

ALLGEMEIN

Winkel

Neugrad (Gon)

$$1^{\text{gon}} = \frac{9^\circ}{10}$$

$$1^\circ = \frac{10^{\text{gon}}}{9}$$

$$1^{\text{cgon}} = \frac{1}{100}^{\text{gon}} = 1^{\text{c}}$$

$$1^{\text{mgon}} = \frac{1}{1000}^{\text{gon}}$$

$$1^{\text{cc}} = \frac{1}{10000}^{\text{gon}}$$

Rad

$$\tilde{\alpha} = \frac{\alpha}{\rho}$$

$$\alpha = \rho \cdot \tilde{\alpha}$$

$$b = \tilde{\alpha} \cdot R = \frac{\alpha}{\rho} \cdot R$$

$$\frac{\rho}{R} = \frac{4 \perp}{2\pi \cdot R} \Rightarrow \rho = \frac{2 \perp}{\pi}$$

⊥ ... rechter Winkel
R... Radius

Neigung

$$s = \frac{h}{l} = \tan \alpha$$

$$s (\%) = \frac{h}{l} \cdot 100 (\%) = \tan \alpha \cdot 100 (\%)$$

$$h = \frac{s (\%)}{100} \cdot l$$

h... Höhendifferenz
l... Längendifferenz
α... Neigungswinkel
h/l... Neigungsverhältnis

Hauptaufgaben

1. Hauptaufgabe

$$y_{i+1} = y_i + s_{i,i+1} \cdot \sin t_{i,i+1}$$

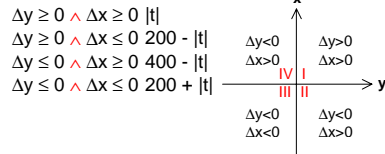
$$x_{i+1} = x_i + s_{i,i+1} \cdot \cos t_{i,i+1}$$

s... Strecke
t... Richtungswinkel

2. Hauptaufgabe

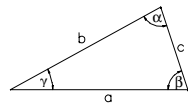
$$s_{i,i+1} = \sqrt{\Delta y_{i,i+1}^2 + \Delta x_{i,i+1}^2}$$

$$t_{i,i+1} = \arctan \frac{\Delta y_{i,i+1}}{\Delta x_{i,i+1}}$$



Sinussatz

$$\frac{s_a}{\sin \alpha} = \frac{s_b}{\sin \beta} = \frac{s_c}{\sin \gamma}$$



Cosinussatz

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2 \cdot b \cdot c \cdot \cos \alpha$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2 \cdot a \cdot c \cdot \cos \beta$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos \gamma$$

**Ähnlichkeits-
transformation**

Parameter

$$a = \frac{-\Delta y'_{12} \cdot \Delta x_{12} + \Delta x'_{12} \cdot \Delta y_{12}}{\Delta x'^2_{12} + \Delta y'^2_{12}}$$

ε... Verdrehung
m... Maßstabsfaktor

$$b = \frac{\Delta x'_{12} \cdot \Delta x_{12} + \Delta y'_{12} \cdot \Delta y_{12}}{\Delta x'^2_{12} + \Delta y'^2_{12}}$$

a = m · sin ε
b = m · cos ε

$$c = y - a \cdot x' - b \cdot y'$$

$$d = x - b \cdot x' + a \cdot y'$$

$$m = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$\varepsilon = \arctan \frac{a}{b}$$

**Transformations-
gleichungen**

$$y = a \cdot x' + by' + c$$

y', x'... Quellsystem
x, y... Zielsystem

$$x = b \cdot x' - a \cdot y' + d$$

Flächenberechnung

**Gauß'sche
Flächenformel**

$$F = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot (y_{i+1} - y_{i-1}) = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n y_i \cdot (x_{i-1} - x_{i+1})$$

Trapezformel

$$F = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - x_{i+1}) \cdot (y_i + y_{i+1})$$

**Fläche aus
Polarkoordinaten:**

$$F = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n s_i \cdot s_{i+1} \cdot \sin \alpha_i = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n s_i \cdot s_{i+1} \cdot \sin (t_{i+1} - t_i)$$

**Heron'sche
Flächenformel**

$$A = \sqrt{s \cdot (s-a) \cdot (s-b) \cdot (s-c)}$$

$$s = \frac{a+b+c}{2}$$

**Flächenberechnung
über Dreieck**

$$2 \cdot F = a \cdot b \cdot \sin \alpha$$

Anwendung: Flächenteilung von einem Punkt aus

$$b = \frac{2 \cdot F}{a \cdot \sin \alpha}$$



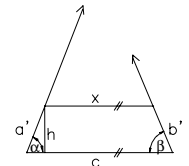
**Fläche aus Trapez
(parallele Grenzen)**

$$2 \cdot F_{\text{Trapez}} = \frac{c^2}{\cot \alpha + \cot \beta} - \frac{x^2}{\cot \alpha + \cot \beta}$$

$$\Rightarrow x = \sqrt{c^2 - 2 \cdot F \cdot (\cot \alpha + \cot \beta)}$$

$$a' = \frac{h}{\sin \alpha}$$

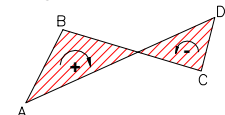
$$b' = \frac{h}{\sin \beta}$$



$$F_{\text{Trapez}} = \frac{c+x}{2} \cdot h$$

$$\Rightarrow h = \frac{2 \cdot F}{c+x}$$

Hinweis zur Gauß'schen Flächenformel
→ Umfassungssinn



geeignet für Flächenteilung
und Grenzabgrüdung

Fehlerlehre

Messungen gleicher Genauigkeit

arithmetisches Mittel

$$x = \frac{\sum l_i}{n}$$

$$l_1 + v_1 = x$$

Forderung der Methode der kleinsten Quadrate

$$[vv] = v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2 = \text{minimal!}$$

mittlerer Fehler der Einzelbeobachtung
(Standardabweichung, empirische Streuung)

$$m = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}$$

mittlerer Fehler des arithmetischen Mittels

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}}$$

Relativer Fehler

$$\frac{m_i}{l_i}$$

Messungen ungleicher Genauigkeit

gewogenes Mittel

$$x = \frac{l_1 \cdot p_1 + l_2 \cdot p_2 + \dots + l_n \cdot p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n}$$

$$p_i = \frac{m_0^2}{m_i^2}$$

Bei mehreren Beobachtungen entspricht p der Anzahl der Messungen zu dem jeweiligen Punkt.

p_i... Gewicht der Beobachtung l_i
m_i... mittlerer Fehler der Beobachtung l_i
m₀... mittlerer Fehler der Vergleichsmessung; ihr Gewicht ist mit p₀=1 definiert (Gewichtseinheit)

