

Inhaltverzeichnis

1	Tunnelvermessung und Kreisel	2
1.1	Vermessungsaufgaben beim Tunnelbau	2
1.1.1	Absteckung	2
1.1.2	Abnahme und Überwachung	2
1.2	Vermessungskreisel	3
1.2.1	Grundprinzip	3
1.2.2	Bauformen und Gerätesysteme	4
1.2.3	Messverfahren	4
1.2.4	Korrekturen und Reduktion	7
1.3	Bestimmung des Durchschlagspunktes	9
1.4	Vortriebssteuerung	10
1.5	Konvergenzmessungen	10

1 Tunnelvermessung und Kreisel

1.1 Vermessungsaufgaben beim Tunnelbau

1-a Absteckung

Tunnelnetze und deren Aufbau

- Hauptnetz verbindet die Portale (GNSS oder Tachymeter)
- Portalnetz: Grundlagen für Tunnelpolygon, 3-4 Punkte + Hauptnetzpunkte, tachymetrisch
- Tunnelpolygon: (a) für den Vortrieb. (b) zur Kontrolle
 - Problem:
 - * Lange einseitig angeschlossenen Polygonzug
 - * Unsicherheit des Richtungswinkel
 - * Querabweichung steigt mit zunehmende Länge
 - Lösung
 - * Bestimmung der Richtungswinkel ohne Anschlußpunkte durch Vermessungskreisel

Kreiselanwendungen

- Tunnelbau
- Bergbau
- Anschluss terrestrische Messungen an GNSS Punkte

Alternative Lösung

- Magnetische Orientierung (zu ungenau)
- Astronomische Orientierung (nicht möglich)
- GNSS Messung (nicht möglich)

1-b Abnahme und Überwachung

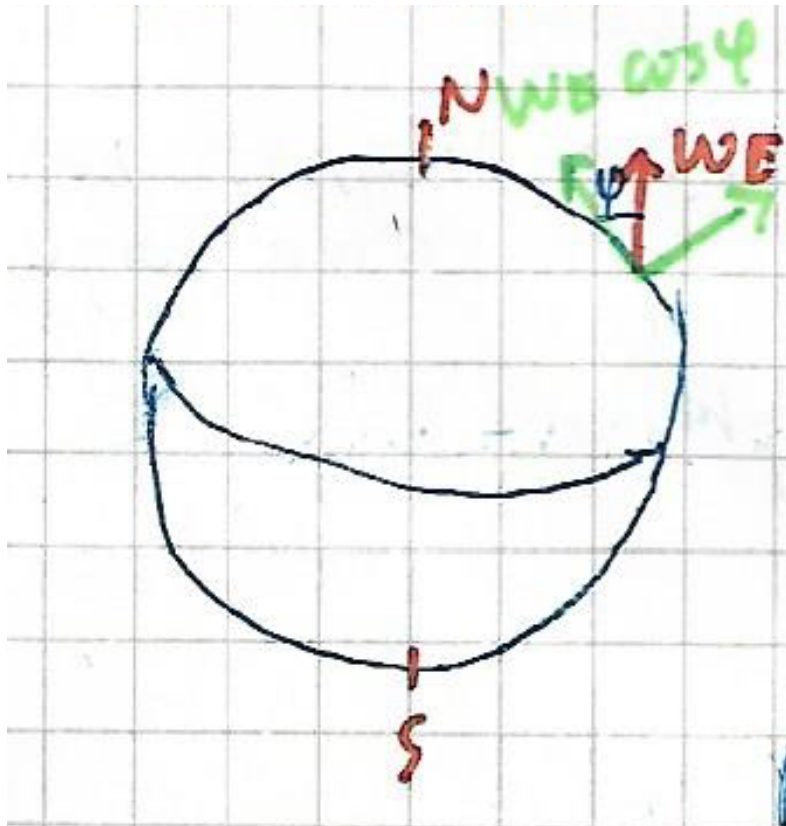
- Kontrollpolygon
- Monitoring der Umgebung (Setzung oberhalb des Tunnels)
- Konvergenzmessungen (Stabilitätsprüfung des Tunnels)

1.2 Vermessungskreisel

2-a Grundprinzip

- Kreisel weist aufgrund der Rotation um die eigene Achse einen Drehimpuls auf.
- Unter Wirkung der Erddrotation wirkt die Schwerkraft als äußere Kraft auf die Rotationsachse des Kreisels
- Kreisel verschwenkt seine Rotationsebene
- Kreisel weicht mit den Präzessionsbewegung rechtwinklig aus Rotationsachse des Kreisels zeigt noch Nord.

