

Prüfungsbericht PB Nr. 01

(Prüfstatik Rohrsanierung Bestandsrohr DN 1800 StB mit Fuß)

Bauherr: Stadtentwässerung Hannover

Auftraggeber:

Aufsichtsbehörde: Eisenbahn-Bundesamt, As. Hannover

Baumaßnahme: Kanalsanierung Burgweg – 3621031295 BA 1A
Strecke 1700/1710/1705/1702/1701, Bahn-km ca. 3,800
Bestandsrohr DN 1800 aus StB mit Fuß
Relining Rohr mittels Flowtite GfK OD 1720 PN1 SN 70.000
mit außenbündiger SE- Kupplung
Hier: Statische Prüfung Relining-Rohr

Tragwerksplaner:

Ersteller Rohrstatik: Amiblu Holding GmbH, Klagenfurt/Austria
und
Ingsoft GmbH, Nürnberg/Deutschland

Bauort: Haltenhoffstraße – Burgweg, Hannover

Prüfsachverständiger:

Prüfverzeichnis Nr.: 19/2025

1. Prüfunterlagen

1.1 Standsicherheitsnachweise

- 1.1.1 Statik-SN 25 096 001: Rohrstatistische Berechnungen für Relining-Flowtite GFK-Rohr, OD 1720 PN1, SN 70.000, Bestand StB DN 1800, Einbauzustand: Verdämmen, insgesamt 11 Seiten, erstellt von der Ingsoft GmbH Nürnberg, Stand: 29.07.2025
- 1.1.2 Statik-Nr.: 335-25-07-24, Rohrstatistische Berechnung für Relining-Flowtite GFK-Rohr, OD 1720 PN1, SN 70.000 EVL mit außenbündiger SE-Kupplung, Bestand DN 1800 StB – Rohr, insgesamt 43 Seiten mit Anhang, erstellt von der Amiblu Holding GmbH Klagenfurt, Stand: 24.07.2025

1.2 Konstruktionszeichnungen

-

2. Weitere Planungsunterlagen

- 2.1 Zeichn.-Nr. 30-0401-00 Querprofil Bahnkreuzung, erstellt von Pabsch Ingenieure GmbH, 31139 Hildesheim am 20.06.2025
- 2.2 Zeichn- Nr. 30-0201-00 Übersichtsplan Hannover Kanalsanierung, erstellt von Pabsch Ingenieure GmbH, 31139 Hildesheim am 20.06.2025
- 2.3 Zeichn- Nr. 30-0301-00 Längsschnitt Bahnkreuzung, erstellt von Pabsch Ingenieure GmbH, 31139 Hildesheim am 29.06.2028
- 2.4 Herstellerbezogene Produktqualifikation zur Fertigung von Produkten für Eisenbahntiefbaumaterial, Hersteller Amiblu Germany GmbH, Am Fuchsloch 19, 04720 Döbeln, Geltungsdauer der Qualifikation 29.06.2028, DB AG, Berlin 03.07.2025
- 2.5 Mail Pabsch Ingenieure GmbH, Herr Rasche, Unterlagen zu dem Projekt Kanalsanierung Nordstadtsammler 1. BA DN 1800 StB, 31139 Hildesheim vom 01.07.2025
- 2.6 Mail Pabsch Ingenieure GmbH, Herr Rasche, Baugrundgutachten zu dem Projekt Kanalsanierung Nordstadtsammler 1. BA DN 1800 StB, 31139 Hildesheim vom 01.07.2025
- 2.7 Mail Pabsch Ingenieure GmbH, Herr Bühmann, Längsschnitt DB Trasse zu dem Projekt Kanalsanierung Nordstadtsammler 1. BA DN 1800 StB, 31139 Hildesheim vom 16.07.2025
- 2.8 Geotechnische Untersuchungen, Projekt-Nr. 35362, Sanierung „Nordstadtsammler“-Hannover im Einzelrohr-Lining Verfahren, Abschnitt: Haltenhoffstr. -Burgweg (Unterquerung DB-Trasse], erstellt von Dr.Pelzer & Partner, Partnerschaft mbh, Lilly-Reich-str. 5, 31137 Hildesheim am 27.06.2025

3. Beschreibung des Prüfumfangs

3.1 Betriebsparameter der Bahnstrecke

DB-Strecke: 1700 bei km 3,800; 1701 bei km 3,823; 1702 bei km 3,812;
1705 bei km 3,81; 1710 bei km 3,79

Streckenklasse: D4

Oberbau: Schotteroberbau

Anzahl Gleise: durchgehend fünfgleisig, elektrifiziert

Fahrgeschwindigkeit: ≤ 200 km/h

3.2 Baumaßnahme

Von der Stadt Hannover ist zur Sanierung einer StB Haltung DN 1800 eine Bahnquerung im Bauabschnitt 1 A (Bahnstrecke 1700 Hannover-Hamm (Westf) bei km 3,800) geplant. Es ist vorgesehen, in ein bestehendes Altrrohr aus StB DN 1800 ein GFK Relining Rohr OD 1720 PN1 SN 70000 EVL mit außenbündiger SE – Kupplung einzuziehen und kraftschlüssig zu verdämmen.

3.3 Inhalt der geprüften Unterlagen

Die geprüften Unterlagen (Ziffer 1.1.1 und Ziffer 1.1.2) beinhalten die statischen Nachweise des Relining GFK Rohres OD 1720 sowohl für den Einbauzustand als auch im Betriebszustand, gemäß DWA-Regelwerk DWA A 143-2 und DWA A 127/ 127-1 unter Berücksichtigung der Verdämmung als auch der Einwirkungen aus Erdüberdeckung und Eisenbahnverkehrslast für die unter Ziffer 3.2 beschriebene Baumaßnahme.

4. Zugrundeliegende Normen und Vorschriften

- 4.1 Eisenbahnspezifische Technische Baubestimmungen (EiTB), Eisenbahn-Bundesamt, Ausgabe 2025/I
- 4.2 Ril 83601, Erdbauwerke und sonstige geotechnischen Bauwerke planen und instand halten, Stand 20.12.1999a mit der 1. bis 9. Aktualisierung (gültig ab 01.05.2025)
- 4.3 Ril 877: Gas- und Wasserleitungskreuzungsrichtlinien, 2022
- 4.4 DWA-A 127-1: Statische Berechnung von Entwässerungsanlagen-Teil 1: Grundlagen, Kapitel 5.5, Dezember 2022
- 4.5 DWA-A 127-10: Statische Berechnung von Entwässerungsanlagen-Teil 10 Werkstoffkennwerte, Tabelle 8, September 2020
- 4.6 DWA-Regelwerk Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127, 3. Auflage vom August 2000, „Statische Berechnung von Abwasserkanälen – und leitungen“

- 4.7 DWA-Regelwerk Arbeitsblatt DWA-A 143-2: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 2: Statische Berechnung zur Sanierung von Abwasserleitungen und Kanälen mit Lining- und Montageverfahren, Juli 2015

5. Berechnungsgrundlagen

5.1 Bodenkennwerte, Lagerungs- und Einbaubedingungen

Es liegt eine geotechnische Untersuchung im Bereich der Bestandsschutzrohre vor (Unterlage Ziffer 2.8). Danach ist für das Bestandsrohr die Bodenschicht B2 (fluviatile Kiessande, SW/GW) maßgebend. Der gemessene Grundwasserstand bei der Erkundung wird in Ziffer 2.8 zu ca. 50,9 m NN angegeben. Damit stand das Grundwasser bezogen auf die Rohrsohle ca. bei $h_{w, \text{Sohle}} = 50,9 - 47,14 \text{ m (ROK)} + 2,16 \text{ m (OD)} = 5,92 \text{ m an}$.

In der vorgelegten Rohrstatik wurden die folgenden Annahmen zum Baugrund getroffen:

Boden:	Lockergestein, fluviale Kiessande
Bodengruppe am und über Rohr:	G1, Kennwerte nach ATV A 127
Lagerungsdichte am Rohr:	Mitteldicht bis dicht, $D_{Pr} \geq 97\%$
Auflagerwinkel:	$2\alpha = 180^\circ$ (Regelfall)
$h_{w, \text{Sohle}}$:	0 bis 8 m

6. Bauprodukte / Rohrkenwerte

Bestandsrohr DN 1800 Ziffer 1.1.1

Rohrwerkstoff:	Stahlbeton DN 1800
Innendurchmesser:	$D_i = 1800 \text{ mm}$
Wanddicke:	$t = 180 \text{ mm}$
Rohrlänge:	$L = 2 \text{ m}$
Wichte:	$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$
E-Modul:	$E = 35000 \text{ N/mm}^2$
Ermüdungsfestigkeit, (Betonstahl):	$2\sigma_A = 33,8 \text{ N/mm}^2$ bei $N = 10^8$

Relining-Rohr Da 1720 nach Ziffer 1.1.1 und 1.1.2

Rohrwerkstoff:	Flowtite GFK Rohr OD 1720 PN 1 SN 70.000 EVL
Außendurchmesser:	$D_a = 1720 \text{ mm}$
Wanddicke:	$t = 59,2 \text{ mm}$
Rohrlänge:	$L = 3 \text{ m}$
Wichte:	$\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$

Querkontraktion:	$v = 0,3$
E-Modul:	
$E_{\text{rad}}(\text{Kurzzeit})$:	$E_{\text{rad,K}} = 18547 \text{ N/mm}^2$
$E_{\text{rad}}(\text{Langzeit})$:	$E_{\text{rad,L}} = 9273 \text{ N/mm}^2$
Rechenwert der Randfasergrenzdehnung (Kurzzeit):	$\epsilon_{\text{RK}} = 1,203 \%$
Rechenwert der Randfasergrenzdehnung (Langzeit):	$\epsilon_{\text{RL}} = 0,722 \%$
Ermüdungsfestigkeit:	$2\sigma_{\text{A}} = 49,7 \text{ N/mm}^2$ bei $N = 1 \times 10^8$

7. Einwirkungen

Im Betriebszustand:

Erdlast:	$h_0 = 6 \text{ m}$ und 13 m
Eisenbahnverkehrslast:	LM 71 mehrgleisig
Grundwasser:	0 bis 8 m bezogen auf der Rohrsohle

Im Einbauzustand:

Dämmerhöhe über GFK-Rohrscheitel:	$0,5 \text{ m}$
-----------------------------------	-----------------

8. Prüfbemerkungen

(**A** = Auflage; **F** = Feststellung; **H** = Hinweis; **E** = Empfehlung)

- 8.1** (**H**) Gegenstand der vorliegenden Prüfung ist die Rohrstatik unter Ziffer 1.1.1 nach DWA A 143-2 und Ziffer 1.1.2 nach DWA-127-1/ 127-10. Die Überprüfung der geplanten Bahnquerung nach Ril 836 und 877 ist nicht Gegenstand der Prüfbeauftragung.
- 8.2** (**H/F/A**) Für die Rohrstatik wurde nach dem Baugrundgutachten (Ziffer 2.8) die Bodenart G1 (nichtbindige Böden) mit einer mindestens mitteldichten Lagerung ($D_{\text{Pr}} \geq 97\%$) angenommen. Bei der Ausführung bzw. Herstellung sind die angenommenen Baugrundrandbedingungen durch Bauüberwacher zu überprüfen und zu dokumentieren. Bei ungünstigeren Baugrundbedingungen ist ggfs. die Rohrstatik anzupassen.
- 8.3** (**H**) Die unter Ziffer 6 aufgeführten Rohrgeometriewerte und Werkstoffkennwerte werden als zutreffend vorausgesetzt.

- 8.4** (H) Für die vorgesehene Relining-Rohr OD 1720 (Flowtite GFK, PN 1 SN 70.000 EVL) liegt eine Produktfreigabe HPQ der DB Netz vor (Ziffer 2.4).
- 8.5** (H) Die statischen Berechnungen unter Ziffer 1.1.1 und 1.1.2 wurden durch unabhängige Vergleichsberechnungen geprüft. Dabei wurden die Ein- und Ausgangswerte sowie die für die Beurteilung der Tragfähigkeit erforderlichen Endergebnisse kontrolliert. Die vorgelegte Statik kann bestätigt werden.
- 8.6** (H/E) Beim Verdämmen (Bauzustand) wurde eine Dämmerhöhe 0,5 m über GFK-Rohrscheitel der statischen Berechnung zu Grunde gelegt. Die Annahmen zur Verteilung in der Statik (Ziffer 1.1.1) sind bei der Ausführung einzuhalten. Es werden mindestens 4 Verdämmschritte empfohlen.
- 8.7** (A) Im Scheitel des GFK-Rohres ist ein Verpressschlauch einzubauen. Damit ist nach Abschluss der Verdämmung der Ringspalt zu verpressen.
- 8.8** (A) Die Lastannahmen gemäß Ziffer 7 sind auf der Baustelle von der Bauleitung verantwortlich auf Übereinstimmung mit den in-Situ-Bedingungen zu überprüfen. Bei ungünstigeren Abweichungen sind der aufstellende Statiker und der Prüfsachverständige zu informieren und die statische Berechnung den geänderten Lastenwirkungen anzupassen.

9. Prüfergebnis

Die vorgelegte Rohrstatik unter Ziffer 1.1.1 und 1.1.2 wurde durch unabhängige Vergleichsberechnungen geprüft. Aufgrund der Überprüfung wird bestätigt, dass die dargestellte Konstruktion des Relining-Rohrs OD 1720 in statischer und konstruktiver Hinsicht dem Stand der Technik entsprechen. Gegen die Ausführung und den Einbau bestehen unsererseits keine Bedenken, wenn die von uns überprüften Unterlagen zugrunde gelegt, die Prüfbemerkungen unter Ziffer 8 eingehalten, und die Grüneintragungen in der Ausführungsstatik bei der Ausführung entsprechend berücksichtigt bzw. beachtet werden.

10. Sonstige Bemerkungen

10.1 Stand der Prüfung:

Die Prüfung der Rohrstatik ist abgeschlossen.

Grundbauinstitut

Der Prüfsachverständige:

Mitwirkung:

Statische Berechnung

Bauvorhaben: Hannover Nordstadtsammler

Bauteil: Kanalsanierung mit Hilfe von verdämmten GFK-Rohren DN 1800
Hier: Berechnung des Einbauzustands - Verdämmen

Auftraggeber: Amiblu Germany GmbH
Gewerbepark 1
17039 Trollenhagen

Tragwerksplanung: IngSoft GmbH
Irrerstraße 17
90403 Nürnberg
+49 911 430 879 – 41
Vladimir.Lacmanovic@IngSoft.de

Statik-Nummer: SN 25 096 001

Aufgestellt am: 2025-07-29


i.A. 
IngSoft GmbH
Irrerstraße 17
90403 Nürnberg
Germany



Hinsichtlich Standsicherheit geprüft

Siehe Prüfbericht

MPA-GB 25600935 Nr. 01 vom 25.08.25

LGAB

Grundbau

Nürnberg, den 25.08.25

Der Bearbeiter

Prüfsachverständiger
für Standsicherheit



Inhalt

1	Unterlagen, Literatur	3
2	Vorbemerkungen	4
2.1	Rechenmodell und Belastung	4
2.2	Geometrie und Material	5
3	Zusammenstellung der Ergebnisse	6
3.1	LF 1: Verdämmen (Bauzustand) Dämmerhöhe 0,5 m über GFK-Rohrscheitel	6
3.1.1	Verformungsnachweis	6
3.1.2	Spannungsnachweis	6
3.1.3	Spannungsnachweis in Längsrichtung	6
3.1.4	Stabilitätsnachweis	6
4	Anmerkungen und Zusammenfassung	7
4.1	Anmerkungen	7
4.2	Zusammenfassung	7
5	Ergebnisse der FEM-Analyse	8
5.1	LF 1: Verdämmen (Bauzustand) Dämmerhöhe 0,5 m über GFK-Rohrscheitel	8



1 Unterlagen, Literatur

- 1.1 Arbeitsblatt DWA-A 143-2: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden; Juli 2015
- 1.2 ATV-M 127-2: Statische Berechnung zur Sanierung von Abwasserkanälen und -leitungen mit Lining- und Montageverfahren; Januar 2000
- 1.3 ATV-DVWK-A 127: Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen; 3. Auflage August 2000
- 1.4 E-Mail Schriftverkehr mit Herrn Dörfer, Amiblu
- 1.5 Femap, Users Manual
- 1.6 NX Nastran Users Manual



2 Vorbemerkungen

Geplant ist die Sanierung eines bestehenden Betondurchlasses DN 1800, siehe Abbildung 1, per Kurzrohr-Relining. Ziel der Bemessung ist der statische Nachweis der GFK-Rohre unter der Einwirkung von Dämmerdruck im Bauzustand nach aktuellem Regelwerk DWA-A 143-2. Die Grundlage für die durchgeführten Berechnungen bilden räumliche FE-Modelle, um die Positionierung der Verkeilungen abbilden zu können.

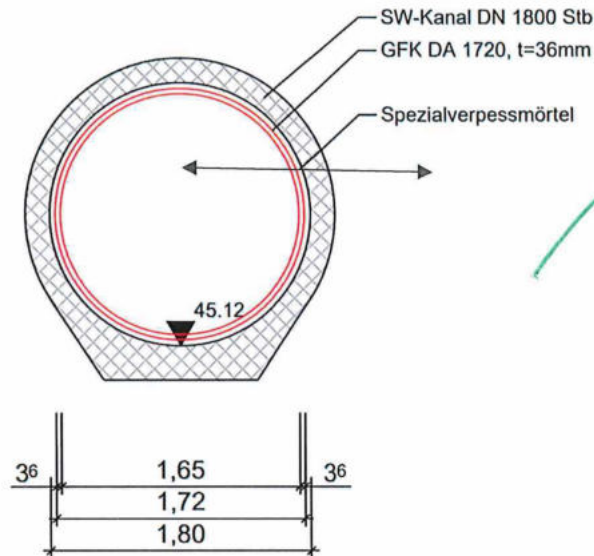


Abbildung 1: Skizze des Betonrohrs und des GFK-Rohrs, vom Auftraggeber bereitgestellte Unterlage

2.1 Rechenmodell und Belastung

Der Lastfall **Dämmerdruck** (Bauzustand) ist an dreidimensionalen FE-Modellen statisch nachgewiesen. Die räumliche Modellbildung wurde gewählt, um die lokale Anordnung der Verkeilungen zwischen Rohraußenwandung und Altröhreninnenwandung berücksichtigen zu können. In der Modellbildung ist ein Rohr mit einer Länge von 3,0 m abgebildet. Die Rohre sind mit Hilfe von vierknotigen Schalenelementen diskretisiert. Die Verkeilung ist mit Hilfe von achtknotigen Volumenelementen diskretisiert. Die Belastung durch Dämmerdruck ist als Flächenlast auf die Rohraußenwandung aufgebracht. Der Verdämmvorgang soll lagenweise erfolgen. Ein Verdämmschritt darf erst dann ausgeführt werden, wenn der im vorherigen Verdämmschritt eingebaute Dämmer ausreichend ausgehärtet ist, um als Rohrbettung zu dienen. Die Dämmerhöhe des letzten Verdämmschrittes beträgt 0,5 m über GFK-Rohrscheitel. Die Auflagerfläche in den Verkeilungspunkten ist ca. 15 x 15 cm. Weitere Verkeilungen zur Gewährleistung der Lagesicherheit sind ggf. konstruktiv anzuordnen. Es wird auf der sicheren Seite liegend nur der letzte Verdämmschritt untersucht.

