

Statische Berechnung

Unterquerung in Stollenbauweise

Auftrags-Nr.: 200701

Bauvorhaben: Fernwärmeverbindungsleitung, Hochschulring bis Heizwerk Vahr
28215 Bremen

Bauherr: Wesernetz Bremen GmbH
Theodor-Heuss-Allee 20
28215 Bremen

Tragwerksplanung: Dipl.Ing.(FH) Klaus Nebel
Ringstraße 49, 63875 Mespelbrunn
Tel.: 06092-215
E-Mail: k.nebel@ib-nebel.de

Architekt: FICHTNER
Hammerbrookstraße 47b, 20097 Hamburg
Tel.: 040-300673-0
E-Mail: hamburg@fwt.fichtner.de



Inhaltsverzeichnis

TB	Titelblatt	1
	Inhalt	2
V	Vorbemerkung	3
Ü	Übersicht Statik- Positionen	4
S1	Schnitt Pos.1	5
S2	Schnitt Pos.2	8
L	Lastermittlung	11
1	Tunnelrahmen	17
2	Tunnelrahmen	31
3	Verzugsbleche	45
4	Firstknoten	47
5	Fußpunkt	49
6	Längsaussteifung	50
7	Ortsbrust	51



Pos. V	Vorbemerkung
--------	--------------

Vorbemerkungen:

Zur Unterfahrung der Kreuzung Schachhauser Ring / Schwachhauser Heerstraße und der Kreuzung HH Meier Alle / Schachhauser Ring, soll ein Stollen in Bergmännischer Bauweise aufgeföhren.

Als Stollenausbauprofil werden Gittertröhger, bzw. Profilstähle verwendet.

Als Ausföhchung kommen Pfänderdielen zum Einsatz welche gegen das Erdreich verkeilt werden.

Abstand der Ausbauböhgen im Normalbereich: $e = 1,00$ m

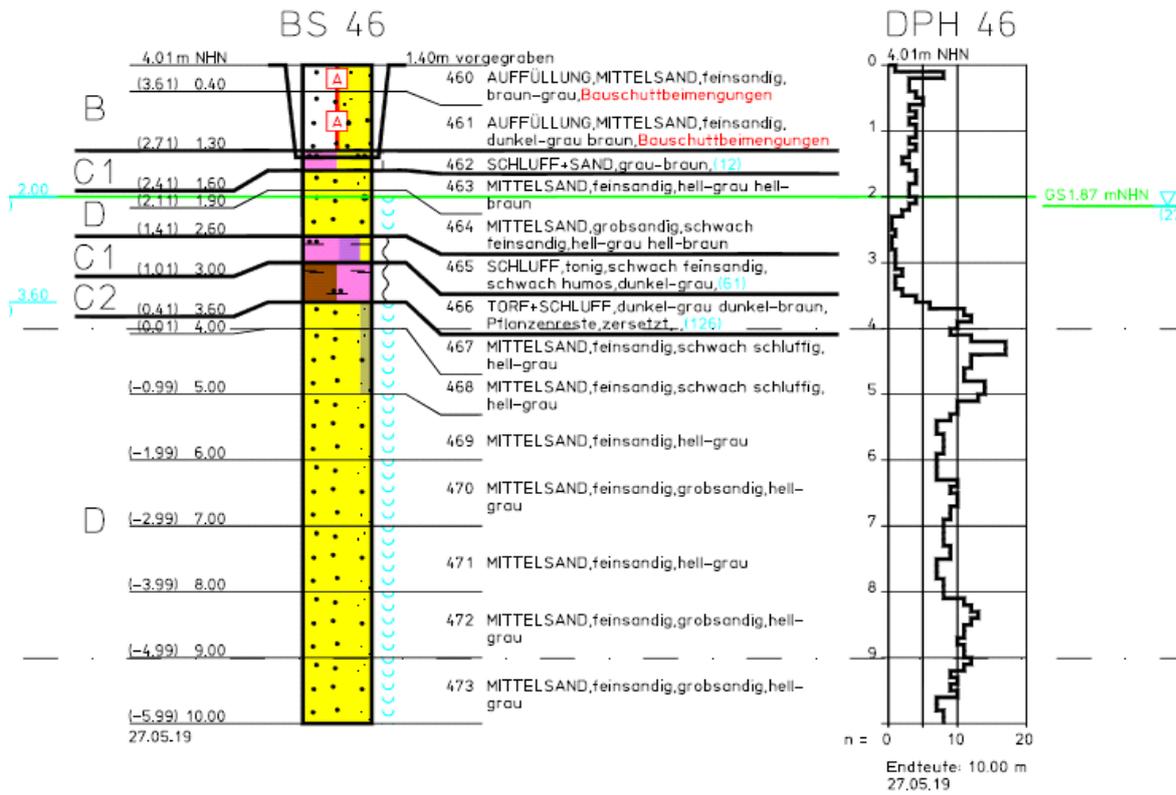
Verkehrslast $p = 33,33$ kN/m² für Schwerlastverkehr SLW 60

bzw. Lasten für Straßenbahnen (siehe folgende Statik)

System siehe nächste Seite.

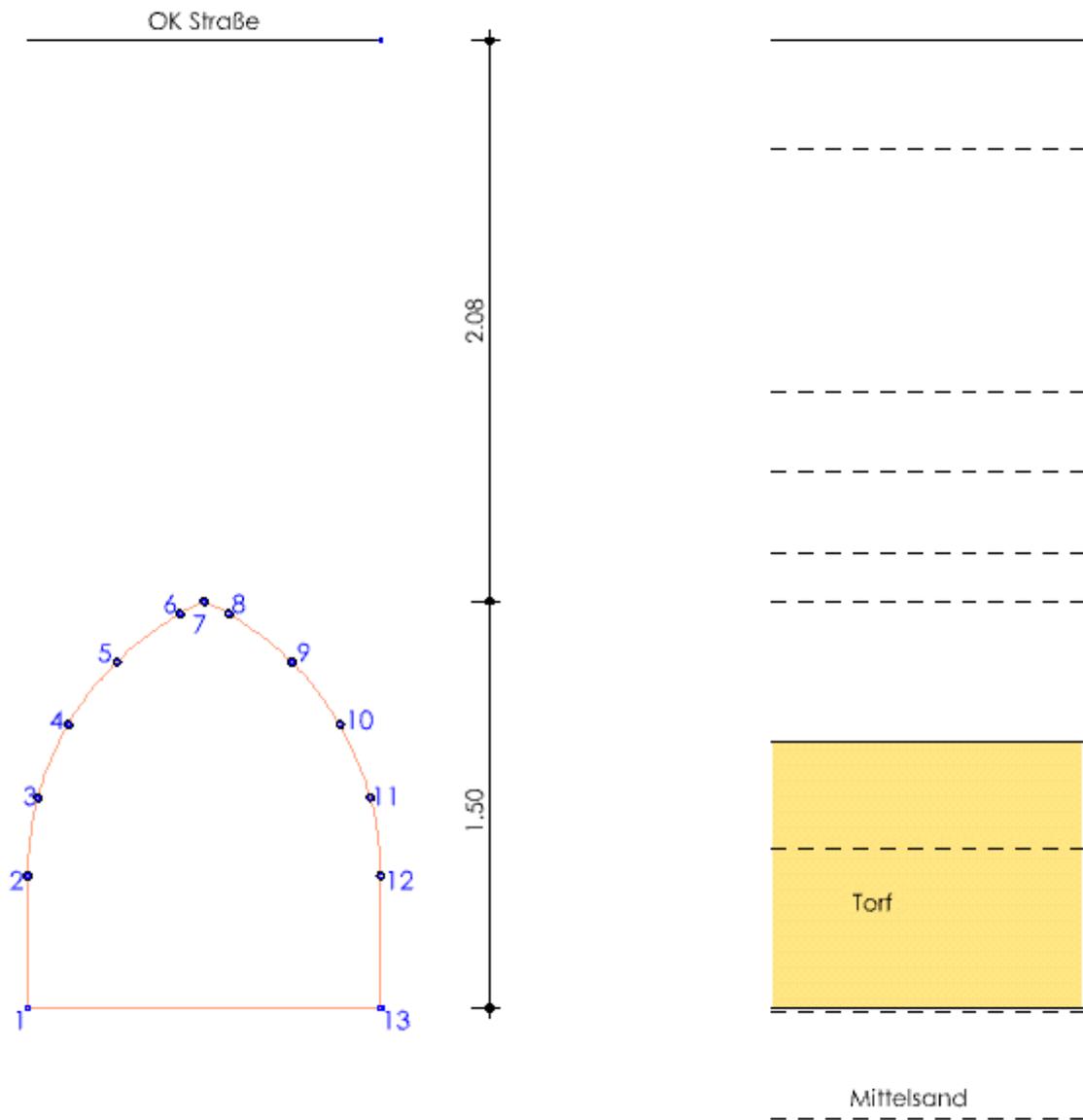
Boden gemäß Bodengutachten

Grundbaulabor Bremen
Ingenieurgesellschaft für Geotechnik mbH
Kleiner Ost 2
28357 Bremen
Geotechnischer Bericht Nr. 2A
vom 14.05.2020





