




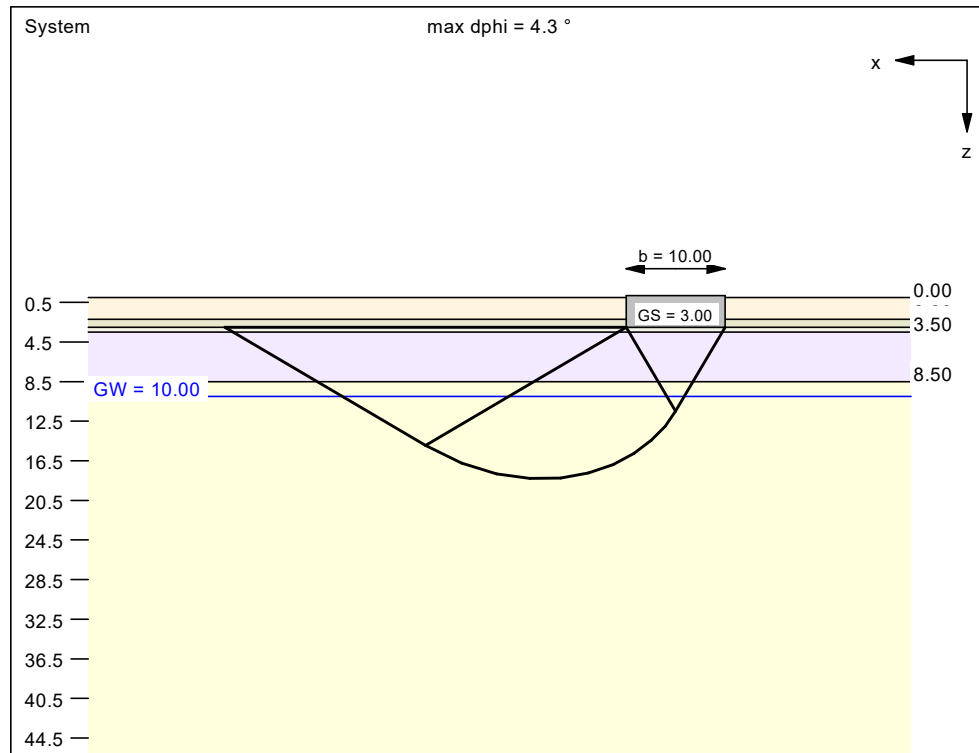


Anlage 1.1

Boden	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	φ [°]	c [kN/m ²]	E_s [MN/m ²]	ν [-]	Bezeichnung
	19.0	10.0	27.5	0.0	5.0	0.00	Deponat
	20.0	11.0	32.5	0.0	60.0	0.00	Filterschicht
	20.0	11.0	32.5	0.0	60.0	0.00	Wiederverfüllung
	20.0	11.0	32.5	0.0	60.0	0.00	Auffüllung
	20.0	10.0	27.5	5.0	10.0	0.00	Geologische Barriere / Ton

Berechnungsgrundlagen:
 Deponie Helmstadt - Böschungsfuß
 Norm: EC 7
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006
 Teilsicherheitskonzept (EC 7)
 $\gamma_{R,v} = 1.40$
 $\gamma_G = 1.35$
 $\gamma_Q = 1.50$
 Grenzzustand EQU:

$\gamma_{G,dst} = 1.10$
 $\gamma_{G,stb} = 0.90$
 $\gamma_{Q,dst} = 1.50$
 Gründungssohle = 3.00 m
 Grundwasser = 10.00 m
 Grenztiefe mit p = 20.0 %
 - - - - 1. Kernweite
 - - - - 2. Kernweite



Ergebnisse Einzelfundament:

Lasten = ständig / veränderlich
 Vertikallast $F_{v,k} = 12000.00 / 0.00$ kN
 Horizontalkraft $F_{h,x,k} = 0.00 / 0.00$ kN
 Horizontalkraft $F_{h,y,k} = 0.00 / 0.00$ kN
 Moment $M_{x,k} = 0.00 / 0.00$ kN·m
 Moment $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$ kN·m
 Länge a = 20.000 m
 Breite b = 10.000 m

Unter ständigen Lasten:
 Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
 Exzentrizität $e_y = 0.000$ m
 Resultierende im 1. Kern
 Länge $a' = 20.000$ m
 Breite $b' = 10.000$ m

Unter Gesamtlasten:
 Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
 Exzentrizität $e_y = 0.000$ m
 Resultierende im 1. Kern
 Länge $a' = 20.000$ m
 Breite $b' = 10.000$ m

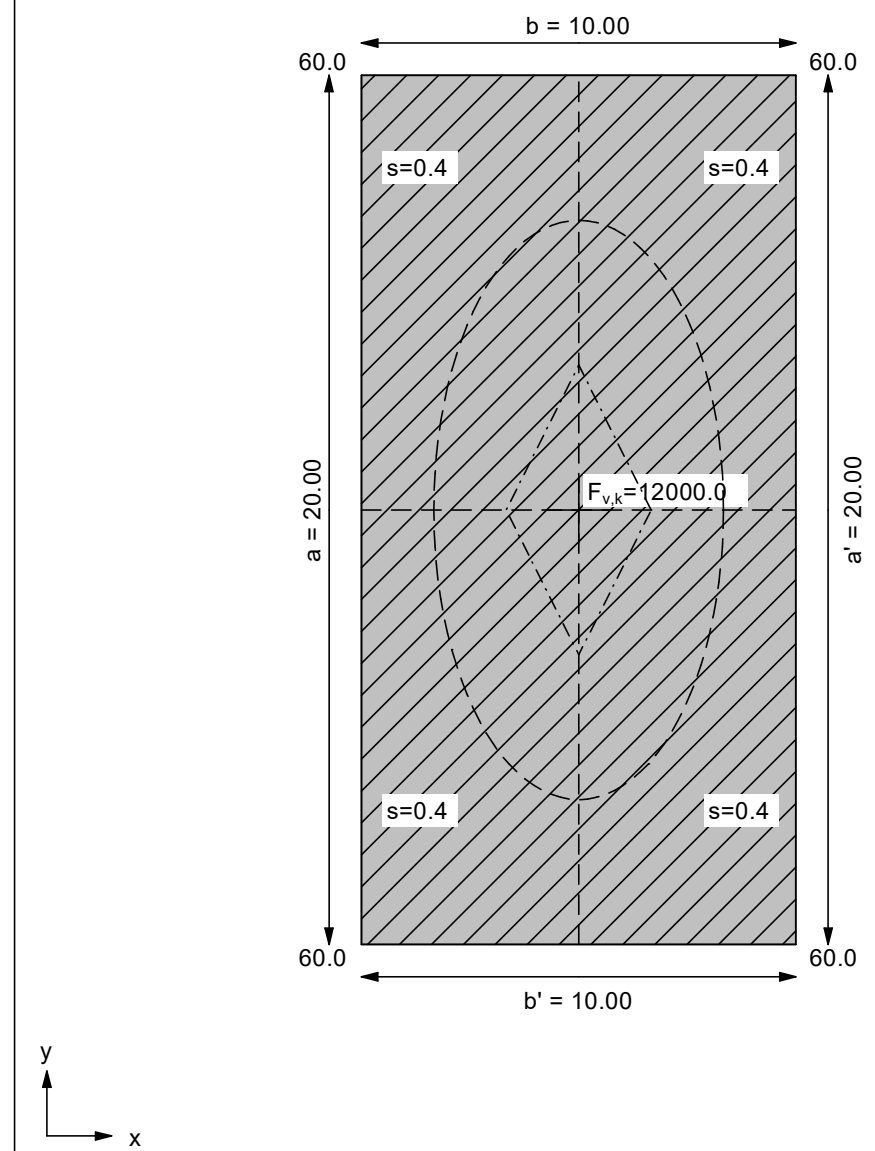
Grundbruch:
 Durchstanzen untersucht,
 aber nicht maßgebend.
 Teilsicherheit (Grundbruch) $\gamma_{R,v} = 1.40$
 $\sigma_{of,k} / \sigma_{of,d} = 2460.2 / 1757.28$ kN/m²
 $R_{n,k} = 492038.25$ kN
 $R_{n,d} = 351455.89$ kN
 $V_d = 1.35 \cdot 12000.00 + 1.50 \cdot 0.00$ kN
 $V_d = 16200.00$ kN
 μ (parallel zu x) = 0.046
 cal $\varphi = 28.9^\circ$
 cal c = 3.60 kN/m²
 cal $\gamma_2 = 16.08$ kN/m³

cal $\sigma_u = 57.80$ kN/m²
 UK log. Spirale = 18.29 m u. GOK
 Länge log. Spirale = 61.57 m
 Fläche log. Spirale = 489.56 m²
 Tragfähigkeitsbeiwerte (x):
 $N_{c0} = 27.75$; $N_{d0} = 16.35$; $N_{b0} = 8.49$
 Formbeiwerte (x):
 $v_c = 1.258$; $v_d = 1.242$; $v_b = 0.850$





Setzung infolge Gesamtlasten:
 Grenztiefe $t_g = 7.81$ m u. GOK
 Setzung (Mittel aller KPs) = 0.36 cm
 Setzungen der KPs:
 links oben = 0.36 cm
 rechts oben = 0.36 cm
 links unten = 0.36 cm
 rechts unten = 0.36 cm
 Verdrehung(x) (KP) = 0.0
 Verdrehung(y) (KP) = 0.0

Nachweis EQU:
 Maßgebend: Fundamentbreite
 $M_{stb} = 12000.0 \cdot 10.00 \cdot 0.5 \cdot 0.90 = 54000.0$
 $M_{dst} = 0.0$
 $\mu_{EQU} = 0.0 / 54000.0 = 0.000$

Grundriss

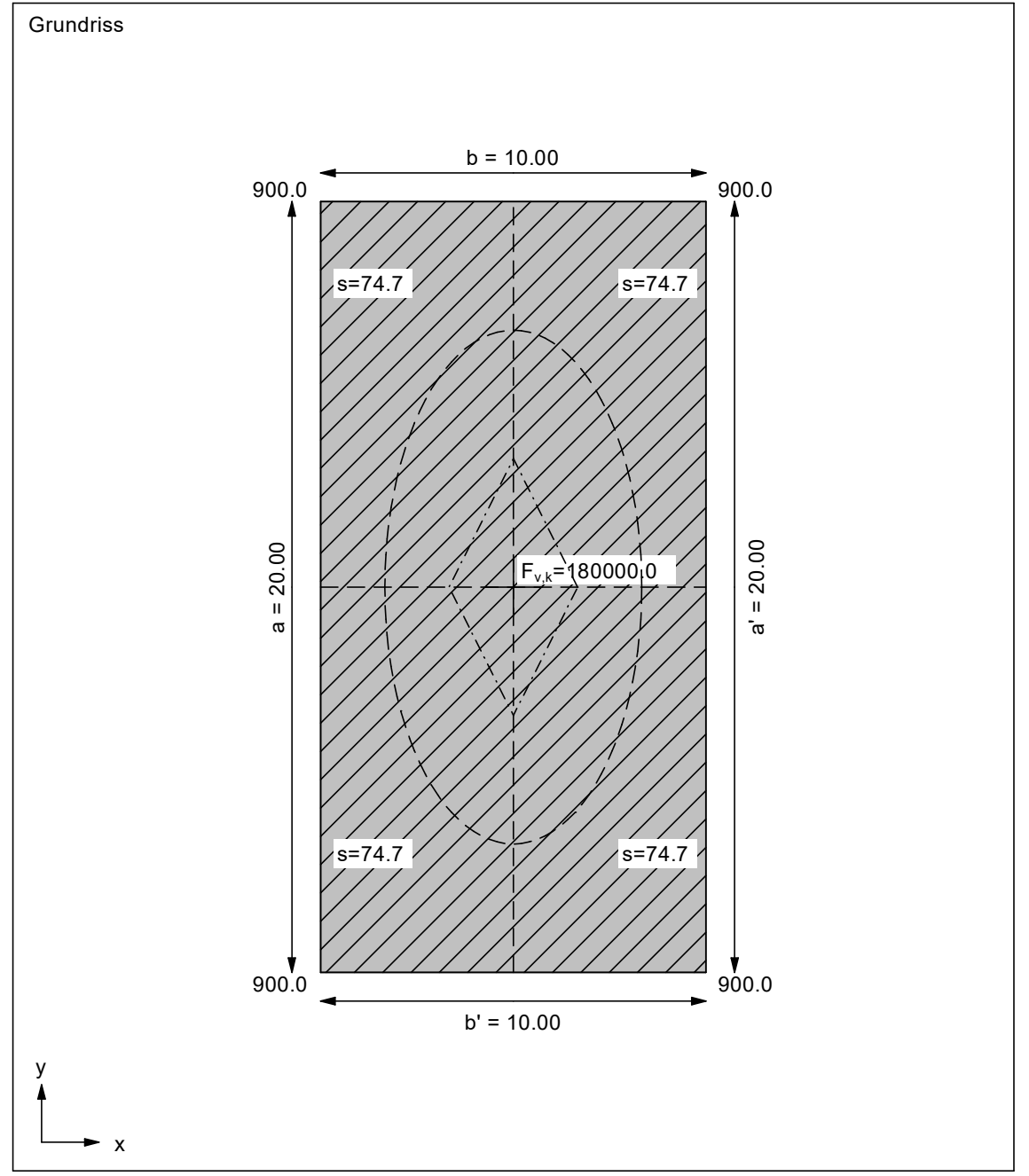
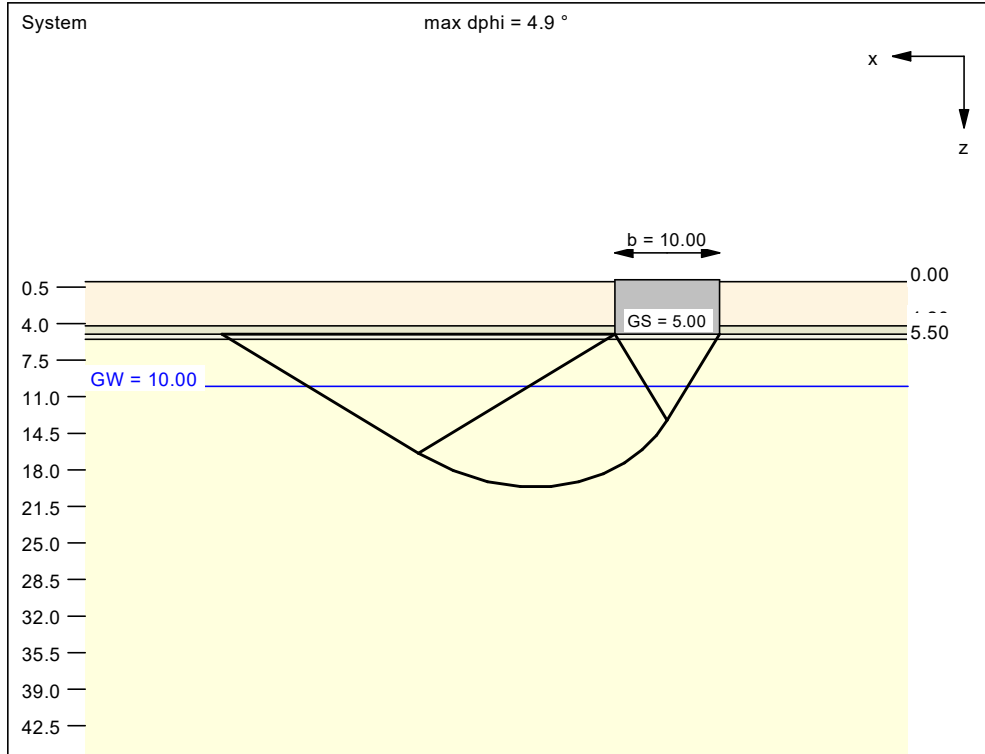


Anlage 1.2

Boden	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	φ [°]	c [kN/m ²]	E_s [MN/m ²]	ν [-]	Bezeichnung
	19.0	10.0	27.5	0.0	5.0	0.00	Deponat
	20.0	11.0	32.5	0.0	60.0	0.00	Filterschicht
	20.0	11.0	32.5	0.0	60.0	0.00	Wiederverfüllung
	20.0	10.0	27.5	5.0	10.0	0.00	Geologische Barriere / Ton

Berechnungsgrundlagen:
 Deponie Helmstadt - max. Überschüttung
 Norm: EC 7
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006
 Teilsicherheitskonzept (EC 7)
 $\gamma_{R,v} = 1.40$
 $\gamma_G = 1.35$
 $\gamma_Q = 1.50$
 Grenzzustand EQU:

$\gamma_{G,dst} = 1.10$
 $\gamma_{G,stab} = 0.90$
 $\gamma_{Q,dst} = 1.50$
 Gründungssohle = 5.00 m
 Grundwasser = 10.00 m
 Grenztiefe mit p = 20.0 %
 - - - - 1. Kernweite
 - - - - 2. Kernweite



Ergebnisse Einzelfundament:

Lasten = ständig / veränderlich
 Vertikallast $F_{v,k} = 180000.00 / 0.00$ kN
 Horizontalkraft $F_{h,x,k} = 0.00 / 0.00$ kN
 Horizontalkraft $F_{h,y,k} = 0.00 / 0.00$ kN
 Moment $M_{x,k} = 0.00 / 0.00$ kN·m
 Moment $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$ kN·m
 Länge a = 20.000 m
 Breite b = 10.000 m

Unter ständigen Lasten:
 Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
 Exzentrizität $e_y = 0.000$ m
 Resultierende im 1. Kern
 Länge $a' = 20.000$ m
 Breite $b' = 10.000$ m

Unter Gesamtlasten:
 Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
 Exzentrizität $e_y = 0.000$ m
 Resultierende im 1. Kern
 Länge $a' = 20.000$ m
 Breite $b' = 10.000$ m





Grundbruch:
 Durchstanzen untersucht,
 aber nicht maßgebend.
 Teilsicherheit (Grundbruch) $\gamma_{R,v} = 1.40$
 $\sigma_{of,k} / \sigma_{of,d} = 2686.6 / 1919.03$ kN/m²
 $R_{n,k} = 537328.45$ kN
 $R_{n,d} = 383806.03$ kN
 $V_d = 1.35 \cdot 180000.00 + 1.50 \cdot 0.00$ kN
 $V_d = 243000.00$ kN
 μ (parallel zu x) = 0.633
 cal $\varphi = 27.6^\circ$
 cal c = 4.87 kN/m²
 cal $\gamma_2 = 14.76$ kN/m³

cal $\sigma_u = 95.80$ kN/m²
 UK log. Spirale = 19.61 m u. GOK
 Länge log. Spirale = 58.23 m
 Fläche log. Spirale = 441.31 m²
 Tragfähigkeitsbeiwerte (x):
 $N_{c0} = 25.11$; $N_{d0} = 14.15$; $N_{b0} = 6.89$
 Formbeiwerte (x):
 $v_c = 1.250$; $v_d = 1.232$; $v_b = 0.850$

Setzung infolge Gesamtlasten:
 Grenztiefe $t_g = 32.58$ m u. GOK
 Setzung (Mittel aller KPs) = 74.67 cm
 Setzungen der KPs:
 links oben = 74.67 cm
 rechts oben = 74.67 cm
 links unten = 74.67 cm
 rechts unten = 74.67 cm
 Verdrehung(x) (KP) = 0.0
 Verdrehung(y) (KP) = 0.0

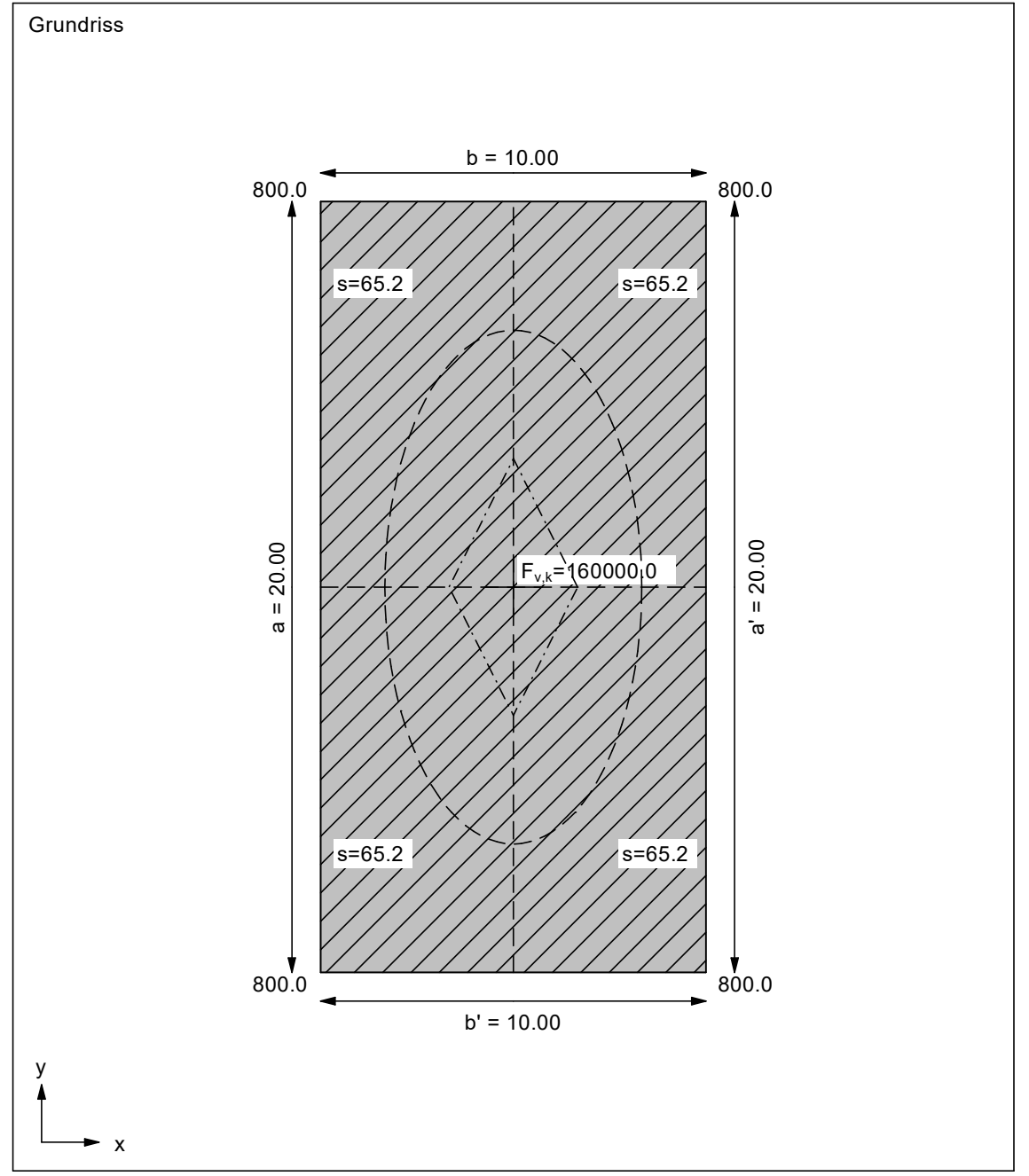
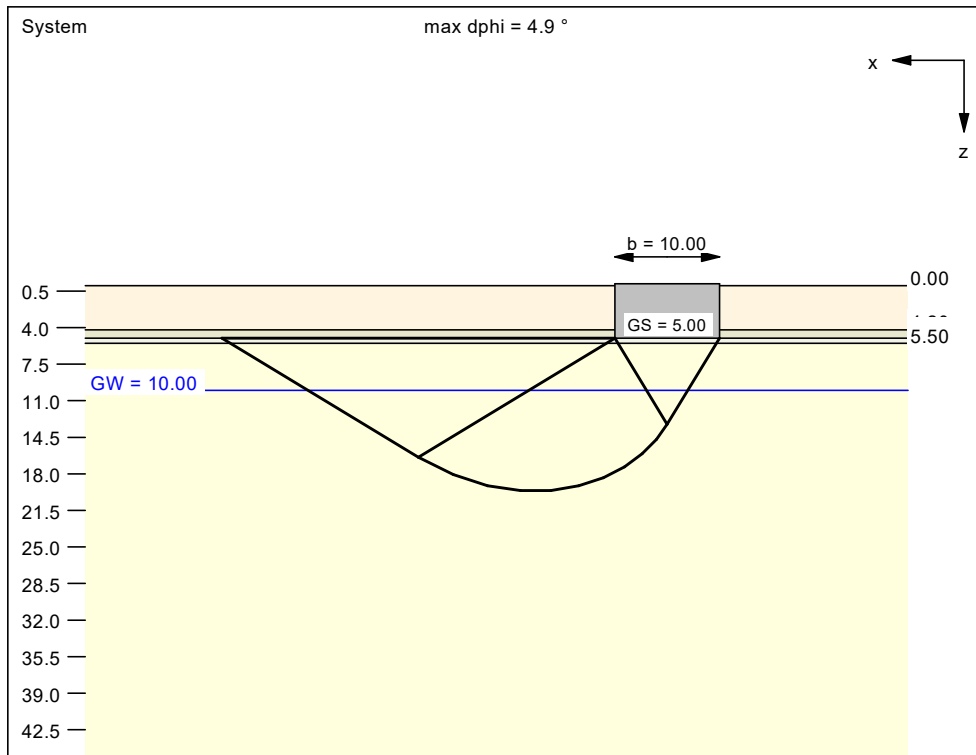
Nachweis EQU:
 Maßgebend: Fundamentbreite
 $M_{stab} = 180000.0 \cdot 10.00 \cdot 0.5 \cdot 0.90 = 810000.0$
 $M_{dst} = 0.0$
 $\mu_{EQU} = 0.0 / 810000.0 = 0.000$

