
Statische Berechnung

Bauvorhaben: Hannover Nordsammler_GfK-Rohre DN1800_AZ 3

Beschreibung: Amiblu GfK-Rohrsysteme
Hobas DN1720 PN1 SN10.000 mit Standard-GfK-Kupplung

- Relining im vorh. Betonkanal DN 1800
- Berechnungsgrundlage DWA-A143-2
- Altrohrzustand III

Auftraggeber: Stadtentwässerung Hannover
Sorststr. 16
30165 Hannover

Bearbeiter:

Statik-Nr.: 2024/5

Datum: 05.09.2024

Inhaltsangabe

1 Statik nach DWA-A 143-2: DN 1800_AZIII_SN10.000_t=36mm	4
1.1 Eingaben	4
1.1.1 Geometrie	4
1.1.2 Materialien	4
1.1.3 Lasten	5
1.2 Ergebnisse	5
1.2.1 Hinweis zum Einzelrohr-Lining	5
1.2.2 Materialkennwerte	5
1.2.2.1 Liner	5
1.2.2.2 Altrohr	6
1.2.3 Hinweise zur Berechnung	6
1.2.4 Lastfall 01 AZ II - h _{min} h _W 6,87 m, Langzeit	7
1.2.4.1 Geometrie diskretisiertes System	8
1.2.4.2 Verformungsnachweis Liner, Gebrauchslast	8
1.2.4.3 Vereinfachter Stabilitätsnachweis (äußerer Wasserdruck / Innendruck)	10
1.2.4.4 Stabilitätsnachweis (Designwerte)	10
1.2.5 Lastfall 02 AZ III - h _W 0,00 m + h 4,80 m + ws 0,0 % + ww 0,0 %, Langzeit	13
1.2.5.1 Geometrie diskretisiertes System	14
1.2.5.2 Erdlasten und Verkehrslasten	14
1.2.5.3 Verformungsnachweis Liner, Gebrauchslast	15
1.2.5.4 Bodeninteraktion (Gebrauchslast)	16
1.2.5.5 Stabilitätsnachweis (Designwerte)	17
1.2.5.6 Spannungsnachweis Liner, Zwang	19
1.2.5.7 Altrohrspannungen Kämpfer	21
1.2.6 Lastfall 03 AZ III - h _W 6,87 m + h 4,80 m + ws 0,5 % + ww 1,0 %, Langzeit	22
1.2.6.1 Geometrie diskretisiertes System	23
1.2.6.2 Erdlasten und Verkehrslasten	23
1.2.6.3 Verformungsnachweis Liner, Gebrauchslast	24
1.2.6.4 Bodeninteraktion (Gebrauchslast)	25
1.2.6.5 Stabilitätsnachweis (Designwerte)	26
1.2.6.6 Spannungsnachweis Liner, Zwang	28
1.2.6.7 Altrohrspannungen Kämpfer	30
1.2.7 Lastfall 04 AZ III - h _W 6,87 m + h 4,80 m + ws 0,0 % + ww 0,0 %, Langzeit	31
1.2.7.1 Geometrie diskretisiertes System	32
1.2.7.2 Erdlasten und Verkehrslasten	32
1.2.7.3 Verformungsnachweis Liner, Gebrauchslast	33
1.2.7.4 Bodeninteraktion (Gebrauchslast)	34
1.2.7.5 Stabilitätsnachweis (Designwerte)	35
1.2.7.6 Spannungsnachweis Liner, Zwang	37
1.2.7.7 Altrohrspannungen Kämpfer	39
1.2.8 Lastfall 05 AZ II - h _{max} h _W 6,87 m, Langzeit	40
1.2.8.1 Geometrie diskretisiertes System	41
1.2.8.2 Verformungsnachweis Liner, Gebrauchslast	41
1.2.8.3 Vereinfachter Stabilitätsnachweis (äußerer Wasserdruck / Innendruck)	43
1.2.8.4 Stabilitätsnachweis (Designwerte)	43

1.2.9 Lastfall 06 AZ III - hW 0,00 m + h 6,00 m + ws 0,0 % + ww 0,0 %, Langzeit	46
1.2.9.1 Geometrie diskretisiertes System	47
1.2.9.2 Erdlasten und Verkehrslasten	47
1.2.9.3 Verformungsnachweis Liner, Gebrauchslast	48
1.2.9.4 Bodeninteraktion (Gebrauchslast)	49
1.2.9.5 Stabilitätsnachweis (Designwerte)	50
1.2.9.6 Spannungsnachweis Liner, Zwang	52
1.2.9.7 Altrohrspannungen Kämpfer	54
1.2.10 Lastfall 07 AZ III - hW 6,87 m + h 6,00 m + ws 0,5 % + ww 1,0 %, Langzeit	55
1.2.10.1 Geometrie diskretisiertes System	56
1.2.10.2 Erdlasten und Verkehrslasten	56
1.2.10.3 Verformungsnachweis Liner, Gebrauchslast	57
1.2.10.4 Bodeninteraktion (Gebrauchslast)	58
1.2.10.5 Stabilitätsnachweis (Designwerte)	59
1.2.10.6 Spannungsnachweis Liner, Zwang	61
1.2.10.7 Altrohrspannungen Kämpfer	63
1.2.11 Lastfall 08 AZ III - hW 6,87 m + h 6,00 m + ws 0,0 % + ww 0,0 %, Langzeit	64
1.2.11.1 Geometrie diskretisiertes System	65
1.2.11.2 Erdlasten und Verkehrslasten	65
1.2.11.3 Verformungsnachweis Liner, Gebrauchslast	66
1.2.11.4 Bodeninteraktion (Gebrauchslast)	67
1.2.11.5 Stabilitätsnachweis (Designwerte)	68
1.2.11.6 Spannungsnachweis Liner, Zwang	70
1.2.11.7 Altrohrspannungen Kämpfer	72

1 Statik nach DWA-A 143-2: DN 1800_AZIII_SN10.000_t=36mm

Titel der Teilstatik: DN 1800_AZIII_SN10.000_t=36mm

Annahmen: Verlegung nach DIN EN 1610/DWA-A139/DWA-M 143-12;

- Altrohrzustand III
- Beton Altkanal DN1800
- Verkehrslast LM1 (SLW 60)
- Grundwasser 1,14 m unter GOK
- G2 Boden überall
- Gelenkringverformung 0% nach Norm Tab.5
- Öffnungswinkel 40° nach Norm Tab.5
- Ringspalt 2mm nach Norm Tab.5

Verfahren:	Einzelrohr-Lining
Altrohrzustand:	AZ III
Ausdruck Rohrsteifigkeit:	Kein Ausdruck
Art der Interaktion:	Überlagerung aller Lasten am System
Nachweis Altrohr:	Nein
Nachweis Auftrieb:	Nein
Berechnungsoptionen nach Regelwerk:	Ja

1.1 Eingaben

1.1.1 Geometrie

Geometrie:	Kreisprofil		
Doppelte Symmetrie des Systems im AZ III:	Nein		
Profilart:	Vollwand		
Wanddicke Liner:	t _L	36,00	mm
Außendurchmesser Liner:	d _{L,a}	1.720,00	mm
Gelenkringverformung:	w _{GRv} /r _L	0,00	%
Relative Exzentrizität der Gelenke Altrohr:	e _{Grel}	0,35	[-]
Tiefe Vorverformung Sohlbereich:	w _v /r _L	1,00	%
Öffnungswinkel lokale Vorverformung Sohle:	2Φ	40,00	°
Konstanter Ringspalt:	w _s /r _L	0,500	%
Ringspalt absolut eingeben:	Nein		
Vollbettungsmodell:	Nein		

1.1.2 Materialien

Material Altrohr:	Beton
Wanddicke manuell bestimmen:	Nein
Definition Material:	Manuelle Definition
Langzeitige Werte verwenden:	Ja
Nachweis Schubspannung führen:	Nein
Wichtung der Spannungen:	Nein

Materialbezeichnung:	UP-GF		
Eigengewicht Liner:	γ_L	17,50	kN/m ³
Querkontraktionszahl:	μ	0,30	[-]
Werkstoff ist orthogonal anisotrop:	Nein		
Elastizitätsmodul Langzeit, charakteristisch:	E_L	5.550,00	N/mm ²
Elastizitätsmodul Kurzzeit, charakteristisch:	E_K	11.100,00	N/mm ²
Biegezugfestigkeit Langzeit, charakteristisch:	$\sigma_{bZ,L}$	50,00	N/mm ²
Biegezugfestigkeit Kurzzeit, charakteristisch:	$\sigma_{bZ,K}$	100,00	N/mm ²
Druckfestigkeit Langzeit, charakteristisch:	$\sigma_{D,L}$	60,00	N/mm ²
Druckfestigkeit Kurzzeit, charakteristisch:	$\sigma_{D,K}$	90,00	N/mm ²
Wärmedehnzahl:	α_T	0,00003	1/K
Teilsicherheitsbeiwert Material:	γ_M	1,35	[-]

1.1.3 Lasten

Wasserspiegel über Sohle Liner:	h_w	6,87	m
Gewicht Wasser:	γ_w	10,00	kN/m ³
Innendruck:	p_i	0,00	bar
Druckstoß, kurzzeitig:	$p_{i,ds}$	0,00	bar
Temperaturänderung:	ΔT	0,00	K
Max. Überdeckung Scheitel Altrohr:	h_{max}	6,00	m
Min. Überdeckung Scheitel Altrohr:	h_{min}	4,80	m
Wichte Boden manuell eingeben:	Nein		
Horizontale Verkehrslast berücksichtigen:	Nein		
Verkehrslast:	Straße LM 1 - Fahrstreifenbreite: 3 m		
Rohrlänge:	L_R	3,0	m
Dicke des Fahrbahnbelags:	h_F	0,40	m
Anpassungsfaktor α_{Qi} LM1 (DIN EN 1991-2):	$\alpha_{Qi,LM1}$	1,00	[-]
Abminderungsfaktor dynamische Last manuell eingeben:	Nein		
Zusätzliche Flächenlast:	p_0	0,0	kN/m ²
Altrohr vor Sanierung gerissen:	Ja		
Bodenverhalten:	Elastisch		
Direkte Eingabe E2:	Nein		
Berechnung Bettung E20:	E-Modul		
Bodengruppe Einbettung:	G2		
E-Modul Einbettung:	E_{20}	40,0	N/mm ²
Teilsicherheitsbeiwert Eigengewicht:	γ_{GE}	1,35	[-]
Teilsicherheitsbeiwert Wasserdruck:	γ_w	1,50	[-]
Teilsicherheitsbeiwert Innendruck:	γ_{pi}	1,50	[-]
Teilsicherheitsbeiwert Temperatur:	γ_T	1,10	[-]
Teilsicherheitsbeiwert Erdlast:	γ_G	1,35	[-]
Teilsicherheitsbeiwert Verkehr:	γ_Q	1,35	[-]

1.2 Ergebnisse

1.2.1 Hinweis zum Einzelrohr-Lining

Die Querdehnzahl wird in der Berechnung nicht berücksichtigt, da davon ausgegangen wird, dass die einzelnen Rohre in den Muffen keinen axialen Schub übertragen.

1.2.2 Materialkennwerte

1.2.2.1 Liner

Teilsicherheitsbeiwert Material:	γ_M	1,35	[-]
Querkontraktionszahl:	μ	0,30	[-]
E-Modul, Langzeit:	E_L	5.550,00	N/mm ²

E-Modul, Langzeit, Design:	$E_{L,d}$	4.111,11	N/mm ²
Verwendeter E-Modul:	E	4.111,11	N/mm ²
Zul. Druckfestigkeit, Langzeit:	$\sigma_{D,L}$	60,00	N/mm ²
Zul. Druckfestigkeit, Langzeit, Design:	$\sigma_{D,L,d}$	-44,44	N/mm ²
Zul. Biegezugfestigkeit, Langzeit:	$\sigma_{bZ,L}$	50,00	N/mm ²
Zul. Biegezugfestigkeit, Langzeit, Design:	$\sigma_{bZ,L,d}$	37,04	N/mm ²

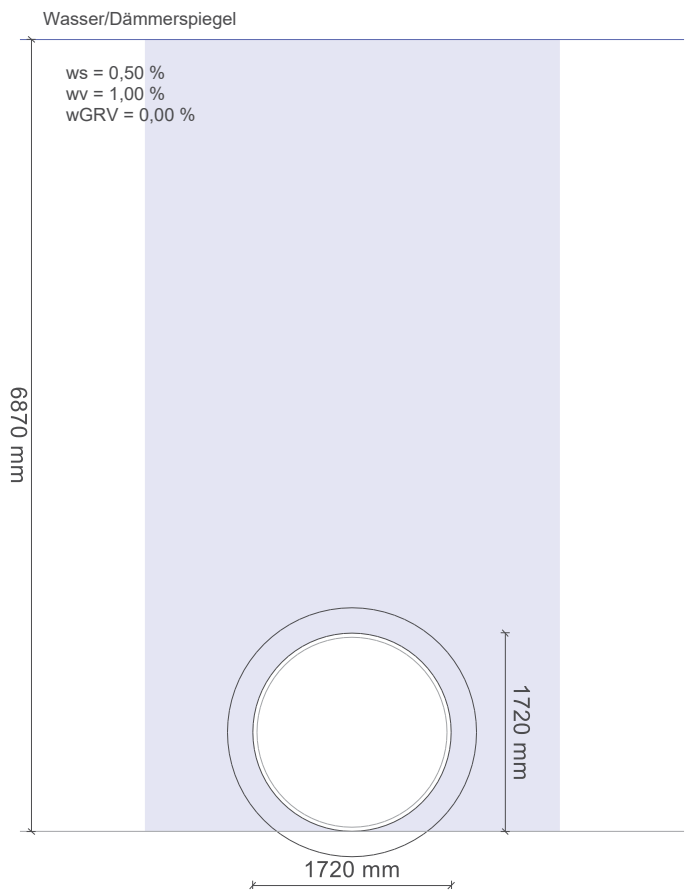
1.2.2.2 Altrohr

Eigengewicht:	γ	24,00	kN/m ³
Teilsicherheitsbeiwert Material:	γ_M	1,50	[-]
E-Modul, Langzeit:	E_L	30.000,00	N/mm ²
E-Modul, Langzeit, Design:	$E_{L,d}$	20.000,00	N/mm ²
Zul. Druckfestigkeit, Langzeit:	$\sigma_{D,L}$	20,00	N/mm ²
Zul. Druckfestigkeit, Langzeit, Design:	$\sigma_{D,L,d}$	-13,33	N/mm ²
Zul. Biegezugfestigkeit, Langzeit:	$\sigma_{bZ,L}$	3,00	N/mm ²
Zul. Biegezugfestigkeit, Langzeit, Design:	$\sigma_{bZ,L,d}$	2,00	N/mm ²

1.2.3 Hinweise zur Berechnung

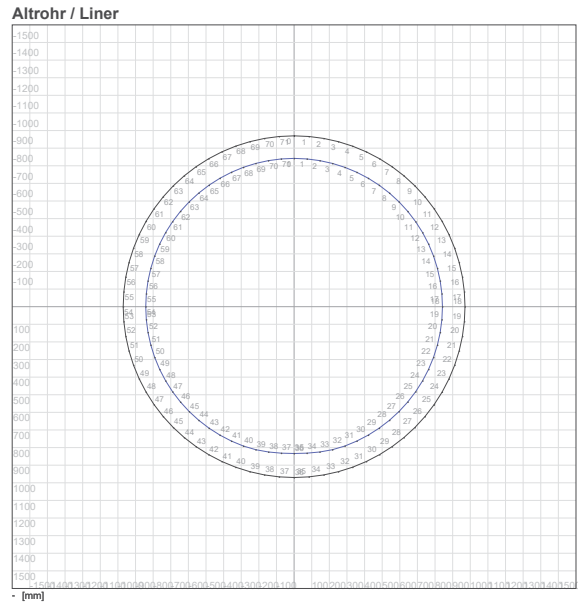
Hinweise zur Berechnungsmethode: Das statische Modell und die implementierten Berechnungsalgorithmen halten sich sehr eng an den Wortlaut des DWA-A 143-2. Dieses Regelwerk lässt aber insbesondere bei Berechnungen für den Altrohrzustand III einen breiten Interpretationsspielraum und ausgeprägte Freiheiten bei der Modellbildung. Über 'Kann'- und 'Darf'-Bestimmungen werden vereinfachte Berechnungsmethoden erlaubt, die grundsätzlich auf der sicheren Seite liegen, aber in der Folge auch zu höheren Linerbeanspruchungen bzw. zu größeren Wanddicken führen. Hierzu gehören beispielsweise der vereinfachte Stabilitätsnachweis statt einer nichtlinearen Berechnung nach Theorie II. Ordnung oder die Reduzierung des Modells auf einen Viertelkreis, obwohl eine doppelte Symmetrie gar nicht gegeben ist. Der dabei erforderliche größere Rechenaufwand ermöglicht eine wirtschaftliche Bemessung. Ein direkter zahlenmäßiger Vergleich der Ergebnisse von EasyPipe mit den Resultaten aus vereinfachten Berechnungen ist deshalb nicht möglich.

1.2.4 Lastfall 01 AZ II - hmin hW 6,87 m, Langzeit



1.2.4.1 Geometrie diskretisiertes System

Skizze



Lokale Vorverformung:	ω_v	1,00	%
Lokale Vorverformung absolut:	w_v	8,42	mm
Gelenkringverformung:	$\omega_{GR,v}$	0,00	%
Gelenkringverformung absolut, einseitig:	$w_{GR,v}$	0,00	mm

Die nach DWA-A 143-2, Gl. 121 erforderliche Erhöhung des Ringspalt es infolge der Gelenkring aufweitung des Altrohres wird berücksichtigt.

Ringspalt:	ω_s	0,59	%
Spaltweite absolut (als konst. Ringspalt):	w_s	4,95	mm
Mittlerer Radius Liner:	$r_{L,m}$	842,00	mm

1.2.4.2 Verformungsnachweis Liner, Gebrauchslast

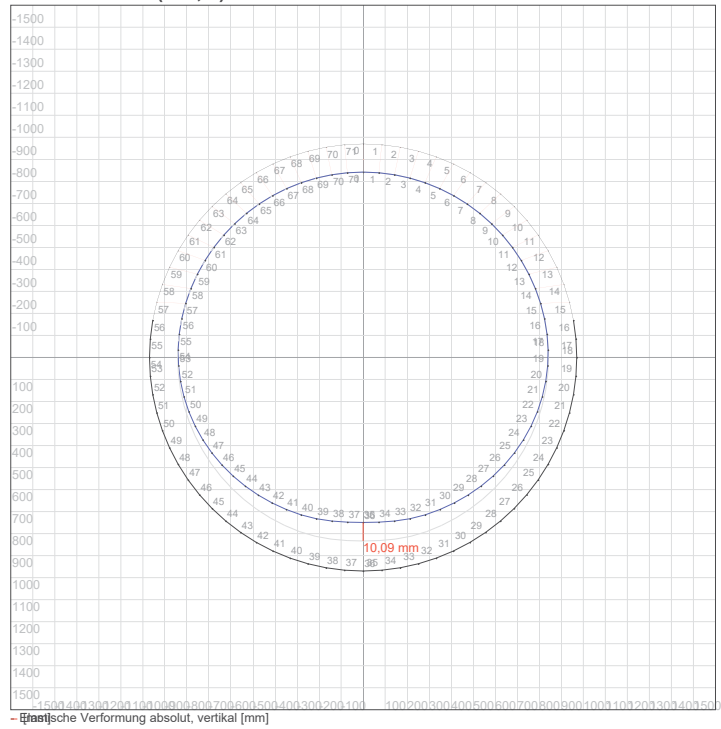
Relevanter Durchmesser für prozentuale Verformung:	d_v	1.720,00	mm
Spaltweite absolut (als konst. Ringspalt):	w_s	4,95	mm
Lokale Vorverformung absolut:	w_v	8,42	mm
Gelenkringverformung absolut, einseitig:	$w_{GR,v}$	0,00	mm

Elastische Verformung absolut, vertikal:	$w_{el,v}$	10,09	mm
Elastische Verformung relativ:	$\delta_{v,el}$	0,59	%
Zulässige Verformung elastisch:	zul $\delta_{v,el}$	3,00	%

Die errechnete elastische Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

Gesamte Durchmesseränderung:	w	18,51	mm
Relative Gesamtverformung:	δ_v	1,08	%
Anhaltswert Gesamtverformung:	$\delta_{v,A}$	10,00	%

Gebrauchslast (x 4,2)



1.2.4.3 Vereinfachter Stabilitätsnachweis (äußerer Wasserdruck / Innendruck)

Mittlerer Radius Liner:	$r_{L,m}$	842,00	mm
R/t Verhältnis:	$r_{L,m}/t_{L,m}$	23,39	[-]
Wanddicke Liner:	t_L	36,00	mm
Mittlerer Radius Liner:	$r_{L,m}$	842,00	mm
E-Modul, Langzeit, Design:	$E_{L,d}$	4.111,11	N/mm ²
Rohrsteifigkeit, Langzeit, Design:	$S_{L,d}$	26,78	kN/m ²
Elastische Verformung absolut, vertikal:	$w_{el,v}$	10,33	mm
Gelenkexzentrizität:	e_G	77,00	mm
$\Delta\delta_v = (\pi/2 \cdot (t_L/2 + e_G) \cdot (w_{el,v}/r_L)) / r_L$			
			(?)
Prozentuale Verformung aus Gelenkringverformung:	$\Delta\delta_v$	0,09	%
Prozentuale Gesamtverformung Spalt:	ω_s	0,59	%
Prozentuale örtliche Verformung:	ω_v	1,00	%
Prozentuale Gelenkringverformung:	$\omega_{GR,v}$	0,00	%
Prozentuale Gesamtverformung Spalt:	ω_s	0,59	%
Abminderungsfaktor für örtliche Vorverformung:	K_v	0,82	[-]
Abminderungsfaktor für Spaltbildung:	K_S	0,75	[-]
Abminderungsfaktor:	$K_{V,S}$	0,62	[-]
Durchschlagsbeiwert:	α_D	32,62	[-]
Äußerer Wasserdruck, Design:	$p_{a,d}$	103,05	kN/m ²
Kritischer äußerer Wasserdruck:	krit p_a	538,34	kN/m ²
Abminderungsfaktor ohne Spalt:	$K_{V,Sws0}$	0,82	[-]
Kritischer äußerer Wasserdruck ohne Ringspalt:	krit $p_{a,ws0}$	717,96	kN/m ²
Kritischer äußerer Wasserdruck für eingegebenen Spalt:	krit $p_{a,ws,input}$	553,15	kN/m ²
Ausnutzungsgrad vereinfachte Stabilität:	U_{pa}	19,1	%

Der Stabilitätsnachweis ist erbracht.

1.2.4.4 Stabilitätsnachweis (Designwerte)

Der maßgebende Nachweis der Stabilität erfolgt über die im Abschnitt 7.6.4.2 (DWA-A 143-2) zugelassene (genauere) Variante einer Berechnung nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung der Vorverformungen und der Spaltbildung. Hierbei wird numerisch überprüft, ob ein elastisches Stabilitätsversagen (Beulen) unter gamma-facher Last eintritt. Darüber hinaus wird geprüft, ob die bei dieser Berechnung ermittelten Spannungen die vorgegeben maximalen Grenzspannungen für Zug und Druck mit einfacher Sicherheit nicht überschreiten.

Spannungsnachweis Liner, Design

Fläche (Wanddicke):	A	36,00	mm ² /mm
---------------------	---	-------	---------------------

Außen

Widerstandsmoment, außen:	W_e	216,00	mm ³ /mm
	Druck	Zug	
Element	i	36	49
Korrekturfaktor (Verformtes System)	α_k	0,99	0,99
Normalkraft in Element	N_d	-84,98	-85,85
Moment in Element	M_d	1.409,99	-855,78

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} - \alpha_{ka} \cdot \frac{M_d}{W_e} \quad (88)$$

Spannung in Element	Max σ_d	-8,83	1,52	N/mm ²
Zul. Spannung, Langzeit, Design:	$\sigma_{L,d}$	-44,44	37,04	N/mm ²
Ausnutzung Spannungen	U_σ	19,9	4,1	%

Der Spannungsnachweis Außen ist erfüllt.

Innen

Widerstandsmoment, innen:

Element

Korrekturfaktor (Verformtes System)

Normalkraft in Element

Moment in Element

	W_i	216,00	mm ³ /mm
	Druck	Zug	
i	48	35	[-]
α_k	1,01	1,01	[-]
N_d	-85,88	-84,98	N/mm
M_d	-855,78	1.409,99	Nmm/mm

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} + \alpha_{ki} \cdot \frac{M_d}{W_i}$$

(87)

Spannung in Element

Zul. Spannung, Langzeit, Design:

Max σ_d	-6,40	4,24	N/mm ²
$\sigma_{L,d}$	-44,44	37,04	N/mm ²

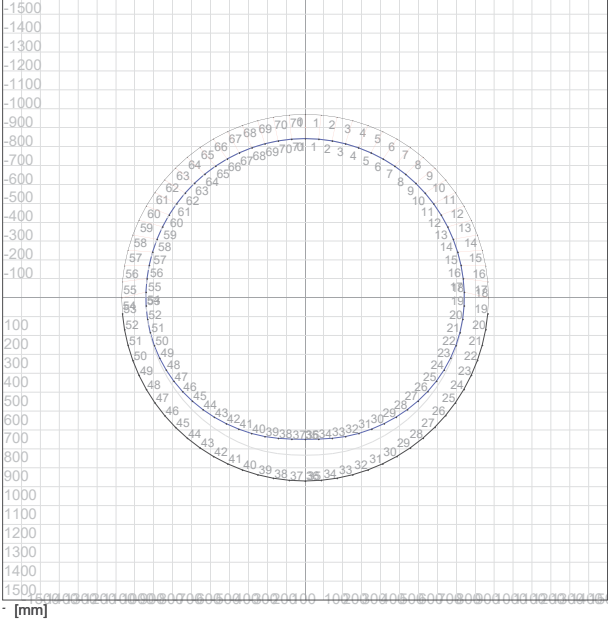
Ausnutzung Spannungen

U_σ	14,4	11,4	%
------------	------	------	---

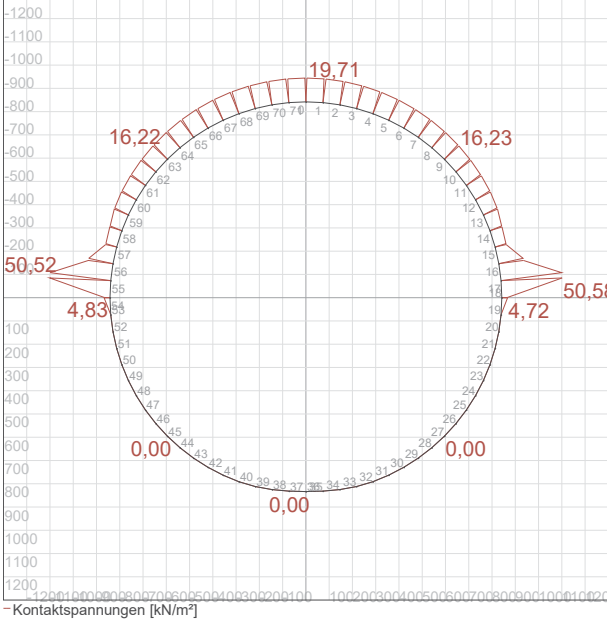
Der Spannungsnachweis Innen ist erfüllt.

Die Spannungen liegen im zulässigen Bereich.