Annahme m₀ ... **a priori**

Forderung der Methode der kleinsten Quadrate

$$[pvv] = \text{minimal!}$$

mittlerer Fehler der Einzelbeobachtung

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[pvv]}{n-1}}$$

m₀ ... **a posteriori**

mittlerer Fehler des gewogenen Mittels

$$M = \frac{m_0}{\sqrt{[p]}}$$

Fehlerfortpflanzung

lineare Funktion

$$x = a_0 + a_1 \cdot l_1 + a_2 \cdot l_2 + \dots + a_n \cdot l_n$$

x... Funktionswert
l_i... Beobachtungen
a_i... Koeffizienten

Fehlerfortpflanzungsgesetz

$$m_x^2 = a_1^2 \cdot m_1^2 + a_2^2 \cdot m_2^2 + \dots + a_n^2 \cdot m_n^2$$

$$m_x = \sqrt{\dots}$$

Bsp 1: $x = l_1 + l_2 + \dots + l_n$

$$m_x^2 = 1^2 \cdot m_1^2 + 1^2 \cdot m_2^2 + \dots + 1^2 \cdot m_n^2 = n \cdot m^2$$

$$m_x = \pm m \cdot \sqrt{n}$$

nicht lineare Zusammenhänge

Bsp 2: $x = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{n}$

$$m_x^2 = \left(\frac{1}{n}\right)^2 \cdot m_1^2 + \left(\frac{1}{n}\right)^2 \cdot m_2^2 + \dots + \left(\frac{1}{n}\right)^2 \cdot m_n^2 = n \cdot \left(\frac{1}{n}\right)^2 \cdot m^2 = \frac{m^2}{n}$$

$$m_x = M = \frac{m}{\sqrt{n}}$$

Ableitung, differenzieren

Bsp. Funktion: $H_B = H_A + s \cdot \cos z + IH - ZH$

→ nicht linear in z

→ linearisieren: totales Differential

$$Hz' = \frac{dHz}{dz}$$

$$H_B = \dots + d \cdot \cos z + \dots$$

$$\frac{dH_B}{dz} = -d \cdot \sin z$$

$$m_{H_B} = \pm d \cdot \sin z \cdot m_z$$

$$H_B = \dots + \frac{s^2 \cdot (1-k)}{2 \cdot R}$$

$$\frac{dH_B}{dR} = -\frac{s^2 \cdot (1-k)}{2 \cdot R^2}$$

$$m_{H_B} = \pm \frac{s^2 \cdot (1-k)}{2 \cdot R^2} \cdot m_R$$

Differenzierungsregeln

Potenzregel

$$\frac{d}{dx} x^n = n \cdot x^{n-1}$$

Produktregel

$$[f(x) \cdot g(x)]' = f'(x) \cdot g(x_0) + f(x) \cdot g'(x_0)$$

Quotientenregel

$$\left(\frac{f(x)}{g(x)}\right)' = \frac{f'(x) \cdot g(x) - f(x) \cdot g'(x)}{g(x)^2}$$

Funktion	Ableitung
y = e ^x	y' = e ^x
y = a ^x	y' = a ^x · ln a
y = ln x	y' = 1/x
y = log _a x	y' = 1/x · log _a e
y = sin x	y' = cos x
y = cos x	y' = -sin x
y = tan x	y' = 1/cos ² x

BESTIMMUNG VON LAGEPUNKTEN

Vorwärtsschnitt

Angaben

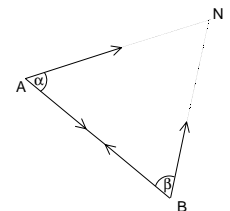
geg: A, B (y, x)
gem: α < ABN
β < ABN
ges: N (y, x)

Lösungsweg

AN, BN berechnen → Sinussatz
Richtungswinkel: t_{AN} = t_{AB} - α
t_{BN} = t_{BA} - β

Kontrolle

N (y, x) → 1. HA
α, β (aus Angabe) rekonstruieren

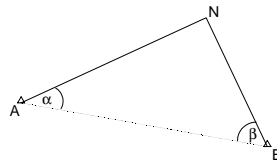


Bogenschnitt

Angaben geg: A, B (y, x)
gem: AN, BN
ges: N (y, x)

Lösungsweg $\alpha, \beta \rightarrow$ Cosinussatz
Richtungswinkel: $t_{AN} = t_{AB} - \alpha$
 $t_{BN} = t_{BA} + \beta$
N (y, x) \rightarrow 1. Hauptaufgabe

Kontrolle gemessene Strecken zurückrechnen



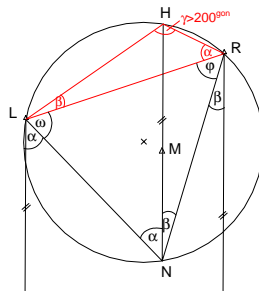
Rückwärtsschnitt

Angaben geg: L, M, R (y, x)
gem: $\alpha \sphericalangle$ LNM
 $\beta \sphericalangle$ MNR
ges: N (y, x)

Lösungsweg Umkreis L, R, N
Verlängerung NM (H...Hilfspunkt nach Collins)
 α, β übertragen
N (y, x) \rightarrow 1. HA
H aus Vorwärtsschnitt: mit L, R; α, β
Richtungswinkel: $t_{LN} = t_{HM} - \alpha$
 $t_{RN} = t_{HM} + \beta$

$\omega = t_{LN} - t_{LR}$
 $\varphi = t_{RL} - t_{RN}$
N aus Vorwärtsschnitt mit L, R; ω, φ

Kontrolle α, β (aus Angabe) rekonstruieren



NIVELLEMENT

Grundgleichung des Nivellierens

$\Delta h = R - V$

R... Rückblick
V... Vorblick

Genauigkeiten

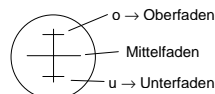
Baunivellement $> 1\text{cm}/1\text{kmD}$...Standardabweichung pro km, Doppelnivellement

Ingenieurnivellement $2 - 10\text{mm}/1\text{kmD}$

Präzisionsnivellement $< 2\text{mm}/1\text{kmD}$ ($0,5 - 1\text{mm}/1\text{kmD}$)

Distanzmessung

Distanzmessung über Reichenbach'sche Distanzfäden $l = o - u$...Lattenabschnitt
Distanz = $c + k \cdot l$



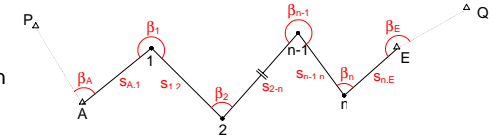
c, k... Instrumentenkonstanten

POLYGONIERUNG

beidseitig angeschlossener Polygonzug

Aufbereitung der Messungen

$\beta_i = R_{i+1} - R_{i-1}$
Strecken horizontieren und mitteln



Brechungswinkel links der Achse!

