

Berechnungen nach Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127, 3. Auflage, August 2000

Projekt: Deponie Albeck DK0
 DN 500 Secutec PE 100 RC
 EINBAU GRABEN
 Bauherr: Eckle Bauunternehmung Langenau
 Statik-Nr: AlbeckDN500Graben
 Datum: 09/2021
 Bearbeiter: Fr

Überdeckung bis 32 m mit $W = 18 \text{ kN/m}^3 \rightarrow 0,58 \text{ N/mm}^2$




Stempel

Unterschrift

Eingabewerte:

Sicherheiten

Sicherheitsklasse:	A (Regelfall)
zulässige Verformung:	6% (Regelfall)
Behandlung von Innendruck:	volle Überlagerung mit Außenbelastung (ATV A127)
kleinere Biegedruck-Sicherheiten:	ja (ATV M127, nur bei PE-HD zulässig)
Nachweis der Sicherheit gegen Versagen bei nicht vorwiegend ruhender Belastung:	nicht erforderlich
Vorverformung Typ A:	$\delta_{v,TypA}$ 1,00 %
lokale Vorverformung:	$\delta_{v,lokal}$ 0,00 %

Rohr

Bezeichnung:	PKS plus 34 -11.1 Secutec
Innendurchmesser:	d_i 500,0 mm
Profilbreite:	b 78,00 mm
Profilhöhe:	h 55,00 mm
Profilfläche:	A_{rad} 28,90 mm^2/mm
Trägheitsmoment:	J 11.077,70 mm^4/mm
Trägheitsabstand:	e 27,20 mm
Äquivalente Wandstärke:	s_a 51,00 mm
Widerstandsmoment (innen):	W_i 407,50 mm^3/mm
Widerstandsmoment (außen):	W_a 398,20 mm^3/mm
Flächenverhältnis Kappa Q:	κ_Q 1,74 [1]

Rohr-Material

Materialklasse: Thermoplast
 Bezeichnung: Borealis PE100

Wichte Werkstoff:	γ_R	9,58	kN/m ³
Querkontraktionszahl:	ν	0,38	[1]
Kurzzeit-E-Modul:	E_K	1.203,00	N/mm ²
Langzeit-E-Modul:	E_{L0}	208,00	N/mm ²
Füllmedium:	Sickerwasser DK0		
Abminderungsfaktor Medieneinfluß:	A_{Medium}	1,00	[1]
Grenzspannung Biegezug, Kurzzeit:	$\sigma_{BZ,K}$	29,90	N/mm ²
Grenzspannung Biegedruck, Kurzzeit:	$\sigma_{BD,K}$	49,90	N/mm ²
Grenzspannung Biegezug, Langzeit:	$\sigma_{BZ,L}$	19,30	N/mm ²
Grenzspannung Biegedruck, Langzeit:	$\sigma_{BD,L}$	32,20	N/mm ²

Boden

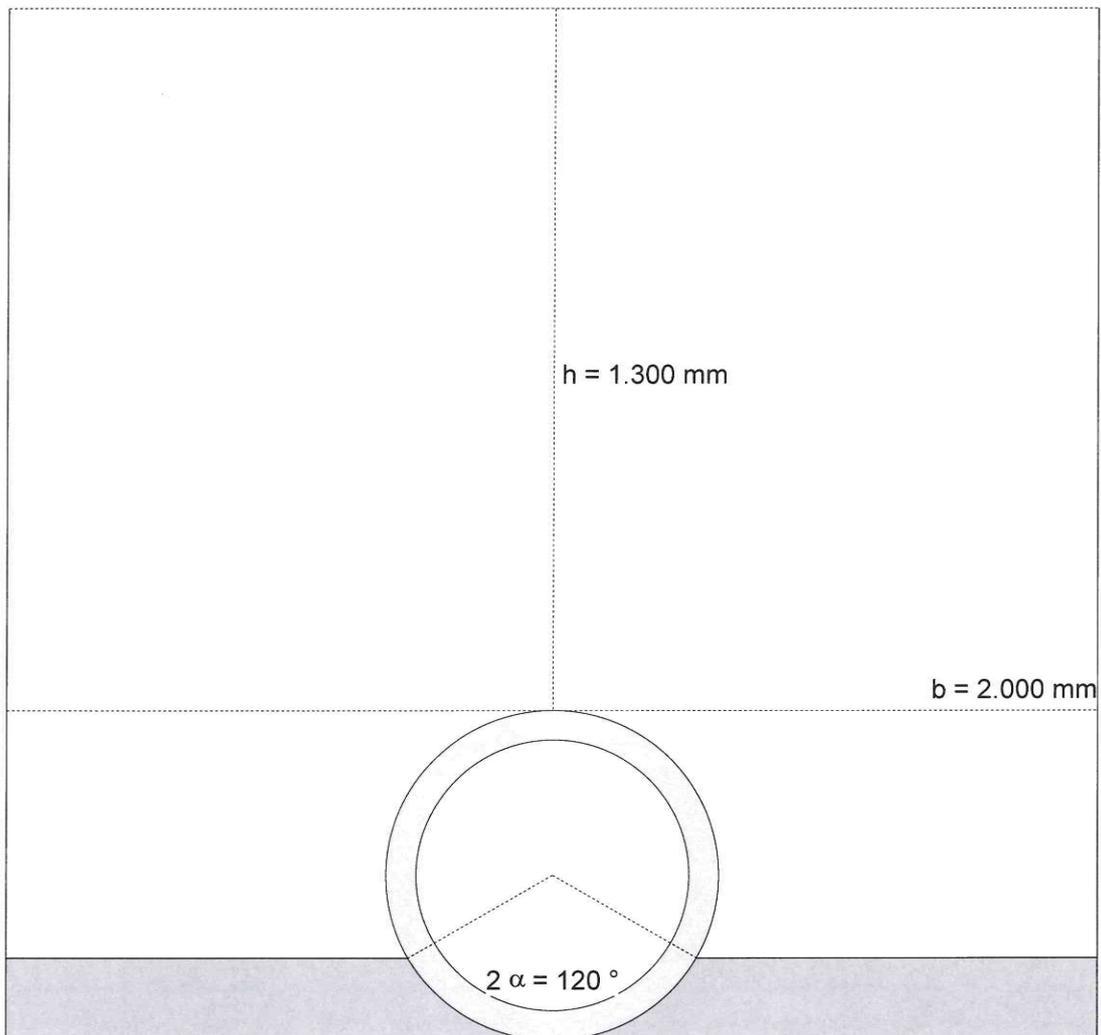
E1: Verfüllung:	Bodengruppe: G1		
Proctordichte:	D_{PR1}	99,0	%
E20: Leitungszone:	Bodengruppe: G1		
Proctordichte:	D_{PR2}	99,0	%
E3: anstehender Boden:	Bodengruppe: G3		
Proctordichte:	D_{PR3}	97,0	%
E4: unter Graben::	Bodengruppe: G2		
E-Modul:	E_4	20,00	N/mm ²

