BaumaÇnahme	OU Dornheim	**Bauwerksnummer**	
Auftraggeber	Hessenwasser GmbH & CO. KG		
Aufsteller	BPM Ingenieurgesellschaft mbH, NL Neubrandenburg	**Datum**	23.10.2025

Statische Berechnung
Revision 1 vom 25.09.2025

Auftrags-Nr.: 10-23-256

Bauvorhaben: Umverlegung DN 1300,

Bauherr: Hessenwasser GmbH & CO. KG
Taunusstrasse 100, 64521 Gross-Gerau

Tragwerksplanung: BPM Ingenieurgesellschaft mbH
WaisenhausstraÇe 10, 09599 Freiberg
Tel.: 037317832667
E-Mail: info@bpm-ingenieure.de

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

Inhaltsverzeichnis

Position	Beschreibung	Seite
TB	Titelblatt	1
	Inhalt	2
R	Revision	3
0	Vorbemerkungen	4
1	Rohrstatik KP S¿d	7
2	Rohrstatik KP Nord	30
SB	Schlussblatt	53

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

BaumaÇnahme	OU Dornheim		**Bauwerksnummer**
Auftraggeber	Hessenwasser GmbH & CO. KG		
Aufsteller	BPM Ingenieurgesellschaft mbH, NL Neubrandenburg	**Datum**	23.10.2025

Pos. R Revision

Version	Erstellt von	Bearbeitet von	vdzI·fÚúĄÚüăăλÕKŜNdzyƎ	Datum	Beschreibung
0.0	Dipl.-LyƎ℗ WÑNƎŜy˝Y2yℕI·Ř		Dipl.-Ing. Thomas Grambow	26.08.2025	Erstellung
0.1	Dipl.-LyƎ℗ WÑNƎŜy˝Y2yℕI·Ř		Dipl.-Ing. Thomas Grambow	25.09.2025	² I·ăăŜNăúĄyŘŜ dzyŘ .I·dzƎNdzōŜyŕKIKŜy˝ angepasst.

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

Pos. 0 Vorbemerkungen

Vorbemerkung:

5ŜŊ {ű·ŀűλăŎĸŜƴ . ŜŊŜŎĸƴƍzƴƎ tλŜƎŜƴ˴ŘλŜ Î¢½¢ ƎŊtűλƎŜƴ˴ŀűŜŎĸƴλăŎĸŜƴ˴ Baubestimmungen zugrunde.

Bauaufgabe bzw. Baubeschreibung:

5dzŊŎK ŘλŜ . ł·dzĸŜŊŊăŎĸł·Ŧű ǿλŊŘ λ˴ ½dzƎŜ ŘŜŊ a ł·ūƴł·KY˴Ŝ h ¦ 52ŊƴĸŜλ˴ geplant, die bestehende DN1300 StB auf DN1200 St mittels YdzLJLJfdzƴƎăăűŃŎ] dz˴ÎdzfŜλűŜƴ¢

Mit der Statischen Berechnung werden die beiden erdverlegten neuen Stahlrohrleitungen nach dem Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127 nachgewiesen.

Planungsgrundlagen

Anlage 5.1/Plan-Index 03	Konfliktpunkt Nord Vorzugsvariante Lage-ĸ ł łĸŜƴƒJfł·y£ . 9 ƎŜY˴Ņū . пп Ø2˴ лм¢лт¢нлнр
Anlage 5.2/Plan-Index 03	Y2ƴŦfλ]űLJdzƴ]ű {ŃŘ ±2ŊÎdzƎăØł·ŋλł·yűŜ Lage-ĸ ł łĸŜƴƒJfł·y£ . 9 ƎŜY˴Ņū . пп Ø2˴ лм¢лт¢нлнр

9ŊfĻdzűŜŋdzƴƎăōŜŋλŎĸű !yfł·ƎŜ o Ø2˴ a ł·λ нлнр

Lastannahmen

5λŜ ŜŊŘØŜŋfŜƎűŜƴ˴w2ĸŋfŜλűdzƴƎŜƴ˴5bмнлл ǿŜŊŘŜƴ˴λƴ˴DŊĻŌŜƴ˴ØŜŋfŜƎű¢ 5λŜ !dzăōλfŘdzƴƎ ŘŜŊ . ł·dzƎŋdzōŜ erfolgt mit Spundwandprofilen. Diese Spundwandprofile werden nach Verlegung des Rohres nicht gezogen und verbleiben im Baugrund.

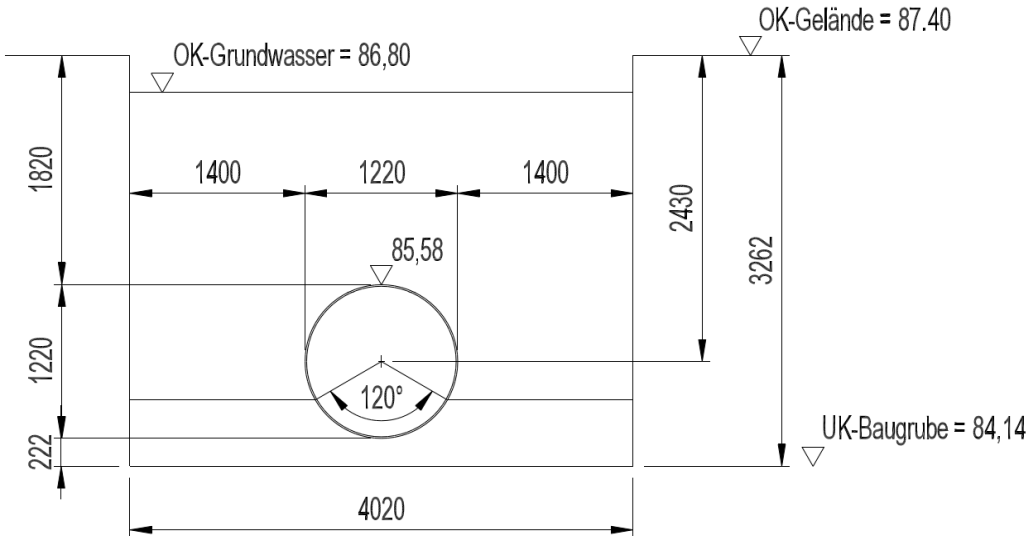
5λŜ «ōŜŋŦł·Kŋōł·ŊĻŜλű ŘŜŊ ØŜŋŦŃfűŜƴ . ł·dzƎŋdzōŜ λăű Yλű ŦŃŊ ŘŜƴ˴{ŎĸǿŜŋfł·ăűØŜŊĻŜĸŋ {[² сл ył·ŎK 5Lb млтн bzw. nach den Lastenschema LM1 nach DIN EN 1991-2 zu nachzuweisen. Durch das Lastenschema [aм ŊŜădzfűλŜŋŜƴ˴ŘλŜ ƎŊłūŜŋŜƴ˴9λƴǿλŊĻdzƴƎŜƴ˴ł·dzŦ ŘλŜ ØŜŋŦŃfűŜ . ł·dzƎŋdzōŜ¢ 5ŜŊ bł·ŎKǿŜλă Yλű [aм ył·ŎK Arbeitsblatt ATV-DVWK-! мнт λăű ă2Yλű ŘŜŊ Y˴ł·üƎŜōŜƴŘŜ [ł·ăűŦł·ft ¢ 5ł·ă [ł·ăűŜƴăŎĸKŜY˴ł· {[² сл ył·ŎK 5Lb млтн ǿλŊŘ Řł·Yλű ł·ōƎŜŘŜŎĻű¢ !dză ŘλŜăŜY˴ DŋdzyŘ ǿλŊŘ ł·dzŦ Ŝλyŝƴ˴ÎdzăŅűÎfλŎĸŜƴ˴bł·ŎKǿŜλă ØŜŋÎłŎĸűŜű¢

CŃŊ ŘλŜ Cł·Kŋōł·KyŘł·Y˴YăŎĸŃűdzƴƎ ǿλŊŘ ÎdzăŅűÎfλŎK ŜλyŜ 9ŋăł·úÎŦfŅŎĸŜƴƒł·ăű Ø2y˴нр]bĸY˴ч ł·dzŦ ŘλŜ Baugrube angesetzt.

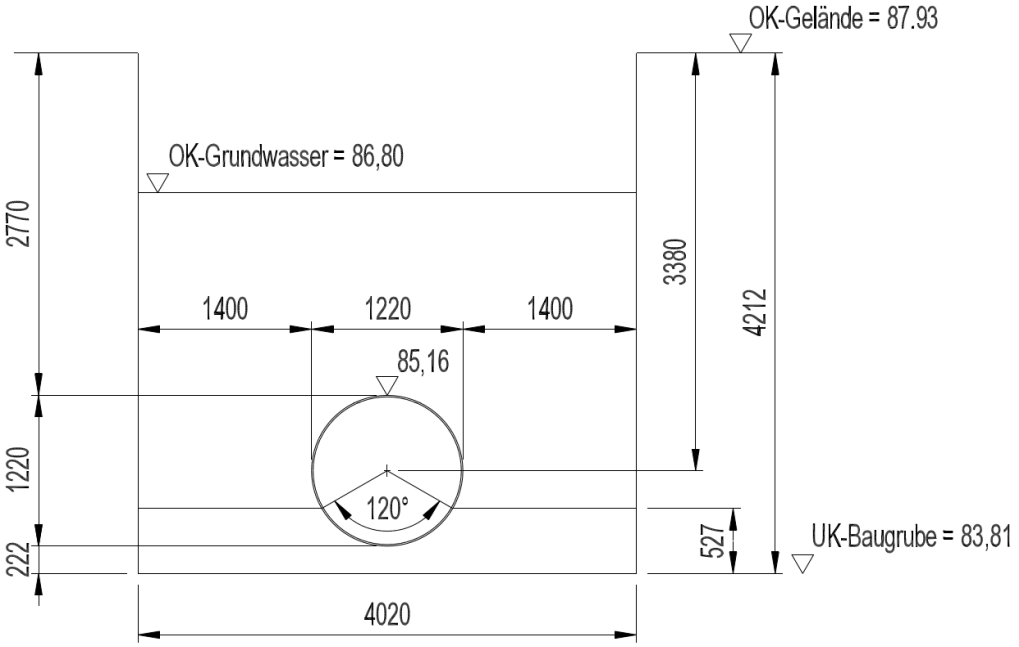
mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

Einbausituationen

Yt {ÑŘ



KP Nord



mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

Baugrund

CÑ Ř·ă .·dzØ2KI·ōŜ ødzŘŜ ŘdzÖK ŘŜ DŜ2ŠÖKyăÖKŜ .ŜÄÖKŠ !dzŦŠI·Ǝ þ.ŜdzŠŜfdzyƎ ŘŜ .·dzƎdzyŘØŜKĄfŠyăăŜ ŦÑ ŘŜy bŜdzō·dz ŜyŜă .ÑÖ]ŜyōI·dzøŜ]ă ŸY ½dzƎŜ ŘŜ ¢I·dzyžzăŠI·ŪŜ Îdz ¦yŠŜŦÑKdzyƎ ŜyŜă wI·Ř- dzyŘ DŜKøŜƎăþ ōŜŸ ISăăŜy a2ōŸf {ŠI·ŪŜy- und Verkehrsmanagement, Projekt: B 44 OU Dornheim, - bŜdzō·dz .ÑÖ]ŜyōI·dzøŜ]φ t2ŜŠyzYYŜ 9 млкннΣ 5I·ŠdzYY лнфлфнлннф ŜyŜ .·dzƎdzyŘdzyŠŜădzÖKdzyƎ ŘdzÖKƎŜŦÑKŠφ

Es wurde eine gesonderte Baugrunduntersuchung beauftragt. Nach Vorlage der Ergebnisse sind diese Berechnungen entsprechend fort zu schreiben.

Rechner

Die statische Berechnung wurde zum Teil auf der PC-Anlage ŘdzÖKƎŜŦÑKŠφ 9ă ødzŘŜy dzφI·φ ŘŸŜ t2ƎI·YYăèăŠŜYŜ Ø2yYō!9/ und EasyPipe genutzt.

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

Pos. 1 Rohrstatik KP S¿d

Inhaltsangabe

1 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Berechnung 3

1.1 Eingaben 3
1.1.1 Sicherheiten 3
1.1.2 Boden 3
1.1.3 Belastung 3
1.1.4 Einbau 4
1.1.5 Vollwand/Profil-Rohr 4
1.1.5.1 Metall 4
1.2 Ergebnisse 5
1.2.1 Zwischenergebnisse Rohr 5
1.2.1.1 Materialeigenschaften 5
1.2.1.2 Sicherheiten 5
1.2.2 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12 5
1.2.3 Zwischenergebnisse bei minimalem Grundwasser 6
1.2.3.1 Silotheorie 6
1.2.3.2 Belastung 6
1.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB 6
1.2.3.4 Bodensteifigkeiten 7
1.2.3.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel 7
1.2.3.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit 7
1.2.3.7 Steifigkeitsverhältnisse 8
1.2.3.8 Beiwerte 8
1.2.3.9 Konzentrationsfaktoren λR und λB 8
1.2.3.10 Druckverteilung am Rohrumfang 9
1.2.4 Zwischenergebnisse bei maximalem Grundwasser 9
1.2.4.1 Silotheorie 9
1.2.4.2 Belastung 9
1.2.4.3 Boden-Verformungsmoduln EB 10
1.2.4.4 Bodensteifigkeiten 10
1.2.4.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel 11
1.2.4.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit 11
1.2.4.7 Steifigkeitsverhältnisse 11
1.2.4.8 Beiwerte 11
1.2.4.9 Konzentrationsfaktoren λR und λB 12
1.2.4.10 Druckverteilung am Rohrumfang 12
1.2.5 Schnittkräfte 13
1.2.5.1 Schnittkräfte bei minimalem Grundwasser, Langzeit 13
1.2.5.2 Schnittkräfte bei maximalem Grundwasser, Langzeit 14
1.2.6 Nachweise Langzeit 16
1.2.6.1 Spannungsnachweis (bei minimalem Grundwasser) 16
1.2.6.2 Spannungsnachweis (bei maximalem Grundwasser) 18
1.2.6.3 Verformungsnachweis (bei minimalem Grundwasser) 19
1.2.6.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser) 20
1.2.6.5 Nachweis Stabilität radial, linear (bei maximalem Grundwasser) 21
1.2.6.6 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei minimalem Grundwasser) 22
1.2.6.7 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei maximalem Grundwasser) 22
1.2.6.8 Nachweis der Sicherheit gegen Versagen bei nicht vorwiegend ruhender 22
1.2.7 Auftriebsnachweis 22

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

1 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Berechnung

Titel der Teilstatik: Berechnung

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		
Behandlung Systemsteifigkeit VRB nach:	DWA-A 161:2014 (nach Materialart)		
Rohrsteifigkeit nach Regelwerk:	Ja		

1.1.2 Boden

Bodengruppe Verfüllung:	G1		
Berechnung E1:	Tabelle 8 (A127)		
Bodengruppe Einbettung:	G1		
Berechnung E20:	Tabelle 8 (A127)		
Bodengruppe anstehender Boden:	G3		
Berechnung E3:	Verdichtungsgrad		
Verdichtungsgrad E3:	$D_{Pr,E3}$	92,0	%
E4 = 10 · E1:	Nein		
Bodengruppe unter Rohr:	G1		
Berechnung E4:	Verdichtungsgrad		
Verdichtungsgrad E4:	$D_{Pr,E4}$	95,0	%
Anwendung von Silotheorie:	Automatisch		
K2 nach Norm:	Ja		

1.1.3 Belastung

Überdeckungshöhe:	h	1,82	m
Minimaler Grundwasserstand über Sohle:	$h_{W,min}$	0,00	m
Maximaler Grundwasserstand über Sohle:	$h_{W,max}$	2,44	m
Auftriebsnachweis führen:	Ja		
Erforderliche Auftriebssicherheit:	$\gamma_{A,erf}$	1,10	[-]
Wichte des Bodens:	γ_B	19,5	kN/m³
Manuelle Angabe der Wichte des Bodens unter Auftrieb:	Nein		
Wichte des Bodens im Auftriebsnachweis:	$\gamma_{B,A}$	19,5	kN/m³
Wichte des Bodens unter Auftrieb im Auftriebsnachweis:	$\gamma_B{}',_A$	9,5	kN/m³
Zusätzliche Flächenlast:	p_0	25,0	kN/m²
Zusätzliche Flächenlast ist Dammschüttung:	Ja		
Innendruck, langzeitig:	$P_{I,L}$	4,00	bar
Wasserfüllung (z.B. Staukanal):	Ja		
Wichte Füllmedium:	γ_F	10,0	kN/m³
Verkehrslast:	Straße LM 1 - Fahrstreifenbreite: 3 m		
Rohrlänge:	L_R	2,0	m
Anpassungsfaktor αQi LM1 (DIN EN 1991-2):	$\alpha_{Qi,LM1}$	1,00	[-]

