SuedOstLink
- BBPlG Vorhaben Nr. 5
und Nr. 5a –

Abschnitt D2
Nittenau bis Pfatter

Unterlagen
gemäß § 21 NABEG

Das Vorhaben Nr. 5 im SuedOstLink ist von der Europäischen Union gefördert; sie haftet nicht für die Inhalte.

Kofinanziert von der Fazilität „Connecting Europe" der Europäischen Union

Anlage K10.5.R.1 Berechnungsnachweis und Lageplan zu statischem Standsicherheits- bzw. Stabilitätsnachweis

Rev.	Datum	Ausgabe	Erstellt	Geprüft	Freigegeben
00	29.06.2023	Unterlage gemäß § 21 NABEG	R. Meier	M. Jurek	TenneT M. Schafhirt

Festgestellt nach §24 NABEG
Bonn, den

Querungsgutachten D2-Q_056

Querung der Donau bei Strom - km ca. 2.353,6 in der Nähe der Ortschaft Pfatter

Projekt:	SuedOstLink
Abschnitt:	D2
Querung:	056
Datum:	18.04.2023
Revision:	03

Inhalt

1. Einleitung 4

2. Unterlagen 5

2.1 Projektunterlagen 5

2.2 Vorschriften, Normen, Regelwerke 5

3. Technische Spezifikationen/Vorgaben 7

3.1 WSA/WSV 7

3.2 TenneT/ARGE 7

4. Erläuterung der relevanten Bohrparameter 9

4.1 Mindestbiegeradius 9

4.1.1 Mindestbiegeradius des einzuziehenden Rohres 9

4.1.2 Mindestbiegeradius des Bohrgestänges 9

4.1.3 Mindestbiegeradius aus dem eingesetzten Ortungsverfahren 9

4.2 Zugkräfte 10

4.3 Bohrspülungsdruck 10

4.4 Mindestüberdeckung 10

4.5 Ein- und Austrittswinkel 11

5. Planung/Vorgaben 12

6. Berechnungen 14

6.1 Ermittlung der erforderlichen Zugkräfte 14

6.2 Rohrstatik 14

6.3 Ballastierung 14

6.4 Ermittlung des maximal zulässigen Spülungsdruckes 15

6.5 Spülungsmenge 16

7. Empfehlungen Bohrtechnik 17

7.1 Bohrgerät 17
7.2 Aufweitung des Bohrkanals 17
7.3 Ortungstechnik 18
7.4 Oberbogen 18
7.5 Verdämmung 19
7.6 Widerlager 19
7.7 Besondere Sicherungsmaßnahmen 20
8. Anmerkungen/Hinweise 22

Anlagen

A 1 Lageplan, M 1:1.000
A 2 Längsschnitt, M 1:250/250
A 3 Statische Berechnung DVGW GW 312/DWA-A 161
A 4 Spülungsdruckberechnung/ Zugkraftberechnung
A 5 Einzelfallberechnung Hr. Dr. Fricke bzgl. der thermisch erforderlichen Achsabstände, samt Erläuterung seiner getroffenen Annahmen im Mailformat(Stand 09.06.2021)

1. Einleitung

Die TenneT TSO GmbH (TenneT) und die 50Hertz Transmission GmbH (50Hertz) planen, als Übertragungsnetzbetreiber zur Erfüllung der gesetzlichen Verpflichtungen einer sicheren Energieversorgung, das Übertragungsnetz in ihren Regelzonen auszubauen. Dazu ist die Umsetzung des Leitungsvorhabens Höchstspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) mit einer Übertragungsleistung von je 2 GW mit Erdkabelvorrang zwischen den Netzverknüpfungspunkten (NVP) Wolmirstedt bei Magdeburg in Sachsen-Anhalt und Isar bei Landshut in Bayern (Vorhaben V5 und V5a im Bundesbedarfsplangesetz BBPIG) vorgesehen.

Das Vorhaben wird von TenneT in Projektpartnerschaft mit 50Hertz geplant und wird unter der Bezeichnung SuedOstLink im Projektbezug bezeichnet. Die Vergabe der detaillierten Trassierungsleistung sowie einer der hier beschriebenen Planungsleistung durch TenneT bezieht sich auf deren Verantwortlichkeitsbereich in Bayern (zwischen der Grenze zu Thüringen im Norden bis zum Netzverbindungspunkt an der Isar). Das Netzgebiet der TenneT umfasst die in Bayern gelegenen Abschnitte C und D.

Mit der Planung wurde seitens TenneT die ARGE SOL-iG, bestehend aus der imp GmbH und GIFTGE Consult GmbH, beauftragt. Seitens der ARGE SOL-iG wurde die Ingenieurgemeinschaft VeNiMo, bestehend aus der Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH, der IBNi-Ingenieurbüro Nickel GmbH und der MOLL-prd GmbH&Co.KG als Nachunternehmer für die Planung der geschlossenen Querungen beauftragt.

Der vorliegende Bericht wurde für die Querung der Donau, D2-Q_056, in der Gemarkung Geisling bei Pfatter erstellt. Die Donau soll gemeinsam mit den beidseitig angeordneten Landesschutzdeichen sowie zweier Mittelspannungskabel, einem Fernmeldekabel und einer Richtfunkstrecke in geschlossener Bauweise unterfahren werden.

2. Unterlagen

2.1 Projektunterlagen

U 1 Geotechnischer Bericht der Baugrundhauptuntersuchung, für die Querungsstelle D2-Q_056, der ICP Braunschweig GmbH mit Stand vom 13.05.2022

U 2 Querungsspezifisches Trassenband der ICP Braunschweig GmbH mit Stand vom 16.04.2021

U 3 Einzelfallberechnung der aus thermischen Gründen erforderlichen Mindestabständen für die HDD-Bohrungen sowie der zugehörige Schriftverkehr inkl. Erläuterungen zur Wahl der Ausgangswerte, erstellt durch Dr. Fricke, vom 06.09.2021

U 4 Lageplan D2-Q_056 der ARGE, vom 29.03.2023

U 5 Längsschnitt D2-Q_056 der ARGE, vom 29.03.2023

U 6 Tabelle mit den aus thermischen Gründen erforderlichen Mindestabständen für HDD-Bohrungen zur Querung von Mittelspannungsleitungen, erstellt durch den Vorhabenträger, vom 12.10.2021. Gemäß der Planungsvorgaben des Vorhabenträgers, soll der geringste Abstand entspr. der erstellten Typicals zwischen den Leitungsachsen min. 5 m betragen.

2.2 Vorschriften, Normen, Regelwerke

U 7 Verband Güteschutz Horizontalbohrungen e. V. (DCA), technische Richtlinien des DCA, 4. Auflage, 2015

U 8 DIN 18324, Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Horizontalspülbohrarbeiten, 09/2019

U 9 Arbeitsblatt GW 321, Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW), Steuerbare horizontale Spülbohrverfahren für Gas- und Wasserrohrleitungen – Anforderungen, Gütesicherung und Prüfung,10/2003

U 10 Arbeitsblatt DWA-A 161, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Statische Berechnung von Vortriebsrohren, 03/2014, korrigierte Fassung 05/2017

U 11 Dutch Standard, NEN 3650-1/2, Requirements for pipeline systems, 08/2006

3. Technische Spezifikationen/Vorgaben

3.1 WSA/WSV

Gemäß dem Arbeitsblatt „DWA-A-125 Rohrvortrieb und verwandte Verfahren“ sind bei Querungen von Bundeswasserstraßen diverse Punkte zu beachten, die Einfluss auf das jeweilige Verlegeverfahren sowie die Achsfestlegung im Kreuzungsbereich haben:

- Mindestüberdeckung (HDD-Verfahren) $10 * D_a < h_{min} > 5{,}0$ m
- Auf Verlangen des zuständigen WSA muss der Bohrbetrieb kontinuierlich erfolgen, d.h. dass ebenfalls an Wochenenden sowie nachts gearbeitet werden muss.
- Es dürfen nur gesteuerte Vortriebsverfahren eingesetzt werden.
- Die Vortriebsachse sollte rechtwinklig zur Bundeswasserstraße liegen.
- Die Entfernung der Start- Zielgruben zum Dammfuß, bzw. Seitengraben sollte min. 20 m betragen.
- Das HDD-Verfahren ist nur an im Einschnitt liegenden Bundeswasserstraßen zulässig. Bei Erstellung eines Havariekonzeptes darf es auch an Bundeswasserstraßen in Dammlage eingesetzt werden, wenn der Bemessungswasserstand maximal 1 m über dem Start- bzw. Zielpunkt der Bohrung liegt.

3.2 TenneT/ARGE

Es sollen 4 HGÜ-Kabel (525 kV) mit einem Durchmesser von ca. 0,15 m, 4 Begleitkabel für interne Telekommunikation (LWL-Kabel) und 4 Monitoringkabel verlegt werden. Die HGÜ-Kabel sollen im Bereich der Spülbohrungen jeweils in ein Mantelrohr (MR) mit einem Durchmesser von DA 315, SDR 9 und die LWL-Kabel jeweils in ein Kabelschutzrohr (KSR) mit einer Nennweite von DA 50 eingezogen werden. Die KSR DA 50 zur Aufnahme der LWL-Kabel werden in ein MR DA 140, SDR 7,4 eingezogen. Mit den MR DA 315 sollen insg. 8 Leerrohre DA 50 SDR 11 zur Aufnahme von Monitoringkabeln mitgeführt werden. Weiterhin sollen mit den MR DA 315 12 Leerrohre DA 50 SDR 11 zur Verdämmung des Bohrkanals mitgeführt werden. Diese sollen in Ihrer Länge gestaffelt werden. Das Bohrloch soll nach Einzug des MR über die zusätzlich mitgeführten Leitungen über

das Verdrängungsprinzip verdämmt bzw. verpresst werden. Auf Verlangen kann bei den Mantelrohren zur Aufnahme der LWL-Kabel ebenfalls so vorgegangen werden. Alternativ besteht hier auch die Möglichkeit lediglich die Bereiche unter den Hochwasserschutzeinrichtungen zu verdämmen, damit hier ebenfalls Längssickerlinien ausgeschlossen sind.

Bei geschlossenen Querungen mittels HDD-Verfahren muss der Mindestabstand der HGÜ-Kabel aus thermischen Gründen entsprechend der Tiefenlage aufgefächert werden. Grundlage für das Abstandsmaß der Tiefe sind die vom Vorhabenträger übermittelten Berechnungen (U 3).

Bei geschlossenen Querungen mittels HDD-Verfahren, muss der Mindestabstand der HGÜ-Kabel aus thermischen Gründen entsprechend der Tiefenlage aufgefächert werden. Grundlage für das Abstandsmaß in Abhängigkeit der Tiefe sind die querungsspezifischen Berechnungen von Dr. Fricke (U 3).

Die beiden äußeren MR (Leitungsachsen 1+6) werden für Telekommunikationszwecke genutzt. Bei der Festlegung des Mindestabstands zwischen Leitungsachse 1+2, sowie zwischen 5+6 müssen thermische Belange nicht berücksichtigt werden. Auf der freien Verlegestrecke werden die LWL-Kabel parallel der HGÜ-Kabel im Kabelgraben mitgeführt.

Im weiteren Verlauf des Querungsgutachtens sowie der einzelnen Anlagen werden die Schutzrohre als Kabelschutzrohr (KSR) oder Mantelrohre (MR) bezeichnet. Die Begrifflichkeiten sind als Synonym zu verstehen.

4. Erläuterung der relevanten Bohrparameter

Hinweis: In diesem Kapitel sind allgemeine Hinweise und Erläuterungen zu verschiedenen Bohrparametern zu finden. Die projektspezifischen Festlegungen sind in den Folgekapiteln dokumentiert.

4.1 Mindestbiegeradius

Der Mindestbiegeradius wird durch den zulässigen Mindestbiegeradius des einzuziehenden Rohres, den zulässigen Mindestbiegeradius des Bohrgestänges und das eingesetzte HDD - Ortungsverfahrens bestimmt.

4.1.1 Mindestbiegeradius des einzuziehenden Rohres

Der Mindestbiegeradius der HDD Bohrung muss größer sein, als der jeweilige Mindestbiegeradius des Rohres.

Für PE-Rohre werden die Radien in Abhängigkeit der Verlegetemperatur bestimmt.

4.1.2 Mindestbiegeradius des Bohrgestänges

Der zulässige Mindestbiegeradius des Bohrgestänges ist anhand der Vorgabewerte des Herstellers zu ermitteln. Als allgemeine Richtwerte können hier Mindestradien zwischen 30 m und 250 m angenommen werden. Für die im SOL-Projekt voraussichtlich verwendeten Bohranlagen ist vorbehaltlich einer genaueren Betrachtung ein Mindestbiegeradius von ≥ 75 m anzunehmen. In Abhängigkeit des anstehenden Baugrunds sowie der zum Einsatz kommenden Bohrtechnik können hier auch größere Werte erforderlich werden.

4.1.3 Mindestbiegeradius aus dem eingesetzten Ortungsverfahren

In der steuerbaren Horizontalbohrtechnik können verschiedene Ortungsverfahren eingesetzt werden. Unter den Wire-Line-Verfahren werden die Verfahren zusammengefasst, deren Datenübertragung per Kabel im Bohrstrang erfolgt. Hierzu zählt Steering Tool, das Magnetic Guidance Verfahren und die Kreiselkompassmesstechnik. Die Bezeichnung Walk-Over-Verfahren steht für Verfahren, bei denen von der Geländeoberfläche aus gemessen wird, während man mit dem Messgerät der Position des Bohrkopfes folgt.

Bei Bohrungen über größere Längen mit erhöhter Anforderung an die Ausführungsgenauigkeit kommen nur das Magnetic Guidance Verfahren und die Kreiselkompassmesstechnik in Betracht.

Beim Magnetic Guidance Verfahren ist ein Mindestbiegeradius von 100 m, bei Kreiselkompassverfahren ist ein Mindestbiegeradius von 150 m notwendig.

4.2 Zugkräfte

Bei der Verlegung einer Rohrleitung mittels Horizontalbohrtechnik sind insbesondere folgende Fragestellungen zu beachten:

- Wird die zu installierende Rohrleitung den voraussichtlich zu erwartenden Belastungen während des Einziehvorgangs standhalten können?
- Wird die vorgesehene maschinentechnische Ausrüstung in der Lage sein, die erforderlichen Kräfte zum Einzug der MR aufzubringen?

Zur Beantwortung beider Fragestellungen muss die maximal zu erwartende Zugkraft während des Einziehvorgangs ermittelt werden. Man unterscheidet zwischen Zugkräften, die direkt am Ziehkopf erforderlich werden, um die an der Rohrleitung entstehenden Reibungskräfte zu überwinden und Zugkräften, die von der Bohranlage aufgebracht werden müssen. Letztere sind in jedem Fall höher, da sie zusätzliche Reibungskräfte (z.B. des Bohrstranges, des Räumers und der Einziehgarnitur) überwinden müssen.

Die Zugkraft hängt u. a. von der Bohrlänge, dem Rohrdurchmesser, Rohrmaterial, Bohrradius, Winkelsumme, Hindernisse im Bohrverlauf, Rohrballastierung und den Baugrundreibungsverhältnissen ab.

4.3 Bohrspülungsdruck

Der Bohrspülungsdruck wird zum einen aus dem geodätischen Höhenunterschied zwischen tiefstem Punkt der Bohrung und Bohreintritt, sowie dem verfahrensbedingt notwendigen Spülungsdruck zum Lösen und Austrag des Bohrkleins definiert.

4.4 Mindestüberdeckung

Die Mindestüberdeckung ist abhängig vom zu querenden Bereich sowie den jeweiligen geologischen Verhältnissen. Empfehlenswert ist eine Überdeckung des 10- bis 15-

fachen Bohrlochdurchmessers. Eine Überdeckung < 5 m sollte hinsichtlich der Gefahr von Spülungsausbrüchen im Einzelfall geprüft werden. Je größer die Überdeckung gewählt wird, desto geringer ist die Gefahr von Spülungsausbrüchen und Tagesbrüchen.

4.5 Ein- und Austrittswinkel

Der Ein- und Austrittswinkel orientiert sich beim HDD-Verfahren am Rohrdurchmesser und am Rohrmaterial. Als Regel gilt, dass die Winkel umso flacher werden sollten, je größer die Rohrleitung ist. Der Ein- und Austrittswinkel sollte zwischen 5° und 15° zum anstehenden Gelände liegen.

5. Planung/Vorgaben

Die Querung der Donau erfolgt ca. 2.200 m nordwestlich der Ortschaft Pfatter, bei Straubing. Gemeinsam mit der Donau werden die beidseitig der Donau liegenden Hochwasserschutzeinrichtungen sowie zwei Mittelspannungskabel, ein Fernmeldekabel und eine Richtfunkstrecke, in geschlossener Bauweise unterfahren. Die Querung der Donau soll als Meeting in the Middle aufgefahren werden. Das heißt, die geplante Bohreintrittspunkte für die sechs parallelen Spülbohrungen befinden auf der nördlichen und südlichen Seite der Donau. Bei Bohrungen, die als Meeting in the Middle aufgefahren werden, wird sowohl von der Start- als auch von der Zielseite aufeinander zu gebohrt. Innerhalb einer vorher festgelegten Meeting-Area treffen sich die beiden Bohrgarnituren unter Tage. Anschließend wird ein Bohrstrang zurückgezogen, wobei der andere Bohrstrang diesem, in dem zuvor aufgefahrenen Bohrkanal folgt. Die nachfolgenden Arbeitsschritte (Aufweitung sowie Rohreinzug) erfolgen von einer Seite aus. Die MR für die geplanten Spülbohrungen werden innerhalb des Regelarbeitsstreifens für die offene Verlegestrecke auf der nördlichen und südlichen Seite der Donau vorgestreckt. Der Einzug der Mantelrohre soll abwechselnd von beiden Seiten erfolgen.

Um die Querneigung im Kreuzungsbereich darzustellen, wurden auf dem Lageplan A 1 Geländehöhen an den beiden äußeren Leitungsachsen und der Trassenachse angegeben. Neben den jeweiligen Bohrein/-austrittspunkten, wurden zwei weitere Höhenkoten auf diesen Achsen angegeben.

Die folgenden Angaben beziehen sich auf den Längsschnitt A 2 in der Trassenachse.

Kreuzungswinkel Donau	ca. 82 °	
Vortriebslänge horizontal	639,86 m, (gestreckte Bohrlänge 643,95 m)	
vertikaler Bohrradius	350 m	
maximale Überdeckung	23,24 m (unter Deich) (Bezug auf Rohrachse)	
Eintrittswinkel	12° (ca. 12° zum Gelände)	323,65 m NHN
Eintrittswinkel	13° (ca. 13° zum Gelände)	323,91 m NHN
tiefster Punkt der Bohrung (Achse)	21,57 m (Bezugslinie DCA)	302,28 m NHN

Das Baugrundgutachten (U 1) gibt im Bereich des Tonsteins / Schluffsteins, eine thermische Leitfähigkeit 3,2 – 3,6 W/K*m an / 0,5 – 0,6 W/K*m (feucht / trocken) an. Dies

entspricht einem spezifischen Wärmewiderstand von 0,31 K*m/W / 2 K*m/W (feucht / trocken), was einen Verlegeabstand von 6,9 m gemäß U 3 ergäbe. Unter Berücksichtigung der Verlegetoleranzen (10 % der Verlegetiefe 21,57 m = 2,16 m; 2 * 2,16 m = 4,32 m) ergibt sich ein erforderlicher Achsabstand von 11,22 m ohne Betrachtung der Mittelspannungsleitung. Die Abstände wurden an der hier vorliegenden Querungsstelle mit dem Vorhabenträger abgestimmt und auf 13 m festgelegt.

Da bei den LWL-Kabeln thermische Belange keinen Einfluss auf den Verlegeabstand haben, wurde hier ein Abstand von 5 m festgelegt. Wir empfehlen einen Mindestachsabstand von 4,0 m bei größeren Querungslängen (> 100 m) nicht zu unterschreiten. Die Abstände sind im Lageplan, sowie im Längsschnitt in A 1 und A 2 entsprechend dargestellt.

Aufgrund der Länge der Bohrungen und der aufzunehmenden Zugkräfte beim Einzug, empfehlen wir bei den Bohrungen 1 und 6, ein MR DA 140, SDR 7,4. Bei den Bohrungen 2 bis 5, empfehlen wir ein MR DA 315, SDR 9.

Bei den vier Bohrungen DA 315 für die Aufnahme der HGÜ-Kabel werden jeweils 5 KSR DA 50 mitgeführt. Ein KSR DA 50 wird mit einem Monitoringkabel belegt, das zweite ist als Reserve gedacht, falls ein KSR beim Rohreinzug abreißt. Die verbleibenden 3 Rohre DA 50 sind für die Verdämmung des Ringraums zwischen Bohrlochwand und MR DA 315 vorgesehen. Alternativ bestünde die Möglichkeit, den Ringraum bereits während des Rohreinzuges durch Verpumpen einer hydraulisch erhärtenden Suspension auf Zementbasis dauerhaft, kraftschlüssig zu verfüllen.

Die Eintrittspunkte wurden in einem Abstand von ca. 88 m zum Deichfuß (nördlich der Donau), bzw. ca. 54 m zum Deichfuß (südlich der Donau) geplant.

6. Berechnungen

6.1 Ermittlung der erforderlichen Zugkräfte

In der Spülungsdruckberechnung/ Zugkraftberechnung A 4 werden Zugkräfte von 36 kN bei einer zulässigen Zugkraft von 72 kN für das MR DA 140 und 143 kN bei einer zulässigen Zugkraft von 296 kN für das MR DA 315 ausgewiesen. Diese Zugkräfte wurden jeweils mit einem Ungewissheitsfaktor von 1,4 beaufschlagt. Hierbei handelt es sich um die jeweiligen Zugkräfte an der Bohranlage.

6.2 Rohrstatik

Des Weiteren erfolgte für die MR jeweils eine statische Berechnung des Vortriebsrohrs nach DVGW GW 312/DWA-A 161. Hierbei wurden alle notwendigen Nachweise erbracht. Die statischen Berechnungen sind in der A 3 beigefügt.

6.3 Ballastierung

Beim Einzug eines Rohres in einen mit Flüssigkeit gefüllten Bohrkanal treten Auf- und Abtriebskräfte auf. Die Auftriebskraft erzeugt im Zusammenhang mit dem jeweiligen Reibungsbeiwert zwischen Rohrstrang und Bohrlochwand mitunter erhebliche Reibungskräfte.

Diese Reibungskräfte müssen beim Rohreinzug von der Bohranlage überwunden werden. Um die negativen Aspekte (höhere Zugkräfte, stärkere Belastung der Umhüllung bzw. Ummantelung) eines Auftriebs im Bohrloch zu mindern, können die MR ballastiert werden.

Da die zulässigen Zugkräfte größer als die benötigten Zugkräfte sind, ist im vorliegenden Fall keine Ballastierung für den Einzug der MR vorgesehen. Sollten während des Bohrprozesses Schwierigkeiten auftreten, können die Rohre als risikominimierende Maßnahme, befüllt eingezogen werden.

6.4 Ermittlung des maximal zulässigen Spülungsdruckes

Für die Querungsstelle wurde für die beiden MR DA 315 und DA 140 jeweils eine Spülungsdruckberechnung/ Zugkraftberechnung A 4 durchgeführt.

Hierbei wurden folgende Annahmen zu Grunde gelegt:

- Bohrkopf $12^1/_4$“
- Durchmesser Pilotbohrloch 350 mm
- Gestängedurchmesser Pilotgestänge $6^5/_8$“
- Pumprate Pilotbohrung 1400 l/min

Andere Kombinationen (größeres Bohrgerät, Gestänge, Bohrkopf, etc.) sind selbstverständlich möglich.

Der maximal zulässige Spülungsdruck, ergibt sich aus den die Bohrung überlagernden Bodenschichten unter Berücksichtigung der Schichtmächtigkeit und den geologischen/hydrogeologischen Eigenschaften. Der erforderliche Spülungsdruck beim Pilotieren errechnet sich aus dem notwendigen Spülungsdruck zum Austrag der mit Bohrklein aufgeladenen Bohrspülung und aus dem zu überwindenden hydrostatischen Druck aus dem Höhenunterschied zwischen Bohreintritt und der betrachteten Station. Liegt der erforderliche Spülungsdruck inklusive des hydrostatischen Druckes über dem maximal zulässigen Spülungsdruck kommt es rechnerisch zu ungewollten Spülungsaustritten. In dem hier vorliegenden Fall ist anhand der Spülungsdruckberechnung mit keinen ungewollten Spülungsaustritten bis an die GOK zu rechnen. Weiterhin zeigt sich in der Berechnung, dass an allen Punkten des Bohrkanal mit einem größeren hydrostatischen Druck gegenüber dem umliegenden Wasserdruck zu rechnen ist und somit von einer Flüssigkeitsstützung des Bohrkanals ausgegangen werden kann.

6.5 Spülungsmenge

Die Spülungsmenge / das Bohrlochvolumen kann gemäß dem DVGW-Arbeitsblatt GW 321 mit der folgenden Formel errechnet werden:

$$V_B = \frac{\pi * DA^2}{4} * L_B * f_k$$

mit:	DA	Endaufweitdurchmesser	[m]	
	L_B	Länge der Bohrung	[m]	
	f_k	Kaliberfaktor 1,05-2,2	[-]	→ angenommen 1,3

- MR DA 140: $V_B = \frac{\pi * 0{,}350^2}{4} * 640 * 1{,}3 = 80\ m^3$
- MR DA 315: $V_B = \frac{\pi * 0{,}610^2}{4} * 640 * 1{,}3 = 243\ m^3$

7. Empfehlungen Bohrtechnik

7.1 Bohrgerät

Die Spülungsdruckberechnung/ Zugkraftberechnung (Kapitel 6.1) hat ergeben, dass eine maximale Zugkraft von 143 kN erforderlich ist. Als Sicherheitszuschlag für die Bestimmung der Bohrgerätegröße wird unter Berücksichtigung der einschlägigen Regelwerke und der Aufweitung im Zuge des Einzugs ein Faktor von 3 erhoben. Ferner wird die Zugkraft des MR DA 315 für die sechs parallelen Bohrungen angesetzt, da davon ausgegangen wird, dass alle sechs Bohrungen mit derselben Bohranlage durchgeführt werden. Die für die Dimensionierung der Bohranlage zu Grunde liegende Zugkraft wird daher mit 429 kN eingeschätzt. Da die Bohrungen innerhalb des Ton-/Schluffsteins ausgeführt werden, wird von dem Einsatz eines Mudmotors ausgegangen. Ein entsprechender Mudmotor wird durch die Bohrspülung angetrieben. Zum Antrieb des Motors sind hohe Pumpvolumenströme ca. 1400 l/min, erforderlich. Aufgrund der zu erwartenden hohen Drehmomente während der Aufweitung im Festgestein, wird planungsseitig ein Bohrgerät mit einer Rückzugkraft von min. 100 to empfohlen. Es obliegt jedoch grundsätzlich der ausführenden Firma auch eine größere Bohranlage einzusetzen.