Einbau

Grabenbreite:	b	2.000	mm
Böschungswinkel:	β	90,00	°
Überschüttungsbedingung:	A1		
Einbettungsbedingung:	B1		
Auflagerart:	lose		
Relative Ausladung:	a	1,00	[1]
Auflagerwinkel:	120°		

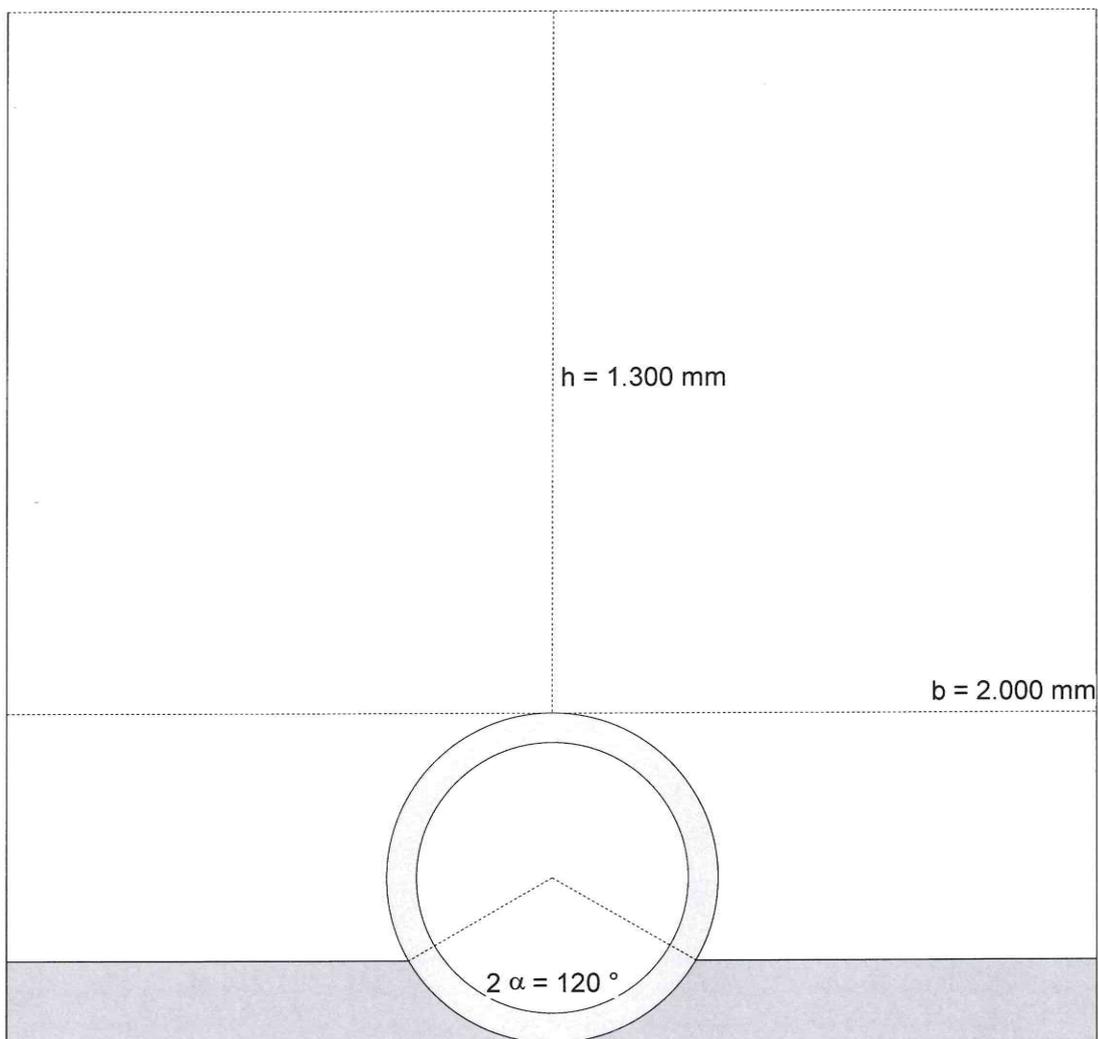
Lastfall-Kombination 1

Bezeichnung:	Stelle mit maximaler Überdeckung
Überdeckungshöhe:	h 1.300 mm
Wichte des Bodens:	γ 20,00 kN/m ³
zusätzliche Flächenlast:	P_0 0,58 N/mm ²
maximaler Grundwasserstand über Sohle:	$h_{W,max}$ 0 mm
minimaler Grundwasserstand über Sohle:	$h_{W,min}$ 0 mm
Innendruck:	P_I 0,00 bar
Wasserfüllung (z.B. Staukanal)	Nein
Verkehrslast:	kein Verkehr



