

Statische Berechnung

RVT 01 - Rohrvortrieb Gleisquerung

Auftrags-Nr.: MA-250346

Bauvorhaben: Hauptsammler Ost, HBF Wiesbaden

Bauherr: ELW - Entsorgungsbetriebe Wiesbaden
vertreten durch Herrn Schöneich
Unterer Zwerchweg 120
6525 Wiesbaden

Tragwerksplanung: Verheyen - Ingenieure GmbH & Co. KG
Bad Kreuznach | Mainz | Bonn - Siegburg | Gießen
NL Mainz
Lise-Meitner-Straße 11, 55129 Mainz
Dipl.-Ing. Martin Hofmann
Beratender Ingenieur / Geschäftsführer

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung

Seite:

1

Kapitel / Vorgang:
TB Titelblatt

Archiv-Nr.

Inhaltsverzeichnis

Position	Beschreibung	Seite
TB	Titelblatt	1
	Inhalt	2
V01 - Vorbemerkungen		V-1
V01	Vorbemerkung zur Gesamtmaßnahme	V-2
V02	Übersicht Bauteile	V-3
V03	Vorbemerkung zum Bauteil RVT-01	V-4
V04	Unterlagen	V-5
V05	Vorschriften	V-7
V06	Einfluss von Eisenbahnverkehrslasten	V-10
V07	Mindestüberdeckung unter Gleisen	V-13
A - Lastannahmen		A-1
A01	Lastannahmen	A-2
	Vorbemerkung	A-2
	System	A-2
A02	Belastung aus Winkelstützwand	A-3
B - Materialien		B-1
B01	Vortriebsrohr - Zusammenstellung	B-2
C - Hinweise zur Berechnung		C-1
C01	Hinweise	C-2
D - Berechnung		D-1
D01	Vortriebsrohr - Berechnung	D-2

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: 2

Kapitel / Vorgang: Inhaltsverzeichnis

Archiv-Nr.

V01 - Vorbemerkungen

Pos. V01

Vorbemerkung zur Gesamtmaßnahme

Veranlassung

- Der Hauptsammler Ost (HS Ost) ist einer von zwei Zuleitungen zum Hauptklärwerk Wiesbaden. Er wurde im Jahr 1901 als gemauerter Kanal erstellt und leitet über eine Strecke von rd. 1.560 m das Mischwasser der Kernstadt Wiesbaden, den östlich gelegenen Direkteinzugsgebieten sowie das Regenwasser aus mehreren Überläufen und Überlaufbecken dem Hauptklärwerk zu.
- Der Hauptsammler verläuft parallel zum Salzbachkanal und zu großen Teilen unterhalb der Bahngleise bis zu einer am Ende befindlichen Regentlastungsanlage, die bei Regenwetter in den Salzbach entlastet.
- Der Hauptsammler Ost weist erhebliche bauliche Schäden auf, weshalb dieser inkl. der abzweigenden Rohrleitungen im Bereich des Wiesbadener Hauptbahnhofs umfassend saniert wird.
- Der Hauptsammler Ost wird vom Hauptbahnhof auf einer Strecke von 952 m, im grabenlosen Verfahren mit GFK-Rohren instandgesetzt. Die Schächte in diesem Bereich werden erneuert. Die alten Schächte für den Salzbach und den Hauptsammler werden bis auf den Einstieg zum Salzbach verdämmt. Einige Schächte werden, um Platz für die 6 neuen Schächte zu schaffen, zurückgebaut.
- Anstelle der schleifenden Gleisquerung, die am Ende der Maßnahme verdämmt wird, soll eine neue Gleisquerung rechtwinklig zu den Gleisen von ca. 127 m Länge im Vortrieb DN 1600 hergestellt werden. Von der neuen Querung am Schacht 44927 aus wird die Trasse über einen Kurvenvortrieb 352 m parallel zu den Gleisen bis zum Schacht 42225 geführt und dort an den Bestand DN 1500 angeschlossen.
- Die Baugruben für die Schächte überwiegend mit Bohrpfahlwänden errichtet.

Die Bohrpfahlwände sind aufgrund der angrenzenden Rohrleitungen in Teilbereichen ausgespart.

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: V-2

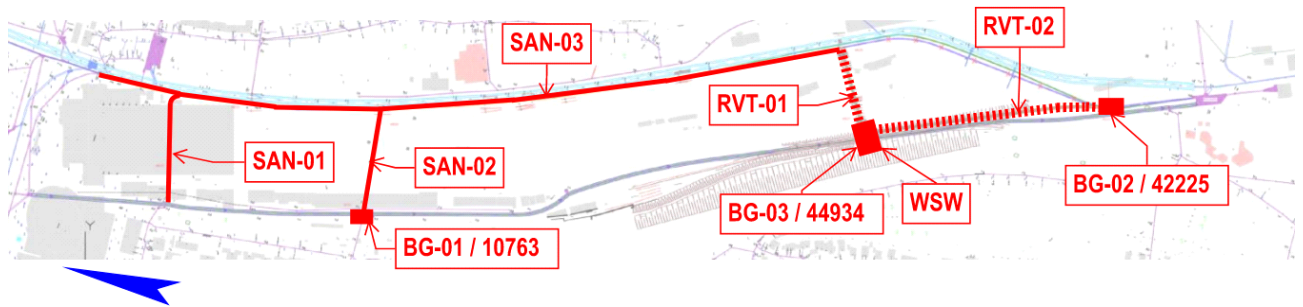
Kapitel / Vorgang: V01 - Vorbemerkungen
V01 Vorbemerkung zur Gesamtmaßnahme

Archiv-Nr.

Pos. V02

Übersicht Bauteile

Übersicht über die von Verheyen - Ingenieure bearbeiteten Bauteile:



LV-Pos.	Bauteil	Bezeichnung
09	SAN-01	GFK Sanierung Querverbindung Nord Ei 600/1100
10	SAN-02	GFK-Sanierung Querverbindung Süd Ei 700/1250
11	SAN-03	GFK Sanierung Hauptsammler Ei 1000/1750
07	RVT-01	Rohrvortrieb Gleisquerung
08	RVT-02	Rohrvortrieb Gleisparallele Strecke
05.01	BG-01	Baugrube für Schacht 10763 (an Rollkontor)
14.03	BG-02	Baugrube für Schacht 42225 (Zielgrube)
14.04	BG-03	Baugrube für Schacht 44934 (Startgrube)
17	WSW	Betriebs- und Wendepplatz West (Winkelstützwand an Wendepplatz für Saugfahrzeug)
-	HSW	Nachweis besteh. Hauptsammler West im Bauzustand (Auftrieb) im Schacht 44934

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: V-3

Kapitel / Vorgang: V01 - Vorbemerkungen
V02 Übersicht Bauteile

Archiv-Nr.

Pos. V04

Unterlagen

Planungsgrundlagen

Die statische Bearbeitung erfolgte auf Grundlage folgender Dokumente:

Entwurfsunterlagen

- [101] 1.1 "Bestand", Dr. Pecher GmbH, 24.11.2025
- [102] 1.2 "Übersichtsplan Baulogistik", Dr. Pecher GmbH, 24.11.2025
- [103] 1.2.1 "Lageplan 1 Baulogistik", Dr. Pecher GmbH, 17.10.2025
- [104] 1.2.2 "Lageplan 2 Baulogistik", Dr. Pecher GmbH, 17.10.2025
- [105] 1.2.3 "Lageplan 3 Baulogistik", Dr. Pecher GmbH, 17.10.2025
- [106] 1.3 "Übersichtslageplan Baugruben", Dr. Pecher GmbH, 24.11.2025
- [107] 1.3.1 "Lageplan 1 Baugruben", Dr. Pecher GmbH, 17.10.2025
- [108] 1.3.2 "Lageplan 2 Baugruben", Dr. Pecher GmbH, 17.10.2025
- [109] 1.3.3 "Lageplan 3 Baugruben", Dr. Pecher GmbH, 17.10.2025
- [110] 1.4 "Endzustand", Dr. Pecher GmbH, 24.11.2025
- [111] 2.1 "Längsschnitt Gleisquerung", Dr. Pecher GmbH, 23.01.2025
- [112] 2.2 "Längsschnitt gleisparallele Strecke", Dr. Pecher GmbH, 23.01.2025
- [113] 4.9 "Bauwerksplan Schachtbauwerk 44934", Dr. Pecher GmbH, 23.01.2026
- [114] Längsschnitt Startgrube 44934, Dr. Pecher GmbH, 10.12.2025
- [115] 4.10 "Bauwerksplan Schachtbauwerk 42225", Dr. Pecher GmbH, 23.01.2026
- [116] 4.11 "Bauwerksplan Schachtbauwerk 10763", Dr. Pecher GmbH, 07.01.2026
- [117] "Stützwand", Dr. Pecher GmbH, 10.09.2025

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: V-5

Kapitel / Vorgang: V01 - Vorbemerkungen
V04 Unterlagen

Archiv-Nr.

Vermesser

[V101] Bestandsplan Hauptsammler Ost 351-23 UTM, 12.12.2025

Baugrundgutachten

[G101] Geotechnischer Bericht Teil 1, ICP Ingenieure GmbH, 31.08.2025

[G102] Mitteilung Kennwerte, ICP Ingenieure GmbH, 31.07.2025

[G103] Geotechnischer Bericht Teil 2, ICP Ingenieure GmbH, 12.11.2025

Dokumentation Hauptsammler West

[G102] LOS II - Stollenvortrieb des Hauptsammler West 11.01.2000
 Projektgemeinschaft Hauptsammler West
 Dr. Friedrich W. Hug Geoconsult GmbH /
 Prof. Dr. Ing. Menzenbach + Partners Consulting Engineers GmbH
 Niederhöchstädter Str. 71, 61476 Kronberg

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
 MA-250346

Seite: V-6

Kapitel / Vorgang: V01 - Vorbemerkungen
 V04 Unterlagen

Archiv-Nr.

Pos. V05

Vorschriften

Allgemeine Vorschriften

[R101_xxx] **Eisenbahnspezifische Technische Baubestimmungen (EiTB)**
Ausgabe 2025/1

Herausgeber Eisenbahn-Bundesamt

[R102] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für
Ingenieurbauten - ZTV-ING, August 2025,

Bundesministerium für Verkehr

Erd- und Grundbau

[R103] Empfehlungen des Arbeitskreises "Baugruben" (EAB), 5. Aufl.

[R104] Empfehlungen des Arbeitskreises "Pfähle" (EA Pfähle), 2. Aufl.

in [R101_xxx]

A 1.2.2 Bauliche Anlagen im Erd- und Grundbau
A 1.2.2.1 Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik
Allgemeine Regeln DIN EN 1997-1:2009-09
DIN EN 1997-1/NA:2010-12 Anlage A 1.2.2/1

Anlage Ei A 1.2.2/1 Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erdbau- und Grundbau
DIN 1054:2021-04 Anlage A 1.2.2/1

Anlage Ei A 1.2.2/2

A 1.2.2.2 Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau - Bohrpfähle
DIN EN 1536:2010-12
DIN SPEC 18140:2012-02 Anlage Ei A 1.2.2/3

A 1.2.2.3 Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau - Verdrängungspfähle
DIN EN 12699:2001-05
DIN EN 12699 Ber. 1:2010-11
DIN SPEC 18538:2012-02 Anlage A 1.2.2/2

A 1.2.2.4 Ausschachtungen, Gründungen und Unterfangungen im Bereich bestehender

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: V-7

Kapitel / Vorgang: V01 - Vorbemerkungen
V05 Vorschriften

Archiv-Nr.

Gebäude
DIN 4123:2013-04

A 1.2.2.5 Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau - Verpressanker
DIN EN 1537:2014-07
DIN /TS18537:2021-05 Anlage A 1.2.2/3

A 1.2.2.6 Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau - Mikropfähle
Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 14199:2012-01, Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) - Pfähle mit kleinen Durchmessern (Mikropfähle)
DIN EN 14199:2012-01
DIN SPEC 18539:2012-02

A 1.2.2.7 Ausführung von besonderen Arbeiten (Spezialtiefbau) - Injektionen, Düsenstrahlverfahren
Bemessung von verfestigten Bodenkörpern - hergestellt mit Düsenstrahl-, Deep-Mixing- oder Injektions-Verfahren
DIN EN 12715:2000-10
DIN SPEC 18187:2015-08
DIN EN 12716:2019-03
DIN 4093:2015-11 Anlage A 1.2.2/4

zusätzlich:

[R301] Handbuch
83601 | Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke planen, bauen und instand halten

RIL 836 - Version 2.0 Gültig ab 01.05.2025

Herausgeber DB InfraGO AG

darin speziell:

Vortriebsrohre und Inliner

[R302] Richtlinie 836.4501 "Querungen - Grundsätze"

Die DB InfraGO AG hat die Richtlinie 836.4501 „Querungen; Grundsätze“ in einer geänderten Fassung zum 02.01.2025 in Kraft gesetzt.

[R303] Richtlinie 836.4502 "Querungen - Durchlässe und Rohrleitungen"

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: V-8

Kapitel / Vorgang: V01 - Vorbemerkungen
V05 Vorschriften

Archiv-Nr.

- Ei A 1.2.10.3.5 Statische Berechnung von Vortriebsrohren
Arbeitsblatt DWA-A 161 aus 2014/03, korrigierte Fassung 2021-03
- [R401] **Arbeitsblatt DWA-A 161 03/2021**
DWA-A 161 - Statische Berechnung von Vortriebsrohren - März 2014;
Stand: korrigierte Fassung März 2021
- DIN EN 12889 Grabenlose Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen
und -kanälen, März 2000
- [R402] **DWA-A 125** Rohrvortrieb und verwandte Verfahren,
korrigierte Fassung September 2020
- {R40}3] **DWA-A 127-1** Statische Berechnung von Entwässerungsanlagen – Teil 1:
Grundlagen, korrigierte Fassung Dezember 2024
- [R404] **DWA-A 127-10** Statische Berechnung von Entwässerungsanlagen –
Teil 10: Werkstoffkennwerte, September 2020
- [R405] **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
- [R406] **DWA-M 143-12** Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von
Gebäuden – Teil 12: Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit
vorgefertigten Profilen – Einzelrohr-Lining, März 2025

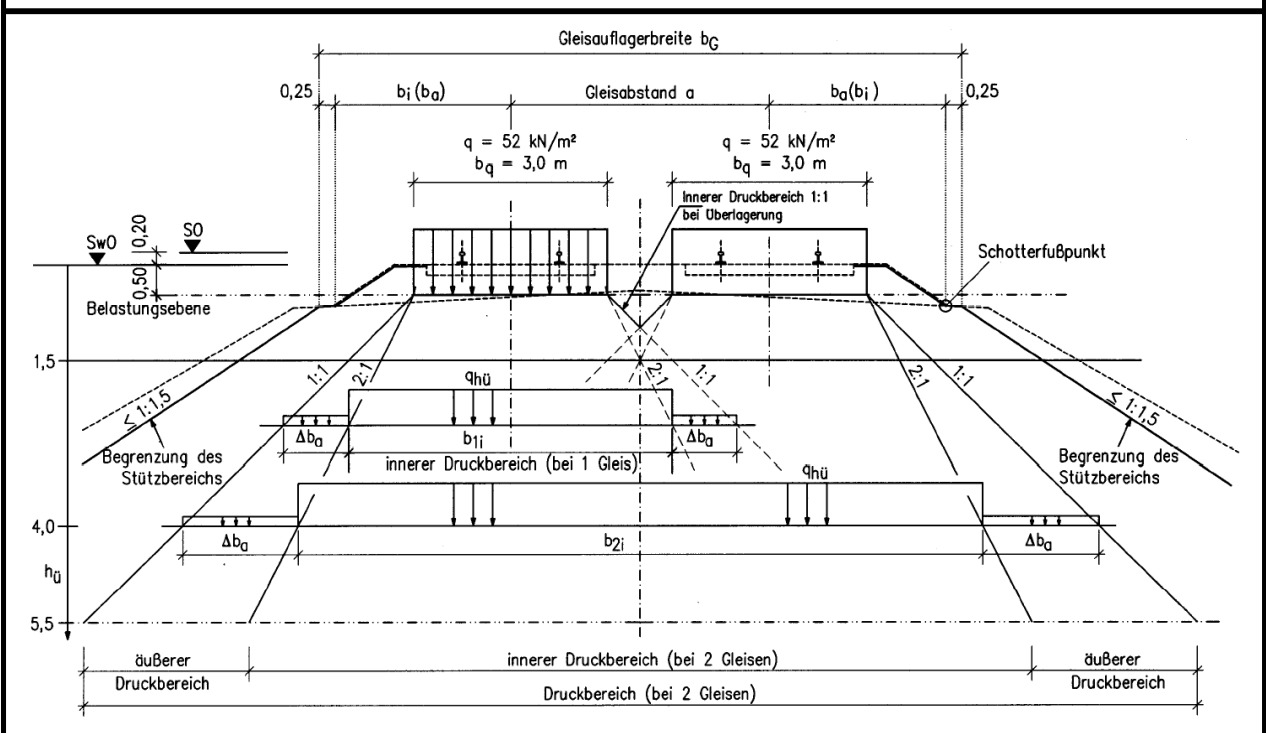
Pos. V06

Einfluss von Eisenbahnverkehrslasten

Einflussbereich von Eisenbahnverkehrslasten

- [R01] RIL 836 - / 836.2001
- Der Stützbereich ist im Gegensatz zum Druckbereich nach unten nicht begrenzt.
- Soweit nicht anderweitig ausdrücklich anders definiert, ist der Einflussbereich von Eisenbahnverkehrslasten mit dem Stützbereich gleichzusetzen.

Bild 1 Ausbreitung der vertikalen Lasten (charakteristische Werte)
Definitionen Druckbereich und Stützbereich



- Der Stützbereich ist durch eine Linie unter 1: 1 ausgehend von der Belastungsfläche begrenzt.
- Der Einflussbereich entspricht dem Stützbereich, er ist durch eine Linie unter 1:1,5 ausgehend von der Belastungsfläche begrenzt.

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: V-10

Kapitel / Vorgang: V01 - Vorbemerkungen
V06 Einfluss von Eisenbahnverkehrslasten

Archiv-Nr.

Belastung auf den Rohrscheitel

- (6) Rohre für Unterquerungen von Gleisen sind innerhalb des gesamten Druckbereiches mit den für den inneren Druckbereich geltenden Werten als Belastung in Höhe des Rohrscheitels zu bemessen.

Für Rohre, die parallel zum Gleis verlaufen und im äußeren Druckbereich liegen, darf die Belastung auf den Rohrscheitel nach Tabelle 3 bestimmt werden.

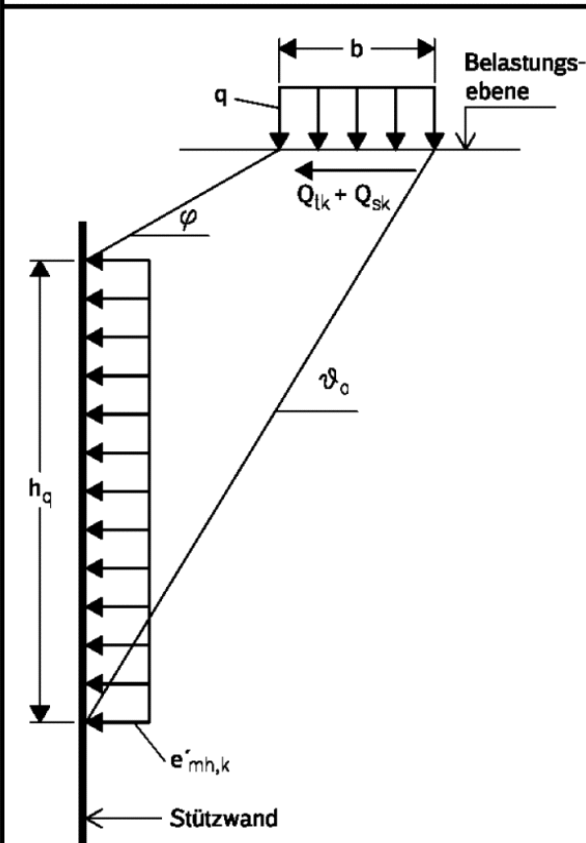
Überschüttungshöhe (Tiefe unter SO) [m]	Zusatzbreite b_a [m]	Vertikalspannungen [kN/m ²]
<i>Spalte 1</i>	<i>Spalte 2</i>	<i>Spalte 3</i>
1,5 (1,7)	0,5	7,5
2,5 (2,7)	1,0	6
4,0 (4,2)	1,75	5
5,5 (5,7)	2,5	4

Tabelle 3: Charakteristische Werte der maximalen Spannungen im äußeren Druckbereich infolge Belastung nach LM 71

Erddrücke aus Eisenbahnverkehrslasten

Bei Stützbauwerken, deren Wandruckseiten außerhalb des planmäßigen Schotterfußes von Schottergleisen nach Bild 3 bzw. nicht näher als 2,5 m zur nächstgelegenen Gleisachse entfernt liegen, dürfen die Erddrucklasten aus vertikalen und horizontalen Anteilen von Eisenbahnverkehrslasten gemeinsam für jeweils ein Gleis vereinfacht rechteckförmig verteilt über eine vereinfacht ermittelte Verteilungshöhe bestimmt werden (siehe Bild 2).

Bild 2: Erddruck aus Eisenbahnverkehrslasten auf streckenparallel verlaufende Stützwände (Prinzipdarstellung, charakteristische Werte)



Es bedeuten:

$$e'_{mh,k} = \frac{E_{oqh,k} + Q_{tk} + Q_{sk}}{h_q}$$

e'_{mh} Ordinate des Horizontalen Erddruckanteils aus Eisenbahnverkehrslasten

Q_{tk} Linienlast aus Fliehkräften

Q_{sk} Ersatzlinienlast für Seitenstoß

$$E_{oqh,k} = b \cdot q \cdot K_{oqh}$$

Erddrucklast aus vertikaler Belastung

b Breite der vertikalen Streifenlast, i.d.R. $b = 3,00$ m

q Ordinate der vertikalen Streifenlast, i.d.R. $q = 52$ kN/m²

K_{oqh} Erddruckbeiwerte für Streifen- bzw. Linienlasten im aktiven Grenzzustand

ϑ_a Gleitflächenwinkel im aktiven Grenzzustand für Belastung aus Bodeneigengewicht (siehe DIN 4085)

h_q Verteilungshöhe der Erddrucklast aus Verkehr

φ Winkel der inneren Reibung

Pos. V07

Mindestüberdeckung unter Gleisen

Mindest-Überdeckung im Einflussbereich von Eisenbahnverkehrslasten

- [R01] 836.4502 (3)

Die Mindestüberdeckungshöhe von Rohren unter Gleisanlagen ist in Ril 836 geregelt. Danach gilt für Rohre, die mit Vortriebsverfahren eingebracht werden, der größere der beiden Werte:

$h_{\bar{u}} = 1,50 \text{ m}$ (gemessen von OK Schwelle bis OK Rohr)

oder

$h_B = 2 \cdot d_a$ (gemessen von UK Schotter bis OK Rohr)

- Folgende Mindestüberdeckungen sind einzuhalten:

Bodenüberdeckung h_B bis UK Schotterbett: $h_B = 2 \cdot 2,04 = 4,08 \text{ m}$

Höhe Schotterbett $= 0,50 \text{ m}$

Somit: Überdeckung bis OK Schwelle (SWO) $h_{\bar{u}} = 4,08 + 0,50 = 4,58 \text{ m}$

Bild 2

Bezeichnungen zur Überdeckung

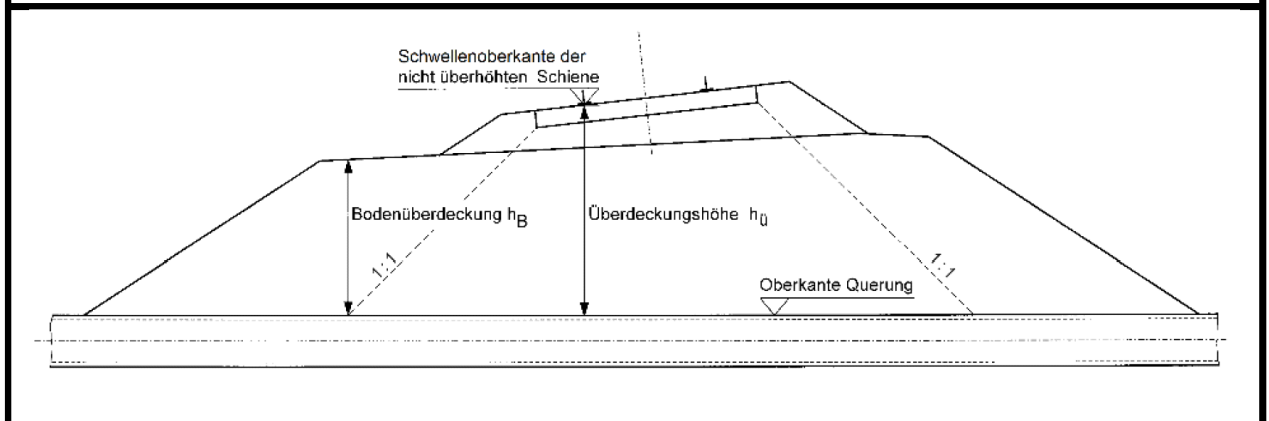


Bild 2 aus RIL. 834.4501

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite:
V-13

Kapitel / Vorgang: V01 - Vorbemerkungen
V07 Mindestüberdeckung unter Gleisen

Archiv-Nr.

A - Lastannahmen

Pos. A01 Lastannahmen

Belastung aus Erdauflast

Überdeckung

- max. Überdeckung $h_{\bar{u}} = 13,25 \text{ m}$
aus Winkelstützwand (s. hinten)
max. Überdeckung $h_{\bar{u}} = 7,24 + 7,65 = 14,89 \text{ m}$ => Pos. 01
- max. Überdeckung $h_{\bar{u}} = 7,24 \text{ m}$ => Pos. 02
Bahngelände
- min Überdeckung $h_{\bar{u}} = 4,66 \text{ m} > 4,58 \text{ m}$ => Pos. 02

Grundwasser

Die Auftriebssicherheit der Rohre ist nachzuweisen für einen Grundwasserstand bei

HGW = +99,00 m NHN

Belastung aus Eisenbahnbetrieb

- gem. Pos. V05 bzw. programmintern (Doppelgleis)

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: A-2

Kapitel / Vorgang: A - Lastannahmen
A01 Lastannahmen

Archiv-Nr.

Pos. A02

Belastung aus Winkelstützwand

Belastung aus Stützwand am Wendepunkt für Saugfahrzeug

Die Stützwand wird unter Bauteil WSW berechnet.

- Die Stützwand wird nach dem Rohrvortrieb errichtet.

Durch die Stützwand erhöht sich die Auflast auf das Vortriebsrohr.
Unter der Stützwand ergibt sich eine Bodenpressung von

$$q_d \leq 200 \text{ kN/m}^2$$

$$q_k \sim 200 / 1,4 = 142,86 < 145 \text{ kN/m}^2$$

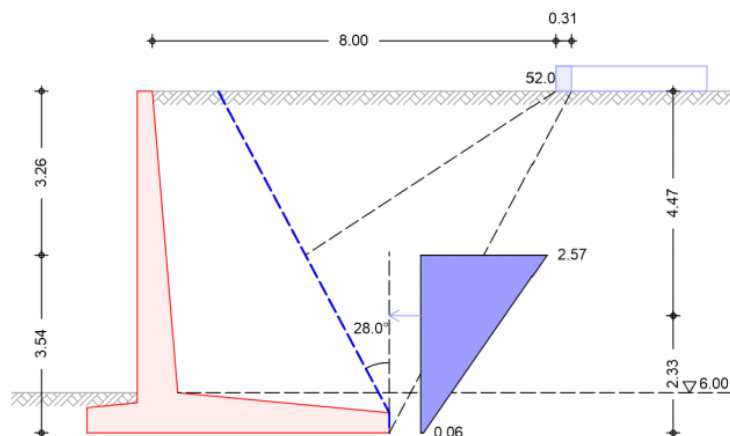
- Die Belastung hinter der Stützwand beträgt näherungsweise

$$g = 6,00 \cdot 21,0 = 126,00 \text{ kN/m}$$

- Die Eisenbahnlasten haben nur einen geringen Einfluss auf die Stützwand, sie können für die Belastung des Vortriebsrohres vernachlässigt werden.

aktiver Erddruck aus Blocklast (Nr. 2)
Lastordinate

$$v_e = 52,00 \text{ kN/m}^2$$



- Für die Berechnung wird die Belastung aus Stützwand in eine Überschüttung umgerechnet:

$$H = 145,0 / 19,0 = 7,63 \text{ m} < 7,65 \text{ m}$$

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: A-3

Kapitel / Vorgang: A - Lastannahmen
A02 Belastung aus Winkelstützwand

Archiv-Nr.

B - Materialien

Pos. B01

Vortriebsrohr - Zusammenstellung

Material

Beton C50/60

Expositionsclassen Beton : XC4, XM2, XD2, XA 3, WA

Der verwertete Zement muss einen hohen Sulfatwiderstand aufweisen (HS Zement nach DIN 1164 - 10).

Betondeckung innen cv = 45 mm

Betondeckung außen cv = 55 mm

Längsbewehrung innen Ø 10 (33 St.)

Längsbewehrung außen Ø 10 (33 St.)

Ringbewehrung innen Ø 12 / 15

Ringbewehrung außen Ø 10 / 15

zus. Steckbügel vor Kopf Ø 8 / 10

Druckübertragungsringe OSB 4, 22 + 18 = 40 mm, Breite 140 mm

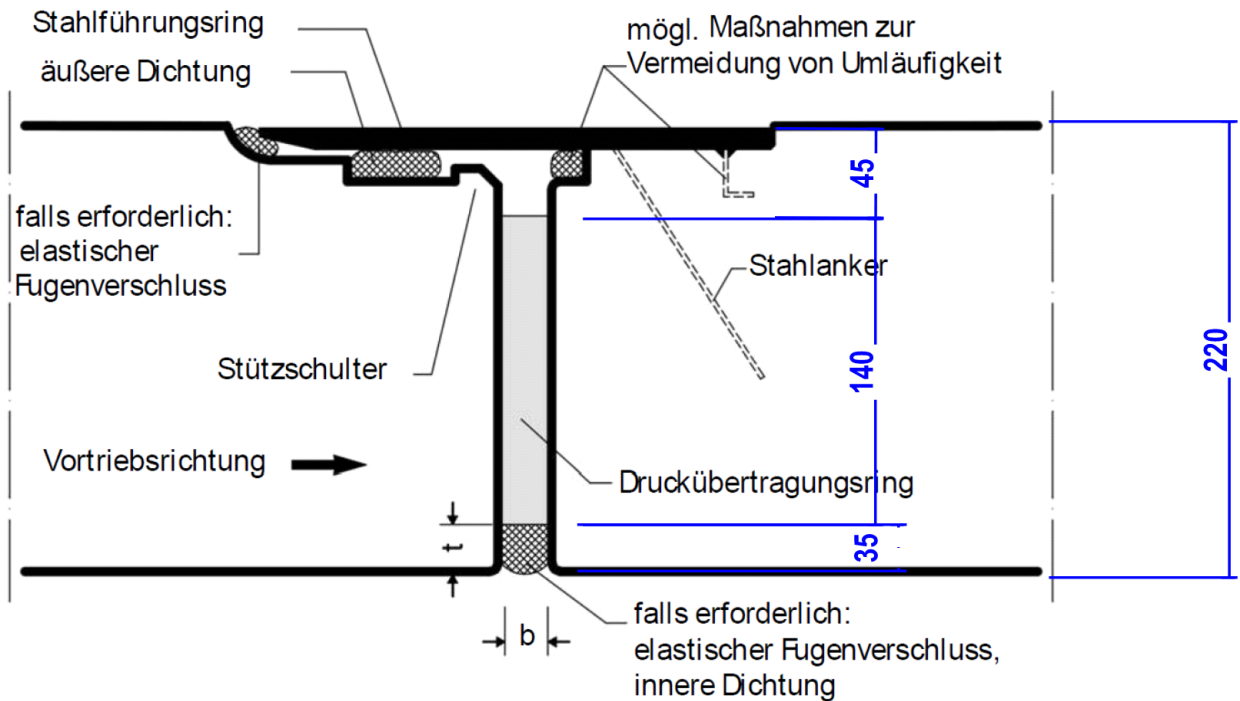
Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: B-2

Kapitel / Vorgang: B - Materialien
B01 Vortriebsrohr - Zusammenstellung

Archiv-Nr.

Rohrverbindung



Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: B-3

Kapitel / Vorgang: B - Materialien
B01 Vortriebsrohr - Zusammenstellung

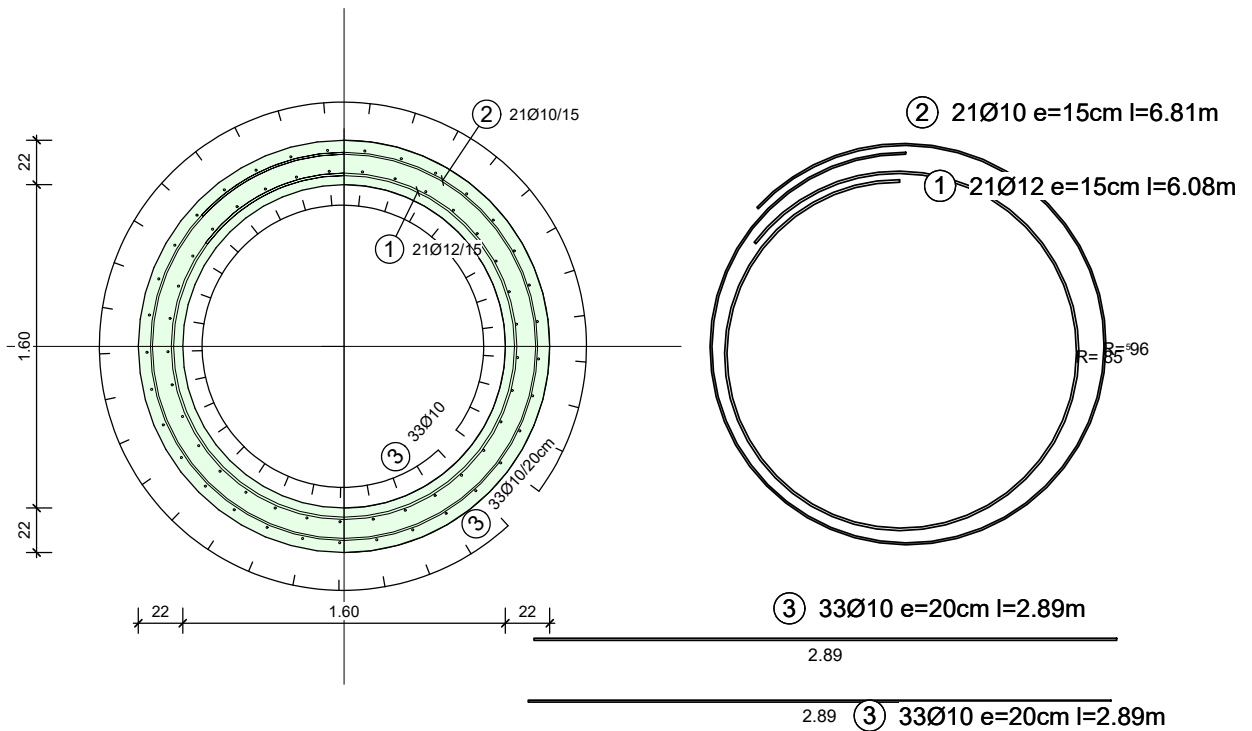
Archiv-Nr.

Querschnitt

DN 1600

Wanddicke 220 mm

DA = 2240 mm



Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: B-4

Kapitel / Vorgang: B - Materialien
B01 Vortriebsrohr - Zusammenstellung

Archiv-Nr.

C - Hinweise zur Berechnung

Pos. C01

Hinweise

- Die Berechnung erfolgt für die drei maßgeblichen Überschüttungshöhen.
Dabei werden folgende Parameter bestimmt bzw. kontrolliert
 - gewählte Wanddicke
 - die erforderliche Bewehrung
 - die Druckübertragungsringe
- Weitere Elemente wie insbes. die Ausführung der konstruktiven Gestaltung der Rohrverbindung, Stahlführungsringe und Dichtungen nach Planung des AN.

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: C-2

Kapitel / Vorgang: C - Hinweise zur Berechnung
C01 Hinweise

Archiv-Nr.

D - Berechnung

Pos. D01

Vortriebsrohr - Berechnung

Inhaltsangabe

1 Vortriebsrohr nach DWA-A 161, 2. Auflage: Vortriebsrohr - Pos. 1	6
1.1 Eingaben	6
1.1.1 Vortriebsverfahren	6
1.1.2 Trasse und Vortriebskraft	6
1.1.3 Druckübertragungsring (DÜR)	6
1.1.4 Bodenkennwerte	6
1.1.5 Bodenverhalten	7
1.1.6 Lasten	7
1.1.7 Berechnungsoptionen	7
1.1.8 Stahlbeton-Rohr	7
1.1.8.1 Systemskizze	8
1.1.8.2 Stirnseite mit DÜR	9
1.2 Ergebnisse	10
1.2.1 Teilsicherheitsbeiwerte (Einwirkungen)	10
1.2.2 Zwischenergebnisse Rohr	10
1.2.2.1 Materialeigenschaften	10
1.2.2.2 Sicherheiten	10
1.2.2.3 Stahlbetonrohr	11
1.2.3 Nicht lastabhängige Nachweise, Stahlbeton	12
1.2.3.1 Mindestbetongüte infolge der gewählten Expositionsklasse	12
1.2.3.2 Überprüfung der Mindestwanddicke (DIN V 1201:2004-08 5.3.5.2)	12
1.2.3.3 Überprüfung der Mindestbewehrung (DIN V 1201:2004-08 5.3.7)	13
1.2.3.4 Überprüfung der äußeren Bewehrung (DIN V 1201:2004-08 5.2.6)	13
1.2.3.5 Abstand und Anzahl der Längsstäbe (DIN V 1201:2004-08 5.2.1)	13
1.2.3.6 Betondeckung (DIN V 1201:2004-08 5.2.2)	14
1.2.3.7 Bemessung mit Mindestschnittgröße	14
1.2.4 Zwischenergebnisse Boden	16
1.2.5 Bauzustand	17
1.2.5.1 Belastungen Bauzustand	17
1.2.5.2 Schnittkräfte Bauzustand	17
1.2.5.3 Verformungsnachweis Bauzustand	19
1.2.5.4 Bemessung Ringbewehrung	20
1.2.5.5 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (DIN V 1201:2004-08	21
1.2.5.6 Rissnachweis Gesamtlast nach DIN EN 1992-1-1	22
1.2.5.7 Rissnachweis Mindestbemessung nach DIN EN 1992-1-1	24
1.2.5.8 Ermittlung der Lastklasse (DIN V 1201:2004-08 4.3.5)	25
1.2.6 Nachweis der Zulässigkeit der Vortriebskraft	25
1.2.6.1 Rohr	25
1.2.6.2 Rohrabwinklung	25
1.2.6.3 Verformung des Druckübertragungsringes	26
1.2.6.4 Verformung des Druckübertragungsringes	27
1.2.6.5 Verformung des Rohres	28
1.2.6.6 Interaktion - Vergleichsspannungsnachweis Schaft	30

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite:
D-2

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

1.2.7.2 Schnittkräfte Betriebszustand	31
1.2.7.3 Verformungsnachweis Betriebszustand	32
1.2.7.4 Bemessung Ringbewehrung	33
1.2.7.5 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (DIN V 1201:2004-08	34
1.2.7.6 Rissnachweis Gesamtlast nach DIN EN 1992-1-1	35
1.2.7.7 Rissnachweis Mindestbemessung nach DIN EN 1992-1-1	37
1.2.7.8 Ermittlung der Lastklasse (DIN V 1201:2004-08 4.3.5)	38
1.2.8 Nachweis gegen Ermüden unter nicht vorwiegend ruhender Belastung	38
1.2.9 Auftriebsnachweis	38

2 Vortriebsrohr nach DWA-A 161, 2. Auflage: Vortriebsrohr - Pos. 2 41

2.1 Eingaben	41
2.1.1 Vortriebsverfahren	41
2.1.2 Trasse und Vortriebskraft	41
2.1.3 Druckübertragungsring (DÜR)	41
2.1.4 Bodenkennwerte	41
2.1.5 Bodenverhalten	42
2.1.6 Lasten	42
2.1.7 Berechnungsoptionen	42
2.1.8 Stahlbeton-Rohr	42
2.1.8.1 Systemskizze	43
2.1.8.2 Stirnseite mit DÜR	44
2.2 Ergebnisse	45
2.2.1 Teilsicherheitsbeiwerte (Einwirkungen)	45
2.2.2 Zwischenergebnisse Rohr	45
2.2.2.1 Materialeigenschaften	45
2.2.2.2 Sicherheiten	45
2.2.2.3 Stahlbetonrohr	46
2.2.3 Nicht lastabhängige Nachweise, Stahlbeton	47
2.2.3.1 Mindestbetongüte infolge der gewählten Expositionsklasse	47
2.2.3.2 Überprüfung der Mindestwanddicke (DIN V 1201:2004-08 5.3.5.2)	47
2.2.3.3 Überprüfung der Mindestbewehrung (DIN V 1201:2004-08 5.3.7)	48
2.2.3.4 Überprüfung der äußeren Bewehrung (DIN V 1201:2004-08 5.2.6)	48
2.2.3.5 Abstand und Anzahl der Längsstäbe (DIN V 1201:2004-08 5.2.1)	48
2.2.3.6 Betondeckung (DIN V 1201:2004-08 5.2.2)	49
2.2.3.7 Bemessung mit Mindestschnittgröße	49
2.2.4 Zwischenergebnisse Boden	51
2.2.5 Bauzustand	52
2.2.5.1 Belastungen Bauzustand	52
2.2.5.2 Schnittkräfte Bauzustand	53
2.2.5.3 Verformungsnachweis Bauzustand	55
2.2.5.4 Beulnachweis Bauzustand	56
2.2.5.5 Bemessung Ringbewehrung	56
2.2.5.6 Bemessung Längsbewehrung (Bahn)	56
2.2.5.7 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (DIN V 1201:2004-08	57
2.2.5.8 Rissnachweis Gesamtlast nach DIN EN 1992-1-1	57
2.2.5.9 Rissnachweis Mindestbemessung nach DIN EN 1992-1-1	60
2.2.5.10 Ermittlung der Lastklasse (DIN V 1201:2004-08 4.3.5)	61
2.2.6 Nachweis der Zulässigkeit der Vortriebskraft	61
2.2.6.1 Rohr	61

2.2.6.4 Verformung des Druckübertragungsringes	63
2.2.6.5 Verformung des Rohres	64
2.2.6.6 Interaktion - Vergleichsspannungsnachweis Schaft	66
2.2.7 Betriebszustand	66
2.2.7.1 Belastungen Betriebszustand	66
2.2.7.2 Schnittkräfte Betriebszustand	67
2.2.7.3 Verformungsnachweis Betriebszustand	69
2.2.7.4 Beulnachweis Betriebszustand	70
2.2.7.5 Bemessung Ringbewehrung	70
2.2.7.6 Bemessung Längsbewehrung (Bahn)	70
2.2.7.7 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (DIN V 1201:2004-08	71
2.2.7.8 Rissnachweis Gesamtlast nach DIN EN 1992-1-1	71
2.2.7.9 Rissnachweis Mindestbemessung nach DIN EN 1992-1-1	74
2.2.7.10 Ermittlung der Lastklasse (DIN V 1201:2004-08 4.3.5)	75
2.2.8 Nachweis gegen Ermüden unter nicht vorwiegend ruhender Belastung	75
2.2.9 Vereinfachter Nachweis gegen Ermüden nach DIN EN 1992-1-1, 6.8.7	75
2.2.9.1 Nachweis der geschweißten Bewehrungskörbe	76
2.2.9.2 Nachweis Beton in der Druckzone	77
2.2.10 Auftriebsnachweis	77
3 Vortriebsrohr nach DWA-A 161, 2. Auflage: Vortriebsrohr - Pos. 3	80
3.1 Eingaben	80
3.1.1 Vortriebsverfahren	80
3.1.2 Trasse und Vortriebskraft	80
3.1.3 Druckübertragungsring (DÜR)	80
3.1.4 Bodenkennwerte	80
3.1.5 Bodenverhalten	81
3.1.6 Lasten	81
3.1.7 Berechnungsoptionen	81
3.1.8 Stahlbeton-Rohr	81
3.1.8.1 Systemskizze	82
3.1.8.2 Stirnseite mit DÜR	83
3.2 Ergebnisse	84
3.2.1 Teilsicherheitsbeiwerte (Einwirkungen)	84
3.2.2 Zwischenergebnisse Rohr	84
3.2.2.1 Materialeigenschaften	84
3.2.2.2 Sicherheiten	84
3.2.2.3 Stahlbetonrohr	85
3.2.3 Nicht lastabhängige Nachweise, Stahlbeton	86
3.2.3.1 Mindestbetongüte infolge der gewählten Expositionsklasse	86
3.2.3.2 Überprüfung der Mindestwanddicke (DIN V 1201:2004-08 5.3.5.2)	86
3.2.3.3 Überprüfung der Mindestbewehrung (DIN V 1201:2004-08 5.3.7)	87
3.2.3.4 Überprüfung der äußeren Bewehrung (DIN V 1201:2004-08 5.2.6)	87
3.2.3.5 Abstand und Anzahl der Längsstäbe (DIN V 1201:2004-08 5.2.1)	87
3.2.3.6 Betondeckung (DIN V 1201:2004-08 5.2.2)	88
3.2.3.7 Bemessung mit Mindestschnittgröße	88
3.2.4 Zwischenergebnisse Boden	90
3.2.5 Bauzustand	91
3.2.5.1 Belastungen Bauzustand	91
3.2.5.2 Schnittkräfte Bauzustand	92

3.2.5.4 Beulnachweis Bauzustand	95
3.2.5.5 Bemessung Ringbewehrung	95
3.2.5.6 Bemessung Längsbewehrung (Bahn)	95
3.2.5.7 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (DIN V 1201:2004-08	96
3.2.5.8 Rissnachweis Gesamtlast nach DIN EN 1992-1-1	96
3.2.5.9 Rissnachweis Mindestbemessung nach DIN EN 1992-1-1	99
3.2.5.10 Ermittlung der Lastklasse (DIN V 1201:2004-08 4.3.5)	100
3.2.6 Nachweis der Zulässigkeit der Vortriebskraft	100
3.2.6.1 Rohr	100
3.2.6.2 Rohrabwinklung	100
3.2.6.3 Verformung des Druckübertragungsringes	101
3.2.6.4 Verformung des Druckübertragungsringes	102
3.2.6.5 Verformung des Rohres	103
3.2.6.6 Interaktion - Vergleichsspannungsnachweis Schaft	105
3.2.7 Betriebszustand	105
3.2.7.1 Belastungen Betriebszustand	105
3.2.7.2 Schnittkräfte Betriebszustand	106
3.2.7.3 Verformungsnachweis Betriebszustand	108
3.2.7.4 Beulnachweis Betriebszustand	109
3.2.7.5 Bemessung Ringbewehrung	109
3.2.7.6 Bemessung Längsbewehrung (Bahn)	109
3.2.7.7 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (DIN V 1201:2004-08	110
3.2.7.8 Rissnachweis Gesamtlast nach DIN EN 1992-1-1	110
3.2.7.9 Rissnachweis Mindestbemessung nach DIN EN 1992-1-1	113
3.2.7.10 Ermittlung der Lastklasse (DIN V 1201:2004-08 4.3.5)	114
3.2.8 Nachweis gegen Ermüden unter nicht vorwiegend ruhender Belastung	114
3.2.9 Vereinfachter Nachweis gegen Ermüden nach DIN EN 1992-1-1, 6.8.7	114
3.2.9.1 Nachweis der geschweißten Bewehrungskörbe	115
3.2.9.2 Nachweis Beton in der Druckzone	116
3.2.10 Auftriebsnachweis	116

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-5

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

1 Vortriebsrohr nach DWA-A 161, 2. Auflage: Vortriebsrohr - Pos. 1

Folgende Korrekturen des Arbeitsblatts DWA-A 161 berücksichtigt das Rechenmodul: DWA-A 161 04/2017, DWA-A 161 10/2017, TM 4-2019 der DB Netz AG, DWA-A 161 10/2020, DWA-A 127-10:2020-10, DWA-A 161 03/2021

Zulässige Vorpressekraft: F_j 6.454 kN

Titel der Berechnung: Vortriebsrohr - Pos. 1

Berechnungsart: Stahlbeton
Nachzuweisende Zustände: Bau- und Betriebszustand
Einbauskizze in Ausdruck: Ja
Mindestschnittgrößen im Betriebszustand drucken: Ja

1.1 Eingaben

1.1.1 Vortriebsverfahren

Verfahren: Mikrotunnel und bemannte Verfahren
Vollständige dauerhafte Ringraumverpressung: Nein
Einsatz von Stütz- oder Gleitmittel: Ja
Stütz- oder Gleitmitteldruck: p_{Stm} 5,0 bar
Ringspalt: Ringspalt > 1,0 cm bezogen auf den Radius, nicht systematisch gestützt