Zusätzlich zu berücksichtigen sind die erforderlichen Drehmomente, die insbesondere im Zuge der Aufweitung auftreten. Diese Werte stehen in direktem Zusammenhang mit anderen Bohrparametern, z.B. der Bohrgeschwindigkeit, und können daher planungsseitig nicht definiert werden. Sie müssen jedoch in die Dimensionierung der Bohranlage, einschließlich der Anlagenkomponenten (Gestänge, Pumpentechnik) einfließen.

7.2 Aufweitung des Bohrkanals

Um die MR in den Bohrkanal einzuziehen, sind mehrere Aufweitschritte mit größeren Räumern notwendig. Der Enddurchmesser des Bohrkanals sollte beim

- MR DA 140: ca. 350 mm
- MR DA 315: ca. 610 mm

betragen.

Die Bohrspülung sollte seitens der ausführenden Firma jeweils auf die örtlichen Gegebenheiten abgestimmt werden (z. B. Erstellung eines Spülungskonzeptes vor Bauausführung). Insbesondere der Ton-/Schluffstein sollte bei der Erstellung des Spülungskonzeptes hinsichtlich seines Quell- sowie Verklebungspotentials berücksichtigt werden. Weiterhin empfiehlt es sich die Spülungseigenschaften durch einen Spülungsingenieur während der Bauausführung zu überwachen.

7.3 Ortungstechnik

Da die MR vermessungstechnisch relativ eng beieinander liegen, werden seitens TenneT hohe Anforderungen an die Lagegenauigkeit gestellt. Weiterhin ist es Vorgabe der TenneT TSO, dass kabelgebundene Messsysteme wie Para Track oder Gyro zu bevorzugen sind.

Bei Querungen von Gewässern 1. Ordnung sind erfahrungsgemäß, kabelgebundene Messsysteme zu verwenden.

Die für die Spülungsdruckberechnung gewählte Kombination (Bohrgerät/Gestänge) lässt den Einsatz der Kreiselmesstechnik sowie magnetischer Messverfahren zu.

7.4 Oberbogen

Beim Einziehen des Rohrstranges in das Bohrloch beschreibt der Rohrstrang im Bereich des Überganges vom geraden Rohrstrang in das Bohrloch einen Oberbogen. Die Werte für die Länge des Rohrscheitelpunktes Ls und die Höhe für die Rohrstütze Hs muss rechnerisch nachgewiesen werden. Sie ergibt sich aus dem Material, Rohraußendurchmesser und dem Austrittswinkel. Der in der technischen Richtlinie des DCA aufgeführte Richtwert für den Radius mit einem mindestens 0,8-fachen Rohrdurchmesser gilt für Stahlrohre und würde bei einem MR DA 315 zu einem Radius von 252 m führen. Da das MR aus Polyethylen materialbedingt deutlich geringere Radien zulässt, wurde ein Oberbogen mit einem Radius von 30 m angenommen. Bei einer Verlegetemperatur von 0°C, beträgt der Mindestbiegeradius des MR 50 * DA. Dies entspricht 15,75 m. Der angenommene Mindestbiegeradius ist somit größer als der temperaturabhängige Radius.

7.5 Verdämmung

Unmittelbar nach dem Einzug des Rohrstranges ist die Bentonitsuspension innerhalb des Ringraums um die Mantelrohre, durch eine hydraulisch aushärtenden Zementsuspension zu ersetzen. Insbesondere die Bereiche unterhalb der Hochwasserschutzeinrichtungen werden, zur Vermeidung von Längssickerlinien, vollumfänglich mit Dämmer verfüllt.

Mit den MR DA 315 werden jeweils drei KSR DA 50 für die Verdämmung mitgeführt. Um eine Verdämmung der Bohrung zu gewährleisten, werden die Rohrlängen bezogen auf den Bohreintrittspunkt gestaffelt (160 m, 320 m und 480 m).

Während des Einzugs der beiden MR DA 140 kann analog zu den MR DA 315 vorgegangen werden.

Alternativ hierzu könnte während des Rohreinzuges eine hydraulisch erhärtende Suspension auf Zementbasis verpumpt werden, welche die Bentonitsuspension aus dem Ringraum verdrängt. Bei dieser Vorgehensweise ist auf eine ausreichende Verarbeitungsdauer zu achten.

Da bei den Da 140er Kabelschutzrohren keine Wärmeableitung erfolgen muss, könnte hier theoretisch auf die Verdämmung des kompletten Bohrkanals verzichtet werden. Aus Gründen des Hochwasserschutzes, ist es allerdings erforderlich in den Bereichen unterhalb der Hochwasserschutzanlagen (beidseitig 45°) hohlraumfrei zu verfüllen, damit Längssickerlinien entlang der Rohre ausgeschlossen werden können.

Die endgültige Vorgehensweise für die Ringraumverdämmung sollte erst während der Bohrarbeiten festgelegt werden, damit alle Erkenntnisse aus dem Bohrprozess miteinfließen können.

7.6 Widerlager

Die Zugkraft der Bohranlage muss sicher von einem geeigneten Widerlager (z.B. Spundwand, etc.) aufgenommen werden. Es wird empfohlen, die Dimension dieses Widerlagers am Maximalwert der Zugkraft des zum Einsatz kommenden Bohrgerätes auszurichten. Die Ausbildung des Widerlagers ist den geologischen Verhältnissen anzupassen und obliegt der ausführenden Firma.

7.7 Besondere Sicherungsmaßnahmen

- Casingrohre

Zur Sicherung der sandigen und kiesigen Formationen oberhalb des Festgesteinshorizontes auf den Startseiten ergibt sich die Notwendigkeit beidseitig eine Schutzverrohrung, zur Stützung der Bohrkanäle, vorzusehen. Weiterhin sind in dem geologischen Gutachten (U 1) Grobkiese zu erkennen. Ein Austrag dieser Grobkiese kann im HDD-Verfahren nicht sichergestellt werden, so dass es zu Verklemmungen sowie Verstopfungen kommen kann. Die Casingrohre binden in den Festgesteinshorizont ein, das heißt die Bohrgarnitur der HDD-Anlagen wird bis in das Festgestein zwangsgeführt, sodass ein Abprallen des Bohrmeißels an dem Festgestein unwahrscheinlich ist. Eine denkbare Möglichkeit zur Einbringung der Casingrohre ist es, die Rohre mittels einer Horizontalpressbohranlage mit der vorgesehenen Neigung in den Boden einzupressen und gleichzeitig den Boden mittels Schnecke abzubauen sowie aus dem Casingrohr zu fördern. Die hierfür notwendigen Casingrohre wiesen eine Länge von ca. 57 m, bzw. 64 m auf. Eine Einbindung in den Festgesteinshorizont ließe sich beispielsweise mittels Imlochhammer realisieren.

Da das Geotechnische Gutachten nur auf punktuellen Aufschlüssen basiert, besteht die Möglichkeit, dass der Festgesteinshorizont nicht wie vorgesehen mittels Casing erreicht werden kann. Sofern kiesige Bereiche mittels der HDD Bohrungen durchfahren werden müssen, besteht die Möglichkeit Spülungsverluste größeren Umfangs partieller Bohrlocheinstürze. Sofern partielle Bohrkanaleinstürze sowie nicht tragbare Spülungsverluste auftreten, kann es notwendig werden, das Bohrloch zu auszuzementieren und es anschließend mittels Felsbohrwerkzeugen neu aufzufahren. Insbesondere vor dem Hintergrund der Abbindezeiten des Verfüllstoffes wäre bei der Notwendigkeit dieser Sicherungsmaßnahme mit einer deutlich erhöhten Bauzeit zu rechnen.

- Meeting in the Middle

Das oben aufgeführte Meeting in the Middle erhöht grundsätzlich die Ausführungssicherheit. In Verbindung mit der oben aufgeführten Verrohrung der Startbereiche, wird erreicht, dass die Bohrlinie ausschließlich innerhalb des Festgesteins geführt wird. Nachfälle in der Übergangszone, ein Abfließen der Bohrspülung oder Verstopfungen des

Bohrkanals durch Grobkiese werden durch die hier beschriebene Art der Ausführung nicht erwartet.

Aufgrund der verschiedenen Festigkeiten und Abrasivitäten der Gesteine kann es an dieser Querungsstelle erforderlich werden Werkzeugwechsel vorzunehmen. Die hierfür erforderlichen Zeiten wirken sich negativ auf die Bauzeit aus. Sofern während der Aufweitung ein Werkzeugwechsel erforderlich ist, müsste das Aufweitungswerkzeug (hier: voraussichtlich Hole-Opener) zur Austrittsseite zurückgeschoben werden. Um diesen Prozess zu vereinfachen, könnte es sinnvoll sein eine zweite Bohranlage auf der Zielseite vorzusehen, welche das „Herausschieben“ ziehend unterstützt.

8. Anmerkungen/Hinweise

- Der Längsschnitt in A 2 bezieht sich auf die Trassenachse des Gesamtsystems und ist für alle sechs Bohrungen repräsentativ.

- Die Rohrstatik wurde mit einer Software von der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) erstellt. Das Programm ist für die in der DWA-A 161/ DVGW GW 304 aufgeführten Vortriebe, unter anderem für das HDD-Verfahren anwendbar.

- Die im Längsschnitt A 2 dargestellten Bohrungen wurden dem Trassen-band U 2 entnommen. Die Bodenaufschlüsse wurden anschließend lotrecht aufdie Schnitt-/ Trassenachse projiziert und von der dort vorhandenen Geländeober-kante entsprechend abgesetzt.

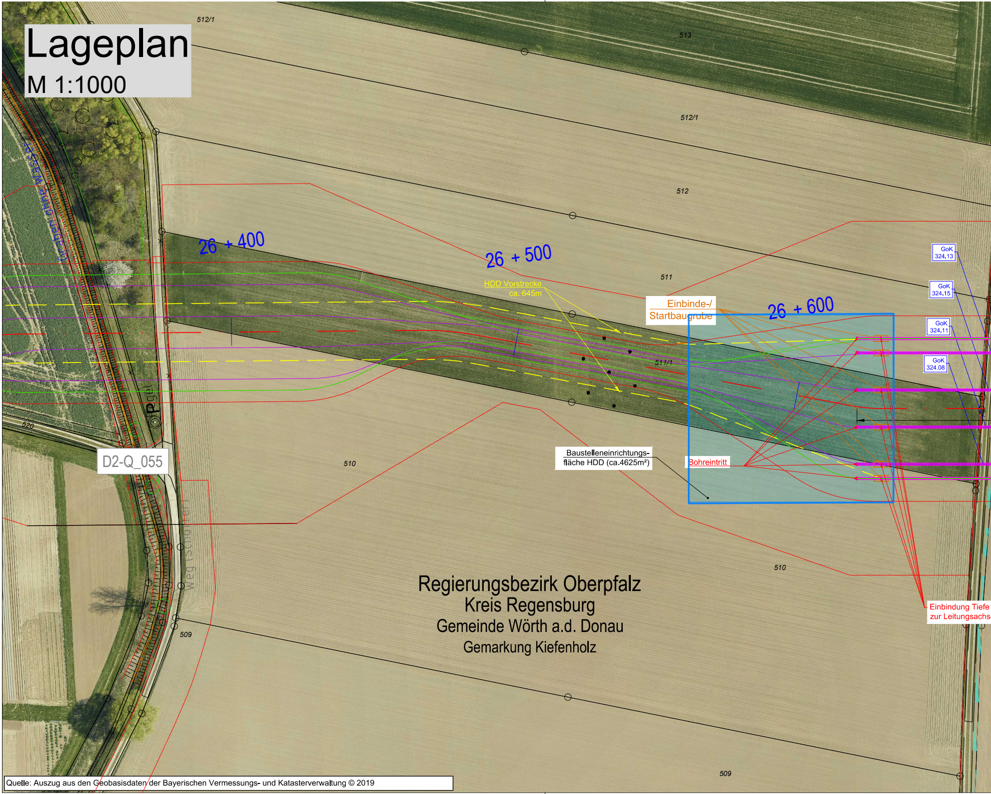
- In der Statische Berechnung nach DVGW GW 312/DWA-A 161 (Anlage 3) wurde davon ausgegangen, dass das Festgestein eine Gewölbewirkung über dem Rohrscheitel bildet und die max. Überdeckungshöhe somit auf die Höhe des überlagernden Lockergesteins herabgesetzt werden kann. Dies ist im weiteren Planungsprozess mit dem Baugrundgutachter abzustimmen. Sofern diese Annahme nichtzutreffend ist, müssen Rohre mit einem höheren Widerstand gegen Beulen ausgewählt werden.

Anlage

A 1 Lageplan, M 1:1.000

Lageplan

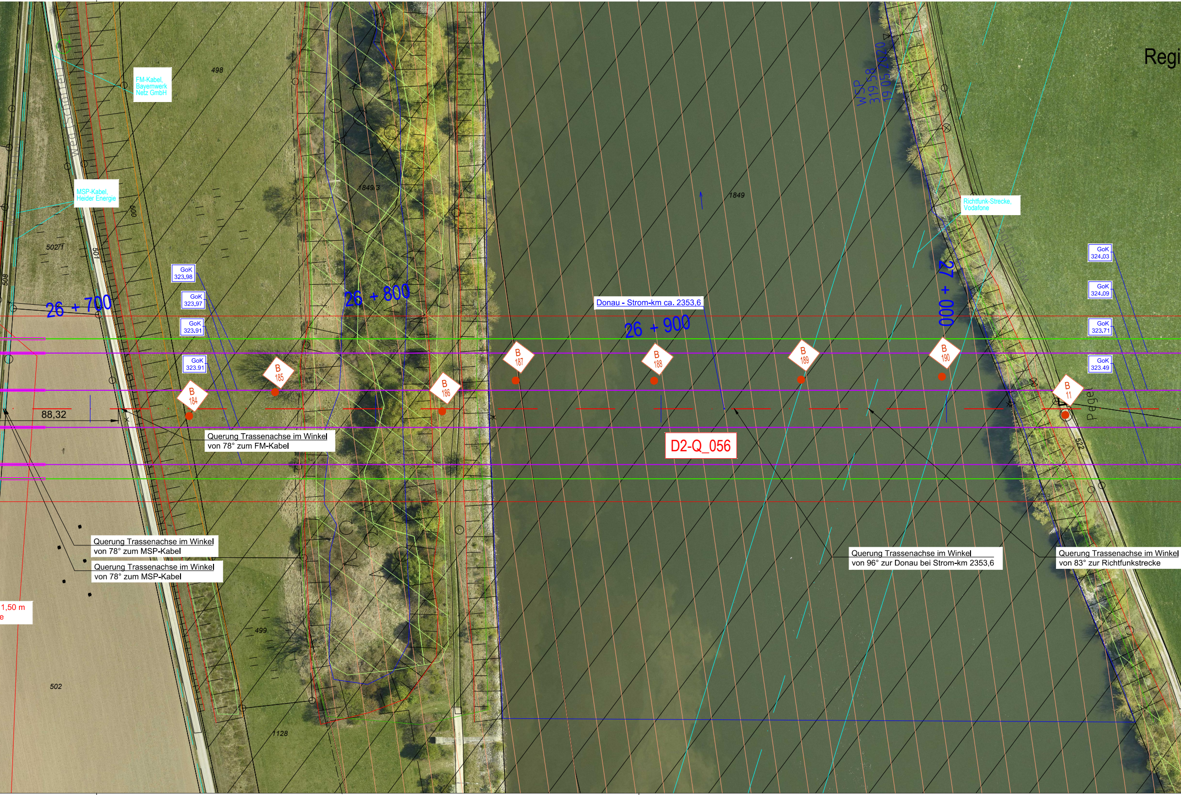
M 1:1000

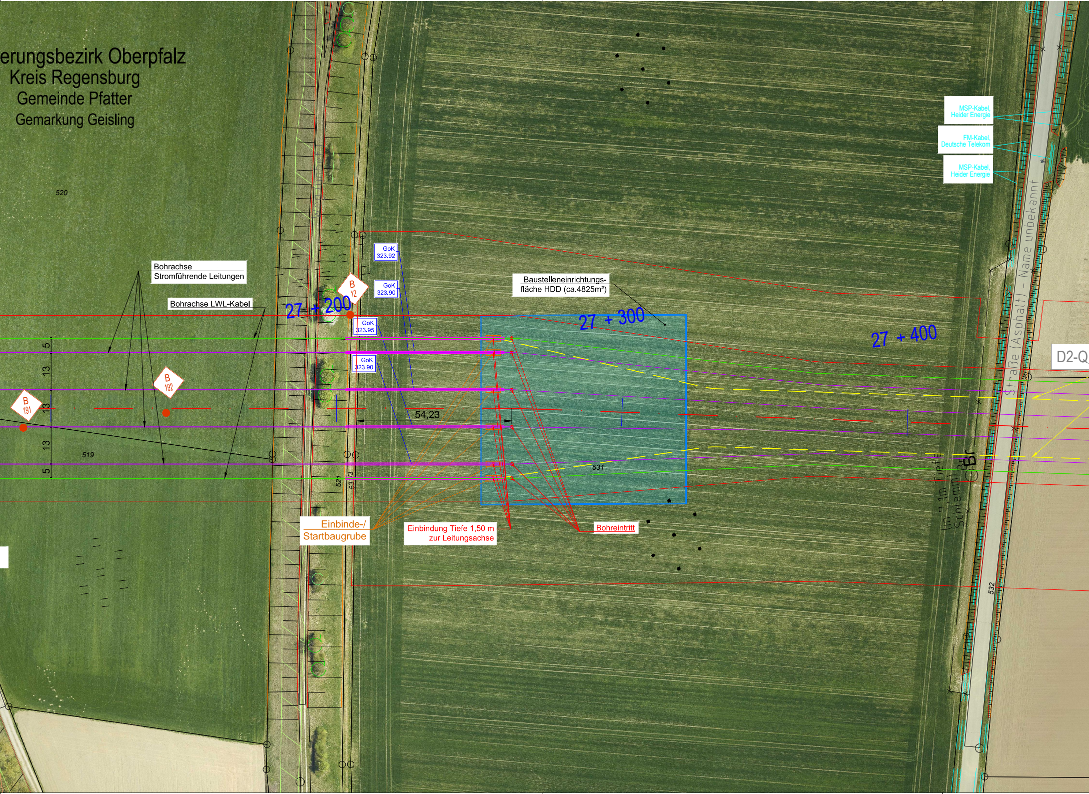

512/1
513
512/1
512
511
Graben ohne Wasser
26 + 400
26 + 500
26 + 600
HDD Vorstrecke
ca. 645m
Einbinde-/
Startbaugrube
GoK
324.13
GoK
324.15
GoK
324.11
GoK
324.08
511/1
Pegel
520
D2-Q_055
510
Baustelleneinrichtungs-
fläche HDD (ca.4625m²)
Bohreintritt
Einbindung Tiefe
zur Leitungsachs
Weg (Schotter)
510
509
509

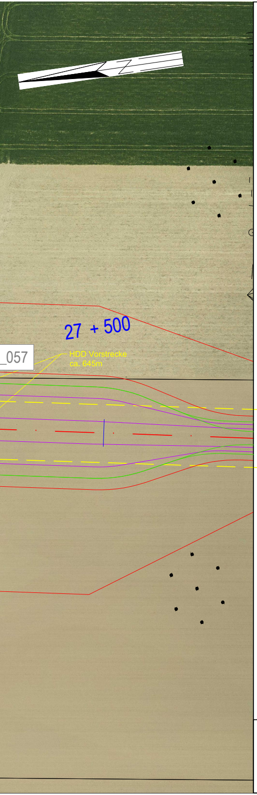
Regierungsbezirk Oberpfalz
Kreis Regensburg
Gemeinde Wörth a.d. Donau
Gemarkung Kiefenholz

Quelle: Auszug aus den Geobasisdaten der Bayerischen Vermessungs- und Katasterverwaltung © 2019

TenneT TSO GmbH
A060-AGT-000782-AT-005

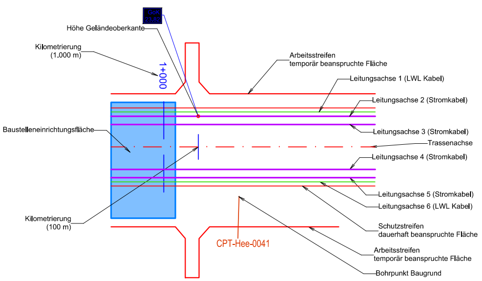

Regi
FM-Kabel, Bayernwerk Netz GmbH
MSP-Kabel, Heider Energie
Weg (Schotter)
Weg (Schotter)
498
500
501
502/1
508
1849/3
1849
499
502
1128
522
WSP 319.58 19.05.2020
Richtfunk-Strecke, Vodafone
GoK 323.98
GoK 323,97
GoK 323.91
GoK 323.91
GoK 324.03
GoK 324.09
GoK 323.71
GoK 323.49
26 + 700
26 + 800
26 + 900
27 + 000
Donau - Strom-km ca. 2353,6
B 184
B 185
B 186
B 187
B 188
B 189
B 190
B 11
Pegel
88,32
D2-Q_056
Querung Trassenachse im Winkel von 78° zum FM-Kabel
Querung Trassenachse im Winkel von 78° zum MSP-Kabel
Querung Trassenachse im Winkel von 78° zum MSP-Kabel
Querung Trassenachse im Winkel von 96° zur Donau bei Strom-km 2353,6
Querung Trassenachse im Winkel von 83° zur Richtfunkstrecke
1,50 m
e


erungsbezirk Oberpfalz
Kreis Regensburg
Gemeinde Pfatter
Gemarkung Geisling
520
519
521
531
532
Bohrachse
Stromführende Leitungen
Bohrachse LWL-Kabel
B 191
B 192
B 12
27 + 200
27 + 300
27 + 400
GoK 323.92
GoK 323.90
GoK 323.95
GoK 323.90
5
13
13
13
5
54,23
Baustelleneinrichtungs-
fläche HDD (ca.4825m²)
Einbinde-/
Startbaugrube
Einbindung Tiefe 1,50 m
zur Leitungsachse
Bohreintritt
MSP-Kabel,
Heider Energie
FM-Kabel,
Deutsche Telekom
MSP-Kabel,
Heider Energie
Straße (Asphalt) - Name unbekannt
D2-Q
Br
(in 7,1m Tiefe
Schlamm)


27 + 500
_057
HDD Vorstrecke
ca. 645m

Legende :

Systemskizze - geschlossene Querung (HDD)


GoK
23.82
Höhe Geländeoberkante
Kilometrierung
(1.000 m)
1+000
Arbeitsstreifen
temporär beanspruchte Fläche
Leitungsachse 1 (LWL Kabel)
Leitungsachse 2 (Stromkabel)
Baustelleneinrichtungsfläche
Leitungsachse 3 (Stromkabel)
Trassenachse
Leitungsachse 4 (Stromkabel)
Leitungsachse 5 (Stromkabel)
Leitungsachse 6 (LWL Kabel)
Kilometrierung
(100 m)
Schutzstreifen
dauerhaft beanspruchte Fläche
CPT-Hee-0041
Arbeitsstreifen
temporär beanspruchte Fläche
Bohrpunkt Baugrund

Grenzen:

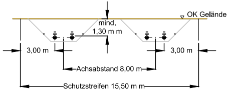
- Land
- Kreis
- Stadt/Gem.
- Gemarkung
- Flurstück
- Flurbereinigung
- Gebäude ▨
- Flurstücksnummer 37

- ▨ Biotope mit Bedeutung für Arten- u. Ökosystemschutz
- ▤ FFH-Gebiet
- ▥ Naturschutzgebiet
- ▨ Wasserschutzgebiet
- ▧ Vogelschutzgebiet
- ▧ Landschaftsschutzgebiet

- Straßenkante
- Weg (unbefestigt)
- Zaun
- Fremdleitungen (unterirdisch)
- Fremdleitungen (oberirdisch)
- geplante Leitungen (nachrichtliche Übernahme)

Systemregelskizze

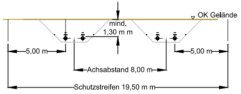
2 x 2 Kabel 525 kV
mit Schutzrohr DA 280 SDR 17
2 x 2 Leerrohre


OK Gelände
mind.
1,30 m m
3,00 m
3,00 m
Achsabstand 8,00 m
Schutzstreifen 15,50 m m

Regelverlegesituation
(Verlegung außerhalb von Wald)

Systemregelskizze

2 x 2 Kabel 525 kV
mit Schutzrohr DA 280 SDR 17
2 x 2 Leerrohre

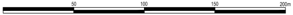

OK Gelände
mind.
1,30 m m
5,00 m
5,00 m
Achsabstand 8,00 m
Schutzstreifen 19,50 m m

Regelverlegesituation
(Verlegung innerhalb von Wald)

ALKIS-Daten vom Amt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (Stand: 03.2020)
Vermessung vom 03.2020

Fremdleitungen sind nachrichtlich dargestellt. Es besteht keine Gewähr auf Lage und Vollständigkeit.
Die Lage, Tiefe und Dimension der Fremdleitungen sind bei Bauausführung durch Einweisung und Handschachtung zu ermitteln.