1) Einfluss der Breite:



(a) Einfluss der Breite

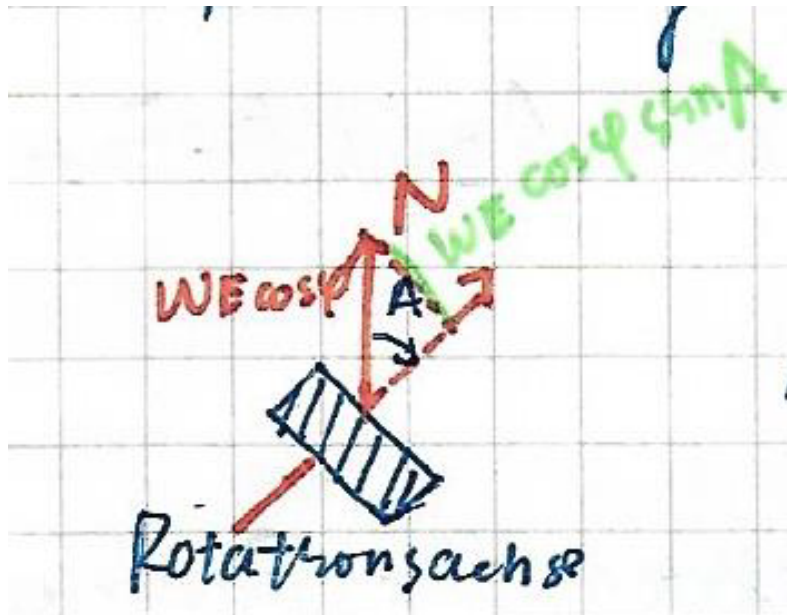
$$\omega_E = \text{Erddrehung}$$

$$\varepsilon = \text{Kreisdrehung}$$

$$M = I_w \cdot \omega_E \cdot \cos(\varphi)$$

2) Einfluss der Auslenkung (Kreiselazimuth) Gesamt Drehmoment:

$$D = I_w \cdot \omega_E \cdot \cos(\varphi) \cdot \sin(A)$$



(b) Einfluss der Auslenkung

Drehmoment / Präzessionsgeschwindigkeit wird umso größer:

- je größer die Auslenkung A
- je größer die geographische Breite φ
bei $\cos(\varphi) = 1$ um Äquator maximal
am Pol $\cos(\varphi) = 0$ Kein Drehmoment.
in der Praxis $|\varphi| \leq 75^\circ$

Problem: Massenträgheit schwingt der Kreisel um den Meridianen.

- Schwingungsdauer T_0 hängt von Konstruktionsprinzip ab

$$T \approx \frac{T_0}{\sqrt{\cos(\varphi)}}$$

breitenabhängig.

2-b Bauformen und Gerätesysteme

2-c Messverfahren

Kreiselschwingung ist durch Ablesereinrichtung und Lichtzeigen ablesbar:

1) Schnellorientierung

- Grobverfahren auf 0,05 gon
- Nachführen des Lichtzeigens auf der Skalermittel durch Drehen der Alhidade(Theodolitoberbau) bis zu den Umkehrpunkte v_W und v_E
- An der Umkehrpunkte die Ablesung A_W (West) und A_E (Ost) durchführen



(c)

- $N = \frac{A_E + A_W}{2}$
- Mittelwert N aus Theodolit einstellen
- Nordwert N ist ungenau, die die Schwingung gedämpft ist.

2) Umkehrpunktmethode

- Feinorientierung $\sigma_N = 5 - 10$ mgon bei 4 bis 6 Umkehrpunkten

a) Mit nachführen:

- Drehe der Alhidade führt zum Holten des Lichtzeiger in der Skalarmitte
- Ablesen des Teilkreisens an den Umkehrpunkten
- aus jeweils 3 Messungen das Schulen-Mittel bilden

Vorteile:

- Vororientierung von geringer Bedeutung

Nachteile:

- Umkehrpunkten unsicher ablesbar
- Nachführen erforderlich

b) Ohne nachführen

- Ablesung der Umkehrpunkten an den Hilfsskalar
- Bildung des Schulemittels aus Hilfsskalarmitte, danach Transformation in Teilkreiswerte
- Diesmal schwingt der Lichtzeiger im Gesichtsfeld. Hierfür muss die Vororientierung sehr gut sein. bzw. der Kreisel mechanisch abgebremst werden.