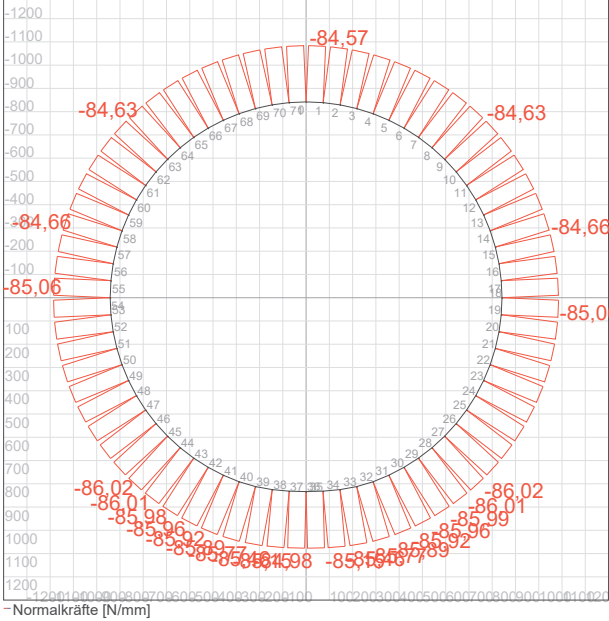
Biegelinie (x 3,42)



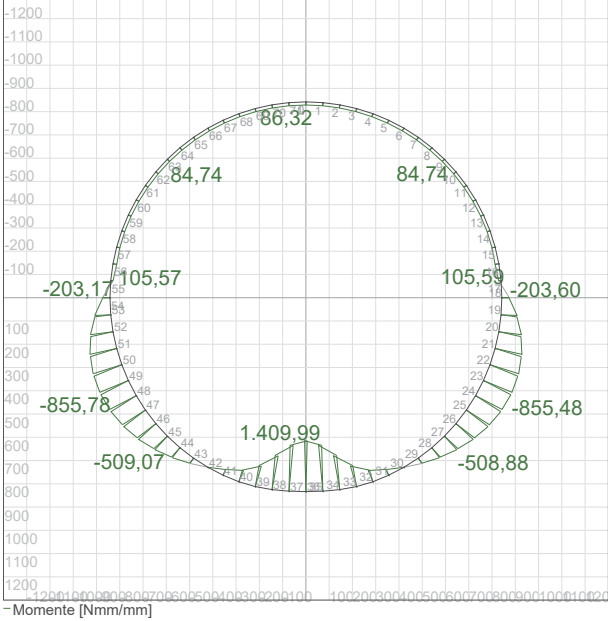
Kontaktspannungen Liner, Design



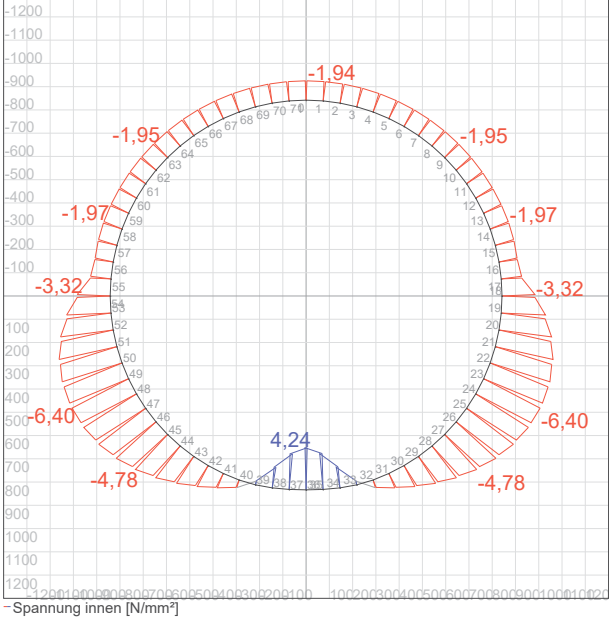
Normalkräfte Liner, Design



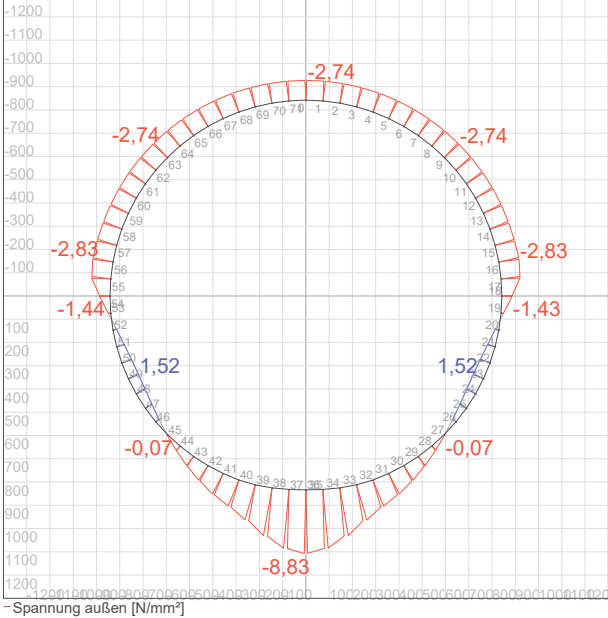
Momente Liner, Design



Spannung innen Liner, Design



Spannung außen Liner, Design



1.2.5 Lastfall 02 AZ III - hW 0,00 m + h 4,80 m + ws 0,0 % + wv 0,0 %, Langzeit

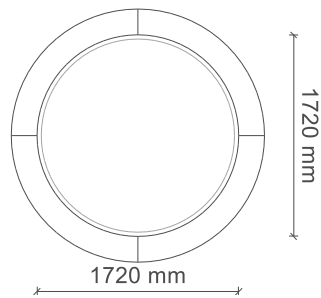
Straße LM 1 - Fahrstreifenbreite: 3 m



Min. Überdeckung Scheitel Altrohr

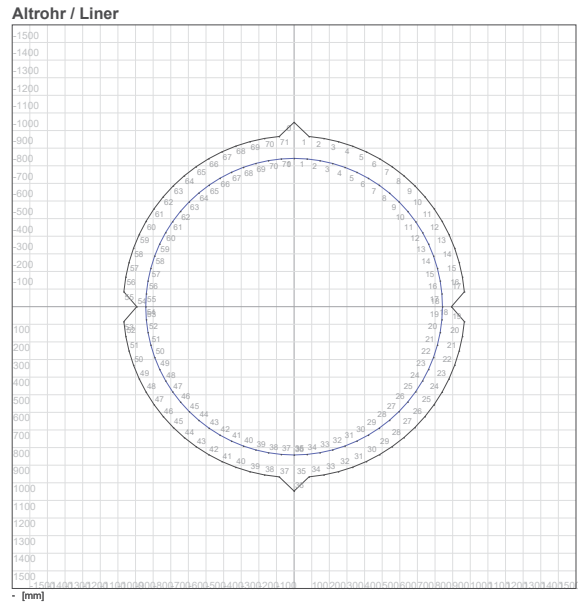
ws = 0,00 %
wv = 0,00 %
eg = 35,00 %
wGRV = 0,00 %

4800 mm



1.2.5.1 Geometrie diskretisiertes System

Skizze



Lokale Vorverformung:	ω_v	0,00	%
Lokale Vorverformung absolut:	w_v	0,00	mm
Gelenkringverformung:	$\omega_{GR,v}$	0,00	%
Gelenkringverformung absolut, einseitig:	$w_{GR,v}$	0,00	mm
Ringspalt:	ω_s	0,00	%
Spaltweite absolut (als konst. Ringspalt):	w_s	0,00	mm
Mittlerer Radius Liner:	$r_{L,m}$	842,00	mm

1.2.5.2 Erdlasten und Verkehrslasten

Wichte Boden, unter Auftrieb:	γ_B'	11,00	kN/m ³
Wichte Boden, trocken:	γ_B	20,00	kN/m ³
Min. Überdeckung Scheitel Altrohr:	h_{min}	4,80	m
Wasser/Dämmerspiegel:	h_w	0,00	m
Wanddicke Altrohr:	t_R	220,00	mm
Vertikale Lichte Höhe Altrohr:	$d_{AR,iv}$	1.720,00	mm
Höhe Wasserspiegel über Altrohrscheitel:	h'_w	0,00	m
Vertikale Erdlast:	p_E	96,00	kN/m ²
Höhe Scheitel bis Kämpfer Altrohr:	$r_{AR,a}$	1.080,00	mm
Höhe Wasserspiegel Altrohrkämpfer bis Altrohrscheitel:	h'_{wk}	0,00	m
Vertikale Erdlast bis Kämpfer:	$p_{E,K}$	117,60	kN/m ²
Anpassungsfaktor α_{Qi} LM1 (DIN EN 1991-2):	$\alpha_{Qi,LM1}$	1,00	[-]
Faktor für Abweichung von Diagrammen/Formeln:	$f_{\alpha,Qi}$	1,25	[-]
Vertikale Bodenspannung aus Verkehrslast in Scheitelhöhe:	p_T	11,25	kN/m ²
Stoßbeiwert:	ϕ	1,20	[-]
Einfache Bodenspannung aus Verkehr:	p	9,38	kN/m ²
Radlast:	F_1	150,00	kN
Vertikale Bodenspannung aus Verkehrslast in Kämpferhöhe (mit ϕ):	p_{TK}	3,80	kN/m ²
Erddruckbeiwert (Einbettung):	K_2	0,300	[-]
Horizontale Bodenspannung aus Verkehr:	$p_{T,h}$	0,95	kN/m ²

Vertikale Verkehrslast:	p_v	11,25	kN/m ²
Vertikale Verkehrslast, Design:	$p_{v,d}$	15,19	kN/m ²
Zusätzliche Flächenlast:	p_0	0,0	kN/m ²
Konzentrationsfaktor über Rohr:	λ_R	0,75	[-]
Vertikale Gesamtlast:	q_v	83,25	kN/m ²
Vertikale Gesamtlast, Design:	$q_{v,d}$	112,39	kN/m ²
E-Modul:	E20	40,00	N/mm ²
Reduktionsfaktor für das Kriechen:	f_1	1,000	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):	f_2	1,000	[-]
E-Modul:	E2	40,00	N/mm ²
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	32,000	N/mm ²
Erdruckbeiwert (Einbettung):	K_2	0,300	[-]
Konzentrationsfaktor Boden:	λ_B	1,083	[-]
Horizontale Erdlast:	$q_{h,E}$	38,22	kN/m ²

Die horizontale Verkehrslast soll nicht berücksichtigt werden und wird deshalb mit 0 kN/m² angesetzt.

Horizontale Verkehrslast:	$q_{h,V}$	0,00	kN/m ²
Horizontale Gesamtlast:	q_h	38,22	kN/m ²
Designwert Horizontale Gesamtlast:	$q_{h,d}$	51,60	kN/m ²
Rechnerischer Erdruckbeiwert:	K_2'	0,459	[-]

1.2.5.3 Verformungsnachweis Liner, Gebrauchslast

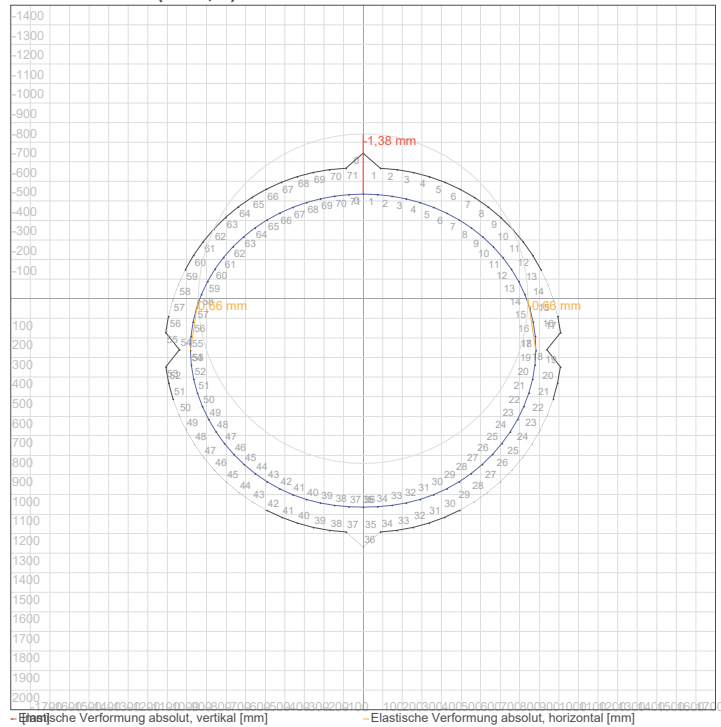
Relevanter Durchmesser für prozentuale Verformung:	d_v	1.720,00	mm
Spaltweite absolut (als konst. Ringspalt):	w_s	0,00	mm
Lokale Vorverformung absolut:	w_v	0,00	mm
Gelenkringverformung absolut, einseitig:	$w_{GR,v}$	0,00	mm
Elastische Verformung absolut, vertikal:	$w_{el,v,E1}$	-1,38	mm
Elastische Verformung absolut, vertikal:	$w_{el,v}$	1,38	mm
Elastische Verformung relativ:	$\delta_{v,el}$	0,08	%
Zulässige Verformung elastisch:	zul $\delta_{v,el}$	6,00	%

Die errechnete elastische Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

Gesamte Durchmesseränderung:	w	1,38	mm
Relative Gesamtverformung:	δ_v	0,08	%
Anhaltswert Gesamtverformung:	$\delta_{v,A}$	10,00	%

Elastische Verformung absolut, horizontal:	$w_{el,h,E1}$	-0,66	mm
Elastische Verformung absolut, horizontal:	$w_{el,h,E2}$	0,66	mm
Elastische Verformung absolut, horizontal:	$w_{el,h}$	1,31	mm

Gebrauchslast (x 61,2)



1.2.5.4 Bodeninteraktion (Gebrauchslast)

Bettungsziffer, Scheitel:	CB	29.629,63	kN/m ³
Innerer Reibungswinkel:	ϕ'	30,00	°
Beiwert:	K_p	3,00	[-]
Vertikale Erdlast:	p_E	96,00	kN/m ²
Grenzwert q_h im Scheitel (informativ):	$q_{h,max}$	234,00	kN/m ²

Vertikale Erdlast bis Kämpfer:	$p_{E,K}$	117,60	kN/m ²
Grenzwert q_h im Kämpfer:	$q_{h,max,K}$	286,65	kN/m ²

Der Wert wird im Kämpfer abgelesen.

Horizontale Gesamtlast:	q_h	38,22	kN/m ²
Seitlicher Bettungsreaktionsdruck:	q_h^*	21,88	kN/m ²
Summe horizontale Kräfte:	$q_h + q_h^*$	60,10	kN/m ²
Ausnutzung max q_h :	U_{maxq_h}	21,0	%

Für die Interaktion Boden-Rohrsystem wurde der elastische Ansatz verwendet. Die Bettung des Rohres wurde um den gesamten Umfang als konstant angenommen. Damit ergibt sich eine Dreiecksförmige Verteilung der Bodenspannungen, deren Maximalwert auf 75% des passiven Erddrucks begrenzt ist.

Die horizontale Kraft aus Bettungsreaktionsdruck und seitlichem Druck im Kämpfer liegt unterhalb des Grenzwertes.

1.2.5.5 Stabilitätsnachweis (Designwerte)

Der maßgebende Nachweis der Stabilität erfolgt über die im Abschnitt 7.6.4.2 (DWA-A 143-2) zugelassene (genauere) Variante einer Berechnung nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung der Vorverformungen und der Spaltbildung. Hierbei wird numerisch überprüft, ob ein elastisches Stabilitätsversagen (Beulen) unter gamma-facher Last eintritt. Darüber hinaus wird geprüft, ob die bei dieser Berechnung ermittelten Spannungen die vorgegeben maximalen Grenzspannungen für Zug und Druck mit einfacher Sicherheit nicht überschreiten.

Nachweis entfällt.

Spannungsnachweis Liner, Design

Fläche (Wanddicke):	A	36,00	mm ² /mm
---------------------	---	-------	---------------------

Außen

Widerstandsmoment, außen:	W _e	216,00	mm ³ /mm
---------------------------	----------------	--------	---------------------

		Druck	Zug	
Element	i	35	53	[-]
Korrekturfaktor (Verformtes System)	α _k	0,99	0,99	[-]
Normalkraft in Element	N _d	-1,67	-1,21	N/mm
Moment in Element	M _d	175,16	-81,53	Nmm/mm

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} - \alpha_{ka} \cdot \frac{M_d}{W_e} \quad (88)$$

Spannung in Element	Max σ _d	-0,85	0,34	N/mm ²
Zul. Spannung, Langzeit, Design:	σ _{L,d}	-44,44	37,04	N/mm ²

Ausnutzung Spannungen	U _σ	1,9	0,9	%
-----------------------	----------------	-----	-----	---

Der Spannungsnachweis Außen ist erfüllt.

Innen

Widerstandsmoment, innen:	W _i	216,00	mm ³ /mm
---------------------------	----------------	--------	---------------------

		Druck	Zug	
Element	i	54	36	[-]
Korrekturfaktor (Verformtes System)	α _k	1,01	1,01	[-]
Normalkraft in Element	N _d	-1,22	-1,67	N/mm
Moment in Element	M _d	-81,53	175,16	Nmm/mm

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} + \alpha_{ki} \cdot \frac{M_d}{W_i} \quad (87)$$

Spannung in Element	Max σ _d	-0,42	0,78	N/mm ²
Zul. Spannung, Langzeit, Design:	σ _{L,d}	-44,44	37,04	N/mm ²

Ausnutzung Spannungen	U _σ	0,9	2,1	%
-----------------------	----------------	-----	-----	---

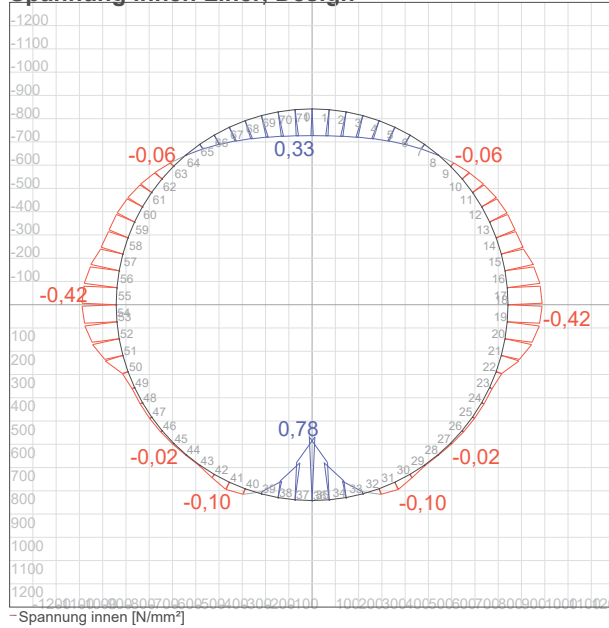
Der Spannungsnachweis Innen ist erfüllt.

Die Spannungen liegen im zulässigen Bereich.

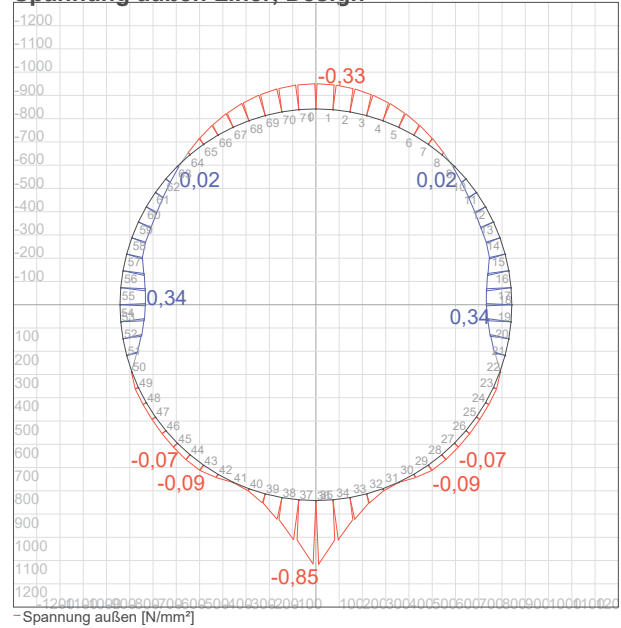
[illegible]

Normalkräfte [N/mm]

Spannung innen Liner, Design



Spannung außen Liner, Design



1.2.5.6 Spannungsnachweis Liner, Zwang

Fläche (Wanddicke):

A 36,00 mm²/mm

Außen

Widerstandsmoment, außen:

W_e 216,00 mm³/mm

Element

Druck 53 [-]

Korrekturfaktor (Verformtes System)

α_k 0,99 [-]

Normalkraft in Element

N_d -1,58 N/mm

Moment in Element

M_d 212,84 Nmm/mm

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} - \alpha_{ka} \cdot \frac{M_d}{W_e} \quad (88)$$

Spannung in Element

Max σ_d -1,02 0,43 N/mm²

Zul. Spannung, Langzeit, Design:

σ_{L,d} -44,44 37,04 N/mm²

Ausnutzung Spannungen

U_σ 2,3 1,2 %

Der Spannungsnachweis Außen ist erfüllt.

Innen

Widerstandsmoment, innen:

W_i 216,00 mm³/mm

Element

Druck 36 [-]

Korrekturfaktor (Verformtes System)

α_k 1,01 [-]

Normalkraft in Element

N_d -1,19 N/mm

Moment in Element

M_d -101,94 Nmm/mm

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} + \alpha_{ki} \cdot \frac{M_d}{W_i} \quad (87)$$

Spannung in Element

Max σ_d -0,51 0,96 N/mm²

Zul. Spannung, Langzeit, Design:

σ_{L,d} -44,44 37,04 N/mm²

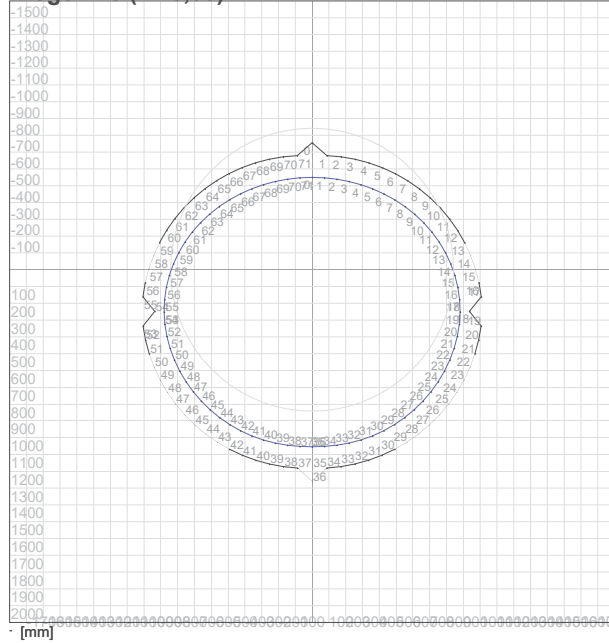
Ausnutzung Spannungen

U_σ 1,2 2,6 %

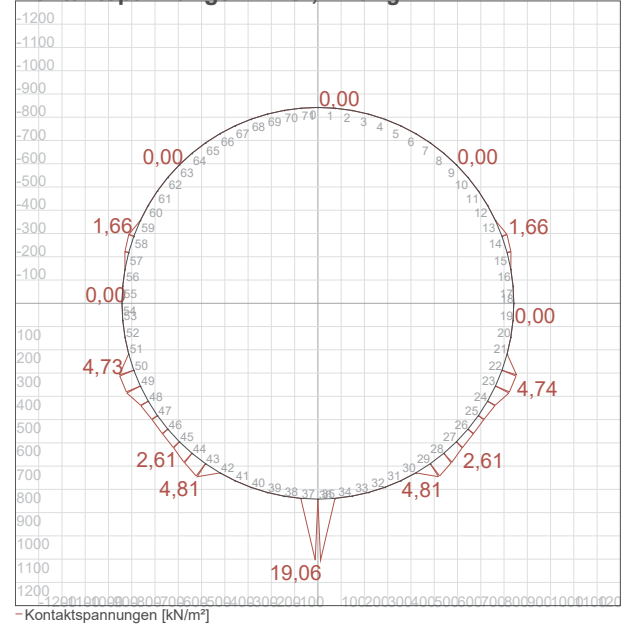
Der Spannungsnachweis Innen ist erfüllt.

Die Spannungen liegen im zulässigen Bereich.

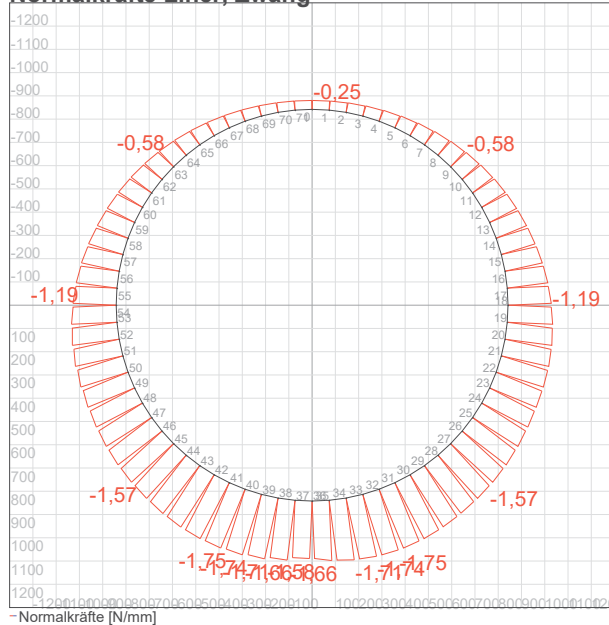
Biegelinie (x 43,03)



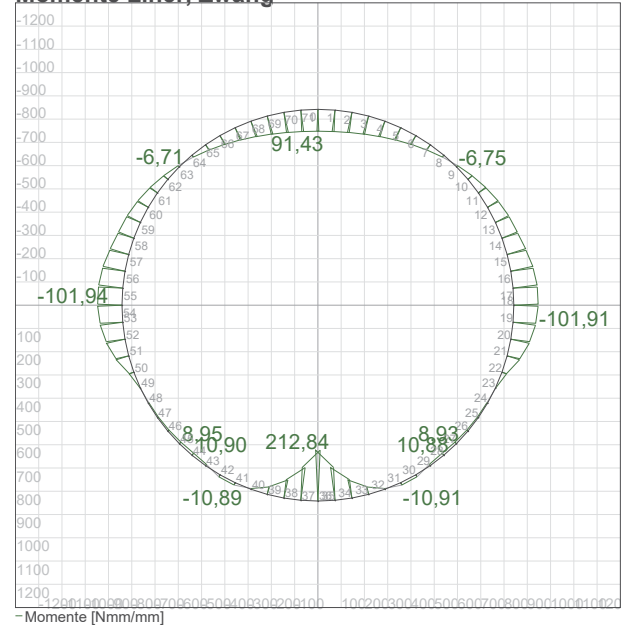
Kontaktspannungen Liner, Zwang



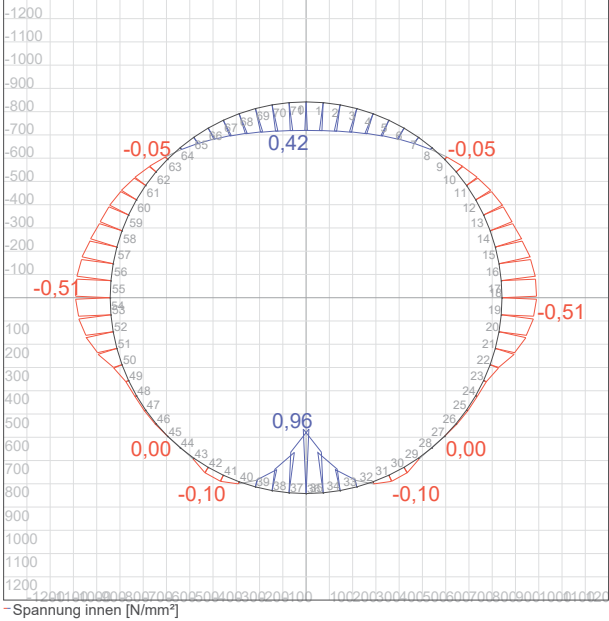
Normalkräfte Liner, Zwang



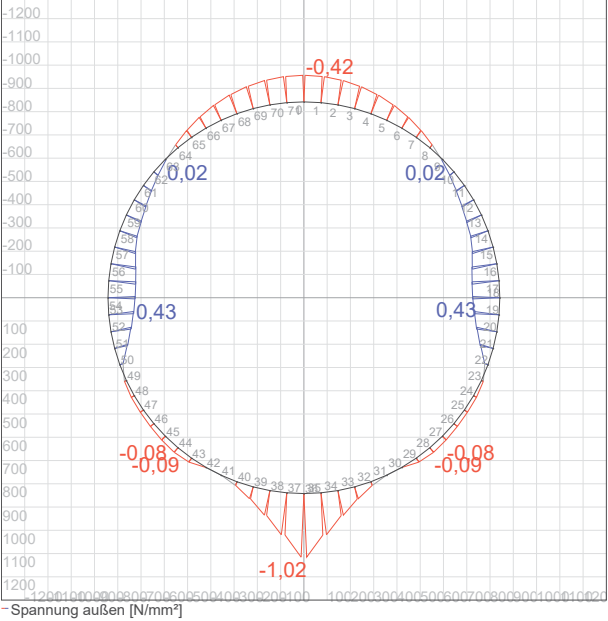
Momente Liner, Zwang



Spannung innen Liner, Zwang



Spannung außen Liner, Zwang



1.2.5.7 Altrohrspannungen Kämpfer

Vertikale Gesamtlast, Design:
Wanddicke Altrohr:
Außendurchmesser Altrohr Kämpfer:
Bezogene Gelenkringexzentrität:
Druckzonenbreite:

$q_{v,d}$	112,39	kN/m ²
t_R	220,00	mm
$d_{AR,k}$	2.160,00	mm
e_G/t	35,00	%
b_D	88,00	mm

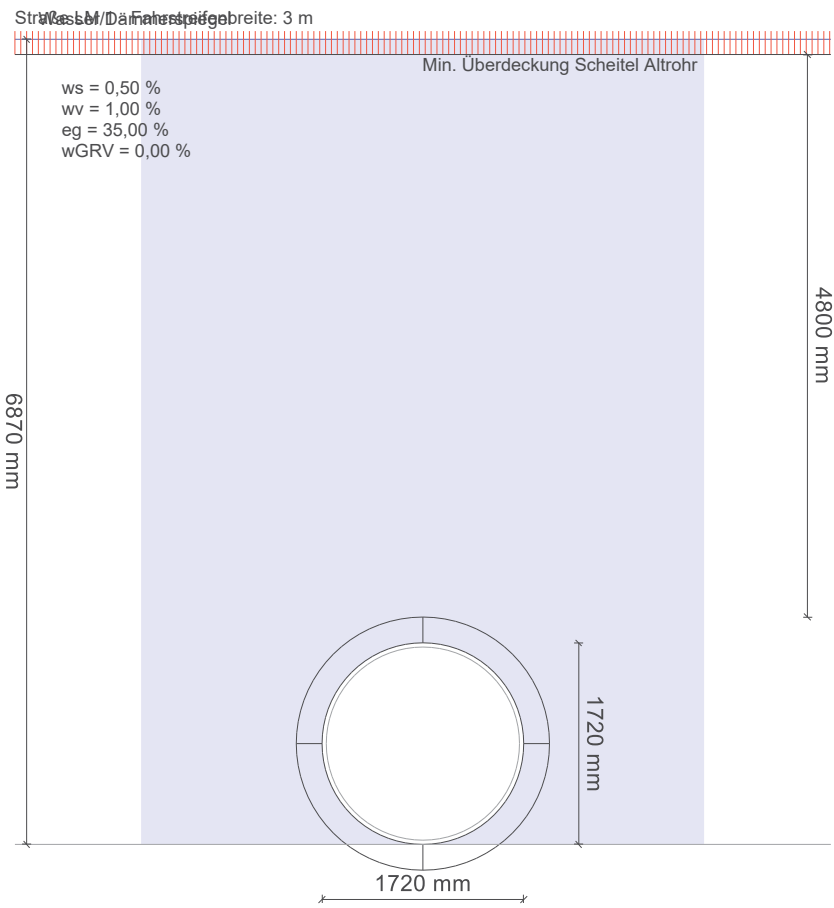
$$N_{K,d} = -q_{v,d} (1 + \omega_{GR,v}) \cdot \frac{d_{AR,k}}{2}$$

Druckkraft im Kämpfer:
Spannung in der Druckzone:
Zul. Druckfestigkeit, Langzeit:
Ausnutzung Druckspannungen AR Kämpfer:

$N_{K,d}$	-121,38	N/mm
σ_d	-2,07	N/mm ²
$\sigma_{D,L}$	20,00	N/mm ²
$U_{\sigma D,AR}$	10,3	%

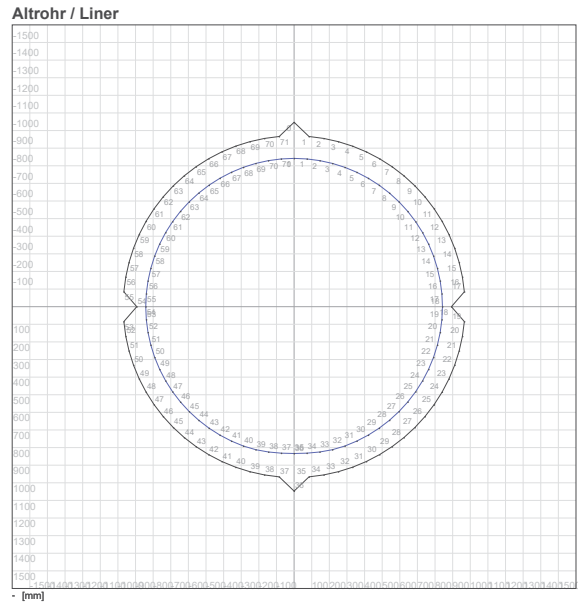
Der Spannungsnachweis für Kämpferspannungen im Altrohr ist erfüllt.

1.2.6 Lastfall 03 AZ III - hW 6,87 m + h 4,80 m + ws 0,5 % + wv 1,0 %, Langzeit



1.2.6.1 Geometrie diskretisiertes System

Skizze



Lokale Vorverformung:	ω_v	1,00	%
Lokale Vorverformung absolut:	w_v	8,42	mm
Gelenkringverformung:	$\omega_{GR,v}$	0,00	%
Gelenkringverformung absolut, einseitig:	$w_{GR,v}$	0,00	mm
Ringspalt:	ω_s	0,50	%
Spaltweite absolut (als konst. Ringspalt):	w_s	4,21	mm
Mittlerer Radius Liner:	$r_{L,m}$	842,00	mm

1.2.6.2 Erdlasten und Verkehrslasten

Wichte Boden, unter Auftrieb:	γ_B'	11,00	kN/m ³
Wichte Boden, trocken:	γ_B	20,00	kN/m ³
Min. Überdeckung Scheitel Altrohr:	h_{min}	4,80	m
Wasser/Dämmerspiegel:	h_w	6,87	m
Wanddicke Altrohr:	t_R	220,00	mm
Vertikale Lichte Höhe Altrohr:	$d_{AR,iv}$	1.720,00	mm
Höhe Wasserspiegel über Altrohrscheitel:	h'_w	4,80	m
Vertikale Erdlast:	p_E	52,80	kN/m ²
Höhe Scheitel bis Kämpfer Altrohr:	$r_{AR,a}$	1.080,00	mm
Höhe Wasserspiegel Altrohrkämpfer bis Altrohrscheitel:	h'_{wk}	1,08	m
Vertikale Erdlast bis Kämpfer:	$p_{E,K}$	64,68	kN/m ²
Anpassungsfaktor α_{Qi} LM1 (DIN EN 1991-2):	$\alpha_{Qi,LM1}$	1,00	[-]
Faktor für Abweichung von Diagrammen/Formeln:	$f_{\alpha,Qi}$	1,25	[-]
Vertikale Bodenspannung aus Verkehrslast in Scheitelhöhe:	p_T	11,25	kN/m ²
Stoßbeiwert:	ϕ	1,20	[-]
Einfache Bodenspannung aus Verkehr:	p	9,38	kN/m ²
Radlast:	F_1	150,00	kN
Vertikale Bodenspannung aus Verkehrslast in Kämpferhöhe (mit ϕ):	p_{TK}	3,80	kN/m ²
Erddruckbeiwert (Einbettung):	K_2	0,300	[-]
Horizontale Bodenspannung aus Verkehr:	$p_{T,h}$	0,95	kN/m ²

Vertikale Verkehrslast:	p_v	11,25	kN/m ²
Vertikale Verkehrslast, Design:	$p_{v,d}$	15,19	kN/m ²
Zusätzliche Flächenlast:	p_0	0,0	kN/m ²
Konzentrationsfaktor über Rohr:	λ_R	0,75	[-]
Vertikale Gesamtlast:	q_v	50,85	kN/m ²
Vertikale Gesamtlast, Design:	$q_{v,d}$	68,65	kN/m ²
E-Modul:	E20	40,00	N/mm ²
Reduktionsfaktor für das Kriechen:	f_1	1,000	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):	f_2	0,750	[-]
E-Modul:	E2	30,00	N/mm ²
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	24,000	N/mm ²
Erdruckbeiwert (Einbettung):	K_2	0,300	[-]
Konzentrationsfaktor Boden:	λ_B	1,083	[-]
Horizontale Erdlast:	$q_{h,E}$	21,02	kN/m ²

Die horizontale Verkehrslast soll nicht berücksichtigt werden und wird deshalb mit 0 kN/m² angesetzt.

Horizontale Verkehrslast:	$q_{h,V}$	0,00	kN/m ²
Horizontale Gesamtlast:	q_h	21,02	kN/m ²
Designwert Horizontale Gesamtlast:	$q_{h,d}$	28,38	kN/m ²
Rechnerischer Erdruckbeiwert:	K_2'	0,413	[-]

1.2.6.3 Verformungsnachweis Liner, Gebrauchslast

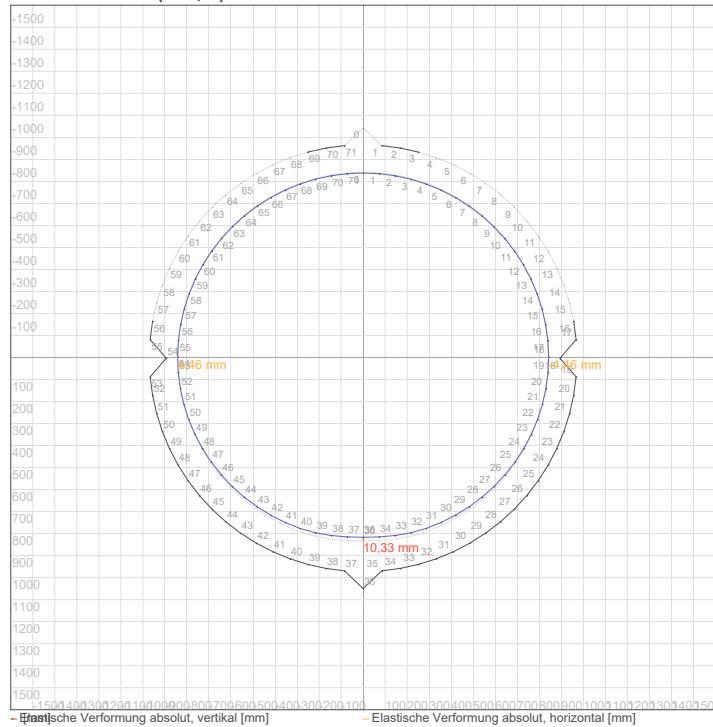
Relevanter Durchmesser für prozentuale Verformung:	d_v	1.720,00	mm
Spaltweite absolut (als konst. Ringspalt):	w_s	4,21	mm
Lokale Vorverformung absolut:	w_v	8,42	mm
Gelenkringverformung absolut, einseitig:	$w_{GR,v}$	0,00	mm
Elastische Verformung absolut, vertikal:	$w_{el,v}$	10,33	mm
Elastische Verformung relativ:	$\delta_{v,el}$	0,60	%
Zulässige Verformung elastisch:	zul $\delta_{v,el}$	6,00	%

Die errechnete elastische Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

Gesamte Durchmesseränderung:	w	18,75	mm
Relative Gesamtverformung:	δ_v	1,09	%
Anhaltswert Gesamtverformung:	$\delta_{v,A}$	10,00	%

Elastische Verformung absolut, horizontal:	$w_{el,h,E1}$	-4,46	mm
Elastische Verformung absolut, horizontal:	$w_{el,h,E2}$	4,46	mm
Elastische Verformung absolut, horizontal:	$w_{el,h}$	8,92	mm

Gebrauchslast (x 1,1)



1.2.6.4 Bodeninteraktion (Gebrauchslast)

Bettungsziffer, Scheitel:	CB	22.222,22	kN/m ³
Innerer Reibungswinkel:	ϕ'	30,00	°
Beiwert:	K_p	3,00	[-]
Vertikale Erdlast:	p_E	52,80	kN/m ²
Grenzwert q_h im Scheitel (informativ):	$q_{h,max}$	128,70	kN/m ²

Vertikale Erdlast bis Kämpfer:	$p_{E,K}$	64,68	kN/m ²
Grenzwert q_h im Kämpfer:	$q_{h,max,K}$	157,66	kN/m ²

Der Wert wird im Kämpfer abgelesen.

Horizontale Gesamtlast:	q_h	21,02	kN/m ²
Seitlicher Bettungsreaktionsdruck:	q_h^*	14,99	kN/m ²
Summe horizontale Kräfte:	$q_h + q_h^*$	36,01	kN/m ²
Ausnutzung max q_h :	U_{maxq_h}	22,8	%

Für die Interaktion Boden-Rohrsystem wurde der elastische Ansatz verwendet. Die Bettung des Rohres wurde um den gesamten Umfang als konstant angenommen. Damit ergibt sich eine Dreiecksförmige Verteilung der Bodenspannungen, deren Maximalwert auf 75% des passiven Erddrucks begrenzt ist.

Die horizontale Kraft aus Bettungsreaktionsdruck und seitlichem Druck im Kämpfer liegt unterhalb des Grenzwertes.

1.2.6.5 Stabilitätsnachweis (Designwerte)

Der maßgebende Nachweis der Stabilität erfolgt über die im Abschnitt 7.6.4.2 (DWA-A 143-2) zugelassene (genauere) Variante einer Berechnung nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung der Vorverformungen und der Spaltbildung. Hierbei wird numerisch überprüft, ob ein elastisches Stabilitätsversagen (Beulen) unter gamma-facher Last eintritt. Darüber hinaus wird geprüft, ob die bei dieser Berechnung ermittelten Spannungen die vorgegeben maximalen Grenzspannungen für Zug und Druck mit einfacher Sicherheit nicht überschreiten.

Nachweis entfällt.

Spannungsnachweis Liner, Design

Fläche (Wanddicke):	A	36,00	mm ² /mm
---------------------	---	-------	---------------------

Außen

Widerstandsmoment, außen:	W _e	216,00	mm ³ /mm
---------------------------	----------------	--------	---------------------

		Druck	Zug	
Element	i	36	49	[-]
Korrekturfaktor (Verformtes System)	α _k	0,99	0,99	[-]
Normalkraft in Element	N _d	-85,03	-85,87	N/mm
Moment in Element	M _d	1.411,49	-841,49	Nmm/mm

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} - \alpha_{ka} \cdot \frac{M_d}{W_e} \quad (88)$$

Spannung in Element	Max σ _d	-8,84	1,45	N/mm ²
Zul. Spannung, Langzeit, Design:	σ _{L,d}	-44,44	37,04	N/mm ²

Ausnutzung Spannungen	U _σ	19,9	3,9	%
-----------------------	----------------	------	-----	---

Der Spannungsnachweis Außen ist erfüllt.

Innen

Widerstandsmoment, innen:	W _i	216,00	mm ³ /mm
---------------------------	----------------	--------	---------------------

		Druck	Zug	
Element	i	48	35	[-]
Korrekturfaktor (Verformtes System)	α _k	1,01	1,01	[-]
Normalkraft in Element	N _d	-85,90	-85,03	N/mm
Moment in Element	M _d	-841,49	1.411,49	Nmm/mm

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} + \alpha_{ki} \cdot \frac{M_d}{W_i} \quad (87)$$

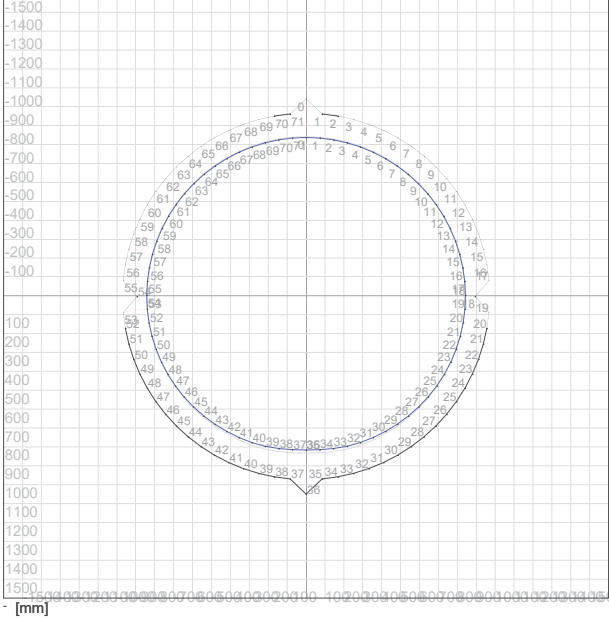
Spannung in Element	Max σ _d	-6,34	4,24	N/mm ²
Zul. Spannung, Langzeit, Design:	σ _{L,d}	-44,44	37,04	N/mm ²

Ausnutzung Spannungen	U _σ	14,3	11,5	%
-----------------------	----------------	------	------	---

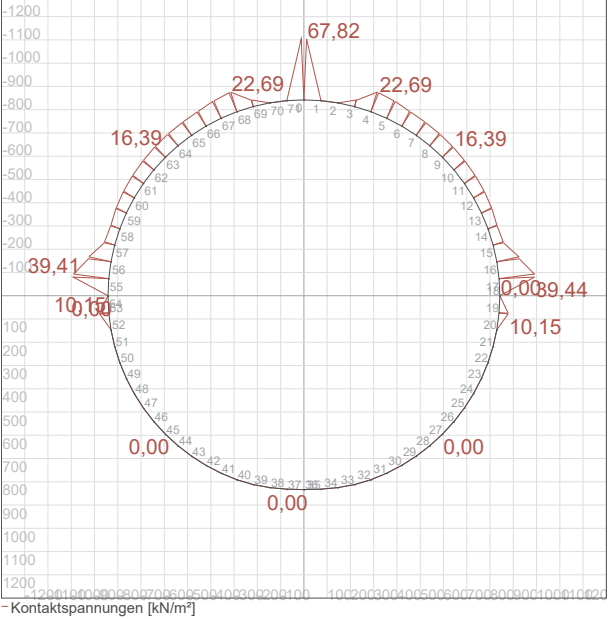
Der Spannungsnachweis Innen ist erfüllt.

Die Spannungen liegen im zulässigen Bereich.

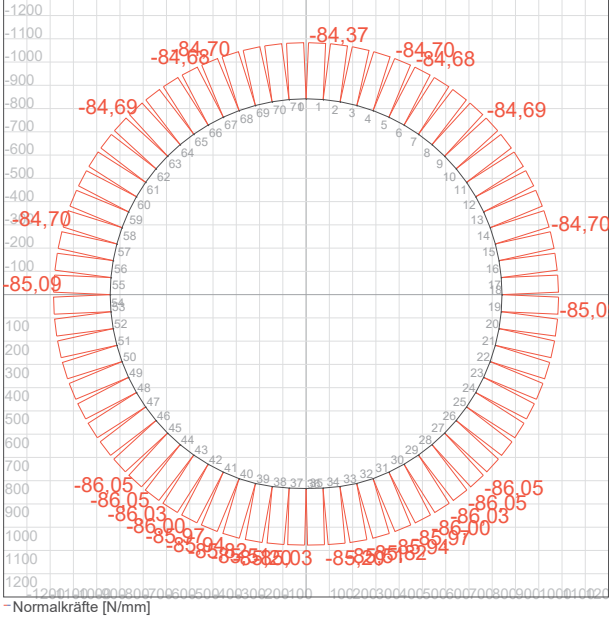
Biegelinie (x ,91)



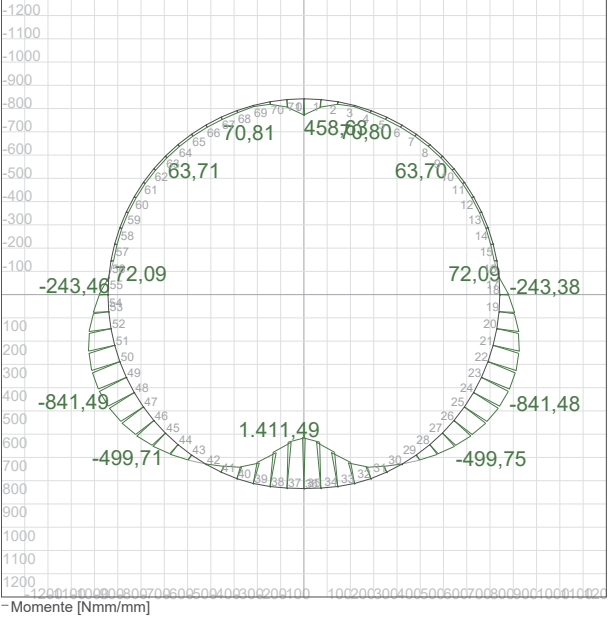
Kontaktspannungen Liner, Design



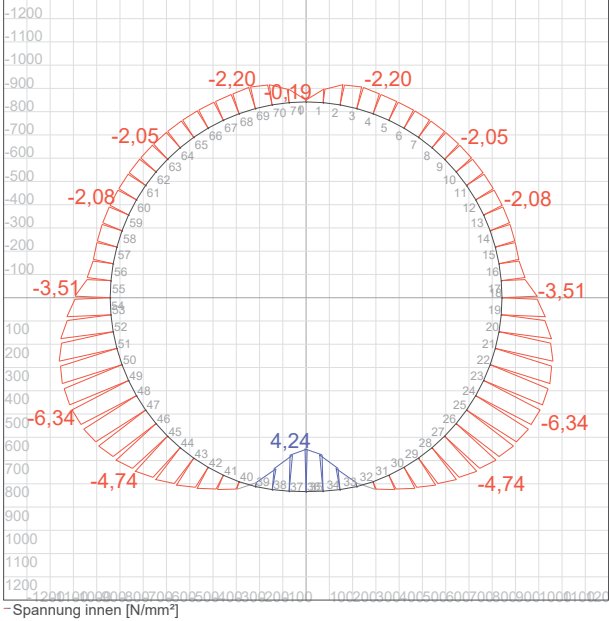
Normalkräfte Liner, Design



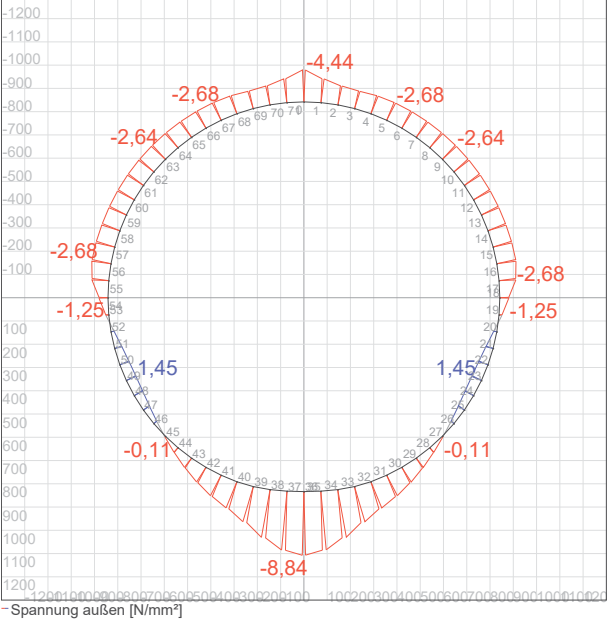
Momente Liner, Design



Spannung innen Liner, Design



Spannung außen Liner, Design



1.2.6.6 Spannungsnachweis Liner, Zwang

Fläche (Wanddicke):

A 36,00 mm²/mm

Außen

Widerstandsmoment, außen:

We 216,00 mm³/mm

Element

Druck 50

Korrekturfaktor (Verformtes System)

Zug 50

Normalkraft in Element

36

Moment in Element

0,99

0,99

-84,45

-85,58

1.436,05

-911,71

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} - \alpha_{ka} \cdot \frac{M_d}{W_e} \quad (88)$$

Spannung in Element

Zul. Spannung, Langzeit, Design:

Max σ_d -8,94 1,78 N/mm²

$\sigma_{L,d}$ -44,44 37,04 N/mm²

Ausnutzung Spannungen

U σ 20,1 4,8 %

Der Spannungsnachweis Außen ist erfüllt.

Innen

Widerstandsmoment, innen:

Wi 216,00 mm³/mm

Element

Druck 35

Korrekturfaktor (Verformtes System)

Zug 35

Normalkraft in Element

49

Moment in Element

1,01

1,01

-85,60

-84,45

-911,71

1.436,05

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} + \alpha_{ki} \cdot \frac{M_d}{W_i} \quad (87)$$

Spannung in Element

Zul. Spannung, Langzeit, Design:

Max σ_d -6,66 4,37 N/mm²

$\sigma_{L,d}$ -44,44 37,04 N/mm²

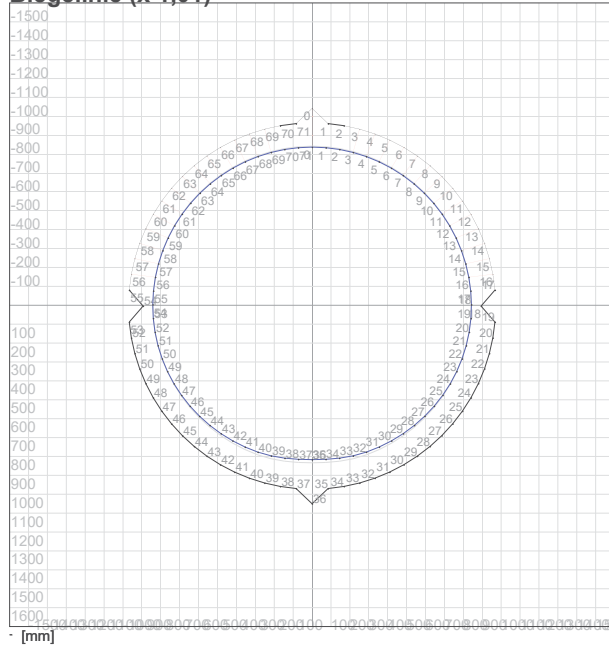
Ausnutzung Spannungen

U σ 15,0 11,8 %

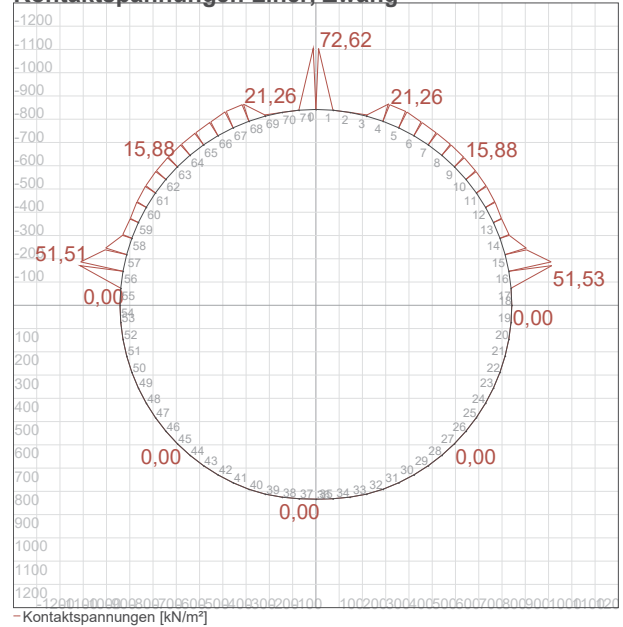
Der Spannungsnachweis Innen ist erfüllt.

Die Spannungen liegen im zulässigen Bereich.