Lastfall-Kombination 2

Bezeichnung:	Stelle mit minimaler Überdeckung		
Überdeckungshöhe:	h	1.300	mm
Wichte des Bodens:	γ	20,00	kN/m ³
zusätzliche Flächenlast:	P ₀	0,00	N/mm ²
maximaler Grundwasserstand über Sohle:	h _{W,max}	0	mm
minimaler Grundwasserstand über Sohle:	h _{W,min}	0	mm
Innendruck:	P _I	0,00	bar
Wasserfüllung (z.B. Staukanal)	Nein		
Verkehrslast:	SLW 60		



Profilkennwerte:

Eingaben:

Bezeichnung:	PKS plus 34 -11.1 Secutec		
Innendurchmesser:	d_i	500,0	mm
Profilbreite:	b	78,00	mm
Profilhöhe:	h	55,00	mm
Profilfläche:	A_{rad}	28,90	mm ² /mm
Trägheitsmoment:	J	11.077,70	mm ⁴ /mm
Trägheitsabstand:	e	27,20	mm
Äquivalente Wandstärke:	s_a	51,00	mm
Widerstandsmoment (innen):	W_i	407,50	mm ³ /mm
Widerstandsmoment (außen):	W_a	398,20	mm ³ /mm
Flächenverhältnis Kappa Q:	κ_Q	1,74	[1]

Ergebnisse:

Profilbreite	b	78,00	mm
Profilhöhe	h	55,00	mm
Profilfläche	A_{rad}	28,90	mm ² /mm
Axial wirksame Profilfläche	A_{ax}	24,00	mm ² /mm
Trägheitsmoment	J	11.077,70	mm ⁴ /mm
Trägheitsabstand	e	27,20	mm
Äquivalente Wandstärke	s_a	51,00	mm
Widerstandsmoment (innen)	W_i	407,50	mm ³ /mm
Widerstandsmoment (außen)	W_a	398,20	mm ³ /mm
Flächenverhältnis Kappa Q	κ_Q	1,74	[1]

Zwischenergebnisse für Lastfall 1

Bezeichnung: Stelle mit maximaler Überdeckung

Rohrgeometrie:

Radius der Schwerachse der Rohrwand:	r_m	277,2	mm
Korrekturfaktor für die Krümmung, innen:	α_{ki}	1,066	[1]
Korrekturfaktor für die Krümmung, außen:	α_{ka}	0,934	[1]

Silotheorie:

Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie):	κ	1,000	[1]
Erdlastbeiwert κ_0 für Grabenlast (Silotheorie):	κ_0	1,000	[1]

κ_0 und κ wurden zu 1 gesetzt, da E_1 größer E_3 ist.

Belastung:

Grundwasserstand über Scheitel:	h_W	0	mm
Spannung aufgrund Erdlast:	P_{Erd}	26,00	kN/m ²
Spannung aufgrund Erd- und Flächenlast:	P_E	606,00	kN/m ²
Spannung aufgrund Verkehrslast:	P_V	0,00	kN/m ²

Verformungsmoduln E_B :

E-Modul Verfüllung unter Last:	$E_{1,\sigma}$	81,59	N/mm ²
E-Modul Einbettung unter Last:	$E_{20,\sigma}$	81,59	N/mm ²
Reduktionsfaktor für das Kriechen:	f_1	1,000	[1]
Abminderungsfaktor E_{20} (Grundwasser):	f_2	1,000	[1]
Abminderungsfaktor E_{20} (enger Graben):	α_B	0,920	[1]
E-Modul Einbettung (abgemindert) unter Last:	$E_{2,\sigma}$	75,05	N/mm ²
E-Modul anstehender Boden unter Last:	$E_{3,\sigma}$	10,88	N/mm ²
E-Modul Boden unter dem Rohr unter Last:	$E_{4,\sigma}$	20,00	N/mm ²

Bodensteifigkeiten:

Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	0,515	[1]
horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	23,180	N/mm ²
vertikale Bettungssteifigkeit:	S_{Bv}	75,053	N/mm ²

Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel:

Auflagerwinkel:	2α	120	°
wirksame Ausladung:	a'	1,087	[1]
innerer Reibungswinkel:	ϕ'	25,000	[1]
Wandreibungswinkel:	δ	16,667	[1]

Kurzzeit: alle Lasten	Langzeit: Erdlasten, Verkehrslasten	Langzeit: sonstige Lasten
--------------------------	---	---------------------------------

Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit:

E-Modul Rohrwerkstoff:	E_R	1.203,0	208,0	208,0	N/mm ²
Grenzspannung Biegezug:	σ_{BZ}	29,9	19,3	19,3	N/mm ²
Grenzspannung Biegedruck:	σ_{BD}	49,9	32,2	32,2	N/mm ²
Ringsteifigkeit des Rohres:	S_0	78,207	13,522	13,522	kN/m ²

Steifigkeitsverhältnisse:

Systemsteifigkeit:	V_{RB}	0,0270	0,0047	0,0047	[1]
Steifigkeitsverhältnis:	V_S	0,2279	0,0786	---	[1]

Beiwerte:

Erdruckbeiwert (Einbettung):	K_2	0,400	0,400	---	[1]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck:	K^*	0,944	1,210	---	[1]
Beiwert für vertikale Verformung:	c_v^*	-0,0366	-0,0183	---	[1]

Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B :