Parameter

- a_i : Ablesung an der Hilfsskala in s_E
- N' : Nordwert aus Vororientierung
- $\Delta N = c \cdot S$: Korrekturwert aus 2b)

- c : Gerätekonstante/Umrechnungsfaktor

Vorteile:

- Kein Nachführung
- gut automatisiert
- gute Vororientierung erforderlich
- zum Teil mechanisches Abbremsen nötig

3) Durchgangsmethode

- Feinorientierung
- $G_N = 5 - 10$ mgon bei 4 – 5 Durchgängen
- Vororientierung und Abbremsen wie bei 2b)
- Beobachten von Durchgangszeiten t_i des Lichtzeigers durch Skalennull mit der Stoppuhr
- Zusätzliche Ablesung der Amplituden an der Hilfsskala

$$\begin{aligned}T_{E,i} &= t_{2i} - t_{2i-1} & T_{W,i} &= t_{2i+1} - t_{2i} \\T_E &= \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m T_{E,i} & T_W &= \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m T_{W,i} \\m &= \frac{n}{2} - 1 \\T_E &= \frac{T}{2} + 2\delta T & T_W &= \frac{T}{2} - 2 \cdot \delta T \\ \Rightarrow T_E - T_W &= 4 \cdot \delta T \\ \Rightarrow \delta T &= \frac{T_E - T_W}{4} \\ \text{und : } T &= T_E + T_W\end{aligned}$$

Amplituden aus Hilfsskala

$$\begin{aligned}a &= \frac{a_E - a_W}{2} \\S &= a \cdot \sin\left(2\pi \cdot \frac{\delta T}{T}\right) \rightarrow S = a \cdot 2\pi \cdot \frac{\delta T}{T} \\N &= N' + c \cdot S\end{aligned}$$

Vorteile:

- Kein Nachführen erforderlich

- Durchgänge präziser beobachtbar
- automatisiertbar

Nachteile:

- gute Vororientierung notwendig
- mechanisches Abbremsen schwierig
- Stoppuhr notwendig

4) Schwingungsintegration (für Kreiseltheodolite)

$$\Delta N = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_1} \Delta N(t) dt \approx \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \Delta N_k$$

Vorteile

- Kein Nachführen, keine Stoppuhr
- Komplette automatisiert
- höchste Genauigkeit: ca. 1 mgon

2-d Korrekturen und Reduktion

1) Korrektur a) Gerätekonstante E

- Abweichung der Nullmarken der Skala gegenüber dem Momentanpol (Nullpunktfehler)
- Bestimmung Kreiseln aus Soll-Azimuths

b) Fehlwinkel α

- nur bei Aufsatzkreiseln
- zwischen Kreisellage und Zielfernrohr des Theodolites

c) In der Regel werden E und α In einem Wert zusammengefasst

$$A_m = \bar{z} - N + E - \alpha \Rightarrow A_m = \bar{z} - N + E$$

2) Reduktion

a) Polbewegung

- CIO: Conventional International Origin
- Astronomisches Azimut: $A = A_m - \beta$
- Polreduktion: $\beta = \frac{x_p}{den}$

- aktuelle Polkoordinate: x_P, y_P
- astronomische Standpunktkoordinate: Λ_S, Φ_S
- Querkrümmungsradius der Erde: R

Abschätzung:

- Polschwankung $< 0,3''$
- $\Rightarrow \beta < 0,15\text{gon}$
- vernachlässigbar

b) Übergang zum Ellipsoid

- Ellipsoidisches Azimut $\alpha = A + \varepsilon$
- Laplace-Reduktion(verkürzt): $\varepsilon = -\eta \tan(\Phi_S)$
- Komponente der Lotabweichung: $\eta = (\Lambda - \lambda) \cos(\varphi)$, (Φ_S kann durch ϕ_S ersetzt werden)

Abschätzung: (mit $z = 100\text{gon}$, und $h_z \leq 1\text{km}$)

- $\varepsilon \leq 1\text{mgon}$

Bei Gyromat zu berücksichtigen

Bei Fennel TK4 nicht berücksichtigen

c) Übergang in die Ebene

- Richtungswinkel: $T = \alpha - \gamma$
- Meridiankonvergenz: $\gamma = (\lambda_s - \lambda_0) \cdot \sin(\varphi_s) = \frac{200\text{gon}}{\pi R} y_s \tan(\varphi_s)$
- ellipsoidische Breite des Standpunkts: y_s
- ellipsoidische Länge des Standpunkts, des Zentralmeridians: λ_s, λ_0
- Abstand des Standpunkts von Zentralmeridian im UTM-System

Abschätzung:

$$\begin{aligned}\varphi_s &= 49^\circ \\ \lambda_s - \lambda_0 &\leq 1,5^\circ \\ \Rightarrow \gamma &= 1,25\text{gon} \\ &\Rightarrow \text{wichtigste Reduktion}\end{aligned}$$

d) Berücksichtigung der Abbildungsreduktion

- Richtungswinkel: $t = T - \delta$

- Richtungsreduktion $\delta = \frac{\rho}{b \cdot R^2} (x_z - x_s) \cdot (2y_s + y_z)$
- Zielpunkt: x_z, y_z
- Standpunkt: x_s, y_s