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis:	$\alpha_{qhT,dyn}$	0,00	%

1.1.4 Einbau

Einbauweise:	Graben		
Grabenbreite in Scheitelhöhe:	b	4,02	m
Mindestgrabenbreite prüfen:	Ja		
Stärke der Bettungsschicht automatisch ermitteln:	Ja		
Böschungswinkel:	ß	90	°
Überschüttungsbedingung:	A1		
Einbettungsbedingung:	B1		
Auflagerart:	Lose		
Auflagerwinkel:	120°		
Relative Ausladung automatisch ermitteln:	Ja		
Untere Sockelhöhe vorgeben:	Nein		
Gesamt-Sockelhöhe:	h_s	0,00	m

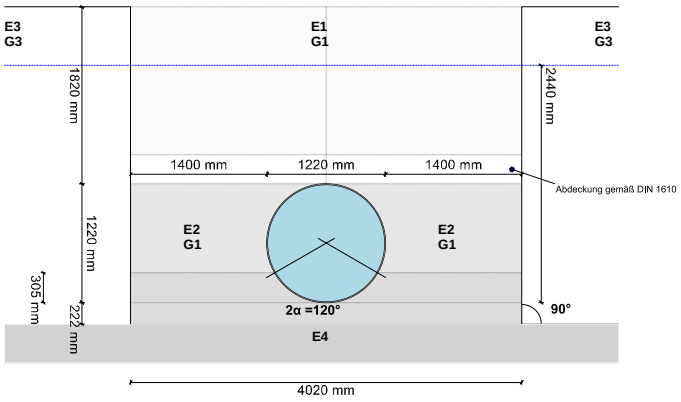
1.1.5 Vollwand/Profil-Rohr

Rohrauswahl:	Vollwand		
Material-Klasse:	Metall		
Vorverformung Typ A:	$\delta_{v,A}$	1,0	%
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	0,0	%
Auswahl der Eingaben:	Da und s		
Außendurchmesser:	d_a	1.220,0	mm
Wandstärke:	s	12,5	mm
Perforation:	Ohne Perforation		

1.1.5.1 Metall

Auswahl Material:	Nach Norm (DIN)
Kerbfall für Schwingbreite verwenden:	Nein
Stahlgüte DIN:	Baustahl S235 (EN 10025-2)
Plastische Reserven nutzen:	Nein
Angabe Grenzspannungen:	Ja

Verkehrslast: Straße LM 1 - Fahrstreifenbreite: 3 m + 25,0 kN/m²



mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

1.2 Ergebnisse

1.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:	d_i	1.195,0	mm
Außendurchmesser:	d_a	1.220,0	mm
Mittlerer Radius:	r_m	603,75	mm
Wanddicke:	s	12,50	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	r_m/s	48,300	[-]

$$\alpha_{ki} = 1 + \frac{s}{3 \cdot r_m}$$ A 127 (8.14a)

Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,007	[-]

$$\alpha_{ka} = 1 - \frac{s}{3 \cdot r_m}$$ A 127 (8.14b)

Korrekturfaktor Krümmung außen:	α_{ka}	0,993	[-]
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	$\delta_{v,A}$	1,00	%
Radiale Profilfläche:	A_{rad}	12,50	mm²/mm
Trägheitsabstand:	e	6,25	mm
Trägheitsmoment:	I	162,76	mm^4/mm
Äußeres Widerstandsmoment:	W_a	26,04	mm³/mm
Inneres Widerstandsmoment:	W_i	26,04	mm³/mm
Flächenverhältnis:	κ_Q	1,2	[-]

1.2.1.1 Materialeigenschaften

Wichte des Rohrwerkstoffs:	γ_R	78,5	kN/m³
Querkontraktionszahl:	v	0,30	[-]
Elastizitätsmodul in Ringrichtung:	$E_{R,rad}$	210.000,0	N/mm²
Radiale Biegezugfestigkeit:	$f_{t,fl}$	235,0	N/mm²
Radiale Biegedruckfestigkeit:	$f_{c,rad}$	235,0	N/mm²
Ringzugfestigkeit:	f_t	235,0	N/mm²
Schwingbreite bei 2·10^6 Lastspielen:	$\Delta\sigma_{rsk,2E6}$	140,0	N/mm²
Schwingbreite bei 5·10^6 Lastspielen:	$\Delta\sigma_{rsk,5E6}$	103,2	N/mm²
Schwingbreite bei 1·10^8 Lastspielen:	$\Delta\sigma_{rsk,1E8}$	56,7	N/mm²

1.2.1.2 Sicherheiten

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:	erf γ_{RBZ}	1,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf γ_{RBD}	1,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität:	erf γ_{stab}	2,50	[-]

1.2.2 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12

$$DN = d_a$$

Nennweite:	DN	1.220	mm
Außendurchmesser:	d_a	1.220,0	mm

$$a = 0{,}10 + 0{,}10 \cdot DN$$ DIN EN 1610 / DWA-A 139

Lagenstärke der Bettungsschicht:	a	0,22	m

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

$min_{b,T1} = 1 + d_a$

Mindestbreite in Grabensohle (einschl. x) nach Tabelle 1:	$min_{b,T1}$	2,22	m
Mindestbreite in Grabensohle nach Tabelle 2:	$min_{b,T2}$	0,90	m

$min_{b,G} = Max(min_{b,T1}, min_{b,T2})$

Lichte Mindestbreite in Grabensohle:	$min_{b,G}$	2,22	m

$min_{b,R} = min_{b,G}$

Erforderliche Breite im Rohrscheitel:	$min_{b,R}$	2,21	m
Grabenbreite in Scheitelhöhe:	b	4,02	m

Die nach DIN 1610 ermittelte Grabenbreite stellt die lichte Grabenbreite in der Grabensohle dar. Die Dicke des Verbaus muss hierzu addiert werden, so dass die einzugebende minimale Grabenbreite im Rohrscheitel b = Lichte Mindestgrabenbreite + 2 x Dicke Verbau ist. Bei geneigten Grabenwänden ist zusätzlich ein Δb zu berücksichtigen, welches sich aus 2 x vertikaler Außendurchmesser / tan β ergibt und in der hier angegebenen erforderlichen Breite im Rohrscheitel bereits enthalten ist.

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

1.2.3 Zwischenergebnisse bei minimalem Grundwasser

1.2.3.1 Silotheorie

Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie):	κ	1,000	[-]
Erdlastbeiwert κ0 für Flächenlast (Silotheorie):	κ_0	1,000	[-]

κ0 und κ wurden zu 1 gesetzt, da E1 größer E3 ist.

1.2.3.2 Belastung

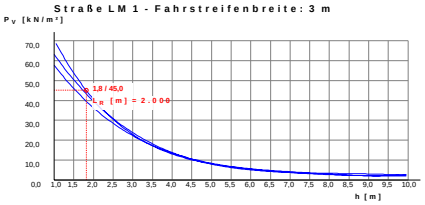
Grundwasserstand über Scheitel:	$h_{W,Scheitel}$	0,00	m

$P_{Erd} = \kappa \cdot h \cdot \gamma_B$ (5.01)

Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:	P_{Erd}	35,49	kN/m²

$P_E = P_{Erd} + \kappa_0 \cdot p_0$ (5.01 + 5.02)

Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:	P_E	60,49	kN/m²



Faktor für Abweichung von Diagrammen/Formeln:	$f_{\alpha,Qi}$	1,25	[-]
Spannung aufgrund Verkehrslast:	P_V	56,30	kN/m²
Enthaltener Stoßfaktor:	ϕ	1,20	[-]

1.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB

E-Modul Verfüllung unter Last:	$E_{1,\sigma}$	16,00	N/mm²

$$E_{3,\sigma} = \frac{40}{3} \cdot e^{-0,188(100 - D_{Pr})}$$ 3.01

E-Modul anstehender Boden:	$E_{3,\sigma}$	2,96	N/mm²

$E_{2,\sigma} = f_1 \cdot f_2 \cdot \alpha_B \cdot E_{20,\sigma}$ (6.02)

E-Modul Einbettung (abgemindert):	$E_{2,\sigma}$	14,75	N/mm²
E-Modul Einbettung unter Last:	$E_{20,\sigma}$	16,00	N/mm²

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

Reduktionsfaktor für das Kriechen:	f_1	1,000	[-]
Verdichtungsgrad aus Tabelle 8:	$D_{pr,E20}$	0,95	[-]

$$f_2 = \frac{D_{pr,E20} - 0{,}75}{0{,}20} \qquad (6.01)$$

Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):	f_2	1,000	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Diagramm 5):	α_{B0}	0,667	[-]

$$\alpha_B = 1 - \left(4 - \frac{b}{d_a}\right) \cdot \frac{1 - \alpha_{B0}}{3} \qquad (6.03)$$

Abminderungsfaktor E20 (enger Graben):	α_B	0,922	[-]

$$E_{2,\sigma} = f_1 \cdot f_2 \cdot \alpha_B \cdot E_{20,\sigma} \qquad (6.02)$$

E-Modul Einbettung (abgemindert):	$E_{2,\sigma}$	14,75	N/mm²

$$E_{4,\sigma} = \frac{40}{1} \cdot e^{-0{,}188(100 - D_{Pr})} \qquad 3.01$$

E-Modul Boden unter dem Rohr:	$E_{4,\sigma}$	15,63	N/mm²

1.2.3.4 Bodensteifigkeiten

$$\Delta_f = \frac{\frac{b}{d_a} - 1}{0{,}982 + 0{,}283 \cdot \left(\frac{b}{d_a} - 1\right)} \leq 1{,}667 \qquad \text{Korrektur (6.18)}$$

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:	Δ_f	1,407	[-]

$$\zeta = \frac{1{,}667}{\Delta_f + \left(1{,}667 - \Delta_f\right) \cdot \frac{E_{2,\sigma}}{E_{3,\sigma}}} \qquad (6.17)$$

Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	0,617	[-]

$$S_{Bh} = 0{,}60 \cdot \zeta \cdot E_{2,\sigma} \qquad (6.16)$$

Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	5,459	N/mm²

$$S_{Bv} = \frac{E_{2,\sigma}}{a} \qquad (6.12)$$

Vertikale Bettungssteifigkeit:	S_{Bv}	14,747	N/mm²

1.2.3.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:	2α	120	°

$$t_r = r_a - \cos(2\alpha/2) \cdot r_a$$

Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:	t_r	0,305	m
Berechnete Ausladung:	a	1,00	[-]

$$a' = a \cdot \frac{E_1}{E_2} \geq 0{,}26 \qquad (6.05)$$

Wirksame Ausladung:	a'	1,085	[-]
Innerer Reibungswinkel:	φ'	25,000	°
Wandreibungswinkel:	δ	16,667	°

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

1.2.3.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

Elastizitätsmodul in Ringrichtung:	$E_{R,rad}$	210.000,0	N/mm²
Radiale Biegezugfestigkeit:	$f_{t,fl}$	235,0	N/mm²
Radiale Biegedruckfestigkeit:	$f_{c,rad}$	235,0	N/mm²
Rohrsteifigkeit:	S_R	155.309	N/m²

$$S_R = \frac{E_R \cdot I}{r_m^3} \qquad (6.10a)$$

1.2.3.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet:	$V_{RB,w}$	0,0285	[-]

$$V_{RB,w} = \frac{S_R}{S_{Bh}} = \frac{8 \cdot S_0}{S_{Bh}} \qquad (6.15)$$

Steifigkeitsverhältnis:	V_S	0,3657	[-]

$$V_S = \frac{S_R}{|c_v^*| \cdot S_{Bv}} \qquad (6.08a)$$

Beiwert für die vertikale Verformung:	c_v^*	-0,029	[-]

1.2.3.8 Beiwerte

Erdruckbeiwert (Einbettung):	K_2	0,400	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck:	K^*	0,945	[-]

$$K^* = \frac{c'_h}{V_{RB} - c_{h,qh^*}} \qquad (6.14)$$

Resultierender Verformungsbeiwert:	c'_h	0,0891	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	c'_{h,qh^*}	-0,0658	[-]
Beiwert für die vertikale Verformung:	c_v^*	-0,029	[-]

$$c_v^* = c_{v,qv} + c_{v,qh^*} \cdot K^* \qquad (6.13)$$

1.2.3.9 Konzentrationsfaktoren λR und λB

$$\max \lambda = 1 + \frac{\frac{h}{d_a}}{\frac{3,5}{a'} + \frac{2,2}{\frac{E_4}{E_1} \cdot (a' - 0,25)} + \left[\frac{0,62}{a'} + \frac{1,6}{\frac{E_4}{E_1} \cdot (a' - 0,25)}\right] \cdot \frac{h}{d_a}} \qquad (6.04)$$

Maximaler Konzentrationsfaktor:	max λ	1,154	[-]
Beiwert für maximalen Konzentrationsfaktor:	K'	0,928	[-]

$$K' = -\frac{c_{v,qh} + \frac{c_{h,qh}}{c_{h,qv}} \cdot c_{v,qh^*} \cdot K^*}{c_{v,qv} + c_{v,qh^*} \cdot K^*} \qquad (6.06b)$$

Verhältnis:	$I/(A \cdot rm^2)$	0,00004	[-]
Verhältnis 'I/(A·rm²)·κ~Q':	$I/(A \cdot rm^2) \cdot \kappa_Q$	0,00004	[-]

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	[-]

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

$$\lambda_R = \frac{\max\lambda \cdot V_s + a' \cdot \frac{4 \cdot K_2 \cdot K'}{3} \cdot \frac{\max\lambda - 1}{a' - 0{,}25}}{V_s + a' \cdot \frac{3 + K_2 \cdot K'}{3} \cdot \frac{\max\lambda - 1}{a' - 0{,}25}} \quad (6.06a)$$

Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert: λ_R 0,882 [-]

$$\lambda_{RG} = \frac{\lambda_R - 1}{3} \cdot \frac{b}{d_a} + \frac{4 - \lambda_R}{3} \quad (6.21a)$$

Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss: λ_{RG} 0,910 [-]

$$\lambda_{fo} = 4 - 0{,}15 \cdot h \quad (6.23a)$$

Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert: λ_{fo} 3,727 [-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert: λ_{fu} 0,721 [-]

$\lambda_{RG} = \lambda_{RG}$

Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert: λ_{RG} 0,910 [-]

$$\lambda_B = \frac{4 - \lambda_R}{3} \quad (6.07)$$

Konzentrationsfaktor Boden: λ_B 1,039 [-]

1.2.3.10 Druckverteilung am Rohrumfang

$$q_v = \lambda_{RG} \cdot P_E + P_V \quad (6.24)$$

Vertikale Gesamtlast: q_v 111,35 kN/m²

$$q_h = K_2 \cdot \left(\lambda_B \cdot p_E + \gamma_B \cdot \frac{d_a}{2} \right) \quad (7.01)$$

Seitendruck: q_h 29,90 kN/m²

$$q^*_h = \frac{c_{h,qv} \cdot q_v + c_{h,qh} \cdot q_h}{V_{RB} - c_{h,qh}^*} \quad (7.02a)$$

Bettungsreaktionsdruck (Erdlasten): q^*_h 78,84 kN/m²

$$q^*_{hw} = \frac{c_{hw} \cdot q_w}{V_{RB} - c_{h,qh}^*} \quad (7.02b)$$

Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung): q^*_{hw} 4,69 kN/m²

1.2.4 Zwischenergebnisse bei maximalem Grundwasser

1.2.4.1 Silotheorie

Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie): κ 1,000 [-]
Erdlastbeiwert κ0 für Flächenlast (Silotheorie): κ_0 1,000 [-]
κ0 und κ wurden zu 1 gesetzt, da E1 größer E3 ist.

