



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology



**Institut für Verkehrswissenschaften
Forschungsbereich für Eisenbahnwesen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen**

**AUSGEWÄHLTE
BERECHNUNGSBEISPIELE**

**ÜBUNGEN AUS
EISENBAHNWESEN**

APRIL 2012
KATALIN JURECKA
PETER TAUSCHITZ

Inhalt:

1. FAHRDYNAMIK.....	3
1.1. Maximal zulässige Steigung.....	4
1.1.1. Fall anfahren (des Güterzuges)	4
1.1.2. Fall konstante Fahrt (von Personen- und Schnellzug)	5
1.2. Maximal zulässiges Gesamtgewicht.....	6
1.3. Mindestens erforderliche Bremsweglänge	6
2. GLEISEINRECHNUNG	7
2.1. Wahl der Weichentypen	8
2.2. Mindestlänge von Zwischenelementen	8
2.3. Einrechnung der Trassierungselemente.....	11
2.4. Gleisverziehung.....	12
2.5. Bogenweiche	12
3. ÜBERGANGSBOGEN.....	13

1. Fahrdynamik

gesucht wird:

- 1.) *Maximal zulässige Steigung, damit alle angeführten Züge ohne betriebliche Einschränkungen verkehren können*

	Personenzug	Schnellzug	Güterzug
V [km/h]:	110	140	80
Anzahl Waggons:	7	9	-
Gesamtgewicht [t]:	-	-	1000
Triebfahrzeug:	1014	1116	1116

Anfahrbeschleunigung [m/s ²]	
Güterzug	0,1
Schnellzug	0,3
Eil-, Regionalzug	0,5
Schnellbahn	0,8

Bremsverzögerung [m/s ²]	
Güterzug	0,4
Schnellzug	0,6
Eil- oder Regionalzug	0,8
Schnellbahn	1,2

Personenwagen: ca. 56t, Länge über Puffer: 26,4m
Reibbeiwert f [%]: 23

Den Güterzügen sind ältere, den Personenzügen moderne Waggons der Berechnung zugrunde zu legen. Für die Berechnung des Laufwiderstandes genügt die Formel nach 2.1.3 aus dem Übungsskriptum.

- 2.) *Maximal zulässiges Gesamtgewicht für einen Güterzug, um auf einer Bergstrecke noch anfahren zu können*

Grundwiderstand des gesamten Zuges [‰]	3
Steigung [‰]	23
Lokomotivtyp	1044
Mindestradius[m]	240

- 3.) *Erforderliche Bremsweglänge bei einer Zwangsbremung für den unter 1.2 berechneten Güterzug*

Gefälle[‰]	23
V [km/h]:	65
gebremste Achsen	85%
Keine Magnetschienenbremse	
Gerades Gleisstück	

1.1. Maximal zulässige Steigung

Die maßgebende Steigung ist zu berechnen! Dabei muss der schwerste Zug (Güterzug) anfahren können, sowie der Schnellzug ohne Geschwindigkeitsverlust die Steigung überwinden können. (vgl. Zugkraftdiagramm und Zugkraftgleichungen, Kapitel 2.2 des Übungsskriptums)

1.1.1. Fall anfahren (des Güterzuges)

Mittlerer Grundwiderstand w_m'

$$w_m' = \frac{Q_0 \cdot w_i' + Q_L \cdot w_i'}{Q_0 + Q_L}$$

mit $w_1' \approx 2,5 \text{ ‰}$
 $w_2' \approx 4 \text{ ‰}$

$$\Rightarrow w_m' = \frac{10000 \cdot 2,5 + 860 \cdot 4}{10000} = \underline{2,62\text{‰}}$$

Q_0 ... Anhängelast (Summe aller Wagons) [kN]

Q_L ... Lokomotivgewicht [kN]

w_i' ... Grundwiderstand [‰]

w_i' ... Grundwiderstand von Wagons bzw. Lokomotive [‰]

w_m' ... Mittlere Grundwiderstand des gesamten Zuges [‰]

Beschleunigungswiderstand w_p

$$w_p = \frac{p}{g} \cdot \beta \cdot 1000$$

mit $\beta = 1,08$ (siehe Kapitel 2.1.6 des Übungsskriptums)
 $p = 0,1$ (Angabe)

$$\Rightarrow w_p = \frac{0,1}{9,81} \cdot 1,08 \cdot 1000 = \underline{11,01\text{‰}}$$

β ... Massefaktor zur Berücksichtigung der rotierenden Massen

p ... Fahrzeugbeschleunigung [m/s²]

w_p ... Beschleunigungswiderstand [‰]

Nun können diese Ergebnisse in die umgeformte Zugkraftgleichung für das Beschleunigen im Reibungsbereich (Kapitel 2.2.2 des Übungsskriptums) eingesetzt werden.