Da es sich um flexible Bauteile handelt, liegt ein Stabilitätsproblem vor. Es erfolgen daher geometrisch nichtlineare Berechnungen, in deren Rahmen die Lasten iterativ bis zur Bemessungs- bzw. Charakteristische Last gesteigert werden.

Die Nachweisführung erfolgt unter Voraussetzung der Kurzzeitverhältnisse, da es sich um einen Bauzustand handelt.

Untersuchte Lastfälle (LF):

1. Verdämmen (Bauzustand) Dämmerhöhe 0,5 m über GFK-Rohrscheitel

Tragfähigkeit

Nach dem Teilsicherheitskonzept, das im DWA-A 143-2 eingeführt ist, sind die Materialeigenschaften, E-Moduln und Festigkeiten durch den Teilsicherheitsbeiwert γ_M der Widerstände dividiert und die Lasten mit entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerten γ_F der Einwirkungen multipliziert. Die Stabilitätsproblematik ist hier nach DWA-A 143-2 enthalten.

Gebrauchstauglichkeit

Für den Verformungsnachweis sind die charakteristischen Materialeigenschaften und die Gebrauchslast in der Berechnung angesetzt.



2.2 Geometrie und Material

Geometrie GFK-Rohr:	Außendurchmesser:	d_a	=	1.720 mm
	Tragende Wanddicke:	s	=	59,2 mm
	Nennsteifigkeit:	SN 70.000		

Materialparameter Charakteristisch

GFK-Rohr:	Langzeit-E-Modul:	E_L	=	9.273 N/mm ²
	Kurzzeit-E-Modul:	E_K	=	18.547 N/mm ²
	Langzeit-Festigkeit:	σ_{BL}	=	67 N/mm ²
	Kurzzeit -Festigkeit:	σ_{BK}	=	223 N/mm ²
	Längsfestigkeit Zug:	σ_{LZ}	=	23,2 N/mm ²
	Längsfestigkeit Druck:	σ_{LD}	>	23,2 N/mm ²

Querdehnzahl:	ν	=	0,25
Materialwichte:	γ	=	17 kN/m ³

Dämmwichte:	γ_{Di}	=	20 kN/m ³
-------------	---------------	---	----------------------

Teilsicherheitsbeiwerte:	<i>für Einwirkungen</i>		
	Ständige Lasten	$\gamma_{F,S}$	= 1,35
	Veränderliche Lasten	$\gamma_{F,V}$	= 1,50
	<i>für Materialwiderstände</i>		
	GFK-Rohr	γ_M	= 1,25

Um zu günstige Auswirkung der Teilsicherheitsbeiwerte zu berücksichtigen, sind auch Fälle untersucht in dem die Teilsicherheitsbeiwerte mit 1,0 angesetzt sind. Es werden nur die Berechnungen aus maßgebenden Lastkombinationen dokumentiert.

Materialparameter Bemessungswerte

GFK-Rohr:	Langzeit-E-Modul:	$E_{L,d}$	=	7.418 N/mm ²
	Kurzzeit-E-Modul:	$E_{K,d}$	=	14.838 N/mm ²
	Langzeit-Festigkeit:	$\sigma_{BL,d}$	=	54 N/mm ²
	Kurzzeit -Festigkeit:	$\sigma_{BK,d}$	=	186 N/mm ²
	Längsfestigkeit Zug:	$\sigma_{LZ,d}$	=	18,6 N/mm ²
	Längsfestigkeit Druck:	$\sigma_{LD,d}$	>	18,6 N/mm ²



3 Zusammenstellung der Ergebnisse

3.1 LF 1: Verdämmen (Bauzustand) Dämmerhöhe 0,5 m über GFK-Rohrscheitel

3.1.1 Verformungsnachweis

Aus Abbildung 7 ergibt sich infolge der Gebrauchslast die maximale horizontale Rohrdeformation zu

$$\Delta d_h = 0,327 \times 2 = 0,65 \text{ mm} \quad \Delta d_h = 0,04 \% \quad < \quad \text{zul } \Delta d = 2,0 \% \text{ und } 10 \text{ mm}$$

Aus Abbildung 8 ergibt sich infolge der Gebrauchslast die maximale vertikale Rohrdeformation zu

$$\Delta d_v = 0,737 - 0,015 = 0,72 \text{ mm} \quad \Delta d_v = 0,04 \% \quad < \quad \text{zul } \Delta d = 2,0 \% \text{ und } 10 \text{ mm}$$

Die zulässige Verformung ist nicht überschritten.

3.1.2 Spannungsnachweis

Die maximale Hauptzugspannung infolge Bemessungslast ergibt sich gemäß Abbildung 4 zu

$$\max \sigma_{Z,d} = 7,845 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{Z,d} / \sigma_{BL,d} = 7,845/186 = 0,04 \quad < \quad 1,0$$

Die maximale Hauptdruckspannung infolge Bemessungslast ergibt sich gemäß Abbildung 5 zu

$$\max \sigma_{D,d} = 14,909 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{D,d} / \sigma_{BL,d} = 14,909/186 = 0,08 \quad < \quad 1,0$$

Die erforderlichen Sicherheiten gegen Spannungsversagen sind somit eingehalten.

3.1.3 Spannungsnachweis in Längsrichtung

Durch Vergleichsrechnung geprüft

Die maximale Zugspannung in Längsrichtung infolge Bemessungslast ergibt sich gemäß Abbildung 6 zu

$$\max \sigma_{Z,d} = 6,339 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{Z,d} / \sigma_{BL,d} = 6,339/18,6 = 0,34 \quad < \quad 1,0$$

Die maximale Druckspannung in Längsrichtung infolge Bemessungslast ergibt sich gemäß Abbildung 6 zu

$$\max \sigma_{D,d} = 6,209 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{D,d} / \sigma_{BL,d} = 6,209/18,6 = 0,33 \quad < \quad 1,0$$

Die erforderlichen Sicherheiten gegen Spannungsversagen sind somit eingehalten.

3.1.4 Stabilitätsnachweis

Der Stabilitätsnachweis ist durch den Spannungsnachweis für die Bemessungslast und die Bemessungsmaterialparameter bereits nachgewiesen, wie in Ziffer 2 beschrieben ist.



4 Anmerkungen und Zusammenfassung

In diesem Bericht wurden statische Berechnungen zur Beurteilung der Standsicherheit des GFK-Profiles im Bauzustand beschrieben. Bei der Verwendung der Ergebnisse sind folgende Punkte zu beachten:

4.1 Anmerkungen

- 1 Die Annahmen im Bericht seitens des Materials können von unserer Seite nicht überprüft werden. Wir gehen davon aus, dass seitens des Herstellers die gleich bleibende und geeignete Qualität des Produktes gesichert ist.
- 2 Unsere Berechnungen gelten als Ganzes und sind in ihrer vollständigen Fassung zu verwenden. Auf Einzelergebnissen aufbauende Extrapolation bzw. Interpolation von Berechnungs- und Simulationsergebnissen liegen außerhalb unseres Leistungsumfanges und Verantwortungsbereiches.
- 3 Die Berechnungen beziehen sich auf die unter Ziffer 2 angegebenen Materialparameter. Die Grundlagen der Berechnung (Materialparameter, Belastungs- und Einbausituation etc.) sind für die Simulationsergebnisse verantwortlich. Bei signifikanten Abweichungen von den angenommenen Werten kann es zu Lastumlagerungen kommen, die ggf. eine erneute statische Untersuchung erforderlich machen.
- 4 Alle Berechnungen wurden an einer idealen Struktur durchgeführt. Wir gehen davon aus, dass einerseits der Hersteller ein qualitativ einwandfreies Produkt erstellt und andererseits der Bauunternehmer nochmals auf der Baustelle vor Einbau das Bauteil auf eventuelle Beschädigungen hin kontrolliert. Alle Maßnahmen und Arbeitsschritte, die zu Abweichungen von der Idealform des Bauteils und der Struktur führen, sind von allen Beteiligten zu vermeiden.
- 5 Insbesondere ist bei der Bauausführung darauf zu achten, dass während des Verdämmvorgangs die ausreichende Verteilung der GFK-Rohre gegen die Alrohrinnenwandung gegeben ist. Die Verdämmung soll lagenweise ausgeführt werden (Empfehlung dreilagig). Der Dämmerdruck ist möglichst symmetrisch zur vertikalen Symmetrieebene aufzubringen. Der Dämmer ist überall im Ringraum zwischen Alrohr und GFK-Rohr vorhanden. Es gibt keine Hohlräume.

4.2 Zusammenfassung

Aufgrund der unter Ziffer 3 durchgeführten Nachweise wird bestätigt, dass das dargestellte GFK-Profil in statischer Hinsicht im Bauzustand beim Verfüllung des Ringraums (Verdämmen) dem Stand der Technik entspricht. Dabei gehen wir davon aus, dass die Anmerkungen aus Ziffer 4 berücksichtigt sind. Bei einer Änderung der Randbedingungen ist ein gesonderter statischer Nachweis für den Einzelfall zu führen. Insbesondere sind bei der Interpretation der Ergebnisse die Randbedingungen der Berechnungen zu beachten.



5 Ergebnisse der FEM-Analyse

5.1 LF 1: Verdämmen (Bauzustand) Dämmerhöhe 0,5 m über GFK-Rohrscheitel

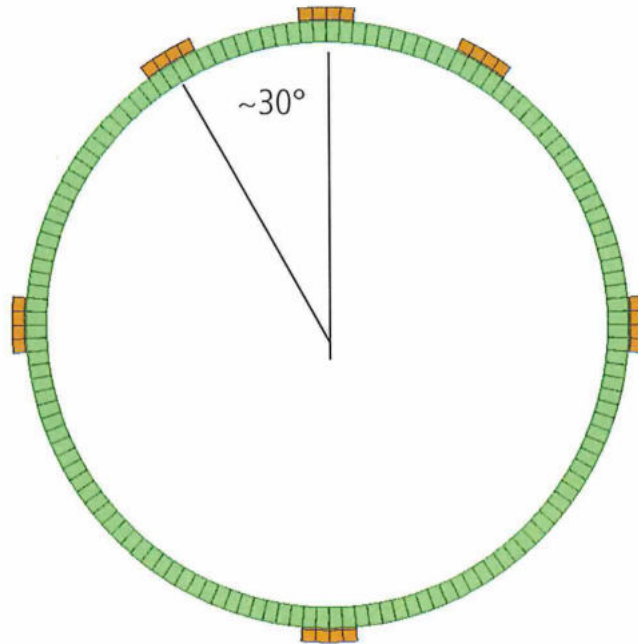


Abbildung 2: Diskretisiertes Rechenmodell – Querschnitt durch Verkeilungen



Lokale Verkeilung gegen die Altrohre an den Rohrenden, Auflagerfläche ca. 10 x 10 cm

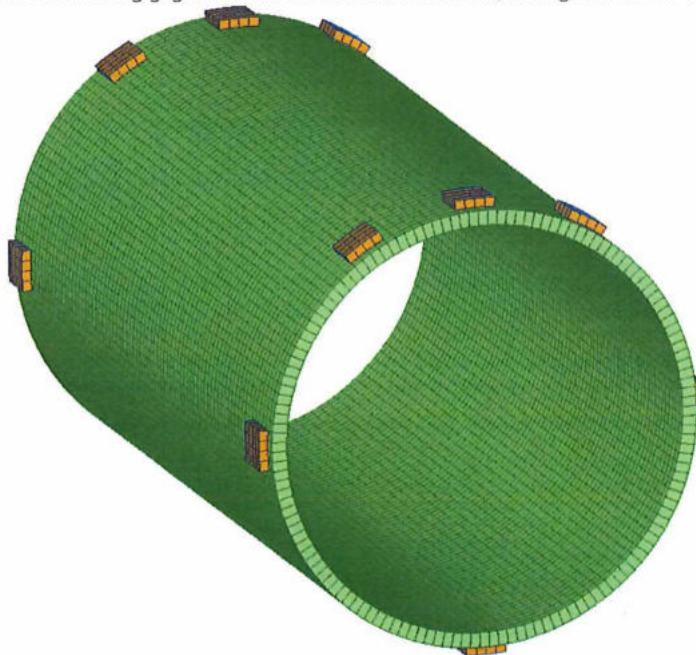


Abbildung 3: Diskretisiertes Rechenmodell, räumliche Darstellung



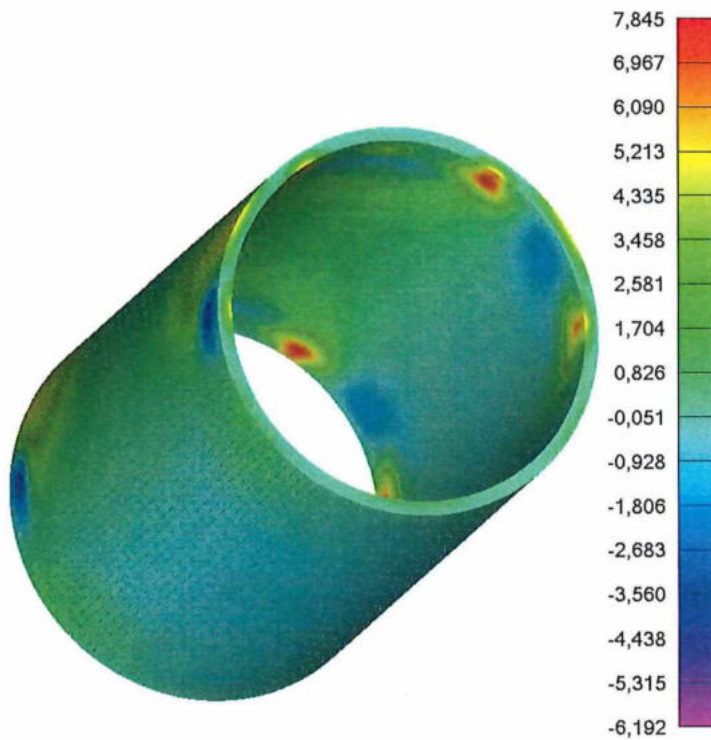


Abbildung 4: Maximale Hauptspannung [N/mm²] mit $\nu_M = 1,25$ und $\nu_E = 1,5$

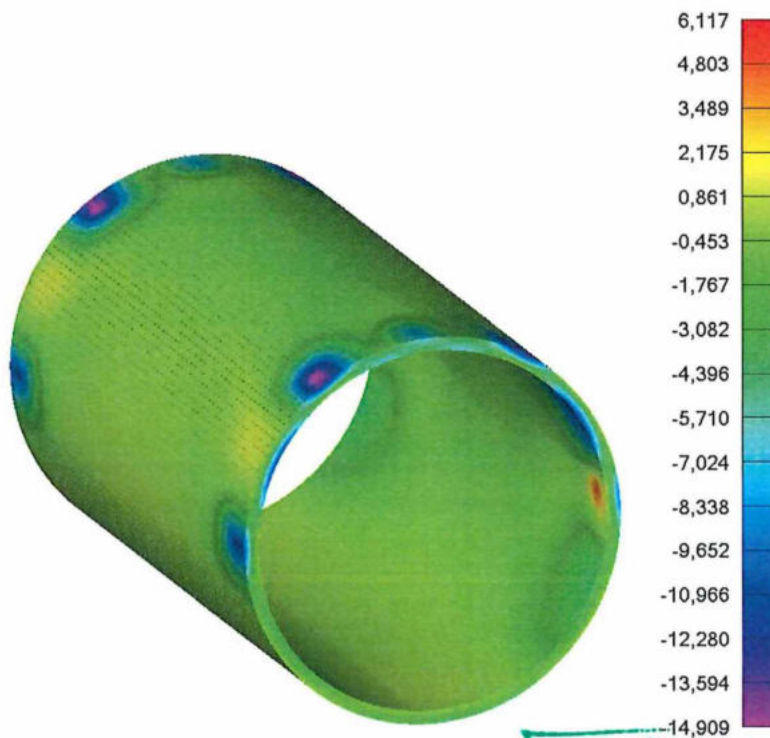


Abbildung 5: Minimale Hauptspannung [N/mm²] mit $\nu_M = 1,25$ und $\nu_E = 1,5$



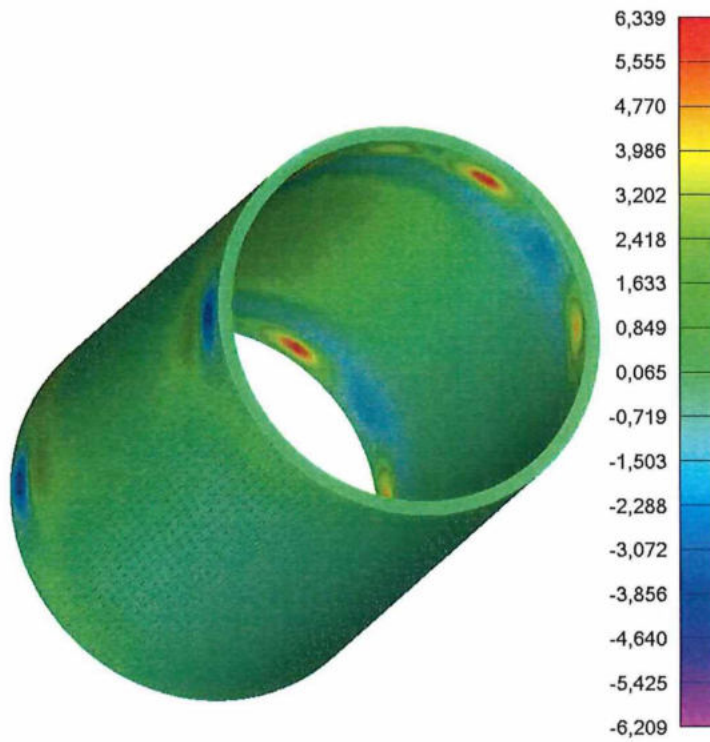


Abbildung 6: Längsspannung [N/mm²] mit $\gamma_M = 1,25$ und $\gamma_E = 1,5$



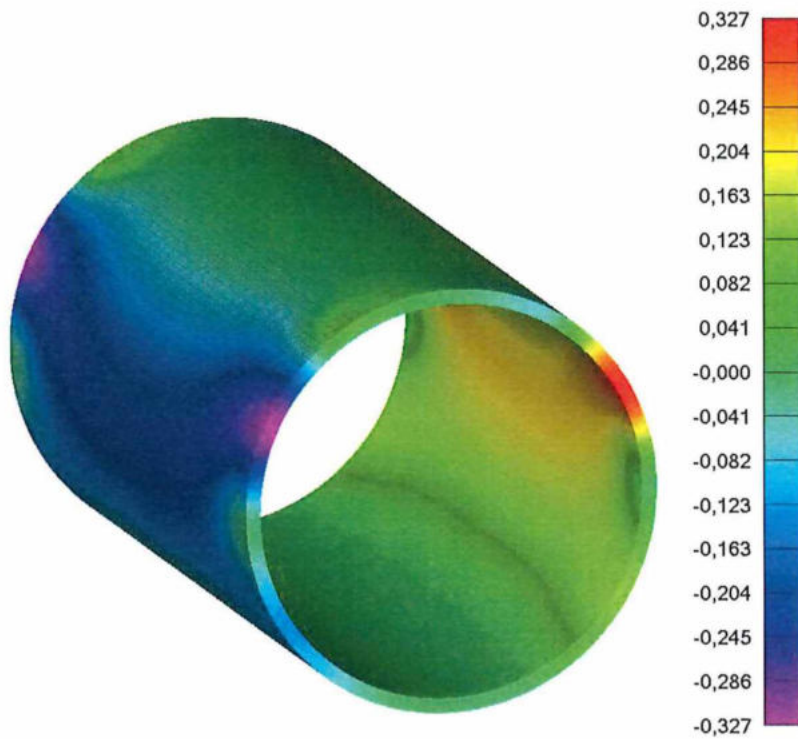


Abbildung 7: Horizontale Rohrdeformation mit $\gamma_M = 1,0$ und $\gamma_E = 1,0$