1.2.4.2 Belastung

Grundwasserstand über Scheitel: $h_{W,Scheitel}$ 1,20 m
Wichte Verfüllung unter Wasser: γ' 11,00 kN/m³

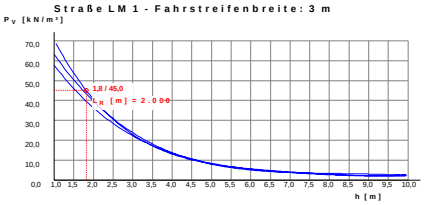
$$P_{Erd} = \kappa \cdot \left(\left(h - h_{W,Scheitel} \right) \cdot \gamma_B + h_{W,Scheitel} \cdot \gamma' \right) \quad (5.01)$$

Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast: P_{Erd} 25,33 kN/m²

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

$P_E = P_{Erd} + \kappa_0 \cdot p_0$ (5.01 + 5.02)

Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast: P_E 50,33 kN/m²



Faktor für Abweichung von Diagrammen/Formeln:	$f_{\alpha,Qi}$	1,25	[-]
Spannung aufgrund Verkehrslast:	P_V	56,30	kN/m²
Enthaltener Stoßfaktor:	ϕ	1,20	[-]

1.2.4.3 Boden-Verformungsmoduln EB

E-Modul Verfüllung unter Last: $E_{1,\sigma}$ 16,00 N/mm²

$$E_{3,\sigma} = \frac{40}{3} \cdot e^{-0,188(100 - D_{Pr})}$$ 3.01

E-Modul anstehender Boden: $E_{3,\sigma}$ 2,96 N/mm²

$E_{2,\sigma} = f_1 \cdot f_2 \cdot \alpha_B \cdot E_{20,\sigma}$ (6.02)

E-Modul Einbettung (abgemindert):	$E_{2,\sigma}$	14,75	N/mm²
E-Modul Einbettung unter Last:	$E_{20,\sigma}$	16,00	N/mm²
Reduktionsfaktor für das Kriechen:	f_1	1,000	[-]
Verdichtungsgrad aus Tabelle 8:	$D_{pr,E20}$	0,95	[-]

$$f_2 = \frac{D_{pr,E20} - 0,75}{0,20}$$ (6.01)

Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):	f_2	1,000	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Diagramm 5):	α_{B0}	0,667	[-]

$$\alpha_B = 1 - \left(4 - \frac{b}{d_a}\right) \cdot \frac{1 - \alpha_{B0}}{3}$$ (6.03)

Abminderungsfaktor E20 (enger Graben): α_B 0,922 [-]

$E_{2,\sigma} = f_1 \cdot f_2 \cdot \alpha_B \cdot E_{20,\sigma}$ (6.02)

E-Modul Einbettung (abgemindert): $E_{2,\sigma}$ 14,75 N/mm²

$$E_{4,\sigma} = \frac{40}{1} \cdot e^{-0,188(100 - D_{Pr})}$$ 3.01

E-Modul Boden unter dem Rohr: $E_{4,\sigma}$ 15,63 N/mm²

1.2.4.4 Bodensteifigkeiten

$$\Delta_f = \frac{\frac{b}{d_a} - 1}{0,982 + 0,283 \cdot \left(\frac{b}{d_a} - 1\right)} \leq 1,667$$ Korrektur (6.18)

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit: Δ_f 1,407 [-]

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

$$\zeta = \frac{1{,}667}{\Delta_f + \left(1{,}667 - \Delta_f\right) \cdot \frac{E_{2,\sigma}}{E_{3,\sigma}}} \qquad (6.17)$$

Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	0,617	[-]

$$S_{Bh} = 0{,}60 \cdot \zeta \cdot E_{2,\sigma} \qquad (6.16)$$

Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	5,459	N/mm²

$$S_{Bv} = \frac{E_{2,\sigma}}{a} \qquad (6.12)$$

Vertikale Bettungssteifigkeit:	S_{Bv}	14,747	N/mm²

1.2.4.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:	2α	120	°

$$t_r = r_a - \cos(2\alpha/2) \cdot r_a$$

Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:	t_r	0,305	m
Berechnete Ausladung:	a	1,00	[-]

$$a' = a \cdot \frac{E_1}{E_2} \geq 0{,}26 \qquad (6.05)$$

Wirksame Ausladung:	a'	1,085	[-]
Innerer Reibungswinkel:	φ'	25,000	°
Wandreibungswinkel:	δ	16,667	°

1.2.4.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

Elastizitätsmodul in Ringrichtung:	$E_{R,rad}$	210.000,0	N/mm²
Radiale Biegezugfestigkeit:	$f_{t,fl}$	235,0	N/mm²
Radiale Biegedruckfestigkeit:	$f_{c,rad}$	235,0	N/mm²
Rohrsteifigkeit:	S_R	155.309	N/m²

$$S_R = \frac{E_R \cdot I}{r_m^3} \qquad (6.10a)$$

1.2.4.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet:	$V_{RB,w}$	0,0285	[-]

$$V_{RB,w} = \frac{S_R}{S_{Bh}} = \frac{8 \cdot S_0}{S_{Bh}} \qquad (6.15)$$

Steifigkeitsverhältnis:	V_S	0,3657	[-]

$$V_S = \frac{S_R}{|c_v^*| \cdot S_{Bv}} \qquad (6.08a)$$

Beiwert für die vertikale Verformung:	c_v^*	-0,029	[-]

1.2.4.8 Beiwerte

Erdruckbeiwert (Einbettung):	K_2	0,400	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck:	K*	0,945	[-]

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

$$K^* = \frac{c'_h}{V_{RB} - c_{h,qh^*}} \qquad (6.14)$$

Resultierender Verformungsbeiwert:	c'_h	0,0891	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	c'_{h,qh^*}	-0,0658	[-]
Beiwert für die vertikale Verformung:	c_v^*	-0,029	[-]

$$c_v^* = c_{v,qv} + c_{v,qh^*} \cdot K^* \qquad (6.13)$$

1.2.4.9 Konzentrationsfaktoren λR und λB

$$\max \lambda = 1 + \frac{\frac{h}{d_a}}{\frac{3,5}{a'} + \frac{2,2}{\frac{E_4}{E_1} \cdot (a' - 0,25)} + \left[\frac{0,62}{a'} + \frac{1,6}{\frac{E_4}{E_1} \cdot (a' - 0,25)}\right] \cdot \frac{h}{d_a}} \qquad (6.04)$$

Maximaler Konzentrationsfaktor:	max λ	1,154	[-]
Beiwert für maximalen Konzentrationsfaktor:	K'	0,928	[-]

$$K' = -\frac{c_{v,qh} + \frac{c_{h,qh}}{c_{h,qv}} \cdot c_{v,qh^*} \cdot K^*}{c_{v,qv} + c_{v,qh^*} \cdot K^*} \qquad (6.06b)$$

Verhältnis:	l/(A·rm²)	0,00004	[-]
Verhältnis 'l/(A·rm²)·κ~Q':	l/(A·rm²)·κQ	0,00004	[-]

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	[-]

$$\lambda_R = \frac{\max \lambda \cdot V_s + a' \cdot \frac{4 \cdot K_2 \cdot K'}{3} \cdot \frac{\max \lambda - 1}{a' - 0,25}}{V_s + a' \cdot \frac{3 + K_2 \cdot K'}{3} \cdot \frac{\max \lambda - 1}{a' - 0,25}} \qquad (6.06a)$$

Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert:	λ_R	0,882	[-]

$$\lambda_{RG} = \frac{\lambda_R - 1}{3} \cdot \frac{b}{d_a} + \frac{4 - \lambda_R}{3} \qquad (6.21a)$$

Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss:	λ_{RG}	0,910	[-]

$$\lambda_{fo} = 4 - 0,15 \cdot h \qquad (6.23a)$$

Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert:	λ_{fo}	3,727	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert:	λ_{fu}	0,721	[-]

$$\lambda_{RG} = \lambda_{RG}$$

Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert:	λ_{RG}	0,910	[-]

$$\lambda_B = \frac{4 - \lambda_R}{3} \qquad (6.07)$$

Konzentrationsfaktor Boden:	λ_B	1,039	[-]

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

1.2.4.10 Druckverteilung am Rohrumfang

$$q_v = \lambda_{RG} \cdot P_E + P_V \qquad (6.24)$$

Vertikale Gesamtlast: q_v = 102,11 kN/m²

$$q_h = K_2 \cdot \left(\lambda_B \cdot p_E + \gamma_B \cdot \frac{d_a}{2} \right) \qquad (7.01)$$

Seitendruck: q_h = 23,61 kN/m²

$$q^*_h = \frac{c_{h,qv} \cdot q_v + c_{h,qh} \cdot q_h}{V_{RB} - c_{h,qh}^*} \qquad (7.02a)$$

Bettungsreaktionsdruck (Erdlasten): q^*_h = 75,66 kN/m²

$$q^*_{hw} = \frac{c_{hw} \cdot q_w}{V_{RB} - c_{h,qh}^*} \qquad (7.02b)$$

Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung): q^*_{hw} = 4,69 kN/m²

1.2.5 Schnittkräfte

1.2.5.1 Schnittkräfte bei minimalem Grundwasser, Langzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente): r = 1,000 [-]

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	603,75	603,75	603,75	mm
	m_{qv}	0,261	-0,265	0,275	[-]
	m_{qh}	-0,250	0,250	-0,250	[-]
	m_{qh}^*	-0,181	0,208	-0,181	[-]
	m_g	0,381	-0,440	0,520	[-]
	m_w	0,190	-0,220	0,260	[-]

$$M_{qv} = m_{qv} \cdot q_v \cdot r_m^2 \cdot r \qquad (8.01)$$

Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung M_{qv}: 10,594 -10,756 11,162 kNm/m

$$M_{qh} = m_{qh} \cdot q_h \cdot r_m^2 \cdot r \qquad (8.03)$$

Moment aufgrund Seitendruck M_{qh}: -2,725 2,725 -2,725 kNm/m

$$M^*_{qh} = m_{qh}^* \cdot q^*_h \cdot r_m^2 \cdot r \qquad (8.05a)$$

Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck M^*_{qh}: -5,201 5,977 -5,201 kNm/m

$$M^*_{qw} = m_{qh}^* \cdot q^*_{hw} \cdot r_m^2 \cdot r \qquad (8.05b)$$

Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung) M^*_{qw}: -0,309 0,356 -0,309 kNm/m

$$M_g = m_g \cdot \gamma_R \cdot A_{rad} \cdot r_m^2 \cdot r \qquad (8.07)$$

Moment aufgrund Eigengewicht M_g: 0,136 -0,157 0,186 kNm/m

$$M_w = m_w \cdot \gamma_F \cdot r_m^3 \cdot r \qquad (8.09)$$

Moment aufgrund Wasserfüllung M_w: 0,418 -0,484 0,572 kNm/m

Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck M_{pw}: 0,005 0,005 0,005 kNm/m

$$\Sigma M = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh} + M^*_{qw} + M_g + M_w + M_{pw}$$

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

Summe der Momente	ΣM	2,917	-2,334	3,689	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
$\Sigma M_{sonst} = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh} + M^*_{qw} + M_g + M_w + M_{pa1}$					
Summe ohne Innen-/Außendruck	ΣM_{sonst}	2,912	-2,340	3,684	kNm/m
$\Sigma M' = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh} + M_g$					
Summe ohne Wasserfüllung und Druck	$\Sigma M'$	2,804	-2,211	3,422	kNm/m
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	603,75	603,75	603,75	mm
	n_{pv}	0,027	-1,000	-0,027	[-]
	n_{qh}	-1,000	0,000	-1,000	[-]
	n_{qh}^*	-0,577	0,000	-0,577	[-]
	n_{qh}^*	-0,577	0,000	-0,577	[-]
	n_g	0,250	-1,571	-0,250	[-]
	n_w	0,625	0,215	1,375	[-]
	n_{pa}	-0,625	-0,215	-1,375	[-]
$N_{qv} = n_{pv} \cdot q_v \cdot r_m$					(8.02)
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	1,815	-67,227	-1,815	kN/m
$N_{qh} = n_{qh} \cdot q_h \cdot r_m$					(8.04)
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-18,053	0,000	-18,053	kN/m
$N^*_{qh} = n_{qh}^* \cdot q^*_h \cdot r_m$					(8.06a)
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	-27,464	0,000	-27,464	kN/m
$N^*_{qw} = n_{qh}^* \cdot q^*_{hw} \cdot r_m$					(8.06b)
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	N^*_{qw}	-1,634	0,000	-1,634	kN/m
$N_g = n_g \cdot \gamma_R \cdot A_{rad} \cdot r_m$					(8.08)
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,148	-0,931	-0,148	kN/m
$N_w = n_w \cdot \gamma_F \cdot r_m^2$					(8.10)
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	2,278	0,784	5,012	kN/m
$N_{pw} = P_i \cdot r_i - 10.000 \cdot h_W \cdot r_a$					(8.12)
Normalkraft aufgrund Wasserdruck|Innendruck	N_{pw}	239,000	239,000	239,000	kN/m
$\Sigma N = N_{qv} + N_{qh} + N^*_{qh} + N^*_{qw} + N_g + N_w + N_{pw}$					
Summe der Normalkräfte	ΣN	196,090	171,626	194,898	kN/m
Normalkraft aufgrund GW bis Scheitel	N_{pa1}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Innendruck	N_{pi}	239,000	239,000	239,000	kN/m
$\Sigma N_{sonst} = N_{qv} + N_{qh} + N^*_{qh} + N^*_{qw} + N_g + N_w + N_{pa1}$					
Summe ohne Innen-/Außendruck	ΣN_{sonst}	-42,910	-67,374	-44,102	kN/m
1.2.5.2 Schnittkräfte bei maximalem Grundwasser, Langzeit					
Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):			r	1,000	[-]

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	603,75	603,75	603,75	mm
	m_{qv}	0,261	-0,265	0,275	[-]
	m_{qh}	-0,250	0,250	-0,250	[-]
	m_{qh}^*	-0,181	0,208	-0,181	[-]
	m_g	0,381	-0,440	0,520	[-]
	m_w	0,190	-0,220	0,260	[-]

$M_{qv} = m_{qv} \cdot q_v \cdot r_m^2 \cdot r$ (8.01)

Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	9,714	-9,863	10,235	kNm/m

$M_{qh} = m_{qh} \cdot q_h \cdot r_m^2 \cdot r$ (8.03)

Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-2,151	2,151	-2,151	kNm/m

$M^*_{qh} = m_{qh}^* \cdot q^*_h \cdot r_m^2 \cdot r$ (8.05a)

Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	-4,992	5,737	-4,992	kNm/m

$M^*_{qw} = m_{qh}^* \cdot q^*_{hw} \cdot r_m^2 \cdot r$ (8.05b)

Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	M^*_{qw}	-0,309	0,356	-0,309	kNm/m

$M_g = m_g \cdot \gamma_R \cdot A_{rad} \cdot r_m^2 \cdot r$ (8.07)

Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,136	-0,157	0,186	kNm/m

$M_w = m_w \cdot \gamma_F \cdot r_m^3 \cdot r$ (8.09)

Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,418	-0,484	0,572	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	0,005	0,005	0,005	kNm/m

$\Sigma M = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh} + M^*_{qw} + M_g + M_w + M_{pw}$

Summe der Momente	ΣM	2,821	-2,256	3,546	kNm/m
Moment aufgrund GW bis Scheitel	M_{pa1}	-0,418	0,484	-0,572	kNm/m
Moment aufgrund Innendruck	M_{pi}	0,005	0,005	0,005	kNm/m

$\Sigma M_{sonst} = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh} + M^*_{qw} + M_g + M_w + M_{pa1}$

Summe ohne Innen-/Außendruck	ΣM_{sonst}	2,398	-1,777	2,969	kNm/m

$\Sigma M' = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh} + M_g$

Summe ohne Wasserfüllung und Druck	$\Sigma M'$	2,707	-2,133	3,278	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	603,75	603,75	603,75	mm
	n_{pv}	0,027	-1,000	-0,027	[-]
	n_{qh}	-1,000	0,000	-1,000	[-]
	n_{qh}^*	-0,577	0,000	-0,577	[-]
	n_{qh}^*	-0,577	0,000	-0,577	[-]
	n_g	0,250	-1,571	-0,250	[-]
	n_w	0,625	0,215	1,375	[-]
	n_{pa}	-0,625	-0,215	-1,375	[-]

$N_{qv} = n_{pv} \cdot q_v \cdot r_m$ (8.02)

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	1,664	-61,646	-1,664	kN/m
$N_{qh} = n_{qh} \cdot q_h \cdot r_m$					(8.04)
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-14,252	0,000	-14,252	kN/m
$N^*_{qh} = n_{qh}{}^* \cdot q^*_h \cdot r_m$					(8.06a)
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	-26,358	0,000	-26,358	kN/m
$N^*_{qw} = n_{qh}{}^* \cdot q^*_{hw} \cdot r_m$					(8.06b)
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	N^*_{qw}	-1,634	0,000	-1,634	kN/m
$N_g = n_g \cdot \gamma_R \cdot A_{rad} \cdot r_m$					(8.08)
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,148	-0,931	-0,148	kN/m
$N_w = n_w \cdot \gamma_F \cdot r_m{}^2$					(8.10)
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	2,278	0,784	5,012	kN/m
$N_{pw} = P_i \cdot r_i - 10.000 \cdot h_W \cdot r_a$					(8.12)
Normalkraft aufgrund WasserdruckIInnendruck	N_{pw}	224,116	224,116	224,116	kN/m
$\Sigma N = N_{qv} + N_{qh} + N^*_{qh} + N^*_{qw} + N_g + N_w + N_{pw}$					
Summe der Normalkräfte	ΣN	185,963	162,323	185,072	kN/m
Normalkraft aufgrund GW bis Scheitel	N_{pa1}	-2,278	-0,784	-5,012	kN/m
Normalkraft aufgrund Innendruck	N_{pi}	239,000	239,000	239,000	kN/m
$\Sigma N_{sonst} = N_{qv} + N_{qh} + N^*_{qh} + N^*_{qw} + N_g + N_w + N_{pa1}$					
Summe ohne Innen-/Außendruck	ΣN_{sonst}	-40,431	-62,577	-44,056	kN/m

1.2.6 Nachweise Langzeit

1.2.6.1 Spannungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

Grundlage für die Berechnung bildet die Veröffentlichung 'Netzer, W. & Pattis, O.: Überlagerung von Innen- und Außenbelastung erdverlegter Rohrleitungen (Rechnerische Untersuchungen bei Anwendung der Theorie II. Ordnung)', 3R international (2/1989) S. 96-105. Dort sind jedoch einige Druckfehler enthalten, die durch die Veröffentlichung 'Reese, K. & Wallmann U.: Anmerkungen zur 3. Auflage des ATV-DVWK-A 127 und der statischen Berechnung von erdverlegten Druckrohre', 3R international (9/2001) S. 575ff, korregiert wurden.

$$Z = \frac{f_{t,fl}}{E_{R,rad}} \cdot \frac{r_m{}^2}{A_{rad}}$$

Spannungsüberlagerungsbeiwert:	Z	2,61	[-]

$$\eta = \frac{1 - K_2}{V_S}$$

Verformungsverhältnis:	η	1,64	[-]
Systemsteifigkeit, gewichtet:	$V_{RB,w}$	0,0285	[-]

Das Druckrohr wird in Klasse 2 eingestuft, da (VRB < 0,1 oder η < 0,1) und Z < 4. In diese Klasse sollen jene Druckrohre fallen, bei denen zwar ein Rerounding-Effekt eintritt, die resultierende Spannung (σres) jedoch noch größer ist jede der beiden Einzelspannungen σab bzw. σid.