Dabei ist der Luftwiderstand w_v nicht von Bedeutung, da der Zug zum Zeitpunkt des Anfahrens noch stillsteht, wodurch auch der Laufwiderstand w_0 für diesen Fall keine Bedeutung hat. Weiters wird der Bogenwiderstand w_b vernachlässigt, da eine Strecke mit einem Radius $> 1000\text{m}$ angenommen wird.

$$Z_R = Q_R \cdot f_g \geq (Q_0 + Q_L) \cdot (w' \pm w_s + w_b + w_p)$$

f_g ... Gleitreibungsbeiwert [-]

Q_R ... Reibungsgewichtskraft [kN]

Z_R ... Reibungszugkraft [kN]

$$\Rightarrow w_s = \frac{Q_R \cdot f_g}{Q_0 + Q_L} - w' - w_p$$

$$\Rightarrow w_s = \frac{860 \cdot 0,23}{10000} - 0,0026 - 0,01101 = \underline{5,60\text{‰}}$$

1.1.2. Fall konstante Fahrt (von Personen- und Schnellzug)

Mangels detaillierterer Angaben, darf der Laufwiderstand überschlägig mit der Formel aus Kapitel 2.1.3 des Übungsskriptums berechnet werden. Dadurch ergibt sich der Laufwiderstand zu:

$$w_0 = 2,5 + 0,03 \cdot \left(\frac{V + 10}{10} \right)^2$$

V Geschwindigkeit [km/h]
w₀... Laufwiderstand [‰]

$$\Rightarrow w_0 = 2,5 + 0,03 \cdot \left(\frac{140 + 10}{10} \right)^2 = \underline{6,82‰} \quad \text{für den Personenzug}$$

$$w_0 = 2,5 + 0,03 \cdot \left(\frac{110 + 10}{10} \right)^2 = \underline{9,25‰} \quad \text{für den Schnellzug}$$

Dieses Ergebnis genügt zur Berechnung der maximalen Steigung, indem in die umgeformte Zugkraftgleichung für das Fahren im Leistungsbereich (Kapitel 2.2.4 des Übungsskriptums) eingesetzt wird. Der Bogenwiderstand w_b tritt aufgrund der geraden Strecke nicht auf.

$$Z_N = \frac{N}{v} \geq (Q_0 + Q_L) \cdot (w_0 \pm w_s + w_b)$$

N Leistung [Nm/s]=[W]
v Geschwindigkeit [m/s]
w₀... Laufwiderstand [‰]
w_b... Bogenwiderstand [‰]
w_s ... Steigungswiderstand [‰]
Z_N... Leistungszugkraft [N]

$$w_s = \frac{N}{v \cdot (Q_0 + Q_L)} - w_0$$

$$\Rightarrow w_s = \frac{3000000}{(110/3,6) \cdot (660 + 7 \cdot 560)} - 6,82 = \underline{14,62‰} \quad \text{für den Personenzug}$$

$$w_s = \frac{6400000}{(140/3,6) \cdot (860 + 9 \cdot 560)} - 9,25 = \underline{18,64‰} \quad \text{für den Schnellzug}$$

Maßgebend ist der kleinste Steigungswiderstand, dieser ist im Regelfall für das Anfahren des Güterzuges mit der leichtesten Lok und für das halten der Geschwindigkeit des schnellsten Zuges mit der schwächsten Dauerleistung.

in diesem Fall:

$$s_{\text{maßgebend}} = \min (5,60 \mid 14,62 \mid 18,64) = \underline{5,60 ‰}$$

1.2. Maximal zulässiges Gesamtgewicht

Diese Problemstellung ist ähnlich jener unter Punkt 1.1. Bei diesem Beispiel wird jedoch bei einer gegebenen Steigung das maximale Gewicht ermittelt.