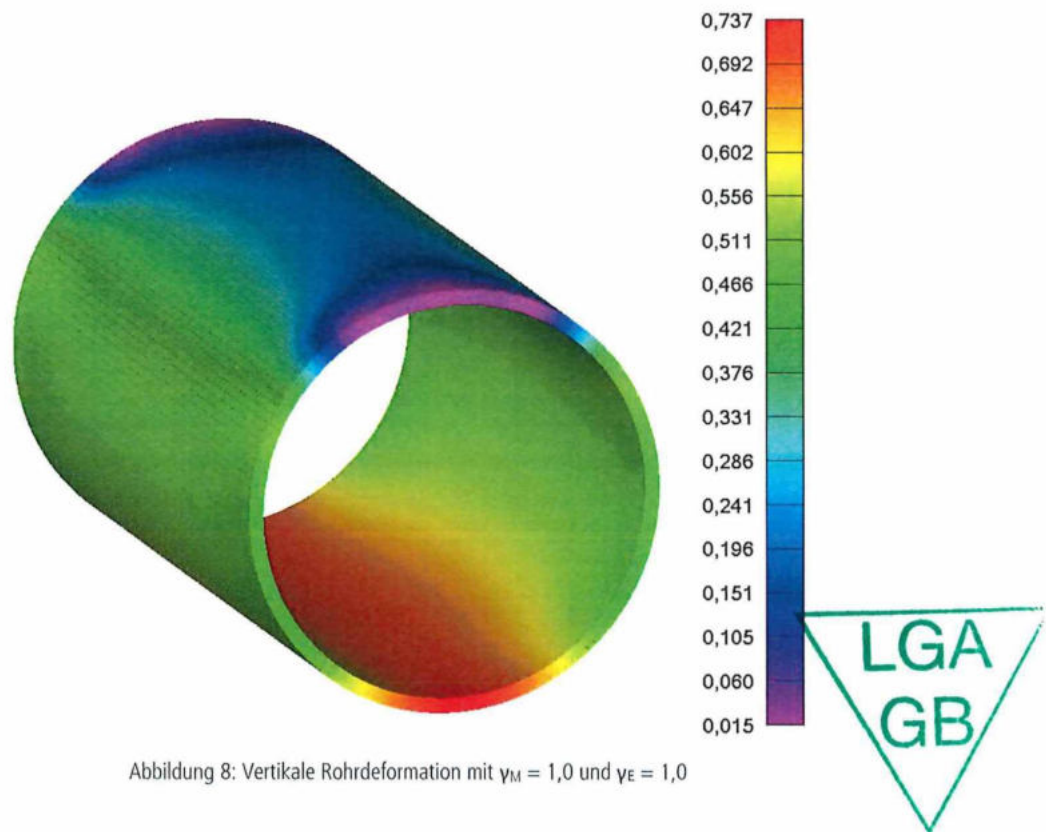


Abbildung 8: Vertikale Rohrdeformation mit $\gamma_M = 1,0$ und $\gamma_E = 1,0$

Statische Berechnung

Bauvorhaben: Hannover - Kanalsanierung Burgweg - 3621031295

Beschreibung: Flowtite GFK-Rohr für Eisenbahnverkehrslasten
OD1720 PN1 SN70.000 EVL mit außenbündiger SE--Kupplung

GFK-Rohre gemäß Herstellerbezogener Produktqualifikation (HPQ) der Deutschen Bahn AG vom
12.04.2022

- Relining im vorh. Betonkanal
- Altrohrzustand IIIa
- Berechnungsgrundlage ATV-A127

Auftraggeber:

Bearbeiter:

Statik-Nr.: 335-25-07-24

Datum: 24.07.2025



Inhaltsangabe

1 Bemerkungen	5
2 Unterlagen/Literatur	7
3 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: LF1: min. Überdeckung 6m; Betriebszustand	8
3.1 Eingaben	8
3.1.1 Sicherheiten	8
3.1.2 Boden	8
3.1.3 Belastung	9
3.1.4 Einbau	9
3.1.5 Rohr mit definierter Nennsteifigkeit	9
3.2 Ergebnisse	11
3.2.1 Zwischenergebnisse Rohr	11
3.2.1.1 Materialeigenschaften	11
3.2.1.2 Sicherheiten	11
3.2.2 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12	11
3.2.3 Zwischenergebnisse bei minimalem Grundwasser	11
3.2.3.1 Silotheorie	11
3.2.3.2 Belastung	11
3.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB	12
3.2.3.4 Bodensteifigkeiten	12
3.2.3.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	12
3.2.3.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	12
3.2.3.7 Steifigkeitsverhältnisse	12
3.2.3.8 Beiwerte	12
3.2.3.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B	12
3.2.3.10 Druckverteilung am Rohrumfang	13
3.2.4 Zwischenergebnisse bei maximalem Grundwasser	13
3.2.4.1 Silotheorie	13
3.2.4.2 Belastung	13
3.2.4.3 Boden-Verformungsmoduln EB	13
3.2.4.4 Bodensteifigkeiten	13
3.2.4.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	14
3.2.4.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	14
3.2.4.7 Steifigkeitsverhältnisse	14
3.2.4.8 Beiwerte	14
3.2.4.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B	14
3.2.4.10 Druckverteilung am Rohrumfang	14
3.2.5 Schnittkräfte	15
3.2.5.1 Schnittkräfte bei minimalem Grundwasser, Kurzzeit	15
3.2.5.2 Schnittkräfte bei minimalem Grundwasser, Langzeit	15
3.2.5.3 Schnittkräfte bei maximalem Grundwasser, Kurzzeit	15
3.2.5.4 Schnittkräfte bei maximalem Grundwasser, Langzeit	16
3.2.6 Nachweise Kurzzeit	16
3.2.6.1 Dehnungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)	16
3.2.6.2 Dehnungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)	17
3.2.6.3 Verformungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)	18



3.2.6.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)	18
3.2.7 Nachweise Langzeit	18
3.2.7.1 Dehnungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)	18
3.2.7.2 Dehnungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)	19
3.2.7.3 Verformungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)	20
3.2.7.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)	20
3.2.7.5 Nachweis Stabilität radial, linear (bei maximalem Grundwasser)	21
3.2.7.6 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei minimalem Grundwasser)	21
3.2.7.7 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei maximalem Grundwasser)	21
3.2.7.8 Nachweis der Sicherheit gegen Versagen bei nicht vorwiegend ruhender	21
4 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: LF2: max. Überdeckung 13m; Betriebszustand	23
4.1 Eingaben	23
4.1.1 Sicherheiten	23
4.1.2 Boden	23
4.1.3 Belastung	24
4.1.4 Einbau	24
4.1.5 Rohr mit definierter Nennsteifigkeit	24
4.2 Ergebnisse	26
4.2.1 Zwischenergebnisse Rohr	26
4.2.1.1 Materialeigenschaften	26
4.2.1.2 Sicherheiten	26
4.2.2 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12	26
4.2.3 Zwischenergebnisse bei minimalem Grundwasser	26
4.2.3.1 Silotheorie	26
4.2.3.2 Belastung	26
4.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB	27
4.2.3.4 Bodensteifigkeiten	27
4.2.3.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	27
4.2.3.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	27
4.2.3.7 Steifigkeitsverhältnisse	27
4.2.3.8 Beiwerte	27
4.2.3.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B	27
4.2.3.10 Druckverteilung am Rohrumfang	28
4.2.4 Zwischenergebnisse bei maximalem Grundwasser	28
4.2.4.1 Silotheorie	28
4.2.4.2 Belastung	28
4.2.4.3 Boden-Verformungsmoduln EB	28
4.2.4.4 Bodensteifigkeiten	28
4.2.4.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	29
4.2.4.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	29
4.2.4.7 Steifigkeitsverhältnisse	29
4.2.4.8 Beiwerte	29
4.2.4.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B	29
4.2.4.10 Druckverteilung am Rohrumfang	29
4.2.5 Schnittkräfte	30
4.2.5.1 Schnittkräfte bei minimalem Grundwasser, Kurzzeit	30
4.2.5.2 Schnittkräfte bei minimalem Grundwasser, Langzeit	30
4.2.5.3 Schnittkräfte bei maximalem Grundwasser, Kurzzeit	30
4.2.5.4 Schnittkräfte bei maximalem Grundwasser, Langzeit	31
4.2.6 Nachweise Kurzzeit	31
4.2.6.1 Dehnungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)	31
4.2.6.2 Dehnungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)	32
4.2.6.3 Verformungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)	33
4.2.6.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)	33



4.2.7 Nachweise Langzeit	33
4.2.7.1 Dehnungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)	33
4.2.7.2 Dehnungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)	34
4.2.7.3 Verformungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)	35
4.2.7.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)	35
4.2.7.5 Nachweis Stabilität radial, linear (bei maximalem Grundwasser)	36
4.2.7.6 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei minimalem Grundwasser)	36
4.2.7.7 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei maximalem Grundwasser)	36
4.2.7.8 Nachweis der Sicherheit gegen Versagen bei nicht vorwiegend ruhender	36
5 Anhänge	38
5.1 - Angaben zur statischen Berechnung	39



1 Bemerkungen

HAFTUNGSAUSSCHLUSS

Als Teil des technischen Service zur Fachplanung von Projekten der Amiblu Gruppe (im Weiteren „Amiblu“) werden regelmäßig statische Berechnungen zur Entscheidungsfindung für Amiblu/Flowtite/Hobas GFK Rohrsysteme und Produkte erstellt.

Mit der Nutzung dieser kostenlosen Serviceleistung zur Erstellung von technischen Nachweisen von Amiblu erkennen Sie die folgenden Bedingungen an:

1. Keine vertragliche Beziehung:

Mit der Verwendung der oben genannten Amiblu-Berechnungen kommt kein Vertragsverhältnis, insbesondere kein Beratungs- oder Informationsvertrag zwischen Ihnen und Amiblu zustande. Insoweit bestehen keine vertraglichen oder quasivertraglichen Ansprüche gegen Amiblu.

2. Anforderungen:

Sie erkennen an, dass die angegebenen Berechnungen nur für Amiblu/Flowtite/Hobas Produkte gelten.

3. Basis der statischen Berechnung:

Amiblu stützt sich bei der Berechnung auf Ihre angegebenen Projekt- und Einbaubedingungen und ergänzt die erforderlichen fehlenden Daten nach bestem Wissen und Gewissen auf Basis des aktuellen Wissensstandes und der Anforderungen der gültigen Normen- und Regelwerke.

Die Berechnung wird nach Vorgabe DBS 918 064 nach ATV-DVWK-A A127 geführt (keine statische Tragwirkung des Bestandsbauwerks vorhanden).

Die Grabenbreite wird mit den Innenabmessungen des Bestandskanals angesetzt. Die Wandstärke des Bestandskanals wird als anstehender Boden definiert und somit nicht als zusätzlich tragfähig angenommen. Der Ringraum zwischen Bestand und Linerrohr ist mit Dämmern hohlraum- und schwindfrei zu verfüllen. Zur Verdämmung ist ein Produkt mit Mindestdruckfestigkeiten von 1,2 N/mm² einzusetzen. Nach Erfahrungswerten des Statikerstellers erreichen handelsübliche Dämmern diese Mindestwerte.

Für Flowtite GFK-Rohre mit Eisenbahnverkehrsbelastung LM71 oder vergleichbar wird der Nachweis entsprechend DBS 918 064 geführt. Für die Rohrklassen "EVL" liegt der gutachterlich bestätigte Schwingbreitennachweis bei 10⁻⁸ LW gemäß ATV Regelwerk für Rohre aus der Produktion von Amiblu Germany GmbH beim Hersteller und dem Qualitätswesen der DB AG vor.

4. Vorgaben zum Einbau:

In allen Fällen müssen die folgenden Einbaubedingungen für die Verlegung von Amiblu-Produkten eingehalten werden. Beim Einbau der Reliningrohre im Altrohr empfehlen wir einen umlaufend gleichförmigen Ringraum, um ein ungehindertes Fließen des Dämmers sicher zu stellen. Die Linerrohre sind zur Lagefixierung flächig zu verkeilen; hierbei ist auf die Vermeidung von Punkt- oder Linienlasten am gesamten Rohrumfang zu achten. Jede einzelne Lastabtragsfläche am Rohr sollte mind. 100x100mm betragen und gleichmäßig über dem Rohrscheitel bis zur Kämpferlinie angeordnet werden.

Bei der Verdämmung des Ringraumes empfehlen wir, diese in mehreren Lagen auszuführen. Die Verdämmung des Ringraumes sollte auftriebsneutral erfolgen. Der Einbau der nachfolgenden Lagen darf erst nach dem Aushärten der vorherigen Verfüllagen erfolgen. Die Restverfüllung des Bestandsprofils über dem Scheitel des Linerrohres hat keinen Einfluß mehr auf das GfK-Reliningrohr.

Die Rohrzone muss aus nicht- oder schwachbindigem Material mit der Qualität und dem Verdichtungsgrad gemäß dieser Berechnung ausgeführt werden. Die maximale Korngröße gem. Verlegeanleitung Amiblu/Flowtite/Hobas für erdverlegte Rohre und Schächte ist einzuhalten.

Zur Klassifizierung des Bettungsmaterials muss das gesamte Material der Rohrleitungszone ein Sieb mit einer Maschenweite gemäß der Spezifikation in der Verlegeanleitung durchlaufen.

Die Einhaltung der geltenden internationalen Normen und der Verlegeanleitung für Amiblu/Flowtite/Hobas Produkte werden für diese statische Berechnung als gegeben vorausgesetzt. Die Verlegeanleitungen für Amiblu/Flowtite/Hobas können auf unseren Homepages heruntergeladen werden:

<http://www.flowtite.com> oder <http://www.hobas.com> oder <http://www.amiblu.com>.

Die zur statischen Berechnung angesetzten Einbaubedingungen sollten durch Sie bzw. den Prüferingenieur oder den Projektplaner mit den tatsächlichen Bedingungen vor Ort verglichen werden. Eventuelle Abweichungen können einen



Einfluss auf die Rohrinstallation haben.

5. Haftungsausschluss:

Für die erbrachten Leistungen gelten, soweit anwendbar, die allgemeinen Verkaufsbedingungen von Amiblu. Die Ergebnisse der Berechnung können in der Praxis nur erzielt werden, wenn die Annahmen den realen Baustellenbedingungen Vor-Ort entsprechen.

Die statischen Berechnungen wurden gemäß der fachkundigen Meinung von Amiblu zuverlässig und sorgfältig durchgeführt. Amiblu übernimmt Gewähr für die durchgeführte statische Berechnung auf Basis kundenseitiger Vorgaben wie z.B. Inhalte aus Statik-Formblättern, Vorgaben zur Planung und Ausführung, Angaben zum Baugrund sowie dem Einbau oder/und Betrieb. Für die Richtigkeit und Vollständigkeit der konkreten kundenseitigen Vorgaben übernimmt Amiblu keine Gewähr.

Die von Amiblu erstellten statischen Berechnungen sind eine Serviceleistung in der Projektierungs- oder Ausführungsphase und werden üblicherweise Bestandteil der Projektdokumentation. Amiblu übernimmt keine Haftung für die Anwendbarkeit der Berechnungsergebnisse im Fall von Abweichungen von den zugrunde liegenden Annahmen.

Rev03 11/04/2023



2 Unterlagen/Literatur

DIN 16868 - Rohre aus glasfaserverstärktem Polyesterharz (UP-GF) – Gewickelt, gefüllt

DIN EN 1610 - Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen: Dezember 2015

DIN EN 1992-2 - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 2: Betonbrücken - Bemessungs- und Konstruktionsregeln: Dez. 2010

DIN EN ISO 23856 - Kunststoff-Rohrleitungssysteme für Wasserversorgung, Entwässerungssysteme und Abwasserleitungen mit und ohne Druck - Glasfaserverstärkte duroplastische Kunststoffe (GFK) auf der Basis von ungesättigtem Polyesterharz: August 2023

DIN 4124 - Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten: Januar 2012

Arbeitsblatt DWA-A127-1 - Statische Berechnung von Entwässerungsanlagen - Teil1: Grundlagen: Dezember 2022

Arbeitsblatt DWA-A139 - Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen: März 2019

Herstellerbezogene Produktqualifikation der DB AG zur Fertigung von Produkten für Eisenbahntiefbaumaterial: April 2022



3 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: LF1: min. Überdeckung 6m; Betriebszustand

Titel der Teilstatik: LF1: min. Überdeckung 6m; Betriebszustand

Annahmen: Verlegung nach Flowtite Verlegeanleitung für erdverlegte Rohrleitungen bzw. DIN EN 1610/DWA-A 139;

- Eisenbahnverkehrslast LM71 mehrgleisig
- Grundwasser anstehend nach Vorgabe
- Grabenbreite entspricht kleinstem ID Bestandskanal = 1,8m
- senkrechter Rohrgraben 90° (Ersatzansatz)
- E3-anstehender Boden: G1 mit 100% Proctordichte
- E2-Leitungszone: Ansatz G1 mit 97% nach Tab. 8 (A127)
- E1-Verfüllzone: Ansatz G1 mit 97% nach Tab 8 (A127)
- Auflagerwinkel 120°
- A4/B4

Schlussfolgerungen: Wir empfehlen, die Verdämmung des Ringraumes zwischen Bestandsrohr und Linerrohr nicht in einem Zug auszuführen. Um die Lagesicherheit und Beulbeanspruchung des Linerrohres gewährleisten zu können, ist eine mehrlagige Verdämmung des Ringraumes erforderlich. Die nachfolgenden Verdämmlagen dürfen dabei erst nach dem Erstarren der vorherigen Lagen eingebracht werden.

