

Inhaltsverzeichnis

1	Trasseneinrechnung und Absteckung im Straßen- und Gleisbau	2
1.1	Straßenentwurf	2
1.2	Entwurfselemente im Lage und Höhenplan	2
1.2.1	Krümmungsbild	2
1.2.2	Gerade	2
1.2.3	Kreisbogen	2
1.2.4	Klothoide	4
1.2.5	Weitere Übergangsbogen	8
1.2.6	Überhöhung, Quer und Längsneigung	8
1.2.7	Kippen und Wannenausführung	9
1.3	10
1.3.1	Eilinie	10
1.3.2	Wendelinie	11
1.3.3	Scheitelklothoide	11
1.4	Relation zwischen Höhen und Lageplan	12
1.5	Trasseneinrechnung nach graphischen Entwurf	12
1.6	Trassenlage und Höhenabsteckung	12
1.6.1	Lageabsteckung	12
1.7	Trassenlage und Höhenabsteckung	12
1.7.1	Polare Absteckung	12
1.7.2	Orthogonale Absteckung	13
1.7.3	Höhenabsteckung	13

1 Trasseneinrechnung und Absteckung im Straßen- und Gleisbau

1.1 Straßenentwurf

Trasse: Achse eines linienförmigen Objekts, horizontal festgelegt im Lageplan und vertikal festgelegt im Höhenplan. Beide Pläne sind miteinander abgestimmt.

1.2 Entwurfselemente im Lage und Höhenplan

2-a Krümmungsbild

bei direktem Übergang, Gerade - Kreisbogen $\frac{dR}{dL} \sim \infty \rightarrow$ Klothoid = Lineare Änderung der Krümmung $k = \frac{L}{A^2}$, A : Klothoid Parameter.

2-b Gerade

2-c Kreisbogen

Radius $R \rightarrow$ durch Fahrdynamik begrenzt.

Länge $b \rightarrow$ mindesten 2s zu durchfahren.

Hauptpunkt: Bogenanfang(A), Bogenendpunkt(E), Kreismittelpunkt(M)

- Zentriwininkel des Bogens r
- $= R \cdot r$
- $r = \frac{b}{R}$
- Tangentenlänge: $t = R \tan \frac{r}{2}$

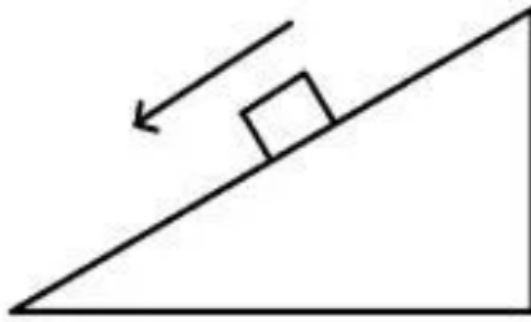
Bestimmung von Zwischenpunkten:

$$r' = \frac{b'}{R}$$

b' wird vorgegeben, z.B. alle 10m

$$x_P = R \cdot \sin(r')$$

$$y_P = R \cdot \cos(r')$$



(a)

$$G = m \cdot g$$

$$F = \frac{mv^2}{R}$$

$$G_N = G \cos \alpha = mg \cos \alpha$$

$$G_R = G \sin \alpha$$

$$F_R = F \cos \alpha = m \frac{v^2}{R} \cos \alpha$$

Forderung (damit das auf der Straße bleiben)

$$G_R + f_R(G_N + F_N) \geq F_R$$

$$mg \sin \alpha + f_R mg \cos \alpha + f_R m \frac{v^2}{R} \sin \alpha \geq m \frac{v^2}{R} \cdot \cos \alpha$$

$$\alpha \text{ klein} \longrightarrow \sin \alpha \approx \tan \alpha \approx q$$

$$\cos \alpha \approx 1$$

...

$$R \geq \frac{(1 - f_R \cdot q)}{q + f_R} \cdot \frac{v^2}{g}$$

Beispiel: $v = 100 \text{ km/h}$, $q = 6\%$, $f_R = 0,4 \longrightarrow R > 167 \text{ m}$ als minimalradius.