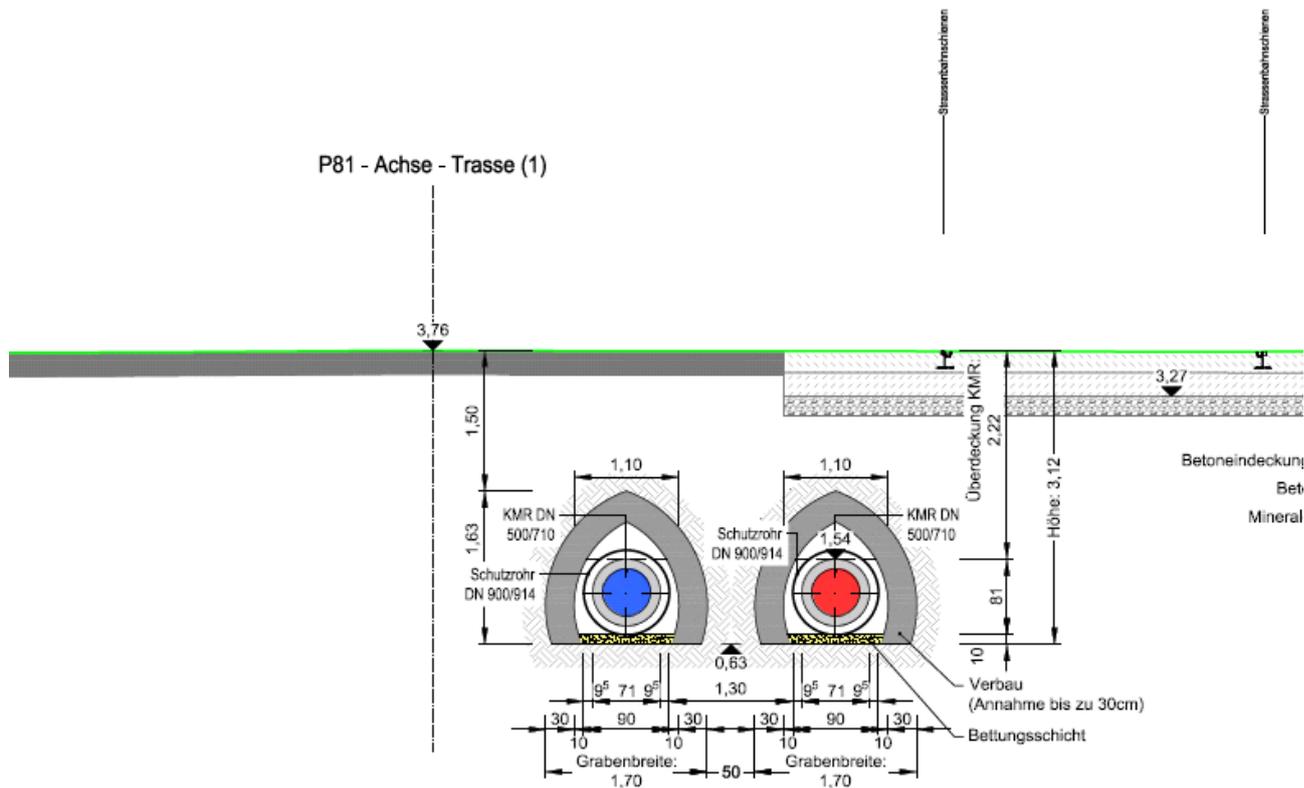
Pos.1

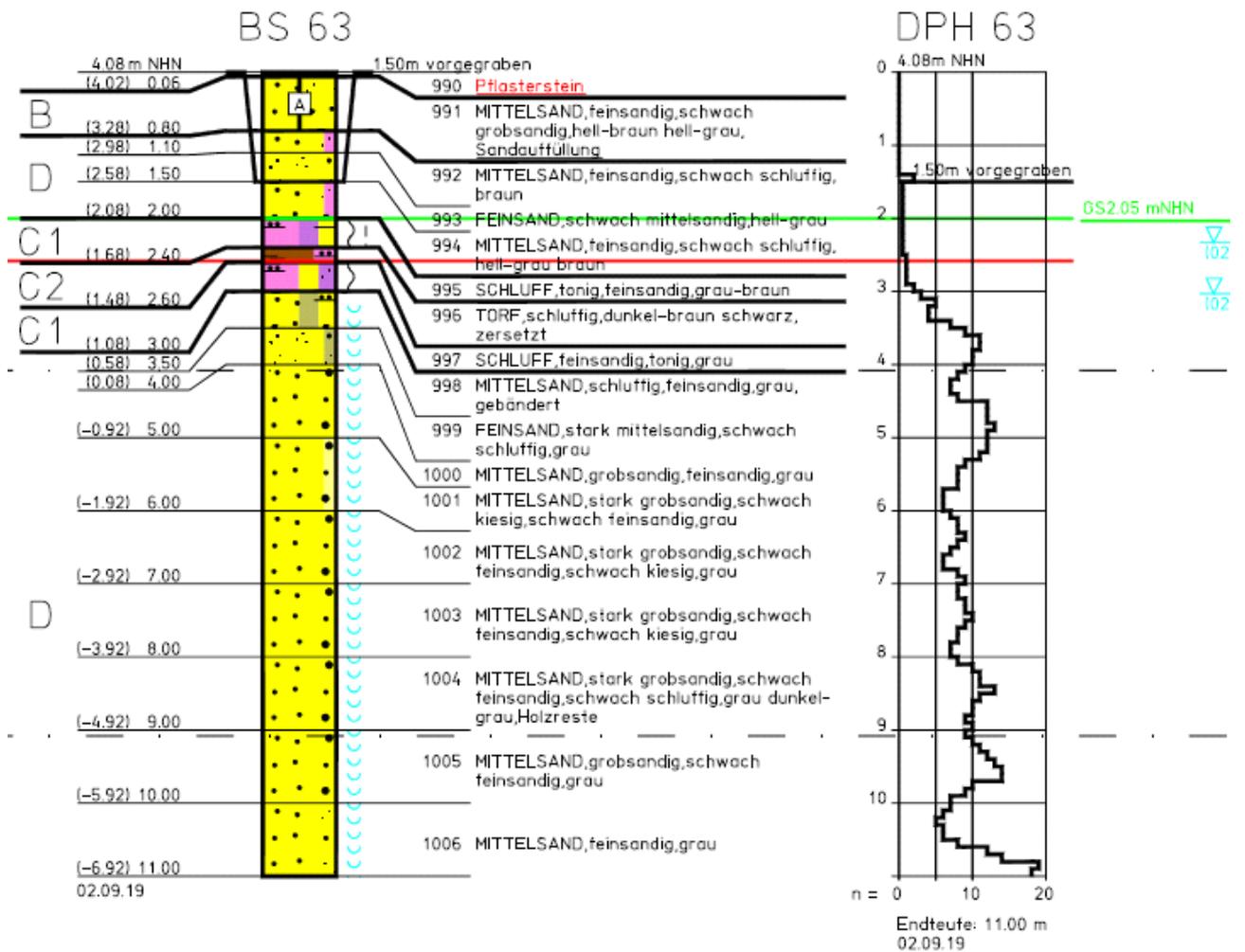


Pos. S2

Schnitt Pos.2

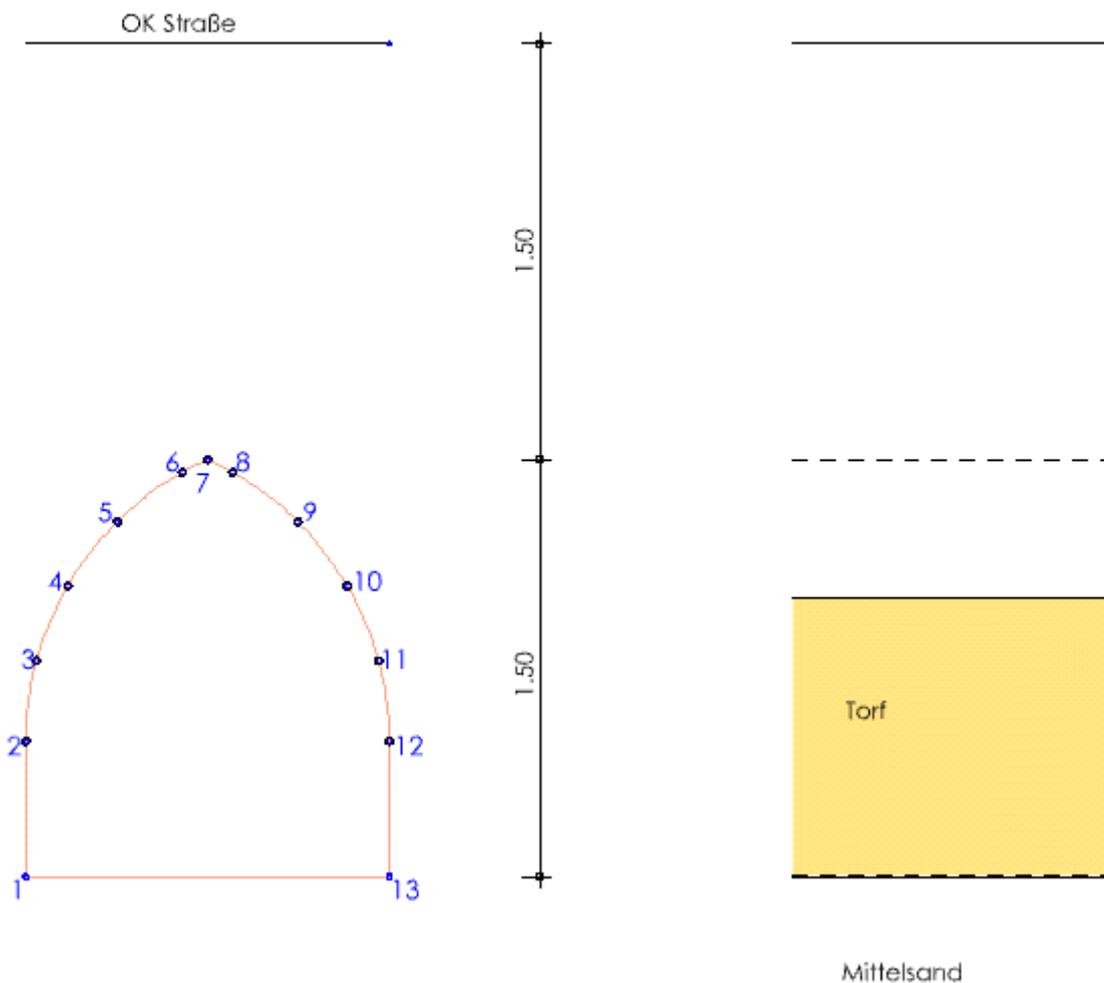
Kreuzung Schwachhauser Ring / Schwachhauser Heerstr.







Pos.2





Pos. L Lastermittlung

Lastermittlung Tunnelrahmen Pos.1

folgende Bodenwerte werden für die Lastermittlung über die Gesamthöhe angenommen:

Bodenwerte: = 19 kN/m³
 = 27,5 Grad
 = = 0 Grad
 = 0 Grad

$$k_h = 0,5 * (k_a + k_0) \\ = 0,5 * (0,33 + 0,50) = 0,42$$

Bodenlasten:

horizontal:

$$e(t=2,05 \text{ m}) = 19,00 * 0,42 * 2,05 = 16,36 \text{ kN/m} \\ e(t=3,55 \text{ m}) = 19,00 * 0,42 * 3,55 = 28,33 \text{ kN/m}$$

vertikal:

$$19,00 * 2,05 = 38,95 \text{ kN/m}$$

Verkehrslasten:

Aus Straßenbahn:
maximale Achslast = 100 kN bei Achsabstand 1,80 m
>> Schwerlastverkehr SLW 60 maßgebend.

Schwerlastverkehr SLW 60

$$p = 33,33 \text{ kN/m}^2$$

>> Verteilung nach unten unter 60 Grad gem. DIN

$$V_p(\text{oben}) = 33,33 * 3,00 * 6,00 = 599,94 \text{ kN}$$

$$F(\text{unten}) = (3,00+2*1,18) * (6,00+2*1,18) = 44,81 \text{ m}^2$$

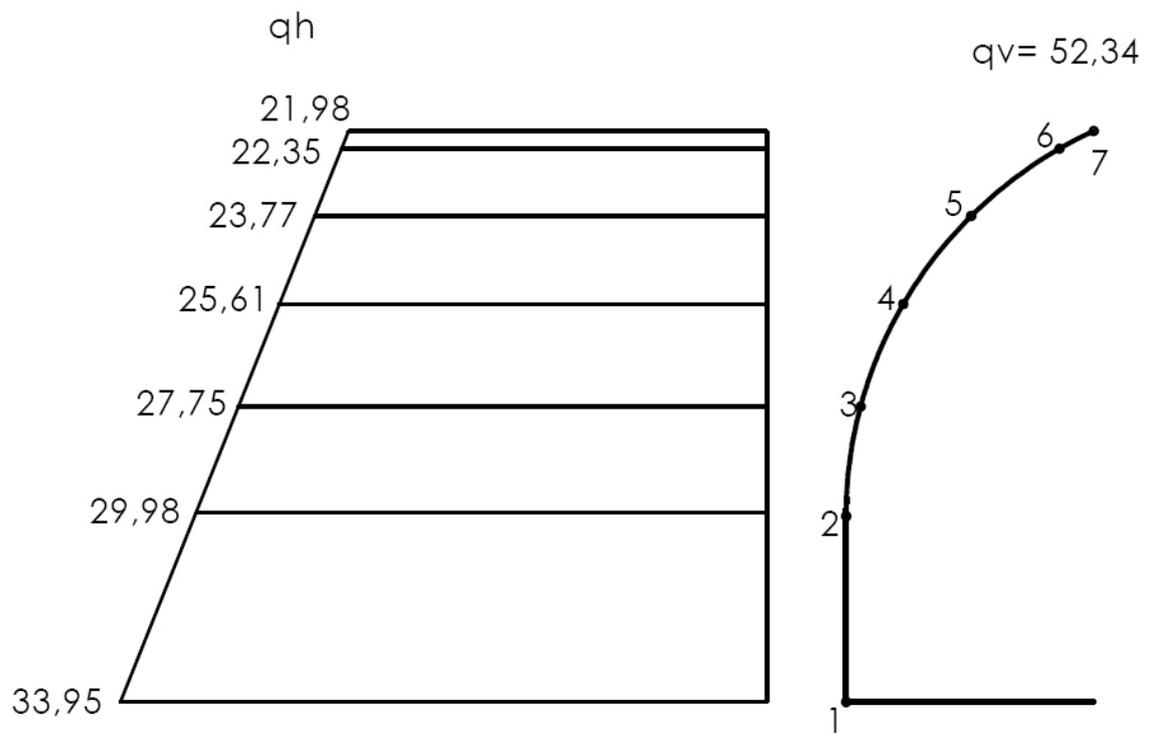
$$V_p(\text{unten}) = 599,94 / 44,81 = 13,39 \text{ kN/m}^2$$

$$h(\text{unten}) = 13,38 * 0,42 = 5,62 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} >>> \quad V_{\text{ges.}} &= 38,95 + 13,39 = 52,34 \text{ kN/m}^2 \\ &H_{\text{ges.}}(1,50) &= 16,36 + 5,62 = 21,98 \text{ kN/m}^2 \\ &H_{\text{ges.}}(3,00) &= 28,33 + 5,62 = 33,95 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$



Lastbild:





Lastermittlung Tunnelrahmen Pos.2

folgende Bodenwerte werden für die Lastermittlung über die Gesamthöhe angenommen:

Bodenwerte: = 19 kN/m³
 = 27,5 Grad
 = = 0 Grad
 = 0 Grad

$$k_h = 0,5 * (k_a + k_0) \\ = 0,5 * (0,33 + 0,50) = 0,42$$

Bodenlasten:

horizontal:

$$e(t=1,50 \text{ m}) = 19,00 * 0,42 * 1,50 = 11,97 \text{ kN/m} \\ e(t=3,00 \text{ m}) = 19,00 * 0,42 * 3,00 = 23,94 \text{ kN/m}$$

vertikal:

$$19,00 * 1,50 = 28,50 \text{ kN/m}$$

Verkehrslasten:

Aus Straßenbahn:
maximale Achslast = 100 kN bei Achsabstand 1,80 m
>> Schwerlastverkehr SLW 60 maßgebend.