Maximaler Konzentrationsfaktor:	$\max \lambda$	1,067	1,067	---	[1]
Beiwert K':	K'	0,654	0,322	---	[1]
Startwert:	λ_R	0,848	0,583	---	[1]
unter Grabeneinfluß:	λ_{RG}	0,885	0,683	---	[1]
oberer Grenzwert:	λ_{fo}	3,805	3,805	---	[1]
unterer Grenzwert:	λ_{fu}	0,634	0,634	---	[1]
endgültiger Wert:	λ_{RG}	0,885	0,683	---	[1]
Konzentrationsfaktor Boden:	λ_B	1,051	1,139	---	[1]

Druckverteilung am Rohrumfang:

vertikale Gesamtlast:	q_v	536,06	414,16	---	kN/m ²
Seitendruck:	q_h	257,12	278,52	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Erdlasten):	q_{*h}	266,01	167,92	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung):	q_{*hw}	0,00	0,00	---	kN/m ²

Zwischenergebnisse für Lastfall 2

Bezeichnung: Stelle mit minimaler Überdeckung

Rohrgeometrie:

Radius der Schwerachse der Rohrwand:	r_m	277,2	mm
Korrekturfaktor für die Krümmung, innen:	α_{ki}	1,066	[1]
Korrekturfaktor für die Krümmung, außen:	α_{ka}	0,934	[1]

Silotheorie:

Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie):	κ	1,000	[1]
Erdlastbeiwert κ_0 für Grabenlast (Silotheorie):	κ_0	1,000	[1]

κ_0 und κ wurden zu 1 gesetzt, da E_1 größer E_3 ist.

Belastung:

Grundwasserstand über Scheitel:	h_W	0	mm
Spannung aufgrund Erdlast:	P_{Erd}	26,00	kN/m ²
Spannung aufgrund Erd- und Flächenlast:	P_E	26,00	kN/m ²
Spannung aufgrund Verkehrslast:	P_V	41,27	kN/m ²

Verformungsmoduln E_B :

E-Modul Verfüllung unter Last:	$E_{1,\sigma}$	33,14	N/mm ²
E-Modul Einbettung unter Last:	$E_{20,\sigma}$	33,14	N/mm ²
Reduktionsfaktor für das Kriechen:	f_1	1,000	[1]
Abminderungsfaktor E_{20} (Grundwasser):	f_2	1,000	[1]
Abminderungsfaktor E_{20} (enger Graben):	α_B	0,920	[1]
E-Modul Einbettung (abgemindert) unter Last:	$E_{2,\sigma}$	30,49	N/mm ²
E-Modul anstehender Boden unter Last:	$E_{3,\sigma}$	7,59	N/mm ²
E-Modul Boden unter dem Rohr unter Last:	$E_{4,\sigma}$	20,00	N/mm ²

Bodensteifigkeiten:

Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	0,675	[1]
horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	12,340	N/mm ²
vertikale Bettungssteifigkeit:	S_{Bv}	30,488	N/mm ²

Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel:

Auflagerwinkel:	2α	120	°
wirksame Ausladung:	a'	1,087	[1]
innerer Reibungswinkel:	ϕ'	25,000	[1]
Wandreibungswinkel:	δ	16,667	[1]

Kurzzeit: alle Lasten	Langzeit: Erdlasten, Verkehrslasten	Langzeit: sonstige Lasten
--------------------------	---	---------------------------------

Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit:

E-Modul Rohrwerkstoff:	E_R	1.203,0	818,4	208,0	N/mm ²
Grenzspannung Biegezug:	σ_{BZ}	29,9	25,8	19,3	N/mm ²
Grenzspannung Biegedruck:	σ_{BD}	49,9	43,1	32,2	N/mm ²
Ringsteifigkeit des Rohres:	S_0	78,207	53,205	13,522	kN/m ²

Steifigkeitsverhältnisse:

Systemsteifigkeit:	V_{RB}	0,0507	0,0345	0,0088	[1]
Steifigkeitsverhältnis:	V_S	0,4203	0,3403	---	[1]

Beiwerte:

Erdruckbeiwert (Einbettung):	K_2	0,400	0,400	---	[1]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck:	K^*	0,765	0,879	---	[1]
Beiwert für vertikale Verformung:	c_v^*	-0,0488	-0,0410	---	[1]

Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B :

Maximaler Konzentrationsfaktor:	$\max \lambda$	1,137	1,137	---	[1]
Beiwert K' :	K'	0,738	0,691	---	[1]
Startwert:	λ_R	0,890	0,846	---	[1]
unter Grabeneinfluß:	λ_{RG}	0,916	0,883	---	[1]
oberer Grenzwert:	λ_{fo}	3,805	3,805	---	[1]
unterer Grenzwert:	λ_{fu}	0,634	0,634	---	[1]
endgültiger Wert:	λ_{RG}	0,916	0,883	---	[1]
Konzentrationsfaktor Boden:	λ_B	1,037	1,051	---	[1]

Druckverteilung am Rohrumfang:

vertikale Gesamtlast:	q_v	65,09	64,23	---	kN/m ²
Seitendruck:	q_h	13,22	13,37	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Erdlasten):	q^*_h	39,80	44,83	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung):	q^*_{hw}	0,00	0,00	---	kN/m ²