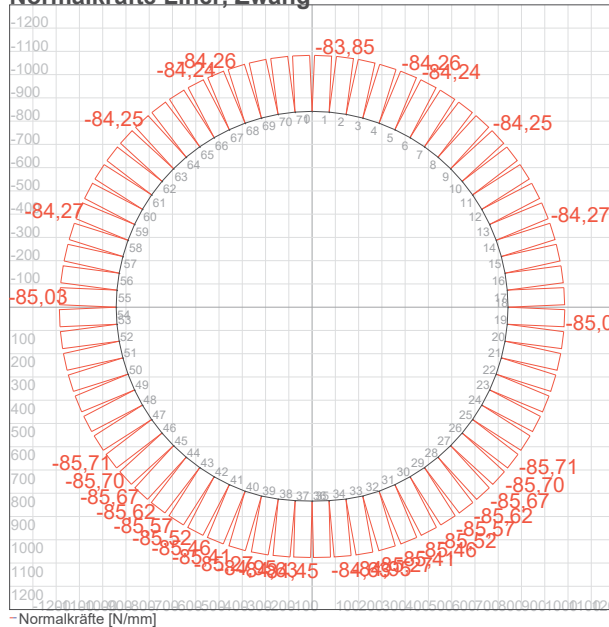
Biegelinie (x 1,01)



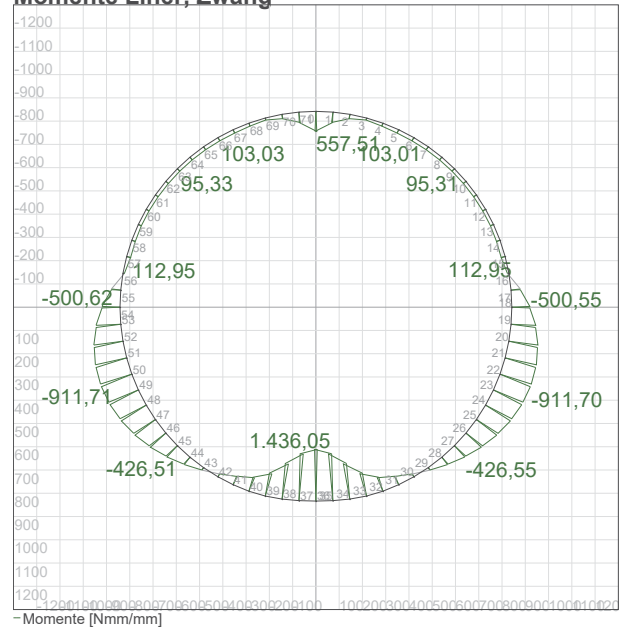
Kontaktspannungen Liner, Zwang



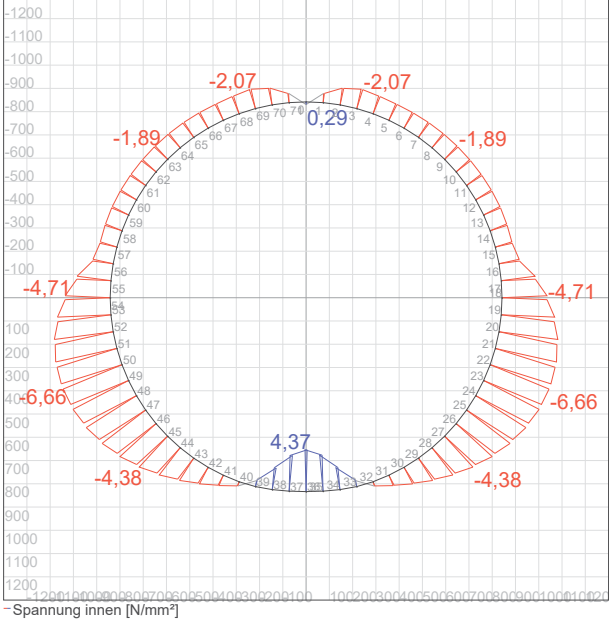
Normalkräfte Liner, Zwang



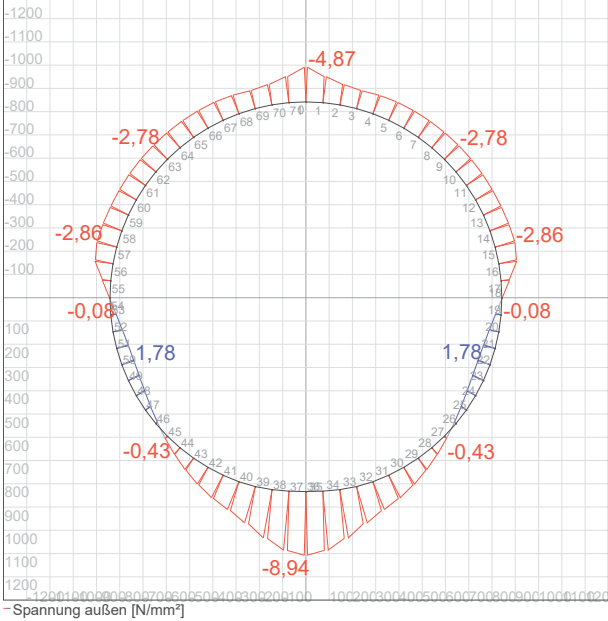
Momente Liner, Zwang



Spannung innen Liner, Zwang



Spannung außen Liner, Zwang



1.2.6.7 Altrohrspannungen Kämpfer

Vertikale Gesamtlast, Design:
Wanddicke Altrohr:
Außendurchmesser Altrohr Kämpfer:
Bezogene Gelenkringexzentrität:
Druckzonenbreite:

$q_{v,d}$	68,65	kN/m ²
t_R	220,00	mm
$d_{AR,k}$	2.160,00	mm
e_G/t	35,00	%
b_D	88,00	mm

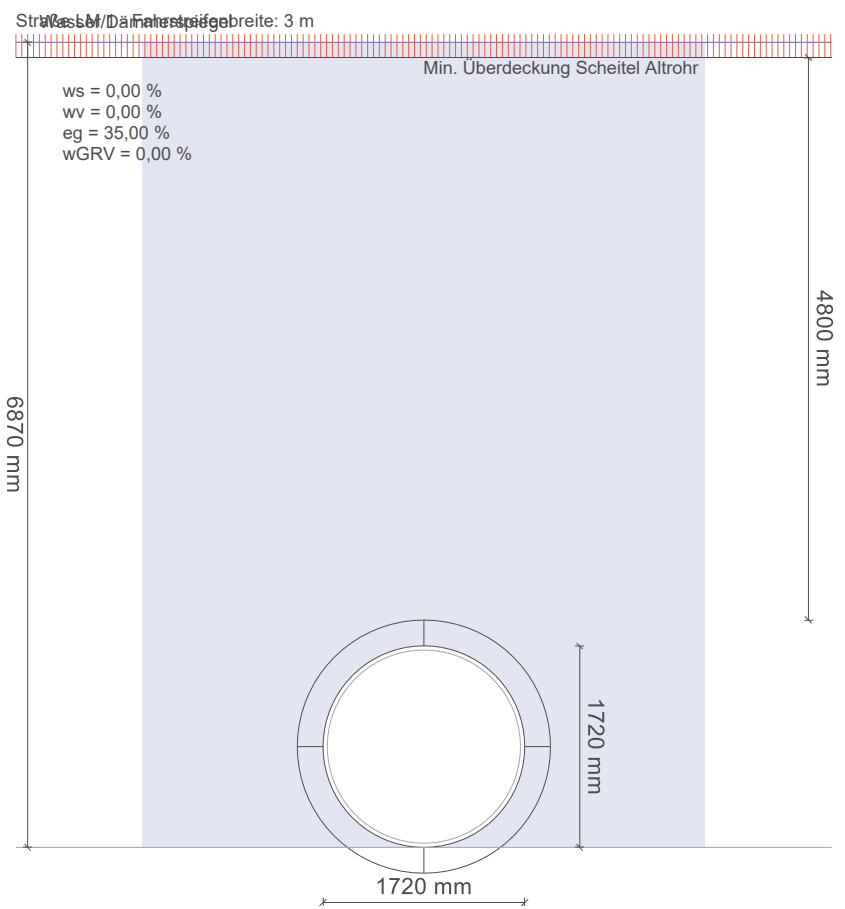
$$N_{K,d} = -q_{v,d} (1 + \omega_{GR,v}) \cdot \frac{d_{AR,k}}{2}$$

Druckkraft im Kämpfer:
Spannung in der Druckzone:
Zul. Druckfestigkeit, Langzeit:
Ausnutzung Druckspannungen AR Kämpfer:

$N_{K,d}$	-74,14	N/mm
σ_d	-1,26	N/mm ²
$\sigma_{D,L}$	20,00	N/mm ²
$U_{\sigma D,AR}$	6,3	%

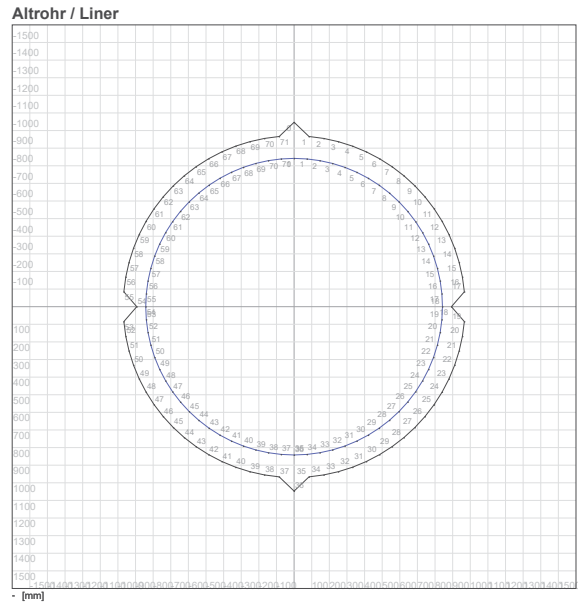
Der Spannungsnachweis für Kämpferspannungen im Altrohr ist erfüllt.

1.2.7 Lastfall 04 AZ III - hW 6,87 m + h 4,80 m + ws 0,0 % + wv 0,0 %, Langzeit



1.2.7.1 Geometrie diskretisiertes System

Skizze



Lokale Vorverformung:	ω_v	0,00	%
Lokale Vorverformung absolut:	w_v	0,00	mm
Gelenkringverformung:	$\omega_{GR,v}$	0,00	%
Gelenkringverformung absolut, einseitig:	$w_{GR,v}$	0,00	mm
Ringspalt:	ω_s	0,00	%
Spaltweite absolut (als konst. Ringspalt):	w_s	0,00	mm
Mittlerer Radius Liner:	$r_{L,m}$	842,00	mm

1.2.7.2 Erdlasten und Verkehrslasten

Wichte Boden, unter Auftrieb:	γ_B'	11,00	kN/m ³
Wichte Boden, trocken:	γ_B	20,00	kN/m ³
Min. Überdeckung Scheitel Altrohr:	h_{min}	4,80	m
Wasser/Dämmerspiegel:	h_w	6,87	m
Wanddicke Altrohr:	t_R	220,00	mm
Vertikale Lichte Höhe Altrohr:	$d_{AR,iv}$	1.720,00	mm
Höhe Wasserspiegel über Altrohrscheitel:	h'_w	4,80	m
Vertikale Erdlast:	p_E	52,80	kN/m ²
Höhe Scheitel bis Kämpfer Altrohr:	$r_{AR,a}$	1.080,00	mm
Höhe Wasserspiegel Altrohrkämpfer bis Altrohrscheitel:	h'_{wk}	1,08	m
Vertikale Erdlast bis Kämpfer:	$p_{E,K}$	64,68	kN/m ²
Anpassungsfaktor α_{Qi} LM1 (DIN EN 1991-2):	$\alpha_{Qi,LM1}$	1,00	[-]
Faktor für Abweichung von Diagrammen/Formeln:	$f_{\alpha,Qi}$	1,25	[-]
Vertikale Bodenspannung aus Verkehrslast in Scheitelhöhe:	p_T	11,25	kN/m ²
Stoßbeiwert:	ϕ	1,20	[-]
Einfache Bodenspannung aus Verkehr:	p	9,38	kN/m ²
Radlast:	F_1	150,00	kN
Vertikale Bodenspannung aus Verkehrslast in Kämpferhöhe (mit ϕ):	p_{TK}	3,80	kN/m ²
Erddruckbeiwert (Einbettung):	K_2	0,300	[-]
Horizontale Bodenspannung aus Verkehr:	$p_{T,h}$	0,95	kN/m ²

Vertikale Verkehrslast:	p_v	11,25	kN/m ²
Vertikale Verkehrslast, Design:	$p_{v,d}$	15,19	kN/m ²
Zusätzliche Flächenlast:	p_0	0,0	kN/m ²
Konzentrationsfaktor über Rohr:	λ_R	0,75	[-]
Vertikale Gesamtlast:	q_v	50,85	kN/m ²
Vertikale Gesamtlast, Design:	$q_{v,d}$	68,65	kN/m ²
E-Modul:	E20	40,00	N/mm ²
Reduktionsfaktor für das Kriechen:	f_1	1,000	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):	f_2	0,750	[-]
E-Modul:	E2	30,00	N/mm ²
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	24,000	N/mm ²
Erdruckbeiwert (Einbettung):	K_2	0,300	[-]
Konzentrationsfaktor Boden:	λ_B	1,083	[-]
Horizontale Erdlast:	$q_{h,E}$	21,02	kN/m ²

Die horizontale Verkehrslast soll nicht berücksichtigt werden und wird deshalb mit 0 kN/m² angesetzt.

Horizontale Verkehrslast:	$q_{h,V}$	0,00	kN/m ²
Horizontale Gesamtlast:	q_h	21,02	kN/m ²
Designwert Horizontale Gesamtlast:	$q_{h,d}$	28,38	kN/m ²
Rechnerischer Erdruckbeiwert:	K_2'	0,413	[-]

1.2.7.3 Verformungsnachweis Liner, Gebrauchslast

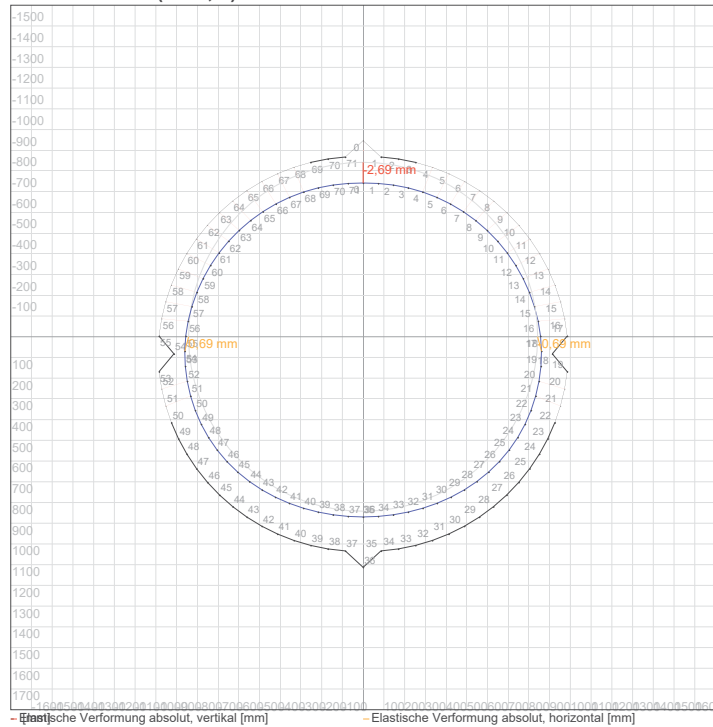
Relevanter Durchmesser für prozentuale Verformung:	d_v	1.720,00	mm
Spaltweite absolut (als konst. Ringspalt):	w_s	0,00	mm
Lokale Vorverformung absolut:	w_v	0,00	mm
Gelenkringverformung absolut, einseitig:	$w_{GR,v}$	0,00	mm
Elastische Verformung absolut, vertikal:	$w_{el,v,E1}$	-2,69	mm
Elastische Verformung absolut, vertikal:	$w_{el,v}$	2,69	mm
Elastische Verformung relativ:	$\delta_{v,el}$	0,16	%
Zulässige Verformung elastisch:	zul $\delta_{v,el}$	6,00	%

Die errechnete elastische Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

Gesamte Durchmesseränderung:	w	2,69	mm
Relative Gesamtverformung:	δ_v	0,16	%
Anhaltswert Gesamtverformung:	$\delta_{v,A}$	10,00	%

Elastische Verformung absolut, horizontal:	$w_{el,h,E1}$	-0,69	mm
Elastische Verformung absolut, horizontal:	$w_{el,h,E2}$	0,69	mm
Elastische Verformung absolut, horizontal:	$w_{el,h}$	1,37	mm

Gebrauchslast (x 26,9)



1.2.7.4 Bodeninteraktion (Gebrauchslast)

Bettungsziffer, Scheitel:	CB	22.222,22	kN/m ³
Innerer Reibungswinkel:	ϕ'	30,00	°
Beiwert:	K_p	3,00	[-]
Vertikale Erdlast:	p_E	52,80	kN/m ²
Grenzwert q_h im Scheitel (informativ):	$q_{h,max}$	128,70	kN/m ²

Vertikale Erdlast bis Kämpfer:	$p_{E,K}$	64,68	kN/m ²
Grenzwert q_h im Kämpfer:	$q_{h,max,K}$	157,66	kN/m ²

Der Wert wird im Kämpfer abgelesen.

Horizontale Gesamtlast:	q_h	21,02	kN/m ²
Seitlicher Bettungsreaktionsdruck:	q_h^*	16,34	kN/m ²
Summe horizontale Kräfte:	$q_h + q_h^*$	37,36	kN/m ²
Ausnutzung max q_h :	$U_{max,qh}$	23,7	%

Für die Interaktion Boden-Rohrsystem wurde der elastische Ansatz verwendet. Die Bettung des Rohres wurde um den gesamten Umfang als konstant angenommen. Damit ergibt sich eine Dreiecksförmige Verteilung der Bodenspannungen, deren Maximalwert auf 75% des passiven Erddrucks begrenzt ist.

Die horizontale Kraft aus Bettungsreaktionsdruck und seitlichem Druck im Kämpfer liegt unterhalb des Grenzwertes.

1.2.7.5 Stabilitätsnachweis (Designwerte)

Der maßgebende Nachweis der Stabilität erfolgt über die im Abschnitt 7.6.4.2 (DWA-A 143-2) zugelassene (genauere) Variante einer Berechnung nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung der Vorverformungen und der Spaltbildung. Hierbei wird numerisch überprüft, ob ein elastisches Stabilitätsversagen (Beulen) unter gamma-facher Last eintritt. Darüber hinaus wird geprüft, ob die bei dieser Berechnung ermittelten Spannungen die vorgegeben maximalen Grenzspannungen für Zug und Druck mit einfacher Sicherheit nicht überschreiten.

Nachweis entfällt.

Spannungsnachweis Liner, Design

Fläche (Wanddicke):	A	36,00	mm ² /mm
---------------------	---	-------	---------------------

Außen

Widerstandsmoment, außen:	W _e	216,00	mm ³ /mm
---------------------------	----------------	--------	---------------------

Element	i	0	-	[-]
Korrekturfaktor (Verformtes System)	α _k	0,99	-	[-]
Normalkraft in Element	N _d	-84,74	-	N/mm
Moment in Element	M _d	359,91	-	Nmm/mm

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} - \alpha_{ka} \cdot \frac{M_d}{W_e} \quad (88)$$

Spannung in Element	Max σ _d	-4,00	-	N/mm ²
Zul. Spannung, Langzeit, Design:	σ _{L,d}	-44,44	37,04	N/mm ²

Ausnutzung Spannungen	U _σ	9,0	n. def.	%
-----------------------	----------------	-----	---------	---

Der Spannungsnachweis Außen ist erfüllt.

Innen

Widerstandsmoment, innen:	W _i	216,00	mm ³ /mm
---------------------------	----------------	--------	---------------------

Element	i	25	-	[-]
Korrekturfaktor (Verformtes System)	α _k	1,01	-	[-]
Normalkraft in Element	N _d	-86,21	-	N/mm
Moment in Element	M _d	-238,29	-	Nmm/mm

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} + \alpha_{ki} \cdot \frac{M_d}{W_i} \quad (87)$$

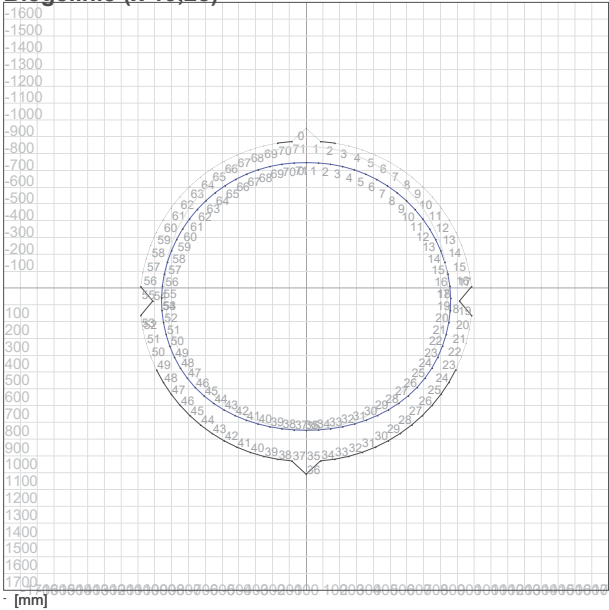
Spannung in Element	Max σ _d	-3,51	-	N/mm ²
Zul. Spannung, Langzeit, Design:	σ _{L,d}	-44,44	37,04	N/mm ²

Ausnutzung Spannungen	U _σ	7,9	n. def.	%
-----------------------	----------------	-----	---------	---

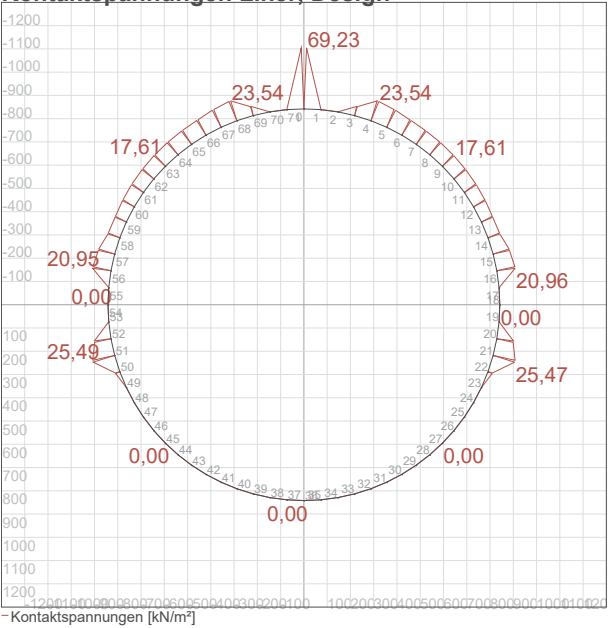
Der Spannungsnachweis Innen ist erfüllt.

Die Spannungen liegen im zulässigen Bereich.

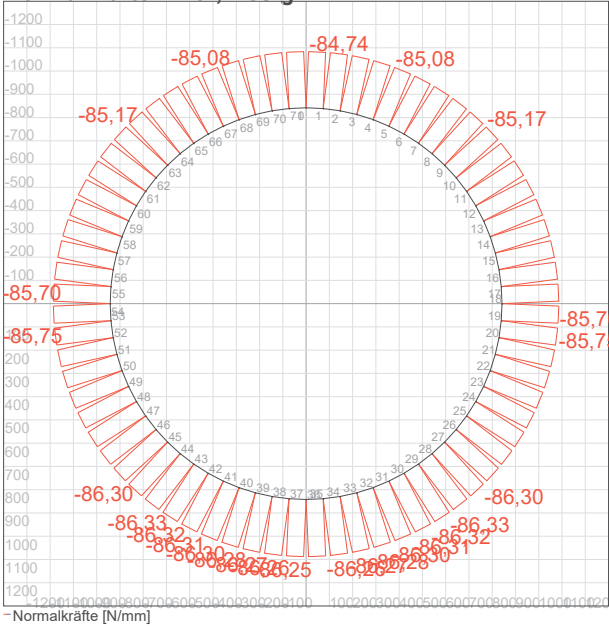
Biegelinie (x 19,28)



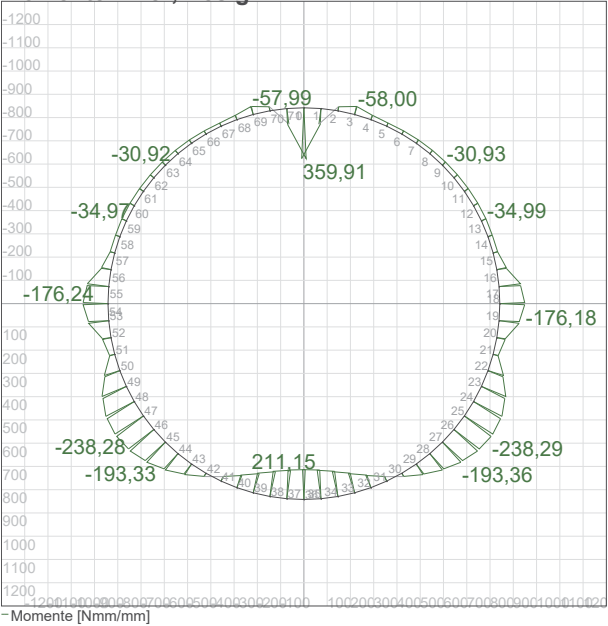
Kontaktspannungen Liner, Design



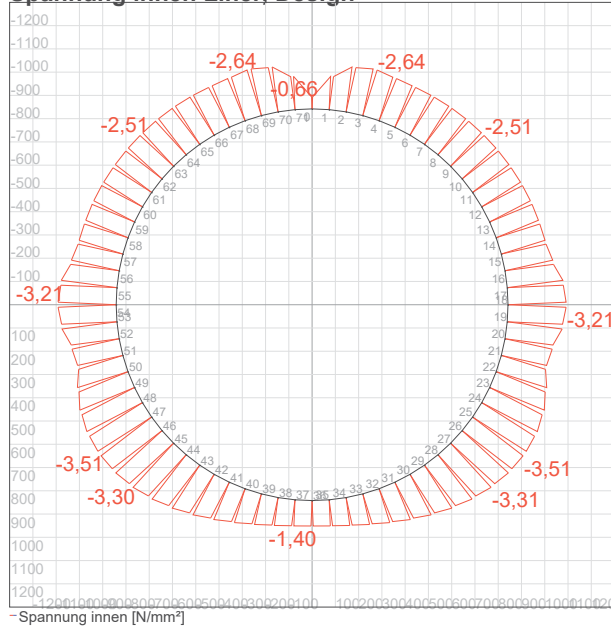
Normalkräfte Liner, Design



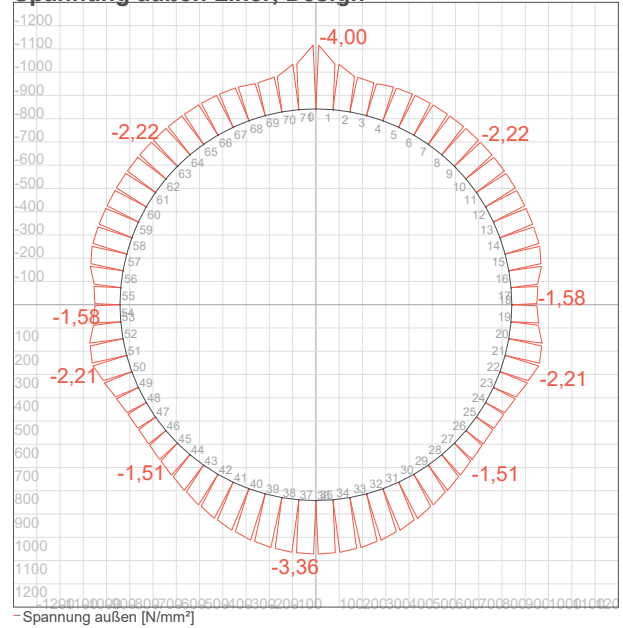
Momente Liner, Design



Spannung innen Liner, Design



Spannung außen Liner, Design



1.2.7.6 Spannungsnachweis Liner, Zwang

Fläche (Wanddicke):

A 36,00 mm²/mm

Außen

Widerstandsmoment, außen:

W_e 216,00 mm³/mm

Element

Druck Zug

Korrekturfaktor (Verformtes System)

i 0 [-]

Normalkraft in Element

α_k 0,99 [-]

Moment in Element

N_d -84,55 N/mm

M_d 442,33 Nmm/mm

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} - \alpha_{ka} \cdot \frac{M_d}{W_e} \quad (88)$$

Spannung in Element

Max σ_d -4,37 N/mm²

Zul. Spannung, Langzeit, Design:

σ_{L,d} -44,44 37,04 N/mm²

Ausnutzung Spannungen

U_σ 9,8 n. def. %

Der Spannungsnachweis Außen ist erfüllt.