Schwerlastverkehr SLW 60

$$p = 33,33 \text{ kN/m}^2$$

>> Verteilung nach unten unter 60 Grad gem. DIN

$$V_p(\text{oben}) = 33,33 * 3,00 * 6,00 = 599,94 \text{ kN}$$

$$F(\text{unten}) = (3,00 + 2 * 0,87) * (6,00 + 2 * 0,87) = 36,69 \text{ m}^2$$

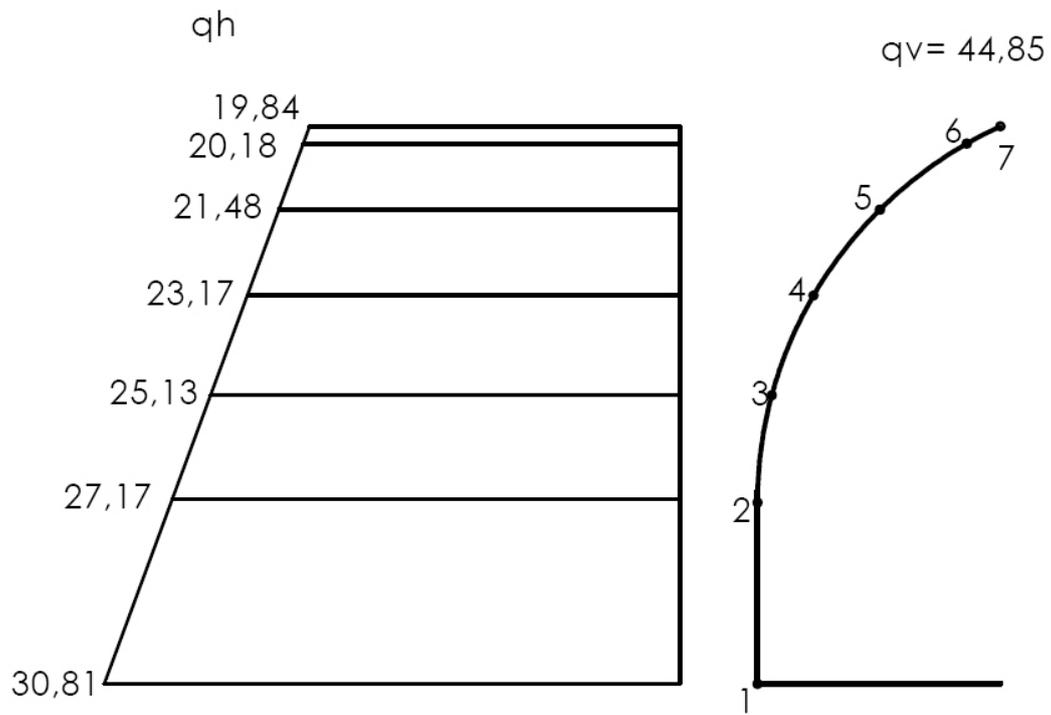
$$V_p(\text{unten}) = 599,94 / 36,69 = 16,35 \text{ kN/m}^2$$

$$h(\text{unten}) = 16,35 * 0,42 = 6,87 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} >>> \quad V_{\text{ges.}} &= 28,50 + 16,35 = 44,85 \text{ kN/m}^2 \\ &H_{\text{ges.}}(1,50) &= 11,97 + 6,87 = 18,84 \text{ kN/m}^2 \\ &H_{\text{ges.}}(3,00) &= 23,94 + 6,87 = 30,81 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$



Lastbild:



Berechnung des Stollenprofils erfolgt als elastisch gebetteter Stabzug.

Angaben Bodengutachter:

Überschüttung über und Seitlich der Konstruktion,		
nichtbindiger Boden	$E_s = 15$	MN/m ²
bindiger Boden	$E_s = 1,5$	MN/m ²
Torf Boden	$E_s = 0,5$	MN/m ²
Boden unter der Konstruktion,		
nichtbindiger Boden	$E_s = 20$	MN/m ²
bindiger Boden	$E_s = 1,5$	MN/m ²
Torf Boden	$E_s = 0,5$	MN/m ²

Für die Berechnung werden folgende Werte angesetzt:

Firstbereich keine Bettung.

Stäbe seitlich (Stäbe 1,2,3 und 10,11 und 12):

$$E_s = 0,5 \text{ MN/m}^2$$

Bettungsmodul Stollenprofil: $ks' = ES/r$

$$ks' = 0,50/0,90 = 0,556 \text{ MN/m}^3 \\ \sim 0,00056 \text{ kN/m}^3$$

Bettungsbreite durch verkeilte Verzugsbleche
angenommen mit $b = 1,00 \text{ m} = 100 \text{ cm}$

$$\gg ks = 0,00056 * 100 = 0,056 \text{ kN/cm}^2$$

Boden unter Konstruktion:

$$E_s = 20,00 \text{ MN/m}^2$$

Bettungsmodul Stollenprofil:

$$ks' = ES/r$$

$$ks' = 20,0/0,90 = 22,22 \text{ MN/m}^3 \\ 0,022 \text{ kN/cm}^3$$



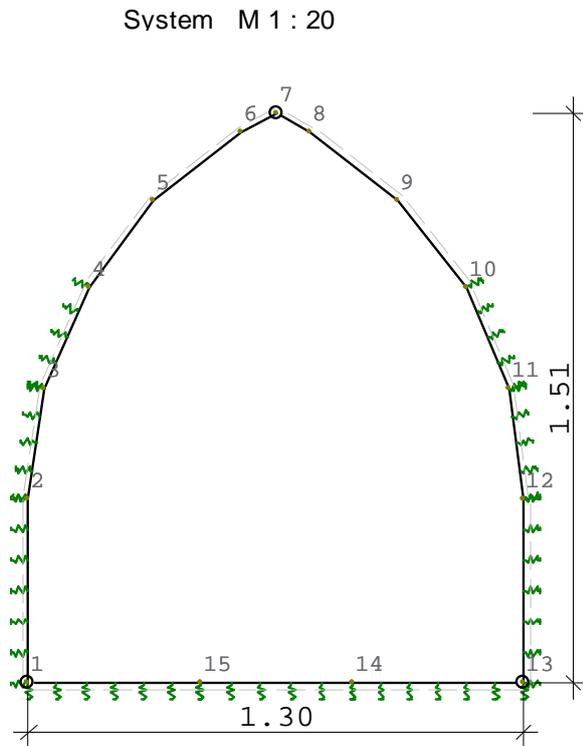
Bettungsbreite durch 2 Träger HEB 100
 $b = 0,20 \text{ m} = 20 \text{ cm}$

>> $k_s = 0,022 * 20 = 0,44 \text{ kN/cm}^2$

Pos. 1 Tunnelrahmen

Für die Berechnung des geplanten Tunnelrahmens wird ein Profil I100 und eine untere Schwelle aus 2 Stck. HEB 100 gewählt.

Diese Berechnung kann auch für die Bemessung eines Gitterrahmens gemäß Anlage verwendet werden, da das Widerstandsmoment dem des Gitterrahmens annähernd entspricht.



BAUSTOFF :	S355	E-Modul	E =	21000 kN/cm ²	T M F €
		spez. Gewicht	:	7.85 kg/dm ³	

QUERSCHNITTSWERTE							
Quersch. Profil		I	A	A _q	h	W _o	W _u
Nr.	Mat	Name	(cm ⁴)	(cm ²)	(cm ²)	(cm)	(cm ³)
1	1	I100	170.0	10.6	4.22	10.0	34.1
2	1	I100	170.0	10.6	4.22	10.0	34.1
3	1	HE100B	450.0	26.0	5.80	10.0	89.9

Querschnitt Nr.	1	KB I =5.600E-2	(kN/cm ²)	KB II =0.000E+0(kN/cm ²)
Querschnitt Nr.	3	KB I =4.400E-1	(kN/cm ²)	KB II =0.000E+0(kN/cm ²)

PLASTISCHE SCHNITTGRÖßEN						
Nr	Mat	NPI	Mply	Qplz	Mplz	Qply
		(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)	(kN)
1	1	381.6	14.3	87.2	2.9	141.3
2	1	381.6	14.3	87.2	2.9	141.3
3	1	936.0	37.5	112.2	18.5	415.7



SYSTEM Stab Nr.	Projektionen		Querschnitt		K n o t e n	
	Lx (m)	Lz (m)	Q1	Q2	Ende 1	Ende 2
1	0.000	-0.490	1	1	2.0	1.0
2	-0.040	-0.290	1	1	3.0	2.0
3	-0.120	-0.270	1	1	4.0	3.0
4	-0.170	-0.230	2	2	5.0	4.0
5	-0.230	-0.180	2	2	6.0	5.0
6	-0.090	-0.050	2	2	7.0	6.0
7	-0.090	0.050	2	2	8.0	7.1
8	-0.230	0.180	2	2	9.0	8.0
9	-0.180	0.230	2	2	10.0	9.0
10	-0.110	0.270	1	1	11.0	10.0
11	-0.040	0.290	1	1	12.0	11.0
12	0.000	0.490	1	1	13.0	12.0
13	0.450	0.000	3	3	14.0	13.1
14	0.400	0.000	3	3	15.0	14.0
15	0.450	0.000	3	3	1.1	15.0

Gewicht der Konstruktion G = 56 kg

BELASTUNG Nr. 1 Lastfall: g+p

STABLASTEN						
Art:		1=Einzellast (kN)		3=Voll-Trapezlast (kN/m)		
Richtung:		2=Einzelmomen(kNm)		4=Teil-Trapezlast (kN/m)		
		1=horizontal		bezogen auf Projektionen H, L		
		2=vertikal		bezogen auf Stablänge		
		3=längs				
		4=quer				
Stab	Art	Richtung	p1	p2	Abstand a	Länge b
1	3	1	29.980	33.950		
2	3	1	27.750	29.980		
3	3	1	25.610	27.750		
4	3	1	23.770	25.610		
5	3	1	22.350	23.770		
6	3	1	21.980	22.350		
7	3	1	-22.350	-21.980		
8	3	1	-23.770	-22.350		
9	3	1	-25.610	-23.770		
10	3	1	-27.750	-25.610		
11	3	1	-29.980	-27.750		
12	3	1	-33.950	-29.980		
2	3	2	52.340	52.340		
3	3	2	52.340	52.340		
4	3	2	52.340	52.340		
5	3	2	52.340	52.340		
6	3	2	52.340	52.340		
7	3	2	52.340	52.340		
8	3	2	52.340	52.340		
9	3	2	52.340	52.340		
10	3	2	52.340	52.340		
11	3	2	52.340	52.340		

mb-Viewer Version 2020 - Copyright 2019 - mb-AEC Software GmbH



13	3	2	-52.340	-52.340
14	3	2	-52.340	-52.340
15	3	2	-52.340	-52.340

Summe aller äußeren Lasten(kN)		
Gesamt	Fx	Fz
	0.000	0.000

Maximale Verschiebung im Stab 3 bei x = 0.875 * L Max_f = 0.32 cm

SCHNITTGRÖSSEN			Th. 1.Ord.	Lastfall 1 : g+p	
Stab Nr.	Q Nr.	Knoten Nr.	Q (kN)	N (kN)	M (kNm)
1	1	2	-0.76	-33.76	-3.27
		.50	6.56	-33.76	-2.57
2	1	1	14.54	-33.76	0.00
		3	-4.25	-32.61	-3.20
		.50	-0.28	-33.09	-3.53
		2	3.86	-33.54	-3.27
3	1	4	-3.66	-29.70	-3.38
		.50	0.60	-31.13	-3.61
	1	3	4.97	-32.51	-3.20
		5	-7.00	-26.01	-2.78
4	2	.50	-2.11	-27.93	-3.43
		4	2.86	-29.79	-3.38
5	2	6	-11.84	-22.78	-1.08
		.50	-5.84	-24.88	-2.37
	2	5	0.20	-26.93	-2.78
		7	-12.79	-23.03	0.00
6	2	.50	-10.46	-23.69	-0.60
		6	-8.13	-24.35	-1.08
7	2	8	8.14	-24.34	-1.08
		.50	10.47	-23.69	-0.60
	2	7	12.80	-23.02	0.00
		9	-0.19	-26.92	-2.78
8	2	.50	5.85	-24.87	-2.37
		8	11.85	-22.77	-1.08
9	2	10	-3.99	-30.10	-3.13
		.50	1.19	-28.17	-3.33
	2	9	6.28	-26.18	-2.78
		11	-3.96	-32.66	-3.20
10	1	.50	0.28	-31.37	-3.47
		10	4.41	-30.04	-3.12
11	1	12	-3.87	-33.55	-3.27
		.50	0.27	-33.10	-3.53
	1	11	4.24	-32.62	-3.20
		13	-14.54	-33.76	0.00
12	1	.50	-6.57	-33.76	-2.57
		12	0.75	-33.76	-3.27
13	3	14	9.82	-14.54	-9.67
		.50	21.34	-14.54	-6.18