Anlage 1.3

Boden	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	φ [°]	c [kN/m ²]	E_s [MN/m ²]	ν [-]	Bezeichnung
	19.0	10.0	27.5	0.0	5.0	0.00	Deponat
	20.0	11.0	32.5	0.0	60.0	0.00	Filterschicht
	20.0	11.0	32.5	0.0	60.0	0.00	Wiederverfüllung
	20.0	10.0	27.5	5.0	10.0	0.00	Geologische Barriere / Ton

Berechnungsgrundlagen:
 Deponie Helmstadt - Sickerfassung
 Norm: EC 7
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006
 Teilsicherheitskonzept (EC 7)
 $\gamma_{R,v} = 1.40$
 $\gamma_G = 1.35$
 $\gamma_Q = 1.50$
 Grenzzustand EQU:

$\gamma_{G,dst} = 1.10$
 $\gamma_{G,stab} = 0.90$
 $\gamma_{Q,dst} = 1.50$
 Gründungssohle = 5.00 m
 Grundwasser = 10.00 m
 Grenztiefe mit p = 20.0 %
 - - - - 1. Kernweite
 - - - - 2. Kernweite



Ergebnisse Einzelfundament:

Lasten = ständig / veränderlich
 Vertikallast $F_{v,k} = 160000.00 / 0.00$ kN
 Horizontalkraft $F_{h,x,k} = 0.00 / 0.00$ kN
 Horizontalkraft $F_{h,y,k} = 0.00 / 0.00$ kN
 Moment $M_{x,k} = 0.00 / 0.00$ kN·m
 Moment $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$ kN·m
 Länge a = 20.000 m
 Breite b = 10.000 m

Unter ständigen Lasten:
 Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
 Exzentrizität $e_y = 0.000$ m
 Resultierende im 1. Kern
 Länge $a' = 20.000$ m
 Breite $b' = 10.000$ m

Unter Gesamtlasten:
 Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
 Exzentrizität $e_y = 0.000$ m
 Resultierende im 1. Kern
 Länge $a' = 20.000$ m
 Breite $b' = 10.000$ m




Grundbruch:
 Durchstanzen untersucht,
 aber nicht maßgebend.
 Teilsicherheit (Grundbruch) $\gamma_{R,v} = 1.40$
 $\sigma_{of,k} / \sigma_{of,d} = 2686.6 / 1919.03$ kN/m²
 $R_{n,k} = 537328.45$ kN
 $R_{n,d} = 383806.03$ kN
 $V_d = 1.35 \cdot 160000.00 + 1.50 \cdot 0.00$ kN
 $V_d = 216000.00$ kN
 μ (parallel zu x) = 0.563
 cal $\varphi = 27.6^\circ$
 cal c = 4.87 kN/m²
 cal $\gamma_2 = 14.76$ kN/m³

cal $\sigma_u = 95.80$ kN/m²
 UK log. Spirale = 19.61 m u. GOK
 Länge log. Spirale = 58.23 m
 Fläche log. Spirale = 441.31 m²
 Tragfähigkeitsbeiwerte (x):
 $N_{c0} = 25.11$; $N_{d0} = 14.15$; $N_{b0} = 6.89$
 Formbeiwerte (x):
 $\nu_c = 1.250$; $\nu_d = 1.232$; $\nu_b = 0.850$

Setzung infolge Gesamtlasten:
 Grenztiefe $t_g = 31.11$ m u. GOK
 Setzung (Mittel aller KPs) = 65.23 cm
 Setzungen der KPs:
 links oben = 65.23 cm
 rechts oben = 65.23 cm
 links unten = 65.23 cm
 rechts unten = 65.23 cm
 Verdrehung(x) (KP) = 0.0
 Verdrehung(y) (KP) = 0.0

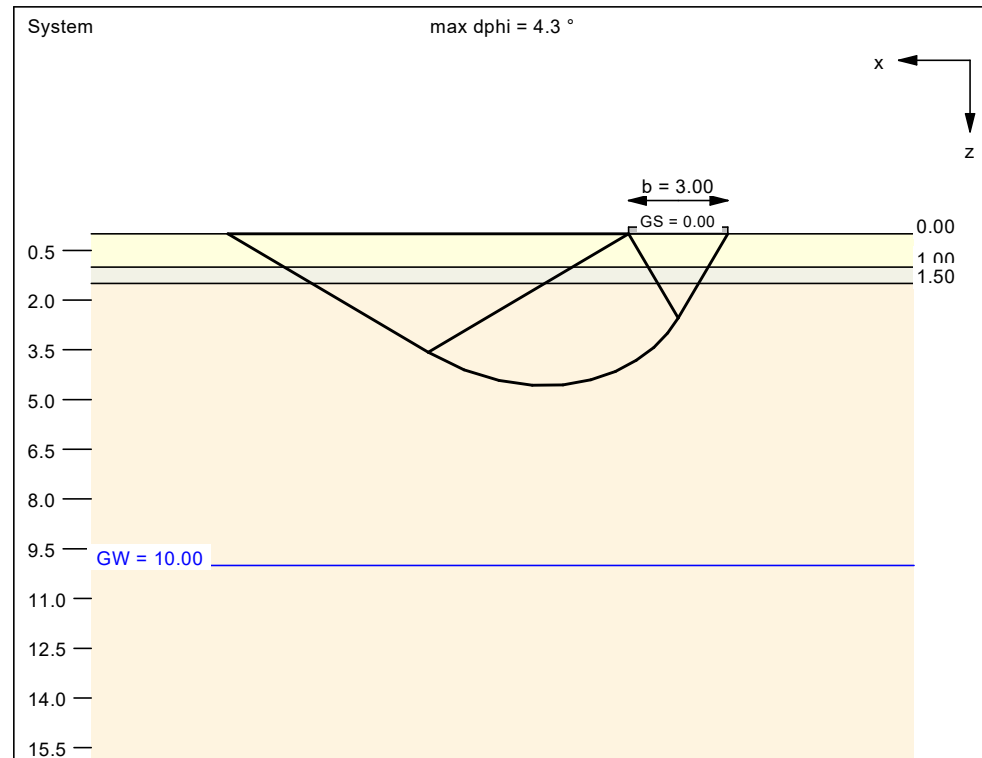
Nachweis EQU:
 Maßgebend: Fundamentbreite
 $M_{stab} = 160000.0 \cdot 10.00 \cdot 0.5 \cdot 0.90 = 720000.0$
 $M_{dst} = 0.0$
 $\mu_{EQU} = 0.0 / 720000.0 = 0.000$

Anlage 1.4

Boden	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	φ [°]	c [kN/m ²]	E_s [MN/m ²]	ν [-]	Bezeichnung
	20.0	11.0	32.5	0.0	60.0	0.00	Aufschüttung
	20.0	11.0	32.5	0.0	60.0	0.00	Wiederverfüllung
	20.0	10.0	27.5	5.0	10.0	0.00	Geologische Barriere / Ton

Berechnungsgrundlagen:
 Deponie Helmstadt - Bauzustand
 Norm: EC 7
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006
 Teilsicherheitskonzept (EC 7)
 $\gamma_{R,v} = 1.40$
 $\gamma_G = 1.35$
 $\gamma_Q = 1.50$
 Grenzzustand EQU:

$\gamma_{G,dst} = 1.10$
 $\gamma_{G,stb} = 0.90$
 $\gamma_{Q,dst} = 1.50$
 Gründungssohle = 0.00 m
 Grundwasser = 10.00 m
 Grenztiefe mit $p = 20.0\%$
 - - - - 1. Kernweite
 - - - - 2. Kernweite



Ergebnisse Einzelfundament:

Lasten = ständig / veränderlich
 Vertikallast $F_{v,k} = 0.10 / 600.00$ kN
 Horizontalkraft $F_{h,x,k} = 0.00 / 0.00$ kN
 Horizontalkraft $F_{h,y,k} = 0.00 / 0.00$ kN
 Moment $M_{x,k} = 0.00 / 0.00$ kN·m
 Moment $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$ kN·m
 Länge $a = 6.000$ m
 Breite $b = 3.000$ m

Unter ständigen Lasten:
 Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
 Exzentrizität $e_y = 0.000$ m
 Resultierende im 1. Kern
 Länge $a' = 6.000$ m
 Breite $b' = 3.000$ m

Unter Gesamtlasten:
 Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
 Exzentrizität $e_y = 0.000$ m
 Resultierende im 1. Kern
 Länge $a' = 6.000$ m
 Breite $b' = 3.000$ m

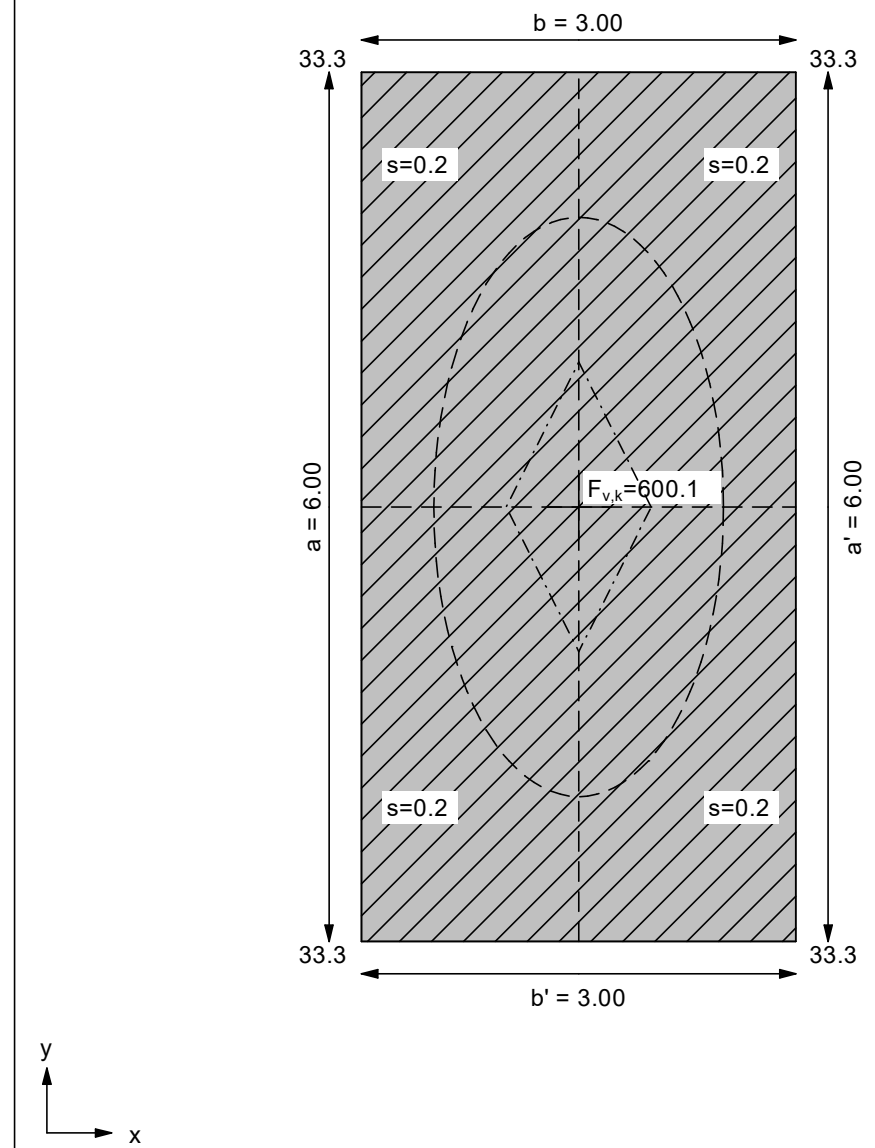
Grundbruch:
 Durchstanzen untersucht,
 aber nicht maßgebend.
 Teilsicherheit (Grundbruch) $\gamma_{R,v} = 1.40$
 $\sigma_{of,k} / \sigma_{of,d} = 553.1 / 395.07$ kN/m²
 $R_{n,k} = 9955.70$ kN
 $R_{n,d} = 7111.22$ kN
 $V_d = 1.35 \cdot 0.10 + 1.50 \cdot 600.00$ kN
 $V_d = 900.13$ kN
 μ (parallel zu x) = 0.127
 cal $\varphi = 28.8^\circ$
 cal c = 3.72 kN/m²
 cal $\gamma_2 = 20.00$ kN/m³

cal $\sigma_u = 0.00$ kN/m²
 UK log. Spirale = 4.57 m u. GOK
 Länge log. Spirale = 18.38 m
 Fläche log. Spirale = 43.68 m²
 Tragfähigkeitsbeiwerte (x):
 $N_{c0} = 27.48$; $N_{d0} = 16.12$; $N_{b0} = 8.32$
 Formbeiwerte (x):
 $v_c = 1.257$; $v_d = 1.241$; $v_b = 0.850$
 μ [V(st), M und H(gesamt)] = 0.000

Setzung infolge Gesamtlasten:
 Grenztiefe $t_g = 2.75$ m u. GOK
 Setzung (Mittel aller KPs) = 0.23 cm
 Setzungen der KPs:
 links oben = 0.23 cm
 rechts oben = 0.23 cm
 links unten = 0.23 cm
 rechts unten = 0.23 cm
 Verdrehung(x) (KP) = 0.0
 Verdrehung(y) (KP) = 0.0

Nachweis EQU:
 Maßgebend: Fundamentbreite
 $M_{stb} = 0.1 \cdot 3.00 \cdot 0.5 \cdot 0.90 = 0.1$
 $M_{dst} = 0.0$
 $\mu_{EQU} = 0.0 / 0.1 = 0.000$

Grundriss



Projekt:	Gutachten mit den Stand- und Gleitsicherheitsnachweisen für die Deponie Beilngries	Anlage: 2.1	
Auftragsnummer:	94651811	Seite 1 von 1	
Datum der Erstellung:	07.01.2020		
aufgestellt von:	Dipl.-Ing. Ron Tischer		
Firma:	LGA Bautechnik GmbH		

Gleitsicherheitsnachweis - Basisabdichtung

ohne Einstau und ohne Verkehr

SAP
Anlage

Nachweis der Standsicherheit eines geneigten Systems

Teilsicherheitsbeiwerte: Bemessungssituation BS- **P** = LF **1**

Länge der Böschung L = **50** m
Böschungsneigung **1** / **3**

Dicke Bodenschicht 1 **0,3** m Bodenwichte **20** kN/m³
Dicke Bodenschicht 2 **0** m kN/m³

Wasserwichte **10** kN/m³

Mittlere Aufstauhöhe hw = **0** m

Verkehrslast **0** kN/m²

Schneelast **0,95** kN/m²

Reibungswinkel Fuge **23,4** ° tan delta = 0,4324928
Kohäsion/Adhäsion Fuge **0** kN/m²

Einwirkungen

Bemessungswert Gewichtskraft	$G_d = ((\gamma_k \cdot (d_2 - 1/2h_w) + \gamma_k \cdot 1/2h_w) + \gamma_k \cdot d_1) \cdot L =$	300,00 kN/m ²	Gk =	300,00 kN/m ²
Bemessungswert Verkehrslasten	$P_d = \gamma_Q \cdot P$	0,00 kN/m ²	Pk =	0 kN/m ²
Bemessungswert Schneelasten	$T_d = \gamma_q \cdot s_k \cdot L =$	61,75 kN/m ²	Tk =	47,50 kN/m ²
Bemessungswert Strömungskraft	$S_d = \gamma_g \cdot 1/2 \cdot \gamma_w \cdot i \cdot h_w \cdot L$	0,00 kN/m ²	sk =	0,00 kN/m ²
Einwirkungen	$E_d = G_d \cdot \sin\beta + P_d \cdot \sin\beta + T_d \cdot \sin\beta + S_{w,d} =$	114,40 kN/m ²	ohne Schnee	94,87 kN/m ²

Widerstände

Reibungskraft Boden	$R_{t,d} = [(G_k + P_k) \cdot \cos\beta \cdot (\tan\delta) / \gamma_{\Delta} + a_k / \gamma_a] \cdot L =$	98,47 kN/m ²
Reibungskraft Schnee	$t_{s,h,d} = (T_d \cdot \cos\beta \cdot (\tan\delta) / \gamma_{\Delta} + a_k / \gamma_a) \cdot L =$	15,591 kN/m ²

Nachweis der Standsicherheit eines geneigten Systems

Ausnutzung

Nachweis	$R_{t,d} - E_d > 0$	ohne Schnee	$R_{t,d} = 98,47$ kN/m ²	>	$E_d = 94,87$ kN/m ²	Nachweis erfüllt	0,96
Nachweis	$R_{t,d} - E_d > 0$	mit Schnee	$R_{t,d} = 114,06$ kN/m ²	>	$E_d = 114,40$ kN/m ²	Nachweis NICHT erfüllt	1,00

Gleitsicherheitsnachweis - Basisabdichtung

kompletter Einstau und ohne Verkehr

Nachweis der Standsicherheit eines geneigten Systems

Teilsicherheitsbeiwerte:	Bemessungssituation	BS- T	= LF	2																																																		
<table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:20%;">Länge der Böschung</td> <td style="width:10%;">L =</td> <td style="width:10%;">50</td> <td style="width:10%;">m</td> </tr> <tr> <td>Böschungsneigung</td> <td></td> <td>1</td> <td>3</td> </tr> </table>					Länge der Böschung	L =	50	m	Böschungsneigung		1	3																																										
Länge der Böschung	L =	50	m																																																			
Böschungsneigung		1	3																																																			
<table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:20%;">Dicke Bodenschicht 1</td> <td style="width:10%;">0,3</td> <td style="width:10%;">m</td> <td style="width:10%;">Bodenwichte</td> <td style="width:10%;">20 kN/m³</td> </tr> <tr> <td>Dicke Bodenschicht 2</td> <td></td> <td>m</td> <td></td> <td> kN/m³</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="padding-top: 5px;">Wasserwichte 10 kN/m³</td> </tr> <tr> <td>Mittlere Aufstauhöhe</td> <td>0,3</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>hw =</td> <td>0,15</td> <td>m</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Verkehrslast</td> <td>0</td> <td>kN/m²</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Schneelast</td> <td>0,95</td> <td>kN/m²</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="padding-top: 10px;"> <table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:20%;">Reibungswinkel Fuge</td> <td style="width:10%;">23,5</td> <td style="width:10%;">°</td> <td style="width:10%;">tan delta =</td> <td style="width:10%;">0,4345652</td> </tr> <tr> <td>Kohäsion/Adhäsion Fuge</td> <td></td> <td>kN/m²</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> </td> </tr> </table>					Dicke Bodenschicht 1	0,3	m	Bodenwichte	20 kN/m ³	Dicke Bodenschicht 2		m		 kN/m ³	Wasserwichte 10 kN/m ³					Mittlere Aufstauhöhe	0,3				hw =	0,15	m			Verkehrslast	0	kN/m ²			Schneelast	0,95	kN/m ²			<table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:20%;">Reibungswinkel Fuge</td> <td style="width:10%;">23,5</td> <td style="width:10%;">°</td> <td style="width:10%;">tan delta =</td> <td style="width:10%;">0,4345652</td> </tr> <tr> <td>Kohäsion/Adhäsion Fuge</td> <td></td> <td>kN/m²</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					Reibungswinkel Fuge	23,5	°	tan delta =	0,4345652	Kohäsion/Adhäsion Fuge		kN/m ²		
Dicke Bodenschicht 1	0,3	m	Bodenwichte	20 kN/m ³																																																		
Dicke Bodenschicht 2		m		 kN/m ³																																																		
Wasserwichte 10 kN/m ³																																																						
Mittlere Aufstauhöhe	0,3																																																					
hw =	0,15	m																																																				
Verkehrslast	0	kN/m ²																																																				
Schneelast	0,95	kN/m ²																																																				
<table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:20%;">Reibungswinkel Fuge</td> <td style="width:10%;">23,5</td> <td style="width:10%;">°</td> <td style="width:10%;">tan delta =</td> <td style="width:10%;">0,4345652</td> </tr> <tr> <td>Kohäsion/Adhäsion Fuge</td> <td></td> <td>kN/m²</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					Reibungswinkel Fuge	23,5	°	tan delta =	0,4345652	Kohäsion/Adhäsion Fuge		kN/m ²																																										
Reibungswinkel Fuge	23,5	°	tan delta =	0,4345652																																																		
Kohäsion/Adhäsion Fuge		kN/m ²																																																				