Innen

Widerstandsmoment, innen:

W_i 216,00 mm³/mm

Element

Druck Zug

Korrekturfaktor (Verformtes System)

i 25 [-]

Normalkraft in Element

α_k 1,01 [-]

Moment in Element

N_d -86,12 N/mm

M_d -235,58 Nmm/mm

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} + \alpha_{ki} \cdot \frac{M_d}{W_i} \quad (87)$$

Spannung in Element

Max σ_d -3,50 N/mm²

Zul. Spannung, Langzeit, Design:

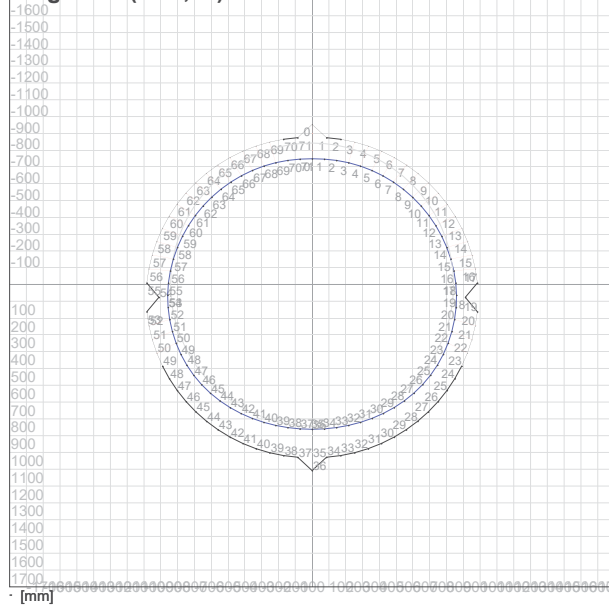
σ_{L,d} -44,44 37,04 N/mm²

Ausnutzung Spannungen

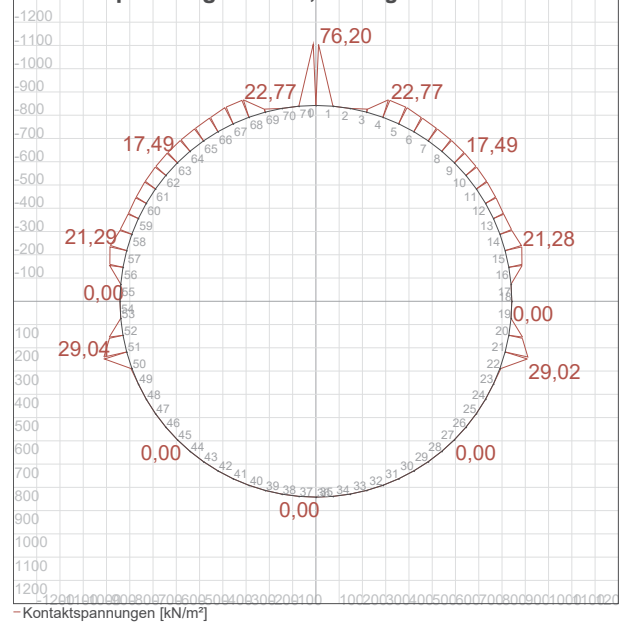
U_σ 7,9 n. def. %

Die Spannungen liegen im zulässigen Bereich.

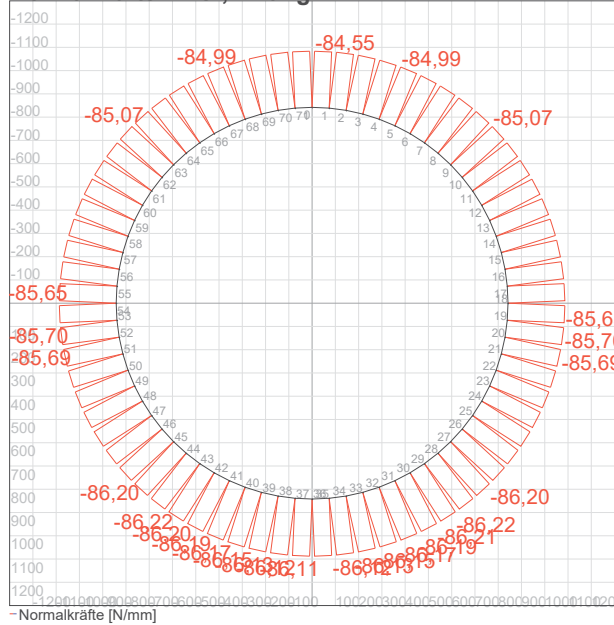
Biegelinie (x 18,87)



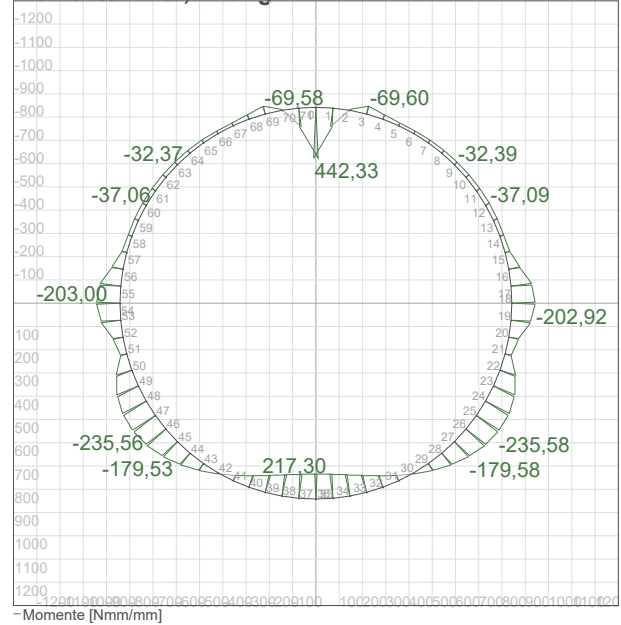
Kontaktspannungen Liner, Zwang



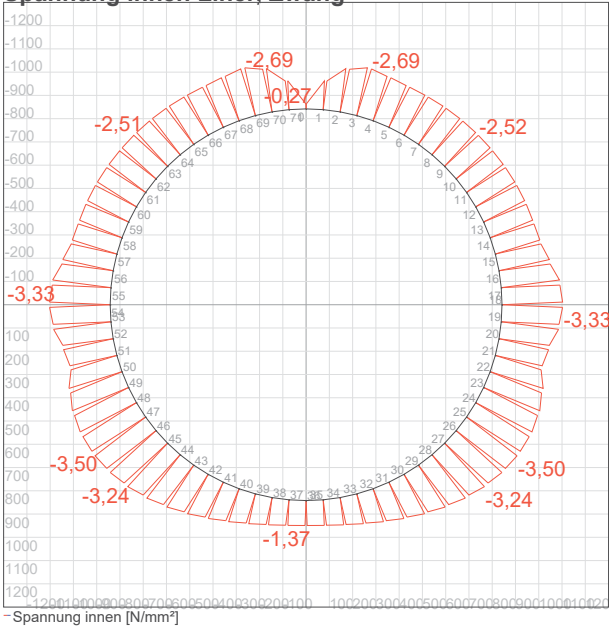
Normalkräfte Liner, Zwang



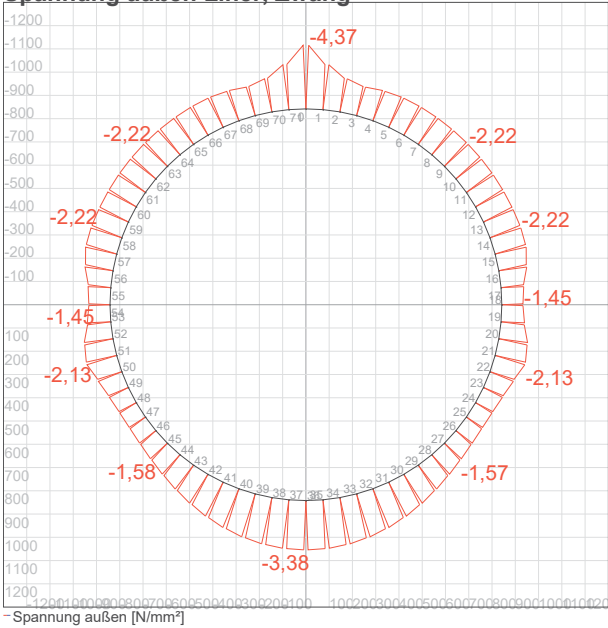
Momente Liner, Zwang



Spannung innen Liner, Zwang



Spannung außen Liner, Zwang



1.2.7.7 Altrohrspannungen Kämpfer

Vertikale Gesamtlast, Design:

Wanddicke Altrohr:

Außendurchmesser Altrohr Kämpfer:

Bezogene Gelenkringexzentrität:

Druckzonenbreite:

$$N_{K,d} = -q_{v,d} (1 + \omega_{GR,v}) \cdot \frac{da_{AR,k}}{2}$$

Druckkraft im Kämpfer:

Spannung in der Druckzone:

Zul. Druckfestigkeit, Langzeit:

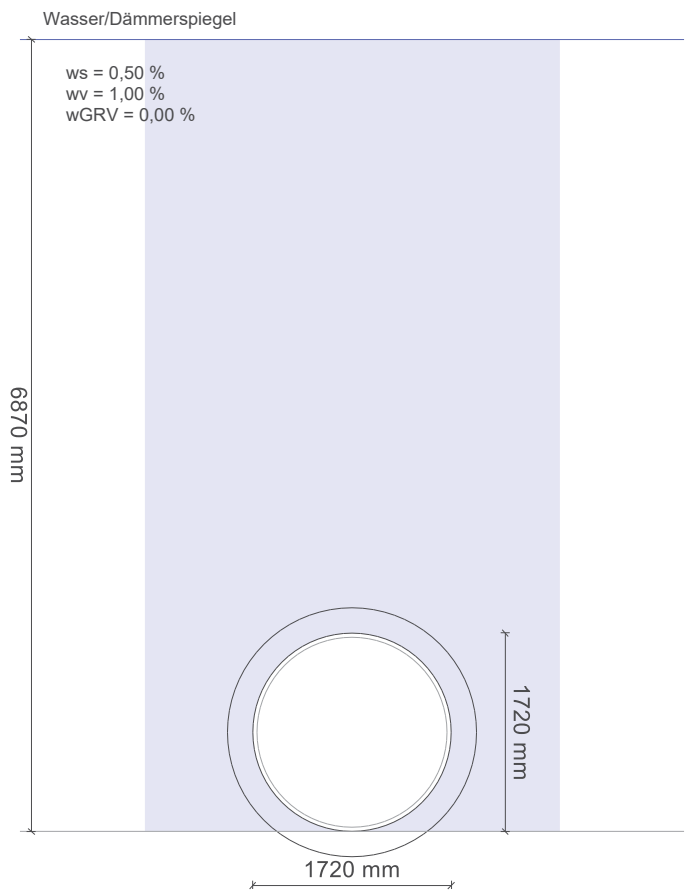
Ausnutzung Druckspannungen AR Kämpfer:

$q_{v,d}$	68,65	kN/m ²
t_R	220,00	mm
$da_{AR,k}$	2.160,00	mm
e_G/t	35,00	%
b_D	88,00	mm

$N_{K,d}$	-74,14	N/mm
σ_d	-1,26	N/mm ²
$\sigma_{D,L}$	20,00	N/mm ²
$U_{\sigma D,AR}$	6,3	%

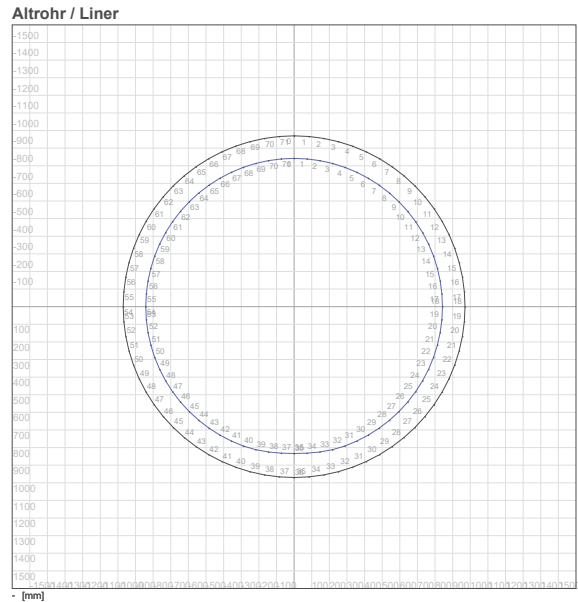
Der Spannungsnachweis für Kämpferspannungen im Altrohr ist erfüllt.

1.2.8 Lastfall 05 AZ II - hmax hW 6,87 m, Langzeit



1.2.8.1 Geometrie diskretisiertes System

Skizze



Lokale Vorverformung:	ω_v	1,00	%
Lokale Vorverformung absolut:	w_v	8,42	mm
Gelenkringverformung:	$\omega_{GR,v}$	0,00	%
Gelenkringverformung absolut, einseitig:	$w_{GR,v}$	0,00	mm

Die nach DWA-A 143-2, Gl. 121 erforderliche Erhöhung des Ringspalt es infolge der Gelenk ringauf weitung des Altrohres wird berück sichtigt.

Ringspalt:	ω_s	0,59	%
Spaltweite absolut (als konst. Ringspalt):	w_s	4,95	mm
Mittlerer Radius Liner:	$r_{L,m}$	842,00	mm

1.2.8.2 Verformungsnachweis Liner, Gebrauchslast

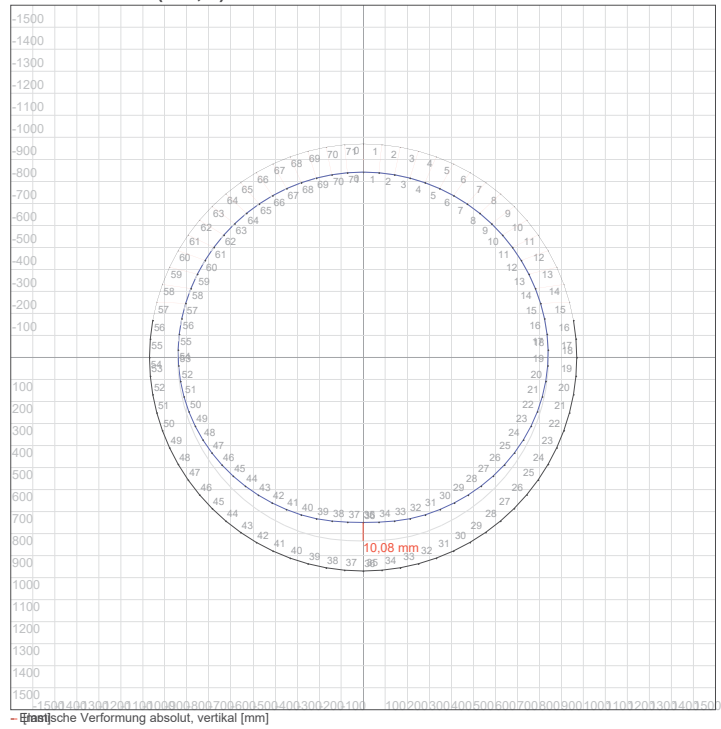
Relevanter Durchmesser für prozentuale Verformung:	d_v	1.720,00	mm
Spaltweite absolut (als konst. Ringspalt):	w_s	4,95	mm
Lokale Vorverformung absolut:	w_v	8,42	mm
Gelenkringverformung absolut, einseitig:	$w_{GR,v}$	0,00	mm

Elastische Verformung absolut, vertikal:	$w_{el,v}$	10,08	mm
Elastische Verformung relativ:	$\delta_{v,el}$	0,59	%
Zulässige Verformung elastisch:	zul $\delta_{v,el}$	3,00	%

Die errechnete elastische Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

Gesamte Durchmesseränderung:	w	18,50	mm
Relative Gesamtverformung:	δ_v	1,08	%
Anhaltswert Gesamtverformung:	$\delta_{v,A}$	10,00	%

Gebrauchslast (x 4,2)



1.2.8.3 Vereinfachter Stabilitätsnachweis (äußerer Wasserdruck / Innendruck)

Mittlerer Radius Liner:	$r_{L,m}$	842,00	mm
R/t Verhältnis:	$r_{L,m}/t_{L,m}$	23,39	[-]
Wanddicke Liner:	t_L	36,00	mm
Mittlerer Radius Liner:	$r_{L,m}$	842,00	mm
E-Modul, Langzeit, Design:	$E_{L,d}$	4.111,11	N/mm ²
Rohrsteifigkeit, Langzeit, Design:	$S_{L,d}$	26,78	kN/m ²

Elastische Verformung absolut, vertikal:	$w_{el,v}$	10,29	mm
Gelenkexzentrizität:	e_G	77,00	mm

$$\Delta\delta_v = (\pi/2 \cdot (t_L/2 + e_G) \cdot (w_{el,v}/r_L)) / r_L \quad (?)$$

Prozentuale Verformung aus Gelenkringverformung:	$\Delta\delta_v$	0,09	%
Prozentuale Gesamtverformung Spalt:	ω_s	0,59	%
Prozentuale örtliche Verformung:	ω_v	1,00	%
Prozentuale Gelenkringverformung:	$\omega_{GR,v}$	0,00	%
Prozentuale Gesamtverformung Spalt:	ω_s	0,59	%
Abminderungsfaktor für örtliche Vorverformung:	K_v	0,82	[-]
Abminderungsfaktor für Spaltbildung:	K_S	0,75	[-]
Abminderungsfaktor:	$K_{V,S}$	0,62	[-]

Durchschlagsbeiwert:	α_D	32,62	[-]
Äußerer Wasserdruck, Design:	$p_{a,d}$	103,05	kN/m ²
Kritischer äußerer Wasserdruck:	krit p_a	538,39	kN/m ²

Abminderungsfaktor ohne Spalt:	$K_{V,Sws0}$	0,82	[-]
Kritischer äußerer Wasserdruck ohne Ringspalt:	krit $p_{a,ws0}$	717,96	kN/m ²
Kritischer äußerer Wasserdruck für eingegebenen Spalt:	krit $p_{a,ws,input}$	553,15	kN/m ²

Ausnutzungsgrad vereinfachte Stabilität:	U_{pa}	19,1	%
--	----------	------	---

Der Stabilitätsnachweis ist erbracht.

1.2.8.4 Stabilitätsnachweis (Designwerte)

Der maßgebende Nachweis der Stabilität erfolgt über die im Abschnitt 7.6.4.2 (DWA-A 143-2) zugelassene (genauere) Variante einer Berechnung nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung der Vorverformungen und der Spaltbildung. Hierbei wird numerisch überprüft, ob ein elastisches Stabilitätsversagen (Beulen) unter gamma-facher Last eintritt. Darüber hinaus wird geprüft, ob die bei dieser Berechnung ermittelten Spannungen die vorgegeben maximalen Grenzspannungen für Zug und Druck mit einfacher Sicherheit nicht überschreiten.

Spannungsnachweis Liner, Design

Fläche (Wanddicke):	A	36,00	mm ² /mm
---------------------	---	-------	---------------------

Außen

Widerstandsmoment, außen:	W_e	216,00	mm ³ /mm
	Druck	Zug	
Element	i	36	49
Korrekturfaktor (Verformtes System)	α_k	0,99	0,99
Normalkraft in Element	N_d	-84,98	-85,85
Moment in Element	M_d	1.409,74	-855,54

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} - \alpha_{ka} \cdot \frac{M_d}{W_e} \quad (88)$$

Spannung in Element	Max σ_d	-8,83	1,52	N/mm ²
Zul. Spannung, Langzeit, Design:	$\sigma_{L,d}$	-44,44	37,04	N/mm ²
Ausnutzung Spannungen	U_σ	19,9	4,1	%

Der Spannungsnachweis Außen ist erfüllt.

Innen

Widerstandsmoment, innen:

Element

Korrekturfaktor (Verformtes System)

Normalkraft in Element

Moment in Element

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} + \alpha_{ki} \cdot \frac{M_d}{W_i}$$

(87)

Spannung in Element

Zul. Spannung, Langzeit, Design:

Ausnutzung Spannungen

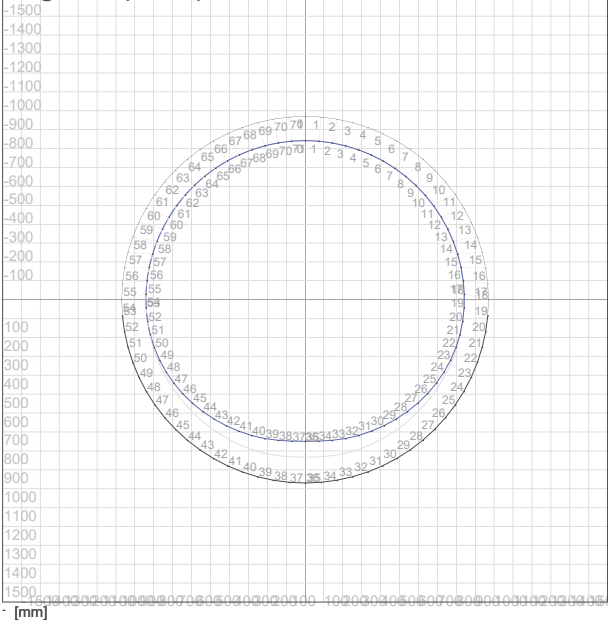
	W_i	216,00	mm ³ /mm
	Druck	Zug	
i	48	35	[-]
α_k	1,01	1,01	[-]
N_d	-85,88	-84,98	N/mm
M_d	-855,54	1.409,74	Nmm/mm

Max σ_d	-6,40	4,24	N/mm ²
$\sigma_{L,d}$	-44,44	37,04	N/mm ²
U_σ	14,4	11,4	%

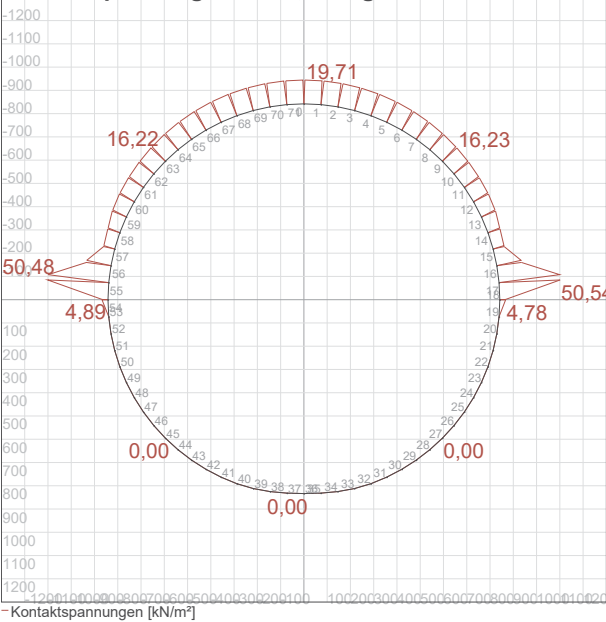
Der Spannungsnachweis Innen ist erfüllt.

Die Spannungen liegen im zulässigen Bereich.

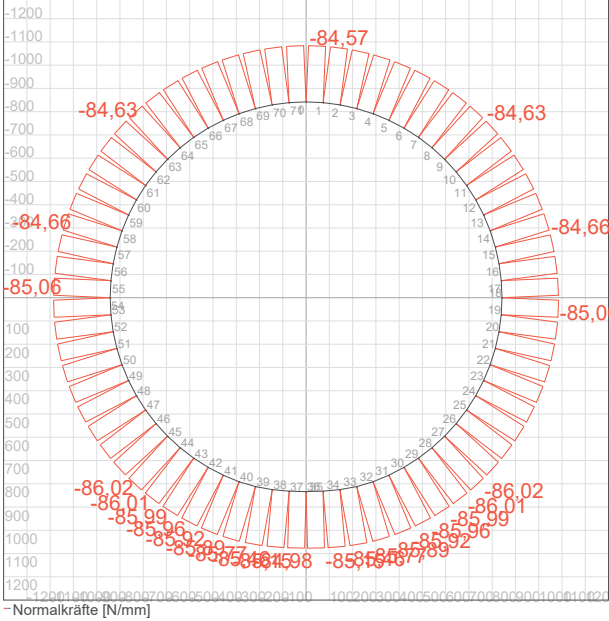
Biegelinie (x 3,42)



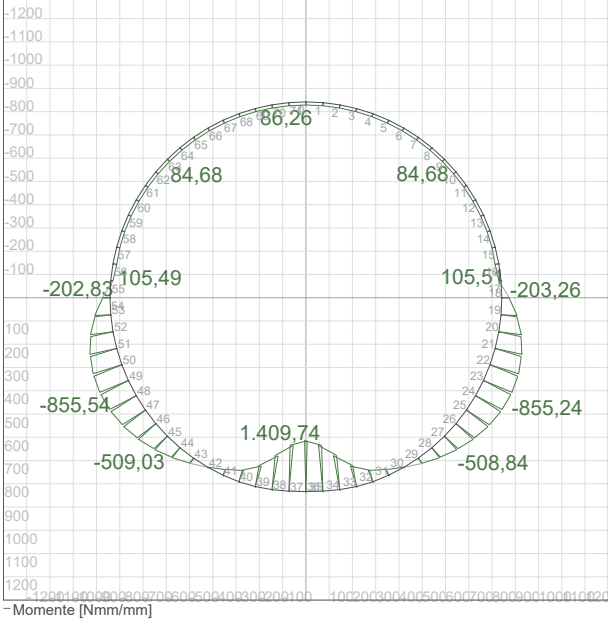
Kontaktspannungen Liner, Design



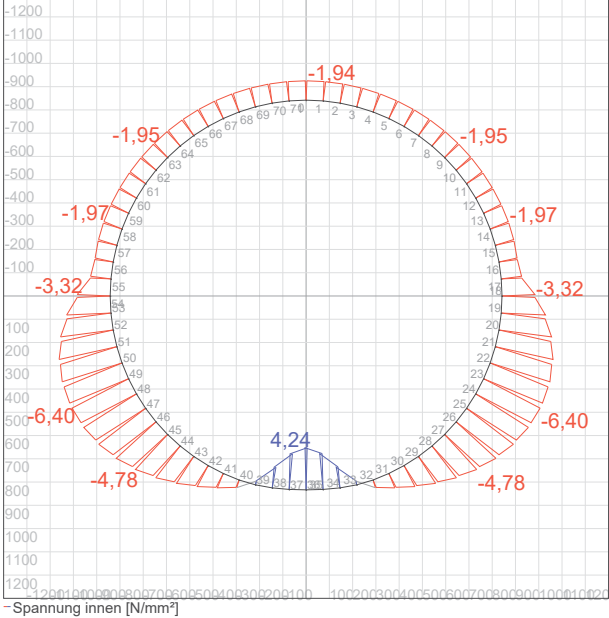
Normalkräfte Liner, Design



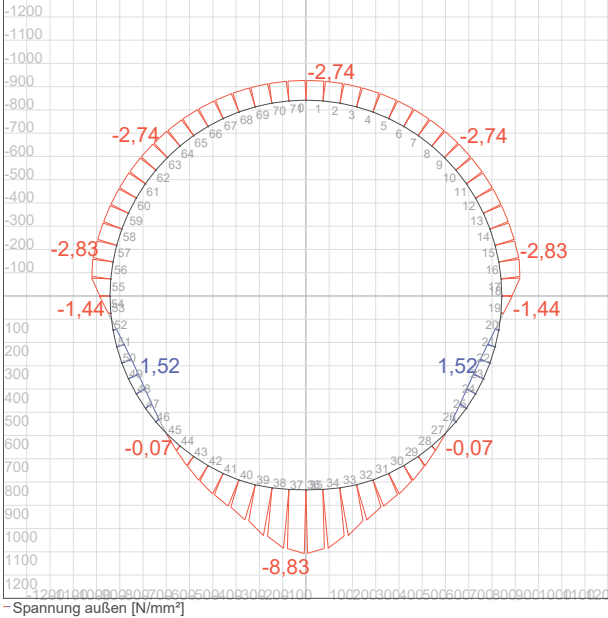
Momente Liner, Design



Spannung innen Liner, Design



Spannung außen Liner, Design



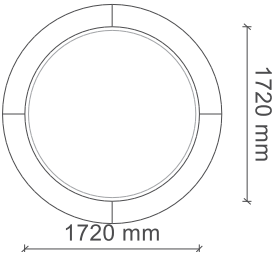
1.2.9 Lastfall 06 AZ III - hW 0,00 m + h 6,00 m + ws 0,0 % + wv 0,0 %, Langzeit

Straße LM 1 - Fahrstreifenbreite: 3 m

ws = 0,00 %
wv = 0,00 %
eg = 35,00 %
wGRV = 0,00 %

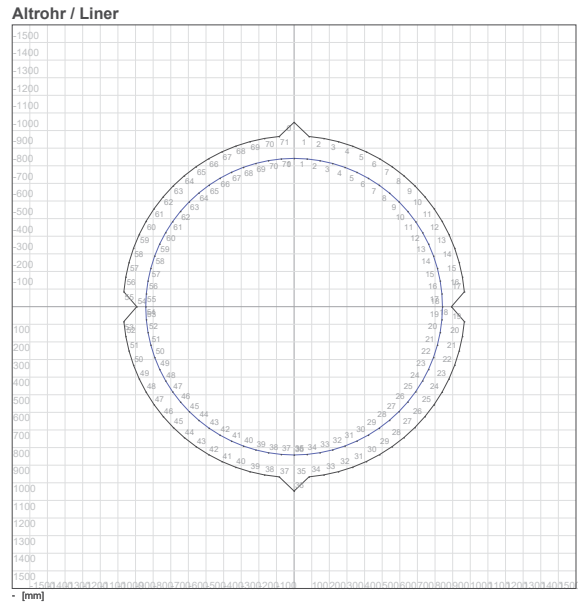
Max. Überdeckung Scheitel Altrohr

6000 mm



1.2.9.1 Geometrie diskretisiertes System

Skizze



Lokale Vorverformung:	ω_v	0,00	%
Lokale Vorverformung absolut:	w_v	0,00	mm
Gelenkringverformung:	$\omega_{GR,v}$	0,00	%
Gelenkringverformung absolut, einseitig:	$w_{GR,v}$	0,00	mm
Ringspalt:	ω_s	0,00	%
Spaltweite absolut (als konst. Ringspalt):	w_s	0,00	mm
Mittlerer Radius Liner:	$r_{L,m}$	842,00	mm

1.2.9.2 Erdlasten und Verkehrslasten

Wichte Boden, unter Auftrieb:	γ_B'	11,00	kN/m ³
Wichte Boden, trocken:	γ_B	20,00	kN/m ³
Max. Überdeckung Scheitel Altrohr:	h_{max}	6,00	m
Wasser/Dämmerspiegel:	h_w	0,00	m
Wanddicke Altrohr:	t_R	220,00	mm
Vertikale Lichte Höhe Altrohr:	$d_{AR,iv}$	1.720,00	mm
Höhe Wasserspiegel über Altrohrscheitel:	h'_w	0,00	m
Vertikale Erdlast:	p_E	120,00	kN/m ²
Höhe Scheitel bis Kämpfer Altrohr:	$r_{AR,a}$	1.080,00	mm
Höhe Wasserspiegel Altrohrkämpfer bis Altrohrscheitel:	h'_{wk}	0,00	m
Vertikale Erdlast bis Kämpfer:	$p_{E,K}$	141,60	kN/m ²
Anpassungsfaktor α_{Qi} LM1 (DIN EN 1991-2):	$\alpha_{Qi,LM1}$	1,00	[-]
Faktor für Abweichung von Diagrammen/Formeln:	$f_{\alpha,Qi}$	1,25	[-]
Vertikale Bodenspannung aus Verkehrslast in Scheitelhöhe:	p_T	6,41	kN/m ²
Stoßbeiwert:	ϕ	1,20	[-]
Einfache Bodenspannung aus Verkehr:	p	5,34	kN/m ²
Radlast:	F_1	150,00	kN
Vertikale Bodenspannung aus Verkehrslast in Kämpferhöhe (mit ϕ):	p_{TK}	2,68	kN/m ²
Erddruckbeiwert (Einbettung):	K_2	0,300	[-]
Horizontale Bodenspannung aus Verkehr:	$p_{T,h}$	0,67	kN/m ²

Vertikale Verkehrslast:	p_v	6,41	kN/m ²
Vertikale Verkehrslast, Design:	$p_{v,d}$	8,66	kN/m ²
Zusätzliche Flächenlast:	p_0	0,0	kN/m ²
Konzentrationsfaktor über Rohr:	λ_R	0,75	[-]
Vertikale Gesamtlast:	q_v	96,41	kN/m ²
Vertikale Gesamtlast, Design:	$q_{v,d}$	130,16	kN/m ²
E-Modul:	E20	40,00	N/mm ²
Reduktionsfaktor für das Kriechen:	f_1	1,000	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):	f_2	1,000	[-]
E-Modul:	E2	40,00	N/mm ²
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	32,000	N/mm ²
Erdruckbeiwert (Einbettung):	K_2	0,300	[-]
Konzentrationsfaktor Boden:	λ_B	1,083	[-]
Horizontale Erdlast:	$q_{h,E}$	46,02	kN/m ²

Die horizontale Verkehrslast soll nicht berücksichtigt werden und wird deshalb mit 0 kN/m² angesetzt.