Der Grundwiderstand, sowie der Beschleunigungswiderstand sind identisch mit den Werten des ersten Punktes, jedoch muss diesmal der Bogenwiderstand w_b berücksichtigt werden:

$$w_b = \frac{650}{R - 55} \quad (\text{für } R \geq 300 \text{ m})$$

$$w_b = \frac{500}{R - 30} \quad (\text{für } R < 300 \text{ m})$$

in diesem Fall: $w_b = \frac{500}{240 - 30} = \underline{2,38\%}$

Für die weitere Berechnung findet dann wieder die Formel aus Kapitel 2.2.2 Anwendung:

$$Z_R = Q_R \cdot f_g \geq (Q_0 + Q_L) \cdot (w' \pm w_s + w_b + w_p)$$

$$Q_{\text{ges}} = Q_0 + Q_L = \frac{Q_R \cdot f_g}{w' + w_s + w_b + w_p}$$

$$Q_{\text{ges}} = \frac{840 \cdot 230}{2,62 + 23 + 2,38 + 11,01} = 5070,49 \text{ kN} = \underline{\underline{507,0 \text{ t}}}$$

f_g Gleitreibungsbeiwert [-]
 Q_L ... Lokomotivgewicht [kN]
 Q_0 Anhängelast [kN]
 Q_R ... Reibungsgewichtskraft [kN]
 w' Grundwiderstand [%]
 w_b Bogenwiderstand [%]
 w_p Beschleunigungswiderstand [%]
 w_s Steigungswiderstand [%]
 Z_R Reibungszugkraft [kN]

1.3. Mindestens erforderliche Bremsweglänge

$$l_{\text{br}} = \frac{v_2^2 \cdot \beta}{2 \cdot g \cdot (w_0 \pm w_s + w_b + w_{\text{br}})}$$

mit $w_0 = 2,5 \cdot \left(\frac{65 + 10}{10} \right)^2 = \underline{4,22\%}$

$$w_{\text{br}} = b \cdot f_g = \underline{195,5\%}$$

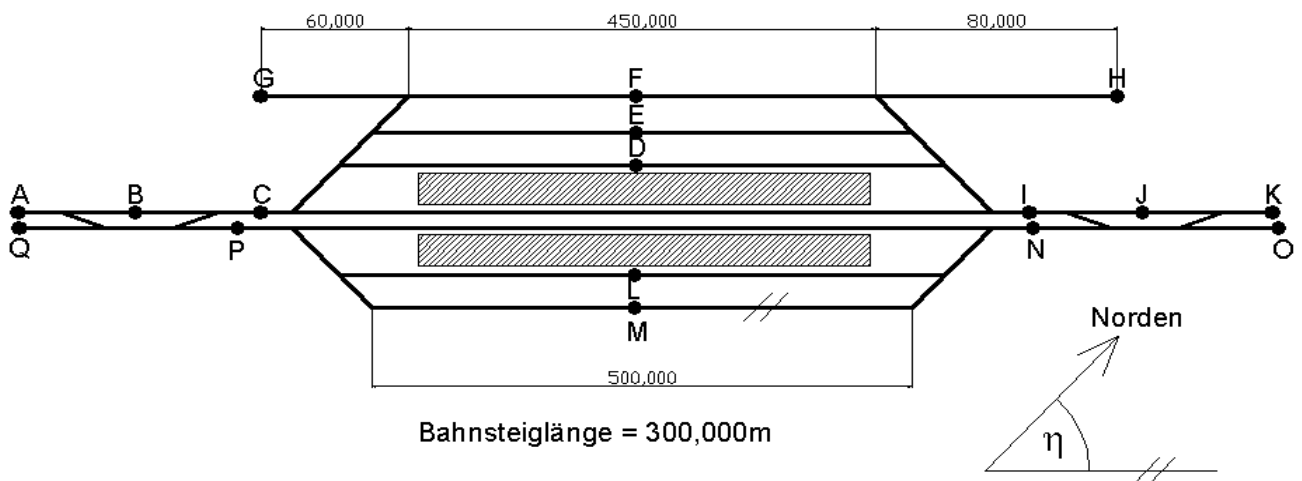
$$\Rightarrow l_{\text{br}} = \frac{(65/3,6)^2 \cdot 1,08}{2 \cdot 9,81 \cdot (4,22 - 23 + 195,5)/1000} = \underline{\underline{101,5 \text{ m}}}$$

b Massefaktor zur Berücksichtigung der rotierenden Massen
 l_{br} Bremsweglänge [m]
 v Geschwindigkeit [m/s]
 b Bremsausmaß
 w Widerstände [%]
 w_0 Laufwiderstand [%]
 w_b Bogenwiderstand [%]
 w_{br} Bremswiderstand [%]
 w_s Steigungswiderstand [%]

Diese Bremsweglänge entspricht einer Zwangsbremung. Die Länge einer Bremsung im Betriebsfall ist nach 2.2.8 aus dem Übungsskriptum zu berechnen.

