

Kanton Bern

Gemeinden Sutz-Lattrigen / Ipsach / Mörigen

22.4



Linie Biel – Ins (T)

Sanierung Bahnhof Lattrigen

- Gleis- und Publikumsanlage km 4.675 – 5.150
- Sicherungs- und Fahrleitungsanlagen km 2.790 – 5.558
- Inkl. Aufhebung Bahnübergang Sonnmatt km 4.686

Auflageprojekt 2020

Statik

Unterführung Lattrigenweg - Verlängerung

Auftrag Nr. 92-22.27

Datum: 16.6.2020

Änderungen:

Auftraggeber:



Aare Seeland mobil AG
Grubenstrasse 12
4900 Langenthal

Gesamtleiter:
Daniel Nadig
Telefon 062 919 19 55
Fax 062 919 19 12
daniel.nadig@asmobil.ch

Fachplaner und Lieferant der
Wellstahlstruktur:



Projektleiter:

Silvan Jost

Telefon: 031 980 14 33

E-Mail: sj@sytec.ch

Inhaltsverzeichnis

1.	Projektpläne	
1.1.	Plankopf	Seite 3
1.2.	Situation	Seite 4
1.3.	Querschnitt 1	Seite 5
1.4.	Längsschnitt mit Detail	Seite 6
2.	Statische Bemessung:	
2.1.	Bestimmung der Verkehrslast	Seite 7
2.2.	Tragsicherheit Bauzustand	Seiten 8-10
2.3.	Tragsicherheit unter Nutzlast (mit Beilagen 1 - 7)	Seiten 11-30
2.4.	Gebrauchstauglichkeit	Seite 31
2.5.	Ermüdung	Seite 31
3.	Einbauvorschriften SYTEC Wellstahl	Seiten 32-33
4.	Unterschriften	