Horizontale Verkehrslast:	$q_{h,V}$	0,00	kN/m ²
Horizontale Gesamtlast:	q_h	46,02	kN/m ²
Designwert Horizontale Gesamtlast:	$q_{h,d}$	62,13	kN/m ²
Rechnerischer Erdruckbeiwert:	K_2'	0,477	[-]

1.2.9.3 Verformungsnachweis Liner, Gebrauchslast

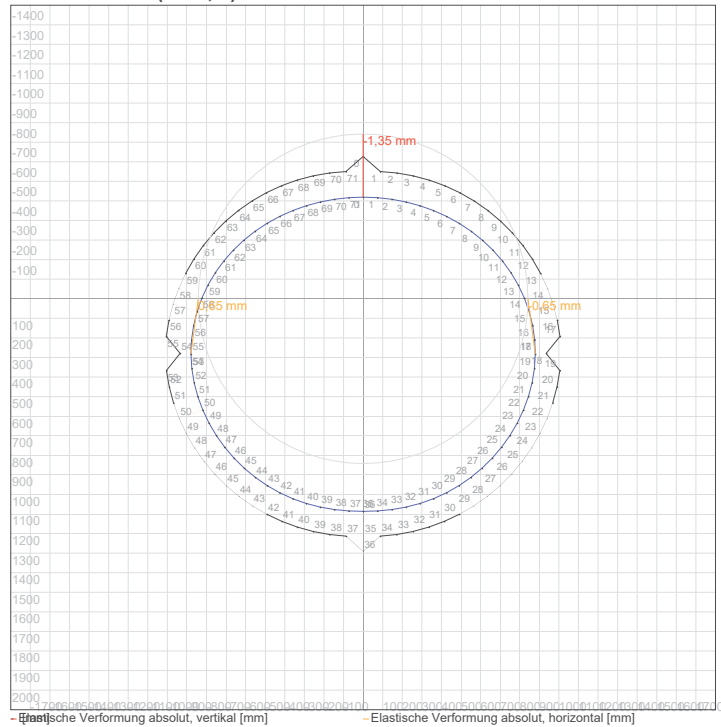
Relevanter Durchmesser für prozentuale Verformung:	d_v	1.720,00	mm
Spaltweite absolut (als konst. Ringspalt):	w_s	0,00	mm
Lokale Vorverformung absolut:	w_v	0,00	mm
Gelenkringverformung absolut, einseitig:	$w_{GR,v}$	0,00	mm
Elastische Verformung absolut, vertikal:	$w_{el,v,E1}$	-1,35	mm
Elastische Verformung absolut, vertikal:	$w_{el,v}$	1,35	mm
Elastische Verformung relativ:	$\delta_{v,el}$	0,08	%
Zulässige Verformung elastisch:	zul $\delta_{v,el}$	6,00	%

Die errechnete elastische Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

Gesamte Durchmesseränderung:	w	1,35	mm
Relative Gesamtverformung:	δ_v	0,08	%
Anhaltswert Gesamtverformung:	$\delta_{v,A}$	10,00	%

Elastische Verformung absolut, horizontal:	$w_{el,h,E1}$	-0,65	mm
Elastische Verformung absolut, horizontal:	$w_{el,h,E2}$	0,65	mm
Elastische Verformung absolut, horizontal:	$w_{el,h}$	1,29	mm

Gebrauchslast (x 58,0)



1.2.9.4 Bodeninteraktion (Gebrauchslast)

Bettungsziffer, Scheitel:	CB	29.629,63	kN/m ³
Innerer Reibungswinkel:	ϕ'	30,00	°
Beiwert:	K_p	3,00	[-]
Vertikale Erdlast:	p_E	120,00	kN/m ²
Grenzwert q_h im Scheitel (informativ):	$q_{h,max}$	292,50	kN/m ²

Vertikale Erdlast bis Kämpfer:	$p_{E,K}$	141,60	kN/m ²
Grenzwert q_h im Kämpfer:	$q_{h,max,K}$	345,15	kN/m ²

Der Wert wird im Kämpfer abgelesen.

Horizontale Gesamtlast:	q_h	46,02	kN/m ²
Seitlicher Bettungsreaktionsdruck:	q_h^*	21,47	kN/m ²
Summe horizontale Kräfte:	$q_h + q_h^*$	67,49	kN/m ²
Ausnutzung max q_h :	$U_{max,qh}$	19,6	%

Für die Interaktion Boden-Rohrsystem wurde der elastische Ansatz verwendet. Die Bettung des Rohres wurde um den gesamten Umfang als konstant angenommen. Damit ergibt sich eine Dreiecksförmige Verteilung der Bodenspannungen, deren Maximalwert auf 75% des passiven Erddrucks begrenzt ist.

Die horizontale Kraft aus Bettungsreaktionsdruck und seitlichem Druck im Kämpfer liegt unterhalb des Grenzwertes.

1.2.9.5 Stabilitätsnachweis (Designwerte)

Der maßgebende Nachweis der Stabilität erfolgt über die im Abschnitt 7.6.4.2 (DWA-A 143-2) zugelassene (genauere) Variante einer Berechnung nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung der Vorverformungen und der Spaltbildung. Hierbei wird numerisch überprüft, ob ein elastisches Stabilitätsversagen (Beulen) unter gamma-facher Last eintritt. Darüber hinaus wird geprüft, ob die bei dieser Berechnung ermittelten Spannungen die vorgegeben maximalen Grenzspannungen für Zug und Druck mit einfacher Sicherheit nicht überschreiten.

Nachweis entfällt.

Spannungsnachweis Liner, Design

Fläche (Wanddicke):	A	36,00	mm ² /mm
---------------------	---	-------	---------------------

Außen

Widerstandsmoment, außen:	W _e	216,00	mm ³ /mm
---------------------------	----------------	--------	---------------------

Element	i	Druck	Zug	
Korrekturfaktor (Verformtes System)	α _k	35	53	[-]
Normalkraft in Element	N _d	0,99	0,99	[-]
Moment in Element	M _d	-1,68	-1,22	N/mm
		167,95	-80,79	Nmm/mm

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} - \alpha_{ka} \cdot \frac{M_d}{W_e} \quad (88)$$

Spannung in Element	Max σ _d	-0,81	0,33	N/mm ²
Zul. Spannung, Langzeit, Design:	σ _{L,d}	-44,44	37,04	N/mm ²

Ausnutzung Spannungen	U _σ	1,8	0,9	%
-----------------------	----------------	-----	-----	---

Der Spannungsnachweis Außen ist erfüllt.

Innen

Widerstandsmoment, innen:	W _i	216,00	mm ³ /mm
---------------------------	----------------	--------	---------------------

Element	i	Druck	Zug	
Korrekturfaktor (Verformtes System)	α _k	54	36	[-]
Normalkraft in Element	N _d	1,01	1,01	[-]
Moment in Element	M _d	-1,22	-1,68	N/mm
		-80,79	167,95	Nmm/mm

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} + \alpha_{ki} \cdot \frac{M_d}{W_i} \quad (87)$$

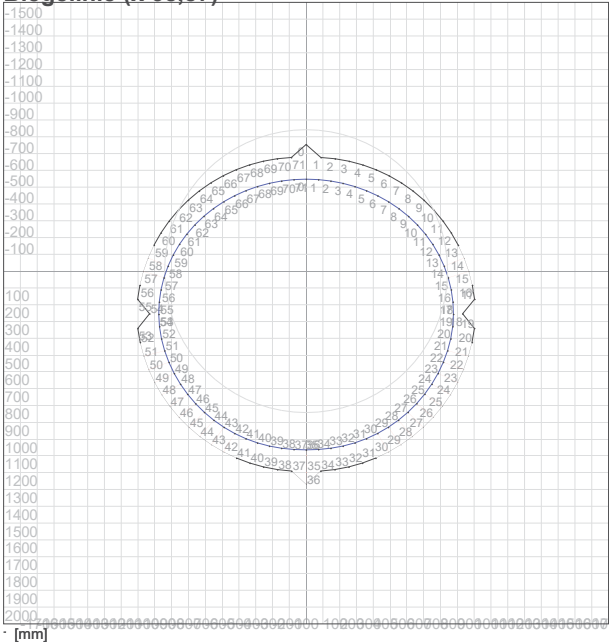
Spannung in Element	Max σ _d	-0,41	0,74	N/mm ²
Zul. Spannung, Langzeit, Design:	σ _{L,d}	-44,44	37,04	N/mm ²

Ausnutzung Spannungen	U _σ	0,9	2,0	%
-----------------------	----------------	-----	-----	---

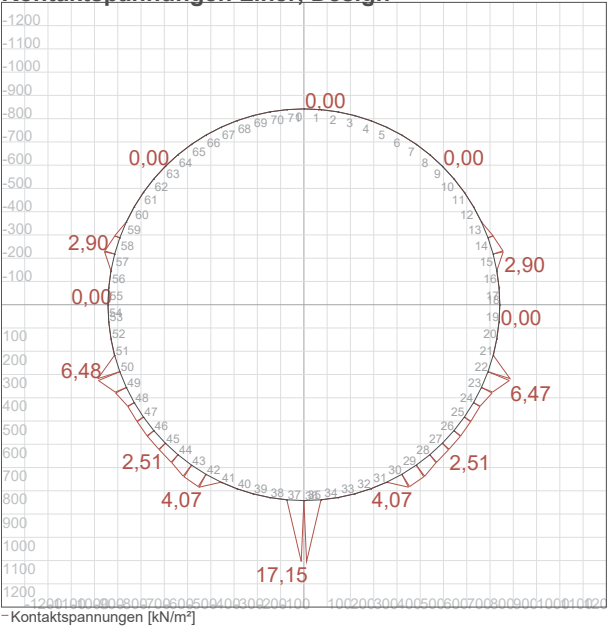
Der Spannungsnachweis Innen ist erfüllt.

Die Spannungen liegen im zulässigen Bereich.

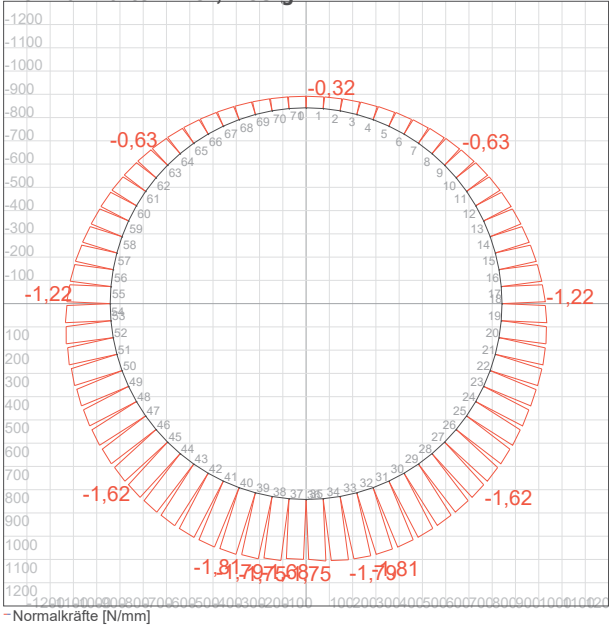
Biegelinie (x 38,87)



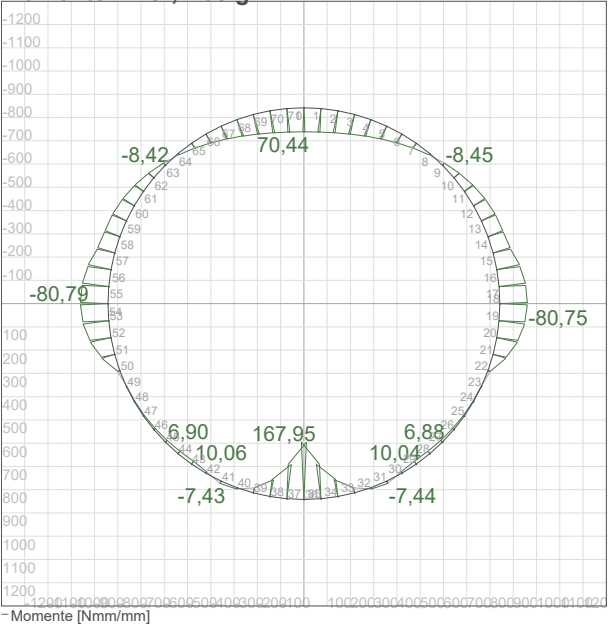
Kontaktspannungen Liner, Design



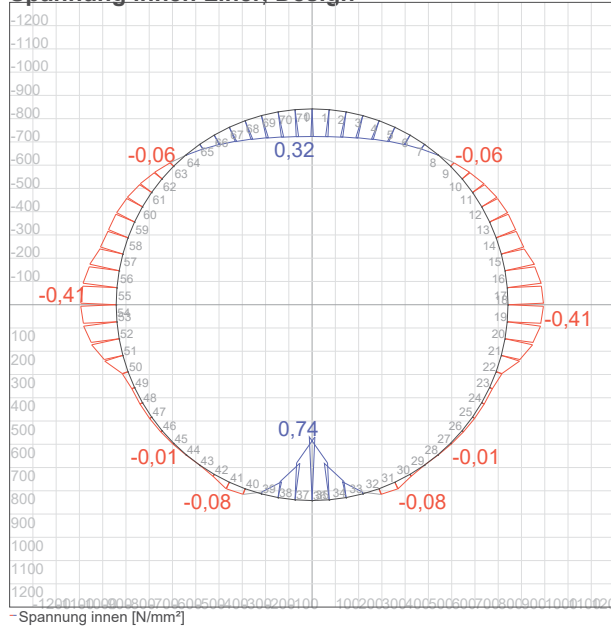
Normalkräfte Liner, Design



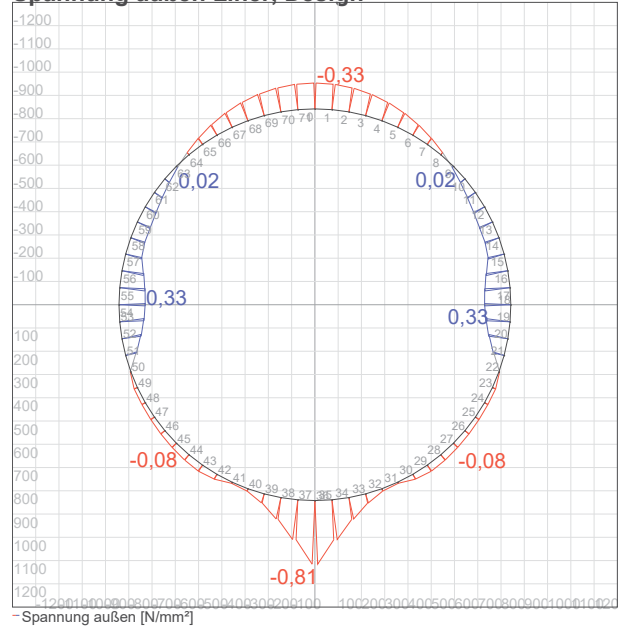
Momente Liner, Design



Spannung innen Liner, Design



Spannung außen Liner, Design



1.2.9.6 Spannungsnachweis Liner, Zwang

Fläche (Wanddicke):

A 36,00 mm²/mm

Außen

Widerstandsmoment, außen:

W_e 216,00 mm³/mm

Element

Korrekturfaktor (Verformtes System)

Normalkraft in Element

Moment in Element

i	35	53	[-]
α _k	0,99	0,99	[-]
N _d	-1,59	-1,19	N/mm
M _d	203,61	-101,01	Nmm/mm

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} - \alpha_{ka} \cdot \frac{M_d}{W_e} \quad (88)$$

Spannung in Element

Zul. Spannung, Langzeit, Design:

Max σ _d	-0,97	0,43	N/mm²
σ _{L,d}	-44,44	37,04	N/mm²

Ausnutzung Spannungen

U _σ	2,2	1,2	%
----------------	-----	-----	---

Der Spannungsnachweis Außen ist erfüllt.

Innen

Widerstandsmoment, innen:

W_i 216,00 mm³/mm

Element

Korrekturfaktor (Verformtes System)

Normalkraft in Element

Moment in Element

i	54	36	[-]
α _k	1,01	1,01	[-]
N _d	-1,19	-1,59	N/mm
M _d	-101,01	203,61	Nmm/mm

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} + \alpha_{ki} \cdot \frac{M_d}{W_i} \quad (87)$$

Spannung in Element

Zul. Spannung, Langzeit, Design:

Max σ _d	-0,51	0,91	N/mm²
σ _{L,d}	-44,44	37,04	N/mm²

Ausnutzung Spannungen

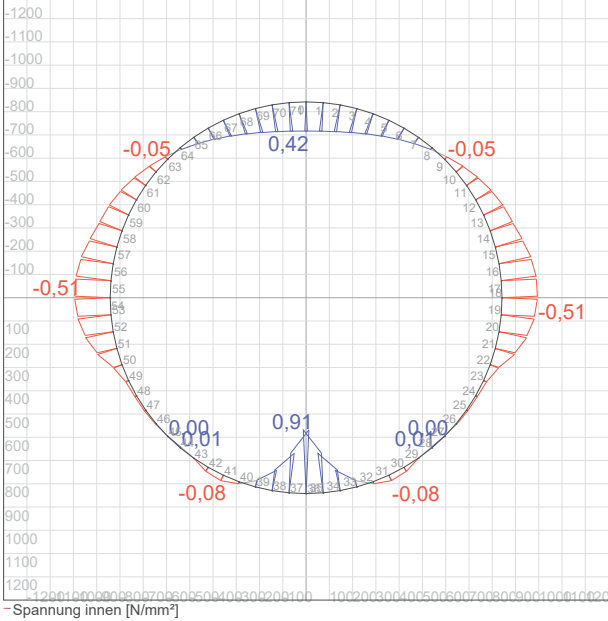
U _σ	1,1	2,5	%
----------------	-----	-----	---

Die Spannungen liegen im zulässigen Bereich.

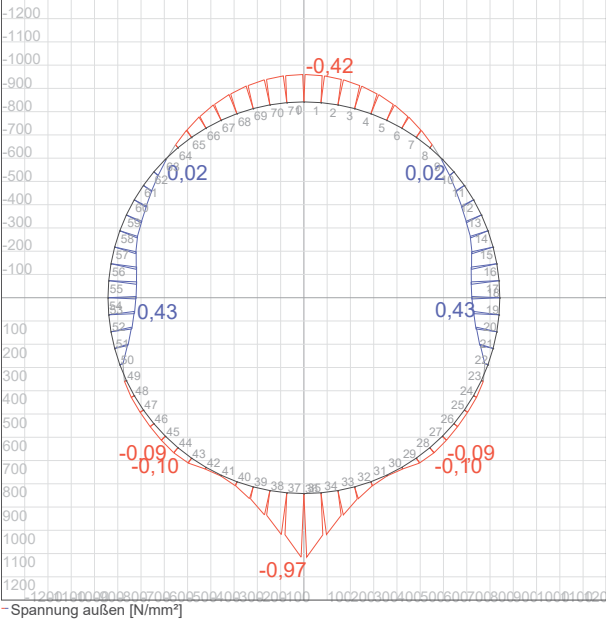
The diagram shows a circular distribution of 360 points, numbered 0 to 35. The points are arranged in a circular pattern, with some numbers repeated, indicating a specific distribution pattern. The vertical axis is labeled from -1400 to 2000 in increments of 100. The horizontal axis is labeled from -1000 to 1000 in increments of 100. The points are numbered 0 to 35, with some numbers repeated, indicating a specific distribution pattern.

Diagramm der Kontaktspannungen [kN/m²] in der Draufsicht auf die Baugrubensohle. Die Spannungen sind über die Sohle verteilt, mit Werten von 0,00 bis 18,52 kN/m². Die Sohle ist in 100 cm breite Streifen unterteilt, die von 1 bis 100 nummeriert sind. Die Spannungen sind in einem Koordinatensystem mit der x-Achse von -1200 bis 1200 cm und der y-Achse von -1200 bis 1200 cm eingezeichnet.

Spannung innen Liner, Zwang



Spannung außen Liner, Zwang



1.2.9.7 Altrohrspannungen Kämpfer

Vertikale Gesamtlast, Design:
Wanddicke Altrohr:
Außendurchmesser Altrohr Kämpfer:
Bezogene Gelenkringexzentrität:
Druckzonenbreite:

$q_{v,d}$	130,16	kN/m ²
t_R	220,00	mm
$d_{AR,k}$	2.160,00	mm
e_G/t	35,00	%
b_D	88,00	mm

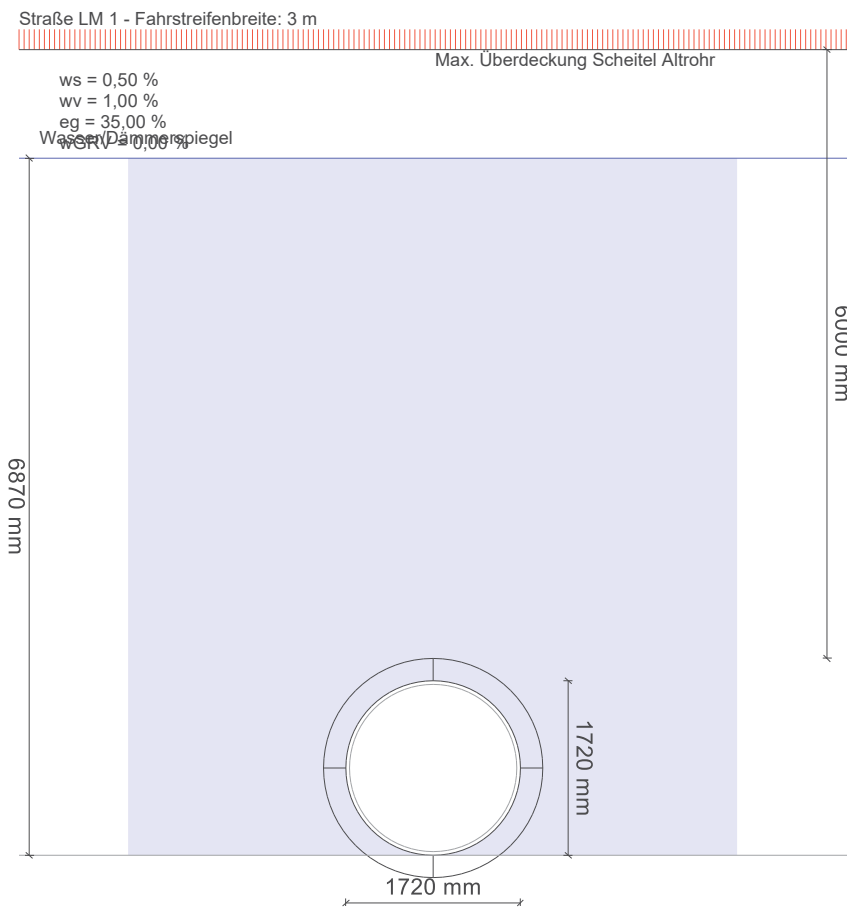
$$N_{K,d} = -q_{v,d} (1 + \omega_{GR,v}) \cdot \frac{d_{AR,k}}{2}$$

Druckkraft im Kämpfer:
Spannung in der Druckzone:
Zul. Druckfestigkeit, Langzeit:
Ausnutzung Druckspannungen AR Kämpfer:

$N_{K,d}$	-140,57	N/mm
σ_d	-2,40	N/mm ²
$\sigma_{D,L}$	20,00	N/mm ²
$U_{\sigma D,AR}$	12,0	%

Der Spannungsnachweis für Kämpferspannungen im Altrohr ist erfüllt.

1.2.10 Lastfall 07 AZ III - hW 6,87 m + h 6,00 m + ws 0,5 % + ww 1,0 %, Langzeit



Wichte Boden, unter Auftrieb:	γ_B'	11,00	kN/m ³
Wichte Boden, trocken:	γ_B	20,00	kN/m ³
Max. Überdeckung Scheitel Altrohr:	h_{\max}	6,00	m
Wasser/Dämmerspiegel:	h_w	6,87	m
Wanddicke Altrohr:	t_R	220,00	mm
Vertikale Lichte Höhe Altrohr:	$d_{AR,iv}$	1.720,00	mm
Höhe Wasserspiegel über Altrohrscheitel:	h'_w	4,93	m
Vertikale Erdlast:	p_E	75,63	kN/m ²
Höhe Scheitel bis Kämpfer Altrohr:	$r_{AR,a}$	1.080,00	mm
Höhe Wasserspiegel Altrohrkämpfer bis Altrohrscheitel:	h'_{wk}	1,08	m
Vertikale Erdlast bis Kämpfer:	$p_{E,K}$	87,51	kN/m ²
Anpassungsfaktor α_{Qi} LM1 (DIN EN 1991-2):	$\alpha_{Qi,LM1}$	1,00	[-]
Faktor für Abweichung von Diagrammen/Formeln:	$f_{\alpha,Qi}$	1,25	[-]
Vertikale Bodenspannung aus Verkehrslast in Scheitelhöhe:	p_T	6,41	kN/m ²
Stoßbeiwert:	ϕ	1,20	[-]
Einfache Bodenspannung aus Verkehr:	p	5,34	kN/m ²
Radlast:	F_1	150,00	kN
Vertikale Bodenspannung aus Verkehrslast in Kämpferhöhe (mit ϕ):	p_{TK}	2,68	kN/m ²
Erddruckbeiwert (Einbettung):	K_2	0,300	[-]
Horizontale Bodenspannung aus Verkehr:	$p_{T,h}$	0,67	kN/m ²

Vertikale Verkehrslast:	p_v	6,41	kN/m ²
Vertikale Verkehrslast, Design:	$p_{v,d}$	8,66	kN/m ²
Zusätzliche Flächenlast:	p_0	0,0	kN/m ²
Konzentrationsfaktor über Rohr:	λ_R	0,75	[-]
Vertikale Gesamtlast:	q_v	63,14	kN/m ²
Vertikale Gesamtlast, Design:	$q_{v,d}$	85,23	kN/m ²
E-Modul:	E20	40,00	N/mm ²
Reduktionsfaktor für das Kriechen:	f_1	1,000	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):	f_2	0,750	[-]
E-Modul:	E2	30,00	N/mm ²
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	24,000	N/mm ²
Erdruckbeiwert (Einbettung):	K_2	0,300	[-]
Konzentrationsfaktor Boden:	λ_B	1,083	[-]
Horizontale Erdlast:	$q_{h,E}$	28,44	kN/m ²

Die horizontale Verkehrslast soll nicht berücksichtigt werden und wird deshalb mit 0 kN/m² angesetzt.