Seitenbeschleunigung bei der Kreisfahrt:

Kriterium des Fahrkomforts:

p : Seitenbeschleunigung.

$$p = \frac{F_R - G_R}{m} = \frac{v^2}{R} (\cos \alpha - g \sin \alpha)$$

$$p = \frac{v^2}{R} - q \cdot g$$

empirische Grenzwert: $p = 0,85 \text{ m/s}^2$

Forderung:

$$\frac{v^2}{R} - g \cdot q \leq 0,85$$

$$\frac{v^2}{R} \leq 0,85 + g \cdot q$$

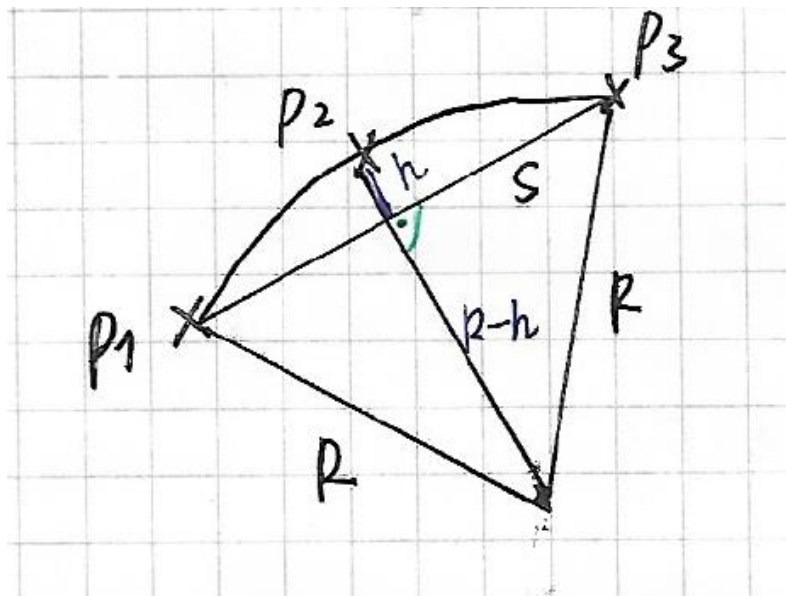
$$R \geq \frac{v^2}{0,85 + g \cdot q}$$

$$v = 100 \text{ km/h} \quad q = 6\% \rightarrow R > 543 \text{ m}$$

Kriterium Fahrkomfort ist entscheidend

Pfeilhöhenverfahren:

Ermittlung der Krümmung aus drei Punkten bei vorausgesetzten Kreisbogen (bzw. des Radius)



(b) h: Pfeilhöhe, s: Sehnenlänge

$$R^2 = (R - h)^2 + \left(\frac{s}{2}\right)^2$$

$$R^2 = R^2 - 2Rh + h^2 + \left(\frac{s}{2}\right)^2$$

...

$$k = \frac{1}{R} = \frac{8h}{s^2}$$

Radius somit graphisch bestimmbar.

2-d Klothoide

Hauptpunkte:

- ÜA: Klothoideanfang
- ÜE: Klothoideende

gegeben: R, A, x_A, y_A

gesucht:

- L : Bogenlänge
- τ : Tangentenwinkel
- t_A, t_E : Tangentenlänge
- x_E, y_E : Koordinaten des Klothoidenpunktes
- ΔR : Tangentenabrückung

Bogenlänge $L = \frac{A^2}{R}$

für einen laufenden Punkt P' :

$$\begin{aligned} k' &= \frac{1}{R'} = \frac{L'}{A^2} \\ dL &= R \cdot d\tau \\ \longleftrightarrow d\tau &= \frac{L'}{A^2} dL \\ \tau &= \int_A^E d\tau = \int_A^E \frac{L'}{A^2} dL \\ \tau &= \frac{L^2}{2A^2} \\ L &= \frac{A^2}{R} \longleftrightarrow \tau = \frac{L^2}{2A^2} \end{aligned}$$