Schnittkräfte für Lastfall 1, Scheitel

		Kurzzeit	Langzeit	
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung:	M_{qv}	10,751	8,306	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck:	M_{qh}	-4,939	-5,350	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck:	M^*_{qh}	-3,700	-2,335	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung):	M^*_{qw}	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht:	M_g	0,008	0,008	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung:	M_w	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck:	M_{pw}	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Momente:	ΣM	2,120	0,628	kNm/m
Summe der Momente aufgrund Erd- und Verkehrslasten:	$\Sigma_{M_{qv,qh,qh^*}}$	2,112	0,620	kNm/m
Summe der Momente anderer Lasten:	$\Sigma_{M_{sonst}}$	0,008	0,008	kNm/m
Summe ohne Wasserfüllung und Druck:	$\Sigma M'$	2,120	0,628	kNm/m
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung:	N_{qv}	4,012	3,100	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck:	N_{qh}	-71,273	-77,205	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck:	N^*_{qh}	-42,546	-26,857	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüll.):	N^*_{qw}	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht:	N_g	0,019	0,019	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung:	N_w	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck:	N_{pw}	0,000	0,000	kN/m
Summe der Normalkräfte:	ΣN	-109,788	-100,943	kN/m
Summe der Normalkräfte aufgrund Erd- und Verkehrsl.::	$\Sigma_{N_{qv,qh,qh^*}}$	-109,807	-100,962	kN/m
Summe der Normalkräfte anderer Lasten:	$\Sigma_{N_{sonst}}$	0,019	0,019	kN/m
Summe ohne Wasserfüllung und Druck:	$\Sigma N'$	-109,788	-100,943	kN/m

Schnittkräfte für Lastfall 1, Kämpfer

		Kurzzeit	Langzeit	
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung:	M_{qv}	-10,916	-8,433	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck:	M_{qh}	4,939	5,350	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck:	M^*_{qh}	4,251	2,684	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung):	M^*_{qw}	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht:	M_g	-0,009	-0,009	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung:	M_w	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck:	M_{pw}	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Momente:	ΣM	-1,734	-0,409	kNm/m
Summe der Momente aufgrund Erd- und Verkehrslasten:	$\Sigma_{M_{qv,qh,qh^*}}$	-1,725	-0,399	kNm/m
Summe der Momente anderer Lasten:	$\Sigma_{M_{sonst}}$	-0,009	-0,009	kNm/m
Summe ohne Wasserfüllung und Druck:	$\Sigma M'$	-1,734	-0,409	kNm/m
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung:	N_{qv}	-148,596	-114,805	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck:	N_{qh}	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck:	N^*_{qh}	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüll.):	N^*_{qw}	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht:	N_g	-0,121	-0,121	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung:	N_w	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck:	N_{pw}	0,000	0,000	kN/m
Summe der Normalkräfte:	ΣN	-148,716	-114,926	kN/m
Summe der Normalkräfte aufgrund Erd- und Verkehrsl.::	$\Sigma_{N_{qv,qh,qh^*}}$	-148,596	-114,805	kN/m
Summe der Normalkräfte anderer Lasten:	$\Sigma_{N_{sonst}}$	-0,121	-0,121	kN/m
Summe ohne Wasserfüllung und Druck:	$\Sigma N'$	-148,716	-114,926	kN/m

Schnittkräfte für Lastfall 1, Sohle

		Kurzzeit	Langzeit	
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung:	M_{qv}	11,327	8,752	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck:	M_{qh}	-4,939	-5,350	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck:	M^*_{qh}	-3,700	-2,335	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung):	M^*_{qw}	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht:	M_g	0,011	0,011	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung:	M_w	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck:	M_{pw}	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Momente:	ΣM	2,700	1,077	kNm/m
Summe der Momente aufgrund Erd- und Verkehrslasten:	$\Sigma_{M_{qv, qh, qh^*}}$	2,689	1,066	kNm/m
Summe der Momente anderer Lasten:	$\Sigma_{M_{sonst}}$	0,011	0,011	kNm/m
Summe ohne Wasserfüllung und Druck:	$\Sigma M'$	2,700	1,077	kNm/m
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung:	N_{qv}	-4,012	-3,100	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck:	N_{qh}	-71,273	-77,205	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck:	N^*_{qh}	-42,546	-26,857	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüll.):	N^*_{qw}	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht:	N_g	-0,019	-0,019	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung:	N_w	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck:	N_{pw}	0,000	0,000	kN/m
Summe der Normalkräfte:	ΣN	-117,850	-107,181	kN/m
Summe der Normalkräfte aufgrund Erd- und Verkehrsl.::	$\Sigma_{N_{qv, qh, qh^*}}$	-117,831	-107,162	kN/m
Summe der Normalkräfte anderer Lasten:	$\Sigma_{N_{sonst}}$	-0,019	-0,019	kN/m
Summe ohne Wasserfüllung und Druck:	$\Sigma N'$	-117,850	-107,181	kN/m

Schnittkräfte für Lastfall 2, Scheitel

		Kurzzeit	Langzeit	
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung:	M_{qv}	1,305	1,288	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck:	M_{qh}	-0,254	-0,257	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck:	M_{qh}^*	-0,554	-0,623	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung):	M_{qw}^*	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht:	M_g	0,008	0,008	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung:	M_w	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck:	M_{pw}	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Momente:	ΣM	0,506	0,416	kNm/m
Summe der Momente aufgrund Erd- und Verkehrslasten:	$\Sigma M_{qv, qh, qh^*}$	0,498	0,408	kNm/m
Summe der Momente anderer Lasten:	ΣM_{sonst}	0,008	0,008	kNm/m
Summe ohne Wasserfüllung und Druck:	$\Sigma M'$	0,506	0,416	kNm/m
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung:	N_{qv}	0,487	0,481	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck:	N_{qh}	-3,665	-3,707	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck:	N_{qh}^*	-6,366	-7,170	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüll.):	N_{qw}^*	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht:	N_g	0,019	0,019	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung:	N_w	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck:	N_{pw}	0,000	0,000	kN/m
Summe der Normalkräfte:	ΣN	-9,524	-10,377	kN/m
Summe der Normalkräfte aufgrund Erd- und Verkehrsll.:	$\Sigma N_{qv, qh, qh^*}$	-9,544	-10,396	kN/m
Summe der Normalkräfte anderer Lasten:	ΣN_{sonst}	0,019	0,019	kN/m
Summe ohne Wasserfüllung und Druck:	$\Sigma N'$	-9,524	-10,377	kN/m