Bauherrschaft

Aare Seeland mobil AG
Grubenstrasse 12
4900 Langenthal

Langenthal, 16.6.2020

Ort, Datum



Unterschrift

Ingenieur

Schmid & Pletscher AG
Ingenieure ETH/SIA/USIC
Hauptstrasse 66
2560 Nidau

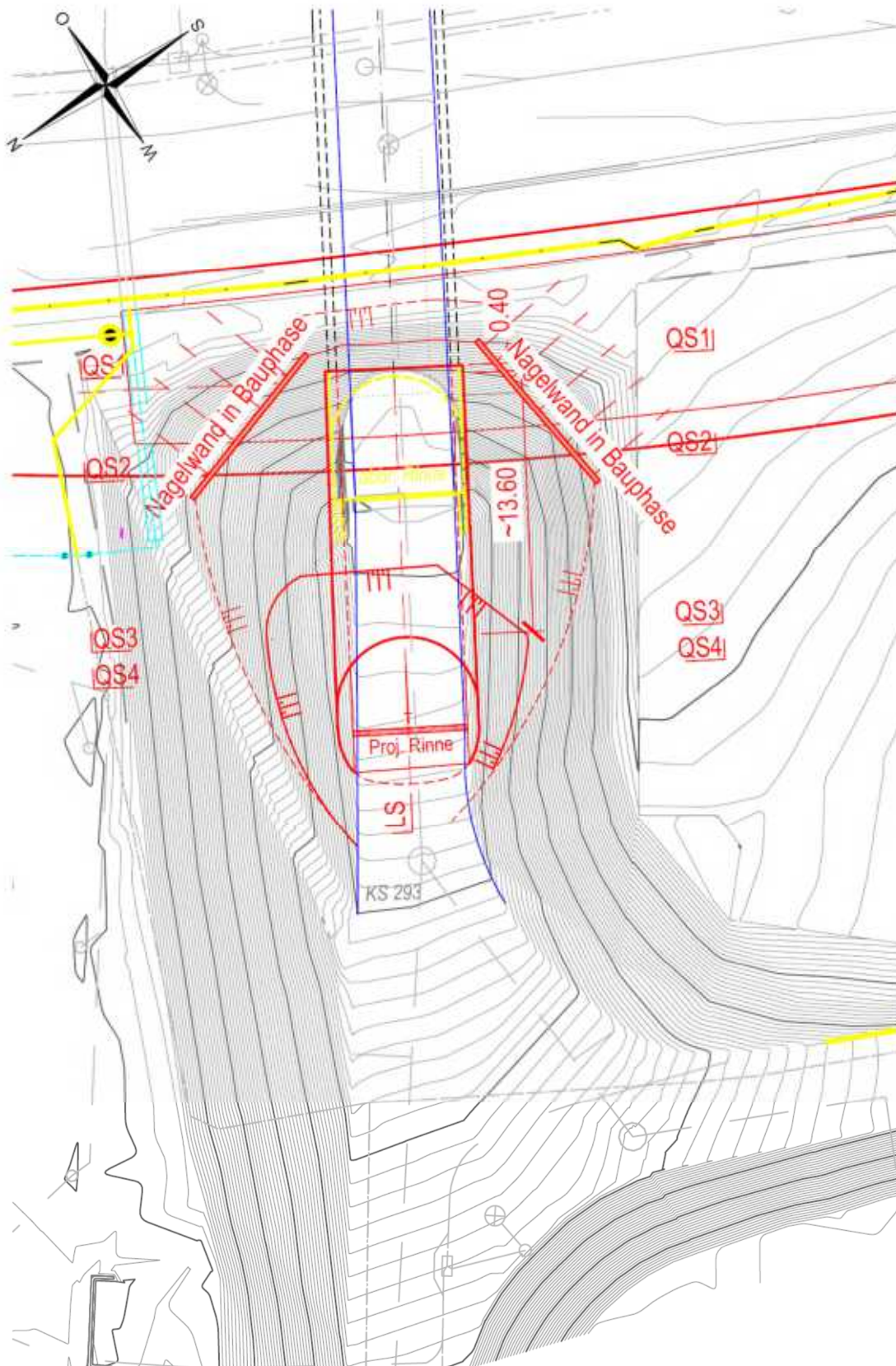
Nidau, 16.6.2020

Ort, Datum



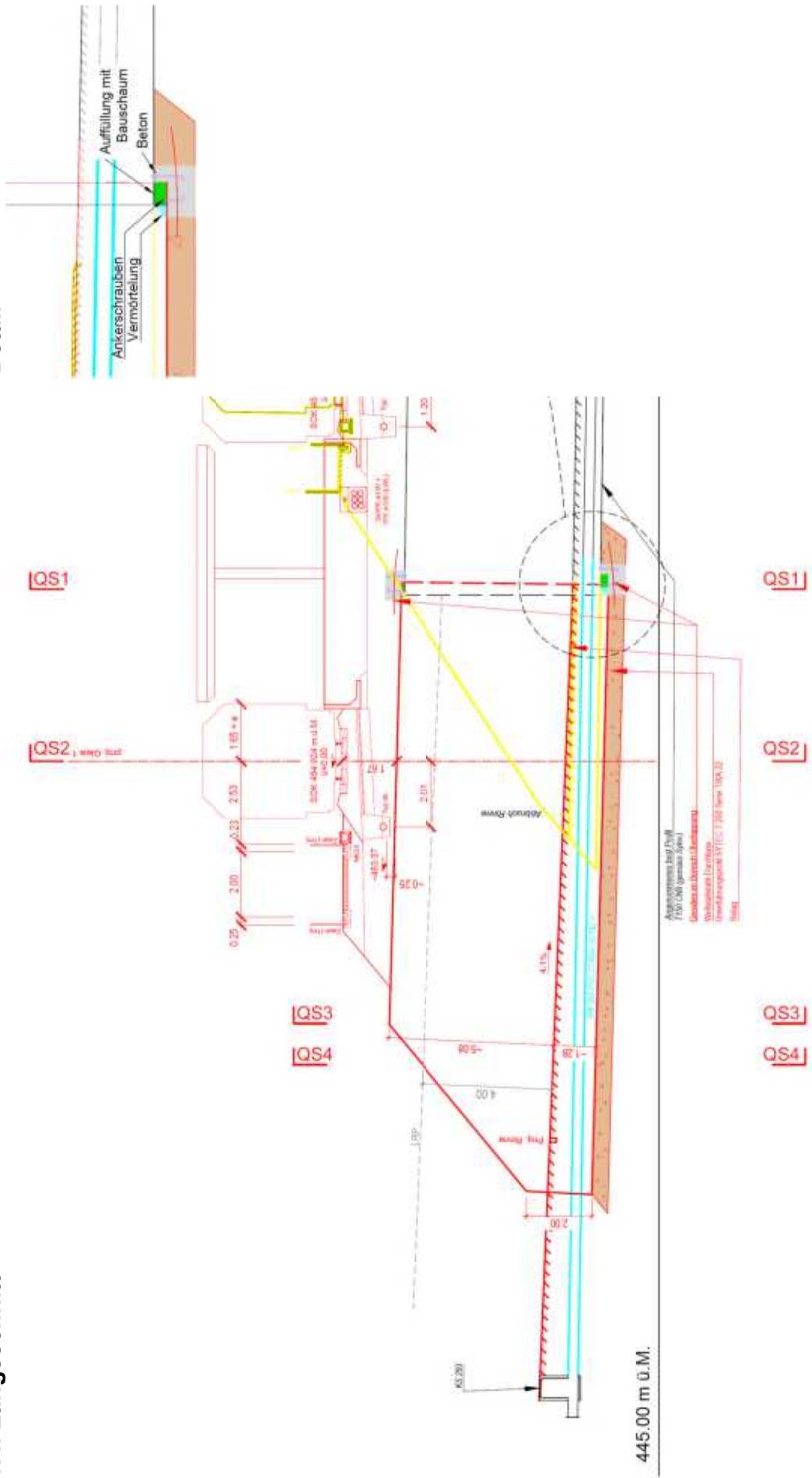
Unterschrift

1.2. Situation



1.4. Längsschnitt

Detail



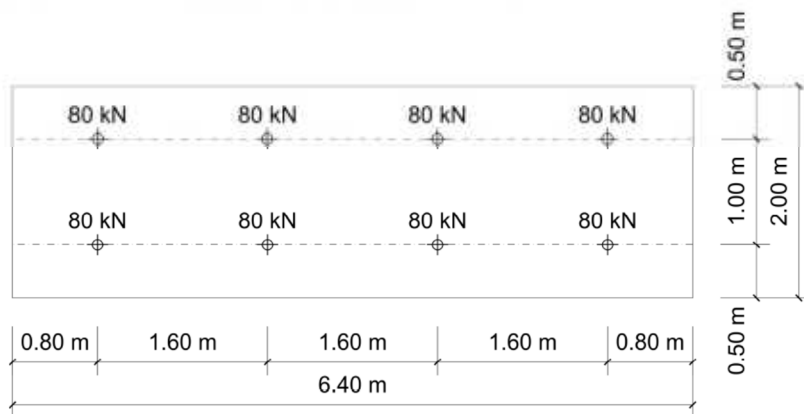
16.6.2020, sj

2.1. Bestimmung der Verkehrslast

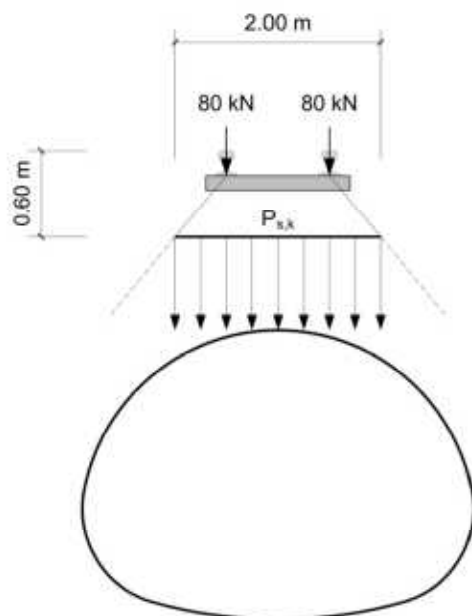
Gemäss SIA 261, Lastmodell 6

Verkehrslast infolge Bahnverkehr

Achsanordnung gemäss SIA 261, Art. 12.2.1.4



Querschnitt



Keine weitere Verteilung der Flächenlast ab 0.60 m Tiefe unter der Fahrbahnebene.

Charakteristischer Erddruck auf Bauwerke infolge Bahnverkehr, ab 0.60 m Tiefe unter der Fahrbahnebene:

$$P_{s,k} = \frac{8 \times 80 \text{ kN}}{6.40 \text{ m} \times 2.00 \text{ m}} = \frac{640 \text{ kN}}{12.8 \text{ m}^2} = \underline{\underline{50 \text{ kN/m}^2}}$$

SYTEC Wellstahl

2.2. Tragsicherheit Bauzustand

Statische Bemessung:

nach LCPC/SETRA – Buses métalliques (1981)

Berechnung nach SETRA: siehe Seiten 9, 10

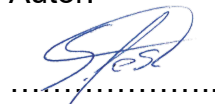
Der Nachweis der Tragsicherheit ist im Bauzustand für dieses Profil knapp nicht erfüllt, weshalb zusätzliche Massnahmen nötig sind.

Während der Hinterfüllung ist die Hebung des Profils zu überwachen.

Die maximal zulässige Scheitelhebung beträgt 3% der Spannweite.

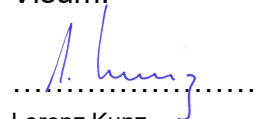
Wird die **maximale Hebung von 212 mm bei der Hinterfüllung** erreicht, muss der Rohrscheitel vorbelastet werden.

Autor:



Silvan Jost
MSc Geologie

Visum:



Lorenz Kunz
Dipl. Ing. FH

Hinweis

Die in diesem Dokument enthaltenen Angaben und Berechnungen entsprechen den anerkannten Regeln der Baukunde. Diese sind nicht auf andere Produkte / Systeme übertragbar. Die baulich/statisch richtige Weiterverwendung der Ergebnisse bzw. die Überprüfung auf deren Vollständigkeit obliegt dem vor Ort zuständigen Sachverständigen unter Würdigung und Interpretation aller Belange des Bauwerks und des Untergrundes. Die Einbauvorschriften und die Bauarbeitenverordnung sind einzuhalten. Es dürfen keine Auszüge aus dem vorliegenden Dokument erstellt werden. Das Copyright liegt bei der SYTEC Bausysteme AG, Neuenegg.

SYTEC Wellstahl

Statische Berechnung (Nachweis Bahnlasten für Schmalspur SIA 261)

Projekt: *asm- Lattrigenweg: Verlängerung Unterführung*

Grundlagen:

- Profil SYTEC:		TWA 22	
- Spannweite D:		7.09 m	
- Höhe H:		6.36 m	
- Radius im Scheitel R_s :		3.53 m	
- Wellung:		T200	
- Plattendicke t:		7.00 mm	
- Stahlquerschnitt A_s :		8290 mm ² / m'	
- Widerstandsmoment W_x :		104880 mm ³ / m	
- Plattenverbindung Schrauben:		20 Stk/m',	M 20
	Qualität =	8.8	
	f_{ub} =	800 N / mm ²	
	$d_{Schraube}$ =	20 mm	
	$A_{Schraube, netto}$ =	245 mm ²	
	d_o =	22 mm	
- Stahlqualität:	S235JR	f_y =	235 N / mm ²
		f_u =	360 N / mm ²
- Widerstandsbeiwerte		γ_{M1} =	1.05
		γ_{M2} =	1.25
- Hinterfüllung	Kiesgemisch UG 0/45, ME - Wert = 60 MN / m ²		
- Auflasten (Begleiteinwirkung):	Bodenbelastung		
	γ_{ek} =	21 kN / m ³	
	κ_a =	0.27	
	$\gamma_{G, sup}$ =	1.35	
	Überdeckung h=	1.50 m	

Projekt: **asm- Lattrigenweg: Verlängerung Unterführung**

Nachweis Tragsicherheit:

Nachweis Tragsicherheit Bauzustand:

Biegebeanspruchung im Scheitel, wegen seitlicher Hinterfüllung
(gemäss LCPC / SETRA)

Biegung:

$$M_{\max, Ed} = 0.075 \times \gamma_{ek} \times \kappa_a \times D^3 \times [(H/D - 0.6)^2 + 0.07]$$

$$M_{\max, Ed} = 24.0 \text{ kNm / m}$$

Biegewiderstand:

$$M_{Rk} = f_y \times W_x$$

$$M_{Rk} = 24.6 \text{ kNm / m}$$

$$\underline{\underline{M_{\max, Ed} < M_{Rk} / \gamma_{M1} \quad \text{nicht erfüllt}}}$$

Massnahmen bei nicht erfülltem Nachweis im Bauzustand: siehe Titelblatt (Seite 8)

Neuenegg, 20.05.2020

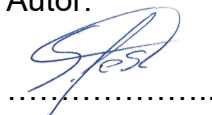
SYTEC Wellstahl

2.3. Tragsicherheit unter Nutzlast

Grundlagen:

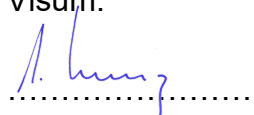
- Richtlinie 804, Eisenbahnbrücken, Deutsche Bahn Netz AG, 2013 und
- ZTV-ING - Teil 9 Bauwerke - Abschnitt 4 Wellstahlbauwerke, Stand: 2014/12
- Design of soil steel composite bridges, Petterson und Sundquist (2014)
- SIA 260: 2013; Grundlagen der Projektierung
- SIA 261: 2014; Einwirkungen auf Tragwerke
- SIA 263: 2013; Stahlbau
- Einbauvorschriften SYTEC Wellstahl

Autor:

A blue ink signature of Silvan Jost, consisting of a stylized 'S' and 'J'.

Silvan Jost
MSc Geologie

Visum:

A blue ink signature of Lorenz Kunz, appearing as 'L. Kunz'.

Lorenz Kunz
Dipl. Ing. FH

In Abweichung von den SYTEC Einbauvorschriften ist in diesem Projekt eine Verdichtung der Hinterfüllung mit $M_{E1} \geq 60 \text{ MN/m}^2$ auszuführen.

Hinweis

Die in diesem Dokument enthaltenen Angaben und Berechnungen entsprechen den anerkannten Regeln der Baukunde. Diese sind nicht auf andere Produkte / Systeme übertragbar. Die baulich/statisch richtige Weiterverwendung der Ergebnisse bzw. die Überprüfung auf deren Vollständigkeit obliegt dem vor Ort zuständigen Sachverständigen unter Würdigung und Interpretation aller Belange des Bauwerks und des Untergrundes. Die Einbauvorschriften und die Bauarbeitenverordnung sind einzuhalten. Es dürfen keine Auszüge aus dem vorliegenden Dokument erstellt werden. Das Copyright liegt bei der SYTEC Bausysteme AG, Neueneegg.