Berechnung der Richtungswinkel

$t_{A1} = t_{PA} \pm 200^g + \beta_A$
 $t_{12} = t_{A1} \pm 200^g + \beta_1$
 $t_{2E} = t_{12} \pm 200^g + \beta_2$
 $t_{EQ} = t_{2E} \pm 200^g + \beta_E$

Winkelprobe / Winkelwiderspruch

$f_\beta = (t_{EQ} - t_{PA}) - \sum_{i=1}^n \beta_i \pm k \cdot 200^g$

gleichmäßige Aufteilung von f_β auf alle Brechungswinkel

$\beta' = \beta + \frac{f_\beta}{n+2}$

Kontrolle $f_\beta \stackrel{!}{=} 0$

Berechnung der Koordinaten (differenzen)

$y_1 = y_A + s_{A1} \cdot \sin t_{A1}$
 $y_2 = y_1 + s_{12} \cdot \sin t_{12}$
:
 $y_E = y_n + s_{nE} \cdot \sin t_{nE}$

$x_1 = x_A + s_{A1} \cdot \cos t_{A1}$
 $x_2 = x_1 + s_{12} \cdot \cos t_{12}$
:
 $x_E = x_n + s_{nE} \cdot \cos t_{nE}$

$y_E = y_A + [s \cdot \sin t]$
[Δy]

$x_E = x_A + [s \cdot \cos t]$
[Δx]

$y_E - y_A - [\Delta y] \stackrel{!}{=} 0$
 $y_E - y_A - [\Delta y] = f_y \rightarrow$ tatsächlich

$x_E - x_A - [\Delta x] \stackrel{!}{=} 0$
 $x_E - x_A - [\Delta x] = f_x \rightarrow$ tatsächlich

f_y, f_x ... Koordinatenwidersprüche

$f = \sqrt{f_y^2 + f_x^2}$...linearer Abschlussfehler

Aufteilung von f_y, f_x proportional zu Seitenlängen

$\Delta y'_{i+1} = \Delta y_{i+1} + k_y \cdot s_{i+1}$
 $k_y = \frac{f_y}{[s]}$

Kontrolle: $f_x, f_y \stackrel{!}{=} 0$

$\Delta x'_{i+1} = \Delta x_{i+1} + k_x \cdot s_{i+1}$
 $k_x = \frac{f_x}{[s]}$

Berechnung der Koordinaten

Berechnung der Zenitdistanzen

verbesserte Zenitdistanz $Z_{\text{korr}} = z_{\text{gem}} + v_z$

Indexfehler $v_z = \frac{400^g - (Z_{\text{IKI gem}} + Z_{\text{IIKI gem}})}{2}$

$$Z = \frac{400^g + (Z_{\text{IKI gem}} - Z_{\text{IIKI gem}})}{2}$$

Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in der Atmosphäre

$$c = \frac{c_0}{n} \quad n = \frac{c_0}{c}$$

$$c_0 = c \cdot n$$

- c_0 ... Lichtgeschwindigkeit im Vakuum 299.792.458 m/s
- c ... Lichtgeschwindigkeit in der Atmosphäre
- n ... Brechungskoeffizient (Luft)

($t = 0^\circ\text{C}$; $p = 1013,25 \text{ mbar}$)

Brechungskoeffizient für Lichtwellen n_L

Berechnung des Gruppenberechnungsindex bei Normatmosphäre

$$\frac{(n_{\text{Gr}} - 1) \cdot 10^6}{N_{\text{GR}}} = 287,604 + 3 \cdot \frac{16288}{\lambda^2} + 5 \cdot \frac{0,0136}{\lambda^4}$$

λ ... Wellenlänge in μm

Berechnung des Brechungsindex für die aktuelle Atmosphäre n_L

$$\frac{(n_L - 1) \cdot 10^6}{N_L} = 987 \cdot p \cdot \frac{n_{\text{Gr}} - 1}{1 + \alpha \cdot t} - \frac{4,1 \cdot 10^{-8} \cdot e}{1 + \alpha \cdot t}$$

- $n_L \approx 1,0003$
- α ... Ausdehnungskoeffizient der Luft = 0,003661
- t ... Temperatur in $^\circ\text{C}$
- p ... Luftdruck in mbar
- e ... Luftfeuchtigkeit Partialdampfdruck des Wassers in der Luft in mbar
- $e = E_w - A \cdot p \cdot (t - t_w)$... Formel von Sprung
- E_w ... Sättigungsdampfdruck für die Feuchttemperatur (mbar)
- A ... Psychrometernkonstante
- $A = 0,000662$... bei Messungen über Wasser
- $A = 0,000583$... bei Messungen über Eis
- t, t_w ... Temperatur des trockenen/feuchten Thermometers
- E ... Sättigungsdampfdruck in mbar
- f ... relative Luftfeuchtigkeit % (Hygrometer)

$$E(t_w) = 6,1052 \cdot 10^{\frac{a \cdot t_w}{b + t_w}}$$

	a	b
über Wasser	7,5	237,3
über Eis	9,5	265,5

Berechnung der aktuellen Ausbreitungsgeschwindigkeit

$$c = \frac{c_0}{n_L} = \frac{c_0}{n}$$

$$e = E_w \cdot \frac{f}{100}$$

Laufzeitmessung

$$D = c \cdot \frac{t}{2} + k_0$$

- t ... Laufzeit
- c ... Impulsgeschwindigkeit $c = \frac{c_0}{n}$
- k_0 ... Nullpunktkorrektur
- \bar{c} ... $\frac{c_0}{n}$
- \bar{n} ... geräteinternem Brechungsindex
- D ... Distanz

Messung

$$\bar{D} = \bar{c} \cdot \frac{t}{2} + k_0$$

$$\rightarrow D = \frac{c_0}{\bar{n}} \cdot \frac{\bar{n}}{n} \cdot \frac{t}{2} + k_0$$

$$D = \bar{D} \cdot \frac{\bar{n}}{n}$$

Phasenmessung

$$D = m \cdot \lambda + \Delta\lambda$$

- m ... ganze Zahl
- $\Delta\lambda$... Reststück der Welle ($0 \leq \Delta\lambda \leq \lambda$)
- $\Delta\varphi$... eigentliche Messgröße Phasenmessung

Phase

$$\varphi = m \cdot 2\pi + \Delta\varphi$$

$$\Delta\lambda = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \cdot \lambda$$

Messung

$$D = m \cdot \frac{\lambda}{2} + \frac{\Delta\lambda}{2}$$

$$U = \frac{\lambda}{2} \dots \text{Unit}$$

$$D = m \cdot U + L$$

$$0 \leq L \leq \frac{\lambda}{2}$$

AUSWERTUNG VON EDM-STRECKEN

Instrumentenkorrekturen

$$D = D_{\text{gem}} + k_0 + k_f$$

D ... korrigierte Distanz bezüglich systematischer Gerätefehler

Additionskorrektur

$$k_0 = k_s + k_z$$

- k_0 ... Additionskonstante
- S ... Standpunkt
- Z ... Zielpunkt

Maßstabskorrektur

$$k_f = \frac{\Delta f_M}{f_M} \cdot D_{\text{gem}} \quad \lambda = \frac{c}{f_M}$$

- Δf_M ... Fehler der Modulationsfrequenz
- Bezugsfrequenz - gem. Frequenz
- f_M ... Modulationsfrequenz SOLL

Meteorologische Reduktion

Geschwindigkeitskorrektur

$$D_1 = D \cdot \frac{n_0}{n} \rightarrow \text{wirkt als Maßstabsfaktor}$$

- n ... aktueller Brechungsindex
- n_0 ... "geräteinterner" Brechungsindex
- $n_0 = \frac{c_0}{f_M \cdot \lambda_M}$