Berechnungsart:
Skizzen (Einbau/Rohr) in Ausdruck:

Nennsteifigkeit
Ja

3.1 Eingaben

3.1.1 Sicherheiten

Sicherheitsklasse:
Sicherheit Stabilität nach Tabelle 13:
Zulässige Verformung:
Behandlung von Innendruck:

Kleinere Biegedruck-Sicherheiten:
Nachweis bei nicht vorwiegend ruhender Belastung:
Berücksichtigung von dyn pvh*:
Berücksichtigung der Vorverformungen Typ A in Verformungsnachweis:
Behandlung Systemsteifigkeit VRB nach:
Rohrsteifigkeit nach Regelwerk:

A (Regelfall)
Inklusive Vorverformungen (2,0 / 1,6)
2%, < 10 mm (unter Gleisen der DB AG)
Volle Überlagerung mit Außenbelastung
(ATV-DVWK-A 127)
Nein (ATV-DVWK-A 127)
Nach Regelwerk
Nach Norm
Nein
DWA-A 161:2014 (nach Materialart)
Ja

3.1.2 Boden

Bodengruppe Verfüllung:
Berechnung E1:
Bodengruppe Einbettung:
Berechnung E20:
Bodengruppe anstehender Boden:
Berechnung E3:
Verdichtungsgrad E3:
E4 = 10 · E1:
Anwendung von Silotheorie:



G1
Tabelle 8 (A127)
G1
Tabelle 8 (A127)
G1
Verdichtungsgrad
D_{Pr,E3} 100,0 %
Ja
Automatisch

K2 nach Norm:

3.1.3 Belastung

Überdeckungshöhe:
Minimaler Grundwasserstand über Sohle:
Maximaler Grundwasserstand über Sohle:
Auftriebsnachweis führen:
Wichte des Bodens:
Manuelle Angabe der Wichte des Bodens unter Auftrieb:
Zusätzliche Flächenlast:
Innendruck, kurzzeitig wirkend:
Innendruck, langfristig:
Wasserfüllung (z.B. Staukanal):
Eingabe Spezialfahrzeug:
Verkehrslast:
Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis:

Ja

h 6,00 m
hw,min 0,00 m
hw,max 8,00 m
Nein
γB 20,0 kN/m³
Nein
p0 0,0 kN/m²
PI,K 0,00 bar
PI,L 0,00 bar
Nein
Nein
Bahn LM 71 - mehrgleisig
αqhT,dyn 0,00 %

3.1.4 Einbau

Einbauweise:
Grabenbreite in Scheitelhöhe:
Mindestgrabenbreite prüfen:
Stärke der Bettungsschicht automatisch ermitteln:
Lagenstärke der Bettungsschicht:
Böschungswinkel:
Überschüttungsbedingung:
Einbettungsbedingung:
Auflagerart:
Auflagerwinkel:
Relative Ausladung automatisch ermitteln:
Untere Sockelhöhe vorgeben:
Gesamt-Sockelhöhe:

Graben
b 1,80 m
Nein
Nein
hBS 0,10 m
β 90 °
A4
B4
Lose
120°
Ja
Nein
hs 0,00 m

3.1.5 Rohr mit definierter Nennsteifigkeit

Rohrauswahl aus Datenbank:
Auswahl der Eingaben:
Bezeichnung:

Außendurchmesser:
Nennweite:
Wanddicke:
Lokale Vorverformung:
Vorverformung Typ A:

Nein
Da und s
FlowTite GfK-Kanalrohr OD1720, PN1,
SN70.000 EVL
da 1.720 mm
DN 1.720 mm
t 59,2 mm
δv,I 1,0 %
δv,A 1,0 %

Nennsteifigkeit:
Nennndruck:
Relative Bruchverformung nach Norm:
Kriechverhältnis:
Abminderungsfaktor Temperatureinfluss:
Abminderungsfaktor Medienangriff:
Abminderungsfaktor dynamische Last:

SN 70.000 N/m²
PN 1,0 bar
Ja
fkriech 2,00 [-]
A1,Temp 1,00 [-]
A2,Medium 1,00 [-]
A3,dyn 1,00 [-]

Wichte des Rohrwerkstoffs:
Querkontraktionszahl:
Angabe der Grenzspannungen Ringzug:
Grenzdehnung Biegezug nach Norm:
Schwingbreite bei 2·10⁶ Lastspielen ist bekannt:
Schwingbreite bei 1·10⁸ Lastspielen ist bekannt:
Schwingbreite des Rohres bei 1·10⁸ Lastspielen:
Längsdruckfestigkeit, Kurzzeit:
Grenzdehnung für Längsdruck, Kurzzeit:

γR 21,00 kN/m³
v 0,30 [-]
Nein
Ja
Nein
Ja
Δσrsk,1E8 49,70 N/mm²
fc,ax,K 90,0 N/mm²
εAxK 0,7 %





3.2 Ergebnisse

3.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:	d_i	1.601,6	mm
Außendurchmesser:	d_a	1.720,0	mm
Mittlerer Radius:	r_m	830,40	mm
Wanddicke:	s	59,20	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	r_m/s	14,027	[-]
Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,024	[-]
Korrekturfaktor Krümmung außen:	α_{ka}	0,976	[-]
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	1,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	$\delta_{v,A}$	1,00	%
Radiale Profilfläche:	A_{rad}	59,20	mm ² /mm
Trägheitsabstand:	e	29,60	mm
Trägheitsmoment:	I	17.289,56	mm ⁴ /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	W_a	584,11	mm ³ /mm
Inneres Widerstandsmoment:	W_i	584,11	mm ³ /mm
Flächenverhältnis:	K_Q	1,2	[-]

3.2.1.1 Materialeigenschaften

		Kurzzeit	Langzeit	
Wichte des Rohrwerkstoffs	γ_R	21,0	21,0	kN/m ³
Querkontraktionszahl	ν	0,30	0,30	[-]
Elastizitätsmodul in Ringrichtung	$E_{R,rad}$	18.546,7	9.273,3	N/mm ²
Kriechverhältnis:	f_{creep}		2,00	[-]

Tabelle 3 Fußnote 34: Ermittelt aus dem Kurzzeitwert und dem Kriechverhältnis (2,0) mit Kennwerten für 2 Jahre zur Beschreibung des Langzeitverhaltens. Zulässig auch für den Langzeitnachweis für 50 Jahre. Die Prüfung erfolgt nach DIN EN 1228 (Kurzzeit) bzw. DIN EN 1225 (Langzeit).

Rechenwert der relativen Bruchverformung	$\Delta d_{Bruch}/d_m$	7,9	4,7	%
--	------------------------	-----	-----	---

$$\epsilon_R = 4,28 \cdot s/d_m \cdot \Delta d_{Bruch}/d_m$$

Rechenwert der Randfasergrenzdehnung Biegezug	ϵ_R	1,203	0,722	%
---	--------------	-------	-------	---

$$f_t = \frac{0,50 \cdot PN \cdot 4 \cdot 2 \cdot r_m}{h}$$

Ringzugfestigkeit	f_t	5,6	2,8	N/mm ²
-------------------	-------	-----	-----	-------------------

Schwingbreite bei $2 \cdot 10^6$ Lastspielen:	$\Delta \sigma_{rsk,2E6}$	n. def.	N/mm ²
Schwingbreite bei $5 \cdot 10^6$ Lastspielen:	$\Delta \sigma_{rsk,5E6}$	n. def.	N/mm ²
Schwingbreite bei $1 \cdot 10^8$ Lastspielen:	$\Delta \sigma_{rsk,1E8}$	n. def.	N/mm ²

3.2.1.2 Sicherheiten

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen	erf γ_{RBZ}	2,00	2,00	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen	erf γ_{RBD}	2,00	2,00	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität	erf γ_{stab}	2,00	2,00	[-]

3.2.2 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12

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

3.2.3 Zwischenergebnisse bei minimalem Grundwasser

3.2.3.1 Silotheorie

Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie):	κ	0,387	[-]
Erdlastbeiwert κ_0 für Flächenlast (Silotheorie):	κ_0	0,097	[-]



3.2.3.2 Belastung

Grundwasserstand über Scheitel:
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:
Faktor für Abweichung von Diagrammen/Formeln:
Spannung aufgrund Verkehrslast:
Enthaltener Stoßfaktor:
Spannung für Ermüden inkl. Stoßbeiwert:

$h_{W,Scheitel}$	0,00	m
P_{Erd}	46,43	kN/m ²
P_E	46,43	kN/m ²
$f_{\alpha,Qi}$	0,00	[-]
P_V	28,99	kN/m ²
ϕ	1,17	[-]
P_{Tdyn}	28,99	kN/m ²

3.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB

E-Modul Verfüllung unter Last:

$E_{1,\sigma}$	23,00	N/mm ²
----------------	-------	-------------------

$$E_{3,\sigma} = \frac{40}{1} \cdot e^{-0,188(100 - D_{Pr})}$$

3.01

E-Modul anstehender Boden:
E-Modul Einbettung (abgemindert):
E-Modul Einbettung unter Last:
Reduktionsfaktor für das Kriechen:
Verdichtungsgrad aus Tabelle 8:
Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):
Abminderungsfaktor E20 (Diagramm 5):
Abminderungsfaktor E20 (enger Graben):
E-Modul Einbettung (abgemindert):
E-Modul Boden unter dem Rohr:

$E_{3,\sigma}$	40,00	N/mm ²
$E_{2,\sigma}$	23,00	N/mm ²
$E_{20,\sigma}$	23,00	N/mm ²
f_1	1,000	[-]
$D_{pr,E20}$	0,97	[-]
f_2	1,000	[-]
α_{B0}	1,000	[-]
α_B	1,000	[-]
$E_{2,\sigma}$	23,00	N/mm ²
$E_{4,\sigma}$	230,00	N/mm ²

3.2.3.4 Bodensteifigkeiten

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:
Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:
Horizontale Bettungssteifigkeit:
Vertikale Bettungssteifigkeit:

Δf	0,047	[-]
ζ	1,704	[-]
S_{Bh}	23,513	N/mm ²
S_{Bv}	23,000	N/mm ²

3.2.3.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:
Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:
Berechnete Ausladung:
Wirksame Ausladung:
Innerer Reibungswinkel:
Wandreibungswinkel:

2α	120	°
t_r	0,430	m
a	1,00	[-]
a'	1,000	[-]
ϕ'	35,000	°
δ	35,000	°

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

3.2.3.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

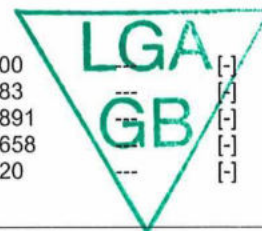
Rohrsteifigkeit	S_R	560.000	387.625	280.000	N/m ²
Rechenwert der Randfasergrenzdehnung	ϵ_R	1,203	0,907	0,722	%
Biegezug					
Elastizitätsmodul in Ringrichtung	$E_{R,rad}$	18.546,7	12.837,8	9.273,3	N/mm ²

3.2.3.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet	$V_{RB,w}$	0,0238	0,0165	0,0119	[-]
Steifigkeitsverhältnis	V_S	0,9485	0,8427	---	[-]
Beiwert für die vertikale Verformung	c_v^*	-0,026	-0,020	---	[-]

3.2.3.8 Beiwerte

Erdruckbeiwert (Einbettung)	K_2	0,400	0,400	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	K^*	0,994	1,083	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'h$	0,0891	0,0891	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'h_{qh}^*$	-0,0658	-0,0658	---	[-]
Beiwert für die vertikale Verformung	c_v^*	-0,026	-0,020	---	[-]



3.2.3.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B

Maximaler Konzentrationsfaktor	$\max \lambda$	1,521	1,521	---	[-]
Beiwert für maximalen Konzentrationsfaktor	K'	0,928	0,926	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert	λ_R	1,033	1,001	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss	λ_{RG}	1,001	1,000	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert	λ_{fo}	3,100	3,100	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert	λ_{fu}	0,374	0,374	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert	λ_{RG}	1,001	1,000	---	[-]
Konzentrationsfaktor Boden	λ_B	0,989	1,000	---	[-]

3.2.3.10 Druckverteilung am Rohrumfang

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Vertikale Gesamtlast	q_v	75,44	75,42	---	kN/m ²
Seitendruck	q_h	25,25	25,45	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Erdlasten)	q^*h	51,54	55,91	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung)	q^*h_w	0,00	0,00	---	kN/m ²

3.2.4 Zwischenergebnisse bei maximalem Grundwasser

3.2.4.1 Silotheorie

Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie):	κ	0,387	[-]
Erdlastbeiwert κ_0 für Flächenlast (Silotheorie):	κ_0	0,097	[-]

3.2.4.2 Belastung

Grundwasserstand über Scheitel:	$h_{W,Scheitel}$	6,00	m
Wichte Verfüllung unter Wasser:	γ'	11,00	kN/m ³
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:	P_{Erd}	25,54	kN/m ²
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:	P_E	25,54	kN/m ²
Faktor für Abweichung von Diagrammen/Formeln:	$f_{a,Qi}$	0,00	[-]
Spannung aufgrund Verkehrslast:	P_v	28,99	kN/m ²
Enthaltener Stoßfaktor:	ϕ	1,17	[-]
Spannung für Ermüden inkl. Stoßbeiwert:	P_{Tdyn}	28,99	kN/m ²

3.2.4.3 Boden-Verformungsmoduln EB

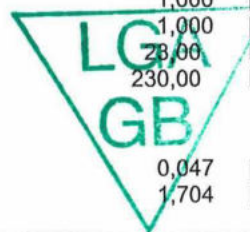
E-Modul Verfüllung unter Last:	$E_{1,\sigma}$	23,00	N/mm ²
--------------------------------	----------------	-------	-------------------

$$E_{3,\sigma} = \frac{40}{1} \cdot e^{-0,188(100 - D_{Pr})} \quad 3.01$$

E-Modul anstehender Boden:	$E_{3,\sigma}$	40,00	N/mm ²
E-Modul Einbettung (abgemindert):	$E_{2,\sigma}$	23,00	N/mm ²
E-Modul Einbettung unter Last:	$E_{20,\sigma}$	23,00	N/mm ²
Reduktionsfaktor für das Kriechen:	f_1	1,000	[-]
Verdichtungsgrad aus Tabelle 8:	$D_{pr,E20}$	0,97	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):	f_2	1,000	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Diagramm 5):	α_{B0}	1,000	[-]
Abminderungsfaktor E20 (enger Graben):	α_B	1,000	[-]
E-Modul Einbettung (abgemindert):	$E_{2,\sigma}$	23,00	N/mm ²
E-Modul Boden unter dem Rohr:	$E_{4,\sigma}$	230,00	N/mm ²

3.2.4.4 Bodensteifigkeiten

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:	Δf	0,047	[-]
Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	1,704	[-]



Horizontale Bettungssteifigkeit:	SBh	23,513	N/mm ²
Vertikale Bettungssteifigkeit:	SBv	23,000	N/mm ²

3.2.4.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:	2α	120	°
Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:	t _r	0,430	m
Berechnete Ausladung:	a	1,00	[-]
Wirksame Ausladung:	a'	1,000	[-]
Innerer Reibungswinkel:	φ'	35,000	°
Wandreibungswinkel:	δ	35,000	°

Kurzzeit
alle Lasten

Langzeit
Erdlasten
Verkehrslast

Langzeit
sonstige
Lasten

3.2.4.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

Rohrsteifigkeit	S _R	560.000	428.865	280.000	N/m ²
Rechenwert der Randfasergrenzdehnung	ε _R	1,203	0,978	0,722	%
Biegezug					
Elastizitätsmodul in Ringrichtung	E _{R,rad}	18.546,7	14.203,6	9.273,3	N/mm ²

3.2.4.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet	V _{RB,w}	0,0238	0,0182	0,0119	[-]
Steifigkeitsverhältnis	V _S	0,9485	0,8694	---	[-]
Beiwert für die vertikale Verformung	c _v *	-0,026	-0,021	---	[-]

3.2.4.8 Beiwerte

Erdruckbeiwert (Einbettung)	K ₂	0,400	0,400	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	K*	0,994	1,060	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c' _h	0,0891	0,0891	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c' _{h,qh} *	-0,0658	-0,0658	---	[-]
Beiwert für die vertikale Verformung	c _v *	-0,026	-0,021	---	[-]

3.2.4.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B

Maximaler Konzentrationsfaktor	max λ	1,521	1,521	---	[-]
Beiwert für maximalen Konzentrationsfaktor	K'	0,928	0,926	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert	λ _R	1,033	1,009	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss	λ _{RG}	1,001	1,000	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert	λ _{fo}	3,100	3,100	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert	λ _{fu}	0,374	0,374	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert	λ _{RG}	1,001	1,000	---	[-]
Konzentrationsfaktor Boden	λ _B	0,989	0,997	---	[-]

3.2.4.10 Druckverteilung am Rohrumfang

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Vertikale Gesamtlast	q _v	54,54	54,53	---	kN/m ²
Seitendruck	q _h	13,89	13,97	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Erdlasten)	q* _h	41,32	43,97	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung)	q* _{hw}	0,00	0,00	---	kN/m ²

LGA
GB

3.2.5 Schnittkräfte

3.2.5.1 Schnittkräfte bei minimalem Grundwasser, Kurzzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):

			r	1,000	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	830,40	830,40	830,40	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	13,578	-13,786	14,307	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-4,352	4,352	-4,352	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	-6,433	7,393	-6,433	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,327	-0,377	0,446	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	3,119	-2,419	3,967	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	830,40	830,40	830,40	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	1,692	-62,649	-1,692	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-20,966	0,000	-20,966	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	-24,696	0,000	-24,696	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,258	-1,622	-0,258	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N_{pw}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-43,712	-64,271	-47,611	kN/m

3.2.5.2 Schnittkräfte bei minimalem Grundwasser, Langzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):

			r	1,000	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	830,40	830,40	830,40	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	13,574	-13,782	14,302	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-4,387	4,387	-4,387	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	-6,978	8,019	-6,978	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,327	-0,377	0,446	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	2,536	-1,754	3,383	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	830,40	830,40	830,40	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	1,691	-62,630	-1,691	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-21,131	0,000	-21,131	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	-26,788	0,000	-26,788	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,258	-1,622	-0,258	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N_{pw}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-45,969	-64,252	-49,867	kN/m

3.2.5.3 Schnittkräfte bei maximalem Grundwasser, Kurzzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):

			r	1,000	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	

Mittlerer Radius	r_m	830,40	830,40	830,40	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	9,816	-9,966	10,342	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-2,394	2,394	-2,394	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	-5,157	5,926	-5,157	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,327	-0,377	0,446	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	-0,023	-0,023	-0,023	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	2,568	-2,047	3,214	kNm/m

Mittlerer Radius	r_m	Scheitel 830,40	Kämpfer 830,40	Sohle 830,40	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	1,223	-45,290	-1,223	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-11,531	0,000	-11,531	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	-19,797	0,000	-19,797	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,258	-1,622	-0,258	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N_{pw}	-68,800	-68,800	-68,800	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-98,647	-115,712	-101,609	kN/m

3.2.5.4 Schnittkräfte bei maximalem Grundwasser, Langzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):

			r	1,000	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	830,40	830,40	830,40	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	9,814	-9,965	10,341	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-2,408	2,408	-2,408	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	-5,488	6,307	-5,488	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,327	-0,377	0,446	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	-0,023	-0,023	-0,023	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	2,222	-1,651	2,867	kNm/m

Mittlerer Radius	r_m	Scheitel 830,40	Kämpfer 830,40	Sohle 830,40	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	1,223	-45,282	-1,223	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-11,598	0,000	-11,598	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	-21,068	0,000	-21,068	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,258	-1,622	-0,258	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N_{pw}	-68,800	-68,800	-68,800	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-99,985	-115,704	-102,947	kN/m

3.2.6 Nachweise Kurzzeit

3.2.6.1 Dehnungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

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

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:

erf γ_{RBZ} 2,00 [-]
erf γ_{RBD} 2,00 [-]



Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$f_{t,fl,res}$	---	---	---	N/mm ²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$f_{c,rad,res}$	---	---	---	N/mm ²

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:		α_{ki}	1,024	[-]	
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Dehnung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	ϵ_{qv,qh,qh^*}	0,022	-0,025	0,029	%
Dehnung aufgrund anderer Lasten	ϵ_{sonst}	0,003	-0,004	0,004	%
Dehnung gesamt	ϵ	0,025	-0,029	0,033	%
Anzusetzende Randfasergrenzdehnung	$\epsilon_{R,res}$	1,20	1,20	1,20	%
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	47,183	---	36,290	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ_{BD}	---	41,906	---	[-]

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:			α_{ka}	0,976	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Dehnung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	ϵ_{qv,qh,qh^*}	-0,029	0,013	-0,036	%
Dehnung aufgrund anderer Lasten	ϵ_{sonst}	-0,003	0,003	-0,004	%
Dehnung gesamt	ϵ	-0,032	0,016	-0,040	%
Anzusetzende Randfasergrenzdehnung	$\epsilon_{R,res}$	1,20	1,20	1,20	%
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	---	75,472	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ_{BD}	37,489	---	30,014	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Dehnungsnachweises sind ausreichend.