SYTEC Wellstahlkonstruktion

Statische Berechnung für Wellstahlrohre unter Eisenbahnlinien

Projekt: *asm - Lattrigenweg, Verlängerung Unterführung*

Ausgangsdaten SYTEC Wellstahl

Zuordnung der Querschnittsform:	Maulprofil		
Profiltyp:	TWA 22		Beilage 1
Spannweite:	s =	7.09 m	
Höhe:	h =	6.36 m	
Radius im Scheitel:	r ₁ =	3.53 m	
Eckradius unten:	r ₂ =	1.89 m	
Radius am Boden:	r ₃ =	10.13 m	
Wellung:	T200		
Stahlqualität:	S 235		
Streckgrenze	f _y =	235 N/mm ²	
Zugfestigkeit	f _u =	360 N/mm ²	
Widerstandsbeiwerte:	γ _{M1} =	1.05	SIA 263, 4.1.3
	γ _{M2} =	1.25	
Plattenstärke t:	t =	7.00 mm	
Stahlquerschnitt:	A _s =	8290 mm ² /m'	Beilage 2
Widerstandsmoment:	W _{el} =	104'880.0 mm ³ /m	Beilage 2
Korrosionsreserve Plattenstärke t _{kor} :	t _{kor} =	1.00 mm	
Statisch nutzbare Plattenstärke t _{stat} :	t _{stat} =	6.00 mm	
Trägheitsmoment von t _{stat} : <i>Beilage 2</i>	I =	2'765'800 mm ⁴ /m	Beilage 2
		= 2.77E-06 m ⁴ /m	
Elastizitätsmodul Wellstahl:	E =	210.00 kN/mm ²	SIA 263, 3.2.2.1
		= 2.10E+05 MN/m ²	
Biegesteifigkeit Wellstahl:	EI =	0.58 MNm ² /m	
Schrauben:			
Anzahl pro m':		20 Stk/m'	
Typ:		M20	
	Festigkeitsklasse =	8.8	
	f _{ub} =	800 N/mm ²	
	d =	20 mm	
	A _S =	245 mm ²	
	d _o =	22 mm	
	e ₁ =	35 mm	

Ausgangsdaten Bodenmaterial

Bettungsbereich B:	Kiesgemisch UG 0/45, wopt ± 1%	$M_{E1} =$	60	MN/m^2	Projektanforderung
		$E_{s1,k} =$	45	MN/m^2	
Untergrund:	unbekannt	$E_{s2,k} =$	30	MN/m^2	Annahme SYTEC
		$d_2 =$	10	m	
Fundationsschicht:	Kiesgemisch UG 0/45, wopt ± 1%	$d_1 =$	1.77	m	

Lastannahmen

Überdeckung:	$h_{\bar{u}} =$	1.50	m	DS 804.3101, Seite 6
Raumgewicht:	$\gamma_{B,k} =$	20	kN/m^3	DS 804.2101, Seite 4
Erdauflast:	$p_{B,k} = h_{\bar{u}} \cdot \gamma_{B,k} =$	30	kN/m^2	
Bahnlast nach Lastmodell: Nr. 6	$p_{v,k} =$	50.0	kN/m^2	Beilage 3 SIA 261

Steifigkeitsverhältnis

Bedingung Steifigkeitsverhältnis c:

$$c = \frac{E \times I}{k_{s,k} \times r_1^4} \leq 0.05$$

ZTV-ING 9/4, Anhang A 1

$$= 0.0006 \leq 0.05 \quad \rightarrow \quad \text{Steifigkeitsverhältnis genügend}$$

$$k_{s,k} = \text{Bettungsmodul}$$

ZTV-ING 9/4, Anhang A 1

$$= 0.5 \times \frac{E_{s,k}}{r_1}$$

$$= 6.37 \text{ MN/m}^3$$

$$E_{s,k} = 45 \text{ MN/m}^2$$

Siehe Ausgangsdaten Bodenmaterial

$$r_1 = 3.53 \text{ m}$$

Siehe Ausgangsdaten SYTEC Wellstahl

Scheiteldruckberechnung

Scheiteldruck $P_{s,d}$ Bei geringer Überdeckung ($h_{\bar{u}} \leq 2.60$):

$p_{s,d}$ = Bemessungsscheiteldruck infolge Erd- und Bahnlasten

ZTV-ING 9/4, 3.5 und SIA 261

$$p_{s,d} = 1.1 \times (\gamma_G \times p_{B,k} + \gamma_Q \times p_{v,k} \times \alpha \times \phi_{red}) = \underline{\underline{150 \text{ kN/m}^2}}$$

$\gamma_{G,sup}$ = Lastbeiwert: Einwirkungen aus Baugrund - Grenzzustand Typ 2 SIA 260
= 1.35

$p_{B,k}$ = 30 kN/m² Siehe Lastannahmen

γ_Q = Lastbeiwert: veränderliche Einwirkungen - Grenzzustand Typ 2 SIA 260
= 1.45

$p_{v,k}$ = 50.0 kN/m² Siehe Lastannahmen

α = Beiwert zur Klassifizierung der Normlastmodelle SIA 261, 11.3.3
= 1.13 BAV-223-0005/00033/00004

ϕ_{red} = Reduzierter dynamischer Beiwert ϕ_{red} bei Überdeckung $h_{\bar{u}} > 1.00$ m SIA 261, 11.3.1.1
= $\phi - \frac{h_{\bar{u}} - 1}{10} \geq 1$
= 1.17

ϕ = Dynamischer Beiwert SIA 261, 11.3.1.1
= $\frac{1.44}{\sqrt{l_{\phi}} - 0.2} + 0.82$ ($1 \leq \phi \leq 1.67$)
= 1.22

l_{ϕ} = Massgebende Länge zur Bestimmung
des dynamischen Beiwert
= $2 \times s$
= 14.18 m

*Design of soil steel composite bridges,
Pettersson und Sundquist (2014) (Anhang A6)*

1. Durchschlagen des Bauwerksscheitels

Traglastgrenze Bauwerksscheitel:

ZTV-ING 9/4, 4.3

$$p_{s,d} \leq \frac{p_{SD,k}}{\gamma_{M,Ep}} \Rightarrow \frac{p_{s,d}}{\frac{p_{SD,k}}{\gamma_{M,Ep}}} = \underline{\underline{0.58 \leq 1.00}} \quad \underline{\underline{\text{Nachweis erfüllt}}}$$

$$p_{s,d} = 150 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Siehe Scheiteldruckberechnung}$$

$P_{SD,k}$ = Kritischer Scheiteldruck (dimensionslos) $p_{SD,k}$:

ZTV-ING 9/4, Anhang B 2

$$\frac{P_{SD,k}}{k_{s,k} \times r_1} = f\left(\frac{E \times I}{k_{s,k} \times r_1^4}\right) \Rightarrow P_{SD,k} = f\left(\frac{E \times I}{k_{s,k} \times r_1^4}\right) \times k_{s,k} \times r_1$$

$$P_{SD,k} = 0.36 \text{ MN/m}^2$$

Der kritische Scheiteldruck $P_{SD,k}$ wird anhand der Tabelle in Beilage 4 ermittelt.

Als Eingangswerte dafür dienen das Steifigkeitsverhältnis c und der Lastangriffsparameter Ψ_B .

Eingangswerte: $c = 0.0006$ Siehe Steifigkeitsverhältnis

$\Psi_B =$ Lastangriffsparameter für Maulprofile bei einer Überdeckungshöhe $\leq 2.60 \text{ m}$
 $= 1.57$

$$\frac{P_{SD,k}}{k_{s,k} \times r_1} = f\left(\frac{E \times I}{k_{s,k} \times r_1^4}\right) = 0.016$$

Beilage 4: ZTV-ING 9/4, Bild B 9.4.4:

$k_{s,k} = 6.37 \text{ MN/m}^3$ Siehe Steifigkeitsverhältnis
 $r_1 = 3.53 \text{ m}$ Siehe Ausgangsdaten SYTEC Wellstahl

$\gamma_{M,Ep}$ = Bestimmung des Sicherheitsfaktors Grenzwert: $= 0.70$

Wenn $h / s < 0.70$ $\Rightarrow \gamma_{M,Ep} = 1.75$

Wenn $h / s > 0.70$ $\Rightarrow \gamma_{M,Ep} = 1.40$

$\frac{s}{h} = 0.90$ $\Rightarrow \gamma_{M,Ep} = 1.40$

2. Grundbruch im Scheitelpbereich

Nachweis wird verlangt, wenn $h_{\bar{u}}/r_1 < 0.6$ $h_{\bar{u}}/r_1 = 0.42$ Nachweis nötig

$$\gamma_Q \times q_1 \leq \frac{p_{otr,k} - \gamma_{B,k} \times h_{\bar{u}}}{\gamma_{R,v}} \rightarrow \frac{\gamma_Q \times q_1 \times \gamma_{R,v}}{p_{otr,k} - \gamma_{B,k} \times h_{\bar{u}}} = \underline{\underline{0.83 \leq 1.00}} \quad \underline{\underline{\text{Nachweis erfüllt}}}$$

γ_Q = Lastbeiwert: veränderliche Einwirkungen - Grenzzustand Typ 2 SIA 260
= 1.45

q_1 = Einwirkungen infolge Verkehr: SIA 261
= $p_{v,k} \times \phi_{red} \times \alpha$
= 66 kN/m²