Krümmungskorrektur

$$s_R = D_1 + \Delta D_k$$

$$\Delta D_k = -\frac{D_1^3}{24 \cdot R^2} \cdot (2k - k^2)$$

$$k = 5,03 \cdot \frac{p}{T^2} \cdot \left(3,42 + \frac{dt}{dh} \right)$$

- unter 10 km $D_1 = s_R$... Raumsehne
- k ... Refraktionskoeffizient
- $k = \frac{R}{r} \cdot \frac{1}{8} = \frac{\text{Erdradius}}{\text{Radius der Lichtbahn}}$
- p ... Luftdruck
- T ... Temperatur
- $\%_{\text{dh}}$... vertikale Temperaturgradient ($^\circ\text{C} / 100 \text{ m}$)

Geometrische Reduktion

Ellipsoidische Größen / Beziehungen

Bessel Ellipsoid
 a = 6.377.397,155 m
 b = 6.356.078,963 m

Internationale Ellipsoid (Hayford)
 a = 6.378.388,000 m
 b = 6.356.911,946 m

$c = \frac{a^2}{b}$
 $f = \frac{(a-b)}{a}$
 $e^2 = \frac{(a^2 - b^2)}{a^2}$
 $e'^2 = \frac{(a^2 - b^2)}{b^2}$
 $V = \sqrt{1 + e'^2 \cdot \cos^2 \varphi}$
 $N = \frac{c}{V}$
 $M = \frac{c}{V^3}$
 $R = \frac{c}{V^2} = \sqrt{M \cdot N}$
 $R_\alpha = \frac{M \cdot N}{(N \cdot \cos^2 \alpha + M \cdot \sin^2 \alpha)}$

WGS 84 (Geodätisches Weltsystem 1984)
 a = 6.378.137 m
 f = 1/298,25 Abplattung

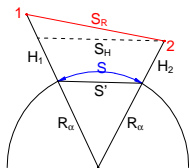
c... Polkrümmungsradius
 f... Abplattung
 e²... erste Exzentrizität
 e'²... zweite Exzentrizität

V... Hilfsgröße
 φ... geografische Breite
 N... Normalkrümmungsradius
 M... Meridiankrümmungsradius
 R... Gauss'sche Krümmungsradius
Schmiegunngskugel
 R_α... Euler'sche Krümmungsradius
 α... Azimut

Höhenreduktion

$$S' = \sqrt{\frac{S_R^2 - \Delta H^2}{\left(1 + \frac{H_1}{R_\alpha}\right) \cdot \left(1 + \frac{H_2}{R_\alpha}\right)}}$$

$$S = S' + \frac{S'^3}{24 \cdot R_\alpha^2} \quad (\text{ab } \approx 10 \text{ km notwendig})$$



S_R... Raumsehne (Ergebnis der met. Reduktion)
 S... Bogenlänge auf Hilfskugel (R_α)
 S'... Sehne auf Hilfskugel
 H₁, H₂... Höhe Standpunkt / Zielpunkt
 R_α... Euler'sche Krümmungsradius im Azimut der Strecke
 Standardwert ≈ 6.380 km

Verebnung

$$S_{y,x} = S + \frac{S}{6 \cdot R^2} \cdot (y_1^2 + y_1 \cdot y_2 + y_2^2)$$

$$\frac{S_{HR}}{S'} = \frac{R_\alpha + H_2}{R_\alpha}$$

$$\Rightarrow S_{HR} = S' \cdot \left(1 - \frac{H}{R_\alpha}\right)$$

→ um Sehne auf bestimmtes Niveau (z.B. Projekt) zu reduzieren.

Vereinfachung für kurze Strecken

Höhenreduktion

$$S = \sqrt{S_R^2 - \Delta H^2} \cdot \left(1 - \frac{H_M}{R_\alpha}\right)$$

H_M... mittlere Höhe der Strecke

mit Zenitdistanzen

$$S' = S_R \cdot \sin z \cdot \left[1 - \frac{S_R^2}{2R^2} \cdot (2-k) \cdot \cos z\right]$$

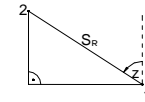
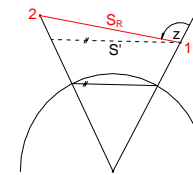
Erdkrümmung; Refraktion

Praxis

$$S_{HR} = S_R \cdot \sin z$$

$$\Delta h = S_R \cdot \cos z + IH - ZH$$

IH... Instrumentenhöhe
 ZH... Zielhöhe



$$S_{y,x} = S \cdot \left(1 + \frac{y_M^2}{2R^2}\right)$$

S → über Strahlensatz
 y_M → Mittel

Raumsehen aus ebener Strecke (< 2km)

$$S = S_{y,x} \cdot \frac{1 - y_M^2}{2R^2}$$

$$S_R = \sqrt{S^2 \cdot \left(1 + \frac{H_M}{R_\alpha}\right)^2 + \Delta H^2}$$

Genauigkeitsüberlegung EDM

Laufzeitmessung

$$D_A = c \cdot \frac{t}{2}$$

Zeitmessung: t, m_t

$$\Rightarrow m_{D_A} = ? = \pm \frac{c}{2} \cdot m_t \rightarrow \text{Auswirkung streckenunabhängig}$$

$$\text{rel. Fehler: } \frac{m_{D_A}}{D_A} \rightarrow \text{günstig auf lange Strecken}$$

Phasenmessung

$$D_A = m \cdot U + L = m \cdot U + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \cdot U$$

Zeitmessung: Δφ, m_{Δφ}

$$\Rightarrow m_{D_A} = ? = \pm \frac{U}{2\pi} \cdot m_{\Delta\varphi} \rightarrow \text{Auswirkung streckenunabhängig, je kleiner U desto besser}$$

TRIGONOMETRISCHE HÖHENMESSUNG

Instrumentenkorrekturen

$$h_B = h_A + IH - ZH + s \cdot \cos Z + \frac{s_{HR}^2}{2R} \cdot (1-k)$$

h_B ... Höhe Zielpunkt
 h_A ... Höhe Standpunkt
 IH ... Instrumentenhöhe
 ZH ... Zielhöhe
 s ... gemessene Schrägstrecke
 Z ... Zenitdistanz
 s_{HR} ... horizontale Strecke $s_{HR} = s \cdot \sin z$

Δh (Erdkrümmung)
 $\frac{s_{HR}^2}{2R} \cdot (1-k)$ (Refraktion)

$$\Delta h = s_{HR} \cdot \cot z \cdot \left(1 + \frac{H}{R}\right) + \frac{s_{HR}^2}{2R} \cdot (1-k) + IH - ZH$$