2. Gleiseinrechnung

Einzurechnende Gleiskombination:		A - P - M
	y	x
Anfangspunkt:	35111,7140	13526,6530
Winkel η :	144,84699	



Es ist das Schema eines Bahnhofs gegeben, bei dem die oben angegebene Gleiskombination (A-P-M) koordinativ einzurechnen ist. Dabei sind folgende Punkte abzarbeiten:

- 1.) *Einzubauende Weichentypen*
- 2.) *Mindestlänge von Zwischenelementen*
- 3.) *Alle gekennzeichneten Geraden und Bögen sind zu berechnen (Längen und Radien)*

Weiters sind, unabhängig vom oben gegebenen Bahnhof, folgende Berechnungen durchzuführen:

- 4.) *Länge der angegebenen Gleisverziehung*

Radius	25000,00 m
Geschwindigkeit	140 km/h
Verziehung von	4 m auf 4,75 m

- 5.) *Zweigradius und alle Weichenpunkte der angegebenen Bogenweiche*

	y	x
Anfangspunkt	35111,714	13526,653
Winkel η :		144,847
Außenbogenweiche rechts		
Weichentyp		EW C-500-1:12
Radius, auf den der gerade Ast verbogen wird		2700,00 m

2.1. Wahl der Weichentypen

Die Gleisaukreuzung beiderseits vor dem Bahnhof sollte grundsätzlich mit 100 km/h befahrbar sein. Abzweigende Gleise im Bahnhofsbereich werden im Regelfall mit 60 km/h auf der Ausfahrseite und mit 100 km/h auf der Einfahrseite bemessen. In diesem Beispiel wird planmäßiger Rechtsverkehr angenommen, somit wird die Strecke von P nach M als Einfahrseite mit einer zulässigen Geschwindigkeit von 100 km/h berechnet.

Aufgrund der geforderten Geschwindigkeit werden folgende Weichen gewählt:

Vor dem Bahnhof	V = 100 km/h	→	EW 1200 –1:18,5
Im Bahnhofsbereich	V = 60 km/h	→	EW 500 –1:12

Diese Radien ergeben sich aus der Formel $R_{\min} = 11,80227 \cdot \frac{V_{\max}^2}{D_0 + I_0}$, aus Kapitel 3.4.2 des Übungsskriptums, mit einer gewählten Überhöhung D_0 von 0 mm und einem Grenzwert des Überhöhungsfehlbetrages I_0 von 100 mm. Die Längen der Weichenelemente sind der Tabelle 21, Kapitel 6, die Mindestabstände der Gleisachsen im Bahnhofsbereich der Tabelle 29, Kapitel 8.3 des Übungsskriptums, zu entnehmen.

2.2. Mindestlänge von Zwischenelementen

Zwischengeraden werden einerseits benötigt, um den Komfort der Fahrgäste bei Gegenbogenfahrten zu erhöhen (Ruckbegrenzung), andererseits um Überpufferungen zu verhindern. Mindestanforderungen für Zwischengeraden sind den Kapiteln 3.6.1 und 3.6.2 des Übungsskriptums zu entnehmen.

- *in der Gleisaukreuzung vor dem Bahnhof und bei einfahrseitigen Weichen*

$$|R_{\text{eff}}| = \frac{|R_1| \cdot |R_2|}{|R_1| + |R_2|} = \frac{1200 \cdot 1200}{1200 + 1200} = 600\text{m}$$

$$|\Delta U| = 11,80227 \cdot \left| \frac{1}{R_{\text{eff}}} \right| \cdot V_{\max}^2 = 196,705\text{mm} \leq \Delta U_0 = 75 - 0,3125 \cdot V_{\max} = 43,75\text{mm}$$

Bedingung ist nicht erfüllt, folglich ist eine Zwischengerade erforderlich:

$$L_{Z0,\text{regel}} = 0,25 \cdot V_{\max} = 25\text{m}$$

$$L_{Z0,\text{grenz}} = 0,15 \cdot V_{\max} = 15\text{m}$$

$$L_0 = 0\text{m} \quad (\text{Aus Tabelle 16 des Übungsskriptums, bei } R_{\text{eff}} = 600)$$

Die Mindestlänge der Zwischengerade beträgt somit 25 m, in Grenzfällen kann die Länge auf 15 m herabgesetzt werden, etwa wenn Gleisverbindungen von Personenzügen im Regelfall nicht befahren werden.