3.2.6.2 Dehnungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

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

Durch Vergleichsrechnung geprüft

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:	erf γ_{BZ}	2,00	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf γ_{BD}	2,00	[-]
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$f_{t,fl,res}$	---	N/mm ²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$f_{c,rad,res}$	---	N/mm ²

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:			α_{ki}	1,024	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Dehnung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	ϵ_{qv,qh,qh^*}	0,019	-0,020	0,023	%
Dehnung aufgrund anderer Lasten	ϵ_{sonst}	-0,003	-0,010	-0,002	%
Dehnung gesamt	ϵ	0,015	-0,030	0,021	%
Anzusetzende Randfasergrenzdehnung	$\epsilon_{R,res}$	1,20	1,20	1,20	%
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	78,699	---	56,966	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ_{BD}	---	40,262	---	[-]

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:		α_{ka}	0,976	[-]
---------------------------------	--	---------------	-------	-----

Dehnung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	ϵ_{qv,qh,qh^*}	Scheitel -0,023	Kämpfer 0,011	Sohle -0,028	%
Dehnung aufgrund anderer Lasten	ϵ_{sonst}	-0,009	-0,003	-0,010	%
Dehnung gesamt	ϵ	-0,032	0,008	-0,038	%
Anzusetzende Randfasergrenzdehnung	$\epsilon_{R,res}$	1,20	1,20	1,20	%
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	---	152,173	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	37,445	---	31,480	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Dehnungsnachweises sind ausreichend.

3.2.6.3 Verformungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

Rechenmodus:	linear	
Verhältnis:	$I/(A \cdot rm^2)$	0,00042 [-]
Verhältnis $I/(A \cdot rm^2) \cdot \kappa \sim Q'$:	$I/(A \cdot rm^2) \cdot \kappa_Q$	0,00051 [-]

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

Vertikale Durchmesseränderung:	Δd_v	3,96	mm
Horizontale Durchmesseränderung:	Δd_h	3,64	mm

Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):	$\delta_{v,B}$	0,24	%
--	----------------	------	---

Maximale absolute Verformung im Bereich der Bahn:	δ_{Abs}	10,00	mm
Umgerechnete relative Verformung:	$\delta_{v,BA}$	0,60	%
Zulässige Verformung im Bereich der Bahn:	$\delta_{v,B}$	2,00	%
Zulässige Verformung:	zul δ_v	0,60	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

3.2.6.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

Rechenmodus:	linear	
Verhältnis:	$I/(A \cdot rm^2)$	0,00042 [-]
Verhältnis $I/(A \cdot rm^2) \cdot \kappa \sim Q'$:	$I/(A \cdot rm^2) \cdot \kappa_Q$	0,00051 [-]

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

Vertikale Durchmesseränderung:	Δd_v	3,17	mm
Horizontale Durchmesseränderung:	Δd_h	2,92	mm

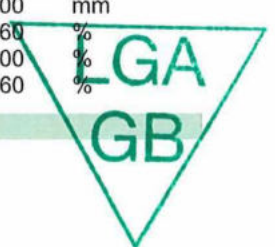
Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):	$\delta_{v,B}$	0,19	%
--	----------------	------	---

Maximale absolute Verformung im Bereich der Bahn:	δ_{Abs}	10,00	mm
Umgerechnete relative Verformung:	$\delta_{v,BA}$	0,60	%
Zulässige Verformung im Bereich der Bahn:	$\delta_{v,B}$	2,00	%
Zulässige Verformung:	zul δ_v	0,60	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

3.2.7 Nachweise Langzeit

Durch Vergleichsrechnung geprüft



3.2.7.1 Dehnungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

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

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:	erf γ_{RBZ}	2,00	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf γ_{RBD}	2,00	[-]
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$f_{t,fl,res}$	---	N/mm ²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$f_{c,rad,res}$	---	N/mm ²

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,024	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Dehnung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	ϵ_{qv,qh,qh^*}	0,024	-0,027	0,034	%
Dehnung aufgrund anderer Lasten	ϵ_{sonst}	0,006	-0,007	0,008	%
Dehnung gesamt	ϵ	0,030	-0,034	0,042	%
Anzusetzende Randfasergrenzdehnung	$\epsilon_{R,res}$	0,88	0,88	0,88	%
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	28,965	---	20,940	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ_{BD}	---	25,427	---	[-]

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:	α_{ka}	0,976	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Dehnung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	ϵ_{qv,qh,qh^*}	-0,035	0,010	-0,045	%
Dehnung aufgrund anderer Lasten	ϵ_{sonst}	-0,006	0,007	-0,008	%
Dehnung gesamt	ϵ	-0,041	0,016	-0,053	%
Anzusetzende Randfasergrenzdehnung	$\epsilon_{R,res}$	0,89	0,85	0,89	%
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	---	52,298	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ_{BD}	21,797	---	16,754	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Dehnungsnachweises sind ausreichend.

3.2.7.2 Dehnungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

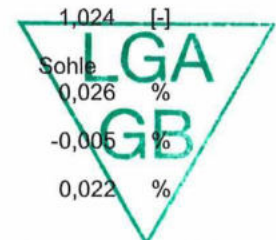
$$\epsilon_{R,res} = \frac{|\epsilon_{qv,qh,qh^*}| \cdot \bar{\epsilon}_R + |\epsilon_{sonst}| \cdot \epsilon_{R,L}}{|\epsilon_{qv,qh,qh^*}| + |\epsilon_{sonst}|} \quad \text{Durch Vergleichsrechnung geprüft} \quad (9.01d)$$

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:	erf γ_{RBZ}	2,00	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf γ_{RBD}	2,00	[-]
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$f_{t,fl,res}$	---	N/mm ²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$f_{c,rad,res}$	---	N/mm ²

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,024	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Dehnung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	ϵ_{qv,qh,qh^*}	0,020	-0,021	0,026	%
Dehnung aufgrund anderer Lasten	ϵ_{sonst}	-0,007	-0,020	-0,005	%
Dehnung gesamt	ϵ	0,013	-0,041	0,022	%



Anzusetzende Randfasergrenzdehnung	$\epsilon_{R,res}$	0,93	0,88	0,95	%
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	70,657	---	44,157	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	---	21,302	---	[-]

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:			α_{ka}	0,976	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Dehnung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	ϵ_{qv,qh,qh^*}	-0,026	0,009	-0,033	%
Dehnung aufgrund anderer Lasten	ϵ_{sonst}	-0,018	-0,006	-0,020	%
Dehnung gesamt	ϵ	-0,044	0,004	-0,053	%
Anzusetzende Randfasergrenzdehnung	$\epsilon_{R,res}$	0,90	0,91	0,90	%
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	---	243,582	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	20,306	---	17,066	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Dehnungsnachweises sind ausreichend.

3.2.7.3 Verformungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

Rechenmodus:		linear		
Verhältnis:		$I/(A \cdot m^2)$	0,00042	[-]
Verhältnis $I/(A \cdot m^2) \cdot \kappa \sim Q'$:		$I/(A \cdot m^2) \cdot \kappa_Q$	0,00051	[-]

Verformungsbeiwert für Biegemomente	c_v	q_v	q_h	q_{h^*}	
		-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	[-]

Vertikale Durchmesseränderung:	Δd_v	4,44	mm
Horizontale Durchmesseränderung:	Δd_h	3,95	mm

Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):	$\delta_{v,B}$	0,27	%
--	----------------	------	---

Maximale absolute Verformung im Bereich der Bahn:	δ_{Abs}	10,00	mm
Umgerechnete relative Verformung:	$\delta_{v,BA}$	0,60	%
Zulässige Verformung im Bereich der Bahn:	$\delta_{v,B}$	2,00	%
Zulässige Verformung:	zul δ_v	0,60	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

3.2.7.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

Rechenmodus:		linear		
Verhältnis:		$I/(A \cdot m^2)$	0,00042	[-]
Verhältnis $I/(A \cdot m^2) \cdot \kappa \sim Q'$:		$I/(A \cdot m^2) \cdot \kappa_Q$	0,00051	[-]

Durch Vergleichsrechnung geprüft

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

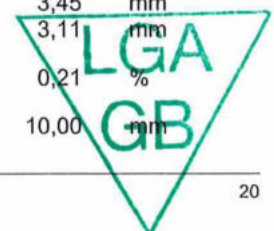
Eine Anpassung der Verformungsbeiwerte für Biegemomente nach ATV-DVWK-A 127 Tabelle 10a unterbleibt, da Gl. (6.19a) und Gl. (6.19b) $< 0,001$

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

Vertikale Durchmesseränderung:	Δd_v	3,45	mm
Horizontale Durchmesseränderung:	Δd_h	3,11	mm

Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):	$\delta_{v,B}$	0,21	%
--	----------------	------	---

Maximale absolute Verformung im Bereich der Bahn:	δ_{Abs}	10,00	mm
---	----------------	-------	----



Umgerechnete relative Verformung:	$\delta_{v,BA}$	0,60	%
Zulässige Verformung im Bereich der Bahn:	$\delta_{v,B}$	2,00	%
Zulässige Verformung:	zul δ_v	0,60	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

3.2.7.5 Nachweis Stabilität radial, linear (bei maximalem Grundwasser)

Erd- und Verkehrslasten

Rohrsteifigkeit:	\bar{S}_R	428.865	N/m ²
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	23,513	N/mm ²
Systemsteifigkeit, gewichtet:	$V_{RB,w}$	0,0182	[-]
Abminderungsfaktor Beullast bei Erd-/Verkehrslasten:	K_{v2}	0,86	[-]
Reibungswinkel in der Leitungszone:	ϕ'_2	35,000	°
Kritische vertikale Gesamtlast:	$q_{v,krit}$	5.490,6	kN/m ²
Vertikale Gesamtlast:	q_v	54,53	kN/m ²
Beulsicherheitsbeiwert (vertikale Gesamtlast):	γ_{qv}	100,69	[-]

Wasserdruck + Unterdruck

Äußerer Wasserdruck:	p_a	80,00	kN/m ²
Unterdruck im Rohr:	p_{l-}	0,00	kN/m ²

Rohrsteifigkeit:	S_R	280.000	N/m ²
Systemsteifigkeit:	V_{RB}	0,0119	[-]
Mittlerer Radius zu Wanddicke:	$r_{m/s}$	14,03	[-]
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	1,0	%
Abminderungsfaktor aufgrund lokaler Vorverformung für Durchschlaglast bei äußerem Wasserdruck:	$K_{a1,pa}$	0,90	[-]
Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):	$\delta_{v,B}$	0,21	%
Vorverformung Typ A:	$\delta_{v,A}$	1,0	%
Vorverformung Gesamt:	δ_v	1,21	%
Abminderungsfaktor:	$K_{a2,pa}$	0,89	[-]
Abminderungsfaktor:	$K_{a,pa}$	0,80	[-]
Durchschlagsbeiwert:	$\alpha_{D,pa}$	10,421	[-]

Kritischer Druck:	$p_{a,krit}$	2.339,845	kN/m ²
Wasserdruck + Unterdruck im Rohr:	p_{a+l-}	80,00	kN/m ²
Beulsicherheitsbeiwert Druck:	$\gamma_{Stab,pa}$	29,248	[-]

Durch Vergleichsrechnung geprüft

Superposition

Sicherheit Stabilität, radial:	$\gamma_{Stab,rad}$	22,66	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität:	erf γ_{stab}	2,00	[-]

Der Stabilitätsnachweis ist erbracht.

3.2.7.6 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei minimalem Grundwasser)

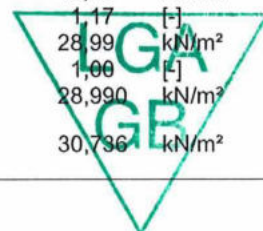
Der nichtlineare Stabilitätsnachweis entfällt, da $VRB > 1.0$ (biegesteifes Rohr) oder relative vertikale Verformung $< 6\%$.

3.2.7.7 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei maximalem Grundwasser)

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

3.2.7.8 Nachweis der Sicherheit gegen Versagen bei nicht vorwiegend ruhender Belastung

Profilhöhe:	h	59,20	mm
Schwingbreite des Rohres bei $1 \cdot 10^8$ Lastspielen:	$\Delta\sigma_{rsk,1E8}$	49,70	N/mm ²
Enthaltener Stoßfaktor:	ϕ	1,17	[-]
Spannung für Ermüden inkl. Stoßbeiwert:	p_{Tdyn}	28,99	kN/m ²
Abminderungsfaktor α_v nach Tabelle 14 für Verkehrslasten:	α_v	1,00	[-]
Abgeminderte vertikale Bodenspannung für Ermüdung:	$dyn\ p_v$	28,990	kN/m ²
Zugehöriger Bettungsreaktionsdruck:	$dyn\ p_{vh}^*$	30,736	kN/m ²

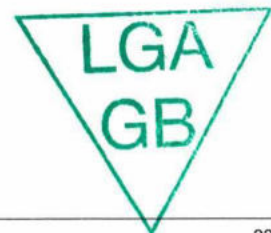


		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Moment aufgrund vertikaler Bodenspannung aufgrund dynamischer Last	m_{qv}	0,261	-0,265	0,275	[-]
	dyn M_{qv}	5,218	-5,297	5,497	kNm/m
Moment aufgrund Bettungsreaktionsdruck aufgrund dynamischer Last	m_{qh}^*	-0,181	0,208	-0,181	[-]
	dyn M_{qh}^*	-3,836	4,408	-3,836	kNm/m
Summe der Momente aufgrund Verkehrslast	$M_{QK,dyn}$	1,381	-0,889	1,661	kNm/m
Normalkraft aufgrund vertikaler Bodenspannung aufgrund dynamischer Last	n_{pv}	0,027	-1,000	-0,027	[-]
	dyn N_{qv}	0,650	-24,073	-0,650	kN/m
Normalkraft aufgrund Bettungsreaktionsdruck aufgrund dynamischer Last	n_{qh}^*	-0,577	0,000	-0,577	[-]
	dyn N_{qh}^*	-14,727	0,000	-14,727	kN/m
Moment aufgrund Bettungsreaktionsdruck aufgrund dynamischer Last	dyn M_{qh}^*	-3,836	4,408	-3,836	kNm/m
Summe der Normalkräfte aufgrund Verkehrslast	$N_{QK,dyn}$	-14,077	-24,073	-15,377	kN/m
innen Dynamischer Spannungsanteil Sicherheitsbeiwert:	dyn σ_{pv}	2,183	-1,965	2,652	N/mm ²
	dyn γ	22,763	---	18,741	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert:			erf γ	2,000	[-]
außen Dynamischer Spannungsanteil Sicherheitsbeiwert:	dyn σ_{pv}	-2,547	1,079	-3,036	N/mm ²
	dyn γ	---	46,048	---	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert:			erf γ	2,000	[-]

Die errechneten Sicherheitsbeiwerte sind ausreichend.

Alle notwendigen Nachweise sind erbracht.

Durch Vergleichsrechnung geprüft



4 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: LF2: max. Überdeckung 13m; Betriebszustand

Titel der Teilstatik: LF2: max. Überdeckung 13m; Betriebszustand

Annahmen: Verlegung nach Flowtite Verlegeanleitung für erdverlegte Rohrleitungen bzw. DIN EN 1610/DWA-A 139;

- Eisenbahnverkehrslast LM71 mehrgleisig
- Grundwasser anstehend nach Vorgabe
- Grabenbreite entspricht kleinstem ID Bestandskanal = 1,8m
- senkrechter Rohrgraben 90° (Ersatzansatz)
- E3-anstehender Boden: G1 mit 100% Proctordichte
- E2-Leitungszone: Ansatz G1 mit 97% nach Tab. 8 (A127)
- E1-Verfüllzone: Ansatz G1 mit 97% nach Tab 8 (A127)
- Auflagerwinkel 120°
- A4/B4

Schlussfolgerungen: Wir empfehlen, die Verdämmung des Ringraumes zwischen Bestandsrohr und Linerrohr nicht in einem Zug auszuführen. Um die Lagesicherheit und Beulbeanspruchung des Linerrohres gewährleisten zu können, ist eine mehrlagige Verdämmung des Ringraumes erforderlich. Die nachfolgenden Verdämmlagen dürfen dabei erst nach dem Erstarren der vorherigen Lagen eingebracht werden.