Abschätzung:

$$\begin{aligned} y_s &= y_z < 100km \\ x_z - x_s &< 1km \\ \Rightarrow \sigma &< 0,08mgon \\ \Rightarrow &ohne\ Bedeutung \\ \Rightarrow T &= t \end{aligned}$$

Zusammenfassung

- Gyromat: $t = A + \varepsilon - \gamma$
- Fennel: $t = A - \gamma$

1.3 Bestimmung des Durchschlagspunktes

Problem bei Tunnelpolygon: Einseitig umgeschlossen. daher schlechtes Fehlerverhalten und geringen Zuverlässigkeit. \rightarrow Zuverlässigkeit kann durch Messungen oder Doppelpolygonzug verbessert werden, Fehlerverhalten nicht.

Einsatz von Kreismessung:

$$t_{k,k+1} = t_{0,1} + \sum_{i=1}^k \beta_i + k \cdot 200gon - v \cdot 400gon$$

wobei t Richtungswinkel im Polygonzug ist.

Varianz: $\sigma_{t_{k,k+1}}^2 = \sigma_{t_{0,1}}^2 + k \cdot \sigma_{\beta}^2$, mit $\sigma_{\beta}^2 = 2\sigma_r^2$. σ_r ist Standardabweichung der Richtungs-
messung.

Festlegung der Station P_k , ab der die Kreismessungen einen Genauigkeitsgewinn bringen. (Bedingungen für den Einsatz von Kreismessung:

$$\begin{aligned} \sigma_N^2 &\leq \sigma_{t_{k,k+1}}^2 \\ \Rightarrow \sigma_N^2 &\leq \sigma_{t_{0,1}}^2 + k \cdot \sigma_{\beta}^2 \\ \Rightarrow k &\geq \frac{\sigma_N^2 - \sigma_{t_{0,1}}^2}{\sigma_{\beta}^2} \end{aligned}$$

Wenn Portalnetz "fehlerfrei", dann $\sigma_{t_{0,1}}^2 = \sigma_r^2$

$$k \geq \frac{\sigma_N^2 - \sigma_r^2}{2 \cdot \sigma_r^2}$$

Auswirkung der Kreismessung auf die Durchschlagsgenauigkeit(siehe Lagegenauigkeit Polygonzug)

- Längsfehler: $\sigma_L = \sigma_s \cdot \sqrt{k}$
- Querfehler: $\sigma_Q = s \cdot \sqrt{k^2 \cdot \sigma_{t_{0,1}}^2 + \frac{1}{6}k(k-1)(2k-1) \cdot \sigma_\beta^2}$
- Gesamtfehler: $\sigma_p = \sqrt{\sigma_Q^2 + \sigma_L^2}$
- Vortrieb von Beiden Seiten $\sigma_{2p} = \sqrt{\sigma_{p_1}^2 + \sigma_{p_2}^2} = \sqrt{2}\sigma_p$

Bei Einführung von Kreismessungen wird die Kovarianzfortpflanzung unterberichtet und es entsteht Teilpolygon

$$\sigma_{Q,i} = s \sqrt{k^2 \sigma_N^2 + \frac{1}{6}k(k-1)(2k-1) \sigma_\beta^2}$$

$$\sigma_Q = \sqrt{\sum_{i=1}^l \sigma_{Q,i}^2}$$

k ist Anzahl der Punkte im Teilpolygon. l ist Anzahl der Teilpolygon.
für erstes Teilpolygon

$$\sigma_N = \sigma_{t_{0,1}} = \sigma_r$$

σ_L unverändert.

1.4 Vortriebssteuerung

Prinzip:

- auf einem Theodolit wird ein Laser montiert, der die Referenzlinie vorgibt(Absteckung)
- Abbildung des Strahls auf 2 Zieltafeln
- Soll-Ist-Vergleich für Position und 3D Orientierung
- auf Basis dieser Abweichungen erfolgt die Steuerung der TBM
- Später Ersatz der Zieltafeln durch aktive Prismen, zusätzliche Messung der Längs- und Querneigung

1.5 Konvergenzmessungen

Definition Konvergenz: Bezeichnung im Bergbau für aufgrund des Gebirgsdrucks auftretende Annäherung(Längenänderung) zwischen Hangendem (Tunneldecke) und Liegendem(Tunnelsohle)
Konvergenzmessverfahren

- Invardröhle (wenig praktikabel)

- Neigungsmessung (nur beim Tübbingbau/TBM)
- Tachymetrische Messung (Standard)
- Laserscanning (flächenhaft)