Achtung: in welchen Niveau ist s_{HR} gegeben

wenn s_{HR} im Meeresniveau

Erdkrümmung

$$\frac{s^2}{2R}$$

gesamter Reduktionsfaktor

$$\frac{s^2}{2R} \cdot (1-k)$$

Refraktion

$$-\frac{s^2}{2R} \cdot k$$

STRASSENBAU

Krümmung

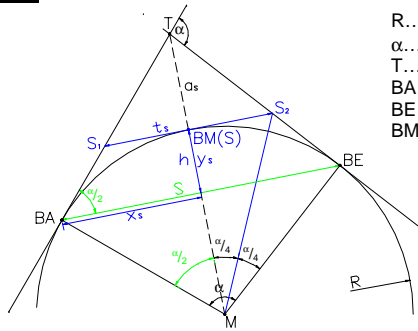
$$\chi = \frac{1}{R}$$

R... Krümmungsradius

Stationierung

Def.: Festlegung von Punkten einer Trasse hinsichtlich ihres entlang der Achse gemessenen Abstandes von einem definierten Nullpunkt

Kreisbogen



- R... Kreisbogenradius
- α ... Tangentenschnittwinkel
- T... Tangentenschnittpunkt
- BA... Kreisbogenanfang
- BE... Kreisbogenende
- BM (S)... Bogenmitte, Scheitelpunkte

Bogenlänge

$$\widehat{BA BE} = b = \alpha \cdot R = \frac{\alpha}{\rho} \cdot R$$

$$\rho = \frac{200^{gon}}{\pi}$$

Sehne

$$\overline{BA BE} = s = 2 \cdot R \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$$

Tangentenlänge

$$\overline{BA T} = \overline{BE T} = t = R \cdot \tan \frac{\alpha}{2}$$

Scheiteltangente

$$\overline{SS_1} = \overline{SS_2} = \overline{S_1 BA} = \overline{S_2 BE} = t_s = R \cdot \tan \frac{\alpha}{4}$$

Scheitelabszisse

$$x_s = R \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$$

Scheitelordinate

$$y_s = h = R \cdot \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right)$$

Scheitelabstand

$$\overline{TS} = a_s = t_s \cdot \tan \frac{\alpha}{2} = R \cdot \left(\frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 1\right)$$

$$= \frac{R}{\cos \frac{\alpha}{2}} - R = \overline{TM} - R$$

2-teiliger Korbbogen

Einführung von Hilfskreisen

$$\rho_1 = \frac{t_1 + t_2}{2} \cdot \tan \frac{\alpha}{2}$$

$$\rho_2 = \frac{t_1 - t_2}{2}$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \beta = 200^g$$

$$R_1 = \rho_1 + \rho_2 \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha_1}{2}$$

$$R_2 = \rho_1 - \rho_2 \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha_2}{2}$$

$$(R_1 - R_2) \cdot \sin \alpha_1 + R_2 \cdot \sin \beta + t_2 \cdot \cos \beta = t_1$$

$$t_1 \cdot \cos \beta + R_1 \cdot \sin \beta - (R_1 - R_2) \cdot \sin \alpha_2 = t_2$$

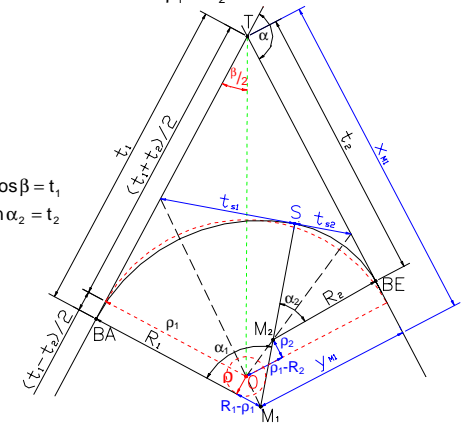
$$y_{M_1} = t_{BA} \cdot \sin \alpha + R_1 \cdot \cos \alpha$$

$$x_{M_1} = R_1 \cdot \sin \alpha \cdot t_{BA} \cdot \cos \alpha$$

$$\alpha = \arccos \frac{y_{M_1} - R_2}{R_1 - R_2}$$

$$\tan \frac{\alpha_1}{2} = \frac{\rho_2}{R_1 - \rho_1}$$

$$\tan \frac{\alpha_2}{2} = \frac{\rho_2}{\rho_1 - R_2}$$



Transformation des ersten K-Mittelpunkts auf die Endtangente

3-teiliger Korbbogen

für Schleppkurve $R_2 < R_1 < R_3$

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$$

$$y_{M_1} = t_{BA} \cdot \sin \alpha + R_1 \cdot \cos \alpha$$

$$x_{M_1} = R_1 \cdot \sin \alpha \cdot t_{BA} \cdot \cos \alpha$$

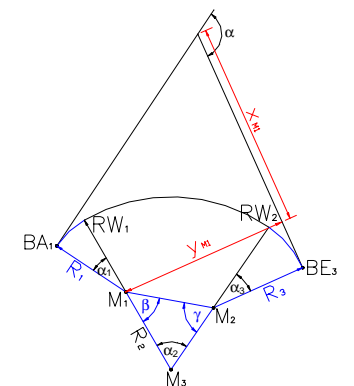
$$\tan \varepsilon = \frac{y_{M_1} - R_3}{t_{BE} - x_{M_1}}$$

$$\sin \alpha_2 = \frac{\overline{M_1 M_3} \cdot \sin \gamma}{R_2 - R_1}$$

$$\alpha_3 = \varepsilon + \gamma - 100^g$$

$$\rightarrow \overline{M_1 M_2}$$

$$\rightarrow \beta, \gamma, (\alpha_2) \dots$$

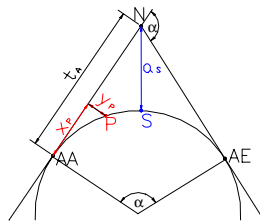


oder

$$\begin{aligned}
 a_1 &= R_1 - R_2 \cdot \cos \alpha_1 \\
 b_1 &= R_2 \cdot \sin \alpha_1 \\
 a_2 &= R_3 - R_1 \cdot \cos \alpha_3 \\
 b_2 &= R_1 \cdot \sin \alpha_3 \\
 c_1 &= a_2 - a_1 \cdot \cos \alpha & c_2 &= a_1 - a_2 \cdot \cos \alpha \\
 t_A &= b_1 + \frac{c_1}{\sin \alpha} & t_E &= b_2 + \frac{c_2}{\sin \alpha} \\
 y_1 &= R_1 \cdot (1 - \cos \alpha_1) & y_2 &= R_3 \cdot (1 - \cos \alpha_3) \\
 x_1 &= R_1 \cdot \sin \alpha_1 & x_2 &= R_3 \cdot \sin \alpha_3 \\
 t_1 &= R_1 \cdot \tan \frac{\alpha_1}{2} & t_2 &= R_2 \cdot \tan \frac{\alpha_2}{2} & t_3 &= R_3 \cdot \tan \frac{\alpha_3}{2}
 \end{aligned}$$