Resultierender Innendruck (pI - pW):	$p_{I,res}$	4,00	bar

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:			erf γ_{RBZ}	1,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:			erf γ_{RBD}	1,50	[-]
Innen:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aus Außenbelastung	σ_a	109,168	-95,852	138,923	N/mm²
Radiale Biegezugfestigkeit	$\bar{f}_{t,fl}$	235,0	235,0	235,0	N/mm²
Sicherheitsbeiwert Außenbelastung, Biegezug:	$\gamma_{BZ,a}$	2,153	---	1,692	[-]
Sicherheitsbeiwert Außenbelastung, Biegedruck:	$\gamma_{BD,a}$	---	2,452	---	[-]
$\sigma_i = \frac{p_{I,res} \cdot r_m}{A_{rad}}$					
Spannung aus Innendruck	σ_i	19,320	19,320	19,320	N/mm²
Ringzugfestigkeit	f_t	235,0	235,0	235,0	N/mm²
Sicherheitsbeiwert Innendruck	γ_i	12,164	12,164	12,164	[-]
Abminderungsfaktor nach Netzer/Pattis	n	0,682	0,653	0,727	[-]
$\sigma_a+\sigma_i = \sigma_a + \sigma_i$					
Spannung Summe	$\sigma_a+\sigma_i$	128,488	-76,532	158,243	N/mm²
$\gamma_{BZ,res} = \frac{1}{n \cdot \frac{1}{\gamma_a} + n \cdot \frac{1}{\gamma_i}}$					
Sicherheitsbeiwert Überlagerungsrechnung, Biegezug:	$\gamma_{BZ,res}$	2,683	---	2,042	[-]
$\gamma_{BD,res} = \frac{-1}{n \cdot \frac{\sigma_a+\sigma_i}{\bar{f}_{c,rad}}}$					
Sicherheitsbeiwert Überlagerungsrechnung, Biegedruck:	$\gamma_{BD,res}$	---	4,703	---	[-]
Außen:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aus Außenbelastung	σ_a	-114,490	83,832	-144,026	N/mm²
Radiale Biegedruckfestigkeit	$\bar{f}_{c,rad}$	235,0	235,0	235,0	N/mm²
Sicherheitsbeiwert Außenbelastung, Biegezug:	$\gamma_{BZ,a}$	---	2,803	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Außenbelastung, Biegedruck:	$\gamma_{BD,a}$	2,053	---	1,632	[-]
$\sigma_i = \frac{p_{I,res} \cdot r_m}{A_{rad}}$					
Spannung aus Innendruck	σ_i	19,320	19,320	19,320	N/mm²
Ringzugfestigkeit	f_t	235,0	235,0	235,0	N/mm²
Sicherheitsbeiwert Innendruck	γ_i	12,164	12,164	12,164	[-]
Abminderungsfaktor nach Netzer/Pattis	n	0,692	0,635	0,733	[-]
$\sigma_a+\sigma_i = \sigma_a + \sigma_i$					
Spannung Summe	$\sigma_a+\sigma_i$	-95,170	103,152	-124,706	N/mm²

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

$$\gamma_{BZ,res} = \frac{1}{n \cdot \frac{\sigma_a+\sigma_i}{f_{c,rad}}}$$

Sicherheitsbeiwert Überlagerungsrechnung, Biegezug:	$\gamma_{BZ,res}$	---	3,586	---	[-]

$$\gamma_{BD,res} = \frac{-1}{n \cdot \frac{1}{\gamma_a} + n \cdot \frac{1}{\gamma_i}}$$

Sicherheitsbeiwert Überlagerungsrechnung, Biegedruck:	$\gamma_{BD,res}$	3,571	---	2,570	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

1.2.6.2 Spannungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

Grundlage für die Berechnung bildet die Veröffentlichung 'Netzer, W. & Pattis, O.: Überlagerung von Innen- und Außenbelastung erdverlegter Rohrleitungen (Rechnerische Untersuchungen bei Anwendung der Theorie II. Ordnung)', 3R international (2/1989) S. 96-105. Dort sind jedoch einige Druckfehler enthalten, die durch die Veröffentlichung 'Reese, K. & Wallmann U.: Anmerkungen zur 3. Auflage des ATV-DVWK-A 127 und der statischen Berechnung von erdverlegten Druckrohre', 3R international (9/2001) S. 575ff, korregiert wurden.

$$Z = \frac{f_{t,fl}}{E_{R,rad}} \cdot \frac{r_m{}^2}{A_{rad}}$$

Spannungsüberlagerungsbeiwert:	Z	2,61	[-]

$$\eta = \frac{1 - K_2}{V_S}$$

Verformungsverhältnis:	η	1,64	[-]
Systemsteifigkeit, gewichtet:	$V_{RB,w}$	0,0285	[-]

Das Druckrohr wird in Klasse 2 eingestuft, da (VRB < 0,1 oder η < 0,1) und Z < 4. In diese Klasse sollen jene Druckrohre fallen, bei denen zwar ein Rerounding-Effekt eintritt, die resultierende Spannung (σres) jedoch noch größer ist jede der beiden Einzelspannungen σab bzw. σid.

Resultierender Innendruck (pI - pW):	$p_{I,res}$	3,88	bar

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:	erf γ_{RBZ}	1,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf γ_{RBD}	1,50	[-]

Innen:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aus Außenbelastung	σ_a	89,476	-73,712	111,255	N/mm²
Radiale Biegezugfestigkeit	$f_{t,fl}$	235,0	235,0	235,0	N/mm²
Sicherheitsbeiwert Außenbelastung, Biegezug:	$\gamma_{BZ,a}$	2,626	---	2,112	[-]
Sicherheitsbeiwert Außenbelastung, Biegedruck:	$\gamma_{BD,a}$	---	3,188	---	[-]

$$\sigma_i = \frac{p_{I,res} \cdot r_m}{A_{rad}}$$

Spannung aus Innendruck	σ_i	18,743	18,743	18,743	N/mm²
Ringzugfestigkeit	f_t	235,0	235,0	235,0	N/mm²
Sicherheitsbeiwert Innendruck	γ_i	12,538	12,538	12,538	[-]
Abminderungsfaktor nach Netzer/Pattis	n	0,648	0,621	0,692	[-]

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

$\sigma_a+\sigma_i = \sigma_a + \sigma_i$

Spannung Summe	$\sigma_a+\sigma_i$	108,219	-54,969	129,998	N/mm²

$$\gamma_{BZ,res} = \frac{1}{n \cdot \frac{1}{\gamma_a} + n \cdot \frac{1}{\gamma_i}}$$

Sicherheitsbeiwert Überlagerungsrechnung, Biegezug:	$\gamma_{BZ,res}$	3,351	---	2,613	[-]

$$\gamma_{BD,res} = \frac{-1}{n \cdot \frac{\sigma_a+\sigma_i}{f_{c,rad}}}$$

Sicherheitsbeiwert Überlagerungsrechnung, Biegedruck:	$\gamma_{BD,res}$	---	6,887	---	[-]

Außen:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aus Außenbelastung	σ_a	-94,674	62,758	-116,731	N/mm²
Radiale Biegedruckfestigkeit	$f_{c,rad}$	235,0	235,0	235,0	N/mm²
Sicherheitsbeiwert Außenbelastung, Biegezug:	$\gamma_{BZ,a}$	---	3,745	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Außenbelastung, Biegedruck:	$\gamma_{BD,a}$	2,482	---	2,013	[-]

$$\sigma_i = \frac{p_{I,res} \cdot r_m}{A_{rad}}$$

Spannung aus Innendruck	σ_i	18,743	18,743	18,743	N/mm²
Ringzugfestigkeit	f_t	235,0	235,0	235,0	N/mm²
Sicherheitsbeiwert Innendruck	γ_i	12,538	12,538	12,538	[-]
Abminderungsfaktor nach Netzer/Pattis	n	0,656	0,594	0,701	[-]

$\sigma_a+\sigma_i = \sigma_a + \sigma_i$

Spannung Summe	$\sigma_a+\sigma_i$	-75,931	81,501	-97,988	N/mm²

$$\gamma_{BZ,res} = \frac{1}{n \cdot \frac{\sigma_a+\sigma_i}{f_{c,rad}}}$$

Sicherheitsbeiwert Überlagerungsrechnung, Biegezug:	$\gamma_{BZ,res}$	---	4,857	---	[-]

$$\gamma_{BD,res} = \frac{-1}{n \cdot \frac{1}{\gamma_a} + n \cdot \frac{1}{\gamma_i}}$$

Sicherheitsbeiwert Überlagerungsrechnung, Biegedruck:	$\gamma_{BD,res}$	4,715	---	3,419	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

1.2.6.3 Verformungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

Rechenmodus:		linear	
Verhältnis:		l/(A·rm²)	0,00004 [-]
Verhältnis 'l/(A·rm²)·κ~Q':		l/(A·rm²)·κQ	0,00004 [-]

q_v	q_h	q_h^*

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

Verformungsbeiwert für Biegemomente	c_v	-0,0893	0,0833	0,0640	[-]

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

Resultierender Verformungsbeiwert	c'_v	-0,0893	0,0833	0,0640	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_h	0,0891	-0,0833	-0,0658	[-]

$$\Delta d_v = \frac{2 \cdot r_m}{8 S_0} \cdot (c_{v,qv} \cdot q_v + c_{v,qh} \cdot q_h + c_{v,qh^*} \cdot q_h^*) \quad (8.16a)$$

Vertikale Durchmesseränderung: Δd_v 18,72 mm

$$\Delta d_h = \frac{2 \cdot r_m}{8 S_0} \cdot (c_{h,qv} \cdot q_v + c_{h,qh} \cdot q_h + c_{h,qh^*} \cdot q_h^*) \quad (8.16b)$$

Horizontale Durchmesseränderung: Δd_h 17,44 mm

$$\delta_{v,B} = \frac{\Delta d_v}{2 \cdot r_m} \cdot 100 \text{ in \%} \quad (8.17)$$

Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):	$\delta_{v,B}$	1,55	%
Vorverformung (z. B. aus Fertigung, plastisch, Typ A):	$\delta_{v,A}$	1,00	%

$$\delta_{v,Ges} = \delta_{v,A} + \delta_{v,B}$$

Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):	$\delta_{v,Ges}$	2,55	%
Zulässige Verformung:	zul δ_v	6,00	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.6.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

Rechenmodus:		linear	
Verhältnis:		l/(A·rm²)	0,00004 [-]
Verhältnis 'l/(A·rm²)·κ~Q':		l/(A·rm²)·κ_Q	0,00004 [-]

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

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

Resultierender Verformungsbeiwert	c'_v	-0,0893	0,0833	0,0640	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_h	0,0891	-0,0833	-0,0658	[-]

$$\Delta d_v = \frac{2 \cdot r_m}{8 S_0} \cdot (c_{v,qv} \cdot q_v + c_{v,qh} \cdot q_h + c_{v,qh^*} \cdot q_h^*) \quad (8.16a)$$

Vertikale Durchmesseränderung: Δd_v 17,95 mm

$$\Delta d_h = \frac{2 \cdot r_m}{8 S_0} \cdot (c_{h,qv} \cdot q_v + c_{h,qh} \cdot q_h + c_{h,qh^*} \cdot q_h^*) \quad (8.16b)$$

Horizontale Durchmesseränderung: Δd_h 16,74 mm

$$\delta_{v,B} = \frac{\Delta d_v}{2 \cdot r_m} \cdot 100 \text{ in \%} \quad (8.17)$$

Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):	$\delta_{v,B}$	1,49	%
Vorverformung (z. B. aus Fertigung, plastisch, Typ A):	$\delta_{v,A}$	1,00	%

$$\delta_{v,Ges} = \delta_{v,A} + \delta_{v,B}$$

Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):	$\delta_{v,Ges}$	2,49	%
Zulässige Verformung:	zul δ_v	6,00	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

1.2.6.5 Nachweis Stabilität radial, linear (bei maximalem Grundwasser)

Erd- und Verkehrslasten

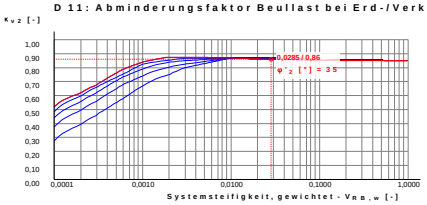
Rohrsteifigkeit: $\bar{S}_R$ 155.309 N/m²

$S_{Bh} = 0{,}60 \cdot \zeta \cdot E_{2,\sigma}$ (6.16)

Horizontale Bettungssteifigkeit: S_{Bh} 5,459 N/mm²

Systemsteifigkeit, gewichtet: $V_{RB,w}$ 0,0285 [-]

D 11: Abminderungsfaktor Beullast bei Erd-/Verke



Abminderungsfaktor Beullast bei Erd-/Verkehrslasten: κ_{V2} 0,86 [-]

Reibungswinkel in der Leitungszone: φ'_2 35,000 °

$krit\ q_V = 2 \cdot \kappa_{V2} \cdot \bar{S}_R \cdot S_{Bh}^{0,50}$ (9.06a)

Kritische vertikale Gesamtlast: krit q_V 1.584,6 kN/m²

Vertikale Gesamtlast: q_V 102,11 kN/m²

$\gamma_{qv} = \frac{krit\ q_V}{q_V}$ (9.07)

Beulsicherheitsbeiwert (vertikale Gesamtlast): γ_{qv} 15,52 [-]

Wasserdruck + Unterdruck

Äußerer Wasserdruck: p_a 24,40 kN/m²

Unterdruck im Rohr: p_I 0,00 kN/m²

Rohrsteifigkeit: S_R 155.309 N/m²

Systemsteifigkeit: V_{RB} 0,0285 [-]

$r_m/s = \frac{r_m}{h}$

Mittlerer Radius zu Wanddicke: r_m/s 48,30 [-]

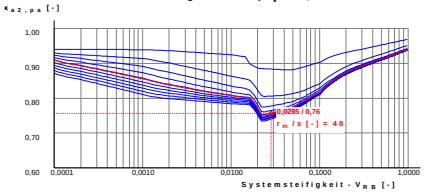
Abminderungsfaktor aufgrund lokaler Vorverformung für Durchschlaglast bei äußerem Wasserdruck: $\kappa_{a1,pa}$ 1,00 [-]

Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B): $\delta_{v,B}$ 1,49 %

$\delta_v = \delta_{v,B}$

Vorverformung Gesamt: δ_v 1,49 %

D 12: Abminderungsfaktor (δ_v = 1,48689727711136

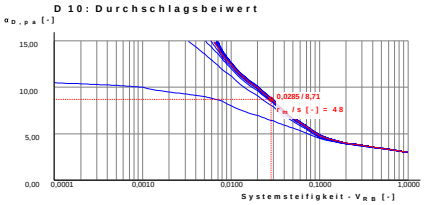


Abminderungsfaktor: $\kappa_{a2,pa}$ 0,76 [-]

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

$\kappa_{a,pa} = \kappa_{a1,pa} \cdot \kappa_{a2,pa}$ (9.09)

Abminderungsfaktor: $\kappa_{a,pa}$ 0,76 [-]



Durchschlagsbeiwert: $\alpha_{D,pa}$ 8,713 [-]

$\text{krit } p_a = \kappa_{a,pa} \cdot \alpha_{D,pa} \cdot S_R$ (9.08)

Kritischer Druck: krit p_a 1.023,611 kN/m²

$p_{a+I-} = p_a + p_{I-}$

Wasserdruck + Unterdruck im Rohr: p_{a+I-} 24,40 kN/m²

$$\gamma_{Stab,pa} = \frac{\text{krit } p_a}{p_{a+I-}}$$ (9.11)

Beulsicherheitsbeiwert Druck: $\gamma_{Stab,pa}$ 41,951 [-]

Superposition

$$\gamma_{Stab,rad} = \frac{1}{\frac{q_v}{\text{krit } q_v} + \frac{p_{a+I-}}{\text{krit } p_a}}$$ (9.12)

Sicherheit Stabilität, radial: $\gamma_{Stab,rad}$ 11,33 [-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität: erf γ_{Stab} 2,50 [-]

Der Stabilitätsnachweis ist erbracht.