Koordinatensystem: ETRS89 / UTM Zone N32, EPSG 4647 Höhenbezugsfläche nach NHN


50
100
150
200m

TenneT

BBPIG-Vorhaben 5 und Vorhaben 5a, HGÜ-Verbindung Wolmirstedt - Isar / Klein Rogahn - Isar Leitung-Nr.: LH-16-10003 / LH-16-10004 Planfeststellungsabschnitt D2

Lageplan

Querung der Donau bei Pfatter, MSP-Kabel, FM-Kabel, Richtfunkstrecke, bef. und unbef. Wege

D2-Q_056

Index	Ausgabedatum	Name	Änderung
3			
2			
1			

SOL-iG
imp GmbH
Im Neyl 18
59823 Arnsberg

erstellt von: Börger
geprüft von: Meier
Erstelldatum: Okt. 2022
Format: 1630 x 297
Maßstab: 1 : 1000

Eigentümer der Zeichnung: TenneT
Zugehörigkeit: Planfeststellungsabschnitt D2
Dokumentenart: Lageplan
Status: Genehmigung
Ausgabedatum: 05.04.2023

Identnummer

Titel
BBPIG-Vorhaben 5 und Vorhaben 5a, HGÜ-Verbindung
Wolmirstedt - Isar / Klein Rogahn - Isar
D2-Q_056, Lageplan

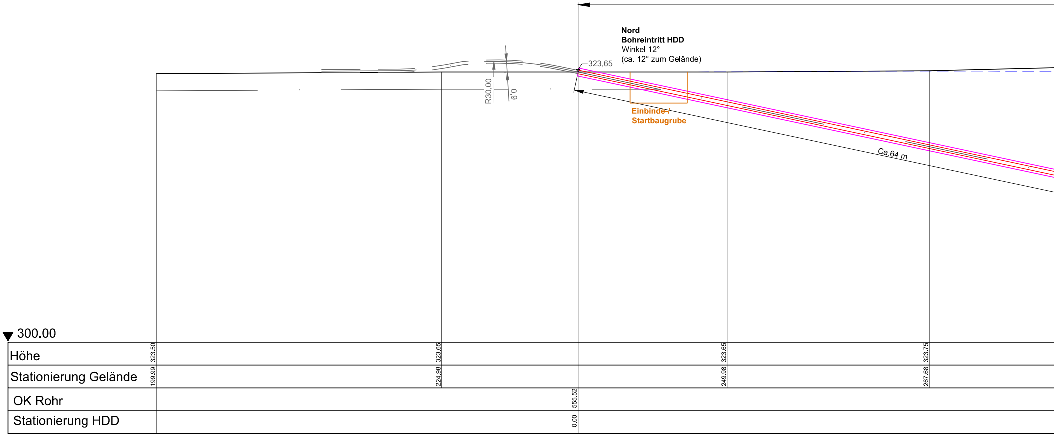
Objekt: LH-16-10003 / LH-16-10004
Fremdnummer: SOL_D2_20230411_T_D2_Q-056_V0.9
Blatt: 1

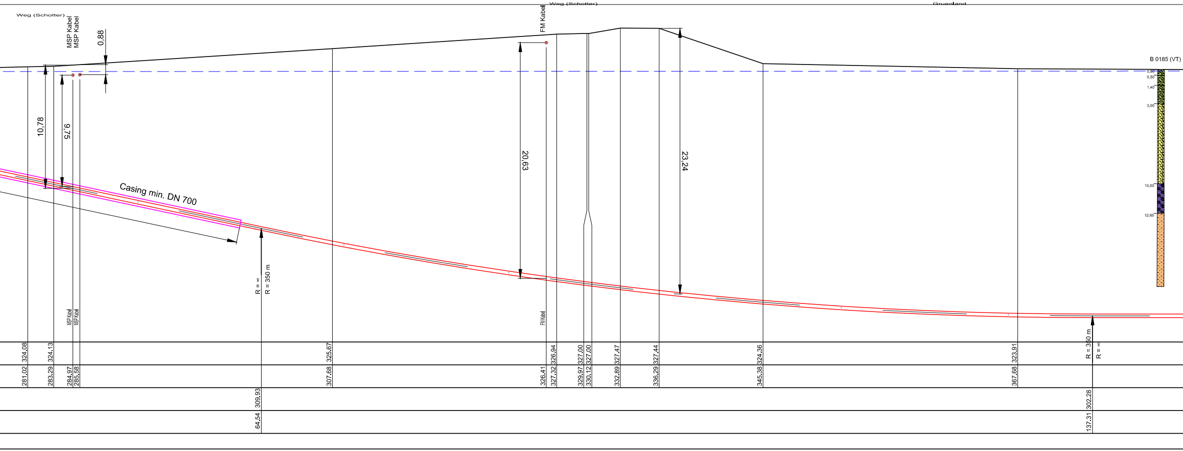
Anlage

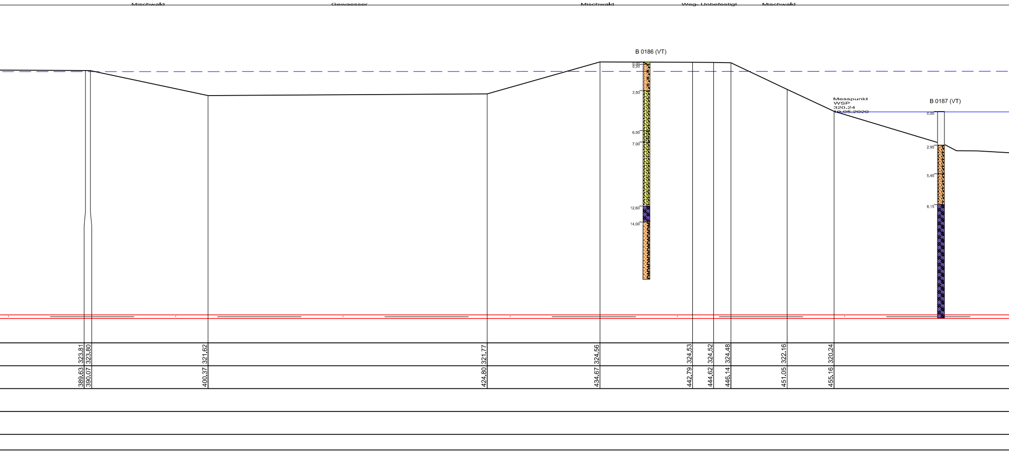
A 2 Längsschnitt, M 1:250/250

Längsschnitt:

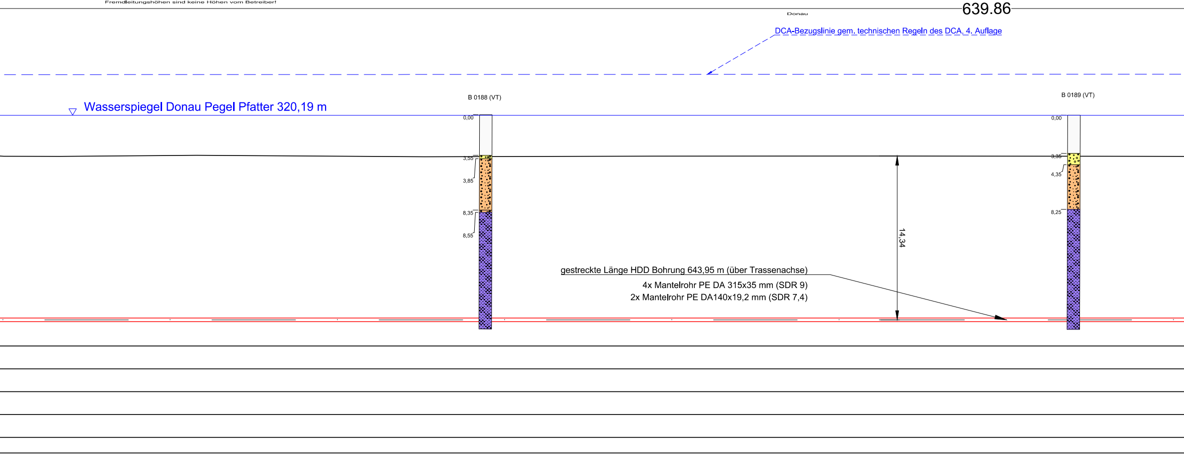
Maßstab 1: 250 / 1:250

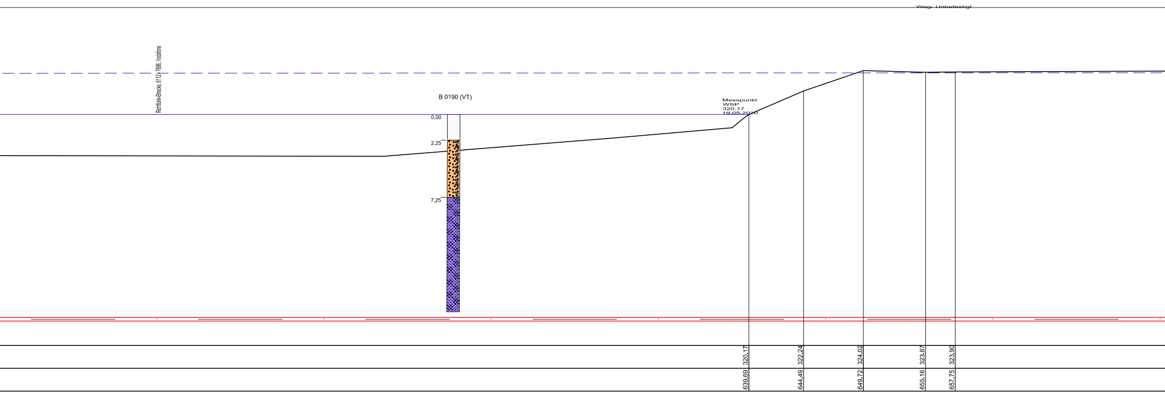

Nord
Bohreintritt HDD
Winkel 12°
(ca. 12° zum Gelände)
323,65
R30,00
0,9
Einbinde-/
Startbaugrube
Ca.64 m
300.00
Höhe
Stationierung Gelände
OK Rohr
Stationierung HDD
323.50
199.99
323.65
224.98
555.52
0.00
323.65
249.98
323.75
267.68


Weg (Schotter)
MSP Kabel
MSP Kabel
0,88
10,78
9,75
Casing min. DN 700
R = ∞
R = 350 m
MSP Kabel
MSP Kabel
Weg (Schotter)
FM Kabel
20,63
FM Kabel
23,24
Gruenland
B 0185 (VT)
0,00
0,50
1,40
3,00
10,00
12,60
R = 350 m
R = ∞
324.08
324.13
325.67
326.94
327.00
327.00
327.47
327.44
324.36
323.91
281.02
283.29
284.97
285.58
307.68
326.41
327.32
329.97
330.12
332.89
336.29
345.38
367.68
309.93
302.28
64.54
137.31


Mischwald
Gewaesser
Mischwald
Weg- Unbefestigt
Mischwald
B 0186 (VT)
0,00
0,20
2,50
6,00
7,00
12,60
14,00
Messpunkt
WSP
320.24
19.05.2020
B 0187 (VT)
0,00
2,95
5,45
8,15
323.81
323.80
321.62
321.77
324.56
324.53
324.52
324.48
322.16
320.24
389.63
390.07
400.37
424.80
434.67
442.79
444.62
446.14
451.05
455.16

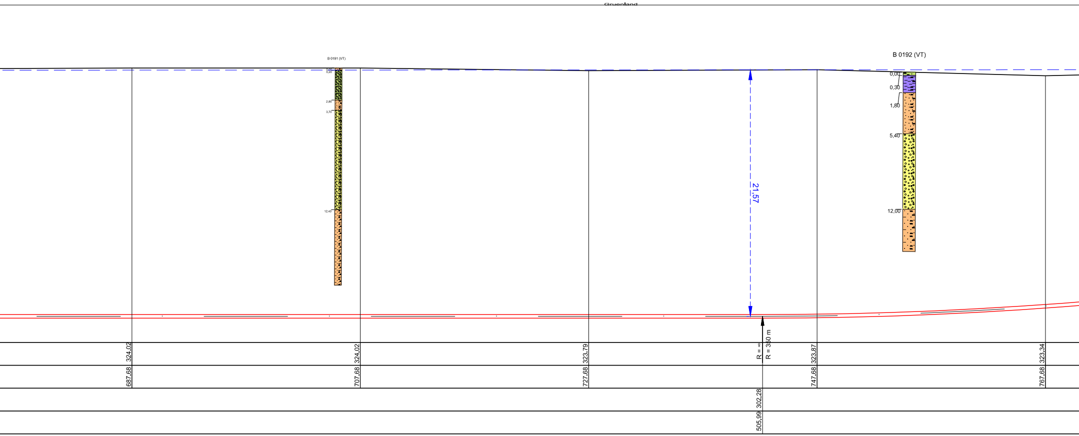
Bei Fremdleitungen Regeltiefe eingetragen.
Fremdleitungshöhen sind keine Höhen vom Betreiber!

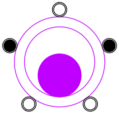

Donau
639.86
DCA-Bezugslinie gem. technischen Regeln des DCA, 4. Auflage
Wasserspiegel Donau Pegel Pfatter 320,19 m
B 0188 (VT)
0,00
3,55
3,85
8,35
8,55
B 0189 (VT)
0,00
3,35
4,35
8,25
14,34
gestreckte Länge HDD Bohrung 643,95 m (über Trassenachse)
4x Mantelrohr PE DA 315x35 mm (SDR 9)
2x Mantelrohr PE DA140x19,2 mm (SDR 7,4)


Weg- Unbefestigt
Richtfunk-Strecke, 6112 : 7696, Vodafone
B 0190 (VT)
0,00
2,25
7,25
Messpunkt
WSP
320.17
19.05.2020
320,17
322,24
324,02
323,87
323,90
639,69
644,49
649,72
655,16
657,75

Detail "X"

Maßstab 1:10

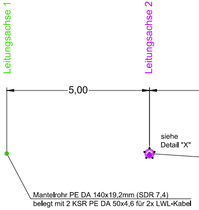

Gruenland
B 0191 (VT)
0,00
0,20
2,80
3,70
12,40
B 0192 (VT)
0,00
0,30
1,80
5,40
12,00
21,57
R = ∞
R = 350 m
324,02
687,68
324,02
707,68
323,79
727,68
323,87
747,68
323,34
767,68
302,28
505,99

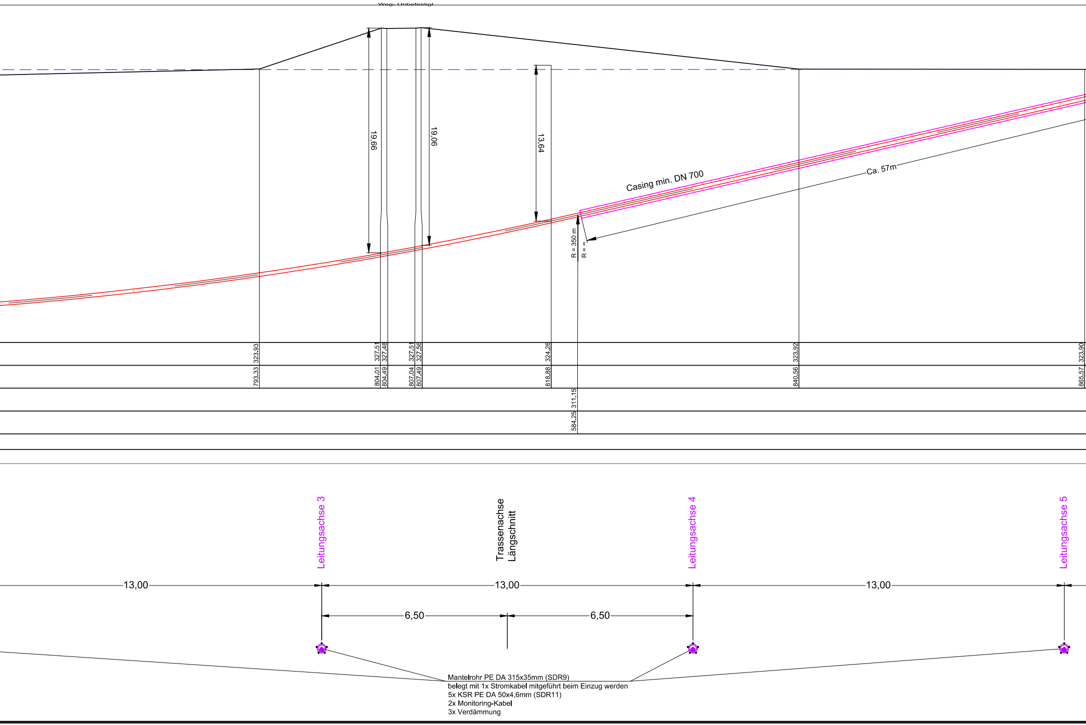


Mantelrohr PE DA 315x35mm (SDR9)
belegt mit 1x Stromkabel
mitgeführt beim Einzug werden 5x KSR PE DA 50x4,6mm (SDR11)
2x Monitoring-Kabel
3x Verdämmung

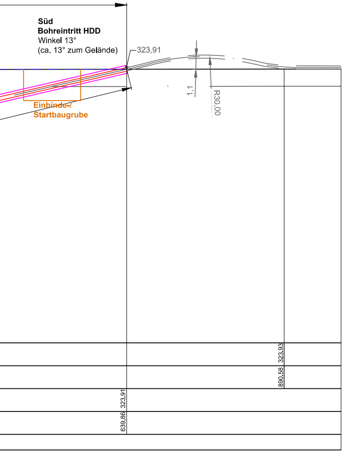
Querprofil

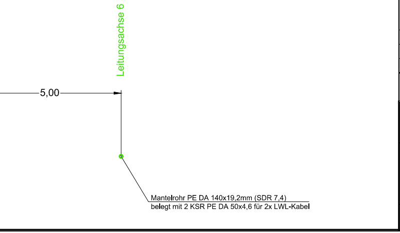
Maßstab 1:100


Leitungsachse 1
Leitungsachse 2
5,00
siehe
Detail "X"
Mantelrohr PE DA 140x19,2mm (SDR 7,4)
belegt mit 2 KSR PE DA 50x4,6 für 2x LWL-Kabel


Weg- Unbefestigt
19,66
19,06
13,64
Casing min. DN 700
Ca. 57m
R = 350 m
R = ∞
323.93
793.33
327.51
327.48
804.01
804.49
327.51
327.56
807.04
807.49
324.26
818.88
311.15
584.25
323.92
840.56
323.90
865.57
Leitungsachse 3
Trassenachse
Längschnitt
Leitungsachse 4
Leitungsachse 5
13,00
13,00
13,00
6,50
6,50

Mantelrohr PE DA 315x35mm (SDR9)
belegt mit 1x Stromkabel mitgeführt beim Einzug werden
5x KSR PE DA 50x4,6mm (SDR11)
2x Monitoring-Kabel
3x Verdämmung


Süd
Bohreintritt HDD
Winkel 13°
(ca. 13° zum Gelände)
323,91
1,1
R30,00
Einbinde-/
Startbaugrube
323.93
890.58
323,91
639,86


Leitungsachse 6
5,00
Mantelrohr PE DA 140x19,2mm (SDR 7,4)
belegt mit 2 KSR PE DA 50x4,6 für 2x LWL-Kabel

BBPIG-Vorhaben 5 und Vorhaben 5a, HGÜ-Verbindung
Wolmirstedt - Isar / Klein Rogahn - Isar
Leitung-Nr.: LH-16-10003 / LH-16-10004
Planfeststellungsabschnitt D2

Längsschnitt

Querung der Donau bei Pfatter, MSP-Kabel, FM-Kabel, Richtfunkstrecke, bef. und unbef. Wege

D2-Q_056

Index	Ausgabedatum	Name	Änderung
3			
2			
1			

SOL-iG
imp GmbH
Im Neyl 18
59823 Arnsberg

erstellt von Börger	geprüft von Meier	Erstelldatum Okt. 2022	Format 3081 x 297	Maßstab div.
Eigentümer der Zeichnung	Zugehörigkeit Planfeststellungsabschnitt D2		Ausgabedatum 05.04.2023	
	Dokumentenart Längsschnitt	Status Genehmigung		
Identnummer	Titel BBPIG-Vorhaben 5 und Vorhaben 5a, HGÜ-Verbindung Wolmirstedt - Isar / Klein Rogahn - Isar D2-Q_056, Lageplan	Objekt LH-16-10003 / LH-16-10004		
		Fremdnummer SOL_D2_20230411_T_D2_Q-056_V0.9	Blatt 1	

Anlage

A 3 Statische Berechnung DVGW GW 312/DWA-A 161

Statische Berechnung

Bauvorhaben:	SuedOstLink Abschnitt D2
Beschreibung:	Querung der Donau Kabelschutzrohr HGÜ: PE 100 SDR 9 Kabelschutzrohr LWL: PE 100 SDR 7,4 vorh. Überdeckungshöhe: 23,24 m (im Bereich des Deiches, nördlich der Donau)
Auftraggeber:	TenneT TSO GmbH Bernecker Str.70 95448 Bayreuth
Bearbeiter:	RJM/pd
Statik-Nr.:	18-0901-D2-Q_056_LWL
Datum:	15.02.2022

Inhaltsangabe

1 Vortriebsrohr nach DWA-A 161, 2. Auflage **3**

1.1 Eingaben 3

1.1.1 Vortriebsverfahren 3

1.1.2 Trasse und Vortriebskraft 3

1.1.3 Druckübertragungsring (DÜR) 3

1.1.4 Bodenkennwerte 3

1.1.5 Bodenverhalten 3

1.1.6 Lasten 4

1.1.7 Berechnungsoptionen 4

1.1.8 Vollwand/Profil-Rohr 4

1.1.8.1 Thermoplast 4

1.1.8.2 Systemskizze 5

1.2 Ergebnisse 6

1.2.1 Teilsicherheitsbeiwerte (Einwirkungen) 6

1.2.2 Zwischenergebnisse Rohr 6

1.2.2.1 Materialeigenschaften 6

1.2.2.2 Sicherheiten 6

1.2.2.3 Überprüfung der Mindestwanddicke 6

1.2.3 Spannungsnachweis (Mindestbemessung) 7

1.2.4 Zwischenergebnisse Boden 7

1.2.5 Bauzustand 7

1.2.5.1 Belastungen Bauzustand 7

1.2.5.2 Schnittkräfte Bauzustand 8

1.2.5.3 Verformungsnachweis Bauzustand 8

1.2.5.4 Beulnachweis Bauzustand 9

1.2.5.5 Spannungsnachweis Bauzustand 9

1.2.6 Nachweis der Zulässigkeit der Vortriebskraft 9

1.2.6.1 Rohr 10

1.2.6.2 Rohrabwinklung 10

1.2.6.3 Verformung des Rohres 10

1.2.6.4 Interaktion - Vergleichsspannungsnachweis Schaft 10

1.2.6.5 Nachweis Axialbeulen (Kunststoff oder GFK-Rohr) 11

1.2.7 Betriebszustand 11

1.2.7.1 Belastungen Betriebszustand 11

1.2.7.2 Schnittkräfte Betriebszustand 11

1.2.7.3 Verformungsnachweis Betriebszustand 12

1.2.7.4 Beulnachweis Betriebszustand 12

1.2.7.5 Spannungsnachweis Betriebszustand 13

1.2.7.6 Nachweis gegen Ermüden unter nicht vorwiegend ruhender Belastung 13

1.2.8 Auftriebsnachweis 13

1 Vortriebsrohr nach DWA-A 161, 2. Auflage

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

Berechnungsart:	Vollwand-/Profilrohr
Nachzuweisende Zustände:	Bau- und Betriebszustand
Einbauskizze in Ausdruck:	Ja
Mindestschnittgrößen im Betriebszustand drucken:	Ja

1.1 Eingaben

1.1.1 Vortriebsverfahren

Verfahren:	HDD		
Vollständige dauerhafte Ringraumverpressung:	Ja		
Druck beim Verpressen des Überschnitts:	p_D	4,5	bar
Einsatz von Stütz- oder Gleitmittel:	Ja		
Stütz- oder Gleitmitteldruck:	p_{Stm}	3,5	bar
Ringspalt:	Andere Vortriebsverfahren, kontinuierliche Ringspaltstützung mit Dokumentation		

1.1.2 Trasse und Vortriebskraft

Verlauf der Vortriebsstrecke:	Mehrere Kurven		
Planmäßiger Krümmungsradius:	R_{plan}	350,00	m
Berechnung der unplanmäßigen Abweichungen von der Sollachse:	Trassierung ohne Übergangsbögen		
Kombinationsbeiwert für Rohrabwinklungen:	ψ	0,80	[-]
Vorgabe der Vortriebskraft:	Nein		
Freie Eingabe der Sicherheit für Längsrichtung:	Nein		
Kontrollierter Einbau:	Nein		

1.1.3 Druckübertragungsring (DÜR)

Art der Druckübertragung:	Ohne Druckübertragungsring

1.1.4 Bodenkennwerte

Bodenbeschaffenheit:	Festgestein/Fels		
Eingabe des Seitendruckwertes über:	Ruhedruckbeiwert (K2,0)		
Ruhedruckbeiwert K2,0 des Felses:	$K_{2,0}$	0,000	[-]
Verformungsmodul des Felses:	E_F	50,0	N/mm²
Auflagerwinkel (Festgestein, Bauzustand):	60°		
Auflagerwinkel (Festgestein, Betriebszustand):	60°		
Manuelle Angabe der Wichte des Bodens:	Ja		
Wichte des Bodens:	γ_B	21,0	kN/m³
Wichte des Bodens unter Auftrieb:	γ'_B	11,0	kN/m³

1.1.5 Bodenverhalten

Anwendung von Silotheorie:	Nein
Berücksichtigung des Konzentrationsfaktors λ:	Nein

1.1.6 Lasten

Überdeckungshöhe:	h	23,2	m
Reduzierung der Überdeckungshöhe bei Fels:	Ja		
Überdeckungshöhe für vertikale Erdlast:	h_F	16,6	m
Zusätzliche Flächenlast:	P_0	0,00	kN/m²
Teilsicherheitsbeiwert Wasseraußendruck:	$\gamma_{F,W}$	1,35	[-]
Grundwasserstand über Sohle:	h_{GW}	18,1	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		
Verkehrslast:	Kein Verkehr		
Abminderungsfaktor dynamische Last manuell eingeben:	Nein		

1.1.7 Berechnungsoptionen

Beulnachweis:	Nach A 161
Verformungsnachweis:	Nach A 161
Zulässige Verformung nach A161:	Ja
Ermüdungsnachweis:	Nach Regelwerk
Mindestschnittgrößen nach Norm:	Ja
Vergleichsspannung Mindestschnittgrößen:	Mit Bemessungswerten