$p_{v,k}$ = 50.0 kN/m² Siehe Lastannahmen
 ϕ_{red} = 1.17 Siehe Scheiteldruckberechnung
 α = 1.13 Siehe Scheiteldruckberechnung

$\gamma_{R,v}$ = Teilsicherheitsbeiwert ZTV-ING 9/4, 4.4.1
= 1.40

$p_{otr,k}$ = Grundbruchwiderstand Wellstahl ZTV-ING 9/4, 4.4.1
= $p_{ogr,k} + \Delta p_{o,k}$
= 192 kN/m²

$p_{ogr,k}$ = Grundbruchwiderstand des Bodens Beilage 5: ZTV-ING 9/4, B 9.4.5
im Scheitelpbereich
= **170 kN/m²**

Wahl Kurve Grundbruchwiderstand Beilage 5: ZTV-ING 9/4, B 9.4.5
 $h_{\bar{u}} = 1/3 \times r_1$, $\phi_{,k} = 35^\circ$

$\Delta p_{o,k}$ = Biegewiderstand Beilage 6: ZTV-ING 9/4, B 9.4.6/7
= **22 kN/m²**

Eingangswerte

r_1 = 3.53 m Siehe Ausgangsdaten SYTEC Wellstahl
 t_{stat} = 6.00 mm Siehe Ausgangsdaten SYTEC Wellstahl

$\gamma_{B,k}$ = 20 kN/m³ Siehe Lastannahmen

$h_{\bar{u}}$ = 1.50 m Siehe Lastannahmen

3. Sohlbereich

ZTV-ING 9/4, 4.4.2

Nachweise werden verlangt, wenn $h/s < 0.7$ $h/s = 0.90$ Nachweise nicht verlangt

3.1 Grundbruch im Ulmenbereich

ZTV-ING 9/4, 4.4.2.2

$$p_{2,d} \leq \frac{p_{2Gr,k}}{\gamma_{R,v}} \rightarrow \frac{p_{2,d}}{\frac{p_{2Gr,k}}{\gamma_{R,v}}} = \underline{0.20} \leq \underline{1.00} \quad \underline{\text{Nachweis erfüllt}}$$

$p_{2,d}$ = Massgebende Bodenbeanspruchung

ZTV-ING 9/4, 4.4.2.2

$$= p_{s,d} \times \frac{r_1}{r_2}$$

$$= 281 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{s,d} = 150 \text{ kN/m}^2$$

Siehe Scheiteldruckberechnung

$$r_1 = 3.53 \text{ m}$$

Siehe Ausgangsdaten SYTEC Wellstahl

$$r_2 = 1.89 \text{ m}$$

Siehe Ausgangsdaten SYTEC Wellstahl

$p_{2Gr,k}$ = Grundbruchwiderstand Boden (Berechnung siehe Seite 8)

ZTV-ING 9/4, B 4.1

$$\begin{aligned}
 p_{2Gr,k} &= \text{Grundbruchwiderstand Boden} & \text{ZTV-ING 9/4, B 4.1} \\
 &= c'_k \times N_c + p_3 \times N_d + \gamma_{B,k} \times b \times N_b \\
 &= 1'964 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$c'_k = \text{Kohäsion } 0 \text{ kN/m}^2 \text{ des Bodens im Ulmenbereich}$$

$$\begin{aligned}
 N_c &= \text{Tragfähigkeitsbeiwerte} & \text{ZTV-ING 9/4, B 9.4.2} \\
 &= \text{Kohäsion } 0 \text{ kN/m}^2, \text{ daher nicht notwendig}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p_3 &= \text{Charakteristische Druckbeanspruchung Sohlbereich} & \text{ZTV-ING 9/4, B 9.4.1} \\
 &= \frac{p_{s,k} \times r_1}{r_3} \\
 &= 34 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p_{s,k} &= \text{Charakteristischer Scheiteldruck infolge} & \text{Beilage 3: SIA 261} \\
 &\quad \text{Erd- und Bahnlasten} \\
 &= p_{B,k} + p_{v,k} \times \phi_{red} \times \alpha \\
 &= 96.32 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p_{B,k} &= 30 \text{ kN/m}^2 & \text{Siehe Lastannahmen} \\
 p_{v,k} &= 50.0 \text{ kN/m}^2 & \text{Siehe Lastannahmen} \\
 \phi_{red} &= 1.17 & \text{Siehe Scheiteldruckberechnung} \\
 \alpha &= 1.13 & \text{Siehe Scheiteldruckberechnung}
 \end{aligned}$$

$$p_{s,k} = p_1$$

$$N = p_1 \times r_1 = p_2 \times r_2 = p_3 \times r_3$$

$$\begin{aligned}
 r_1 &= 3.53 \text{ m} & \text{Siehe Ausgangsdaten SYTEC Wellstahl} \\
 r_3 &= 10.13 \text{ m} & \text{Siehe Ausgangsdaten SYTEC Wellstahl}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_d &= \text{Tragfähigkeitsbeiwerte} & \text{ZTV-ING 9/4, B 9.4.2} \\
 &= 45.57
 \end{aligned}$$

$$\gamma_{B,k} = 20 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Siehe Lastannahmen}$$

$$\begin{aligned}
 b &= \text{Druckbeanspruchter Ulmenbereich b:} \\
 &= 1.15 \times r_2 \\
 &= 2.17 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_b &= \text{Tragfähigkeitsbeiwerte} & \text{ZTV-ING 9/4, B 9.4.2} \\
 &= 10.00
 \end{aligned}$$

$$\gamma_{R,v} = 1.40 \quad \text{Siehe Grundbruch im Scheitelbereich}$$

3.2 Aufbruch der Sohle

ZTV-ING 9/4, 4.4.2.3

$$p_{s,d} \leq \frac{p_{1C,k}}{\gamma_{R,v}} \rightarrow \frac{p_{s,d}}{p_{1C,k}} = \underline{0.09 < 1.00} \quad \underline{\text{Nachweis erfüllt}}$$

$$p_{s,d} = 150 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Siehe Scheiteldruckberechnung}$$

$$p_{1C,k} = \text{Bodenwiderstand}$$

ZTV-ING 9/4, B 4.2

$$= 0.375 \times k_{s,k} \times \frac{r_1 \times r_2}{r_3}$$

$$= 2.47 \text{ MN/m}^2$$

$$k_{s,k} = \text{Bettungsmodul}$$

$$= \frac{E_{s1,k}}{2 \times r_1} \times \frac{1 + \frac{E_{s2,k} \times d_2}{E_{s1,k} \times d_1}}{1 + \frac{d_2}{d_1}}$$

$$= 9.99 \text{ MN/m}^3$$

$$E_{s1,k} = 45.00 \text{ MN/m}^2$$

Siehe Ausgangsdaten Bodenmaterial

$$E_{s2,k} = 30.00 \text{ MN/m}^2$$

Siehe Ausgangsdaten Bodenmaterial

$$d_1 = 10 \text{ m}$$

Siehe Ausgangsdaten Bodenmaterial

$$d_2 = 1.77 \text{ m}$$

Siehe Ausgangsdaten Bodenmaterial

$$r_1 = 3.53 \text{ m}$$

Siehe Ausgangsdaten SYTEC Wellstahl

$$\gamma_{R,v} = 1.40 \quad \text{Siehe Grundbruch im Scheitelbereich}$$

4. Bruch der Schraubenverbindung

ZTV-ING 9/4, B 5

$$\frac{N_d}{R_{Rd}} < 1.00 \quad \Rightarrow \quad \underline{0.42} < \underline{1.00} \quad \underline{\text{Nachweis erfüllt}}$$

$$\begin{aligned} N_d &= \text{ Bemessungswert Normalkraft} \\ &= p_{s,d} \times R'' \\ &= 796.02 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

ZTV-ING 9/4, 4.5

$$p_{s,d} = 150 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Siehe Scheiteldruckberechnung}$$

$$\begin{aligned} R'' &= \text{ Ungünstiger Verformungszustand kurz vor Durchlagen des Scheitels} \\ &= \frac{N_{D,k}}{p_{SD,k}} \\ &= 5.30 \text{ m} \end{aligned}$$

ZTV-ING 9/4, 4.5

$$N_{D,k} = \text{ Kritische Normalkraft} \quad \text{ZTV-ING 9/4, Bild B 9.4.8}$$

$$\frac{N_{D,k}}{k_{s,k} \times r_1^2} = f\left(\frac{E \times I}{k_{s,k} \times r_1^4}\right) \Rightarrow N_{D,k} = f\left(\frac{E \times I}{k_{s,k} \times r_1^4}\right) \times k_{s,k} \times r_1^2$$

$$N_{D,k} = 1.91 \text{ MN/m}$$

Die kritische Normalkraft $N_{D,k}$ wird anhand der Tabelle in Beilage 7 ermittelt.
Als Eingangswerte dafür dienen das Steifigkeitsverhältnis c und der Lastangriffsparameter Ψ_B .

$$\text{Eingangswerte:} \quad c = 0.0006 \quad \text{Siehe Steifigkeitsverhältnis}$$

$$\Psi_B = 1.57 \quad \text{Siehe Durchschlagen des Bauwerkscheitels}$$

$$\begin{aligned} \frac{N_{D,k}}{k_{s,k} \times r_1^2} &= f\left(\frac{E \times I}{k_{s,k} \times r_1^4}\right) \\ &= 0.024 \end{aligned}$$