Einwirkungen

Bemessungswert Gewichtskraft	G _d = ((gamma _k * (d ₂ -1/2h _w) + gamma _k * 1/2h _w) + gamma _k * d ₁) * L =	337,50 kN/m ²	G _k =	337,50 kN/m ²
Bemessungswert Verkehrslasten	P _d = gamma _q * P	0,00 kN/m ²	P _k =	0 kN/m ²
Bemessungswert Schneelasten	T _d = gamma _q * s _k * L =	57,00 kN/m ²	T _k =	47,50 kN/m ²
Bemessungswert Strömungskraft	S _d = gamma _g * 1/2 * gamma _w * i * h _w * L	11,86 kN/m ²	s _k =	11,86 kN/m ²
Einwirkungen	Ed = G _d * sin _{beta} + P _d * sin _{beta} + T _d * sin _{beta} + S _{w,d} =	136,61 kN/m ²	ohne Schnee	118,59 kN/m ²

Widerstände

Reibungskraft Boden	R _{t,d} = [(G _k +P _k)*cos _{beta} *(tan _{delta})/gamma _{delta} +a _k /gamma _a *L] =	120,99 kN/m ²
Reibungskraft Schnee	t _{s,h,d} = (T _d *cos _{beta} *(tan _{delta})/gamma _{delta} +a _k /gamma _a *L) =	17,028 kN/m ²

Nachweis der Standsicherheit eines geneigten Systems

	Nachweis	R _{t,d} - E _d >0	ohne Schnee	R _{t,d} =	120,99 kN/m ²	>	E _d =	118,59 kN/m ²	Nachweis erfüllt	Ausnutzung	0,98
	Nachweis	R _{t,d} - E _d >0	mit Schnee	R _{t,d} =	138,02 kN/m ²	>	E _d =	136,61 kN/m ²	Nachweis erfüllt		0,99

Gleitsicherheitsnachweis - Basisabdichtung

ohne Einstau, mit Verkehr

Nachweis der Standsicherheit eines geneigten Systems

Teilsicherheitsbeiwerte:	Bemessungssituation	BS- T	= LF	2
Länge der Böschung		L =	50	m
Böschungsneigung			1	3
Dicke Bodenschicht 1		0,3	m	Bodenwichte
Dicke Bodenschicht 2			m	20
				kN/m ³
				Wasserwichte
				10
				kN/m ³
Mittlere Aufstauhöhe		0		
hw =		0	m	
Verkehrslast		16,7	kN/m ²	
Schneelast		0,95	kN/m ²	
Reibungswinkel Fuge		21,6	°	tan delta =
Kohäsion/Adhäsion Fuge		0	kN/m ²	0,3957069

Einwirkungen

Bemessungswert Gewichtskraft	G _d = ((γ _k * (d ₂ -1/2h _w) + γ _k * 1/2h _w) + γ _k * d ₁) * L =	300,00	kN/m ²	G _k =	300,00	kN/m ²
Bemessungswert Verkehrslasten	P _d = γ _q * P	20,04	kN/m ²	P _k =	16,7	kN/m ²
Bemessungswert Schneelasten	T _d = γ _q * s _k * L =	57,00	kN/m ²	T _k =	47,50	kN/m ²
Bemessungswert Strömungskraft	S _d = γ _g * 1/2 * γ _w * i * h _w * L	0,00	kN/m ²	s _k =	0,00	kN/m ²
Einwirkungen	Ed = G _d * sin _{beta} + P _d * sin _{beta} + T _d * sin _{beta} + S _{w,d} =	119,23	kN/m ²	ohne Schnee	101,21	kN/m ²

Widerstände

Reibungskraft Boden	R _{t,d} = [(G _k +P _k)*cos _{beta} *(tan _{delta})/γ _{d,del} +a _k /γ _a *L] =	103,38	kN/m ²
Reibungskraft Schnee	t _{s,h,d} = (T _d *cos _{beta} *(tan _{delta})/γ _{d,del} +a _k /γ _a *L) =	15,506	kN/m ²

Nachweis der Standsicherheit eines geneigten Systems

									Ausnutzung
Nachweis	R _{t,d} - E _d > 0	ohne Schnee	R _{t,d} =	103,38 kN/m ²	>	E _d =	101,21 kN/m ²	Nachweis erfüllt	0,98
Nachweis	R _{t,d} - E _d > 0	mit Schnee	R _{t,d} =	118,89 kN/m ²	>	E _d =	119,23 kN/m ²	Nachweis NICHT erfüllt	1,00

Gleitsicherheitsnachweis - Basisabdichtung

mit kompletten Einstau, mit Verkehr

Nachweis der Standsicherheit eines geneigten Systems

Teilsicherheitsbeiwerte:	Bemessungssituation	BS- T	= LF 2	
Länge der Böschung		L = 50 m		
Böschungsneigung		1 / 3		
Dicke Bodenschicht 1		0,3 m	Bodenwichte	20 kN/m ³
Dicke Bodenschicht 2		 m		 kN/m ³
Mittlere Aufstauhöhe		0,3	Wasserwichte	10 kN/m ³
hw =		0,15 m		
Verkehrslast		16,7 kN/m ²		
Schneelast		0,95 kN/m ²		
Reibungswinkel Fuge		23,4 °	tan delta =	0,4324928
Kohäsion/Adhäsion Fuge		0 kN/m ²		

Einwirkungen


Bemessungswert Gewichtskraft	G _d = ((γ _k * (d ₂ -1/2h _w) + γ _k * 1/2h _w) + γ _k * d ₁) * L =	337,50 kN/m ²	G _k =	337,50 kN/m ²
Bemessungswert Verkehrslasten	P _d = γ _q * P	20,04 kN/m ²	P _k =	16,7 kN/m ²
Bemessungswert Schneelasten	T _d = γ _q * s _k * L =	57,00 kN/m ²	T _k =	47,50 kN/m ²
Bemessungswert Strömungskraft	S _d = γ _g * 1/2 * γ _w * i * h _w * L	11,86 kN/m ²	s _k =	11,86 kN/m ²
Einwirkungen	Ed = G _d * sin _{beta} + P _d * sin _{beta} + T _d * sin _{beta} + S _{w,d} =	142,95 kN/m ²	ohne Schnee	124,92 kN/m ²

Widerstände

Reibungskraft Boden	R _{t,d} = [(G _k +P _k)*cos _{beta} *(tan _{delta})/γ _{delta} +a _k /γ _a *L] =	126,37 kN/m ²
Reibungskraft Schnee	t _{s,h,d} = (T _d *cos _{beta} *(tan _{delta})/γ _{delta} +a _k /γ _a *L) =	16,947 kN/m ²

Nachweis der Standsicherheit eines geneigten Systems

	Nachweis	R _{t,d} - E _d > 0	ohne Schnee	R _{t,d} =	126,37 kN/m ²	>	Ed =	124,92 kN/m ²	Nachweis erfüllt	Ausnutzung 0,99
	Nachweis	R _{t,d} - E _d > 0	mit Schnee	R _{t,d} =	143,32 kN/m ²	>	Ed =	142,95 kN/m ²	Nachweis erfüllt	1,00

Projekt:	Gutachten mit den Stand- und Gleitsicherheitsnachweisen für die Deponie Beilngries	Anlage: 3	
Auftragsnummer:	94651811		
Datum der Erstellung:	07.01.2020		
aufgestellt von:	Dipl.-Ing. Ron Tischer		
Firma:	LGA Bautechnik GmbH		

Nachweis Spreizsicherheit nach Brauns

Bemessungssituation:

BS-P (ständig)

φ_k	=	27,5 °	(charakteristischer Reibungswinkel der technischen Barriere)
γ_φ	=	1,25	(Teilsicherheitsbeiwert für Scherfestigkeit)
φ_d	=	22 °	(Bemessungswert Reibungswinkel der technischen Barriere)
$\sin \varphi_d$	=	0,37	
β	=	18,4 °	(Böschungswinkel Deponiekörper)
ε	=	18,4 °	(Geländeneigung Basisabdichtung mit 1:3)
$\sin \beta$	=	0,32	
δ_k	=	27,5 °	(charakteristischer Reibungswinkel Dränmatte / KDB)
δ_d	=	22 °	(Bemessungswert Reibungswinkel Dränmatte / KDB)

Nachweisformel:

$$\tan \delta_{\text{erf}} = \frac{\tau_\varepsilon}{\sigma_\varepsilon} = \frac{\sin \varphi \times \sin \left[\arcsin \left(\frac{\sin \beta}{\sin \varphi} \right) - \beta + 2\varepsilon \right]}{1 + \sin \varphi \times \cos \left[\arcsin \left(\frac{\sin \beta}{\sin \varphi} \right) - \beta + 2\varepsilon \right]} \quad \eta_{\text{vorh}} = \frac{\tan \delta_{\text{vorh}}}{\tan \delta_{\text{erf}}}$$

Ergebnisse:

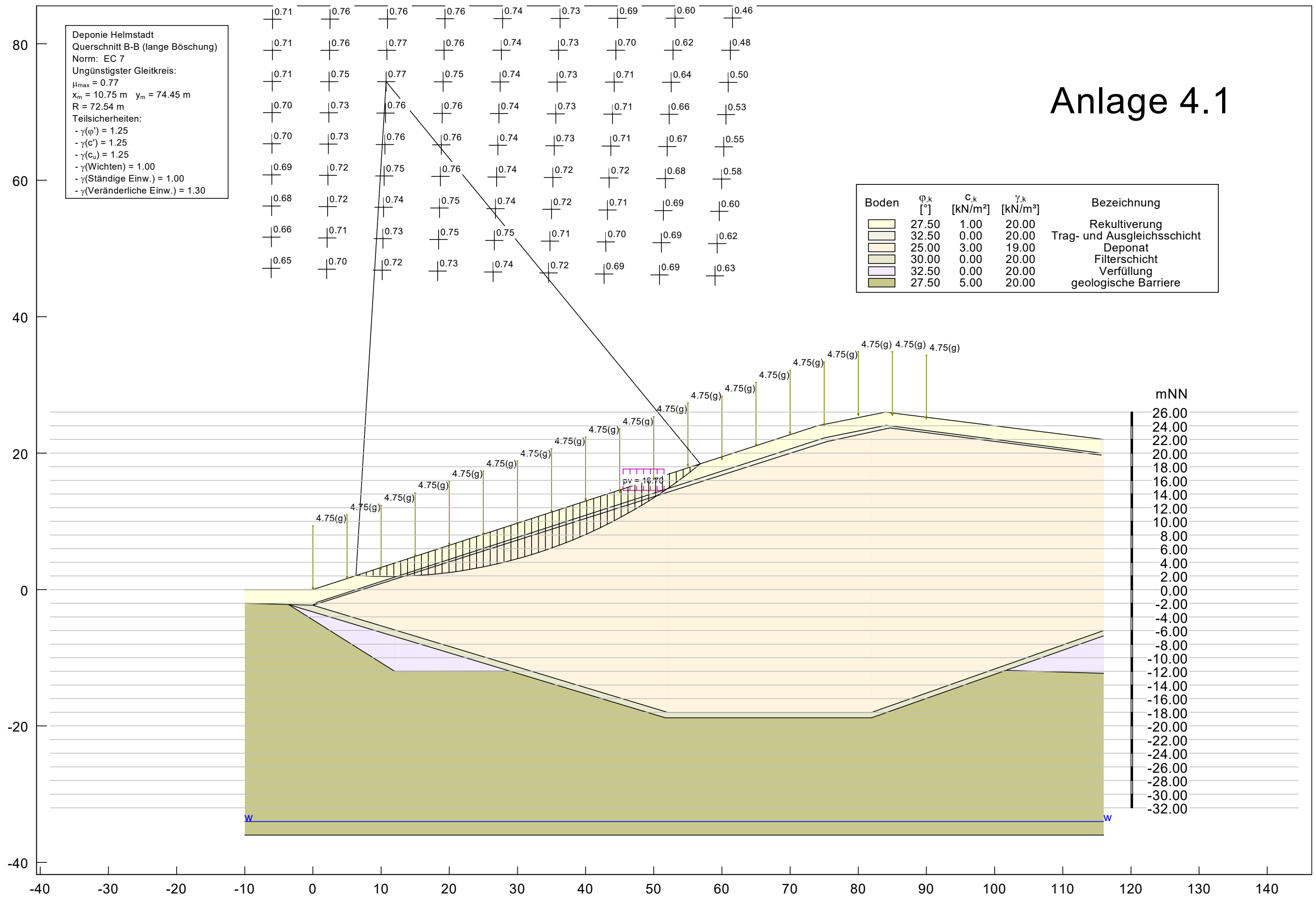
τ	=	0,360	(vorhandener Sohlschubspannungsanteil)
σ	=	1,08	(vorhandener Sohlnormalspannungsanteil)
erf δ	≥	18,39	(erforderlicher Sohlreibungswinkel)
vorh μ	=	0,82	(Ausnutzungsgrad)

Anlage 4.1

Deponie Helmstadt
 Querschnitt B-B (lange Böschung)
 Norm: EC 7
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.77$
 $x_m = 10.75 \text{ m}$ $y_m = 74.45 \text{ m}$
 $R = 72.54 \text{ m}$
 Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\varphi') = 1.25$
 - $\gamma(c') = 1.25$
 - $\gamma(c_u) = 1.25$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$

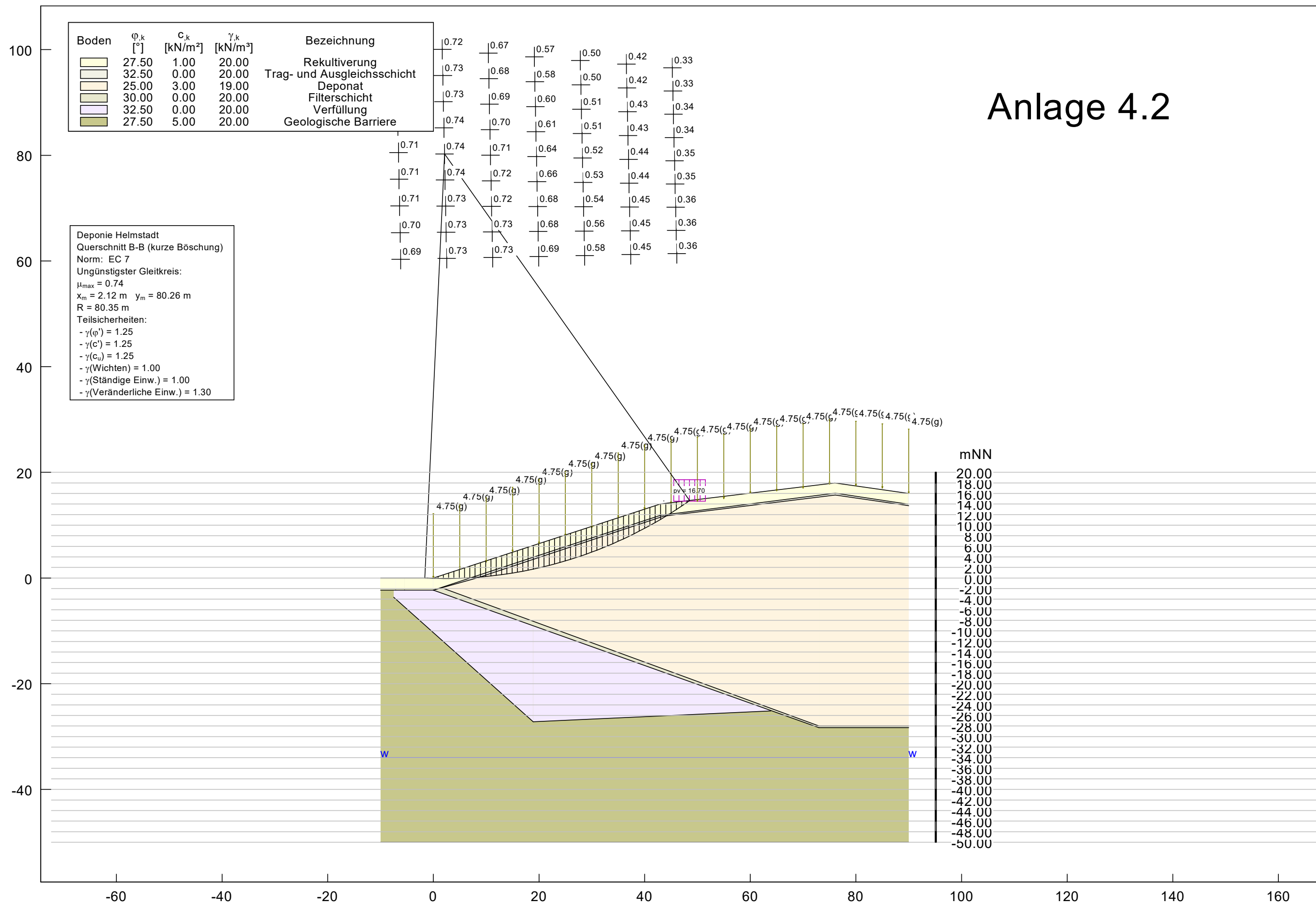
0.71	0.76	0.76	0.76	0.74	0.73	0.69	0.60	0.46
0.71	0.76	0.77	0.76	0.74	0.73	0.70	0.62	0.48
0.71	0.75	0.77	0.75	0.74	0.73	0.71	0.64	0.50
0.70	0.73	0.76	0.76	0.74	0.73	0.71	0.66	0.53
0.70	0.73	0.76	0.76	0.74	0.73	0.71	0.67	0.55
0.69	0.72	0.75	0.76	0.74	0.72	0.72	0.68	0.58
0.68	0.72	0.74	0.75	0.74	0.72	0.71	0.69	0.60
0.66	0.71	0.73	0.75	0.75	0.71	0.70	0.69	0.62
0.65	0.70	0.72	0.73	0.74	0.72	0.69	0.69	0.63

Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
[Yellow]	27.50	1.00	20.00	Rekultivierung
[Light Green]	32.50	0.00	20.00	Trag- und Ausgleichsschicht
[Light Orange]	25.00	3.00	19.00	Deponat
[Light Blue]	30.00	0.00	20.00	Filterschicht
[Light Purple]	32.50	0.00	20.00	Verfüllung
[Dark Green]	27.50	5.00	20.00	geologische Barriere



pv = 10.70

Anlage 4.2



Projekt:	Gutachten mit den Stand- und Gleitsicherheitsnachweisen für die Deponie Beilngries	Anlage: 5.1	
Auftragsnummer:	94651811	Seite 1 von 1	
Datum der Erstellung:	07.01.2020		
aufgestellt von:	Dipl.-Ing. Ron Tischer		
Firma:	LGA Bautechnik GmbH		

Gleitsicherheitsnachweis - Oberflächenabdichtung

ohne Einstau und ohne Verkehr

SAP
Anlage

Nachweis der Standsicherheit eines geneigten Systems

Teilsicherheitsbeiwerte: Bemessungssituation BS- **P** = LF **1**

Länge der Böschung L = **50** m
Böschungsneigung **1** / **3**

Dicke Bodenschicht 1 **1** m Bodenwichte **20** kN/m³
Dicke Bodenschicht 2 **0,3** m kN/m³

Wasserwichte **10** kN/m³

Mittlere Aufstauhöhe hw = **0** m

Verkehrslast **0** kN/m²

Schneelast **0,95** kN/m²

Reibungswinkel Fuge **23** ° tan delta = 0,4242347
Kohäsion/Adhäsion Fuge **0** kN/m²

Einwirkungen

Bemessungswert Gewichtskraft	$G_d = ((\gamma_k \cdot (d_2 - 1/2h_w) + \gamma_k \cdot 1/2h_w) + \gamma_k \cdot d_1) \cdot L =$	1000,00 kN/m²	Gk =	1000,00 kN/m²
Bemessungswert Verkehrslasten	$P_d = \gamma_Q \cdot P$	0,00 kN/m²	Pk =	0 kN/m²
Bemessungswert Schneelasten	$T_d = \gamma_q \cdot s_k \cdot L =$	61,75 kN/m²	Tk =	47,50 kN/m²
Bemessungswert Strömungskraft	$S_d = \gamma_g \cdot 1/2 \cdot \gamma_w \cdot i \cdot h_w \cdot L$	0,00 kN/m²	sk =	0,00 kN/m²
Einwirkungen	$E_d = G_d \cdot \sin\beta + P_d \cdot \sin\beta + T_d \cdot \sin\beta + S_{w,d} =$	335,75 kN/m²	ohne Schnee	316,23 kN/m²

Widerstände

Reibungskraft Boden	$R_{t,d} = [(G_k + P_k) \cdot \cos\beta \cdot (\tan\delta) / \gamma_{\delta} + a_k / \gamma_a] \cdot L =$	321,97 kN/m²
Reibungskraft Schnee	$t_{s,h,d} = (T_d \cdot \cos\beta \cdot (\tan\delta) / \gamma_{\delta} + a_k / \gamma_a) \cdot L =$	15,294 kN/m²

Nachweis der Standsicherheit eines geneigten Systems

Nachweis	$R_{t,d} - E_d > 0$	ohne Schnee	$R_{t,d} =$	321,97 kN/m²	>	$E_d =$	316,23 kN/m²	Nachweis erfüllt	Ausnutzung	0,98
Nachweis	$R_{t,d} - E_d > 0$	mit Schnee	$R_{t,d} =$	337,27 kN/m²	>	$E_d =$	335,75 kN/m²	Nachweis erfüllt		1,00

Gleitsicherheitsnachweis - Oberflächenabdichtung

kompletter Einstau und ohne Verkehr

Nachweis der Standsicherheit eines geeigneten Systems

Teilsicherheitsbeiwerte:	Bemessungssituation	BS- T	= LF	2
Länge der Böschung		L =	50	m
Böschungsneigung			1	3
Dicke Bodenschicht 1		1	m	Bodenwichte
Dicke Bodenschicht 2		0,3	m	20
				kN/m ³
				10
				kN/m ³
Mittlere Aufstauhöhe		0,3		
hw =		0,15	m	
Verkehrslast		0	kN/m ²	
Schneelast		0,95	kN/m ²	
Reibungswinkel Fuge		22	°	tan delta =
Kohäsion/Adhäsion Fuge			kN/m ²	0,4037998

Einwirkungen

Bemessungswert Gewichtskraft	G _d = ((gamma _k * (d ₂ -1/2h _w) + gamma _k * 1/2h _w) + gamma _k * d ₁) * L =	1037,50	kN/m ²	G _k =	1037,50	kN/m ²
Bemessungswert Verkehrslasten	P _d = gamma _q * P	0,00	kN/m ²	P _k =	0	kN/m ²
Bemessungswert Schneelasten	T _d = gamma _q * s _k * L =	57,00	kN/m ²	T _k =	47,50	kN/m ²
Bemessungswert Strömungskraft	S _d = gamma _g * 1/2 * gamma _w * i * h _w * L	11,86	kN/m ²	s _k =	11,86	kN/m ²
Einwirkungen	Ed = G _d * sin _{beta} + P _d * sin _{beta} + T _d * sin _{beta} + S _{w,d} =	357,97	kN/m ²	ohne Schnee	339,94	kN/m ²

Widerstände

Reibungskraft Boden	R _{t,d} = [(G _k +P _k)*cos _{beta} *(tan _{delta})/gamma _{delta} +a _k /gamma _a *L] =	345,60	kN/m ²
Reibungskraft Schnee	t _{s,h,d} = (T _d *cos _{beta} *(tan _{delta})/gamma _{delta} +a _k /gamma _a *L) =	15,823	kN/m ²

