A Code Frequenz: 1.023MHz, Wellenlänge: 293.1m, jeder Satellit hat eigenes Muster, Zykluslänge: 1ms → Identifizierung einfacher.

Datensignal (Navigation Message): beiden Trägerwellen aufgeprägt, binärer Datenstrom, Zusatzdaten für Ortung und Navigation, gesamter Infogehalt ist erst nach 12.5 Min. übermittelt.

Selective Availability and Anti Spoofing vom Militär zur künstlichen Verschlechterung der Signale; stellen dem zivilen Benutzer nicht die volle Genauigkeit zur Verfügung; wurde 1. 5. 2000 entfernt. **Selective Availability** Verfälschung von Bahn und Uhrkorrekturdaten, in geodätischen Anwendungen aufgrund der Differenzbildung weitgehend eliminiert, bei nur einem Empfänger → Verschlechterung der Lagegenauigkeit von 15m auf 100m. **Anti Spoofing** Verschlüsselung des P-Codes in den unbekanntem Y-Code, hauptsächlich kurzzeitige Anwendungen betroffen.

Messprinzipien Pseudodistanzmessung: Distanz zwischen Empfänger und Satellit wird gemessen, für die geometrische Lösung werden min. 3 Distanzen benötigt (Schnittpunkt dreier Kugeln), Laufzeitmessung, Ausbreitungsgeschwindigkeit ergibt Pseudodistanz, da Uhren nicht synchronisiert sind. **Korrekturen** siehe Auswertverfahren (unten). **Phasenmessung** gemessen wird die Phasenverschiebung der Trägerwelle, die ankommende Phase wird mit der Phase eines im Empfänger modulierten Referenzsignals verglichen, Anzahl Wellenlängen bleibt zunächst unbekannt.

Messung der Doppelfrequenzverschiebung Doppler Effekt, durch die Bewegung des Satelliten gegenüber dem Empfänger ändert sich die Frequenz des Satellitensignals. **Prinzip der relativen Punktbestimmung** Satellitensignale werden gleichzeitig von mindestens zwei Empfängern erfasst, Fehlerquellen heben sich fast auf → erhöhte Genauigkeit, Phasenmessung wird angewandt, Messung muss anschliessend ausgewertet werden (post processing).

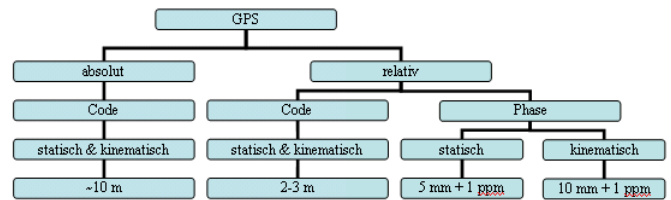
Fehlereinflüsse bei GPS Fehlerquellen: Satelliten, Empfängern, Signal-ausbreitung, Auswertung der Basislinien, Transformation in lokale Koordinaten-systeme.

Möglichkeiten der Positionsbestimmung **static** lange Beobachtungsdauer (30min- 3h) auf Neupunkten, da für die Lösung der Mehrdeutigkeiten die zeitabhängige Veränderung der geometrischen Beziehung zwischen Empfänger und Satellit ausgenutzt wird, genaustes Verfahren. **rapid static** Reduktion der Beobachtungsdauer auf 5- 20min für Basislinien bis zu 10km um einen bekannten Referenzpunkt als Zentrum. **reoccupation** falls Satellitenkonstellation zu schlecht für rapid static, Neupunkt wird für 3- 5min besetzt, nach einer Stunde wird dies wiederholt. **stop and go** min. eine Referenzstation auf einem bekannten Punkt, auf dem ersten Neupunkt wird mit dem Rover die Initialisierung vorgenommen, danach wird bei den nächsten Punkten die Beobachtungsdauer viel kürzer, der Kontakt zwischen Rover und Satellit darf nicht abreißen. **kinematic** setzt den kontinuierlichen Empfang von vier Satelliten voraus, Mehrdeutigkeitslösung geschieht bereits während der Bewegung. **real time GPS** von der Referenzstation werden via Funk Korrekturdaten an einen od mehrere Rover ausgesendet, die eine Koordinatenbestimmung unmittelbar im Feld erlauben → ermöglicht Absteckung mit GPS. Bedingung ist Kenntnis des Bezugs zwischen dem WGS 84-Koordinatensystem und dem lokalen System (WGS 84: World Geodetic System, Weltellipsoid).