Beilage 7: ZTV-ING 9/4, Bild B 9.4.8

$$\begin{aligned} k_{s,k} &= 6.37 \text{ MN/m}^3 && \text{Siehe Steifigkeitsverhältnis} \\ r_1 &= 3.53 \text{ m} && \text{Siehe Ausgangsdaten SYTEC Wellstahl} \end{aligned}$$

$$p_{SD,k} = 0.36 \text{ MN/m}^2 \quad \text{Siehe Durchschlagen des Bauwerkscheitels}$$

$$\begin{aligned}
 R_{Rd} &= \text{Tragwiderstand der Schraubenverbindungen pro m'} \\
 &= F_{Rd} \times \text{Schrauben pro m'} \\
 &= 1'881.6 \text{ kN/m'}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{Rd} &= \text{Bemessungswert Tragwiderstand der Schraube} \\
 &\quad \text{Kleinstes Resultat der Bemessungen von} \\
 &\quad \text{Scher-, Lochleibungs- und Zugwiderstand} \\
 &= 94.1 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Tragwiderstände der Schrauben

SIA 263, 6.2.2

- Scherwiderstand $F_{v,Rd}$ pro Schraube der Festigkeitsklassen 4.6, 5.6 und 8.8

$$\begin{aligned}
 F_{v,Rd} &= 0.6 \times \frac{f_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}} \\
 &= 94.1 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Lochleibungswiderstand $F_{b,Rd}$ pro Schraube und Platte

$$\begin{aligned}
 F_{b,Rd} &= 0.85 \times \frac{e_1}{d_0} \times \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \times d \times t \\
 &= 121.2 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Zugwiderstand $F_{t,Rd}$

$$\begin{aligned}
 F_{t,Rd} &= 0.9 \times \frac{f_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}} \\
 &= 141.1 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

5. Bereich der Schrägschnitte

ZTV-ING 9/4, B 6

$$\frac{M_{pl} \times L_s + b \times F_{pl} \times \frac{r_1^3}{L_s}}{a \times L_c \times r_1^3} = 2.67 > 2.00 \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

$$\begin{aligned} M_{pl} &= \text{Plastisches Moment des Querschnittes in Umfangsrichtung} \\ &= 2.64 \text{ Mpm/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_s &= \text{Grösste Schrägschnittlänge} \\ &= \frac{(h - x) \times m}{\sin \beta} + \frac{s}{2} \times \tan(90 - \beta) \\ &= 5.232 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h &= \text{Profilhöhe} \\ &= 6.36 \text{ m} \quad \text{Siehe Ausgangsdaten SYTEC Wellstahl} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= \text{Profils Spannweite} \\ &= 7.09 \text{ m} \quad \text{Siehe Ausgangsdaten SYTEC Wellstahl} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x &= \text{x-Mass} \\ &= 2.00 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \text{Steigung Böschungsschrägschnitt - Verhältnis 1 : m} \\ &= 1.20 - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta &= \text{Bauwerksabschlusswinkel} \\ &= 90^\circ \\ &= 1.57 \text{ rad} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \text{Profilabhängiger Parameter} \\ &= 0.157 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= \text{Profilabhängiger Parameter} \\ &= 1.92 \end{aligned}$$

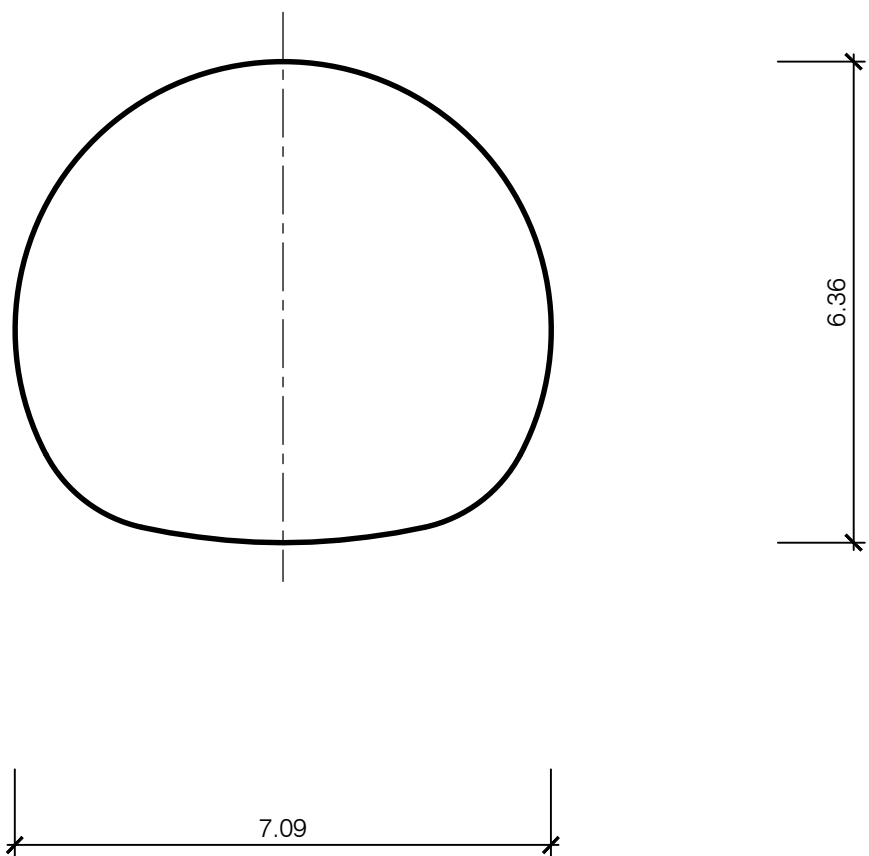
$$\begin{aligned} F_{pl} &= \text{Max. Normalkraft des Querschnittes beim Plastifizieren in Bauwerkslängsrichtung} \\ &= 5.13 \text{ Mp/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_1 &= \text{Radius im Scheitel} \\ &= 3.53 \text{ m} \quad \text{Siehe Ausgangsdaten SYTEC Wellstahl} \end{aligned}$$

Zusammenfassung der Resultate:

- Wandstärke: $t = 7.00$ mm, darin ist eine Korrosionsreserve von 1.00 mm enthalten.
- Plattenverbindung: 20 Schrauben / m' notwendig.
- Hinterfüllung $ME > 60$ MN/m², im Weiteren verweisen wir auf die Einbauvorschriften der SYTEC Bausysteme AG für Wellstahlkonstruktionen.
- Bauzustand: maximal zulässige Scheitelhebung beträgt 3% der Spannweite = 21 cm
Wird dieser Wert bei der Hinterfüllung erreicht, muss der Rohrscheitel vorbelastet werden.

SYTEC Bausysteme AG
Laupenstrasse 47 / Postfach 41
3176 Neuenegg
20.05.2020



Haut. ut.	Fläche Section	Umfang Périm.	x-Mass Haut. x	Radien / Wink Rayons / Angl			
				R1	W1	R2	W
36	36.70	21.62	1.07	3534	240.06	1885	50



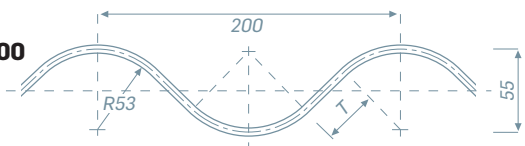
SYTEC Bausysteme AG
Laupenstrasse 47
3176 Neueneegg
Tel. 031 980 14 14
Fax 031 980 14 24
sytec@sytec.ch

SYTEC TWA 22

Mst / échelle : 1:100

Datum / date :

Beilage 2

	Platten- stärke	Tangente (T)	Trägheits- moment	Widerst.- moment	Trägheits- radius	Querschn.- fläche
	mm	mm	$\text{mm}^4/\text{m}' \times 10^6$	$\text{mm}^3/\text{m}' \times 10^3$	mm	mm^2/m'
T 200 	2.50	33.02	1.1188	38.91	195.4	2950
	3.00	32.17	1.3564	46.77	195.6	3540
	4.00	30.41	1.8192	61.67	196.1	4730
	5.00	28.55	2.2888	76.29	196.7	5910
	6.00	26.55	2.7658	90.68	197.3	7100
	7.00	24.39	3.2511	104.88	198.0	8290

Technische Daten der Schrauben

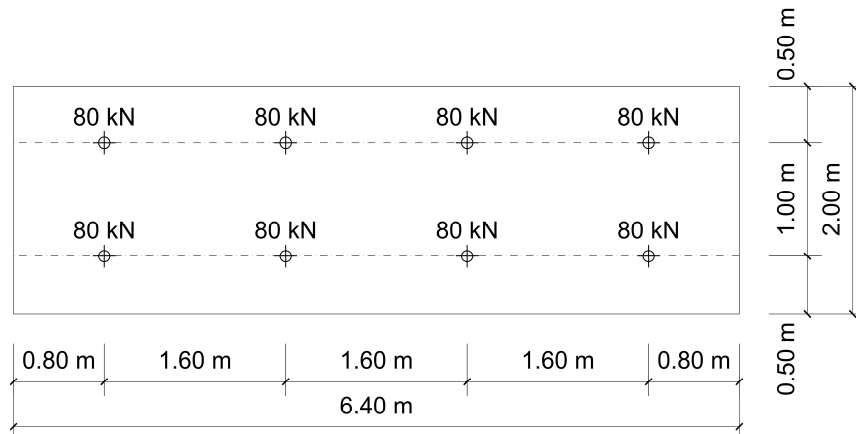
Wellungsprofil	T 200
Schraubentyp	M 20
Festigkeitsklasse	8.8
Schraubenlängen	35 / 45 / 60 mm