Nachweis der Standsicherheit eines geeigneten Systems

	Nachweis	R _{t,d} - E _d >0	ohne Schnee	R _{t,d} =	345,60 kN/m ²	>	Ed =	339,94 kN/m ²	Nachweis erfüllt	Ausnutzung 0,98
	Nachweis	R _{t,d} - E _d >0	mit Schnee	R _{t,d} =	361,43 kN/m ²	>	Ed =	357,97 kN/m ²	Nachweis erfüllt	0,99

Gleitsicherheitsnachweis - Oberflächenabdichtung

ohne Einstau, mit Verkehr

Nachweis der Standsicherheit eines geneigten Systems

Teilsicherheitsbeiwerte: Bemessungssituation BS- T = LF 2

Länge der Böschung L = 50 m
 Böschungsneigung 1 / 3

Dicke Bodenschicht 1 1 m Bodenwichte 20 kN/m³
 Dicke Bodenschicht 2 0,3 m kN/m³

Wasserwichte 10 kN/m³

Mittlere Aufstauhöhe hw = 0 m

Verkehrslast 16,7 kN/m²

Schneelast 0,95 kN/m²

Reibungswinkel Fuge 21,4 ° tan delta = 0,3916773
 Kohäsion/Adhäsion Fuge 0 kN/m²

Einwirkungen

Bemessungswert Gewichtskraft	$G_d = ((\gamma_k \cdot (d_2 - 1/2h_w) + \gamma_k \cdot 1/2h_w) + \gamma_k \cdot d_1) \cdot L =$	1000,00 kN/m ²	Gk =	1000,00 kN/m ²
Bemessungswert Verkehrslasten	$P_d = \gamma_q \cdot P$	20,04 kN/m ²	PK =	16,7 kN/m ²
Bemessungswert Schneelasten	$T_d = \gamma_q \cdot s_k \cdot L =$	57,00 kN/m ²	Tk =	47,50 kN/m ²
Bemessungswert Strömungskraft	$S_d = \gamma_g \cdot 1/2 \cdot \gamma_w \cdot i \cdot h_w \cdot L$	0,00 kN/m ²	sk =	0,00 kN/m ²
Einwirkungen	$E_d = G_d \cdot \sin\beta + P_d \cdot \sin\beta + T_d \cdot \sin\beta + S_{w,d} =$	340,59 kN/m ²	ohne Schnee	322,56 kN/m ²

Widerstände

Reibungskraft Boden	$R_{t,d} = [(G_k + P_k) \cdot \cos\beta \cdot (\tan\delta) / \gamma_{\Delta} + a_k / \gamma_a \cdot L] =$	328,51 kN/m ²
Reibungskraft Schnee	$t_{s,h,d} = (T_d \cdot \cos\beta \cdot (\tan\delta) / \gamma_{\Delta} + a_k / \gamma_a \cdot L) =$	15,348 kN/m ²

Nachweis der Standsicherheit eines geneigten Systems

Nachweis	$R_{t,d} - E_d > 0$	ohne Schnee	$R_{t,d} =$	328,51 kN/m ²	>	$E_d =$	322,56 kN/m ²	Nachweis erfüllt	0,98
Nachweis	$R_{t,d} - E_d > 0$	mit Schnee	$R_{t,d} =$	343,85 kN/m ²	>	$E_d =$	340,59 kN/m ²	Nachweis erfüllt	0,99

Ausnutzung

GUTACHTEN

94651811/Position 70

Datum: 20.01.2020

Auftraggeber: SBE GmbH & Co. KG
Schönbornstr. 35
97332 Volkach

Projekt: Deponie Helmstadt
hier: Sickerwasserrohre

Auftrag: Stand- und Gleitsicherheitsnachweise zur Deponie

Bearbeiter: Dipl.-Ing. A. Stegner

Telefon Nr.: 0911 / 81771-430

Telefax Nr.: 0911 / 81771-419

E-Mail: armin.stegner@lga.de

Dieses Gutachten umfasst 6 Seiten und 1 Anlage bzw. Anlagengruppe.

1 Unterlagen

Angaben zur Baumaßnahme durch AUC telefonisch oder per Email vom 15.10.2019

1.2 Planunterlagen

Konstruktionsschnitt Sickerwasserschacht und Sickerwassertiefpunkt
Regelschnitt Felddtiefpunkt

1.3 Sonstige Unterlagen

1.3.1 Vorläufige Bemessungsgrundsätze für Bauteile in Deponien, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, November 1995

1.3.2 SKZ / TÜV - LGA Güterrichtlinie Rohre, Rohrleitungsteile, Schächte und Bauteile in Deponien vom Juni 2017

1.3.3 ATV-Regelwerk-Abwasser-Abfall, Arbeitsblatt A 127, Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungskanälen und -leitungen, 3. Auflage August 2000

1.3.4 ATV-Merkblatt M 127 Teil 1, Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungsleitungen für Sickerwasser aus Deponien, März 1996

1.3.5 Ausgefüllte Fragebogen zur statischen Berechnung, AU Consult

2 Baubeschreibung / Inhalt

2.1 Baubeschreibung

Auf der Deponie Helmstadt werden für die Entwässerung der Deponiebasis PE-Rohre zur Sickerwasserfassung und –ableitung verlegt.

Eingebaut werden im Ablagerungsbereich perforierte Polyethylen(PE)-Rohre mit Außendurchmesser (DA) 450 mm und Wanddicke (s) 61,5 mm entsprechend SDR 7,4. Die Rohre werden über 2/3 des Umfanges mit Lochdurchmesser 12 mm im Abstand von 60 mm gelocht.

Zur Ableitung des Sickerwassers werden nach einem Durchdringungsbauwerk außerhalb des Ablagerungsbereiches PE-Rohre mit DA = 400 mm und s = 36,3 mm entsprechend SDR 11 in Hüllrohren DA = 630 und s = 57,2 mm, SDR 11 verlegt.

2.2 Inhalt

Es werden Standsicherheitsnachweise für die Rohre geführt. Die Berechnungen erfolgen analytisch gemäß den Unterlagen 1.3.3 und 1.3.4.

3 Einwirkungen

3.1 Ständige Einwirkungen

Überschüttung der Rohre mit maximal 40,00 m Boden- und Abfallmaterial außerhalb und mit 48,00 m Boden- und Abfallmaterial innerhalb des Ablagerungsbereiches

Die mittlere Wichte der Überschüttung beträgt 20 kN/m³.

3.2 Veränderliche Einwirkungen:

Überfahren mit SLW 60 ab einer Mindestüberdeckung von 0,50 m bzw. auf der Kiesrigole

Innendruck 0,2 bar in den Vollwandrohren

3.3 Grundwasser steht nicht an.

3.4 Die maximale Dauertemperatur für die Rohre wird in der Bauschuttdeponie mit 20 °C angenommen. Der Langzeitstandsicherheitsnachweis wird für 100 Jahre geführt. Ein Medienfaktor für permanente Sickerwassereinflüsse wird bei den Berechnungen der Rohre nicht berücksichtigt.

4 Baustoffe:

Die Rohre werden aus einem PE 100 RC Werkstoff hergestellt. Da Hersteller und Werkstoff noch nicht bekannt sind, erfolgen die Berechnungen mit Mindestwerten für PE-HD Werkstoffe, die von allen im Rohrbereich eingesetzten PE 100 RC Werkstoffen erreicht bzw. übertroffen werden.

Kriechmodul N/mm ²	kurzzeitig ≥ 800	langzeitig (ohne Abminderungen) ≥ 160
----------------------------------	---------------------	--

Es ist ein für die Herstellung von Druckrohren zugelassener PE 100 RC Werkstoff einzusetzen. Dies ist durch die Herstellungszeugnisse zu belegen.

5 Einbau / Baugrund

Die Rohre werden mit Auflagerwinkeln $2\alpha = 120^\circ$ in der Auflagermischung M9 oder einem Splitt-Sand-Gemisch eingebaut und mit Kies ≥ 2 DA oder Kiessand bzw. der Mischung M9 (oder vergleichbar bezüglich des Verformungsmoduls) überschüttet. Auf die passgenaue Herstellung des Auflagers ist größter Wert zulegen, sie ist zu kontrollieren. Für die Bodenschichten werden unter der maximalen Auflast die folgenden Mindestwerte der Verformungsmodule angesetzt:

Filterschicht	$E_v \geq 50 \text{ N/mm}^2$
Auflager	$E_v \geq 25 \text{ N/mm}^2$
Dichtung	$E_v \geq 10 \text{ N/mm}^2$
Anstehender Boden neben dem Rohrgraben	$E_v \geq 50 \text{ N/mm}^2$

Für die Nachweise unter geringer Überdeckung und Verkehrslast werden die Werte für die Filterschicht, das Auflager und den anstehenden Boden auf $E_v \geq 20 \text{ N/mm}^2$ abgemindert.

6 Bemessung

Die Bemessung erfolgt elektronisch. Ein Berechnungsausdruck ist diesem Bericht als Anlage beigefügt. Darin werden Eingabewerte, Zwischenergebnisse und alle Ergebnisse dokumentiert.

Bemessungsmaßgebend sind die Lastfälle „Kurzzeit“ für eine Mindestüberdeckung von 0,50 m und Überfahren mit SLW 60 (auch Ersatzlast für Kompaktor) und Langzeit mit der maximalen Überdeckung.

6.1 Spannungen in N/mm^2

Rohr	kurzzeitig		langzeitig	
	Zug	Druck	Zug	Druck
DA 450	1,07	-1,43	0,04	-4,3
DA 630	1,92	-2,47	1,00	-5,3

Zulässig sind maximale Zugspannungen von
 kurzzeitig $\sigma_{BZ, \text{kurzz.}} < 21 / 2,5 = 8,4$ maximal vorhanden 1,9
 langfristig $\sigma_{BZ, \text{kurzz.}} < 14 / 2,5 = 5,6$ maximal vorhanden 1,0
 und maximale Druckspannungen von
 kurzzeitig $\sigma_{BD, \text{kurzz.}} < 21 / 1,5 = 14,0$ maximal vorhanden -2,5
 langfristig $\sigma_{BD, \text{kurzz.}} < 14 / 1,5 = 9,3$ maximal vorhanden 5,3

Alle Anforderungen sind eingehalten.

6.2 Verformungen [%]

Rohr	kurzzeitig	langzeitig
DA 450	1,28	5,0
DA 630	1,92	6,96

Zulässig ist eine maximale Verformung von $\leq 6,00$ % des Durchmessers. Für das Rohr im Ablagerungsbereich sind die Anforderungen eingehalten. Das Hüllrohr verformt sich unter der maximalen Auflast um 6,96 % entsprechend 40 mm. Der Abstand zum Rohrscheitel des Innenrohres beträgt 115,6 mm. Schäden am Rohrmaterial treten durch eine Verformung von 7 % nicht auf. Die Überschreitung der Verformung kann bezüglich der Gebrauchstauglichkeit aus unserer Sicht toleriert werden. Wird ein PE 100 RC Material eingesetzt, dessen Langzeitkriechmodul höher als der angesetzte Mindestwert liegt, treten kleinere Verformungen auf.

6.3 Stabilität

Angegeben wird der Sicherheitsbeiwert.

Rohr	kurzzeitig	langzeitig
DA 450	107,8	13,0
DA 630	36,6	5,2

Erforderlich ist ein Sicherheitsbeiwert $> 2,00$. Alle Anforderungen sind eingehalten.

7. Bemerkungen

- 7.1 Die Einhaltung der angesetzten Einbauart ist sicherzustellen. Der Einbau muss kontrolliert werden. Da die zulässigen Verformungen beim Hüllrohr rechnerisch überschritten werden, ist besondere Sorgfalt auf die Auflagerherstellung und die Verdichtung der Überschüttung zu legen. Nachzuweisen sind die passgenaue Ausführung des Rohraufagers und das Einhalten der Bodenkennwerte. Beim Hüllrohr muss der Rohrgraben in standfestem Boden liegen.
- 7.2 Rohranschlüsse sind so auszuführen, dass Relativbewegungen Schacht / Rohr schadlos aufgenommen werden können.
- 7.3 Für alle Rohre und Schächte unter denen Abfall ansteht gilt: Bei Abfall können erhebliche Setzungen - auch Differenzsetzungen auf kurze Entfernungen - auftreten. Solche Setzungen sind in den Berechnungen nicht berücksichtigt. Für den Einbau in Böschungen wird vorausgesetzt, dass die Böschungen standsicher sind und durch Böschungsbewegungen keine Auflockerungen in den Leitungszonen auftreten können.

8 Ergebnis

Aufgrund unserer Berechnungen können die Rohre wie folgt ausgeführt werden:

Im Ablagerungsbereich: DA 450 mm mit Wanddicke 61,5 mm SDR 7,4 – perforiert (Lochung) mit \varnothing 12 mm im Abstand von 60 mm

Doppelrohrsystem außerhalb des Ablagerungsbereiches: DA 630 mm mit Wanddicke 57,2 mm SDR 11 mit innenliegendem Medienrohr DA 450

Gegen die Ausführung wie beschrieben bestehen bei Einhaltung der Vorgaben gemäß Punkt 7 aus unserer Sicht keine Bedenken.

TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH
Statik



Dipl.-Ing. (FH) Dieter Straußberger
Geschäftsfeldleiter

Bearbeiter:



Armin Stegner
Dipl.-Ing.

Verteiler:
SBE GmbH & Co. KG
AUC

Bericht
1-fach+PDF
PDF

Unterlagen
1-fach+PDF
PDF

Anlage Berechnungsausdruck Seiten 1 - 40 vom 09.11.2020

Statische Berechnung

Bauvorhaben: Deponie Helmstadt Sickerwasserrohre

Beschreibung: SiWa Rohre

Bearbeiter: Armin Stegner
Tillystraße 2
90431 Nürnberg
Tel.: 0911 81771 - 430
Fax: 0911 81771 - 439
Mail: armin.stegner@lga.de

Datum: 09.01.2020

Inhaltsangabe

1 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: SiWa Rohr DA 450 SDR 7,4 Langzeitlastfall	5
1.1 Eingaben	5
1.1.1 Sicherheiten	5
1.1.2 Boden	5
1.1.3 Belastung	5
1.1.4 Einbau	5
1.1.5 Vollwand/Profil-Rohr	5
1.1.5.1 Thermoplast	6
1.2 Ergebnisse	7
1.2.1 Zwischenergebnisse Rohr	7
1.2.1.1 Materialeigenschaften	7
1.2.1.2 Sicherheiten	7
1.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12	7
1.2.2 Zwischenergebnisse	7
1.2.2.1 Belastung	7
1.2.2.2 Boden-Verformungsmoduln EB	7
1.2.2.3 Bodensteifigkeiten	8
1.2.2.4 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	8
1.2.2.5 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	8
1.2.2.6 Steifigkeitsverhältnisse	8
1.2.2.7 Beiwerte	8
1.2.2.8 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B	8
1.2.2.9 Druckverteilung am Rohrumfang	9
1.2.3 Schnittkräfte	9
1.2.3.1 Schnittkräfte , Kurzzeit	9
1.2.3.2 Schnittkräfte , Langzeit	10
1.2.4 Nachweise Kurzzeit	11
1.2.4.1 Spannungsnachweis	11
1.2.4.2 Verformungsnachweis	11
1.2.5 Nachweise Langzeit	12
1.2.5.1 Spannungsnachweis	12
1.2.5.2 Verformungsnachweis	12
1.2.5.3 Nachweis Stabilität radial, linear	13
1.2.5.4 Stabilitätsnachweis, nichtlinear	13
1.2.5.5 Nachweis der Sicherheit gegen Versagen bei nicht vorwiegend ruhender	13
2 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: SiWa Rohr DA 450 SDR 7,4 Kurzzeitlastfall	14
2.1 Eingaben	14
2.1.1 Sicherheiten	14
2.1.2 Boden	14
2.1.3 Belastung	14
2.1.4 Einbau	14
2.1.5 Vollwand/Profil-Rohr	14
2.1.5.1 Thermoplast	15

2.2 Ergebnisse	16
2.2.1 Zwischenergebnisse Rohr	16
2.2.1.1 Materialeigenschaften	16
2.2.1.2 Sicherheiten	16
2.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12	16
2.2.2 Zwischenergebnisse	16
2.2.2.1 Belastung	16
2.2.2.2 Boden-Verformungsmoduln EB	16
2.2.2.3 Bodensteifigkeiten	17
2.2.2.4 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	17
2.2.2.5 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	17
2.2.2.6 Steifigkeitsverhältnisse	17
2.2.2.7 Beiwerte	17
2.2.2.8 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B	17
2.2.2.9 Druckverteilung am Rohrumfang	18
2.2.3 Schnittkräfte	18
2.2.3.1 Schnittkräfte , Kurzzeit	18
2.2.3.2 Schnittkräfte , Langzeit	18
2.2.4 Nachweise Kurzzeit	19
2.2.4.1 Spannungsnachweis	19
2.2.4.2 Verformungsnachweis	19
2.2.5 Nachweise Langzeit	20
2.2.5.1 Spannungsnachweis	20
2.2.5.2 Verformungsnachweis	20
2.2.5.3 Nachweis Stabilität radial, linear	21
2.2.5.4 Stabilitätsnachweis, nichtlinear	21
3 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Hüllrohr DA 560 x 33,2	22
3.1 Eingaben	22
3.1.1 Sicherheiten	22
3.1.2 Boden	22
3.1.3 Belastung	22
3.1.4 Einbau	22
3.1.5 Vollwand/Profil-Rohr	23
3.1.5.1 Thermoplast	23
3.2 Ergebnisse	24
3.2.1 Zwischenergebnisse Rohr	24
3.2.1.1 Materialeigenschaften	24
3.2.1.2 Sicherheiten	24
3.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12	24
3.2.2 Zwischenergebnisse	25
3.2.2.1 Silotheorie	25
3.2.2.2 Belastung	25
3.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB	25
3.2.2.4 Bodensteifigkeiten	25
3.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	25
3.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	25
3.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse	25
3.2.2.8 Beiwerte	25
3.2.2.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B	26
3.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang	26
3.2.3 Schnittkräfte	26
3.2.3.1 Schnittkräfte , Kurzzeit	26
3.2.3.2 Schnittkräfte , Langzeit	27

3.2.4 Nachweise Kurzzeit	28
3.2.4.1 Spannungsnachweis	28
3.2.4.2 Verformungsnachweis	28
3.2.5 Nachweise Langzeit	29
3.2.5.1 Spannungsnachweis	29
3.2.5.2 Verformungsnachweis	30
3.2.5.3 Nachweis Stabilität radial, linear	30
3.2.5.4 Stabilitätsnachweis, nichtlinear	30
3.2.5.5 Nachweis der Sicherheit gegen Versagen bei nicht vorwiegend ruhender	31
4 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Hüllrohr DA 560 x 33,2 Kurzzeit	32
4.1 Eingaben	32
4.1.1 Sicherheiten	32
4.1.2 Boden	32
4.1.3 Belastung	32
4.1.4 Einbau	32
4.1.5 Vollwand/Profil-Rohr	33
4.1.5.1 Thermoplast	33
4.2 Ergebnisse	34
4.2.1 Zwischenergebnisse Rohr	34
4.2.1.1 Materialeigenschaften	34
4.2.1.2 Sicherheiten	34
4.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12	34
4.2.2 Zwischenergebnisse	35
4.2.2.1 Silotheorie	35
4.2.2.2 Belastung	35
4.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB	35
4.2.2.4 Bodensteifigkeiten	35
4.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	35
4.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	35
4.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse	35
4.2.2.8 Beiwerte	35
4.2.2.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B	36
4.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang	36
4.2.3 Schnittkräfte	36
4.2.3.1 Schnittkräfte , Kurzzeit	36
4.2.3.2 Schnittkräfte , Langzeit	36
4.2.4 Nachweise Kurzzeit	37
4.2.4.1 Spannungsnachweis	37
4.2.4.2 Verformungsnachweis	38
4.2.5 Nachweise Langzeit	38
4.2.5.1 Spannungsnachweis	38
4.2.5.2 Verformungsnachweis	39
4.2.5.3 Nachweis Stabilität radial, linear	40
4.2.5.4 Stabilitätsnachweis, nichtlinear	40

1 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: SiWa Rohr DA 450 SDR 7,4 Langzeitlastfall

Titel der Teilstatik: SiWa Rohr DA 450 SDR 7,4 Langzeitlastfall

Berechnungsart: Vollwand-/Profilrohr
 Skizzen (Einbau/Rohr) in Ausdruck: Ja

1.1 Eingaben

1.1.1 Sicherheiten

Sicherheitsklasse:	A (Regelfall)
Sicherheit Stabilität nach Tabelle 13:	Ohne Vorverformungen (2,5 / 2,0)
Zulässige Verformung:	6% (Regelfall)
Behandlung von Innendruck:	Gemäß Fußnote des ATV-DVWK-A 127
Kleinere Biegedruck-Sicherheiten:	Nein (ATV-DVWK-A 127)
Nachweis bei nicht vorwiegend ruhender Belastung:	Nach Regelwerk
Berücksichtigung von dyn pvh*:	Nach Norm
Berücksichtigung der Vorverformungen Typ A in Verformungsnachweis:	Ja

1.1.2 Boden

Bodengruppe Einbettung:	G1
Berechnung E20:	E-Modul
E-Modul E20:	E ₂₀ 50,00 N/mm ²
E4 = 10 · E1:	Nein
Bodengruppe unter Rohr:	G4
Berechnung E4:	E-Modul, Endwert
E-Modul E4:	E4 20,00 N/mm ²
Anwendung von Silotheorie:	Automatisch

1.1.3 Belastung

Überdeckungshöhe:	h 0,90 m
Minimaler Grundwasserstand über Sohle:	h _{W,min} 0,00 m
Maximaler Grundwasserstand über Sohle:	h _{W,max} 0,00 m
Wichte des Bodens:	γ 20,0 kN/m ³
Zusätzliche Flächenlast:	p ₀ 960,0 kN/m ²
Zusätzliche Flächenlast ist Dammschüttung:	Nein
Innendruck, kurzzeitig wirkend:	P _{I,K} 0,00 bar
Innendruck, langfristig:	P _{I,L} 0,00 bar
Wasserfüllung (z.B. Staukanal):	Ja
Wichte Füllmedium:	γ _F 10,0 kN/m ³
Verkehrslast:	Kein Verkehr

1.1.4 Einbau

Einbauweise:	Damm
Bodenverhalten:	E1 = E20 = E3
Einbettungsbedingung:	B1
Auflagerart:	Lose
Auflagerwinkel:	120°
Relative Ausladung automatisch ermitteln:	Ja
Untere Sockelhöhe vorgeben:	Nein
Gesamt-Sockelhöhe:	h _s 0,00 m