Transformation der GPS-Koordinaten Resultate von GPS Messung: dreidimensionale kartesische Koordinaten im geozentrischen Koordinatensystem WGS84 (ellipsoidische Höhen). **Transformation ins Landessystem** Satellitendatum → Referenzellipsoid des Landes, Referenzellipsoid → ebenes Landeskoord.system (Projektion). Sind die 7 Transformationsparameter unbekannt, müssen sie bestimmt werden, indem im Landessystem schon bekannte Punkte mit GPS vermessen werden. Als Resultat des ersten Schrittes erhält man Länge, Breite und ellipsoidische Höhe des Punktes bezogen auf das Referenzellipsoid.

DGPS-Dienste Kommerzielle DGPS-Dienste ersparen dem GPS-Nutzer die Aufstellung eigener Referenzstationen. Messungen mit nur einem GPS-Gerät, das mit einem Funk- oder GSM-Empfänger für den Empfang von Korrektursignalen ausgerüstet ist, sind möglich.

DGPS für Navigationszwecke Korrektursignale im RTCM-Format werden über Langwellen und UKW von vielen Station ausgesandt. Eine Genauigkeit von 1- 3m kann mit Swisspos-nav erreicht werden.



DGPS für geodätische Zwecke Es sind weitere RTCM-Datentypen notwendig. Diese benötigen eine Bandbreite, für die RDS nicht genügt und die damit eigene Frequenzen bzw. eine Übertragung via GSM erfordert. Das automatische GPS-Netz Schweiz AGNES ist im Aufbau und soll bis Ende 2001 ca. 25 Permanentstationen in der ganzen Schweiz Echtzeit-GPS mit Zentimetergenauigkeit ermöglichen.

GLONASS GLONASS ist das russische Pendant zu GPS und funktioniert nach den gleichen Prinzipien. Unterschied: jeder Satellit sendet auf eigener Frequenz; Signale werden nicht künstlich verfälscht.

Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagen	1
Geodätische Bezugsflächen	1
Geodätische Koordinatensysteme	1
Ebene, kartesische Koordinatensysteme	1
Reduktion infolge der Projektion	1
Reduktion auf Projektionsfläche	1
Korrektur wegen Projektionsverzerrung	1
Geodätische Bezugsrichtungen	1
Masseinheiten und Massverhältnisse	1
Umrechnung	1
1. Geodätische Fundamentalformel	1
Kathetenzuschlagsformel	1
Masstab	1
Neigungsverhältnisse	2
2 Basismesstechnik und einfache Hilfsmittel	2
Jalon	2
Senkel	2
Doppelpentaprisma	2
Messband	2
Lageaufnahme	2
Zentrierung	2
Horizontierung	2
Sensoraufstellung mit optischem Lot/ Laserlot	2
Zwangszentrierung	2
Geodätisches Koordinatensystem	2
3 Ebenes Koordinatenrechnen	2
Erste Geodätische Hauptaufgabe, Polares Anhängen	2
Zweite Geodätische Hauptaufgabe	2
Koordinatentransformation	2
Translation	2
Rotation	2
Masstabsfaktor	2
Ähnlichkeitstransformation	3
Affine Transformation	3
4 Terrestrische Koordinatenbestimmung	3
Fixpunktfeld der Landes- und Amtlichen Vermessung	3
Terrestrische Methoden der Netzverdichtung	3
Polygonometrische Bestimmungsarten	3
Einzelpunkteinschaltung	3
Richtungs- und Winkelmessung	3
Abriss	3
Berechnung der Orientierung	4
Distanzreduktion	4
Distanzreduktion aus Punkthöhen	4
Distanzreduktion mit Zenitwinkeln	4
Reduktion Kugeldistanz → Projektionssystem	4
Tabelle Distanzreduktion	4
Refraktion	4
Distanzen kleiner 150m	4
Distanzen grösser 150m, Einfluss der Erdkrümmung	4