Horizontale Verkehrslast:	$q_{h,V}$	0,00	kN/m ²
Horizontale Gesamtlast:	q_h	28,44	kN/m ²
Designwert Horizontale Gesamtlast:	$q_{h,d}$	38,40	kN/m ²
Rechnerischer Erdruckbeiwert:	K_2'	0,450	[-]

1.2.10.3 Verformungsnachweis Liner, Gebrauchslast

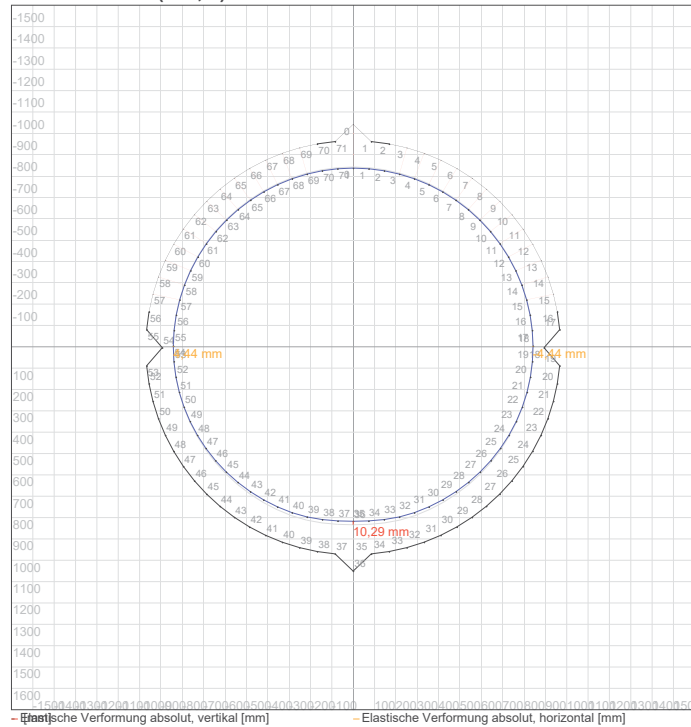
Relevanter Durchmesser für prozentuale Verformung:	d_v	1.720,00	mm
Spaltweite absolut (als konst. Ringspalt):	w_s	4,21	mm
Lokale Vorverformung absolut:	w_v	8,42	mm
Gelenkringverformung absolut, einseitig:	$w_{GR,v}$	0,00	mm
Elastische Verformung absolut, vertikal:	$w_{el,v}$	10,29	mm
Elastische Verformung relativ:	$\delta_{v,el}$	0,60	%
Zulässige Verformung elastisch:	zul $\delta_{v,el}$	6,00	%

Die errechnete elastische Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

Gesamte Durchmesseränderung:	w	18,71	mm
Relative Gesamtverformung:	δ_v	1,09	%
Anhaltswert Gesamtverformung:	$\delta_{v,A}$	10,00	%

Elastische Verformung absolut, horizontal:	$w_{el,h,E1}$	-4,44	mm
Elastische Verformung absolut, horizontal:	$w_{el,h,E2}$	4,44	mm
Elastische Verformung absolut, horizontal:	$w_{el,h}$	8,89	mm

Gebrauchslast (x 1,1)



1.2.10.4 Bodeninteraktion (Gebrauchslast)

Bettungsziffer, Scheitel:	CB	22.222,22	kN/m ³
Innerer Reibungswinkel:	ϕ'	30,00	°
Beiwert:	K_p	3,00	[-]
Vertikale Erdlast:	p_E	75,63	kN/m ²
Grenzwert q_h im Scheitel (informativ):	$q_{h,max}$	184,35	kN/m ²

Vertikale Erdlast bis Kämpfer:	$p_{E,K}$	87,51	kN/m ²
Grenzwert q_h im Kämpfer:	$q_{h,max,K}$	213,31	kN/m ²

Der Wert wird im Kämpfer abgelesen.

Horizontale Gesamtlast:	q_h	28,44	kN/m ²
Seitlicher Bettungsreaktionsdruck:	q_h^*	14,46	kN/m ²
Summe horizontale Kräfte:	$q_h + q_h^*$	42,90	kN/m ²
Ausnutzung max q_h :	U_{maxq_h}	20,1	%

Für die Interaktion Boden-Rohrsystem wurde der elastische Ansatz verwendet. Die Bettung des Rohres wurde um den gesamten Umfang als konstant angenommen. Damit ergibt sich eine Dreiecksförmige Verteilung der Bodenspannungen, deren Maximalwert auf 75% des passiven Erddrucks begrenzt ist.

Die horizontale Kraft aus Bettungsreaktionsdruck und seitlichem Druck im Kämpfer liegt unterhalb des Grenzwertes.

1.2.10.5 Stabilitätsnachweis (Designwerte)

Der maßgebende Nachweis der Stabilität erfolgt über die im Abschnitt 7.6.4.2 (DWA-A 143-2) zugelassene (genauere) Variante einer Berechnung nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung der Vorverformungen und der Spaltbildung. Hierbei wird numerisch überprüft, ob ein elastisches Stabilitätsversagen (Beulen) unter gamma-facher Last eintritt. Darüber hinaus wird geprüft, ob die bei dieser Berechnung ermittelten Spannungen die vorgegeben maximalen Grenzspannungen für Zug und Druck mit einfacher Sicherheit nicht überschreiten.

Nachweis entfällt.

Spannungsnachweis Liner, Design

Fläche (Wanddicke):	A	36,00	mm ² /mm
---------------------	---	-------	---------------------

Außen

Widerstandsmoment, außen:	W _e	216,00	mm ³ /mm
---------------------------	----------------	--------	---------------------

Element	i	Druck	Zug	
Korrekturfaktor (Verformtes System)	α _k	36	49	[-]
Normalkraft in Element	N _d	0,99	0,99	[-]
Moment in Element	M _d	-85,03	-85,87	N/mm
		1.409,80	-839,91	Nmm/mm

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} - \alpha_{ka} \cdot \frac{M_d}{W_e} \quad (88)$$

Spannung in Element	Max σ _d	-8,83	1,45	N/mm ²
Zul. Spannung, Langzeit, Design:	σ _{L,d}	-44,44	37,04	N/mm ²

Ausnutzung Spannungen	U _σ	19,9	3,9	%
-----------------------	----------------	------	-----	---

Der Spannungsnachweis Außen ist erfüllt.

Innen

Widerstandsmoment, innen:	W _i	216,00	mm ³ /mm
---------------------------	----------------	--------	---------------------

Element	i	Druck	Zug	
Korrekturfaktor (Verformtes System)	α _k	48	35	[-]
Normalkraft in Element	N _d	1,01	1,01	[-]
Moment in Element	M _d	-85,91	-85,03	N/mm
		-839,91	1.409,80	Nmm/mm

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} + \alpha_{ki} \cdot \frac{M_d}{W_i} \quad (87)$$

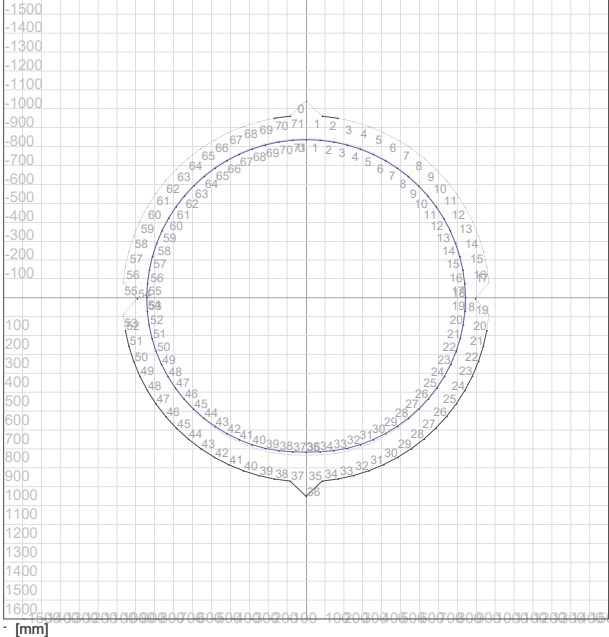
Spannung in Element	Max σ _d	-6,33	4,24	N/mm ²
Zul. Spannung, Langzeit, Design:	σ _{L,d}	-44,44	37,04	N/mm ²

Ausnutzung Spannungen	U _σ	14,2	11,4	%
-----------------------	----------------	------	------	---

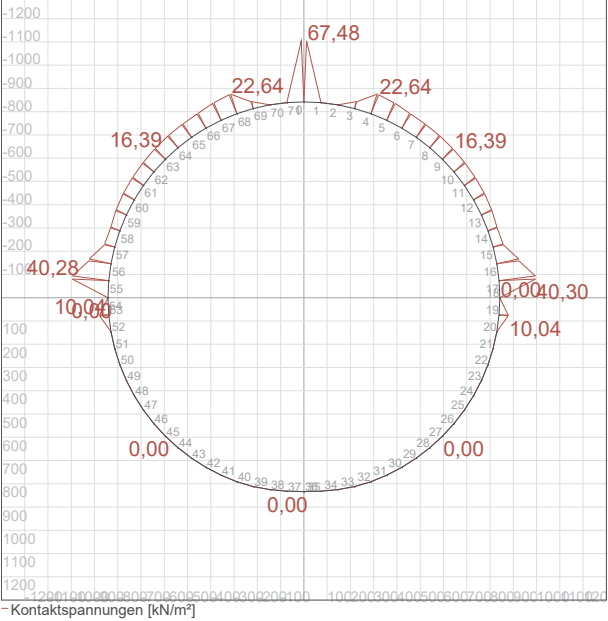
Der Spannungsnachweis Innen ist erfüllt.

Die Spannungen liegen im zulässigen Bereich.

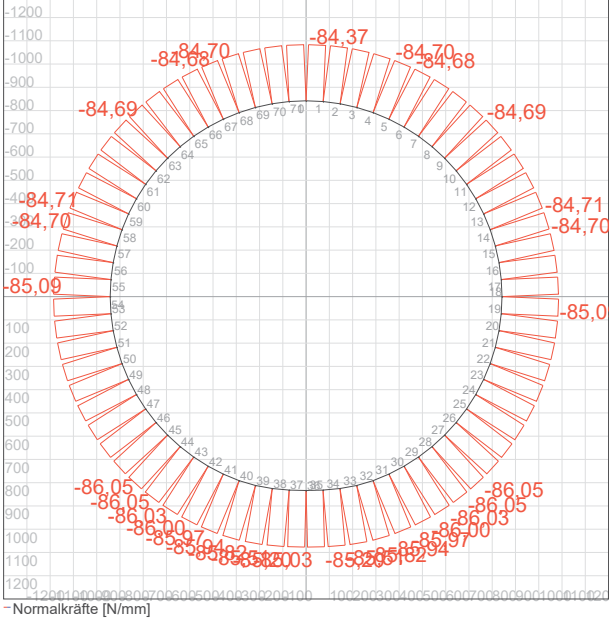
Biegelinie (x ,93)



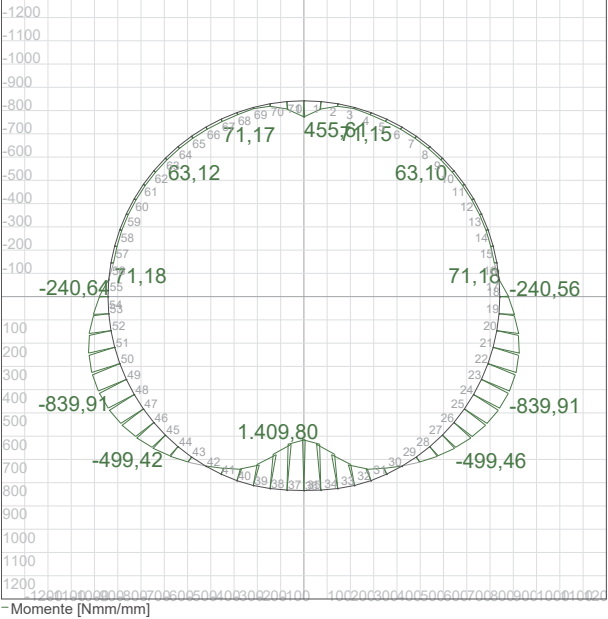
Kontaktspannungen Liner, Design



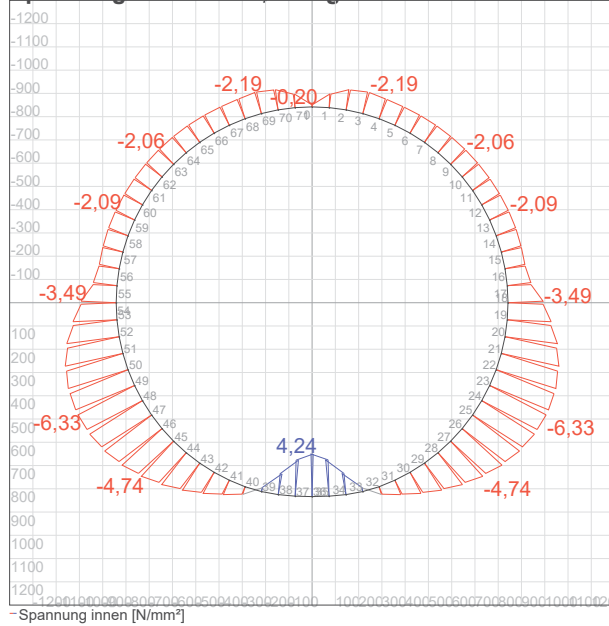
Normalkräfte Liner, Design



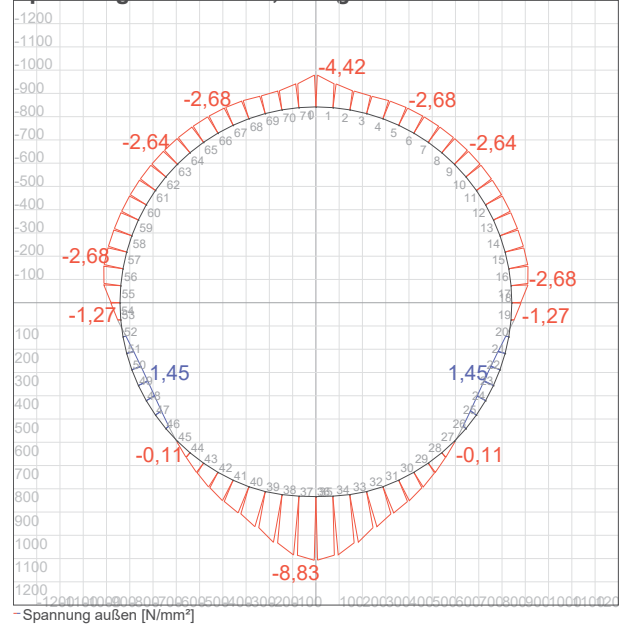
Momente Liner, Design



Spannung innen Liner, Design



Spannung außen Liner, Design



1.2.10.6 Spannungsnachweis Liner, Zwang

Fläche (Wanddicke):

A 36,00 mm²/mm

Außen

Widerstandsmoment, außen:

W_e 216,00 mm³/mm

Element

Druck 50 [-]

Korrekturfaktor (Verformtes System)

α_k 0,99 [-]

Normalkraft in Element

N_d -84,46 N/mm

Moment in Element

M_d 1.433,95 Nmm/mm

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} - \alpha_{ka} \cdot \frac{M_d}{W_e} \quad (88)$$

Spannung in Element

Max σ_d -8,93 1,77 N/mm²

Zul. Spannung, Langzeit, Design:

σ_{L,d} -44,44 37,04 N/mm²

Ausnutzung Spannungen

U_σ 20,1 4,8 %

Der Spannungsnachweis Außen ist erfüllt.

Innen

Widerstandsmoment, innen:

W_i 216,00 mm³/mm

Element

Druck 35 [-]

Korrekturfaktor (Verformtes System)

α_k 1,01 [-]

Normalkraft in Element

N_d -85,60 N/mm

Moment in Element

M_d -909,55 1.433,95 Nmm/mm

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} + \alpha_{ki} \cdot \frac{M_d}{W_i} \quad (87)$$

Spannung in Element

Max σ_d -6,65 4,36 N/mm²

Zul. Spannung, Langzeit, Design:

σ_{L,d} -44,44 37,04 N/mm²

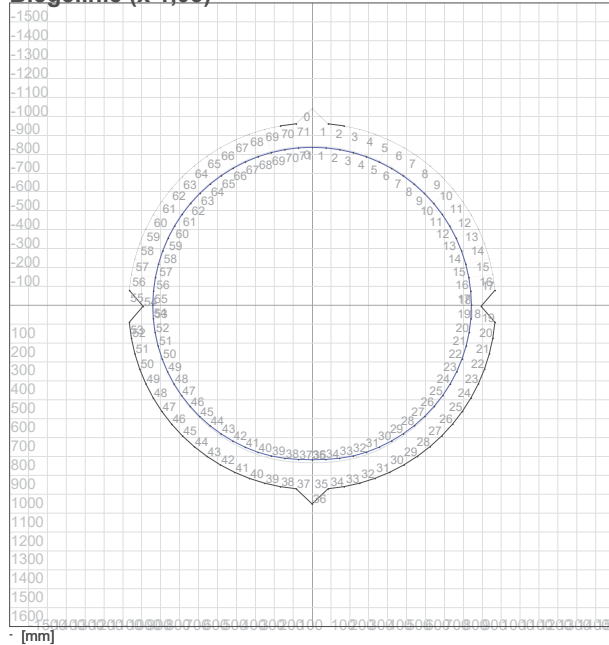
Ausnutzung Spannungen

U_σ 15,0 11,8 %

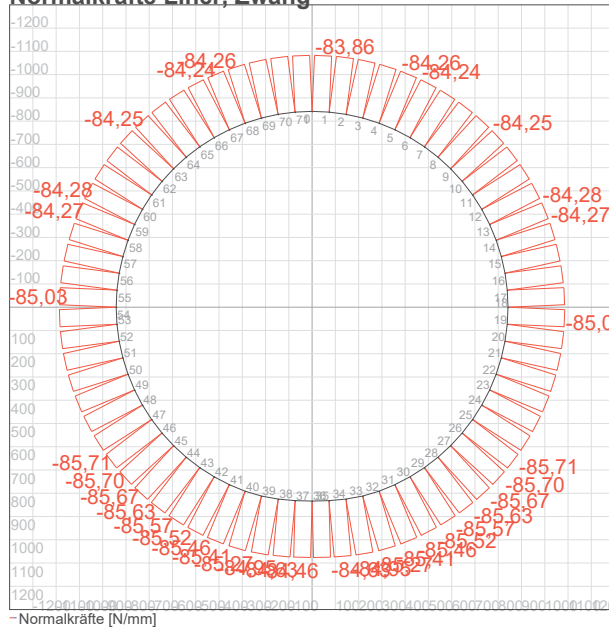
Der Spannungsnachweis Innen ist erfüllt.

Die Spannungen liegen im zulässigen Bereich.

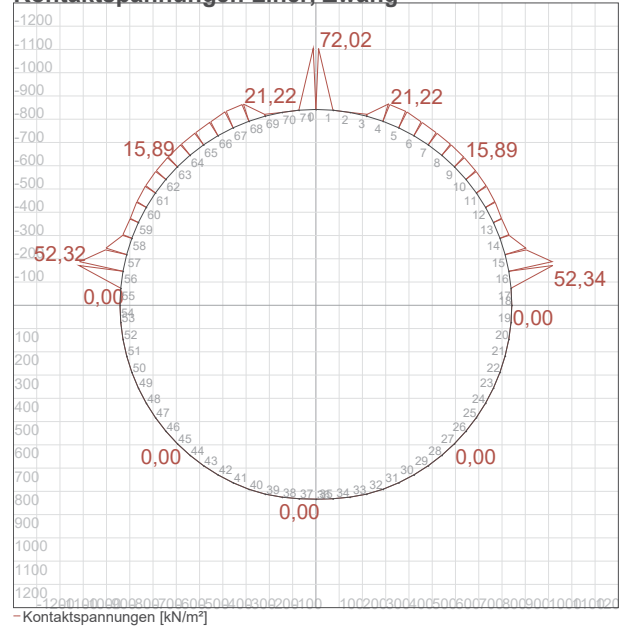
Biegelinie (x 1,03)



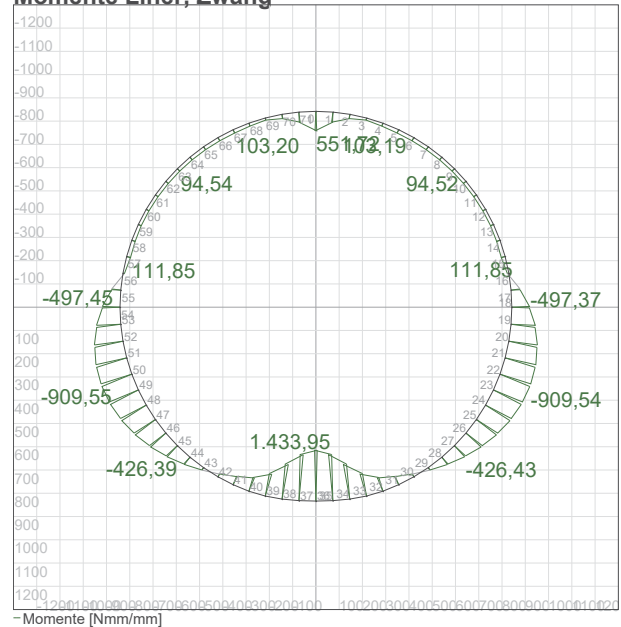
Normalkräfte Liner, Zwang



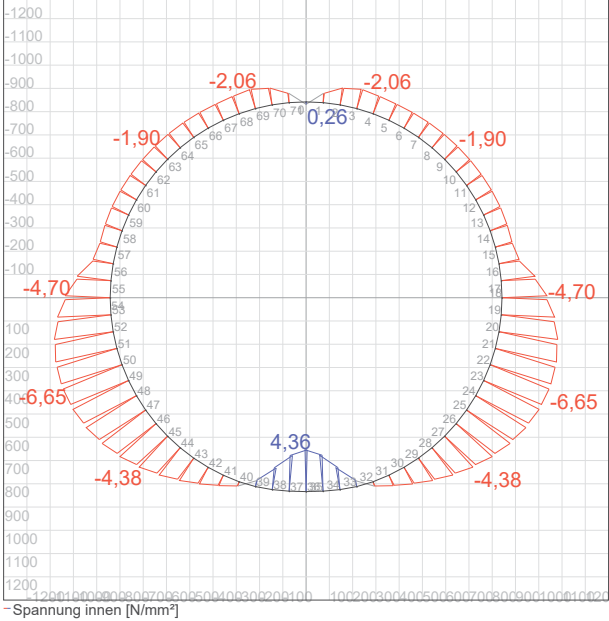
Kontaktspannungen Liner, Zwang



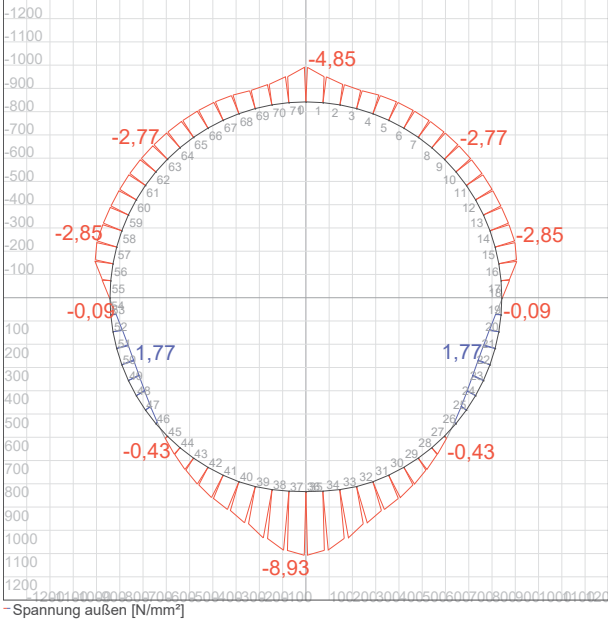
Momente Liner, Zwang



Spannung innen Liner, Zwang



Spannung außen Liner, Zwang



1.2.10.7 Altrohrspannungen Kämpfer

Vertikale Gesamtlast, Design:
Wanddicke Altrohr:
Außendurchmesser Altrohr Kämpfer:
Bezogene Gelenkringexzentrizität:
Druckzonenbreite:

$q_{v,d}$	85,23	kN/m ²
t_R	220,00	mm
$d_{aAR,k}$	2.160,00	mm
e_G/t	35,00	%
b_D	88,00	mm

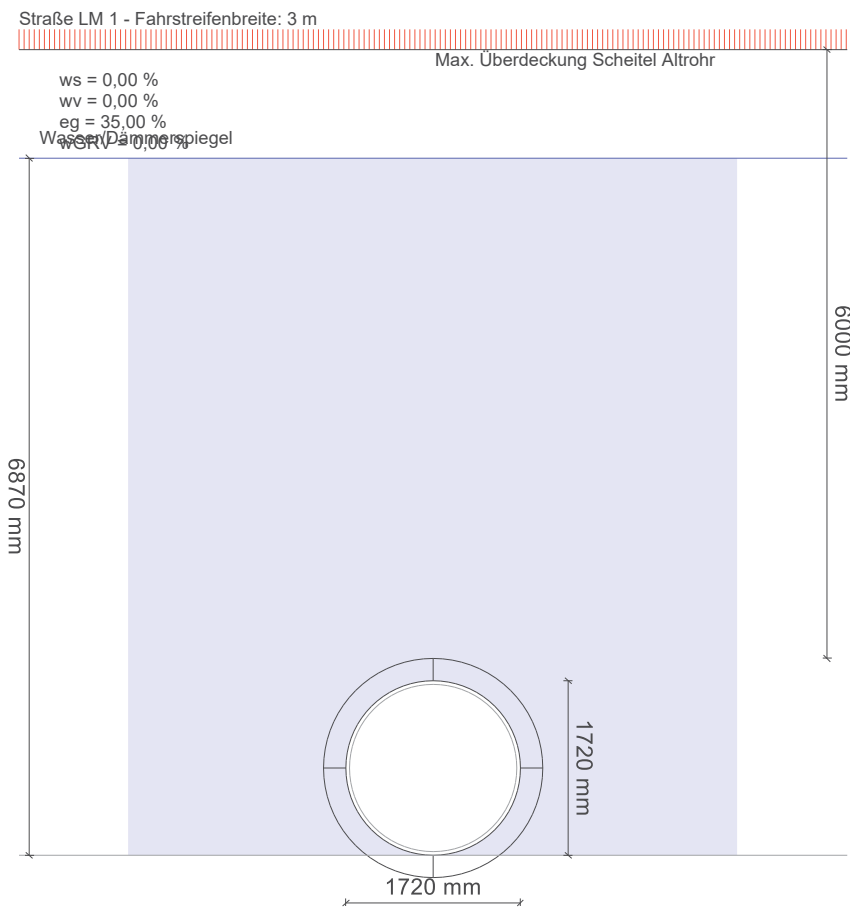
$$N_{K,d} = -q_{v,d} (1 + \omega_{GR,v}) \cdot \frac{d_{aAR,k}}{2}$$

Druckkraft im Kämpfer:
Spannung in der Druckzone:
Zul. Druckfestigkeit, Langzeit:
Ausnutzung Druckspannungen AR Kämpfer:

$N_{K,d}$	-92,05	N/mm
σ_d	-1,57	N/mm ²
$\sigma_{D,L}$	20,00	N/mm ²
$U_{\sigma D,AR}$	7,8	%

Der Spannungsnachweis für Kämpferspannungen im Altrohr ist erfüllt.