1.1.2 Trasse und Vortriebskraft

Verlauf der Vortriebsstrecke: Gerade
Berechnung der unplanmäßigen Abweichungen von der Sollachse (gerader Vortrieb): Ohne Pilotvortrieb
Kombinationsbeiwert für Rohrabwinklungen: ψ 0,80 [-]
Vorgabe der Vortriebskraft: Ja
Vorgegebene Vortriebskraft: $F_{j,m}$ 5.500,0 kN
Freie Eingabe der Sicherheit für Längsrichtung: Nein
Kontrollierter Einbau: Nein

1.1.3 Druckübertragungsring (DÜR)

Art der Druckübertragung: Mit Druckübertragungsring
Art der Bemessung: Vorbemessung
Anzahl der Schichten im DÜR: Zwei Schichten
Angabe der Durchmesser des DÜR: Angabe der Randabstände
Äußerer Randabstand bezogen auf tRohr: $a_{a,DÜR}$ 45 mm
Innerer Randabstand bezogen auf tRohr: $a_{i,DÜR}$ 35 mm
Schichtdicke: s_{D1} 22,00 mm
Ermittlung Ecal der Schicht: Ermittlung über Material aus Norm
Material: OSB-Platte (OSB/3, OSB/4)
Schichtdicke: s_{D2} 18,00 mm
Material: OSB-Platte (OSB/3, OSB/4)
Manuelle Angabe der Steifigkeit: Nein

1.1.4 Bodenkennwerte

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-6

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Andere Bodengruppe oberhalb Rohrscheitel: Nein
 Auflagerwinkel (Lockergestein): $2\alpha = 180^\circ$ (Regelfall)
 Manuelle Angabe des inneren Reibungswinkels des Bodens: Nein
 Manuelle Angabe der Wichte des Bodens: Nein

1.1.5 Bodenverhalten

Manuelle Angabe des Verformungsmoduls des Bodens: Nein
 Anwendung von Silotheorie: Automatisch
 Manuelle Angabe κ und κ_0 : Nein
 Manuelle Angabe von f_1 , K_1 , δ und c : Nein
 Konsistenz am Rohr: Weich bis steif
 Berücksichtigung des Konzentrationsfaktors λ : Nein

1.1.6 Lasten

Überdeckungshöhe: h 6,2 m
 Zusätzliche Flächenlast: P_0 145,00 kN/m²
 Teilsicherheitsbeiwert Wasseraußendruck: $\gamma_{F,W}$ 1,35 [-]
 Grundwasserstand über Sohle: h_{GW} 2,0 m
 Auftriebsnachweis führen: Ja
 Wichte des Bodens im Auftriebsnachweis: $\gamma_{B,A}$ 20,0 kN/m³
 Wichte des Bodens unter Auftrieb im Auftriebsnachweis: $\gamma_{B',A}$ 10,0 kN/m³
 Innendruck (Bauzustand): $P_{I,C}$ 0,0 bar
 Innendruck (Betriebszustand): $P_{I,O}$ 0,0 bar
 Rohr ist während des Vortriebs mit Flüssigkeit gefüllt: Nein
 Rohr ist im Betrieb mit Flüssigkeit gefüllt: Nein
 Verkehrslast: Kein Verkehr
 Abminderungsfaktor dynamische Last manuell eingeben: Nein

1.1.7 Berechnungsoptionen

Beulnachweis: Nach A 161
 Verformungsnachweis: Führen
 Zulässige Verformung nach A161: Ja
 Ermüdungsnachweis: Soll nicht geführt werden
 Behandlung Mindestschnittgrößen: Nach Norm
 Vergleichsspannung Mindestschnittgrößen: Mit Bemessungswerten

1.1.8 Stahlbeton-Rohr

Auswahl der Eingaben: D_i und s
 Innendurchmesser: d_i 1.600 mm
 Wandstärke: s 220 mm
 Betongüte: C50/60
 Längsdruckfestigkeit nach: DWA-A 161:2014, korrigierte Fassung vom September 2020
 Betonstahl nach Norm: Ja
 Nachweis der Rissbreite: Ja
 Abgeschlossenes Rissbild betrachten: Ja
 Zulässige Rissbreite: w_k 0,15 mm
 Vergleichsspannungsnachweis führen: Ja
 Manuelle Vorgabe $\max f_R$: Nein
 Lastklasse ermitteln: Ja
 Lastwechsel-Zahl manuell: Nein
 Verhältnis E-Moduli manuell: Nein
 Rohrlänge: L_R 3,00 m
 Minimaler Außendurchmesser: $d_{a,min}$ 2.040 mm
 Maximaler Innendurchmesser: $d_{i,max}$ 1.600 mm
 Manuelle Vorgabe Δa_{cal} : Nein
 Bewehrungsführung: Zweilagig
 Expositionsklasse außen: XA1: Chemisch schwach angreifend
 Expositionsklasse innen: XA1: Chemisch schwach anreifend

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-7

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Reihenfolge innere Bewehrung:
Reihenfolge äußere Bewehrung:

Durchmesser Ringbewehrung innen:
Abstand Ringbewehrung innen:
Durchmesser Ringbewehrung außen:
Abstand Ringbewehrung außen:

Durchmesser Längsbewehrung innen:
Anzahl der Längsstäbe innen:
Durchmesser Längsbewehrung außen:
Anzahl der Längsstäbe außen:

Nennmaß der Betondeckung innen:
Nennmaß der Betondeckung außen:
Teilsicherheiten manuell definieren:

Bewehrungsmenge ermitteln:
Stahlpreis:
Betonpreis:

Längsstäbe innerhalb Ringbewehrung
Längsstäbe außerhalb Ringbewehrung

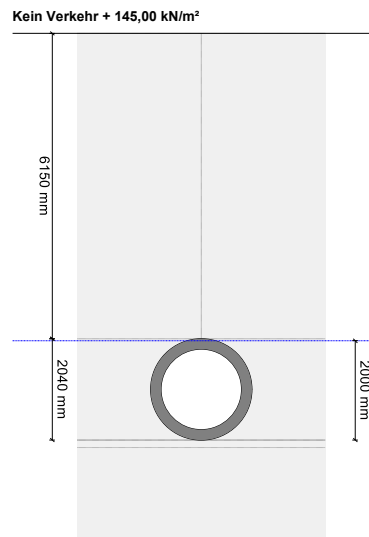
$\varnothing_{rad,i}$	12	mm
e_i	100	mm
$\varnothing_{rad,e}$	10	mm
e_e	100	mm

$\varnothing_{ax,i}$	10	mm
$n_{ax,i}$	26	[-]
$\varnothing_{ax,e}$	10	mm
$n_{ax,e}$	30	[-]

$c_{nom,i}$	45,0	mm
$c_{nom,e}$	55,0	mm
Nein		

Ermitteln		
P_{St}	15	€/kg
P_B	750	€/m³

1.1.8.1 Systemskizze



Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-8

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

1.2 Ergebnisse

1.2.1 Teilsicherheitsbeiwerte (Einwirkungen)

Teilsicherheitsbeiwert für Verkehrslasten (quer zur Rohrachse):	Y _Q	1,35	[-]
Teilsicherheitsbeiwert für Innendruck (Druckrohre > 0,5 bar):	Y _{F,Pi}	1,50	[-]
Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen quer zur Rohrachse:	Y _F	1,35	[-]
Teilsicherheitsbeiwert Einwirkung längs der Rohrachse:	Y _{F,ax}	1,30	[-]

1.2.2 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:	d _i	1.600,0	mm
Außendurchmesser:	d _a	2.040,0	mm
Mittlerer Radius:	r _m	910,00	mm
Wanddicke:	s	220,00	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	r _m /s	4,136	[-]

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

Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,081	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

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

Korrekturfaktor Krümmung außen:	α_{ka}	0,919	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	$\delta_{v,A}$	0,00	%

Axial wirksame Profilfläche:	A _{ax}	220,00	mm ² /mm
Radiale Profilfläche:	A _{rad}	220,00	mm ² /mm
Trägheitsabstand:	e	110,00	mm
Trägheitsmoment:	I	887.333,33	mm ⁴ /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	W _a	8.066,67	mm ³ /mm
Inneres Widerstandsmoment:	W _i	8.066,67	mm ³ /mm
Flächenverhältnis:	K _Q	1,2	[-]

Kleinsten Außendurchmesser:	d _{a,min}	2.040	mm
Größter Innendurchmesser:	d _{i,max}	1.600	mm
Max. Abweichung Stirnflächen von Rechtwinkligkeit:	$\Delta_{a,cal}$	8,0	mm
Länge des einzelnen Vortriebsrohres:	L _R	3,00	m

1.2.2.1 Materialeigenschaften

Wichte des Rohrwerkstoffs:	Y _R	25,0	kN/m ³
Querkontraktionszahl:	v	0,15	[-]
Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit:	f _{ck,cyl}	50,0	N/mm ²
Charakteristische Würfeldruckfestigkeit:	f _{ck,cube}	60,0	N/mm ²

$$f_{cm} = f_{ck,cyl} + 8$$

Druckfestigkeit:	f _{cm}	58,0	N/mm ²
Mittlere Zugfestigkeit:	f _{ctm}	4,1	N/mm ²

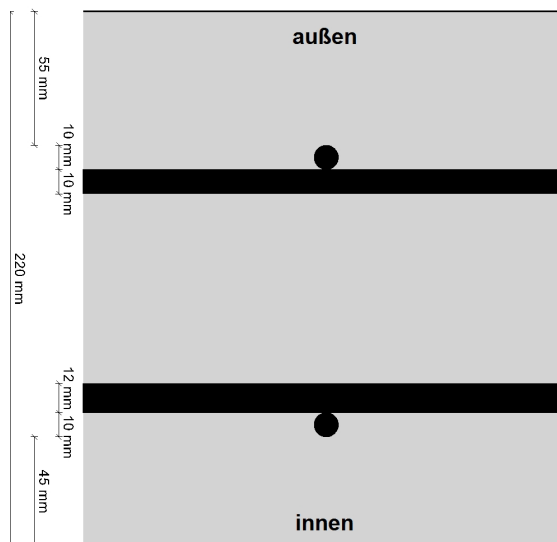
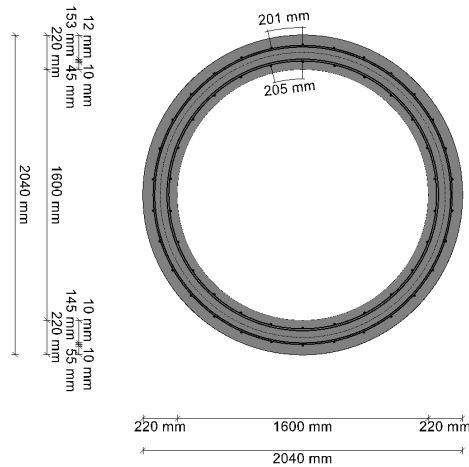
$$E_{cm} = 22 \cdot \frac{f_{cm}^{0,30}}{10} \cdot 100 \cdot 100 \cdot 100 \cdot 1.000$$

Mittlerer E-Modul (Sekantenmodul):	E _{cm}	37.278	N/mm ²
Längsdruckfestigkeit:	f _{c,ax}	50,0	N/mm ²

nach DWA-A 161 Tabelle 6) angesetzt.

Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand längs der Rohrachse:	YM,ax	1,35	[-]
Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand quer zur Rohrachse:	YM,rad	1,50	[-]
Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand auf Stabilität:	YM,stab	1,85	[-]
Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand auf Stabilität bei Berücksichtigung der Rohrverformungen:	YM,stab,red	1,45	[-]
Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Beton:	YRC	1,50	[-]
Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Stahl:	YRS	1,15	[-]

1.2.2.3 Stahlbetonrohr



Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-11

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$z_i = \frac{h}{2} - c_{nom,i} - \varnothing_{ax,i} - \frac{\varnothing_{rad,i}}{2}$$

Hebelarm innere Ringbewehrung z_i 49,0 49,0 49,0 mm

$$z_e = \frac{h}{2} - c_{nom,e} - \varnothing_{ax,e} - \frac{\varnothing_{rad,e}}{2}$$

Hebelarm äußere Ringbewehrung z_e 40,0 40,0 40,0 mm

$$d_{iK} = \frac{h}{2} + z_i$$

Statische Höhe innerer Bewehrungskorb d_{iK} 159,0 159,0 159,0 mm

$$d_{eK} = \frac{h}{2} + z_e$$

Statische Höhe äußerer Bewehrungskorb d_{eK} 150,0 150,0 150,0 mm

Verhältnis E-Modul Stahl zu E-Modul Beton nach DIN V 1201:2004-08: n 15,0 [-]

$$z_{id} = \frac{z_i \cdot n \cdot \text{vorh } a_{S,i} - z_e \cdot n \cdot \text{vorh } a_{S,e}}{A_{id}}$$

z_{id} 1,4 1,4 1,4 mm

$$A_{id} = h + 15 \cdot \text{vorh } a_{S,i} + n \cdot \text{vorh } a_{S,e}$$

Ideelle Querschnittsfläche A_{id} 2.487,46 2.487,46 2.487,46 cm²/m

$$I_{id} = \frac{h^3}{12} + h \cdot z_{id}^2 + n \cdot \text{vorh } a_{S,i} \cdot z_i - z_{id}^2 + n \cdot \text{vorh } a_{S,e} \cdot z_e + z_{id}^2$$

Ideeles Trägheitsmoment I_{id} 946.393,8 946.393,8 946.393,8 mm⁴/mm

$$W_{id,a} = \frac{I_{id}}{\frac{h}{2} + z_{id}}$$

Ideeles Widerstandsmoment, außen $W_{id,a}$ 8.491,85 8.491,85 8.491,85 mm³/mm

$$W_{id,i} = \frac{I_{id}}{\frac{h}{2} - z_{id}}$$

Ideeles Widerstandsmoment, innen $W_{id,i}$ 8.718,29 8.718,29 8.718,29 mm³/mm

Nennmaß der Betondeckung innen $c_{nom,i}$ 45,0 45,0 45,0 mm

Nennmaß der Betondeckung außen $c_{nom,e}$ 55,0 55,0 55,0 mm

1.2.3 Nicht lastabhängige Nachweise, Stahlbeton

1.2.3.1 Mindestbetongüte infolge der gewählten Expositionsklasse

Mindestbetongüte, Außen: C25/30

Mindestbetongüte, Innen: C25/30

Betonmärke: C50/60

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-12

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

1.2.3.2 Überprüfung der Mindestwanddicke (DIN V 1201:2004-08 5.3.5.2)

Betongüte: C50/60
 Mindestwert für Wandicken/Radius-Verhältnis: min. t/r_m 0,16 [-]
 Innendurchmesser: d_i 1.600,0 mm

$$\min. t = \frac{\min. t/r_m}{2 - \min. t/r_m} \cdot d_i$$

Berechnete Mindestwanddicke: min. t 139,1 mm

Die Mindestwanddicke nach DIN V 1201:2004-08, 5.3.5.2 wird eingehalten bzw. übertroffen.

1.2.3.3 Überprüfung der Mindestbewehrung (DIN V 1201:2004-08 5.3.7)

Vorhandene Ringbewehrung innen: vorh. $a_{sring,i}$ 11,31 cm²/m
 min. $a_{s,i} = 0,004 \cdot \min. t$ DIN V 1201 5.3.7

Mindest-Ringbewehrung innen DIN V 1201, 5.3.7: min. $a_{s,i}$ 5,57 cm²/m

Vorhandene Ringbewehrung außen: vorh. $a_{sring,e}$ 7,85 cm²/m

min. $a_{s,e} = 0,003 \cdot \min. t$ DIN V 1201 5.3.7

Mindest-Ringbewehrung außen DIN V 1201, 5.3.7: min. $a_{s,e}$ 4,17 cm²/m

Vorhandene Bewehrung	vorh. a_s	Scheitel 11,31	Kämpfer 7,85	Sohle 11,31	cm ² /m
Mindestbewehrung	min. a_s	5,57	4,17	5,57	cm ² /m

$$U \min. a_s = \frac{\min. a_s}{\text{vorh. } a_s}$$

Ausnutzung Bewehrung (Mindestbewehrung DIN) U min. a_s 49,2 53,1 49,2 %

Die Mindestbewehrung nach DIN V 1201:2004-08, 5.3.7 wird eingehalten bzw. übertroffen.

1.2.3.4 Überprüfung der äußeren Bewehrung (DIN V 1201:2004-08 5.2.6)

$$\text{vorh. } a_{sring,i} = \frac{\varnothing_{rad,i}^2}{2} \cdot \pi \cdot \frac{1}{e_i}$$

Vorhandene Ringbewehrung innen: vorh. $a_{sring,i}$ 11,31 cm²/m

$$a_{s,e,60\%i} = 0,60 \cdot \text{vorh. } a_{sring,i}$$

Erforderliche Ringbewehrung außen (DIN V 1201 5.2.6): $a_{s,e,60\%i}$ 6,79 cm²/m

Vorhandene Ringbewehrung außen: vorh. $a_{sring,e}$ 7,85 cm²/m

Vorhandene Ringbewehrung außen, Anteil (DIN V 1201 5.2.6): $a_{s,e/i\%}$ 69,44 %

1.2.3.5 Abstand und Anzahl der Längsstäbe (DIN V 1201:2004-08 5.2.1)

Maximaler Soll-Abstand Längsbewehrung: $e_{L,max}$ 333 mm

Anzahl der Längsstäbe innen: $n_{ax,i}$ 26 [-]

$$r_i = \frac{d_i}{2} + c_{nom,i} + \frac{\varnothing_{ax,i}}{2}$$

Angesetzter Radius innen: r_i 850 mm

$$U_{Li,vor} = 2 \cdot r_i \cdot \pi$$

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-13

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Vorhandener Abstand Längsbewehrung:	$e_{L,vor,i}$	205	mm
$vorh\ a_{S,L,i} = \frac{\varnothing_{ax,i}^2}{2} \cdot \pi \cdot \frac{1}{e_{L,vor,i}}$			
Vorhandene Längsbewehrung innerer Korb:	$vorh\ a_{S,L,i}$	3,82	cm ² /m
Anzahl der Längsstäbe außen:	$n_{ax,e}$	30	[-]
$r_e = \frac{d_a}{2} - 0,055 - \frac{\varnothing_{ax,e}}{2}$			
Angesetzter Radius außen, bezogen auf Kämpfer:	r_e	960	mm
$U_{Le,vor} = 2 \cdot r_e \cdot \pi$			
Vorhandener Umfang Längsbewehrung außen:	$U_{Le,vor}$	6.032	mm
Vorhandener Abstand Längsbewehrung:	$e_{L,vor,e}$	201	mm
$vorh\ a_{S,L,e} = \frac{\varnothing_{ax,e}^2}{2} \cdot \pi \cdot \frac{1}{e_{L,vor,e}}$			
Vorhandene Längsbewehrung äußerer Korb:	$vorh\ a_{S,L,e}$	3,91	cm ² /m

Der Abstand der Längsstäbe ist ausreichend klein.

1.2.3.6 Betondeckung (DIN V 1201:2004-08 5.2.2)

Es wird ein Vorhaltemaß von 10 mm angesetzt (Rohr nach DIN V 1201).

Die erforderliche Betonüberdeckung wurde um 5 mm reduziert gemäß Arbeitsblatt 6 des ISB: Gewählte Festigkeitsklasse ist min. zwei Klassen größer als die Mindestbetonfestigkeitsklasse.

Die erforderliche Betonüberdeckung außen wurde um 5 mm erhöht (Vortriebsrohr).

Erf. Betondeckung außen	erf. $c_{nom,e}$	Scheitel 35,0	Kämpfer 35,0	Sohle 35,0	mm
Nennmaß der Betondeckung außen	$c_{nom,e}$	55,0	55,0	55,0	mm

Die Betondeckung (außen) ist ausreichend.

Die erforderliche Betonüberdeckung wurde um 5 mm reduziert gemäß Arbeitsblatt 6 des ISB: Gewählte Festigkeitsklasse ist min. zwei Klassen größer als die Mindestbetonfestigkeitsklasse.

Erf. Betondeckung innen	erf. $c_{nom,i}$	30,0	30,0	30,0	mm
Nennmaß der Betondeckung innen	$c_{nom,i}$	45,0	45,0	45,0	mm

Die Betondeckung (innen) ist ausreichend.

1.2.3.7 Bemessung mit Mindestschnittgröße

$$f_{t,fl,d} = \frac{f_{t,fl}}{Y_{M,rad}}$$

Maximal zulässige Ringbiegezugspannung:	$f_{t,fl,d}$	4,0	N/mm ²
---	--------------	-----	-------------------

$$f_{c,rad,d} = \frac{f_{c,rad}}{Y_{M,rad}}$$

Maximal zulässige Ringbiegedruckspannung:	$f_{c,rad,d}$	33,3	N/mm ²
---	---------------	------	-------------------

$$\kappa_{min} = 1 + (0,5 - z_k/d_{a,min}) \geq 1 \quad (49)$$

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-14

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

		Scheitel 45·m ² ·kmin (47a) 37,265	Kämpfer -45·m ² ·kmin (47b) -37,265	Sohle 45·m ² ·kmin (47c) 37,265	
Bemessungsmoment für Mindestbemessung	M _{d,min}				kNm/m
		-135·m·kmin (48a) -122,850	-270·m·kmin (48b) -245,700	-135·m·kmin (48c) -122,850	
Bemessungsnormalkraft für Mindestbemessung	N _{d,min}				kN/m
<i>Ringbewehrung</i>					
Hebelarm innere Ringbewehrung	z _i	49,0	40,0	49,0	mm
$M_{Ed,s,min} = M_{d,min} - z_i \cdot N_{d,min}$					
Auslegungsmoment	M _{Ed,s,min}	43,284	47,093	43,284	kNm/m
$\mu_{Ed,s} = M_{Ed,s,min} / (d^2 \cdot f_{cd})$					
Normiertes Auslegungsmoment	μ _{Ed,s}	0,0604	0,0739	0,0604	[-]
Erforderlicher mechanischer Bewehrungsgrad	ω _{min}	0,0626	0,0770	0,0626	[-]
Statische Höhe	d	0,159	0,150	0,159	m
$\sigma_{s,d,min} = f_{yd}$					
Rechenwert der Stahlgrenzspannung	σ _{s,d,min}	434,78	434,78	434,78	N/mm ²
$a_{s,calc,min} = \frac{\omega_{min} \cdot 1 \cdot d \cdot f_{cd} + N_{d,min}}{\sigma_{s,d,min}}$					
Rechnerisch erforderliche Bewehrung	a _{s,calc,min}	3,66	1,87	3,66	cm ² /m
Vorhandene Bewehrung	vorh. a _s	11,31	7,85	11,31	cm ² /m
Ausnutzung Bewehrung	U a _{s,calc,min}	32,3	23,9	32,3	%

Die gewählte Bewehrung ist ausreichend.

Vergleichsspannung

		Scheitel 37,265	Kämpfer -37,265	Sohle 37,265	
Anzunehmendes Moment	M _{d,min}				kNm/m
Ideelles Widerstandsmoment, Zugseite	W _{id}	8.718,29	8.491,85	8.718,29	mm ³ /mm
$\sigma_{M,E,min} = \frac{ M_{d,min} }{W_{id}}$					
Biegespannungsanteil aus Biegemomenten	σ _{M,E,min}	4,2743	4,3883	4,2743	N/mm ²
Anzunehmende Normalkraft	N _{d,min}	-122,850	-245,700	-122,850	kN/m
Ideelle Querschnittsfläche	A _{id}	2.487,46	2.487,46	2.487,46	cm ² /m
$\sigma_{N,E,min} = \frac{N_{d,min}}{A_{id}}$					
Spannungsanteil aus Normalkräften	σ _{N,E,min}	-0,4939	-0,9878	-0,4939	N/mm ²
$f_{t,fl,min} = \sigma_{M,E,min} + \sigma_{N,E,min}$					
Maßgebliche Biegezugspannung	f _{t,fl,min}	3,7804	3,4005	3,7804	N/mm ²
Spannungsverhältnis	σ _{N,E,min} /σ _{M,E,min}	-0,1155	-0,2251	-0,1155	[-]
Profilhöhe	h	220,00	220,00	220,00	mm
Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9	f _{R,min}	1,03	0,93	1,03	[-]
$\sigma_{VR,min} = f_{R,min} \cdot f_{t,fl,min}$					

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-15

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$\max \sigma_{VR} = \min: 6 \text{ N/mm}^2; \frac{f_{ctm}}{3,50} \cdot 6$$

Maximale Rohrvergleichsspannung nach DIN V 1201:					
Ausnutzung Rohrvergleichsspannung (Mindestbemessung)	U $\sigma_{VR,min}$	65,0	max σ_{VR}	6,0	N/mm ²
				65,0	%

Der Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist erbracht.

1.2.4 Zwischenergebnisse Boden

Wichte des Bodens:	γ_B	20,0	kN/m ³
Wichte des Bodens unter Auftrieb:	γ'_B	10,0	kN/m ³
Bodengruppe am Rohr:	G4		
Innerer Reibungswinkel am Rohr:	φ'_2	15,0	°
Grundwert des Verformungsmodul Boden:	E_0	15,00	N/mm ²
Faktor für die Lagerungsdichte/Konsistenz nach A161, Tabelle 3/4:	f_1	0,40	[-]
Auflockerungsfaktor nach A161, Tabelle 5:	f_2	0,40	[-]
Innerer Reibungswinkel über Rohrscheitel:	φ'_1	15,0	°
Spannungsexponent:	z	0,7	[-]

$$\delta/\varphi'_1 = \frac{\delta}{\varphi'_1}$$

Verhältnis Reibungswinkel Scherfuge / Innerer Reibungswinkel:	δ/φ'_1	0,50	[-]
Reibungswinkel in der Scherfuge:	δ	7,50	°
Erddruckverhältnis über Rohrscheitel:	K_1	0,50	[-]

$$b = d_a \cdot \sqrt{3} \quad (7)$$

Einflußbreite des Bodens über dem Rohr:	b	3,53	m
---	-----	------	---

$$\kappa = \frac{1 - e^{\left(-2 \cdot \frac{h}{b} \cdot K_1 \cdot \tan \delta\right)}}{2 \cdot \frac{h}{b} \cdot K_1 \cdot \tan \delta} \quad (8)$$

Abminderungsfaktor Erdlast:	κ	0,894	[-]
-----------------------------	----------	-------	-----

$$\kappa_0 = e^{\left(-2 \cdot \frac{h}{b} \cdot K_1 \cdot \tan \delta\right)} \quad (9)$$

Abminderungsfaktor Flächenlast:	κ_0	0,795	[-]
Hinweis zur Silotheorie:	Die Silotheorie kann angewendet werden.		
Berücksichtigung des Konzentrationsfaktors λF notwendig:	Ja		
Konzentrationsfaktor:	λ	1,000	[-]
Basis-Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel:	$K_{2,0}$	0,74	[-]

$$K_{2,Bau} = K_{2,0} \cdot f_2 \leq K_{2,0} \leq 0,4 \quad (4)$$

Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel, Bauzustand:	$K_{2,Bau}$	0,30	[-]
--	-------------	------	-----

$$K_{2,End} = K_{2,Bau} + 0,1 \leq K_{2,0} \leq 0,5 \quad (4)$$

Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel, Endzustand:	$K_{2,End}$	0,40	[-]
--	-------------	------	-----

1.2.5 Bauzustand

1.2.5.1 Belastungen Bauzustand

$$p_{Ev} = \kappa \cdot \gamma_B \cdot (h - h_{GW} + d_a) + \kappa \cdot \gamma'_B \cdot (h_{GW} - d_a) + \kappa_0 \cdot P_0 \quad (5b)$$

Vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene: p_{Ev} 225,231 kN/m²

Wirksame vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene: q_{Ev} 225,231 kN/m²

$$q_{Ges,v} = q_0 + p_T \quad (53)$$

Vertikale Gesamt-Bodenspannung in Rohrscheitelebene: $q_{Ges,v}$ 294,230 kN/m²

Die Erddruckverteilung am Rohr wird cos²- bzw. sin²-förmig angenommen.: Ja

Grundwasserstand im Bereich der oberen Rohrhälfte: $h_{GW,oRh}$ 2,000 m

$$q_0 = \frac{3}{2 + K_2} \cdot q_{Ev} \quad (26)$$

Radiale Erdlast auf das Rohr während des Vortriebs: q_0 294,230 kN/m²

$$q_{0,h} = \left(q_0 + \frac{\gamma'_B \cdot d_a}{2} \right) \cdot K_2 \quad (34a)$$

Horizontale Bodenspannung während des Vortriebs: $q_{0,h}$ 90,255 kN/m²

$$q_{Ges,h} = q_{0,h} + p_{Th} \quad (53)$$

Horizontale Gesamt-Bodenspannung am Rohr: $q_{Ges,h}$ 90,255 kN/m²

Innerer Überdruck: p_i 0,000 bar

Äußerer Überdruck über Rohrscheitel: $p_{a,Sc}$ 0,000 bar

Rohrsteifigkeit: S_R 43.895 kN/m²

Rohrsteifigkeit: $\bar{S}_R$ 43.895 kN/m²

Normierender Bezugswert: $\sigma_{B,0}$ 100,0 kN/m²

$$f_3 = \left(\frac{p_{Ev}}{\sigma_{B,0}} \right)^2 \geq 1 \quad (2)$$

Spannungsabhängiger Erhöhungsfaktor: f_3 1,77 [-]

$$E_B = E_0 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \quad (1)$$

Verformungsmodul Boden: E_B 4,24 N/mm²

Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel: K_2 0,30 [-]

$$S_{Bh} = 0,60 \cdot E_B \quad (18)$$

Bettungssteifigkeit: S_{Bh} 2,54 N/mm²

$$V_{RB} = \frac{\bar{S}_R}{S_{Bh}} \quad (14)$$

Systemsteifigkeit: V_{RB} 17,2668 [-]

Das Rohr-Bodensystem verhält sich biegeweich: Nein

1.2.5.2 Schnittkräfte Bauzustand

Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen quer zur Rohrachse: γ_F 1,35 [-]

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-17

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Innerer Überdruck:	p_i	0,000	bar	
Äußerer Überdruck über Rohrscheitel:	$p_{a,Sc}$	0,000	bar	
Radiale Erdlast auf das Rohr während des Vortriebs:	q_0	294,230	kN/m ²	
Horizontale Bodenspannung während des Vortriebs:	$q_{0,h}$	90,255	kN/m ²	
Vertikale Bodenspannung infolge Verkehrslast:	p_T	0,00	kN/m ²	
Horizontale Bodenspannung infolge Verkehrslast:	p_{Th}	0,00	kN/m ²	
Vertikale Gesamt-Bodenspannung in Rohrscheitelebene:	$q_{Ges,v}$	294,230	kN/m ²	
Horizontale Gesamt-Bodenspannung am Rohr:	$q_{Ges,h}$	90,255	kN/m ²	
Momente:				
	m_{q_0}	Scheitel 0,167	Kämpfer -0,167	Sohle 0,167
				[-]
$M_{q0v,d} = \gamma_F \cdot m_{q_0} \cdot q_0 \cdot r_m^2$				(24)
Vertikale Belastung aus Erdüberdeckung	$M_{q0v,d}$ m_{pT}	54,931 0,250	-54,931 -0,250	54,931 0,250
				kNm/m [-]
$M_{pTv,d} = \gamma_Q \cdot m_{pT} \cdot p_T \cdot r_m^2$				(29)
Vertikale Belastung aus Verkehr	$M_{pTv,d}$ m_{pTh}	0,000 -0,250	0,000 0,250	0,000 -0,250
				kNm/m [-]
$M_{pTh,d} = \gamma_Q \cdot m_{pTh} \cdot p_{Th} \cdot r_m^2$				(31)
Horizontale Belastung aus Verkehr	$M_{pTh,d}$ m_{qh}	0,000 -0,167	0,000 0,167	0,000 -0,167
				kNm/m [-]
$M_{qh,d} = \gamma_F \cdot m_{qh} \cdot q_{0,h} \cdot r_m^2$				(33)
Horizontale Belastung aus Erdüberdeckung	$M_{qh,d}$ m_g	-16,850 0,384	16,850 -0,437	-16,850 0,706
				kNm/m [-]
$M_{g,d} = \gamma_F \cdot m_g \cdot \gamma_R \cdot s \cdot r_m^2$				(37)
Eigengewicht	$M_{g,d}$ m_w	2,361 0,192	-2,687 -0,219	4,341 0,353
				kNm/m [-]
$M_{w,d} = \gamma_F \cdot m_w \cdot \gamma_W \cdot r_m^3$				(39)
Wasserfüllung bis Rohrscheitel	$M_{w,d}$ m_a	0,000 -0,192	0,000 0,219	0,000 -0,353
				kNm/m [-]
$M_{a,d} = \gamma_{F,W} \cdot m_a \cdot \gamma_W \cdot r_m^3$				(41)
Auftrieb (äußerer Wasserstand bis Scheitel)	$M_{a,d}$	0,000	0,000	0,000
				kNm/m
$M_{pw,d} = ((\gamma_F \cdot p_i) - (\gamma_{F,W} \cdot P_a)) \cdot r_i \cdot r_a \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{r_i \cdot r_a}{r_a^2 - r_i^2} \cdot \ln \cdot \frac{r_a}{r_i} \right)$				(43)
Wasserdruck	$M_{pw,d}$ m_{qh}^*	0,000 -0,181	0,000 0,208	0,000 -0,181
				kNm/m [-]
$M_{qEh^*,d} = \gamma_F \cdot m_{qh}^* \cdot q_{Eh}^* \cdot r_m^2$				(45a)
Bettungsreaktionsdruck Erdlast	$M_{qEh^*,d}$	0,000	0,000	0,000
				kNm/m
$M_{qTh^*,d} = \gamma_Q \cdot m_{qh}^* \cdot q_{Th}^* \cdot r_m^2$				(45b)
Bettungsreaktionsdruck Verkehr	$M_{qTh^*,d}$	0,000	0,000	0,000
				kNm/m
$M_{qh^*,d} = M_{qTh^*,d} + M_{qEh^*,d}$				
Bettungsreaktionsdruck	$M_{qh^*,d}$	0,000	0,000	0,000
				kNm/m
Summe der Momente	ΣM_d	40,442	-40,768	42,422
Summe Erd- und Verkehrslasten	$\Sigma M_{qv,qh,qh^*,d}$	38,081	-38,081	38,081
				kNm/m kNm/m

Normalkräfte:	n_{q0}	Scheitel -0,333	Kämpfer -0,667	Sohle -0,333	[-]	
$N_{q0v,d} = \gamma_F \cdot n_{q0} \cdot q_0 \cdot r_m$						(25)
Vertikale Belastung aus Erdüberdeckung	$N_{q0v,d}$ n_{pT}	-120,367 0,000	-241,095 -1,000	-120,367 0,000	kN/m [-]	
$N_{pTv,d} = \gamma_Q \cdot n_{pT} \cdot p_T \cdot r_m$						(30)
Vertikale Belastung aus Verkehr	$N_{pTv,d}$ n_{pTh}	0,000 -1,000	0,000 0,000	0,000 -1,000	kN/m [-]	
$N_{pTh,d} = \gamma_Q \cdot n_{pTh} \cdot p_{Th} \cdot r_m$						(32)
Horizontale Belastung aus Verkehr	$N_{pTh,d}$ n_{qh}	0,000 -0,667	0,000 -0,333	0,000 -0,667	kN/m [-]	
$N_{qh,d} = \gamma_F \cdot n_{qh} \cdot q_{0,h} \cdot r_m$						(34)
Horizontale Belastung aus Erdüberdeckung	$N_{qh,d}$ n_g	-73,956 0,250	-36,923 -1,571	-73,956 -1,428	kN/m [-]	
$N_{g,d} = \gamma_F \cdot n_g \cdot \gamma_R \cdot s \cdot r_m$						(38)
Eigengewicht	$N_{g,d}$ n_w	1,689 0,625	-10,615 0,215	-9,649 0,786	kN/m [-]	
$N_{w,d} = \gamma_F \cdot n_w \cdot \gamma_W \cdot r_m^2$						(40)
Wasserfüllung bis Rohrscheitel	$N_{w,d}$ m_a	0,000 -0,625	0,000 -0,215	0,000 -0,786	kN/m [-]	
$N_{a,d} = \gamma_{F,W} \cdot m_a \cdot \gamma_W \cdot r_m^2$						(42)
Auftrieb (äußerer Wasserstand bis Scheitel)	$N_{a,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m	
$N_{pw,d} = (\gamma_F \cdot p_i \cdot r_i) - (\gamma_{F,W} \cdot P_a \cdot r_a)$						(44)
Wasserdruck	$N_{pw,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m	
Summe der Normalkräfte	ΣN_d	-192,634	-288,633	-203,971	kN/m	
$\Sigma N_{qv,qh,qh^*,d} = N_{q0v,d} + N_{pTv,d} + N_{qh,d} + N_{pTh,d} + N_{qh^*,d}$						
Summe Erd- und Verkehrslasten	$\Sigma N_{qv,qh,qh^*,d}$	-194,323	-278,018	-194,323	kN/m	
$\Sigma N_{sonst,d} = N_{g,d} + N_{w,d} + N_{a,d} + N_{pw,d}$						
Summe andere Lasten	$\Sigma N_{sonst,d}$	1,689	-10,615	-9,649	kN/m	
1.2.5.3 Verformungsnachweis Bauzustand						
Verformungsbeiwert:			c_{v,qh^*}	0,0640	[-]	
Verformungsbeiwert:			$c_{v,qv}$	-0,0833	[-]	
$K^* = \frac{c_{h,qv}}{V_{RB} - c_{h,qh^*}}$						
Beiwert des Bettungsreaktionsdruckes:			K^*	0,005	[-]	
$c_v^* = c_{v,qv} + c_{v,qh^*} \cdot K^*$				A 127 (6.13); A 161 (52a-d)		
Verformungsbeiwert:			c_v^*	-0,083	[-]	

$$q_0 = \frac{3}{2 + K_2} \cdot q_{Ev} \quad (26)$$

Radiale Erdlast auf das Rohr während des Vortriebs: q_0 294,230 kN/m²
 Vertikale Bodenspannung infolge Verkehrslast: p_T 0,00 kN/m²

$$q_{Ges,v} = q_0 + p_T \quad (53)$$

Vertikale Gesamt-Bodenspannung in Rohrscheitelebene: $q_{Ges,v}$ 294,230 kN/m²

$$q_{0,h} = \left(q_0 + \frac{V_B \cdot d_a}{2} \right) \cdot K_2 \quad (34a)$$

Horizontale Bodenspannung während des Vortriebs: $q_{0,h}$ 90,255 kN/m²
 Horizontale Bodenspannung infolge Verkehrslast: p_{Th} 0,00 kN/m²

$$q_{Ges,h} = q_{0,h} + p_{Th} \quad (53)$$

Horizontale Gesamt-Bodenspannung am Rohr: $q_{Ges,h}$ 90,255 kN/m²

$$\delta_V = \left| c_V^* \cdot \frac{q_{Ges,v} - q_{Ges,h}}{S_R} \cdot 100 \right| \quad (51)$$

Relative vertikale Durchmesseränderung: δ_V 0,03 %
 Zulässige vertikale Durchmesseränderung: zul δ_V 3,00 %

$$U_{\delta V} = \frac{\delta_V}{\text{zul } \delta_V}$$

Ausnutzungsgrad Verformung: $U_{\delta V}$ 1,0 %

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.5.4 Bemessung Ringbewehrung

Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Beton: γ_{RC} 1,50 [-]
 Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Stahl: γ_{RS} 1,15 [-]
 Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit: $f_{ck,cyl}$ 50,0 N/mm²

$$f_{cd} = \frac{0,85 \cdot f_{ck,cyl}}{\gamma_{RC}}$$

Bemessungswert Beton: f_{cd} 28,33 N/mm²
 Nennstreckgrenze: f_{yk} 500 N/mm²

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{RS}}$$

Bemessungswert Betonstahl: f_{yd} 434,78 N/mm²

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Summe der Momente	M_E	29,957	-30,199	31,424	kNm/m
Summe der Momente inkl.	M_{Ed}	40,442	-40,768	42,422	kNm/m
Teilsicherheitsbeiwert					
Summe Normalkraft	N_E	-142,692	-213,802	-151,090	kN/m
Summe der Normalkräfte inkl.	N_{Ed}	-192,634	-288,633	-203,971	kN/m
Teilsicherheitsbeiwert					

Bemessung: Scheitel Kämpfer Sohle
 Hebelarm innere Ringbewehrung z_i 49,0 40,0 49,0 mm

$$M_{Eds} = |M_{Ed}| - N_{Ed} \cdot z_i$$

Auslenkungsmoment Plattenbemessung M_{Eds} 49 881 52 313 52 417 kNm/m

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
 MA-250346

Seite: D-20

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
 D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$\sigma_{s,d} = f_{yd}$$

Rechenwert der Stahlgrenzspannung	$\sigma_{s,d}$	434,78	434,78	434,78	N/mm ²
Statische Höhe	d	0,159	0,150	0,159	m

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{d^2 \cdot f_{cd}}$$

Normiertes Auslegungsmoment	μ_{Eds}	0,0696	0,0821	0,0732	[-]
Erforderlicher mechanischer Bewehrungsgrad	ω	0,0724	0,0859	0,0762	[-]

$$a_{s,calc} = \frac{\omega \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed}}{\sigma_{s,d}}$$

Erforderliche Bewehrung (Bemessung)	$a_{s,calc}$	3,07	1,75	3,21	cm ² /m
Vorhandene Bewehrung	vorh. a_s	11,31	7,85	11,31	cm ² /m
Ausnutzung Bewehrung (Bemessung)	U $a_{s,calc}$	27,2	22,3	28,4	%

Die gewählte Bewehrung ist ausreichend.

1.2.5.5 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (DIN V 1201:2004-08 5.2.5)

Ideeles Widerstandsmoment, Zugseite	W_{id}	Scheitel 8.718,29	Kämpfer 8.491,85	Sohle 8.718,29	mm ³ /mm
-------------------------------------	----------	----------------------	---------------------	-------------------	---------------------

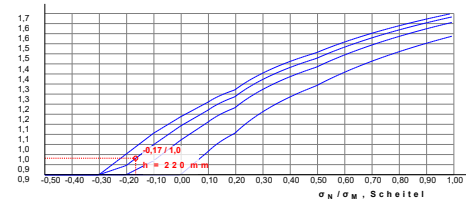
$$|\sigma_{M,E}| = \frac{M_E}{W_{id}}$$

Biegespannungsanteil aus Biegemomenten	$\sigma_{M,E}$	3,4361	3,5562	3,6044	N/mm ²
Spannungsanteil aus Normalkräften	$\sigma_{N,E}$	-0,5736	-0,8595	-0,6074	N/mm ²

$$f_{t,fl} = \sigma_{M,E} + \sigma_{N,E}$$

Maßgebliche Biegezugspannung	$f_{t,fl}$	2,8625	2,6967	2,9969	N/mm ²
Spannungsverhältnis	σ_N / σ_M	-0,1669	-0,2417	-0,1685	[-]
Profilhöhe	h	220,00	220,00	220,00	mm

Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9
 f_R , Scheitel



Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9	f_R	0,98	0,93	0,98	[-]
---------------------------------	-------	------	------	------	-----

$$\sigma_{VR} = f_R \cdot f_{t,fl}$$

Rohrvergleichsspannung unter Risskraft im Zustand I	σ_{VR}	2,80	2,50	2,93	N/mm ²
---	---------------	------	------	------	-------------------

Mittlere Zugfestigkeit:	f_{ctm}		4,1	N/mm ²
-------------------------	-----------	--	-----	-------------------

$$\max \sigma_{VR} = \min: 6 \text{ N/mm}^2; \frac{f_{ctm}}{3,50} \cdot 6$$

Maximale Rohrvergleichsspannung nach DIN V 1201:	$\max \sigma_{VR}$		6,0	N/mm ²
--	--------------------	--	-----	-------------------

$$U \sigma_{VR} = \frac{\sigma_{VR}}{\max \sigma_{VR}}$$

Ausnutzung Rohrvergleichsspannung $U \sigma_{VR}$ 46,7 41,7 48,9 %

Der Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist erbracht.

1.2.5.6 Rissnachweis Gesamtlast nach DIN EN 1992-1-1

Bei der Ermittlung von Spannungen und Verformungen ist in der Regel von ungerissenen Querschnitten auszugehen (Zustand I), wenn die Biegezugspannung $f_{ct,eff}$ nicht überschreitet (EC 2-1-1, 7.3.2 (3)). Alle Einwirkungen werden mit $\gamma = 1,0$ und $\psi_{0,i}$ angesetzt. Dies entspricht einem charakteristischen Niveau bei gleichzeitigem Auftreten aller vorhandenen Einwirkungen. Bemessungswerte können als char. Werte aufgefasst werden.

Breite des Querschnitts: b 1.000,00 mm
Mittlerer E-Modul (Sekantenmodul): E_{cm} 37.278 N/mm²
Elastizitätsmodul Betonstahl: E_s 200.000 N/mm²

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

Verhältnis der E-Moduln: α_e 5,37 [-]

$$f_{ct,eff} = f_{ctm}$$

Wirksame Zugfestigkeit des Betons (ohne Mindestwert): $f_{ct,eff}$ 4,07 N/mm²
Profilhöhe h 220,00 mm

Relevanter Stahldurchmesser d_s 12,00 mm

$$\text{vorh } a_{s,i} = 0,7854 \cdot n_{Ring,i} \cdot \varnothing_{rad,i}^2$$

Vorhandener Stahlquerschnitt innerer Korb $\text{vorh } a_{s,i}$ 11,31 cm²/m

$$d_{ik} = \frac{h}{2} + z_i$$

Statische Höhe innerer Bewehrungskorb d_{ik} 159,0 mm

$$z_{s1} = d_{ik} - \frac{h}{2}$$

Abstand vom Schwerpunkt im Zustand I z_{s1} 49,00 mm

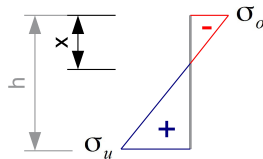
$$z = 0,90 \cdot d_{ik}$$

Innerer Hebelarm Rissnachweis (~0,9d) z 143,10 mm

$$\sigma_o = N/A - M/W$$

$$\sigma_u = N/A + M/W$$

$$W = h^2/6$$



$$\frac{h}{\sigma_o - \sigma_u} = \frac{x}{\sigma_o}$$

$$x = \sigma_o \cdot \frac{h}{\sigma_o - \sigma_u}$$

Höhe der Druckzone im Zustand I x 129,21 mm

$$d_1 = h - d_{ik}$$

Achsabstand zum gezogenen Rand d_1 61,00 mm

$$2 \cdot d_1 = 2 \cdot d_1$$

Mindesthöhe der Zugzone $2 \cdot d_1$ 122,00 mm

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-22

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$h_{\text{Grenz}} = \frac{h - x}{3}$$

Errechnete Höhe der Zugzone h_{Grenz} 30,26 27,15 30,20 mm

DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01 Abschnitt 7.3.2 (3) und NCI zu 7.3.2 (3) finden Anwendung: Der Wirkungsbereich der Bewehrung wird von $(h-x)/3$ auf $(h-x)/2$ vergrößert, da die Bewehrung an mindestens einer Stelle im Querschnitt außerhalb des Grenzbereiches $(h-x)/3$ liegt.

$$h_{C, \text{ef}} = \frac{h - x}{2}$$

Effektive Höhe des Wirkungsbereichs $h_{C, \text{ef}}$ 45,39 40,72 45,30 mm

$$A_{C, \text{eff}} = h_{C, \text{ef}} \cdot b$$

Wirkungsbereich der Bewehrung $A_{C, \text{eff}}$ 453,94 407,22 453,04 cm²

Einwirkendes Moment	$M_{d,0}$	Scheitel 29,96	Kämpfer -30,20	Sohle 31,42	kNm/m
Einwirkende Normalkraft	$N_{d,0}$	-142,69	-213,80	-151,09	kN/m

$$M_{\text{Eds}} = |M_{d,0}| - N_{d,0} \cdot z_{s1}$$

Bemessungsmoment Rissnachweis M_{Eds} 36,95 38,75 38,83 kNm/m

$$\sigma_s = \frac{\frac{M_{\text{Eds}}}{z} + N_{d,0}}{\text{vorh } a_{s,i}}$$

Stahlspannung σ_s 102,14 93,25 106,31 N/mm²

$$\text{eff } \rho = \frac{\text{vorh } a_{s,i}}{A_{C, \text{eff}}}$$

EN 1992-1-1 (7.10)

Effektiver Bewehrungsgrad $\text{eff } \rho$ 24,91 19,29 24,96 ‰

$$s_{r,1} = \frac{\sigma_s \cdot d_s}{3,60 \cdot f_{ct, \text{eff}}}$$

DIN 1045-1 (137-b)

Rissabstand Erst- oder Einzelriss $s_{r,1}$ 83,62 63,62 87,04 mm

$$s_{r,a} = \frac{d_s}{3,60 \cdot \text{eff } \rho}$$

DIN 1045-1 (137-a)

Rissabstand bei abgeschl. Rissbildung $s_{r,a}$ 133,79 144,03 133,52 mm

$$s_{r, \text{max}} = \min(|s_{r,1}|; s_{r,a})$$

DIN 1045-1 (137+)

Maßgebender Rissabstand $s_{r, \text{max}}$ 83,62 63,62 87,04 mm

$$\epsilon_R = \frac{\sigma_s - \frac{0,40 \cdot f_{ct, \text{eff}}}{\text{eff } \rho} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho)}{E_s}$$

EN 1992-1-1 (7.9-a)

Differenz der Dehnungen, Rechenwert ϵ_R 0,14 0,00 0,16 ‰

$$\epsilon_M = \frac{0,60 \cdot \sigma_s}{E_s}$$

EN 1992-1-1 (7.9-b)

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-23

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$(\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm}) = \max(\epsilon_R; \epsilon_M) \quad \text{EN 1992-1-1 (7.9)}$$

Maßgebende Differenz der Dehnungen	$(\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm})$	0,31	0,28	0,32	‰
------------------------------------	-----------------------------------	------	------	------	---

$$\text{vorh } w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm}) \quad \text{EN 1992-1-1 (7.8)}$$

Errechnete Rissbreite, Gesamtlast	vorh w_k	0,026	0,018	0,028	mm
-----------------------------------	------------	-------	-------	-------	----

Der Querschnitt wird in Teilbereichen vollständig überdrückt.