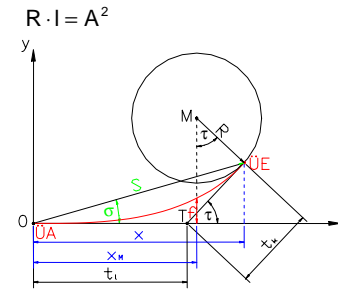
Gradiente

$$\begin{aligned}
 h_N &= h_A + (l_N - l_A) \cdot p_1 & p > 0 & \dots \text{Steigung} \\
 h_N &= h_B + (l_N - l_B) \cdot p_2 & p < 0 & \dots \text{Gefälle} \\
 l_N &= l_B + \frac{h_B - h_A - (l_B - l_A) \cdot p_1}{p_1 - p_2} \\
 t_A &= \frac{R_A}{2} \cdot (p_1 - p_2) \dots \text{Näherung, in Praxis immer angewandt} & t_A &= R_A \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \\
 & & p_1 &= \tan \alpha_1 & p_2 &= \tan \alpha_2 \\
 & & p_1 - p_2 &= \tan \alpha_1 - \tan \alpha_2 \approx \tan \alpha \dots \\
 & & & \text{anwendbar für kleine Neigungen bzw. kleines } \alpha \\
 y_P &= \frac{x_P^2}{2 \cdot R_A} & y_P &\approx h_P \dots \text{Höhenunterschied Tangente-Ausrundungsbogen} \\
 a_S &= \frac{t_A^2}{2 \cdot R_A} & a_S &\dots \text{Scheitelabstand} \\
 h_P &= h_{Ba} + \left(\Delta l \cdot p \pm \frac{\Delta l^2}{2R_A} \right) & + & \text{bei Wanne} \\
 & & - & \text{bei Kuppe}
 \end{aligned}$$



Punkte auf Ausrundungsbogen

Klotoide



$R \dots$ Krümmungsradius in Punkt P
 $l \dots$ Bogenlänge Klotoide bis Punkt P
 $A \dots$ Parameter der Klotoide
 $\frac{R}{3} \leq A \leq R$
 $O \dots$ Koordinatenursprung
 $\text{ÜE} \dots$ Übergangsbogenende
 $x, y \dots$ Koordinaten von ÜE bzgl. Ursprung und Wendetangente
 M, R Mittelpunkt, Radius
 $x_M, y_M \dots$ Mittelpunktskordinaten des anzuschließenden Kreises
 $l \dots$ Länge des Bogens
 $f \dots$ Tangentenabrückung
 $\tau \dots$ Tangentenwinkel in ÜE
 $t_A, t_K \dots$ lange bzw. kurze Tangente
 $S, \sigma \dots$ Polarkordinaten von ÜE

Bogenlänge $l = \frac{A^2}{R}$

Tangentenwinkel $\tau = \frac{l^2}{2A^2} = \frac{l}{2R} = \frac{A^2}{2R^2}$

Koordinaten x, y aus Reihenentwicklung

Annahme: $x \approx l$
 $y = \frac{x^3}{6A^2} \rightarrow$ kubische Parabel

$$\begin{aligned}
 x &= l - \frac{l^5}{40A^4} + \frac{l^9}{3456A^8} - \dots \\
 y &= \frac{l^3}{6A^2} - \frac{l^7}{336A^6} + \frac{l^{11}}{42240A^{10}} - \dots
 \end{aligned}$$

Mittelpunktkoordinaten $x_M = x - R \cdot \sin \tau$
 $y_M = y + R \cdot \cos \tau$

Tangentenabrückung $f = y_M - R$

Tangenten $t_l = x - y \cdot \text{ctg} \tau$
 $t_k = \frac{y}{\sin \tau}$

Polarkoordinaten $S = \sqrt{y^2 + x^2}$
 $\sigma = \arctan \frac{y}{x}$

Verbundkurve

symmetrisch

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \tau_1 + \tau_1 + \alpha_K \\
 t_1 &= t_2 = t = x_M + t' \\
 t' &= (R + f) \cdot \tan \frac{\alpha}{2} = y_M \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \\
 l_K &= (\alpha - 2\tau) \cdot R
 \end{aligned}$$

asymmetrisch

$$t_1 = t + c_1$$

$$t_2 = t + c_2$$

$$t = R \cdot \tan \frac{\alpha}{2}$$

$$c_1 = \frac{t_2}{\sin \alpha} - \frac{t_1}{\tan \alpha}$$

$$c_2 = \frac{t_1}{\sin \alpha} - \frac{t_2}{\tan \alpha}$$

Scheitelklotoide

symmetrisch

$$\tau = A^2 / 2R$$

$$t = x + c$$

$$c = y \cdot \tan \frac{\alpha}{2}$$

asymmetrisch

$$t_1 = t_{l_1} + c_1$$

t... lange Tangente

$$t_2 = t_{l_2} + c_2$$

$$c_1 = \frac{(t_{k_1} + t_{k_2}) \cdot \sin \tau_2}{\sin \alpha}$$

$$c_2 = \frac{(t_{k_1} + t_{k_2}) \cdot \sin \tau_1}{\sin \alpha}$$

Wendelinie

$$D = \overline{M_1 M_2} - R_1 - R_2$$

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\overline{M_1 M_2} = \sqrt{(x_{M_1} + x_{M_2})^2 + (y_{M_1} + y_{M_2})^2}$$

$$\varepsilon_{12} = \arctan \frac{x_{M_1} + x_{M_2}}{y_{M_1} + y_{M_2}}$$

R... Ersatzradius
 ε... Winkel zwischen $\overline{M_1 M_2}$ und Lot auf Haupttangente

Eilinie

$$D = R_1 - R_2 - \overline{M_1 M_2}$$

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 - R_2}$$

$$\overline{M_1 M_2} = \sqrt{(x_{M_1} - x_{M_2})^2 + (y_{M_1} - y_{M_2})^2}$$

$$\varepsilon_{12} = \arctan \frac{x_{M_1} - x_{M_2}}{y_{M_1} - y_{M_2}}$$

ENTWURFSRICHTLINIEN/ NORMEN

Entwurfsgeschwindigkeit v_E bestimmt die Grenzwerte der Trassierungselemente in Lage und Höhe und die zulässigen Verhältnisse beim aneinanderfügen einzelner Elemente

Lage

Gerade

$$\text{Länge: } l_g < (20-22) \cdot v_E \\ l_g > (5-5,5) \cdot v_E \dots \text{Überholzwecke}$$

Kreis

$$R \geq l_g \quad \text{für } l_g < 500 \text{ m} \\ R \geq 600 \text{ m} \quad \text{für } l_g > 500 \text{ m}$$