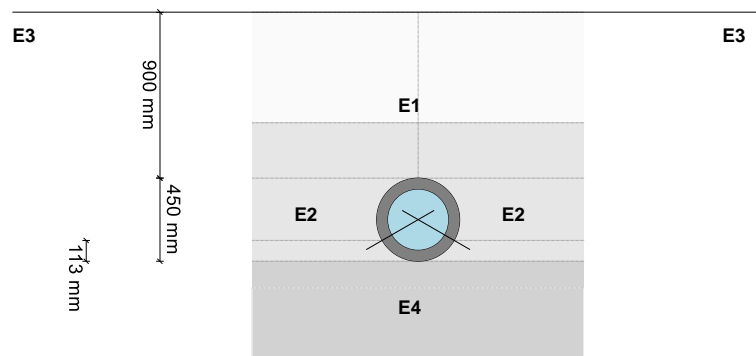
1.1.5 Vollwand/Profil-Rohr

Rohrauswahl:	Vollwand		
Material-Klasse:	Thermoplast		
Vorverformung Typ A:	$\delta_{v,TypA}$	1,0	%
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,lokal}$	0,0	%
Auswahl der Eingaben:	Da und s		
Außendurchmesser:	d_a	450,0	mm
Wandstärke:	s	61,5	mm
Perforation:	2/3 (Scheitel, Kämpfer)		
Perforationsgeometrie:	Gelocht		
Anzahl Löcher Pro 1 Meter:	nw	200	1/m
Lochabstand:	l_1	60,00	mm
Lochdurchmesser:	b_w	12,00	mm

1.1.5.1 Thermoplast

Auswahl Material:	Nach ATV / DWA
Materialkennwerte nach Regelwerk:	PE-HD
Grund der Abminderung:	Keine

Verkehrslast: Kein Verkehr + 960,0 kN/m²



1.2 Ergebnisse

1.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:		d_i	327,0	mm		
Außendurchmesser:		d_a	450,0	mm		
Mittlerer Radius:		r_m	194,25	mm		
Wanddicke:		s	61,50	mm		
Verhältnis Radius zu Wanddicke:		r_m/s	3,159	[-]		
Korrekturfaktor Krümmung innen:		α_{ki}	1,106	[-]		
Korrekturfaktor Krümmung außen:		α_{ka}	0,894	[-]		
Örtliche Vorverformung:		δ_{vl}	0,00	%		
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):		δ_{vg}	1,00	%		
Radiale Profilfläche:		A_{rad}	61,50	mm ² /mm		
Trägheitsabstand:		e	30,75	mm		
Trägheitsmoment:		I	19.384,03	mm ⁴ /mm		
Äußeres Widerstandsmoment:		W_a	630,38	mm ³ /mm		
Inneres Widerstandsmoment:		W_i	630,38	mm ³ /mm		
Flächenverhältnis:		k_Q	1,2	[-]		
			Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Verschwächungsbeiwert Ringsteifigkeit	KSR		0,98	0,98	0,98	[-]
Verschwächungsbeiwert Fläche und Widerstandsmoment	KW		0,80	0,80	1,00	[-]

1.2.1.1 Materialeigenschaften

			Kurzzeit	Langzeit	
Wichte des Rohrwerkstoffs	γ_R		9,4	9,4	kN/m ³
Querkontraktionszahl	ν		0,38	0,38	[-]
Elastizitätsmodul in Umfangsrichtung	E_R		800,0	160,0	N/mm ²
Radiale Biegezugfestigkeit	σ_{RBZ}		21,0	14,0	N/mm ²
Radiale Biegedruckfestigkeit	σ_{RBD}		21,0	14,0	N/mm ²
Ringzugfestigkeit	σ_{RZ}		12,6	8,4	N/mm ²
Schwingbreite bei $2 \cdot 10^6$ Lastspielen:			$2\sigma_{a,2E6}$	n. def.	N/mm ²
Schwingbreite bei $1 \cdot 10^8$ Lastspielen:			$2\sigma_{a,1E8}$	n. def.	N/mm ²

1.2.1.2 Sicherheiten

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen	erf γ_{RBZ}	2,50	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen	erf γ_{RBD}	2,50	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität	erf γ_{stab}	2,50	2,50	[-]

1.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12

Die Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610 / DWA-A 139 wird nicht überprüft.

1.2.2 Zwischenergebnisse

1.2.2.1 Belastung

Grundwasserstand über Scheitel:	$h_{W,Scheitel}$	0,00	m
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:	P_{Erd}	18,00	kN/m ²
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:	P_E	978,00	kN/m ²
Spannung aufgrund Verkehrslast:	P_V	0,00	kN/m ²
Enthaltener Stoßfaktor:	ϕ	1,00	[-]
Spannung aufgrund Verkehrslast (inkl. Stoßbeiwert):	p_T	0,00	kN/m ²

1.2.2.2 Boden-Verformungsmoduln EB

Verformungsmodul:	E_{20}	50,00	N/mm ²
-------------------	----------	-------	-------------------

Spannungsexponent:	z	0,40	[-]
E-Modul Einbettung unter Last:	E _{20,σ}	124,48	N/mm ²
Reduktionsfaktor für das Kriechen:	f ₁	1,000	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):	f ₂	1,000	[-]
Abminderungsfaktor E20 (enger Graben):	α _B	1,000	[-]

Bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Formel 6.03 immer den Wert 1,0.

E-Modul Einbettung (abgemindert):	E _{2,σ}	124,48	N/mm ²
E-Modul Verfüllung unter Last:	E _{1,σ}	124,48	N/mm ²
E-Modul anstehender Boden:	E _{3,σ}	124,48	N/mm ²
E-Modul Boden unter dem Rohr:	E _{4,σ}	20,00	N/mm ²

1.2.2.3 Bodensteifigkeiten

Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	1,000	[-]
--	---	-------	-----

Der Korrekturfaktor ζ nach 6.17 ist bei Dammbedingungen immer 1,0, da das Verhältniss (Breite in Kämpferhöhe/Außendurchmesser) mit > 4 angenommen wird.

Horizontale Bettungssteifigkeit:	S _{Bh}	74,689	N/mm ²
Vertikale Bettungssteifigkeit:	S _{Bv}	124,482	N/mm ²

1.2.2.4 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:	2α	120	°
Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:	t _r	0,113	m
Berechnete Ausladung:	a	1,00	[-]
Wirksame Ausladung:	a'	1,000	[-]
Innerer Reibungswinkel:	φ'	35,000	°

	Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten
--	-------------------------	---------------------------------------	--------------------------------

1.2.2.5 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

Elastizitätsmodul in Umfangsrichtung	E _R	800,0	160,0	160,0	N/mm ²
Radiale Biegezugfestigkeit	σ _{RBZ}	21,0	14,0	14,0	N/mm ²
Radiale Biegedruckfestigkeit	σ _{RBd}	21,0	14,0	14,0	N/mm ²
Rohrsteifigkeit	S _R	2.076	415.295	415.295	kN/m ²
Verschwächungsbeiwert Ringsteifigkeit	K _{SR}	0,98	0,98	0,98	[-]

1.2.2.6 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet	V _{RB,w}	0,0278	0,0056	0,0056	[-]
Steifigkeitsverhältnis	V _S	0,3963	0,1326	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	c _v *	-0,042	-0,025	---	[-]

1.2.2.7 Beiwerte

Erddruckbeiwert (Einbettung)	K ₂	0,400	0,400	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	K*	0,915	1,162	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c ^{h,qv}	0,0960	0,0960	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c ^{h,qh*}	-0,0770	-0,0770	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	c _v *	-0,042	-0,025	---	[-]

1.2.2.8 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B

Maximaler Konzentrationsfaktor	max λ	1,040	1,040	---	[-]
Beiwert für maximalen Konzentrationsfaktor	K'	0,535	0,206	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert	λ _R	0,942	0,766	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss	λ _{RG}	0,942	0,766	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert	λ _{fo}	3,865	3,865	---	[-]

Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert	λ_{fu}	0,538	0,538	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert	λ_{RG}	0,942	0,766	---	[-]
Konzentrationsfaktor Boden	λ_B	1,019	1,078	---	[-]

1.2.2.9 Druckverteilung am Rohrumfang

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Vertikale Gesamtlast	q_v	921,32	748,72	---	kN/m ²
Seitendruck	q_h	400,56	423,57	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Erdlasten)	q^*_h	467,76	365,81	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung)	q^*_{hw}	0,98	1,25	---	kN/m ²

1.2.3 Schnittkräfte

1.2.3.1 Schnittkräfte, Kurzzeit

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	8,761	-8,830	10,846	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-3,612	3,612	-4,262	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	-3,053	3,530	-3,654	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	M^*_{qw}	-0,006	0,007	-0,008	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,008	-0,010	0,011	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,014	-0,016	0,019	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	2,111	-1,706	2,953	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	0,000	-178,966	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-75,396	0,000	-78,820	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	-50,883	0,000	-54,063	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	N^*_{qw}	-0,107	0,000	-0,113	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,028	-0,176	-0,028	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	0,236	0,081	0,519	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N_{pw}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-126,122	-179,062	-132,506	kN/m

Enthaltener Stoßfaktor:			ϕ	1,00	[-]
Spannung aufgrund Verkehrslast (inkl. Stoßbeiwert):			p_T	0,00	kN/m ²
Abminderungsfaktor α_V nach Tabelle 14 für Verkehrslasten:			α_V	1,00	[-]
Abgeminderte vertikale Bodenspannung für Ermüdung:			dyn p_v	0,000	kN/m ²
Zugehöriger Bettungsreaktionsdruck:			dyn p_{vh}^*	0,000	kN/m ²
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Moment aufgrund vertikaler Bodenspannung aufgrund dynamischer Last	m_{qv} dyn M_{qv}	0,252 0,000	-0,254 0,000	0,312 0,000	[-] kNm/m
Moment aufgrund Bettungsreaktionsdruck aufgrund dynamischer Last	m_{qh}^* dyn M_{qh}^*	-0,173 0,000	0,200 0,000	-0,207 0,000	[-] kNm/m
Summe der Momente aufgrund Verkehrslast	$M_{QK,dyn}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m

Normalkraft aufgrund vertikaler Bodenspannung aufgrund dynamischer Last	n_{pv} dyn N_{qv}	0,000 0,000	-1,000 0,000	0,000 0,000	[-] kN/m
Normalkraft aufgrund Bettungsreaktionsdruck aufgrund dynamischer Last	n_{qh}^* dyn N_{qh}^*	-0,560 0,000	0,000 0,000	-0,595 0,000	[-] kN/m
Moment aufgrund Bettungsreaktionsdruck aufgrund dynamischer Last	dyn M_{qh}^*	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Normalkräfte aufgrund Verkehrslast	$N_{QK,dyn}$	0,000	0,000	0,000	kN/m

1.2.3.2 Schnittkräfte , Langzeit

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	7,119	-7,176	8,814	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-3,820	3,820	-4,507	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	-2,388	2,761	-2,857	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	M^*_{qw}	-0,008	0,009	-0,010	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,008	-0,010	0,011	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,014	-0,016	0,019	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	0,926	-0,612	1,471	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	0,000	-145,438	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-79,728	0,000	-83,348	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	-39,793	0,000	-42,280	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	N^*_{qw}	-0,136	0,000	-0,144	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,028	-0,176	-0,028	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	0,236	0,081	0,519	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N_{pw}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-119,393	-145,534	-125,282	kN/m

Enthaltener Stoßfaktor:	ϕ	1,00	[-]
Spannung aufgrund Verkehrslast (inkl. Stoßbeiwert):	p_T	0,00	kN/m ²
Abminderungsfaktor α_V nach Tabelle 14 für Verkehrslasten:	α_V	1,00	[-]
Abgeminderte vertikale Bodenspannung für Ermüdung:	dyn p_V	0,000	kN/m ²

Zugehöriger Bettungsreaktionsdruck:		Scheitel	dyn p_{vh}^* Kämpfer	Sohle	
Moment aufgrund vertikaler Bodenspannung aufgrund dynamischer Last	m_{qv} dyn M_{qv}	0,252 0,000	-0,254 0,000	0,312 0,000	[-] kNm/m
Moment aufgrund Bettungsreaktionsdruck aufgrund dynamischer Last	m_{qh}^* dyn M_{qh}^*	-0,173 0,000	0,200 0,000	-0,207 0,000	[-] kNm/m
Summe der Momente aufgrund Verkehrslast	$M_{QK,dyn}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m

Normalkraft aufgrund vertikaler Bodenspannung aufgrund dynamischer Last	n_{pv} dyn N_{qv}	0,000 0,000	-1,000 0,000	0,000 0,000	[-] kN/m
	n_{qh}^*	-0,560	0,000	-0,595	[-]

Normalkraft aufgrund Bettungsreaktionsdruck aufgrund dynamischer Last	dyn N_{qh^*}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Moment aufgrund Bettungsreaktionsdruck aufgrund dynamischer Last	dyn M_{qh^*}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Normalkräfte aufgrund Verkehrslast	$N_{QK,dyn}$	0,000	0,000	0,000	kN/m

1.2.4 Nachweise Kurzzeit

1.2.4.1 Spannungsnachweis

$$\sigma_{R,res} = \frac{|\sigma_{qv,qh,qh^*}| \cdot \bar{\sigma}_R + |\sigma_{sonst}| \cdot \sigma_{R,L}}{|\sigma_{qv,qh,qh^*}| + |\sigma_{sonst}|} \quad (9.01c)$$

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:	erf γ_{RBZ}	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf γ_{RBD}	2,50	[-]

Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res}$	21,00	21,00	21,00	N/mm ²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res}$	21,00	21,00	21,00	N/mm ²

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,106	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Verschwächungsbeiwert Fläche und Widerstandsmoment	K_W	0,80	0,80	1,00	[-]
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	2,026	-7,338	2,979	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	0,038	-0,042	0,046	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	2,064	-7,380	3,025	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	10,177	---	6,942	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ_{BD}	---	2,846	---	[-]

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:	α_{ka}	0,894	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Verschwächungsbeiwert Fläche und Widerstandsmoment	K_W	0,80	0,80	1,00	[-]
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	-6,282	-0,644	-6,319	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	-0,025	0,031	-0,026	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	-6,307	-0,613	-6,345	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	---	---	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ_{BD}	3,330	34,238	3,310	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

1.2.4.2 Verformungsnachweis

Rechenmodus:	linear	
Verhältnis:	$I/(A \cdot \text{rm}^2)$	0,00835 [-]
Verhältnis $I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa \sim Q$:	$I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa_Q$	0,01002 [-]
Eine Anpassung der Verformungsbeiwerte für Biegemomente nach ATV-DVWK-A 127 Tabelle 10a unterbleibt, da Gl. (6.19a) und Gl. (6.19b) $< 0,001$		

		q_v	q_h	q_{h^*}	
Verformungsbeiwert für Biegemomente	c_v	-0,0893	0,0833	0,0640	[-]
Verformungsbeiwert für Normalkräfte	c_v^N	-0,6830	-0,6810	-0,2470	[-]
Verformungsbeiwert für Querkräfte	c_v^Q	-0,3590	0,3350	0,2430	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_v	-0,1049	0,0869	0,0687	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_{h,qv}$	0,0960	-0,0983	-0,0770	[-]

Vertikale Durchmesseränderung:	Δd_v	5,57	mm
Horizontale Durchmesseränderung:	Δd_h	2,43	mm
Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):	$\bar{\delta}_{v,B}$	1,43	%
Lokale Vorverformung (z. B. aus Fertigung, plastisch, Typ A):	$\bar{\delta}_{v,A}$	1,00	%
Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):	$\bar{\delta}_{v,Ges}$	2,43	%
Zulässige Verformung:	zul $\bar{\delta}_v$	6,00	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.5 Nachweise Langzeit

1.2.5.1 Spannungsnachweis

$$\sigma_{R,res} = \frac{|\sigma_{qv,qh,qh^*}| \cdot \bar{\sigma}_R + |\sigma_{sonst}| \cdot \sigma_{R,L}}{|\sigma_{qv,qh,qh^*}| + |\sigma_{sonst}|} \quad (9.01c)$$

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:	erf γ_{RBZ}	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf γ_{RBD}	2,50	[-]
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res}$	14,00	14,00
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res}$	14,00	14,00

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:		α_{ki}	1,106	[-]	
Verschwächungsbeiwert Fläche und Widerstandsmoment	KW	Scheitel	Kämpfer	Sohle	
		0,80	0,80	1,00	[-]
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	-0,431	-4,261	0,500	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	0,034	-0,038	0,042	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	-0,397	-4,299	0,542	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	---	---	25,818	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	35,225	3,257	---	[-]

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:		α_{ka}	0,894	[-]	
Verschwächungsbeiwert Fläche und Widerstandsmoment	KW	Scheitel	Kämpfer	Sohle	
		0,80	0,80	1,00	[-]
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	-4,046	-1,900	-4,100	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	-0,022	0,027	-0,024	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	-4,068	-1,873	-4,124	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	---	---	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	3,441	7,474	3,395	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

1.2.5.2 Verformungsnachweis

Rechenmodus:	linear	
Verhältnis:	$l/(A \cdot r m^2)$	0,00835 [-]
Verhältnis ' $l/(A \cdot r m^2) \cdot \kappa \sim Q'$ ':	$l/(A \cdot r m^2) \cdot \kappa_Q$	0,01002 [-]

Eine Anpassung der Verformungsbeiwerte für Biegemomente nach ATV-DVWK-A 127 Tabelle 10a unterbleibt, da Gl. (6.19a) und Gl. (6.19b) < 0,001

		q_v	q_h	q_h^*	
Verformungsbeiwert für Biegemomente	c_v	-0,0893	0,0833	0,0640	[-]
Verformungsbeiwert für Normalkräfte	c_v^N	-0,6830	-0,6810	-0,2470	[-]
Verformungsbeiwert für Querkräfte	c_v^Q	-0,3590	0,3350	0,2430	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_v	-0,1049	0,0869	0,0687	[-]

Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_{h,qv}$	0,0960	-0,0983	-0,0770	[-]
Vertikale Durchmesseränderung:			Δd_v	15,58	mm
Horizontale Durchmesseränderung:			Δd_h	1,90	mm
Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):			$\delta_{v,B}$	4,01	%
Lokale Vorverformung (z. B. aus Fertigung, plastisch, Typ A):			$\delta_{v,A}$	1,00	%
Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):			$\delta_{v,Ges}$	5,01	%
Zulässige Verformung:			zul δ_v	6,00	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.5.3 Nachweis Stabilität radial, linear

Erd- und Verkehrslasten

Rohrsteifigkeit:	\bar{S}_R	415.295	N/m ²
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	74,689	N/mm ²
Systemsteifigkeit, gewichtet:	$V_{RB,w}$	0,0056	[-]
Abminderungsfaktor Beullast bei Erd-/Verkehrslasten:	K_{v2}	0,87	[-]
Innerer Reibungswinkel:	φ'	35,000	°
Kritische vertikale Gesamtlast:	krit q_v	9.717,9	kN/m ²
Vertikale Gesamtlast:	q_v	748,72	kN/m ²
Sicherheit Stabilität, radial:	$Y_{Stab,rad}$	12,98	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität:	erf Y_{stab}	2,50	[-]

Der Stabilitätsnachweis ist erbracht.

1.2.5.4 Stabilitätsnachweis, nichtlinear

Der nichtlineare Stabilitätsnachweis entfällt, da $V_{RB} > 1.0$ (biegesteifes Rohr) oder relative vertikale Verformung $< 6\%$.

1.2.5.5 Nachweis der Sicherheit gegen Versagen bei nicht vorwiegend ruhender Belastung

Nach Norm ist der dynamische Nachweis nicht notwendig (z.B. bei Straßenverkehrslasten $> 1,5$ m).

Alle notwendigen Nachweise sind erbracht.

2 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: SiWa Rohr DA 450 SDR 7,4 Kurzzeitlastfall

Titel der Teilstatik: SiWa Rohr DA 450 SDR 7,4 Kurzzeitlastfall

Berechnungsart: Vollwand-/Profilrohr
 Skizzen (Einbau/Rohr) in Ausdruck: Ja

2.1 Eingaben

2.1.1 Sicherheiten

Sicherheitsklasse: A (Regelfall)
 Sicherheit Stabilität nach Tabelle 13: Ohne Vorverformungen (2,5 / 2,0)
 Zulässige Verformung: 6% (Regelfall)
 Behandlung von Innendruck: Gemäß Fußnote des ATV-DVWK-A 127
 Kleinere Biegedruck-Sicherheiten: Nein (ATV-DVWK-A 127)
 Nachweis bei nicht vorwiegend ruhender Belastung: Nicht erforderlich
 Berücksichtigung von dyn pvh*: Nach Norm
 Berücksichtigung der Vorverformungen Typ A in Verformungsnachweis: Ja

2.1.2 Boden

Bodengruppe Einbettung: G1
 Berechnung E20: E-Modul
 E-Modul E20: E20 20,00 N/mm²
 E4 = 10 · E1: Nein
 Bodengruppe unter Rohr: G4
 Berechnung E4: E-Modul, Endwert
 E-Modul E4: E4 20,00 N/mm²
 Anwendung von Silotheorie: Automatisch

2.1.3 Belastung

Überdeckungshöhe: h 0,90 m
 Minimaler Grundwasserstand über Sohle: h_{W,min} 0,00 m
 Maximaler Grundwasserstand über Sohle: h_{W,max} 0,00 m
 Wichte des Bodens: γ 20,0 kN/m³
 Zusätzliche Flächenlast: p₀ 0,0 kN/m²
 Innendruck, kurzzeitig wirkend: P_{I,K} 0,00 bar
 Innendruck, langfristig: P_{I,L} 0,00 bar
 Wasserfüllung (z.B. Staukanal): Ja
 Wichte Füllmedium: γ_F 10,0 kN/m³
 Verkehrslast: SLW 60
 Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis: α_{qhT,dyn} 0,00 %

2.1.4 Einbau

Einbauweise: Damm
 Bodenverhalten: E1 = E20 = E3
 Einbettungsbedingung: B1
 Auflagerart: Lose
 Auflagerwinkel: 120°
 Relative Ausladung automatisch ermitteln: Ja
 Untere Sockelhöhe vorgeben: Nein
 Gesamt-Sockelhöhe: h_s 0,00 m

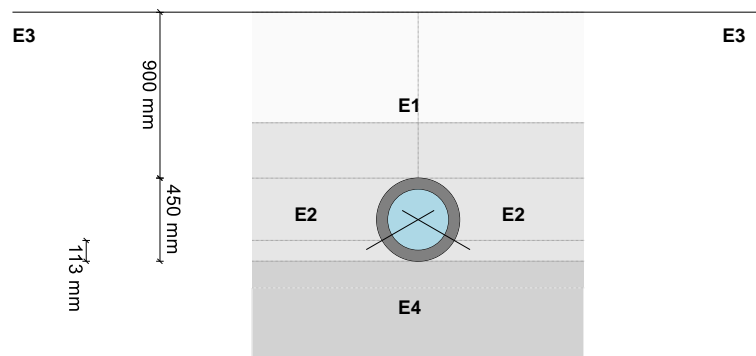
2.1.5 Vollwand/Profil-Rohr

Rohrauswahl:	Vollwand		
Material-Klasse:	Thermoplast		
Vorverformung Typ A:	$\delta_{v,TypA}$	1,0	%
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,lokal}$	0,0	%
Auswahl der Eingaben:	Da und s		
Außendurchmesser:	d_a	450,0	mm
Wandstärke:	s	61,5	mm
Perforation:	2/3 (Scheitel, Kämpfer)		
Perforationsgeometrie:	Gelocht		
Anzahl Löcher Pro 1 Meter:	nw	200	1/m
Lochabstand:	l_1	60,00	mm
Lochdurchmesser:	b_w	12,00	mm

2.1.5.1 Thermoplast

Auswahl Material:	Nach ATV / DWA
Materialkennwerte nach Regelwerk:	PE-HD
Grund der Abminderung:	Keine

Verkehrslast: SLW 60



2.2 Ergebnisse

2.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:		d_i	327,0	mm		
Außendurchmesser:		d_a	450,0	mm		
Mittlerer Radius:		r_m	194,25	mm		
Wanddicke:		s	61,50	mm		
Verhältnis Radius zu Wanddicke:		r_m/s	3,159	[-]		
Korrekturfaktor Krümmung innen:		α_{ki}	1,106	[-]		
Korrekturfaktor Krümmung außen:		α_{ka}	0,894	[-]		
Örtliche Vorverformung:		δ_{vl}	0,00	%		
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):		δ_{vg}	1,00	%		
Radiale Profilfläche:		A_{rad}	61,50	mm ² /mm		
Trägheitsabstand:		e	30,75	mm		
Trägheitsmoment:		I	19.384,03	mm ⁴ /mm		
Äußeres Widerstandsmoment:		W_a	630,38	mm ³ /mm		
Inneres Widerstandsmoment:		W_i	630,38	mm ³ /mm		
Flächenverhältnis:		k_Q	1,2	[-]		
			Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Verschwächungsbeiwert Ringsteifigkeit	KSR		0,98	0,98	0,98	[-]
Verschwächungsbeiwert Fläche und Widerstandsmoment	KW		0,80	0,80	1,00	[-]

2.2.1.1 Materialeigenschaften

			Kurzzeit	Langzeit	
Wichte des Rohrwerkstoffs	γ_R		9,4	9,4	kN/m ³
Querkontraktionszahl	ν		0,38	0,38	[-]
Elastizitätsmodul in Umfangsrichtung	E_R		800,0	160,0	N/mm ²
Radiale Biegezugfestigkeit	σ_{RBZ}		21,0	14,0	N/mm ²
Radiale Biegedruckfestigkeit	σ_{RBD}		21,0	14,0	N/mm ²
Ringzugfestigkeit	σ_{RZ}		12,6	8,4	N/mm ²
Schwingbreite bei $2 \cdot 10^6$ Lastspielen:			$2\sigma_{a,2E6}$	n. def.	N/mm ²
Schwingbreite bei $1 \cdot 10^8$ Lastspielen:			$2\sigma_{a,1E8}$	n. def.	N/mm ²

2.2.1.2 Sicherheiten

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen	erf γ_{RBZ}	2,50	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen	erf γ_{RBD}	2,50	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität	erf γ_{stab}	2,50	2,50	[-]

2.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12

Die Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610 / DWA-A 139 wird nicht überprüft.