Zulässige Rissbreite	w_k	0,15	0,15	0,15	mm
----------------------	-------	------	------	------	----

$$U_w = \frac{\text{vorh } w_k}{w_k}$$

Ausnutzung Rissbreite, Gesamtlast	U_w	17,1	11,9	18,5	%
-----------------------------------	-------	------	------	------	---

Die zulässige Rissbreite nach DIN EN 1992-1-1 wird eingehalten.

1.2.5.7 Rissnachweis Mindestbemessung nach DIN EN 1992-1-1

Einwirkendes Moment	$M_{d,0}$	Scheitel	27,60	Kämpfer	-27,60	Sohle	27,60	kNm/m
Einwirkende Normalkraft	$N_{d,0}$		-91,00		-182,00		-91,00	kN/m

$$M_{Eds} = |M_{d,0}| - N_{d,0} \cdot z_{s1}$$

Bemessungsmoment Rissnachweis	M_{Eds}	32,06	34,88	32,06	kNm/m
-------------------------------	-----------	-------	-------	-------	-------

$$\sigma_s = \frac{\frac{M_{Eds}}{z} + N_{d,0}}{\text{vorh } a_{s,i}}$$

Stahlspannung	σ_s	117,65	97,27	117,65	N/mm²
---------------	------------	--------	-------	--------	-------

$$\text{eff } \rho = \frac{\text{vorh } a_{s,i}}{A_{C,eff}} \quad \text{EN 1992-1-1 (7.10)}$$

Effektiver Bewehrungsgrad	eff ρ	23,39	18,83	23,39	‰
---------------------------	------------	-------	-------	-------	---

$$s_{r,1} = \frac{\sigma_s \cdot d_s}{3,60 \cdot f_{ct,eff}} \quad \text{DIN 1045-1 (137-b)}$$

Rissabstand Erst- oder Einzelriss	$s_{r,1}$	96,31	66,36	96,31	mm
-----------------------------------	-----------	-------	-------	-------	----

$$s_{r,a} = \frac{d_s}{3,60 \cdot \text{eff } \rho} \quad \text{DIN 1045-1 (137-a)}$$

Rissabstand bei abgeschl. Rissbildung	$s_{r,a}$	142,51	147,50	142,51	mm
---------------------------------------	-----------	--------	--------	--------	----

$$s_{r,max} = \min(|s_{r,1}|; s_{r,a}) \quad \text{DIN 1045-1 (137+)}$$

Maßgebender Rissabstand	$s_{r,max}$	96,31	66,36	96,31	mm
-------------------------	-------------	-------	-------	-------	----

$$\epsilon_R = \frac{\sigma_s - \frac{0,40 \cdot f_{ct,eff}}{\text{eff } \rho} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho)}{E_s} \quad \text{EN 1992-1-1 (7.9-a)}$$

Differenz der Dehnungen, Rechenwert	ϵ_R	0,20	0,01	0,20	‰
-------------------------------------	--------------	------	------	------	---

$$\epsilon_M = \frac{0,60 \cdot \sigma_s}{E_s} \quad \text{EN 1992-1-1 (7.9-b)}$$

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-24

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$(\varepsilon_{Sm} - \varepsilon_{Cm}) = \max(\varepsilon_R; \varepsilon_M) \quad \text{EN 1992-1-1 (7.9)}$$

Maßgebende Differenz der Dehnungen	$(\varepsilon_{Sm} - \varepsilon_{Cm})$	0,35	0,29	0,35	‰
------------------------------------	---	------	------	------	---

$$\text{vorh } w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{Sm} - \varepsilon_{Cm}) \quad \text{EN 1992-1-1 (7.8)}$$

Errechnete Rissbreite, Mindestbemessung	vorh w_k	0,034	0,019	0,034	mm
---	------------	-------	-------	-------	----

Der Querschnitt wird in Teilbereichen vollständig überdrückt.

Zulässige Rissbreite	w_k	0,15	0,15	0,15	mm
----------------------	-------	------	------	------	----

$$U_{w,min} = \frac{\text{vorh } w_k}{w_k}$$

Ausnutzung Rissbreite, Mindestbemessung	$U_{w,min}$	22,7	12,9	22,7	%
---	-------------	------	------	------	---

Die zulässige Rissbreite nach DIN EN 1992-1-1 wird eingehalten.

1.2.5.8 Ermittlung der Lastklasse (DIN V 1201:2004-08 4.3.5)

Maximale Rohrvergleichsspannung nach DIN V 1201:

$\max \sigma_{VR}$	6,0	N/mm ²
--------------------	-----	-------------------

Inneres Widerstandsmoment:

W_i	8.066,67	mm ³ /mm
-------	----------	---------------------

Abminderungsbeiwert für Langzeitwirkung:

$\alpha_{c,F}$	0,90	[-]
----------------	------	-----

Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9:

f_R	0,98	[-]
-------	------	-----

Mittlerer Radius:

r_m	910,00	mm
-------	--------	----

Gewichtskraft des Rohrs:

G_p	31,45	kN/m
-------	-------	------

$$F_c = 1/0,3 \cdot \left\{ \frac{\max \sigma_{VR} \cdot W_i}{\alpha_{c,F} \cdot f_R \cdot r_m} - 0,07 G_p \right\}$$

Risskraft (Ergänzung Mindestdruckkraft):

F_c	193,73	kN/m
-------	--------	------

Ermittelte Lastklasse nach DIN V 1201 Tabelle 8/9:

110

Werte mit einem (+) bedeuten, dass in Sonderfällen auch Rohre mit diesen Lastklassen (Festigkeitsklassen) hergestellt werden können. Der Strich - bedeutet, dass Rohre dieser Nennweiten und Lastklassen im Regelfall nicht hergestellt werden. Zum Einsatz kommen Rohre mit höherer Tragfähigkeit (Lastklasse).

1.2.6 Nachweis der Zulässigkeit der Vortriebskraft

1.2.6.1 Rohr

Minimale Wanddicke des Rohrs:

$t_{R,min}$	220,0	mm
-------------	-------	----

Maßgebende Druckübertragungsfläche:

A_R	12.578,937	cm ²
-------	------------	-----------------

Längsdruckfestigkeit:

$f_{c,ax}$	50,0	N/mm ²
------------	------	-------------------

Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand längs der Rohrachse:

$\gamma_{M,ax}$	1,35	[-]
-----------------	------	-----

Charakteristische Festigkeit des Rohrwerkstoffs:

f_k	50,00	N/mm ²
-------	-------	-------------------

Mittlere Zugfestigkeit des Rohrwerkstoffs in Ringrichtung:

f_{tm}	4,07	N/mm ²
----------	------	-------------------

Elastizitätsmodul in axialer Richtung:

$E_{R,ax}$	37.277,9	N/mm ²
------------	----------	-------------------

Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand längs der Rohrachse:

$\gamma_{M,ax}$	1,35	[-]
-----------------	------	-----

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_{M,ax}} \quad (100)$$

Bemessungswert der Rohrfestigkeit:

f_d	37,04	N/mm ²
-------	-------	-------------------

1.2.6.2 Rohrabwinklung

Minimaler planmäßiger Kurvenradius der Vortriebsstrecke:

R_{Plan}	+∞	m
------------	----	---

Länge des einzelnen Vortriebsrohres:

L_R	3,00	m
-------	------	---

$$\varphi_R = \arctan \left(\frac{L_R}{R_{Plan}} \right) \quad (93)$$

Berechnete Rohrverwinklung aus planmäßiger Krümmung:

φ_R	0,000	°
-------------	-------	---

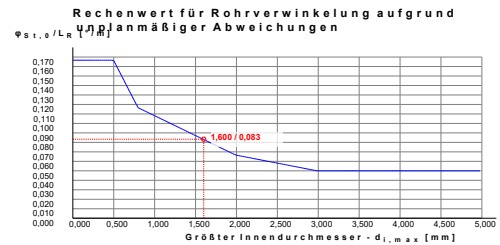
Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-25

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Größter Innendurchmesser:

 $d_{i,max}$ 1.600 mm

Rechenwert für Rohrverwinkelung aufgrund unplanmäßiger Abweichungen: $\phi_{St,0}/L_R$ 0,083 °/m

$$\phi_{St} = \phi_{St,0}/L_R \cdot L_R + 0,0625^\circ \geq 0 \quad (94)$$

Rohrverwinkelung aufgrund unplanmäßiger Abweichungen:

 ϕ_{St} 0,313 °

Nennweite:

DN 1.600 mm

Max. Abweichung Stirnflächen von Rechtwinkligkeit:

 $\Delta_{a,cal}$ 8,0 mm

Kleinsten Außendurchmesser:

 $d_{a,min}$ 2.040 mm

$$\phi_{\Delta a,cal} = \arctan \left(\frac{\Delta_{a,cal}}{d_{a,min}} \right) \quad (96)$$

Rohrverwinkelung aufgrund Abweichungen der Rohrspiegel von der Rechtwinkligkeit:

 $\phi_{\Delta a,cal}$ 0,225 °

Kombinationsbeiwert für Rohrabwinkelungen:

 ψ 0,80 [-]

$$\phi_{ges} = \phi_R + \text{MAX}[\psi \cdot (\phi_{St} + \phi_{\Delta a,cal}) ; \phi_{St}; \phi_{\Delta a,cal}] \quad (92)$$

Rohrverwinkelung im Bereich einer Rohrfuge (gesamt):

 ϕ_{ges} 0,430 °

1.2.6.3 Verformung des Druckübertragungsringes

Druckübertragungsring (DÜR)

OSB-Platte (OSB/3, OSB/4) - OSB-Platte (OSB/3, OSB/4)

Außendurchmesser des DÜR:

 $d_{a,DÜR}$ 1.950,0 mm

Innendurchmesser des DÜR:

 $d_{i,DÜR}$ 1.670,0 mm

Äußerer Randabstand des DÜR:

 $a_{a,DÜR}$ 45,0 mm

Innerer Randabstand des DÜR:

 $a_{i,DÜR}$ 35,0 mm

Breite des DÜR:

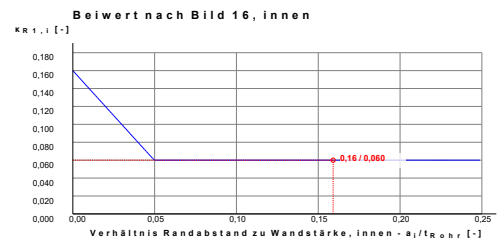
 $t_{DÜR}$ 140,0 mm

Minimale Wanddicke des Rohres:

 $t_{R,min}$ 220,0 mm

$$K_t = \frac{t_{R,min}}{t_{DÜR}} \quad (99)$$

Verhältnis $t_{DÜR}$ zu t_{Rohr} :

 K_t 1,571 [-]

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite:
D-26

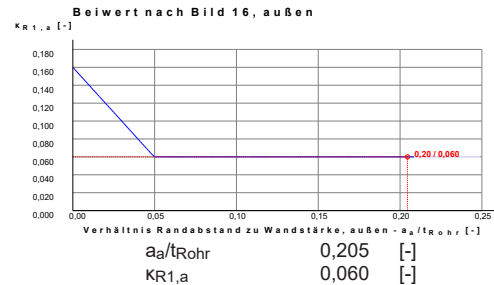
Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Verhältnis Randabstand zu Wandstärke, außen:
Beiwert nach Bild 16, außen:

$$K_{R1} = \max(K_{R1,i}, K_{R1,a})$$

Beiwert nach Bild 16 zur Vermeidung von Randabplatzungen:

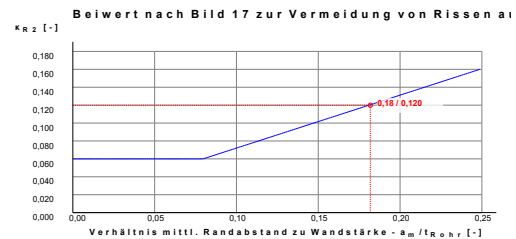


a_a/t_{Rohr} 0,205 [-]
 $K_{R1,a}$ 0,060 [-]

K_{R1} 0,060 [-]

Verhältnis mittl. Randabstand zu Wandstärke:

Beiwert nach Bild 17 zur Vermeidung von Rissen aus Spaltzug:



a_m/t_{Rohr} 0,182 [-]
 K_{R2} 0,120 [-]

$$K_R = \max(K_{R1}, K_{R2})$$

Beiwert nach Bild 16/17, angesetzter Wert:

Mittlere Zugfestigkeit des Rohrwerkstoffs in Ringrichtung:

$$\alpha_{D,T} = \frac{f_{tm}}{f_k} \cdot \frac{1}{K_R} \quad (98)$$

Beiwert für zulässige Druckspannung:

$$\sigma_{cal} = \alpha_{D,T} \cdot K_t \cdot f_d \quad (97)$$

Höchste in der Rohrfuge wirkende, zulässige Druckspannung:

Angesetzte Vorpresskraft, Laufvariable:

$$\sigma_{0DÜR} = \frac{F_j}{A_{DÜR}}$$

Gleichmäßig verteilte Spannung im DÜR:

$$\sigma_I = 2 \cdot \sigma_{0DÜR} \quad (107)$$

Maßgebende Spannung der Vorbelastung:

$$\sigma_I/\sigma_{cal} = \frac{\sigma_I}{\sigma_{cal}}$$

Prozentsatz der Vorbelastung:

K_R 0,120 [-]
 f_{tm} 4,07 N/mm²

$\alpha_{D,T}$ 0,679 [-]

σ_{cal} 39,53 N/mm²

F_j 5.500 kN

$\sigma_{0DÜR}$ 8,11 N/mm²

σ_I 16,21 N/mm²

σ_I/σ_{cal} 41,0 %

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-27

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Schicht 1

OSB-Platte (OSB/3, OSB/4)

Schichtdicke:

s_d 22,00 mm

$$E_{cal} = \left(\sigma_{cal} \cdot 61,113(\sigma/\sigma_{cal})^{1,33} - 983,8 \cdot (\sigma/\sigma_{cal}) + 3249 \cdot (\sigma/\sigma_{cal})^2 - 5866 \cdot (\sigma/\sigma_{cal})^3 + 0,23236 + 4140 \cdot (\sigma/\sigma_{cal})^4 \right) \cdot (-0,0009 \cdot s_d^3 + 0,0608 \cdot s_d^2 + 1,2216 \cdot s_d + 8,6507) \quad (110)$$

Steifigkeit der DUER-Schicht:

E_{cal} 962,09 N/mm²

$$\Delta s_{DÜR,S,1} = s_{d,1} \cdot \left(\frac{\sigma_{cal}}{E_{cal}} \right)^{0,5} \cdot \frac{d_{a,min}}{d_{a,DÜR}} \quad (102 / 111)$$

Verformungsanteil der Schicht:

$\Delta s_{DÜR,S}$ 4,7 mm

Schicht 2

OSB-Platte (OSB/3, OSB/4)

Schichtdicke:

s_d 18,00 mm

$$E_{cal} = \left(\sigma_{cal} \cdot 61,113(\sigma/\sigma_{cal})^{1,33} - 983,8 \cdot (\sigma/\sigma_{cal}) + 3249 \cdot (\sigma/\sigma_{cal})^2 - 5866 \cdot (\sigma/\sigma_{cal})^3 + 0,23236 + 4140 \cdot (\sigma/\sigma_{cal})^4 \right) \cdot (-0,0009 \cdot s_d^3 + 0,0608 \cdot s_d^2 + 1,2216 \cdot s_d + 8,6507) \quad (110)$$

Steifigkeit der DUER-Schicht:

E_{cal} 660,78 N/mm²

$$\Delta s_{DÜR,S,2} = s_{d,2} \cdot \left(\frac{\sigma_{cal}}{E_{cal}} \right)^{0,5} \cdot \frac{d_{a,min}}{d_{a,DÜR}} \quad (102 / 111)$$

Verformungsanteil der Schicht:

$\Delta s_{DÜR,S}$ 4,6 mm

$$\Delta s_{DÜR} = \Delta s_{DÜR,S,1} + \Delta s_{DÜR,S,2} \quad (112)$$

Verformungsanteil Gesamt:

$\Delta s_{DÜR}$ 9,3 mm

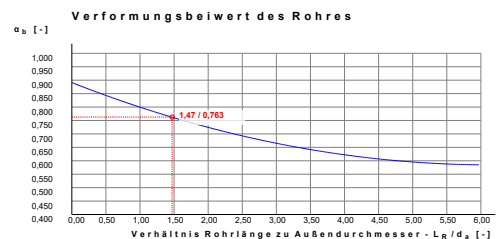
1.2.6.5 Verformung des Rohres

$$\sigma_{max} = \sigma_{cal} \cdot \frac{t_{DÜR}}{t_{R,min}} \quad (103b)$$

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_{cal} \cdot t_{DÜR}}{t_{R,min}}$$

Rechnerische Druckspannung im Rohrwerkstoff:

σ_{max} 25,16 N/mm²



$$L_R/d_a = \frac{L_R}{d_a}$$

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-28

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$\alpha_b = 0,008 \cdot \frac{L_R^2}{d_a} - 0,099 \cdot \frac{L_R}{d_a} + 0,891 \quad (105)$$

Verformungsbeiwert des Rohres: α_b 0,763 [-]

$$\alpha_\varphi = \varphi_R - 0,05 \leq 1 \text{ \& } \geq 0$$

Beiwert: α_φ 0,000 [-] (104)

$$\kappa_{ab} = \alpha_b - (\alpha_b - 0,5) \cdot (1 - \alpha_\varphi)$$

Verformungsfaktor des Rohres: κ_{ab} 0,500 [-]

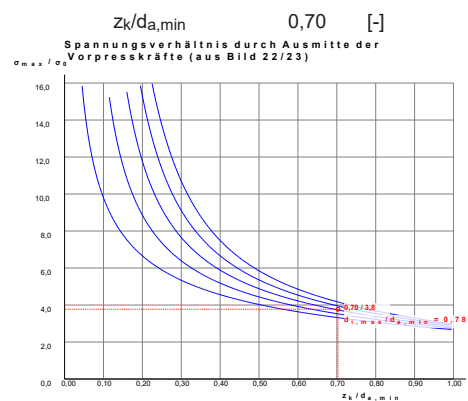
$$\Delta s_R = \frac{\sigma_{\max} \cdot \kappa_{ab} \cdot L_R}{E_{R,ax}} \quad (103a)$$

Verformungsanteil des Vortriebsrohres: Δs_R 1,0 mm

Ergebnis

$$z_k/d_{a,min} = \frac{\Delta s_{DÜR} + \Delta s_R}{\tan(\varphi_{ges}) \cdot d_{a,DÜR}} \leq 1 \quad (101)$$

Maß der Fugenklaffung:



Spannungsverhältnis durch Ausmitte der Vorpressekräfte (aus Bild 22/23): $\sigma_{\max} / \sigma_0$ 3,77 [-]

$$A_R = \frac{(d_{a,min}^2 - d_{i,max}^2) \cdot \pi}{4}$$

Maßgebende Druckübertragungsfläche: A_R 12.578,937 cm²
Teilsicherheitsbeiwert Einwirkung längs der Rohrachse: $\gamma_{F,ax}$ 1,30 [-]

$$F_j = \frac{A_R \cdot \sigma_{\max}}{\sigma_{\max} / \sigma_0 \cdot \gamma_{F,ax}} \quad (113)$$

Zulässige Vorpressekraft: F_j 6.454 kN

Vorgegebene Vortriebskraft: $F_{j,m}$ 5.500,0 kN

$$U_{Fj} = \frac{F_{j,m}}{F_j}$$

Ausnutzung zulässige Vortriebskraft: U_{Fj} 85,2 %

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-29

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$A_{R,0} = \frac{(d_i + 2 \cdot A_{ax}^2 - d_i^2) \cdot \pi}{4}$$

Rohrfläche für Axialdruck außerhalb Kupplungsbereich: $A_{R,0}$ 12.578,94 cm²

$$\sigma_{x,d,0} = -1 \cdot \gamma_{F,ax} \cdot \frac{F_{j,m}}{A_{R,0}} \cdot \sigma_{max} / \sigma_0 \quad (113)$$

Im Rohr wirkende axiale Spannung, Bemessungswert: $\sigma_{x,d,0}$ -21,44 N/mm²

1.2.6.6 Interaktion - Vergleichsspannungsnachweis Schaft

Der Nachweis der Vergleichsspannung ist bei biegesteifen Rohren nicht erforderlich.

1.2.7 Betriebszustand

1.2.7.1 Belastungen Betriebszustand

$$p_{Ev} = \kappa \cdot \gamma_B \cdot (h - h_{GW} + d_a) + \kappa \cdot \gamma'_B \cdot (h_{GW} - d_a) + \kappa_0 \cdot P_0 \quad (5b)$$

Vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene: p_{Ev} 225,231 kN/m²

Wirksame vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene: q_{Ev} 225,231 kN/m²

$$q_{Ges,v} = p_{Ev} + p_T \quad (53)$$

Vertikale Gesamt-Bodenspannung in Rohrscheitelebene: $q_{Ges,v}$ 225,231 kN/m²

Die Erddruckverteilung am Rohr wird cos²- bzw. sin²-förmig angenommen.: Nein

Grundwasserstand im Bereich der oberen Rohrhälfte: $h_{GW,oRh}$ 2,000 m

$$q_{Eh} = \left(p_{Ev} + \gamma_B \cdot (d_a - h_{GW,oRh}) + \gamma'_B \cdot \left(h_{GW,oRh} - \frac{d_a}{2} \right) \right) \cdot K_2$$

Horizontale Bodenspannung am Rohr: q_{Eh} 93,50 kN/m²

$$q_{Ges,h} = q_{Eh} + p_{Th} \quad (53)$$

Horizontale Gesamt-Bodenspannung am Rohr: $q_{Ges,h}$ 93,500 kN/m²

Innerer Überdruck: p_i 0,000 bar

Äußerer Überdruck über Rohrscheitel: $p_{a,Sc}$ 0,000 bar

Rohrsteifigkeit: $\frac{S_R}{S_R}$ 43.895 kN/m²

Rohrsteifigkeit: $\frac{S_R}{S_R}$ 43.895 kN/m²

Normierender Bezugswert: $\sigma_{B,0}$ 100,0 kN/m²

$$f_3 = \left(\frac{p_{Ev}}{\sigma_{B,0}} \right)^z \geq 1 \quad (2)$$

Spannungsabhängiger Erhöhungsfaktor: f_3 1,77 [-]

$$E_B = E_0 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \quad (1)$$

Verformungsmodul Boden: E_B 4,24 N/mm²

Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel: K_2 0,40 [-]

$$S_{Bh} = 0,60 \cdot E_B \quad (18)$$

Reifungssteifigkeit: S_{Bh} 2,54 N/mm²

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-30

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$V_{RB,LK} = \frac{\bar{S}_R}{S_{Bh}} \quad (14)$$

Systemsteifigkeit: V_{RB} 17,2668 [-]
Das Rohr-Bodensystem verhält sich biegeweich: Nein

1.2.7.2 Schnittkräfte Betriebszustand

Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen quer zur Rohrachse: γ_F 1,35 [-]
Teilsicherheitsbeiwert Wasseraußendruck: $\gamma_{F,W}$ 1,35 [-]
Mittlerer Radius: r_m 910,00 mm

Innerer Überdruck: p_i 0,000 bar
Äußerer Überdruck über Rohrscheitel: $p_{a,Sc}$ 0,000 bar
Wirksame vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene: q_{Ev} 225,231 kN/m²
Horizontale Bodenspannung am Rohr: q_{Eh} 93,50 kN/m²
Vertikale Bodenspannung infolge Verkehrslast: p_T 0,00 kN/m²
Horizontale Bodenspannung infolge Verkehrslast: p_{Th} 0,00 kN/m²
Vertikale Gesamt-Bodenspannung in Rohrscheitelebene: $q_{Ges,v}$ 225,231 kN/m²
Horizontale Gesamt-Bodenspannung am Rohr: $q_{Ges,h}$ 93,500 kN/m²

Momente:

	m_{pEv}	Scheitel 0,250	Kämpfer -0,250	Sohle 0,250	[-]
$M_{pEvd} = \gamma_F \cdot m_{pEv} \cdot q_{Ev} \cdot r_m^2$					(27)

Vertikale Belastung aus Erdüberdeckung

	$m_{pEv,d}$ m_{pT}	62,948 0,250	-62,948 -0,250	62,948 0,250	kNm/m [-]
$M_{pTv,d} = \gamma_Q \cdot m_{pT} \cdot p_T \cdot r_m^2$					(29)

Vertikale Belastung aus Verkehr

	$m_{pTv,d}$ m_{pTh}	0,000 -0,250	0,000 0,250	0,000 -0,250	kNm/m [-]
$M_{pTh,d} = \gamma_Q \cdot m_{pTh} \cdot p_{Th} \cdot r_m^2$					(31)

Horizontale Belastung aus Verkehr

	$m_{pTh,d}$ m_{pEh}	0,000 -0,250	0,000 0,250	0,000 -0,250	kNm/m [-]
$M_{pEh,d} = \gamma_F \cdot m_{pEh} \cdot q_{Eh} \cdot r_m^2$					(35)

Horizontale Belastung aus Erdüberdeckung

	$m_{pEh,d}$ m_g	-26,132 0,384	26,132 -0,437	-26,132 0,706	kNm/m [-]
$M_{g,d} = \gamma_F \cdot m_g \cdot \gamma_R \cdot s \cdot r_m^2$					(37)

Eigengewicht

	$M_{g,d}$ m_w	2,361 0,192	-2,687 -0,219	4,341 0,353	kNm/m [-]
$M_{w,d} = \gamma_F \cdot m_w \cdot \gamma_W \cdot r_m^3$					(39)

Wasserfüllung bis Rohrscheitel

	$M_{w,d}$ m_a	0,000 -0,192	0,000 0,219	0,000 -0,353	kNm/m [-]
$M_{a,d} = \gamma_{F,W} \cdot m_a \cdot \gamma_W \cdot r_m^3$					(41)

Auftrieb (äußerer Wasserstand bis Scheitel)

	$M_{a,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
$M_{pw,d} = ((\gamma_F \cdot p_i) - (\gamma_{F,W} \cdot p_a)) \cdot r_i \cdot r_a \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{r_i \cdot r_a}{r_a^2 - r_i^2} \cdot \ln \cdot \frac{r_a}{r_i} \right)$					(43)

Wasserdruck

	$M_{pw,d}$ m_{qh}^*	0,000 -0,181	0,000 0,208	0,000 -0,181	kNm/m [-]

$$M_{qTh^*,d} = \gamma_Q \cdot m_{qh^*} \cdot q_{Th^*} \cdot r_m^2 \quad (45b)$$

Bettungsreaktionsdruck Verkehr $M_{qTh^*,d}$ 0,000 0,000 0,000 kNm/m

$$M_{qh^*,d} = M_{qTh^*,d} + M_{qEh^*,d}$$

Bettungsreaktionsdruck $M_{qh^*,d}$ 0,000 0,000 0,000 kNm/m

Summe der Momente ΣM_d 39,178 -39,503 41,157 kNm/m

Summe Erd- und Verkehrslasten $\Sigma M_{qv,qh,qh^*,d}$ 36,816 -36,816 36,816 kNm/m

Summe andere Lasten $\Sigma M_{sonst,d}$ 2,361 -2,687 4,341 kNm/m

Normalkräfte:

n_{pEv} Scheitel 0,000 Kämpfer -1,000 Sohle 0,000 [-]

$$N_{pEv,d} = \gamma_F \cdot n_{pEv} \cdot q_{Ev} \cdot r_m \quad (28)$$

Vertikale Belastung aus Erdüberdeckung $N_{pEv,d}$ 0,000 -276,696 0,000 kN/m

n_{pT} 0,000 -1,000 0,000 [-]

$$N_{pTv,d} = \gamma_Q \cdot n_{pT} \cdot p_T \cdot r_m \quad (30)$$

Vertikale Belastung aus Verkehr $N_{pTv,d}$ 0,000 0,000 0,000 kN/m

n_{pTh} -1,000 0,000 -1,000 [-]

$$N_{pTh,d} = \gamma_Q \cdot n_{pTh} \cdot p_{Th} \cdot r_m \quad (32)$$

Horizontale Belastung aus Verkehr $N_{pTh,d}$ 0,000 0,000 0,000 kN/m

n_{pEh} -1,000 0,000 -1,000 [-]

$$N_{pEh,d} = \gamma_F \cdot n_{pEh} \cdot q_{Eh} \cdot r_m \quad (36)$$

Horizontale Belastung aus Erdüberdeckung $N_{pEh,d}$ -114,865 0,000 -114,865 kN/m

n_g 0,250 -1,571 -1,428 [-]

$$N_{g,d} = \gamma_F \cdot n_g \cdot \gamma_R \cdot s \cdot r_m \quad (38)$$

Eigengewicht $N_{g,d}$ 1,689 -10,615 -9,649 kN/m

n_w 0,625 0,215 0,786 [-]

$$N_{w,d} = \gamma_F \cdot n_w \cdot \gamma_W \cdot r_m^2 \quad (40)$$

Wasserfüllung bis Rohrscheitel $N_{w,d}$ 0,000 0,000 0,000 kN/m

m_a -0,625 -0,215 -0,786 [-]

$$N_{a,d} = \gamma_{F,W} \cdot m_a \cdot \gamma_W \cdot r_m^2 \quad (42)$$

Auftrieb (äußerer Wasserstand bis Scheitel) $N_{a,d}$ 0,000 0,000 0,000 kN/m

$$N_{pw,d} = (\gamma_F \cdot p_i \cdot r_i) - (\gamma_{F,W} \cdot p_a \cdot r_a) \quad (44)$$

Wasserdruck $N_{pw,d}$ 0,000 0,000 0,000 kN/m

Summe der Normalkräfte ΣN_d -113,176 -287,311 -124,514 kN/m

$$\Sigma N_{qv,qh,qh^*,d} = N_{pEv,d} + N_{pTv,d} + N_{pEh,d} + N_{pTh,d} + N_{qh^*,d}$$

Summe Erd- und Verkehrslasten $\Sigma N_{qv,qh,qh^*,d}$ -114,865 -276,696 -114,865 kN/m

$$\Sigma N_{sonst,d} = N_{g,d} + N_{w,d} + N_{a,d} + N_{pw,d}$$

Summe andere Lasten $\Sigma N_{sonst,d}$ 1,689 -10,615 -9,649 kN/m

1.2.7.3 Verformungsnachweis Betriebszustand

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-32

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$K^* = \frac{c_{h,qv}}{V_{RB} - c_{h,qh^*}}$$

Beiwert des Bettungsreaktionsdruckes:

K* 0,005 [-]

$$c^*_{v} = c_{v,qv} + c_{v,qh^*} \cdot K^*$$

A 127 (6.13); A 161 (52a-d)

Verformungsbeiwert:

c*v -0,083 [-]

Vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene:

pEv 225,231 kN/m²

Vertikale Bodenspannung infolge Verkehrslast:

pT 0,00 kN/m²

$$q_{Ges,v} = p_{Ev} + p_T$$

(53)

Vertikale Gesamt-Bodenspannung in Rohrscheitelebene:

qGes,v 225,231 kN/m²

$$q_{Eh} = \left(p_{Ev} + \gamma_B \cdot \left(d_a - h_{GW,oRh} \right) + \gamma'_B \cdot \left(h_{GW,oRh} - \frac{d_a}{2} \right) \right) \cdot K_2$$

Horizontale Bodenspannung am Rohr:

qEh 93,50 kN/m²

Horizontale Bodenspannung infolge Verkehrslast:

pTh 0,00 kN/m²

$$q_{Ges,h} = q_{Eh} + p_{Th}$$

(53)

Horizontale Gesamt-Bodenspannung am Rohr:

qGes,h 93,500 kN/m²

$$\delta_v = \left| c^*_v \cdot \frac{q_{Ges,v} - q_{Ges,h}}{S_R} \cdot 100 \right|$$

(51)

Relative vertikale Durchmesseränderung:

δv 0,02 %

Zulässige vertikale Durchmesseränderung:

zul δv 3,00 %

$$U_{\delta v} = \frac{\delta_v}{\text{zul } \delta_v}$$

Ausnutzungsgrad Verformung:

Uδv 0,8 %

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.7.4 Bemessung Ringbewehrung

Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Beton:

YRC 1,50 [-]

Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Stahl:

YRS 1,15 [-]

Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit:

fck,cyl 50,0 N/mm²

$$f_{cd} = \frac{0,85 \cdot f_{ck,cyl}}{Y_{RC}}$$

Bemessungswert Beton:

fcd 28,33 N/mm²

Nennstreckgrenze:

fyk 500 N/mm²

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{Y_{RS}}$$

Bemessungswert Betonstahl:

fyd 434,78 N/mm²

Summe der Momente

ME

Scheitel

29,020

Kämpfer

-29,262

Summe der Momente inkl.

MEd

39,178

-39,503

Teilsicherheitsbeiwert

NE

-83,834

-212,823

Summe Normalkraft

NEd

-113,176

-287,311

Summe der Normalkräfte inkl.

NEd

-113,176

-287,311

Teilsicherheitsbeiwert

NE

-83,834

-212,823

Bemessungswert

Scheitel

Kämpfer

Sohle

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-33

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$M_{Eds} = |M_{Ed}| - N_{Ed} \cdot z_i$$

Auslegungsmoment Plattenbemessung M_{Eds} 44,723 50,996 47,259 kNm/m

$$\sigma_{s,d} = f_{yd}$$

Rechenwert der Stahlgrenzspannung $\sigma_{s,d}$ 434,78 434,78 434,78 N/mm²
Statische Höhe d 0,159 0,150 0,159 m

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{d^2 \cdot f_{cd}}$$

Normiertes Auslegungsmoment μ_{Eds} 0,0624 0,0800 0,0660 [-]
Erforderlicher mechanischer Bewehrungsgrad ω 0,0647 0,0836 0,0685 [-]

$$a_{s,calc} = \frac{\omega \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed}}{\sigma_{s,d}}$$

Erforderliche Bewehrung (Bemessung) $a_{s,calc}$ 4,10 1,56 4,23 cm²/m
Vorhandene Bewehrung vorh. a_s 11,31 7,85 11,31 cm²/m
Ausnutzung Bewehrung (Bemessung) $U a_{s,calc}$ 36,3 19,9 37,4 %

Die gewählte Bewehrung ist ausreichend.

1.2.7.5 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (DIN V 1201:2004-08 5.2.5)

Ideeles Widerstandsmoment, Zugseite W_{id} Scheitel 8.718,29 Kämpfer 8.491,85 Sohle 8.718,29 mm³/mm

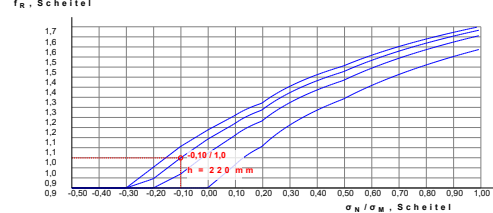
$$|\sigma_{M,E}| = \frac{M_E}{W_{id}}$$

Biegespannungsanteil aus Biegemomenten $\sigma_{M,E}$ 3,3287 3,4459 3,4969 N/mm²
Spannungsanteil aus Normalkräften $\sigma_{N,E}$ -0,3370 -0,8556 -0,3708 N/mm²

$$f_{t,fl} = \sigma_{M,E} + \sigma_{N,E}$$

Maßgebliche Biegezugspannung $f_{t,fl}$ 2,9917 2,5903 3,1261 N/mm²
Spannungsverhältnis σ_N / σ_M -0,1012 -0,2483 -0,1060 [-]
Profilhöhe h 220,00 220,00 220,00 mm

Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9



Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9 f_R 1,05 0,92 1,04 [-]

$$\sigma_{VR} = f_R \cdot f_{t,fl}$$

Rohrvergleichsspannung unter Risskraft im Zustand I σ_{VR} 3,13 2,39 3,25 N/mm²

Mittlere Zugfestigkeit: f_{ctm} 4,1 N/mm²

$$\max \sigma_{VR} = \min \cdot 6 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{f_{ctm}}{6}$$

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-34

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Maximale Rohrvergleichsspannung nach DIN V 1201: $\max \sigma_{VR}$ 6,0 N/mm²

$$U \sigma_{VR} = \frac{\sigma_{VR}}{\max \sigma_{VR}}$$

Ausnutzung Rohrvergleichsspannung $U \sigma_{VR}$ 52,1 39,9 54,2 %

Der Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist erbracht.

1.2.7.6 Rissnachweis Gesamtlast nach DIN EN 1992-1-1

Bei der Ermittlung von Spannungen und Verformungen ist in der Regel von ungerissenen Querschnitten auszugehen (Zustand I), wenn die Biegezugspannung $f_{ct,eff}$ nicht überschreitet (EC 2-1-1, 7.3.2 (3)). Alle Einwirkungen werden mit $\gamma = 1,0$ und $\psi_{0,i}$ angesetzt. Dies entspricht einem charakteristischen Niveau bei gleichzeitigem Auftreten aller vorhandenen Einwirkungen. Bemessungswerte können als char. Werte aufgefasst werden.

Breite des Querschnitts: b 1.000,00 mm
Mittlerer E-Modul (Sekantenmodul): E_{cm} 37.278 N/mm²
Elastizitätsmodul Betonstahl: E_s 200.000 N/mm²

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

Verhältnis der E-Moduln: α_e 5,37 [-]

$$f_{ct,eff} = f_{ctm}$$

Wirksame Zugfestigkeit des Betons (ohne Mindestwert): $f_{ct,eff}$ 4,07 N/mm²
Profilhöhe h 220,00 mm

Relevanter Stahldurchmesser d_s 12,00 mm

$$\text{vorh } a_{S,i} = 0,7854 \cdot n_{Ring,i} \cdot \varnothing_{rad,i}^2$$

Vorhandener Stahlquerschnitt innerer Korb $\text{vorh } a_{S,i}$ 11,31 7,85 11,31 cm²/m

$$d_{iK} = \frac{h}{2} + z_i$$

Statische Höhe innerer Bewehrungskorb d_{iK} 159,0 mm

$$z_{s1} = d_{iK} - \frac{h}{2}$$

Abstand vom Schwerpunkt im Zustand I z_{s1} 49,00 mm

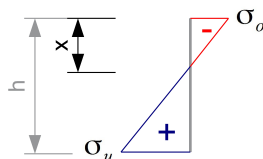
$$z = 0,90 \cdot d_{iK}$$

Innerer Hebelarm Rissnachweis ($\sim 0,9d$) z 143,10 mm

$$\sigma_o = N/A - M/W$$

$$\sigma_u = N/A + M/W$$

$$W = h^2/6$$



$$\frac{h}{\sigma_o - \sigma_u} = \frac{x}{\sigma_o}$$

$$x = \sigma_o \cdot \frac{h}{\sigma_o - \sigma_u}$$

Höhe der Druckzone im Zustand I x 121,65 139,33 122,20 mm

$$d_1 = h - d_{iK}$$

Achsabstand zum gezogenen Rand d_1 61,00 mm

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-35

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$h_{\text{Grenz}} = \frac{h - x}{3}$$

Errechnete Höhe der Zugzone h_{Grenz} 32,78 26,89 32,60 mm

DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01 Abschnitt 7.3.2 (3) und NCI zu 7.3.2 (3) finden Anwendung: Der Wirkungsbereich der Bewehrung wird von $(h-x)/3$ auf $(h-x)/2$ vergrößert, da die Bewehrung an mindestens einer Stelle im Querschnitt außerhalb des Grenzbereiches $(h-x)/3$ liegt.

$$h_{C, \text{ef}} = \frac{h - x}{2}$$

Effektive Höhe des Wirkungsbereichs $h_{C, \text{ef}}$ 49,17 40,33 48,90 mm

$$A_{C, \text{eff}} = h_{C, \text{ef}} \cdot b$$

Wirkungsbereich der Bewehrung $A_{C, \text{eff}}$ 491,74 403,33 488,99 cm²

Einwirkendes Moment	$M_{d,0}$	Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Einwirkende Normalkraft	$N_{d,0}$	29,02	-29,26	30,49	kNm/m
		-83,83	-212,82	-92,23	kN/m

$$M_{\text{Eds}} = |M_{d,0}| - N_{d,0} \cdot z_{s1}$$

Bemessungsmoment Rissnachweis M_{Eds} 33,13 37,77 35,01 kNm/m

$$\sigma_s = \frac{\frac{M_{\text{Eds}}}{z} + N_{d,0}}{\text{vorh } a_{s,i}}$$

Stahlspannung σ_s 130,57 85,29 134,75 N/mm²

$$\text{eff } \rho = \frac{\text{vorh } a_{s,i}}{A_{C, \text{eff}}}$$

EN 1992-1-1 (7.10)

Effektiver Bewehrungsgrad $\text{eff } \rho$ 23,00 19,47 23,13 ‰

$$s_{r,1} = \frac{\sigma_s \cdot d_s}{3,60 \cdot f_{ct, \text{eff}}}$$

DIN 1045-1 (137-b)

Rissabstand Erst- oder Einzelriss $s_{r,1}$ 106,89 58,19 110,31 mm

$$s_{r,a} = \frac{d_s}{3,60 \cdot \text{eff } \rho}$$

DIN 1045-1 (137-a)

Rissabstand bei abgeschl. Rissbildung $s_{r,a}$ 144,93 142,65 144,12 mm

$$s_{r, \text{max}} = \min(|s_{r,1}|; s_{r,a})$$

DIN 1045-1 (137+)

Maßgebender Rissabstand $s_{r, \text{max}}$ 106,89 58,19 110,31 mm

$$\epsilon_R = \frac{\sigma_s - \frac{0,40 \cdot f_{ct, \text{eff}}}{\text{eff } \rho} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho)}{E_s}$$

EN 1992-1-1 (7.9-a)

Differenz der Dehnungen, Rechenwert ϵ_R 0,26 -0,04 0,28 ‰

$$\epsilon_M = \frac{0,60 \cdot \sigma_s}{E_s}$$

EN 1992-1-1 (7.9-b)

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-36

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$(\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm}) = \max(\epsilon_R; \epsilon_M) \quad \text{EN 1992-1-1 (7.9)}$$

Maßgebende Differenz der Dehnungen	$(\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm})$	0,39	0,26	0,40	‰
------------------------------------	-----------------------------------	------	------	------	---

$$\text{vorh } w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm}) \quad \text{EN 1992-1-1 (7.8)}$$

Errechnete Rissbreite, Gesamtlast	vorh w_k	0,042	0,015	0,045	mm
-----------------------------------	------------	-------	-------	-------	----

Der Querschnitt wird in Teilbereichen vollständig überdrückt.

Zulässige Rissbreite	w_k	0,15	0,15	0,15	mm
----------------------	-------	------	------	------	----

$$U_w = \frac{\text{vorh } w_k}{w_k}$$

Ausnutzung Rissbreite, Gesamtlast	U_w	27,9	9,9	29,7	%
-----------------------------------	-------	------	-----	------	---

Die zulässige Rissbreite nach DIN EN 1992-1-1 wird eingehalten.

1.2.7.7 Rissnachweis Mindestbemessung nach DIN EN 1992-1-1

Einwirkendes Moment	$M_{d,0}$	Scheitel	27,60	Kämpfer	-27,60	Sohle	27,60	kNm/m
Einwirkende Normalkraft	$N_{d,0}$		-91,00		-182,00		-91,00	kN/m

$$M_{Eds} = |M_{d,0}| - N_{d,0} \cdot z_{s1}$$

Bemessungsmoment Rissnachweis	M_{Eds}	32,06	34,88	32,06	kNm/m
-------------------------------	-----------	-------	-------	-------	-------

$$\sigma_s = \frac{\frac{M_{Eds}}{z} + N_{d,0}}{\text{vorh } a_{s,i}}$$

Stahlspannung	σ_s	117,65	97,27	117,65	N/mm²
---------------	------------	--------	-------	--------	-------

$$\text{eff } \rho = \frac{\text{vorh } a_{s,i}}{A_{C,eff}} \quad \text{EN 1992-1-1 (7.10)}$$

Effektiver Bewehrungsgrad	eff ρ	23,39	18,83	23,39	‰
---------------------------	------------	-------	-------	-------	---

$$s_{r,1} = \frac{\sigma_s \cdot d_s}{3,60 \cdot f_{ct,eff}} \quad \text{DIN 1045-1 (137-b)}$$

Rissabstand Erst- oder Einzelriss	$s_{r,1}$	96,31	66,36	96,31	mm
-----------------------------------	-----------	-------	-------	-------	----

$$s_{r,a} = \frac{d_s}{3,60 \cdot \text{eff } \rho} \quad \text{DIN 1045-1 (137-a)}$$

Rissabstand bei abgeschl. Rissbildung	$s_{r,a}$	142,51	147,50	142,51	mm
---------------------------------------	-----------	--------	--------	--------	----

$$s_{r,max} = \min(|s_{r,1}|; s_{r,a}) \quad \text{DIN 1045-1 (137+)}$$

Maßgebender Rissabstand	$s_{r,max}$	96,31	66,36	96,31	mm
-------------------------	-------------	-------	-------	-------	----

$$\epsilon_R = \frac{\sigma_s - \frac{0,40 \cdot f_{ct,eff}}{\text{eff } \rho} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho)}{E_s} \quad \text{EN 1992-1-1 (7.9-a)}$$

Differenz der Dehnungen, Rechenwert	ϵ_R	0,20	0,01	0,20	‰
-------------------------------------	--------------	------	------	------	---

$$\epsilon_M = \frac{0,60 \cdot \sigma_s}{E_s} \quad \text{EN 1992-1-1 (7.9-b)}$$

$$(\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm}) = \max(\epsilon_R; \epsilon_M) \quad \text{EN 1992-1-1 (7.9)}$$

Maßgebende Differenz der Dehnungen	$(\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm})$	0,35	0,29	0,35	‰
------------------------------------	-----------------------------------	------	------	------	---

$$\text{vorh } w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm}) \quad \text{EN 1992-1-1 (7.8)}$$

Errechnete Rissbreite, Mindestbemessung	vorh w_k	0,034	0,019	0,034	mm
---	------------	-------	-------	-------	----

Der Querschnitt wird in Teilbereichen vollständig überdrückt.

Zulässige Rissbreite	w_k	0,15	0,15	0,15	mm
----------------------	-------	------	------	------	----

$$U_{w,min} = \frac{\text{vorh } w_k}{w_k}$$

Ausnutzung Rissbreite, Mindestbemessung	$U_{w,min}$	22,7	12,9	22,7	%
---	-------------	------	------	------	---

Die zulässige Rissbreite nach DIN EN 1992-1-1 wird eingehalten.

1.2.7.8 Ermittlung der Lastklasse (DIN V 1201:2004-08 4.3.5)

Maximale Rohrvergleichsspannung nach DIN V 1201:

$\max \sigma_{VR}$	6,0	N/mm ²
--------------------	-----	-------------------

Inneres Widerstandsmoment:

W_i	8.066,67	mm ³ /mm
-------	----------	---------------------

Abminderungsbeiwert für Langzeitwirkung:

$\alpha_{c,F}$	0,90	[-]
----------------	------	-----

Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9:

f_R	1,05	[-]
-------	------	-----

Mittlerer Radius:

r_m	910,00	mm
-------	--------	----

Gewichtskraft des Rohrs:

G_p	31,45	kN/m
-------	-------	------

$$F_c = 1/0,3 \cdot \left\{ \frac{\max \sigma_{VR} \cdot W_i}{\alpha_{c,F} \cdot f_R \cdot r_m} - 0,07 G_p \right\}$$

Risskraft (Ergänzung Mindestdruckkraft):

F_c	181,09	kN/m
-------	--------	------

Ermittelte Lastklasse nach DIN V 1201 Tabelle 8/9:

110

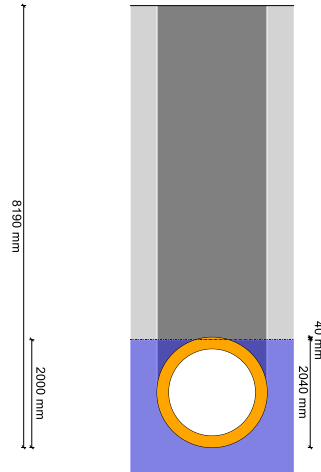
Werte mit einem (+) bedeuten, dass in Sonderfällen auch Rohre mit diesen Lastklassen (Festigkeitsklassen) hergestellt werden können. Der Strich - bedeutet, dass Rohre dieser Nennweiten und Lastklassen im Regelfall nicht hergestellt werden. Zum Einsatz kommen Rohre mit höherer Tragfähigkeit (Lastklasse).