Übergangsbogen

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R$$

$$\text{Wendelinie } \frac{A_1}{A_2} < 1,5$$

Höhe

Straßenneigung p

$$p_{\max} (v) \\ p_{\min} = 0,5\%$$

10% LS, 12%, 18%
 bei Knotenpunkten < 4%

Neigungswechsel

$$\text{Ausrundung } R \gg$$

Querschnitt

Querneigung q

$$q_{\max} = 8\% \\ q_{\min} = 2\%$$

Schrägneigung p_t

$$p_t = \sqrt{p^2 + q^2} < 1,1 \cdot p_{\max} \\ p_{t \max} = 12,8\%$$

**Anrampung/
Verwindung**

Anrampungsneigung

$$\Delta s (\%) = \frac{a (m) \cdot \Delta q (\%)}{l (m)}$$

Δs... relative Längsneigung
 a... Abstand Achse - Rand
 Δq... Querneigungsdifferenz
 l... Länge Übergangsbogen

$$0,5\% < \Delta s_{\max} < 1,5\% \\ \underbrace{\hspace{1cm}}_{V_p \gg}$$

$$\Delta s_{\min} = 0,1 a (m)$$

**Fahrbahnerweiterung in
Kreisbogen**

Verbreiterung

$$e = n \cdot \frac{32}{R}$$

n... Anzahl Fahrstreifen
 R... Radius
 e... Verbreiterung

MASSENBERECHNUNG

aus Höhengschichtlinien

Schichten einheitlicher Stärke h

$$V = \frac{F_G + F_D}{2} \cdot h$$

F_G, F_D... Grund-/ Deckfläche

Gesamtvolumen

$$V = V_1 + \dots + V_n$$

$$= \frac{F_1 + F_2}{2} \cdot h + \dots + \frac{F_{n-1} + F_n}{2} \cdot h$$

$$= \frac{h}{2} \cdot (F_1 + 2 \cdot F_2 + 2 \cdot F_3 + \dots + 2 \cdot F_{n-1} + F_n)$$

aus Profilaßstäben

$$V = \frac{F_1 + F_2}{2} \cdot \Delta l$$

über Regelquerschnitte

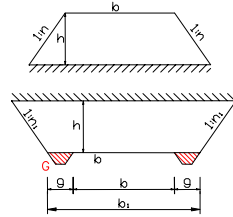
Damm

$$F_{\text{Damm}} = b \cdot h + n \cdot h^2$$

Einschnitt

$$F_{\text{Einschnitt}} = b \cdot h + n_1 \cdot h^2 + 2 \cdot G + 2 \cdot g \cdot h$$

$$= b_1 \cdot h + n_1 \cdot h^2 + 2 \cdot G$$



aus Querprofilen

Simpson'sche Regel

Prismatoid

$$V = \frac{1}{6} \cdot (F_1 + 4 \cdot F_M + F_2) \cdot l$$

F₁, F₂... Flächen zweier benachbarter Querprofile

F_M... Fläche des Mittelprofils

Pyramidenstumpf

$$V = \frac{1}{3} \cdot (F_1 + \sqrt{F_1 \cdot F_2} + F_2) \cdot l$$

praktische Anwendung

$$F_M = \frac{F_1 + F_2}{2}$$

$$V = \frac{F_1 + F_2}{2} \cdot l$$

Guldin'sche Regel

$$V = \frac{F_1 + F_2}{2} \cdot l$$

Volumen = Querschnittsfläche · Weg des Schwerpunktes

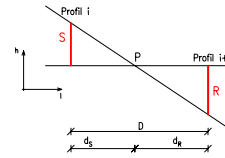
Übergang Damm - Einschnitt

$$V_D = \frac{F_D \cdot l_D}{2}$$

$$V_E = \frac{F_E \cdot l_E}{2}$$

l_D, l_E... Abstand Querprofil - Schnittpunkt im Gelände

- STRASSENBAU -



$$d_R = \frac{R}{R+S} \cdot D$$

$$d_S = \frac{S}{R+S} \cdot D$$

homogene Profile
2 x Damm-/ Einschnittprofile

①

$$V_{i,i+1} = \frac{R_i + R_{i+1}}{2} \cdot D_{i,i+1} = V_R$$

$$= \frac{S_i + S_{i+1}}{2} \cdot D_{i,i+1} = V_S$$

inhomogene Profile
1 x Damm, 1 x Einschnitt

②

$$V_{i,P} = \frac{R_i}{2} \cdot d_R = \frac{R_i^2}{R_i + S_{i,i+1}} \cdot \frac{D_{i,i+1}}{2} = V_R$$

$$V_{i,P} = \frac{S_i}{2} \cdot d_S = \frac{S_i^2}{S_i + R_{i,i+1}} \cdot \frac{D_{i,i+1}}{2} = V_S$$

$$V_{P,i} = \frac{S_{i+1}}{2} \cdot d_S = \frac{S_{i+1}^2}{R_i + S_{i,i+1}} \cdot \frac{D_{i,i+1}}{2} = V_S$$

$$V_{P,i} = \frac{R_{i+1}}{2} \cdot d_S = \frac{R_{i+1}^2}{S_i + R_{i,i+1}} \cdot \frac{D_{i,i+1}}{2} = V_R$$

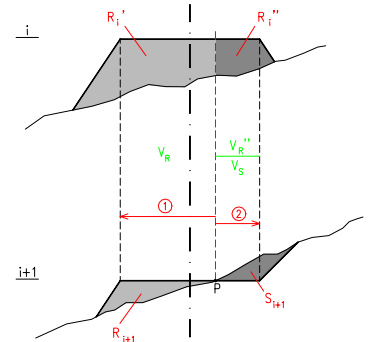
inhomogene Profile
1 x Damm/ Einschnitt, 1 x Anschnitt

Masse aus 3 Teilen:

① V_{i,i+1} → V_{R'} / V_{S'}

② V_{i,P} → V_{R''} / V_{S''}

V_{P,i+1} → V_S / V_R



inhomogene Profile
2 x Anschnitt

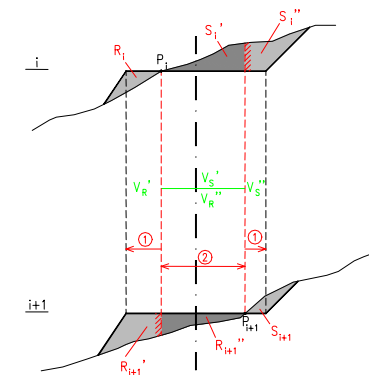
Masse aus 4 Teilen:

① V_{i,i+1'} → V_{R'} / V_{S'}

② V_{i,P} → V_{S'} / V_{R'}

V_{P,i+1} → V_{R''} / V_{S''}

① V_{i,i+1''} → V_{S''} / V_{R''}



Primenmethode

- Prisma** $V = F \cdot h_m$ $F \dots$ Grundfläche
 $h_m \dots$ mittlere Höhe
- dreieckiges Prisma** $h_m = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3}$
 $V = F \cdot \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3}$
- viereckiges Prisma** $V = F \cdot \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{4}$
- Rasterstruktur** $V = F_R \cdot \frac{4 \cdot [h_i] + 2 \cdot [h_r] + 1 \cdot [h_e]}{4}$ $F_R \dots$ Fläche Rasterelement
 $V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$ $e \dots$ Eckpunkt
 $r \dots$ Randpunkt
 $i \dots$ Innenpunkt
 $n \dots$ Anzahl Rasterelemente

FOTOGAMMETRIE / FERNERKUNDUNG

Allgemein

- $P'(x', y') \xrightarrow{\text{Abb}} P(x, y)$ $x', y' \dots$ Bildkoordinaten
- $P'(x', y') \xrightarrow{\text{Abb}} P(x, y, h)$ $x, y \dots$ Objektkoordinaten
- $P''(x'', y'') \xrightarrow{\text{Abb}} P(x, y, h)$ } OK