	3	13	33.76	-14.54	0.00
14	3	15	-9.82	-14.54	-9.67
		.50	0.00	-14.54	-10.65
	3	14	9.82	-14.54	-9.67
15	3	1	-33.76	-14.54	0.00
		.50	-21.35	-14.54	-6.18
	3	15	-9.83	-14.54	-9.67

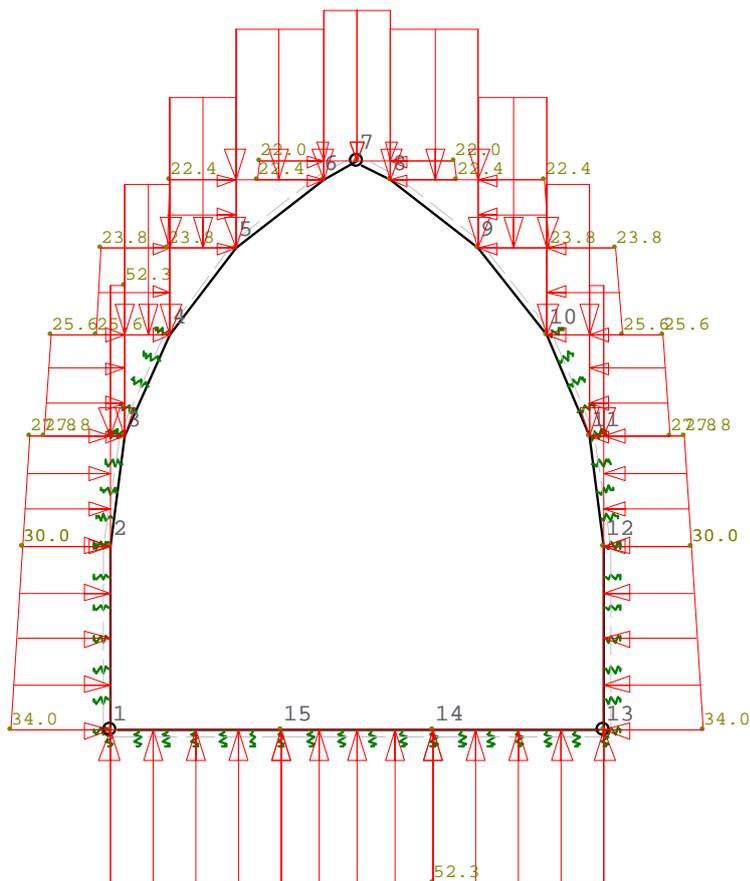
SCHNITTGRÖSSEN+SPANNUNGEN			Th. 1.Ord.			Lastfall 1 : g+p				Eta
Stab Nr.	Q Nr.	Knoten Nr.	Q (kN)	N (kN)	M (kNm)	SigmaZ (SigmaD N/mm2	Tau	SigmaV)	
zulässig S355						327	327	189	327	
1	1	2	-0.8	-33.8	-3.3	64	-128	2	128	0.39*
		0.500	6.6	-33.8	-2.6	44	-107	18	108	0.33
1	1	1	14.5	-33.8	0.0	0	-32	39	74	0.23
2	1	3	-4.2	-32.6	-3.2	63	-125	11	125	0.38
		0.500	-0.3	-33.1	-3.5	73	-135	1	135	0.41*
2	1	2	3.9	-33.5	-3.3	65	-128	10	128	0.39
3	1	4	-3.7	-29.7	-3.4	71	-127	10	127	0.39
		0.500	0.6	-31.1	-3.6	77	-135	2	135	0.41*
3	1	3	5.0	-32.5	-3.2	63	-125	13	125	0.38
4	2	5	-7.0	-26.0	-2.8	57	-106	19	107	0.33
		0.500	-2.1	-27.9	-3.4	75	-127	6	127	0.39
4	2	4	2.9	-29.8	-3.4	71	-127	8	128	0.39*
5	2	6	-11.8	-22.8	-1.1	10	-53	32	65	0.20
		0.500	-5.8	-24.9	-2.4	46	-93	16	93	0.29
5	2	5	0.2	-26.9	-2.8	56	-107	1	107	0.33*
6	2	7	-12.8	-23.0	0.0	0	-22	34	63	0.19*
		0.500	-10.5	-23.7	-0.6	0	-40	28	54	0.17
6	2	6	-8.1	-24.3	-1.1	9	-55	22	57	0.17
7	2	8	8.1	-24.3	-1.1	9	-55	22	57	0.17
		0.500	10.5	-23.7	-0.6	0	-40	28	54	0.17
7	2	7	12.8	-23.0	0.0	0	-22	34	63	0.19*
8	2	9	-0.2	-26.9	-2.8	56	-107	1	107	0.33*
		0.500	5.8	-24.9	-2.4	46	-93	16	93	0.29
8	2	8	11.8	-22.8	-1.1	10	-53	32	65	0.20
9	2	10	-4.0	-30.1	-3.1	64	-120	11	120	0.37
		0.500	1.2	-28.2	-3.3	71	-125	3	125	0.38*
9	2	9	6.3	-26.2	-2.8	57	-107	17	107	0.33
10	1	11	-4.0	-32.7	-3.2	63	-125	11	125	0.38
		0.500	0.3	-31.4	-3.5	72	-132	1	132	0.40*
10	1	10	4.4	-30.0	-3.1	64	-120	12	120	0.37
11	1	12	-3.9	-33.6	-3.3	65	-128	10	128	0.39
		0.500	0.3	-33.1	-3.5	73	-135	1	135	0.41*
11	1	11	4.2	-32.6	-3.2	63	-125	11	125	0.38
12	1	13	-14.5	-33.8	0.0	0	-32	39	74	0.23
		0.500	-6.6	-33.8	-2.6	44	-108	18	108	0.33
12	1	12	0.7	-33.8	-3.3	64	-128	2	128	0.39*
13	3	14	9.8	-14.5	-9.7	102	-113	19	113	0.35*
		0.500	21.3	-14.5	-6.2	63	-74	41	81	0.25
13	3	13	33.8	-14.5	0.0	0	-6	65	113	0.35
14	3	15	-9.8	-14.5	-9.7	102	-113	19	113	0.35
		0.500	0.0	-14.5	-10.7	113	-124	0	124	0.38*
14	3	14	9.8	-14.5	-9.7	102	-113	19	113	0.35



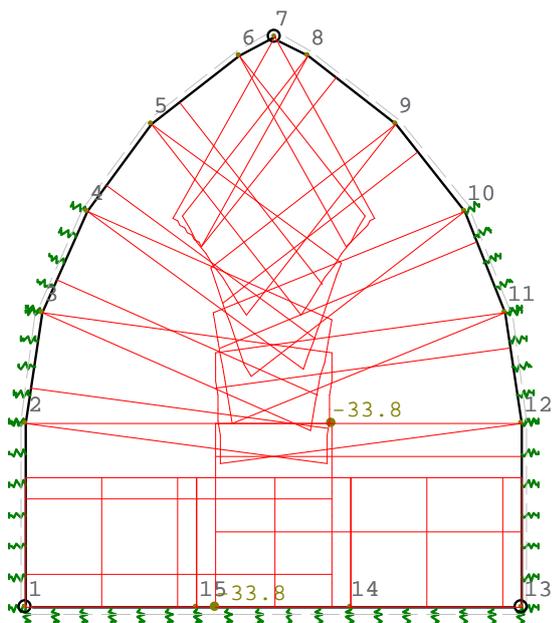
15	3	1	-33.8	-14.5	0.0	0	-6	65	113	0.35	
			0.500	-21.3	-14.5	-6.2	63	-74	41	81	0.25
15	3	15	-9.8	-14.5	-9.7	102	-113	19	113	0.35*	

VERSCHIEBUNGEN Knoten Nr.	Th. 1.Ord. Verschiebung u (cm)	Lastfall 1 : g+p Verschiebung v (cm)	Verdrehung r
1	-0.00115	0.11786	0.00611
1.1			-0.00491
2	0.24063	0.12530	0.00301
3	0.28642	0.13600	0.00020
4	0.25129	0.12491	-0.00270
5	0.15561	0.05865	-0.00536
6	0.03820	-0.08607	-0.00717
7	0.00084	-0.15108	-0.00734
7.1			0.00728
8	-0.03622	-0.08663	0.00711
9	-0.15249	0.05664	0.00529
10	-0.24683	0.12578	0.00267
11	-0.28343	0.13625	-0.00008
12	-0.24093	0.12600	-0.00290
13	-0.00461	0.11856	-0.00600
13.1			0.00492
14	-0.00341	-0.05866	0.00219
15	-0.00234	-0.05887	-0.00218