1.1.8 Vollwand/Profil-Rohr

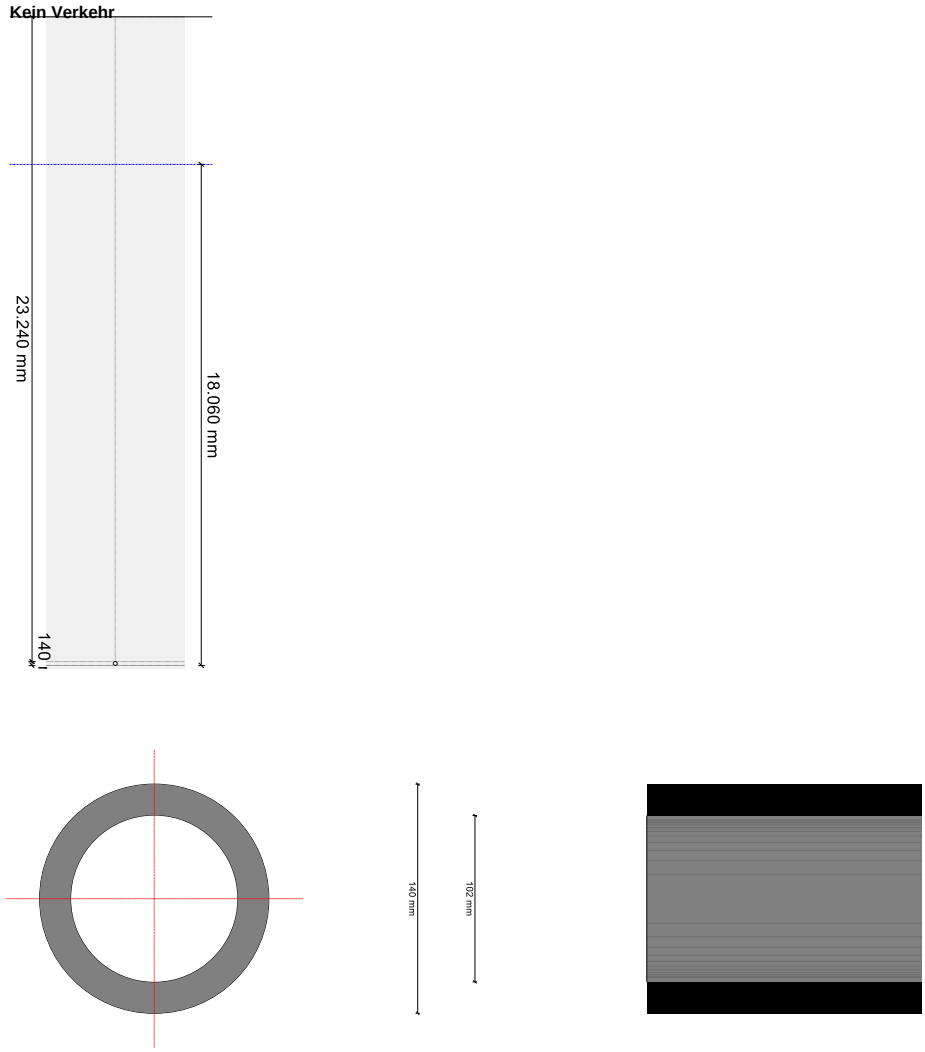
Rohrauswahl:	Vollwand

Material-Klasse:	Thermoplast		
Vorverformung Typ A:	$\delta_{v,A}$	1,0	%
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	0,0	%
Auswahl der Eingaben:	Da und s		
Außendurchmesser:	d_a	140,0	mm
Wandstärke:	s	19,2	mm
Perforation:	Ohne Perforation		
Äußerer Rücksprung:	$\Delta d_{a,min}$	0,0	mm
Innerer Rücksprung:	$\Delta d_{i,max}$	0,0	mm
Rohrlänge:	L_R	12,00	m
Manuelle Vorgabe ∆acal:	Nein		
Rohrende ist vorgespannt:	Nein		

1.1.8.1 Thermoplast

Teilsicherheiten nach Norm:	Ja
Auswahl Material:	Nach ATV / DWA
Material:	PE-HD
Grund der Abminderung:	Keine

1.1.8.2 Systemskizze



1.2 Ergebnisse

1.2.1 Teilsicherheitsbeiwerte (Einwirkungen)

Teilsicherheitsbeiwert für Verkehrslasten (quer zur Rohrachse):	γ_Q	1,35	[-]
Teilsicherheitsbeiwert für Innendruck (Druckrohre > 0,5 bar):	$\gamma_{F,Pi}$	1,50	[-]
Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen quer zur Rohrachse:	γ_F	1,35	[-]
Teilsicherheitsbeiwert Einwirkung längs der Rohrachse:	$\gamma_{F,ax}$	1,30	[-]

1.2.2 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:	d_i	101,6	mm
Außendurchmesser:	d_a	140,0	mm
Mittlerer Radius:	r_m	60,40	mm
Wanddicke:	s	19,20	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	r_m/s	3,146	[-]
Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,106	[-]
Korrekturfaktor Krümmung außen:	α_{ka}	0,894	[-]
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	$\delta_{v,A}$	1,00	%
Axial wirksame Profilfläche:	A_{ax}	19,20	mm²/mm
Radiale Profilfläche:	A_{rad}	19,20	mm²/mm
Trägheitsabstand:	e	9,60	mm
Trägheitsmoment:	I	589,82	mm^4/mm
Äußeres Widerstandsmoment:	W_a	61,44	mm³/mm
Inneres Widerstandsmoment:	W_i	61,44	mm³/mm
Flächenverhältnis:	κ_Q	1,2	[-]
Kleinster Außendurchmesser:	$d_{a,min}$	140	mm
Größter Innendurchmesser:	$d_{i,max}$	102	mm
Max. Abweichung Stirnflächen von Rechtwinkligkeit:	$\Delta_{a,cal}$	2,0	mm
Länge des einzelnen Vortriebrohres:	L_R	12,00	m

1.2.2.1 Materialeigenschaften

		Kurzzeit	Langzeit	
Wichte des Rohrwerkstoffs	γ_R	9,4	9,4	kN/m³
Querkontraktionszahl	v	0,38	0,38	[-]
Elastizitätsmodul in Ringrichtung	E_R	800,0	160,0	N/mm²
Elastizitätsmodul in axialer Richtung	$E_{R,ax}$	800,0	-	N/mm²
Radiale Biegezugfestigkeit	σ_{RBZ}	21,0	14,0	N/mm²
Radiale Biegedruckfestigkeit	σ_{RBD}	21,0	14,0	N/mm²
Ringzugfestigkeit	σ_{RZ}	12,6	8,4	N/mm²
Schwingbreite bei 2·10^6 Lastspielen:		$2\sigma_{a,2E6}$	n. def.	N/mm²
Schwingbreite bei 5·10^6 Lastspielen:		$2\sigma_{a,5E6}$	n. def.	N/mm²
Schwingbreite bei 1·10^8 Lastspielen:		$2\sigma_{a,1E8}$	n. def.	N/mm²
Längsdruckfestigkeit	σ_{LD}	35,0	-	N/mm²

1.2.2.2 Sicherheiten

Der Teilsicherheitsbeiwert quer zur Rohrachse wird gemäß DIN EN 1993-1-9 Tabelle 3.1 mit 1,15 (statt 1,1 bzw. 1,13 nach DWA-A 161 Tabelle 6) angesetzt.

Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand längs der Rohrachse	$\gamma_{M,ax}$	1,92	1,92	[-]
Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand quer zur Rohrachse	$\gamma_{M,rad}$	1,85	1,85	[-]
Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand auf Stabilität	$\gamma_{M,stab}$	1,85	1,85	[-]
Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand auf Stabilität bei Berücksichtigung der Rohrverformungen	$\gamma_{M,stab,red}$	1,45	1,45	[-]

1.2.2.3 Überprüfung der Mindestwanddicke

Es ist keine Überprüfung der Mindestwanddicke erforderlich.

1.2.3 Spannungsnachweis (Mindestbemessung)

Erhöhungsfaktor bei planmäßigen Kurven:			κ_{min}	1,000	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Bemessungsmoment für Mindestbemessung	$M_{d,min}$	0,164	-0,164	0,164	kNm/m
Bemessungsnormalkraft für Mindestbemessung	$N_{d,min}$	-8,154	-16,308	-8,154	kN/m
Spannung gesamt aufgrund Mindestbemessung	σ_{min}	-2,814	1,539	-2,814	N/mm²
Maximal zulässige Ringbiegezugspannung:			$\sigma_{RBZ,d}$	11,4	N/mm²
Maximal zulässige Ringbiegedruckspannung:			$\sigma'_{RBD,d}$	11,4	N/mm²
Ausnutzungsgrad Biegezug (Mindestbemessung):	$U_{BZ,min}$	---	13,6	---	%
Ausnutzungsgrad Biegedruck (Mindestbemessung):	$U_{BD,min}$	24,8	---	24,8	%
Spannung gesamt aufgrund Mindestbemessung	σ_{min}	2,530	-3,804	2,530	N/mm²
Maximal zulässige Ringbiegezugspannung:			$\sigma_{RBZ,d}$	11,4	N/mm²
Maximal zulässige Ringbiegedruckspannung:			$\sigma'_{RBD,d}$	11,4	N/mm²
Ausnutzungsgrad Biegezug (Mindestbemessung):	$U_{BZ,min}$	22,3	---	22,3	%
Ausnutzungsgrad Biegedruck (Mindestbemessung):	$U_{BD,min}$	---	33,5	---	%

Alle errechneten Spannungen aufgrund Mindestbemessung sind kleiner als die zulässigen Werte.

1.2.4 Zwischenergebnisse Boden

Wichte des Bodens:	γ_B	21,0	kN/m³
Wichte des Bodens unter Auftrieb:	γ'_B	11,0	kN/m³
Rechenwert des Verformungsmodul EF:	E_F	50,00	N/mm²
Auflockerungsfaktor nach A161, Tabelle 15:	$f_{2,F,Bau}$	0,50	[-]
Auflockerungsfaktor nach A161, Tabelle 15:	$f_{2,F,Betrieb}$	0,80	[-]
Innerer Reibungswinkel über Rohrscheitel:	φ'_1	n. def.	°
Spannungsexponent:	z	0,4	[-]
Hinweis zur Silotheorie:	κ = 1, da die Silotheorie nicht angewendet wird.		
Berücksichtigung des Konzentrationsfaktors λF notwendig:	Ja		
Konzentrationsfaktor:	λ	1,000	[-]
Basis-Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel:	$K_{2,0}$	0,00	[-]
Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel, Bauzustand:	$K_{2,Bau}$	0,00	[-]
Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel, Endzustand:	$K_{2,End}$	0,00	[-]

1.2.5 Bauzustand

1.2.5.1 Belastungen Bauzustand

Bedingt durch die Aktivierung gewölbeartiger Tragwirkungen im Festgestein über den Rohren wurde eine Reduzierung der rechnerischen Überdeckungshöhe durch den Nutzer vorgenommen. Dies sollte nur in Abstimmung mit dem Sachverständigen für Geotechnik erfolgen.

Vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene:	p_{Ev}	182,490	kN/m²
Wirksame vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene:	q_{Ev}	182,490	kN/m²
Vertikale Gesamt-Bodenspannung in Rohrscheitelebene:	$q_{Ges,v}$	273,735	kN/m²
Die Erddruckverteilung am Rohr wird cos²- bzw. sin²-förmig angenommen.:		Nein	
Grundwasserstand im Bereich der oberen Rohrhälfte:	$h_{GW,oRh}$	0,140	m
Radiale Erdlast auf das Rohr während des Vortriebs:	q_0	273,735	kN/m²
Horizontale Bodenspannung während des Vortriebs:	$q_{0,h}$	0,000	kN/m²
Horizontale Gesamt-Bodenspannung am Rohr:	$q_{Ges,h}$	0,000	kN/m²
Innerer Überdruck:	p_i	0,000	bar
Äußerer Überdruck über Rohrscheitel:	$p_{a,Sc}$	1,792	bar
Rohrsteifigkeit:	S_R	2.141	kN/m²
Rohrsteifigkeit:	$\bar{S}_R$	2.141	kN/m²
Rechenwert des Verformungsmodul EF:	E_F	50,00	N/mm²
Auflockerungsfaktor nach A161, Tabelle 15:	$f_{2,F,Bau}$	0,50	[-]
Verformungsmodul Boden:	E_B	25,00	N/mm²
Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel:	K_2	0,00	[-]
Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	15,00	N/mm²
Systemsteifigkeit:	V_{RB}	0,1428	[-]
Das Rohr-Bodensystem verhält sich biegeweich:		Ja	

Der seitliche Bettungsreaktionsdruck darf nach DWA-A 161, Kapitel 6.2.2 nur im Betriebszustand angesetzt werden.

1.2.5.2 Schnittkräfte Bauzustand

Momente:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Vertikale Belastung aus Erdüberdeckung	$M_{pEv,d}$	0,256	-0,262	0,332	kNm/m
Vertikale Belastung aus Verkehr	$M_{pTv,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Horizontale Belastung aus Verkehr	$M_{pTh,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Horizontale Belastung aus Erdüberdeckung	$M_{pEh,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Eigengewicht	$M_{g,d}$	0,000	0,000	0,001	kNm/m
Wasserfüllung bis Rohrscheitel	$M_{w,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Auftrieb (äußerer Wasserstand bis Scheitel)	$M_{a,d}$	-0,001	0,001	-0,001	kNm/m
Wasserdruck	$M_{pw,d}$	-0,007	-0,007	-0,007	kNm/m
Bettungsreaktionsdruck Erdlast	$M_{qEh*,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Bettungsreaktionsdruck	$M_{qh*,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Momente	ΣM_d	0,249	-0,269	0,324	kNm/m

Normalkräfte:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Vertikale Belastung aus Erdüberdeckung	$N_{pEv,d}$	1,161	-14,880	-5,044	kN/m
Vertikale Belastung aus Verkehr	$N_{pTv,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Horizontale Belastung aus Verkehr	$N_{pTh,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Horizontale Belastung aus Erdüberdeckung	$N_{pEh,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Eigengewicht	$N_{g,d}$	0,006	-0,023	-0,018	kN/m
Wasserfüllung bis Rohrscheitel	$N_{w,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Auftrieb (äußerer Wasserstand bis Scheitel)	$N_{a,d}$	-0,035	-0,011	-0,044	kN/m
Wasserdruck	$N_{pw,d}$	-16,934	-16,934	-16,934	kN/m
Bettungsreaktionsdruck Erdlast	$N_{qEh*,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Bettungsreaktionsdruck Verkehr	$N_{qTh*,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Bettungsreaktionsdruck	$N_{qh*,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN_d	-15,802	-31,848	-22,040	kN/m

1.2.5.3 Verformungsnachweis Bauzustand

Verformungsbeiwert:	$c_{v,qh*}$	0,0640	[-]
Verformungsbeiwert:	$c_{v,qv}$	-0,1053	[-]
Beiwert des Bettungsreaktionsdruckes:	K^*	0,492	[-]
Verformungsbeiwert:	c^*_v	-0,074	[-]
Radiale Erdlast auf das Rohr während des Vortriebs:	q_0	273,735	kN/m²
Vertikale Bodenspannung infolge Verkehrslast:	p_T	0,00	kN/m²

Vertikale Gesamt-Bodenspannung in Rohrscheitelebene:	$q_{Ges,v}$	273,735	kN/m²
Horizontale Bodenspannung während des Vortriebs:	$q_{0,h}$	0,000	kN/m²
Horizontale Bodenspannung infolge Verkehrslast:	p_{Th}	0,00	kN/m²
Horizontale Gesamt-Bodenspannung am Rohr:	$q_{Ges,h}$	0,000	kN/m²
Relative vertikale Durchmesserveränderung:	δ_V	0,63	%
Zulässige vertikale Durchmesserveränderung:	zul δ_V	3,00	%
Ausnutzungsgrad Verformung:	$U_{\delta V}$	21,0	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.5.4 Beulnachweis Bauzustand

Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand auf Stabilität bei Berücksichtigung der Rohrverformungen:	$\gamma_{M,stab,red}$	1,45	[-]
Stütz- oder Gleitmitteldruck:	p_{Stm}	3,5	bar
Vertikale Bodenspannung infolge Verkehrslast:	p_T	0,00	kN/m²
Abminderungsfaktor Vorverformung für krit. pa:	κ_{a2}	0,70	[-]
Kritischer Flüssigkeitsdruck:	krit $p_{a,d}$	3,101	N/mm²
Ausnutzungsgrad Stabilität:	$U_{Stab,rad}$	15,2	%

Der Nachweis der Stabilität ist erbracht.

1.2.5.5 Spannungsnachweis Bauzustand

Innen:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	

$$\sigma_{ST,d} = \frac{\Sigma_{Nqv,qh,qh^*,d}}{A_{rad}} + \alpha_{ki} \cdot \frac{\Sigma_{Mqv,qh,qh^*,d}}{W_a} \quad (54)$$

Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{ST,d}$	4,671	-5,499	5,707	N/mm²

$$\sigma_{re,d} = \frac{\Sigma_{Nsonst,d}}{A_{rad}} + \alpha_{ki} \cdot \frac{\Sigma_{Msonst,d}}{W_a} \quad (54)$$

Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{re,d}$	-1,019	-1,009	-1,025	N/mm²
Spannung gesamt	σ	3,652	-6,508	4,682	N/mm²
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res,d}$	11,35	11,35	11,35	N/mm²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res,d}$	11,35	11,35	11,35	N/mm²
Ausnutzungsgrad Biegezug:	U_{BZ}	32,2	---	41,2	%
Ausnutzungsgrad Biegedruck:	U_{BD}	---	57,3	---	%

Außen:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	

$$\sigma_{ST,d} = \frac{\Sigma_{Nqv,qh,qh^*,d}}{A_{rad}} - \alpha_{ka} \cdot \frac{\Sigma_{Mqv,qh,qh^*,d}}{W_a} \quad (55)$$

Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{ST,d}$	-3,667	3,044	-5,089	N/mm²

$$\sigma_{re,d} = \frac{\Sigma_{Nsonst,d}}{A_{rad}} - \alpha_{ka} \cdot \frac{\Sigma_{Msonst,d}}{W_a} \quad (55)$$

Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{re,d}$	-0,774	-0,782	-0,772	N/mm²
Spannung gesamt	σ	-4,440	2,261	-5,861	N/mm²
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res,d}$	11,35	11,35	11,35	N/mm²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res,d}$	11,35	11,35	11,35	N/mm²
Ausnutzungsgrad Biegezug:	U_{BZ}	---	19,9	---	%
Ausnutzungsgrad Biegedruck:	U_{BD}	39,1	---	51,6	%

Alle errechneten Spannungen sind kleiner als die zulässigen Werte.

1.2.6 Nachweis der Zulässigkeit der Vortriebskraft

1.2.6.1 Rohr

Minimale Wanddicke des Rohres:	$t_{R,min}$	19,2	mm
Maßgebende Druckübertragungsfläche:	A_R	72,865	cm²
Längsdruckfestigkeit:	σ_{LD}	35,0	N/mm²
Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand längs der Rohrachse:	$\gamma_{M,ax}$	1,92	[-]
Charakteristische Festigkeit des Rohrwerkstoffs:	f_k	35,00	N/mm²
Mittlere Zugfestigkeit des Rohrwerkstoffs in Ringrichtung:	f_{tm}	12,60	N/mm²
Elastizitätsmodul in axialer Richtung:	$E_{R,ax}$	800,0	N/mm²
Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand längs der Rohrachse:	$\gamma_{M,ax}$	1,92	[-]
Bemessungswert der Rohrfestigkeit:	f_d	18,23	N/mm²

1.2.6.2 Rohrabwinklung

Minimaler planmäßiger Kurvenradius der Vortriebsstrecke:	R_{Plan}	350,00	m
Länge des einzelnen Vortriebrohres:	L_R	12,00	m
Angesetzte Rohrverwinkelung aus planmäßiger Krümmung:	φ_R	1,964	°
Größter Innendurchmesser:	$d_{i,max}$	102	mm
Rechenwert für Rohrverwinkelung aufgrund unplanmäßiger Abweichungen:	$\varphi_{St,0}/L_R$	0,167	°/m
Rohrverwinkelung aufgrund unplanmäßiger Abweichungen:	φ_{St}	2,063	°
Nennweite:	DN	140	mm
Max. Abweichung Stirnflächen von Rechtwinkligkeit:	$\Delta_{a,cal}$	2,0	mm
Kleinster Außendurchmesser:	$d_{a,min}$	140	mm
Rohrverwinkelung aufgrund Abweichungen der Rohrspiegel von der Rechtwinkligkeit:	$\varphi_{\Delta a,cal}$	0,818	°
Kombinationsbeiwert für Rohrabwinklungen:	ψ	0,80	[-]
Rohrverwinkelung im Bereich einer Rohrfuge (gesamt):	φ_{ges}	4,268	°
Verhältnis t,DÜR zu t,Rohr:	κ_t	1,000	[-]
Mittlere Zugfestigkeit des Rohrwerkstoffs in Ringrichtung:	f_{tm}	12,60	N/mm²
Beiwert für zulässige Druckspannung:	$\alpha_{D,T}$	1,000	[-]
Höchste in der Rohrfuge wirkende, zulässige Druckspannung:	σ_{cal}	18,23	N/mm²

1.2.6.3 Verformung des Rohres

Rechnerische Druckspannung im Rohrwerkstoff:	σ_{max}	18,23	N/mm²
Verhältnis Rohrlänge zu Außendurchmesser:	L_R/d_a	85,71	[-]
Verformungsbeiwert des Rohres:	α_b	0,585	[-]

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

Beiwert:	α_φ	1,000	[-]
Verformungsfaktor des Rohres:	κ_{ab}	0,585	[-]
Verformungsanteil des Vortriebsrohres:	Δs_R	160,0	mm

Ergebnis

Maß der Fugenklaffung:	$z_k/d_{a,min}$	1,00	[-]
Spannungsverhältnis durch Ausmitte der Vorpresskräfte (aus Bild 22/23):	σ_{max} / σ_0	2,00	[-]
Maßgebende Druckübertragungsfläche:	A_R	72,865	cm²
Teilsicherheitsbeiwert Einwirkung längs der Rohrachse:	$\gamma_{F,ax}$	1,30	[-]
Zulässige Vorpresskraft:	F_j	51	kN
Rohrfläche für Axialdruck außerhalb Kupplungsbereich:	$A_{R,0}$	72,86	cm²
Im Rohr wirkende axiale Spannung, Bemessungswert:	$\sigma_{x,d,0}$	-7,29	N/mm²

1.2.6.4 Interaktion - Vergleichsspannungsnachweis Schaft

Maximale axiale Spannung:	max $\sigma_{x,d}$	-7,29	N/mm²
Maximale radiale Spannung: (Sohle, innen)	max $\sigma_{\varphi,d}$	4,68	N/mm²
Verhältnis:	m	2,78	[-]
Vergleichsspannung:	$\sigma_{VGE,d}$	10,94	N/mm²

Festigkeit für Vergleichsspannungsnachweis:	$\bar{\sigma}_{VGE}$	21,0	N/mm²
Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand längs der Rohrachse:	$\gamma_{M,ax}$	1,92	[-]
Zulässige Vergleichsspannung:	$\sigma_{z,d}$	10,94	N/mm²
Ausnutzungsgrad Vergleichsspannung Schaft:	$U_{\sigma VGE}$	100,0	%

Die Vergleichsspannung ist kleiner als der zulässige Wert.

1.2.6.5 Nachweis Axialbeulen (Kunststoff oder GFK-Rohr)

Beiwert:	k_i	0,41	[-]
Durchschlagsbeiwert für axiale Stabilität:	min α_L	1,00	[-]
Kritische Beanspruchung durch axiale Belastung:	krit $\sigma_{L,d}$	56,71	N/mm²
Im Rohr wirkende axiale Spannung, Bemessungswert:	$\sigma_{x,d,0}$	-7,29	N/mm²
Ausnutzungsgrad Axialbeulen:	$U_{Stab,ax}$	12,9	%

Der Nachweis gegen axiales Beulen ist erbracht.

1.2.7 Betriebszustand

1.2.7.1 Belastungen Betriebszustand

Bedingt durch die Aktivierung gewölbeartiger Tragwirkungen im Festgestein über den Rohren wurde eine Reduzierung der rechnerischen Überdeckungshöhe durch den Nutzer vorgenommen. Dies sollte nur in Abstimmung mit dem Sachverständigen für Geotechnik erfolgen.

Vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene:	p_{Ev}	182,490	kN/m²
Wirksame vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene:	q_{Ev}	182,490	kN/m²
Vertikale Gesamt-Bodenspannung in Rohrscheitelebene:	$q_{Ges,v}$	182,490	kN/m²
Die Erddruckverteilung am Rohr wird cos²- bzw. sin²-förmig angenommen.:		Nein	
Grundwasserstand im Bereich der oberen Rohrhälfte:	$h_{GW,oRh}$	0,140	m
Horizontale Bodenspannung am Rohr:	q_{Eh}	0,00	kN/m²
Horizontale Gesamt-Bodenspannung am Rohr:	$q_{Ges,h}$	0,000	kN/m²
Innerer Überdruck:	p_i	0,000	bar
Äußerer Überdruck über Rohrscheitel:	$p_{a,Sc}$	1,792	bar
Rohrsteifigkeit:	S_R	428.284	N/m²
Rohrsteifigkeit:	$\bar{S}_R$	428.284	N/m²
Rechenwert des Verformungsmodul EF:	E_F	50,00	N/mm²
Auflockerungsfaktor nach A161, Tabelle 15:	$f_{2,F,Betrieb}$	0,80	[-]
Verformungsmodul Boden:	E_B	40,00	N/mm²
Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel:	K_2	0,00	[-]
Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	24,00	N/mm²
Systemsteifigkeit:	V_{RB}	0,0178	[-]
Das Rohr-Bodensystem verhält sich biegeweich:		Ja	
Verformungsbeiwert:	$c_{h,qv}$	0,1026	[-]
Verformungsbeiwert:	c_{h,qh^*}	-0,0658	[-]
Verformungsbeiwert:	$c_{v,qv}$	-0,1053	[-]
Verformungsbeiwert:	c_{v,qh^*}	0,0640	[-]
Beiwert des Bettungsreaktionsdruckes:	K^*	1,227	[-]
Bettungsreaktionsdruck aus Verkehrslast:	q^*_{Th}	0,00	kN/m²
Bettungsreaktionsdruck aus Erdlast:	q^*_{Eh}	223,84	kN/m²
Bettungsreaktionsdruck:	q^*_h	223,84	kN/m²

1.2.7.2 Schnittkräfte Betriebszustand

Momente:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Vertikale Belastung aus Erdüberdeckung	$M_{pEv,d}$	0,256	-0,262	0,332	kNm/m
Vertikale Belastung aus Verkehr	$M_{pTv,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Horizontale Belastung aus Verkehr	$M_{pTh,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Horizontale Belastung aus Erdüberdeckung	$M_{pEh,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m

Eigengewicht	$M_{g,d}$	0,000	0,000	0,001	kNm/m
Wasserfüllung bis Rohrscheitel	$M_{w,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Auftrieb (äußerer Wasserstand bis Scheitel)	$M_{a,d}$	-0,001	0,001	-0,001	kNm/m
Wasserdruck	$M_{pw,d}$	-0,007	-0,007	-0,007	kNm/m
Bettungsreaktionsdruck Erdlast	$M_{qEh^*,d}$	-0,200	0,229	-0,200	kNm/m
Bettungsreaktionsdruck	$M_{qh^*,d}$	-0,200	0,229	-0,200	kNm/m
Summe der Momente	ΣM_d	0,049	-0,040	0,124	kNm/m

Normalkräfte:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Vertikale Belastung aus Erdüberdeckung	$N_{pEv,d}$	1,161	-14,880	-5,044	kN/m
Vertikale Belastung aus Verkehr	$N_{pTv,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Horizontale Belastung aus Verkehr	$N_{pTh,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Horizontale Belastung aus Erdüberdeckung	$N_{pEh,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Eigengewicht	$N_{g,d}$	0,006	-0,023	-0,018	kN/m
Wasserfüllung bis Rohrscheitel	$N_{w,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Auftrieb (äußerer Wasserstand bis Scheitel)	$N_{a,d}$	-0,035	-0,011	-0,044	kN/m
Wasserdruck	$N_{pw,d}$	-16,934	-16,934	-16,934	kN/m
Bettungsreaktionsdruck Erdlast	$N_{qEh^*,d}$	-10,532	0,000	-10,532	kN/m
Bettungsreaktionsdruck Verkehr	$N_{qTh^*,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Bettungsreaktionsdruck	$N_{qh^*,d}$	-10,532	0,000	-10,532	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN_d	-26,334	-31,848	-32,572	kN/m

1.2.7.3 Verformungsnachweis Betriebszustand

Verformungsbeiwert:	c_{v,qh^*}	0,0640	[-]
Verformungsbeiwert:	$c_{v,qv}$	-0,1053	[-]
Beiwert des Bettungsreaktionsdruckes:	K^*	1,227	[-]
Verformungsbeiwert:	c^*_v	-0,027	[-]
Vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene:	p_{Ev}	182,490	kN/m²
Vertikale Bodenspannung infolge Verkehrslast:	p_T	0,00	kN/m²
Vertikale Gesamt-Bodenspannung in Rohrscheitelebene:	$q_{Ges,v}$	182,490	kN/m²
Horizontale Bodenspannung am Rohr:	q_{Eh}	0,00	kN/m²
Horizontale Bodenspannung infolge Verkehrslast:	p_{Th}	0,00	kN/m²
Horizontale Gesamt-Bodenspannung am Rohr:	$q_{Ges,h}$	0,000	kN/m²
Relative vertikale Durchmesserveränderung:	δ_V	1,14	%
Zulässige vertikale Durchmesserveränderung:	zul δ_V	3,00	%
Ausnutzungsgrad Verformung:	$U_{\delta V}$	38,1	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.7.4 Beulnachweis Betriebszustand

Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand auf Stabilität bei Berücksichtigung der Rohrverformungen:	$\gamma_{M,stab,red}$	1,45	[-]
Vertikale Gesamtbelastung, Designwert:	$q_{v,d}$	246,36	kN/m²
Innerer Reibungswinkel am Rohr:	φ'_2	32,5	°
Der Wert für Kappa V2 wurde analog ATV-DVWK-A 127 ermittelt, da VRB < 0,03			
Abminderungsfaktor für krit qv (nach A127):	κ_{v2}	0,86	[-]
Kritische Erdlast:	krit $q_{v,d}$	3,824	N/mm²
Ausnutzungsgrad Stabilität (vertikale Gesamtlast):	U_{qv}	6,4	%
Äußerer Überdruck über Rohrsohle:	$p_{a,So}$	1,806	bar
Maximaler äußerer Druck aus Wasser, Stütz- oder Gleitmittel, Pressdruck:	$p_{a,max}$	1,806	bar
Äußerer Flüssigkeitsdruck, Designwert:	$p_{a,d}$	2,44	bar
Abminderungsfaktor lokale Vorverformung für krit. pa:	κ_{a1}	1,00	[-]
Abminderungsfaktor Vorverformung für krit. pa:	κ_{a2}	0,70	[-]
Da das rm/s-Verhältnis < 5,0 ist, wurde für αD der Grenzwert 3,0 für ein ungebettetes Rohr angesetzt.			
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	r_m/s	3,146	[-]
Durchschlagsbeiwert:	α_D	3,00	[-]
Kritischer Flüssigkeitsdruck:	krit $p_{a,d}$	0,620	N/mm²

$$\text{krit } p_{a,d} = \kappa_a \cdot \alpha_D \cdot \frac{S_R}{\gamma_{M,stab,red}} \qquad (74a)$$

$$\kappa_a = \kappa_{a2} \cdot \kappa_{a1} \qquad (74b)$$

Ausnutzungsgrad Stabilität (äußererer Wasserdruck):	U_{pa}	39,3	%
Ausnutzungsgrad Stabilität:	$U_{Stab,rad}$	45,7	%

Der Nachweis der Stabilität ist erbracht.