Berechnungsart:
Skizzen (Einbau/Rohr) in Ausdruck:

Nennsteifigkeit
Ja

4.1 Eingaben

4.1.1 Sicherheiten

Sicherheitsklasse:
Sicherheit Stabilität nach Tabelle 13:
Zulässige Verformung:
Behandlung von Innendruck:

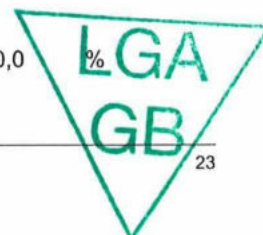
Kleinere Biegedruck-Sicherheiten:
Nachweis bei nicht vorwiegend ruhender Belastung:
Berücksichtigung von dyn pvh*:
Berücksichtigung der Vorverformungen Typ A in Verformungsnachweis:
Behandlung Systemsteifigkeit VRB nach:
Rohrsteifigkeit nach Regelwerk:

A (Regelfall)
Inklusive Vorverformungen (2,0 / 1,6)
2%, < 10 mm (unter Gleisen der DB AG)
Volle Überlagerung mit Außenbelastung
(ATV-DVWK-A 127)
Nein (ATV-DVWK-A 127)
Nach Regelwerk
Nach Norm
Nein
DWA-A 161:2014 (nach Materialart)
Ja

4.1.2 Boden

Bodengruppe Verfüllung:
Berechnung E1:
Bodengruppe Einbettung:
Berechnung E20:
Bodengruppe anstehender Boden:
Berechnung E3:
Verdichtungsgrad E3:
E4 = 10 · E1:
Anwendung von Silotheorie:

G1
Tabelle 8 (A127)
G1
Tabelle 8 (A127)
G1
Verdichtungsgrad
D_{Pr,E3} 100,0
Ja
Automatisch



K2 nach Norm:

Ja

4.1.3 Belastung

Überdeckungshöhe:
Minimaler Grundwasserstand über Sohle:
Maximaler Grundwasserstand über Sohle:
Auftriebsnachweis führen:
Wichte des Bodens:
Manuelle Angabe der Wichte des Bodens unter Auftrieb:
Zusätzliche Flächenlast:
Innendruck, kurzzeitig wirkend:
Innendruck, langfristig:
Wasserfüllung (z.B. Staukanal):
Eingabe Spezialfahrzeug:
Verkehrslast:
Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis:

h	13,00	m
hw,min	0,00	m
hw,max	8,00	m
Nein		
γB	20,0	kN/m³
Nein		
p0	0,0	kN/m²
P1,K	0,00	bar
P1,L	0,00	bar
Nein		
Nein		
Bahn LM 71 - mehrgleisig		
αqhT,dyn	0,00	%

4.1.4 Einbau

Einbauweise:
Grabenbreite in Scheitelhöhe:
Mindestgrabenbreite prüfen:
Stärke der Bettungsschicht automatisch ermitteln:
Lagenstärke der Bettungsschicht:
Böschungswinkel:
Überschüttungsbedingung:
Einbettungsbedingung:
Auflagerart:
Auflagerwinkel:
Relative Ausladung automatisch ermitteln:
Untere Sockelhöhe vorgeben:
Gesamt-Sockelhöhe:

Graben		
b	1,80	m
Nein		
Nein		
hBS	0,10	m
β	90	°
A4		
B4		
Lose		
120°		
Ja		
Nein		
hs	0,00	m

4.1.5 Rohr mit definierter Nennsteifigkeit

Rohrauswahl aus Datenbank:
Auswahl der Eingaben:
Bezeichnung:

Nein
Da und s
Flowtite GfK-Kanalrohr OD1720, PN1,
SN70.000 EVL

Außendurchmesser:
Nennweite:
Wanddicke:
Lokale Vorverformung:
Vorverformung Typ A:

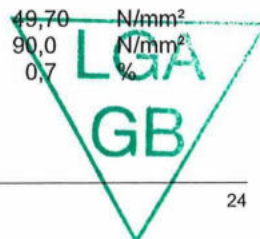
da	1.720	mm
DN	1.720	mm
t	59,2	mm
δv,I	1,0	%
δv,A	1,0	%

Nennsteifigkeit:
Nennndruck:
Relative Bruchverformung nach Norm:
Kriechverhältnis:
Abminderungsfaktor Temperatureinfluss:
Abminderungsfaktor Medienangriff:
Abminderungsfaktor dynamische Last:

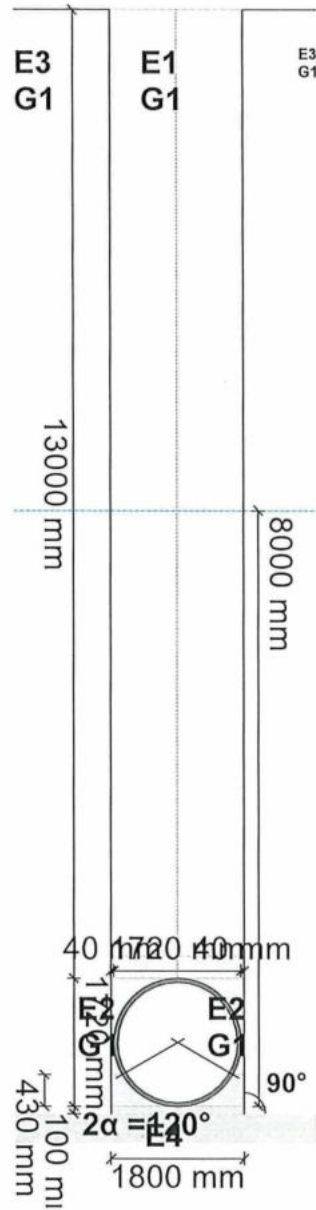
SN	70.000	N/m²
PN	1,0	bar
Ja		
fKriech	2,00	[-]
A1,Temp	1,00	[-]
A2,Medium	1,00	[-]
A3,dyn	1,00	[-]

Wichte des Rohrwerkstoffs:
Querkontraktionszahl:
Angabe der Grenzspannungen Ringzug:
Grenzdehnung Biegezug nach Norm:
Schwingbreite bei 2·10⁶ Lastspielen ist bekannt:
Schwingbreite bei 1·10⁸ Lastspielen ist bekannt:
Schwingbreite des Rohres bei 1·10⁸ Lastspielen:
Längsdruckfestigkeit, Kurzzeit:
Grenzdehnung für Längsdruck, Kurzzeit:

γR	21,00	kN/m³
v	0,30	[-]
Nein		
Ja		
Nein		
Ja		
Δσrsk, 1E8	49,70	N/mm²
f _{c,ax,K}	90,0	N/mm²
ε _{axK}	0,7	%



Verkehrslast: Bahn LM 71 - mehrgleisig



4.2 Ergebnisse

4.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:	d _i	1.601,6	mm
Außendurchmesser:	d _a	1.720,0	mm
Mittlerer Radius:	r _m	830,40	mm
Wanddicke:	s	59,20	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	r _m /s	14,027	[-]
Korrekturfaktor Krümmung innen:	α _{ki}	1,024	[-]
Korrekturfaktor Krümmung außen:	α _{ka}	0,976	[-]
Lokale Vorverformung:	δ _{v,l}	1,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	δ _{v,A}	1,00	%
Radiale Profilfläche:	A _{rad}	59,20	mm ² /mm
Trägheitsabstand:	e	29,60	mm
Trägheitsmoment:	I	17.289,56	mm ⁴ /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	W _a	584,11	mm ³ /mm
Inneres Widerstandsmoment:	W _i	584,11	mm ³ /mm
Flächenverhältnis:	K _Q	1,2	[-]

4.2.1.1 Materialeigenschaften

		Kurzzeit	Langzeit	
Wichte des Rohrwerkstoffs	Y _R	21,0	21,0	kN/m ³
Querkontraktionszahl	v	0,30	0,30	[-]
Elastizitätsmodul in Ringrichtung	E _{R,rad}	18.546,7	9.273,3	N/mm ²
Kriechverhältnis:	f _{creep}		2,00	[-]

Tabelle 3 Fußnote 34: Ermittelt aus dem Kurzzeitwert und dem Kriechverhältnis (2,0) mit Kennwerten für 2 Jahre zur Beschreibung des Langzeitverhaltens. Zulässig auch für den Langzeitnachweis für 50 Jahre. Die Prüfung erfolgt nach DIN EN 1228 (Kurzzeit) bzw. DIN EN 1225 (Langzeit).

Rechenwert der relativen Bruchverformung	Δd _{Bruch} /d _m	7,9	4,7	%
--	-------------------------------------	-----	-----	---

$$\epsilon_R = 4,28 \cdot s/d_m \cdot \Delta d_{Bruch}/d_m$$

Rechenwert der Randfasergrenzdehnung Biegezug	ε _R	1,203	0,722	%
---	----------------	-------	-------	---

$$f_t = \frac{0,50 \cdot PN \cdot 4 \cdot 2 \cdot r_m}{h}$$

Ringzugfestigkeit	f _t	5,6	2,8	N/mm ²
Schwingbreite bei 2·10 ⁶ Lastspielen:	Δσ _{rsk,2E6}	n. def.	n. def.	N/mm ²
Schwingbreite bei 5·10 ⁶ Lastspielen:	Δσ _{rsk,5E6}	n. def.	n. def.	N/mm ²
Schwingbreite bei 1·10 ⁸ Lastspielen:	Δσ _{rsk,1E8}	n. def.	n. def.	N/mm ²

4.2.1.2 Sicherheiten

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen	erf γ _{RBZ}	2,00	2,00	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen	erf γ _{RBD}	2,00	2,00	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität	erf γ _{stab}	2,00	2,00	[-]

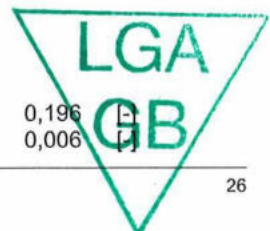
4.2.2 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12

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

4.2.3 Zwischenergebnisse bei minimalem Grundwasser

4.2.3.1 Silotheorie

Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie):	κ	0,196	[-]
Erdlastbeiwert κ ₀ für Flächenlast (Silotheorie):	κ ₀	0,006	[-]



4.2.3.2 Belastung

Grundwasserstand über Scheitel:	$h_{W,Scheitel}$	0,00	m
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:	P_{Erd}	51,09	kN/m ²
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:	P_E	51,09	kN/m ²
Faktor für Abweichung von Diagrammen/Formeln:	$f_{\alpha,Qi}$	0,00	[-]
Spannung aufgrund Verkehrslast:	P_V	15,00	kN/m ²
Enthaltener Stoßfaktor:	ϕ	1,00	[-]
Spannung für Ermüden inkl. Stoßbeiwert:	p_{Tdyn}	15,00	kN/m ²

4.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB

E-Modul Verfüllung unter Last:	$E_{1,\sigma}$	23,00	N/mm ²	
$E_{3,\sigma} = \frac{40}{1} \cdot e^{-0,188(100 - D_{Pr})}$				3.01

E-Modul anstehender Boden:	$E_{3,\sigma}$	40,00	N/mm ²
E-Modul Einbettung (abgemindert):	$E_{2,\sigma}$	23,00	N/mm ²
E-Modul Einbettung unter Last:	$E_{20,\sigma}$	23,00	N/mm ²
Reduktionsfaktor für das Kriechen:	f_1	1,000	[-]
Verdichtungsgrad aus Tabelle 8:	$D_{pr,E20}$	0,97	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):	f_2	1,000	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Diagramm 5):	α_{B0}	1,000	[-]
Abminderungsfaktor E20 (enger Graben):	α_B	1,000	[-]
E-Modul Einbettung (abgemindert):	$E_{2,\sigma}$	23,00	N/mm ²
E-Modul Boden unter dem Rohr:	$E_{4,\sigma}$	230,00	N/mm ²

4.2.3.4 Bodensteifigkeiten

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:	Δf	0,047	[-]
Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	1,704	[-]
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	23,513	N/mm ²
Vertikale Bettungssteifigkeit:	S_{Bv}	23,000	N/mm ²

4.2.3.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:	2α	120	°
Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:	t_r	0,430	m
Berechnete Ausladung:	a	1,00	[-]
Wirksame Ausladung:	a'	1,000	[-]
Innerer Reibungswinkel:	ϕ'	35,000	°
Wandreibungswinkel:	δ	35,000	°

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

4.2.3.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

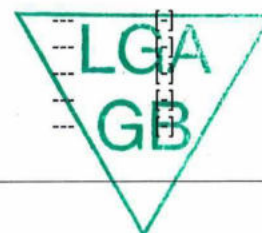
Rohrsteifigkeit	S_R	560.000	343.553	280.000	N/m ²
Rechenwert der Randfasergrenzdehnung	ϵ_R	1,203	0,831	0,722	%
Biegezug					
Elastizitätsmodul in Ringrichtung	$E_{R,rad}$	18.546,7	11.378,2	9.273,3	N/mm ²

4.2.3.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet	$V_{RB,w}$	0,0238	0,0146	0,0119	[-]
Steifigkeitsverhältnis	V_S	0,9485	0,8125	---	[-]
Beiwert für die vertikale Verformung	c_v^*	-0,026	-0,018	---	[-]

4.2.3.8 Beiwerte

Erdruckbeiwert (Einbettung)	K_2	0,400	0,400	---
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	K^*	0,994	1,108	---
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'h$	0,0891	0,0891	---
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'h_{qh^*}$	-0,0658	-0,0658	---
Beiwert für die vertikale Verformung	c_v^*	-0,026	-0,018	---



4.2.3.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B

Maximaler Konzentrationsfaktor	$\max \lambda$	1,749	1,749	---	[-]
Beiwert für maximalen Konzentrationsfaktor	K'	0,928	0,925	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert	λ_R	1,040	0,989	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss	λ_{RG}	1,001	1,000	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert	λ_{fo}	2,500	2,500	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert	λ_{fu}	0,188	0,188	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert	λ_{RG}	1,001	1,000	---	[-]
Konzentrationsfaktor Boden	λ_B	0,987	1,004	---	[-]

4.2.3.10 Druckverteilung am Rohrumfang

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Vertikale Gesamtlast	q_v	66,12	66,08	---	kN/m ²
Seitendruck	q_h	27,04	27,39	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Erdlasten)	q^*_{th}	40,60	44,85	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung)	q^*_{hw}	0,00	0,00	---	kN/m ²

4.2.4 Zwischenergebnisse bei maximalem Grundwasser

4.2.4.1 Silotheorie

Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie):	κ	0,196	[-]
Erdlastbeiwert κ_0 für Flächenlast (Silotheorie):	κ_0	0,006	[-]

4.2.4.2 Belastung

Grundwasserstand über Scheitel:	$h_{W,Scheitel}$	6,16	m
Wichte Verfüllung unter Wasser:	γ'	11,00	kN/m ³
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:	P_{Erd}	40,19	kN/m ²
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:	P_E	40,19	kN/m ²
Faktor für Abweichung von Diagrammen/Formeln:	$f_{a,Qi}$	0,00	[-]
Spannung aufgrund Verkehrslast:	P_V	15,00	kN/m ²
Enthaltener Stoßfaktor:	ϕ	1,00	[-]
Spannung für Ermüden inkl. Stoßbeiwert:	ρT_{dyn}	15,00	kN/m ²

4.2.4.3 Boden-Verformungsmoduln EB

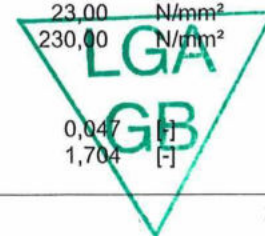
E-Modul Verfüllung unter Last:	$E_{1,\sigma}$	23,00	N/mm ²
--------------------------------	----------------	-------	-------------------

$$E_{3,\sigma} = \frac{40}{1} \cdot e^{-0,188(100 - D_{Pr})} \quad 3.01$$

E-Modul anstehender Boden:	$E_{3,\sigma}$	40,00	N/mm ²
E-Modul Einbettung (abgemindert):	$E_{2,\sigma}$	23,00	N/mm ²
E-Modul Einbettung unter Last:	$E_{20,\sigma}$	23,00	N/mm ²
Reduktionsfaktor für das Kriechen:	f_1	1,000	[-]
Verdichtungsgrad aus Tabelle 8:	$D_{pr,E20}$	0,97	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):	f_2	1,000	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Diagramm 5):	α_{B0}	1,000	[-]
Abminderungsfaktor E20 (enger Graben):	α_B	1,000	[-]
E-Modul Einbettung (abgemindert):	$E_{2,\sigma}$	23,00	N/mm ²
E-Modul Boden unter dem Rohr:	$E_{4,\sigma}$	230,00	N/mm ²

4.2.4.4 Bodensteifigkeiten

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:	Δf	0,047	[-]
Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	1,704	[-]



Horizontale Bettungssteifigkeit:	SBh	23,513	N/mm ²
Vertikale Bettungssteifigkeit:	SBv	23,000	N/mm ²

4.2.4.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:	2α	120	°
Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:	t _r	0,430	m
Berechnete Ausladung:	a	1,00	[-]
Wirksame Ausladung:	a'	1,000	[-]
Innerer Reibungswinkel:	φ'	35,000	°
Wandreibungswinkel:	δ	35,000	°

Kurzzeit
alle Lasten

Langzeit
Erdlasten
Verkehrslast

Langzeit
sonstige
Lasten

4.2.4.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

Rohrsteifigkeit	S _R	560.000	356.101	280.000	N/m ²
Rechenwert der Randfasergrenzdehnung	ε _R	1,203	0,853	0,722	%
Biegezug					
Elastizitätsmodul in Ringrichtung	E _{R,rad}	18.546,7	11.793,7	9.273,3	N/mm ²

4.2.4.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet	V _{RB,w}	0,0238	0,0151	0,0119	[-]
Steifigkeitsverhältnis	V _S	0,9485	0,8213	---	[-]
Beiwert für die vertikale Verformung	c _v *	-0,026	-0,019	---	[-]

4.2.4.8 Beiwerte

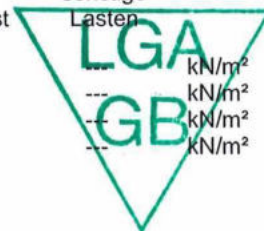
Erddruckbeiwert (Einbettung)	K ₂	0,400	0,400	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	K*	0,994	1,101	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c' _h	0,0891	0,0891	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c' _{h,qh} *	-0,0658	-0,0658	---	[-]
Beiwert für die vertikale Verformung	c _v *	-0,026	-0,019	---	[-]

4.2.4.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B

Maximaler Konzentrationsfaktor	max λ	1,749	1,749	---	[-]
Beiwert für maximalen Konzentrationsfaktor	K'	0,928	0,925	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert	λ _R	1,040	0,993	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss	λ _{RG}	1,001	1,000	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert	λ _{fo}	2,500	2,500	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert	λ _{fu}	0,188	0,188	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert	λ _{RG}	1,001	1,000	---	[-]
Konzentrationsfaktor Boden	λ _B	0,987	1,002	---	[-]

4.2.4.10 Druckverteilung am Rohrumfang

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Vertikale Gesamtlast	q _v	55,21	55,19	---	kN/m ²
Seitendruck	q _h	19,65	19,90	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Erdlasten)	q* _h	36,63	40,27	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung)	q* _{hw}	0,00	0,00	---	kN/m ²



4.2.5 Schnittkräfte

4.2.5.1 Schnittkräfte bei minimalem Grundwasser, Kurzzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):

			r	1,000	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	830,40	830,40	830,40	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	11,900	-12,082	12,538	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-4,662	4,662	-4,662	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	-5,067	5,823	-5,067	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,327	-0,377	0,446	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	2,497	-1,974	3,254	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	830,40	830,40	830,40	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	1,482	-54,904	-1,482	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-22,457	0,000	-22,457	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	-19,453	0,000	-19,453	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,258	-1,622	-0,258	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N_{pw}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-40,169	-56,526	-43,650	kN/m