1.2.8 Nachweis gegen Ermüden unter nicht vorwiegend ruhender Belastung

Der Nachweis gegen Ermüden unter nicht vorwiegend ruhender Belastung soll in diesem Fall nicht geführt werden.

1.2.9 Auftriebsnachweis

Der Auftriebsnachweis erfolgt für den tatsächlichen Grundwasserstand $h_{W,max}$. Das Erdreich oberhalb des GW-Spiegels wird mit seiner Trockenwichte angesetzt.



Lastfaktor Auftriebskraft:
Baugrund:
Lastfaktor Eigengewicht:

YQ	1,05	[-]
Y _u	0,95	[-]
Y _G	0,95	[-]

Äußerer Radius:

r _a	1.020,0	mm
----------------	---------	----

$h_{\alpha} = h_{GW} - r_a$

Höhe Kreissegment:

h _α	980,00	mm
----------------	--------	----

$\alpha = 2 \cdot \text{Acos}(h_{\alpha} / r_a)$

Winkel Kreissegment:

α	32,20	°
---	-------	---

$V_{KS} = \frac{r_a^2}{2} \cdot (\alpha - \sin(\alpha))$

Volumen Kreissegment:

V _{KS}	0,02	m³/m
-----------------	------	------

$V_A = r_a^2 \cdot \pi$

Verdrängtes Volumen Außendurchmesser (Annahme: Rohr vollständig unter Wasser):

V _A	3,27	m³/m
----------------	------	------

$V = V_A - V_{KS}$

Verdrängtes Volumen:

V	3,25	m³/m
---	------	------

$Q_r = V \cdot \gamma_w$

Auftriebskraft:

Q _r	32,53	kN/m
----------------	-------	------

$Q_{r,d} = Q_r \cdot \gamma_Q$

Auftriebskraft, Design:

Q _{r,d}	34,16	kN/m
------------------	-------	------

Wichte des Bodens unter Auftrieb im Auftriebsnachweis:

γ _{B',A}	10,0	kN/m³
-------------------	------	-------

Wichte des Bodens im Auftriebsnachweis:

γ _{B,A}	20,0	kN/m³
------------------	------	-------

Überdeckungshöhe:

h	6,2	m
---	-----	---

Grundwasserstand über Sohle:

h _{GW}	2,0	m
-----------------	-----	---

Höhe Boden unter Auftrieb:	h_n	0,00	m
$Q_{r1} = (h_n \cdot \gamma_{B',A} + (h - h_n) \cdot \gamma_{B,A}) \cdot D_a$			
Baugrund:	Q_{r1}	250,92	kN/m
$Q_{r1,d} = Q_{r1} \cdot \gamma_u$			
Baugrund, Design:	$Q_{r1,d}$	238,37	kN/m
$A_{FZ} = 0,08 \cdot r_a - \frac{r_a^2}{2} \cdot 0,0291$			
Fläche Zwickel, trocken:	A_{FZ}	0,07	m ²
$A_{FZ'} = \frac{2 \cdot r_a^2 - \pi \cdot r_a^2}{2} - A_{FZ}$			
Fläche Zwickel, nass:	$A_{FZ'}$	0,38	m ²
$F_Z = A_{FZ'} \cdot \gamma_{B',A} + A_{FZ} \cdot \gamma_{B,A}$			
Kraft aus Auflast Zwickel:	F_Z	5,13	kN/m
$F_{Z,d} = F_Z \cdot \gamma_u$			
Kraft aus Auflast Zwickel, Design:	$F_{Z,d}$	4,87	kN/m
Innerer Radius:	r_i	800,0	mm
Radiale Profilfläche:	A_{rad}	220,00	mm ² /mm
Wichte des Rohrwerkstoffs:	γ_R	25,0	kN/m ³
$G_m = \gamma_R \cdot \pi \cdot (r_i + A_{rad}^2 - r_i^2)$			
Eigenlast:	G_m	31,45	kN/m
$G_{m,d} = G_m \cdot \gamma_G$			
Eigenlast, Design:	$G_{m,d}$	29,87	kN/m
$Q_{g,d} = G_{m,d} + Q_{r1,d} + F_{Z,d}$			
Gegenkräfte, Design:	$Q_{g,d}$	273,12	kN/m
$Q_{r,d} = Q_r \cdot \gamma_Q$			
Auftriebskraft, Design:	$Q_{r,d}$	34,16	kN/m
$U = \frac{Q_{r,d}}{Q_{g,d}}$			
Ausnutzung Auftrieb:	U	12,5	%
Der Auftriebsnachweis ist erfüllt.			
Alle notwendigen Nachweise sind erbracht.			

2 Vortriebsrohr nach DWA-A 161, 2. Auflage: Vortriebsrohr - Pos. 2

Folgende Korrekturen des Arbeitsblatts DWA-A 161 berücksichtigt das Rechenmodul: DWA-A 161 04/2017, DWA-A 161 10/2017, TM 4-2019 der DB Netz AG, DWA-A 161 10/2020, DWA-A 127-10:2020-10, DWA-A 161 03/2021

Zulässige Vorpressekraft: F_j 6.454 kN

Titel der Berechnung: Vortriebsrohr - Pos. 2

Berechnungsart: Stahlbeton
Nachzuweisende Zustände: Bau- und Betriebszustand
Einbauskizze in Ausdruck: Ja
Mindestschnittgrößen im Betriebszustand drucken: Ja

2.1 Eingaben

2.1.1 Vortriebsverfahren

Verfahren: Mikrotunnel und bemannte Verfahren
Vollständige dauerhafte Ringraumverpressung: Nein
Einsatz von Stütz- oder Gleitmittel: Ja
Stütz- oder Gleitmitteldruck: p_{Stm} 5,0 bar
Ringspalt: Ringspalt > 1,0 cm bezogen auf den Radius, nicht systematisch gestützt

2.1.2 Trasse und Vortriebskraft

Verlauf der Vortriebsstrecke: Gerade
Berechnung der unplanmäßigen Abweichungen von der Sollachse (gerader Vortrieb): Ohne Pilotvortrieb
Kombinationsbeiwert für Rohrabwinklungen: ψ 0,80 [-]
Vorgabe der Vortriebskraft: Ja
Vorgegebene Vortriebskraft: $F_{j,m}$ 5.500,0 kN
Freie Eingabe der Sicherheit für Längsrichtung: Nein
Kontrollierter Einbau: Nein

2.1.3 Druckübertragungsring (DÜR)

Art der Druckübertragung: Mit Druckübertragungsring
Art der Bemessung: Vorbemessung
Anzahl der Schichten im DÜR: Zwei Schichten
Angabe der Durchmesser des DÜR: Angabe der Randabstände
Äußerer Randabstand bezogen auf tRohr: $a_{a,DÜR}$ 45 mm
Innerer Randabstand bezogen auf tRohr: $a_{i,DÜR}$ 35 mm
Schichtdicke: s_{D1} 22,00 mm
Ermittlung Ecal der Schicht: Ermittlung über Material aus Norm
Material: OSB-Platte (OSB/3, OSB/4)
Schichtdicke: s_{D2} 18,00 mm
Material: OSB-Platte (OSB/3, OSB/4)
Manuelle Angabe der Steifigkeit: Nein

2.1.4 Bodenkennwerte

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-41

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Andere Bodengruppe oberhalb Rohrscheitel: Nein
 Auflagerwinkel (Lockergestein): $2\alpha = 180^\circ$ (Regelfall)
 Manuelle Angabe des inneren Reibungswinkels des Bodens: Nein
 Manuelle Angabe der Wichte des Bodens: Nein

2.1.5 Bodenverhalten

Manuelle Angabe des Verformungsmoduls des Bodens: Nein
 Anwendung von Silotheorie: Automatisch
 Manuelle Angabe κ und κ_0 : Nein
 Manuelle Angabe von f_1 , K_1 , δ und c : Nein
 Konsistenz am Rohr: Weich bis steif
 Berücksichtigung des Konzentrationsfaktors λ : Nein

2.1.6 Lasten

Überdeckungshöhe: h 7,5 m
 Zusätzliche Flächenlast: P_0 0,00 kN/m²
 Teilsicherheitsbeiwert Wasseraußendruck: $\gamma_{F,W}$ 1,35 [-]
 Grundwasserstand über Sohle: h_{GW} 2,0 m
 Auftriebsnachweis führen: Ja
 Wichte des Bodens im Auftriebsnachweis: $\gamma_{B,A}$ 20,0 kN/m³
 Wichte des Bodens unter Auftrieb im Auftriebsnachweis: $\gamma_{B',A}$ 10,0 kN/m³
 Innendruck (Bauzustand): $P_{I,C}$ 0,0 bar
 Innendruck (Betriebszustand): $P_{I,O}$ 0,0 bar
 Rohr ist während des Vortriebs mit Flüssigkeit gefüllt: Nein
 Rohr ist im Betrieb mit Flüssigkeit gefüllt: Nein
 Freie Eingabe Sicherheitsbeiwert für Verkehrslasten: Nein
 Verkehrslast: Bahn LM 71 - mehrgleisig
 Anpassungsfaktor α_{Qi} LM71 (DIN EN 1991-2): $\alpha_{Qi,LM71}$ 1,20 [-]
 Abminderungsfaktor dynamische Last manuell eingeben: Nein
 Bahnlast liegt im Bereich der Deutschen Bundesbahn: Ja

2.1.7 Berechnungsoptionen

Beulnachweis: Nicht führen
 Verformungsnachweis: Führen
 Zulässige Verformung nach A161: Ja
 Ermüdungsnachweis: Soll mit $1 \cdot 10^8$ Lastwechseln geführt werden
 Behandlung Mindestschnittgrößen: Nach Norm
 Vergleichsspannung Mindestschnittgrößen: Mit Bemessungswerten

2.1.8 Stahlbeton-Rohr

Auswahl der Eingaben: D_i und s
 Innendurchmesser: d_i 1.600 mm
 Wandstärke: s 220 mm
 Betongüte: C50/60
 Längsdruckfestigkeit nach: DWA-A 161:2014, korrigierte Fassung vom September 2020
 Betonstahl nach Norm: Ja
 Nachweis der Rissbreite: Ja
 Abgeschlossenes Rissbild betrachten: Ja
 Zulässige Rissbreite: w_k 0,15 mm
 Vergleichsspannungsnachweis führen: Ja
 Manuelle Vorgabe $\max f_{tR}$: Nein
 Lastklasse ermitteln: Ja
 Lastwechsel-Zahl manuell: Nein
 Verhältnis E-Moduli manuell: Nein
 Rohrlänge: L_R 3,00 m
 Minimaler Außendurchmesser: $d_{a,min}$ 2.040 mm
 Maximaler Innendurchmesser: $d_{i,max}$ 1.600 mm
 Manuelle Vorgabe λ_{asph} : Nein

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-42

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Expositionsklasse außen:
Expositionsklasse innen:
Besondere Maßnahmen:
Abstand Längsbewehrung nach Norm:

XA1: Chemisch schwach angreifend
XA1: Chemisch schwach angreifend
Nein
Ja

Reihenfolge innere Bewehrung:
Reihenfolge äußere Bewehrung:

Längsstäbe innerhalb Ringbewehrung
Längsstäbe außerhalb Ringbewehrung

Durchmesser Ringbewehrung innen:
Abstand Ringbewehrung innen:
Durchmesser Ringbewehrung außen:
Abstand Ringbewehrung außen:

$\varnothing_{rad,i}$	14	mm
e_i	100	mm
$\varnothing_{rad,e}$	12	mm
e_e	100	mm

Durchmesser Längsbewehrung innen:
Anzahl der Längsstäbe innen:
Durchmesser Längsbewehrung außen:
Anzahl der Längsstäbe außen:

$\varnothing_{ax,i}$	10	mm
$n_{ax,i}$	28	[-]
$\varnothing_{ax,e}$	10	mm
$n_{ax,e}$	30	[-]

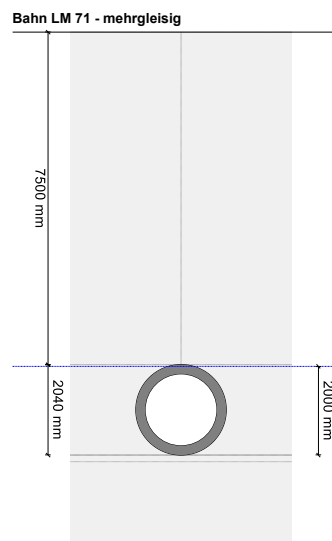
Nennmaß der Betondeckung innen:
Nennmaß der Betondeckung außen:
Teilsicherheiten manuell definieren:

$c_{nom,i}$	45,0	mm
$c_{nom,e}$	55,0	mm
Nein		

Bewehrungsmenge ermitteln:
Stahlpreis:
Betonpreis:

Ermitteln		
P_{St}	15	€/kg
P_B	750	€/m³

2.1.8.1 Systemskizze



Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite:
D-43

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

2.2 Ergebnisse

2.2.1 Teilsicherheitsbeiwerte (Einwirkungen)

Teilsicherheitsbeiwert für Verkehrslasten (quer zur Rohrachse):	Y _Q	1,35	[-]
Teilsicherheitsbeiwert für Innendruck (Druckrohre > 0,5 bar):	Y _{F,Pi}	1,50	[-]
Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen quer zur Rohrachse:	Y _F	1,35	[-]
Teilsicherheitsbeiwert Einwirkung längs der Rohrachse:	Y _{F,ax}	1,30	[-]

2.2.2 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:	d _i	1.600,0	mm
Außendurchmesser:	d _a	2.040,0	mm
Mittlerer Radius:	r _m	910,00	mm
Wanddicke:	s	220,00	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	r _m /s	4,136	[-]

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

Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,081	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

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

Korrekturfaktor Krümmung außen:	α_{ka}	0,919	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	$\delta_{v,A}$	0,00	%

Axial wirksame Profilfläche:	A _{ax}	220,00	mm ² /mm
Radiale Profilfläche:	A _{rad}	220,00	mm ² /mm
Trägheitsabstand:	e	110,00	mm
Trägheitsmoment:	I	887.333,33	mm ⁴ /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	W _a	8.066,67	mm ³ /mm
Inneres Widerstandsmoment:	W _i	8.066,67	mm ³ /mm
Flächenverhältnis:	K _Q	1,2	[-]

Kleinsten Außendurchmesser:	d _{a,min}	2.040	mm
Größter Innendurchmesser:	d _{i,max}	1.600	mm
Max. Abweichung Stirnflächen von Rechtwinkligkeit:	$\Delta_{a,cal}$	8,0	mm
Länge des einzelnen Vortriebsrohres:	L _R	3,00	m

2.2.2.1 Materialeigenschaften

Wichte des Rohrwerkstoffs:	Y _R	25,0	kN/m ³
Querkontraktionszahl:	v	0,15	[-]
Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit:	f _{ck,cyl}	50,0	N/mm ²
Charakteristische Würfeldruckfestigkeit:	f _{ck,cube}	60,0	N/mm ²

$$f_{cm} = f_{ck,cyl} + 8$$

Druckfestigkeit:	f _{cm}	58,0	N/mm ²
Mittlere Zugfestigkeit:	f _{ctm}	4,1	N/mm ²

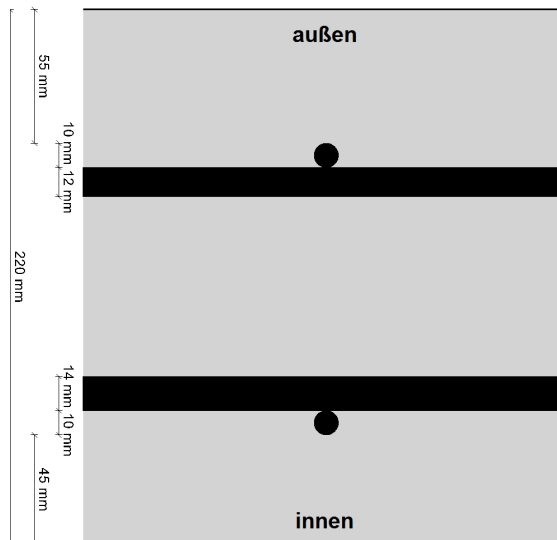
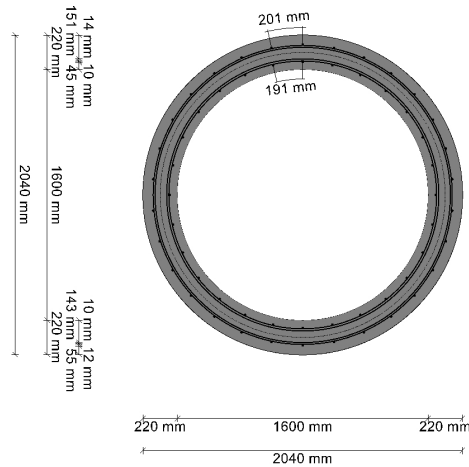
$$E_{cm} = 22 \cdot \frac{f_{cm}^{0,30}}{10} \cdot 100 \cdot 100 \cdot 100 \cdot 1.000$$

Mittlerer E-Modul (Sekantenmodul):	E _{cm}	37.278	N/mm ²
Längsdruckfestigkeit:	f _{c,ax}	50,0	N/mm ²

nach DWA-A 161 Tabelle 6) angesetzt.

Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand längs der Rohrachse:	YM,ax	1,35	[-]
Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand quer zur Rohrachse:	YM,rad	1,50	[-]
Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand auf Stabilität:	YM,stab	1,85	[-]
Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand auf Stabilität bei Berücksichtigung der Rohrverformungen:	YM,stab,red	1,45	[-]
Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Beton:	YRC	1,50	[-]
Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Stahl:	YRS	1,15	[-]

2.2.2.3 Stahlbetonrohr



Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-46

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$z_i = \frac{h}{2} - c_{\text{nom},i} - \varnothing_{\text{ax},i} - \frac{\varnothing_{\text{rad},i}}{2}$$

Hebelarm innere Ringbewehrung z_i 48,0 48,0 48,0 mm

$$z_e = \frac{h}{2} - c_{\text{nom},e} - \varnothing_{\text{ax},e} - \frac{\varnothing_{\text{rad},e}}{2}$$

Hebelarm äußere Ringbewehrung z_e 39,0 39,0 39,0 mm

$$d_{\text{ik}} = \frac{h}{2} + z_i$$

Statische Höhe innerer Bewehrungskorb d_{ik} 158,0 158,0 158,0 mm

$$d_{\text{ek}} = \frac{h}{2} + z_e$$

Statische Höhe äußerer Bewehrungskorb d_{ek} 149,0 149,0 149,0 mm

Verhältnis E-Modul Stahl zu E-Modul Beton nach DIN V 1201:2004-08: n 15,0 [-]

$$z_{\text{id}} = \frac{z_i \cdot n \cdot \text{vorh } a_{\text{S},i} - z_e \cdot n \cdot \text{vorh } a_{\text{S},e}}{A_{\text{id}}}$$

z_{id} 1,7 1,7 1,7 mm

$$A_{\text{id}} = h + 15 \cdot \text{vorh } a_{\text{S},i} + n \cdot \text{vorh } a_{\text{S},e}$$

Ideelle Querschnittsfläche A_{id} 2.600,55 2.600,55 2.600,55 cm²/m

$$I_{\text{id}} = \frac{h^3}{12} + h \cdot z_{\text{id}}^2 + n \cdot \text{vorh } a_{\text{S},i} \cdot z_i - z_{\text{id}}^2 + n \cdot \text{vorh } a_{\text{S},e} \cdot z_e + z_{\text{id}}^2$$

Ideeles Trägheitsmoment I_{id} 965.570,1 965.570,1 965.570,1 mm⁴/mm

$$W_{\text{id},a} = \frac{I_{\text{id}}}{\frac{h}{2} + z_{\text{id}}}$$

Ideeles Widerstandsmoment, außen $W_{\text{id},a}$ 8.642,93 8.642,93 8.642,93 mm³/mm

$$W_{\text{id},i} = \frac{I_{\text{id}}}{\frac{h}{2} - z_{\text{id}}}$$

Ideeles Widerstandsmoment, innen $W_{\text{id},i}$ 8.917,17 8.917,17 8.917,17 mm³/mm

Nennmaß der Betondeckung innen $c_{\text{nom},i}$ 45,0 45,0 45,0 mm

Nennmaß der Betondeckung außen $c_{\text{nom},e}$ 55,0 55,0 55,0 mm

2.2.3 Nicht lastabhängige Nachweise, Stahlbeton

2.2.3.1 Mindestbetongüte infolge der gewählten Expositionsklasse

Mindestbetongüte, Außen: C25/30
Mindestbetongüte, Innen: C25/30

Betonmärke: C50/60

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-47

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

2.2.3.2 Überprüfung der Mindestwanddicke (DIN V 1201:2004-08 5.3.5.2)

Betongüte: C50/60
 Mindestwert für Wandicken/Radius-Verhältnis: min. t/r_m 0,16 [-]
 Innendurchmesser: d_i 1.600,0 mm

$$\min. t = \frac{\min. t/r_m}{2 - \min. t/r_m} \cdot d_i$$

Berechnete Mindestwanddicke: min. t 139,1 mm

Die Mindestwanddicke nach DIN V 1201:2004-08, 5.3.5.2 wird eingehalten bzw. übertroffen.

2.2.3.3 Überprüfung der Mindestbewehrung (DIN V 1201:2004-08 5.3.7)

Vorhandene Ringbewehrung innen: vorh. $a_{sring,i}$ 15,39 cm²/m
 min. $a_{s,i} = 0,004 \cdot \min. t$ DIN V 1201 5.3.7

Mindest-Ringbewehrung innen DIN V 1201, 5.3.7: min. $a_{s,i}$ 5,57 cm²/m

Vorhandene Ringbewehrung außen: vorh. $a_{sring,e}$ 11,31 cm²/m

min. $a_{s,e} = 0,003 \cdot \min. t$ DIN V 1201 5.3.7

Mindest-Ringbewehrung außen DIN V 1201, 5.3.7: min. $a_{s,e}$ 4,17 cm²/m

Vorhandene Bewehrung	vorh. a_s	Scheitel 15,39	Kämpfer 11,31	Sohle 15,39	cm ² /m
Mindestbewehrung	min. a_s	5,57	4,17	5,57	cm ² /m

$$U \min. a_s = \frac{\min. a_s}{\text{vorh. } a_s}$$

Ausnutzung Bewehrung (Mindestbewehrung DIN) U min. a_s 36,2 36,9 36,2 %

Die Mindestbewehrung nach DIN V 1201:2004-08, 5.3.7 wird eingehalten bzw. übertroffen.

2.2.3.4 Überprüfung der äußeren Bewehrung (DIN V 1201:2004-08 5.2.6)

$$\text{vorh. } a_{sring,i} = \frac{\varnothing_{rad,i}^2}{2} \cdot \pi \cdot \frac{1}{e_i}$$

Vorhandene Ringbewehrung innen: vorh. $a_{sring,i}$ 15,39 cm²/m

$$a_{s,e,60\%i} = 0,60 \cdot \text{vorh. } a_{sring,i}$$

Erforderliche Ringbewehrung außen (DIN V 1201 5.2.6): $a_{s,e,60\%i}$ 9,24 cm²/m

Vorhandene Ringbewehrung außen: vorh. $a_{sring,e}$ 11,31 cm²/m

Vorhandene Ringbewehrung außen, Anteil (DIN V 1201 5.2.6): $a_{s,e/i\%}$ 73,47 %

2.2.3.5 Abstand und Anzahl der Längsstäbe (DIN V 1201:2004-08 5.2.1)

Maximaler Soll-Abstand Längsbewehrung: $e_{L,max}$ 333 mm

Anzahl der Längsstäbe innen: $n_{ax,i}$ 28 [-]

$$r_i = \frac{d_i}{2} + c_{nom,i} + \frac{\varnothing_{ax,i}}{2}$$

Angesetzter Radius innen: r_i 850 mm

$$U_{Li,vor} = 2 \cdot r_i \cdot \pi$$

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-48

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Vorhandener Abstand Längsbewehrung:	$e_{L,vor,i}$	191	mm
$vorh\ a_{S,L,i} = \frac{\varnothing_{ax,i}^2}{2} \cdot \pi \cdot \frac{1}{e_{L,vor,i}}$			
Vorhandene Längsbewehrung innerer Korb:	$vorh\ a_{S,L,i}$	4,12	cm ² /m
Anzahl der Längsstäbe außen:	$n_{ax,e}$	30	[-]
$r_e = \frac{d_a}{2} - 0,055 - \frac{\varnothing_{ax,e}}{2}$			
Angesetzter Radius außen, bezogen auf Kämpfer:	r_e	960	mm
$U_{Le,vor} = 2 \cdot r_e \cdot \pi$			
Vorhandener Umfang Längsbewehrung außen:	$U_{Le,vor}$	6.032	mm
Vorhandener Abstand Längsbewehrung:	$e_{L,vor,e}$	201	mm
$vorh\ a_{S,L,e} = \frac{\varnothing_{ax,e}^2}{2} \cdot \pi \cdot \frac{1}{e_{L,vor,e}}$			
Vorhandene Längsbewehrung äußerer Korb:	$vorh\ a_{S,L,e}$	3,91	cm ² /m

Bahnlast: Der Nachweis bzgl. 1/5 der Querbewehrung wird bei der Bemessung der Ringbewehrung geführt.

Der Abstand der Längsstäbe ist ausreichend klein.

2.2.3.6 Betondeckung (DIN V 1201:2004-08 5.2.2)

Es wird ein Vorhaltemaß von 10 mm angesetzt (Rohr nach DIN V 1201).

Die erforderliche Betonüberdeckung wurde um 5 mm reduziert gemäß Arbeitsblatt 6 des ISB: Gewählte Festigkeitsklasse ist min. zwei Klassen größer als die Mindestbetonfestigkeitsklasse.

Die erforderliche Betonüberdeckung außen wurde um 5 mm erhöht (Vortriebsrohr).

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Erf. Betondeckung außen	erf. $c_{nom,e}$	35,0	35,0	35,0	mm
Nennmaß der Betondeckung außen	$c_{nom,e}$	55,0	55,0	55,0	mm

Die Betondeckung (außen) ist ausreichend.

Die erforderliche Betonüberdeckung wurde um 5 mm reduziert gemäß Arbeitsblatt 6 des ISB: Gewählte Festigkeitsklasse ist min. zwei Klassen größer als die Mindestbetonfestigkeitsklasse.

Erf. Betondeckung innen	erf. $c_{nom,i}$	30,0	30,0	30,0	mm
Nennmaß der Betondeckung innen	$c_{nom,i}$	45,0	45,0	45,0	mm

Die Betondeckung (innen) ist ausreichend.

2.2.3.7 Bemessung mit Mindestschnittgröße

$$f_{t,fl,d} = \frac{f_{t,fl}}{\gamma_{M,rad}}$$

Maximal zulässige Ringbiegezugspannung:	$f_{t,fl,d}$	4,0	N/mm ²
---	--------------	-----	-------------------

$$f_{c,rad,d} = \frac{f_{c,rad}}{\gamma_{M,rad}}$$

Maximal zulässige Ringbiegedruckspannung:	$f_{c,rad,d}$	33,3	N/mm ²
---	---------------	------	-------------------

		Scheitel 45·rm²·kmin (47a) 37,265	Kämpfer -45·rm²·kmin (47b) -37,265	Sohle 45·rm²·kmin (47c) 37,265	
Bemessungsmoment für Mindestbemessung	$M_{d,min}$				kNm/m
		-135·rm·kmin (48a) -122,850	-270·rm·kmin (48b) -245,700	-135·rm·kmin (48c) -122,850	
Bemessungsnormalkraft für Mindestbemessung	$N_{d,min}$				kN/m
<i>Ringbewehrung</i>					
Hebelarm innere Ringbewehrung	z_i	48,0	39,0	48,0	mm
$M_{Ed,s,min} = M_{d,min} - z_i \cdot N_{d,min}$					
Auslegungsmoment	$M_{Ed,s,min}$	43,161	46,847	43,161	kNm/m
$\mu_{Ed,s} = M_{Ed,s,min} / (d^2 \cdot f_{cd})$					
Normiertes Auslegungsmoment	$\mu_{Ed,s}$	0,0610	0,0745	0,0610	[-]
Erforderlicher mechanischer Bewehrungsgrad	ω_{min}	0,0632	0,0776	0,0632	[-]
Statische Höhe	d	0,158	0,149	0,158	m
$\sigma_{s,d,min} = f_{yd}$					
Rechenwert der Stahlgrenzspannung	$\sigma_{s,d,min}$	434,78	434,78	434,78	N/mm²
$a_{s,calc,min} = \frac{\omega_{min} \cdot 1 \cdot d \cdot f_{cd} + N_{d,min}}{\sigma_{s,d,min}}$					
Rechnerisch erforderliche Bewehrung	$a_{s,calc,min}$	3,68	1,89	3,68	cm²/m
Vorhandene Bewehrung	vorh. a_s	15,39	11,31	15,39	cm²/m
Ausnutzung Bewehrung	$U a_{s,calc,min}$	23,9	16,7	23,9	%

Die gewählte Bewehrung ist ausreichend.

Vergleichsspannung

		Scheitel 37,265	Kämpfer -37,265	Sohle 37,265	
Anzunehmendes Moment	$M_{d,min}$				kNm/m
Ideeles Widerstandsmoment, Zugseite	W_{id}	8.917,17	8.642,93	8.917,17	mm³/mm
$\sigma_{M,E,min} = \frac{ M_{d,min} }{W_{id}}$					
Biegespannungsanteil aus Biegemomenten	$\sigma_{M,E,min}$	4,1790	4,3116	4,1790	N/mm²
Anzunehmende Normalkraft	$N_{d,min}$	-122,850	-245,700	-122,850	kN/m
Ideelle Querschnittsfläche	A_{id}	2.600,55	2.600,55	2.600,55	cm²/m
$\sigma_{N,E,min} = \frac{N_{d,min}}{A_{id}}$					
Spannungsanteil aus Normalkräften	$\sigma_{N,E,min}$	-0,4724	-0,9448	-0,4724	N/mm²
$f_{t,fl,min} = \sigma_{M,E,min} + \sigma_{N,E,min}$					
Maßgebliche Biegezugspannung	$f_{t,fl,min}$	3,7066	3,3668	3,7066	N/mm²
Spannungsverhältnis	$\sigma_{N,E,min} / \sigma_{M,E,min}$	-0,1130	-0,2191	-0,1130	[-]
Profilhöhe	h	220,00	220,00	220,00	mm
Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9	$f_{R,min}$	1,03	0,94	1,03	[-]
$\sigma_{VR,min} = f_{R,min} \cdot f_{t,fl,min}$					

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-50

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$\max \sigma_{VR} = \min: 6 \text{ N/mm}^2; \frac{f_{ctm}}{3,50} \cdot 6$$

Maximale Rohrvergleichsspannung nach DIN V 1201:					
Ausnutzung Rohrvergleichsspannung (Mindestbemessung)	U $\sigma_{VR,min}$	63,9	max σ_{VR}	6,0	N/mm ²
			63,9		%

Der Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist erbracht.

2.2.4 Zwischenergebnisse Boden

Wichte des Bodens:	γ_B	20,0	kN/m ³
Wichte des Bodens unter Auftrieb:	γ'_B	10,0	kN/m ³
Bodengruppe am Rohr:	G4		
Innerer Reibungswinkel am Rohr:	φ'_2	15,0	°
Grundwert des Verformungsmodul Boden:	E ₀	15,00	N/mm ²
Faktor für die Lagerungsdichte/Konsistenz nach A161, Tabelle 3/4:	f ₁	0,40	[-]
Auflockerungsfaktor nach A161, Tabelle 5:	f ₂	0,40	[-]
Innerer Reibungswinkel über Rohrscheitel:	φ'_1	15,0	°
Spannungsexponent:	z	0,7	[-]

$$\delta/\varphi'_1 = \frac{\delta}{\varphi'_1}$$

Verhältnis Reibungswinkel Scherfuge / Innerer Reibungswinkel:	δ/φ'_1	0,50	[-]
Reibungswinkel in der Scherfuge:	δ	7,50	°
Erddruckverhältnis über Rohrscheitel:	K ₁	0,50	[-]

$$b = d_a \cdot \sqrt{3} \quad (7)$$

Einflußbreite des Bodens über dem Rohr:	b	3,53	m
---	---	------	---

$$\kappa = \frac{1 - e^{\left(-2 \cdot \frac{h}{b} \cdot K_1 \cdot \tan \delta\right)}}{2 \cdot \frac{h}{b} \cdot K_1 \cdot \tan \delta} \quad (8)$$

Abminderungsfaktor Erdlast:	κ	0,872	[-]
-----------------------------	----------	-------	-----

$$\kappa_0 = e^{\left(-2 \cdot \frac{h}{b} \cdot K_1 \cdot \tan \delta\right)} \quad (9)$$

Abminderungsfaktor Flächenlast:	κ_0	0,756	[-]
Hinweis zur Silotheorie:	Die Silotheorie kann angewendet werden.		
Berücksichtigung des Konzentrationsfaktors λF notwendig:	Ja		
Konzentrationsfaktor:	λ	1,000	[-]
Basis-Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel:	K _{2,0}	0,74	[-]

$$K_{2,Bau} = K_{2,0} \cdot f_2 \leq K_{2,0} \leq 0,4 \quad (4)$$

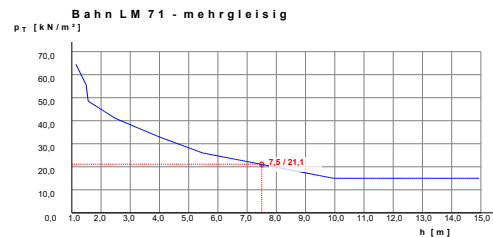
Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel, Bauzustand:	K _{2,Bau}	0,30	[-]
--	--------------------	------	-----

$$K_{2,End} = K_{2,Bau} + 0,1 \leq K_{2,0} \leq 0,5 \quad (4)$$

Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel, Endzustand:	K _{2,End}	0,40	[-]
--	--------------------	------	-----

2.2.5 Bauzustand

2.2.5.1 Belastungen Bauzustand



$$\Phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{LF - 0,2}} + 0,82 \quad (21)$$

$$1,0 \leq \Phi_2 \leq 1,67 \quad (21)$$

Stoßbeiwert:

$$\Phi_2 \quad 1,67 \quad [-]$$

$$\text{red } \Phi_2 = \Phi_2 - 0,1 \cdot (h_{\text{ü}} - 1,0) \geq 1 \quad (22)$$

Stoßbeiwert reduziert:

$$\text{red } \Phi_2 \quad 1,02 \quad [-]$$

Anpassungsfaktor $\alpha_{Qi, LM71}$ (DIN EN 1991-2):

$$\alpha_{Qi, LM71} \quad 1,20 \quad [-]$$

Einfache Bodenspannung aus Verkehr:

$$p \quad 21,11 \quad \text{kN/m}^2$$

$$p_T = \text{red } \Phi_2 \cdot p \cdot \alpha_{Qi, LM71} \quad A \ 161 \ (23a)$$

Vertikale Bodenspannung aus Verkehrslast in Scheitelhöhe:

$$p_T \quad 25,84 \quad \text{kN/m}^2$$

Vertikale Bodenspannung aus Verkehrslast in Kämpferhöhe (ohne φ):
Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel:

$$p_K \quad 18,62 \quad \text{kN/m}^2$$

$$K_2 \quad 0,30 \quad [-]$$

$$p_{T,h} = (0,50 \cdot (\text{red } \Phi_2 - 1) + 1) \cdot p_K \cdot K_2 \cdot \alpha_{Qi, LM71} \quad A \ 161 \ (23b)$$

Horizontale Bodenspannung aus Verkehr:

$$p_{T,h} \quad 6,69 \quad \text{kN/m}^2$$

$$p_{Ev} = \kappa \cdot \gamma_B \cdot (h - h_{GW} + d_a) + \kappa \cdot \gamma'_B \cdot (h_{GW} - d_a) + \kappa_0 \cdot P_0 \quad (5b)$$

Vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene:

$$p_{Ev} \quad 130,865 \quad \text{kN/m}^2$$

Wirksame vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene:

$$q_{Ev} \quad 130,865 \quad \text{kN/m}^2$$

$$q_{\text{Ges},v} = q_0 + p_T \quad (53)$$

Vertikale Gesamt-Bodenspannung in Rohrscheitelebene:

$$q_{\text{Ges},v} \quad 196,795 \quad \text{kN/m}^2$$

Die Erddruckverteilung am Rohr wird $\cos^2$ - bzw. $\sin^2$ -förmig angenommen.:

Ja

Grundwasserstand im Bereich der oberen Rohrhälfte:

$$h_{GW, oRh} \quad 2,000 \quad \text{m}$$

$$q_0 = \frac{3}{2 + K_2} \cdot q_{Ev} \quad (26)$$

Radiale Erdlast auf das Rohr während des Vortriebs:

$$q_0 \quad 170,955 \quad \text{kN/m}^2$$

$$q_{0,h} = \left(q_0 + \frac{\gamma'_B \cdot d_a}{2} \right) \cdot K_2 \quad (34a)$$

Horizontale Bodenspannung während des Vortriebs:

$$q_{0,h} \quad 53 \ 708 \quad \text{kN/m}^2$$

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite:
D-52

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$q_{\text{Ges,h}} = q_{0,h} + p_{\text{Th}} \quad (53)$$

Horizontale Gesamt-Bodenspannung am Rohr: $q_{\text{Ges,h}}$ 60,397 kN/m²

Innerer Überdruck: p_i 0,000 bar

Äußerer Überdruck über Rohrscheitel: $p_{a,Sc}$ 0,000 bar

Rohrsteifigkeit: S_R 43.895 kN/m²

Rohrsteifigkeit: $\bar{S}_R$ 43.895 kN/m²

Normierender Bezugswert: $\sigma_{B,0}$ 100,0 kN/m²

$$f_3 = \left(\frac{p_{Ev}}{\sigma_{B,0}} \right)^z \geq 1 \quad (2)$$

Spannungsabhängiger Erhöhungsfaktor: f_3 1,21 [-]

$$E_B = E_0 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \quad (1)$$

Verformungsmodul Boden: E_B 2,90 N/mm²

Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel: K_2 0,30 [-]

$$S_{Bh} = 0,60 \cdot E_B \quad (18)$$

Bettungssteifigkeit: S_{Bh} 1,74 N/mm²

$$V_{RB} = \frac{\bar{S}_R}{S_{Bh}} \quad (14)$$

Systemsteifigkeit: V_{RB} 25,2508 [-]

Das Rohr-Bodensystem verhält sich biegeweich: Nein

2.2.5.2 Schnittkräfte Bauzustand

Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen quer zur Rohrachse: γ_F 1,35 [-]

Teilsicherheitsbeiwert Wasseraußendruck: $\gamma_{F,W}$ 1,35 [-]

Mittlerer Radius: r_m 910,00 mm

Innerer Überdruck: p_i 0,000 bar

Äußerer Überdruck über Rohrscheitel: $p_{a,Sc}$ 0,000 bar

Radiale Erdlast auf das Rohr während des Vortriebs: q_0 170,955 kN/m²

Horizontale Bodenspannung während des Vortriebs: $q_{0,h}$ 53,708 kN/m²

Vertikale Bodenspannung infolge Verkehrslast: p_T 25,84 kN/m²

Horizontale Bodenspannung infolge Verkehrslast: p_{Th} 6,69 kN/m²

Vertikale Gesamt-Bodenspannung in Rohrscheitelebene: $q_{\text{Ges,v}}$ 196,795 kN/m²

Horizontale Gesamt-Bodenspannung am Rohr: $q_{\text{Ges,h}}$ 60,397 kN/m²

Momente: m_{q_0} Scheitel 0,167 Kämpfer -0,167 Sohle 0,167 [-]

$$M_{q0v,d} = \gamma_F \cdot m_{q_0} \cdot q_0 \cdot r_m^2 \quad (24)$$

Vertikale Belastung aus Erdüberdeckung $M_{q0v,d}$ 31,917 -31,917 31,917 kNm/m

$$M_{pTv,d} = \gamma_Q \cdot m_{pT} \cdot p_T \cdot r_m^2 \quad (29)$$

Vertikale Belastung aus Verkehr $M_{pTv,d}$ 7,222 -7,222 7,222 kNm/m

$$M_{pTh,d} = \gamma_Q \cdot m_{pTh} \cdot p_{Th} \cdot r_m^2 \quad (31)$$

Horizontale Belastung aus Verkehr $M_{pTh,d}$ -1,870 1,870 -1,870 kNm/m

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-53

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Horizontale Belastung aus Erdüberdeckung	$M_{qh,d}$ m_g	-10,027 0,384	10,027 -0,437	-10,027 0,706	kNm/m [-]	
	$M_{g,d} = \gamma_F \cdot m_g \cdot \gamma_R \cdot s \cdot r_m^2$					(37)
Eigengewicht	$M_{g,d}$ m_w	2,361 0,192	-2,687 -0,219	4,341 0,353	kNm/m [-]	
	$M_{w,d} = \gamma_F \cdot m_w \cdot \gamma_W \cdot r_m^3$					(39)
Wasserfüllung bis Rohrscheitel	$M_{w,d}$ m_a	0,000 -0,192	0,000 0,219	0,000 -0,353	kNm/m [-]	
	$M_{a,d} = \gamma_{F,W} \cdot m_a \cdot \gamma_W \cdot r_m^3$					(41)
Auftrieb (äußerer Wasserstand bis Scheitel)	$M_{a,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m	
	$M_{pw,d} = ((\gamma_F \cdot p_i) - (\gamma_{F,W} \cdot P_a)) \cdot r_i \cdot r_a \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{r_i \cdot r_a}{r_a^2 - r_i^2} \cdot \ln \cdot \frac{r_a}{r_i} \right)$					(43)
Wasserdruck	$M_{pw,d}$ m_{qh^*}	0,000 -0,181	0,000 0,208	0,000 -0,181	kNm/m [-]	
	$M_{qEh^*,d} = \gamma_F \cdot m_{qh^*} \cdot q_{Eh^*} \cdot r_m^2$					(45a)
Bettungsreaktionsdruck Erdlast	$M_{qEh^*,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m	
	$M_{qTh^*,d} = \gamma_Q \cdot m_{qh^*} \cdot q_{Th^*} \cdot r_m^2$					(45b)
Bettungsreaktionsdruck Verkehr	$M_{qTh^*,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m	
	$M_{qh^*,d} = M_{qTh^*,d} + M_{qEh^*,d}$					
Bettungsreaktionsdruck	$M_{qh^*,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m	
Summe der Momente	ΣM_d	29,603	-29,929	31,583	kNm/m	
Summe Erd- und Verkehrslasten	$\Sigma M_{qv,qh,qh^*,d}$	27,242	-27,242	27,242	kNm/m	
Summe andere Lasten	$\Sigma M_{sonst,d}$	2,361	-2,687	4,341	kNm/m	
Normalkräfte:	n_{q0}	Scheitel -0,333	Kämpfer -0,667	Sohle -0,333	[-]	
	$N_{q0v,d} = \gamma_F \cdot n_{q0} \cdot q_0 \cdot r_m$					(25)
Vertikale Belastung aus Erdüberdeckung	$N_{q0v,d}$ n_{pT}	-69,936 0,000	-140,082 -1,000	-69,936 0,000	kN/m [-]	
	$N_{pTv,d} = \gamma_Q \cdot n_{pT} \cdot p_T \cdot r_m$					(30)
Vertikale Belastung aus Verkehr	$N_{pTv,d}$ n_{pTh}	0,000 -1,000	-31,744 0,000	0,000 -1,000	kN/m [-]	
	$N_{pTh,d} = \gamma_Q \cdot n_{pTh} \cdot p_{Th} \cdot r_m$					(32)
Horizontale Belastung aus Verkehr	$N_{pTh,d}$ n_{qh}	-8,218 -0,667	0,000 -0,333	-8,218 -0,667	kN/m [-]	
	$N_{qh,d} = \gamma_F \cdot n_{qh} \cdot q_{0,h} \cdot r_m$					(34)
Horizontale Belastung aus Erdüberdeckung	$N_{qh,d}$ n_g	-44,008 0,250	-21,971 -1,571	-44,008 -1,428	kN/m [-]	
	$N_{g,d} = \gamma_F \cdot n_g \cdot \gamma_R \cdot s \cdot r_m$					(38)
Eigengewicht	$N_{g,d}$ n_w	1,689 0,625	-10,615 0,215	-9,649 0,786	kN/m [-]	

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-54

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$N_{w,d} = \gamma_F \cdot n_w \cdot \gamma_W \cdot r_m^2 \quad (40)$$

Wasserfüllung bis Rohrscheitel	$N_{w,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
	m_a	-0,625	-0,215	-0,786	[-]

$$N_{a,d} = \gamma_{F,W} \cdot m_a \cdot \gamma_W \cdot r_m^2 \quad (42)$$

Auftrieb (äußerer Wasserstand bis Scheitel)	$N_{a,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
---	-----------	-------	-------	-------	------

$$N_{pw,d} = (\gamma_F \cdot p_i \cdot r_i) - (\gamma_{F,W} \cdot P_a \cdot r_a) \quad (44)$$

Wasserdruck	$N_{pw,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
-------------	------------	-------	-------	-------	------

Summe der Normalkräfte	ΣN_d	-120,474	-204,413	-131,812	kN/m
------------------------	--------------	----------	----------	----------	------

$$\Sigma N_{qv,qh,qh^*,d} = N_{q0v,d} + N_{pTv,d} + N_{qh,d} + N_{pTh,d} + N_{qh^*,d}$$

Summe Erd- und Verkehrslasten	$\Sigma N_{qv,qh,qh^*,d}$	-122,163	-193,798	-122,163	kN/m
-------------------------------	---------------------------	----------	----------	----------	------

$$\Sigma N_{sonst,d} = N_{g,d} + N_{w,d} + N_{a,d} + N_{pw,d}$$

Summe andere Lasten	$\Sigma N_{sonst,d}$	1,689	-10,615	-9,649	kN/m
---------------------	----------------------	-------	---------	--------	------

2.2.5.3 Verformungsnachweis Bauzustand

Verformungsbeiwert:

$$c_{v,qh^*} \quad 0,0640 \quad [-]$$

Verformungsbeiwert:

$$c_{v,qv} \quad -0,0833 \quad [-]$$

$$K^* = \frac{c_{h,qv}}{V_{RB} - c_{h,qh^*}}$$

Beiwert des Bettungsreaktionsdruckes:

$$K^* \quad 0,003 \quad [-]$$

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

$$A \ 127 \ (6.13); \ A \ 161 \ (52a-d)$$

Verformungsbeiwert:

$$c_v^* \quad -0,083 \quad [-]$$

$$q_0 = \frac{3}{2 + K_2} \cdot q_{Ev} \quad (26)$$

Radiale Erdlast auf das Rohr während des Vortriebs:
Vertikale Bodenspannung infolge Verkehrslast:

q_0	170,955	kN/m ²
p_T	25,84	kN/m ²

$$q_{Ges,v} = q_0 + p_T \quad (53)$$

Vertikale Gesamt-Bodenspannung in Rohrscheitelebene:

$q_{Ges,v}$	196,795	kN/m ²
-------------	---------	-------------------

$$q_{0,h} = \left(q_0 + \frac{\gamma'_B \cdot d_a}{2} \right) \cdot K_2 \quad (34a)$$

Horizontale Bodenspannung während des Vortriebs:
Horizontale Bodenspannung infolge Verkehrslast:

$q_{0,h}$	53,708	kN/m ²
p_{Th}	6,69	kN/m ²

$$q_{Ges,h} = q_{0,h} + p_{Th} \quad (53)$$

Horizontale Gesamt-Bodenspannung am Rohr:

$q_{Ges,h}$	60,397	kN/m ²
-------------	--------	-------------------

$$\delta_v = \left| c_v^* \cdot \frac{q_{Ges,v} - q_{Ges,h}}{\bar{S}_R} \cdot 100 \right| \quad (51)$$

Relative vertikale Durchmesseränderung:
Zulässige vertikale Durchmesseränderung:

δ_v	0,02	%
zul δ_v	0,55	%

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-55

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$U_{\delta V} = \frac{\delta_V}{\text{zul } \delta_V}$$

Ausnutzungsgrad Verformung:

 $U_{\delta V}$ 3,7 %

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

2.2.5.4 Beulnachweis Bauzustand

Der Beulnachweis wurde vom Nutzer deaktiviert.