1.2.7.5 Spannungsnachweis Betriebszustand

Innen:

$$\sigma_{ST,d} = \frac{\Sigma N_{qv,qh,qh^*,d}}{A_{rad}} + \alpha_{ki} \cdot \frac{\Sigma M_{qv,qh,qh^*,d}}{W_a} \qquad (54)$$

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{ST,d}$	0,531	-1,371	1,567	N/mm²

$$\sigma_{re,d} = \frac{\Sigma N_{sonst,d}}{A_{rad}} + \alpha_{ki} \cdot \frac{\Sigma M_{sonst,d}}{W_a} \qquad (54)$$

Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{re,d}$	-1,019	-1,009	-1,025	N/mm²
Spannung gesamt	σ	-0,489	-2,381	0,542	N/mm²
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res,d}$	7,57	7,57	7,57	N/mm²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res,d}$	7,57	7,57	7,57	N/mm²
Ausnutzungsgrad Biegezug:	U_{BZ}	---	---	7,2	%
Ausnutzungsgrad Biegedruck:	U_{BD}	6,5	31,5	---	%

Außen:

$$\sigma_{ST,d} = \frac{\Sigma N_{qv,qh,qh^*,d}}{A_{rad}} - \alpha_{ka} \cdot \frac{\Sigma M_{qv,qh,qh^*,d}}{W_a} \qquad (55)$$

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{ST,d}$	-1,312	-0,293	-2,734	N/mm²

$$\sigma_{re,d} = \frac{\Sigma N_{sonst,d}}{A_{rad}} - \alpha_{ka} \cdot \frac{\Sigma M_{sonst,d}}{W_a} \qquad (55)$$

Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{re,d}$	-0,774	-0,782	-0,772	N/mm²
Spannung gesamt	σ	-2,085	-1,075	-3,506	N/mm²
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res,d}$	7,57	7,57	7,57	N/mm²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res,d}$	7,57	7,57	7,57	N/mm²
Ausnutzungsgrad Biegezug:	U_{BZ}	---	---	---	%
Ausnutzungsgrad Biegedruck:	U_{BD}	27,6	14,2	46,3	%

Alle errechneten Spannungen sind kleiner als die zulässigen Werte.

1.2.7.6 Nachweis gegen Ermüden unter nicht vorwiegend ruhender Belastung

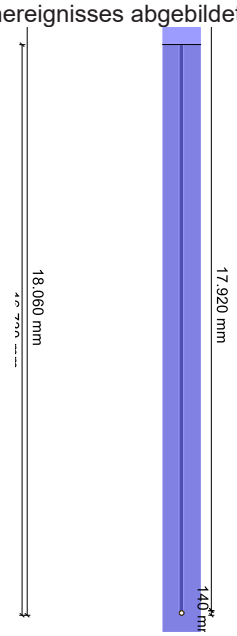
Der Nachweis gegen Ermüden unter nicht vorwiegend ruhender Belastung kann nicht geführt werden, da die Schwingbreite des Rohres nicht bekannt ist.

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

1.2.8 Auftriebsnachweis

Der Auftriebsnachweis erfolgt für den tatsächlichen Grundwasserstand hW,max. Das Erdreich oberhalb des GW-Spiegels wird mit seiner Trockenwichte angesetzt. Zusätzlich erfolgt die Betrachtung eines gedachten

(theoretischen) Grundwasserstands: Dabei wird eine erforderliche Überdeckungshöhe h'min über Rohrscheitel ermittelt, die das Erdreich mit seiner reduzierten Wichte unter Auftrieb berücksichtigt. Dadurch können z. B. geflutete Gräben im Fall eines Starkregenereignisses abgebildet werden.



Lastfaktor Auftriebskraft:	γ_Q	1,05	[-]
Baugrund:	γ_u	0,95	[-]
Lastfaktor Eigengewicht:	γ_G	0,95	[-]
Äußerer Radius:	r_a	70,0	mm
Verdrängtes Volumen:	V	0,02	m³/m
Auftriebskraft:	Q_r	0,15	kN/m
Auftriebskraft, Design:	$Q_{r,d}$	0,16	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 für vertikale Erdlast:	h_F	16,6	m
Grundwasserstand über Sohle:	h_{GW}	18,1	m
Höhe Boden unter Auftrieb:	h_n	16,59	m
Baugrund:	Q_{r1}	17,42	kN/m
Baugrund, Design:	$Q_{r1,d}$	16,55	kN/m
Fläche Zwickel, trocken:	A_{FZ}	0,00	m²
Fläche Zwickel, nass:	A_{FZ}'	0,00	m²
Kraft aus Auflast Zwickel:	F_Z	0,02	kN/m
Kraft aus Auflast Zwickel, Design:	$F_{Z,d}$	0,01	kN/m
Innerer Radius:	r_i	50,8	mm
Radiale Profilfläche:	A_{rad}	19,20	mm²/mm
Wichte des Rohrwerkstoffs:	γ_R	9,4	kN/m³
Eigenlast:	G_m	0,07	kN/m
Eigenlast, Design:	$G_{m,d}$	0,07	kN/m
Gegenkräfte, Design:	$Q_{g,d}$	16,63	kN/m
Auftriebskraft, Design:	$Q_{r,d}$	0,16	kN/m
Ausnutzung Auftrieb:	U	1,0	%

Der Auftriebsnachweis ist erfüllt.

Alle notwendigen Nachweise sind erbracht.

Statische Berechnung

Bauvorhaben:	SuedOstLink Abschnitt D2
Beschreibung:	Querung der Donau Kabelschutzrohr HGÜ: PE 100 SDR 9 Kabelschutzrohr LWL: PE 100 SDR 7,4 vorh. Überdeckungshöhe: 23,24 m (im Bereich des Deiches, nördlich der Donau)
Auftraggeber:	TenneT TSO GmbH Bernecker Str.70 95448 Bayreuth
Bearbeiter:	RJM/pd
Statik-Nr.:	18-0901-C2-Q_056_HGUE
Datum:	15.02.2022

Inhaltsangabe

1 Vortriebsrohr nach DWA-A 161, 2. Auflage 3

1.1 Eingaben 3

1.1.1 Vortriebsverfahren 3

1.1.2 Trasse und Vortriebskraft 3

1.1.3 Druckübertragungsring (DÜR) 3

1.1.4 Bodenkennwerte 3

1.1.5 Bodenverhalten 3

1.1.6 Lasten 4

1.1.7 Berechnungsoptionen 4

1.1.8 Vollwand/Profil-Rohr 4

1.1.8.1 Thermoplast 4
1.1.8.2 Systemskizze 5

1.2 Ergebnisse 6

1.2.1 Teilsicherheitsbeiwerte (Einwirkungen) 6

1.2.2 Zwischenergebnisse Rohr 6

1.2.2.1 Materialeigenschaften 6
1.2.2.2 Sicherheiten 6
1.2.2.3 Überprüfung der Mindestwanddicke 6

1.2.3 Spannungsnachweis (Mindestbemessung) 7

1.2.4 Zwischenergebnisse Boden 7

1.2.5 Bauzustand 7

1.2.5.1 Belastungen Bauzustand 7
1.2.5.2 Schnittkräfte Bauzustand 8
1.2.5.3 Verformungsnachweis Bauzustand 8
1.2.5.4 Beulnachweis Bauzustand 9
1.2.5.5 Spannungsnachweis Bauzustand 9

1.2.6 Nachweis der Zulässigkeit der Vortriebskraft 9

1.2.6.1 Rohr 10
1.2.6.2 Rohrabwinklung 10
1.2.6.3 Verformung des Rohres 10
1.2.6.4 Interaktion - Vergleichsspannungsnachweis Schaft 11
1.2.6.5 Nachweis Axialbeulen (Kunststoff oder GFK-Rohr) 11

1.2.7 Betriebszustand 11

1.2.7.1 Belastungen Betriebszustand 11
1.2.7.2 Schnittkräfte Betriebszustand 11
1.2.7.3 Verformungsnachweis Betriebszustand 12
1.2.7.4 Beulnachweis Betriebszustand 12
1.2.7.5 Spannungsnachweis Betriebszustand 13
1.2.7.6 Nachweis gegen Ermüden unter nicht vorwiegend ruhender Belastung 13

1.2.8 Auftriebsnachweis 14

1 Vortriebsrohr nach DWA-A 161, 2. Auflage

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	191	kN

Berechnungsart:	Vollwand-/Profilrohr
Nachzuweisende Zustände:	Bau- und Betriebszustand
Einbauskizze in Ausdruck:	Ja
Mindestschnittgrößen im Betriebszustand drucken:	Ja

1.1 Eingaben

1.1.1 Vortriebsverfahren

Verfahren:	HDD		
Vollständige dauerhafte Ringraumverpressung:	Ja		
Druck beim Verpressen des Überschnitts:	p_D	4,5	bar
Einsatz von Stütz- oder Gleitmittel:	Ja		
Stütz- oder Gleitmitteldruck:	p_{Stm}	3,5	bar
Ringspalt:	Andere Vortriebsverfahren, kontinuierliche Ringspaltstützung mit Dokumentation		

1.1.2 Trasse und Vortriebskraft

Verlauf der Vortriebsstrecke:	Mehrere Kurven		
Planmäßiger Krümmungsradius:	R_{plan}	350,00	m
Berechnung der unplanmäßigen Abweichungen von der Sollachse:	Trassierung ohne Übergangsbögen		
Kombinationsbeiwert für Rohrabwinklungen:	ψ	0,80	[-]
Vorgabe der Vortriebskraft:	Nein		
Freie Eingabe der Sicherheit für Längsrichtung:	Nein		
Kontrollierter Einbau:	Nein		

1.1.3 Druckübertragungsring (DÜR)

Art der Druckübertragung:	Ohne Druckübertragungsring

1.1.4 Bodenkennwerte

Bodenbeschaffenheit:	Festgestein/Fels		
Eingabe des Seitendruckwertes über:	Ruhedruckbeiwert (K2,0)		
Ruhedruckbeiwert K2,0 des Felses:	$K_{2,0}$	0,000	[-]
Verformungsmodul des Felses:	E_F	50,0	N/mm²
Auflagerwinkel (Festgestein, Bauzustand):	60°		
Auflagerwinkel (Festgestein, Betriebszustand):	60°		
Manuelle Angabe der Wichte des Bodens:	Ja		
Wichte des Bodens:	γ_B	21,0	kN/m³
Wichte des Bodens unter Auftrieb:	γ'_B	11,0	kN/m³

1.1.5 Bodenverhalten

Anwendung von Silotheorie:	Nein
Berücksichtigung des Konzentrationsfaktors λ:	Nein

1.1.6 Lasten

Überdeckungshöhe:	h	23,2	m
Reduzierung der Überdeckungshöhe bei Fels:	Ja		
Überdeckungshöhe für vertikale Erdlast:	h_F	16,6	m
Zusätzliche Flächenlast:	P_0	0,00	kN/m²
Teilsicherheitsbeiwert Wasseraußendruck:	$\gamma_{F,W}$	1,35	[-]
Grundwasserstand über Sohle:	h_{GW}	18,1	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		
Verkehrslast:	Kein Verkehr		
Abminderungsfaktor dynamische Last manuell eingeben:	Nein		

1.1.7 Berechnungsoptionen

Beulnachweis:	Nach A 161
Verformungsnachweis:	Nach A 161
Zulässige Verformung nach A161:	Ja
Ermüdungsnachweis:	Nach Regelwerk
Mindestschnittgrößen nach Norm:	Ja
Vergleichsspannung Mindestschnittgrößen:	Mit Bemessungswerten

1.1.8 Vollwand/Profil-Rohr

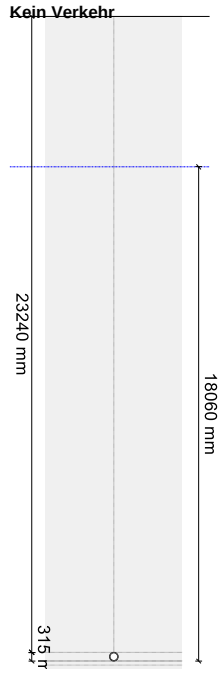
Rohrauswahl:	Vollwand

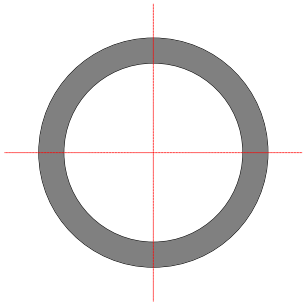
Material-Klasse:	Thermoplast		
Vorverformung Typ A:	$\delta_{v,A}$	1,0	%
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	0,0	%
Auswahl der Eingaben:	Da und s		
Außendurchmesser:	d_a	315,0	mm
Wandstärke:	s	35,0	mm
Perforation:	Ohne Perforation		
Äußerer Rücksprung:	$\Delta d_{a,min}$	0,0	mm
Innerer Rücksprung:	$\Delta d_{i,max}$	0,0	mm
Rohrlänge:	L_R	12,00	m
Manuelle Vorgabe ∆acal:	Nein		
Rohrende ist vorgespannt:	Nein		

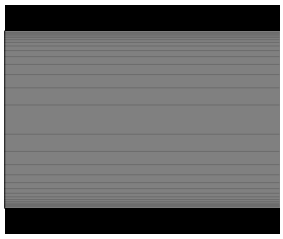
1.1.8.1 Thermoplast

Teilsicherheiten nach Norm:	Ja
Auswahl Material:	Nach ATV / DWA
Material:	PE-HD
Grund der Abminderung:	Keine

1.1.8.2 Systemskizze







1.2 Ergebnisse

1.2.1 Teilsicherheitsbeiwerte (Einwirkungen)

Teilsicherheitsbeiwert für Verkehrslasten (quer zur Rohrachse):	γ_Q	1,35	[-]
Teilsicherheitsbeiwert für Innendruck (Druckrohre > 0,5 bar):	$\gamma_{F,Pi}$	1,50	[-]
Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen quer zur Rohrachse:	γ_F	1,35	[-]
Teilsicherheitsbeiwert Einwirkung längs der Rohrachse:	$\gamma_{F,ax}$	1,30	[-]

1.2.2 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:	d_i	245,0	mm
Außendurchmesser:	d_a	315,0	mm
Mittlerer Radius:	r_m	140,00	mm
Wanddicke:	s	35,00	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	r_m/s	4,000	[-]
Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,083	[-]
Korrekturfaktor Krümmung außen:	α_{ka}	0,917	[-]
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	$\delta_{v,A}$	1,00	%
Axial wirksame Profilfläche:	A_{ax}	35,00	mm²/mm
Radiale Profilfläche:	A_{rad}	35,00	mm²/mm
Trägheitsabstand:	e	17,50	mm
Trägheitsmoment:	I	3.572,92	mm^4/mm
Äußeres Widerstandsmoment:	W_a	204,17	mm³/mm
Inneres Widerstandsmoment:	W_i	204,17	mm³/mm
Flächenverhältnis:	κ_Q	1,2	[-]
Kleinster Außendurchmesser:	$d_{a,min}$	315	mm
Größter Innendurchmesser:	$d_{i,max}$	245	mm
Max. Abweichung Stirnflächen von Rechtwinkligkeit:	$\Delta_{a,cal}$	4,0	mm
Länge des einzelnen Vortriebrohres:	L_R	12,00	m

1.2.2.1 Materialeigenschaften

		Kurzzeit	Langzeit	
Wichte des Rohrwerkstoffs	γ_R	9,4	9,4	kN/m³
Querkontraktionszahl	v	0,38	0,38	[-]
Elastizitätsmodul in Ringrichtung	E_R	800,0	160,0	N/mm²
Elastizitätsmodul in axialer Richtung	$E_{R,ax}$	800,0	-	N/mm²
Radiale Biegezugfestigkeit	σ_{RBZ}	21,0	14,0	N/mm²
Radiale Biegedruckfestigkeit	σ_{RBD}	21,0	14,0	N/mm²
Ringzugfestigkeit	σ_{RZ}	12,6	8,4	N/mm²
Schwingbreite bei 2·10^6 Lastspielen:		$2\sigma_{a,2E6}$	n. def.	N/mm²
Schwingbreite bei 5·10^6 Lastspielen:		$2\sigma_{a,5E6}$	n. def.	N/mm²
Schwingbreite bei 1·10^8 Lastspielen:		$2\sigma_{a,1E8}$	n. def.	N/mm²
Längsdruckfestigkeit	σ_{LD}	35,0	-	N/mm²

1.2.2.2 Sicherheiten

Der Teilsicherheitsbeiwert quer zur Rohrachse wird gemäß DIN EN 1993-1-9 Tabelle 3.1 mit 1,15 (statt 1,1 bzw. 1,13 nach DWA-A 161 Tabelle 6) angesetzt.

Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand längs der Rohrachse	$\gamma_{M,ax}$	1,92	1,92	[-]
Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand quer zur Rohrachse	$\gamma_{M,rad}$	1,85	1,85	[-]
Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand auf Stabilität	$\gamma_{M,stab}$	1,85	1,85	[-]
Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand auf Stabilität bei Berücksichtigung der Rohrverformungen	$\gamma_{M,stab,red}$	1,45	1,45	[-]

1.2.2.3 Überprüfung der Mindestwanddicke

Es ist keine Überprüfung der Mindestwanddicke erforderlich.

1.2.3 Spannungsnachweis (Mindestbemessung)

Erhöhungsfaktor bei planmäßigen Kurven:			κ_{min}	1,000	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Bemessungsmoment für Mindestbemessung	$M_{d,min}$	0,882	-0,882	0,882	kNm/m
Bemessungsnormalkraft für Mindestbemessung	$N_{d,min}$	-18,900	-37,800	-18,900	kN/m
Spannung gesamt aufgrund Mindestbemessung	σ_{min}	-4,500	2,880	-4,500	N/mm²
Maximal zulässige Ringbiegezugspannung:			$\sigma_{RBZ,d}$	11,4	N/mm²
Maximal zulässige Ringbiegedruckspannung:			$\sigma'_{RBD,d}$	11,4	N/mm²
Ausnutzungsgrad Biegezug (Mindestbemessung):	$U_{BZ,min}$	---	25,4	---	%
Ausnutzungsgrad Biegedruck (Mindestbemessung):	$U_{BD,min}$	39,6	---	39,6	%
Spannung gesamt aufgrund Mindestbemessung	σ_{min}	4,140	-5,760	4,140	N/mm²
Maximal zulässige Ringbiegezugspannung:			$\sigma_{RBZ,d}$	11,4	N/mm²
Maximal zulässige Ringbiegedruckspannung:			$\sigma'_{RBD,d}$	11,4	N/mm²
Ausnutzungsgrad Biegezug (Mindestbemessung):	$U_{BZ,min}$	36,5	---	36,5	%
Ausnutzungsgrad Biegedruck (Mindestbemessung):	$U_{BD,min}$	---	50,7	---	%

Alle errechneten Spannungen aufgrund Mindestbemessung sind kleiner als die zulässigen Werte.

1.2.4 Zwischenergebnisse Boden

Wichte des Bodens:	γ_B	21,0	kN/m³
Wichte des Bodens unter Auftrieb:	γ'_B	11,0	kN/m³
Rechenwert des Verformungsmodul EF:	E_F	50,00	N/mm²
Auflockerungsfaktor nach A161, Tabelle 15:	$f_{2,F,Bau}$	0,50	[-]
Auflockerungsfaktor nach A161, Tabelle 15:	$f_{2,F,Betrieb}$	0,80	[-]
Innerer Reibungswinkel über Rohrscheitel:	φ'_1	n. def.	°
Spannungsexponent:	z	0,4	[-]
Hinweis zur Silotheorie:	κ = 1, da die Silotheorie nicht angewendet wird.		
Berücksichtigung des Konzentrationsfaktors λF notwendig:	Ja		
Konzentrationsfaktor:	λ	1,000	[-]
Basis-Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel:	$K_{2,0}$	0,00	[-]
Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel, Bauzustand:	$K_{2,Bau}$	0,00	[-]
Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel, Endzustand:	$K_{2,End}$	0,00	[-]

1.2.5 Bauzustand

1.2.5.1 Belastungen Bauzustand

Bedingt durch die Aktivierung gewölbeartiger Tragwirkungen im Festgestein über den Rohren wurde eine Reduzierung der rechnerischen Überdeckungshöhe durch den Nutzer vorgenommen. Dies sollte nur in Abstimmung mit dem Sachverständigen für Geotechnik erfolgen.

Vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene:	p_{Ev}	182,490	kN/m²
Wirksame vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene:	q_{Ev}	182,490	kN/m²
Vertikale Gesamt-Bodenspannung in Rohrscheitelebene:	$q_{Ges,v}$	273,735	kN/m²
Die Erddruckverteilung am Rohr wird cos²- bzw. sin²-förmig angenommen.:	Nein		
Grundwasserstand im Bereich der oberen Rohrhälfte:	$h_{GW,oRh}$	0,315	m
Radiale Erdlast auf das Rohr während des Vortriebs:	q_0	273,735	kN/m²
Horizontale Bodenspannung während des Vortriebs:	$q_{0,h}$	0,000	kN/m²
Horizontale Gesamt-Bodenspannung am Rohr:	$q_{Ges,h}$	0,000	kN/m²
Innerer Überdruck:	p_i	0,000	bar
Äußerer Überdruck über Rohrscheitel:	$p_{a,Sc}$	1,775	bar
Rohrsteifigkeit:	S_R	1.042	kN/m²
Rohrsteifigkeit:	$\bar{S}_R$	1.042	kN/m²
Rechenwert des Verformungsmodul EF:	E_F	50,00	N/mm²
Auflockerungsfaktor nach A161, Tabelle 15:	$f_{2,F,Bau}$	0,50	[-]
Verformungsmodul Boden:	E_B	25,00	N/mm²
Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel:	K_2	0,00	[-]
Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	15,00	N/mm²
Systemsteifigkeit:	V_{RB}	0,0694	[-]
Das Rohr-Bodensystem verhält sich biegeweich:	Ja		

Der seitliche Bettungsreaktionsdruck darf nach DWA-A 161, Kapitel 6.2.2 nur im Betriebszustand angesetzt werden.