4.2.5.2 Schnittkräfte bei minimalem Grundwasser, Langzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):

			r	1,000	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	830,40	830,40	830,40	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	11,892	-12,075	12,530	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-4,721	4,721	-4,721	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	-5,597	6,432	-5,597	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,327	-0,377	0,446	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	1,900	-1,298	2,657	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	830,40	830,40	830,40	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	1,482	-54,871	-1,482	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-22,743	0,000	-22,743	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	-21,488	0,000	-21,488	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,258	-1,622	-0,258	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N_{pw}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-42,491	-56,493	-45,970	kN/m

4.2.5.3 Schnittkräfte bei maximalem Grundwasser, Kurzzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):

			r	1,000	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	

Mittlerer Radius	r_m	830,40	830,40	830,40	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	9,937	-10,090	10,470	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-3,387	3,387	-3,387	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	-4,572	5,254	-4,572	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,327	-0,377	0,446	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	-0,023	-0,023	-0,023	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	2,281	-1,849	2,934	kNm/m

Mittlerer Radius	r_m	Scheitel 830,40	Kämpfer 830,40	Sohle 830,40	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	1,238	-45,850	-1,238	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-16,315	0,000	-16,315	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	-17,553	0,000	-17,553	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,258	-1,622	-0,258	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N_{pw}	-68,800	-68,800	-68,800	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-101,172	-116,272	-104,164	kN/m

4.2.5.4 Schnittkräfte bei maximalem Grundwasser, Langzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):

			r	1,000	[-]
Mittlerer Radius	r_m	Scheitel 830,40	Kämpfer 830,40	Sohle 830,40	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	9,932	-10,084	10,465	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-3,430	3,430	-3,430	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	-5,026	5,776	-5,026	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,327	-0,377	0,446	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	-0,023	-0,023	-0,023	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	1,779	-1,279	2,431	kNm/m

Mittlerer Radius	r_m	Scheitel 830,40	Kämpfer 830,40	Sohle 830,40	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	1,237	-45,826	-1,237	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-16,524	0,000	-16,524	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	-19,294	0,000	-19,294	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,258	-1,622	-0,258	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N_{pw}	-68,800	-68,800	-68,800	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-103,122	-116,248	-106,113	kN/m

4.2.6 Nachweise Kurzzeit

4.2.6.1 Dehnungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

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

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:

erf γ_{RBZ} 2,00 [-]
erf γ_{RBD} 2,00 [-]

Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$f_{t,fl,res}$	---	---	---	N/mm ²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$f_{c,rad,res}$	---	---	---	N/mm ²

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:		α_{ki}	1,024	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle
Dehnung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	ϵ_{qv,qh,qh^*}	0,017	-0,020	0,023 %
Dehnung aufgrund anderer Lasten	ϵ_{sonst}	0,003	-0,004	0,004 %
Dehnung gesamt	ϵ	0,020	-0,024	0,027 %
Anzusetzende Randfasergrenzdehnung	$\epsilon_{R,res}$	1,20	1,20	1,20 %
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	60,341	---	44,926 [-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ_{BD}	---	50,543	---

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:		α_{ka}	0,976	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle
Dehnung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	ϵ_{qv,qh,qh^*}	-0,023	0,009	-0,029 %
Dehnung aufgrund anderer Lasten	ϵ_{sonst}	-0,003	0,003	-0,004 %
Dehnung gesamt	ϵ	-0,026	0,013	-0,033 %
Anzusetzende Randfasergrenzdehnung	$\epsilon_{R,res}$	1,20	1,20	1,20 %
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	---	95,177	---
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ_{BD}	45,990	---	36,126 [-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Dehnungsnachweises sind ausreichend.

4.2.6.2 Dehnungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

Durch Vergleichsrechnung geprüft

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

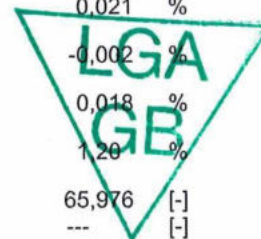
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugsspannungen:	erf γ_{BZ}	2,00	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedrucksspannungen:	erf γ_{BD}	2,00	[-]
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$f_{t,fl,res}$	---	N/mm ²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$f_{c,rad,res}$	---	N/mm ²

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:		α_{ki}	1,024	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle
Dehnung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	ϵ_{qv,qh,qh^*}	0,016	-0,018	0,021 %
Dehnung aufgrund anderer Lasten	ϵ_{sonst}	-0,003	-0,010	-0,002 %
Dehnung gesamt	ϵ	0,012	-0,028	0,018 %
Anzusetzende Randfasergrenzdehnung	$\epsilon_{R,res}$	1,20	1,20	1,20 %
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	97,461	---	65,976 [-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ_{BD}	---	42,874	---

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:		α_{ka}	0,976	[-]
---------------------------------	--	---------------	-------	-----



Dehnung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	ϵ_{qv,qh,qh^*}	Scheitel -0,021	Kämpfer 0,009	Sohle -0,026	%
Dehnung aufgrund anderer Lasten	ϵ_{sonst}	-0,009	-0,003	-0,010	%
Dehnung gesamt	ϵ	-0,030	0,006	-0,036	%
Anzusetzende Randfasergrenzdehnung	$\epsilon_{R,res}$	1,20	1,20	1,20	%
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	---	198,181	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	40,409	---	33,491	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Dehnungsnachweises sind ausreichend.

4.2.6.3 Verformungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

Rechenmodus:	linear	
Verhältnis:	$I/(A \cdot m^2)$	0,00042 [-]
Verhältnis $I/(A \cdot m^2) \cdot \kappa \sim Q'$:	$I/(A \cdot m^2) \cdot \kappa_Q$	0,00051 [-]

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

Vertikale Durchmesseränderung:	Δd_v	3,12	mm
Horizontale Durchmesseränderung:	Δd_h	2,87	mm

Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):	$\delta_{v,B}$	0,19	%
--	----------------	------	---

Maximale absolute Verformung im Bereich der Bahn:	δ_{Abs}	10,00	mm
Umgerechnete relative Verformung:	$\delta_{v,BA}$	0,60	%
Zulässige Verformung im Bereich der Bahn:	$\delta_{v,B}$	2,00	%
Zulässige Verformung:	zul δ_v	0,60	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

4.2.6.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

Rechenmodus:	linear	
Verhältnis:	$I/(A \cdot m^2)$	0,00042 [-]
Verhältnis $I/(A \cdot m^2) \cdot \kappa \sim Q'$:	$I/(A \cdot m^2) \cdot \kappa_Q$	0,00051 [-]

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

Vertikale Durchmesseränderung:	Δd_v	2,82	mm
Horizontale Durchmesseränderung:	Δd_h	2,59	mm

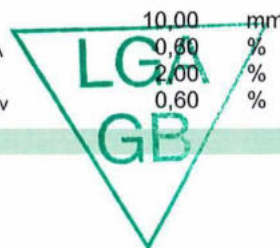
Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):	$\delta_{v,B}$	0,17	%
--	----------------	------	---

Maximale absolute Verformung im Bereich der Bahn:	δ_{Abs}	10,00	mm
Umgerechnete relative Verformung:	$\delta_{v,BA}$	0,60	%
Zulässige Verformung im Bereich der Bahn:	$\delta_{v,B}$	2,00	%
Zulässige Verformung:	zul δ_v	0,60	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

4.2.7 Nachweise Langzeit

Durch Vergleichsrechnung geprüft



4.2.7.1 Dehnungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

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

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:	erf γ_{RBZ}	2,00	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf γ_{RBD}	2,00	[-]
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$f_{t,fl,res}$	---	N/mm ²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$f_{c,rad,res}$	---	N/mm ²

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,024	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Dehnung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	ϵ_{qv,qh,qh^*}	0,018	-0,022	0,027	%
Dehnung aufgrund anderer Lasten	ϵ_{sonst}	0,006	-0,007	0,008	%
Dehnung gesamt	ϵ	0,024	-0,030	0,036	%
Anzusetzende Randfasergrenzdehnung	$\epsilon_{R,res}$	0,81	0,81	0,81	%
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	33,462	---	22,692	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ_{BD}	---	27,145	---	[-]

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:	α_{ka}	0,976	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Dehnung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	ϵ_{qv,qh,qh^*}	-0,029	0,005	-0,039	%
Dehnung aufgrund anderer Lasten	ϵ_{sonst}	-0,006	0,007	-0,008	%
Dehnung gesamt	ϵ	-0,035	0,012	-0,047	%
Anzusetzende Randfasergrenzdehnung	$\epsilon_{R,res}$	0,82	0,78	0,82	%
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	---	65,362	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ_{BD}	23,111	---	17,219	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Dehnungsnachweises sind ausreichend.

4.2.7.2 Dehnungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

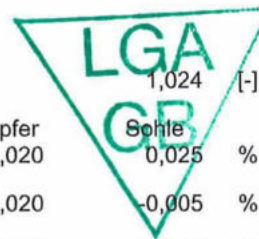
$$\epsilon_{R,res} = \frac{|\epsilon_{qv,qh,qh^*}| \cdot \bar{\epsilon}_R + |\epsilon_{sonst}| \cdot \epsilon_{R,L}}{|\epsilon_{qv,qh,qh^*}| + |\epsilon_{sonst}|} \quad \text{Durch Vergleichsrechnung geprüft} \quad (9.01d)$$

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:	erf γ_{RBZ}	2,00	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf γ_{RBD}	2,00	[-]
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$f_{t,fl,res}$	---	N/mm ²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$f_{c,rad,res}$	---	N/mm ²

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,024	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Dehnung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	ϵ_{qv,qh,qh^*}	0,017	-0,020	0,025	%
Dehnung aufgrund anderer Lasten	ϵ_{sonst}	-0,007	-0,020	-0,005	%
Dehnung gesamt	ϵ	0,010	-0,040	0,020	%



Anzusetzende Randfasergrenzdehnung	$\epsilon_{R,res}$	0,82	0,79	0,84	%
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	80,324	---	41,901	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	---	19,838	---	[-]
außen					
Korrekturfaktor Krümmung außen:			α_{ka}	0,976	[-]
Dehnung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	ϵ_{qv,qh,qh^*}	Scheitel -0,026	Kämpfer 0,006	Sohle -0,034	%
Dehnung aufgrund anderer Lasten	ϵ_{sonst}	-0,018	-0,006	-0,020	%
Dehnung gesamt	ϵ	-0,044	0,000	-0,054	%
Anzusetzende Randfasergrenzdehnung	$\epsilon_{R,res}$	0,81	0,80	0,81	%
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	---	2.893,094	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	18,405	---	15,025	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Dehnungsnachweises sind ausreichend.

4.2.7.3 Verformungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

Rechenmodus:	linear	
Verhältnis:	$I/(A \cdot \text{rm}^2)$	0,00042 [-]
Verhältnis $I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa \sim Q'$:	$I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa_Q$	0,00051 [-]

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

Vertikale Durchmesseränderung:	Δd_v	3,62	mm
Horizontale Durchmesseränderung:	Δd_h	3,17	mm

Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):	$\delta_{v,B}$	0,22	%
--	----------------	------	---

Maximale absolute Verformung im Bereich der Bahn:	δ_{Abs}	10,00	mm
Umgerechnete relative Verformung:	$\delta_{v,BA}$	0,60	%
Zulässige Verformung im Bereich der Bahn:	$\delta_{v,B}$	2,00	%
Zulässige Verformung:	zul δ_v	0,60	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

4.2.7.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

Rechenmodus:	linear	
Verhältnis:	$I/(A \cdot \text{rm}^2)$	0,00042 [-]
Verhältnis $I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa \sim Q'$:	$I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa_Q$	0,00051 [-]

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

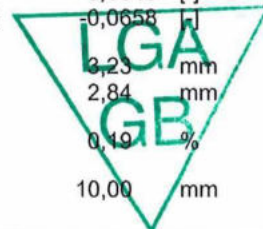
Eine Anpassung der Verformungsbeiwerte für Biegemomente nach ATV-DVWK-A 127 Tabelle 10a unterbleibt, da Gl. (6.19a) und Gl. (6.19b) $< 0,001$

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

Vertikale Durchmesseränderung:	Δd_v	2,23	mm
Horizontale Durchmesseränderung:	Δd_h	2,84	mm

Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):	$\delta_{v,B}$	0,19	%
--	----------------	------	---

Maximale absolute Verformung im Bereich der Bahn:	δ_{Abs}	10,00	mm
---	----------------	-------	----



Umgerechnete relative Verformung:	$\delta_{v,BA}$	0,60	%
Zulässige Verformung im Bereich der Bahn:	$\delta_{v,B}$	2,00	%
Zulässige Verformung:	zul δ_v	0,60	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

4.2.7.5 Nachweis Stabilität radial, linear (bei maximalem Grundwasser)

Erd- und Verkehrslasten

Rohrsteifigkeit:	\bar{S}_R	356.101	N/m ²
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	23,513	N/mm ²
Systemsteifigkeit, gewichtet:	$V_{RB,w}$	0,0151	[-]
Abminderungsfaktor Beullast bei Erd-/Verkehrslasten:	K_{v2}	0,87	[-]
Reibungswinkel in der Leitungszone:	ϕ^2	35,000	°
Kritische vertikale Gesamtlast:	krit q_v	5.013,0	kN/m ²
Vertikale Gesamtlast:	q_v	55,19	kN/m ²
Beulsicherheitsbeiwert (vertikale Gesamtlast):	γ_{qv}	90,84	[-]

Wasserdruck + Unterdruck

Äußerer Wasserdruck:	p_a	80,00	kN/m ²
Unterdruck im Rohr:	p_i	0,00	kN/m ²

Rohrsteifigkeit:	S_R	280.000	N/m ²
Systemsteifigkeit:	V_{RB}	0,0119	[-]
Mittlerer Radius zu Wanddicke:	$r_{m/s}$	14,03	[-]
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	1,0	%
Abminderungsfaktor aufgrund lokaler Vorverformung für Durchschlaglast bei äußerem Wasserdruck:	$K_{a1,pa}$	0,90	[-]
Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):	$\delta_{v,B}$	0,19	%
Vorverformung Typ A:	$\delta_{v,A}$	1,0	%
Vorverformung Gesamt:	δ_v	1,19	%
Abminderungsfaktor:	$K_{a2,pa}$	0,89	[-]
Abminderungsfaktor:	$K_{a,pa}$	0,80	[-]
Durchschlagsbeiwert:	$\alpha_{D,pa}$	10,421	[-]

Durch Vergleichsrechnung geprüft

Kritischer Druck:	krit p_a	2.342,435	kN/m ²
Wasserdruck + Unterdruck im Rohr:	$p_a + p_i$	80,00	kN/m ²
Beulsicherheitsbeiwert Druck:	$\gamma_{Stab,pa}$	29,280	[-]

Superposition

Sicherheit Stabilität, radial:	$\gamma_{Stab,rad}$	22,14	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität:	erf γ_{stab}	2,00	[-]

Der Stabilitätsnachweis ist erbracht.

4.2.7.6 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei minimalem Grundwasser)

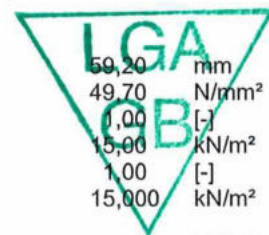
Der nichtlineare Stabilitätsnachweis entfällt, da $VRB > 1.0$ (biegesteifes Rohr) oder relative vertikale Verformung $< 6\%$.

4.2.7.7 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei maximalem Grundwasser)

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

4.2.7.8 Nachweis der Sicherheit gegen Versagen bei nicht vorwiegend ruhender Belastung

Profilhöhe:	h	59,20	mm
Schwingbreite des Rohres bei $1 \cdot 10^8$ Lastspielen:	$\Delta\sigma_{rsk,1E8}$	49,70	N/mm ²
Enthaltener Stoßfaktor:	ϕ	0,00	[-]
Spannung für Ermüden inkl. Stoßbeiwert:	p_{Tdyn}	15,90	kN/m ²
Abminderungsfaktor α_v nach Tabelle 14 für Verkehrslasten:	α_v	1,00	[-]
Abgeminderte vertikale Bodenspannung für Ermüdung:	dyn p_v	15,900	kN/m ²
Zugehöriger Bettungsreaktionsdruck:	dyn p_{vh}^*	16,511	kN/m ²



		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Moment aufgrund vertikaler Bodenspannung aufgrund dynamischer Last	m_{qv} dyn M_{qv}	0,261 2,700	-0,265 -2,741	0,275 2,844	[-] kNm/m
Moment aufgrund Bettungsreaktionsdruck aufgrund dynamischer Last	m_{qh}^* dyn M_{qh}^*	-0,181 -2,061	0,208 2,368	-0,181 -2,061	[-] kNm/m
Summe der Momente aufgrund Verkehrslast	$M_{QK,dyn}$	0,639	-0,373	0,784	kNm/m
Normalkraft aufgrund vertikaler Bodenspannung aufgrund dynamischer Last	n_{pv} dyn N_{qv}	0,027 0,336	-1,000 -12,456	-0,027 -0,336	[-] kN/m
Normalkraft aufgrund Bettungsreaktionsdruck aufgrund dynamischer Last	n_{qh}^* dyn N_{qh}^*	-0,577 -7,911	0,000 0,000	-0,577 -7,911	[-] kN/m
Moment aufgrund Bettungsreaktionsdruck aufgrund dynamischer Last	dyn M_{qh}^*	-2,061	2,368	-2,061	kNm/m
Summe der Normalkräfte aufgrund Verkehrslast	$N_{QK,dyn}$	-7,575	-12,456	-8,248	kN/m
innen Dynamischer Spannungsanteil Sicherheitsbeiwert:	dyn σ_{pv} dyn γ	0,992 50,112	-0,864 ---	1,234 40,268	N/mm ² [-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert:			erf γ	2,000	[-]
außen Dynamischer Spannungsanteil Sicherheitsbeiwert:	dyn σ_{pv} dyn γ	-1,196 ---	0,413 120,424	-1,449 ---	N/mm ² [-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert:			erf γ	2,000	[-]

Die errechneten Sicherheitsbeiwerte sind ausreichend.

Alle notwendigen Nachweise sind erbracht.

Durch Vergleichsrechnung geprüft



5 Anhänge



Angaben zur statischen Berechnung

Für den Anwendungsfall erdverlegter Rohrleitungen,
Berechnung nach ATV-DVWK-A 127

Bitte senden an:

Amiblu Germany GmbH
Am Fuchsloch 19
D-04720 Döbeln
T +49 3431 71820

Amiblu Germany GmbH
Gewerbepark 1
D-17039 Trollenhagen
T +49 395 45280

Amiblu Holding GmbH
Sterneckstrasse 19
A-9020 Klagenfurt
T +43 463 482424

Amiblu Switzerland AG
Turmstrasse 28
CH-6312 Steinhausen
T +41 79 8897 970

Als pdf Dokument per Email bitte senden an: Statik-Dach@Amiblu.com

Rohrleitung:

Nennweite DN

1720

Druckklasse PN

1

Steifigkeitsklasse SN

70.000

Rohrmaterial

GFK (UP-GF)

Abwasserkanal ☒

Abwasserdruckleitung ☐

Druckleitung ☐

Trinkwasserdruckleitung ☐

Verlegung im Wasserschutzgebiet ☐

Luftleitung ☐

Stauraumkanal ☐

Sonstiges ☐

Bodenarten:

gemäß ATV-DVWK-A 127, DIN 18196

(bitte Baugrundgutachten beifügen)

- G1 Nichtbindiger Sand und Kies
(GE, GW, GI, SE, SW, SI)
G2 Schwachbindiger Sand und Kies
(GU, GT, SU, ST)
G3 Bindige Mischböden, Schluff
(GÜ, G†, SÜ, S†, UL, UM)
G4 Bindige Böden, Ton
(TL, TM, TA, OU, OT, OH, UA)
Sonstige Böden Texteingabe

Anstehender Boden
(Grabenaushub)



Überschüttung



Leitungszone



Verdichtungsgrad des anstehenden Bodens
(Proctordichte 85 – 100 %)

95%
(Bitte unbedingt ausfüllen!)