Schnittkräfte für Lastfall 2, Kämpfer

		Kurzzeit	Langzeit	
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung:	M_{qv}	-1,325	-1,308	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck:	M_{qh}	0,254	0,257	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck:	M_{qh}^*	0,636	0,716	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung):	M_{qw}^*	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht:	M_g	-0,009	-0,009	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung:	M_w	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck:	M_{pw}	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Momente:	ΣM	-0,445	-0,344	kNm/m
Summe der Momente aufgrund Erd- und Verkehrslasten:	$\Sigma M_{qv, qh, qh^*}$	-0,435	-0,335	kNm/m
Summe der Momente anderer Lasten:	ΣM_{sonst}	-0,009	-0,009	kNm/m
Summe ohne Wasserfüllung und Druck:	$\Sigma M'$	-0,445	-0,344	kNm/m
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung:	N_{qv}	-18,043	-17,804	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck:	N_{qh}	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck:	N_{qh}^*	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüll.):	N_{qw}^*	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht:	N_g	-0,121	-0,121	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung:	N_w	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck:	N_{pw}	0,000	0,000	kN/m
Summe der Normalkräfte:	ΣN	-18,164	-17,925	kN/m
Summe der Normalkräfte aufgrund Erd- und Verkehrsll.:	$\Sigma N_{qv, qh, qh^*}$	-18,043	-17,804	kN/m
Summe der Normalkräfte anderer Lasten:	ΣN_{sonst}	-0,121	-0,121	kN/m
Summe ohne Wasserfüllung und Druck:	$\Sigma N'$	-18,164	-17,925	kN/m

Schnittkräfte für Lastfall 2, Sohle

		Kurzzeit	Langzeit	
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung:	M_{qv}	1,375	1,357	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck:	M_{qh}	-0,254	-0,257	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck:	M^*_{qh}	-0,554	-0,623	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung):	M^*_{qw}	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht:	M_g	0,011	0,011	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung:	M_w	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck:	M_{pw}	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Momente:	ΣM	0,579	0,488	kNm/m
Summe der Momente aufgrund Erd- und Verkehrslasten:	$\Sigma M_{qv, qh, qh^*}$	0,568	0,477	kNm/m
Summe der Momente anderer Lasten:	ΣM_{sonst}	0,011	0,011	kNm/m
Summe ohne Wasserfüllung und Druck:	$\Sigma M'$	0,579	0,488	kNm/m
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung:	N_{qv}	-0,487	-0,481	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck:	N_{qh}	-3,665	-3,707	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck:	N^*_{qh}	-6,366	-7,170	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüll.):	N^*_{qw}	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht:	N_g	-0,019	-0,019	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung:	N_w	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck:	N_{pw}	0,000	0,000	kN/m
Summe der Normalkräfte:	ΣN	-10,537	-11,377	kN/m
Summe der Normalkräfte aufgrund Erd- und Verkehrsl.:	$\Sigma N_{qv, qh, qh^*}$	-10,518	-11,358	kN/m
Summe der Normalkräfte anderer Lasten:	ΣN_{sonst}	-0,019	-0,019	kN/m
Summe ohne Wasserfüllung und Druck:	$\Sigma N'$	-10,537	-11,377	kN/m

Nachweise für Lastfallkombination 1, Kurzzeit

Spannungsnachweis:

Rechn. Grenzspannung, Erd- und Verkehrsl., Biegezug:	$\sigma_{,rech,BZ}$	29,9		N/mm ²	
Rechn. Grenzspannung, Erd- u. Verkehrsl., Biegedruck:	$\sigma_{,rech,BD}$	49,9		N/mm ²	
Grenzspannung, sonstige Lasten, Biegezug:	$\sigma_{zul,BZ}$	29,9		N/mm ²	
Grenzspannung, sonstige Lasten, Biegedruck:	$\sigma_{zul,BD}$	49,9		N/mm ²	
innen:					
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten:	$\sigma_{qv,qh,qh^*,i}$	1,726	-9,654	2,957	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten:	$\sigma_{sonst,i}$	0,022	-0,029	0,028	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert:	γ_{Bzi}	17,11	---	10,02	[1]
Sicherheitsbeiwert:	γ_{BDi}	---	5,15	---	[1]
außen:					
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten:	$\sigma_{qv,qh,qh^*,a}$	-8,75	-1,10	-10,38	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten:	$\sigma_{sonst,a}$	-0,02	0,02	-0,03	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert:	γ_{Bza}	---	---	---	[1]
Sicherheitsbeiwert:	γ_{BDa}	5,69	46,77	4,79	[1]
erforderlicher Sicherheitsbeiwert Biegezug:	erf γ_{BZ}		2,50		[1]
erforderlicher Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	erf γ_{BD}		1,50		[1]

Die errechneten Spannungs-Sicherheitsbeiwerte sind ausreichend.