1.2.11 Lastfall 08 AZ III - hW 6,87 m + h 6,00 m + ws 0,0 % + ww 0,0 %, Langzeit



Wichte Boden, unter Auftrieb:	γ_B'	11,00	kN/m ³
Wichte Boden, trocken:	γ_B	20,00	kN/m ³
Max. Überdeckung Scheitel Altrohr:	h_{\max}	6,00	m
Wasser/Dämmerspiegel:	h_w	6,87	m
Wanddicke Altrohr:	t_R	220,00	mm
Vertikale Lichte Höhe Altrohr:	$d_{AR,iv}$	1.720,00	mm
Höhe Wasserspiegel über Altrohrscheitel:	h'_w	4,93	m
Vertikale Erdlast:	p_E	75,63	kN/m ²
Höhe Scheitel bis Kämpfer Altrohr:	$r_{AR,a}$	1.080,00	mm
Höhe Wasserspiegel Altrohrkämpfer bis Altrohrscheitel:	h'_{wk}	1,08	m
Vertikale Erdlast bis Kämpfer:	$p_{E,K}$	87,51	kN/m ²
Anpassungsfaktor α_{Qi} LM1 (DIN EN 1991-2):	$\alpha_{Qi,LM1}$	1,00	[-]
Faktor für Abweichung von Diagrammen/Formeln:	$f_{\alpha,Qi}$	1,25	[-]
Vertikale Bodenspannung aus Verkehrslast in Scheitelhöhe:	p_T	6,41	kN/m ²
Stoßbeiwert:	φ	1,20	[-]
Einfache Bodenspannung aus Verkehr:	p	5,34	kN/m ²
Radlast:	F_1	150,00	kN
Vertikale Bodenspannung aus Verkehrslast in Kämpferhöhe (mit φ):	p_{TK}	2,68	kN/m ²
Erddruckbeiwert (Einbettung):	K_2	0,300	[-]
Horizontale Bodenspannung aus Verkehr:	$p_{T,h}$	0,67	kN/m ²

Vertikale Verkehrslast:	p_v	6,41	kN/m ²
Vertikale Verkehrslast, Design:	$p_{v,d}$	8,66	kN/m ²
Zusätzliche Flächenlast:	p_0	0,0	kN/m ²
Konzentrationsfaktor über Rohr:	λ_R	0,75	[-]
Vertikale Gesamtlast:	q_v	63,14	kN/m ²
Vertikale Gesamtlast, Design:	$q_{v,d}$	85,23	kN/m ²
E-Modul:	E20	40,00	N/mm ²
Reduktionsfaktor für das Kriechen:	f_1	1,000	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):	f_2	0,750	[-]
E-Modul:	E2	30,00	N/mm ²
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	24,000	N/mm ²
Erdruckbeiwert (Einbettung):	K_2	0,300	[-]
Konzentrationsfaktor Boden:	λ_B	1,083	[-]
Horizontale Erdlast:	$q_{h,E}$	28,44	kN/m ²

Die horizontale Verkehrslast soll nicht berücksichtigt werden und wird deshalb mit 0 kN/m² angesetzt.

Horizontale Verkehrslast:	$q_{h,V}$	0,00	kN/m ²
Horizontale Gesamtlast:	q_h	28,44	kN/m ²
Designwert Horizontale Gesamtlast:	$q_{h,d}$	38,40	kN/m ²
Rechnerischer Erdruckbeiwert:	K_2'	0,450	[-]

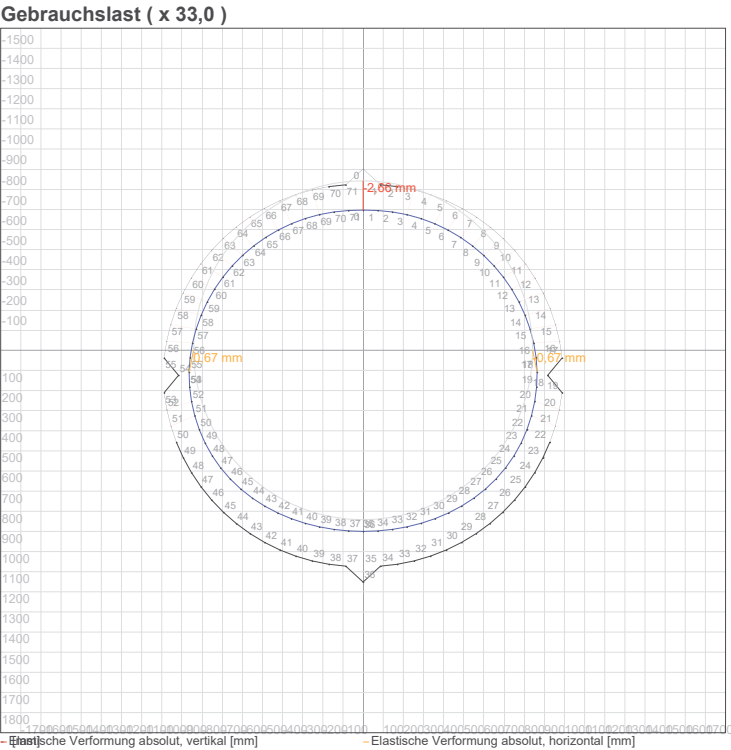
1.2.11.3 Verformungsnachweis Liner, Gebrauchslast

Relevanter Durchmesser für prozentuale Verformung:	d_v	1.720,00	mm
Spaltweite absolut (als konst. Ringspalt):	w_s	0,00	mm
Lokale Vorverformung absolut:	w_v	0,00	mm
Gelenkringverformung absolut, einseitig:	$w_{GR,v}$	0,00	mm
Elastische Verformung absolut, vertikal:	$w_{el,v,E1}$	-2,66	mm
Elastische Verformung absolut, vertikal:	$w_{el,v}$	2,66	mm
Elastische Verformung relativ:	$\delta_{v,el}$	0,15	%
Zulässige Verformung elastisch:	zul $\delta_{v,el}$	6,00	%

Die errechnete elastische Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

Gesamte Durchmesseränderung:	w	2,66	mm
Relative Gesamtverformung:	δ_v	0,15	%
Anhaltswert Gesamtverformung:	$\delta_{v,A}$	10,00	%

Elastische Verformung absolut, horizontal:	$w_{el,h,E1}$	-0,67	mm
Elastische Verformung absolut, horizontal:	$w_{el,h,E2}$	0,67	mm
Elastische Verformung absolut, horizontal:	$w_{el,h}$	1,34	mm



1.2.11.4 Bodeninteraktion (Gebrauchslast)

Bettungsziffer, Scheitel:	CB	22.222,22	kN/m ³
Innerer Reibungswinkel:	φ'	30,00	°
Beiwert:	K _p	3,00	[-]
Vertikale Erdlast:	p _E	75,63	kN/m ²
Grenzwert q _h im Scheitel (informativ):	q _{h,max}	184,35	kN/m ²

Vertikale Erdlast bis Kämpfer:	p _{E,K}	87,51	kN/m ²
Grenzwert q _h im Kämpfer:	q _{h,max,K}	213,31	kN/m ²

Der Wert wird im Kämpfer abgelesen.

Horizontale Gesamtlast:	q _h	28,44	kN/m ²
Seitlicher Bettungsreaktionsdruck:	q _h [*]	15,94	kN/m ²
Summe horizontale Kräfte:	q _h + q _h [*]	44,38	kN/m ²
Ausnutzung max q _h :	U _{maxq_h}	20,8	%

Für die Interaktion Boden-Rohrsystem wurde der elastische Ansatz verwendet. Die Bettung des Rohres wurde um den gesamten Umfang als konstant angenommen. Damit ergibt sich eine Dreiecksförmige Verteilung der Bodenspannungen, deren Maximalwert auf 75% des passiven Erddrucks begrenzt ist.

Die horizontale Kraft aus Bettungsreaktionsdruck und seitlichem Druck im Kämpfer liegt unterhalb des Grenzwertes.

1.2.11.5 Stabilitätsnachweis (Designwerte)

Der maßgebende Nachweis der Stabilität erfolgt über die im Abschnitt 7.6.4.2 (DWA-A 143-2) zugelassene (genauere) Variante einer Berechnung nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung der Vorverformungen und der Spaltbildung. Hierbei wird numerisch überprüft, ob ein elastisches Stabilitätsversagen (Beulen) unter gamma-facher Last eintritt. Darüber hinaus wird geprüft, ob die bei dieser Berechnung ermittelten Spannungen die vorgegeben maximalen Grenzspannungen für Zug und Druck mit einfacher Sicherheit nicht überschreiten.

Nachweis entfällt.

Spannungsnachweis Liner, Design

Fläche (Wanddicke):	A	36,00	mm ² /mm
---------------------	---	-------	---------------------

Außen

Widerstandsmoment, außen:	W _e	216,00	mm ³ /mm
---------------------------	----------------	--------	---------------------

Element	i	0	-	[-]
Korrekturfaktor (Verformtes System)	α _k	0,99	-	[-]
Normalkraft in Element	N _d	-84,74	-	N/mm
Moment in Element	M _d	356,43	-	Nmm/mm

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} - \alpha_{ka} \cdot \frac{M_d}{W_e} \quad (88)$$

Spannung in Element	Max σ _d	-3,98	-	N/mm ²
Zul. Spannung, Langzeit, Design:	σ _{L,d}	-44,44	37,04	N/mm ²

Ausnutzung Spannungen	U _σ	9,0	n. def.	%
-----------------------	----------------	-----	---------	---

Der Spannungsnachweis Außen ist erfüllt.

Innen

Widerstandsmoment, innen:	W _i	216,00	mm ³ /mm
---------------------------	----------------	--------	---------------------

Element	i	25	-	[-]
Korrekturfaktor (Verformtes System)	α _k	1,01	-	[-]
Normalkraft in Element	N _d	-86,21	-	N/mm
Moment in Element	M _d	-236,62	-	Nmm/mm

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} + \alpha_{ki} \cdot \frac{M_d}{W_i} \quad (87)$$

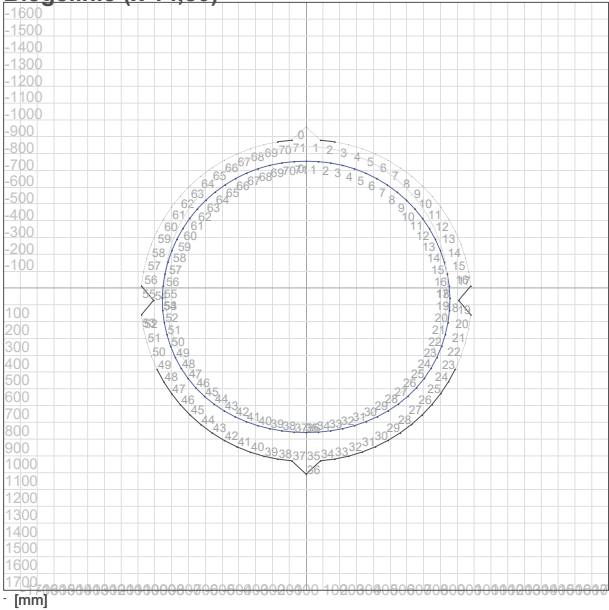
Spannung in Element	Max σ _d	-3,51	-	N/mm ²
Zul. Spannung, Langzeit, Design:	σ _{L,d}	-44,44	37,04	N/mm ²

Ausnutzung Spannungen	U _σ	7,9	n. def.	%
-----------------------	----------------	-----	---------	---

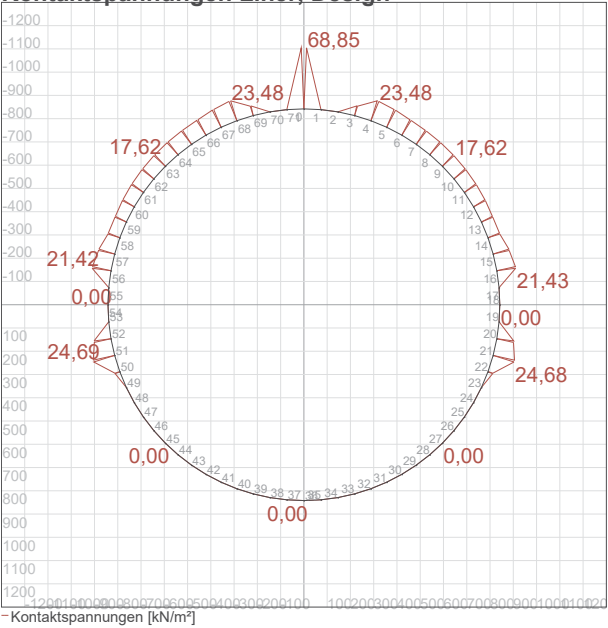
Der Spannungsnachweis Innen ist erfüllt.

Die Spannungen liegen im zulässigen Bereich.

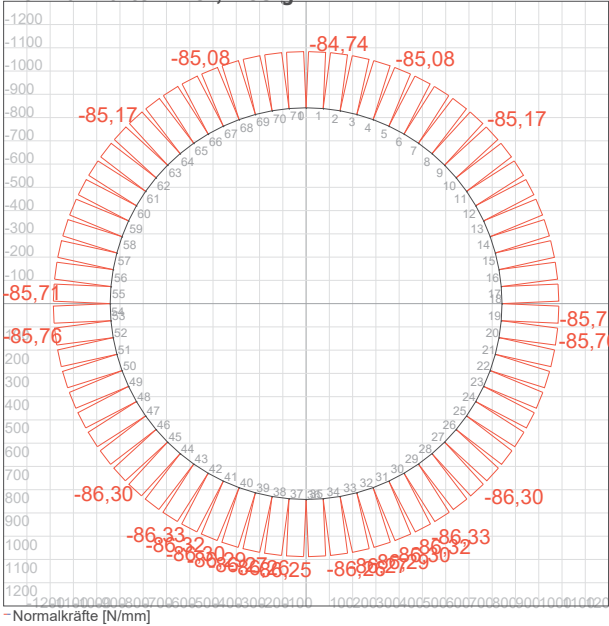
Biegelinie (x 14,80)



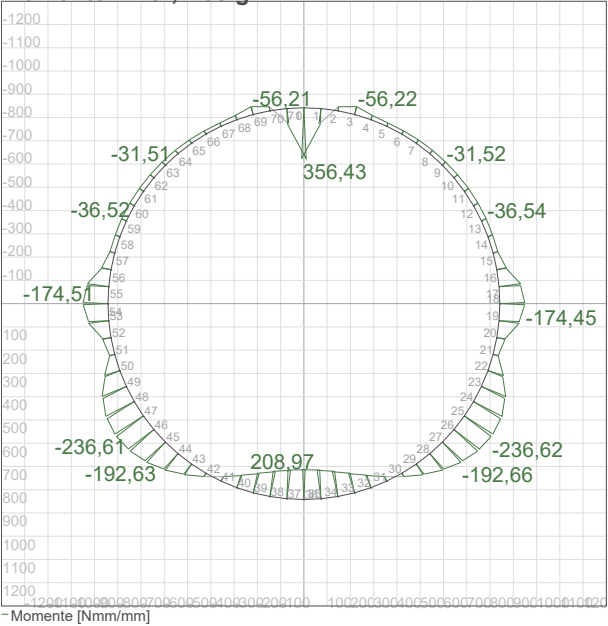
Kontaktspannungen Liner, Design



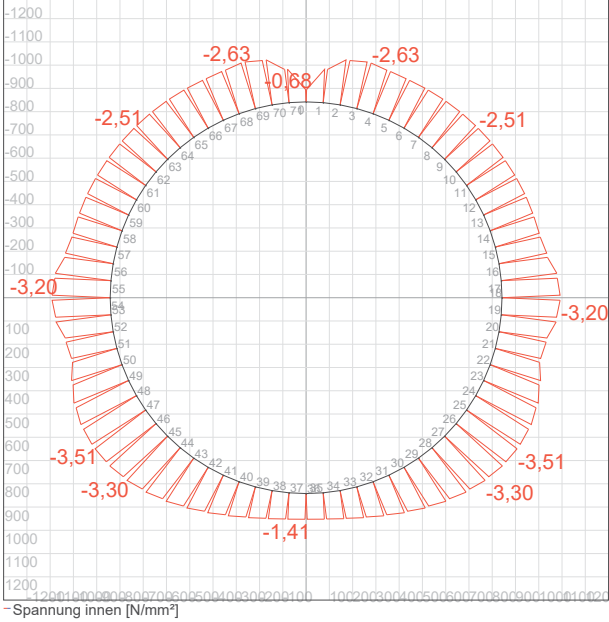
Normalkräfte Liner, Design



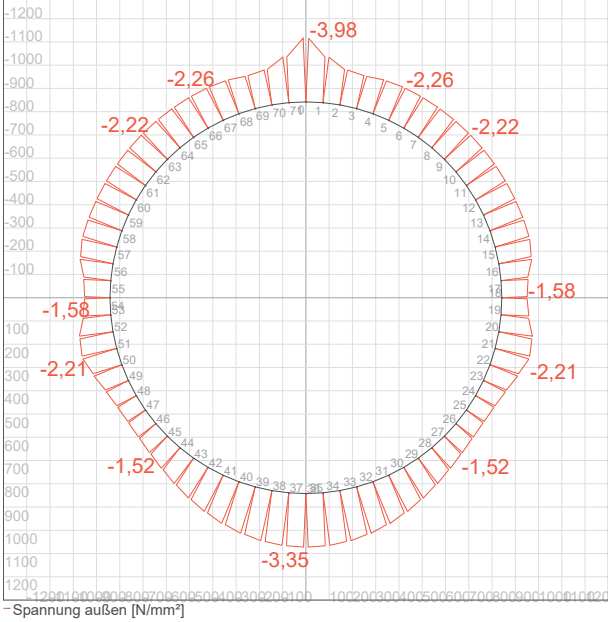
Momente Liner, Design



Spannung innen Liner, Design



Spannung außen Liner, Design



1.2.11.6 Spannungsnachweis Liner, Zwang

Fläche (Wanddicke):

A 36,00 mm²/mm

Außen

Widerstandsmoment, außen:

We 216,00 mm³/mm

Element

i 0 [-]

Korrekturfaktor (Verformtes System)

αk 0,99 [-]

Normalkraft in Element

Nd -84,56 N/mm

Moment in Element

Md 437,30 Nmm/mm

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} - \alpha_{ka} \cdot \frac{M_d}{W_e} \quad (88)$$

Spannung in Element

Max σd -4,34 N/mm²

Zul. Spannung, Langzeit, Design:

σL,d -44,44 37,04 N/mm²

Ausnutzung Spannungen

Uσ 9,8 n. def. %

Der Spannungsnachweis Außen ist erfüllt.

Innen

Widerstandsmoment, innen:

Wi 216,00 mm³/mm

Element

i 25 [-]

Korrekturfaktor (Verformtes System)

αk 1,01 [-]

Normalkraft in Element

Nd -86,13 N/mm

Moment in Element

Md -233,44 Nmm/mm

$$\text{Max } \sigma_d = \frac{N_d}{A} + \alpha_{ki} \cdot \frac{M_d}{W_i} \quad (87)$$

Spannung in Element

Max σd -3,49 N/mm²

Zul. Spannung, Langzeit, Design:

σL,d -44,44 37,04 N/mm²

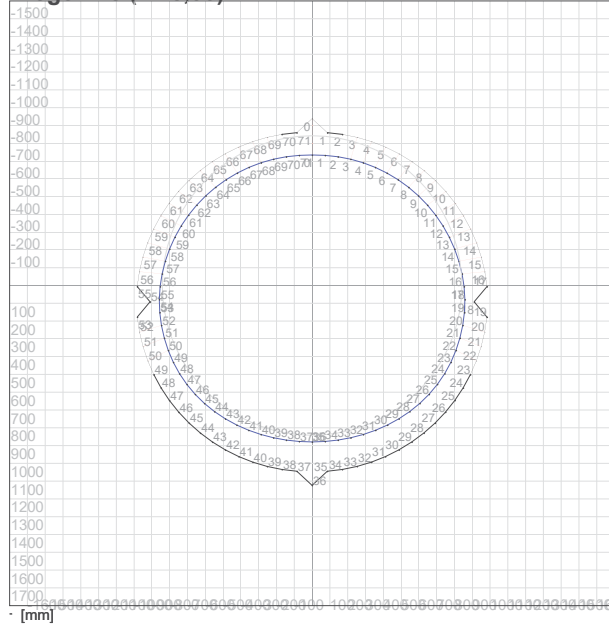
Ausnutzung Spannungen

Uσ 7,8 n. def. %

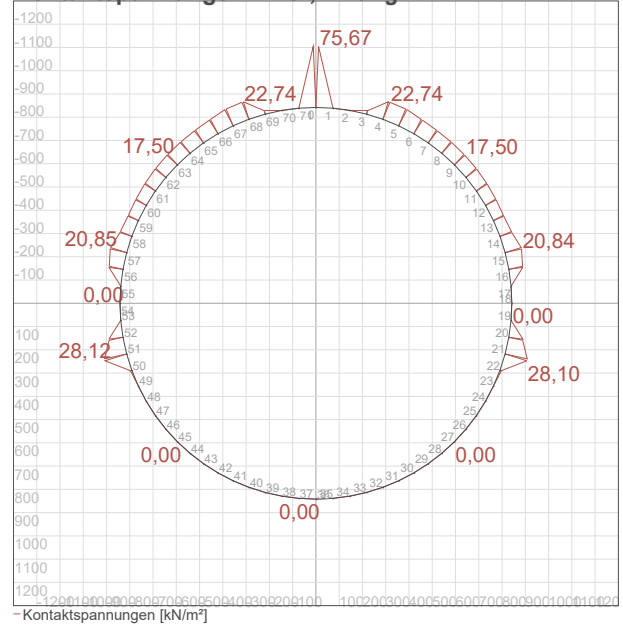
Der Spannungsnachweis Innen ist erfüllt.

Die Spannungen liegen im zulässigen Bereich.

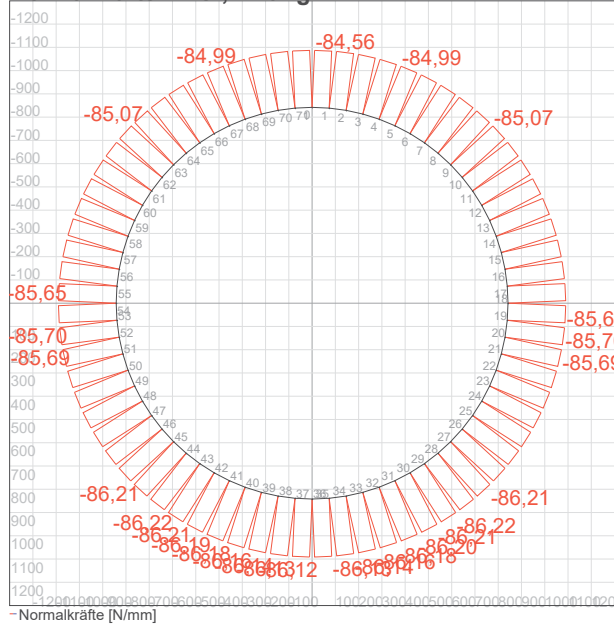
Biegelinie (x 18,33)



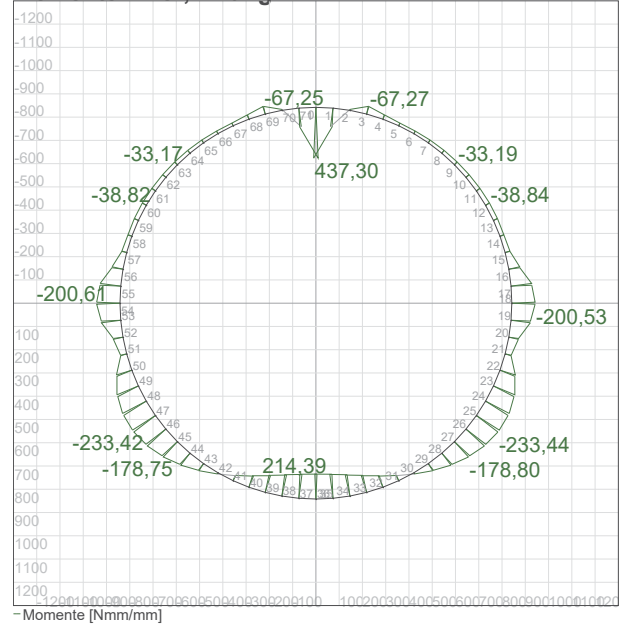
Kontaktspannungen Liner, Zwang



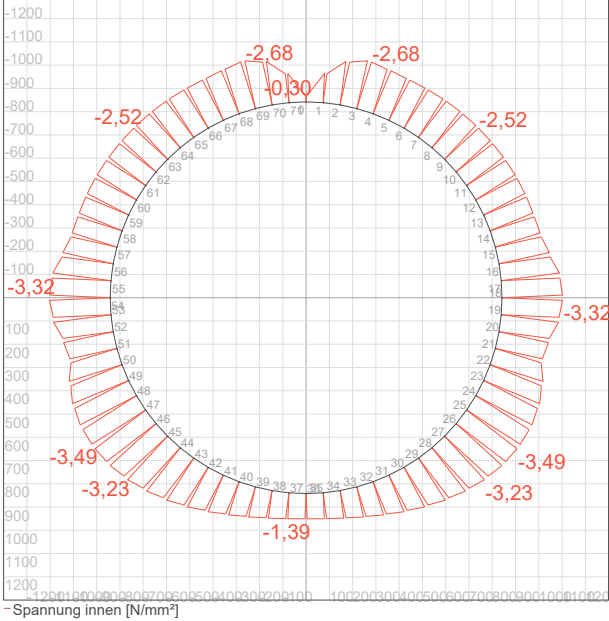
Normalkräfte Liner, Zwang



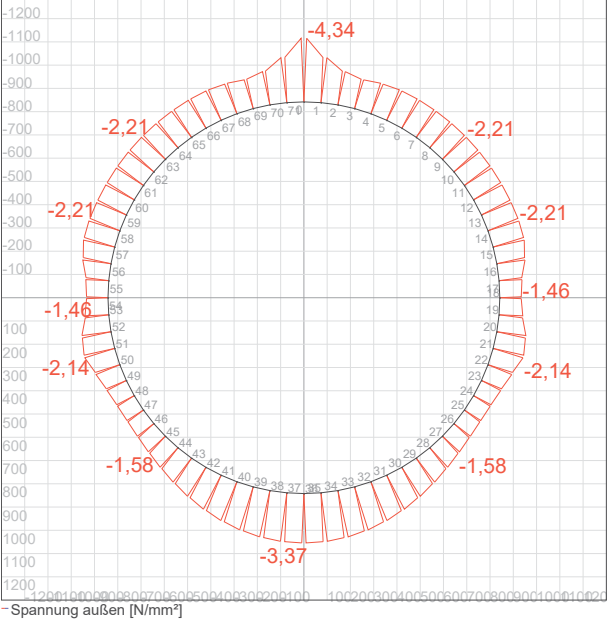
Momente Liner, Zwang



Spannung innen Liner, Zwang



Spannung außen Liner, Zwang



1.2.11.7 Altrohrspannungen Kämpfer

Vertikale Gesamtlast, Design:

Wanddicke Altrohr:

Außendurchmesser Altrohr Kämpfer:

Bezogene Gelenkringexzentrität:

Druckzonenbreite:

$$N_{K,d} = -q_{v,d} (1 + \omega_{GR,v}) \cdot \frac{da_{AR,k}}{2}$$

Druckkraft im Kämpfer:

Spannung in der Druckzone:

Zul. Druckfestigkeit, Langzeit:

Ausnutzung Druckspannungen AR Kämpfer:

$q_{v,d}$	85,23	kN/m ²
t_R	220,00	mm
$da_{AR,k}$	2.160,00	mm
e_G/t	35,00	%
b_D	88,00	mm

$N_{K,d}$	-92,05	N/mm
σ_d	-1,57	N/mm ²
$\sigma_{D,L}$	20,00	N/mm ²
$U_{\sigma D,AR}$	7,8	%

Der Spannungsnachweis für Kämpferspannungen im Altrohr ist erfüllt.

Alle notwendigen Nachweise sind erbracht.