1.2.5.2 Schnittkräfte Bauzustand

Momente:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Vertikale Belastung aus Erdüberdeckung	$M_{pEv,d}$	1,376	-1,410	1,782	kNm/m
Vertikale Belastung aus Verkehr	$M_{pTv,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Horizontale Belastung aus Verkehr	$M_{pTh,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Horizontale Belastung aus Erdüberdeckung	$M_{pEh,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Eigengewicht	$M_{g,d}$	0,004	-0,005	0,007	kNm/m
Wasserfüllung bis Rohrscheitel	$M_{w,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Auftrieb (äußerer Wasserstand bis Scheitel)	$M_{a,d}$	-0,008	0,010	-0,015	kNm/m
Wasserdruck	$M_{pw,d}$	-0,024	-0,024	-0,024	kNm/m
Bettungsreaktionsdruck Erdlast	$M_{qEh^*,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Bettungsreaktionsdruck	$M_{qh^*,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Momente	ΣM_d	1,348	-1,429	1,750	kNm/m

Normalkräfte:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Vertikale Belastung aus Erdüberdeckung	$N_{pEv,d}$	2,690	-34,491	-11,692	kN/m
Vertikale Belastung aus Verkehr	$N_{pTv,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Horizontale Belastung aus Verkehr	$N_{pTh,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Horizontale Belastung aus Erdüberdeckung	$N_{pEh,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Eigengewicht	$N_{g,d}$	0,026	-0,098	-0,077	kN/m
Wasserfüllung bis Rohrscheitel	$N_{w,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Auftrieb (äußerer Wasserstand bis Scheitel)	$N_{a,d}$	-0,187	-0,057	-0,234	kN/m
Wasserdruck	$N_{pw,d}$	-37,730	-37,730	-37,730	kN/m
Bettungsreaktionsdruck Erdlast	$N_{qEh^*,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Bettungsreaktionsdruck Verkehr	$N_{qTh^*,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Bettungsreaktionsdruck	$N_{qh^*,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN_d	-35,201	-72,375	-49,733	kN/m

1.2.5.3 Verformungsnachweis Bauzustand

Verformungsbeiwert:	c_{v,qh^*}	0,0640	[-]
Verformungsbeiwert:	$c_{v,qv}$	-0,1053	[-]
Beiwert des Bettungsreaktionsdruckes:	K^*	0,759	[-]
Verformungsbeiwert:	c^*_v	-0,057	[-]
Radiale Erdlast auf das Rohr während des Vortriebs:	q_0	273,735	kN/m²
Vertikale Bodenspannung infolge Verkehrslast:	p_T	0,00	kN/m²

Vertikale Gesamt-Bodenspannung in Rohrscheitelebene:	$q_{Ges,v}$	273,735	kN/m²
Horizontale Bodenspannung während des Vortriebs:	$q_{0,h}$	0,000	kN/m²
Horizontale Bodenspannung infolge Verkehrslast:	p_{Th}	0,00	kN/m²
Horizontale Gesamt-Bodenspannung am Rohr:	$q_{Ges,h}$	0,000	kN/m²
Relative vertikale Durchmesserveränderung:	δ_V	0,99	%
Zulässige vertikale Durchmesserveränderung:	zul δ_V	3,00	%
Ausnutzungsgrad Verformung:	$U_{\delta V}$	33,1	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.5.4 Beulnachweis Bauzustand

Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand auf Stabilität bei Berücksichtigung der Rohrverformungen:	$\gamma_{M,stab,red}$	1,45	[-]
Stütz- oder Gleitmitteldruck:	p_{Stm}	3,5	bar
Vertikale Bodenspannung infolge Verkehrslast:	p_T	0,00	kN/m²
Abminderungsfaktor Vorverformung für krit. pa:	κ_{a2}	0,70	[-]
Kritischer Flüssigkeitsdruck:	krit $p_{a,d}$	1,509	N/mm²
Ausnutzungsgrad Stabilität:	$U_{Stab,rad}$	31,3	%

Der Nachweis der Stabilität ist erbracht.

1.2.5.5 Spannungsnachweis Bauzustand

Innen:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
$\sigma_{ST,d} = \frac{\Sigma_{Nqv,qh,qh^*,d}}{A_{rad}} + \alpha_{ki} \cdot \frac{\Sigma_{Mqv,qh,qh^*,d}}{W_a}$					(54)
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{ST,d}$	7,379	-8,467	9,120	N/mm²
$\sigma_{re,d} = \frac{\Sigma_{Nsonst,d}}{A_{rad}} + \alpha_{ki} \cdot \frac{\Sigma_{Msonst,d}}{W_a}$					(54)
Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{re,d}$	-1,234	-1,183	-1,257	N/mm²
Spannung gesamt	σ	6,145	-9,650	7,863	N/mm²
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res,d}$	11,35	11,35	11,35	N/mm²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res,d}$	11,35	11,35	11,35	N/mm²
Ausnutzungsgrad Biegezug:	U_{BZ}	54,1	---	69,3	%
Ausnutzungsgrad Biegedruck:	U_{BD}	---	85,0	---	%

Außen:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
$\sigma_{ST,d} = \frac{\Sigma_{Nqv,qh,qh^*,d}}{A_{rad}} - \alpha_{ka} \cdot \frac{\Sigma_{Mqv,qh,qh^*,d}}{W_a}$					(55)
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{ST,d}$	-6,102	5,345	-8,334	N/mm²
$\sigma_{re,d} = \frac{\Sigma_{Nsonst,d}}{A_{rad}} - \alpha_{ka} \cdot \frac{\Sigma_{Msonst,d}}{W_a}$					(55)
Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{re,d}$	-0,954	-0,997	-0,943	N/mm²
Spannung gesamt	σ	-7,056	4,348	-9,276	N/mm²
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res,d}$	11,35	11,35	11,35	N/mm²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res,d}$	11,35	11,35	11,35	N/mm²
Ausnutzungsgrad Biegezug:	U_{BZ}	---	38,3	---	%
Ausnutzungsgrad Biegedruck:	U_{BD}	62,2	---	81,7	%

Alle errechneten Spannungen sind kleiner als die zulässigen Werte.

1.2.6 Nachweis der Zulässigkeit der Vortriebskraft

1.2.6.1 Rohr

Minimale Wanddicke des Rohres:	$t_{R,min}$	35,0	mm
Maßgebende Druckübertragungsfläche:	A_R	307,876	cm²
Längsdruckfestigkeit:	σ_{LD}	35,0	N/mm²
Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand längs der Rohrachse:	$\gamma_{M,ax}$	1,92	[-]
Charakteristische Festigkeit des Rohrwerkstoffs:	f_k	35,00	N/mm²
Mittlere Zugfestigkeit des Rohrwerkstoffs in Ringrichtung:	f_{tm}	12,60	N/mm²
Elastizitätsmodul in axialer Richtung:	$E_{R,ax}$	800,0	N/mm²
Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand längs der Rohrachse:	$\gamma_{M,ax}$	1,92	[-]
Bemessungswert der Rohrfestigkeit:	f_d	18,23	N/mm²

1.2.6.2 Rohrabwinklung

Minimaler planmäßiger Kurvenradius der Vortriebsstrecke:	R_{Plan}	350,00	m
Länge des einzelnen Vortriebrohres:	L_R	12,00	m
Angesetzte Rohrverwinkelung aus planmäßiger Krümmung:	φ_R	1,964	°
Größter Innendurchmesser:	$d_{i,max}$	245	mm
Rechenwert für Rohrverwinkelung aufgrund unplanmäßiger Abweichungen:	$\varphi_{St,0}/L_R$	0,167	°/m
Rohrverwinkelung aufgrund unplanmäßiger Abweichungen:	φ_{St}	2,063	°
Nennweite:	DN	315	mm
Max. Abweichung Stirnflächen von Rechtwinkligkeit:	$\Delta_{a,cal}$	4,0	mm
Kleinster Außendurchmesser:	$d_{a,min}$	315	mm
Rohrverwinkelung aufgrund Abweichungen der Rohrspiegel von der Rechtwinkligkeit:	$\varphi_{\Delta a,cal}$	0,728	°
Kombinationsbeiwert für Rohrabwinklungen:	ψ	0,80	[-]
Rohrverwinkelung im Bereich einer Rohrfuge (gesamt):	φ_{ges}	4,196	°
Verhältnis t,DÜR zu t,Rohr:	κ_t	1,000	[-]
Mittlere Zugfestigkeit des Rohrwerkstoffs in Ringrichtung:	f_{tm}	12,60	N/mm²
Beiwert für zulässige Druckspannung:	$\alpha_{D,T}$	1,000	[-]
Höchste in der Rohrfuge wirkende, zulässige Druckspannung:	σ_{cal}	18,23	N/mm²

1.2.6.3 Verformung des Rohres

Rechnerische Druckspannung im Rohrwerkstoff:	σ_{max}	16,15	N/mm²

Aus dem Vergleichsspannungsnachweis wurde rückwärts die maximal zulässige axiale Spannung ermittelt, damit dieser gerade eben zu 100% ausgelastet ist. Damit geht in die Berechnung der zulässigen Vorpresskraft eine geringere axial zulässige Spannung ein, wenn der Vergleichsspannungsnachweis maßgebend ist.

Maximal mögliche axiale Spannung aus Interaktion, Schaft:	max $\sigma_{x,I,d}$	16,15	N/mm²
Verhältnis Rohrlänge zu Außendurchmesser:	L_R/d_a	38,10	[-]
Verformungsbeiwert des Rohres:	α_b	0,585	[-]

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

Beiwert:	α_φ	1,000	[-]
Verformungsfaktor des Rohres:	κ_{ab}	0,585	[-]
Verformungsanteil des Vortriebsrohres:	Δs_R	141,7	mm

Ergebnis

Maß der Fugenklaffung:	$z_k/d_{a,min}$	1,00	[-]
Spannungsverhältnis durch Ausmitte der Vorpresskräfte (aus Bild 22/23):	σ_{max} / σ_0	2,00	[-]
Maßgebende Druckübertragungsfläche:	A_R	307,876	cm²
Teilsicherheitsbeiwert Einwirkung längs der Rohrachse:	$\gamma_{F,ax}$	1,30	[-]
Zulässige Vorpresskraft:	F_j	191	kN
Rohrfläche für Axialdruck außerhalb Kupplungsbereich:	$A_{R,0}$	307,88	cm²
Im Rohr wirkende axiale Spannung, Bemessungswert:	$\sigma_{x,d,0}$	-4,04	N/mm²

1.2.6.4 Interaktion - Vergleichsspannungsnachweis Schaft

Maximale axiale Spannung:	max $\sigma_{x,d}$	-4,04	N/mm²
Maximale radiale Spannung: (Sohle, innen)	max $\sigma_{\varphi,d}$	7,86	N/mm²
Verhältnis:	m	2,78	[-]
Vergleichsspannung:	$\sigma_{VGE,d}$	10,94	N/mm²
Festigkeit für Vergleichsspannungsnachweis:	$\overline{\sigma}_{VGE}$	21,0	N/mm²
Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand längs der Rohrachse:	$\gamma_{M,ax}$	1,92	[-]
Zulässige Vergleichsspannung:	$\sigma_{z,d}$	10,94	N/mm²
Ausnutzungsgrad Vergleichsspannung Schaft:	$U_{\sigma VGE}$	100,0	%

Die Vergleichsspannung ist kleiner als der zulässige Wert.

1.2.6.5 Nachweis Axialbeulen (Kunststoff oder GFK-Rohr)

Beiwert:	k_i	0,41	[-]
Durchschlagsbeiwert für axiale Stabilität:	min α_L	1,00	[-]
Kritische Beanspruchung durch axiale Belastung:	krit $\sigma_{L,d}$	44,42	N/mm²
Im Rohr wirkende axiale Spannung, Bemessungswert:	$\sigma_{x,d,0}$	-4,04	N/mm²
Ausnutzungsgrad Axialbeulen:	$U_{Stab,ax}$	9,1	%

Der Nachweis gegen axiales Beulen ist erbracht.

1.2.7 Betriebszustand

1.2.7.1 Belastungen Betriebszustand

Bedingt durch die Aktivierung gewölbeartiger Tragwirkungen im Festgestein über den Rohren wurde eine Reduzierung der rechnerischen Überdeckungshöhe durch den Nutzer vorgenommen. Dies sollte nur in Abstimmung mit dem Sachverständigen für Geotechnik erfolgen.

Vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene:	p_{Ev}	182,490	kN/m²
Wirksame vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene:	q_{Ev}	182,490	kN/m²
Vertikale Gesamt-Bodenspannung in Rohrscheitelebene:	$q_{Ges,v}$	182,490	kN/m²
Die Erddruckverteilung am Rohr wird cos²- bzw. sin²-förmig angenommen.:	Nein		
Grundwasserstand im Bereich der oberen Rohrhälfte:	$h_{GW,oRh}$	0,315	m
Horizontale Bodenspannung am Rohr:	q_{Eh}	0,00	kN/m²
Horizontale Gesamt-Bodenspannung am Rohr:	$q_{Ges,h}$	0,000	kN/m²
Innerer Überdruck:	p_i	0,000	bar
Äußerer Überdruck über Rohrscheitel:	$p_{a,Sc}$	1,775	bar
Rohrsteifigkeit:	S_R	208.333	N/m²
Rohrsteifigkeit:	$\overline{S}_R$	208.333	N/m²
Rechenwert des Verformungsmodul EF:	E_F	50,00	N/mm²
Auflockerungsfaktor nach A161, Tabelle 15:	$f_{2,F,Betrieb}$	0,80	[-]
Verformungsmodul Boden:	E_B	40,00	N/mm²
Erddruckverhältnis unter Rohrscheitel:	K_2	0,00	[-]
Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	24,00	N/mm²
Systemsteifigkeit:	V_{RB}	0,0087	[-]
Das Rohr-Bodensystem verhält sich biegeweich:	Ja		
Verformungsbeiwert:	$c_{h,qv}$	0,1026	[-]
Verformungsbeiwert:	c_{h,qh^*}	-0,0658	[-]
Verformungsbeiwert:	$c_{v,qv}$	-0,1053	[-]
Verformungsbeiwert:	c_{v,qh^*}	0,0640	[-]
Beiwert des Bettungsreaktionsdruckes:	K^*	1,378	[-]
Bettungsreaktionsdruck aus Verkehrslast:	q^*_{Th}	0,00	kN/m²
Bettungsreaktionsdruck aus Erdlast:	q^*_{Eh}	251,39	kN/m²
Bettungsreaktionsdruck:	q^*_h	251,39	kN/m²

1.2.7.2 Schnittkräfte Betriebszustand

Momente:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Vertikale Belastung aus Erdüberdeckung	$M_{pEv,d}$	1,376	-1,410	1,782	kNm/m
Vertikale Belastung aus Verkehr	$M_{pTv,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Horizontale Belastung aus Verkehr	$M_{pTh,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Horizontale Belastung aus Erdüberdeckung	$M_{pEh,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Eigengewicht	$M_{g,d}$	0,004	-0,005	0,007	kNm/m
Wasserfüllung bis Rohrscheitel	$M_{w,d}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Auftrieb (äußerer Wasserstand bis Scheitel)	$M_{a,d}$	-0,008	0,010	-0,015	kNm/m
Wasserdruck	$M_{pw,d}$	-0,024	-0,024	-0,024	kNm/m
Bettungsreaktionsdruck Erdlast	$M_{qEh*,d}$	-1,204	1,384	-1,204	kNm/m
Bettungsreaktionsdruck	$M_{qh*,d}$	-1,204	1,384	-1,204	kNm/m
Summe der Momente	ΣM_d	0,144	-0,045	0,546	kNm/m

Normalkräfte:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Vertikale Belastung aus Erdüberdeckung	$N_{pEv,d}$	2,690	-34,491	-11,692	kN/m
Vertikale Belastung aus Verkehr	$N_{pTv,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Horizontale Belastung aus Verkehr	$N_{pTh,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Horizontale Belastung aus Erdüberdeckung	$N_{pEh,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Eigengewicht	$N_{g,d}$	0,026	-0,098	-0,077	kN/m
Wasserfüllung bis Rohrscheitel	$N_{w,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Auftrieb (äußerer Wasserstand bis Scheitel)	$N_{a,d}$	-0,187	-0,057	-0,234	kN/m
Wasserdruck	$N_{pw,d}$	-37,730	-37,730	-37,730	kN/m
Bettungsreaktionsdruck Erdlast	$N_{qEh*,d}$	-27,415	0,000	-27,415	kN/m
Bettungsreaktionsdruck Verkehr	$N_{qTh*,d}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Bettungsreaktionsdruck	$N_{qh*,d}$	-27,415	0,000	-27,415	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN_d	-62,616	-72,375	-77,148	kN/m

1.2.7.3 Verformungsnachweis Betriebszustand

Verformungsbeiwert:	$c_{v,qh*}$	0,0640	[-]
Verformungsbeiwert:	$c_{v,qv}$	-0,1053	[-]
Beiwert des Bettungsreaktionsdruckes:	K^*	1,378	[-]
Verformungsbeiwert:	c^*_v	-0,017	[-]
Vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelebene:	p_{Ev}	182,490	kN/m²
Vertikale Bodenspannung infolge Verkehrslast:	p_T	0,00	kN/m²
Vertikale Gesamt-Bodenspannung in Rohrscheitelebene:	$q_{Ges,v}$	182,490	kN/m²
Horizontale Bodenspannung am Rohr:	q_{Eh}	0,00	kN/m²
Horizontale Bodenspannung infolge Verkehrslast:	p_{Th}	0,00	kN/m²
Horizontale Gesamt-Bodenspannung am Rohr:	$q_{Ges,h}$	0,000	kN/m²
Relative vertikale Durchmesserveränderung:	δ_V	1,50	%
Zulässige vertikale Durchmesserveränderung:	zul δ_V	3,00	%
Ausnutzungsgrad Verformung:	$U_{\delta V}$	50,0	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.7.4 Beulnachweis Betriebszustand

Teilsicherheitsbeiwert für Bauteilwiderstand auf Stabilität bei Berücksichtigung der Rohrverformungen:	$\gamma_{M,stab,red}$	1,45	[-]
Vertikale Gesamtbelastung, Designwert:	$q_{v,d}$	246,36	kN/m²
Innerer Reibungswinkel am Rohr:	φ'_2	32,5	°
Der Wert für Kappa V2 wurde analog ATV-DVWK-A 127 ermittelt, da VRB < 0,03			
Abminderungsfaktor für krit qv (nach A127):	κ_{v2}	0,87	[-]
Kritische Erdlast:	krit $q_{v,d}$	2,684	N/mm²
Ausnutzungsgrad Stabilität (vertikale Gesamtlast):	U_{qv}	9,2	%
Äußerer Überdruck über Rohrsohle:	$p_{a,So}$	1,806	bar
Maximaler äußerer Druck aus Wasser, Stütz- oder Gleitmittel, Pressdruck:	$p_{a,max}$	1,806	bar
Äußerer Flüssigkeitsdruck, Designwert:	$p_{a,d}$	2,44	bar
Abminderungsfaktor lokale Vorverformung für krit. pa:	κ_{a1}	1,00	[-]

Abminderungsfaktor Vorverformung für krit. pa:	κ_{a2}	0,70	[-]

Da das rm/s-Verhältnis < 5,0 ist, wurde für αD der Grenzwert 3,0 für ein ungebettetes Rohr angesetzt.

Verhältnis Radius zu Wanddicke:	r_m/s	4,000	[-]
Durchschlagsbeiwert:	α_D	3,00	[-]
Kritischer Flüssigkeitsdruck:	krit $p_{a,d}$	0,302	N/mm²

$$\text{krit } p_{a,d} = \kappa_a \cdot \alpha_D \cdot \frac{S_R}{\gamma_{M,stab,red}} \quad (74a)$$

$$\kappa_a = \kappa_{a2} \cdot \kappa_{a1} \quad (74b)$$

Ausnutzungsgrad Stabilität (äußererer Wasserdruck):	U_{pa}	80,8	%
Ausnutzungsgrad Stabilität:	$U_{Stab,rad}$	90,0	%

Der Nachweis der Stabilität ist erbracht.

1.2.7.5 Spannungsnachweis Betriebszustand

Innen:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	

$$\sigma_{ST,d} = \frac{\Sigma_{Nqv,qh,qh^*,d}}{A_{rad}} + \alpha_{ki} \cdot \frac{\Sigma_{Mqv,qh,qh^*,d}}{W_a} \quad (54)$$

Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{ST,d}$	0,207	-1,126	1,949	N/mm²

$$\sigma_{re,d} = \frac{\Sigma_{Nsonst,d}}{A_{rad}} + \alpha_{ki} \cdot \frac{\Sigma_{Msonst,d}}{W_a} \quad (54)$$

Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{re,d}$	-1,234	-1,183	-1,257	N/mm²
Spannung gesamt	σ	-1,027	-2,309	0,691	N/mm²
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res,d}$	7,57	7,57	7,57	N/mm²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res,d}$	7,57	7,57	7,57	N/mm²
Ausnutzungsgrad Biegezug:	U_{BZ}	---	---	9,1	%
Ausnutzungsgrad Biegedruck:	U_{BD}	13,6	30,5	---	%

Außen:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	

$$\sigma_{ST,d} = \frac{\Sigma_{Nqv,qh,qh^*,d}}{A_{rad}} - \alpha_{ka} \cdot \frac{\Sigma_{Mqv,qh,qh^*,d}}{W_a} \quad (55)$$

Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{ST,d}$	-1,480	-0,867	-3,712	N/mm²

$$\sigma_{re,d} = \frac{\Sigma_{Nsonst,d}}{A_{rad}} - \alpha_{ka} \cdot \frac{\Sigma_{Msonst,d}}{W_a} \quad (55)$$

Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{re,d}$	-0,954	-0,997	-0,943	N/mm²
Spannung gesamt	σ	-2,434	-1,864	-4,654	N/mm²
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res,d}$	7,57	7,57	7,57	N/mm²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res,d}$	7,57	7,57	7,57	N/mm²
Ausnutzungsgrad Biegezug:	U_{BZ}	---	---	---	%
Ausnutzungsgrad Biegedruck:	U_{BD}	32,2	24,6	61,5	%

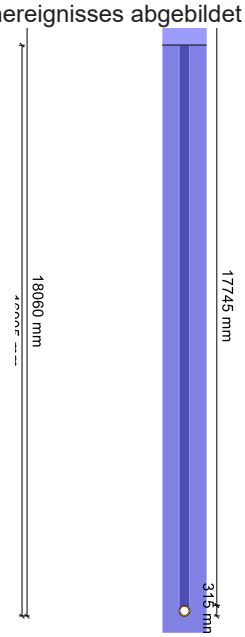
Alle errechneten Spannungen sind kleiner als die zulässigen Werte.

1.2.7.6 Nachweis gegen Ermüden unter nicht vorwiegend ruhender Belastung

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

1.2.8 Auftriebsnachweis

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



Lastfaktor Auftriebskraft:	γ_Q	1,05	[-]
Baugrund:	γ_u	0,95	[-]
Lastfaktor Eigengewicht:	γ_G	0,95	[-]
Äußerer Radius:	r_a	157,5	mm
Verdrängtes Volumen:	V	0,08	m³/m
Auftriebskraft:	Q_r	0,78	kN/m
Auftriebskraft, Design:	$Q_{r,d}$	0,82	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 für vertikale Erdlast:	h_F	16,6	m
Grundwasserstand über Sohle:	h_{GW}	18,1	m
Höhe Boden unter Auftrieb:	h_n	16,59	m
Baugrund:	Q_{r1}	39,19	kN/m
Baugrund, Design:	$Q_{r1,d}$	37,23	kN/m
Fläche Zwickel, trocken:	A_{FZ}	0,00	m²
Fläche Zwickel, nass:	A_{FZ}'	0,01	m²
Kraft aus Auflast Zwickel:	F_Z	0,08	kN/m
Kraft aus Auflast Zwickel, Design:	$F_{Z,d}$	0,08	kN/m
Innerer Radius:	r_i	122,5	mm
Radiale Profilfläche:	A_{rad}	35,00	mm²/mm
Wichte des Rohrwerkstoffs:	γ_R	9,4	kN/m³
Eigenlast:	G_m	0,29	kN/m
Eigenlast, Design:	$G_{m,d}$	0,27	kN/m
Gegenkräfte, Design:	$Q_{g,d}$	37,58	kN/m
Auftriebskraft, Design:	$Q_{r,d}$	0,82	kN/m
Ausnutzung Auftrieb:	U	2,2	%

Der Auftriebsnachweis ist erfüllt.

Alle notwendigen Nachweise sind erbracht.

Anlage

A 4 Spülungsdruckberechnung/ Zugkraftberechnung

Rapport über D-Geo Pipeline 20.1

Modell : Horizontalbohrung
Entwickelt durch Deltares

Datum von rapport:	2/15/2022
Zeit von rapport:	9:02:19 AM
Bericht mit Version:	20.1.2.31161
Berechnet mit Version:	20.1.2.31161
Dateiname:	18-0901_SPEZ_D2-Q56_Berech_LWL_R00
Projektbezeichnung:	SuedOstLink Querung D2-Q_056 Berechnung Kabeslchutzrohr Lichtwellenleiter

1 Table of Contents

1 Table of Contents 2
2 Eingabedaten 3
2.1 Modell Verwendet 3
2.2 Grenzen der Erdschichten 3
2.3 Pl-Linien 4
2.4 Phreatischer Linie 4
2.5 Bodenprofile 4
2.6 Grenzen der Deckschichten 4
2.7 Geometrie 4
2.7.1 Geometrie Durchschnitt, Detail 4
2.8 Berechnungs durchschnitten 5
2.9 Konfiguration der Rohrleitung 7
2.10 Rohrleitungdaten 7
2.11 Technische Rohr Daten 7
2.12 Bohrspühlungsdaten 8
2.13 Faktoren 8
2.14 Berechnungsoptionen 8
3 Bohrspühlungsdrücken 9
3.1 Bohrspühlungsdaten 9
3.2 Bohrspühlungsdruck Graphieken 15
3.2.1 Bohrspühlungsdrücke während Pilotbohrung 15
3.2.2 Bohrspühlungsdrücke während Aufweitbohrung 16
3.2.3 Bohrspühlungsdrücke während Reiben und Einziehvorgang 16
4 Daten Stärkeberechnung 17
4.1 Auftriebssteuerung 17
4.2 Berechnung der Zugkraft 17

2 Eingabedaten

2.1 Modell Verwendet

Modell Verwendet : Horizontalbohrung

2.2 Grenzen der Erdschichten

Grenzenumner	Koordinaten [m]				
4 - L -	0.000	13.055	30.756	44.091	46.367
4 - Z -	323.650	323.650	323.750	324.079	324.128
4 - L -	70.756	90.396	93.042	93.198	95.969
4 - Z -	325.670	326.937	327.001	326.998	327.467
4 - L -	99.365	108.454	130.757	152.705	153.143
4 - Z -	327.445	324.363	323.910	323.808	323.802
4 - L -	163.441	187.873	197.748	205.860	207.694
4 - Z -	321.616	321.766	324.562	324.531	324.517
4 - L -	209.214	214.128	218.238	402.763	407.566
4 - Z -	324.480	322.158	316.745	316.745	322.239
4 - L -	412.795	418.237	420.828	450.756	470.756
4 - Z -	324.019	323.869	323.904	324.020	324.020
4 - L -	490.756	510.756	530.756	556.405	567.081
4 - Z -	323.790	323.870	323.340	323.931	327.507
4 - L -	567.563	570.114	570.561	581.953	603.637
4 - Z -	327.479	327.512	327.557	324.263	323.920
4 - L -	628.645	639.864			
4 - Z -	323.898	323.912			
3 - L -	0.000	13.055	30.756	44.091	46.367
3 - Z -	323.350	323.350	323.450	323.779	323.828
3 - L -	70.756	90.396	93.042	93.198	95.969
3 - Z -	325.370	326.637	326.701	326.698	327.167
3 - L -	99.365	108.454	130.757	152.705	153.143
3 - Z -	327.145	324.063	323.610	323.508	323.502
3 - L -	163.441	187.873	197.748	209.214	218.238
3 - Z -	321.616	321.766	324.355	324.355	316.745
3 - L -	402.763	412.795	418.237	420.828	450.756
3 - Z -	316.745	323.719	323.569	323.604	323.720
3 - L -	470.756	490.756	510.756	530.756	556.405
3 - Z -	323.720	323.490	323.570	323.040	323.631
3 - L -	567.081	567.563	570.114	570.561	581.953
3 - Z -	327.207	327.179	327.212	327.257	323.963
3 - L -	603.637	628.645	639.864		
3 - Z -	323.620	323.598	323.612		
2 - L -	0.000	113.190	143.299	163.443	187.875
2 - Z -	322.064	322.064	320.852	321.316	321.467
2 - L -	201.824	218.238	402.763	468.841	518.844
2 - Z -	322.053	316.745	316.745	321.218	321.858
2 - L -	639.864				
2 - Z -	321.858				
1 - L -	0.000	33.526	54.484	113.067	143.187
1 - Z -	309.717	310.646	311.234	311.169	313.850
1 - L -	201.723	227.505	275.981	327.459	376.813
1 - Z -	311.955	312.085	312.924	311.942	312.924
1 - L -	468.721	518.723	581.632	584.327	602.679
1 - Z -	311.618	311.658	311.834	311.821	313.678
1 - L -	621.718	639.864			
1 - Z -	313.622	313.577			
0 - L -	0.000	639.864			
0 - Z -	290.000	290.000			

2.3 Pl-Linien

Pl-Liniennummer	Koordinaten [m]				
1 - L -	0.000	639.864			
1 - Z -	320.170	320.170			

2.4 Phreatischer Linie

Piezo-Linie 1 wird als phreatische Linie (Grundwasser) verwendet.