Koordinaten x_E, y_E , wieder kleine Änderung für laufende Punkt.

$$\begin{aligned} dy &= dL \sin \tau \\ dx &= dL \cos \tau \\ y_E &= \int_A^E dy = \int_A^E dL \sin \tau \\ x_E &= \int_A^E dx = \int_A^E dL \cos \tau \\ y_E &= \int_A^E \sin\left(\frac{L^2}{2A^2}\right) dL \\ x_E &= \int_A^E \cos\left(\frac{L^2}{2A^2}\right) dL \end{aligned}$$

Fresnel'sche Integral:

- nicht geschlossen lösbar
- Reihenentwicklung

für Einheitsklothoide

$$l = \frac{L}{A}, \quad r = \frac{R}{A}$$

$$\longleftrightarrow L = A \cdot l, \quad R = A \cdot r$$

$$Y_E = \int_A^E \sin\left(\frac{l^2}{2}\right) A dl = Ay_E$$

$$X_E = \int_A^E \cos\left(\frac{l^2}{2}\right) A dl = Ax_E$$

Reihenentwicklung

$$x_E = l - \frac{l^5}{40} + \frac{l^9}{3456}$$

$$y_E = \frac{l^3}{6} - \frac{l^7}{336} + \frac{l^{11}}{42240}$$

Dann:

$$X_E = A \cdot x_E$$

$$Y_E = A \cdot y_E$$

Tangente Länge t_A, t_E :

$$t_A = X_E - Y_E \cot(\tau)$$

$$t_E = \sqrt{(X_E - t_A)^2 + Y_E^2}$$

Tangentabrücklung

$$R + \Delta R = R \cos \tau + Y_E$$

$$\Delta R = Y_E - R(1 - \cos \tau)$$

Zusätzliche Elemente

$$s = \sqrt{X_E^2 + Y_E^2}$$

bei $X_A = 0, Y_A = 0$

$$\sigma = \arctan\left(\frac{Y_E}{X_E}\right)$$

Mittelpunkt des Folgekreises

$$X_M = X_E - R \sin \tau$$

$$Y_M = Y_E + R \cos \tau$$

Berechnung von Zwischenpunkten \rightarrow Übergang auf Einheitsklothoide,

$$\begin{aligned} l' &= \frac{L'}{R} \\ x_P &= l' - \frac{l'^5}{40} + \frac{l'^9}{3456} \\ y_P &= \frac{l'^3}{6} - \frac{l'^7}{336} + \frac{l'^{11}}{42240} \\ X_P &= R x_P \\ Y_P &= R y_P \end{aligned}$$

Seitenrück bei der Klothoidenfahrt

Änderung der Seitenbeschleunigung über die Zeit: $r = \frac{dp}{dt}$, mit $p =$ Seitenbeschleunigung.
 $r \leq 0,5$ bis $0,7 m/s^2$ (empirische Grenzwert)

$$r = \frac{dp}{dt} = \frac{dp}{dR} \cdot \frac{dR}{dL} \cdot \frac{dL}{dt}$$

(a). $\frac{V^2}{R} - g \cdot q$, bei Planung q kompensiert $\frac{1}{3}$ der Fliehkraft.

$$p = \frac{2}{3} \frac{v^2}{R} \rightarrow \frac{dp}{dr} = -\frac{2}{3} \frac{v^2}{R^2}$$

(b).

$$\begin{aligned} k &= \frac{1}{R} = \frac{L}{A^2} \longleftrightarrow R = \frac{A^2}{L} \\ \frac{dR}{dL} &= -\frac{A^2}{L^2} = -\frac{R^2}{A^2} \\ da \quad L^2 &= \frac{A^4}{R^4} \end{aligned}$$