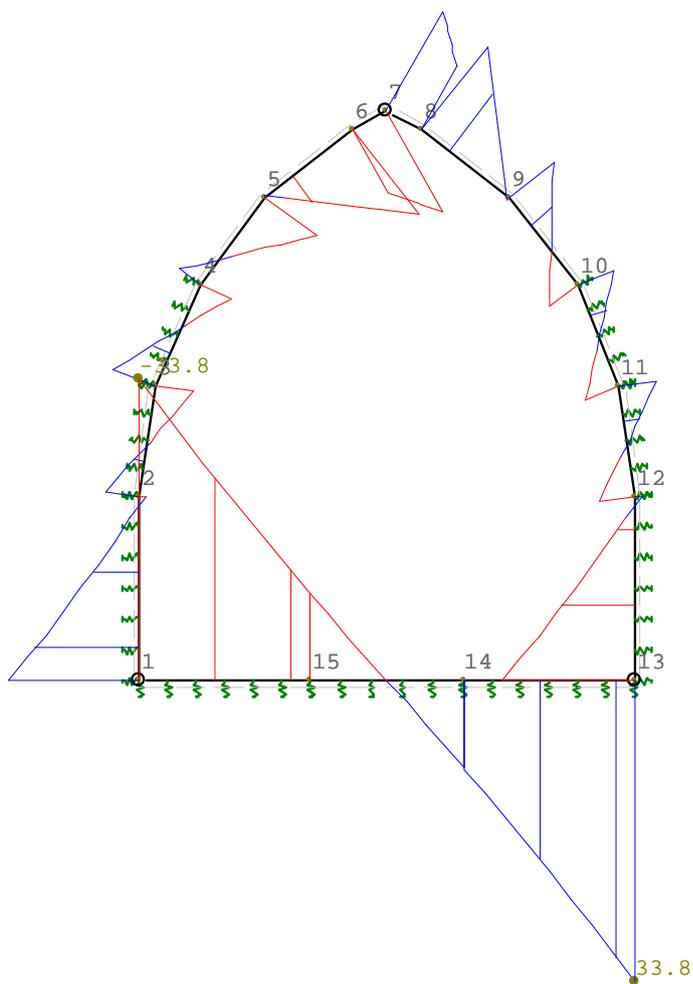
Belastung Lastfall Nr. 1 M 1 : 20



Normalkraft (kN) Lastfall Nr. 1 Th.1.Ord. M 1 : 20

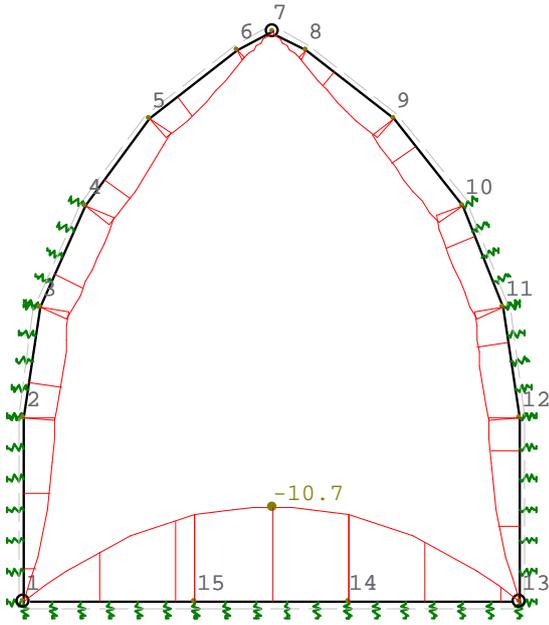


Querkraft (kN) Lastfall Nr. 1 Th.1.Ord. M 1 : 20

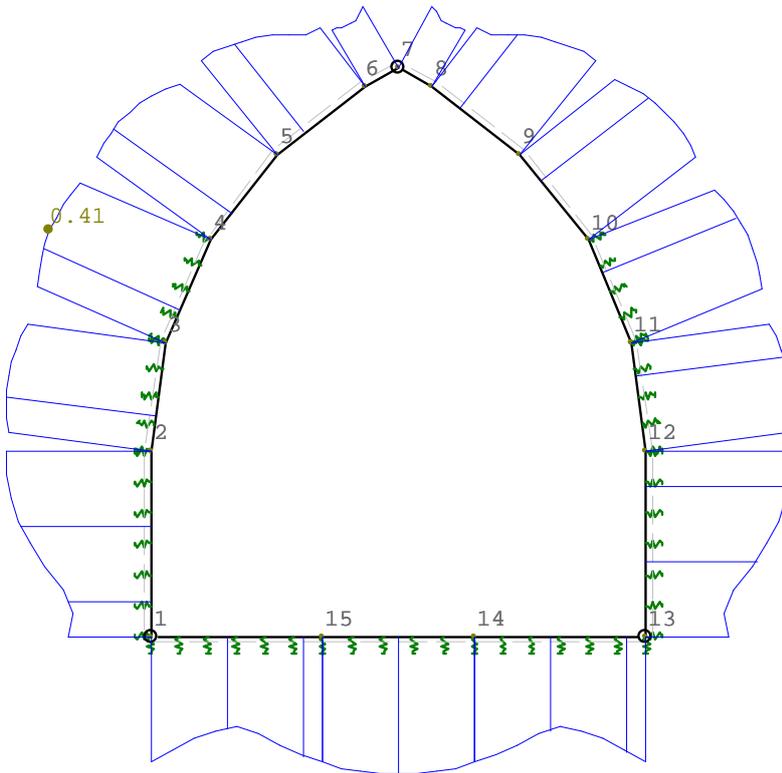


Momente (kNm) Lastfall Nr. 1 Th.1.Ord. M 1 : 20

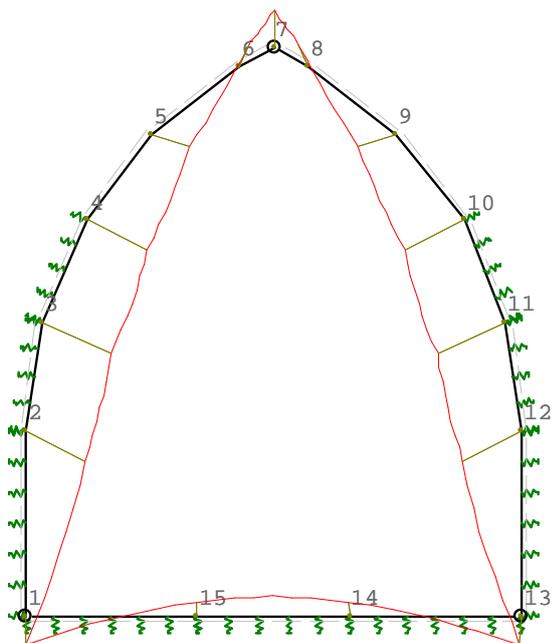
mb-Viewer - Version 2020 - Copyright 2019 - mb AEC Software GmbH



Spannungen Eta Lastfall Nr. 1 Th.1.Ord. M 1 : 20



Verschiebung (cm) Lastfall Nr. 1 Th.1.Ord. M 1 : 20



mb-Viewer Version 2020 - Copyright 2019 - mb AEC Software GmbH



Zur Anwendung kommen Gitterträger mit den Abmessungen
lt. Zeichnung (Siehe nächste Seiten).

Stahlgüte St 52-2

Streckgrenze 360 N/mm^2

Zugfestigkeit 510 N/mm^2

Zul. Spannungen nach DIN 4124

Baugruben und Gräben:

HZ: St 52 Zug- und Biegedruck: $Z, D = 270 \text{ N/mm}^2$

H: St 52 Zug- und Biegedruck: $Z, D = 240 \text{ N/mm}^2$

Die vorgenannten Spannungen nach DIN 4124 werden für die Bemessung zugrundegelegt.

A) Stabdurchmesser:

Gurte: $\varnothing 20$ und $\varnothing 25 \text{ mm}$

Aussteifungen, Diagonalen: $\varnothing 10 \text{ mm}$

B) Geometrie:

$$W_x = 30,20 \text{ cm}^2$$

$$W_y = 23,80 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 169 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 131 \text{ cm}^4$$

$$F_{\text{ges.}} = 11,19 \text{ cm}^2$$

$$a = 35 \text{ Grad}$$

$$b = 31,6 \text{ Grad}$$

$$i_1 = \sqrt{(I/F)} = \sqrt{(1,92/4,91)} = 0,63 \text{ cm}$$

$$i_2 = \sqrt{(I/F)} = \sqrt{(0,70/3,14)} = 0,50 \text{ cm}$$



Gurte:

$$ds = 25 \text{ mm} \quad i_1 = 0,63 \text{ cm}$$

$$ds = 20 \text{ mm} \quad i_2 = 0,50 \text{ cm}$$

C) Schnittgrößen:

$$M = 3,60 \text{ kNm}$$

$$\text{zugeh. } N = 31,10 \text{ kN}$$

Nachweis:

- 1) Knicken aus der Rahmenebene ausgeschlossen
da Rahmen durchgehend anliegt.

$$\max. = 31,1/11,19 + 360/30,20 = 14,70 \text{ kN/cm}^2$$

$$< \text{ zul} = 24,00 \text{ kN/cm}^2$$

- 2) Knicken um die y-Achse:

$$i_y = \sqrt{(130,67/11,19)} = 3,42$$

$$\text{Knicklänge} = 1,55 \text{ m}$$

$$\text{Schlankheit Träger } \lambda_y = 155/3,42 = 45,32$$

$$\gg \lambda = 1,23$$

Spannung:

$$= -1,23 * 33,80/11,19 = -3,72 < \text{ zul.}$$



3) Nachweis der Diagonalen, $d_s = 10 \text{ mm}$

$$\alpha_1 = 35 \text{ Grad}$$

$$\alpha_2 = 31,6 \text{ Grad}$$

angenommene Querkraft $Q = 14,50 \text{ kN}$

$$D = Z = q/2 / (\sin. 35 \text{ Grad} * \cos. 31,6 \text{ Grad}) = 14,84 \text{ kN}$$

Länge Diagonale:

$$l_D = \sqrt{(8,02 + 4,52 + (7,0/2)^2)} = 9,34 \text{ cm}$$

Knicklänge nach Resinger (Acer-Stahl-Steel 27, 1962)

(siehe auch nächste Seiten)

$$s_k = 0,54 \quad l_D = 0,54 * 9,34 = 5,04 \text{ cm}$$

$$= s_k/i = 5,04 / 0,25 = 20,16 \gg 1,06$$

$$D = W * D/F_{diag} = 1,06 * 14,84/0,79 = 19,91 \text{ kN/cm}^2$$

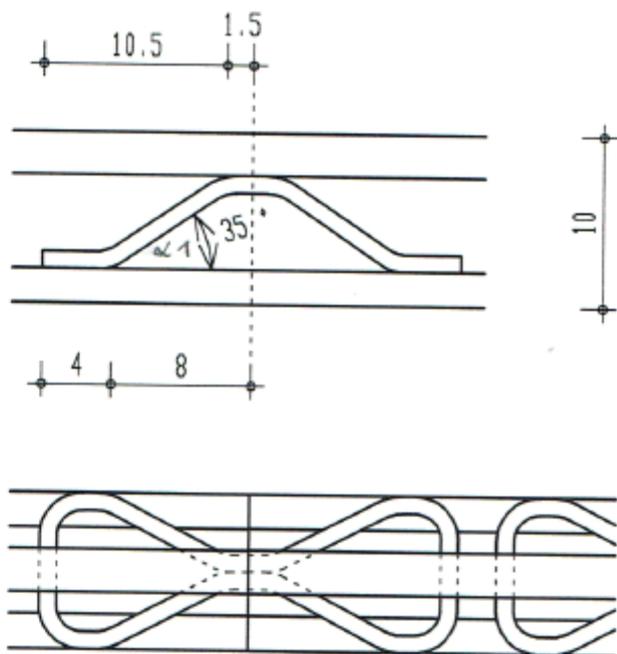
< zul.

Nebenrechnung:

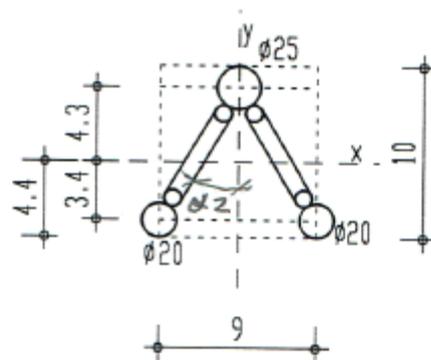
$$F_{diag} = 1,06^2 / 4 = 0,79 \text{ cm}^2$$

$$I = 0,54^4 / 4 = 0,049 \text{ cm}^4$$

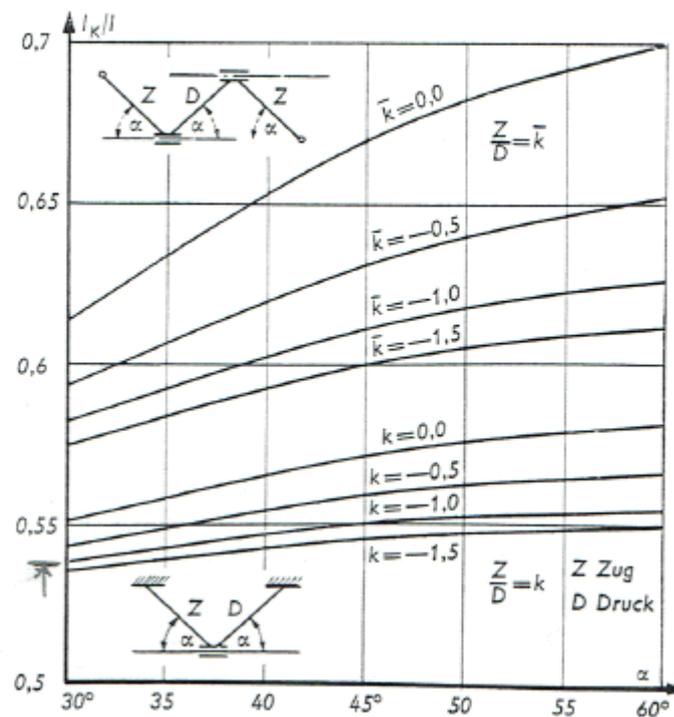
$$i = \sqrt{(0,049/0,79)} = 0,25$$



QUERSCHNITTSWERTE DES GITTERTRÄGERS



Knicklänge für das Knicken aus der Fachwerkebene in Abhängigkeit vom Neigungswinkel und vom Stabkraftverhältnis



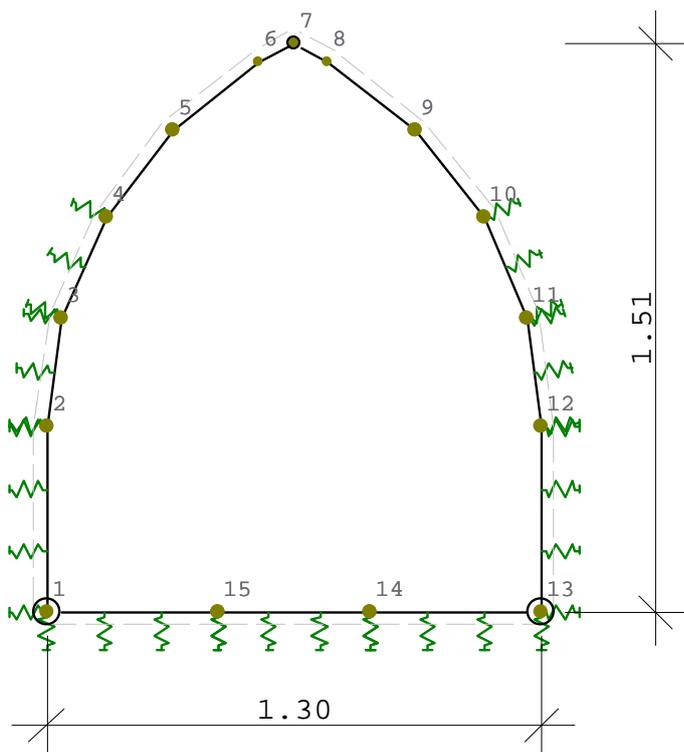
gewählt: Oberer Rahmen als Gitterträger gemäß Berechnung,
 alternativ als I-Profil I100
 Untere Schwelle 2 Stück HEB 100 nebeneinander.

Pos. 2 Tunnelrahmen

Für die Berechnung des geplanten Tunnelrahmens wird ein Profil I100 und eine untere Schwelle aus 2 Stck. HEB 100 gewählt.