5	Trigonometrische Höhenbestimmung	5
	Methoden der Höhenbestimmung	5
	Höhensysteme	5
	Höhennetze der Schweiz	5
	Geometrisches Nivellement	5
	Vorgehen	5
	Flächennivellement	6
	Trigonometrische Höhenbestimmung	6
	Trigonometrisches Nivellement	6
	Barometrische Höhenmessung	6
	Hydrostatisches Nivellement	6
	Höhenbestimmung mit GPS	6
	Weitere Bestimmungsmethoden	6
	Genauigkeitsrangliste der Messmethoden	6
6	Geodätische Statistik	6
	Fehlerarten	6
	Grundlagen	7
	Verteilungsfunktionen	7
	Genauigkeitsmasse	7
	Gewicht	7
	Schutz vor groben Fehlern	7
	Beispiele	8
	Wichtige Formeln	8
	Toleranzen	8
7	Aufnahme	8
	Diskrete Punkte, Vektorpunkte	9
	Alle Punkte, Rasterdaten	9
	Polare Verfahren	9
	Photogrammetrische Verfahren	9
	GPS-Verfahren	9
	Einbinde- und Orthogonal-Verfahren	9
	Laser Profiler	9
	Laser Scanner	9
	Nivellier-Verfahren	9
	Staffelmethode	9
	Distanzmessverfahren	9
	Messverfahren	9
	Raster, Längen-, Querprofile	9
	Übersicht Messverfahren	9
	Rasteraufnahme	9
	Längenprofilaufnahme	10
	Querprofil	10
	Amtliche Vermessung	10
	Leitungsaufnahme	10
	Genauigkeitsanforderungen	10
	Auswertung der Aufnahmedaten	10
	Darstellungsformen von Informationen in Karten und Plänen	11
8	Absteckung	11
	Absteckverfahren (Messverfahren)	11
9	Geodätische Instrumente	12
	Instrumente zur Neigungsmessung	12
	Nivellierinstrumente	12
	Nivellierverfahren	13
	Richtungs- und Winkelmessung mit einem Theodoliten	13
	Tachymeter und Totalstationen	14
	Das Globale Positionierungssystem (GPS)	14