(c).

$$\frac{dL}{dt} = v$$

$$(a) + (b) + (c) \rightarrow r = -\frac{2}{3} \frac{V^2}{R^2} \left(-\left(\frac{R^2}{A^2} \right) v \right) = \frac{2}{3} \frac{V^3}{A^2} \leq 0,5 m/s^3 \rightarrow A \geq \sqrt{\frac{2}{3 \cdot 0,5}} v^3 = \sqrt{\frac{4}{3}} v^3$$

Numerische Beispiel: $v = 100 km/h \rightarrow A > 170m$

2-e Weitere Übergangsbogen

Nutzung nur bei der Gleislaussierung, da beide Klothode an den Punkten ÜA und ÜE ein Sprung im Rückaufttritt.

1) Parabel 5. Grades / Bloss - Kurve

$$y = \frac{x^4}{4 \cdot r \cdot l} - \frac{x^5}{10 \cdot r \cdot l^3}$$
$$k = \frac{3 \cdot x^2}{r \cdot l} - \frac{2 \cdot x^3}{r \cdot l^4}$$

2) Sinusoide

Steige Verlauf des Seitenrucks, fahrdynamisch das Beste, Einsatz bei Magnetischwebebahn

$$k = \frac{1}{R} \left(\frac{l}{L} - \frac{1}{2\pi} \sin\left(\frac{l'}{L} 2\pi\right) \right)$$

2-f Überhöhung, Quer und Längsneigung

Überhöhung: Höhendifferenz zwischen Innere und äußere Schiene; Angabe in mm(zwischen 20 und 180 mm) nur im Gleisbau.

Neigungsmaße:

- Neigungswinkel: $\alpha = \arctan\left(\frac{\Delta H}{s}\right)$
- Prozent: $p = \frac{\Delta H}{s} \cdot 100\%$
- Böschungsverhältnis: $\tan \alpha = \frac{1}{x} = \frac{\Delta H}{s}$

Steigung des Gelände von 1m der Entfernung von x.

Querneigung: Überhöhung im Straßenbaus, Angabe in %

- Mindestwerte zur Abführung des Oberflächenwassers (wenn kein Längsneigung): 2, 5%
- Maximalwerte bei Kreisbögen: 5 bis 8%
- bei vier spruigen Straßen: Dachprofil
- Verwindung: Drehen der Querschnitt von der Achse; meist in Übergangsbögen.

Längsneigung:

Straßenbau:

- Maximalwerte Straßenbau: 4, 5 – 8%
- Mindestwerte Straßenbau:(zum Abfluss der Oberflächenwassers) 0, 7 – 1%

Gleisbau:

- Maximalwerte beim Gleisbau: 1, 25% bei Hauptbahnen, 4% bei S-Bahnen und Nebenbahnen, 0, 25% in Bahnhöfen.