2.2.5.5 Bemessung Ringbewehrung

Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Beton:

 γ_{RC} 1,50 [-]

Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Stahl:

 γ_{RS} 1,15 [-]

Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit:

 $f_{ck,cyl}$ 50,0 N/mm²

$$f_{cd} = \frac{0,85 \cdot f_{ck,cyl}}{\gamma_{RC}}$$

Bemessungswert Beton:

 f_{cd} 28,33 N/mm²

Nennstreckgrenze:

 f_{yk} 500 N/mm²

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{RS}}$$

Bemessungswert Betonstahl:

 f_{yd} 434,78 N/mm²

Summe der Momente

 M_E

Scheitel

 f_{yd} 434,78 N/mm²

Kämpfer 23,395 kNm/m

Summe der Momente inkl.

 M_{Ed}

29,603

-22,169

Sohle 31,583 kNm/m

Teilsicherheitsbeiwert

Summe Normalkraft

 N_E

-89,240

-151,417

-97,638 kN/m

Summe der Normalkräfte inkl.

 N_{Ed}

-120,474

-204,413

-131,812 kN/m

Teilsicherheitsbeiwert

Bemessung:

Hebelarm innere Ringbewehrung

 z_i

Scheitel

Kämpfer

Sohle 48,0 mm

$$M_{Eds} = |M_{Ed}| - N_{Ed} \cdot z_i$$

Auslegungsmoment Plattenbemessung

 M_{Eds}

35,386

37,901

37,910 kNm/m

$$\sigma_{s,d} = f_{yd}$$

Rechenwert der Stahlgrenzspannung

 $\sigma_{s,d}$

434,78

434,78

434,78 N/mm²

Statische Höhe

 d

0,158

0,149

0,158 m

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{d^2 \cdot f_{cd}}$$

Normiertes Auslegungsmoment

 μ_{Eds}

0,0500

0,0603

0,0536 [-]

Erforderlicher mechanischer Bewehrungsgrad

 ω

0,0515

0,0624

0,0553 [-]

$$a_{s,calc} = \frac{\omega \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed}}{\sigma_{s,d}}$$

Erforderliche Bewehrung (Bemessung)

 $a_{s,calc}$

2,53

1,35

2,66 cm²/m

Vorhandene Bewehrung

vorh. a_s

15,39

11,31

15,39 cm²/m

Ausnutzung Bewehrung (Bemessung)

 $U a_{s,calc}$

16,5

12,0

17,3 %

Die gewählte Bewehrung ist ausreichend.

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-56

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Nach RIL 836.4501 Abschnitt 1 (4) [Korrektur TM vom 4.7.2014] muss die Längsbewehrung mindestens 1/5 (20%) der erforderlichen Ringbewehrung für vorwiegend ruhende Belastung betragen.

Vorhandene Längsbewehrung vorh. $a_{s,L}$ 4,12 3,91 4,12 cm²/m

$$a_{s,calc,L} = 0,20 \cdot a_{s,calc}$$

Erforderliche Längsbewehrung (Bemessung) $a_{s,calc,L}$ 0,51 0,27 0,53 cm²/m

$$U_{a_{s,calc,L}} = \frac{a_{s,calc,L}}{\text{vorh. } a_{s,L}}$$

Ausnutzung Längsbewehrung (Bemessung) $U_{a_{s,calc,L}}$ 12,3 6,9 12,9 %

Die gewählte Längsbewehrung ist ausreichend.

2.2.5.7 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (DIN V 1201:2004-08 5.2.5)

Ideeles Widerstandsmoment, Zugseite W_{id} Scheitel Kämpfer Sohle mm³/mm

$$|\sigma_{M,E}| = \frac{M_E}{W_{id}}$$

Biegespannungsanteil aus Biegemomenten $\sigma_{M,E}$ 2,4591 2,5650 2,6235 N/mm²

Spannungsanteil aus Normalkräften $\sigma_{N,E}$ -0,3432 -0,5822 -0,3755 N/mm²

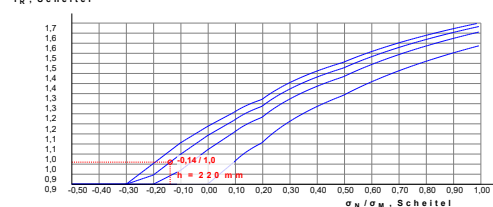
$$f_{t,fl} = \sigma_{M,E} + \sigma_{N,E}$$

Maßgebliche Biegezugspannung $f_{t,fl}$ 2,1159 1,9828 2,2481 N/mm²

Spannungsverhältnis σ_N / σ_M -0,1395 -0,2270 -0,1431 [-]

Profilhöhe h 220,00 220,00 220,00 mm

Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9



Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9 f_R 1,01 0,93 1,00 [-]

$$\sigma_{VR} = f_R \cdot f_{t,fl}$$

Rohrvergleichsspannung unter Risskraft im Zustand I σ_{VR} 2,13 1,85 2,26 N/mm²

Mittlere Zugfestigkeit: f_{ctm} 4,1 N/mm²

$$\max \sigma_{VR} = \min: 6 \text{ N/mm}^2; \frac{f_{ctm}}{3,50} \cdot 6$$

Maximale Rohrvergleichsspannung nach DIN V 1201: max σ_{VR} 6,0 N/mm²

$$U_{\sigma_{VR}} = \frac{\sigma_{VR}}{\max \sigma_{VR}}$$

Ausnutzung Rohrvergleichsspannung $U_{\sigma_{VR}}$ 35,5 30,9 37,6 %

Der Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist erbracht.

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-57

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

2.2.5.8 Rissnachweis Gesamtlast nach DIN EN 1992-1-1

Bei der Ermittlung von Spannungen und Verformungen ist in der Regel von ungerissenen Querschnitten auszugehen (Zustand I), wenn die Biegezugspannung $f_{ct,eff}$ nicht überschreitet (EC 2-1-1, 7.3.2 (3)). Alle Einwirkungen werden mit $\gamma = 1,0$ und $\psi_{0,i}$ angesetzt. Dies entspricht einem charakteristischen Niveau bei gleichzeitigem Auftreten aller vorhandenen Einwirkungen. Bemessungswerte können als char. Werte aufgefasst werden.

Breite des Querschnitts:	b	1.000,00	mm
Mittlerer E-Modul (Sekantenmodul):	E_{cm}	37.278	N/mm ²
Elastizitätsmodul Betonstahl:	E_s	200.000	N/mm ²

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

Verhältnis der E-Moduln:	α_e	5,37	[-]
--------------------------	------------	------	-----

$$f_{ct,eff} = f_{ctm}$$

Wirksame Zugfestigkeit des Betons (ohne Mindestwert):	$f_{ct,eff}$	4,07	N/mm ²
Profilhöhe	h	220,00	mm

Relevanter Stahldurchmesser	d_s	14,00	mm
-----------------------------	-------	-------	----

$$\text{vorh } a_{s,i} = 0,7854 \cdot n_{Ring,i} \cdot \varnothing_{rad,i}^2$$

Vorhandener Stahlquerschnitt innerer Korb	vorh $a_{s,i}$	15,39	cm ² /m
---	----------------	-------	--------------------

$$d_{ik} = \frac{h}{2} + z_i$$

Statische Höhe innerer Bewehrungskorb	d_{ik}	158,0	mm
---------------------------------------	----------	-------	----

$$z_{s1} = d_{ik} - \frac{h}{2}$$

Abstand vom Schwerpunkt im Zustand I	z_{s1}	48,00	mm
--------------------------------------	----------	-------	----

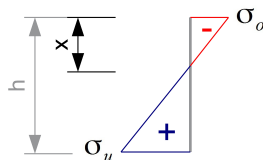
$$z = 0,90 \cdot d_{ik}$$

Innerer Hebelarm Rissnachweis (~0,9d)	z	142,20	mm
---------------------------------------	---	--------	----

$$\sigma_o = N/A - M/W$$

$$\sigma_u = N/A + M/W$$

$$W = h^2/6$$



$$\frac{h}{\sigma_o - \sigma_u} = \frac{x}{\sigma_o}$$

$$x = \sigma_o \cdot \frac{h}{\sigma_o - \sigma_u}$$

Höhe der Druckzone im Zustand I	x	126,41	mm
---------------------------------	---	--------	----

$$d_1 = h - d_{ik}$$

Achsabstand zum gezogenen Rand	d_1	62,00	mm
--------------------------------	-------	-------	----

$$2 \cdot d_1 = 2 \cdot d_1$$

Mindesthöhe der Zugzone	$2 \cdot d_1$	124,00	mm
-------------------------	---------------	--------	----

$$h_{Grenz} = \frac{h - x}{3}$$

Errechnete Höhe der Zugzone	h_{Grenz}	31,20	mm
-----------------------------	-------------	-------	----

DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01 Abschnitt 7.3.2 (3) und NCI zu 7.3.2 (3) finden Anwendung: Der Wirkungsbereich der Bewehrung wird von $(h-x)/3$ auf $(h-x)/2$ vergrößert, da die Bewehrung an mindestens einer Stelle im Querschnitt außerhalb des Grenzbereiches $(h-x)/3$ liegt.

$$h_{C,ef} = \frac{h - x}{2}$$

Effektive Höhe des Wirkungsbereichs $h_{C,ef}$ 46,79 41,23 46,58 mm

$$A_{C,eff} = h_{C,ef} \cdot b$$

Wirkungsbereich der Bewehrung $A_{C,eff}$ 467,93 412,26 465,83 cm²

Einwirkendes Moment	$M_{d,0}$	Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Einwirkende Normalkraft	$N_{d,0}$	21,93	-22,17	23,39	kNm/m
		-89,24	-151,42	-97,64	kN/m

$$M_{Eds} = |M_{d,0}| - N_{d,0} \cdot z_{s1}$$

Bemessungsmoment Rissnachweis M_{Eds} 26,21 28,07 28,08 kNm/m

$$\sigma_s = \frac{\frac{M_{Eds}}{z} + N_{d,0}}{\text{vorh } a_{s,i}}$$

Stahlspannung σ_s 61,77 51,23 64,86 N/mm²

$$\text{eff } \rho = \frac{\text{vorh } a_{s,i}}{A_{C,eff}}$$

EN 1992-1-1 (7.10)

Effektiver Bewehrungsgrad $\text{eff } \rho$ 32,90 27,43 33,05 ‰

$$s_{r,1} = \frac{\sigma_s \cdot d_s}{3,60 \cdot f_{ct,eff}}$$

DIN 1045-1 (137-b)

Rissabstand Erst- oder Einzelriss $s_{r,1}$ 59,00 41,94 61,95 mm

$$s_{r,a} = \frac{d_s}{3,60 \cdot \text{eff } \rho}$$

DIN 1045-1 (137-a)

Rissabstand bei abgeschl. Rissbildung $s_{r,a}$ 118,21 121,51 117,68 mm

$$s_{r,max} = \min(|s_{r,1}|; s_{r,a})$$

DIN 1045-1 (137+)

Maßgebender Rissabstand $s_{r,max}$ 59,00 41,94 61,95 mm

$$\epsilon_R = \frac{\sigma_s - \frac{0,40 \cdot f_{ct,eff}}{\text{eff } \rho} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho)}{E_s}$$

EN 1992-1-1 (7.9-a)

Differenz der Dehnungen, Rechenwert ϵ_R 0,02 -0,08 0,03 ‰

$$\epsilon_M = \frac{0,60 \cdot \sigma_s}{E_s}$$

EN 1992-1-1 (7.9-b)

Differenz der Dehnungen, Mindestwert ϵ_M 0,19 0,15 0,19 ‰

$$(\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm}) = \max(\epsilon_R; \epsilon_M)$$

EN 1992-1-1 (7.9)

Maßgebende Differenz der Dehnungen $(\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm})$ 0,19 0,15 0,19 ‰

$$\text{vorh } w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm})$$

EN 1992-1-1 (7.8)

Errechnete Rissbreite, Gesamtlast $\text{vorh } w_k$ 0,011 0,006 0,012 mm

Der Querschnitt wird in Teilbereiche unterteilt, die als Stab betrachtet werden können.

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite:
D-59

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$U_w = \frac{\text{vorh } w_k}{w_k}$$

Ausnutzung Rissbreite, Gesamtlast U_w 7,3 4,3 8,0 %

Die zulässige Rissbreite nach DIN EN 1992-1-1 wird eingehalten.

2.2.5.9 Rissnachweis Mindestbemessung nach DIN EN 1992-1-1

Einwirkendes Moment	$M_{d,0}$	Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Einwirkende Normalkraft	$N_{d,0}$	27,60	-27,60	27,60	kNm/m
		-91,00	-182,00	-91,00	kN/m

$$M_{Eds} = |M_{d,0}| - N_{d,0} \cdot z_{s1}$$

Bemessungsmoment Rissnachweis M_{Eds} 31,97 34,70 31,97 kNm/m

$$\sigma_s = \frac{\frac{M_{Eds}}{z} + N_{d,0}}{\text{vorh } a_{s,i}}$$

Stahlspannung σ_s 86,94 67,88 86,94 N/mm²

$$\text{eff } \rho = \frac{\text{vorh } a_{s,i}}{A_{C,\text{eff}}} \quad \text{EN 1992-1-1 (7.10)}$$

Effektiver Bewehrungsgrad $\text{eff } \rho$ 31,84 27,12 31,84 ‰

$$s_{r,1} = \frac{\sigma_s \cdot d_s}{3,60 \cdot f_{ct,\text{eff}}} \quad \text{DIN 1045-1 (137-b)}$$

Rissabstand Erst- oder Einzelriss $s_{r,1}$ 83,04 55,57 83,04 mm

$$s_{r,a} = \frac{d_s}{3,60 \cdot \text{eff } \rho} \quad \text{DIN 1045-1 (137-a)}$$

Rissabstand bei abgeschl. Rissbildung $s_{r,a}$ 122,15 122,91 122,15 mm

$$s_{r,\text{max}} = \min(|s_{r,1}|; s_{r,a}) \quad \text{DIN 1045-1 (137+)}$$

Maßgebender Rissabstand $s_{r,\text{max}}$ 83,04 55,57 83,04 mm

$$\epsilon_R = \frac{\sigma_s - \frac{0,40 \cdot f_{ct,\text{eff}}}{\text{eff } \rho} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho)}{E_s} \quad \text{EN 1992-1-1 (7.9-a)}$$

Differenz der Dehnungen, Rechenwert ϵ_R 0,14 0,00 0,14 ‰

$$\epsilon_M = \frac{0,60 \cdot \sigma_s}{E_s} \quad \text{EN 1992-1-1 (7.9-b)}$$

Differenz der Dehnungen, Mindestwert ϵ_M 0,26 0,20 0,26 ‰

$$(\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm}) = \max(\epsilon_R; \epsilon_M) \quad \text{EN 1992-1-1 (7.9)}$$

Maßgebende Differenz der Dehnungen $(\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm})$ 0,26 0,20 0,26 ‰

$$\text{vorh } w_k = s_{r,\text{max}} \cdot (\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm}) \quad \text{EN 1992-1-1 (7.8)}$$

Errechnete Rissbreite, Mindestbemessung $\text{vorh } w_k$ 0,022 0,011 0,022 mm

Der Querschnitt wird in Teilbereichen vollständig überdrückt.

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-60

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$U_{w,min} = \frac{vorh w_k}{w_k}$$

Ausnutzung Rissbreite, Mindestbemessung $U_{w,min}$ 14,4 7,5 14,4 %

Die zulässige Rissbreite nach DIN EN 1992-1-1 wird eingehalten.

2.2.5.10 Ermittlung der Lastklasse (DIN V 1201:2004-08 4.3.5)

Maximale Rohrvergleichsspannung nach DIN V 1201:

$\max \sigma_{VR}$ 6,0 N/mm²

Inneres Widerstandsmoment:

W_i 8.066,67 mm³/mm

Abminderungsbeiwert für Langzeitwirkung:

$\alpha_{c,F}$ 0,90 [-]

Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9:

f_R 1,01 [-]

Mittlerer Radius:

r_m 910,00 mm

Gewichtskraft des Rohrs:

G_p 31,45 kN/m

$$F_c = 1/0,3 \cdot \left\{ \frac{\max \sigma_{VR} \cdot W_i}{\alpha_{c,F} \cdot f_R \cdot r_m} - 0,07 G_p \right\}$$

Risskraft (Ergänzung Mindestscheiteldruckkraft):

F_c 188,26 kN/m

Ermittelte Lastklasse nach DIN V 1201 Tabelle 8/9:

110

Werte mit einem (+) bedeuten, dass in Sonderfällen auch Rohre mit diesen Lastklassen (Festigkeitsklassen) hergestellt werden können. Der Strich - bedeutet, dass Rohre dieser Nennweiten und Lastklassen im Regelfall nicht hergestellt werden. Zum Einsatz kommen Rohre mit höherer Tragfähigkeit (Lastklasse).

2.2.6 Nachweis der Zulässigkeit der Vortriebskraft

2.2.6.1 Rohr

Minimale Wanddicke des Rohres:

$t_{R,min}$ 220,0 mm

Maßgebende Druckübertragungsfläche:

A_R 12.578,937 cm²

Längsdruckfestigkeit:

$f_{c,ax}$ 50,0 N/mm²

Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand längs der Rohrachse:

$\gamma_{M,ax}$ 1,35 [-]

Charakteristische Festigkeit des Rohrwerkstoffs:

f_k 50,00 N/mm²

Mittlere Zugfestigkeit des Rohrwerkstoffs in Ringrichtung:

f_{tm} 4,07 N/mm²

Elastizitätsmodul in axialer Richtung:

$E_{R,ax}$ 37.277,9 N/mm²

Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand längs der Rohrachse:

$\gamma_{M,ax}$ 1,35 [-]

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_{M,ax}} \quad (100)$$

Bemessungswert der Rohrfestigkeit:

f_d 37,04 N/mm²

2.2.6.2 Rohrabwinklung

Minimaler planmäßiger Kurvenradius der Vortriebsstrecke:

R_{Plan} +∞ m

Länge des einzelnen Vortriebsrohres:

L_R 3,00 m

$$\varphi_R = \arctan \left(\frac{L_R}{R_{Plan}} \right) \quad (93)$$

Berechnete Rohrverwinklung aus planmäßiger Krümmung:

φ_R 0,000 °

φ_R wurde zu 0° gesetzt, da für $\varphi_R < 0,05^\circ$ die Trasse als planmäßig gerade gilt.

Angesetzte Rohrverwinklung aus planmäßiger Krümmung:

φ_R 0,000 °

Größter Innendurchmesser:

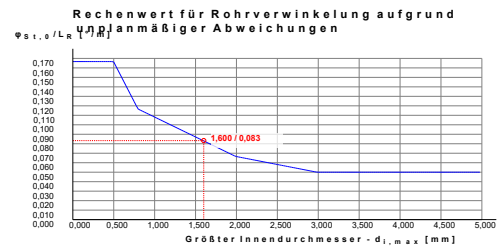
$d_{i,max}$ 1.600 mm

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite:
D-61

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.



Rechenwert für Rohrverwinkelung aufgrund unplanmäßiger Abweichungen: $\phi_{St,0/L_R}$ 0,083 °/m

$$\phi_{St} = \phi_{St,0/L_R} \cdot L_R + 0,0625^\circ \geq 0 \quad (94)$$

Rohrverwinkelung aufgrund unplanmäßiger Abweichungen: ϕ_{St} 0,313 °

Nennweite: DN 1.600 mm
 Max. Abweichung Stirnflächen von Rechtwinkligkeit: $\Delta_{a,cal}$ 8,0 mm
 Kleinster Außendurchmesser: $d_{a,min}$ 2.040 mm

$$\phi_{\Delta a,cal} = \arctan \left(\frac{\Delta_{a,cal}}{d_{a,min}} \right) \quad (96)$$

Rohrverwinkelung aufgrund Abweichungen der Rohrspiegel von der Rechtwinkligkeit: $\phi_{\Delta a,cal}$ 0,225 °

Kombinationsbeiwert für Rohrabwinkelungen: ψ 0,80 [-]

$$\phi_{ges} = \phi_R + \text{MAX}[\psi \cdot (\phi_{St} + \phi_{\Delta a,cal}) ; \phi_{St} ; \phi_{\Delta a,cal}] \quad (92)$$

Rohrverwinkelung im Bereich einer Rohrfuge (gesamt): ϕ_{ges} 0,430 °

2.2.6.3 Verformung des Druckübertragungsringes

Druckübertragungsring (DÜR)

OSB-Platte (OSB/3, OSB/4) - OSB-Platte (OSB/3, OSB/4)

Außendurchmesser des DÜR: $d_{a,DÜR}$ 1.950,0 mm

Innendurchmesser des DÜR: $d_{i,DÜR}$ 1.670,0 mm

Äußerer Randabstand des DÜR: $a_{a,DÜR}$ 45,0 mm

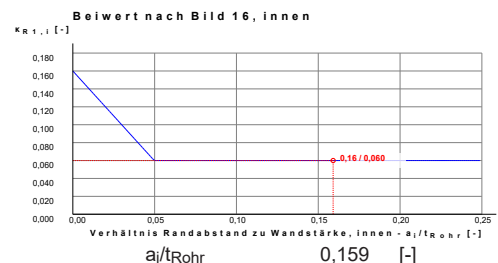
Innerer Randabstand des DÜR: $a_{i,DÜR}$ 35,0 mm

Breite des DÜR: $t_{DÜR}$ 140,0 mm

Minimale Wanddicke des Rohres: $t_{R,min}$ 220,0 mm

$$K_t = \frac{t_{R,min}}{t_{DÜR}} \quad (99)$$

Verhältnis $t_{DÜR}$ zu t_{Rohr} : K_t 1,571 [-]



Verhältnis Randabstand zu Wandstärke, innen: a_i/t_{Rohr} 0,159 [-]

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-62

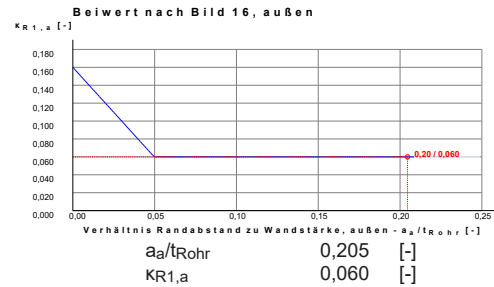
Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Verhältnis Randabstand zu Wandstärke, außen:
Beiwert nach Bild 16, außen:

$$K_{R1} = \max(K_{R1,i}, K_{R1,a})$$

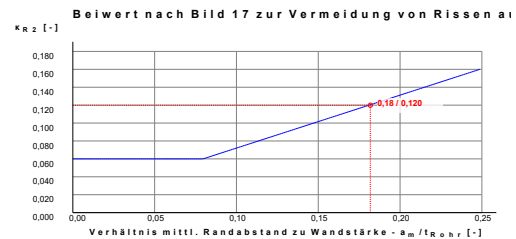
Beiwert nach Bild 16 zur Vermeidung von Randabplatzungen:



K_{R1} 0,060 [-]

Verhältnis mittl. Randabstand zu Wandstärke:

Beiwert nach Bild 17 zur Vermeidung von Rissen aus Spaltzug:



K_{R2} 0,120 [-]

$$K_R = \max(K_{R1}, K_{R2})$$

Beiwert nach Bild 16/17, angesetzter Wert:

Mittlere Zugfestigkeit des Rohrwerkstoffs in Ringrichtung:

$$\alpha_{D,T} = \frac{f_{tm}}{f_k} \cdot \frac{1}{K_R} \quad (98)$$

Beiwert für zulässige Druckspannung:

$$\sigma_{cal} = \alpha_{D,T} \cdot K_t \cdot f_d \quad (97)$$

Höchste in der Rohrfuge wirkende, zulässige Druckspannung:

Angesetzte Vorpresskraft, Laufvariable:

$$\sigma_{0DÜR} = \frac{F_j}{A_{DÜR}}$$

Gleichmäßig verteilte Spannung im DÜR:

$$\sigma_I = 2 \cdot \sigma_{0DÜR} \quad (107)$$

Maßgebende Spannung der Vorbelastung:

$$\sigma_I/\sigma_{cal} = \frac{\sigma_I}{\sigma_{cal}}$$

Prozentsatz der Vorbelastung:

K_R 0,120 [-]
 f_{tm} 4,07 N/mm²

$\alpha_{D,T}$ 0,679 [-]

σ_{cal} 39,53 N/mm²

F_j 5.500 kN

$\sigma_{0DÜR}$ 8,11 N/mm²

σ_I 16,21 N/mm²

σ_I/σ_{cal} 41,0 %

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-63

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Schicht 1

OSB-Platte (OSB/3, OSB/4)

Schichtdicke: s_d 22,00 mm

$$E_{cal} = \left(\sigma_{cal} \cdot 61,113(\sigma/\sigma_{cal})^{1,33} - 983,8 \cdot (\sigma/\sigma_{cal}) + 3249 \cdot (\sigma/\sigma_{cal})^2 - 5866 \cdot (\sigma/\sigma_{cal})^3 + 0,23236 + 4140 \cdot (\sigma/\sigma_{cal})^4 \right) \cdot (-0,0009 \cdot s_d^3 + 0,0608 \cdot s_d^2 + 1,2216 \cdot s_d + 8,6507) \quad (110)$$

Steifigkeit der DUER-Schicht: E_{cal} 962,09 N/mm²

$$\Delta s_{DÜR,S,1} = s_{d,1} \cdot \left(\frac{\sigma_{cal}}{E_{cal}} \right)^{0,5} \cdot \frac{d_{a,min}}{d_{a,DÜR}} \quad (102 / 111)$$

Verformungsanteil der Schicht: $\Delta s_{DÜR,S}$ 4,7 mm

Schicht 2

OSB-Platte (OSB/3, OSB/4)

Schichtdicke: s_d 18,00 mm

$$E_{cal} = \left(\sigma_{cal} \cdot 61,113(\sigma/\sigma_{cal})^{1,33} - 983,8 \cdot (\sigma/\sigma_{cal}) + 3249 \cdot (\sigma/\sigma_{cal})^2 - 5866 \cdot (\sigma/\sigma_{cal})^3 + 0,23236 + 4140 \cdot (\sigma/\sigma_{cal})^4 \right) \cdot (-0,0009 \cdot s_d^3 + 0,0608 \cdot s_d^2 + 1,2216 \cdot s_d + 8,6507) \quad (110)$$

Steifigkeit der DUER-Schicht: E_{cal} 660,78 N/mm²

$$\Delta s_{DÜR,S,2} = s_{d,2} \cdot \left(\frac{\sigma_{cal}}{E_{cal}} \right)^{0,5} \cdot \frac{d_{a,min}}{d_{a,DÜR}} \quad (102 / 111)$$

Verformungsanteil der Schicht: $\Delta s_{DÜR,S}$ 4,6 mm

$$\Delta s_{DÜR} = \Delta s_{DÜR,S,1} + \Delta s_{DÜR,S,2} \quad (112)$$

Verformungsanteil Gesamt: $\Delta s_{DÜR}$ 9,3 mm

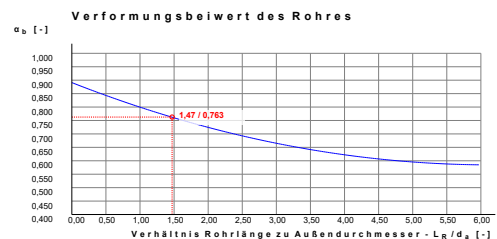
2.2.6.5 Verformung des Rohres

$$\sigma_{max} = \sigma_{cal} \cdot \frac{t_{DÜR}}{t_{R,min}} \quad (103b)$$

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_{cal} \cdot t_{DÜR}}{t_{R,min}}$$

Rechnerische Druckspannung im Rohrwerkstoff:

σ_{max} 25,16 N/mm²



$$L_R/d_a = \frac{L_R}{d_a}$$

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-64

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$\alpha_b = 0,008 \cdot \frac{L_R^2}{d_a} - 0,099 \cdot \frac{L_R}{d_a} + 0,891 \quad (105)$$

Verformungsbeiwert des Rohres: α_b 0,763 [-]

$$\alpha_\varphi = \varphi_R - 0,05 \leq 1 \text{ \& } \geq 0$$

Beiwert: α_φ 0,000 [-] (104)

$$\kappa_{ab} = \alpha_b - (\alpha_b - 0,5) \cdot (1 - \alpha_\varphi)$$

Verformungsfaktor des Rohres: κ_{ab} 0,500 [-]

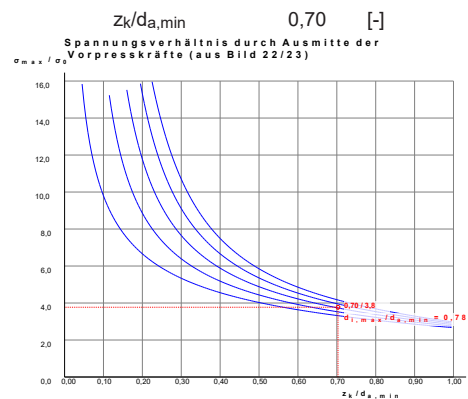
$$\Delta s_R = \frac{\sigma_{\max} \cdot \kappa_{ab} \cdot L_R}{E_{R,ax}} \quad (103a)$$

Verformungsanteil des Vortriebsrohres: Δs_R 1,0 mm

Ergebnis

$$z_k/d_{a,min} = \frac{\Delta s_{DÜR} + \Delta s_R}{\tan(\varphi_{ges}) \cdot d_{a,DÜR}} \leq 1 \quad (101)$$

Maß der Fugenklaffung:



Spannungsverhältnis durch Ausmitte der Vorpressekräfte (aus Bild 22/23): $\sigma_{\max} / \sigma_0$ 3,77 [-]

$$A_R = \frac{(d_{a,min}^2 - d_{i,max}^2) \cdot \pi}{4}$$

Maßgebende Druckübertragungsfläche: A_R 12.578,937 cm²
Teilsicherheitsbeiwert Einwirkung längs der Rohrachse: $\gamma_{F,ax}$ 1,30 [-]

$$F_j = \frac{A_R \cdot \sigma_{\max}}{\sigma_{\max} / \sigma_0 \cdot \gamma_{F,ax}} \quad (113)$$

Zulässige Vorpressekraft: F_j 6.454 kN

Vorgegebene Vortriebskraft: $F_{j,m}$ 5.500,0 kN

$$U_{Fj} = \frac{F_{j,m}}{F_j}$$

Ausnutzung zulässige Vortriebskraft: U_{Fj} 85,2 %

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-65

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$A_{R,0} = \frac{(d_i + 2 \cdot A_{ax}^2 - d_i^2) \cdot \pi}{4}$$

Rohrfläche für Axialdruck außerhalb Kupplungsbereich: $A_{R,0}$ 12.578,94 cm²

$$\sigma_{x,d,0} = -1 \cdot \gamma_{F,ax} \cdot \frac{F_{j,m}}{A_{R,0}} \cdot \sigma_{max} / \sigma_0 \quad (113)$$

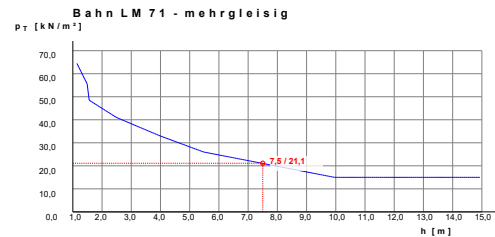
Im Rohr wirkende axiale Spannung, Bemessungswert: $\sigma_{x,d,0}$ -21,44 N/mm²

2.2.6.6 Interaktion - Vergleichsspannungsnachweis Schaft

Der Nachweis der Vergleichsspannung ist bei biegesteifen Rohren nicht erforderlich.

2.2.7 Betriebszustand

2.2.7.1 Belastungen Betriebszustand



$$\Phi_2 = \frac{1,44}{vLF - 0,2} + 0,82 \quad (21)$$

$$1,0 \leq \Phi_2 \leq 1,67 \quad (21)$$

Stoßbeiwert: Φ_2 1,67 [-]

$$\text{red } \Phi_2 = \Phi_2 - 0,1 \cdot (h_{\text{ü}} - 1,0) \geq 1 \quad (22)$$

Stoßbeiwert reduziert: red Φ_2 1,02 [-]
Anpassungsfaktor α_{Qi} LM71 (DIN EN 1991-2): $\alpha_{Qi,LM71}$ 1,20 [-]
Einfache Bodenspannung aus Verkehr: p 21,11 kN/m²

$$p_T = \text{red } \Phi_2 \cdot p \cdot \alpha_{Qi,LM71} \quad A 161 (23a)$$

Vertikale Bodenspannung aus Verkehrslast in Scheitelhöhe: p_T 25,84 kN/m²

Vertikale Bodenspannung aus Verkehrslast in Kämpferhöhe (ohne Φ): p_K 18,62 kN/m²
Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel: K_2 0,40 [-]

$$p_{T,h} = (0,50 \cdot (\text{red } \Phi_2 - 1) + 1) \cdot p_K \cdot K_2 \cdot \alpha_{Qi,LM71} \quad A 161 (23b)$$

Horizontale Bodenspannung aus Verkehr: $p_{T,h}$ 8,95 kN/m²

$$p_{Ev} = \kappa \cdot \gamma_B \cdot (h - h_{GW} + d_a) + \kappa \cdot \gamma'_B \cdot (h_{GW} - d_a) + \kappa_0 \cdot P_0 \quad (5b)$$

Vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene: p_{Ev} 130,865 kN/m²

Wirksame vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene: q_{Ev} 130,865 kN/m²

$$q_{Ges,v} = p_{Ev} + p_T \quad (53)$$

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-66

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Die Erddruckverteilung am Rohr wird $\cos^2$ - bzw. $\sin^2$ -förmig angenommen.: Nein

Grundwasserstand im Bereich der oberen Rohrhälfte:

 $h_{GW,oRh}$ 2,000 m

$$q_{Eh} = \left(p_{Ev} + \gamma_B \cdot \left(d_a - h_{GW,oRh} \right) + \gamma'_B \cdot \left(h_{GW,oRh} - \frac{d_a}{2} \right) \right) \cdot K_2$$

Horizontale Bodenspannung am Rohr:

 q_{Eh} 56,09 kN/m²

$$q_{Ges,h} = q_{Eh} + p_{Th}$$

(53)

Horizontale Gesamt-Bodenspannung am Rohr:

 $q_{Ges,h}$ 65,033 kN/m²

Innerer Überdruck:

 p_i 0,000 bar

Äußerer Überdruck über Rohrscheitel:

 $p_{a,Sc}$ 0,000 bar

Rohrsteifigkeit:

 S_R 43.895 kN/m²

Rohrsteifigkeit:

 $\bar{S}_R$ 43.895 kN/m²

Normierender Bezugswert:

 $\sigma_{B,0}$ 100,0 kN/m²

$$f_3 = \left(\frac{p_{Ev}}{\sigma_{B,0}} \right)^z \geq 1$$

(2)

Spannungsabhängiger Erhöhungsfaktor:

 f_3 1,21 [-]

$$E_B = E_0 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3$$

(1)

Verformungsmodul Boden:

 E_B 2,90 N/mm²

Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel:

 K_2 0,40 [-]

$$S_{Bh} = 0,60 \cdot E_B$$

(18)

Bettungssteifigkeit:

 S_{Bh} 1,74 N/mm²

$$V_{RB,LK} = \frac{\bar{S}_R}{S_{Bh}}$$

(14)

Systemsteifigkeit:

 V_{RB} 25,2508 [-]

Das Rohr-Bodensystem verhält sich biegeweich:

Nein

2.2.7.2 Schnittkräfte Betriebszustand

Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen quer zur Rohrachse:

 γ_F 1,35 [-]

Teilsicherheitsbeiwert Wasseraußendruck:

 $\gamma_{F,W}$ 1,35 [-]

Mittlerer Radius:

 r_m 910,00 mm

Innerer Überdruck:

 p_i 0,000 bar

Äußerer Überdruck über Rohrscheitel:

 $p_{a,Sc}$ 0,000 bar

Wirksame vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene:

 q_{Ev} 130,865 kN/m²

Horizontale Bodenspannung am Rohr:

 q_{Eh} 56,09 kN/m²

Vertikale Bodenspannung infolge Verkehrslast:

 p_T 25,84 kN/m²

Horizontale Bodenspannung infolge Verkehrslast:

 p_{Th} 8,95 kN/m²

Vertikale Gesamt-Bodenspannung in Rohrscheitelebene:

 $q_{Ges,v}$ 156,705 kN/m²

Horizontale Gesamt-Bodenspannung am Rohr:

 $q_{Ges,h}$ 65,033 kN/m²

Momente:

	Scheitel	Kämpfer	Sohle	
m_{pEv}	0,250	-0,250	0,250	[-]

$$M_{pEvd} = \gamma_F \cdot m_{pEv} \cdot q_{Ev} \cdot r_m^2$$

(27)

Vertikale Belastung aus Erdüberdeckung

	$M_{pEv,d}$				
	36,575	-36,575	36,575	kNm/m	
	0,250	-0,250	0,250	[-]	

$$M_{pTv,d} = \gamma_Q \cdot m_{pT} \cdot p_T \cdot r_m^2$$

(29)

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite:
D-67

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

	m_{pTh}	-0,250	0,250	-0,250	[-]	
$M_{pTh,d} = Y_Q \cdot m_{pTh} \cdot p_{Th} \cdot r_m^2$						(31)
Horizontale Belastung aus Verkehr	$M_{pTh,d}$	-2,500	2,500	-2,500	kNm/m	
	m_{pEh}	-0,250	0,250	-0,250	[-]	
$M_{pEh,d} = Y_F \cdot m_{pEh} \cdot q_{Eh} \cdot r_m^2$						(35)
Horizontale Belastung aus Erdüberdeckung	$M_{pEh,d}$	-15,675	15,675	-15,675	kNm/m	
	m_g	0,384	-0,437	0,706	[-]	
$M_{g,d} = Y_F \cdot m_g \cdot Y_R \cdot s \cdot r_m^2$						(37)
Eigengewicht	$M_{g,d}$	2,361	-2,687	4,341	kNm/m	
	m_w	0,192	-0,219	0,353	[-]	
$M_{w,d} = Y_F \cdot m_w \cdot Y_W \cdot r_m^3$						(39)
Wasserfüllung bis Rohrscheitel	$M_{w,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m	
	m_a	-0,192	0,219	-0,353	[-]	
$M_{a,d} = Y_{F,W} \cdot m_a \cdot Y_W \cdot r_m^3$						(41)
Auftrieb (äußerer Wasserstand bis Scheitel)	$M_{a,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m	
$M_{pw,d} = ((Y_F \cdot p_i) - (Y_{F,W} \cdot P_a)) \cdot r_i \cdot r_a \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{r_i \cdot r_a}{r_a^2 - r_i^2} \cdot \ln \cdot \frac{r_a}{r_i} \right)$						(43)
Wasserdruck	$M_{pw,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m	
	m_{qh^*}	-0,181	0,208	-0,181	[-]	
$M_{qEh^*,d} = Y_F \cdot m_{qh^*} \cdot q_{Eh^*} \cdot r_m^2$						(45a)
Bettungsreaktionsdruck Erdlast	$M_{qEh^*,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m	
$M_{qTh^*,d} = Y_Q \cdot m_{qh^*} \cdot q_{Th^*} \cdot r_m^2$						(45b)
Bettungsreaktionsdruck Verkehr	$M_{qTh^*,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m	
$M_{qh^*,d} = M_{qTh^*,d} + M_{qEh^*,d}$						
Bettungsreaktionsdruck	$M_{qh^*,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m	
Summe der Momente	ΣM_d	27,982	-28,308	29,962	kNm/m	
Summe Erd- und Verkehrslasten	$\Sigma M_{qv,qh,qh^*,d}$	25,621	-25,621	25,621	kNm/m	
Summe andere Lasten	$\Sigma M_{sonst,d}$	2,361	-2,687	4,341	kNm/m	
Normalkräfte:		Scheitel	Kämpfer	Sohle		
	n_{pEv}	0,000	-1,000	0,000	[-]	
$N_{pEv,d} = Y_F \cdot n_{pEv} \cdot q_{Ev} \cdot r_m$						(28)
Vertikale Belastung aus Erdüberdeckung	$N_{pEv,d}$	0,000	-160,767	0,000	kN/m	
	n_{pT}	0,000	-1,000	0,000	[-]	
$N_{pTv,d} = Y_Q \cdot n_{pT} \cdot p_T \cdot r_m$						(30)
Vertikale Belastung aus Verkehr	$N_{pTv,d}$	0,000	-31,744	0,000	kN/m	
	n_{pTh}	-1,000	0,000	-1,000	[-]	
$N_{pTh,d} = Y_Q \cdot n_{pTh} \cdot p_{Th} \cdot r_m$						(32)
Horizontale Belastung aus Verkehr	$N_{pTh,d}$	-10,991	0,000	-10,991	kN/m	
	n_{pEh}	-1,000	0,000	-1,000	[-]	

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite:
D-68

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Horizontale Belastung aus Erdüberdeckung	$N_{pEh,d}$	-68,903	0,000	-68,903	kN/m
	n_g	0,250	-1,571	-1,428	[-]
$N_{g,d} = \gamma_F \cdot n_g \cdot \gamma_R \cdot s \cdot r_m$ (38)					
Eigengewicht	$N_{g,d}$	1,689	-10,615	-9,649	kN/m
	n_w	0,625	0,215	0,786	[-]
$N_{w,d} = \gamma_F \cdot n_w \cdot \gamma_W \cdot r_m^2$ (40)					
Wasserfüllung bis Rohrscheitel	$N_{w,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
	m_a	-0,625	-0,215	-0,786	[-]
$N_{a,d} = \gamma_{F,W} \cdot m_a \cdot \gamma_W \cdot r_m^2$ (42)					
Auftrieb (äußerer Wasserstand bis Scheitel)	$N_{a,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
$N_{pw,d} = (\gamma_F \cdot p_i \cdot r_i) - (\gamma_{F,W} \cdot P_a \cdot r_a)$ (44)					
Wasserdruck	$N_{pw,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN_d	-78,204	-203,126	-89,542	kN/m
$\Sigma N_{qv,qh,qh^*,d} = N_{pEv,d} + N_{pTv,d} + N_{pEh,d} + N_{pTh,d} + N_{qh^*,d}$					
Summe Erd- und Verkehrslasten	$\Sigma N_{qv,qh,qh^*,d}$	-79,893	-192,512	-79,893	kN/m
$\Sigma N_{sonst,d} = N_{g,d} + N_{w,d} + N_{a,d} + N_{pw,d}$					
Summe andere Lasten	$\Sigma N_{sonst,d}$	1,689	-10,615	-9,649	kN/m
2.2.7.3 Verformungsnachweis Betriebszustand					
Verformungsbeiwert:			c_{v,qh^*}	0,0640	[-]
Verformungsbeiwert:			$c_{v,qv}$	-0,0833	[-]
$K^* = \frac{c_{h,qv}}{V_{RB} - c_{h,qh^*}}$					
Beiwert des Bettungsreaktionsdruckes:			K^*	0,003	[-]
$c_v^* = c_{v,qv} + c_{v,qh^*} \cdot K^*$ A 127 (6.13); A 161 (52a-d)					
Verformungsbeiwert:			c_v^*	-0,083	[-]
Vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene:			p_{Ev}	130,865	kN/m ²
Vertikale Bodenspannung infolge Verkehrslast:			p_T	25,84	kN/m ²
$q_{Ges,v} = p_{Ev} + p_T$ (53)					
Vertikale Gesamt-Bodenspannung in Rohrscheitelebene:			$q_{Ges,v}$	156,705	kN/m ²
$q_{Eh} = \left(p_{Ev} + \gamma_B \cdot \left(d_a - h_{GW,oRh} \right) + \gamma_B \cdot \left(h_{GW,oRh} - \frac{d_a}{2} \right) \right) \cdot K_2$					
Horizontale Bodenspannung am Rohr:			q_{Eh}	56,09	kN/m ²
Horizontale Bodenspannung infolge Verkehrslast:			p_{Th}	8,95	kN/m ²
$q_{Ges,h} = q_{Eh} + p_{Th}$ (53)					
Horizontale Gesamt-Bodenspannung am Rohr:			$q_{Ges,h}$	65,033	kN/m ²
$\delta_v = c_v^* \cdot \frac{q_{Ges,v} - q_{Ges,h}}{S_R} \cdot 100 $ (51)					
Relative vertikale Dehnung			δ_v	0,00	%

$$U_{\delta V} = \frac{\delta_V}{\text{zul } \delta_V}$$

Ausnutzungsgrad Verformung:

 $U_{\delta V}$ 3,2 %

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

2.2.7.4 Beulnachweis Betriebszustand

Der Beulnachweis wurde vom Nutzer deaktiviert.

2.2.7.5 Bemessung Ringbewehrung

Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Beton:

 γ_{RC} 1,50 [-]

Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Stahl:

 γ_{RS} 1,15 [-]

Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit:

 $f_{ck,cyl}$ 50,0 N/mm²

$$f_{cd} = \frac{0,85 \cdot f_{ck,cyl}}{\gamma_{RC}}$$

Bemessungswert Beton:

 f_{cd} 28,33 N/mm²

Nennstreckgrenze:

 f_{yk} 500 N/mm²

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{RS}}$$

Bemessungswert Betonstahl:

 f_{yd} 434,78 N/mm²

Summe der Momente

 M_E

Scheitel

 f_{yd} 434,78 N/mm²

Kämpfer 22,194 kNm/m

Summe der Momente inkl.

 M_{Ed}

27,982

-20,969

-28,308 29,962 kNm/m

Teilsicherheitsbeiwert

Summe Normalkraft

 N_E

-57,929

-150,464

-66,327 kN/m

Summe der Normalkräfte inkl.

 N_{Ed}

-78,204

-203,126

-89,542 kN/m

Teilsicherheitsbeiwert

Bemessung:

Hebelarm innere Ringbewehrung

 z_i

Scheitel

Kämpfer

Sohle 48,0 mm

$$M_{Eds} = |M_{Ed}| - N_{Ed} \cdot z_i$$

Auslegungsmoment Plattenbemessung

 M_{Eds}

31,736

36,230

34,260 kNm/m

$$\sigma_{s,d} = f_{yd}$$

Rechenwert der Stahlgrenzspannung

 $\sigma_{s,d}$

434,78

434,78

434,78 N/mm²

Statische Höhe

 d

0,158

0,149

0,158 m

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{d^2 \cdot f_{cd}}$$

Normiertes Auslegungsmoment

 μ_{Eds}

0,0449

0,0576

0,0484 [-]

Erforderlicher mechanischer Bewehrungsgrad

 ω

0,0461

0,0596

0,0499 [-]

$$a_{s,calc} = \frac{\omega \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed}}{\sigma_{s,d}}$$

Erforderliche Bewehrung (Bemessung)

 $a_{s,calc}$

2,95

1,11

3,07 cm²/m

Vorhandene Bewehrung

vorh. a_s

15,39

11,31

15,39 cm²/m

Ausnutzung Bewehrung (Bemessung)

 $U a_{s,calc}$

19,2

9,8

20,0 %

Die gewählte Bewehrung ist ausreichend.

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-70

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Nach RIL 836.4501 Abschnitt 1 (4) [Korrektur TM vom 4.7.2014] muss die Längsbewehrung mindestens 1/5 (20%) der erforderlichen Ringbewehrung für vorwiegend ruhende Belastung betragen.

Vorhandene Längsbewehrung vorh. $a_{s,L}$ 4,12 3,91 4,12 cm^2/m

$$a_{s,calc,L} = 0,20 \cdot a_{s,calc}$$

Erforderliche Längsbewehrung (Bemessung) $a_{s,calc,L}$ 0,59 0,22 0,61 cm^2/m

$$U_{a_{s,calc,L}} = \frac{a_{s,calc,L}}{\text{vorh. } a_{s,L}}$$

Ausnutzung Längsbewehrung (Bemessung) $U_{a_{s,calc,L}}$ 14,3 5,7 14,9 %

Die gewählte Längsbewehrung ist ausreichend.

2.2.7.7 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (DIN V 1201:2004-08 5.2.5)

Ideeles Widerstandsmoment, Zugseite W_{id} Scheitel 8.917,17 Kämpfer 8.642,93 Sohle 8.917,17 mm^3/mm

$$|\sigma_{M,E}| = \frac{M_E}{W_{id}}$$

Biegespannungsanteil aus Biegemomenten $\sigma_{M,E}$ 2,3244 2,4261 2,4889 N/mm^2

Spannungsanteil aus Normalkräften $\sigma_{N,E}$ -0,2228 -0,5786 -0,2551 N/mm^2

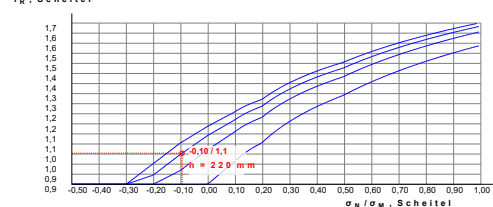
$$f_{t,fl} = \sigma_{M,E} + \sigma_{N,E}$$

Maßgebliche Biegezugspannung $f_{t,fl}$ 2,1017 1,8475 2,2338 N/mm^2

Spannungsverhältnis $\sigma_{N,EM}$ -0,0958 -0,2385 -0,1025 [-]

Profilhöhe h 220,00 220,00 220,00 mm

Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9



Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9 f_R 1,05 0,93 1,04 [-]

$$\sigma_{VR} = f_R \cdot f_{t,fl}$$

Rohrvergleichsspannung unter Risskraft im Zustand I σ_{VR} 2,21 1,72 2,33 N/mm^2

Mittlere Zugfestigkeit: f_{ctm} 4,1 N/mm^2

$$\max \sigma_{VR} = \text{MIN: } 6 \text{ N/mm}^2; \frac{f_{ctm}}{3,50} \cdot 6$$

Maximale Rohrvergleichsspannung nach DIN V 1201: $\max \sigma_{VR}$ 6,0 N/mm^2

$$U_{\sigma_{VR}} = \frac{\sigma_{VR}}{\max \sigma_{VR}}$$

Ausnutzung Rohrvergleichsspannung $U_{\sigma_{VR}}$ 36,8 28,6 38,9 %

Der Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist erbracht.