Index

- (VLBI) Very Long Baseline Interferometry, 6
- Abbildungen optische Linsen und Spiegel, 12
- Abbildungsfehler von Linsen und Beseitigung, 12
- Absorbtion, 12
- Abstecken mit freier Stationierung:, 11
- Abstecken mit polaren Verfahren:, 11
- Abstecken von 1D-, 2D- und 3D-Koordinaten im Hochbau, 11
- Abstecken von Ebenen mit Rotationslasern, 11
- Abstecken von Ebenen, 11
- Abstecken von Richtungen, 11
- Absteckung im allg. Hochbau, 2D Koordinaten, 12
- Absteckung mit real time GPS:, 11
- Absteckung von 1D, 2D und 3D Koordinaten, 11
- Achsbedingungen, 13
- Additionskorrektur, 14
- Amplitudenmodulation, 14
- Anforderungen an die Definition von Höhen, 5
- Anforderungen in der AV, 10
- Anforderungen:, 12
- Anti Spoofing, 15
- Arbeitsprinzipien, 1
- Arten der Ablesung, 13
- Aufgaben:, 14
- Aufgabenbereiche, 9
- Aufgabengebiete, 1
- Aufgabe, 6
- Auflösung, 7
- Aufnahme diskreter Punkte, 6
- Aufnahme f. Projektierung:, 10
- Aufnahme verdeckter Punkte, 9
- Aufnahmen von fertig erstellten Anlagen, 10
- Aufnahmen/ Abnahmen von Bauteilen, Endabnahmen, 10
- Aufnahme, 9
- Ausschlag:, 12
- Auswertung und Abschluss, 9
- Azimet $Az(A, B)$, 1
- Böschungsverhältnis ($h : e$), 2
- Basisinformation, 8
- Basispunkte (LFP3), 3
- Bedeutung und Anwendung, 4
- Begriffe, 11
- Beidseitig (Koordinaten) angeschlossener Polygonzug, 3
- Beidseitig (Koordinaten, Richtung) angeschlossener Polygonzug, 3
- Beispiele zu den Absteckverfahren, 11
- Beschriftung, 11
- Bestandesaufnahmen, Ausführungswerke, Werkdokumentation, 10
- Bestandteile des NAVSTAR-GPS, 14
- Bestimmung der Abweichung, 13
- Bestimmung der Kippachsabweichung, 13
- Bezugssystem, 10
- Bias δ , 7
- Bogenschnitt, 3
- Brechungsindex, 12
- Bruchkanten, 11
- C/A Code, 15
- CH Koordinatensystem, 1
- Codierte Verfahren, 13
- Computergestützte Auswertung im Gelände, 10
- Computergestützte Auswertung, 10
- DGPS für geodätische Zwecke, 15
- DGPS für Navigationszwecke, 15
- DGPS-Dienste, 15
- DHM 25, 11
- Darstellung, 10
- Das digitale Geländemodell, 11
- Datensignal (Navigation Message), 15
- Definitionen, 12
- Diametrale Ablesung, 13
- Digitalnivelliere, 13
- Direkt im Raum realisierte Fluchtgerade (Richtlaser):, 11
- Direktes Einfluchten von Punkten in eine Gerade, 2
- Distanzen $< 10km$, 4
- Distanzmesserkalibrierung, 8
- Distanzmessung: empirische Varianz und Standardabweichung, 8
- Distanzmessung:, 12
- Distometer, 13
- Dokumentation, 11
- Doppelbeobachtung, 7
- Doppelnivellement, 5
- Dosenlibellen, 12
- Dreiecksvermaschung, 11
- Durchhang, 2
- Ebenen Gelände:, 9
- Ebene, 1
- Ein-Moden-Verfahren, 14
- Einbindeverfahren, 2, 9
- Einfaches hydrostatisches Nivellement, 6
- Einfaches und erweitertes Sprungstandverfahren, 6
- Einfluchten von Punkten in einer Vertikalebene:, 11
- Einfluss der Erdkrümmung, 6
- Einfluss der Refraktion, 6
- Eingehänger Nivellements zug, 5
- Einsatz Nivellier:, 12
- Einsatz elektronischer Tachymeter:, 12
- Einseitig (=Koordinaten, Richtung) angeschlossener Polygonzug, 3
- Einzelpunkte, 9
- Elektronische Distanzmessung, 14
- Elektronische Neigungsmesser, 12
- Elektronische Neigungssensoren, 13
- Elektronische Theodoliten, 13
- Elektronischer Tachymeter, 14
- Ellipsoidische Höhen, 5
- Empirische Standardabweichung, 7
- Empirische Varianz, 7
- Endmassstabe, 13
- Entfernungsmessung durch Lichtinterferenzen, 14
- Erwartungswert μ , 7
- Extinktion, 14
- Exzentrizität der Zielachse, 13
- Für Distanzen $> 150m$:, 6
- Falllinie, 11
- Fehlereinflüsse bei GPS, 15
- Fehlerquellen:, 15
- Flächennivellement, 5
- Flüssigkeitssensor mit elektrischem Abgrill, 12
- Flüssigkeitssensoren, 12
- Fluchten von Geraden, 2
- Fluchten:, 11
- Freie Stationierung, 3
- Freier Nivellements zug, 5
- Freier Polygonzug, 3
- Frequenzkorrektur, 14
- GLONASS, 15
- Gegenseitig- gleichzeitige Zenitwinkelmessung, 6
- Gegenseitige, gleichzeitige Zenitwinkelbeobachtung, 4
- Geländelinie, 11
- Genauigkeit:, 14
- Genauigkeitsanforderung im Bauwesen, 10
- Genauigkeitsangaben beim Abriss, 8
- Geodäsie, 1
- Geographisch Nord, 1
- Geographische Koordinaten, 1
- Geoid, 1
- Geozentrisches, erdfestes, kartesisches Koordinatensystem, 1
- Geradenschnitt, 3
- Geschlossener Polygonzug, Ringpolygon, 3
- Gewichtetes Mittel bei Nivellements knoten, 8
- Grösstmass, 8
- Grat- und Tallinien, 11
- Grenzabmass, 8
- Grobe Fehler, 7
- Grundbuch:, 10
- Gruppengeschwindigkeit, 14
- Höhen-übertragung im Hochbau:, 12
- Höhenangaben, 11
- Höhendatum, 5
- Höhenlinien, 11
- Höhenwinkel, 3
- Handgefällemesser, 2
- Horizontale Ebenen:, 11
- Horizontale Ebenen, 11
- Horizontale Richtungsmessung, 3
- Hydrodynamisches Nivellement, 6
- Impulsmessverfahren, 14
- Indexabweichung, 13
- Indirekte polare Verfahren:, 11
- Indirektes Einfluchten, 2
- Innere Genauigkeit, 7
- Instrumente und Genauigkeiten, 6
- Interferenz, 14
- Istabmass, 8
- Istmass, 8
- Justierung eines Rotationsnivelliers, 13
- Kalibrierung, 14
- Kantonale (HFP2) und kommunale (HFP3) Nivellemente, 5
- Kartennord, 1
- Karte, 11
- Kippachsabweichung, 13
- Kleinstmass, 8
- Koinzidenzlibelle, 12
- Komensatornivelliere, 13
- Kompensatoren und elektrische Neigungsmesser in Theodoliten, 13
- Konkave Linsen, 12
- Konstruktion der Geländeform, 11
- Kontrolle der Aufnahme und Auswertung:, 9
- Kontrollen der Aufnahmen, 10
- Kontrolle, 10, 11
- Kontrollsegment:, 14
- Konvexe Linsen, 12
- Korrekturen, 15
- Korrekturwert, 11
- L1, 15
- L2, 15
- Laborverfahren, 13