2.2.2 Zwischenergebnisse

2.2.2.1 Belastung

Grundwasserstand über Scheitel:	$h_{W,Scheitel}$	0,00	m
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:	P_{Erd}	18,00	kN/m ²
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:	P_E	18,00	kN/m ²
Spannung aufgrund Verkehrslast:	P_V	61,88	kN/m ²
Enthaltener Stoßfaktor:	ϕ	1,20	[-]

2.2.2.2 Boden-Verformungsmoduln EB

E-Modul Einbettung unter Last:	$E_{20,\sigma}$	20,00	N/mm ²
Reduktionsfaktor für das Kriechen:	f_1	1,000	[-]

Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):	f_2	1,000	[-]
Abminderungsfaktor E20 (enger Graben):	α_B	1,000	[-]

Bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) ≥ 4 , ergibt die Formel 6.03 immer den Wert 1,0.

E-Modul Einbettung (abgemindert):	$E_{2,\sigma}$	20,00	N/mm ²
E-Modul Verfüllung unter Last:	$E_{1,\sigma}$	20,00	N/mm ²
E-Modul anstehender Boden:	$E_{3,\sigma}$	20,00	N/mm ²
E-Modul Boden unter dem Rohr:	$E_{4,\sigma}$	20,00	N/mm ²

2.2.2.3 Bodensteifigkeiten

Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	1,000	[-]
--	---------	-------	-----

Der Korrekturfaktor ζ nach 6.17 ist bei Dammbedingungen immer 1,0, da das Verhältniss (Breite in Kämpferhöhe/Außendurchmesser) mit > 4 angenommen wird.

Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	12,000	N/mm ²
Vertikale Bettungssteifigkeit:	S_{Bv}	20,000	N/mm ²

2.2.2.4 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:	2α	120	°
Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:	t_r	0,113	m
Berechnete Ausladung:	a	1,00	[-]
Wirksame Ausladung:	a'	1,000	[-]
Innerer Reibungswinkel:	φ'	35,000	°

	Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten
--	-------------------------	---------------------------------------	--------------------------------

2.2.2.5 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

Elastizitätsmodul in Umfangsrichtung	E_R	800,0	655,8	160,0	N/mm ²
Radiale Biegezugfestigkeit	σ_{RBZ}	21,0	19,4	14,0	N/mm ²
Radiale Biegedruckfestigkeit	σ_{RBD}	21,0	19,4	14,0	N/mm ²
Rohrsteifigkeit	S_R	2.076	1.702	415.295	kN/m ²
Verschwächungsbeiwert Ringsteifigkeit	K_{SR}	0,98	0,98	0,98	[-]

2.2.2.6 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet	$V_{RB,w}$	0,1730	0,1418	0,0346	[-]
Steifigkeitsverhältnis	V_S	1,3210	1,1372	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	c_v^*	-0,079	-0,075	---	[-]

2.2.2.7 Beiwerte

Erddruckbeiwert (Einbettung)	K_2	0,400	0,400	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	K^*	0,384	0,438	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_{h,qv}$	0,0960	0,0960	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_{h,qh^*}	-0,0770	-0,0770	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	c_v^*	-0,079	-0,075	---	[-]

2.2.2.8 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B

Maximaler Konzentrationsfaktor	$\max \lambda$	1,168	1,168	---	[-]
Beiwert für maximalen Konzentrationsfaktor	K'	0,762	0,749	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert	λ_R	1,042	1,025	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss	λ_{RG}	1,042	1,025	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert	λ_{fo}	3,865	3,865	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert	λ_{fu}	0,538	0,538	---	[-]

Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert	λ_{RG}	1,042	1,025	---	[-]
Konzentrationsfaktor Boden	λ_B	0,986	0,992	---	[-]

2.2.2.9 Druckverteilung am Rohrumfang

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Vertikale Gesamtlast	q_v	80,64	80,33	---	kN/m ²
Seitendruck	q_h	8,90	8,94	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Erdlasten)	q^*_h	27,44	31,20	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung)	q^*_{hw}	0,41	0,92	---	kN/m ²

2.2.3 Schnittkräfte

2.2.3.1 Schnittkräfte , Kurzzeit

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	0,767	-0,773	0,949	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-0,080	0,080	-0,095	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	-0,179	0,207	-0,214	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	M^*_{qw}	-0,003	0,003	-0,003	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,008	-0,010	0,011	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,014	-0,016	0,019	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	0,527	-0,508	0,667	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	0,000	-15,664	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-1,675	0,000	-1,751	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	-2,985	0,000	-3,172	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	N^*_{qw}	-0,045	0,000	-0,048	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,028	-0,176	-0,028	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	0,236	0,081	0,519	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N_{pw}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-4,441	-15,760	-4,480	kN/m

2.2.3.2 Schnittkräfte , Langzeit

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	0,764	-0,770	0,946	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-0,081	0,081	-0,095	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	-0,204	0,235	-0,244	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	M^*_{qw}	-0,006	0,007	-0,007	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,008	-0,010	0,011	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,014	-0,016	0,019	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	0,496	-0,473	0,630	kNm/m

Scheitel Kämpfer Sohle

Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	0,000	-15,603	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-1,683	0,000	-1,759	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	-3,394	0,000	-3,606	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	N^*_{qw}	-0,100	0,000	-0,107	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,028	-0,176	-0,028	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	0,236	0,081	0,519	kN/m
Normalkraft aufgrund WasserdruckInnenendruck	N_{pw}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-4,913	-15,698	-4,981	kN/m

2.2.4 Nachweise Kurzzeit

2.2.4.1 Spannungsnachweis

$$\sigma_{R,res} = \frac{|\sigma_{qv,qh,qh^*}| \cdot \bar{\sigma}_R + |\sigma_{sonst}| \cdot \sigma_{R,L}}{|\sigma_{qv,qh,qh^*}| + |\sigma_{sonst}|} \quad (9.01c)$$

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:	erf γ_{RBZ}	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf γ_{RBD}	2,50	[-]
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res}$	21,00	21,00
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res}$	21,00	21,00

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:		α_{ki}	1,106	[-]	
Verschwächungsbeiwert Fläche und Widerstandsmoment	k_W	Scheitel 0,80	Kämpfer 0,80	Sohle 1,00	[-]
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	1,018	-1,383	1,043	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	0,047	-0,052	0,055	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	1,065	-1,434	1,098	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	19,721	---	19,130	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ_{BD}	---	14,642	---	[-]

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:		α_{ka}	0,894	[-]	
Verschwächungsbeiwert Fläche und Widerstandsmoment	k_W	Scheitel 0,80	Kämpfer 0,80	Sohle 1,00	[-]
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	-0,995	0,543	-0,989	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	-0,030	0,038	-0,031	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	-1,025	0,581	-1,020	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	---	36,149	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ_{BD}	20,490	---	20,589	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

2.2.4.2 Verformungsnachweis

Rechenmodus:	linear
Verhältnis:	$I/(A \cdot m^2)$ 0,00835 [-]
Verhältnis $I/(A \cdot m^2) \cdot \kappa \sim Q'$:	$I/(A \cdot m^2) \cdot \kappa_Q$ 0,01002 [-]
Eine Anpassung der Verformungsbeiwerte für Biegemomente nach ATV-DVWK-A 127 Tabelle 10a unterbleibt, da Gl. (6.19a) und Gl. (6.19b) < 0,001	

Verformungsbeiwert für Biegemomente	c_v	q_v	-0,0893	q_h	0,0833	q_h^*	0,0640	[-]
Verformungsbeiwert für Normalkräfte	c_{N_v}		-0,6830		-0,6810		-0,2470	[-]

Verformungsbeiwert für Querkräfte	c_v^Q	-0,3590	0,3350	0,2430	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c_v'	-0,1049	0,0869	0,0687	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c_{h,qv}'$	0,0960	-0,0983	-0,0770	[-]
Vertikale Durchmesseränderung:			Δd_v	1,09	mm
Horizontale Durchmesseränderung:			Δd_h	0,89	mm
Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):			$\delta_{v,B}$	0,28	%
Lokale Vorverformung (z. B. aus Fertigung, plastisch, Typ A):			$\delta_{v,A}$	1,00	%
Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):			$\delta_{v,Ges}$	1,28	%
Zulässige Verformung:			zul δ_v	6,00	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

2.2.5 Nachweise Langzeit

2.2.5.1 Spannungsnachweis

$$\sigma_{R,res} = \frac{|\sigma_{qv,qh,qh^*}| \cdot \bar{\sigma}_R + |\sigma_{sonst}| \cdot \sigma_{R,L}}{|\sigma_{qv,qh,qh^*}| + |\sigma_{sonst}|} \quad (9.01c)$$

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:		erf γ_{RBZ}	2,50	[-]	
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:		erf γ_{RBD}	2,50	[-]	
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res}$	19,21	19,25	19,17	N/mm ²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res}$	19,28	19,10	19,27	N/mm ²

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:			α_{ki}	1,106	[-]
Verschwächungsbeiwert Fläche und Widerstandsmoment	k_W	Scheitel	Kämpfer	Sohle	
		0,80	0,80	1,00	[-]
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	0,948	-1,312	0,977	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	0,039	-0,043	0,047	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	0,987	-1,355	1,024	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	19,465	---	18,726	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ_{BD}	---	14,207	---	[-]

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:			α_{ka}	0,894	[-]
Verschwächungsbeiwert Fläche und Widerstandsmoment	k_W	Scheitel	Kämpfer	Sohle	
		0,80	0,80	1,00	[-]
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	-0,954	0,488	-0,948	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	-0,025	0,031	-0,027	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	-0,979	0,519	-0,975	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	---	36,788	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ_{BD}	19,693	---	19,769	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

2.2.5.2 Verformungsnachweis

Rechenmodus:	linear
Verhältnis:	$I/(A \cdot r_m^2)$ 0,00835 [-]
Verhältnis $I/(A \cdot r_m^2) \cdot \kappa \sim Q'$:	$I/(A \cdot r_m^2) \cdot \kappa_Q$ 0,01002 [-]
Eine Anpassung der Verformungsbeiwerte für Biegemomente nach ATV-DVWK-A 127 Tabelle 10a unterbleibt, da Gl. (6.19a) und Gl. (6.19b) < 0,001	

Verformungsbeiwert für Biegemomente	c_v	q_v	-0,0893	q_h	0,0833	q_h^*	0,0640	[-]
-------------------------------------	-------	-------	---------	-------	--------	---------	--------	-----

Verformungsbeiwert für Normalkräfte	$c_{N_V}^N$	-0,6830	-0,6810	-0,2470	[-]
Verformungsbeiwert für Querkräfte	$c_{Q_V}^Q$	-0,3590	0,3350	0,2430	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_V	-0,1049	0,0869	0,0687	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_{h,qv}$	0,0960	-0,0983	-0,0770	[-]
Vertikale Durchmesseränderung:			Δd_v	1,26	mm
Horizontale Durchmesseränderung:			Δd_h	1,01	mm
Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):			$\delta_{v,B}$	0,32	%
Lokale Vorverformung (z. B. aus Fertigung, plastisch, Typ A):			$\delta_{v,A}$	1,00	%
Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):			$\delta_{v,Ges}$	1,32	%
Zulässige Verformung:			zul δ_v	6,00	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

2.2.5.3 Nachweis Stabilität radial, linear

Erd- und Verkehrslasten

Rohrsteifigkeit:	\bar{S}_R	1.702	kN/m ²
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	12,000	N/mm ²
Systemsteifigkeit, gewichtet:	$V_{RB,w}$	0,1418	[-]
Abminderungsfaktor Beullast bei Erd-/Verkehrslasten:	K_{v2}	0,85	[-]
Innerer Reibungswinkel:	φ'	35,000	°
Kritische vertikale Gesamtlast:	krit q_v	7.740,5	kN/m ²
Vertikale Gesamtlast:	q_v	80,33	kN/m ²
Sicherheit Stabilität, radial:	$\gamma_{Stab,rad}$	96,36	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität:	erf γ_{stab}	2,50	[-]

Der Stabilitätsnachweis ist erbracht.

2.2.5.4 Stabilitätsnachweis, nichtlinear

Der nichtlineare Stabilitätsnachweis entfällt, da $VRB > 1.0$ (biegesteifes Rohr) oder relative vertikale Verformung $< 6\%$.

Alle notwendigen Nachweise sind erbracht.

3 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Hüllrohr DA 560 x 33,2

Titel der Teilstatik: Hüllrohr DA 560 x 33,2

Berechnungsart: Vollwand-/Profilrohr
 Skizzen (Einbau/Rohr) in Ausdruck: Ja

3.1 Eingaben

3.1.1 Sicherheiten

Sicherheitsklasse:	A (Regelfall)
Sicherheit Stabilität nach Tabelle 13:	Ohne Vorverformungen (2,5 / 2,0)
Zulässige Verformung:	6% (Regelfall)
Behandlung von Innendruck:	Gemäß Fußnote des ATV-DVWK-A 127
Kleinere Biegedruck-Sicherheiten:	Nein (ATV-DVWK-A 127)
Nachweis bei nicht vorwiegend ruhender Belastung:	Nach Regelwerk
Berücksichtigung von dyn pvh*:	Nach Norm
Berücksichtigung der Vorverformungen Typ A in Verformungsnachweis:	Ja

3.1.2 Boden

Bodengruppe Verfüllung:	G1		
Berechnung E1:	E-Modul		
E-Modul:	E1	50,00	N/mm ²
Bodengruppe Einbettung:	G1		
Berechnung E20:	E-Modul		
E-Modul E20:	E ₂₀	50,00	N/mm ²
Bodengruppe anstehender Boden:	G4		
Berechnung E3:	E-Modul		
E-Modul E3:	E3	50,00	N/mm ²
E4 = 10 · E1:	Nein		
Bodengruppe unter Rohr:	G1		
Berechnung E4:	E-Modul, Endwert		
E-Modul E4:	E4	20,00	N/mm ²
Anwendung von Silotheorie:	Automatisch		

3.1.3 Belastung

Überdeckungshöhe:	h	0,30	m
Minimaler Grundwasserstand über Sohle:	h _{W,min}	0,00	m
Maximaler Grundwasserstand über Sohle:	h _{W,max}	0,00	m
Wichte des Bodens:	γ	20,0	kN/m ³
Zusätzliche Flächenlast:	p ₀	590,0	kN/m ²
Zusätzliche Flächenlast ist Dammschüttung:	Nein		
Innendruck, kurzzeitig wirkend:	P _{I,K}	0,00	bar
Innendruck, langfristig:	P _{I,L}	0,20	bar
Wasserfüllung (z.B. Staukanal):	Ja		
Wichte Füllmedium:	γ _F	10,0	kN/m ³
Verkehrslast:	Kein Verkehr		

3.1.4 Einbau

Einbauweise:	Graben		
Grabenbreite in Scheitelhöhe:	b	1,50	m
Mindestgrabenbreite prüfen:	Ja		
Stärke der Bettungsschicht automatisch ermitteln:	Ja		
Böschungswinkel:	β	60	°

Überschüttungsbedingung:	A1		
Einbettungsbedingung:	B1		
Auflagerart:	Lose		
Auflagerwinkel:	120°		
Relative Ausladung automatisch ermitteln:	Ja		
Untere Sockelhöhe vorgeben:	Nein		
Gesamt-Sockelhöhe:	h _s	0,00	m

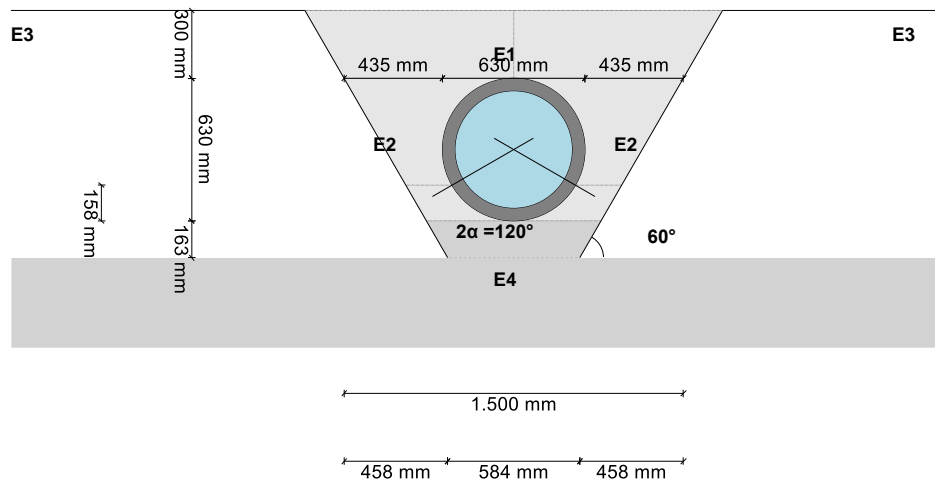
3.1.5 Vollwand/Profil-Rohr

Rohrauswahl:	Vollwand		
Material-Klasse:	Thermoplast		
Vorverformung Typ A:	$\delta_{v,TypA}$	1,0	%
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,lokal}$	0,0	%
Auswahl der Eingaben:	Da und s		
Außendurchmesser:	d _a	630,0	mm
Wandstärke:	s	57,2	mm
Perforation:	Ohne Perforation		

3.1.5.1 Thermoplast

Auswahl Material:	Nach ATV / DWA
Materialkennwerte nach Regelwerk:	PE-HD
Grund der Abminderung:	Keine

Verkehrslast: Kein Verkehr + 590,0 kN/m²



3.2 Ergebnisse

3.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:	d_i	515,6	mm
Außendurchmesser:	d_a	630,0	mm
Mittlerer Radius:	r_m	286,40	mm
Wanddicke:	s	57,20	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	r_m/s	5,007	[-]
Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,067	[-]
Korrekturfaktor Krümmung außen:	α_{ka}	0,933	[-]
Örtliche Vorverformung:	δ_{vl}	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	δ_{vg}	1,00	%
Radiale Profilfläche:	A_{rad}	57,20	mm ² /mm
Trägheitsabstand:	e	28,60	mm
Trägheitsmoment:	I	15.595,77	mm ⁴ /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	W_a	545,31	mm ³ /mm
Inneres Widerstandsmoment:	W_i	545,31	mm ³ /mm
Flächenverhältnis:	k_Q	1,2	[-]

3.2.1.1 Materialeigenschaften

		Kurzzeit	Langzeit	
Wichte des Rohrwerkstoffs	γ_R	9,4	9,4	kN/m ³
Querkontraktionszahl	ν	0,38	0,38	[-]
Elastizitätsmodul in Umfangsrichtung	E_R	800,0	160,0	N/mm ²
Radiale Biegezugfestigkeit	σ_{RBZ}	21,0	14,0	N/mm ²
Radiale Biegedruckfestigkeit	σ_{RBD}	21,0	14,0	N/mm ²
Ringzugfestigkeit	σ_{RZ}	12,6	8,4	N/mm ²
Schwingbreite bei $2 \cdot 10^6$ Lastspielen:		$2\sigma_{a,2E6}$	n. def.	N/mm ²
Schwingbreite bei $1 \cdot 10^8$ Lastspielen:		$2\sigma_{a,1E8}$	n. def.	N/mm ²

3.2.1.2 Sicherheiten

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen	erf γ_{RBZ}	2,50	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen	erf γ_{RBD}	2,50	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität	erf γ_{stab}	2,50	2,50	[-]

3.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12

Nennweite:	DN	630	mm
Außendurchmesser:	d_a	630,0	mm
Lagenstärke der Bettungsschicht:	a	0,16	m
Mindestbreite in Grabensohle (einschl. x) nach Tabelle 1:	$min_{b,T1}$	1,03	m
Mindestbreite in Grabensohle nach Tabelle 2:	$min_{b,T2}$	0,00	m
Lichte Mindestbreite in Grabensohle:	$min_{b,G}$	1,03	m
Böschungswinkel:	β	60	°
Zusätzliche Breite bei geneigten Grabenwänden:	$\Delta b/2$	0,36	m
Erforderliche Breite im Rohrscheitel:	$min_{b,R}$	1,76	m
Lichte Grabenbreite im Scheitel (ohne Verbau):	$b_{0^\circ,L}$	1,50	m

Die Mindestgrabenbreite in der Grabensohle nach DIN EN 1610 wird unterschritten.