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-71

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

2.2.7.8 Rissnachweis Gesamtlast nach DIN EN 1992-1-1

Bei der Ermittlung von Spannungen und Verformungen ist in der Regel von ungerissenen Querschnitten auszugehen (Zustand I), wenn die Biegezugspannung $f_{ct,eff}$ nicht überschreitet (EC 2-1-1, 7.3.2 (3)). Alle Einwirkungen werden mit $\gamma = 1,0$ und $\psi_{0,i}$ angesetzt. Dies entspricht einem charakteristischen Niveau bei gleichzeitigem Auftreten aller vorhandenen Einwirkungen. Bemessungswerte können als char. Werte aufgefasst werden.

Breite des Querschnitts:	b	1.000,00	mm
Mittlerer E-Modul (Sekantenmodul):	E_{cm}	37.278	N/mm ²
Elastizitätsmodul Betonstahl:	E_s	200.000	N/mm ²

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

Verhältnis der E-Moduln:	α_e	5,37	[-]
--------------------------	------------	------	-----

$$f_{ct,eff} = f_{ctm}$$

Wirksame Zugfestigkeit des Betons (ohne Mindestwert):	$f_{ct,eff}$	4,07	N/mm ²
Profilhöhe	h	220,00	mm

Relevanter Stahldurchmesser	d_s	14,00	mm
-----------------------------	-------	-------	----

$$\text{vorh } a_{s,i} = 0,7854 \cdot n_{Ring,i} \cdot \varnothing_{rad,i}^2$$

Vorhandener Stahlquerschnitt innerer Korb	vorh $a_{s,i}$	15,39	cm ² /m
---	----------------	-------	--------------------

$$d_{iK} = \frac{h}{2} + z_i$$

Statische Höhe innerer Bewehrungskorb	d_{iK}	158,0	mm
---------------------------------------	----------	-------	----

$$z_{s1} = d_{iK} - \frac{h}{2}$$

Abstand vom Schwerpunkt im Zustand I	z_{s1}	48,00	mm
--------------------------------------	----------	-------	----

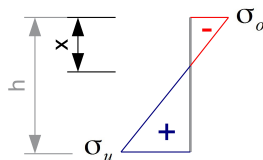
$$z = 0,90 \cdot d_{iK}$$

Innerer Hebelarm Rissnachweis (~0,9d)	z	142,20	mm
---------------------------------------	---	--------	----

$$\sigma_o = N/A - M/W$$

$$\sigma_u = N/A + M/W$$

$$W = h^2/6$$



$$\frac{h}{\sigma_o - \sigma_u} = \frac{x}{\sigma_o}$$

$$x = \sigma_o \cdot \frac{h}{\sigma_o - \sigma_u}$$

Höhe der Druckzone im Zustand I	x	121,27	mm
---------------------------------	---	--------	----

$$d_1 = h - d_{iK}$$

Achsabstand zum gezogenen Rand	d_1	62,00	mm
--------------------------------	-------	-------	----

$$2 \cdot d_1 = 2 \cdot d_1$$

Mindesthöhe der Zugzone	$2 \cdot d_1$	124,00	mm
-------------------------	---------------	--------	----

$$h_{Grenz} = \frac{h - x}{3}$$

Errechnete Höhe der Zugzone	h_{Grenz}	32,91	mm
-----------------------------	-------------	-------	----

DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01 Abschnitt 7.3.2 (3) und NCI zu 7.3.2 (3) finden Anwendung: Der Wirkungsbereich der Bewehrung wird von $(h-x)/3$ auf $(h-x)/2$ vergrößert, da die Bewehrung an mindestens einer Stelle im Querschnitt außerhalb des Grenzbereiches $(h-x)/3$ liegt.

$$h_{C,ef} = \frac{h - x}{2}$$

Effektive Höhe des Wirkungsbereichs $h_{C,ef}$ 49,36 40,53 48,97 mm

$$A_{C,eff} = h_{C,ef} \cdot b$$

Wirkungsbereich der Bewehrung $A_{C,eff}$ 493,64 405,29 489,73 cm²

Einwirkendes Moment $M_{d,0}$ Scheitel 20,73 Kämpfer -20,97 Sohle 22,19 kNm/m
Einwirkende Normalkraft $N_{d,0}$ -57,93 -150,46 -66,33 kN/m

$$M_{Eds} = |M_{d,0}| - N_{d,0} \cdot z_{s1}$$

Bemessungsmoment Rissnachweis M_{Eds} 23,51 26,84 25,38 kNm/m

$$\sigma_s = \frac{\frac{M_{Eds}}{z} + N_{d,0}}{\text{vorh } a_{s,i}}$$

Stahlspannung σ_s 69,76 43,91 72,85 N/mm²

$$\text{eff } \rho = \frac{\text{vorh } a_{s,i}}{A_{C,eff}}$$

EN 1992-1-1 (7.10)

Effektiver Bewehrungsgrad $\text{eff } \rho$ 31,18 27,91 31,43 ‰

$$s_{r,1} = \frac{\sigma_s \cdot d_s}{3,60 \cdot f_{ct,eff}}$$

DIN 1045-1 (137-b)

Rissabstand Erst- oder Einzelriss $s_{r,1}$ 66,63 35,95 69,58 mm

$$s_{r,a} = \frac{d_s}{3,60 \cdot \text{eff } \rho}$$

DIN 1045-1 (137-a)

Rissabstand bei abgeschl. Rissbildung $s_{r,a}$ 124,71 119,45 123,72 mm

$$s_{r,max} = \min(|s_{r,1}|; s_{r,a})$$

DIN 1045-1 (137+)

Maßgebender Rissabstand $s_{r,max}$ 66,63 35,95 69,58 mm

$$\epsilon_R = \frac{\sigma_s - \frac{0,40 \cdot f_{ct,eff}}{\text{eff } \rho} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho)}{E_s}$$

EN 1992-1-1 (7.9-a)

Differenz der Dehnungen, Rechenwert ϵ_R 0,04 -0,12 0,06 ‰

$$\epsilon_M = \frac{0,60 \cdot \sigma_s}{E_s}$$

EN 1992-1-1 (7.9-b)

Differenz der Dehnungen, Mindestwert ϵ_M 0,21 0,13 0,22 ‰

$$(\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm}) = \max(\epsilon_R; \epsilon_M)$$

EN 1992-1-1 (7.9)

Maßgebende Differenz der Dehnungen $(\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm})$ 0,21 0,13 0,22 ‰

$$\text{vorh } w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm})$$

EN 1992-1-1 (7.8)

Errechnete Rissbreite, Gesamtlast $\text{vorh } w_k$ 0,014 0,005 0,015 mm

Der Querschnitt wird in Teilbereiche unterteilt, die jeweils

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-73

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$U_w = \frac{\text{vorh } w_k}{w_k}$$

Ausnutzung Rissbreite, Gesamtlast U_w 9,3 3,2 10,1 %

Die zulässige Rissbreite nach DIN EN 1992-1-1 wird eingehalten.

2.2.7.9 Rissnachweis Mindestbemessung nach DIN EN 1992-1-1

Einwirkendes Moment	$M_{d,0}$	Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Einwirkende Normalkraft	$N_{d,0}$	27,60	-27,60	27,60	kNm/m
		-91,00	-182,00	-91,00	kN/m

$$M_{Eds} = |M_{d,0}| - N_{d,0} \cdot z_{s1}$$

Bemessungsmoment Rissnachweis M_{Eds} 31,97 34,70 31,97 kNm/m

$$\sigma_s = \frac{\frac{M_{Eds}}{z} + N_{d,0}}{\text{vorh } a_{s,i}}$$

Stahlspannung σ_s 86,94 67,88 86,94 N/mm²

$$\text{eff } \rho = \frac{\text{vorh } a_{s,i}}{A_{C,\text{eff}}} \quad \text{EN 1992-1-1 (7.10)}$$

Effektiver Bewehrungsgrad $\text{eff } \rho$ 31,84 27,12 31,84 ‰

$$s_{r,1} = \frac{\sigma_s \cdot d_s}{3,60 \cdot f_{ct,\text{eff}}} \quad \text{DIN 1045-1 (137-b)}$$

Rissabstand Erst- oder Einzelriss $s_{r,1}$ 83,04 55,57 83,04 mm

$$s_{r,a} = \frac{d_s}{3,60 \cdot \text{eff } \rho} \quad \text{DIN 1045-1 (137-a)}$$

Rissabstand bei abgeschl. Rissbildung $s_{r,a}$ 122,15 122,91 122,15 mm

$$s_{r,\text{max}} = \min(|s_{r,1}|; s_{r,a}) \quad \text{DIN 1045-1 (137+)}$$

Maßgebender Rissabstand $s_{r,\text{max}}$ 83,04 55,57 83,04 mm

$$\epsilon_R = \frac{\sigma_s - \frac{0,40 \cdot f_{ct,\text{eff}}}{\text{eff } \rho} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho)}{E_s} \quad \text{EN 1992-1-1 (7.9-a)}$$

Differenz der Dehnungen, Rechenwert ϵ_R 0,14 0,00 0,14 ‰

$$\epsilon_M = \frac{0,60 \cdot \sigma_s}{E_s} \quad \text{EN 1992-1-1 (7.9-b)}$$

Differenz der Dehnungen, Mindestwert ϵ_M 0,26 0,20 0,26 ‰

$$(\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm}) = \max(\epsilon_R; \epsilon_M) \quad \text{EN 1992-1-1 (7.9)}$$

Maßgebende Differenz der Dehnungen $(\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm})$ 0,26 0,20 0,26 ‰

$$\text{vorh } w_k = s_{r,\text{max}} \cdot (\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm}) \quad \text{EN 1992-1-1 (7.8)}$$

Errechnete Rissbreite, Mindestbemessung $\text{vorh } w_k$ 0,022 0,011 0,022 mm
Der Querschnitt wird in Teilbereichen vollständig überdrückt.

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-74

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$U_{w,min} = \frac{vorh w_k}{w_k}$$

Ausnutzung Rissbreite, Mindestbemessung $U_{w,min}$ 14,4 7,5 14,4 %

Die zulässige Rissbreite nach DIN EN 1992-1-1 wird eingehalten.

2.2.7.10 Ermittlung der Lastklasse (DIN V 1201:2004-08 4.3.5)

Maximale Rohrvergleichsspannung nach DIN V 1201: $\max \sigma_{VR}$ 6,0 N/mm²
 Inneres Widerstandsmoment: W_i 8.066,67 mm³/mm
 Abminderungsbeiwert für Langzeitwirkung: $\alpha_{c,F}$ 0,90 [-]
 Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9: f_R 1,05 [-]
 Mittlerer Radius: r_m 910,00 mm
 Gewichtskraft des Rohrs: G_p 31,45 kN/m

$$F_c = 1/0,3 \cdot \left\{ \frac{\max \sigma_{VR} \cdot W_i}{\alpha_{c,F} \cdot f_R \cdot r_m} - 0,07 G_p \right\}$$

Risskraft (Ergänzung Mindestscheiteldruckkraft): F_c 180,19 kN/m
 Ermittelte Lastklasse nach DIN V 1201 Tabelle 8/9: 110

Werte mit einem (+) bedeuten, dass in Sonderfällen auch Rohre mit diesen Lastklassen (Festigkeitsklassen) hergestellt werden können. Der Strich - bedeutet, dass Rohre dieser Nennweiten und Lastklassen im Regelfall nicht hergestellt werden. Zum Einsatz kommen Rohre mit höherer Tragfähigkeit (Lastklasse).

2.2.8 Nachweis gegen Ermüden unter nicht vorwiegend ruhender Belastung

$$\text{dyn } p_T = p_T \cdot \alpha_T$$

Vertikale dynamisch relevante Bodenspannung in Scheitelhöhe: $\text{dyn } p_T$ 25,84 kN/m²
 Horizontale Bodenspannung infolge Verkehrslast für Ermüdungsnachweis: $p_{Th,E}$ 8,95 kN/m²

$$\text{dyn } p_{Th} = p_{Th,E} \cdot \alpha_T \quad (80b)$$

Anzusetzender seitlicher Erddruck aufgrund Verkehrslast: $\text{dyn } p_{Th}$ 8,9 kN/m²
 Die stützende Wirkung des Bettungsreaktionsdruckes $\text{dyn } p_{Vh}^*$ wird nicht angesetzt, da sich das Rohr-Boden-System biegesteif verhält.

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
$\text{dyn } N_{pTv} = n_{pT} \cdot \text{dyn } p_T \cdot r_m$					(81)
Normalkraft aus vertikaler Verkehrslast	$\text{dyn } N_{pTv}$	0,000	-23,514	0,000	kN/m
$\text{dyn } N_{pTh} = n_{pTh} \cdot \text{dyn } p_{Th} \cdot r_m$					(81)
Normalkraft aus seitlicher Verkehrslast	$\text{dyn } N_{pTh}$	-8,141	0,000	-8,141	kN/m
Summe der Normalkräfte aus Verkehr	$\text{dyn } \Sigma N$	-8,141	-23,514	-8,141	kN/m
$\text{dyn } M_{pTv} = m_{pT} \cdot \text{dyn } p_T \cdot r_m^2$					(82)
Moment aus vertikaler Verkehrslast	$\text{dyn } M_{pTv}$	5,350	-5,350	5,350	kNm/m
$\text{dyn } M_{pTh} = m_{pTh} \cdot \text{dyn } p_{Th} \cdot r_m^2$					(82)
Moment aus seitlicher Verkehrslast	$\text{dyn } M_{pTh}$	-1,852	1,852	-1,852	kNm/m
Summe der Momente aus Verkehr	$\text{dyn } \Sigma M$	3,497	-3,497	3,497	kNm/m
Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand quer zur Rohrachse:	$Y_{M,rad}$			1,50	[-]

2.2.9 Vereinfachter Nachweis gegen Ermüden nach DIN EN 1992-1-1, 6.8.7

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-75

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Beiwert nach DIN 1055-100, Tabelle A.2:

 ψ_1 1,00 [-]

Elastizitätsmodul Betonstahl:

 E_s 200.000 N/mm²

Mittlerer E-Modul (Sekantenmodul):

 E_{cm} 37.278 N/mm²

$$n = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

Verhältnis E-Modul Stahl zu E-Modul Beton:

 n 5,37 [-]

Querschnittsbreite:

 b 1,00 m

Schwingbreite für 1·10⁸ Zyklen:

 $\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)$ 34,00 N/mm²

Modifizierte Betondruckfestigkeit:

 $f_{cd,fat}$ 22,67 N/mm²

$$f_{cd,fat} = \beta_{cc(t0)} \cdot f_{cd} \cdot (1 - f_{ck}/250); \beta_{cc(t=28\text{Tage})} = 1,0$$

Moment aufgrund ständiger Lasten

 M_G

Scheitel
17,230

Kämpfer
-17,471

Sohle
18,696

kNm/m

Normalkraft aufgrund ständiger Lasten

 N_G

-49,788

-126,950

-58,186

kN/m

$$M_{Gs} = |M_G| - N_G \cdot z_{s1}$$

Auf die Zugbewehrung bezogenes Moment
aufgrund ständiger Lasten

 M_{Gs}

19,620

22,422

21,489

kNm/m

$$M'_{Gs,min} = M_{Gs} \cdot Y_{Ed,fat}$$

Bemessungsmoment, ständig

 $M'_{Gs,min}$

19,620

22,422

21,489

kNm/m

Hebelarm innere Ringbewehrung

 z_i

48,0

39,0

48,0

mm

Moment für Ermüdungsnachweis

 $M_{Q,dyn}$

3,497

-3,497

3,497

kNm/m

Normalkraft für Ermüdungsnachweis

 $N_{Q,dyn}$

-8,141

-23,514

-8,141

kN/m

Auf die Zugbewehrung bezogenes Moment
aufgrund dynamischer Lasten

 $M_{Qs,dyn}$

3,888

4,414

3,888

kNm/m

$$M'_{Qs,dyn} = M_{Qs,dyn} \cdot \psi_1 \cdot Y_{Ed,fat}$$

Bemessungsmoment, dynamisch

 $M'_{Qs,dyn}$

3,888

4,414

3,888

kNm/m

2.2.9.1 Nachweis der geschweißten Bewehrungskörbe

Statische Höhe

 d

0,158

0,149

0,158

m

$$x = \left(\frac{n \cdot a_s}{b} \right) \cdot \left[-1 + \left(1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{n \cdot a_s} \right)^{0,5} \right]$$

Höhe der Betondruckzone

 x

0,043

0,037

0,043

m

Höhe der Zugzone

 $d-x$

0,115

0,112

0,115

m

$$z = d - \frac{x}{3}$$

Innerer Hebelarm

 z

0,144

0,137

0,144

m

$$\sigma_{c,dyn} = \frac{2 \cdot M'_{Qs,dyn}}{x \cdot z \cdot b}$$

Betonspannung

 $\sigma_{c,dyn}$

1,246

1,751

1,246

N/mm²

$$\sigma_{s,dyn} = \left(\frac{1}{\text{vorh. } a_s} \right) \cdot \left(\frac{M'_{Qs,dyn}}{z} + N_{Q,dyn} \right)$$

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite:
D-76

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$\sigma_{s,dyn,kon} = n \cdot \sigma_{c,dyn} \cdot \frac{d-x}{x} + \frac{N_{Q,dyn}}{vorh \ a_{s,i}}$$

Kontrolle	$\sigma_{s,dyn,kon}$	12,313	7,761	12,313	N/mm²
$\Delta \sigma_{s,eq} = \sigma_{s,dyn} \cdot Y_{Ed,fat}$					
Ermittelter Wert	$\Delta \sigma_{s,eq}$	12,313	7,761	12,313	N/mm²
Maximalwert (abgeminderte Schwingbreite)	$\Delta \sigma_{Rsk}/Y_{s,fat}$	29,565	29,565	29,565	N/mm²
Vorhandene Bewehrung	vorh. a_s	15,39	11,31	15,39	cm²/m
Erforderliche Bewehrung aus Ermüden	erf. a_s	6,41	2,97	6,41	cm²/m
Ausnutzung Ermüden Stahl	$U \ \sigma_{s,dyn}$	41,6	26,3	41,6	%

Der Nachweis gegen Ermüden der Bewehrung ist erbracht.

2.2.9.2 Nachweis Beton in der Druckzone

$$M'_{Ed,dyn} = M'_{Qs,dyn} + M'_{Gs,min}$$

Bemessungsmoment, ständig+dynamisch	$M'_{Ed,dyn}$	23,508	26,837	25,378	kNm/m
-------------------------------------	---------------	--------	--------	--------	-------

$$\sigma'_{c,max} = \sigma_{c,dyn} \cdot \frac{M'_{Ed,dyn}}{M'_{Qs,dyn}}$$

Maximale Betondruckspannung	$\sigma'_{c,max}$	7,533	10,644	8,132	N/mm²
-----------------------------	-------------------	-------	--------	-------	-------

$$\sigma'_{c,min} = \sigma_{c,dyn} \cdot \frac{M'_{Gs,min}}{M'_{Qs,dyn}}$$

Minimale Betondruckspannung	$\sigma'_{c,min}$	6,287	8,893	6,886	N/mm²
-----------------------------	-------------------	-------	-------	-------	-------

$$U_{\sigma'c,max,eff} = \frac{\sigma'_{c,max}}{f_{cd,fat}} \quad \text{DIN EN 1992-1-1 Gl. (6.77)}$$

Ausnutzung bei maximaler Betondruckspannung	$U_{\sigma'c,max,eff}$	0,332	0,470	0,359	[-]
---	------------------------	-------	-------	-------	-----

$$U_{\sigma_{s,max,dyn}} = \frac{U_{\sigma'c,max,eff}}{U_{\sigma'c,min,eff}}$$

Ausnutzung Ermüden maximale Spannung	$U_{\sigma_{s,max,dyn}}$	53,2	69,4	56,3	%
--------------------------------------	--------------------------	------	------	------	---

$$U_{\sigma'c,min,eff} = 0,50 + 0,45 \cdot \frac{\sigma'_{c,min}}{f_{cd,fat}} \quad \text{DIN EN 1992-1-1 Gl. (6.77)}$$

Ausnutzung bei minimaler Betondruckspannung	$U_{\sigma'c,min,eff}$	0,625	0,677	0,637	[-]
---	------------------------	-------	-------	-------	-----

$$U_{\sigma_{s,min,dyn}} = \frac{U_{\sigma'c,min,eff}}{0,90}$$

Ausnutzung Ermüden minimale Spannung	$U_{\sigma_{s,min,dyn}}$	69,4	75,2	70,7	%
--------------------------------------	--------------------------	------	------	------	---

$$U_{\sigma'c,max,eff} \leq U_{\sigma'c,min,eff} \leq 0,9 \quad \text{DIN EN 1992-1-1 Gl. (6.77)}$$

Ausnutzung Ermüden Beton	$U_{\sigma_{c,dyn}}$	69,4	75,2	70,7	%
--------------------------	----------------------	------	------	------	---

Der Nachweis gegen Ermüden des Betons ist erbracht.

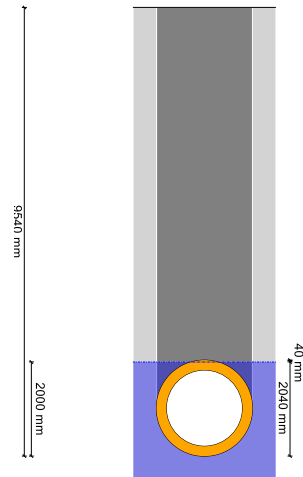
Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-77

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Der Auftriebsnachweis erfolgt für den tatsächlichen Grundwasserstand $h_{GW,max}$. Das Erdreich oberhalb des GW-Spiegels wird mit seiner Trockenwichte angesetzt.



Lastfaktor Auftriebskraft:	YQ	1,05	[-]
Baugrund:	YU	0,95	[-]
Lastfaktor Eigengewicht:	YG	0,95	[-]
Äußerer Radius:	r_a	1.020,0	mm
$h_a = h_{GW} - r_a$			
Höhe Kreissegment:	h_a	980,00	mm
$\alpha = 2 \cdot \arccos(h_a / r_a)$			
Winkel Kreissegment:	α	32,20	°
$V_{KS} = \frac{r_a^2}{2} \cdot (\alpha - \sin(\alpha))$			
Volumen Kreissegment:	V_{KS}	0,02	m³/m
$V_A = r_a^2 \cdot \pi$			
Verdrängtes Volumen Außendurchmesser (Annahme: Rohr vollständig unter Wasser):	V_A	3,27	m³/m
$V = V_A - V_{KS}$			
Verdrängtes Volumen:	V	3,25	m³/m
$Q_r = V \cdot \gamma_w$			
Auftriebskraft:	Q_r	32,53	kN/m
$Q_{r,d} = Q_r \cdot Y_Q$			
Auftriebskraft, Design:	$Q_{r,d}$	34,16	kN/m
Wichte des Bodens unter Auftrieb im Auftriebsnachweis:	$\gamma_{B',A}$	10,0	kN/m³
Wichte des Bodens im Auftriebsnachweis:	$\gamma_{B,A}$	20,0	kN/m³
Überdeckungshöhe:	h	7,5	m

$$h_n = \text{MIN}(h_{GW}; \text{MAX}(0; h_{GW} - D_a))$$

Höhe Boden unter Auftrieb:

 h_n 0,00 m

$$Q_{r1} = (h_n \cdot \gamma_{B,A} + (h - h_n) \cdot \gamma_{B,A}) \cdot D_a$$

Baugrund:

 Q_{r1} 306,00 kN/m

$$Q_{r1,d} = Q_{r1} \cdot \gamma_u$$

Baugrund, Design:

 $Q_{r1,d}$ 290,70 kN/m

$$A_{FZ} = 0,08 \cdot r_a - \frac{r_a^2}{2} \cdot 0,0291$$

Fläche Zwickel, trocken:

 A_{FZ} 0,07 m²

$$A_{FZ'} = \frac{2 \cdot r_a^2 - \pi \cdot r_a^2}{2} - A_{FZ}$$

Fläche Zwickel, nass:

 $A_{FZ'}$ 0,38 m²

$$F_Z = A_{FZ'} \cdot \gamma_{B,A} + A_{FZ} \cdot \gamma_{B,A}$$

Kraft aus Auflast Zwickel:

 F_Z 5,13 kN/m

$$F_{Z,d} = F_Z \cdot \gamma_u$$

Kraft aus Auflast Zwickel, Design:

 $F_{Z,d}$ 4,87 kN/m

Innerer Radius:

 r_i 800,0 mm

Radiale Profilfläche:

 A_{rad} 220,00 mm²/mm

Wichte des Rohrwerkstoffs:

 γ_R 25,0 kN/m³

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

Eigenlast:

 G_m 31,45 kN/m

$$G_{m,d} = G_m \cdot \gamma_G$$

Eigenlast, Design:

 $G_{m,d}$ 29,87 kN/m

$$Q_{g,d} = G_{m,d} + Q_{r1,d} + F_{Z,d}$$

Gegenkräfte, Design:

 $Q_{g,d}$ 325,45 kN/m

$$Q_{r,d} = Q_r \cdot \gamma_Q$$

Auftriebskraft, Design:

 $Q_{r,d}$ 34,16 kN/m

$$U = \frac{Q_{r,d}}{Q_{g,d}}$$

Ausnutzung Auftrieb:

 U 10,5 %

Der Auftriebsnachweis ist erfüllt.

Alle notwendigen Nachweise sind erbracht.

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-79

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

3 Vortriebsrohr nach DWA-A 161, 2. Auflage: Vortriebsrohr - Pos. 3

Folgende Korrekturen des Arbeitsblatts DWA-A 161 berücksichtigt das Rechenmodul: DWA-A 161 04/2017, DWA-A 161 10/2017, TM 4-2019 der DB Netz AG, DWA-A 161 10/2020, DWA-A 127-10:2020-10, DWA-A 161 03/2021

Zulässige Vorpresskraft: F_j 5.588 kN

Titel der Berechnung: Vortriebsrohr - Pos. 3

Berechnungsart: Stahlbeton
Nachzuweisende Zustände: Bau- und Betriebszustand
Einbauskizze in Ausdruck: Ja
Mindestschnittgrößen im Betriebszustand drucken: Ja

3.1 Eingaben

3.1.1 Vortriebsverfahren

Verfahren: Mikrotunnel und bemannte Verfahren
Vollständige dauerhafte Ringraumverpressung: Nein
Einsatz von Stütz- oder Gleitmittel: Ja
Stütz- oder Gleitmitteldruck: p_{Stm} 5,0 bar
Ringspalt: Ringspalt > 1,0 cm bezogen auf den Radius, nicht systematisch gestützt

3.1.2 Trasse und Vortriebskraft

Verlauf der Vortriebsstrecke: Gerade
Berechnung der unplanmäßigen Abweichungen von der Sollachse (gerader Vortrieb): Ohne Pilotvortrieb
Kombinationsbeiwert für Rohrabwinklungen: ψ 0,80 [-]
Vorgabe der Vortriebskraft: Ja
Vorgegebene Vortriebskraft: $F_{j,m}$ 5.500,0 kN
Freie Eingabe der Sicherheit für Längsrichtung: Nein
Kontrollierter Einbau: Nein

3.1.3 Druckübertragungsring (DÜR)

Art der Druckübertragung: Mit Druckübertragungsring
Art der Bemessung: Vorbemessung
Anzahl der Schichten im DÜR: Zwei Schichten
Angabe der Durchmesser des DÜR: Angabe der Randabstände
Äußerer Randabstand bezogen auf tRohr: $a_{a,DÜR}$ 45 mm
Innerer Randabstand bezogen auf tRohr: $a_{i,DÜR}$ 35 mm
Schichtdicke: s_{D1} 22,00 mm
Ermittlung Ecal der Schicht: Ermittlung über Material aus Norm
Material: OSB-Platte (OSB/3, OSB/4)
Schichtdicke: s_{D2} 18,00 mm
Material: OSB-Platte (OSB/3, OSB/4)
Manuelle Angabe der Steifigkeit: Nein

3.1.4 Bodenkennwerte

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-80

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Andere Bodengruppe oberhalb Rohrscheitel: Nein
 Auflagerwinkel (Lockergestein): $2\alpha = 180^\circ$ (Regelfall)
 Manuelle Angabe des inneren Reibungswinkels des Bodens: Nein
 Manuelle Angabe der Wichte des Bodens: Nein

3.1.5 Bodenverhalten

Manuelle Angabe des Verformungsmoduls des Bodens: Nein
 Anwendung von Silotheorie: Automatisch
 Manuelle Angabe κ und κ_0 : Nein
 Manuelle Angabe von f_1 , K_1 , δ und c : Nein
 Konsistenz am Rohr: Weich bis steif
 Berücksichtigung des Konzentrationsfaktors λ : Nein

3.1.6 Lasten

Überdeckungshöhe: h 4,6 m
 Zusätzliche Flächenlast: P_0 0,00 kN/m²
 Teilsicherheitsbeiwert Wasseraußendruck: $\gamma_{F,W}$ 1,35 [-]
 Grundwasserstand über Sohle: h_{GW} 2,0 m
 Auftriebsnachweis führen: Ja
 Wichte des Bodens im Auftriebsnachweis: $\gamma_{B,A}$ 17,5 kN/m³
 Wichte des Bodens unter Auftrieb im Auftriebsnachweis: $\gamma_{B',A}$ 7,5 kN/m³
 Innendruck (Bauzustand): $P_{I,C}$ 0,0 bar
 Innendruck (Betriebszustand): $P_{I,O}$ 0,0 bar
 Rohr ist während des Vortriebs mit Flüssigkeit gefüllt: Nein
 Rohr ist im Betrieb mit Flüssigkeit gefüllt: Nein
 Freie Eingabe Sicherheitsbeiwert für Verkehrslasten: Nein
 Verkehrslast: Bahn LM 71 - mehrgleisig
 Anpassungsfaktor α_{Qi} LM71 (DIN EN 1991-2): $\alpha_{Qi,LM71}$ 1,20 [-]
 Abminderungsfaktor dynamische Last manuell eingeben: Nein
 Bahnlast liegt im Bereich der Deutschen Bundesbahn: Ja

3.1.7 Berechnungsoptionen

Beulnachweis: Nicht führen
 Verformungsnachweis: Führen
 Zulässige Verformung nach A161: Ja
 Ermüdungsnachweis: Soll mit $1 \cdot 10^8$ Lastwechseln geführt werden
 Behandlung Mindestschnittgrößen: Nach Norm
 Vergleichsspannung Mindestschnittgrößen: Mit Bemessungswerten

3.1.8 Stahlbeton-Rohr

Auswahl der Eingaben: D_i und s
 Innendurchmesser: d_i 1.600 mm
 Wandstärke: s 220 mm
 Betongüte: C40/50
 Längsdruckfestigkeit nach: DWA-A 161:2014, korrigierte Fassung vom September 2020
 Betonstahl nach Norm: Ja
 Nachweis der Rissbreite: Ja
 Abgeschlossenes Rissbild betrachten: Ja
 Zulässige Rissbreite: w_k 0,15 mm
 Vergleichsspannungsnachweis führen: Ja
 Manuelle Vorgabe $\max f_R$: Nein
 Lastklasse ermitteln: Ja
 Lastwechsel-Zahl manuell: Nein
 Verhältnis E-Moduli manuell: Nein
 Rohrlänge: L_R 3,00 m
 Minimaler Außendurchmesser: $d_{a,min}$ 2.040 mm
 Maximaler Innendurchmesser: $d_{i,max}$ 1.600 mm
 Manuelle Vorgabe λ_{asph} : Nein

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
 MA-250346

Seite: D-81

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
 D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Expositionsklasse außen:
Expositionsklasse innen:
Besondere Maßnahmen:
Abstand Längsbewehrung nach Norm:

XA1: Chemisch schwach angreifend
XA1: Chemisch schwach angreifend
Nein
Ja

Reihenfolge innere Bewehrung:
Reihenfolge äußere Bewehrung:

Längsstäbe innerhalb Ringbewehrung
Längsstäbe außerhalb Ringbewehrung

Durchmesser Ringbewehrung innen:
Abstand Ringbewehrung innen:
Durchmesser Ringbewehrung außen:
Abstand Ringbewehrung außen:

$\varnothing_{rad,i}$	14	mm
e_i	100	mm
$\varnothing_{rad,e}$	12	mm
e_e	100	mm

Durchmesser Längsbewehrung innen:
Anzahl der Längsstäbe innen:
Durchmesser Längsbewehrung außen:
Anzahl der Längsstäbe außen:

$\varnothing_{ax,i}$	10	mm
$n_{ax,i}$	28	[-]
$\varnothing_{ax,e}$	10	mm
$n_{ax,e}$	30	[-]

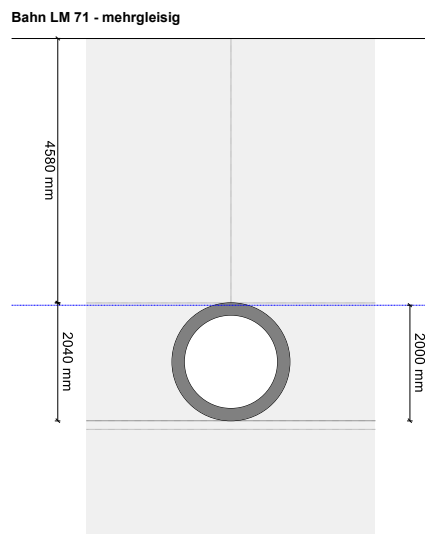
Nennmaß der Betondeckung innen:
Nennmaß der Betondeckung außen:
Teilsicherheiten manuell definieren:

$c_{nom,i}$	45,0	mm
$c_{nom,e}$	55,0	mm
Nein		

Bewehrungsmenge ermitteln:
Stahlpreis:
Betonpreis:

Ermitteln		
P_{St}	15	€/kg
P_B	750	€/m³

3.1.8.1 Systemskizze



Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-82

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Teilsicherheitsbeiwerte (Einwirkungen)

Teilsicherheitsbeiwert für Verkehrslasten (quer zur Rohrachse):	Y _Q	1,35	[-]
Teilsicherheitsbeiwert für Innendruck (Druckrohre > 0,5 bar):	Y _{F, Pi}	1,50	[-]
Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen quer zur Rohrachse:	Y _F	1,35	[-]
Teilsicherheitsbeiwert Einwirkung längs der Rohrachse:	Y _{F, ax}	1,30	[-]

3.2.2 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:	d _i	1.600,0	mm
Außendurchmesser:	d _a	2.040,0	mm
Mittlerer Radius:	r _m	910,00	mm
Wanddicke:	s	220,00	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	r _m /s	4,136	[-]

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

Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,081	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

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

Korrekturfaktor Krümmung außen:	α_{ka}	0,919	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

Lokale Vorverformung:	$\delta_{v, l}$	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	$\delta_{v, A}$	0,00	%

Axial wirksame Profilfläche:	A _{ax}	220,00	mm ² /mm
Radiale Profilfläche:	A _{rad}	220,00	mm ² /mm
Trägheitsabstand:	e	110,00	mm
Trägheitsmoment:	I	887.333,33	mm ⁴ /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	W _a	8.066,67	mm ³ /mm
Inneres Widerstandsmoment:	W _i	8.066,67	mm ³ /mm
Flächenverhältnis:	K _Q	1,2	[-]

Kleinsten Außendurchmesser:	d _{a, min}	2.040	mm
Größter Innendurchmesser:	d _{i, max}	1.600	mm
Max. Abweichung Stirnflächen von Rechtwinkligkeit:	$\Delta_{a, cal}$	8,0	mm
Länge des einzelnen Vortriebsrohres:	L _R	3,00	m

3.2.2.1 Materialeigenschaften

Wichte des Rohrwerkstoffs:	Y _R	25,0	kN/m ³
Querkontraktionszahl:	v	0,15	[-]
Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit:	f _{ck, cyl}	40,0	N/mm ²
Charakteristische Würfeldruckfestigkeit:	f _{ck, cube}	50,0	N/mm ²

$$f_{cm} = f_{ck, cyl} + 8$$

Druckfestigkeit:	f _{cm}	48,0	N/mm ²
Mittlere Zugfestigkeit:	f _{ctm}	3,5	N/mm ²

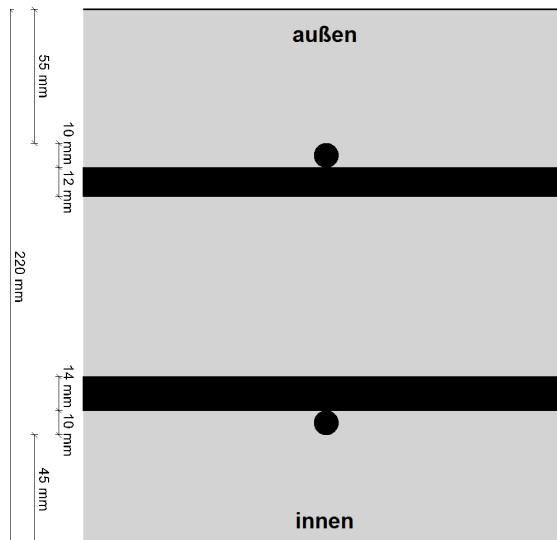
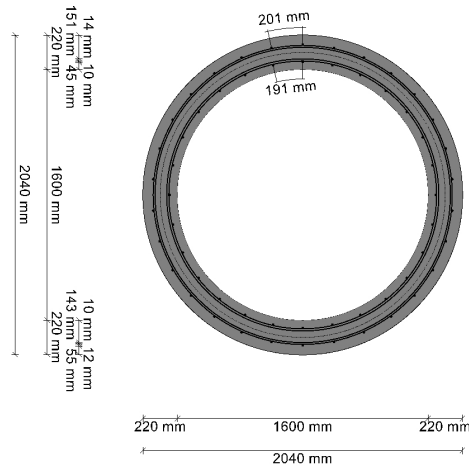
$$E_{cm} = 22 \cdot \frac{f_{cm}^{0,30}}{10} \cdot 100 \cdot 100 \cdot 100 \cdot 1.000$$

Mittlerer E-Modul (Sekantenmodul):	E _{cm}	35.220	N/mm ²
Längsdruckfestigkeit:	f _{c, ax}	40,0	N/mm ²

nach DWA-A 161 Tabelle 6) angesetzt.

Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand längs der Rohrachse:	YM,ax	1,35	[-]
Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand quer zur Rohrachse:	YM,rad	1,50	[-]
Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand auf Stabilität:	YM,stab	1,85	[-]
Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand auf Stabilität bei Berücksichtigung der Rohrverformungen:	YM,stab,red	1,45	[-]
Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Beton:	YRC	1,50	[-]
Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Stahl:	YRS	1,15	[-]

3.2.2.3 Stahlbetonrohr



Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-85

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$z_i = \frac{h}{2} - c_{\text{nom},i} - \frac{\varnothing_{\text{ax},i}}{2} - \frac{\varnothing_{\text{rad},i}}{2}$$

Hebelarm innere Ringbewehrung z_i 48,0 48,0 48,0 mm

$$z_e = \frac{h}{2} - c_{\text{nom},e} - \frac{\varnothing_{\text{ax},e}}{2} - \frac{\varnothing_{\text{rad},e}}{2}$$

Hebelarm äußere Ringbewehrung z_e 39,0 39,0 39,0 mm

$$d_{\text{ik}} = \frac{h}{2} + z_i$$

Statische Höhe innerer Bewehrungskorb d_{ik} 158,0 158,0 158,0 mm

$$d_{\text{ek}} = \frac{h}{2} + z_e$$

Statische Höhe äußerer Bewehrungskorb d_{ek} 149,0 149,0 149,0 mm

Verhältnis E-Modul Stahl zu E-Modul Beton nach DIN V 1201:2004-08: n 15,0 [-]

$$z_{\text{id}} = \frac{z_i \cdot n \cdot \text{vorh } a_{\text{S},i} - z_e \cdot n \cdot \text{vorh } a_{\text{S},e}}{A_{\text{id}}}$$

z_{id} 1,7 1,7 1,7 mm

$$A_{\text{id}} = h + 15 \cdot \text{vorh } a_{\text{S},i} + n \cdot \text{vorh } a_{\text{S},e}$$

Ideelle Querschnittsfläche A_{id} 2.600,55 2.600,55 2.600,55 cm²/m

$$I_{\text{id}} = \frac{h^3}{12} + h \cdot z_{\text{id}}^2 + n \cdot \text{vorh } a_{\text{S},i} \cdot z_i - z_{\text{id}}^2 + n \cdot \text{vorh } a_{\text{S},e} \cdot z_e + z_{\text{id}}^2$$

Ideeles Trägheitsmoment I_{id} 965.570,1 965.570,1 965.570,1 mm⁴/mm

$$W_{\text{id},a} = \frac{I_{\text{id}}}{\frac{h}{2} + z_{\text{id}}}$$

Ideeles Widerstandsmoment, außen $W_{\text{id},a}$ 8.642,93 8.642,93 8.642,93 mm³/mm

$$W_{\text{id},i} = \frac{I_{\text{id}}}{\frac{h}{2} - z_{\text{id}}}$$

Ideeles Widerstandsmoment, innen $W_{\text{id},i}$ 8.917,17 8.917,17 8.917,17 mm³/mm

Nennmaß der Betondeckung innen $c_{\text{nom},i}$ 45,0 45,0 45,0 mm

Nennmaß der Betondeckung außen $c_{\text{nom},e}$ 55,0 55,0 55,0 mm

3.2.3 Nicht lastabhängige Nachweise, Stahlbeton

3.2.3.1 Mindestbetongüte infolge der gewählten Expositionsklasse

Mindestbetongüte, Außen: C25/30
Mindestbetongüte, Innen: C25/30

Betonmärke: C40/50

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-86

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

3.2.3.2 Überprüfung der Mindestwanddicke (DIN V 1201:2004-08 5.3.5.2)

Betongüte: C40/50
 Mindestwert für Wandicken/Radius-Verhältnis: min. t/r_m 0,17 [-]
 Innendurchmesser: d_i 1.600,0 mm

$$\min. t = \frac{\min. t/r_m}{2 - \min. t/r_m} \cdot d_i$$

Berechnete Mindestwanddicke: min. t 148,6 mm

Die Mindestwanddicke nach DIN V 1201:2004-08, 5.3.5.2 wird eingehalten bzw. übertroffen.

3.2.3.3 Überprüfung der Mindestbewehrung (DIN V 1201:2004-08 5.3.7)

Vorhandene Ringbewehrung innen: vorh. $a_{sring,i}$ 15,39 cm²/m
 min. $a_{s,i} = 0,004 \cdot \min. t$ DIN V 1201 5.3.7

Mindest-Ringbewehrung innen DIN V 1201, 5.3.7: min. $a_{s,i}$ 5,95 cm²/m

Vorhandene Ringbewehrung außen: vorh. $a_{sring,e}$ 11,31 cm²/m

min. $a_{s,e} = 0,003 \cdot \min. t$ DIN V 1201 5.3.7

Mindest-Ringbewehrung außen DIN V 1201, 5.3.7: min. $a_{s,e}$ 4,46 cm²/m

Vorhandene Bewehrung	vorh. a_s	Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mindestbewehrung	min. a_s	15,39	11,31	15,39	cm ² /m
		5,95	4,46	5,95	cm ² /m

$$U \min. a_s = \frac{\min. a_s}{\text{vorh. } a_s}$$

Ausnutzung Bewehrung (Mindestbewehrung DIN) U min. a_s 38,6 39,4 38,6 %

Die Mindestbewehrung nach DIN V 1201:2004-08, 5.3.7 wird eingehalten bzw. übertroffen.

3.2.3.4 Überprüfung der äußeren Bewehrung (DIN V 1201:2004-08 5.2.6)

$$\text{vorh. } a_{sring,i} = \frac{\varnothing_{rad,i}^2}{2} \cdot \pi \cdot \frac{1}{e_i}$$

Vorhandene Ringbewehrung innen: vorh. $a_{sring,i}$ 15,39 cm²/m

$$a_{s,e,60\%i} = 0,60 \cdot \text{vorh. } a_{sring,i}$$

Erforderliche Ringbewehrung außen (DIN V 1201 5.2.6): $a_{s,e,60\%i}$ 9,24 cm²/m

Vorhandene Ringbewehrung außen: vorh. $a_{sring,e}$ 11,31 cm²/m

Vorhandene Ringbewehrung außen, Anteil (DIN V 1201 5.2.6): $a_{s,e/i\%}$ 73,47 %

3.2.3.5 Abstand und Anzahl der Längsstäbe (DIN V 1201:2004-08 5.2.1)

Maximaler Soll-Abstand Längsbewehrung: $e_{L,max}$ 333 mm

Anzahl der Längsstäbe innen: $n_{ax,i}$ 28 [-]

$$r_i = \frac{d_i}{2} + c_{nom,i} + \frac{\varnothing_{ax,i}}{2}$$

Angesetzter Radius innen: r_i 850 mm

$$U_{Li,vor} = 2 \cdot r_i \cdot \pi$$

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-87

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Vorhandener Abstand Längsbewehrung:	$e_{L,vor,i}$	191	mm
$vorh\ a_{S,L,i} = \frac{\varnothing_{ax,i}^2}{2} \cdot \pi \cdot \frac{1}{e_{L,vor,i}}$			
Vorhandene Längsbewehrung innerer Korb:	$vorh\ a_{S,L,i}$	4,12	cm ² /m
Anzahl der Längsstäbe außen:	$n_{ax,e}$	30	[-]
$r_e = \frac{d_a}{2} - 0,055 - \frac{\varnothing_{ax,e}}{2}$			
Angesetzter Radius außen, bezogen auf Kämpfer:	r_e	960	mm
$U_{Le,vor} = 2 \cdot r_e \cdot \pi$			
Vorhandener Umfang Längsbewehrung außen:	$U_{Le,vor}$	6.032	mm
Vorhandener Abstand Längsbewehrung:	$e_{L,vor,e}$	201	mm
$vorh\ a_{S,L,e} = \frac{\varnothing_{ax,e}^2}{2} \cdot \pi \cdot \frac{1}{e_{L,vor,e}}$			
Vorhandene Längsbewehrung äußerer Korb:	$vorh\ a_{S,L,e}$	3,91	cm ² /m

Bahnlast: Der Nachweis bzgl. 1/5 der Querbewehrung wird bei der Bemessung der Ringbewehrung geführt.

Der Abstand der Längsstäbe ist ausreichend klein.

3.2.3.6 Betondeckung (DIN V 1201:2004-08 5.2.2)

Es wird ein Vorhaltemaß von 10 mm angesetzt (Rohr nach DIN V 1201).

Die erforderliche Betonüberdeckung wurde um 5 mm reduziert gemäß Arbeitsblatt 6 des ISB: Gewählte Festigkeitsklasse ist min. zwei Klassen größer als die Mindestbetonfestigkeitsklasse.

Die erforderliche Betonüberdeckung außen wurde um 5 mm erhöht (Vortriebsrohr).

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Erf. Betondeckung außen	erf. $c_{nom,e}$	35,0	35,0	35,0	mm
Nennmaß der Betondeckung außen	$c_{nom,e}$	55,0	55,0	55,0	mm

Die Betondeckung (außen) ist ausreichend.

Die erforderliche Betonüberdeckung wurde um 5 mm reduziert gemäß Arbeitsblatt 6 des ISB: Gewählte Festigkeitsklasse ist min. zwei Klassen größer als die Mindestbetonfestigkeitsklasse.

Erf. Betondeckung innen	erf. $c_{nom,i}$	30,0	30,0	30,0	mm
Nennmaß der Betondeckung innen	$c_{nom,i}$	45,0	45,0	45,0	mm

Die Betondeckung (innen) ist ausreichend.