Lagefixpunkte 1 (LFP1), 3
 Lagefixpunkte 2 (LFP2), 3
 Landesnivellement, 5
 Laserlot, 2
 Layer, 10
 Libellenachse-, 12
 Libellen, 12
 Liniennivellement, 5
 Lokales Tangential- & lokales topozentrisches System, 1
 Lotung von Punkten, 11
 Lotungen, 11
 Mässig geneigt-, 9
 Möglichkeiten der Positionsbestimmung, 15
 Möglichkeiten neuer Tachymeter, 11
 Magnetisch Nord, 1
 Manuelle Auswertung im Feld, 10
 Markante Punkte, 11
 Mechanische Distanzmessung, 13
 Mechanische Lotung-, 11
 Meridiankonvergenz γ , 1
 Messbander, 13
 Messprinzip-, 9
 Messprinzipien, 15
 Messung der Doppelfrequenzverschiebung, 15
 Messung und Ausrüstung-, 9
 Messverfahren-, 12
 Messverfahren, 10
 Meteorologische Korrektion, 4, 14
 Mittleres Erdellipsoid, 1
 Modulationsformen, 14
 Modulation, 14
 Nachbarschaftsprinzip, 1
 Nachteile, 9
 Navigation System with Time and Ranging-GPS, 14
 Nennmass, 8
 Nivelierverfahren, 5
 Nivellements-knoten, 5
 Nivellementsschleife, 5
 Nivelliere mit Röhrenlibelle, 13
 Nivellierprobe aus der Mitte und Exzentrisch, 13
 Nivellierprobe nach Näbauer, 13
 Nivelierverfahren, 9, 10
 Normalhöhen, 5
 Nutzersegment-, 14
 Optische Distanzmessung mit parallaktischen Winkeln, 13
 Optische Linsen, 12
 Optische Lotung-, 11
 Ordnungsprinzip, 1
 Ordnung, 3
 Orthogonalverfahren, 2
 Orthometrische Höhen, 5
 Orthogonalverfahren, 9
 P-Code, 15
 Pendelsysteme, 12
 Pentaprisma, 12
 Phasengeschwindigkeit, 14
 Phasenmessung, 15
 Phasenmodulation, 14
 Phasenvergleichsverfahren, 14
 Photogrammetrie/ Luftbild, 9
 Planparallele Platte, 12
 Plan, 11
 Polare Aufnahme, 10
 Polares Verfahren, Vorgehen, 10
 Polares Verfahren/ GPS, 10
 Polarisationsmodulation, 14
 Polarverfahren / GPS, 9
 Präzisions-schlauchwaage, 6
 Primäre Scannverfahren, 9
 Prinzip der relativen Punktbestimmung, 15
 Prinzip, 5, 6
 Profil- und Rasteraufnahme, 9
 Prozent- oder Promilleangaben, 2
 Punktarten, 11
 Punktsignalisation, 2
 Punktversicherung, 11
 Quasi-simultane Methode, 6
 Röhrenlibellen, 12
 Rückwärtseinschneiden, 3
 Referenzellipsoid, 1
 Reflektor, Prismenreflektor, 12
 Reflexionsgesetz, 12
 Reflexionsprismen, 12
 Refraktionseinfluss, 4
 Rekognoszieren, 9
 Richtungsmessung-, 12
 Rotationsellipsoid, 1
 Rotationslasernivellier, 13
 SLR/LLR, 6
 Satellitaltimetrie, 6
 Schieblehre, 13
 Schiefe Verteilung, 7
 Schmiegun-gskugel, 1
 Schnurgerüst-, 12
 Schnurlot, 2