- bei **Weichen im Bahnhof** (ausfahrseitig)

$$|R_{\text{eff}}| = \frac{|R_1| \cdot |R_2|}{|R_1| + |R_2|} = \frac{500 \cdot 500}{500 + 500} = 250\text{m}$$

$$|\Delta U| = 11,80227 \cdot \left| \frac{1}{R_{\text{eff}}} \right| \cdot V_{\text{max}}^2 = 169,953 \leq \Delta U_0 = 75 - 0,3125 \cdot V_{\text{max}} = 56,25$$

Bedingung ist nicht erfüllt, folglich ist eine Zwischengerade erforderlich:

$$L_{z0} = 0,25 \cdot V_{\text{max}} = 15\text{m}$$

$$L_0 = 0\text{m} \quad (\text{Aus Tabelle 16 des Übungsskriptums, bei } R_{\text{eff}} = 250)$$

Die Mindestlänge der Zwischengerade beträgt somit 15 m.

EW 1200-1:18,5 hat einen Endtangentialwinkel von

$$\alpha = \arctan\left(\frac{1}{18,5}\right) = 3,43784^\circ$$

EW 500-1:12 hat einen Endtangentialwinkel von

$$\beta = \arctan\left(\frac{1}{12}\right) = 5,29293^\circ$$

Der Abstand zwischen den beiden Hauptgleisen im Bahnhofsbereich beträgt 4,75 m, beziehungsweise mind. 9,50 m, wenn sich ein beidseitig benutzbarer Bahnsteig dazwischen befindet (vgl. Tabelle 29 des Übungsskriptums, Kapitel 8.3).

Ermittlung der tatsächlichen Länge der Zwischengeraden:

- **Gleisaukreuzung vor dem Bahnhof**

EW 1200 1:18,5

$$l_z = \frac{4,75}{\sin \alpha} - 2 \cdot 32,409 = 23,185\text{m}$$

4,75 Gleisabstand
32,409 Schenkellänge des abzweigenden Astes
(siehe Tabelle 21, Kapitel 6)

In der Regel wäre eine Länge von 25 Metern erforderlich, da die Überleitstelle allerdings nicht planmäßig, sondern nur in Ausnahmefällen befahren wird, genügt eine Bemessung auf den Grenzwert von 15 Metern. Die gewählte Weiche und die daraus folgende Zwischengerade sind somit zulässig.

- **Weichenspitzen der Gleisaukreuzung**

Bei zueinanderstehenden Weichenspitzen ist laut Richtlinien eine Zwischengerade von mindestens 7 Metern einzufügen (vgl. Kapitel 6 des Übungsskriptums)

- **Anschluss der Auskreuzung an die Einfahrtsweiche des Bahnhofes**

Da hier keine Weichenspitzen aufeinander treffen, können die beiden Weichen direkt hintereinander angeordnet werden.

- **Weichen des Bahnhofes (von Gleis 2 zu Gleis 4)**

Zunächst muss der erforderliche Gleisabstand der Gleise ermittelt werden, die aus der erforderlichen Bahnsteigbreite (siehe Kapitel 9 des Übungsskriptums), sowie dem Regelabstand der Bahnsteigkante von der Gleisachse, die aus dem Regellichtraumprofil (siehe Kapitel 8.9 des Übungsskriptums) ersichtlich ist, resultiert.

- **Bahnsteig**

Mindestbreite des Aufenthaltsbereichs: 1,60 m (besser 2,40 m). Die tatsächliche Breite bemisst sich nach den betrieblichen Erfordernissen und nach der Anzahl der zu erwartenden Fahrgästen am Bahnsteig (siehe Kapitel 9.2). In diesem Beispiel wird von einem Gleisabstand von 10,90 m ausgegangen (bei dazwischen liegendem Bahnsteig).

EW 1200 1:18,5

$$l_z = \frac{10,9}{\sin \alpha} - 2 \cdot 32,409 = 137,126 \text{m}$$

Die erforderliche Länge der Zwischengerade ist somit erfüllt. In diesem Fall wäre eine Anwendung des Ausnahmegrenzwertes nicht zulässig, da im Gegensatz zur Überleitstelle diese Weichen sehr wohl planmäßig befahren werden.

- **Einfahrtsweiche und Gegenbogen des Bahnhofes (von Gleis 2 zu Gleis 6)**

Da der vorangehende Punkt bereits erfüllt ist, ist diese Bedingung jedenfalls zulässig und muss nicht berechnet werden.