Beilage 3: Verkehrslast infolge Schmalspurbahnverkehr

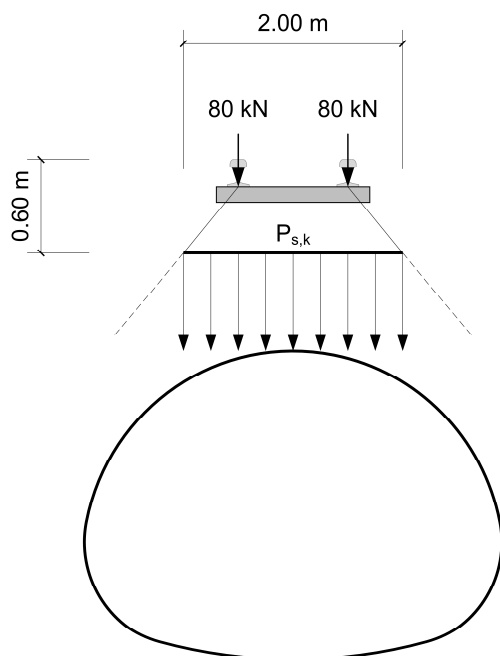
Gemäss SIA 261, Lastmodell 6

Verkehrslast infolge Bahnverkehr

Achsanordnung gemäss SIA 261, Art. 12.2.1.4



Querschnitt



Keine weitere Verteilung der Flächenlast ab 0.60 m Tiefe unter der Fahrbahnebene.

Charakteristischer Erddruck auf Bauwerke infolge Bahnverkehr, ab 0.60 m Tiefe unter der Fahrbahnebene:

$$P_{s,k} = \frac{8 \times 80 \text{ kN}}{6.40 \text{ m} \times 2.00 \text{ m}} = \frac{640 \text{ kN}}{12.8 \text{ m}^2} = \underline{\underline{50 \text{ kN/m}^2}}$$

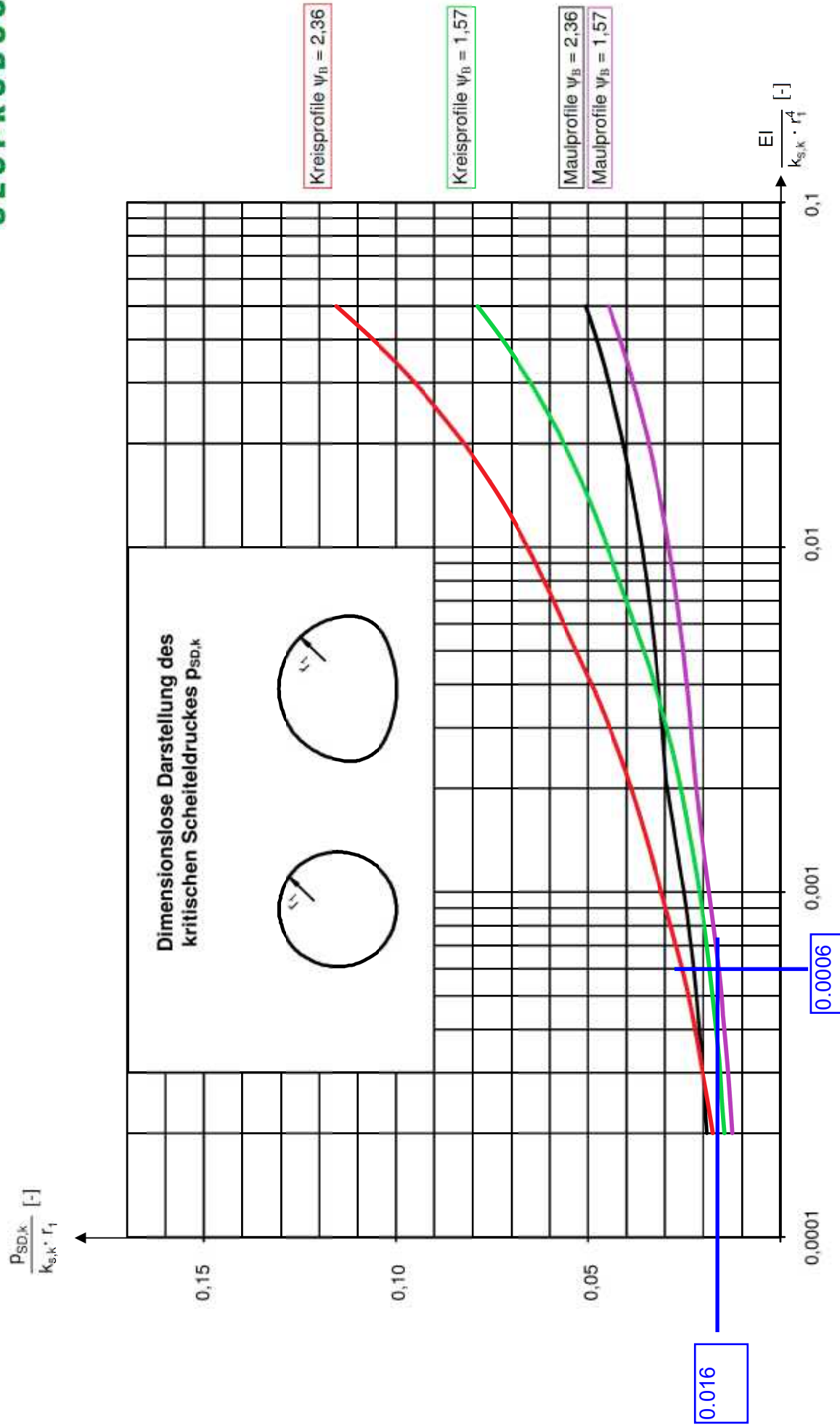


Bild B 9.4.4: Kritischer Scheiteldruck für das Durchschlagen von Kreis- und Maulprofilen