Schraffen, 11
 Seitwärtsschneiden, 3
 Sekundäre Scanverfahren, 9
 Selective Availability and Anti Spoofing, 15
 Selective Availability, 15
 Signalstruktur-, 14
 Situation und Topographie, 11
 Situation-, 11
 Sphärische Aberration-, 12
 Spielpunkt-, 12
 Staffelmessung in geneigtem Gelände, 2
 Staffelmethode, 9, 10
 Standardabweichung bei Doppelmessung, 8
 Stark geneigt-, 9
 Stehachsschiefe, 13
 Strichmassstabe, 13
 Strukturlinie, 11
 Systematische Abweichung, 7
 Tachymeter, reflektorlos, 9
 Tachymeter, 14
 Tachymetrie mit Reflektor, 9
 Theodolit-Messverfahren, 9
 Theorie der Geländemodelle, 11
 Toleranz, 8
 Topographie-, 11
 Totalreflexion-, 12
 Totalstationen mit automatisierter Zielpunktverfolgung und -erfassung, 14
 Totalstation, 14
 Trackingfähige Systeme, 14
 Tracklight, 11
 Transformation der GPS-Koordinaten, 15
 Transformation ins Landessystem, 15
 Varianz, 7
 Verbesserung v , 7
 Verlangern einer Geraden-, 11
 Vermaschung, 11
 Verteilung des Widerspruchs, 5
 Vertikale Ebenen, 11
 Vertikalmessung, 3
 Visieren (Höhenabsteckungen)-, 11
 Visieren mit freiem Auge-, 11
 Vorarbeiten-, 9, 10
 Vorbereitung, 9
 Vorteile, 9
 Vorwärtseinschneiden, 3
 Wahre Abweichung ϵ , 7
 Weiterverarbeitung RIS, CAS, 10
 Wellenbereiche, 14
 Weltraumsegment, 14
 Winkel α , 2
 Winkelbezeichnungen, 1
 Wirtschaftlichkeitsprinzip, 1
 Zenitwinkel, 3
 Zentrierstab, 2
 Zielachsabweichungen, 13
 Zufällige Abweichung, 7
 Zuverlässigkeit und Kontrolle, 1
 Zwei-Moden-Verfahren, 14
 Zwischenlinien, 11
 Äussere Genauigkeit, 7
 Übersicht-, 10
 arithmetisches Mittel \bar{x} , 7
 chromatische Aberration-, 12
 dynamisch, 5
 elektromagnetisch, 5
 kinematic, 15
 magnetische Deklination δ , 1
 motorisierte Verfahren, 6
 nach Förstner, 13
 optischer Keil, 12
 optisches Lot, 2
 optisch, 5
 rapid static, 15
 real time GPS, 15
 reoccupation, 15
 static, 15
 stop and go, 15
 wahrer Wert x_w , 7