2.3. Einrechnung der Trassierungselemente

A	WA1	x					35111,714	
		y					13526,653	
	WP1	x	35111,714	+	$\sin(\eta)$	·	32,409 =	35136,409
		y	13526,653	+	$\cos(\eta)$	·	32,409 =	13505,664
	WEE1	x	35136,409	+	$\sin(\eta+\alpha)$	·	32,409 =	35159,934
		y	13505,664	+	$\cos(\eta+\alpha)$	·	32,409 =	13483,373
	WEE2	x	35159,934	+	$\sin(\eta+\alpha)$	·	23,185 =	35176,764
		y	13483,373	+	$\cos(\eta+\alpha)$	·	23,185 =	13467,426
	WP2	x	35176,764	+	$\sin(\eta+\alpha)$	·	32,409 =	35200,290
		y	13467,426	+	$\cos(\eta+\alpha)$	·	32,409 =	13445,136
	WA2	x	35200,290	+	$\sin(\eta)$	·	32,409 =	35224,984
		y	13445,136	+	$\cos(\eta)$	·	32,409 =	13424,147
	WA3	x	35224,984	+	$\sin(\eta)$	·	7,000 =	35230,318
		y	13424,147	+	$\cos(\eta)$	·	7,000 =	13419,613
	WP3	x	35230,318	+	$\sin(\eta)$	·	32,409 =	35255,013
		y	13419,613	+	$\cos(\eta)$	·	32,409 =	13398,625
P	WE3	x	35255,013	+	$\sin(\eta)$	·	32,409 =	35279,707
	=WA4	y	13398,625	+	$\cos(\eta)$	·	32,409 =	13377,636
	WP4	x	35279,707	+	$\sin(\eta)$	·	32,409 =	35304,402
		y	13377,636	+	$\cos(\eta)$	·	32,409 =	13356,647
	WEE4	x	35304,402	+	$\sin(\eta+\alpha)$	·	32,409 =	35327,927
		y	13356,647	+	$\cos(\eta+\alpha)$	·	32,409 =	13334,357
	WA5	x	35327,927	+	$\sin(\eta+\alpha)$	·	137,126 =	35427,467
		y	13334,357	+	$\cos(\eta+\alpha)$	·	137,126 =	13240,041
	WP5	x	35427,467	+	$\sin(\eta+\alpha)$	·	32,409 =	35450,993
		y	13240,041	+	$\cos(\eta+\alpha)$	·	32,409 =	13217,750
	WE5	x	35450,993	+	$\sin(\eta+\alpha)$	·	32,409 =	35474,519
		y	13217,750	+	$\cos(\eta+\alpha)$	·	32,409 =	13195,459
	BA6	x	35474,519	+	$\sin(\eta+\alpha)$	·	23,185 =	35491,349
		y	13195,459	+	$\cos(\eta+\alpha)$	·	23,185 =	13179,512
	BP6	x	35491,349	+	$\sin(\eta+\alpha)$	·	32,409 =	35514,874
		y	13179,512	+	$\cos(\eta+\alpha)$	·	32,409 =	13157,221
M	G	x	35514,874	+	$\sin(\eta)$	·	250,000 =	35705,365
		y	13157,221	+	$\cos(\eta)$	·	250,000 =	12995,316

2.4. Gleisverziehung

Eine Gleisverziehung soll so ausgeführt werden, dass weder Überhöhung, Übergangsbogen oder Zwischengerade erforderlich ist. Um dies zu gewährleisten, muss sichergestellt werden, dass der Grenzwert für die größte abrupte Änderung der Fehlüberhöhung in Streckengleisen (Tabelle 12, Kapitel 3.6.1 des Übungsskriptums) nicht überschritten wird.

$$|\Delta U| = 11,80227 \cdot \left| \frac{1}{R_{\text{eff}}} \right| \cdot v_{\text{max}}^2 \leq \Delta U_0$$

In diesem Beispiel also:

$$|R_{\text{eff}}| = \frac{|R_1| \cdot |R_2|}{|R_1| + |R_2|} = \frac{|25000| \cdot |25000|}{|25000| + |25000|} = 12500\text{m}$$

$$|\Delta U| = 11,80227 \cdot \left| \frac{1}{12500} \right| \cdot 140^2 = \underline{18,51\text{mm}} \leq \Delta U_0 = \underline{20,0\text{mm}}$$