2.5 Bodenprofile

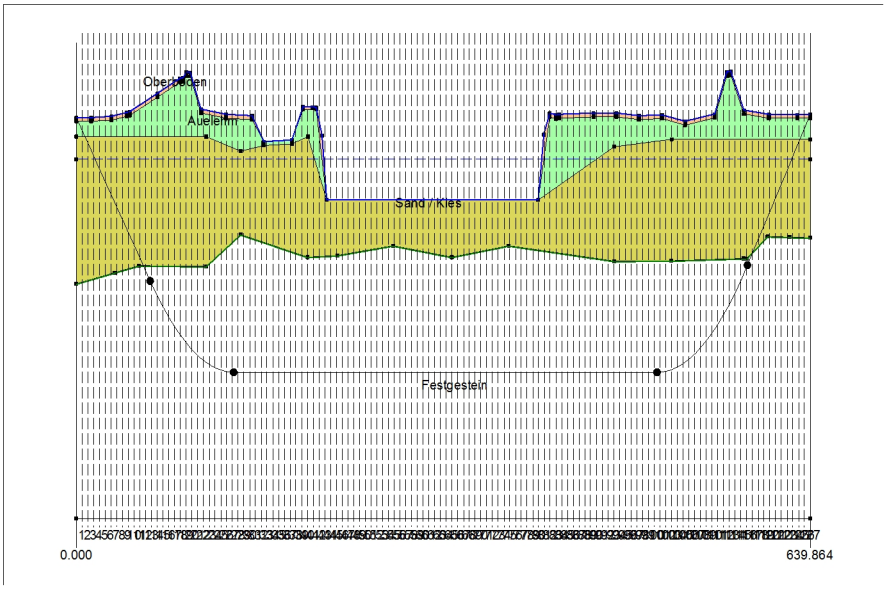
Erdschicht Zahl	Material Name	Piezo-Linie an der oben	Piezo-Linie an der unten
4	Oberboden	1	1
3	Auelehm	1	1
2	Sand / Kies	1	1
1	Festgestein	1	1

2.6 Grenzen der Deckschichten

Die Grenze zwischen (kohäsiven) undrainierten oberen Schichten und unterliegenden (nicht kohäsiven) drainierten Schichten, liegt oben der Deckschicht Zahl 4: Oberboden
Die Grenze zwischen der kompressibeler und nicht-kompressibeler schichten, liegt oben der Deckschicht Zahl 1: Festgestein

2.7 Geometrie

2.7.1 Geometrie Durchschnitt, Detail



2.8 Berechnungs durchschnitten

Durchschnitte	L-koord. [m]	Z-koord. [m]
1	5.038	322.579
2	10.076	321.508
3	15.114	320.437
4	20.152	319.367
5	25.190	318.296
6	30.228	317.225
7	35.266	316.154
8	40.304	315.083
9	45.342	314.012
10	50.380	312.941
11	55.418	311.871
12	60.456	310.800
13	65.494	309.730
14	70.532	308.712
15	75.570	307.771
16	80.608	306.906
17	85.646	306.116
18	90.684	305.402
19	95.722	304.761
20	100.760	304.195
21	105.798	303.703
22	110.836	303.284
23	115.874	302.938
24	120.912	302.665
25	125.950	302.465
26	130.988	302.337
27	136.026	302.282
28	141.064	302.280
29	146.102	302.280
30	151.140	302.280
31	156.178	302.280
32	161.216	302.280
33	166.254	302.280
34	171.292	302.280
35	176.330	302.280
36	181.368	302.280
37	186.406	302.280
38	191.444	302.280
39	196.482	302.280
40	201.520	302.280
41	206.558	302.280
42	211.596	302.280
43	216.634	302.280
44	221.672	302.280
45	226.710	302.280
46	231.748	302.280
47	236.786	302.280
48	241.824	302.280
49	246.862	302.280
50	251.900	302.280
51	256.938	302.280
52	261.976	302.280
53	267.014	302.280
54	272.052	302.280
55	277.090	302.280
56	282.128	302.280
57	287.166	302.280
58	292.204	302.280
59	297.242	302.280
60	302.280	302.280
61	307.318	302.280

Durchschnitte	L-koord. [m]	Z-koord. [m]
62	312.356	302.280
63	317.394	302.280
64	322.432	302.280
65	327.470	302.280
66	332.508	302.280
67	337.546	302.280
68	342.584	302.280
69	347.622	302.280
70	352.660	302.280
71	357.698	302.280
72	362.736	302.280
73	367.774	302.280
74	372.812	302.280
75	377.850	302.280
76	382.888	302.280
77	387.926	302.280
78	392.964	302.280
79	398.002	302.280
80	403.040	302.280
81	408.078	302.280
82	413.116	302.280
83	418.154	302.280
84	423.192	302.280
85	428.230	302.280
86	433.268	302.280
87	438.306	302.280
88	443.344	302.280
89	448.382	302.280
90	453.420	302.280
91	458.458	302.280
92	463.496	302.280
93	468.534	302.280
94	473.572	302.280
95	478.610	302.280
96	483.648	302.280
97	488.686	302.280
98	493.724	302.280
99	498.762	302.280
100	503.800	302.280
101	508.838	302.289
102	513.876	302.362
103	518.914	302.508
104	523.952	302.726
105	528.990	303.017
106	534.028	303.381
107	539.066	303.818
108	544.104	304.329
109	549.142	304.913
110	554.180	305.572
111	559.218	306.305
112	564.256	307.114
113	569.294	307.998
114	574.332	308.958
115	579.370	309.995
116	584.408	311.110
117	589.446	312.272
118	594.484	313.435
119	599.522	314.598
120	604.560	315.761
121	609.598	316.925
122	614.636	318.088
123	619.674	319.251
124	624.712	320.414
125	629.750	321.577

Durchschnitte	L-koord. [m]	Z-koord. [m]
126	634.788	322.740
127	639.826	323.903

Lokationen der Berechnungsvertikalen; L ist die Rohrleitung entlang, projektiert auf das horizontaler flach; hinzugefügt die Koordinaat von eintritt.

2.9 Konfiguration der Rohrleitung

X Koordinate linker Punkt	0.000	[m]
Y Koordinate linker Punkt	0.000	[m]
Z Koordinate linker Punkt	323.650	[m]
X Koordinate rechter Punkt	639.864	[m]
Y Koordinate rechter Punkt	0.000	[m]
Z Koordinate rechter Punkt	323.912	[m]
Winkel links	12.0000	[Grad]
Winkel rechts	13.0000	[Grad]
Krümmungsradius links, vertikal herein/heraus	350.000	[m]
Krümmungsradius rechts, vertikal herein/heraus	350.000	[m]
Krümmungsradius Rohr auf Oberbogen	30.000	[m]
Tiefster Punkt der Rohrleitung (Bohrlinie)	302.280	[m]
Winkel der Rohrleitung (zwischen radius)	0.0000	[Grad]
Zahl horizontal Krümmungen	0	

Die Einzugrichtung der Rohrleitung verläuft von links nach rechts.

2.10 Rohrleitungdaten

Material	Polyethylen	
Werkstoff	PE100	
E-Modulus (kurzzeitig)	975.00	[N/mm²]
E-Modulus (langzeitig)	350.00	[N/mm²]
Zulässige Spannung (kurz)	10.00	[N/mm²]
Zulässige Spannung (lang)	10.00	[N/mm²]
Zugfestigkeit Faktor (alfa)	0.65	[-]
Linearkoeffizienten der Verdichtungs (alpha_g)	0.0001600	[mm/mmK]
Außendurchmesser Rohrleitung	140.00	[mm]
Wanddicke (Nominal)	19.20	[mm]
Wichte Rohrleitungsmaterial	9.54	[kN/m³]
Entwurfinnendruck	0.00	[bar]
Prüfinnendruck	0.00	[bar]
Temperaturschwankungen	0.00	[Grad C]

2.11 Technische Rohr Daten

Rohr gefuhlt mit Wasser auf Oberbogen	Nein	
Anteil des mit Flüssigkeit gefüllten Querschnitts	0	[%]
Wichte Flüssigkeit	10.00	[kN/m³]
Auflagewinkel	120	[Grad]
Lastwinkel	180	[Grad]
Relative Verformung	10.00	[mm]
Zusammendrückbarheitsbeiwert	6.00	[-]
Bettungszahl der Bohrspühlung (Kv)	500.00	[kN/m³]
Phi Bohrspühlung	15.00	[Grad]
Kohäsion Bohrspühlung	5.00	[kN/m²]
Reibung Rohrleitung-Oberbogen (f1)	0.10	[-]
Reibung Rohrleitung-Bohrspühlung (f2)	0.000060	[N/mm²]
Reibung Rohrleitung-Boden (f3)	0.25	[-]

2.12 Bohrspühlungsdaten

Außendurchmesser Pilotbohrloch	0.350	[m]
Außendurchmesser Pilotrohr	0.168	[m]
Außendurchmesser Vorreibeloch	0.350	[m]
Außendurchmesser Bohrrohr	0.168	[m]
Außendurchmesser Rohrleitung-Bohrloch	0.350	[m]
Außendurchmesser Rohrleitung	0.140	[m]
Volumenstrom Pilotbohrung	1400.0000	[liter/minute]
Volumenstrom Aufweitbohrung	1200.0000	[liter/minute]
Volumestrom Reiben und Einziehvorgang	1000.0000	[liter/minute]
Spühlungskreislaufverlustfaktor Pilotbohrung	0.30	[-]
Spühlungskreislaufverlustfaktor Aufweitbohrung	0.20	[-]
Spühlungskreislaufverlustfaktor Reiben und Einziehvorgang	0.20	[-]
Wichte Bohrspühlung (Gamma)	11.1	[kN/m³]
Fließgrenze Bohrspühlung (Tau)	0.014	[kN/m²]
Plastische Viskosität Bohrspühlung (Mu)	0.000040	[kN.s/m²]

2.13 Faktoren

(Polyethylen)Sicherheitsfaktor Implosion (Lang)	3.0	[-]
(Polyethylen)Sicherheitsfaktor Implosion (Kurz)	1.5	[-]
Ungewißheitsfaktor Wichte der Materialtypen unter und über Phreatische Linie	1.10	[-]
Ungewißheitsfaktor (drainierten) Kohäsion C	1.40	[-]
Ungewißheitsfaktor undrainierte Scherfestigkeit Su	1.40	[-]
Ungewißheitsfaktor Phi	1.10	[-]
Ungewißheitsfaktor E-Modulus	1.25	[-]
Ungewißheitsfaktor Bettungszahl	2.00	[-]
Belastungsfaktor Entwurfinnendruck (Polyethylen)	1.00	[-]
Belastungsfaktor Entwurfinnendruck (Komb.) (Polyethylen)	1.00	[-]
Belastungsfaktor Prüfinnendruck (Polyethylen)	1.00	[-]
Belastungsfaktor Einziehen (Polyethylen)	1.00	[-]
Belastungsfaktor q_n;r (Polyethylen)	1.50	[-]
Belastungsfaktor Temperatur (Polyethylen)	1.10	[-]
Belastungsfaktor Verkehrslast (Polyethylen)	1.35	[-]
Schadenfaktor (S)	1.00	[-]
Zulässige Verformung Stahl Rohr	15.00	[%]
Zulässige Molchfähigkeit Stahl Rohr	5.00	[%]
Zulässige Verformung Polyethene Rohr	8.00	[%]
Zulässige Molchfähigkeit Polyethene Rohr	5.00	[%]
Wichte Wasser	10.00	[kN/m³]
Sicherheitsfaktor Deckung durchlässigen Schichten	0.50	[-]
Sicherheitsfaktor Deckung undrainierten Schichten	0.50	[-]
Verhältnis H/Do für Grenze zwischen flachen/tiefen Situation	7.50	[-]

2.14 Berechnungsoptionen

Option zur Spannungsanalyse : Standard

3 Bohrspühlungsdrücken

3.1 Bohrspühlungsdaten

Durchschnitte	Spühlungsdrucken Pilotbohrung [kN/m²]			
	Max, Deformation	Max, Bodenlast	Min, links	Min, rechts
1	52	52	14	247
2	143	143	28	257
3	278	278	41	267
4	344	414	55	277
5	397	546	69	287
6	448	678	83	297
7	504	821	96	307
8	560	962	110	317
9	614	1097	124	328
10	679	1253	138	338
11	746	1409	151	348
12	915	1770	165	358
13	1036	2035	179	368
14	1113	2186	192	377
15	1180	2318	204	386
16	1243	2439	216	393
17	1301	2551	226	400
18	1354	2654	236	406
19	1414	2772	245	412
20	1409	2756	253	416
21	1317	2561	261	420
22	1272	2462	267	422
23	1279	2472	273	424
24	1280	2473	278	426
25	1278	2467	282	426
26	1273	2455	285	426
27	1270	2448	287	424
28	1264	2436	289	423
29	1262	2431	291	421
30	1262	2432	293	419
31	1220	2344	295	417
32	1149	2196	297	415
33	1119	2134	298	413
34	1122	2141	300	412
35	1126	2148	302	410
36	1129	2155	304	408
37	1133	2163	306	406
38	1205	2313	308	404
39	1304	2519	309	402
40	1329	2571	311	401
41	1317	2546	313	399
42	1215	2333	315	397
43	933	1746	317	395
44	863	1596	319	393
45	862	1595	320	391
46	862	1594	322	390
47	861	1593	324	388
48	860	1592	326	386
49	859	1591	328	384
50	858	1589	330	382
51	858	1588	331	380
52	857	1587	333	378
53	856	1585	335	377
54	855	1584	337	375
55	854	1583	339	373
56	855	1585	341	371
57	856	1586	343	369

Durchschnitte	Spühlungsdrucken Pilotbohrung [kN/m²]			
	Max, Deformation	Max, Bodenlast	Min, links	Min, rechts
58	857	1588	344	367
59	858	1589	346	366
60	859	1591	348	364
61	860	1592	350	362
62	861	1593	352	360
63	862	1594	354	358
64	863	1596	355	356
65	864	1597	357	355
66	863	1596	359	353
67	862	1594	361	351
68	861	1593	363	349
69	860	1592	365	347
70	859	1590	366	345
71	858	1589	368	344
72	857	1587	370	342
73	856	1586	372	340
74	855	1584	374	338
75	854	1583	376	336
76	855	1584	377	334
77	856	1585	379	333
78	857	1587	381	331
79	857	1588	383	329
80	868	1612	385	327
81	1121	2137	387	325
82	1256	2419	388	323
83	1250	2405	390	322
84	1255	2417	392	320
85	1260	2426	394	318
86	1264	2435	396	316
87	1268	2443	398	314
88	1272	2452	399	312
89	1276	2461	401	311
90	1280	2468	403	309
91	1283	2474	405	307
92	1285	2480	407	305
93	1288	2486	409	303
94	1287	2482	410	301
95	1283	2475	412	300
96	1280	2468	414	298
97	1276	2460	416	296
98	1276	2460	418	294
99	1278	2463	420	292
100	1279	2467	421	290
101	1281	2470	423	288
102	1273	2454	424	286
103	1258	2425	424	282
104	1239	2388	424	278
105	1217	2345	422	273
106	1202	2319	420	267
107	1191	2299	417	261
108	1176	2273	413	253
109	1157	2241	409	245
110	1135	2202	403	235
111	1170	2282	397	225
112	1247	2451	390	215
113	1269	2506	382	203
114	1154	2276	373	190
115	1001	1963	363	177
116	871	1648	353	163
117	693	1285	342	148
118	638	1152	331	133
119	582	1015	320	118
120	527	875	309	104

Durchschnitte	Spühlungsdrucken Pilotbohrung [kN/m²]			
	Max, Deformation	Max, Bodenlast	Min, links	Min, rechts
121	475	739	298	89
122	422	600	287	74
123	367	459	276	59
124	302	314	265	44
125	167	167	254	30
126	59	59	243	15
127	0	0	232	0

Durchschnitte	Spühlungsdruck Aufweitbohrung [kN/m²]			
	Max, Deformation	Max, Bodenlast	Min, links	Min, rechts
1	52	52	14	14
2	143	143	28	28
3	278	278	41	41
4	344	414	55	55
5	397	546	69	69
6	448	678	83	83
7	504	821	96	96
8	560	962	110	110
9	614	1097	124	124
10	679	1253	138	138
11	746	1409	151	151
12	915	1770	165	165
13	1036	2035	179	179
14	1113	2186	192	192
15	1180	2318	204	204
16	1243	2439	216	216
17	1301	2551	226	226
18	1354	2654	236	236
19	1414	2772	245	245
20	1409	2756	253	253
21	1317	2561	261	261
22	1272	2462	267	267
23	1279	2472	273	273
24	1280	2473	278	278
25	1278	2467	282	282
26	1273	2455	285	285
27	1270	2448	287	287
28	1264	2436	289	289
29	1262	2431	291	291
30	1262	2432	293	293
31	1220	2344	295	295
32	1149	2196	297	297
33	1119	2134	298	298
34	1122	2141	300	300
35	1126	2148	302	302
36	1129	2155	304	304
37	1133	2163	306	306
38	1205	2313	308	308
39	1304	2519	309	309
40	1329	2571	311	311
41	1317	2546	313	313
42	1215	2333	315	315
43	933	1746	317	317
44	863	1596	319	319
45	862	1595	320	320
46	862	1594	322	322
47	861	1593	324	324
48	860	1592	326	326
49	859	1591	328	328
50	858	1589	329	330
51	858	1588	331	331
52	857	1587	333	333

Durchschnitte	Spühlungsdruck Aufweitbohrung [kN/m²]			
	Max, Deformation	Max, Bodenlast	Min, links	Min, rechts
53	856	1585	335	335
54	855	1584	337	337
55	854	1583	339	339
56	855	1585	340	341
57	856	1586	342	343
58	857	1588	344	344
59	858	1589	346	346
60	859	1591	348	348
61	860	1592	350	350
62	861	1593	351	352
63	862	1594	353	354
64	863	1596	355	355
65	864	1597	355	354
66	863	1596	353	353
67	862	1594	351	351
68	861	1593	349	349
69	860	1592	347	347
70	859	1590	345	345
71	858	1589	344	343
72	857	1587	342	342
73	856	1586	340	340
74	855	1584	338	338
75	854	1583	336	336
76	855	1584	334	334
77	856	1585	333	332
78	857	1587	331	331
79	857	1588	329	329
80	868	1612	327	327
81	1121	2137	325	325
82	1256	2419	323	323
83	1250	2405	322	321
84	1255	2417	320	320
85	1260	2426	318	318
86	1264	2435	316	316
87	1268	2443	314	314
88	1272	2452	312	312
89	1276	2461	311	310
90	1280	2468	309	309
91	1283	2474	307	307
92	1285	2480	305	305
93	1288	2486	303	303
94	1287	2482	301	301
95	1283	2475	300	300
96	1280	2468	298	298
97	1276	2460	296	296
98	1276	2460	294	294
99	1278	2463	292	292
100	1279	2467	290	290
101	1281	2470	288	288
102	1273	2454	286	286
103	1258	2425	282	282
104	1239	2388	278	278
105	1217	2345	273	273
106	1202	2319	267	267
107	1191	2299	261	260
108	1176	2273	253	253
109	1157	2241	245	245
110	1135	2202	235	235
111	1170	2282	225	225
112	1247	2451	215	215
113	1269	2506	203	203
114	1154	2276	190	190
115	1001	1963	177	177

Durchschnitte	Spühlungsdruck Aufweitbohrung [kN/m²]			
	Max, Deformation	Max, Bodenlast	Min, links	Min, rechts
116	871	1648	163	163
117	693	1285	148	148
118	638	1152	133	133
119	582	1015	118	118
120	527	875	104	104
121	475	739	89	89
122	422	600	74	74
123	367	459	59	59
124	302	314	44	44
125	167	167	30	30
126	59	59	15	15
127	0	0	0	0

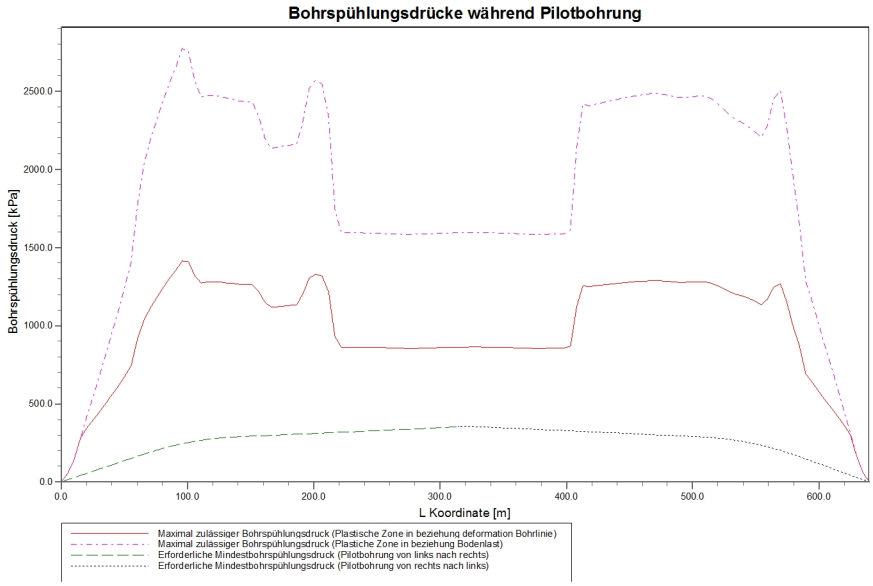
Durchschnitte	Spühlungsdrucken Einziehvorgang [kN/m²]			
	Max, Deformation	Max, Bodenlast	Min, links	Min, rechts
1	52	52	13	14
2	143	143	27	28
3	278	278	40	41
4	344	414	54	55
5	397	546	67	69
6	448	678	81	83
7	504	821	94	96
8	560	962	108	110
9	614	1097	121	124
10	679	1253	135	138
11	746	1409	148	151
12	915	1770	161	165
13	1036	2035	175	179
14	1113	2186	188	192
15	1180	2318	200	204
16	1243	2439	211	216
17	1301	2551	221	226
18	1354	2654	231	236
19	1414	2772	239	245
20	1409	2756	247	253
21	1317	2561	254	261
22	1272	2462	260	267
23	1279	2472	266	273
24	1280	2473	270	278
25	1278	2467	274	282
26	1273	2455	277	285
27	1270	2448	279	287
28	1264	2436	281	289
29	1262	2431	282	291
30	1262	2432	284	293
31	1220	2344	285	295
32	1149	2196	287	297
33	1119	2134	288	298
34	1122	2141	290	300
35	1126	2148	292	302
36	1129	2155	293	304
37	1133	2163	295	306
38	1205	2313	296	308
39	1304	2519	298	309
40	1329	2571	299	311
41	1317	2546	301	313
42	1215	2333	302	315
43	933	1746	304	317
44	863	1596	305	319
45	862	1595	307	320
46	862	1594	308	322
47	861	1593	310	324

Durchschnitte	Spühlungsdrucken Einziehvorgang [kN/m²]			
	Max, Deformation	Max, Bodenlast	Min, links	Min, rechts
48	860	1592	312	326
49	859	1591	313	328
50	858	1589	315	329
51	858	1588	316	331
52	857	1587	318	333
53	856	1585	319	335
54	855	1584	321	337
55	854	1583	322	339
56	855	1585	324	340
57	856	1586	325	342
58	857	1588	327	344
59	858	1589	328	345
60	859	1591	330	344
61	860	1592	332	342
62	861	1593	333	341
63	862	1594	335	339
64	863	1596	336	338
65	864	1597	338	336
66	863	1596	339	334
67	862	1594	341	333
68	861	1593	342	331
69	860	1592	344	330
70	859	1590	345	328
71	858	1589	343	327
72	857	1587	342	325
73	856	1586	340	324
74	855	1584	338	322
75	854	1583	336	321
76	855	1584	334	319
77	856	1585	332	318
78	857	1587	331	316
79	857	1588	329	315
80	868	1612	327	313
81	1121	2137	325	311
82	1256	2419	323	310
83	1250	2405	321	308
84	1255	2417	320	307
85	1260	2426	318	305
86	1264	2435	316	304
87	1268	2443	314	302
88	1272	2452	312	301
89	1276	2461	310	299
90	1280	2468	309	298
91	1283	2474	307	296
92	1285	2480	305	295
93	1288	2486	303	293
94	1287	2482	301	291
95	1283	2475	300	290
96	1280	2468	298	288
97	1276	2460	296	287
98	1276	2460	294	285
99	1278	2463	292	284
100	1279	2467	290	282
101	1281	2470	288	281
102	1273	2454	286	278
103	1258	2425	282	275
104	1239	2388	278	271
105	1217	2345	273	266
106	1202	2319	267	261
107	1191	2299	260	254
108	1176	2273	253	247
109	1157	2241	245	239
110	1135	2202	235	230