Diese Berechnung kann auch für die Bemessung eines Gitterrahmens gemäß Anlage verwendet werden, da das Widerstandsmoment dem des Gitterrahmens annähernd entspricht.

System M 1 : 20



BAUSTOFF :	S355	E-Modul	E =	21000 kN/cm ²	T M F €
		spez. Gewicht	:	7.85 kg/dm ³	

QUERSCHNITTSWERTE								
Quersch. Nr.	Mat	Name	I (cm ⁴)	A (cm ²)	A _q (cm ²)	h (cm)	W _o (cm ³)	W _u (cm ³)
1	1	I100	170.0	10.6	4.22	10.0	34.1	34.1
2	1	I100	170.0	10.6	4.22	10.0	34.1	34.1
3	1	HE100B	450.0	26.0	5.80	10.0	89.9	89.9

Querschnitt Nr.	1	KB I =5.600E-2	(kN/cm ²)	KB II =0.000E+0	(kN/cm ²)
Querschnitt Nr.	3	KB I =4.400E-1	(kN/cm ²)	KB II =0.000E+0	(kN/cm ²)

PLASTISCHE SCHNITTGRÖßEN						
Nr	Mat	NPI (kN)	Mply (kNm)	Qplz (kN)	Mplz (kNm)	Qply (kN)
1	1	381.6	14.3	87.2	2.9	141.3
2	1	381.6	14.3	87.2	2.9	141.3



3	1	936.0	37.5	112.2	18.5	415.7
---	---	-------	------	-------	------	-------

SYSTEM Stab Nr.	Projektionen		Querschnitt		Knoten	
	Lx (m)	Lz (m)	Q1	Q2	Ende 1	Ende 2
1	0.000	-0.490	1	1	2.0	1.0
2	-0.040	-0.290	1	1	3.0	2.0
3	-0.120	-0.270	1	1	4.0	3.0
4	-0.170	-0.230	2	2	5.0	4.0
5	-0.230	-0.180	2	2	6.0	5.0
6	-0.090	-0.050	2	2	7.0	6.0
7	-0.090	0.050	2	2	8.0	7.1
8	-0.230	0.180	2	2	9.0	8.0
9	-0.180	0.230	2	2	10.0	9.0
10	-0.110	0.270	1	1	11.0	10.0
11	-0.040	0.290	1	1	12.0	11.0
12	0.000	0.490	1	1	13.0	12.0
13	0.450	0.000	3	3	14.0	13.1
14	0.400	0.000	3	3	15.0	14.0
15	0.450	0.000	3	3	1.1	15.0

Gewicht der Konstruktion	G=	56 kg
--------------------------	----	-------

BELASTUNG Nr. 1	Lastfall: g+p
-----------------	---------------

STABLASTEN						
Art:		1=Einzellast (kN)		3=Voll-Trapezlast (kN/m)		
Richtung:		2=Einzelmomen(kNm)		4=Teil-Trapezlast (kN/m)		
Stab		1=horizontal		bezogen auf Projektionen H, L		
Art		2=vertikal		bezogen auf Stablänge		
Richtung		3=längs		Abstand a		
		4=quer		Länge b		
Stab	Art	Richtung	p1	p2	Abstand a	Länge b
1	3	1	27.170	30.810		
2	3	1	25.130	27.170		
3	3	1	23.170	25.130		
4	3	1	21.480	23.170		
5	3	1	20.180	21.480		
6	3	1	19.840	20.180		
7	3	1	-20.180	-19.840		
8	3	1	-21.480	-20.180		
9	3	1	-23.170	-21.480		
10	3	1	-25.130	-23.170		
11	3	1	-27.170	-25.130		
12	3	1	-30.810	-27.170		
2	3	2	44.850	44.850		
3	3	2	44.850	44.850		
4	3	2	44.850	44.850		
5	3	2	44.850	44.850		
6	3	2	44.850	44.850		
7	3	2	44.850	44.850		
8	3	2	44.850	44.850		
9	3	2	44.850	44.850		
10	3	2	44.850	44.850		

mb-Viewer Version 2020 - Copyright 2019 - mb-AEC Software GmbH



11	3	2	44.850	44.850
13	3	2	-44.850	-44.850
14	3	2	-44.850	-44.850
15	3	2	-44.850	-44.850

Summe aller äußeren Lasten(kN)		
Gesamt	Fx	Fz
	0.000	0.000

Maximale Verschiebung im Stab 3 bei x = 1.00 * L Max_f = 0.30 cm

SCHNITTGRÖSSEN			Th. 1.Ord.	Lastfall 1 : g+p		
Stab Nr.	Q Nr.	Knoten Nr.	Q (kN)	N (kN)	M (kNm)	
1	1	2	-0.34	-28.91	-3.13	
		.50	6.28	-28.91	-2.41	
2	1	1	13.51	-28.91	0.00	
		3	-3.71	-27.94	-3.10	
		.50	-0.13	-28.32	-3.38	
		1	2	3.61	-28.68	-3.13
3	1	4	-3.48	-25.60	-3.19	
		.50	0.30	-26.77	-3.43	
		1	3	4.19	-27.87	-3.10
		4	2	5	-6.52	-22.67
		.50	-2.23	-24.24	-3.19	
		2	4	2.14	-25.75	-3.19
5	2	6	-10.66	-20.18	-0.97	
		.50	-5.46	-21.91	-2.14	
		2	5	-0.23	-23.59	-2.56
		6	2	7	-11.39	-20.52
		.50	-9.38	-21.06	-0.53	
		2	6	-7.38	-21.60	-0.97
7	2	8	7.39	-21.60	-0.97	
		.50	9.39	-21.05	-0.54	
		2	7	11.40	-20.51	0.00
		8	2	9	0.24	-23.58
		.50	5.47	-21.90	-2.15	
		2	8	10.67	-20.18	-0.97
9	2	10	-3.12	-26.03	-2.98	
		.50	1.43	-24.46	-3.10	
		2	9	5.90	-22.83	-2.56
		10	1	11	-3.32	-28.00
		.50	0.46	-26.96	-3.31	
		1	10	4.13	-25.88	-2.97
11	1	12	-3.62	-28.69	-3.13	
		.50	0.12	-28.33	-3.38	
		1	11	3.70	-27.95	-3.10
		12	1	13	-13.52	-28.91
		.50	-6.29	-28.91	-2.41	
		1	12	0.33	-28.91	-3.13
13	3	14	8.41	-13.52	-8.28	



	.50	18.27	-13.52	-5.29	
3	13	28.91	-13.52	0.00	
14	3	15	-8.41	-13.52	-8.28
	.50	0.00	-13.52	-9.12	
3	14	8.41	-13.52	-8.28	
15	3	1	-28.91	-13.52	0.00
	.50	-18.28	-13.52	-5.29	
3	15	-8.42	-13.52	-8.28	

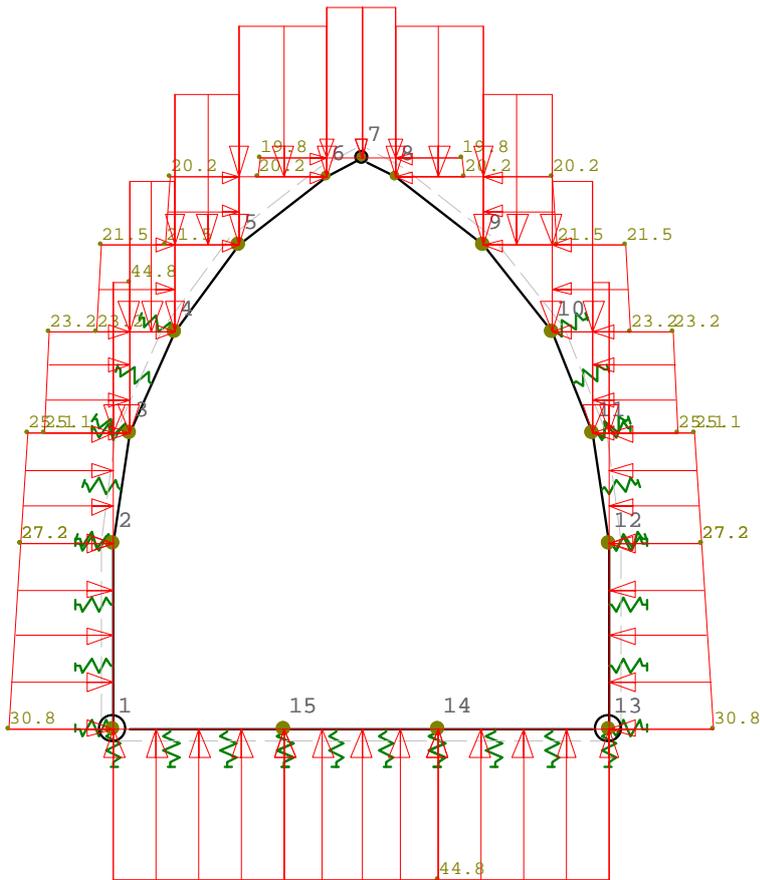
SCHNITTGRÖSSEN+SPANNUNGEN				Th. 1.Ord.		Lastfall 1 : g+p				Eta
Stab	Q	Knoten	Q	N	M	SigmaZ	SigmaD	Tau	SigmaV	
Nr.	Nr.	Nr.	(kN)	(kN)	(kNm)	(N/mm2))	
zulässig S355						327	327	189	327	
1	1	2	-0.3	-28.9	-3.1	65	-119	1	119	0.36*
		0.500	6.3	-28.9	-2.4	44	-98	17	99	0.30
1	1	1	13.5	-28.9	0.0	0	-27	36	68	0.21
2	1	3	-3.7	-27.9	-3.1	65	-117	10	118	0.36
		0.500	-0.1	-28.3	-3.4	73	-126	0	126	0.39*
2	1	2	3.6	-28.7	-3.1	65	-119	10	119	0.36
3	1	4	-3.5	-25.6	-3.2	70	-118	9	118	0.36
		0.500	0.3	-26.8	-3.4	76	-126	1	126	0.39*
3	1	3	4.2	-27.9	-3.1	65	-117	11	118	0.36
4	2	5	-6.5	-22.7	-2.6	54	-97	17	97	0.30
		0.500	-2.2	-24.2	-3.2	71	-117	6	117	0.36
4	2	4	2.1	-25.7	-3.2	70	-118	6	118	0.36*
5	2	6	-10.7	-20.2	-1.0	9	-47	28	58	0.18
		0.500	-5.5	-21.9	-2.1	42	-84	15	84	0.26
5	2	5	-0.2	-23.6	-2.6	53	-98	1	98	0.30*
6	2	7	-11.4	-20.5	0.0	0	-19	30	56	0.17*
		0.500	-9.4	-21.1	-0.5	0	-36	25	48	0.15
6	2	6	-7.4	-21.6	-1.0	8	-49	20	51	0.16
7	2	8	7.4	-21.6	-1.0	8	-49	20	51	0.16
		0.500	9.4	-21.1	-0.5	0	-36	25	48	0.15
7	2	7	11.4	-20.5	0.0	0	-19	30	56	0.17*
8	2	9	0.2	-23.6	-2.6	53	-98	1	98	0.30*
		0.500	5.5	-21.9	-2.1	42	-84	15	84	0.26
8	2	8	10.7	-20.2	-1.0	9	-47	28	58	0.18
9	2	10	-3.1	-26.0	-3.0	63	-112	8	112	0.34
		0.500	1.4	-24.5	-3.1	68	-114	4	114	0.35*
9	2	9	5.9	-22.8	-2.6	54	-97	16	97	0.30
10	1	11	-3.3	-28.0	-3.1	65	-118	9	118	0.36
		0.500	0.5	-27.0	-3.3	72	-123	1	123	0.38*
10	1	10	4.1	-25.9	-3.0	63	-112	11	112	0.34
11	1	12	-3.6	-28.7	-3.1	65	-119	10	119	0.36
		0.500	0.1	-28.3	-3.4	73	-126	0	126	0.39*
11	1	11	3.7	-27.9	-3.1	65	-118	10	118	0.36
12	1	13	-13.5	-28.9	0.0	0	-27	36	68	0.21
		0.500	-6.3	-28.9	-2.4	44	-98	17	99	0.30
12	1	12	0.3	-28.9	-3.1	65	-119	1	119	0.36*
13	3	14	8.4	-13.5	-8.3	87	-97	16	98	0.30*
		0.500	18.3	-13.5	-5.3	54	-64	35	70	0.21
13	3	13	28.9	-13.5	0.0	0	-5	56	97	0.30
14	3	15	-8.4	-13.5	-8.3	87	-97	16	97	0.30
		0.500	0.0	-13.5	-9.1	96	-107	0	107	0.33*