3.2.2 Zwischenergebnisse

3.2.2.1 Silotheorie

Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie):	κ	0,984	[-]
Erdlastbeiwert κ_0 für Flächenlast (Silotheorie):	κ_0	1,000	[-]

κ_0 wurde zu 1 gesetzt, da E1 gleich E3 ist.

3.2.2.2 Belastung

Grundwasserstand über Scheitel:	$h_{W,Scheitel}$	0,00	m
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:	P_{Erd}	5,91	kN/m ²
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:	P_E	595,91	kN/m ²
Spannung aufgrund Verkehrslast:	P_V	0,00	kN/m ²
Enthaltener Stoßfaktor:	ϕ	1,00	[-]
Spannung aufgrund Verkehrslast (inkl. Stoßbeiwert):	p_T	0,00	kN/m ²

3.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB

E-Modul Verfüllung unter Last:	$E_{1,\sigma}$	50,00	N/mm ²
E-Modul anstehender Boden:	$E_{3,\sigma}$	50,00	N/mm ²
E-Modul Einbettung unter Last:	$E_{20,\sigma}$	50,00	N/mm ²
Reduktionsfaktor für das Kriechen:	f_1	1,000	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):	f_2	1,000	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Diagramm 5):	α_{B0}	0,667	[-]
Abminderungsfaktor E20 (enger Graben):	α_B	0,820	[-]
E-Modul Einbettung (abgemindert):	$E_{2,\sigma}$	41,01	N/mm ²
E-Modul Boden unter dem Rohr:	$E_{4,\sigma}$	20,00	N/mm ²

3.2.2.4 Bodensteifigkeiten

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:	Δ_f	0,664	[-]
Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	1,121	[-]

Bei geböschten Gräben ist hier anstelle der Grabenbreite in Scheitelhöhe die Grabenbreite in Kämpferhöhe einzusetzen.

Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	27,588	N/mm ²
Vertikale Bettungssteifigkeit:	S_{Bv}	41,005	N/mm ²

3.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:	2α	120	°
Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:	t_r	0,158	m
Berechnete Ausladung:	a	1,00	[-]
Wirksame Ausladung:	a'	1,219	[-]
Innerer Reibungswinkel:	ϕ'	20,000	°
Wandreibungswinkel:	δ	13,333	°

	Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten
--	-------------------------	---------------------------------------	--------------------------------

3.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

Elastizitätsmodul in Umfangsrichtung	E_R	800,0	160,0	160,0	N/mm ²
Radiale Biegezugfestigkeit	σ_{RBZ}	21,0	14,0	14,0	N/mm ²
Radiale Biegedruckfestigkeit	σ_{RBD}	21,0	14,0	14,0	N/mm ²
Rohrsteifigkeit	S_R	531.102	106.220	106.220	N/m ²

3.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet	$V_{RB,w}$	0,0193	0,0039	0,0039	[-]
Steifigkeitsverhältnis	V_S	0,4630	0,1859	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	c_v^*	-0,028	-0,014	---	[-]

3.2.2.8 Beiwerte

Erddruckbeiwert (Einbettung)	K_2	0,400	0,400	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	K^*	1,026	1,239	---	[-]

Resultierender Verformungsbeiwert	$c_{h,qv}^*$	0,0918	0,0918	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c_{h,qh}^*$	-0,0703	-0,0703	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	c_v^*	-0,028	-0,014	---	[-]

3.2.2.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B

Maximaler Konzentrationsfaktor	$\max \lambda$	1,044	1,044	---	[-]
Beiwert für maximalen Konzentrationsfaktor	K'	0,681	0,389	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert	λ_R	0,962	0,841	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss	λ_{RG}	0,982	0,927	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert	λ_{fo}	3,955	3,955	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert	λ_{fu}	0,918	0,918	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert	λ_{RG}	0,982	0,927	---	[-]
Konzentrationsfaktor Boden	λ_B	1,013	1,053	---	[-]

3.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Vertikale Gesamtlast	q_v	585,42	552,35	---	kN/m ²
Seitendruck	q_h	243,92	253,50	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Erdlasten)	q_{*h}^*	357,29	379,03	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung)	q_{*hw}^*	1,94	2,34	---	kN/m ²

3.2.3 Schnittkräfte

3.2.3.1 Schnittkräfte , Kurzzeit

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	12,533	-12,725	13,205	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-5,002	5,002	-5,002	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M_{*qh}^*	-5,305	6,096	-5,305	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	M_{*qw}^*	-0,029	0,033	-0,029	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,017	-0,019	0,023	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,045	-0,052	0,061	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	2,259	-1,665	2,954	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	4,527	-167,665	-4,527	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-69,858	0,000	-69,858	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N_{*qh}^*	-59,044	0,000	-59,044	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	N_{*qw}^*	-0,320	0,000	-0,320	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,038	-0,242	-0,038	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	0,513	0,176	1,128	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N_{pw}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-124,145	-167,731	-132,660	kN/m

Enthaltener Stoßfaktor:		ϕ	1,00	[-]
-------------------------	--	--------	------	-----

Spannung aufgrund Verkehrslast (inkl. Stoßbeiwert): p_T 0,00 kN/m²
 Abminderungsfaktor α_V nach Tabelle 14 für Verkehrslasten: α_V 1,00 [-]
 Abgeminderte vertikale Bodenspannung für Ermüdung: dyn p_V 0,000 kN/m²

Zugehöriger Bettungsreaktionsdruck: dyn p_{Vh}^* 0,000 kN/m²

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
	m_{qV}	0,261	-0,265	0,275	[-]
Moment aufgrund vertikaler Bodenspannung aufgrund dynamischer Last	dyn M_{qV}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
	m_{qH}^*	-0,181	0,208	-0,181	[-]
Moment aufgrund Bettungsreaktionsdruck aufgrund dynamischer Last	dyn M_{qH}^*	0,000	0,000	0,000	kNm/m

Summe der Momente aufgrund Verkehrslast $M_{QK,dyn}$ 0,000 0,000 0,000 kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
	n_{pV}	0,027	-1,000	-0,027	[-]
Normalkraft aufgrund vertikaler Bodenspannung aufgrund dynamischer Last	dyn N_{qV}	0,000	0,000	0,000	kN/m
	n_{qH}^*	-0,577	0,000	-0,577	[-]
Normalkraft aufgrund Bettungsreaktionsdruck aufgrund dynamischer Last	dyn N_{qH}^*	0,000	0,000	0,000	kN/m
Moment aufgrund Bettungsreaktionsdruck aufgrund dynamischer Last	dyn M_{qH}^*	0,000	0,000	0,000	kNm/m

Summe der Normalkräfte aufgrund Verkehrslast $N_{QK,dyn}$ 0,000 0,000 0,000 kN/m

3.2.3.2 Schnittkräfte , Langzeit

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qV}	11,825	-12,006	12,459	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qH}	-5,198	5,198	-5,198	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qH}	-5,627	6,467	-5,627	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	M^*_{qW}	-0,035	0,040	-0,035	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_G	0,017	-0,019	0,023	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_W	0,045	-0,052	0,061	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pW}	0,005	0,005	0,005	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	1,032	-0,367	1,688	kNm/m
Moment aufgrund GW bis Scheitel	M_{pa1}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Innendruck	M_{pi}	0,005	0,005	0,005	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qV}	4,271	-158,194	-4,271	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qH}	-72,602	0,000	-72,602	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qH}	-62,636	0,000	-62,636	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	N^*_{qW}	-0,387	0,000	-0,387	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_G	0,038	-0,242	-0,038	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_W	0,513	0,176	1,128	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N_{pW}	5,156	5,156	5,156	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-125,646	-153,104	-133,650	kN/m
Normalkraft aufgrund GW bis Scheitel	N_{pa1}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Innendruck	N_{pi}	5,156	5,156	5,156	kN/m

Enthaltener Stoßfaktor: ϕ 1,00 [-]
 Spannung aufgrund Verkehrslast (inkl. Stoßbeiwert): p_T 0,00 kN/m²

Abminderungsfaktor α_V nach Tabelle 14 für Verkehrslasten:			α_V	1,00	[-]
Abgeminderte vertikale Bodenspannung für Ermüdung:			dyn p_V	0,000	kN/m ²
Zugehöriger Bettungsreaktionsdruck:			dyn p_{Vh}^*	0,000	kN/m ²
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Moment aufgrund vertikaler Bodenspannung	m_{qV}	0,261	-0,265	0,275	[-]
aufgrund dynamischer Last	dyn M_{qV}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Bettungsreaktionsdruck	m_{qh}^*	-0,181	0,208	-0,181	[-]
aufgrund dynamischer Last	dyn M_{qh}^*	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Momente aufgrund Verkehrslast	$M_{QK,dyn}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Normalkraft aufgrund vertikaler Bodenspannung	n_{pV}	0,027	-1,000	-0,027	[-]
aufgrund dynamischer Last	dyn N_{qV}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Bettungsreaktionsdruck	n_{qh}^*	-0,577	0,000	-0,577	[-]
aufgrund dynamischer Last	dyn N_{qh}^*	0,000	0,000	0,000	kN/m
Moment aufgrund Bettungsreaktionsdruck	dyn M_{qh}^*	0,000	0,000	0,000	kNm/m
aufgrund dynamischer Last					
Summe der Normalkräfte aufgrund Verkehrslast	$N_{QK,dyn}$	0,000	0,000	0,000	kN/m

3.2.4 Nachweise Kurzzeit

3.2.4.1 Spannungsnachweis

$$\sigma_{R,res} = \frac{|\sigma_{qV,qh,qh^*}| \cdot \bar{\sigma}_R + |\sigma_{sonst}| \cdot \sigma_{R,L}}{|\sigma_{qV,qh,qh^*}| + |\sigma_{sonst}|} \quad (9.01c)$$

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:			erf γ_{RBZ}	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:			erf γ_{RBD}	2,50	[-]
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res}$	21,00	21,00	21,00	N/mm ²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res}$	21,00	21,00	21,00	N/mm ²

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:			α_{ki}	1,067	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qV,qh,qh^*}	2,181	-6,114	3,337	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	0,068	-0,076	0,121	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	2,249	-6,190	3,459	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	9,339	---	6,072	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ_{BD}	---	3,393	---	[-]

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:			α_{ka}	0,933	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qV,qh,qh^*}	-5,986	-0,146	-7,295	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	-0,052	0,064	-0,081	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	-6,038	-0,082	-7,376	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	---	---	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ_{BD}	3,478	257,335	2,847	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

3.2.4.2 Verformungsnachweis

Rechenmodus:	linear	
Verhältnis:	$I/(A \cdot \text{m}^2)$	0,00332 [-]
Verhältnis ' $I/(A \cdot \text{m}^2) \cdot \kappa \sim Q$ ':	$I/(A \cdot \text{m}^2) \cdot \kappa_Q$	0,00399 [-]

Eine Anpassung der Verformungsbeiwerte für Biegemomente nach ATV-DVWK-A 127 Tabelle 10a unterbleibt, da Gl. (6.19a) und Gl. (6.19b) < 0,001

		q_v	q_h	q_h^*	
Verformungsbeiwert für Biegemomente	c_v	-0,0893	0,0833	0,0640	[-]
Verformungsbeiwert für Normalkräfte	c_v^N	-0,6830	-0,6810	-0,2470	[-]
Verformungsbeiwert für Querkkräfte	c_v^Q	-0,3590	0,3350	0,2430	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_v	-0,0955	0,0847	0,0659	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_{h,qv}$	0,0918	-0,0893	-0,0703	[-]
Vertikale Durchmesseränderung:	Δd_v			12,65	mm
Horizontale Durchmesseränderung:	Δd_h			7,42	mm
Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):	$\delta_{v,B}$			2,21	%
Lokale Vorverformung (z. B. aus Fertigung, plastisch, Typ A):	$\delta_{v,A}$			1,00	%
Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):	$\delta_{v,Ges}$			3,21	%
Zulässige Verformung:	zul δ_v			6,00	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

3.2.5 Nachweise Langzeit

3.2.5.1 Spannungsnachweis

Spannungsüberlagerungsbeiwert:	Z	2,19	[-]
Verformungsverhältnis:	η	3,23	[-]
Resultierender Innendruck ($p_l - p_w$):	$p_{l,res}$	0,20	bar

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:	erf γ_{RBZ}	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf γ_{RBD}	2,50	[-]

Innen:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aus Außenbelastung	σ_a	-0,280	-3,495	0,865	N/mm ²
Radiale Biegedruckfestigkeit	σ_{RBD}	14,0	14,0	14,0	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Außenbelastung, Biegezug:	$\gamma_{BZ,a}$	---	---	16,180	[-]
Sicherheitsbeiwert Außenbelastung, Biegedruck:	$\gamma_{BD,a}$	50,073	4,005	---	[-]
Spannung aus Innendruck	σ_i	0,100	0,100	0,100	N/mm ²
Ringzugfestigkeit	σ_{RZ}	8,4	8,4	8,4	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Innendruck	γ_i	83,883	83,883	83,883	[-]
Abminderungsfaktor nach Netzer/Pattis	n	0,655	1,000	0,835	[-]
Spannung Summe	$\sigma_a + \sigma_i$	-0,179	-3,395	0,965	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Überlagerungsrechnung, Biegezug:	$\gamma_{BZ,res}$	0,000	0,000	16,246	[-]

$$\gamma_{BD,res} = \frac{-1}{n \cdot \frac{\sigma_a + \sigma_i}{\sigma_{RBD}}}$$

Sicherheitsbeiwert Überlagerungsrechnung, Biegedruck:	$\gamma_{BD,res}$	119,170	4,124	---	[-]
---	-------------------	---------	-------	-----	-----

Außen:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aus Außenbelastung	σ_a	-4,043	-2,129	-5,308	N/mm ²
Radiale Biegedruckfestigkeit	σ_{RBD}	14,0	14,0	14,0	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Außenbelastung, Biegezug:	$\gamma_{BZ,a}$	---	---	---	[-]

Sicherheitsbeiwert Außenbelastung, Biegedruck:	$\gamma_{BD,a}$	3,462	6,575	2,638	[-]
Spannung aus Innendruck	σ_i	0,100	0,100	0,100	N/mm ²
Ringzugfestigkeit	σ_{RZ}	8,4	8,4	8,4	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Innendruck	γ_i	83,883	83,883	83,883	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

3.2.5.2 Verformungsnachweis

Rechenmodus:	linear
Verhältnis:	$I/(A \cdot \text{rm}^2)$ 0,00332 [-]
Verhältnis $I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa \sim Q'$:	$I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa_Q$ 0,00399 [-]

Eine Anpassung der Verformungsbeiwerte für Biegemomente nach ATV-DVWK-A 127 Tabelle 10a unterbleibt, da Gl. (6.19a) und Gl. (6.19b) $< 0,001$

		q_v	q_h	q_h^*	
Verformungsbeiwert für Biegemomente	c_v	-0,0893	0,0833	0,0640	[-]
Verformungsbeiwert für Normalkräfte	$c_{N_v}^N$	-0,6830	-0,6810	-0,2470	[-]
Verformungsbeiwert für Querkräfte	$c_{Q_v}^Q$	-0,3590	0,3350	0,2430	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_v	-0,0955	0,0847	0,0659	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_{h,qv}$	0,0918	-0,0893	-0,0703	[-]
Vertikale Durchmesseränderung:			Δd_v	34,10	mm
Horizontale Durchmesseränderung:			Δd_h	7,87	mm
Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):			$\delta_{v,B}$	5,95	%
Lokale Vorverformung (z. B. aus Fertigung, plastisch, Typ A):			$\delta_{v,A}$	1,00	%
Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):			$\delta_{v,Ges}$	6,95	%
Zulässige Verformung:			zul δ_v	6,00	%

Die errechnete Verformung ist größer als die zulässige Verformung!

3.2.5.3 Nachweis Stabilität radial, linear

Erd- und Verkehrslasten

Rohrsteifigkeit:	\bar{S}_R	106.220	N/m ²
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	27,588	N/mm ²
Systemsteifigkeit, gewichtet:	$\bar{V}_{RB,w}$	0,0039	[-]
Abminderungsfaktor Beullast bei Erd-/Verkehrslasten:	κ_{v2}	0,83	[-]
Innerer Reibungswinkel:	φ'	20,000	°
Kritische vertikale Gesamtlast:	krit q_v	2.856,5	kN/m ²
Vertikale Gesamtlast:	q_v	552,35	kN/m ²
Sicherheit Stabilität, radial:	$\gamma_{Stab,rad}$	5,17	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität:	erf γ_{stab}	2,50	[-]

Der Stabilitätsnachweis ist erbracht.

3.2.5.4 Stabilitätsnachweis, nichtlinear

Vertikale Gesamtlast:	q_v	552,35	kN/m ²
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung:	M_{So}	1,657	kNm/m
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung:	N_{So}	-139,547	kN/m
Sicherheitsbeiwert:	γ_{qv}	2,00	[-]
Vertikale Gesamtlast:	q_v	552,35	kN/m ²
Kritische vertikale Gesamtlast:	krit q_v	2.856,5	kN/m ²
Momenten-Vergrößerungsfaktor Erd-/Verkehrslast:	$\alpha_{II,qv}$	1,631	[-]
Spannung in Sohle aufgrund Erd-/Verkehrslast, innen:	$\sigma_{So,qv,i}$	2,844	N/mm ²
Spannung in Sohle aufgrund Erd-/Verkehrslast, außen:	$\sigma_{So,qv,a}$	-7,064	N/mm ²

Der nichtlineare Stabilitätsnachweis für Wasserdruck entfällt, da kein Grundwasser ansteht.

Gesamt-Sicherheitsbeiwert (Stabilität), innen:	$\gamma_{stab,i}$	4,92	[-]
Gesamt-Sicherheitsbeiwert (Stabilität), außen:	$\gamma_{stab,a}$	1,98	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität:	erf γ_{stab}	2,50	[-]

Der nichtlineare Stabilitätsnachweis ist nicht erbracht!

3.2.5.5 Nachweis der Sicherheit gegen Versagen bei nicht vorwiegend ruhender Belastung

Nach Norm ist der dynamische Nachweis nicht notwendig (z.B. bei Straßenverkehrslasten > 1,5 m).

Es konnten nicht alle geforderten statischen Nachweise erbracht werden!

4 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Hüllrohr DA 560 x 33,2 Kurzzeit

Titel der Teilstatik: Hüllrohr DA 560 x 33,2 Kurzzeit

Berechnungsart: Vollwand-/Profilrohr
 Skizzen (Einbau/Rohr) in Ausdruck: Ja

4.1 Eingaben

4.1.1 Sicherheiten

Sicherheitsklasse:	A (Regelfall)
Sicherheit Stabilität nach Tabelle 13:	Ohne Vorverformungen (2,5 / 2,0)
Zulässige Verformung:	6% (Regelfall)
Behandlung von Innendruck:	Gemäß Fußnote des ATV-DVWK-A 127
Kleinere Biegedruck-Sicherheiten:	Nein (ATV-DVWK-A 127)
Nachweis bei nicht vorwiegend ruhender Belastung:	Nicht erforderlich
Berücksichtigung von dyn pvh*:	Nach Norm
Berücksichtigung der Vorverformungen Typ A in Verformungsnachweis:	Ja

4.1.2 Boden

Bodengruppe Verfüllung:	G1		
Berechnung E1:	E-Modul		
E-Modul:	E1	20,00	N/mm ²
Bodengruppe Einbettung:	G1		
Berechnung E20:	E-Modul		
E-Modul E20:	E ₂₀	20,00	N/mm ²
Bodengruppe anstehender Boden:	G4		
Berechnung E3:	E-Modul		
E-Modul E3:	E3	20,00	N/mm ²
E4 = 10 · E1:	Nein		
Bodengruppe unter Rohr:	G1		
Berechnung E4:	E-Modul, Endwert		
E-Modul E4:	E4	20,00	N/mm ²
Anwendung von Silotheorie:	Automatisch		

4.1.3 Belastung

Überdeckungshöhe:	h	0,50	m
Minimaler Grundwasserstand über Sohle:	h _{W,min}	0,00	m
Maximaler Grundwasserstand über Sohle:	h _{W,max}	0,00	m
Wichte des Bodens:	γ	20,0	kN/m ³
Zusätzliche Flächenlast:	p ₀	0,0	kN/m ²
Innendruck, kurzzeitig wirkend:	P _{I,K}	0,00	bar
Innendruck, langfristig:	P _{I,L}	0,20	bar
Wasserfüllung (z.B. Staukanal):	Ja		
Wichte Füllmedium:	γ _F	10,0	kN/m ³
Verkehrslast:	SLW 60		
Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis:	α _{qhT,dyn}	0,00	%

4.1.4 Einbau

Einbauweise:	Graben		
Grabenbreite in Scheitelhöhe:	b	1,50	m
Mindestgrabenbreite prüfen:	Ja		
Stärke der Bettungsschicht automatisch ermitteln:	Ja		
Böschungswinkel:	β	60	°

Überschüttungsbedingung:	A1		
Einbettungsbedingung:	B1		
Auflagerart:	Lose		
Auflagerwinkel:	120°		
Relative Ausladung automatisch ermitteln:	Ja		
Untere Sockelhöhe vorgeben:	Nein		
Gesamt-Sockelhöhe:	h _s	0,00	m

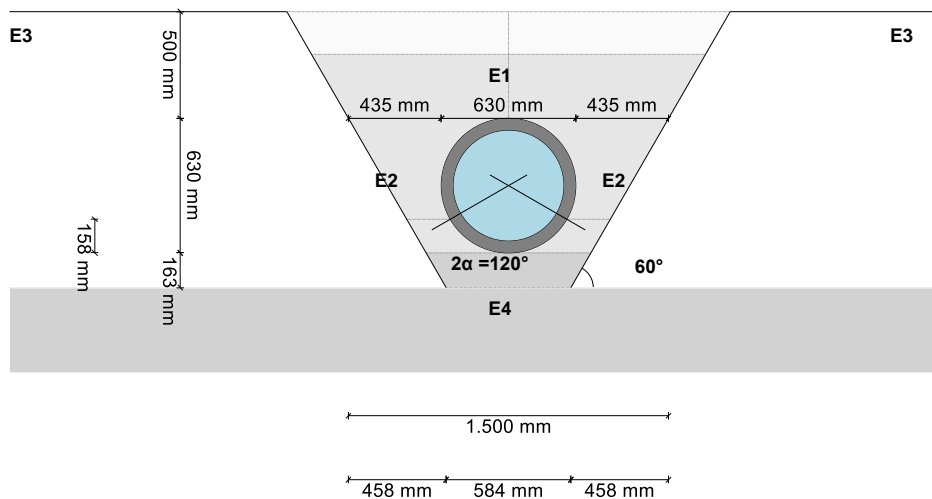
4.1.5 Vollwand/Profil-Rohr

Rohrauswahl:	Vollwand		
Material-Klasse:	Thermoplast		
Vorverformung Typ A:	$\delta_{v,TypA}$	1,0	%
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,lokal}$	0,0	%
Auswahl der Eingaben:	Da und s		
Außendurchmesser:	d _a	630,0	mm
Wandstärke:	s	57,2	mm
Perforation:	Ohne Perforation		

4.1.5.1 Thermoplast

Auswahl Material:	Nach ATV / DWA
Materialkennwerte nach Regelwerk:	PE-HD
Grund der Abminderung:	Keine

Verkehrslast: SLW 60



4.2 Ergebnisse

4.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:	d_i	515,6	mm
Außendurchmesser:	d_a	630,0	mm
Mittlerer Radius:	r_m	286,40	mm
Wanddicke:	s	57,20	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	r_m/s	5,007	[-]
Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,067	[-]
Korrekturfaktor Krümmung außen:	α_{ka}	0,933	[-]
Örtliche Vorverformung:	δ_{vl}	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	δ_{vg}	1,00	%
Radiale Profilfläche:	A_{rad}	57,20	mm ² /mm
Trägheitsabstand:	e	28,60	mm
Trägheitsmoment:	I	15.595,77	mm ⁴ /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	W_a	545,31	mm ³ /mm
Inneres Widerstandsmoment:	W_i	545,31	mm ³ /mm
Flächenverhältnis:	k_Q	1,2	[-]

4.2.1.1 Materialeigenschaften

		Kurzzeit	Langzeit	
Wichte des Rohrwerkstoffs	γ_R	9,4	9,4	kN/m ³
Querkontraktionszahl	ν	0,38	0,38	[-]
Elastizitätsmodul in Umfangsrichtung	E_R	800,0	160,0	N/mm ²
Radiale Biegezugfestigkeit	σ_{RBZ}	21,0	14,0	N/mm ²
Radiale Biegedruckfestigkeit	σ_{RBD}	21,0	14,0	N/mm ²
Ringzugfestigkeit	σ_{RZ}	12,6	8,4	N/mm ²
Schwingbreite bei $2 \cdot 10^6$ Lastspielen:		$2\sigma_{a,2E6}$	n. def.	N/mm ²
Schwingbreite bei $1 \cdot 10^8$ Lastspielen:		$2\sigma_{a,1E8}$	n. def.	N/mm ²

4.2.1.2 Sicherheiten

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen	erf γ_{RBZ}	2,50	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen	erf γ_{RBD}	2,50	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität	erf γ_{stab}	2,50	2,50	[-]

4.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12

Nennweite:	DN	630	mm
Außendurchmesser:	d_a	630,0	mm
Lagenstärke der Bettungsschicht:	a	0,16	m
Mindestbreite in Grabensohle (einschl. x) nach Tabelle 1:	$min_{b,T1}$	1,03	m
Mindestbreite in Grabensohle nach Tabelle 2:	$min_{b,T2}$	0,80	m
Lichte Mindestbreite in Grabensohle:	$min_{b,G}$	1,03	m
Böschungswinkel:	β	60	°
Zusätzliche Breite bei geneigten Grabenwänden:	$\Delta b/2$	0,36	m
Erforderliche Breite im Rohrscheitel:	$min_{b,R}$	1,76	m
Lichte Grabenbreite im Scheitel (ohne Verbau):	$b_{0^\circ,L}$	1,50	m

Die Mindestgrabenbreite in der Grabensohle nach DIN EN 1610 wird unterschritten.