Verformungsnachweis:

Rechenmodus:		linear			
Verhältnis:		$I/(A_{rad} \cdot r_m^2)$	0,00499	[1]	
Verhältnis:		$I/(A_{rad} \cdot r_m^2) \cdot \kappa_q$	0,00868	[1]	
		q_v	q_h	q_h^*	
Verformungsbeiwert für Biegemomente:	c_v	-0,0893	0,0833	0,0640	[1]
Verformungsbeiwert für Normalkräfte:	c_{N_v}	-0,683	-0,681	-0,247	[1]
Verformungsbeiwert für Querkräfte:	c_{Q_v}	-0,359	0,335	0,243	[1]
resultierender Verformungsbeiwert:	c'_v	-0,1013	0,0879	0,0686	[1]
vertikale Durchmesseränderung:		Δd_v	11,9	mm	
horizontale Durchmesseränderung:		Δd_h	6,4	mm	
relative vertikale Verformung:		δ_v	2,15	%	
zulässige Verformung:		zul d_v	6,00	%	

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

Stabilitätsnachweis (linear):

vertikale Gesamtbelastung	q_v	536,1	kN/m ²
Abminderungsfaktor für Erd-/Verkehrsl.:	κ_{v2}	0,86	[1]
kritische Beullast (Erd-/Verkehrslast):	krit q_v	6.557,5	kN/m ²
Der Beulnachweis für Wasserdruck entfällt, da weder Grundwasser ansteht noch Unterdruck vorliegt.			
Sicherheitsbeiwert Beulen:	γ_{Beul}	12,23	[1]
erforderlicher Beul-Sicherheitsbeiwert:	erf γ_{Beul}	2,00	[1]

Die errechneten Beul-Sicherheitsbeiwerte sind ausreichend.

Nichtlinearer Stabilitätsnachweis:

- entfällt -

Nachweise für Lastfallkombination 2, Kurzzeit

Spannungsnachweis:

Rechn. Grenzspannung, Erd- und Verkehrsl., Biegezug:	$\sigma_{,rech,BZ}$	29,9		N/mm ²	
Rechn. Grenzspannung, Erd- u. Verkehrsl., Biegedruck:	$\sigma_{,rech,BD}$	49,9		N/mm ²	
Grenzspannung, sonstige Lasten, Biegezug:	$\sigma_{zul,BZ}$	29,9		N/mm ²	
Grenzspannung, sonstige Lasten, Biegedruck:	$\sigma_{zul,BD}$	49,9		N/mm ²	
innen:					
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten:	$\sigma_{qv,qh,qh*,i}$	0,972	-1,763	1,122	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten:	$\sigma_{sonst,i}$	0,022	-0,029	0,028	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert:	γ_{BZi}	30,07	---	26,00	[1]
Sicherheitsbeiwert:	γ_{BDi}	---	27,85	---	[1]
außen:					
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten:	$\sigma_{qv,qh,qh*,a}$	-1,50	0,40	-1,70	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten:	$\sigma_{sonst,a}$	-0,02	0,02	-0,03	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert:	γ_{BZa}	---	72,16	---	[1]
Sicherheitsbeiwert:	γ_{BDa}	32,91	---	28,97	[1]
erforderlicher Sicherheitsbeiwert Biegezug:	erf γ_{BZ}		2,50		[1]
erforderlicher Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	erf γ_{BD}		1,50		[1]

Die errechneten Spannungs-Sicherheitsbeiwerte sind ausreichend.

Verformungsnachweis:

Rechenmodus:		linear			
Verhältnis:		$l/(A_{rad} \cdot r_m^2)$	0,00499	[1]	
Verhältnis:		$l/(A_{rad} \cdot r_m^2) \cdot \kappa_q$	0,00868	[1]	
		q_v	q_h	q_h^*	
Verformungsbeiwert für Biegemomente:	c_v	-0,0893	0,0833	0,0640	[1]
Verformungsbeiwert für Normalkräfte:	c_{N_v}	-0,683	-0,681	-0,247	[1]
Verformungsbeiwert für Querkräfte:	c_{Q_v}	-0,359	0,335	0,243	[1]
resultierender Verformungsbeiwert:	c'_v	-0,1013	0,0879	0,0686	[1]
vertikale Durchmesseränderung:		Δd_v	2,4	mm	
horizontale Durchmesseränderung:		Δd_h	1,8	mm	
relative vertikale Verformung:		δ_v	0,43	%	
zulässige Verformung:		zul d_v	6,00	%	

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

Stabilitätsnachweis (linear):

vertikale Gesamtbelastung	q_v	65,1	kN/m ²
Abminderungsfaktor für Erd-/Verkehrsl.:	κ_{v2}	0,86	[1]
kritische Beullast (Erd-/Verkehrslast):	krit q_v	4.779,2	kN/m ²
Der Beulnachweis für Wasserdruck entfällt, da weder Grundwasser ansteht noch Unterdruck vorliegt.			
Sicherheitsbeiwert Beulen:	γ_{Beul}	73,42	[1]
erforderlicher Beul-Sicherheitsbeiwert:	erf γ_{Beul}	2,00	[1]

Die errechneten Beul-Sicherheitsbeiwerte sind ausreichend.

Nichtlinearer Stabilitätsnachweis:

- entfällt -

Nachweise für Lastfallkombination 1, Langzeit

Spannungsnachweis:

Rechn. Grenzspannung, Erd- und Verkehrsl., Biegezug:	$\sigma_{,rech,BZ}$	19,3		N/mm ²	
Rechn. Grenzspannung, Erd- u. Verkehrsl., Biegedruck:	$\sigma_{,rech,BD}$	32,2		N/mm ²	
Grenzspannung, sonstige Lasten, Biegezug:	$\sigma_{zul,BZ}$	19,3		N/mm ²	
Grenzspannung, sonstige Lasten, Biegedruck:	$\sigma_{zul,BD}$	32,2		N/mm ²	
innen:					
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten:	$\sigma_{qv,qh,qh*,i}$	-1,870	-5,017	-0,919	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten:	$\sigma_{sonst,i}$	0,022	-0,029	0,028	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert:	γ_{Bzi}	---	---	---	[1]
Sicherheitsbeiwert:	γ_{BDi}	17,56	6,38	36,92	[1]
außen:					
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten:	$\sigma_{qv,qh,qh*,a}$	-4,95	-3,04	-6,21	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten:	$\sigma_{sonst,a}$	-0,02	0,02	-0,03	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert:	γ_{Bza}	---	---	---	[1]
Sicherheitsbeiwert:	γ_{BDa}	6,48	10,71	5,16	[1]
erforderlicher Sicherheitsbeiwert Biegezug:	erf γ_{BZ}		2,50		[1]
erforderlicher Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	erf γ_{BD}		1,50		[1]

Die errechneten Spannungs-Sicherheitsbeiwerte sind ausreichend.