3.2.3.7 Bemessung mit Mindestschnittgröße

$$f_{t,fl,d} = \frac{f_{t,fl}}{Y_{M,rad}}$$

Maximal zulässige Ringbiegezugspannung:	$f_{t,fl,d}$	4,0	N/mm ²
---	--------------	-----	-------------------

$$f_{c,rad,d} = \frac{f_{c,rad}}{Y_{M,rad}}$$

Maximal zulässige Ringbiegedruckspannung:	$f_{c,rad,d}$	26,7	N/mm ²
---	---------------	------	-------------------

$$\sigma_{\perp} = 1,0 \cdot 10,5 = 10,5 \text{ N/mm}^2 < 11,0 \text{ N/mm}^2 \quad (10)$$

		Scheitel 45·m ² ·kmin (47a) 37,265	Kämpfer -45·m ² ·kmin (47b) -37,265	Sohle 45·m ² ·kmin (47c) 37,265	
Bemessungsmoment für Mindestbemessung	M _{d,min}				kNm/m
		-135·m·kmin (48a) -122,850	-270·m·kmin (48b) -245,700	-135·m·kmin (48c) -122,850	
Bemessungsnormalkraft für Mindestbemessung	N _{d,min}				kN/m
<i>Ringbewehrung</i>					
Hebelarm innere Ringbewehrung	z _i	48,0	39,0	48,0	mm
$M_{Ed,s,min} = M_{d,min} - z_i \cdot N_{d,min}$					
Auslegungsmoment	M _{Ed,s,min}	43,161	46,847	43,161	kNm/m
$\mu_{Ed,s} = M_{Ed,s,min} / (d^2 \cdot f_{cd})$					
Normiertes Auslegungsmoment	μ _{Ed,s}	0,0763	0,0931	0,0763	[-]
Erforderlicher mechanischer Bewehrungsgrad	ω _{min}	0,0796	0,0980	0,0796	[-]
Statische Höhe	d	0,158	0,149	0,158	m
$\sigma_{s,d,min} = f_{yd}$					
Rechenwert der Stahlgrenzspannung	σ _{s,d,min}	434,78	434,78	434,78	N/mm ²
$a_{s,calc,min} = \frac{\omega_{min} \cdot 1 \cdot d \cdot f_{cd} + N_{d,min}}{\sigma_{s,d,min}}$					
Rechnerisch erforderliche Bewehrung	a _{s,calc,min}	3,73	1,96	3,73	cm ² /m
Vorhandene Bewehrung	vorh. a _s	15,39	11,31	15,39	cm ² /m
Ausnutzung Bewehrung	U a _{s,calc,min}	24,2	17,4	24,2	%

Die gewählte Bewehrung ist ausreichend.

Vergleichsspannung

		Scheitel 37,265	Kämpfer -37,265	Sohle 37,265	
Anzunehmendes Moment	M _{d,min}				kNm/m
Ideelles Widerstandsmoment, Zugseite	W _{id}	8.917,17	8.642,93	8.917,17	mm ³ /mm
$\sigma_{M,E,min} = \frac{ M_{d,min} }{W_{id}}$					
Biegespannungsanteil aus Biegemomenten	σ _{M,E,min}	4,1790	4,3116	4,1790	N/mm ²
Anzunehmende Normalkraft	N _{d,min}	-122,850	-245,700	-122,850	kN/m
Ideelle Querschnittsfläche	A _{id}	2.600,55	2.600,55	2.600,55	cm ² /m
$\sigma_{N,E,min} = \frac{N_{d,min}}{A_{id}}$					
Spannungsanteil aus Normalkräften	σ _{N,E,min}	-0,4724	-0,9448	-0,4724	N/mm ²
$f_{t,fl,min} = \sigma_{M,E,min} + \sigma_{N,E,min}$					
Maßgebliche Biegezugspannung	f _{t,fl,min}	3,7066	3,3668	3,7066	N/mm ²
Spannungsverhältnis	σ _{N,E,min} /σ _{M,E,min}	-0,1130	-0,2191	-0,1130	[-]
Profilhöhe	h	220,00	220,00	220,00	mm
Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9	f _{R,min}	1,03	0,94	1,03	[-]
$\sigma_{VR,min} = f_{R,min} \cdot f_{t,fl,min}$					

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-89

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$\max \sigma_{VR} = \text{MIN: } 6 \text{ N/mm}^2 ; \frac{f_{ctm}}{3,50} \cdot 6$$

Maximale Rohrvergleichsspannung nach DIN V 1201:		max σ_{VR}	6,0	N/mm ²
Ausnutzung Rohrvergleichsspannung (Mindestbemessung)	U $\sigma_{VR,min}$	63,9	52,6	63,9 %

Der Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist erbracht.

3.2.4 Zwischenergebnisse Boden

Wichte des Bodens:	γ_B	20,0	kN/m ³
Wichte des Bodens unter Auftrieb:	γ'_B	10,0	kN/m ³
Bodengruppe am Rohr:	G4		
Innerer Reibungswinkel am Rohr:	φ'_2	15,0	°
Grundwert des Verformungsmodul Boden:	E ₀	15,00	N/mm ²
Faktor für die Lagerungsdichte/Konsistenz nach A161, Tabelle 3/4:	f ₁	0,40	[-]
Auflockerungsfaktor nach A161, Tabelle 5:	f ₂	0,40	[-]
Innerer Reibungswinkel über Rohrscheitel:	φ'_1	15,0	°
Spannungsexponent:	z	0,7	[-]

$$\delta/\varphi'_1 = \frac{\delta}{\varphi'_1}$$

Verhältnis Reibungswinkel Scherfuge / Innerer Reibungswinkel:	δ/φ'_1	0,50	[-]
Reibungswinkel in der Scherfuge:	δ	7,50	°
Erddruckverhältnis über Rohrscheitel:	K ₁	0,50	[-]

$$b = d_a \cdot \sqrt{3} \quad (7)$$

Einflußbreite des Bodens über dem Rohr:	b	3,53	m
---	---	------	---

$$\kappa = \frac{1 - e^{\left(-2 \cdot \frac{h}{b} \cdot K_1 \cdot \tan \delta\right)}}{2 \cdot \frac{h}{b} \cdot K_1 \cdot \tan \delta} \quad (8)$$

Abminderungsfaktor Erdlast:	κ	0,919	[-]
-----------------------------	----------	-------	-----

$$\kappa_0 = e^{\left(-2 \cdot \frac{h}{b} \cdot K_1 \cdot \tan \delta\right)} \quad (9)$$

Abminderungsfaktor Flächenlast:	κ_0	0,843	[-]
Hinweis zur Silotheorie:	Die Silotheorie kann angewendet werden.		
Berücksichtigung des Konzentrationsfaktors λF notwendig:	Ja		
Konzentrationsfaktor:	λ	1,000	[-]
Basis-Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel:	K _{2,0}	0,74	[-]

$$K_{2,Bau} = K_{2,0} \cdot f_2 \leq K_{2,0} \leq 0,4 \quad (4)$$

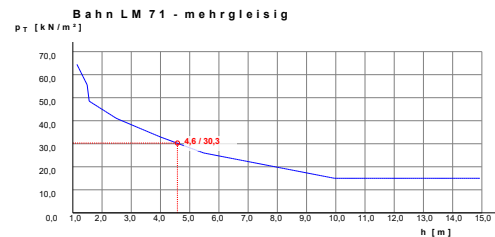
Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel, Bauzustand:	K _{2,Bau}	0,30	[-]
--	--------------------	------	-----

$$K_{2,End} = K_{2,Bau} + 0,1 \leq K_{2,0} \leq 0,5 \quad (4)$$

Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel, Endzustand:	K _{2,End}	0,40	[-]
--	--------------------	------	-----

3.2.5 Bauzustand

3.2.5.1 Belastungen Bauzustand



$$\Phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{LF - 0,2}} + 0,82 \quad (21)$$

$$1,0 \leq \Phi_2 \leq 1,67 \quad (21)$$

Stoßbeiwert:

$$\Phi_2 \quad 1,67 \quad [-]$$

$$\text{red } \Phi_2 = \Phi_2 - 0,1 \cdot (h_{\text{ü}} - 1,0) \geq 1 \quad (22)$$

Stoßbeiwert reduziert:

$$\text{red } \Phi_2 \quad 1,31 \quad [-]$$

Anpassungsfaktor $\alpha_{Qi, LM71}$ (DIN EN 1991-2):

$$\alpha_{Qi, LM71} \quad 1,20 \quad [-]$$

Einfache Bodenspannung aus Verkehr:

$$p \quad 30,29 \quad \text{kN/m}^2$$

$$p_T = \text{red } \Phi_2 \cdot p \cdot \alpha_{Qi, LM71} \quad A \ 161 \ (23a)$$

Vertikale Bodenspannung aus Verkehrslast in Scheitelhöhe:

$$p_T \quad 47,69 \quad \text{kN/m}^2$$

Vertikale Bodenspannung aus Verkehrslast in Kämpferhöhe (ohne ϕ):
Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel:

$$p_K \quad 25,76 \quad \text{kN/m}^2$$

$$K_2 \quad 0,30 \quad [-]$$

$$p_{T,h} = (0,50 \cdot (\text{red } \Phi_2 - 1) + 1) \cdot p_K \cdot K_2 \cdot \alpha_{Qi, LM71} \quad A \ 161 \ (23b)$$

Horizontale Bodenspannung aus Verkehr:

$$p_{T,h} \quad 10,59 \quad \text{kN/m}^2$$

$$p_{Ev} = \kappa \cdot \gamma_B \cdot (h - h_{GW} + d_a) + \kappa \cdot \gamma'_B \cdot (h_{GW} - d_a) + \kappa_0 \cdot p_0 \quad (5b)$$

Vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene:

$$p_{Ev} \quad 84,211 \quad \text{kN/m}^2$$

Wirksame vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene:

$$q_{Ev} \quad 84,211 \quad \text{kN/m}^2$$

$$q_{\text{Ges},v} = q_0 + p_T \quad (53)$$

Vertikale Gesamt-Bodenspannung in Rohrscheitelebene:

$$q_{\text{Ges},v} \quad 157,702 \quad \text{kN/m}^2$$

Die Erddruckverteilung am Rohr wird $\cos^2$ - bzw. $\sin^2$ -förmig angenommen.:

$$\text{Ja}$$

Grundwasserstand im Bereich der oberen Rohrhälfte:

$$h_{GW, oRh} \quad 2,000 \quad \text{m}$$

$$q_0 = \frac{3}{2 + K_2} \cdot q_{Ev} \quad (26)$$

Radiale Erdlast auf das Rohr während des Vortriebs:

$$q_0 \quad 110,009 \quad \text{kN/m}^2$$

$$q_{0,h} = \left(q_0 + \frac{\gamma'_B \cdot d_a}{2} \right) \cdot K_2 \quad (34a)$$

Horizontale Bodenspannung während des Vortriebs:

$$q_{0,h} \quad 35,639 \quad \text{kN/m}^2$$

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite:
D-91

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$q_{\text{Ges,h}} = q_{0,h} + p_{\text{Th}} \quad (53)$$

Horizontale Gesamt-Bodenspannung am Rohr: $q_{\text{Ges,h}}$ 46,231 kN/m²

Innerer Überdruck: p_i 0,000 bar

Äußerer Überdruck über Rohrscheitel: $p_{a,Sc}$ 0,000 bar

Rohrsteifigkeit: S_R 41.472 kN/m²

Rohrsteifigkeit: $\bar{S}_R$ 41.472 kN/m²

Normierender Bezugswert: $\sigma_{B,0}$ 100,0 kN/m²

$$f_3 = \left(\frac{p_{Ev}}{\sigma_{B,0}} \right)^z \geq 1 \quad (2)$$

Spannungsabhängiger Erhöhungsfaktor: f_3 1,00 [-]

$$E_B = E_0 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \quad (1)$$

Verformungsmodul Boden: E_B 2,40 N/mm²

Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel: K_2 0,30 [-]

$$S_{Bh} = 0,60 \cdot E_B \quad (18)$$

Bettungssteifigkeit: S_{Bh} 1,44 N/mm²

$$V_{RB} = \frac{\bar{S}_R}{S_{Bh}} \quad (14)$$

Systemsteifigkeit: V_{RB} 28,8002 [-]

Das Rohr-Bodensystem verhält sich biegeweich: Nein

3.2.5.2 Schnittkräfte Bauzustand

Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen quer zur Rohrachse: γ_F 1,35 [-]

Teilsicherheitsbeiwert Wasseraußendruck: $\gamma_{F,W}$ 1,35 [-]

Mittlerer Radius: r_m 910,00 mm

Innerer Überdruck: p_i 0,000 bar

Äußerer Überdruck über Rohrscheitel: $p_{a,Sc}$ 0,000 bar

Radiale Erdlast auf das Rohr während des Vortriebs: q_0 110,009 kN/m²

Horizontale Bodenspannung während des Vortriebs: $q_{0,h}$ 35,639 kN/m²

Vertikale Bodenspannung infolge Verkehrslast: p_T 47,69 kN/m²

Horizontale Bodenspannung infolge Verkehrslast: p_{Th} 10,59 kN/m²

Vertikale Gesamt-Bodenspannung in Rohrscheitelebene: $q_{\text{Ges,v}}$ 157,702 kN/m²

Horizontale Gesamt-Bodenspannung am Rohr: $q_{\text{Ges,h}}$ 46,231 kN/m²

Momente: m_{q_0} Scheitel 0,167 Kämpfer -0,167 Sohle 0,167 [-]

$$M_{q0v,d} = \gamma_F \cdot m_{q_0} \cdot q_0 \cdot r_m^2 \quad (24)$$

Vertikale Belastung aus Erdüberdeckung $M_{q0v,d}$ 20,538 -20,538 20,538 kNm/m

m_{pT} 0,250 -0,250 0,250 [-]

$$M_{pTv,d} = \gamma_Q \cdot m_{pT} \cdot p_T \cdot r_m^2 \quad (29)$$

Vertikale Belastung aus Verkehr $M_{pTv,d}$ 13,330 -13,330 13,330 kNm/m

m_{pTh} -0,250 0,250 -0,250 [-]

$$M_{pTh,d} = \gamma_Q \cdot m_{pTh} \cdot p_{Th} \cdot r_m^2 \quad (31)$$

Horizontale Belastung aus Verkehr $M_{pTh,d}$ -2,960 2,960 -2,960 kNm/m

m_{qh} -0,167 0,167 -0,167 [-]

Horizontale Belastung aus Erdüberdeckung	$M_{qh,d}$ m_g	-6,654 0,384	6,654 -0,437	-6,654 0,706	kNm/m [-]
$M_{g,d} = \gamma_F \cdot m_g \cdot \gamma_R \cdot s \cdot r_m^2$ (37)					
Eigengewicht	$M_{g,d}$ m_w	2,361 0,192	-2,687 -0,219	4,341 0,353	kNm/m [-]
$M_{w,d} = \gamma_F \cdot m_w \cdot \gamma_W \cdot r_m^3$ (39)					
Wasserfüllung bis Rohrscheitel	$M_{w,d}$ m_a	0,000 -0,192	0,000 0,219	0,000 -0,353	kNm/m [-]
$M_{a,d} = \gamma_{F,W} \cdot m_a \cdot \gamma_W \cdot r_m^3$ (41)					
Auftrieb (äußerer Wasserstand bis Scheitel)	$M_{a,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
$M_{pw,d} = ((\gamma_F \cdot p_i) - (\gamma_{F,W} \cdot P_a)) \cdot r_i \cdot r_a \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{r_i \cdot r_a}{r_a^2 - r_i^2} \cdot \ln \cdot \frac{r_a}{r_i} \right)$ (43)					
Wasserdruck	$M_{pw,d}$ m_{qh^*}	0,000 -0,181	0,000 0,208	0,000 -0,181	kNm/m [-]
$M_{qEh^*,d} = \gamma_F \cdot m_{qh^*} \cdot q_{Eh^*} \cdot r_m^2$ (45a)					
Bettungsreaktionsdruck Erdlast	$M_{qEh^*,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
$M_{qTh^*,d} = \gamma_Q \cdot m_{qh^*} \cdot q_{Th^*} \cdot r_m^2$ (45b)					
Bettungsreaktionsdruck Verkehr	$M_{qTh^*,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
$M_{qh^*,d} = M_{qTh^*,d} + M_{qEh^*,d}$					
Bettungsreaktionsdruck	$M_{qh^*,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Momente	ΣM_d	26,615	-26,941	28,595	kNm/m
Summe Erd- und Verkehrslasten	$\Sigma M_{qv,qh,qh^*,d}$	24,254	-24,254	24,254	kNm/m
Summe andere Lasten	$\Sigma M_{sonst,d}$	2,361	-2,687	4,341	kNm/m
Normalkräfte:					
	n_{q0}	Scheitel -0,333	Kämpfer -0,667	Sohle -0,333	[-]
$N_{q0v,d} = \gamma_F \cdot n_{q0} \cdot q_0 \cdot r_m$ (25)					
Vertikale Belastung aus Erdüberdeckung	$N_{q0v,d}$ n_{pT}	-45,003 0,000	-90,142 -1,000	-45,003 0,000	kN/m [-]
$N_{pTv,d} = \gamma_Q \cdot n_{pT} \cdot p_T \cdot r_m$ (30)					
Vertikale Belastung aus Verkehr	$N_{pTv,d}$ n_{pTh}	0,000 -1,000	-58,592 0,000	0,000 -1,000	kN/m [-]
$N_{pTh,d} = \gamma_Q \cdot n_{pTh} \cdot p_{Th} \cdot r_m$ (32)					
Horizontale Belastung aus Verkehr	$N_{pTh,d}$ n_{qh}	-13,013 -0,667	0,000 -0,333	-13,013 -0,667	kN/m [-]
$N_{qh,d} = \gamma_F \cdot n_{qh} \cdot q_{0,h} \cdot r_m$ (34)					
Horizontale Belastung aus Erdüberdeckung	$N_{qh,d}$ n_g	-29,203 0,250	-14,579 -1,571	-29,203 -1,428	kN/m [-]
$N_{g,d} = \gamma_F \cdot n_g \cdot \gamma_R \cdot s \cdot r_m$ (38)					
Eigengewicht	$N_{g,d}$ n_w	1,689 0,625	-10,615 0,215	-9,649 0,786	kN/m [-]

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-93

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$N_{w,d} = \gamma_F \cdot n_w \cdot \gamma_W \cdot r_m^2 \quad (40)$$

Wasserfüllung bis Rohrscheitel	$N_{w,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
	m_a	-0,625	-0,215	-0,786	[-]

$$N_{a,d} = \gamma_{F,W} \cdot m_a \cdot \gamma_W \cdot r_m^2 \quad (42)$$

Auftrieb (äußerer Wasserstand bis Scheitel)	$N_{a,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
---	-----------	-------	-------	-------	------

$$N_{pw,d} = (\gamma_F \cdot p_i \cdot r_i) - (\gamma_{F,W} \cdot P_a \cdot r_a) \quad (44)$$

Wasserdruck	$N_{pw,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
-------------	------------	-------	-------	-------	------

Summe der Normalkräfte	ΣN_d	-85,530	-173,928	-96,867	kN/m
------------------------	--------------	---------	----------	---------	------

$$\Sigma N_{qv,qh,qh^*,d} = N_{q0v,d} + N_{pTv,d} + N_{qh,d} + N_{pTh,d} + N_{qh^*,d}$$

Summe Erd- und Verkehrslasten	$\Sigma N_{qv,qh,qh^*,d}$	-87,219	-163,313	-87,219	kN/m
-------------------------------	---------------------------	---------	----------	---------	------

$$\Sigma N_{sonst,d} = N_{g,d} + N_{w,d} + N_{a,d} + N_{pw,d}$$

Summe andere Lasten	$\Sigma N_{sonst,d}$	1,689	-10,615	-9,649	kN/m
---------------------	----------------------	-------	---------	--------	------

3.2.5.3 Verformungsnachweis Bauzustand

Verformungsbeiwert:

$$c_{v,qh^*} \quad 0,0640 \quad [-]$$

Verformungsbeiwert:

$$c_{v,qv} \quad -0,0833 \quad [-]$$

$$K^* = \frac{c_{h,qv}}{V_{RB} - c_{h,qh^*}}$$

Beiwert des Bettungsreaktionsdruckes:

$$K^* \quad 0,003 \quad [-]$$

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

$$A \ 127 \ (6.13); \ A \ 161 \ (52a-d)$$

Verformungsbeiwert:

$$c_v^* \quad -0,083 \quad [-]$$

$$q_0 = \frac{3}{2 + K_2} \cdot q_{Ev} \quad (26)$$

Radiale Erdlast auf das Rohr während des Vortriebs:
Vertikale Bodenspannung infolge Verkehrslast:

q_0	110,009	kN/m ²
p_T	47,69	kN/m ²

$$q_{Ges,v} = q_0 + p_T \quad (53)$$

Vertikale Gesamt-Bodenspannung in Rohrscheitelebene:

$q_{Ges,v}$	157,702	kN/m ²
-------------	---------	-------------------

$$q_{0,h} = \left(q_0 + \frac{\gamma'_B \cdot d_a}{2} \right) \cdot K_2 \quad (34a)$$

Horizontale Bodenspannung während des Vortriebs:
Horizontale Bodenspannung infolge Verkehrslast:

$q_{0,h}$	35,639	kN/m ²
p_{Th}	10,59	kN/m ²

$$q_{Ges,h} = q_{0,h} + p_{Th} \quad (53)$$

Horizontale Gesamt-Bodenspannung am Rohr:

$q_{Ges,h}$	46,231	kN/m ²
-------------	--------	-------------------

$$\delta_v = |c_v^* \cdot \frac{q_{Ges,v} - q_{Ges,h}}{\bar{S}_R} \cdot 100| \quad (51)$$

Relative vertikale Durchmesseränderung:
Zulässige vertikale Durchmesseränderung:

δ_v	0,02	%
zul δ_v	0,55	%

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-94

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$U_{\delta V} = \frac{\delta_V}{\text{zul } \delta_V}$$

Ausnutzungsgrad Verformung:

 $U_{\delta V}$ 3,4 %

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

3.2.5.4 Beulnachweis Bauzustand

Der Beulnachweis wurde vom Nutzer deaktiviert.

3.2.5.5 Bemessung Ringbewehrung

Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Beton:

 γ_{RC} 1,50 [-]

Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Stahl:

 γ_{RS} 1,15 [-]

Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit:

 $f_{ck,cyl}$ 40,0 N/mm²

$$f_{cd} = \frac{0,85 \cdot f_{ck,cyl}}{\gamma_{RC}}$$

Bemessungswert Beton:

 f_{cd} 22,67 N/mm²

Nennstreckgrenze:

 f_{yk} 500 N/mm²

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{RS}}$$

Bemessungswert Betonstahl:

 f_{yd} 434,78 N/mm²

Summe der Momente

 M_E

Scheitel

 f_{yd}

434,78

N/mm²

Summe der Momente inkl.

 M_{Ed}

26,615

-19,956

21,181

kNm/m

Teilsicherheitsbeiwert

Summe Normalkraft

 N_E

-63,355

-128,836

-71,754

kN/m

Summe der Normalkräfte inkl.

 N_{Ed}

-85,530

-173,928

-96,867

kN/m

Teilsicherheitsbeiwert

Bemessung:

Hebelarm innere Ringbewehrung

 z_i

Scheitel

Kämpfer

Sohle

mm

$$M_{Eds} = |M_{Ed}| - N_{Ed} \cdot z_i$$

Auslegungsmoment Plattenbemessung

 M_{Eds}

30,720

33,724

33,244

kNm/m

$$\sigma_{s,d} = f_{yd}$$

Rechenwert der Stahlgrenzspannung

 $\sigma_{s,d}$

434,78

434,78

434,78

N/mm²

Statische Höhe

 d

0,158

0,149

0,158

m

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{d^2 \cdot f_{cd}}$$

Normiertes Auslegungsmoment

 μ_{Eds}

0,0543

0,0670

0,0588

[-]

Erforderlicher mechanischer Bewehrungsgrad

 ω

0,0560

0,0696

0,0608

[-]

$$a_{s,calc} = \frac{\omega \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed}}{\sigma_{s,d}}$$

Erforderliche Bewehrung (Bemessung)

 $a_{s,calc}$

2,65

1,41

2,78

cm²/m

Vorhandene Bewehrung

vorh. a_s

15,39

11,31

15,39

cm²/m

Ausnutzung Bewehrung (Bemessung)

 $U a_{s,calc}$

17,2

12,4

18,0

%

Die gewählte Bewehrung ist ausreichend.

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite:
D-95

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Nach RIL 836.4501 Abschnitt 1 (4) [Korrektur TM vom 4.7.2014] muss die Längsbewehrung mindestens 1/5 (20%) der erforderlichen Ringbewehrung für vorwiegend ruhende Belastung betragen.

Vorhandene Längsbewehrung vorh. $a_{s,L}$ 4,12 3,91 4,12 cm^2/m

$$a_{s,calc,L} = 0,20 \cdot a_{s,calc}$$

Erforderliche Längsbewehrung (Bemessung) $a_{s,calc,L}$ 0,53 0,28 0,56 cm^2/m

$$U_{a_{s,calc,L}} = \frac{a_{s,calc,L}}{\text{vorh. } a_{s,L}}$$

Ausnutzung Längsbewehrung (Bemessung) $U_{a_{s,calc,L}}$ 12,9 7,2 13,5 %

Die gewählte Längsbewehrung ist ausreichend.

3.2.5.7 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (DIN V 1201:2004-08 5.2.5)

Ideeles Widerstandsmoment, Zugseite W_{id} Scheitel 8.917,17 Kämpfer 8.642,93 Sohle 8.917,17 mm^3/mm

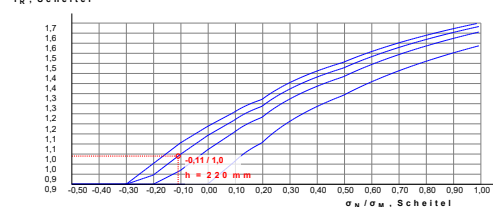
$$|\sigma_{M,E}| = \frac{M_E}{W_{id}}$$

Biegespannungsanteil aus Biegemomenten $\sigma_{M,E}$ 2,2109 2,3089 2,3753 N/mm^2
Spannungsanteil aus Normalkräften $\sigma_{N,E}$ -0,2436 -0,4954 -0,2759 N/mm^2

$$f_{t,fl} = \sigma_{M,E} + \sigma_{N,E}$$

Maßgebliche Biegezugspannung $f_{t,fl}$ 1,9672 1,8135 2,0994 N/mm^2
Spannungsverhältnis σ_N/σ_M -0,1102 -0,2146 -0,1162 [-]
Profilhöhe h 220,00 220,00 220,00 mm

Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9



Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9 f_R 1,04 0,94 1,03 [-]

$$\sigma_{VR} = f_R \cdot f_{t,fl}$$

Rohrvergleichsspannung unter Risskraft im Zustand I σ_{VR} 2,04 1,70 2,16 N/mm^2

Mittlere Zugfestigkeit: f_{ctm} 3,5 N/mm^2

$$\max \sigma_{VR} = \text{MIN: } 6 \text{ N/mm}^2 ; \frac{f_{ctm}}{3,50} \cdot 6$$

Maximale Rohrvergleichsspannung nach DIN V 1201: $\max \sigma_{VR}$ 6,0 N/mm^2

$$U_{\sigma_{VR}} = \frac{\sigma_{VR}}{\max \sigma_{VR}}$$

Ausnutzung Rohrvergleichsspannung $U_{\sigma_{VR}}$ 34,0 28,4 36,1 %

Der Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist erbracht.

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-96

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

3.2.5.8 Rissnachweis Gesamtlast nach DIN EN 1992-1-1

Bei der Ermittlung von Spannungen und Verformungen ist in der Regel von ungerissenen Querschnitten auszugehen (Zustand I), wenn die Biegezugspannung $f_{ct,eff}$ nicht überschreitet (EC 2-1-1, 7.3.2 (3)). Alle Einwirkungen werden mit $\gamma = 1,0$ und $\psi_{0,i}$ angesetzt. Dies entspricht einem charakteristischen Niveau bei gleichzeitigem Auftreten aller vorhandenen Einwirkungen. Bemessungswerte können als char. Werte aufgefasst werden.

Breite des Querschnitts:	b	1.000,00	mm
Mittlerer E-Modul (Sekantenmodul):	E_{cm}	35.220	N/mm ²
Elastizitätsmodul Betonstahl:	E_s	200.000	N/mm ²

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

Verhältnis der E-Moduln:	α_e	5,68	[-]
--------------------------	------------	------	-----

$$f_{ct,eff} = f_{ctm}$$

Wirksame Zugfestigkeit des Betons (ohne Mindestwert):	$f_{ct,eff}$	3,51	N/mm ²
Profilhöhe	h	220,00	mm

Relevanter Stahldurchmesser	d_s	14,00	12,00	14,00	mm
-----------------------------	-------	-------	-------	-------	----

$$\text{vorh } a_{s,i} = 0,7854 \cdot n_{Ring,i} \cdot \varnothing_{rad,i}^2$$

Vorhandener Stahlquerschnitt innerer Korb	vorh $a_{s,i}$	15,39	11,31	15,39	cm ² /m
---	----------------	-------	-------	-------	--------------------

$$d_{iK} = \frac{h}{2} + z_i$$

Statische Höhe innerer Bewehrungskorb	d_{iK}	158,0	149,0	158,0	mm
---------------------------------------	----------	-------	-------	-------	----

$$z_{s1} = d_{iK} - \frac{h}{2}$$

Abstand vom Schwerpunkt im Zustand I	z_{s1}	48,00	39,00	48,00	mm
--------------------------------------	----------	-------	-------	-------	----

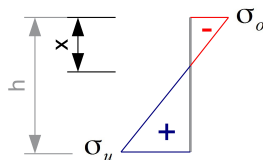
$$z = 0,90 \cdot d_{iK}$$

Innerer Hebelarm Rissnachweis (~0,9d)	z	142,20	134,10	142,20	mm
---------------------------------------	---	--------	--------	--------	----

$$\sigma_o = N/A - M/W$$

$$\sigma_u = N/A + M/W$$

$$W = h^2/6$$



$$\frac{h}{\sigma_o - \sigma_u} = \frac{x}{\sigma_o}$$

$$x = \sigma_o \cdot \frac{h}{\sigma_o - \sigma_u}$$

Höhe der Druckzone im Zustand I	x	122,96	136,04	123,66	mm
---------------------------------	---	--------	--------	--------	----

$$d_1 = h - d_{iK}$$

Achsabstand zum gezogenen Rand	d_1	62,00	71,00	62,00	mm
--------------------------------	-------	-------	-------	-------	----

$$2 \cdot d_1 = 2 \cdot d_1$$

Mindesthöhe der Zugzone	$2 \cdot d_1$	124,00	142,00	124,00	mm
-------------------------	---------------	--------	--------	--------	----

$$h_{Grenz} = \frac{h - x}{3}$$

Errechnete Höhe der Zugzone	h_{Grenz}	32,35	27,99	32,11	mm
-----------------------------	-------------	-------	-------	-------	----

DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01 Abschnitt 7.3.2 (3) und NCI zu 7.3.2 (3) finden Anwendung: Der Wirkungsbereich der Bewehrung wird von $(h-x)/3$ auf $(h-x)/2$ vergrößert, da die Bewehrung an mindestens einer Stelle im Querschnitt außerhalb des Grenzbereiches $(h-x)/3$ liegt.

$$h_{C,ef} = \frac{h - x}{2}$$

Effektive Höhe des Wirkungsbereichs $h_{C,ef}$ 48,52 41,98 48,17 mm

$$A_{C,eff} = h_{C,ef} \cdot b$$

Wirkungsbereich der Bewehrung $A_{C,eff}$ 485,19 419,80 481,68 cm²

Einwirkendes Moment	$M_{d,0}$	Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Einwirkende Normalkraft	$N_{d,0}$	19,71	-19,96	21,18	kNm/m
		-63,36	-128,84	-71,75	kN/m

$$M_{Eds} = |M_{d,0}| - N_{d,0} \cdot z_{s1}$$

Bemessungsmoment Rissnachweis M_{Eds} 22,76 24,98 24,63 kNm/m

$$\sigma_s = \frac{\frac{M_{Eds}}{z} + N_{d,0}}{\text{vorh } a_{s,i}}$$

Stahlspannung σ_s 62,80 50,80 65,88 N/mm²

$$\text{eff } \rho = \frac{\text{vorh } a_{s,i}}{A_{C,eff}}$$

EN 1992-1-1 (7.10)

Effektiver Bewehrungsgrad $\text{eff } \rho$ 31,73 26,94 31,96 ‰

$$s_{r,1} = \frac{\sigma_s \cdot d_s}{3,60 \cdot f_{ct,eff}}$$

DIN 1045-1 (137-b)

Rissabstand Erst- oder Einzelriss $s_{r,1}$ 69,60 48,26 73,02 mm

$$s_{r,a} = \frac{d_s}{3,60 \cdot \text{eff } \rho}$$

DIN 1045-1 (137-a)

Rissabstand bei abgeschl. Rissbildung $s_{r,a}$ 122,57 123,73 121,69 mm

$$s_{r,max} = \min(|s_{r,1}|; s_{r,a})$$

DIN 1045-1 (137+)

Maßgebender Rissabstand $s_{r,max}$ 69,60 48,26 73,02 mm

$$\epsilon_R = \frac{\sigma_s - \frac{0,40 \cdot f_{ct,eff}}{\text{eff } \rho} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho)}{E_s}$$

EN 1992-1-1 (7.9-a)

Differenz der Dehnungen, Rechenwert ϵ_R 0,05 -0,05 0,07 ‰

$$\epsilon_M = \frac{0,60 \cdot \sigma_s}{E_s}$$

EN 1992-1-1 (7.9-b)

Differenz der Dehnungen, Mindestwert ϵ_M 0,19 0,15 0,20 ‰

$$(\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm}) = \max(\epsilon_R; \epsilon_M)$$

EN 1992-1-1 (7.9)

Maßgebende Differenz der Dehnungen $(\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm})$ 0,19 0,15 0,20 ‰

$$\text{vorh } w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm})$$

EN 1992-1-1 (7.8)

Errechnete Rissbreite, Gesamtlast $\text{vorh } w_k$ 0,013 0,007 0,014 mm

Das Querschnittswinkel ist Teilberechnung vorgegebener Abstände

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-98

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$U_w = \frac{\text{vorh } w_k}{w_k}$$

Ausnutzung Rissbreite, Gesamtlast U_w 8,7 4,9 9,6 %

Die zulässige Rissbreite nach DIN EN 1992-1-1 wird eingehalten.

3.2.5.9 Rissnachweis Mindestbemessung nach DIN EN 1992-1-1

Einwirkendes Moment	$M_{d,0}$	Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Einwirkende Normalkraft	$N_{d,0}$	27,60	-27,60	27,60	kNm/m
		-91,00	-182,00	-91,00	kN/m

$$M_{Eds} = |M_{d,0}| - N_{d,0} \cdot z_{s1}$$

Bemessungsmoment Rissnachweis M_{Eds} 31,97 34,70 31,97 kNm/m

$$\sigma_s = \frac{\frac{M_{Eds}}{z} + N_{d,0}}{\text{vorh } a_{s,i}}$$

Stahlspannung σ_s 86,94 67,88 86,94 N/mm²

$$\text{eff } \rho = \frac{\text{vorh } a_{s,i}}{A_{C,\text{eff}}} \quad \text{EN 1992-1-1 (7.10)}$$

Effektiver Bewehrungsgrad $\text{eff } \rho$ 31,84 27,12 31,84 ‰

$$s_{r,1} = \frac{\sigma_s \cdot d_s}{3,60 \cdot f_{ct,\text{eff}}} \quad \text{DIN 1045-1 (137-b)}$$

Rissabstand Erst- oder Einzelriss $s_{r,1}$ 96,36 64,49 96,36 mm

$$s_{r,a} = \frac{d_s}{3,60 \cdot \text{eff } \rho} \quad \text{DIN 1045-1 (137-a)}$$

Rissabstand bei abgeschl. Rissbildung $s_{r,a}$ 122,15 122,91 122,15 mm

$$s_{r,\text{max}} = \min(|s_{r,1}|; s_{r,a}) \quad \text{DIN 1045-1 (137+)}$$

Maßgebender Rissabstand $s_{r,\text{max}}$ 96,36 64,49 96,36 mm

$$\epsilon_R = \frac{\sigma_s - \frac{0,40 \cdot f_{ct,\text{eff}}}{\text{eff } \rho} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho)}{E_s} \quad \text{EN 1992-1-1 (7.9-a)}$$

Differenz der Dehnungen, Rechenwert ϵ_R 0,17 0,04 0,17 ‰

$$\epsilon_M = \frac{0,60 \cdot \sigma_s}{E_s} \quad \text{EN 1992-1-1 (7.9-b)}$$

Differenz der Dehnungen, Mindestwert ϵ_M 0,26 0,20 0,26 ‰

$$(\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm}) = \max(\epsilon_R; \epsilon_M) \quad \text{EN 1992-1-1 (7.9)}$$

Maßgebende Differenz der Dehnungen $(\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm})$ 0,26 0,20 0,26 ‰

$$\text{vorh } w_k = s_{r,\text{max}} \cdot (\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm}) \quad \text{EN 1992-1-1 (7.8)}$$

Errechnete Rissbreite, Mindestbemessung $\text{vorh } w_k$ 0,025 0,013 0,025 mm
Der Querschnitt wird in Teilbereichen vollständig überdrückt.

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-99

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$U_{w,min} = \frac{vorh w_k}{w_k}$$

Ausnutzung Rissbreite, Mindestbemessung $U_{w,min}$ 16,8 8,8 16,8 %

Die zulässige Rissbreite nach DIN EN 1992-1-1 wird eingehalten.

3.2.5.10 Ermittlung der Lastklasse (DIN V 1201:2004-08 4.3.5)

Maximale Rohrvergleichsspannung nach DIN V 1201:

$\max \sigma_{VR}$ 6,0 N/mm²

Inneres Widerstandsmoment:

W_i 8.066,67 mm³/mm

Abminderungsbeiwert für Langzeitwirkung:

$\alpha_{c,F}$ 0,90 [-]

Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9:

f_R 1,04 [-]

Mittlerer Radius:

r_m 910,00 mm

Gewichtskraft des Rohrs:

G_p 31,45 kN/m

$$F_c = 1/0,3 \cdot \left\{ \frac{\max \sigma_{VR} \cdot W_i}{\alpha_{c,F} \cdot f_R \cdot r_m} - 0,07 G_p \right\}$$

Risskraft (Ergänzung Mindestscheiteldruckkraft):

F_c 182,72 kN/m

Ermittelte Lastklasse nach DIN V 1201 Tabelle 8/9:

110

Werte mit einem (+) bedeuten, dass in Sonderfällen auch Rohre mit diesen Lastklassen (Festigkeitsklassen) hergestellt werden können. Der Strich - bedeutet, dass Rohre dieser Nennweiten und Lastklassen im Regelfall nicht hergestellt werden. Zum Einsatz kommen Rohre mit höherer Tragfähigkeit (Lastklasse).

3.2.6 Nachweis der Zulässigkeit der Vortriebskraft

3.2.6.1 Rohr

Minimale Wanddicke des Rohres:

$t_{R,min}$ 220,0 mm

Maßgebende Druckübertragungsfläche:

A_R 12.578,937 cm²

Längsdruckfestigkeit:

$f_{c,ax}$ 40,0 N/mm²

Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand längs der Rohrachse:

$\gamma_{M,ax}$ 1,35 [-]

Charakteristische Festigkeit des Rohrwerkstoffs:

f_k 40,00 N/mm²

Mittlere Zugfestigkeit des Rohrwerkstoffs in Ringrichtung:

f_{tm} 3,51 N/mm²

Elastizitätsmodul in axialer Richtung:

$E_{R,ax}$ 35.220,5 N/mm²

Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand längs der Rohrachse:

$\gamma_{M,ax}$ 1,35 [-]

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_{M,ax}} \quad (100)$$

Bemessungswert der Rohrfestigkeit:

f_d 29,63 N/mm²

3.2.6.2 Rohrabwinklung

Minimaler planmäßiger Kurvenradius der Vortriebsstrecke:

R_{Plan} +∞ m

Länge des einzelnen Vortriebsrohres:

L_R 3,00 m

$$\varphi_R = \arctan \left(\frac{L_R}{R_{Plan}} \right) \quad (93)$$

Berechnete Rohrverwinklung aus planmäßiger Krümmung:

φ_R 0,000 °

φ_R wurde zu 0° gesetzt, da für $\varphi_R < 0,05^\circ$ die Trasse als planmäßig gerade gilt.

Angesetzte Rohrverwinklung aus planmäßiger Krümmung:

φ_R 0,000 °

Größter Innendurchmesser:

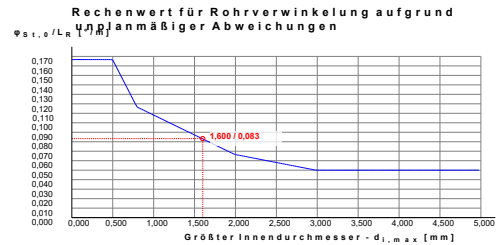
$d_{i,max}$ 1.600 mm

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite:
D-100

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.



Rechenwert für Rohrverwinkelung aufgrund unplanmäßiger Abweichungen: $\varphi_{St,0/LR}$ 0,083 °/m

$$\varphi_{St} = \varphi_{St,0/LR} \cdot L_R + 0,0625^\circ \geq 0 \quad (94)$$

Rohrverwinkelung aufgrund unplanmäßiger Abweichungen: φ_{St} 0,313 °

Nennweite: DN 1.600 mm
 Max. Abweichung Stirnflächen von Rechtwinkligkeit: $\Delta_{a,cal}$ 8,0 mm
 Kleinster Außendurchmesser: $d_{a,min}$ 2.040 mm

$$\varphi_{\Delta a,cal} = \arctan \left(\frac{\Delta_{a,cal}}{d_{a,min}} \right) \quad (96)$$

Rohrverwinkelung aufgrund Abweichungen der Rohrspiegel von der Rechtwinkligkeit: $\varphi_{\Delta a,cal}$ 0,225 °

Kombinationsbeiwert für Rohrabwinkelungen: ψ 0,80 [-]

$$\varphi_{ges} = \varphi_R + \text{MAX}[\psi \cdot (\varphi_{St} + \varphi_{\Delta a,cal}) ; \varphi_{St} ; \varphi_{\Delta a,cal}] \quad (92)$$

Rohrverwinkelung im Bereich einer Rohrfuge (gesamt): φ_{ges} 0,430 °

3.2.6.3 Verformung des Druckübertragungsringes

Druckübertragungsring (DÜR)

OSB-Platte (OSB/3, OSB/4) - OSB-Platte (OSB/3, OSB/4)

Außendurchmesser des DÜR: $d_{a,DÜR}$ 1.950,0 mm

Innendurchmesser des DÜR: $d_{i,DÜR}$ 1.670,0 mm

Äußerer Randabstand des DÜR: $a_{a,DÜR}$ 45,0 mm

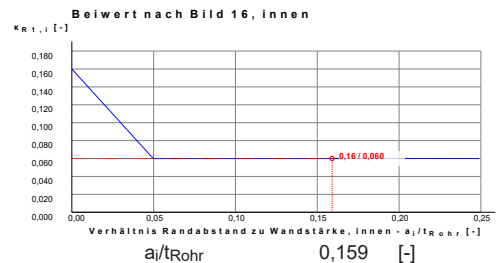
Innerer Randabstand des DÜR: $a_{i,DÜR}$ 35,0 mm

Breite des DÜR: $t_{DÜR}$ 140,0 mm

Minimale Wanddicke des Rohres: $t_{R,min}$ 220,0 mm

$$K_t = \frac{t_{R,min}}{t_{DÜR}} \quad (99)$$

Verhältnis $t_{DÜR}$ zu t_{Rohr} : K_t 1,571 [-]



Verhältnis Randabstand zu Wandstärke, innen:

a_i/t_{Rohr} 0,159 [-]

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-101

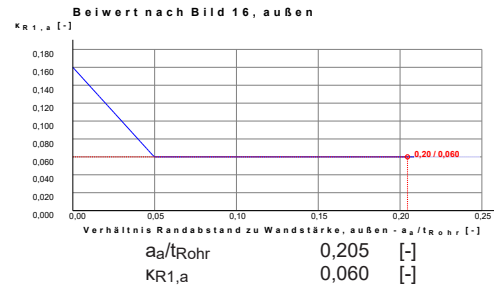
Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Verhältnis Randabstand zu Wandstärke, außen:
Beiwert nach Bild 16, außen:

$$K_{R1} = \max(K_{R1,i}, K_{R1,a})$$

Beiwert nach Bild 16 zur Vermeidung von Randabplatzungen:

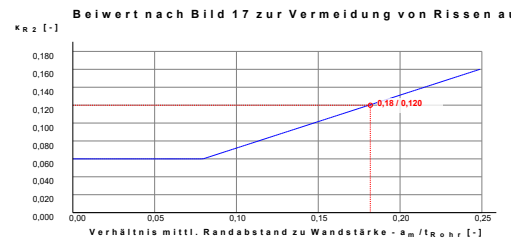


a_a/t_{Rohr} 0,205 [-]
 $K_{R1,a}$ 0,060 [-]

K_{R1} 0,060 [-]

Verhältnis mittl. Randabstand zu Wandstärke:

Beiwert nach Bild 17 zur Vermeidung von Rissen aus Spaltzug:



a_m/t_{Rohr} 0,182 [-]
 K_{R2} 0,120 [-]

$$K_R = \max(K_{R1}, K_{R2})$$

Beiwert nach Bild 16/17, angesetzter Wert:

Mittlere Zugfestigkeit des Rohrwerkstoffs in Ringrichtung:

$$\alpha_{D,T} = \frac{f_{tm}}{f_k} \cdot \frac{1}{K_R} \quad (98)$$

Beiwert für zulässige Druckspannung:

$$\sigma_{cal} = \alpha_{D,T} \cdot K_t \cdot f_d \quad (97)$$

Höchste in der Rohrfuge wirkende, zulässige Druckspannung:

Angesetzte Vorpresskraft, Laufvariable:

K_R 0,120 [-]
 f_{tm} 3,51 N/mm²

$\alpha_{D,T}$ 0,732 [-]

σ_{cal} 34,07 N/mm²

F_j 5.500 kN

$$\sigma_{0DÜR} = \frac{F_j}{A_{DÜR}}$$

Gleichmäßig verteilte Spannung im DÜR:

$$\sigma_I = 2 \cdot \sigma_{0DÜR} \quad (107)$$

Maßgebende Spannung der Vorbelastung:

$$\sigma_I/\sigma_{cal} = \frac{\sigma_I}{\sigma_{cal}}$$

Prozentsatz der Vorbelastung:

$\sigma_{0DÜR}$ 7,02 N/mm²

σ_I 14,04 N/mm²

σ_I/σ_{cal} 41,2 %

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite:
D-102

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Schicht 1

OSB-Platte (OSB/3, OSB/4)

Schichtdicke:

s_d 22,00 mm

$$E_{cal} = \left(\sigma_{cal} \cdot 61,113(\sigma_I/\sigma_{cal})^{1,33} - 983,8 \cdot (\sigma_I/\sigma_{cal}) + 3249 \cdot (\sigma_I/\sigma_{cal})^2 - 5866 \cdot (\sigma_I/\sigma_{cal})^3 + 0,23236 + 4140 \cdot (\sigma_I/\sigma_{cal})^4 \right) \cdot (-0,0009 \cdot s_d^3 + 0,0608 \cdot s_d^2 + 1,2216 \cdot s_d + 8,6507) \quad (110)$$

Steifigkeit der DUER-Schicht:

E_{cal} 802,80 N/mm²

$$\Delta s_{DÜR,S,1} = s_{d,1} \cdot \left(\frac{\sigma_{cal}}{E_{cal}} \right)^{0,5} \cdot \frac{d_{a,min}}{d_{a,DÜR}} \quad (102 / 111)$$

Verformungsanteil der Schicht:

$\Delta s_{DÜR,S}$ 4,7 mm

Schicht 2

OSB-Platte (OSB/3, OSB/4)

Schichtdicke:

s_d 18,00 mm

$$E_{cal} = \left(\sigma_{cal} \cdot 61,113(\sigma_I/\sigma_{cal})^{1,33} - 983,8 \cdot (\sigma_I/\sigma_{cal}) + 3249 \cdot (\sigma_I/\sigma_{cal})^2 - 5866 \cdot (\sigma_I/\sigma_{cal})^3 + 0,23236 + 4140 \cdot (\sigma_I/\sigma_{cal})^4 \right) \cdot (-0,0009 \cdot s_d^3 + 0,0608 \cdot s_d^2 + 1,2216 \cdot s_d + 8,6507) \quad (110)$$

Steifigkeit der DUER-Schicht:

E_{cal} 551,38 N/mm²

$$\Delta s_{DÜR,S,2} = s_{d,2} \cdot \left(\frac{\sigma_{cal}}{E_{cal}} \right)^{0,5} \cdot \frac{d_{a,min}}{d_{a,DÜR}} \quad (102 / 111)$$

Verformungsanteil der Schicht:

$\Delta s_{DÜR,S}$ 4,7 mm

$$\Delta s_{DÜR} = \Delta s_{DÜR,S,1} + \Delta s_{DÜR,S,2} \quad (112)$$

Verformungsanteil Gesamt:

$\Delta s_{DÜR}$ 9,4 mm

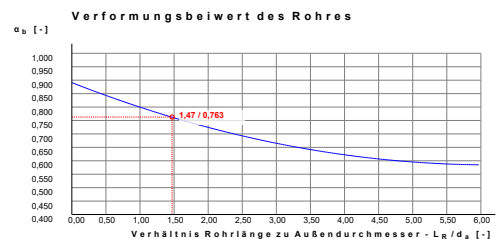
3.2.6.5 Verformung des Rohres

$$\sigma_{max} = \sigma_{cal} \cdot \frac{t_{DÜR}}{t_{R,min}} \quad (103b)$$

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_{cal} \cdot t_{DÜR}}{t_{R,min}}$$

Rechnerische Druckspannung im Rohrwerkstoff:

σ_{max} 21,68 N/mm²



$$L_R/d_a = \frac{L_R}{d_a}$$

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-103

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$\alpha_b = 0,008 \cdot \frac{L_R^2}{d_a} - 0,099 \cdot \frac{L_R}{d_a} + 0,891 \quad (105)$$

Verformungsbeiwert des Rohres: α_b 0,763 [-]

$$\alpha_\varphi = \varphi_R - 0,05 \leq 1 \text{ \& } \geq 0$$

Beiwert: α_φ 0,000 [-] (104)

$$K_{ab} = \alpha_b - (\alpha_b - 0,5) \cdot (1 - \alpha_\varphi)$$

Verformungsfaktor des Rohres: K_{ab} 0,500 [-]

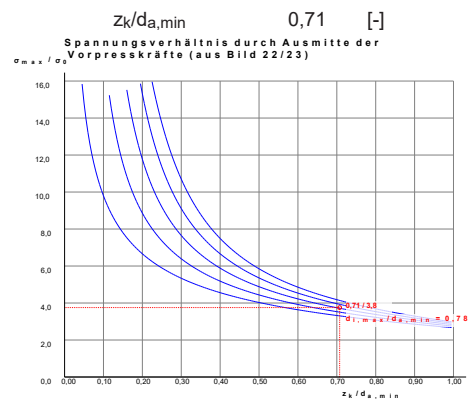
$$\Delta s_R = \frac{\sigma_{\max} \cdot K_{ab} \cdot L_R}{E_{R,ax}} \quad (103a)$$

Verformungsanteil des Vortriebsrohres: Δs_R 0,9 mm

Ergebnis

$$z_k/d_{a,min} = \frac{\Delta s_{DÜR} + \Delta s_R}{\tan(\varphi_{ges}) \cdot d_{a,DÜR}} \leq 1 \quad (101)$$

Maß der Fugenklaffung:



Spannungsverhältnis durch Ausmitte der Vorpressekräfte (aus Bild 22/23): $\sigma_{\max} / \sigma_0$ 3,75 [-]

$$A_R = \frac{(d_{a,min}^2 - d_{i,max}^2) \cdot \pi}{4}$$

Maßgebende Druckübertragungsfläche: A_R 12.578,937 cm²
Teilsicherheitsbeiwert Einwirkung längs der Rohrachse: $\gamma_{F,ax}$ 1,30 [-]

$$F_j = \frac{A_R \cdot \sigma_{\max}}{\sigma_{\max} / \sigma_0 \cdot \gamma_{F,ax}} \quad (113)$$

Zulässige Vorpressekraft: F_j 5.588 kN

Vorgegebene Vortriebskraft: $F_{j,m}$ 5.500,0 kN

$$U_{Fj} = \frac{F_{j,m}}{F_j}$$

Ausnutzung zulässige Vortriebskraft: U_{Fj} 98,4 %

$$A_{R,0} = \frac{(d_i + 2 \cdot A_{ax}^2 - d_i^2) \cdot \pi}{4}$$

Rohrfläche für Axialdruck außerhalb Kupplungsbereich: $A_{R,0}$ 12.578,94 cm²

$$\sigma_{x,d,0} = -1 \cdot \gamma_{F,ax} \cdot \frac{F_{j,m}}{A_{R,0}} \cdot \sigma_{max} / \sigma_0 \quad (113)$$

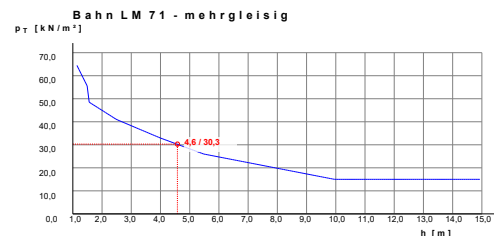
Im Rohr wirkende axiale Spannung, Bemessungswert: $\sigma_{x,d,0}$ -21,34 N/mm²

3.2.6.6 Interaktion - Vergleichsspannungsnachweis Schaft

Der Nachweis der Vergleichsspannung ist bei biegesteifen Rohren nicht erforderlich.