Baugrund unter der Grabensohle

- ☐ Wie anstehender Boden
☐ Sehr hart, steinig oder felsig
☐ Nicht tragfähiger Boden (Bodenaustausch erforderlich)

Bodenaustausch: _____ Dicke _____ m

Material _____

Verdichtungsgrad D_{pr} _____ %

Belastungen:

Überdeckungshöhe h

minimale Überdeckung

maximale Überdeckung

min. Grundwasserstand h_w über Sohle

max. Grundwasserstand h_w über Sohle

Flächenlasten

kN/m²

? sgl. zuzählende Last für Ballast

bei Druckleitungen — kurzzeitig wirkend

bar, z. B. Systemprüfdruck (STP), Staudruck

langzeitig wirkend

bar, z. B. Betriebsdruck (OP); Systembetriebsdruck (PN, DP)

Verkehrslasten

☐ kein Verkehr

Straße

- ☐ SLW 60
☐ SLW 30
☐ LKW 12
☐ DIN EN 1991-2, TS und UDL
☐ LM1-Fahrbahnstreifen 3,00 m
☐ LM1-Fahrbahnstreifen 2,70 m
☐ LM1-Grünflächen

Eisenbahn

- ☐ eingleisig, UIC
☐ zweigleisig, UIC
☐ eingleisig, LM 71
☒ zweigleisig, LM 71

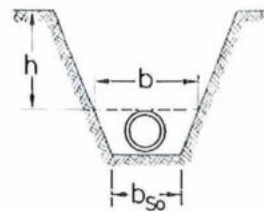
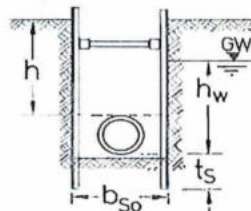
Flugzeug

- ☐ BFZ 90
☐ BFZ 180
☐ BFZ 350
☐ BFZ 550
☐ BFZ 750

Sonstige Belastungen, z. B. Spezialfahrzeuge (Lastbild beifügen):

Bauausführung:

entfällt da Lösung in Beibeh.



Grabenform ☐ Damm ☐ Einzelgraben ☐ Mehrfachgraben ¹⁾ ☐ Stufengraben ¹⁾

¹⁾ Skizze erforderlich

Böschungswinkel ☐ 90° ☐ 60° ☐ 45° ☐



Grabenbreite $b =$ m in Höhe Rohrscheitel
 $b_{so} =$ m in Höhe Rohrgrabensohle incl. Verbau

Verbau ☐ Kein Verbau

- ☐ Waagrecht (auch Berliner Verbau)
- ☐ Verbauplatten – Verbaugeräte
- ☐ Senkrecht – Holzbohlen
- ☐ Senkrecht – Kanaldielen*
- ☐ Senkrecht – Leichtspundprofile*
- ☐ Senkrecht – Spundprofile*

*Einspanntiefe Verbau im Boden $t_s =$

*Dicke des Verbaus (einseitig) $b_s =$

Auflager

- ☐ anstehender Boden (nach EN 1610)
 - ☐ Sand-/Kies-Sand-Auflager
 - ☐ Betonaufleger ²⁾
- ²⁾ nur als Sonderkonstruktion in Absprache mit dem Hersteller

Auflager-
winkel 2α

- ☐ 90° ☐ 180° ☐ 120°

Überschüttungsbedingungen für die Grabenverfüllung:

Bei der Grabenverfüllung oberhalb der Leitungszone sind vier Überschüttungsbedingungen A1 bis A4 zu unterscheiden:

- A1** ☐ Lagenweise gegen den gewachsenen Boden verdichtete Grabenverfüllung (ohne Nachweis des Verdichtungsgrades); gilt auch für Trägerbohlwände (Berliner Verbau)
- A2** ☐ Senkrechter Verbau des Rohrgrabens mit Kanaldielen, die erst nach dem Verfüllen gezogen werden; Verbauplatten oder -geräte, die bei der Verfüllung des Grabens schrittweise entfernt werden; Unverdichtete Grabenverfüllung / Einspülen der Verfüllung (nur Böden der Gruppe G1)
- A3** ☐ Senkrechter Verbau des Rohrgrabens mit Spundwänden, Leichtspundprofilen, Holzbohlen, Verbauplatten und -geräten, die erst nach dem Verfüllen entfernt werden
- A4** ☐ Lagenweise gegen den gewachsenen Boden verdichtete Grabenverfüllung mit Nachweis des nach ZTVE-StB erforderlichen Verdichtungsgrades; gilt auch für Trägerbohlwände (Berliner Verbau) (nicht anwendbar für Bodengruppe G4)

Einbettungsbedingungen für die Rohrleitungszone:

Für die Einbettung in der Leitungszone sind vier Einbettungsbedingungen B1 bis B4 zu unterscheiden:

- B1** ☐ Lagenweise gegen den gewachsenen Boden bzw. lagenweise in der Dammschüttung verdichtete Einbettung (ohne Nachweis des Verdichtungsgrades; gilt auch für Trägerbohlwände (Berliner Verbau).
- B2** ☐ Senkrechter Verbau innerhalb der Leitungszone mit Kanaldielen, die bis zur Grabensohle reichen und erst nach dem Verfüllen gezogen werden; Verbauplatten und -geräte unter der Voraussetzung, dass die Verdichtung des Bodens nach dem Ziehen des Verbaus sichergestellt ist
- B3** ☐ Senkrechter Verbau innerhalb der Leitungszone mit Spundwänden oder Leichtspundprofilen und Verdichtung gegen den Verbau, der bis unter die Grabensohle reicht
- B4** ☐ Lagenweise gegen den gewachsenen Boden bzw. lagenweise in der Dammschüttung verdichtete Einbettung mit Nachweis der nach ZTVE-StB erforderlichen Verdichtungsgrades (nicht anwendbar für Bodengruppe G4)



Anhang G Mindestangaben für die statische Berechnung

Firmenstempel/Adresse

1. Altrohr

Werkstoff Stahlbeton / Beton
 Geometrie:
 Kreisprofil ☐ Nennweite DN 1.800 mm
 Eiprofil ☐ Breite/Höhe B/H _____ mm
 anderes Profil ☐ genaue Maße und Radien
 siehe getrenntes Blatt
 Wanddicke $t =$ 120 mm (waist-case)

Allgemeine Schadensbeschreibung
(vgl. ATV-DVWK-M 143-1):

Sohlauswaschungen ☐ _____
 Scheitellängsrisse ☐ _____
 Querrisse ☐ _____
 Scherbenbildung ☐ _____
 Rohrfehlstellen ☐ _____
 maximale Ausdehnung: _____ mm
 sonstige Schäden: _____

Auswaschungen, Zuschlag sichtbar,
 Beton aufgewölbt bis 4cm, Bewehrung sichtbar
 + korrodiert

Einschätzung der Tragfähigkeit
(Zutreffendes ankreuzen):

Altrohrzustand I: Altrohr allein tragfähig ☐
 Altrohrzustand II: Altrohr-Bodensystem
 allein tragfähig ☐
 Altrohrzustand III: Altrohr-Bodensystem
 langfristig allein nicht mehr tragfähig ☐
 Altrohrzustand IIIa: Altrohr \approx Kies ☒
 allgemeine Beschreibung von ggf. vorhandenen
 Alrohrverformungen: keine Verformungen - Kreisrund DN 1.800

2. Sanierungsverfahren (Bezeichnungen siehe DWA-M 143-3)

Eizelrohr-Relining
 Besonderheiten: werkstoffsichere Rohre
 (Nahtlage, Schwächungen durch Noppen etc.)

3. Geometrie Liner

bei Kreisprofilen: mittlerer Radius r_L _____ mm
 bei Eiprofilen: mitrl. Scheitelform r_L _____ mm
 Mindestwanddicke t_L _____ mm

4. Werkstoffkennwerte Liner (charakt. Werte)

Linerwerkstoff _____
 Elastizitätsmodul des Liners:
 Kurzzeit _____ N/mm²
 Langzeit _____ N/mm²
 ggf. Zugfestigkeit σ_{LZ} , Langzeit _____ N/mm²
 Biegezugfestigkeit σ_{BZ} , Langzeit _____ N/mm²
 Druckfestigkeit σ_D , Langzeit _____ N/mm²
 ggf. Bruchdehnung ϵ_B , Langzeit _____ %

5. Lasten, Bodenkennwerte

(nur bei Alrohrzustand III und IIIa sowie ggf. zur
 Abgrenzung zwischen den Alrohrzuständen II und III)

Verkehrslast UIC 71 mäßig
 Überdeckung über Rohrscheitel
 max $h =$ 13,00 m
 min $h =$ 6,00 m

Boden in der Leitungszone:

Bodengruppe 6.1, 6.2, 6.4
 Verformungsmodul $E_s =$ _____ N/mm²
 Winkel der inneren Reibung $\phi =$ _____ °

6. Einwirkungen

Grundwasser über Rohrsohle 8,00 m
 (mind. 1,5 m oder $H + 0,1$ m)

örtlich begrenzte Vorverformung

- Kreisprofile nach Bild 6a,
 Tiefe: $a_L =$ _____ %⁽¹²⁾
 Ausbreitung: $2\phi_L =$ _____ °
 (i. d. R. 40°)
 Lage ϕ_L (Rohrsohle = 180°) _____ °
 (i. d. R. 180°)

- Eiprofile nach Bild 9,

Tiefe: $w/r_{Lx} \cdot 100 \% =$ _____ %⁽¹³⁾
 Ausbreitung: $2\phi_L =$ _____ °
 (i. d. R. 30°)
 Lage: $\phi_L =$ _____ °
 (i. d. R. $\approx 18^\circ$)⁽¹⁴⁾

Gelenkvorverformung („Ovalisierung“
nach Bild 6b, nur Alrohrzustand II od. III)

$\omega_{G,v} =$ _____ %

Spaltweite nach Bild 6c:

$\omega_s =$ _____ %

Wärmeeinwirkungen:

Abkühlung $\Delta\theta < 0$ _____ K
 Erwärmung $\Delta\theta > 0$ _____ K
 Innendruck: $p_i =$ _____ bar
 ggf. Wanddickenstreuungen:
 $\Delta t_L/t_L \cdot 100 \% =$ _____ %

Datum, Unterschrift

7. Anlagen

Bodengutachten: _____
 Kanalinspektion: _____
 Werkstoffgutachten Liner: _____
 Beprobung Alrohr: _____
 Sonstige: _____

12) Ohne genauere Messungen i. d. R. $\geq 2 \%$.
 13) I. d. R. 0,5 % des Kämpferadius.
 14) I. d. R. in der Mitte des flachen Bereichs,



Anhang 2: Angaben zur statischen Berechnung

(Objektfragebogen, als Leistungsbeschreibung empfohlen)

TELEFAX/Adresse

☐ Wir bitten um ein kostenfreies Angebot
Wir beauftragen eine statische Berechnung
Wir beauftragen eine statische Überprüfung
entsprechend den angegebenen Belastungs-
und Einbaubedingungen für das Projekt in:

Ort Hannover

BELASTUNGS- UND EINBAUBEDINGUNGEN – OFFENE BAUWEISE

Nennweite DN 1.800 m
Längslänge 1.720 m
Rohr aus: 6FL SN 70.000
(s. A 127, Tab. 3)

Angaben zur Belastung

Überdeckungshöhe über Rohrschleife
min. h 6,00 m
max. h 12,00 m

Verkehrslast
☒ SLW 60
☒ SLW 30
☒ LKW 12
☒ UIC 71 mehrgleisig
☒ UIC 71 eingleisig
☐ keine Verkehrslast

Flächenlast
Innenlast 10 kN/m² auf OK-Gelände
sonstige Belastungen

Bodenart:

Nach ATV A 127
G 1: nichtbindiger Sand und Kies
G 2: schwachbindiger Sand und Kies
G 3: bindige Mischböden und Schluff
G 4: bindige Böden (z.B. Ton)
sonstiger Boden:

Verdichtungsgrad des anstehenden Bodens: $D_{p1} = 95\%$
Verdichtungsgrad der sonstigen Böden: $D_{p2} =$

von ATV A 127, Tabelle 1, abweichende Bodenkennwerte
Wichte γ 18 kN/m³
Reibungswinkel ϕ 30°
Verformungsmodul E 10 N/mm²
Spannungsbereich 0 bis σ 1 N/mm²

Baugrund: (unter dem Rohr)

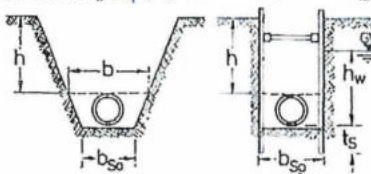
☐ wie anstehender Boden
☐ sehr hart, steinig oder felsig
☐ nicht tragfähiger Boden:

Gründung der Rohrleitung auf:

Tiefe dieser Gründung unter der Rohrschleife: 0,50 m

Grundwasser:

☒ nicht vorhanden
☐ vorhanden
max. Höhe über Schleife 6,00 m



Anlagen:
☐ LV-Leistungsbeschreibung (Auszug)
☐ Lageplan
☐ Längsschnitt
☐ Querschnitte

Bettung

Art
☒ auf anstehendem Boden
☐ Sand- oder Kies-Sand-Auflager
☐ Betonaufleger

Dicke der oberen Bettung
☐ 0,07-da (60°-Auflager)
☐ 0,15-da (80°-Auflager)
☐ 0,25-da (120°-Auflager)
☐ Verlegung auf ebener Grabensohle und Unterstopfen der Zwischenräume

Grabenform

Art
☐ weiter Graben, Auskantung oder Dammung
Einzelgraben*
Mehrfachgraben* } Längs- und Querschnitt befügen
Stufengraben*
*lastmindernde Wirkung nur ansetzbar, wenn beide Grabenwände auf Dauer erhalten bleiben
☐ ja
☐ nein

Angaben zur Bauausführung

Grabenbreite (einschließlich Verbaudicke) in Höhe Rohr:
Schleife b 1,80 m
Sohle b 1,80 m

Böschungswinkel β
☐ 45°
☐ 60°
☐ 90°

Verbau

Art
☐ kein Verbau
Verbauteile:
waagerechter (auch Berlin-) Verbau
senkr. Kanalkrielen
senkr. Lechtpandprofile*
senkr. Holzbohlen (nur in Überdeckung)
senkr. Spundprofile*

* Einspannhöhe im Boden unter Grabensohle $l_g =$ m

Rückbau des Verbau

☐ schrittweise beim Verfüllen nach dem Verfüllen in einem Zuge
☐ schrittweise nur in der Leertungszone mit wirksamer Nachverdichtung

Bodenverdichtung

lagenweise verdichtet, ohne Nachweis des Verdichtungsgrades
lagenweise verdichtet, mit Nachweis des Verdichtungsgrades nach ZTV-5B ($D_{p1} = 97\%$)
unverdichtet

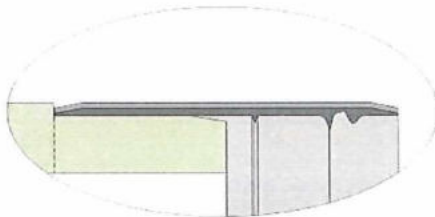
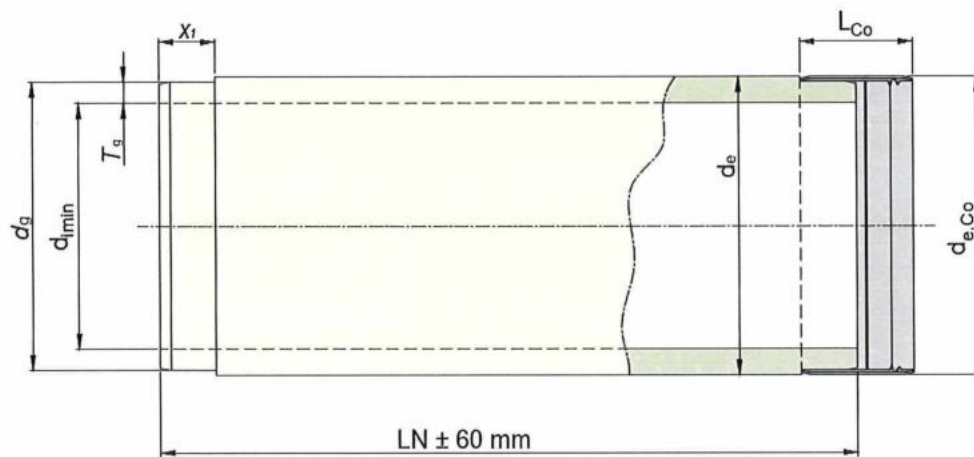
Datum: 22.04.2025
Stempel: 1.1.1.1.1.1
(Anzahl)

Unterschrift:



Druckloses Rohrsystem OD 1720, PN 1, SN 70000

Rohrsystem für Eisenbahnverkehrslasten (EVL) mit außenbündiger
SE-Edelstahlkupplung
Rohrsystem mit HPQ-Zulassung



		Einheit	Rohr	Kupplung
Durchmesserklasse	OD		1720	1720
Nenndruck	PN	bar	1	1
Nennsteifigkeit	SN	N/m ²	70.000	-
zul. Vortriebskraft nach ISO 25780	F _{perm}	KN	5500	-
Außendurchmesser	d _e	mm	1720 +4/-1	1713,7
Durchmesser Spitzende	d _g	mm	1687,7 +1/-0	-
Innendurchmesser, min.	d _{i min}	mm	1600,5	-
Mindestwanddicke	e	mm	59,2	5,8
Länge Spitzende	X ₁	mm	103,0	-
Materialdicke GfK	ρ _{P,Co}	kg/dm ³	2,1	7,9
Rohrgewicht pro Meter	m	kg/m	689,7	-
Kupplungsgewicht pro Stück	m	kg/Stk.	-	56,8
Kupplungslänge	L _{Co}	mm	-	200,0
Dichtungstyp	-	-	-	FS6

Rohrsystem nach EN ISO 23856 / ISO25780 / DIN16868



Amiblu Germany GmbH | Am Fuchslot 19 | 04720 Döbeln | Germany | +49 3431 71820 | www.amiblu.com | germany@amiblu.com
© Amiblu Holding GmbH. Die angeführten Werte können herstellungsbedingt geringfügig vom fertigen Produkt abweichen. Amiblu übernimmt keine Haftung für Fehler oder nachträgliche Änderungen technischer Daten.

Amiblu®