4.2.2 Zwischenergebnisse

4.2.2.1 Silotheorie

Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie):	κ	0,974	[-]
Erdlastbeiwert κ_0 für Flächenlast (Silotheorie):	κ_0	1,000	[-]

κ_0 wurde zu 1 gesetzt, da E1 gleich E3 ist.

4.2.2.2 Belastung

Grundwasserstand über Scheitel:	$h_{W,Scheitel}$	0,00	m
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:	P_{Erd}	9,74	kN/m ²
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:	P_E	9,74	kN/m ²
Spannung aufgrund Verkehrslast:	P_V	104,85	kN/m ²
Enthaltener Stoßfaktor:	ϕ	1,20	[-]

4.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB

E-Modul Verfüllung unter Last:	$E_{1,\sigma}$	20,00	N/mm ²
E-Modul anstehender Boden:	$E_{3,\sigma}$	20,00	N/mm ²
E-Modul Einbettung unter Last:	$E_{20,\sigma}$	20,00	N/mm ²
Reduktionsfaktor für das Kriechen:	f_1	1,000	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):	f_2	1,000	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Diagramm 5):	α_{B0}	0,667	[-]
Abminderungsfaktor E20 (enger Graben):	α_B	0,820	[-]
E-Modul Einbettung (abgemindert):	$E_{2,\sigma}$	16,40	N/mm ²
E-Modul Boden unter dem Rohr:	$E_{4,\sigma}$	20,00	N/mm ²

4.2.2.4 Bodensteifigkeiten

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:	Δ_f	0,664	[-]
Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	1,121	[-]
Bei geböschten Gräben ist hier anstelle der Grabenbreite in Scheitelhöhe die Grabenbreite in Kämpferhöhe einzusetzen.			
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	11,035	N/mm ²
Vertikale Bettungssteifigkeit:	S_{Bv}	16,402	N/mm ²

4.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:	2α	120	°
Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:	t_r	0,158	m
Berechnete Ausladung:	a	1,00	[-]
Wirksame Ausladung:	a'	1,219	[-]
Innerer Reibungswinkel:	ϕ'	20,000	°
Wandreibungswinkel:	δ	13,333	°

	Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten
--	-------------------------	---------------------------------------	--------------------------------

4.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

Elastizitätsmodul in Umfangsrichtung	E_R	800,0	745,6	160,0	N/mm ²
Radiale Biegezugfestigkeit	σ_{RBZ}	21,0	20,4	14,0	N/mm ²
Radiale Biegedruckfestigkeit	σ_{RBD}	21,0	20,4	14,0	N/mm ²
Rohrsteifigkeit	S_R	531.102	494.976	106.220	N/m ²

4.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet	$V_{RB,w}$	0,0481	0,0449	0,0096	[-]
Steifigkeitsverhältnis	V_S	0,7285	0,7019	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	c_v^*	-0,044	-0,043	---	[-]

4.2.2.8 Beiwerte

Erddruckbeiwert (Einbettung)	K_2	0,400	0,400	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	K^*	0,776	0,798	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_{h,qv}$	0,0918	0,0918	---	[-]

Resultierender Verformungsbeiwert	C'_{h,qh^*}	-0,0703	-0,0703	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	c_v^*	-0,044	-0,043	---	[-]

4.2.2.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B

Maximaler Konzentrationsfaktor	$\max \lambda$	1,116	1,116	---	[-]
Beiwert für maximalen Konzentrationsfaktor	K'	0,789	0,783	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert	λ_R	0,983	0,978	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss	λ_{RG}	0,992	0,990	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert	λ_{fo}	3,925	3,925	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert	λ_{fu}	0,869	0,869	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert	λ_{RG}	0,992	0,990	---	[-]
Konzentrationsfaktor Boden	λ_B	1,006	1,007	---	[-]

4.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Vertikale Gesamtlast	q_v	114,52	114,50	---	kN/m ²
Seitendruck	q_h	6,44	6,45	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Erdlasten)	q^*_{h}	83,96	86,33	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung)	q^*_{hw}	1,47	2,17	---	kN/m ²

4.2.3 Schnittkräfte

4.2.3.1 Schnittkräfte , Kurzzeit

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	2,452	-2,489	2,583	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-0,132	0,132	-0,132	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	-1,247	1,433	-1,247	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	M^*_{qw}	-0,022	0,025	-0,022	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,017	-0,019	0,023	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,045	-0,052	0,061	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	1,113	-0,971	1,267	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	0,886	-32,798	-0,886	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-1,844	0,000	-1,844	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	-13,875	0,000	-13,875	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	N^*_{qw}	-0,242	0,000	-0,242	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,038	-0,242	-0,038	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	0,513	0,176	1,128	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N_{pw}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-14,525	-32,863	-15,758	kN/m

4.2.3.2 Schnittkräfte , Langzeit

Scheitel Kämpfer Sohle

Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	2,451	-2,489	2,583	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-0,132	0,132	-0,132	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	-1,282	1,473	-1,282	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	M^*_{qw}	-0,032	0,037	-0,032	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,017	-0,019	0,023	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,045	-0,052	0,061	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	0,005	0,005	0,005	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	1,072	-0,912	1,226	kNm/m
Moment aufgrund GW bis Scheitel	M_{pa1}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Innendruck	M_{pi}	0,005	0,005	0,005	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	0,885	-32,792	-0,885	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-1,846	0,000	-1,846	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	-14,266	0,000	-14,266	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	N^*_{qw}	-0,359	0,000	-0,359	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,038	-0,242	-0,038	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	0,513	0,176	1,128	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N_{pw}	5,156	5,156	5,156	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-9,879	-27,701	-11,111	kN/m
Normalkraft aufgrund GW bis Scheitel	N_{pa1}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Innendruck	N_{pi}	5,156	5,156	5,156	kN/m

4.2.4 Nachweise Kurzzeit

4.2.4.1 Spannungsnachweis

$$\sigma_{R,res} = \frac{|\sigma_{qv,qh,qh^*}| \cdot \bar{\sigma}_R + |\sigma_{sonst}| \cdot \sigma_{R,L}}{|\sigma_{qv,qh,qh^*}| + |\sigma_{sonst}|} \quad (9.01c)$$

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:		erf γ_{RBZ}	2,50	[-]	
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:		erf γ_{RBD}	2,50	[-]	
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res}$	21,00	21,00	21,00	N/mm ²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res}$	21,00	21,00	21,00	N/mm ²

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen: α_{ki} 1,067 [-]

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	1,839	-2,382	2,066	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	0,083	-0,091	0,137	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	1,922	-2,473	2,202	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	10,924	---	9,536	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ_{BD}	---	8,491	---	[-]

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen: α_{ka} 0,933 [-]

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	-2,096	1,009	-2,352	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	-0,063	0,078	-0,092	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	-2,159	1,087	-2,444	N/mm ²

Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	---	19,317	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	9,728	---	8,593	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

4.2.4.2 Verformungsnachweis

Rechenmodus:		linear			
Verhältnis:		$I/(A \cdot \text{rm}^2)$		0,00332	[-]
Verhältnis ' $I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa \sim Q$ ':		$I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa_Q$		0,00399	[-]
Eine Anpassung der Verformungsbeiwerte für Biegemomente nach ATV-DVWK-A 127 Tabelle 10a unterbleibt, da Gl. (6.19a) und Gl. (6.19b) $< 0,001$					

		q_v	q_h	q_h^*	
Verformungsbeiwert für Biegemomente	c_v	-0,0893	0,0833	0,0640	[-]
Verformungsbeiwert für Normalkräfte	c_v^N	-0,6830	-0,6810	-0,2470	[-]
Verformungsbeiwert für Querkräfte	c_v^Q	-0,3590	0,3350	0,2430	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_v	-0,0955	0,0847	0,0659	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_{h,qv}$	0,0918	-0,0893	-0,0703	[-]
Vertikale Durchmesseränderung:			Δd_v	5,25	mm
Horizontale Durchmesseränderung:			Δd_h	4,36	mm
Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):			$\delta_{v,B}$	0,92	%
Lokale Vorverformung (z. B. aus Fertigung, plastisch, Typ A):			$\delta_{v,A}$	1,00	%
Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):			$\delta_{v,Ges}$	1,92	%
Zulässige Verformung:			zul δ_v	6,00	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

4.2.5 Nachweise Langzeit

4.2.5.1 Spannungsnachweis

Spannungsüberlagerungsbeiwert:	Z	2,19	[-]
Verformungsverhältnis:	η	0,85	[-]
Resultierender Innendruck ($p_l - p_W$):	$p_{l,res}$	0,20	bar

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:	erf γ_{RBZ}	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf γ_{RBD}	2,50	[-]

Innen:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aus Außenbelastung	σ_a	1,823	-2,369	2,103	N/mm ²
Radiale Biegezugfestigkeit	σ_{RBZ}	20,4	20,4	20,4	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Außenbelastung, Biegezug:	$Y_{BZ,a}$	11,192	---	9,703	[-]
Sicherheitsbeiwert Außenbelastung, Biegedruck:	$Y_{BD,a}$	---	8,612	---	[-]
Spannung aus Innendruck	σ_i	0,100	0,100	0,100	N/mm ²
Ringzugfestigkeit	σ_{RZ}	8,4	8,4	8,4	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Innendruck	γ_i	83,883	83,883	83,883	[-]
Abminderungsfaktor nach Netzer/Pattis	n	0,833	1,000	1,000	[-]
Spannung Summe	$\sigma_a + \sigma_i$	1,923	-2,269	2,203	N/mm ²

$$Y_{BZ,res} = \frac{1}{n \cdot \frac{1}{Y_a} + n \cdot \frac{1}{Y_i}}$$

Sicherheitsbeiwert Überlagerungsrechnung, Biegezug:	$Y_{BZ,res}$	11,853	0,000	8,697	[-]
---	--------------	--------	-------	-------	-----

$$Y_{BD,res} = \frac{-1}{n \cdot \frac{\sigma_a + \sigma_i}{\sigma_{RBD}}}$$

Sicherheitsbeiwert Überlagerungsrechnung, Biegedruck:	$Y_{BD,res}$	---	8,992	---	[-]
Außen:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aus Außenbelastung	σ_a	-2,088	0,997	-2,374	N/mm ²
Radiale Biegedruckfestigkeit	σ_{RBD}	20,4	20,4	20,4	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Außenbelastung, Biegezug:	$Y_{BZ,a}$	---	20,476	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Außenbelastung, Biegedruck:	$Y_{BD,a}$	9,770	---	8,596	[-]
Spannung aus Innendruck	σ_i	0,100	0,100	0,100	N/mm ²
Ringzugfestigkeit	σ_{RZ}	8,4	8,4	8,4	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Innendruck	Y_i	83,883	83,883	83,883	[-]
Abminderungsfaktor nach Netzer/Pattis	n	1,000	0,738	1,000	[-]
Spannung Summe	$\sigma_a + \sigma_i$	-1,988	1,097	-2,274	N/mm ²

$$Y_{BZ,res} = \frac{1}{n \cdot \frac{\sigma_a + \sigma_i}{\sigma_{RZ}}}$$

Sicherheitsbeiwert Überlagerungsrechnung, Biegezug:	$Y_{BZ,res}$	771,134	22,292	0,000	[-]
---	--------------	---------	--------	-------	-----

$$Y_{BD,res} = \frac{-1}{n \cdot \frac{1}{Y_a} + n \cdot \frac{1}{Y_i}}$$

Sicherheitsbeiwert Überlagerungsrechnung, Biegedruck:	$Y_{BD,res}$	10,262	---	8,975	[-]
---	--------------	--------	-----	-------	-----

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

4.2.5.2 Verformungsnachweis

Rechenmodus:	linear
Verhältnis:	$I/(A \cdot \text{rm}^2)$ 0,00332 [-]
Verhältnis $I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa \sim Q'$:	$I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa Q$ 0,00399 [-]

Eine Anpassung der Verformungsbeiwerte für Biegemomente nach ATV-DVWK-A 127 Tabelle 10a unterbleibt, da Gl. (6.19a) und Gl. (6.19b) < 0,001

		q_v	q_h	q_h^*	
Verformungsbeiwert für Biegemomente	c_v	-0,0893	0,0833	0,0640	[-]
Verformungsbeiwert für Normalkräfte	c_v^N	-0,6830	-0,6810	-0,2470	[-]
Verformungsbeiwert für Querkräfte	c_v^Q	-0,3590	0,3350	0,2430	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_v	-0,0955	0,0847	0,0659	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_{h,qv}$	0,0918	-0,0893	-0,0703	[-]
Vertikale Durchmesseränderung:			Δd_v	5,45	mm
Horizontale Durchmesseränderung:			Δd_h	4,48	mm
Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):			$\delta_{v,B}$	0,95	%
Lokale Vorverformung (z. B. aus Fertigung, plastisch, Typ A):			$\delta_{v,A}$	1,00	%
Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):			$\delta_{v,Ges}$	1,95	%
Zulässige Verformung:			zul δ_v	6,00	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

4.2.5.3 Nachweis Stabilität radial, linear

Erd- und Verkehrslasten

Rohrsteifigkeit:	\bar{S}_R	494.976	N/m ²
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	11,035	N/mm ²
Systemsteifigkeit, gewichtet:	$V_{RB,w}$	0,0449	[-]
Abminderungsfaktor Beullast bei Erd-/Verkehrslasten:	K_{v2}	0,87	[-]
Innerer Reibungswinkel:	φ'	20,000	°
Kritische vertikale Gesamtlast:	krit q_v	4.051,0	kN/m ²
Vertikale Gesamtlast:	q_v	114,50	kN/m ²
Sicherheit Stabilität, radial:	$\gamma_{Stab,rad}$	35,38	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität:	erf γ_{stab}	2,50	[-]


Der Stabilitätsnachweis ist erbracht.

4.2.5.4 Stabilitätsnachweis, nichtlinear

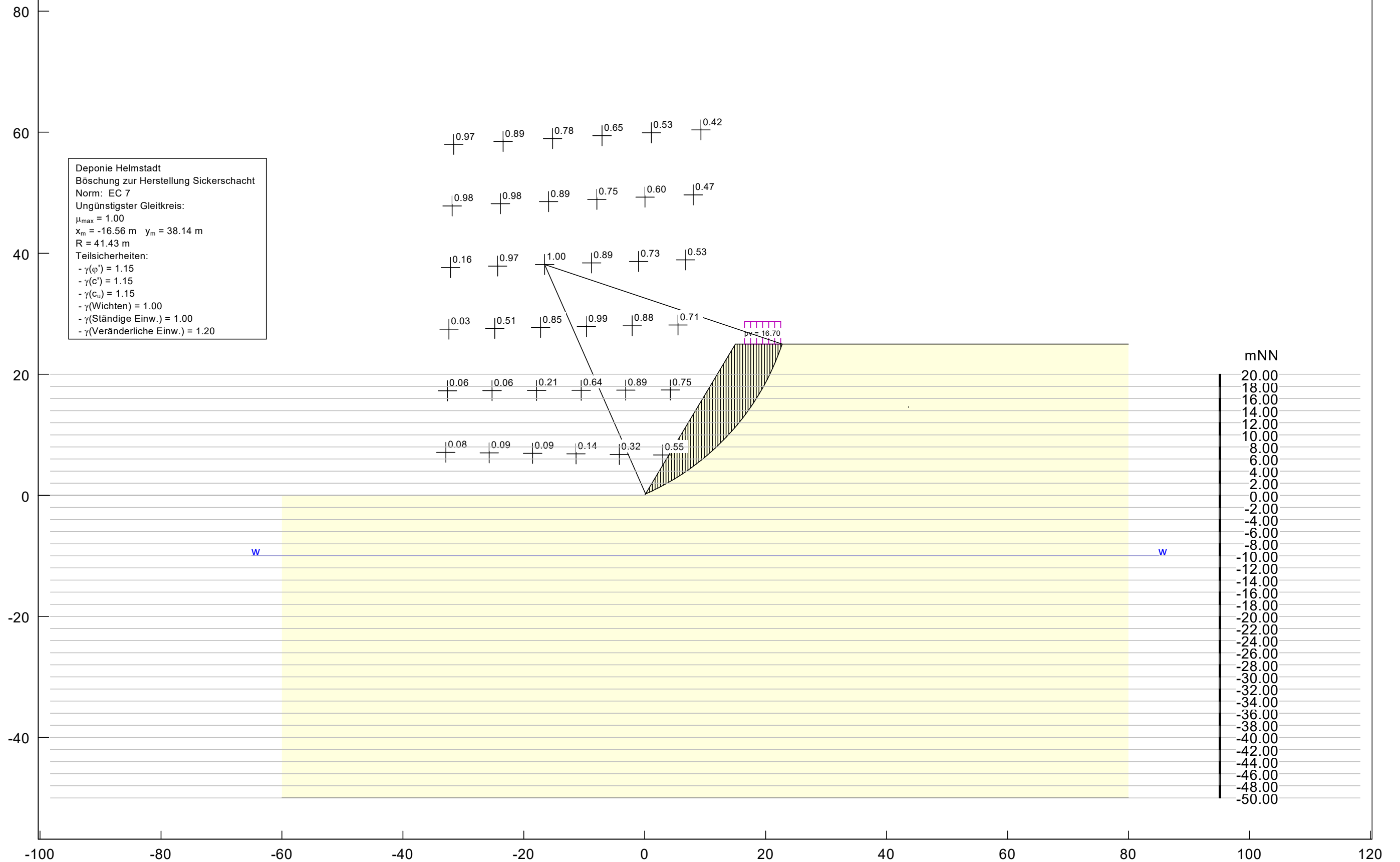
Der nichtlineare Stabilitätsnachweis entfällt, da $VRB > 1.0$ (biegesteifes Rohr) oder relative vertikale Verformung $< 6\%$.

Alle notwendigen Nachweise sind erbracht.

Anlage 7.1: Nachweis ohne Zusatzmaßnahmen (Voraussetzungen)

Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	35.00	33.00	20.00	Tonstein

Deponie Helmstadt
 Böschung zur Herstellung Sickerschacht
 Norm: EC 7
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 1.00$
 $x_m = -16.56 \text{ m}$ $y_m = 38.14 \text{ m}$
 $R = 41.43 \text{ m}$
 Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\varphi') = 1.15$
 - $\gamma(c') = 1.15$
 - $\gamma(c_u) = 1.15$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.20$



Anlage 7.2: Nachweis mit einer Spritzbetonvernagelung

Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	27.50	5.00	20.00	Tonstein

Deponie Helmstadt
 Böschung zur Herstellung Sickerschacht
 Norm: EC 7
 $\psi(A) = 85.00^\circ$
 Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\varphi') = 1.15$
 - $\gamma(c') = 1.15$
 - $\gamma(c_u) = 1.15$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.20$
 Gleitkörper Nr. 3: $\mu = 0.99$
 mit Scherfestigkeit auf Zwischengleitlinien

Legende Wand
 ABMESSUNGEN
 unten: $x = 0.000$ $y = 0.000$ m
 Länge = 29.155 m Neigung = 59.04°
 Dicke der Betonschale = 0.100 m
 Horizontaler Nagelabstand = 1.500 m
 Bauzustände

Erdsnägel										
Nr.	Tiefe [m]	L [m]	$f_{1,d}$ [kN/m/m]	$f_{2,d}$ [kN/m/m]	$E_{N,d}$ [kN/m]	η [-]	GK-Nr. [-]	$E_{E,d}$ [kN/m]	max E_d [kN/m]	R_d [kN/m]
6	22.15	18.00	0.00	40.00	209.58	1.09	7	-	209.58	300.00
5	18.54	18.00	0.00	40.00	203.07	1.09	7	-	203.07	300.00
4	14.91	18.00	0.00	40.00	194.13	1.09	7	-	194.13	300.00
3	10.89	18.00	0.00	40.00	185.16	1.09	7	-	185.16	300.00
2	6.87	15.00	0.00	40.00	177.10	1.01	3	-	177.10	300.00
1	3.04	12.00	0.00	40.00						300.00

$E_{E,d}$ = Kraft aus Erddruck auf Außenhaut
 $E_{N,d}$ = Kraft aus Bruchmechanismus (durch η geteilt). ($\eta = 1 / \mu_e$)
 Horizontaler Nagelabstand = 1.50 m