Beilage 5

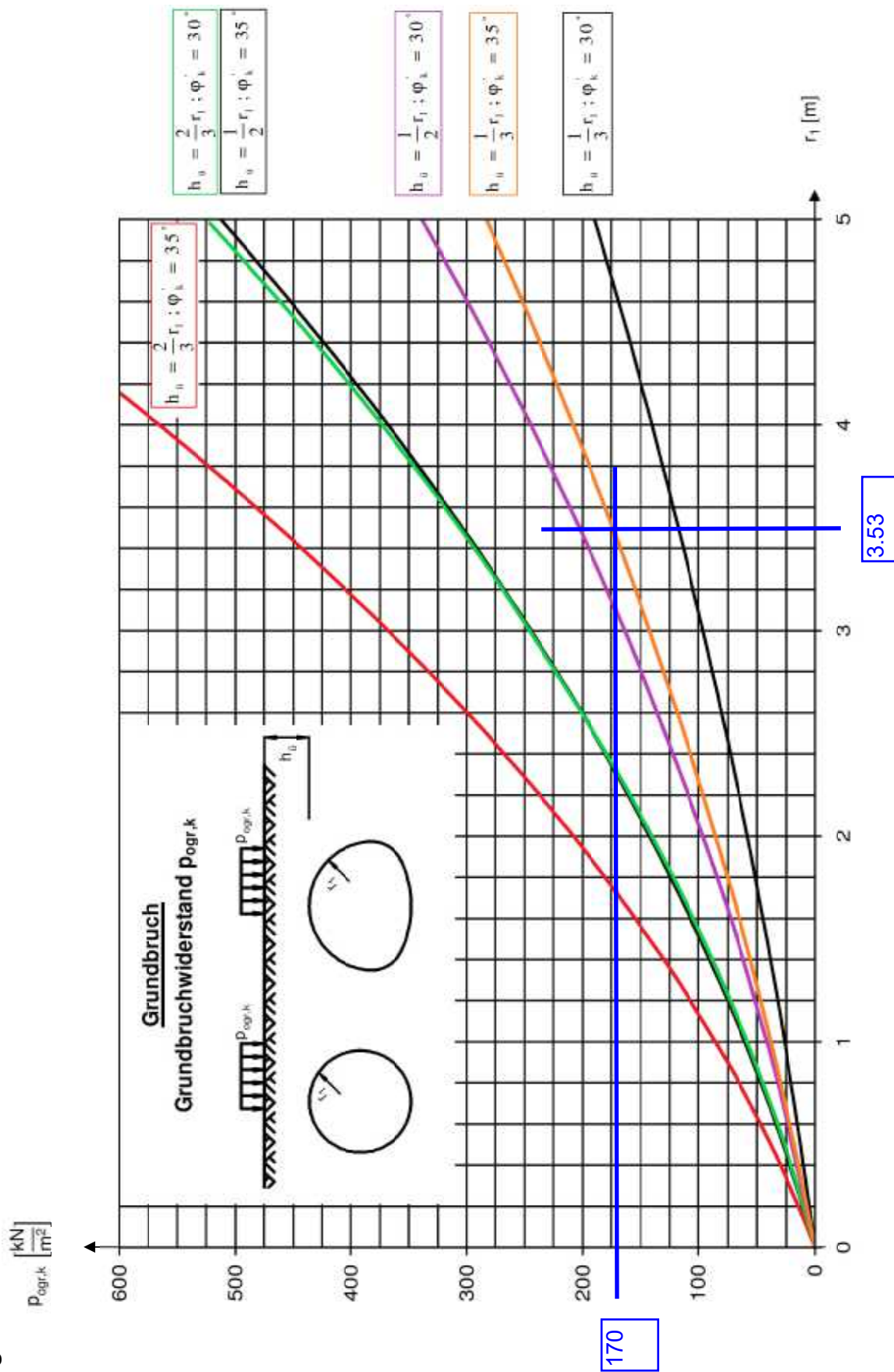
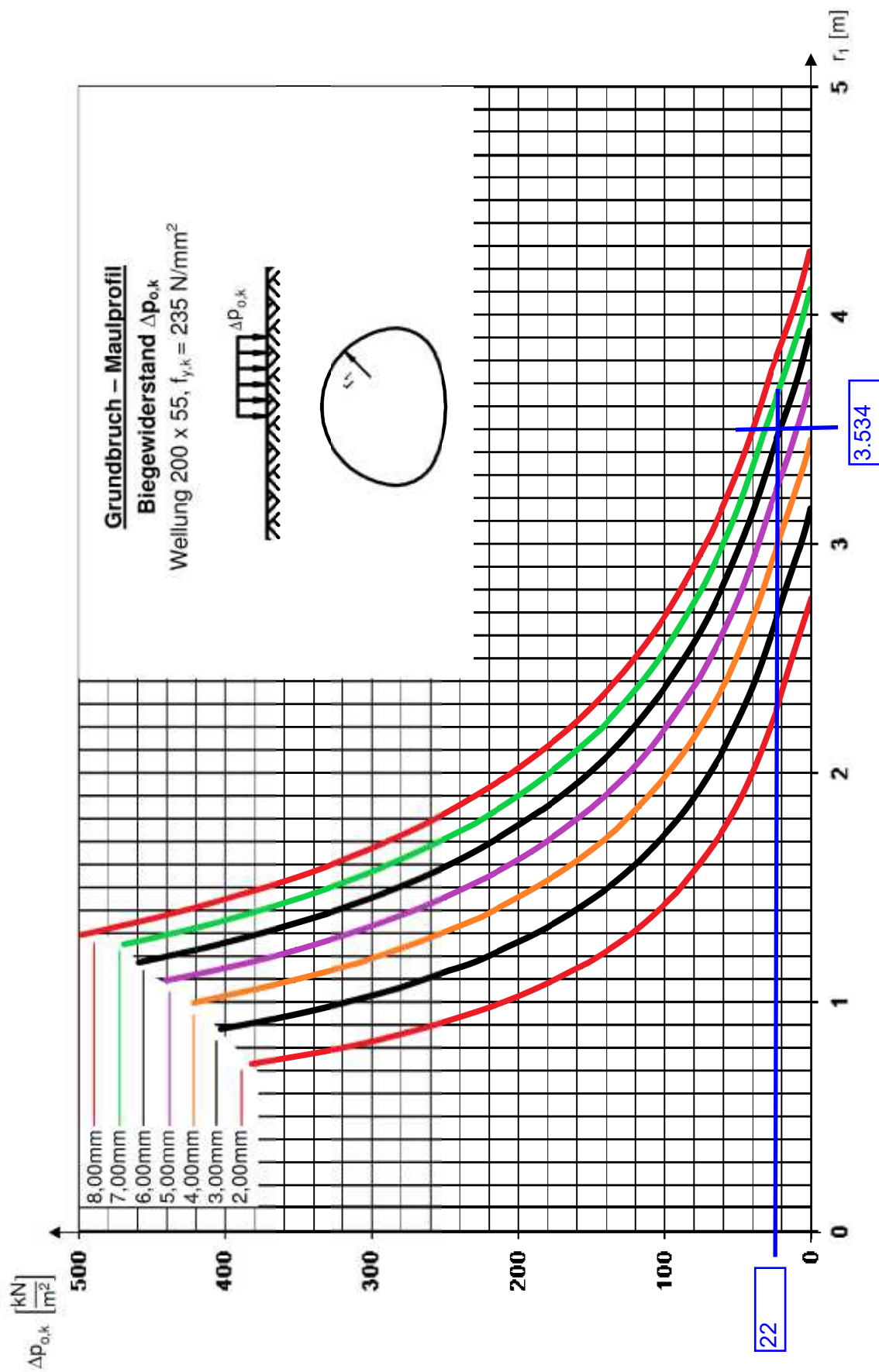
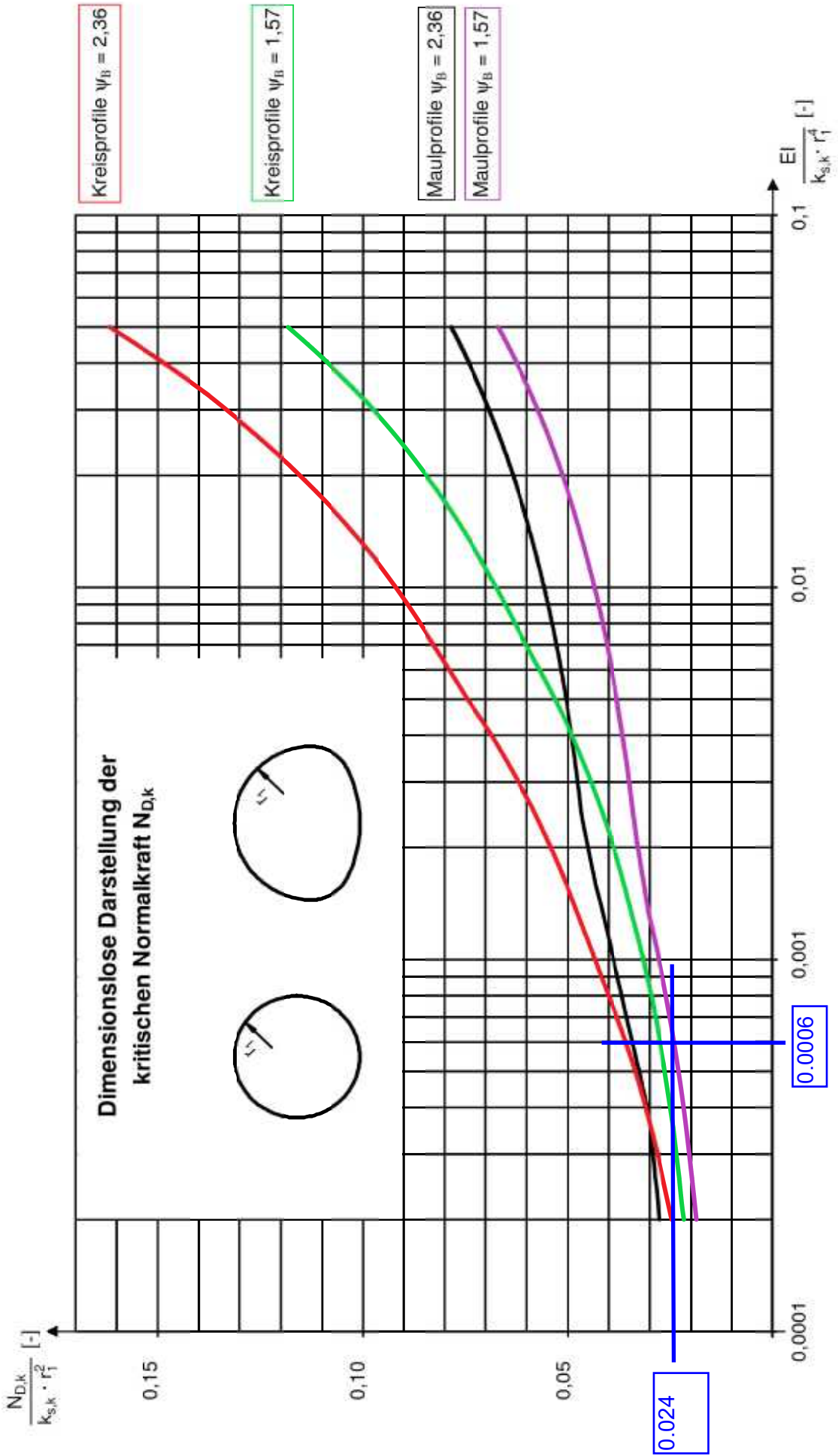


Bild B 9.4.5: Grundbruchwiderstand des Bodens im Scheitelpunkt

Beilage 6



Beilage 7



2.4. Gebrauchstauglichkeit

Für einen Nachweis der Gebrauchstauglichkeit ist die maximale Setzung unter Nutzlast rechnerisch zu bestimmen und mit den Verformungen zu vergleichen, die nach SIA 260, Tab. 12 zulässig sind. Dazu wird eine numerische Modellierung benötigt, beispielsweise eine Finite-Elemente-Berechnung.

Wir haben in verschiedenen Projekten mit Wellstahl solche Berechnungen durchgeführt und konnten die Gebrauchstauglichkeit nachweisen, mit der Plattenstärke, welche für den Tragsicherheitsnachweis unter der vorgesehenen Nutzlast (inkl. Korrosionsreserve) benötigt wird.

Der Nachweis der Tragsicherheit ist aus Erfahrung massgebend. Bei Verformungsmessungen an ausgeführten SYTEC Wellstahlstrukturen wurden bisher immer geringere Verformungen ermittelt, als statisch berechnet wurden. Daher empfehlen wir für das geplante Bauwerk auf einen rechnerischen Nachweis der Gebrauchstauglichkeit zu verzichten.