2-g Kippen und Wannenausführung

Steigung: positiv: \oplus S

Gefälle: negativ: \ominus S

Wannenhalbmesse: \oplus H

Kuppenhalbmesse: \ominus H

$$\tan \alpha = \frac{s_1}{100} \approx \alpha \quad (\text{positiv})$$

$$\tan \beta = \frac{s_2}{100} \approx \beta \quad (\text{negativ})$$

$$T_\alpha = -H \cdot \frac{S_1}{100}$$

$$T_\beta = -H \cdot \frac{-S_2}{100}$$

$$2T = T_\alpha + T_\beta = H \left(\frac{S_2 - S_1}{100} \right)$$

$$T = T_\alpha + T_\beta = \frac{H}{2} \left(\frac{S_2 - S_1}{100} \right)$$

$$S(x) = S_1 + \frac{x}{H} \cdot 100$$

$$y(x) = \frac{s_1}{100}x + \frac{x^2}{2H}$$

$$f = \frac{x_M^2}{2H} = \frac{T^2}{2H}$$

$$f = \frac{H}{8} \frac{(s_2 - s_1)^2}{100^2}$$

$$h_a = \frac{(S_H^a)^2}{2H}$$

$$h_z = \frac{(S_H^z)^2}{2H}$$

$$\longrightarrow S_H^a = \sqrt{h_a \cdot 2H}$$

$$S_H^z = \sqrt{h_z \cdot 2H}$$

$$S_H = \sqrt{h_a \cdot 2H} + \sqrt{h_z \cdot 2H}$$

$$S_H^2 = 2H(\sqrt{h_a} + \sqrt{h_z})^2$$

$$H = \frac{S_H^2}{2(\sqrt{h_a} + \sqrt{h_z})^2}$$

$$h_a = 1m$$

$$h_z = f(v) \text{ mit } 0m \text{ bei } v = 60km/h$$

$$0,45m \text{ bei } v = 130km/h$$

numerische Beispiel

$$V = 100 \text{ km/h} \rightarrow S_H = 170 \text{ m} \rightarrow V_{Kuppe} \geq 8300 \text{ m}$$

$$H_{Wanne} = \frac{H_{Kuppe}}{2} \quad (\text{nur aus optische Grnden})$$

1.3

3-a Eilinie

Folge: Kreisbogen - Klothoide - Kreisbogen

→ Klothoide zwischen 2 gleichsinnig gekrümmten Kreisbögen. (mit unterschiedlichen Radien)

$$k_1 = \frac{1}{R_1}, (\ddot{U}A)$$

$$k_2 = \frac{1}{R_2}, (\ddot{U}E)$$

gegeben: $R_1, R_2, x_{m_1}, y_{m_1}, x_{m_2}, y_{m_2}$

Vorbedingungen:

- $R_1 > R_2$
- R_2 innerhalb von R_1
- M_1 und M_2 nicht identisch.

a: kürzester Abstand der verlängerten Kreisbögen / Kreisbogenabrückung.

$$a = R_1 - R_2 - \sqrt{(x_{m_1} - x_{m_2})^2 - (y_{m_1} - y_{m_2})^2}$$

Klothoide Parameter A_{E_i}

$$A_{E_i} = \sqrt[4]{24aR^3}$$

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

$$L_{E_i} = \frac{A_E^2}{R}$$

A_{E_i} stellt Näherungslösung, daher benötigt man eine iteration Vorgehesweise

Iteration

- mit A_{E_i} (als Nahrung) Koordinaten der Mittelpunkt berechnen.
- dann a neu berechnen, und A_{E_i}
- Korrektur von a bzw. A_{E_i} bis keine Widersprüche in dem Koordinaten auftreten.

3-b Wendelinie

Kreis - Wendeklothoide - Kreis

- Klothoide verbindet 2 Kreisbögen entgegengesetzte Krümmung
- kann auch als 2 Entgegengesetzte gekrümmte Klothoide aufgefasst werden
- am Wendepunkte gleiche Tangente
- Klothoidenparameter sollten bei beide Ästen gleich sein oder maximal $0,07 \leq A_1/A_2 \leq 1,5$ sein.

gegeben: $R_1, R_2, x_{m_1}, y_{m_1}, x_{m_2}, y_{m_2}$

$$\begin{aligned}
 a &= \overline{M_1 M_2} - R_1 - R_2 \\
 A_w &= \sqrt[4]{24aR^3} \quad (\text{ohne Beweis}) \\
 R &= \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \\
 L_w &= \frac{A_w^2}{R} \\
 \Rightarrow L_{w_1} &= \frac{A_w^2}{R_1} \quad L_{w_2} = \frac{A_w^2}{R_2} \\
 y_{m_1} &= R_1 + \Delta R_1 \quad \text{mit } \Delta R_1 = \frac{L_{w_1}^2}{24R_1} \\
 y_{m_2} &= R_2 + \Delta R_2 \quad \text{mit } \Delta R_2 = \frac{L_{w_2}^2}{24R_2} \\
 x_{m_1} &= x_{E_1} - R_1 \sin \tau_1 \quad \text{mit } \tau_1 = \frac{L_{w_1}}{2R_1} \\
 x_{m_2} &= x_{E_2} - R_2 \sin \tau_2 \quad \text{mit } \tau_2 = \frac{L_{w_2}}{2R_2} \\
 \varepsilon &= \arctan\left(\frac{x_{m_1} + x_{m_2}}{y_{m_1} + y_{m_2}}\right)
 \end{aligned}$$