3.2.7 Betriebszustand

3.2.7.1 Belastungen Betriebszustand



$$\Phi_2 = \frac{1,44}{vLF - 0,2} + 0,82 \quad (21)$$

$$1,0 \leq \Phi_2 \leq 1,67 \quad (21)$$

Stoßbeiwert: Φ_2 1,67 [-]

$$\text{red } \Phi_2 = \Phi_2 - 0,1 \cdot (h_{\text{ü}} - 1,0) \geq 1 \quad (22)$$

Stoßbeiwert reduziert: $\text{red } \Phi_2$ 1,31 [-]
Anpassungsfaktor $\alpha_{Qi,LM71}$ (DIN EN 1991-2): $\alpha_{Qi,LM71}$ 1,20 [-]
Einfache Bodenspannung aus Verkehr: p 30,29 kN/m²

$$p_T = \text{red } \Phi_2 \cdot p \cdot \alpha_{Qi,LM71} \quad A 161 (23a)$$

Vertikale Bodenspannung aus Verkehrslast in Scheitelhöhe: p_T 47,69 kN/m²

Vertikale Bodenspannung aus Verkehrslast in Kämpferhöhe (ohne Φ): p_K 25,76 kN/m²
Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel: K_2 0,40 [-]

$$p_{T,h} = (0,50 \cdot (\text{red } \Phi_2 - 1) + 1) \cdot p_K \cdot K_2 \cdot \alpha_{Qi,LM71} \quad A 161 (23b)$$

Horizontale Bodenspannung aus Verkehr: $p_{T,h}$ 14,17 kN/m²

$$p_{Ev} = \kappa \cdot \gamma_B \cdot (h - h_{GW} + d_a) + \kappa \cdot \gamma'_B \cdot (h_{GW} - d_a) + \kappa_0 \cdot P_0 \quad (5b)$$

Vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene: p_{Ev} 84,211 kN/m²

Wirksame vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene: q_{Ev} 84,211 kN/m²

$$q_{Ges,v} = p_{Ev} + p_T \quad (53)$$

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-105

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Die Erddruckverteilung am Rohr wird $\cos^2$ - bzw. $\sin^2$ -förmig angenommen.: Nein

Grundwasserstand im Bereich der oberen Rohrhälfte:

$h_{GW,oRh}$ 2,000 m

$$q_{Eh} = \left(p_{Ev} + \gamma_B \cdot \left(d_a - h_{GW,oRh} \right) + \gamma'_B \cdot \left(h_{GW,oRh} - \frac{d_a}{2} \right) \right) \cdot K_2$$

Horizontale Bodenspannung am Rohr:

q_{Eh} 37,59 kN/m²

$$q_{Ges,h} = q_{Eh} + p_{Th}$$

(53)

Horizontale Gesamt-Bodenspannung am Rohr:

$q_{Ges,h}$ 51,755 kN/m²

Innerer Überdruck:

p_i 0,000 bar

Äußerer Überdruck über Rohrscheitel:

$p_{a,Sc}$ 0,000 bar

Rohrsteifigkeit:

S_R 41,472 kN/m²

Rohrsteifigkeit:

$\bar{S}_R$ 41,472 kN/m²

Normierender Bezugswert:

$\sigma_{B,0}$ 100,0 kN/m²

$$f_3 = \left(\frac{p_{Ev}}{\sigma_{B,0}} \right)^z \geq 1$$

(2)

Spannungsabhängiger Erhöhungsfaktor:

f_3 1,00 [-]

$$E_B = E_0 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3$$

(1)

Verformungsmodul Boden:

E_B 2,40 N/mm²

Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel:

K_2 0,40 [-]

$$S_{Bh} = 0,60 \cdot E_B$$

(18)

Bettungssteifigkeit:

S_{Bh} 1,44 N/mm²

$$V_{RB,LK} = \frac{\bar{S}_R}{S_{Bh}}$$

(14)

Systemsteifigkeit:

V_{RB} 28,8002 [-]

Das Rohr-Bodensystem verhält sich biegeweich:

Nein

3.2.7.2 Schnittkräfte Betriebszustand

Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen quer zur Rohrachse:

γ_F 1,35 [-]

Teilsicherheitsbeiwert Wasseraußendruck:

$\gamma_{F,W}$ 1,35 [-]

Mittlerer Radius:

r_m 910,00 mm

Innerer Überdruck:

p_i 0,000 bar

Äußerer Überdruck über Rohrscheitel:

$p_{a,Sc}$ 0,000 bar

Wirksame vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene:

q_{Ev} 84,211 kN/m²

Horizontale Bodenspannung am Rohr:

q_{Eh} 37,59 kN/m²

Vertikale Bodenspannung infolge Verkehrslast:

p_T 47,69 kN/m²

Horizontale Bodenspannung infolge Verkehrslast:

p_{Th} 14,17 kN/m²

Vertikale Gesamt-Bodenspannung in Rohrscheitelebene:

$q_{Ges,v}$ 131,904 kN/m²

Horizontale Gesamt-Bodenspannung am Rohr:

$q_{Ges,h}$ 51,755 kN/m²

Momente:

	Scheitel	Kämpfer	Sohle	
m_{pEv}	0,250	-0,250	0,250	[-]

$$M_{pEvd} = \gamma_F \cdot m_{pEv} \cdot q_{Ev} \cdot r_m^2$$

(27)

Vertikale Belastung aus Erdüberdeckung

	$M_{pEv,d}$				
	23,535	-23,535	23,535	kNm/m	
	0,250	-0,250	0,250	[-]	

$$M_{pTv,d} = \gamma_{F,W} \cdot m_{pT} \cdot p_T \cdot r_m^2$$

(29)

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-106

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

	m_{pTh}	-0,250	0,250	-0,250	[-]	
$M_{pTh,d} = Y_Q \cdot m_{pTh} \cdot p_{Th} \cdot r_m^2$						(31)
Horizontale Belastung aus Verkehr	$M_{pTh,d}$	-3,959	3,959	-3,959	kNm/m	
	m_{pEh}	-0,250	0,250	-0,250	[-]	
$M_{pEh,d} = Y_F \cdot m_{pEh} \cdot q_{Eh} \cdot r_m^2$						(35)
Horizontale Belastung aus Erdüberdeckung	$M_{pEh,d}$	-10,506	10,506	-10,506	kNm/m	
	m_g	0,384	-0,437	0,706	[-]	
$M_{g,d} = Y_F \cdot m_g \cdot Y_R \cdot s \cdot r_m^2$						(37)
Eigengewicht	$M_{g,d}$	2,361	-2,687	4,341	kNm/m	
	m_w	0,192	-0,219	0,353	[-]	
$M_{w,d} = Y_F \cdot m_w \cdot Y_W \cdot r_m^3$						(39)
Wasserfüllung bis Rohrscheitel	$M_{w,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m	
	m_a	-0,192	0,219	-0,353	[-]	
$M_{a,d} = Y_{F,W} \cdot m_a \cdot Y_W \cdot r_m^3$						(41)
Auftrieb (äußerer Wasserstand bis Scheitel)	$M_{a,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m	
$M_{pw,d} = ((Y_F \cdot p_i) - (Y_{F,W} \cdot P_a)) \cdot r_i \cdot r_a \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{r_i \cdot r_a}{r_a^2 - r_i^2} \cdot \ln \cdot \frac{r_a}{r_i} \right)$						(43)
Wasserdruck	$M_{pw,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m	
	m_{qh^*}	-0,181	0,208	-0,181	[-]	
$M_{qEh^*,d} = Y_F \cdot m_{qh^*} \cdot q_{Eh^*} \cdot r_m^2$						(45a)
Bettungsreaktionsdruck Erdlast	$M_{qEh^*,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m	
$M_{qTh^*,d} = Y_Q \cdot m_{qh^*} \cdot q_{Th^*} \cdot r_m^2$						(45b)
Bettungsreaktionsdruck Verkehr	$M_{qTh^*,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m	
$M_{qh^*,d} = M_{qTh^*,d} + M_{qEh^*,d}$						
Bettungsreaktionsdruck	$M_{qh^*,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m	
Summe der Momente	ΣM_d	24,762	-25,087	26,741	kNm/m	
Summe Erd- und Verkehrslasten	$\Sigma M_{qv,qh,qh^*,d}$	22,400	-22,400	22,400	kNm/m	
Summe andere Lasten	$\Sigma M_{sonst,d}$	2,361	-2,687	4,341	kNm/m	
Normalkräfte:						
	n_{pEv}	Scheitel 0,000	Kämpfer -1,000	Sohle 0,000	[-]	
$N_{pEv,d} = Y_F \cdot n_{pEv} \cdot q_{Ev} \cdot r_m$						(28)
Vertikale Belastung aus Erdüberdeckung	$N_{pEv,d}$	0,000	-103,453	0,000	kN/m	
	n_{pT}	0,000	-1,000	0,000	[-]	
$N_{pTv,d} = Y_Q \cdot n_{pT} \cdot p_T \cdot r_m$						(30)
Vertikale Belastung aus Verkehr	$N_{pTv,d}$	0,000	-58,592	0,000	kN/m	
	n_{pTh}	-1,000	0,000	-1,000	[-]	
$N_{pTh,d} = Y_Q \cdot n_{pTh} \cdot p_{Th} \cdot r_m$						(32)
Horizontale Belastung aus Verkehr	$N_{pTh,d}$	-17,402	0,000	-17,402	kN/m	
	n_{pEh}	-1,000	0,000	-1,000	[-]	

Horizontale Belastung aus Erdüberdeckung	$N_{pEh,d}$	-46,179	0,000	-46,179	kN/m
	n_g	0,250	-1,571	-1,428	[-]
$N_{g,d} = \gamma_F \cdot n_g \cdot \gamma_R \cdot s \cdot r_m$ (38)					
Eigengewicht	$N_{g,d}$	1,689	-10,615	-9,649	kN/m
	n_w	0,625	0,215	0,786	[-]
$N_{w,d} = \gamma_F \cdot n_w \cdot \gamma_W \cdot r_m^2$ (40)					
Wasserfüllung bis Rohrscheitel	$N_{w,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
	m_a	-0,625	-0,215	-0,786	[-]
$N_{a,d} = \gamma_{F,W} \cdot m_a \cdot \gamma_W \cdot r_m^2$ (42)					
Auftrieb (äußerer Wasserstand bis Scheitel)	$N_{a,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
$N_{pw,d} = (\gamma_F \cdot p_i \cdot r_i) - (\gamma_{F,W} \cdot P_a \cdot r_a)$ (44)					
Wasserdruck	$N_{pw,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN_d	-61,892	-172,659	-73,230	kN/m
$\Sigma N_{qv,qh,qh^*,d} = N_{pEv,d} + N_{pTv,d} + N_{pEh,d} + N_{pTh,d} + N_{qh^*,d}$					
Summe Erd- und Verkehrslasten	$\Sigma N_{qv,qh,qh^*,d}$	-63,581	-162,044	-63,581	kN/m
$\Sigma N_{sonst,d} = N_{g,d} + N_{w,d} + N_{a,d} + N_{pw,d}$					
Summe andere Lasten	$\Sigma N_{sonst,d}$	1,689	-10,615	-9,649	kN/m
3.2.7.3 Verformungsnachweis Betriebszustand					
Verformungsbeiwert:			c_{v,qh^*}	0,0640	[-]
Verformungsbeiwert:			$c_{v,qv}$	-0,0833	[-]
$K^* = \frac{c_{h,qv}}{V_{RB} - c_{h,qh^*}}$					
Beiwert des Bettungsreaktionsdruckes:			K^*	0,003	[-]
$c_v^* = c_{v,qv} + c_{v,qh^*} \cdot K^*$ A 127 (6.13); A 161 (52a-d)					
Verformungsbeiwert:			c_v^*	-0,083	[-]
Vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene:			p_{Ev}	84,211	kN/m ²
Vertikale Bodenspannung infolge Verkehrslast:			p_T	47,69	kN/m ²
$q_{Ges,v} = p_{Ev} + p_T$ (53)					
Vertikale Gesamt-Bodenspannung in Rohrscheitelebene:			$q_{Ges,v}$	131,904	kN/m ²
$q_{Eh} = \left(p_{Ev} + \gamma_B \cdot \left(d_a - h_{GW,oRh} \right) + \gamma_B \cdot \left(h_{GW,oRh} - \frac{d_a}{2} \right) \right) \cdot K_2$					
Horizontale Bodenspannung am Rohr:			q_{Eh}	37,59	kN/m ²
Horizontale Bodenspannung infolge Verkehrslast:			p_{Th}	14,17	kN/m ²
$q_{Ges,h} = q_{Eh} + p_{Th}$ (53)					
Horizontale Gesamt-Bodenspannung am Rohr:			$q_{Ges,h}$	51,755	kN/m ²
$\delta_v = c_v^* \cdot \frac{q_{Ges,v} - q_{Ges,h}}{S_R} \cdot 100 $ (51)					
Relative vertikale Dehnung				0,00	%

$$U_{\delta V} = \frac{\delta_V}{\text{zul } \delta_V}$$

Ausnutzungsgrad Verformung:

 $U_{\delta V}$ 2,9 %

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

3.2.7.4 Beulnachweis Betriebszustand

Der Beulnachweis wurde vom Nutzer deaktiviert.

3.2.7.5 Bemessung Ringbewehrung

Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Beton:

 γ_{RC} 1,50 [-]

Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Stahl:

 γ_{RS} 1,15 [-]

Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit:

 $f_{ck,cyl}$ 40,0 N/mm²

$$f_{cd} = \frac{0,85 \cdot f_{ck,cyl}}{\gamma_{RC}}$$

Bemessungswert Beton:

 f_{cd} 22,67 N/mm²

Nennstreckgrenze:

 f_{yk} 500 N/mm²

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{RS}}$$

Bemessungswert Betonstahl:

 f_{yd} 434,78 N/mm²

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Summe der Momente	M_E	18,342	-18,583	19,808	kNm/m
Summe der Momente inkl. Teilssicherheitsbeiwert	M_{Ed}	24,762	-25,087	26,741	kNm/m
Summe Normalkraft	N_E	-45,846	-127,896	-54,244	kN/m
Summe der Normalkräfte inkl. Teilssicherheitsbeiwert	N_{Ed}	-61,892	-172,659	-73,230	kN/m
Bemessung:					
Hebelarm innere Ringbewehrung	z_i	48,0	39,0	48,0	mm

$$M_{Eds} = |M_{Ed}| - N_{Ed} \cdot z_i$$

Auslegungsmoment Plattenbemessung

 M_{Eds} 27,732 31,821 30,256 kNm/m

$$\sigma_{s,d} = f_{yd}$$

Rechenwert der Stahlgrenzspannung

 $\sigma_{s,d}$ 434,78 N/mm²

Statische Höhe

 d 0,158 0,149 0,158 m

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{d^2 \cdot f_{cd}}$$

Normiertes Auslegungsmoment

 μ_{Eds} 0,0490 0,0632 0,0535 [-]

Erforderlicher mechanischer Bewehrungsgrad

 ω 0,0505 0,0656 0,0552 [-]

$$a_{s,calc} = \frac{\omega \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed}}{\sigma_{s,d}}$$

Erforderliche Bewehrung (Bemessung)

 $a_{s,calc}$ 2,73 1,12 2,86 cm²/m

Vorhandene Bewehrung

vorh. a_s 15,39 11,31 15,39 cm²/m

Ausnutzung Bewehrung (Bemessung)

 $U_{a_{s,calc}}$ 17,8 9,9 18,6 %

Die gewählte Bewehrung ist ausreichend.

Nach RIL 836.4501 Abschnitt 1 (4) [Korrektur TM vom 4.7.2014] muss die Längsbewehrung mindestens 1/5 (20%) der erforderlichen Ringbewehrung für vorwiegend ruhende Belastung betragen.

Vorhandene Längsbewehrung vorh. $a_{s,L}$ 4,12 3,91 4,12 cm^2/m

$$a_{s,calc,L} = 0,20 \cdot a_{s,calc}$$

Erforderliche Längsbewehrung (Bemessung) $a_{s,calc,L}$ 0,55 0,22 0,57 cm^2/m

$$U_{a_{s,calc,L}} = \frac{a_{s,calc,L}}{\text{vorh. } a_{s,L}}$$

Ausnutzung Längsbewehrung (Bemessung) $U_{a_{s,calc,L}}$ 13,3 5,7 13,9 %

Die gewählte Längsbewehrung ist ausreichend.

3.2.7.7 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (DIN V 1201:2004-08 5.2.5)

Ideeles Widerstandsmoment, Zugseite W_{id} Scheitel 8.917,17 Kämpfer 8.642,93 Sohle 8.917,17 mm^3/mm

$$|\sigma_{M,E}| = \frac{M_E}{W_{id}}$$

Biegespannungsanteil aus Biegemomenten $\sigma_{M,E}$ 2,0569 2,1501 2,2214 N/mm^2

Spannungsanteil aus Normalkräften $\sigma_{N,E}$ -0,1763 -0,4918 -0,2086 N/mm^2

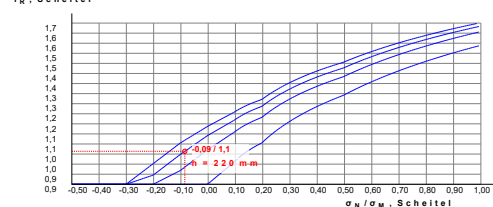
$$f_{t,fl} = \sigma_{M,E} + \sigma_{N,E}$$

Maßgebliche Biegezugspannung $f_{t,fl}$ 1,8806 1,6583 2,0128 N/mm^2

Spannungsverhältnis σ_N/σ_M -0,0857 -0,2287 -0,0939 [-]

Profilhöhe h 220,00 220,00 220,00 mm

Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9



Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9 f_R 1,06 0,93 1,05 [-]

$$\sigma_{VR} = f_R \cdot f_{t,fl}$$

Rohrvergleichsspannung unter Risskraft im Zustand I σ_{VR} 1,99 1,55 2,12 N/mm^2

Mittlere Zugfestigkeit: f_{ctm} 3,5 N/mm^2

$$\max \sigma_{VR} = \text{MIN: } 6 \text{ N/mm}^2 ; \frac{f_{ctm}}{3,50} \cdot 6$$

Maximale Rohrvergleichsspannung nach DIN V 1201: $\max \sigma_{VR}$ 6,0 N/mm^2

$$U_{\sigma_{VR}} = \frac{\sigma_{VR}}{\max \sigma_{VR}}$$

Ausnutzung Rohrvergleichsspannung $U_{\sigma_{VR}}$ 33,2 25,8 35,3 %

Der Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist erbracht.

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-110

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

3.2.7.8 Rissnachweis Gesamtlast nach DIN EN 1992-1-1

Bei der Ermittlung von Spannungen und Verformungen ist in der Regel von ungerissenen Querschnitten auszugehen (Zustand I), wenn die Biegezugspannung $f_{ct,eff}$ nicht überschreitet (EC 2-1-1, 7.3.2 (3)). Alle Einwirkungen werden mit $\gamma = 1,0$ und $\psi_{0,i}$ angesetzt. Dies entspricht einem charakteristischen Niveau bei gleichzeitigem Auftreten aller vorhandenen Einwirkungen. Bemessungswerte können als char. Werte aufgefasst werden.

Breite des Querschnitts:	b	1.000,00	mm
Mittlerer E-Modul (Sekantenmodul):	E_{cm}	35.220	N/mm ²
Elastizitätsmodul Betonstahl:	E_s	200.000	N/mm ²

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

Verhältnis der E-Moduln:	α_e	5,68	[-]
--------------------------	------------	------	-----

$$f_{ct,eff} = f_{ctm}$$

Wirksame Zugfestigkeit des Betons (ohne Mindestwert):	$f_{ct,eff}$	3,51	N/mm ²
Profilhöhe	h	220,00	mm

Relevanter Stahldurchmesser	d_s	14,00	12,00	14,00	mm
-----------------------------	-------	-------	-------	-------	----

$$\text{vorh } a_{s,i} = 0,7854 \cdot n_{Ring,i} \cdot \varnothing_{rad,i}^2$$

Vorhandener Stahlquerschnitt innerer Korb	vorh $a_{s,i}$	15,39	11,31	15,39	cm ² /m
---	----------------	-------	-------	-------	--------------------

$$d_{iK} = \frac{h}{2} + z_i$$

Statische Höhe innerer Bewehrungskorb	d_{iK}	158,0	149,0	158,0	mm
---------------------------------------	----------	-------	-------	-------	----

$$z_{s1} = d_{iK} - \frac{h}{2}$$

Abstand vom Schwerpunkt im Zustand I	z_{s1}	48,00	39,00	48,00	mm
--------------------------------------	----------	-------	-------	-------	----

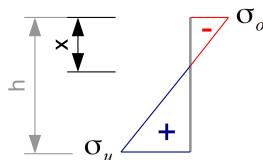
$$z = 0,90 \cdot d_{iK}$$

Innerer Hebelarm Rissnachweis (~0,9d)	z	142,20	134,10	142,20	mm
---------------------------------------	---	--------	--------	--------	----

$$\sigma_o = N/A - M/W$$

$$\sigma_u = N/A + M/W$$

$$W = h^2/6$$



$$\frac{h}{\sigma_o - \sigma_u} = \frac{x}{\sigma_o}$$

$$x = \sigma_o \cdot \frac{h}{\sigma_o - \sigma_u}$$

Höhe der Druckzone im Zustand I	x	120,08	137,76	121,05	mm
---------------------------------	---	--------	--------	--------	----

$$d_1 = h - d_{iK}$$

Achsabstand zum gezogenen Rand	d_1	62,00	71,00	62,00	mm
--------------------------------	-------	-------	-------	-------	----

$$2 \cdot d_1 = 2 \cdot d_1$$

Mindesthöhe der Zugzone	$2 \cdot d_1$	124,00	142,00	124,00	mm
-------------------------	---------------	--------	--------	--------	----

$$h_{Grenz} = \frac{h - x}{3}$$

Errechnete Höhe der Zugzone	h_{Grenz}	33,31	27,41	32,98	mm
-----------------------------	-------------	-------	-------	-------	----

DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01 Abschnitt 7.3.2 (3) und NCI zu 7.3.2 (3) finden Anwendung: Der Wirkungsbereich der Bewehrung wird von $(h-x)/3$ auf $(h-x)/2$ vergrößert, da die Bewehrung an mindestens einer Stelle im Querschnitt außerhalb des Grenzbereiches $(h-x)/3$ liegt.

$$h_{C,ef} = \frac{h - x}{2}$$

Effektive Höhe des Wirkungsbereichs $h_{C,ef}$ 49,96 41,12 49,48 mm

$$A_{C,eff} = h_{C,ef} \cdot b$$

Wirkungsbereich der Bewehrung $A_{C,eff}$ 499,59 411,21 494,77 cm²

Einwirkendes Moment	$M_{d,0}$	Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Einwirkende Normalkraft	$N_{d,0}$	18,34	-18,58	19,81	kNm/m
		-45,85	-127,90	-54,24	kN/m

$$M_{Eds} = |M_{d,0}| - N_{d,0} \cdot z_{s1}$$

Bemessungsmoment Rissnachweis M_{Eds} 20,54 23,57 22,41 kNm/m

$$\sigma_s = \frac{\frac{M_{Eds}}{z} + N_{d,0}}{\text{vorh } a_{s,i}}$$

Stahlspannung σ_s 64,06 42,33 67,15 N/mm²

$$\text{eff } \rho = \frac{\text{vorh } a_{s,i}}{A_{C,eff}}$$

EN 1992-1-1 (7.10)

Effektiver Bewehrungsgrad $\text{eff } \rho$ 30,81 27,50 31,11 ‰

$$s_{r,1} = \frac{\sigma_s \cdot d_s}{3,60 \cdot f_{ct,eff}}$$

DIN 1045-1 (137-b)

Rissabstand Erst- oder Einzelriss $s_{r,1}$ 71,00 40,22 74,42 mm

$$s_{r,a} = \frac{d_s}{3,60 \cdot \text{eff } \rho}$$

DIN 1045-1 (137-a)

Rissabstand bei abgeschl. Rissbildung $s_{r,a}$ 126,21 121,20 124,99 mm

$$s_{r,max} = \min(|s_{r,1}|; s_{r,a})$$

DIN 1045-1 (137+)

Maßgebender Rissabstand $s_{r,max}$ 71,00 40,22 74,42 mm

$$\epsilon_R = \frac{\sigma_s - \frac{0,40 \cdot f_{ct,eff}}{\text{eff } \rho} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho)}{E_s}$$

EN 1992-1-1 (7.9-a)

Differenz der Dehnungen, Rechenwert ϵ_R 0,05 -0,08 0,07 ‰

$$\epsilon_M = \frac{0,60 \cdot \sigma_s}{E_s}$$

EN 1992-1-1 (7.9-b)

Differenz der Dehnungen, Mindestwert ϵ_M 0,19 0,13 0,20 ‰

$$(\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm}) = \max(\epsilon_R; \epsilon_M)$$

EN 1992-1-1 (7.9)

Maßgebende Differenz der Dehnungen $(\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm})$ 0,19 0,13 0,20 ‰

$$\text{vorh } w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm})$$

EN 1992-1-1 (7.8)

Errechnete Rissbreite, Gesamtlast $\text{vorh } w_k$ 0,014 0,005 0,015 mm

Das Querschnittsmodell ist Teilbereich des vollständigen Querschnitts

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite:
D-112

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$U_w = \frac{\text{vorh } w_k}{w_k}$$

Ausnutzung Rissbreite, Gesamtlast U_w 9,1 3,4 10,0 %

Die zulässige Rissbreite nach DIN EN 1992-1-1 wird eingehalten.

3.2.7.9 Rissnachweis Mindestbemessung nach DIN EN 1992-1-1

Einwirkendes Moment	$M_{d,0}$	Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Einwirkende Normalkraft	$N_{d,0}$	27,60	-27,60	27,60	kNm/m
		-91,00	-182,00	-91,00	kN/m

$$M_{Eds} = |M_{d,0}| - N_{d,0} \cdot z_{s1}$$

Bemessungsmoment Rissnachweis M_{Eds} 31,97 34,70 31,97 kNm/m

$$\sigma_s = \frac{\frac{M_{Eds}}{z} + N_{d,0}}{\text{vorh } a_{s,i}}$$

Stahlspannung σ_s 86,94 67,88 86,94 N/mm²

$$\text{eff } \rho = \frac{\text{vorh } a_{s,i}}{A_{C,\text{eff}}} \quad \text{EN 1992-1-1 (7.10)}$$

Effektiver Bewehrungsgrad $\text{eff } \rho$ 31,84 27,12 31,84 ‰

$$s_{r,1} = \frac{\sigma_s \cdot d_s}{3,60 \cdot f_{ct,\text{eff}}} \quad \text{DIN 1045-1 (137-b)}$$

Rissabstand Erst- oder Einzelriss $s_{r,1}$ 96,36 64,49 96,36 mm

$$s_{r,a} = \frac{d_s}{3,60 \cdot \text{eff } \rho} \quad \text{DIN 1045-1 (137-a)}$$

Rissabstand bei abgeschl. Rissbildung $s_{r,a}$ 122,15 122,91 122,15 mm

$$s_{r,\text{max}} = \min(|s_{r,1}|; s_{r,a}) \quad \text{DIN 1045-1 (137+)}$$

Maßgebender Rissabstand $s_{r,\text{max}}$ 96,36 64,49 96,36 mm

$$\epsilon_R = \frac{\sigma_s - \frac{0,40 \cdot f_{ct,\text{eff}}}{\text{eff } \rho} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho)}{E_s} \quad \text{EN 1992-1-1 (7.9-a)}$$

Differenz der Dehnungen, Rechenwert ϵ_R 0,17 0,04 0,17 ‰

$$\epsilon_M = \frac{0,60 \cdot \sigma_s}{E_s} \quad \text{EN 1992-1-1 (7.9-b)}$$

Differenz der Dehnungen, Mindestwert ϵ_M 0,26 0,20 0,26 ‰

$$(\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm}) = \max(\epsilon_R; \epsilon_M) \quad \text{EN 1992-1-1 (7.9)}$$

Maßgebende Differenz der Dehnungen $(\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm})$ 0,26 0,20 0,26 ‰

$$\text{vorh } w_k = s_{r,\text{max}} \cdot (\epsilon_{Sm} - \epsilon_{Cm}) \quad \text{EN 1992-1-1 (7.8)}$$

Errechnete Rissbreite, Mindestbemessung $\text{vorh } w_k$ 0,025 0,013 0,025 mm
Der Querschnitt wird in Teilbereichen vollständig überdrückt.

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-113

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

$$U_{w,min} = \frac{vorh w_k}{w_k}$$

Ausnutzung Rissbreite, Mindestbemessung $U_{w,min}$ 16,8 8,8 16,8 %

Die zulässige Rissbreite nach DIN EN 1992-1-1 wird eingehalten.

3.2.7.10 Ermittlung der Lastklasse (DIN V 1201:2004-08 4.3.5)

Maximale Rohrvergleichsspannung nach DIN V 1201: $\max \sigma_{VR}$ 6,0 N/mm²
 Inneres Widerstandsmoment: W_i 8.066,67 mm³/mm
 Abminderungsbeiwert für Langzeitwirkung: $\alpha_{c,F}$ 0,90 [-]
 Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9: f_R 1,06 [-]
 Mittlerer Radius: r_m 910,00 mm
 Gewichtskraft des Rohrs: G_p 31,45 kN/m

$$F_c = 1/0,3 \cdot \left\{ \frac{\max \sigma_{VR} \cdot W_i}{\alpha_{c,F} \cdot f_R \cdot r_m} - 0,07 G_p \right\}$$

Risskraft (Ergänzung Mindestscheiteldruckkraft): F_c 178,57 kN/m
 Ermittelte Lastklasse nach DIN V 1201 Tabelle 8/9: 110

Werte mit einem (+) bedeuten, dass in Sonderfällen auch Rohre mit diesen Lastklassen (Festigkeitsklassen) hergestellt werden können. Der Strich - bedeutet, dass Rohre dieser Nennweiten und Lastklassen im Regelfall nicht hergestellt werden. Zum Einsatz kommen Rohre mit höherer Tragfähigkeit (Lastklasse).

3.2.8 Nachweis gegen Ermüden unter nicht vorwiegend ruhender Belastung

$$\text{dyn } p_T = p_T \cdot \alpha_T$$

Vertikale dynamisch relevante Bodenspannung in Scheitelhöhe: $\text{dyn } p_T$ 47,69 kN/m²
 Horizontale Bodenspannung infolge Verkehrslast für Ermüdungsnachweis: $p_{Th,E}$ 14,17 kN/m²

$$\text{dyn } p_{Th} = p_{Th,E} \cdot \alpha_T \quad (80b)$$

Anzusetzender seitlicher Erddruck aufgrund Verkehrslast: $\text{dyn } p_{Th}$ 14,2 kN/m²
 Die stützende Wirkung des Bettungsreaktionsdruckes $\text{dyn } p_{Vh}^*$ wird nicht angesetzt, da sich das Rohr-Boden-System biegesteif verhält.

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
$\text{dyn } N_{pTv} = n_{pT} \cdot \text{dyn } p_T \cdot r_m$					(81)
Normalkraft aus vertikaler Verkehrslast	$\text{dyn } N_{pTv}$	0,000	-43,401	0,000	kN/m
$\text{dyn } N_{pTh} = n_{pTh} \cdot \text{dyn } p_{Th} \cdot r_m$					(81)
Normalkraft aus seitlicher Verkehrslast	$\text{dyn } N_{pTh}$	-12,890	0,000	-12,890	kN/m
Summe der Normalkräfte aus Verkehr	$\text{dyn } \Sigma N$	-12,890	-43,401	-12,890	kN/m
$\text{dyn } M_{pTv} = m_{pT} \cdot \text{dyn } p_T \cdot r_m^2$					(82)
Moment aus vertikaler Verkehrslast	$\text{dyn } M_{pTv}$	9,874	-9,874	9,874	kNm/m
$\text{dyn } M_{pTh} = m_{pTh} \cdot \text{dyn } p_{Th} \cdot r_m^2$					(82)
Moment aus seitlicher Verkehrslast	$\text{dyn } M_{pTh}$	-2,933	2,933	-2,933	kNm/m
Summe der Momente aus Verkehr	$\text{dyn } \Sigma M$	6,941	-6,941	6,941	kNm/m
Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand quer zur Rohrachse:	$Y_{M,rad}$			1,50	[-]

3.2.9 Vereinfachter Nachweis gegen Ermüden nach DIN EN 1992-1-1, 6.8.7

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite: D-114

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.

Beiwert nach DIN 1055-100, Tabelle A.2:

 ψ_1 1,00 [-]

Elastizitätsmodul Betonstahl:

 E_s 200.000 N/mm²

Mittlerer E-Modul (Sekantenmodul):

 E_{cm} 35.220 N/mm²

$$n = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

Verhältnis E-Modul Stahl zu E-Modul Beton:

 n 5,68 [-]

Querschnittsbreite:

 b 1,00 m

Schwingbreite für 1·10⁸ Zyklen:

 $\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)$ 34,00 N/mm²

Modifizierte Betondruckfestigkeit:

 $f_{cd,fat}$ 19,04 N/mm²

$$f_{cd,fat} = \beta_{cc(t)} \cdot f_{cd} \cdot (1 - f_{ck}/250); \beta_{cc(t=28Tage)} = 1,0$$

Moment aufgrund ständiger Lasten	M_G	Scheitel 11,401	Kämpfer -11,642	Sohle 12,867	kNm/m
Normalkraft aufgrund ständiger Lasten	N_G	-32,955	-84,494	-41,354	kN/m

$$M_{Gs} = |M_G| - N_G \cdot z_{s1}$$

Auf die Zugbewehrung bezogenes Moment aufgrund ständiger Lasten	M_{Gs}	12,982	14,937	14,852	kNm/m
---	----------	--------	--------	--------	-------

$$M'_{Gs,min} = M_{Gs} \cdot \gamma_{Ed,fat}$$

Bemessungsmoment, ständig	$M'_{Gs,min}$	12,982	14,937	14,852	kNm/m
---------------------------	---------------	--------	--------	--------	-------

Hebelarm innere Ringbewehrung

 z_i 48,0 mm

Moment für Ermüdungsnachweis

 $M_{Q,dyn}$ 6,941 kNm/m

Normalkraft für Ermüdungsnachweis

 $N_{Q,dyn}$ -12,890 kN/m

Auf die Zugbewehrung bezogenes Moment aufgrund dynamischer Lasten

 $M_{Qs,dyn}$ 7,560 kNm/m

$$M'_{Qs,dyn} = M_{Qs,dyn} \cdot \psi_1 \cdot \gamma_{Ed,fat}$$

Bemessungsmoment, dynamisch	$M'_{Qs,dyn}$	7,560	8,634	7,560	kNm/m
-----------------------------	---------------	-------	-------	-------	-------

3.2.9.1 Nachweis der geschweißten Bewehrungskörbe

Statische Höhe	d	0,158	0,149	0,158	m
----------------	-----	-------	-------	-------	---

$$x = \left(\frac{n \cdot a_s}{b} \right) \cdot \left[-1 + \left(1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{n \cdot a_s} \right)^{0,5} \right]$$

Höhe der Betondruckzone	x	0,045	0,038	0,045	m
-------------------------	-----	-------	-------	-------	---

Höhe der Zugzone	$d-x$	0,113	0,111	0,113	m
------------------	-------	-------	-------	-------	---

$$z = d - \frac{x}{3}$$

Innerer Hebelarm	z	0,143	0,136	0,143	m
------------------	-----	-------	-------	-------	---

$$\sigma_{c,dyn} = \frac{2 \cdot M'_{Qs,dyn}}{x \cdot z \cdot b}$$

Betonspannung	$\sigma_{c,dyn}$	2,371	3,350	2,371	N/mm ²
---------------	------------------	-------	-------	-------	-------------------

$$\sigma_{s,dyn} = \left(\frac{1}{\text{vorh. } a_s} \right) \cdot \left(\frac{M'_{Qs,dyn}}{z} + N_{Q,dyn} \right)$$

$$\sigma_{s,dyn,kon} = n \cdot \sigma_{c,dyn} \cdot \frac{d-x}{x} + \frac{N_{Q,dyn}}{vorh \ a_{s,i}}$$

Kontrolle	$\sigma_{s,dyn,kon}$	25,932	17,592	25,932	N/mm²
$\Delta \sigma_{s,eq} = \sigma_{s,dyn} \cdot Y_{Ed,fat}$					
Ermittelter Wert	$\Delta \sigma_{s,eq}$	25,932	17,592	25,932	N/mm²
Maximalwert (abgeminderte Schwingbreite)	$\Delta \sigma_{Rsk}/Y_{s,fat}$	29,565	29,565	29,565	N/mm²
Vorhandene Bewehrung	vorh. a_s	15,39	11,31	15,39	cm²/m
Erforderliche Bewehrung aus Ermüden	erf. a_s	13,50	6,73	13,50	cm²/m
Ausnutzung Ermüden Stahl	$U \ \sigma_{s,dyn}$	87,7	59,5	87,7	%

Der Nachweis gegen Ermüden der Bewehrung ist erbracht.

3.2.9.2 Nachweis Beton in der Druckzone

$$M'_{Ed,dyn} = M'_{Qs,dyn} + M'_{Gs,min}$$

Bemessungsmoment, ständig+dynamisch	$M'_{Ed,dyn}$	20,542	23,571	22,412	kNm/m
-------------------------------------	---------------	--------	--------	--------	-------

$$\sigma'_{c,max} = \sigma_{c,dyn} \cdot \frac{M'_{Ed,dyn}}{M'_{Qs,dyn}}$$

Maximale Betondruckspannung	$\sigma'_{c,max}$	6,444	9,145	7,030	N/mm²
-----------------------------	-------------------	-------	-------	-------	-------

$$\sigma'_{c,min} = \sigma_{c,dyn} \cdot \frac{M'_{Gs,min}}{M'_{Qs,dyn}}$$

Minimale Betondruckspannung	$\sigma'_{c,min}$	4,072	5,795	4,659	N/mm²
-----------------------------	-------------------	-------	-------	-------	-------

$$U_{\sigma'c,max,eff} = \frac{\sigma'_{c,max}}{f_{cd,fat}} \quad \text{DIN EN 1992-1-1 Gl. (6.77)}$$

Ausnutzung bei maximaler Betondruckspannung	$U_{\sigma'c,max,eff}$	0,338	0,480	0,369	[-]
---	------------------------	-------	-------	-------	-----

$$U \ \sigma_{s,max,dyn} = \frac{U_{\sigma'c,max,eff}}{U_{\sigma'c,min,eff}}$$

Ausnutzung Ermüden maximale Spannung	$U \ \sigma_{s,max,dyn}$	56,8	75,4	60,5	%
--------------------------------------	--------------------------	------	------	------	---

$$U_{\sigma'c,min,eff} = 0,50 + 0,45 \cdot \frac{\sigma'_{c,min}}{f_{cd,fat}} \quad \text{DIN EN 1992-1-1 Gl. (6.77)}$$

Ausnutzung bei minimaler Betondruckspannung	$U_{\sigma'c,min,eff}$	0,596	0,637	0,610	[-]
---	------------------------	-------	-------	-------	-----

$$U \ \sigma_{s,min,dyn} = \frac{U_{\sigma'c,min,eff}}{0,90}$$

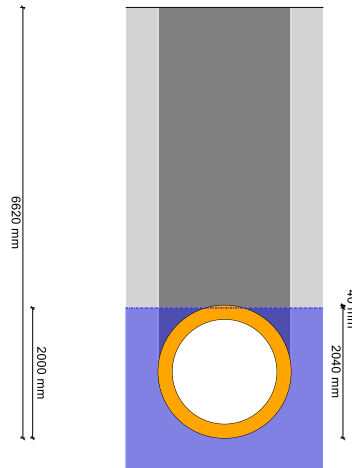
Ausnutzung Ermüden minimale Spannung	$U \ \sigma_{s,min,dyn}$	66,2	70,8	67,8	%
--------------------------------------	--------------------------	------	------	------	---

$$U_{\sigma'c,max,eff} \leq U_{\sigma'c,min,eff} \leq 0,9 \quad \text{DIN EN 1992-1-1 Gl. (6.77)}$$

Ausnutzung Ermüden Beton	$U \ \sigma_{c,dyn}$	66,2	75,4	67,8	%
--------------------------	----------------------	------	------	------	---

Der Nachweis gegen Ermüden des Betons ist erbracht.

Der Auftriebsnachweis erfolgt für den tatsächlichen Grundwasserstand $h_{W,max}$. Das Erdreich oberhalb des GW-Spiegels wird mit seiner Trockenwichte angesetzt.



Lastfaktor Auftriebskraft:
Baugrund:
Lastfaktor Eigengewicht:

YQ	1,05	[-]
Y _u	0,95	[-]
Y _G	0,95	[-]

Äußerer Radius:

r_a	1.020,0	mm
-------	---------	----

$h_a = h_{GW} - r_a$

Höhe Kreissegment:

h_a	980,00	mm
-------	--------	----

$\alpha = 2 \cdot \arccos(h_a / r_a)$

Winkel Kreissegment:

α	32,20	°
----------	-------	---

$V_{KS} = \frac{r_a^2}{2} \cdot (\alpha - \sin(\alpha))$

Volumen Kreissegment:

V_{KS}	0,02	m³/m
----------	------	------

$V_A = r_a^2 \cdot \pi$

Verdrängtes Volumen Außendurchmesser (Annahme: Rohr vollständig unter Wasser):

V_A	3,27	m³/m
-------	------	------

$V = V_A - V_{KS}$

Verdrängtes Volumen:

V	3,25	m³/m
-----	------	------

$Q_r = V \cdot \gamma_w$

Auftriebskraft:

Q_r	32,53	kN/m
-------	-------	------

$Q_{r,d} = Q_r \cdot Y_Q$

Auftriebskraft, Design:

$Q_{r,d}$	34,16	kN/m
-----------	-------	------

Wichte des Bodens unter Auftrieb im Auftriebsnachweis:

$\gamma'_{B,A}$	7,5	kN/m³
-----------------	-----	-------

Wichte des Bodens im Auftriebsnachweis:

$\gamma_{B,A}$	17,5	kN/m³
----------------	------	-------

Überdeckungshöhe:

h	1,6	m
-----	-----	---

$$h_n = \text{MIN}(h_{GW}; \text{MAX}(0; h_{GW} - D_a))$$

Höhe Boden unter Auftrieb:

 h_n 0,00 m

$$Q_{r1} = (h_n \cdot \gamma_{B',A} + (h - h_n) \cdot \gamma_{B,A}) \cdot D_a$$

Baugrund:

 Q_{r1} 163,51 kN/m

$$Q_{r1,d} = Q_{r1} \cdot \gamma_u$$

Baugrund, Design:

 $Q_{r1,d}$ 155,33 kN/m

$$A_{FZ} = 0,08 \cdot r_a - \frac{r_a^2}{2} \cdot 0,0291$$

Fläche Zwickel, trocken:

 A_{FZ} 0,07 m²

$$A_{FZ'} = \frac{2 \cdot r_a^2 - \pi \cdot r_a^2}{2} - A_{FZ}$$

Fläche Zwickel, nass:

 $A_{FZ'}$ 0,38 m²

$$F_Z = A_{FZ'} \cdot \gamma_{B',A} + A_{FZ} \cdot \gamma_{B,A}$$

Kraft aus Auflast Zwickel:

 F_Z 4,01 kN/m

$$F_{Z,d} = F_Z \cdot \gamma_u$$

Kraft aus Auflast Zwickel, Design:

 $F_{Z,d}$ 3,81 kN/m

Innerer Radius:

 r_i 800,0 mm

Radiale Profilfläche:

 A_{rad} 220,00 mm²/mm

Wichte des Rohrwerkstoffs:

 γ_R 25,0 kN/m³

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

Eigenlast:

 G_m 31,45 kN/m

$$G_{m,d} = G_m \cdot \gamma_G$$

Eigenlast, Design:

 $G_{m,d}$ 29,87 kN/m

$$Q_{g,d} = G_{m,d} + Q_{r1,d} + F_{Z,d}$$

Gegenkräfte, Design:

 $Q_{g,d}$ 189,02 kN/m

$$Q_{r,d} = Q_r \cdot \gamma_Q$$

Auftriebskraft, Design:

 $Q_{r,d}$ 34,16 kN/m

$$U = \frac{Q_{r,d}}{Q_{g,d}}$$

Ausnutzung Auftrieb:

 U 18,1 %

Der Auftriebsnachweis ist erfüllt.

Alle notwendigen Nachweise sind erbracht.

MA-250346_HSO-RVT01_20260201_224250.pdf

Bauteil: RVT01 - Rohrvortrieb Gleisquerung
MA-250346

Seite:
D-118

Kapitel / Vorgang: D - Berechnung
D01 Vortriebsrohr - Berechnung

Archiv-Nr.