Verformungsnachweis:

Rechenmodus:		linear			
Verhältnis:		$l/(A_{rad} \cdot r_m^2)$	0,00499	[1]	
Verhältnis:		$l/(A_{rad} \cdot r_m^2) \cdot \kappa_q$	0,00868	[1]	
		q_v	q_h	q_h^*	
Verformungsbeiwert für Biegemomente:	c_v	-0,0893	0,0833	0,0640	[1]
Verformungsbeiwert für Normalkräfte:	c_{N_v}	-0,683	-0,681	-0,247	[1]
Verformungsbeiwert für Querkräfte:	c_{Q_v}	-0,359	0,335	0,243	[1]
resultierender Verformungsbeiwert:	c'_v	-0,1013	0,0879	0,0686	[1]
vertikale Durchmesseränderung:		Δd_v	30,5	mm	
horizontale Durchmesseränderung:		Δd_h	4,0	mm	
relative vertikale Verformung:		δ_v	5,50	%	
zulässige Verformung:		zul d_v	6,00	%	

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

Stabilitätsnachweis (linear):

vertikale Gesamtbelastung	q_v	414,2	kN/m ²
Abminderungsfaktor für Erd-/Verkehrsl.:	κ_{v2}	0,86	[1]
kritische Beullast (Erd-/Verkehrslast):	krit q_v	2.715,2	kN/m ²
Der Beulnachweis für Wasserdruck entfällt, da weder Grundwasser ansteht noch Unterdruck vorliegt.			
Sicherheitsbeiwert Beulen:	γ_{Beul}	6,56	[1]
erforderlicher Beul-Sicherheitsbeiwert:	erf γ_{Beul}	2,00	[1]

Die errechneten Beul-Sicherheitsbeiwerte sind ausreichend.

Nichtlinearer Stabilitätsnachweis:

- entfällt -

Nachweise für Lastfallkombination 2, Langzeit

Spannungsnachweis:

Rechn. Grenzspannung, Erd- und Verkehrsl., Biegezug:	$\sigma_{,rech,BZ}$	25,8		N/mm ²
Rechn. Grenzspannung, Erd- u. Verkehrsl., Biegedruck:	$\sigma_{,rech,BD}$	43,1		N/mm ²
Grenzspannung, sonstige Lasten, Biegezug:	$\sigma_{zul,BZ}$	19,3		N/mm ²
Grenzspannung, sonstige Lasten, Biegedruck:	$\sigma_{zul,BD}$	32,2		N/mm ²
innen:				
		Scheitel	Kämpfer	Sohle
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten:	$\sigma_{qv,qh,qh^*,i}$	0,707	-1,491	0,855 N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten:	$\sigma_{sonst,i}$	0,022	-0,029	0,028 N/mm ²
Sicherheitsbeiwert:	γ_{BZi}	35,04	---	28,91 [1]
Sicherheitsbeiwert:	γ_{BDi}	---	28,15	---
außen:				
		Scheitel	Kämpfer	Sohle
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten:	$\sigma_{qv,qh,qh^*,a}$	-1,32	0,17	-1,51 N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten:	$\sigma_{sonst,a}$	-0,02	0,02	-0,03 N/mm ²
Sicherheitsbeiwert:	γ_{BZa}	---	134,25	---
Sicherheitsbeiwert:	γ_{BDa}	32,12	---	27,83 [1]
erforderlicher Sicherheitsbeiwert Biegezug:	erf γ_{BZ}	2,50		[1]
erforderlicher Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	erf γ_{BD}	1,50		[1]

Die errechneten Spannungs-Sicherheitsbeiwerte sind ausreichend.

Verformungsnachweis:

Rechenmodus:		linear		
Verhältnis:		$I/(A_{rad} \cdot r_m^2)$	0,00499	[1]
Verhältnis:		$I/(A_{rad} \cdot r_m^2) \cdot \kappa_q$	0,00868	[1]
		q_v	q_h	q_h^*
Verformungsbeiwert für Biegemomente:	c_v	-0,0893	0,0833	0,0640 [1]
Verformungsbeiwert für Normalkräfte:	c_{N_v}	-0,683	-0,681	-0,247 [1]
Verformungsbeiwert für Querkräfte:	c_{Q_v}	-0,359	0,335	0,243 [1]
resultierender Verformungsbeiwert:	c'_v	-0,1013	0,0879	0,0686 [1]
vertikale Durchmesseränderung:		Δd_v	2,9	mm
horizontale Durchmesseränderung:		Δd_h	2,0	mm
relative vertikale Verformung:		δ_v	0,53	%
zulässige Verformung:		zul d_v	6,00	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

Stabilitätsnachweis (linear):

vertikale Gesamtbelastung	q_v	64,2	kN/m ²
Abminderungsfaktor für Erd-/Verkehrsl.:	κ_{v2}	0,86	[1]
kritische Beullast (Erd-/Verkehrslast):	krit q_v	3.941,9	kN/m ²
Der Beulnachweis für Wasserdruck entfällt, da weder Grundwasser ansteht noch Unterdruck vorliegt.			
Sicherheitsbeiwert Beulen:	γ_{Beul}	61,37	[1]
erforderlicher Beul-Sicherheitsbeiwert:	erf γ_{Beul}	2,00	[1]

Die errechneten Beul-Sicherheitsbeiwerte sind ausreichend.

Nichtlinearer Stabilitätsnachweis:

- entfällt -