1.2.6.6 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei minimalem Grundwasser)

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

1.2.6.7 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei maximalem Grundwasser)

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

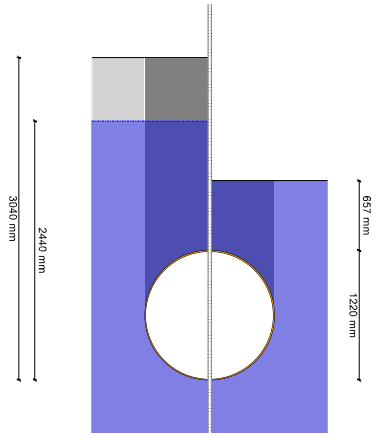
1.2.6.8 Nachweis der Sicherheit gegen Versagen bei nicht vorwiegend ruhender Belastung

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

1.2.7 Auftriebsnachweis

Der Auftriebsnachweis erfolgt für den tatsächlichen Grundwasserstand hW,max. Das Erdreich oberhalb des GW-Spiegels wird mit seiner Trockenwichte angesetzt.
Zusätzlich erfolgt die Betrachtung eines Starkregenereignisses bei nicht vollständig verfülltem Graben. Dabei wird eine erforderliche Überdeckungshöhe h'min über Rohrscheitel ermittelt, die das Erdreich mit seiner reduzierten Wichte unter Auftrieb berücksichtigt. Dadurch können z. B. geflutete Gräben im Fall eines Starkregenereignisses abgebildet werden.

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH



Äußerer Radius:	r_a	610,0	mm
$V = r_a^2 \cdot \pi$			
$V = V_A$			
Verdrängtes Volumen:	V	1,17	m³/m
$Q_r = V \cdot \gamma_w$			
Auftriebskraft:	Q_r	11,69	kN/m
Wichte des Bodens unter Auftrieb im Auftriebsnachweis:	$\gamma_{B',A}$	9,5	kN/m³
Wichte des Bodens im Auftriebsnachweis:	$\gamma_{B,A}$	19,5	kN/m³
Überdeckungshöhe:	h	1,82	m
Maximaler Grundwasserstand über Sohle:	$h_{W,max}$	2,44	m
$h_n = MIN(h_{W,max} ; MAX(0; h_{W,max} - D_a))$			
Höhe Boden unter Auftrieb:	h_n	1,22	m
$Q_{r1} = (h_n \cdot \gamma_{B',A} + (h - h_n) \cdot \gamma_{B,A}) \cdot D_a$			
Baugrund:	Q_{r1}	28,41	kN/m
$Q_{r1,d} = Q_{r1} \cdot \gamma_U$			
Baugrund, Design:	$Q_{r1,d}$	28,41	kN/m
Fläche Zwickel, trocken:	A_{FZ}	0,00	m²
$A_{FZ'} = \frac{2 \cdot r_a^2 - \pi \cdot r_a^2}{2}$			
Fläche Zwickel, nass:	$A_{FZ'}$	0,16	m²
$F_Z = A_{FZ'} \cdot \gamma_{B',A}$			
Kraft aus Auflast Zwickel:	F_Z	1,52	kN/m
Innerer Radius:	r_i	597,5	mm
Radiale Profilfläche:	A_{rad}	12,50	mm²/mm
Wichte des Rohrwerkstoffs:	γ_R	78,5	kN/m³

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

$$G_m = \gamma_R \cdot \pi \cdot \left(r_i + A_{rad}{}^2 - r_i^2 \right)$$

Eigenlast:	G_m	3,72	kN/m

$$Q_g = G_m + Q_{r1} + F_Z$$

Gegenkräfte:	Q_g	33,65	kN/m

$$Q_r = V \cdot \gamma_w$$

Auftriebskraft:	Q_r	11,69	kN/m

$$\gamma_A = \frac{Q_g}{Q_r}$$

Auftriebssicherheit:	γ_A	2,88	[-]
Auftriebssicherheit:	γ_{Aerf}	1,10	[-]
Verdrängtes Volumen Außendurchmesser (Annahme: Rohr vollständig unter Wasser):	V_A	1,17	m³/m
Kraft aus Auflast Zwickel (unter Auftrieb):	F_Z'	1,52	kN/m

$$h'_{min} = \frac{\gamma_{Aerf} \cdot V_A \cdot \gamma_w - G_m - F_Z'}{\gamma_B',_A \cdot 2 \cdot r_a}$$

Theoretisch ab Scheitel erforderliche Erdüberdeckung unter Auftrieb:	h'_{min}	0,66	m

Der Auftriebsnachweis ist erfüllt.

Alle notwendigen Nachweise sind erbracht.

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

Pos. 2 Rohrstatik KP Nord

Inhaltsangabe

1 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Berechnung 3

1.1 Eingaben 3
1.1.1 Sicherheiten 3
1.1.2 Boden 3
1.1.3 Belastung 3
1.1.4 Einbau 4
1.1.5 Vollwand/Profil-Rohr 4
1.1.5.1 Metall 4
1.2 Ergebnisse 5
1.2.1 Zwischenergebnisse Rohr 5
1.2.1.1 Materialeigenschaften 5
1.2.1.2 Sicherheiten 5
1.2.2 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12 5
1.2.3 Zwischenergebnisse bei minimalem Grundwasser 6
1.2.3.1 Silotheorie 6
1.2.3.2 Belastung 6
1.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB 6
1.2.3.4 Bodensteifigkeiten 7
1.2.3.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel 7
1.2.3.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit 7
1.2.3.7 Steifigkeitsverhältnisse 8
1.2.3.8 Beiwerte 8
1.2.3.9 Konzentrationsfaktoren λR und λB 8
1.2.3.10 Druckverteilung am Rohrumfang 9
1.2.4 Zwischenergebnisse bei maximalem Grundwasser 9
1.2.4.1 Silotheorie 9
1.2.4.2 Belastung 9
1.2.4.3 Boden-Verformungsmoduln EB 10
1.2.4.4 Bodensteifigkeiten 10
1.2.4.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel 11
1.2.4.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit 11
1.2.4.7 Steifigkeitsverhältnisse 11
1.2.4.8 Beiwerte 11
1.2.4.9 Konzentrationsfaktoren λR und λB 12
1.2.4.10 Druckverteilung am Rohrumfang 12
1.2.5 Schnittkräfte 13
1.2.5.1 Schnittkräfte bei minimalem Grundwasser, Langzeit 13
1.2.5.2 Schnittkräfte bei maximalem Grundwasser, Langzeit 14
1.2.6 Nachweise Langzeit 16
1.2.6.1 Spannungsnachweis (bei minimalem Grundwasser) 16
1.2.6.2 Spannungsnachweis (bei maximalem Grundwasser) 18
1.2.6.3 Verformungsnachweis (bei minimalem Grundwasser) 19
1.2.6.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser) 20
1.2.6.5 Nachweis Stabilität radial, linear (bei maximalem Grundwasser) 21
1.2.6.6 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei minimalem Grundwasser) 22
1.2.6.7 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei maximalem Grundwasser) 22
1.2.6.8 Nachweis der Sicherheit gegen Versagen bei nicht vorwiegend ruhender 22
1.2.7 Auftriebsnachweis 22

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

1 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Berechnung

Titel der Teilstatik: Berechnung

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		
Behandlung Systemsteifigkeit VRB nach:	DWA-A 161:2014 (nach Materialart)		
Rohrsteifigkeit nach Regelwerk:	Ja		

1.1.2 Boden

Bodengruppe Verfüllung:	G1		
Berechnung E1:	Tabelle 8 (A127)		
Bodengruppe Einbettung:	G1		
Berechnung E20:	Tabelle 8 (A127)		
Bodengruppe anstehender Boden:	G3		
Berechnung E3:	Verdichtungsgrad		
Verdichtungsgrad E3:	$D_{Pr,E3}$	92,0	%
E4 = 10 · E1:	Nein		
Bodengruppe unter Rohr:	G1		
Berechnung E4:	Verdichtungsgrad		
Verdichtungsgrad E4:	$D_{Pr,E4}$	95,0	%
Anwendung von Silotheorie:	Automatisch		
K2 nach Norm:	Ja		

1.1.3 Belastung

Überdeckungshöhe:	h	2,77	m
Minimaler Grundwasserstand über Sohle:	$h_{W,min}$	0,00	m
Maximaler Grundwasserstand über Sohle:	$h_{W,max}$	2,86	m
Auftriebsnachweis führen:	Ja		
Erforderliche Auftriebssicherheit:	$\gamma_{A,erf}$	1,10	[-]
Wichte des Bodens:	γ_B	19,5	kN/m³
Manuelle Angabe der Wichte des Bodens unter Auftrieb:	Nein		
Wichte des Bodens im Auftriebsnachweis:	$\gamma_{B,A}$	19,5	kN/m³
Wichte des Bodens unter Auftrieb im Auftriebsnachweis:	$\gamma_B{}',_A$	9,5	kN/m³
Zusätzliche Flächenlast:	p_0	25,0	kN/m²
Zusätzliche Flächenlast ist Dammschüttung:	Ja		
Innendruck, langzeitig:	$P_{I,L}$	4,00	bar
Wasserfüllung (z.B. Staukanal):	Ja		
Wichte Füllmedium:	γ_F	10,0	kN/m³
Verkehrslast:	Straße LM 1 - Fahrstreifenbreite: 3 m		
Rohrlänge:	L_R	2,0	m
Anpassungsfaktor αQi LM1 (DIN EN 1991-2):	$\alpha_{Qi,LM1}$	1,00	[-]

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis:	$\alpha_{qhT,dyn}$	0,00	%

1.1.4 Einbau

Einbauweise:	Graben		
Grabenbreite in Scheitelhöhe:	b	4,02	m
Mindestgrabenbreite prüfen:	Ja		
Stärke der Bettungsschicht automatisch ermitteln:	Ja		
Böschungswinkel:	ß	90	°
Überschüttungsbedingung:	A1		
Einbettungsbedingung:	B1		
Auflagerart:	Lose		
Auflagerwinkel:	120°		
Relative Ausladung automatisch ermitteln:	Ja		
Untere Sockelhöhe vorgeben:	Nein		
Gesamt-Sockelhöhe:	h_s	0,00	m

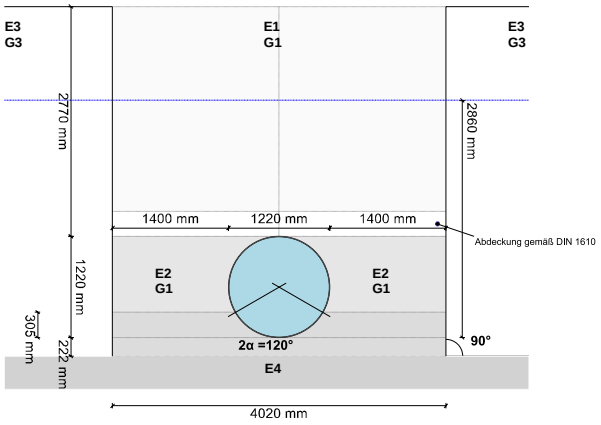
1.1.5 Vollwand/Profil-Rohr

Rohrauswahl:	Vollwand		
Material-Klasse:	Metall		
Vorverformung Typ A:	$\delta_{v,A}$	1,0	%
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	0,0	%
Auswahl der Eingaben:	Da und s		
Außendurchmesser:	d_a	1.220,0	mm
Wandstärke:	s	12,5	mm
Perforation:	Ohne Perforation		

1.1.5.1 Metall

Auswahl Material:	Nach Norm (DIN)
Kerbfall für Schwingbreite verwenden:	Nein
Stahlgüte DIN:	Baustahl S235 (EN 10025-2)
Plastische Reserven nutzen:	Nein
Angabe Grenzspannungen:	Ja

Verkehrslast: Straße LM 1 - Fahrstreifenbreite: 3 m + 25,0 kN/m²



mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

1.2 Ergebnisse

1.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:	d_i	1.195,0	mm
Außendurchmesser:	d_a	1.220,0	mm
Mittlerer Radius:	r_m	603,75	mm
Wanddicke:	s	12,50	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	r_m/s	48,300	[-]

$$\alpha_{ki} = 1 + \frac{s}{3 \cdot r_m}$$ A 127 (8.14a)

Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,007	[-]

$$\alpha_{ka} = 1 - \frac{s}{3 \cdot r_m}$$ A 127 (8.14b)

Korrekturfaktor Krümmung außen:	α_{ka}	0,993	[-]
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	$\delta_{v,A}$	1,00	%
Radiale Profilfläche:	A_{rad}	12,50	mm²/mm
Trägheitsabstand:	e	6,25	mm
Trägheitsmoment:	I	162,76	mm^4/mm
Äußeres Widerstandsmoment:	W_a	26,04	mm³/mm
Inneres Widerstandsmoment:	W_i	26,04	mm³/mm
Flächenverhältnis:	κ_Q	1,2	[-]

1.2.1.1 Materialeigenschaften

Wichte des Rohrwerkstoffs:	γ_R	78,5	kN/m³
Querkontraktionszahl:	v	0,30	[-]
Elastizitätsmodul in Ringrichtung:	$E_{R,rad}$	210.000,0	N/mm²
Radiale Biegezugfestigkeit:	$f_{t,fl}$	235,0	N/mm²
Radiale Biegedruckfestigkeit:	$f_{c,rad}$	235,0	N/mm²
Ringzugfestigkeit:	f_t	235,0	N/mm²
Schwingbreite bei 2·10^6 Lastspielen:	$\Delta\sigma_{rsk,2E6}$	140,0	N/mm²
Schwingbreite bei 5·10^6 Lastspielen:	$\Delta\sigma_{rsk,5E6}$	103,2	N/mm²
Schwingbreite bei 1·10^8 Lastspielen:	$\Delta\sigma_{rsk,1E8}$	56,7	N/mm²

1.2.1.2 Sicherheiten

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:	erf γ_{RBZ}	1,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf γ_{RBD}	1,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität:	erf γ_{stab}	2,50	[-]

1.2.2 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12

$DN = d_a$

Nennweite:	DN	1.220	mm
Außendurchmesser:	d_a	1.220,0	mm

$a = 0{,}10 + 0{,}10 \cdot DN$ DIN EN 1610 / DWA-A 139

Lagenstärke der Bettungsschicht:	a	0,22	m

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

$min_{b,T1} = 1 + d_a$

Mindestbreite in Grabensohle (einschl. x) nach Tabelle 1:	$min_{b,T1}$	2,22	m
Mindestbreite in Grabensohle nach Tabelle 2:	$min_{b,T2}$	0,90	m

$min_{b,G} = Max(min_{b,T1}, min_{b,T2})$

Lichte Mindestbreite in Grabensohle:	$min_{b,G}$	2,22	m

$min_{b,R} = min_{b,G}$

Erforderliche Breite im Rohrscheitel:	$min_{b,R}$	2,21	m
Grabenbreite in Scheitelhöhe:	b	4,02	m

Die nach DIN 1610 ermittelte Grabenbreite stellt die lichte Grabenbreite in der Grabensohle dar. Die Dicke des Verbaus muss hierzu addiert werden, so dass die einzugebende minimale Grabenbreite im Rohrscheitel b = Lichte Mindestgrabenbreite + 2 x Dicke Verbau ist. Bei geneigten Grabenwänden ist zusätzlich ein Δb zu berücksichtigen, welches sich aus 2 x vertikaler Außendurchmesser / tan β ergibt und in der hier angegebenen erforderlichen Breite im Rohrscheitel bereits enthalten ist.