Da der Grenzwert eingehalten wird, ist die Bogenfolge zulässig und die genaue Länge der Gleisverziehung kann wie folgt berechnet werden. (siehe Kapitel 3.6.3 des Übungsskriptums)

$$L_v = \sqrt{4 \cdot R \cdot e - e^2 + z^2} = \underline{273,86\text{m}}$$

L_v Länge der Gleisverziehung [m]

R Radius der Kreisbögen [m]

e Differenz der Gleisabstände [m]

z Länge der Zwischengerade [m]

2.5. Bogenweiche

Der Zweigradius der Außenbogenweiche kann mittels der passenden Formel aus Kapitel 6.1.2 ermittelt werden, dabei muss allerdings darauf geachtet werden, Radien vorzeichenrichtig einzusetzen. In diesem Beispiel muss R_2 negativ eingesetzt werden, da bei einer Außenbogenweiche die beiden Krümmungen gegensinnig verlaufen!

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{R_g \cdot R_2 - t^2}{R_g + R_2} \\ &= \frac{500 \cdot (-2700) - 20,797^2}{500 + (-2700)} = \underline{613,83\text{m}} \end{aligned}$$

R_1 Radius des Zweiggleises

R_2 Radius des geraden Stammgleises

R_g Radius der geraden Weiche, die verbogen wird

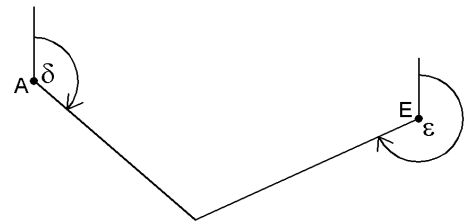
t Tangentenlänge

3. Übergangsbogen

Laut Skizze sind zwei Tangenten gegeben. Es ist zu überprüfen, ob für die Verbindung dieser Tangenten ein Übergangsbogen erforderlich ist. Sind zwischen Gerade und Kreisbogen Übergangsbögen notwendig, müssen die Koordinaten sämtlicher Hauptpunkte (BA, BE, ÜA, ÜE, WP) ermittelt werden.

	y	x
A [m]	52531,394	327625,229
E [m]	55098,546	327415,440

Winkel (δ) [gon]	162,7418
Winkel (ε) [gon]	272,1482
V_e [km/h]	190
R_{geg} [m]	3135



- 1.) Zuerst wird überprüft, ob ein Übergangsbogen nötig ist (siehe Kapitel 3.3.)

$$D_{\min} = 11,80227 \cdot \frac{V_e^2}{|R_c|} - I_0 = 35,90 \text{ mm}$$

Da die mindest erforderliche Überhöhung größer als 0 mm ist, muss für den Aufbau der Überhöhung in jedem Fall ein Übergangsbogen vorgesehen werden. Wäre die Mindestüberhöhung kleiner als 0 mm, müssten weiters die Bedingungen für die abrupte Änderung der unausgeglichene Seitenbeschleunigung nach 3.6.1. im Übungsskriptum überprüft werden. Werden die Grenzwerte nicht eingehalten, ist als Zwischenelement ebenfalls ein Übergangsbogen einzufügen.

- 2.) Um Überhöhung und Übergangsbogen zu bestimmen, muss zunächst der Geschwindigkeitsbereich berechnet werden:

$$V_1 = \sqrt{\frac{20 \cdot |R_c|}{11,80227}} = 72,87 \text{ km/h}$$

$$V_2 = 100 \text{ km/h} = 100,00 \text{ km/h}$$

$$V_3 = \sqrt{\frac{60 \cdot |R_c|}{11,80227} + 100^2} = 161,05 \text{ km/h}$$

$$V_4 = \sqrt{\frac{180 \cdot |R_c|}{11,80227} + 100^2} = 240,44 \text{ km/h}$$

$$V_5 = \sqrt{\frac{240 \cdot |R_c|}{11,80227} + 100^2} = 271,57 \text{ km/h}$$

Bei der angegebenen Geschwindigkeit von 190 km/h ergibt sich somit der vierte Fall mit $V_3 \leq V_e < V_4$, wodurch sie die Regelwerte für Überhöhung D_{reg} , Überhöhungsüberschuss E_{reg} und Überhöhungsfehlbetrag I_{reg} folgendermaßen berechnen lassen (vgl. Kapitel 3.3.1 des Übungsskriptums). Auf dieser Grundlage muss dann eine Überhöhung gewählt werden, sowohl innerhalb der Grenzwerte D_{min} und D_{max} , als auch dem Regelwert D_{reg} angepasst:

$$D_{\text{reg}} = \frac{11,80227 \cdot 100^2}{|R_C|} - 20 + \frac{100}{V_4 - V_3} \cdot (V_{\text{max}} - V_3) = 54,11 \text{ mm}$$

$$E_{\text{reg}} = -20 + \frac{100}{V_4 - V_3} \cdot (V_{\text{max}} - V_3) = 16,46 \text{ mm}$$

$$I_{\text{reg}} = 11,80227 \cdot \frac{V_{\text{max}}^2 - 100^2}{|R_C|} + 20 - \frac{100}{V_4 - V_3} \cdot (V_{\text{max}} - V_3) = 81,80 \text{ mm}$$

$$D_{\text{max}} = 11,80227 \cdot \frac{V_{\text{min}}^2}{|R_C|} + E_0 = 215,90 \text{ mm} \Rightarrow 160,00 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow D_C = 55 \text{ mm}$$

3.) Als nächster Schritt muss der Übergangsbogen, sowie die Überhöhungsrampe festgelegt werden, die mehreren Bedingungen genügen müssen (siehe Kapitel 3.5)

- *Steigung der Überhöhungsrampe, um Verwindungen des Wagenkastens zu vermeiden*

$$\left| \frac{dD}{dS} \right| = \frac{|\Delta D|}{L} \leq D'_0 \quad \Rightarrow \quad L \geq \frac{|\Delta D|}{D'_0} = \frac{55}{1,25} = 44,00 \text{ m}$$

- *Begrenzung des echten unausgeglichenen Seitenrucks*

$$\left| \frac{dU}{dT} \right| = \left| \frac{\Delta U}{\Delta T} \right| = \frac{V_{\text{max}} \cdot U_{1,2}}{3,6 \cdot L} \leq \dot{U}_0 \quad \Rightarrow \quad L \geq \frac{V_{\text{max}} \cdot U_{1,2}}{3,6 \cdot \dot{U}_0} = 77,64 \text{ m}$$

$$\text{mit } U_{1,2} = 11,80227 \cdot \frac{V_{\text{max}}^2}{R_C} - D_C = 80,91 \text{ mm}$$

- *Begrenzung der Überhöhungsgeschwindigkeit*

$$\left| \frac{dD}{dT} \right| = \frac{V_{\text{max}} \cdot |\Delta D|}{3,6 \cdot L} \leq \dot{D}_0 \quad \Rightarrow \quad L \geq \frac{V_{\text{max}} \cdot |\Delta D|}{3,6 \cdot \dot{D}_0} = 103,67 \text{ m}$$

$$\Rightarrow L = 105 \text{ m}$$

- 4.) Nun können abschließend die exakten Werte der Klothoide errechnet und die Punkte des Bogens eingerechnet werden (siehe Kapitel 1.3.3 des Übungsskriptums)

Parameter A =	587,239	x =	109,9966
τ =	1,11688	y =	0,6433
ΔR =	0,1608	R+ ΔR =	3135,1608
x_R =	54,9994	$t_{R+\Delta R}$ =	2703,0604
t_i =	73,3345	l_{A-S} =	1291,7348
t_k =	36,6677	l_{B-S} =	2046,3181
		$l_{A-\ddot{U}A1}$ =	-1466,3250
γ_{KB} =	88,3599	$l_{B-\ddot{U}A3}$ =	-711,7417
t_{KB} =	2608,4568	$l_{\ddot{U}A-S}$ =	2758,0598
Richtung:	Linksbogen	Bogenlänge:	4351,23 m

	[y]	[x]	[s]	[v]	[dy]	[dx]
A	52531,3940	327625,2290				
			-1466,3250	162,7418	-810,0098	1222,2901
$\ddot{U}A1$	51721,3842	328847,5191				
			73,3345	162,7418	40,5106	-61,1297
WP1.1	51761,8948	328786,3893				
			36,6677	161,6249	20,7886	-30,2052
$\ddot{U}E1=BA2$	51782,6834	328756,1841				
			2608,4568	161,6249	1478,8553	-2148,7284
WP1.2	53261,5387	326607,4557				
			2608,4568	73,2651	2381,8049	1063,5094
$BE2=\ddot{U}E3$	55643,3436	327670,9651				
			36,6677	73,2651	33,4816	14,9500
WP1.3	55676,8253	327685,9151				
			73,3345	72,1482	66,4276	31,0698
$\ddot{U}A3$	55743,2528	327716,9849				
			-711,7417	72,1482	-644,7068	-301,5449
B	55098,5460	327415,4400				