\Rightarrow Bestimmung von $\overline{M_1 M_2}$ möglich

Iteration (Da $A_w, \Delta R_1, \Delta R_2$ sind Näherungswerte)

- Berechnung von Kreismittelpunkten, die nicht mit Vorgabe übereinstimmen.
- a / A_w konvergieren
- Berechnung von Kreismittelpunkten bis keine Widersprüche auftreten.

3-c Scheitelklothoide

2 Klothoiden mit unterschiedlichen Vorzeichen der Krümmungsänderung grenzen ohne Kreisbogen aneinander. (Schlechte Fahrdynamik, da "Kreisbogendurchfahrt" in jedem Fall $< 2,5$), möglichst nicht verwenden!

1.4 Relation zwischen Höhen und Lageplan

1.5 Trasseneinrechnung nach graphischen Entwurf

1.6 Trassenlage und Höhenabsteckung

6-a Lageabsteckung

Tangentenpolygon berechnen.

Beispiel: Gerade - Klothoide - Kreisbogen

- Vorgabe x_A, y_A, t_{AE}
- L bekannt
- polares Anhängen für $x_E = (x_{Uea}), y_E = y_{Uea}$
- $t_A, t_E \tau$ aus Formel
- Polares Anhängen von x_{k_1}, y_{k_1} unter Nutzung von t_A
- $t_{k_1, k_2} = t_{AE} - \tau$
- Polares Anhängen von $x_{Uee} = (x_{k_A}), y_{Uee} = (y_{k_A})$ unter Nutzung von t_E
- t, j aus Formeln zum Kreisbogen.
- Polares Anhängen von x_{k_2}, y_{k_2} unter Nutzung von t
- $t_{k_2 k_E} = t_{k_1 k_2} - \tau$
- Polares Anhängen von x_{k_E}, y_{k_E} unter Nutzung von t

1.7 Trassenlage und Höhenabsteckung

7-a Polare Absteckung

- Tangenten Polygon in Landeskoordinaten berechnen
- Berechnung der Bogenkleinpunkt (zwischenpunkte) bezogen auf Tangenten
- Transformation der Zwischenpunkte in das Landessystem (3 Parameter (kein Maßstab))
- Anlage aus trassennahem Polygons/Festpunkt
- Polare Absteckung der Haupt- und Zwischenpunkt

7-b Orthogonale Absteckung

- Tangenten Polygon in Landeskoordinaten berechnen (identisch)
- Berechnung der Bogenkleinpunkt (zwischenpunkte) bezogen auf Tangenten (identisch)
- Herstellung des Tangentpolygons in der Örtlichkeit
- Orthogonale Absteckung der Zwischenpunkte

7-c Höhenabsteckung

- alle Trassenpunkten werden zunächst ohne Höheninformation abgesteckt.
- In Trassennähe wird dann an Absolutehöhe vermarktet
- Von dort können die Höhen für übertragen und entsprechend Erdmassen entnommen oder aufgeschüttet werden

Höhenfeinabsteckung für Fahrbahnschnitt

- Nutzung des Leitdrahts (auch für die Lage)
- Längsneigung wird gleichfalls durch Leitdrahts festgelegt
- Querneigung wird angeschrieben
- Heute werden Leitdraht oft durch komplett automatisiert Baumaschine und Soll-DGMs ersetzt.