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

1.2.3 Zwischenergebnisse bei minimalem Grundwasser

1.2.3.1 Silotheorie

Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie):	κ	1,000	[-]
Erdlastbeiwert κ0 für Flächenlast (Silotheorie):	$κ_0$	1,000	[-]

κ0 und κ wurden zu 1 gesetzt, da E1 größer E3 ist.

1.2.3.2 Belastung

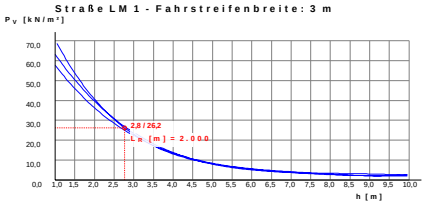
Grundwasserstand über Scheitel:	$h_{W,Scheitel}$	0,00	m

$P_{Erd} = κ \cdot h \cdot γ_B$ (5.01)

Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:	P_{Erd}	54,02	kN/m²

$P_E = P_{Erd} + κ_0 \cdot p_0$ (5.01 + 5.02)

Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:	P_E	79,02	kN/m²



Faktor für Abweichung von Diagrammen/Formeln:	$f_{α,Qi}$	1,25	[-]
Spannung aufgrund Verkehrslast:	P_V	32,78	kN/m²
Enthaltener Stoßfaktor:	ϕ	1,20	[-]

1.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB

E-Modul Verfüllung unter Last:	$E_{1,σ}$	16,00	N/mm²

$$E_{3,σ} = \frac{40}{3} \cdot e^{-0,188(100 - D_{Pr})}$$ 3.01

E-Modul anstehender Boden:	$E_{3,σ}$	2,96	N/mm²

$E_{2,σ} = f_1 \cdot f_2 \cdot α_B \cdot E_{20,σ}$ (6.02)

E-Modul Einbettung (abgemindert):	$E_{2,σ}$	14,75	N/mm²
E-Modul Einbettung unter Last:	$E_{20,σ}$	16,00	N/mm²

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

Reduktionsfaktor für das Kriechen:	f_1	1,000	[-]
Verdichtungsgrad aus Tabelle 8:	$D_{pr,E20}$	0,95	[-]

$$f_2 = \frac{D_{pr,E20} - 0{,}75}{0{,}20} \qquad (6.01)$$

Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):	f_2	1,000	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Diagramm 5):	α_{B0}	0,667	[-]

$$\alpha_B = 1 - \left(4 - \frac{b}{d_a}\right) \cdot \frac{1 - \alpha_{B0}}{3} \qquad (6.03)$$

Abminderungsfaktor E20 (enger Graben):	α_B	0,922	[-]

$$E_{2,\sigma} = f_1 \cdot f_2 \cdot \alpha_B \cdot E_{20,\sigma} \qquad (6.02)$$

E-Modul Einbettung (abgemindert):	$E_{2,\sigma}$	14,75	N/mm²

$$E_{4,\sigma} = \frac{40}{1} \cdot e^{-0{,}188(100 - D_{Pr})} \qquad 3.01$$

E-Modul Boden unter dem Rohr:	$E_{4,\sigma}$	15,63	N/mm²

1.2.3.4 Bodensteifigkeiten

$$\Delta_f = \frac{\frac{b}{d_a} - 1}{0{,}982 + 0{,}283 \cdot \left(\frac{b}{d_a} - 1\right)} \leq 1{,}667 \qquad \text{Korrektur (6.18)}$$

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:	Δ_f	1,407	[-]

$$\zeta = \frac{1{,}667}{\Delta_f + \left(1{,}667 - \Delta_f\right) \cdot \frac{E_{2,\sigma}}{E_{3,\sigma}}} \qquad (6.17)$$

Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	0,617	[-]

$$S_{Bh} = 0{,}60 \cdot \zeta \cdot E_{2,\sigma} \qquad (6.16)$$

Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	5,459	N/mm²

$$S_{Bv} = \frac{E_{2,\sigma}}{a} \qquad (6.12)$$

Vertikale Bettungssteifigkeit:	S_{Bv}	14,747	N/mm²

1.2.3.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:	2α	120	°

$$t_r = r_a - \cos(2\alpha/2) \cdot r_a$$

Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:	t_r	0,305	m
Berechnete Ausladung:	a	1,00	[-]

$$a' = a \cdot \frac{E_1}{E_2} \geq 0{,}26 \qquad (6.05)$$

Wirksame Ausladung:	a'	1,085	[-]
Innerer Reibungswinkel:	φ'	25,000	°
Wandreibungswinkel:	δ	16,667	°

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

1.2.3.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

Elastizitätsmodul in Ringrichtung:	$E_{R,rad}$	210.000,0	N/mm²
Radiale Biegezugfestigkeit:	$f_{t,fl}$	235,0	N/mm²
Radiale Biegedruckfestigkeit:	$f_{c,rad}$	235,0	N/mm²
Rohrsteifigkeit:	S_R	155.309	N/m²

$$S_R = \frac{E_R \cdot I}{r_m^3} \qquad (6.10a)$$

1.2.3.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet:	$V_{RB,w}$	0,0285	[-]

$$V_{RB,w} = \frac{S_R}{S_{Bh}} = \frac{8 \cdot S_0}{S_{Bh}} \qquad (6.15)$$

Steifigkeitsverhältnis:	V_S	0,3657	[-]

$$V_S = \frac{S_R}{|c_v^*| \cdot S_{Bv}} \qquad (6.08a)$$

Beiwert für die vertikale Verformung:	c_v^*	-0,029	[-]

1.2.3.8 Beiwerte

Erdruckbeiwert (Einbettung):	K_2	0,400	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck:	K^*	0,945	[-]

$$K^* = \frac{c'_h}{V_{RB} - c_{h,qh^*}} \qquad (6.14)$$

Resultierender Verformungsbeiwert:	c'_h	0,0891	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	c'_{h,qh^*}	-0,0658	[-]
Beiwert für die vertikale Verformung:	c_v^*	-0,029	[-]

$$c_v^* = c_{v,qv} + c_{v,qh^*} \cdot K^* \qquad (6.13)$$

1.2.3.9 Konzentrationsfaktoren λR und λB

$$\max \lambda = 1 + \frac{\frac{h}{d_a}}{\frac{3,5}{a'} + \frac{2,2}{\frac{E_4}{E_1} \cdot (a' - 0,25)} + \left[\frac{0,62}{a'} + \frac{1,6}{\frac{E_4}{E_1} \cdot (a' - 0,25)}\right] \cdot \frac{h}{d_a}} \qquad (6.04)$$

Maximaler Konzentrationsfaktor:	max λ	1,194	[-]
Beiwert für maximalen Konzentrationsfaktor:	K'	0,928	[-]

$$K' = -\frac{c_{v,qh} + \frac{c_{h,qh}}{c_{h,qv}} \cdot c_{v,qh^*} \cdot K^*}{c_{v,qv} + c_{v,qh^*} \cdot K^*} \qquad (6.06b)$$

Verhältnis:	I/(A·rm²)	0,00004	[-]
Verhältnis 'I/(A·rm²)·κ~Q':	I/(A·rm²)·κ_Q	0,00004	[-]

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	[-]

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

$$\lambda_R = \frac{\max\lambda \cdot V_s + a' \cdot \frac{4 \cdot K_2 \cdot K'}{3} \cdot \frac{\max\lambda - 1}{a' - 0{,}25}}{V_s + a' \cdot \frac{3 + K_2 \cdot K'}{3} \cdot \frac{\max\lambda - 1}{a' - 0{,}25}} \quad (6.06a)$$

Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert: λ_R 0,865 [-]

$$\lambda_{RG} = \frac{\lambda_R - 1}{3} \cdot \frac{b}{d_a} + \frac{4 - \lambda_R}{3} \quad (6.21a)$$

Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss: λ_{RG} 0,897 [-]

$$\lambda_{fo} = 4 - 0{,}15 \cdot h \quad (6.23a)$$

Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert: λ_{fo} 3,585 [-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert: λ_{fu} 0,617 [-]

$$\lambda_{RG} = \lambda_{RG}$$

Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert: λ_{RG} 0,897 [-]

$$\lambda_B = \frac{4 - \lambda_R}{3} \quad (6.07)$$

Konzentrationsfaktor Boden: λ_B 1,045 [-]

1.2.3.10 Druckverteilung am Rohrumfang

$$q_v = \lambda_{RG} \cdot P_E + P_V \quad (6.24)$$

Vertikale Gesamtlast: q_v 103,63 kN/m²

$$q_h = K_2 \cdot \left(\lambda_B \cdot p_E + \gamma_B \cdot \frac{d_a}{2} \right) \quad (7.01)$$

Seitendruck: q_h 37,79 kN/m²

$$q^*_h = \frac{c_{h,qv} \cdot q_v + c_{h,qh} \cdot q_h}{V_{RB} - c_{h,qh}^*} \quad (7.02a)$$

Bettungsreaktionsdruck (Erdlasten): q^*_h 64,57 kN/m²

$$q^*_{hw} = \frac{c_{hw} \cdot q_w}{V_{RB} - c_{h,qh}^*} \quad (7.02b)$$

Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung): q^*_{hw} 4,69 kN/m²

1.2.4 Zwischenergebnisse bei maximalem Grundwasser

1.2.4.1 Silotheorie

Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie): κ 1,000 [-]
Erdlastbeiwert κ0 für Flächenlast (Silotheorie): κ_0 1,000 [-]
κ0 und κ wurden zu 1 gesetzt, da E1 größer E3 ist.

1.2.4.2 Belastung

Grundwasserstand über Scheitel: $h_{W,Scheitel}$ 1,62 m
Wichte Verfüllung unter Wasser: γ' 11,00 kN/m³

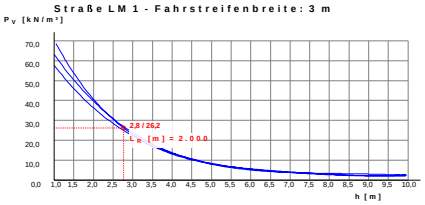
$$P_{Erd} = \kappa \cdot \left(\left(h - h_{W,Scheitel} \right) \cdot \gamma_B + h_{W,Scheitel} \cdot \gamma' \right) \quad (5.01)$$

Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast: P_{Erd} 40,29 kN/m²

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

$P_E = P_{Erd} + \kappa_0 \cdot p_0$ (5.01 + 5.02)

Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast: P_E 65,29 kN/m²



Faktor für Abweichung von Diagrammen/Formeln:	$f_{\alpha,Qi}$	1,25	[-]
Spannung aufgrund Verkehrslast:	P_V	32,78	kN/m²
Enthaltener Stoßfaktor:	ϕ	1,20	[-]

1.2.4.3 Boden-Verformungsmoduln EB

E-Modul Verfüllung unter Last: $E_{1,\sigma}$ 16,00 N/mm²

$$E_{3,\sigma} = \frac{40}{3} \cdot e^{-0,188(100 - D_{Pr})}$$ 3.01

E-Modul anstehender Boden: $E_{3,\sigma}$ 2,96 N/mm²

$E_{2,\sigma} = f_1 \cdot f_2 \cdot \alpha_B \cdot E_{20,\sigma}$ (6.02)

E-Modul Einbettung (abgemindert):	$E_{2,\sigma}$	14,75	N/mm²
E-Modul Einbettung unter Last:	$E_{20,\sigma}$	16,00	N/mm²
Reduktionsfaktor für das Kriechen:	f_1	1,000	[-]
Verdichtungsgrad aus Tabelle 8:	$D_{pr,E20}$	0,95	[-]

$$f_2 = \frac{D_{pr,E20} - 0,75}{0,20}$$ (6.01)

Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):	f_2	1,000	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Diagramm 5):	α_{B0}	0,667	[-]

$$\alpha_B = 1 - \left(4 - \frac{b}{d_a}\right) \cdot \frac{1 - \alpha_{B0}}{3}$$ (6.03)

Abminderungsfaktor E20 (enger Graben): α_B 0,922 [-]

$E_{2,\sigma} = f_1 \cdot f_2 \cdot \alpha_B \cdot E_{20,\sigma}$ (6.02)

E-Modul Einbettung (abgemindert): $E_{2,\sigma}$ 14,75 N/mm²

$$E_{4,\sigma} = \frac{40}{1} \cdot e^{-0,188(100 - D_{Pr})}$$ 3.01

E-Modul Boden unter dem Rohr: $E_{4,\sigma}$ 15,63 N/mm²

1.2.4.4 Bodensteifigkeiten

$$\Delta_f = \frac{\frac{b}{d_a} - 1}{0,982 + 0,283 \cdot \left(\frac{b}{d_a} - 1\right)} \leq 1,667$$ Korrektur (6.18)

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit: Δ_f 1,407 [-]

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

$$\zeta = \frac{1{,}667}{\Delta_f + \left(1{,}667 - \Delta_f\right) \cdot \frac{E_{2,\sigma}}{E_{3,\sigma}}} \qquad (6.17)$$

Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	0,617	[-]

$$S_{Bh} = 0{,}60 \cdot \zeta \cdot E_{2,\sigma} \qquad (6.16)$$

Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	5,459	N/mm²

$$S_{Bv} = \frac{E_{2,\sigma}}{a} \qquad (6.12)$$

Vertikale Bettungssteifigkeit:	S_{Bv}	14,747	N/mm²

1.2.4.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:	2α	120	°

$$t_r = r_a - \cos(2\alpha/2) \cdot r_a$$

Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:	t_r	0,305	m
Berechnete Ausladung:	a	1,00	[-]

$$a' = a \cdot \frac{E_1}{E_2} \geq 0{,}26 \qquad (6.05)$$

Wirksame Ausladung:	a'	1,085	[-]
Innerer Reibungswinkel:	φ'	25,000	°
Wandreibungswinkel:	δ	16,667	°

1.2.4.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

Elastizitätsmodul in Ringrichtung:	$E_{R,rad}$	210.000,0	N/mm²
Radiale Biegezugfestigkeit:	$f_{t,fl}$	235,0	N/mm²
Radiale Biegedruckfestigkeit:	$f_{c,rad}$	235,0	N/mm²
Rohrsteifigkeit:	S_R	155.309	N/m²

$$S_R = \frac{E_R \cdot I}{r_m^3} \qquad (6.10a)$$

1.2.4.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet:	$V_{RB,w}$	0,0285	[-]

$$V_{RB,w} = \frac{S_R}{S_{Bh}} = \frac{8 \cdot S_0}{S_{Bh}} \qquad (6.15)$$

Steifigkeitsverhältnis:	V_S	0,3657	[-]

$$V_S = \frac{S_R}{|c_v^*| \cdot S_{Bv}} \qquad (6.08a)$$

Beiwert für die vertikale Verformung:	c_v^*	-0,029	[-]

1.2.4.8 Beiwerte

Erdruckbeiwert (Einbettung):	K_2	0,400	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck:	K*	0,945	[-]

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

$$K^* = \frac{c'_h}{V_{RB} - c_{h,qh^*}} \qquad (6.14)$$

Resultierender Verformungsbeiwert:	c'_h	0,0891	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	c'_{h,qh^*}	-0,0658	[-]
Beiwert für die vertikale Verformung:	c_v^*	-0,029	[-]

$$c_v^* = c_{v,qv} + c_{v,qh^*} \cdot K^* \qquad (6.13)$$

1.2.4.9 Konzentrationsfaktoren λR und λB

$$\max \lambda = 1 + \frac{\frac{h}{d_a}}{\frac{3,5}{a'} + \frac{2,2}{\frac{E_4}{E_1} \cdot (a' - 0,25)} + \left[\frac{0,62}{a'} + \frac{1,6}{\frac{E_4}{E_1} \cdot (a' - 0,25)}\right] \cdot \frac{h}{d_a}} \qquad (6.04)$$

Maximaler Konzentrationsfaktor:	max λ	1,194	[-]
Beiwert für maximalen Konzentrationsfaktor:	K'	0,928	[-]

$$K' = -\frac{c_{v,qh} + \frac{c_{h,qh}}{c_{h,qv}} \cdot c_{v,qh^*} \cdot K^*}{c_{v,qv} + c_{v,qh^*} \cdot K^*} \qquad (6.06b)$$

Verhältnis:	l/(A·rm²)	0,00004	[-]
Verhältnis 'l/(A·rm²)·κ~Q':	l/(A·rm²)·κQ	0,00004	[-]

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	[-]

$$\lambda_R = \frac{\max \lambda \cdot V_s + a' \cdot \frac{4 \cdot K_2 \cdot K'}{3} \cdot \frac{\max \lambda - 1}{a' - 0,25}}{V_s + a' \cdot \frac{3 + K_2 \cdot K'}{3} \cdot \frac{\max \lambda - 1}{a' - 0,25}} \qquad (6.06a)$$

Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert:	λ_R	0,865	[-]

$$\lambda_{RG} = \frac{\lambda_R - 1}{3} \cdot \frac{b}{d_a} + \frac{4 - \lambda_R}{3} \qquad (6.21a)$$

Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss:	λ_{RG}	0,897	[-]

$$\lambda_{fo} = 4 - 0,15 \cdot h \qquad (6.23a)$$

Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert:	λ_{fo}	3,585	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert:	λ_{fu}	0,617	[-]

$$\lambda_{RG} = \lambda_{RG}$$

Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert:	λ_{RG}	0,897	[-]

$$\lambda_B = \frac{4 - \lambda_R}{3} \qquad (6.07)$$

Konzentrationsfaktor Boden:	λ_B	1,045	[-]

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

1.2.4.10 Druckverteilung am Rohrumfang

$$q_v = \lambda_{RG} \cdot P_E + P_V \qquad (6.24)$$

Vertikale Gesamtlast: q_v 91,32 kN/m²

$$q_h = K_2 \cdot \left(\lambda_B \cdot p_E + \gamma_B \cdot \frac{d_a}{2} \right) \qquad (7.01)$$

Seitendruck: q_h 29,97 kN/m²

$$q^*_h = \frac{c_{h,qv} \cdot q_v + c_{h,qh} \cdot q_h}{V_{RB} - c_{h,qh}^*} \qquad (7.02a)$$

Bettungsreaktionsdruck (Erdlasten): q^*_h 59,84 kN/m²

$$q^*_{hw} = \frac{c_{hw} \cdot q_w}{V_{RB} - c_{h,qh}^*} \qquad (7.02b)$$

Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung): q^*_{hw} 4,69 kN/m²

1.2.5 Schnittkräfte

1.2.5.1 Schnittkräfte bei minimalem Grundwasser, Langzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente): r 1,000 [-]

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	603,75	603,75	603,75	mm
	m_{qv}	0,261	-0,265	0,275	[-]
	m_{qh}	-0,250	0,250	-0,250	[-]
	m_{qh}^*	-0,181	0,208	-0,181	[-]
	m_g	0,381	-0,440	0,520	[-]
	m_w	0,190	-0,220	0,260	[-]

$$M_{qv} = m_{qv} \cdot q_v \cdot r_m^2 \cdot r \qquad (8.01)$$

Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung M_{qv} 9,859 -10,010 10,388 kNm/m

$$M_{qh} = m_{qh} \cdot q_h \cdot r_m^2 \cdot r \qquad (8.03)$$

Moment aufgrund Seitendruck M_{qh} -3,443 3,443 -3,443 kNm/m

$$M^*_{qh} = m_{qh}^* \cdot q^*_h \cdot r_m^2 \cdot r \qquad (8.05a)$$

Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck M^*_{qh} -4,260 4,896 -4,260 kNm/m

$$M^*_{qw} = m_{qh}^* \cdot q^*_{hw} \cdot r_m^2 \cdot r \qquad (8.05b)$$

Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung) M^*_{qw} -0,309 0,356 -0,309 kNm/m

$$M_g = m_g \cdot \gamma_R \cdot A_{rad} \cdot r_m^2 \cdot r \qquad (8.07)$$

Moment aufgrund Eigengewicht M_g 0,136 -0,157 0,186 kNm/m

$$M_w = m_w \cdot \gamma_F \cdot r_m^3 \cdot r \qquad (8.09)$$

Moment aufgrund Wasserfüllung M_w 0,418 -0,484 0,572 kNm/m

Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck M_{pw} 0,005 0,005 0,005 kNm/m

$$\Sigma M = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh} + M^*_{qw} + M_g + M_w + M_{pw}$$

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

Summe der Momente	ΣM	2,406	-1,952	3,138	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
$\Sigma M_{sonst} = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh} + M^*_{qw} + M_g + M_w + M_{pa1}$					
Summe ohne Innen-/Außendruck	ΣM_{sonst}	2,401	-1,957	3,133	kNm/m
$\Sigma M' = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh} + M_g$					
Summe ohne Wasserfüllung und Druck	$\Sigma M'$	2,292	-1,829	2,870	kNm/m
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	603,75	603,75	603,75	mm
	n_{pv}	0,027	-1,000	-0,027	[-]
	n_{qh}	-1,000	0,000	-1,000	[-]
	n_{qh}^*	-0,577	0,000	-0,577	[-]
	n_{qh}^*	-0,577	0,000	-0,577	[-]
	n_g	0,250	-1,571	-0,250	[-]
	n_w	0,625	0,215	1,375	[-]
	n_{pa}	-0,625	-0,215	-1,375	[-]
$N_{qv} = n_{pv} \cdot q_v \cdot r_m$					(8.02)
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	1,689	-62,567	-1,689	kN/m
$N_{qh} = n_{qh} \cdot q_h \cdot r_m$					(8.04)
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-22,814	0,000	-22,814	kN/m
$N^*_{qh} = n_{qh}^* \cdot q^*_h \cdot r_m$					(8.06a)
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	-22,494	0,000	-22,494	kN/m
$N^*_{qw} = n_{qh}^* \cdot q^*_{hw} \cdot r_m$					(8.06b)
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	N^*_{qw}	-1,634	0,000	-1,634	kN/m
$N_g = n_g \cdot \gamma_R \cdot A_{rad} \cdot r_m$					(8.08)
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,148	-0,931	-0,148	kN/m
$N_w = n_w \cdot \gamma_F \cdot r_m^2$					(8.10)
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	2,278	0,784	5,012	kN/m
$N_{pw} = P_i \cdot r_i - 10.000 \cdot h_W \cdot r_a$					(8.12)
Normalkraft aufgrund Wasserdruck|Innendruck	N_{pw}	239,000	239,000	239,000	kN/m
$\Sigma N = N_{qv} + N_{qh} + N^*_{qh} + N^*_{qw} + N_g + N_w + N_{pw}$					
Summe der Normalkräfte	ΣN	196,174	176,286	195,233	kN/m
Normalkraft aufgrund GW bis Scheitel	N_{pa1}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Innendruck	N_{pi}	239,000	239,000	239,000	kN/m
$\Sigma N_{sonst} = N_{qv} + N_{qh} + N^*_{qh} + N^*_{qw} + N_g + N_w + N_{pa1}$					
Summe ohne Innen-/Außendruck	ΣN_{sonst}	-42,826	-62,714	-43,767	kN/m

1.2.5.2 Schnittkräfte bei maximalem Grundwasser, Langzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente): r 1,000 [-]

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	603,75	603,75	603,75	mm
	m_{qv}	0,261	-0,265	0,275	[-]
	m_{qh}	-0,250	0,250	-0,250	[-]
	m_{qh}^*	-0,181	0,208	-0,181	[-]
	m_g	0,381	-0,440	0,520	[-]
	m_w	0,190	-0,220	0,260	[-]

$M_{qv} = m_{qv} \cdot q_v \cdot r_m^2 \cdot r$ (8.01)

Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	8,688	-8,821	9,154	kNm/m

$M_{qh} = m_{qh} \cdot q_h \cdot r_m^2 \cdot r$ (8.03)

Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-2,732	2,732	-2,732	kNm/m

$M^*_{qh} = m_{qh}^* \cdot q^*_h \cdot r_m^2 \cdot r$ (8.05a)

Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	-3,948	4,537	-3,948	kNm/m

$M^*_{qw} = m_{qh}^* \cdot q^*_{hw} \cdot r_m^2 \cdot r$ (8.05b)

Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	M^*_{qw}	-0,309	0,356	-0,309	kNm/m

$M_g = m_g \cdot \gamma_R \cdot A_{rad} \cdot r_m^2 \cdot r$ (8.07)

Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,136	-0,157	0,186	kNm/m

$M_w = m_w \cdot \gamma_F \cdot r_m^3 \cdot r$ (8.09)

Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,418	-0,484	0,572	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	0,005	0,005	0,005	kNm/m

$\Sigma M = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh} + M^*_{qw} + M_g + M_w + M_{pw}$

Summe der Momente	ΣM	2,258	-1,834	2,928	kNm/m
Moment aufgrund GW bis Scheitel	M_{pa1}	-0,418	0,484	-0,572	kNm/m
Moment aufgrund Innendruck	M_{pi}	0,005	0,005	0,005	kNm/m

$\Sigma M_{sonst} = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh} + M^*_{qw} + M_g + M_w + M_{pa1}$

Summe ohne Innen-/Außendruck	ΣM_{sonst}	1,835	-1,355	2,351	kNm/m

$\Sigma M' = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh} + M_g$

Summe ohne Wasserfüllung und Druck	$\Sigma M'$	2,145	-1,710	2,661	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	603,75	603,75	603,75	mm
	n_{pv}	0,027	-1,000	-0,027	[-]
	n_{qh}	-1,000	0,000	-1,000	[-]
	n_{qh}^*	-0,577	0,000	-0,577	[-]
	n_{qh}^*	-0,577	0,000	-0,577	[-]
	n_g	0,250	-1,571	-0,250	[-]
	n_w	0,625	0,215	1,375	[-]
	n_{pa}	-0,625	-0,215	-1,375	[-]

$N_{qv} = n_{pv} \cdot q_v \cdot r_m$ (8.02)

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	1,489	-55,135	-1,489	kN/m
$N_{qh} = n_{qh} \cdot q_h \cdot r_m$					(8.04)
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-18,097	0,000	-18,097	kN/m
$N^*_{qh} = n_{qh}{}^* \cdot q^*_h \cdot r_m$					(8.06a)
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	-20,846	0,000	-20,846	kN/m
$N^*_{qw} = n_{qh}{}^* \cdot q^*_{hw} \cdot r_m$					(8.06b)
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	N^*_{qw}	-1,634	0,000	-1,634	kN/m
$N_g = n_g \cdot \gamma_R \cdot A_{rad} \cdot r_m$					(8.08)
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,148	-0,931	-0,148	kN/m
$N_w = n_w \cdot \gamma_F \cdot r_m{}^2$					(8.10)
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	2,278	0,784	5,012	kN/m
$N_{pw} = P_i \cdot r_i - 10.000 \cdot h_W \cdot r_a$					(8.12)
Normalkraft aufgrund WasserdruckIInnendruck	N_{pw}	221,554	221,554	221,554	kN/m
$\Sigma N = N_{qv} + N_{qh} + N^*_{qh} + N^*_{qw} + N_g + N_w + N_{pw}$					
Summe der Normalkräfte	ΣN	184,892	166,272	184,352	kN/m
Normalkraft aufgrund GW bis Scheitel	N_{pa1}	-2,278	-0,784	-5,012	kN/m
Normalkraft aufgrund Innendruck	N_{pi}	239,000	239,000	239,000	kN/m
$\Sigma N_{sonst} = N_{qv} + N_{qh} + N^*_{qh} + N^*_{qw} + N_g + N_w + N_{pa1}$					
Summe ohne Innen-/Außendruck	ΣN_{sonst}	-38,940	-56,066	-42,214	kN/m

1.2.6 Nachweise Langzeit

1.2.6.1 Spannungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

Grundlage für die Berechnung bildet die Veröffentlichung 'Netzer, W. & Pattis, O.: Überlagerung von Innen- und Außenbelastung erdverlegter Rohrleitungen (Rechnerische Untersuchungen bei Anwendung der Theorie II. Ordnung)', 3R international (2/1989) S. 96-105. Dort sind jedoch einige Druckfehler enthalten, die durch die Veröffentlichung 'Reese, K. & Wallmann U.: Anmerkungen zur 3. Auflage des ATV-DVWK-A 127 und der statischen Berechnung von erdverlegten Druckrohre', 3R international (9/2001) S. 575ff, korregiert wurden.

$$Z = \frac{f_{t,fl}}{E_{R,rad}} \cdot \frac{r_m{}^2}{A_{rad}}$$

Spannungsüberlagerungsbeiwert:	Z	2,61	[-]

$$\eta = \frac{1 - K_2}{V_S}$$

Verformungsverhältnis:	η	1,64	[-]
Systemsteifigkeit, gewichtet:	$V_{RB,w}$	0,0285	[-]

Das Druckrohr wird in Klasse 2 eingestuft, da (VRB < 0,1 oder η < 0,1) und Z < 4. In diese Klasse sollen jene Druckrohre fallen, bei denen zwar ein Rerounding-Effekt eintritt, die resultierende Spannung (σres) jedoch noch größer ist jede der beiden Einzelspannungen σab bzw. σid.

Resultierender Innendruck (pI - pW):	$p_{I,res}$	4,00	bar

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:			erf γ_{RBZ}	1,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:			erf γ_{RBD}	1,50	[-]
Innen:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aus Außenbelastung	σ_a	89,391	-80,689	117,642	N/mm²
Radiale Biegezugfestigkeit	$\bar{f}_{t,fl}$	235,0	235,0	235,0	N/mm²
Sicherheitsbeiwert Außenbelastung, Biegezug:	$\gamma_{BZ,a}$	2,629	---	1,998	[-]
Sicherheitsbeiwert Außenbelastung, Biegedruck:	$\gamma_{BD,a}$	---	2,912	---	[-]

$$\sigma_i = \frac{p_{I,res} \cdot r_m}{A_{rad}}$$

Spannung aus Innendruck	σ_i	19,320	19,320	19,320	N/mm²
Ringzugfestigkeit	f_t	235,0	235,0	235,0	N/mm²
Sicherheitsbeiwert Innendruck	γ_i	12,164	12,164	12,164	[-]
Abminderungsfaktor nach Netzer/Pattis	n	0,644	0,630	0,697	[-]

$\sigma_a+\sigma_i = \sigma_a + \sigma_i$

Spannung Summe	$\sigma_a+\sigma_i$	108,711	-61,369	136,962	N/mm²

$$\gamma_{BZ,res} = \frac{1}{n \cdot \frac{1}{\gamma_a} + n \cdot \frac{1}{\gamma_i}}$$

Sicherheitsbeiwert Überlagerungsrechnung, Biegezug:	$\gamma_{BZ,res}$	3,356	---	2,462	[-]

$$\gamma_{BD,res} = \frac{-1}{n \cdot \frac{\sigma_a+\sigma_i}{\bar{f}_{c,rad}}}$$

Sicherheitsbeiwert Überlagerungsrechnung, Biegedruck:	$\gamma_{BD,res}$	---	6,080	---	[-]
Außen:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aus Außenbelastung	σ_a	-94,971	69,617	-122,985	N/mm²
Radiale Biegedruckfestigkeit	$\bar{f}_{c,rad}$	235,0	235,0	235,0	N/mm²
Sicherheitsbeiwert Außenbelastung, Biegezug:	$\gamma_{BZ,a}$	---	3,376	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Außenbelastung, Biegedruck:	$\gamma_{BD,a}$	2,474	---	1,911	[-]

$$\sigma_i = \frac{p_{I,res} \cdot r_m}{A_{rad}}$$

Spannung aus Innendruck	σ_i	19,320	19,320	19,320	N/mm²
Ringzugfestigkeit	f_t	235,0	235,0	235,0	N/mm²
Sicherheitsbeiwert Innendruck	γ_i	12,164	12,164	12,164	[-]
Abminderungsfaktor nach Netzer/Pattis	n	0,652	0,607	0,706	[-]

$\sigma_a+\sigma_i = \sigma_a + \sigma_i$

Spannung Summe	$\sigma_a+\sigma_i$	-75,651	88,937	-103,665	N/mm²

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

$$\gamma_{BZ,res} = \frac{1}{n \cdot \frac{\sigma_a + \sigma_i}{f_{c,rad}}}$$

Sicherheitsbeiwert Überlagerungsrechnung, Biegezug:	$\gamma_{BZ,res}$	---	4,356	---	[-]

$$\gamma_{BD,res} = \frac{-1}{n \cdot \frac{1}{\gamma_a} + n \cdot \frac{1}{\gamma_i}}$$

Sicherheitsbeiwert Überlagerungsrechnung, Biegedruck:	$\gamma_{BD,res}$	4,766	---	3,213	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

1.2.6.2 Spannungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

Grundlage für die Berechnung bildet die Veröffentlichung 'Netzer, W. & Pattis, O.: Überlagerung von Innen- und Außenbelastung erdverlegter Rohrleitungen (Rechnerische Untersuchungen bei Anwendung der Theorie II. Ordnung)', 3R international (2/1989) S. 96-105. Dort sind jedoch einige Druckfehler enthalten, die durch die Veröffentlichung 'Reese, K. & Wallmann U.: Anmerkungen zur 3. Auflage des ATV-DVWK-A 127 und der statischen Berechnung von erdverlegten Druckrohre', 3R international (9/2001) S. 575ff, korregiert wurden.

$$Z = \frac{f_{t,fl}}{E_{R,rad}} \cdot \frac{r_m^{\,2}}{A_{rad}}$$

Spannungsüberlagerungsbeiwert:	Z	2,61	[-]

$$\eta = \frac{1 - K_2}{V_S}$$

Verformungsverhältnis:	η	1,64	[-]
Systemsteifigkeit, gewichtet:	$V_{RB,w}$	0,0285	[-]

Das Druckrohr wird in Klasse 2 eingestuft, da (VRB < 0,1 oder η < 0,1) und Z < 4. In diese Klasse sollen jene Druckrohre fallen, bei denen zwar ein Rerounding-Effekt eintritt, die resultierende Spannung (σres) jedoch noch größer ist jede der beiden Einzelspannungen σab bzw. σid.