Sollte für das Bauwerk dennoch eine Verformungsberechnung gefordert sein, können wir diese Berechnung mit der Software Plaxis 2D v. 2010 durchführen. Der Aufwand für eine projektbezogene Verformungsberechnung ist gross. Diesen Aufwand können wir nicht als Vorinvestition in das Projekt leisten. Daher müssten wir die dafür anfallenden Kosten verrechnen.

2.5. Ermüdung

Wellstahl ist eine flexible Bauweise. Die erdbettete Stahlstruktur überträgt also die Lasten auf die Hinterfüllung. Ausserdem enthält das System keine geschweissten Teile. Deshalb ist ein Ermüdungsnachweis für diesen Konstruktionstyp nicht erforderlich.

Wellstahldurchlässe und -tunnel

Einbauvorschriften

Fundation

Die Lastabtragung von SYTEC Wellstahlprofilen setzt eine elastische Bettung voraus. Mit dem Einbau einer 30 bis 50 cm starken Fundationsschicht aus Kiesgemisch UG 0/45 wird dies in den meisten Fällen erreicht. Im Falle von schlechten Baugrundverhältnissen, d. h. wenig tragfähigem Boden wie Torf etc., ist die Fundationsschicht je nach Verhältnissen zu verstärken. Die Breite der Fundation ist entsprechend der Systemskizzen auf der Rückseite auszuführen. Besteht der Untergrund aus Fels, hat die Kiessandschicht die elastische Bettung sicherzustellen. Wenn immer möglich, ist die Kiessandschicht in die trockengelegte Baugrube einzubringen. Die Fundationsschicht ist mit konventionellen Verdichtungsgeräten zu verdichten ($ME_1 \geq 40 \text{ MN/m}^2$). Bei Spannweiten über 5.00 m ist die Sohle entsprechend der Profilkrümmung zu profilieren und es können höhere Verdichtungswerte gefordert werden. Bei Bogen- und Boxprofil mit Wellstahlfachfundamenten ist der Hohlraum unter der Wellung mit Rundkies 8/16 auszustopfen.

Rohrbettung/Verdichtung

Zum Hinterfüllen und Überdecken von Wellstahlkonstruktionen eignet sich das Kiesgemisch UG 0/45 mit einem Wassergehalt von $w_{\text{opt}} \pm 1\%$. Anderes Hinterfüllungsmaterial ist vorgängig mit SYTEC abzusprechen. Das verdichtete Material muss ein Verformungsmodul ME_1 von mindestens **60 MN/m²** aufweisen, sofern in der Auftragsbestätigung oder durch die statische Bemessung kein höherer ME_1 -Wert gefordert wird. Die Einfüllung und Verdichtung der unteren Rohrspindel ist speziell sorgfältig auszuführen. Eine gute Bettung wird mit Unterstopfen von Hand mit Kiesgemisch

UG 0/16 oder mit Rundkies 8/16 (ist mittels Geovlies vom übrigen Hinterfüllungsmaterial zu trennen), oder bei grösseren Profilen durch Vorprofilieren der Planie erreicht. Die Hinterfüllung muss auf beiden Seiten gleichzeitig in Schichten von 20 bis 40 cm aufgezogen werden. Im näheren Bereich der Konstruktion (ca. 1 m seitlich und 0.5 m oberhalb des Scheitels) dürfen nur leichte Verdichtungsgeräte eingesetzt werden. Bei Böschungsschrägschnitten muss die seitliche Aufschüttung besonders sorgfältig vorgenommen werden, um Verformungen des Schrägschnitttrandes zu vermeiden. Im Bereich von ca. 1 m seitlich des Schrägschnittes darf nur mit leichten Grabenstampfern gearbeitet werden.

Überdeckung

Die minimale bzw. maximale Überdeckungshöhe gemäss statischer Bemessung oder Auftragsbestätigung darf nicht unter- bzw. überschritten werden. Grundsätzlich darf die Mindestüberdeckung von 60 cm nicht unterschritten werden. In Sonderfällen müssen spezielle Massnahmen vorgesehen werden.

Vormontage neben Einbauort

Wellstahlkonstruktionen zeichnen sich durch ein relativ geringes Eigengewicht aus. Sie sind daher für die Vormontage z. B. neben einer Strasse oder einem Bach geeignet. Das vormontierte Rohr kann innerhalb kürzester Zeit auf den definitiven Einbauort versetzt werden, ohne langen Unterbruch von Strasse oder Bahn. Der Ablauf dieser Arbeiten wird projektspezifisch – zusammen mit einem SYTEC Fachmann – festgelegt.

Für die Einhaltung der Einbauvorschriften und der Bauarbeitenverordnung sind der ausführende Unternehmer und die örtliche Bauleitung verantwortlich. SYTEC nimmt keine Bauführungs- oder Bauleitungsaufgaben wahr.

Projektname _____

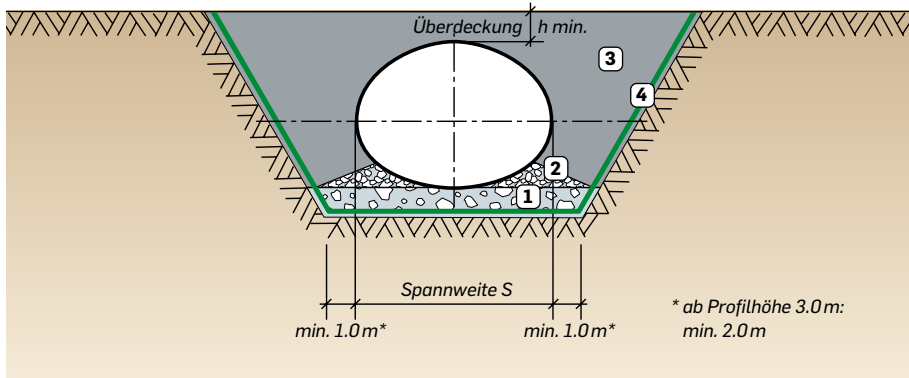
Abgegeben am _____

Unternehmung _____

SYTEC-Instruktor _____

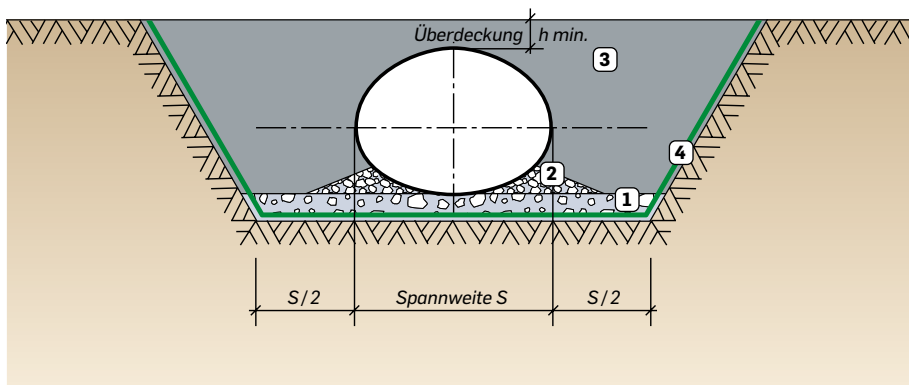
Örtliche Bauleitung _____

Bettungsprofile



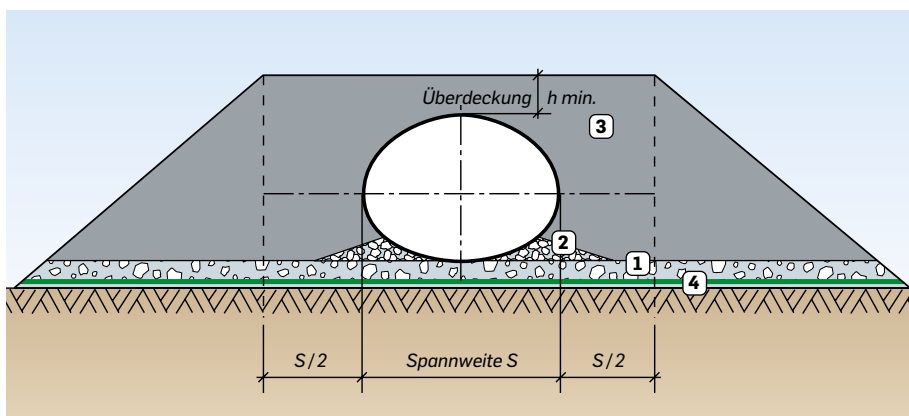
In günstigem Baugrund ($ME \geq 15 \text{ MN/m}^2$)

- ① 30 – 50 cm Fundationsschicht
- ② Unterstopfen mit Kiesgemisch UG 0/16 oder Rundkies 8/16
- ③ Rohrbettungsbereich
- ④ Geovlies SYTEC NW



In ungünstigem Baugrund ($ME < 15 \text{ MN/m}^2$)

- ① Kiessand-Fundationsschicht gemäss Planer
- ② Unterstopfen mit Kiesgemisch UG 0/16 oder Rundkies 8/16
- ③ Rohrbettungsbereich
- ④ Geovlies SYTEC NW



In Aufschüttung

- ① 30 – 50 cm Fundationsschicht
- ② Unterstopfen mit Kiesgemisch UG 0/16 oder Rundkies 8/16
- ③ Rohrbettungsbereich
- ④ Geovlies SYTEC NW