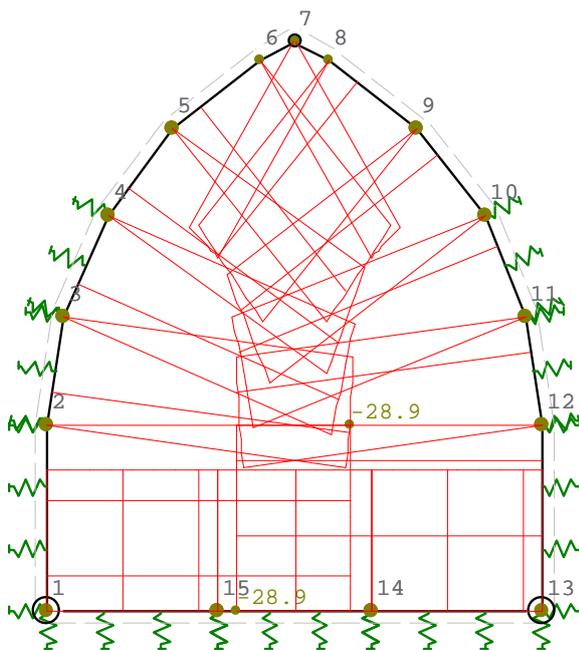
14	3	14	8.4	-13.5	-8.3	87	-97	16	98	0.30
15	3	1	-28.9	-13.5	0.0	0	-5	56	97	0.30
		0.500	-18.3	-13.5	-5.3	54	-64	35	70	0.21
15	3	15	-8.4	-13.5	-8.3	87	-97	16	98	0.30*

VERSCHIEBUNGEN		Th. 1.Ord.	Lastfall 1 : g+p	
Knoten		Verschiebung u	Verschiebung v	Verdrehung r
Nr.		(cm)	(cm)	
1		-0.00078	0.10017	0.00578
	1.1			-0.00420
2		0.22824	0.10653	0.00286
3		0.27137	0.11624	0.00016
4		0.23709	0.10489	-0.00260
5		0.14601	0.04144	-0.00507
6		0.03564	-0.09493	-0.00672
7		0.00069	-0.15583	-0.00687
	7.1			0.00682
8		-0.03400	-0.09541	0.00667
9		-0.14337	0.03969	0.00502
10		-0.23325	0.10595	0.00257
11		-0.26871	0.11659	-0.00006
12		-0.22839	0.10726	-0.00276
13		-0.00399	0.10090	-0.00569
	13.1			0.00421
14		-0.00288	-0.05091	0.00188
15		-0.00189	-0.05113	-0.00187

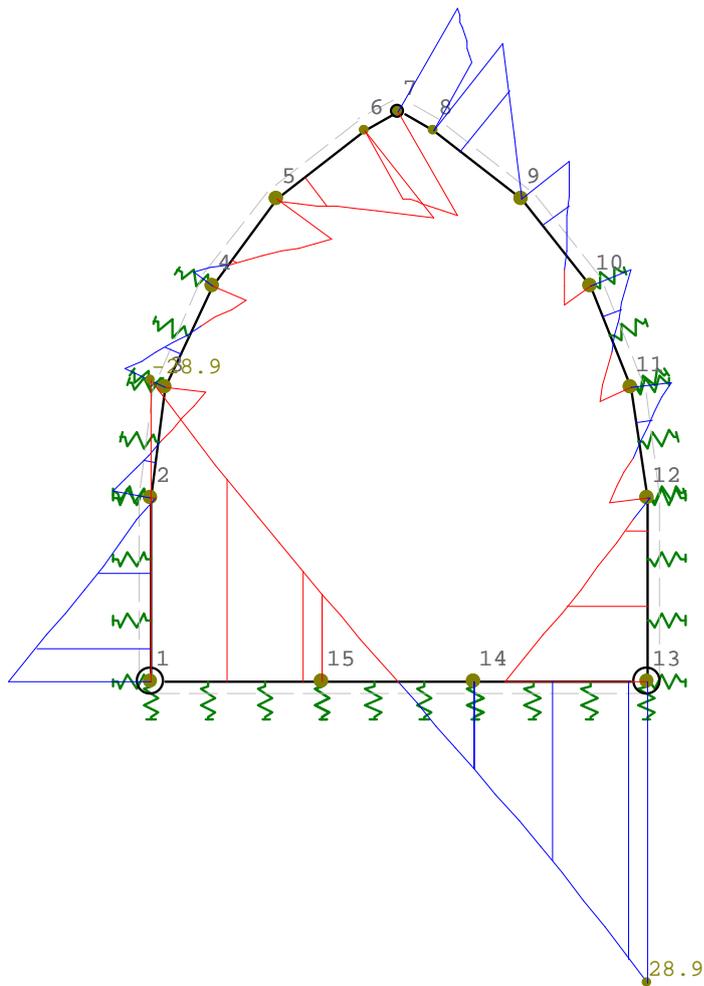
Belastung Lastfall Nr. 1 M 1 : 20



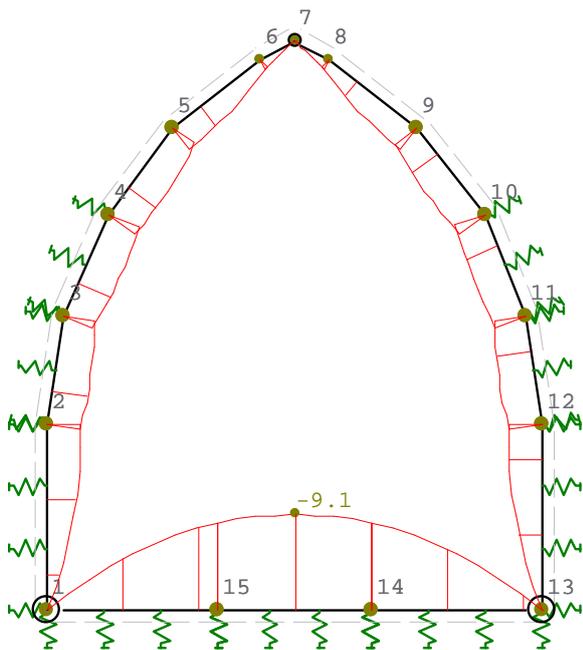
Normalkraft (kN) Lastfall Nr. 1 Th.1.Ord. M 1 : 20



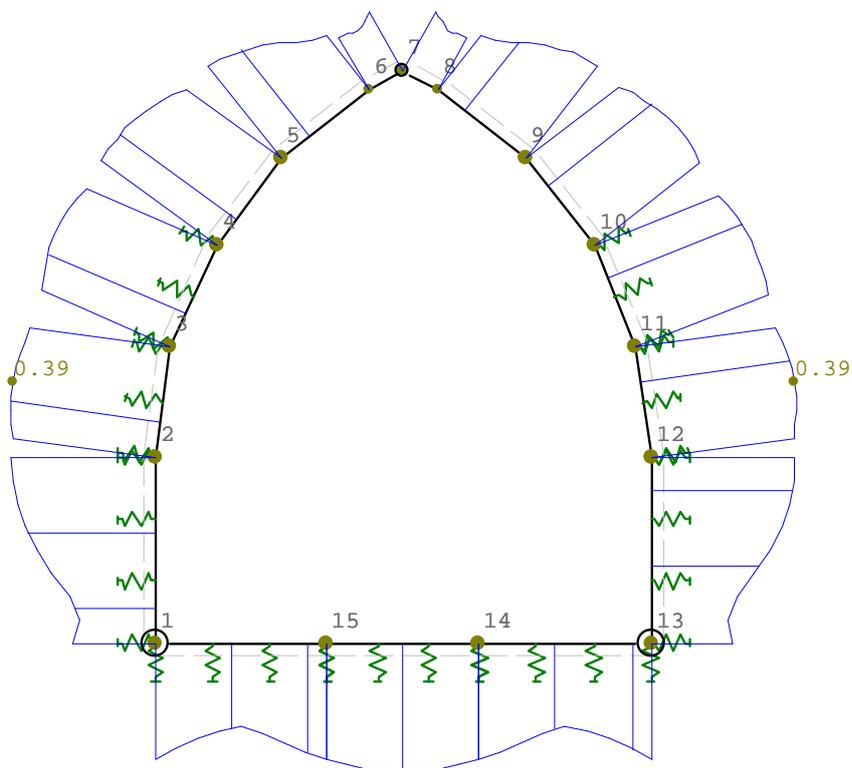
Querkraft (kN) Lastfall Nr. 1 Th.1.Ord. M 1 : 20



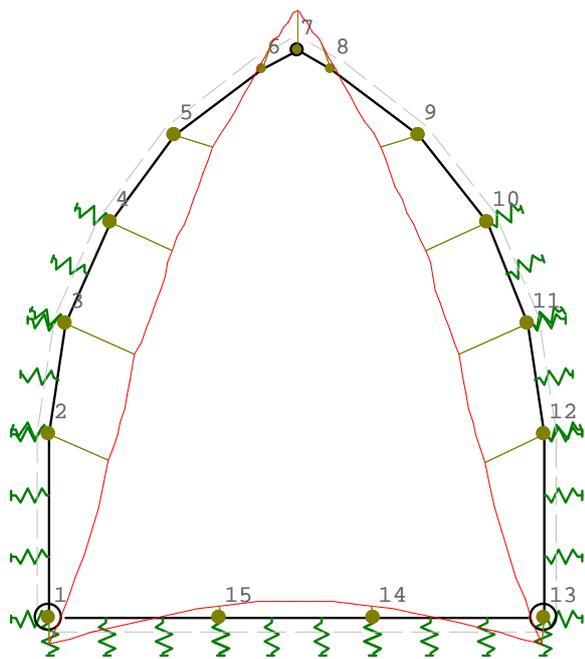
Momente (kNm) Lastfall Nr. 1 Th.1.Ord. M 1 : 20



Spannungen Eta Lastfall Nr. 1 Th.1.Ord. M 1 : 20



Verschiebung (cm) Lastfall Nr. 1 Th.1.Ord. M 1 : 20



mb-Viewer Version 2020 - Copyright 2019 - mb AEC Software GmbH



Zur Anwendung kommen Gitterträger mit den Abmessungen
lt. Zeichnung (Siehe nächste Seiten).

Stahlgüte St 52-2

Streckgrenze 360 N/mm^2

Zugfestigkeit 510 N/mm^2

Zul. Spannungen nach DIN 4124

Baugruben und Gräben:

HZ: St 52 Zug- und Biegedruck: $Z, D = 270 \text{ N/mm}^2$

H: St 52 Zug- und Biegedruck: $Z, D = 240 \text{ N/mm}^2$

Die vorgenannten Spannungen nach DIN 4124 werden für die Bemessung zugrundegelegt.

A) Stabdurchmesser:

Gurte: $\varnothing 20$ und $\varnothing 25 \text{ mm}$

Aussteifungen, Diagonalen: $\varnothing 10 \text{ mm}$

B) Geometrie:

$$W_x = 30,20 \text{ cm}^2$$

$$W_y = 23,80 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 169 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 131 \text{ cm}^4$$

$$F_{\text{ges.}} = 11,19 \text{ cm}^2$$

$$a = 35 \text{ Grad}$$

$$b = 31,6 \text{ Grad}$$

$$i_1 = \sqrt{(I/F)} = \sqrt{(1,92/4,91)} = 0,63 \text{ cm}$$

$$i_2 = \sqrt{(I/F)} = \sqrt{(0,70/3,14)} = 0,50 \text{ cm}$$



Gurte:

$$\begin{aligned} ds &= 25 \text{ mm} & i_1 &= 0,63 \text{ cm} \\ ds &= 20 \text{ mm} & i_2 &= 0,50 \text{ cm} \end{aligned}$$

C) Schnittgrößen:

$$\begin{aligned} M &= 3,40 \text{ kNm} \\ \text{zugeh. } N &= 28,30 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nachweis:

1) Knicken aus der Rahmenebene ausgeschlossen
da Rahmen durchgehend anliegt.

$$\begin{aligned} \text{max.} &= 28,30/11,19 + 340/30,20 = 13,79 \text{ kN/cm}^2 \\ &< \text{zul} = 24,00 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

2) Knicken um die y-Achse:

$$i_y = \sqrt{(130,67/11,19)} = 3,42$$

$$\text{Knicklänge} = 1,55 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Schlankheit Träger } \lambda_y &= 155/3,42 = 45,32 \\ &\gg \lambda_{\text{zul}} = 1,23 \end{aligned}$$

Spannung:

$$= -1,23 \cdot 28,70/11,19 = -3,15 < \text{zul.}$$



3) Nachweis der Diagonalen, $d_s = 10 \text{ mm}$

$$\alpha_1 = 35 \text{ Grad}$$

$$\alpha_2 = 31,6 \text{ Grad}$$

angenommene Querkraft $Q = 13,50 \text{ kN}$

$$D = Z = q/2 / (\sin. 35 \text{ Grad} * \cos. 31,6 \text{ Grad}) = 13,82 \text{ kN}$$