Resultierender Innendruck (pI - pW):	$p_{I,res}$	3,84	bar
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:	erf γ_{RBZ}	1,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf γ_{RBD}	1,50	[-]

Innen:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aus Außenbelastung	σ_a	67,852	-56,861	87,531	N/mm²
Radiale Biegezugfestigkeit	$f_{t,fl}$	235,0	235,0	235,0	N/mm²
Sicherheitsbeiwert Außenbelastung, Biegezug:	$\gamma_{BZ,a}$	3,463	---	2,685	[-]
Sicherheitsbeiwert Außenbelastung, Biegedruck:	$\gamma_{BD,a}$	---	4,133	---	[-]

$$\sigma_i = \frac{p_{I,res} \cdot r_m}{A_{rad}}$$

Spannung aus Innendruck	σ_i	18,540	18,540	18,540	N/mm²
Ringzugfestigkeit	f_t	235,0	235,0	235,0	N/mm²
Sicherheitsbeiwert Innendruck	γ_i	12,675	12,675	12,675	[-]
Abminderungsfaktor nach Netzer/Pattis	n	0,609	0,577	0,647	[-]

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

$\sigma_a+\sigma_i = \sigma_a + \sigma_i$

Spannung Summe	$\sigma_a+\sigma_i$	86,392	-38,321	106,071	N/mm²

$$\gamma_{BZ,res} = \frac{1}{n \cdot \frac{1}{\gamma_a} + n \cdot \frac{1}{\gamma_i}}$$

Sicherheitsbeiwert Überlagerungsrechnung, Biegezug:	$\gamma_{BZ,res}$	4,466	---	3,426	[-]

$$\gamma_{BD,res} = \frac{-1}{n \cdot \frac{\sigma_a+\sigma_i}{f_{c,rad}}}$$

Sicherheitsbeiwert Überlagerungsrechnung, Biegedruck:	$\gamma_{BD,res}$	---	10,631	---	[-]

Außen:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aus Außenbelastung	σ_a	-73,110	47,172	-93,039	N/mm²
Radiale Biegedruckfestigkeit	$f_{c,rad}$	235,0	235,0	235,0	N/mm²
Sicherheitsbeiwert Außenbelastung, Biegezug:	$\gamma_{BZ,a}$	---	4,982	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Außenbelastung, Biegedruck:	$\gamma_{BD,a}$	3,214	---	2,526	[-]

$$\sigma_i = \frac{p_{I,res} \cdot r_m}{A_{rad}}$$

Spannung aus Innendruck	σ_i	18,540	18,540	18,540	N/mm²
Ringzugfestigkeit	f_t	235,0	235,0	235,0	N/mm²
Sicherheitsbeiwert Innendruck	γ_i	12,675	12,675	12,675	[-]
Abminderungsfaktor nach Netzer/Pattis	n	0,621	0,536	0,655	[-]

$\sigma_a+\sigma_i = \sigma_a + \sigma_i$

Spannung Summe	$\sigma_a+\sigma_i$	-54,570	65,712	-74,500	N/mm²

$$\gamma_{BZ,res} = \frac{1}{n \cdot \frac{\sigma_a+\sigma_i}{f_{c,rad}}}$$

Sicherheitsbeiwert Überlagerungsrechnung, Biegezug:	$\gamma_{BZ,res}$	---	6,673	---	[-]

$$\gamma_{BD,res} = \frac{-1}{n \cdot \frac{1}{\gamma_a} + n \cdot \frac{1}{\gamma_i}}$$

Sicherheitsbeiwert Überlagerungsrechnung, Biegedruck:	$\gamma_{BD,res}$	6,933	---	4,817	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

1.2.6.3 Verformungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

Rechenmodus:		linear	
Verhältnis:	l/(A·rm²)	0,00004	[-]
Verhältnis 'l/(A·rm²)·κ~Q':	l/(A·rm²)·κQ	0,00004	[-]

q_v	q_h	q_h^*

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

Verformungsbeiwert für Biegemomente	c_v	-0,0893	0,0833	0,0640	[-]

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

Resultierender Verformungsbeiwert	c'_v	-0,0893	0,0833	0,0640	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_h	0,0891	-0,0833	-0,0658	[-]

$$\Delta d_v = \frac{2 \cdot r_m}{8 S_0} \cdot (c_{v,qv} \cdot q_v + c_{v,qh} \cdot q_h + c_{v,qh^*} \cdot q_h^*) \quad (8.16a)$$

Vertikale Durchmesseränderung: Δd_v 15,35 mm

$$\Delta d_h = \frac{2 \cdot r_m}{8 S_0} \cdot (c_{h,qv} \cdot q_v + c_{h,qh} \cdot q_h + c_{h,qh^*} \cdot q_h^*) \quad (8.16b)$$

Horizontale Durchmesseränderung: Δd_h 14,28 mm

$$\delta_{v,B} = \frac{\Delta d_v}{2 \cdot r_m} \cdot 100 \text{ in \%} \quad (8.17)$$

Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):	$\delta_{v,B}$	1,27	%
Vorverformung (z. B. aus Fertigung, plastisch, Typ A):	$\delta_{v,A}$	1,00	%

$$\delta_{v,Ges} = \delta_{v,A} + \delta_{v,B}$$

Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):	$\delta_{v,Ges}$	2,27	%
Zulässige Verformung:	zul δ_v	6,00	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.6.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

Rechenmodus:	linear		
Verhältnis:	l/(A·rm²)	0,00004	[-]
Verhältnis 'l/(A·rm²)·κ~Q':	l/(A·rm²)·κ_Q	0,00004	[-]

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

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

Resultierender Verformungsbeiwert	c'_v	-0,0893	0,0833	0,0640	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_h	0,0891	-0,0833	-0,0658	[-]

$$\Delta d_v = \frac{2 \cdot r_m}{8 S_0} \cdot (c_{v,qv} \cdot q_v + c_{v,qh} \cdot q_h + c_{v,qh^*} \cdot q_h^*) \quad (8.16a)$$

Vertikale Durchmesseränderung: Δd_v 14,22 mm

$$\Delta d_h = \frac{2 \cdot r_m}{8 S_0} \cdot (c_{h,qv} \cdot q_v + c_{h,qh} \cdot q_h + c_{h,qh^*} \cdot q_h^*) \quad (8.16b)$$

Horizontale Durchmesseränderung: Δd_h 13,24 mm

$$\delta_{v,B} = \frac{\Delta d_v}{2 \cdot r_m} \cdot 100 \text{ in \%} \quad (8.17)$$

Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):	$\delta_{v,B}$	1,18	%
Vorverformung (z. B. aus Fertigung, plastisch, Typ A):	$\delta_{v,A}$	1,00	%

$$\delta_{v,Ges} = \delta_{v,A} + \delta_{v,B}$$

Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):	$\delta_{v,Ges}$	2,18	%
Zulässige Verformung:	zul δ_v	6,00	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

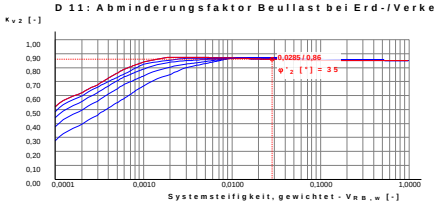
1.2.6.5 Nachweis Stabilität radial, linear (bei maximalem Grundwasser)

Erd- und Verkehrslasten

Rohrsteifigkeit:	$\bar{S}_R$	155.309	N/m²

$$S_{Bh} = 0{,}60 \cdot \zeta \cdot E_{2,\sigma} \qquad (6.16)$$

Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	5,459	N/mm²
Systemsteifigkeit, gewichtet:	$V_{RB,w}$	0,0285	[-]



Abminderungsfaktor Beullast bei Erd-/Verkehrslasten:	κ_{v2}	0,86	[-]
Reibungswinkel in der Leitungszone:	φ'_2	35,000	°

$$\text{krit } q_v = 2 \cdot \kappa_{v2} \cdot \bar{S}_R \cdot S_{Bh}^{0,50} \qquad (9.06a)$$

Kritische vertikale Gesamtlast:	krit q_v	1.584,6	kN/m²
Vertikale Gesamtlast:	q_v	91,32	kN/m²

$$\gamma_{qv} = \frac{\text{krit } q_v}{q_v} \qquad (9.07)$$

Beulsicherheitsbeiwert (vertikale Gesamtlast):	γ_{qv}	17,35	[-]

Wasserdruck + Unterdruck

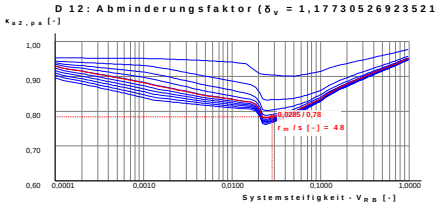
Äußerer Wasserdruck:	p_a	28,60	kN/m²
Unterdruck im Rohr:	p_I	0,00	kN/m²
Rohrsteifigkeit:	S_R	155.309	N/m²
Systemsteifigkeit:	V_{RB}	0,0285	[-]

$$r_m/s = \frac{r_m}{h}$$

Mittlerer Radius zu Wanddicke:	r_m/s	48,30	[-]
Abminderungsfaktor aufgrund lokaler Vorverformung für Durchschlaglast bei äußerem Wasserdruck:	$\kappa_{a1,pa}$	1,00	[-]
Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):	$\delta_{v,B}$	1,18	%

$$\delta_v = \delta_{v,B}$$

Vorverformung Gesamt:	δ_v	1,18	%

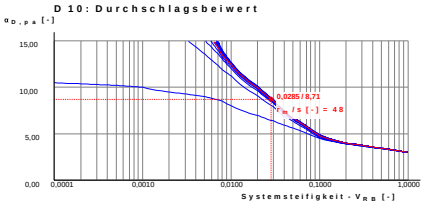


Abminderungsfaktor:	$\kappa_{a2,pa}$	0,78	[-]

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

$\kappa_{a,pa} = \kappa_{a1,pa} \cdot \kappa_{a2,pa}$ (9.09)

Abminderungsfaktor: $\kappa_{a,pa}$ 0,78 [-]



Durchschlagsbeiwert: $\alpha_{D,pa}$ 8,713 [-]

$\text{krit } p_a = \kappa_{a,pa} \cdot \alpha_{D,pa} \cdot S_R$ (9.08)

Kritischer Druck: krit p_a 1.060,699 kN/m²

$p_{a+I-} = p_a + p_{I-}$

Wasserdruck + Unterdruck im Rohr: p_{a+I-} 28,60 kN/m²

$$\gamma_{Stab,pa} = \frac{\text{krit } p_a}{p_{a+I-}}$$ (9.11)

Beulsicherheitsbeiwert Druck: $\gamma_{Stab,pa}$ 37,087 [-]

Superposition

$$\gamma_{Stab,rad} = \frac{1}{\frac{q_v}{\text{krit } q_v} + \frac{p_{a+I-}}{\text{krit } p_a}}$$ (9.12)

Sicherheit Stabilität, radial: $\gamma_{Stab,rad}$ 11,82 [-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität: erf γ_{stab} 2,50 [-]

Der Stabilitätsnachweis ist erbracht.

1.2.6.6 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei minimalem Grundwasser)

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

1.2.6.7 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei maximalem Grundwasser)

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

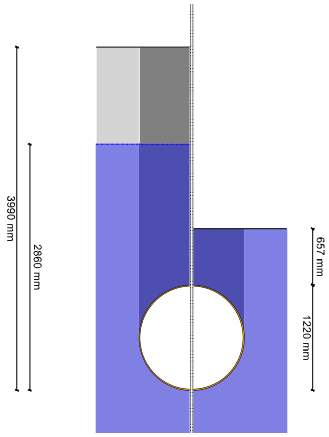
1.2.6.8 Nachweis der Sicherheit gegen Versagen bei nicht vorwiegend ruhender Belastung

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

1.2.7 Auftriebsnachweis

Der Auftriebsnachweis erfolgt für den tatsächlichen Grundwasserstand hW,max. Das Erdreich oberhalb des GW-Spiegels wird mit seiner Trockenwichte angesetzt.
Zusätzlich erfolgt die Betrachtung eines Starkregenereignisses bei nicht vollständig verfülltem Graben. Dabei wird eine erforderliche Überdeckungshöhe h'min über Rohrscheitel ermittelt, die das Erdreich mit seiner reduzierten Wichte unter Auftrieb berücksichtigt. Dadurch können z. B. geflutete Gräben im Fall eines Starkregenereignisses abgebildet werden.

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH



Äußerer Radius:	r_a	610,0	mm
$V = r_a^2 \cdot \pi$			
$V = V_A$			
Verdrängtes Volumen:	V	1,17	m³/m
$Q_r = V \cdot \gamma_w$			
Auftriebskraft:	Q_r	11,69	kN/m
Wichte des Bodens unter Auftrieb im Auftriebsnachweis:	$\gamma_{B',A}$	9,5	kN/m³
Wichte des Bodens im Auftriebsnachweis:	$\gamma_{B,A}$	19,5	kN/m³
Überdeckungshöhe:	h	2,77	m
Maximaler Grundwasserstand über Sohle:	$h_{W,max}$	2,86	m
$h_n = MIN(h_{W,max} ; MAX(0; h_{W,max} - D_a))$			
Höhe Boden unter Auftrieb:	h_n	1,64	m
$Q_{r1} = (h_n \cdot \gamma_{B',A} + (h - h_n) \cdot \gamma_{B,A}) \cdot D_a$			
Baugrund:	Q_{r1}	45,89	kN/m
$Q_{r1,d} = Q_{r1} \cdot \gamma_u$			
Baugrund, Design:	$Q_{r1,d}$	45,89	kN/m
Fläche Zwickel, trocken:	A_{FZ}	0,00	m²
$A_{FZ'} = \frac{2 \cdot r_a^2 - \pi \cdot r_a^2}{2}$			
Fläche Zwickel, nass:	$A_{FZ'}$	0,16	m²
$F_Z = A_{FZ'} \cdot \gamma_{B',A}$			
Kraft aus Auflast Zwickel:	F_Z	1,52	kN/m
Innerer Radius:	r_i	597,5	mm
Radiale Profilfläche:	A_{rad}	12,50	mm²/mm
Wichte des Rohrwerkstoffs:	γ_R	78,5	kN/m³

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

$$G_m = \gamma_R \cdot \pi \cdot \left(r_i + A_{rad}^{\ 2} - r_i^{\ 2} \right)$$

Eigenlast:	G_m	3,72	kN/m

$$Q_g = G_m + Q_{r1} + F_Z$$

Gegenkräfte:	Q_g	51,13	kN/m

$$Q_r = V \cdot \gamma_w$$

Auftriebskraft:	Q_r	11,69	kN/m

$$\gamma_A = \frac{Q_g}{Q_r}$$

Auftriebssicherheit:	γ_A	4,37	[-]
Auftriebssicherheit:	γ_{Aerf}	1,10	[-]
Verdrängtes Volumen Außendurchmesser (Annahme: Rohr vollständig unter Wasser):	V_A	1,17	m³/m
Kraft aus Auflast Zwickel (unter Auftrieb):	F_Z'	1,52	kN/m

$$h'_{min} = \frac{\gamma_{Aerf} \cdot V_A \cdot \gamma_w - G_m - F_Z'}{\gamma_B',_A \cdot 2 \cdot r_a}$$

Theoretisch ab Scheitel erforderliche Erdüberdeckung unter Auftrieb:	h'_{min}	0,66	m

Der Auftriebsnachweis ist erfüllt.

Alle notwendigen Nachweise sind erbracht.

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH

Pos. SB **Schlussblatt**

Schlussblatt

Diese Statische Berechnung wurde am 29.09.2025 aufgestellt.

gesehen: bearbeitet:



Dipl.-Ing. Thomas Grambow
Tragwerksplaner TP-0850-2013

Dipl.-Ing. J¿rgen Konrad

mb-Viewer Version 2025 - Copyright 2024 - mb AEC Software GmbH