Bildmaßstab

- $M_b = \frac{c}{h}$ $c \dots$ Kammerkonstante
- $m_b = \frac{1}{M_b} = \frac{h}{c}$ $h \dots$ Höhe
 $b \dots$ Aufnahmebasis

x-Parallaxe

- $p_x = x' - x''$ $p_x \dots$ x-Parallaxe, Horizontalparallaxe
- $h = \frac{c \cdot b}{x' - x''} = \frac{c \cdot b}{p_x}$

Genauigkeitsüberlegung

- $x = \frac{h}{c} \cdot x' \rightarrow d_x = \frac{h}{c} \cdot d_{x'} \text{ bzw. } m_x = \pm \frac{h}{c} \cdot m_{x'}$
- $y = \frac{h}{c} \cdot y' \rightarrow d_y = \frac{h}{c} \cdot d_{y'} \text{ bzw. } m_y = \pm \frac{h}{c} \cdot m_{y'}$
- $z = h = \frac{c \cdot b}{p_x} \rightarrow d_z = d_h = \frac{c \cdot b}{p_x^2} \cdot d_{p_x} \text{ bzw. } m_z = m_h = \pm \frac{c \cdot b}{p_x^2} \cdot m_{p_x}$
 $= \pm \frac{h^2}{c \cdot b} \cdot m_{p_x} = \pm \left(\frac{h}{c}\right) \cdot \left(\frac{h}{b}\right) \cdot m_{p_x}$
- $m_x, m_y \dots$ mittlerer Fehler der gemessenen Bildkoordinaten
- $m_x, m_y \dots$ mittlerer Fehler der Objektkoordinaten

Planungsparameter

- Längsüberdeckung** $p \text{ min } 60\% (90\%)$
- Querüberdeckung** $q \text{ min } 20\%$
- aufgenommene Geländebreite** $d = \frac{h}{c} \cdot d' = m_b \cdot d'$ $d' \dots$ Bildformat (23 x 23 cm²)
- Gelände-Einzelbild** $F_g = d^2 = m_b^2 \cdot d'^2$
- Basis b bei Längsüberdeckung** $b = d \cdot (1 - \frac{p}{100})$
- Streifenabstand a bei Querüberdeckung** $a = d \cdot (1 - \frac{q}{100})$
- Fläche Stereomodell** $F_n = d \cdot (d - b)$
- Nettofläche des Stereomodells im Block** $F_N = a \cdot b = d^2 \cdot (1 - \frac{p}{100}) \cdot (1 - \frac{q}{100})$
- Anzahl Bilder für Gesamtfläche F_G** $n = \frac{F_G}{F_N}$
- Filmlänge** $l = n \cdot 0,25 \text{ m}$
- Bildfolgezeit** $\Delta t = \frac{b}{v_G} = \frac{d' \cdot m_b}{v_G} \cdot (1 - \frac{p}{100})$ $v_G \dots$ Fluggeschwindigkeit $v_G = \frac{s}{t}$
 $\Delta t \approx 2 \text{ s}$
- Flughöhe** $h_{\text{min}} = \frac{v_G \cdot c}{d' \cdot (1 - \frac{p}{100})} \cdot \Delta t_{\text{min}}$

Objektivtypen

Bildwinkel	Schmalw. SW	Normalw. NW	Zwischenw. ZW	Weitw. WW	Überw. ÜWW
	33°	62°	85°	100°	140°
Kammerkonstante c [cm]	60	30	21	15	9
Höhen-Basis-Verhält. ^b / _h (bei p = 60%)	1/6,6	1/3,3	1/2,3	1/1,6	1/0,95
Fläche/Modell (bei h = const)	6	25	50	100%	290
Flughöhe (bei Fläche ^ m _b = const)	400	200	150	100%	60

Wahl des Bildmaßstabes

- Bildpläne/ Orthofotos** $\rightarrow m_b \approx 55 \cdot m_k^{\frac{2}{3}}$ $m_b \dots$ Bildmaßstab
 \rightarrow NW-Kammer $m_k \dots$ Kartenmaßstab
- Stereokartierung** $\rightarrow m_b \approx k_1 \cdot m_k^{k_2}$
 $k_1 = 200 \quad k_2 = 0,5$
 \rightarrow WW-Kammer
- Koordinatenmessung** $m_{x', y', b} = \pm 8 - 10 \mu\text{m}$ $h \dots$ Flughöhe
 $m_h = \frac{0,08}{\text{NW, WW}} - \frac{0,13}{\text{ÜWW}} \cdot h$

Stereoskopisches Sehen

$$\gamma = \frac{b_a}{y}$$

$$d_y = -\frac{b_q}{y^2} \cdot d_x$$

$$d_x = -\frac{y^2}{b_q} \cdot d_y$$

d_y ... Höhen-/ Tiefenunterschied
 b_a ... Augenbasis
 d_x ... Änderung des parallaktischen Winkels
 → Horizontalparallaxe p_x

künstliche Realisierung

$n \cdot v = P$...totale Plastik

$$d_y = -\frac{1}{n \cdot r} \cdot \frac{y^2}{b_a} \cdot d_x$$

v ... Vergrößerung der Bilder
 n ... Verhältnis Aufnahmebasis zu Augenbasis

Stereoskopisches Messen

Annahme: ebenes Gelände und Normalfall (Senkrechtaufnahme)

$$\omega' = \varphi' = \chi' = \omega'' = \varphi'' = \chi'' = 0$$

ω ... Querneigung
 φ ... Längsneigung
 χ ... Kantung (Verkantung)

x-Parallaxe

$$\text{absolut: } p_x = x'' - x'$$

$$\text{relativ: } \Delta p_x = p_{x_1} - p_{x_2}$$

Berechnung von Höhenunterschieden aus x-Parallaxen

gem p_{x_1}

$$h_1 = \frac{c \cdot b}{p_{x_1}}$$

gem p_{x_2}

$$h_2 = \frac{c \cdot b}{p_{x_2}}$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = c \cdot b \cdot \left(\frac{\Delta p_x}{p_{x_1} \cdot p_{x_2}} \right)$$

$$= \frac{h_1 \cdot \Delta p_x}{p_{x_1} \cdot p_{x_2}}$$

Für kleine Höhenunterschiede

$$\Delta h = \frac{h}{b} \cdot \Delta p_x = \frac{c \cdot m_b}{b} \cdot \Delta p_x$$

h ... Flughöhe

OBERSCHULE FÜR GEOMETER „PETER ANICH“, BOZEN

- Fachrichtung Baubetrieb -

Skripte aus 5 Jahren Oberschule

Diese Arbeit soll als didaktische Unterlage für den Schulunterricht oder als Nachschlagewerk dienen.

Diese Arbeit erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Ich weise jegliche Verantwortung in Bezug auf Inhaltsfehler und Fehlen von Textteilen von mir. Ich bitte aber darum, mir alle Fehler mitzuteilen, damit ich die Unterlagen verbessern und erweitern kann.

Die Vervielfältigung ist mit Quellenangabe erlaubt. Die Dokumente dürfen ohne Erlaubnis meinerseits nicht verändert werden.

Moroder Daniel
Tinderlaweg 13A
39046 St. Ulrich
daniel@moroder.de

St. Ulrich, September 2001