Länge Diagonale:

$$l_D = \sqrt{(8,02 + 4,52 + (7,0/2)^2)} = 9,34 \text{ cm}$$

Knicklänge nach Resinger (Acer-Stahl-Steel 27, 1962)

(siehe auch nächste Seiten)

$$sk = 0,54 \quad l_D = 0,54 * 9,34 = 5,04 \text{ cm}$$

$$= sk/i = 5,04 / 0,25 = 20,16 \gg 1,06$$

$$D = W * D/F_{diag} = 1,06 * 13,82/0,79 = 18,54 \text{ kN/cm}^2$$

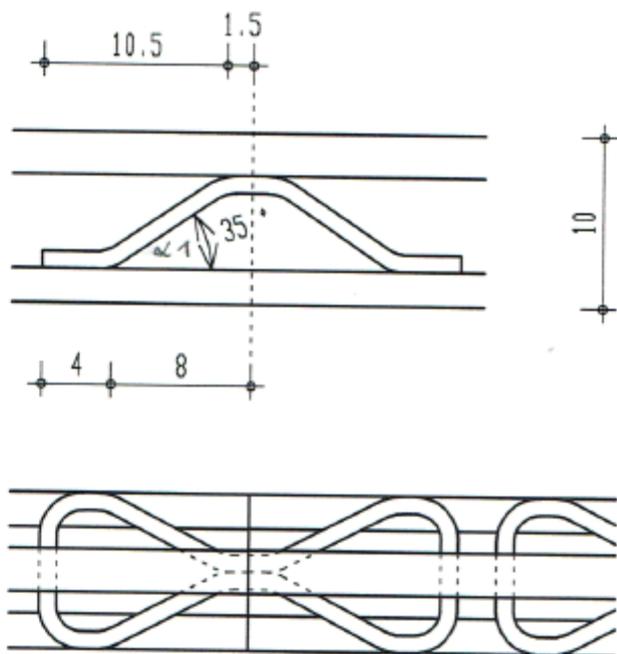
< zul.

Nebenrechnung:

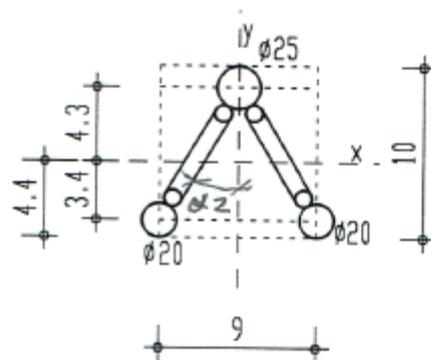
$$F_{diag} = 1,06^2 / 4 = 0,79 \text{ cm}^2$$

$$I = 0,54^4 / 4 = 0,049 \text{ cm}^4$$

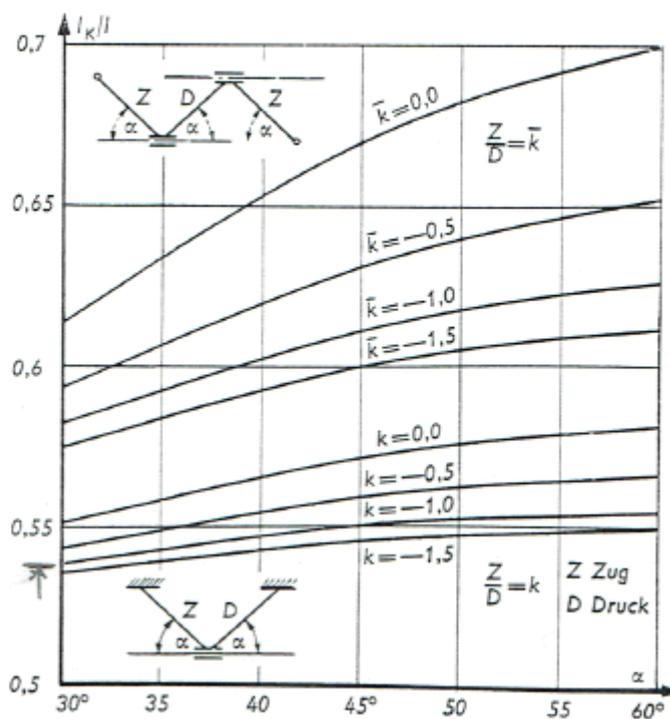
$$i = \sqrt{(0,049/0,79)} = 0,25$$



QUERSCHNITTSWERTE DES GITTERTRÄGERS



Knicklänge für das Knicken aus der Fachwerkebene in Abhängigkeit vom Neigungswinkel und vom Stabkraftverhältnis



gewählt: Oberer Rahmen als Gitterträger gemäß Berechnung,
 alternativ als I-Profil I100
 Untere Schwelle 2 Stück HEB 100 nebeneinander.

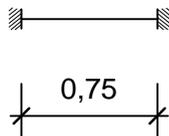
Pos. 3 Verzugsbleche

1) Firstverbau:

Last aus Erdreich: 52,34 kN/m² (aus Pos.1)

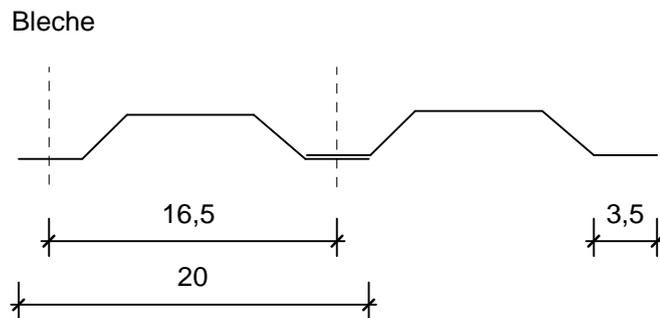
Da die Bleche gegen die Ausbaubögen verkeilt werden, und sich zudem um ca. 20 cm überlappen kann die dadurch erzielte Teileinspannung mit ~ 0,75 m angesetzt werden.

System:



für $L = 0,75$ m

$$MF = 52,34 \cdot 0,75^2 / 8 = 3,68 \text{ kNm/m}$$



$$n_{\text{Bleche/m}} = 100 / 16,5 = 6,06 \text{ Stck}$$

Gewählt: Bleche $t = 3$ mm

$$W_x \text{ vorh.} = 6,06 \cdot 5,32 = 32,24 \text{ cm}^3$$

$$\text{max.} = 368 / 32,24 = 11,41 \text{ kN/cm}^2 < \text{zul.}$$



2) Seitenverbau:

Last angenommen: 34,00 kN/m²

System und Abstand wie vor.

$$MF = 34,00 * 0,75^2 / 8 = 2,39 \text{ kNm/m}$$

Gewählt: Bleche t = 3 mm

$$W_x \text{ vorh.} = 6,06 * 5,32 = 32,24 \text{ cm}^3$$

$$\text{max.} = 239 / 32,24 = 7,41 \text{ kN/cm}^2 < \text{zul.}$$



Nachweise :

Material = S 235

$f_u = 360,00 \text{ N/mm}^2$

$g_{M2} = 1,250 [-]$

Schrauben: M20 - 4.6 ($\Delta, d = 1,0 \text{ mm}$, $d_L = 21,0 \text{ mm}$, $d_S = 20,0 \text{ mm}$)

Schaft in der Scherfuge

- Abscheren

$F_{v,Rd} = 60,29 \text{ kN}$ ($\alpha, v = 0,60$) ---> Ausnutzung: $0,23 \leq 1,00$

- Lochleibung

$F_{b,Rd} = 69,60 \text{ kN}$ ($\alpha, b = 0,483 / k_1 = 2,500$) ---> Ausnutzung: $0,20 \leq 1,00$

gewählt: 2 Schrauben M20



Pos. 6 Längsaussteifung

Der Schacht ist durch die Verkeilung der Verzugsbleche gegen das anstehende Erdreich, in Längsrichtung ausreichend aussteift.

Pos. 7 Ortsbrust

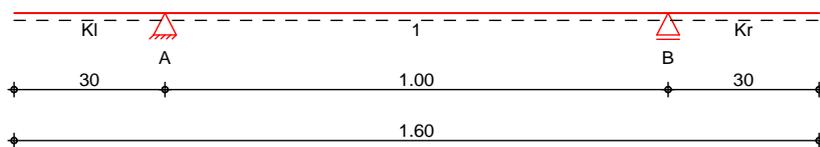
Belastung der Ortsbrust aus Erdreich und Verkehr
 siehe Zusammenstellung Pos.1.

$$(21,98+33,95)/2 = 27,97 \text{ kN/m}^2$$

Es wird, auf der sicheren Seite liegend eine Gleichlast von 30,00 kN/m² angesetzt.

System Holz-Einfeldträger mit Kragarmen

M 1:15



Abmessungen /
Nutzungsklassen

Feld	l [m]	l _{ef,m} [m]	NKL
KI	0.30	0.30	1
1	1.00	0.70	1
Kr	0.30	0.30	1

Auflager

Aufl.	x [m]	b [cm]	Transl. [kN/m]	Rotat. [kNm/rad]
A	0.30	20.00	starr	frei
B	1.30	20.00	starr	frei

Material

NH C24

Querschnitt

b/h = 100/6 cm

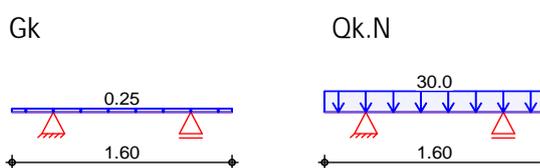
Belastungen

Belastungen auf das System

Grafik

Belastungsgrafiken (einwirkungsbezogen)

Einwirkungen



Streckenlasten
in z-Richtung

Gleichlasten

Einw. *G_k*

Einw. *Q_{k,N}*

Feld	Komm.	a [m]	s [m]	Q _{li} [kN/m]	Q _{re} [kN/m]
KI	Eigengew	0.00	1.60		0.25
KI	Erddruck	0.00	1.60		30.00

Kombinationen

Kombinationsbildung nach DIN EN 1990
 Darstellung der maßgebenden Kombinationen



	Ek	KLED	(* *EW)	
ständig/vorüberg.	2	mi	1.35*Gk	+1.50*Qk.N (Kl)
	4	mi	1.35*Gk	+1.50*Qk.N (Kl,1)
	7	mi	1.35*Gk	+1.50*Qk.N (1)
	9	mi	1.35*Gk	+1.50*Qk.N (1,Kr)
selten	15		1.00*Gk	+1.00*Qk.N (Kl,Kr)
	16		1.00*Gk	+1.00*Qk.N (1)
quasi-ständig	17		1.00*Gk	+0.30*Qk.N (Kl,Kr)
	18		1.00*Gk	+0.30*Qk.N (1)

mi: mittel

Mat./Querschnitt nach DIN EN 1995-1-1

Materialien	Holz	$f_{m,k}$	f_{t0k}	f_{c0k}	f_{c90k}	f_{vk}	E_{0mean}
				[N/mm ²]			
	NH C24	24.0	14.5	21.0	2.5	4.0	11000

Querschnittswerte	b	h	A	I _y
	[cm]	[cm]	[cm ²]	[cm ⁴]
	100.0	6.0	600.0	1800.0

Auflagerkräfte Charakteristische Auflagerkräfte

Char. Auflagerkr.

	Aufl.	$F_{z,k,min}$	$F_{z,k,max}$
		[kN]	[kN]
Einw. <i>GK</i>	A	0.20	0.20
	B	0.20	0.20
Einw. <i>Qk,N</i>	A	-1.35	25.35
	B	-1.35	25.35

Zusammenfassung Zusammenfassung der Nachweise

Nachweise (GZT) Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Nachweis	Feld/Auflager	x		
		[m]		[-]
Biegung	Feld 1	0.50	OK	0.64
Querkraft	Feld 1	0.84	OK	0.35
Auflagerpressung	Auflager A		OK	0.10

Nachweise (GZG) Nachweise im Grenzzust. der Gebrauchstauglichkeit

Nachweis	Feld	x		
		[m]		[-]
Anfangsdurchbieg.	Feld 1	0.50	OK	0.59



Nachweis	Feld	x [m]		
gesamte Enddurchb.	Feld 1	0.50	OK	0.29

gewählt: Holzbohlen $d/b = 6/30$ cm
Abstützung mit senkrechten Kanthölzern 8/8 cm, welche
wiederum mit Metallspindeln gegen die Ausbaubögen abgestützt werden.

Mespelbrunn, den 23.07.2020

Klaus Nebel
Dipl.Ing.(FH)