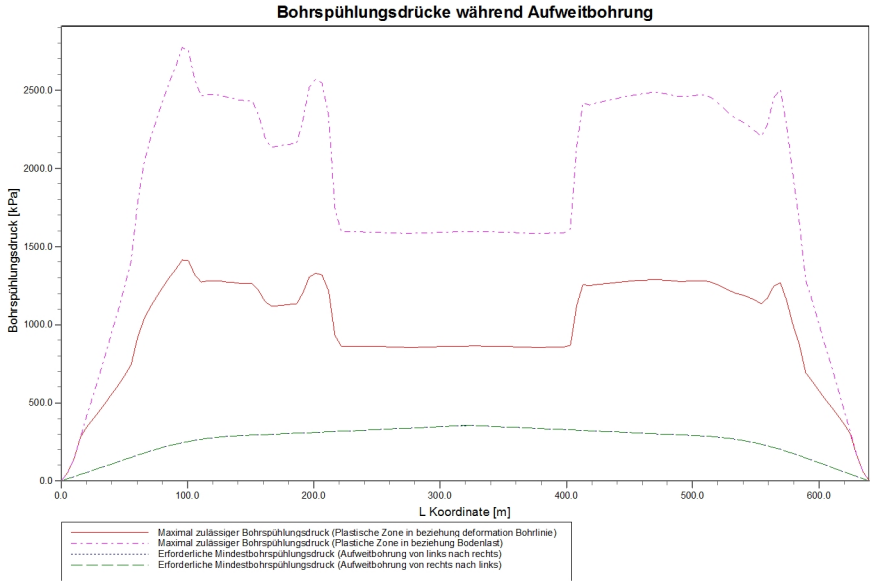
Durchschnitte	Spühlungsdrucken Einziehvorgang [kN/m²]			
	Max, Deformation	Max, Bodenlast	Min, links	Min, rechts
111	1170	2282	225	221
112	1247	2451	215	210
113	1269	2506	203	199
114	1154	2276	190	186
115	1001	1963	177	173
116	871	1648	163	159
117	693	1285	148	145
118	638	1152	133	130
119	582	1015	118	116
120	527	875	104	102
121	475	739	89	87
122	422	600	74	73
123	367	459	59	58
124	302	314	44	44
125	167	167	30	29
126	59	59	15	15
127	0	0	0	0

3.2 Bohrspühlungsdruck Graphieken

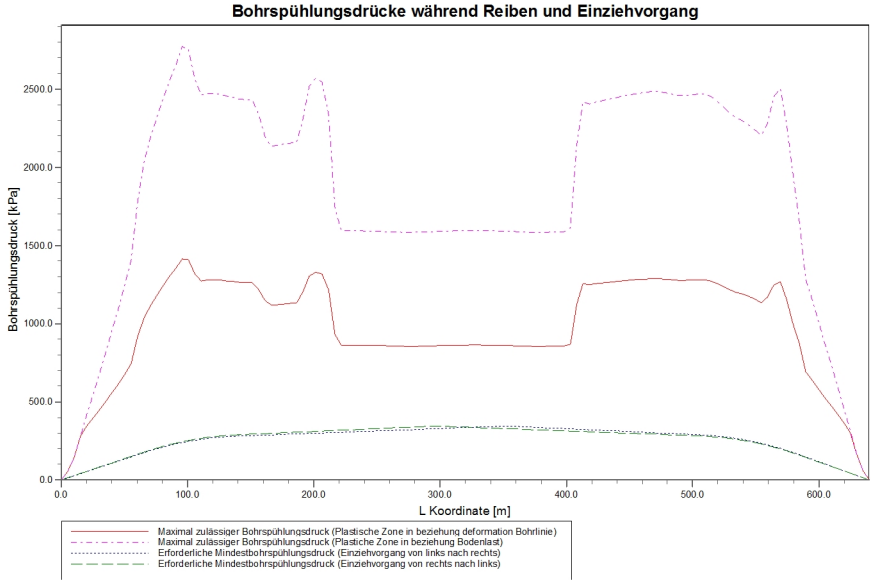
3.2.1 Bohrspühlungsdrücke während Pilotbohrung



3.2.2 Bohrspühlungsdrücke während Aufweitbohrung



3.2.3 Bohrspühlungsdrücke während Reiben und Einziehvorgang



4 Daten Stärkeberechnung

4.1 Auftriebssteuerung

Die Reibung zwischen Boden und Rohrleitung wird teilweise durch den Auftrieb der Rohrleitung in der Bohrspühlung verursacht. Auftriebskräfte an der Rohrleitung erfordern eine interne Ballastleitung zum Einleiten von Flüssigkeit in den Zugbereich. Die Menge des in das Rohr einzuleitenden Flüssigkeit muss so gesteuert werden, dass sich eine möglichst günstige Verteilung der Auftriebskräfte ergibt.

Auftrieb der Rohrleitung bei einer Füllung mit Wasser von 0%

Auftriebskraft	:	17	[kg/m]	
Gewicht der Rohrleitung (inkl. Füllung)	:	7	[kg/m]	

Ergebnis	:	10	[kg/m]	(Rohrleitung bewegt sich nach oben)

4.2 Berechnung der Zugkraft

Während des Einziehvorgangs treten an der Rohrleitung Reibungskräfte auf Grund der folgenden Faktoren auf:

- Reibung zwischen Rohr und Oberbogen (f1 = 0.10)
- Reibung zwischen Rohr und Bohrspühlung (f2 = 0.000060 [N/mm²])
- Reibung zwischen Rohr und Boden (f3 = 0.25)

Auf Grund der Reibung entsteht an der Rohrleitung eine Zugkraft.
Die Einzugrichtung der Rohrleitung verläuft von links nach rechts.

Die Berechnung berücksichtigt, dass die Länge des Rohrs auf den Oberbogen beim Zurückziehen der Rohrleitung abnimmt. Es wird vorausgesetzt, dass sich das Bohrloch während dieses Zurückziehen in einem stabilen Zustand befindet.

Berücksichtigte Punkte	Länge des Rohrs im Bohrloch (m)	Merkmalswert Zugkraft (kN)
T1	0	4
T2	66	7
T3	139	11
T4	508	28
T5	588	34
T6	644	36

Die berechneten Werte für die Zugkraft sind Merkmals Werte. Es wird empfohlen, einen Ungewißheitsfaktor von mindestens 1.4 für die Stärkeberechnung zu hantieren. In der Stärkeberechnung (nächstes kapitel) ist ein Ungewißheitsfaktor von 1.40 verwendet und ein Belastungsfactor von 1.00.

Die maximale repräsentative Zugkraft beträgt 72 kN, ohne Berechnungsfaktor. Bei dieser Zugkraft sind die Spannungen in der Leitung ebenso groß wie die zulässigen Spannungen.

Ende des Rapports

Rapport über D-Geo Pipeline 20.1

Modell : Horizontalbohrung
Entwickelt durch Deltares

Datum von rapport:	2/15/2022
Zeit von rapport:	8:57:19 AM
Bericht mit Version:	20.1.2.31161
Berechnet mit Version:	20.1.2.31161
Dateiname:	18-0901_SPEZ_D2-Q56_Berech_HGUE_R00
Projektbezeichnung:	SuedOstLink Querung D2-Q_056 Berechnung Kabeslchutzrohr Höchstspannungskabel

1 Table of Contents

1 Table of Contents 2
2 Eingabedaten 3
2.1 Modell Verwendet 3
2.2 Grenzen der Erdschichten 3
2.3 Pl-Linien 4
2.4 Phreatischer Linie 4
2.5 Bodenprofile 4
2.6 Grenzen der Deckschichten 4
2.7 Geometrie 4
2.7.1 Geometrie Durchschnitt, Detail 4
2.8 Berechnungs durchschnitten 5
2.9 Konfiguration der Rohrleitung 7
2.10 Rohrleitungdaten 7
2.11 Technische Rohr Daten 7
2.12 Bohrspühlungsdaten 8
2.13 Faktoren 8
2.14 Berechnungsoptionen 8
3 Bohrspühlungsdrücken 9
3.1 Bohrspühlungsdaten 9
3.2 Bohrspühlungsdruck Graphieken 15
3.2.1 Bohrspühlungsdrücke während Pilotbohrung 15
3.2.2 Bohrspühlungsdrücke während Aufweitbohrung 16
3.2.3 Bohrspühlungsdrücke während Reiben und Einziehvorgang 16
4 Daten Stärkeberechnung 17
4.1 Auftriebssteuerung 17
4.2 Berechnung der Zugkraft 17

2 Eingabedaten

2.1 Modell Verwendet

Modell Verwendet : Horizontalbohrung

2.2 Grenzen der Erdschichten

Grenzenumner	Koordinaten [m]				
4 - L -	0.000	13.055	30.756	44.091	46.367
4 - Z -	323.650	323.650	323.750	324.079	324.128
4 - L -	70.756	90.396	93.042	93.198	95.969
4 - Z -	325.670	326.937	327.001	326.998	327.467
4 - L -	99.365	108.454	130.757	152.705	153.143
4 - Z -	327.445	324.363	323.910	323.808	323.802
4 - L -	163.441	187.873	197.748	205.860	207.694
4 - Z -	321.616	321.766	324.562	324.531	324.517
4 - L -	209.214	214.128	218.238	402.763	407.566
4 - Z -	324.480	322.158	316.745	316.745	322.239
4 - L -	412.795	418.237	420.828	450.756	470.756
4 - Z -	324.019	323.869	323.904	324.020	324.020
4 - L -	490.756	510.756	530.756	556.405	567.081
4 - Z -	323.790	323.870	323.340	323.931	327.507
4 - L -	567.563	570.114	570.561	581.953	603.637
4 - Z -	327.479	327.512	327.557	324.263	323.920
4 - L -	628.645	639.864			
4 - Z -	323.898	323.912			
3 - L -	0.000	13.055	30.756	44.091	46.367
3 - Z -	323.350	323.350	323.450	323.779	323.828
3 - L -	70.756	90.396	93.042	93.198	95.969
3 - Z -	325.370	326.637	326.701	326.698	327.167
3 - L -	99.365	108.454	130.757	152.705	153.143
3 - Z -	327.145	324.063	323.610	323.508	323.502
3 - L -	163.441	187.873	197.748	209.214	218.238
3 - Z -	321.616	321.766	324.355	324.355	316.745
3 - L -	402.763	412.795	418.237	420.828	450.756
3 - Z -	316.745	323.719	323.569	323.604	323.720
3 - L -	470.756	490.756	510.756	530.756	556.405
3 - Z -	323.720	323.490	323.570	323.040	323.631
3 - L -	567.081	567.563	570.114	570.561	581.953
3 - Z -	327.207	327.179	327.212	327.257	323.963
3 - L -	603.637	628.645	639.864		
3 - Z -	323.620	323.598	323.612		
2 - L -	0.000	113.190	143.299	163.443	187.875
2 - Z -	322.064	322.064	320.852	321.316	321.467
2 - L -	201.824	218.238	402.763	468.841	518.844
2 - Z -	322.053	316.745	316.745	321.218	321.858
2 - L -	639.864				
2 - Z -	321.858				
1 - L -	0.000	33.526	54.484	113.067	143.187
1 - Z -	309.717	310.646	311.234	311.169	313.850
1 - L -	201.723	227.505	275.981	327.459	376.813
1 - Z -	311.955	312.085	312.924	311.942	312.924
1 - L -	468.721	518.723	581.632	584.327	602.679
1 - Z -	311.618	311.658	311.834	311.821	313.678
1 - L -	621.718	639.864			
1 - Z -	313.622	313.577			
0 - L -	0.000	639.864			
0 - Z -	290.000	290.000			

2.3 Pl-Linien

Pl-Liniennummer	Koordinaten [m]				
1 - L -	0.000	639.864			
1 - Z -	320.170	320.170			

2.4 Phreatischer Linie

Piezo-Linie 1 wird als phreatische Linie (Grundwasser) verwendet.

2.5 Bodenprofile

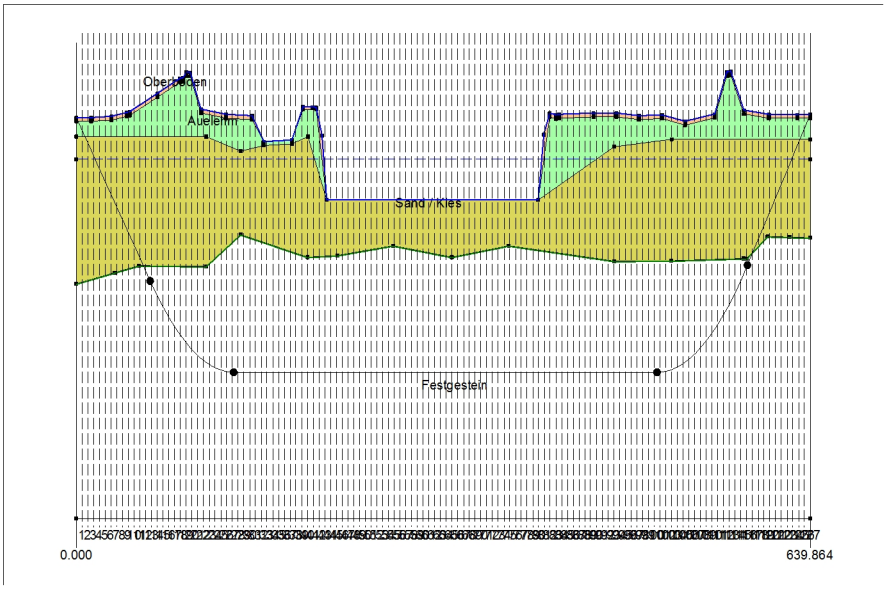
Erdschicht Zahl	Material Name	Piezo-Linie an der oben	Piezo-Linie an der unten
4	Oberboden	1	1
3	Auelehm	1	1
2	Sand / Kies	1	1
1	Festgestein	1	1

2.6 Grenzen der Deckschichten

Die Grenze zwischen (kohäsiven) undrainierten oberen Schichten und unterliegenden (nicht kohäsiven) drainierten Schichten, liegt oben der Deckschicht Zahl 4: Oberboden
Die Grenze zwischen der kompressibeler und nicht-kompressibeler schichten, liegt oben der Deckschicht Zahl 1: Festgestein

2.7 Geometrie

2.7.1 Geometrie Durchschnitt, Detail



2.8 Berechnungs durchschnitten

Durchschnitte	L-koord. [m]	Z-koord. [m]
1	5.038	322.579
2	10.076	321.508
3	15.114	320.437
4	20.152	319.367
5	25.190	318.296
6	30.228	317.225
7	35.266	316.154
8	40.304	315.083
9	45.342	314.012
10	50.380	312.941
11	55.418	311.871
12	60.456	310.800
13	65.494	309.730
14	70.532	308.712
15	75.570	307.771
16	80.608	306.906
17	85.646	306.116
18	90.684	305.402
19	95.722	304.761
20	100.760	304.195
21	105.798	303.703
22	110.836	303.284
23	115.874	302.938
24	120.912	302.665
25	125.950	302.465
26	130.988	302.337
27	136.026	302.282
28	141.064	302.280
29	146.102	302.280
30	151.140	302.280
31	156.178	302.280
32	161.216	302.280
33	166.254	302.280
34	171.292	302.280
35	176.330	302.280
36	181.368	302.280
37	186.406	302.280
38	191.444	302.280
39	196.482	302.280
40	201.520	302.280
41	206.558	302.280
42	211.596	302.280
43	216.634	302.280
44	221.672	302.280
45	226.710	302.280
46	231.748	302.280
47	236.786	302.280
48	241.824	302.280
49	246.862	302.280
50	251.900	302.280
51	256.938	302.280
52	261.976	302.280
53	267.014	302.280
54	272.052	302.280
55	277.090	302.280
56	282.128	302.280
57	287.166	302.280
58	292.204	302.280
59	297.242	302.280
60	302.280	302.280
61	307.318	302.280

Durchschnitte	L-koord. [m]	Z-koord. [m]
62	312.356	302.280
63	317.394	302.280
64	322.432	302.280
65	327.470	302.280
66	332.508	302.280
67	337.546	302.280
68	342.584	302.280
69	347.622	302.280
70	352.660	302.280
71	357.698	302.280
72	362.736	302.280
73	367.774	302.280
74	372.812	302.280
75	377.850	302.280
76	382.888	302.280
77	387.926	302.280
78	392.964	302.280
79	398.002	302.280
80	403.040	302.280
81	408.078	302.280
82	413.116	302.280
83	418.154	302.280
84	423.192	302.280
85	428.230	302.280
86	433.268	302.280
87	438.306	302.280
88	443.344	302.280
89	448.382	302.280
90	453.420	302.280
91	458.458	302.280
92	463.496	302.280
93	468.534	302.280
94	473.572	302.280
95	478.610	302.280
96	483.648	302.280
97	488.686	302.280
98	493.724	302.280
99	498.762	302.280
100	503.800	302.280
101	508.838	302.289
102	513.876	302.362
103	518.914	302.508
104	523.952	302.726
105	528.990	303.017
106	534.028	303.381
107	539.066	303.818
108	544.104	304.329
109	549.142	304.913
110	554.180	305.572
111	559.218	306.305
112	564.256	307.114
113	569.294	307.998
114	574.332	308.958
115	579.370	309.995
116	584.408	311.110
117	589.446	312.272
118	594.484	313.435
119	599.522	314.598
120	604.560	315.761
121	609.598	316.925
122	614.636	318.088
123	619.674	319.251
124	624.712	320.414
125	629.750	321.577

Durchschnitte	L-koord. [m]	Z-koord. [m]
126	634.788	322.740
127	639.826	323.903

Lokationen der Berechnungsvertikalen; L ist die Rohrleitung entlang, projektiert auf das horizontaler flach; hinzugefügt die Koordinaat von eintritt.

2.9 Konfiguration der Rohrleitung

X Koordinate linker Punkt	0.000	[m]
Y Koordinate linker Punkt	0.000	[m]
Z Koordinate linker Punkt	323.650	[m]
X Koordinate rechter Punkt	639.864	[m]
Y Koordinate rechter Punkt	0.000	[m]
Z Koordinate rechter Punkt	323.912	[m]
Winkel links	12.0000	[Grad]
Winkel rechts	13.0000	[Grad]
Krümmungsradius links, vertikal herein/heraus	350.000	[m]
Krümmungsradius rechts, vertikal herein/heraus	350.000	[m]
Krümmungsradius Rohr auf Oberbogen	30.000	[m]
Tiefster Punkt der Rohrleitung (Bohrlinie)	302.280	[m]
Winkel der Rohrleitung (zwischen radius)	0.0000	[Grad]
Zahl horizontal Krümmungen	0	

Die Einzugrichtung der Rohrleitung verläuft von links nach rechts.

2.10 Rohrleitungdaten

Material	Polyethylen	
Werkstoff	PE100	
E-Modulus (kurzzeitig)	975.00	[N/mm²]
E-Modulus (langzeitig)	350.00	[N/mm²]
Zulässige Spannung (kurz)	10.00	[N/mm²]
Zulässige Spannung (lang)	10.00	[N/mm²]
Zugfestigkeit Faktor (alfa)	0.65	[-]
Linearkoeffizienten der Verdichtungs (alpha_g)	0.0001600	[mm/mmK]
Außendurchmesser Rohrleitung	315.00	[mm]
Wanddicke (Nominal)	35.00	[mm]
Wichte Rohrleitungsmaterial	9.54	[kN/m³]
Entwurfinnendruck	0.00	[bar]
Prüfinnendruck	0.00	[bar]
Temperaturschwankungen	0.00	[Grad C]

2.11 Technische Rohr Daten

Rohr gefuhlt mit Wasser auf Oberbogen	Nein	
Anteil des mit Flüssigkeit gefüllten Querschnitts	0	[%]
Wichte Flüssigkeit	10.00	[kN/m³]
Auflagewinkel	120	[Grad]
Lastwinkel	180	[Grad]
Relative Verformung	10.00	[mm]
Zusammendrückbarheitsbeiwert	6.00	[-]
Bettungszahl der Bohrspühlung (Kv)	500.00	[kN/m³]
Phi Bohrspühlung	15.00	[Grad]
Kohäsion Bohrspühlung	5.00	[kN/m²]
Reibung Rohrleitung-Oberbogen (f1)	0.10	[-]
Reibung Rohrleitung-Bohrspühlung (f2)	0.000060	[N/mm²]
Reibung Rohrleitung-Boden (f3)	0.25	[-]

2.12 Bohrspühlungsdaten

Außendurchmesser Pilotbohrloch	0.350	[m]
Außendurchmesser Pilotrohr	0.168	[m]
Außendurchmesser Vorreibeloch	0.610	[m]
Außendurchmesser Bohrrohr	0.168	[m]
Außendurchmesser Rohrleitung-Bohrloch	0.610	[m]
Außendurchmesser Rohrleitung	0.315	[m]
Volumenstrom Pilotbohrung	1400.0000	[liter/minute]
Volumenstrom Aufweitbohrung	1200.0000	[liter/minute]
Volumestrom Reiben und Einziehvorgang	1000.0000	[liter/minute]
Spühlungskreislaufverlustfaktor Pilotbohrung	0.30	[-]
Spühlungskreislaufverlustfaktor Aufweitbohrung	0.20	[-]
Spühlungskreislaufverlustfaktor Reiben und Einziehvorgang	0.20	[-]
Wichte Bohrspühlung (Gamma)	11.1	[kN/m³]
Fließgrenze Bohrspühlung (Tau)	0.014	[kN/m²]
Plastische Viskosität Bohrspühlung (Mu)	0.000040	[kN.s/m²]

2.13 Faktoren

(Polyethylen)Sicherheitsfaktor Implosion (Lang)	3.0	[-]
(Polyethylen)Sicherheitsfaktor Implosion (Kurz)	1.5	[-]
Ungewißheitsfaktor Wichte der Materialtypen unter und über Phreatische Linie	1.10	[-]
Ungewißheitsfaktor (drainierten) Kohäsion C	1.40	[-]
Ungewißheitsfaktor undrainierte Scherfestigkeit Su	1.40	[-]
Ungewißheitsfaktor Phi	1.10	[-]
Ungewißheitsfaktor E-Modulus	1.25	[-]
Ungewißheitsfaktor Bettungszahl	2.00	[-]
Belastungsfaktor Entwurfinnendruck (Polyethylen)	1.00	[-]
Belastungsfaktor Entwurfinnendruck (Komb.) (Polyethylen)	1.00	[-]
Belastungsfaktor Prüfinnendruck (Polyethylen)	1.00	[-]
Belastungsfaktor Einziehen (Polyethylen)	1.00	[-]
Belastungsfaktor q_n;r (Polyethylen)	1.50	[-]
Belastungsfaktor Temperatur (Polyethylen)	1.10	[-]
Belastungsfaktor Verkehrslast (Polyethylen)	1.35	[-]
Schadenfaktor (S)	1.00	[-]
Zulässige Verformung Stahl Rohr	15.00	[%]
Zulässige Molchfähigkeit Stahl Rohr	5.00	[%]
Zulässige Verformung Polyethene Rohr	8.00	[%]
Zulässige Molchfähigkeit Polyethene Rohr	5.00	[%]
Wichte Wasser	10.00	[kN/m³]
Sicherheitsfaktor Deckung durchlässigen Schichten	0.50	[-]
Sicherheitsfaktor Deckung undrainierten Schichten	0.50	[-]
Verhältnis H/Do für Grenze zwischen flachen/tiefen Situation	7.50	[-]

2.14 Berechnungsoptionen

Option zur Spannungsanalyse : Standard

3 Bohrspühlungsdrücken

3.1 Bohrspühlungsdaten

Durchschnitte	Spühlungsdrucken Pilotbohrung [kN/m²]			
	Max, Deformation	Max, Bodenlast	Min, links	Min, rechts
1	52	52	14	247
2	143	143	28	257
3	278	278	41	267
4	344	414	55	277
5	397	546	69	287
6	448	678	83	297
7	504	821	96	307
8	560	962	110	317
9	614	1097	124	328
10	679	1253	138	338
11	746	1409	151	348
12	915	1770	165	358
13	1036	2035	179	368
14	1113	2186	192	377
15	1180	2318	204	386
16	1243	2439	216	393
17	1301	2551	226	400
18	1354	2654	236	406
19	1414	2772	245	412
20	1409	2756	253	416
21	1317	2561	261	420
22	1272	2462	267	422
23	1279	2472	273	424
24	1280	2473	278	426
25	1278	2467	282	426
26	1273	2455	285	426
27	1270	2448	287	424
28	1264	2436	289	423
29	1262	2431	291	421
30	1262	2432	293	419
31	1220	2344	295	417
32	1149	2196	297	415
33	1119	2134	298	413
34	1122	2141	300	412
35	1126	2148	302	410
36	1129	2155	304	408
37	1133	2163	306	406
38	1205	2313	308	404
39	1304	2519	309	402
40	1329	2571	311	401
41	1317	2546	313	399
42	1215	2333	315	397
43	933	1746	317	395
44	863	1596	319	393
45	862	1595	320	391
46	862	1594	322	390
47	861	1593	324	388
48	860	1592	326	386
49	859	1591	328	384
50	858	1589	330	382
51	858	1588	331	380
52	857	1587	333	378
53	856	1585	335	377
54	855	1584	337	375
55	854	1583	339	373
56	855	1585	341	371
57	856	1586	343	369

Durchschnitte	Spühlungsdrucken Pilotbohrung [kN/m²]			
	Max, Deformation	Max, Bodenlast	Min, links	Min, rechts
58	857	1588	344	367
59	858	1589	346	366
60	859	1591	348	364
61	860	1592	350	362
62	861	1593	352	360
63	862	1594	354	358
64	863	1596	355	356
65	864	1597	357	355
66	863	1596	359	353
67	862	1594	361	351
68	861	1593	363	349
69	860	1592	365	347
70	859	1590	366	345
71	858	1589	368	344
72	857	1587	370	342
73	856	1586	372	340
74	855	1584	374	338
75	854	1583	376	336
76	855	1584	377	334
77	856	1585	379	333
78	857	1587	381	331
79	857	1588	383	329
80	868	1612	385	327
81	1121	2137	387	325
82	1256	2419	388	323
83	1250	2405	390	322
84	1255	2417	392	320
85	1260	2426	394	318
86	1264	2435	396	316
87	1268	2443	398	314
88	1272	2452	399	312
89	1276	2461	401	311
90	1280	2468	403	309
91	1283	2474	405	307
92	1285	2480	407	305
93	1288	2486	409	303
94	1287	2482	410	301
95	1283	2475	412	300
96	1280	2468	414	298
97	1276	2460	416	296
98	1276	2460	418	294
99	1278	2463	420	292
100	1279	2467	421	290
101	1281	2470	423	288
102	1273	2454	424	286
103	1258	2425	424	282
104	1239	2388	424	278
105	1217	2345	422	273
106	1202	2319	420	267
107	1191	2299	417	261
108	1176	2273	413	253
109	1157	2241	409	245
110	1135	2202	403	235
111	1170	2282	397	225
112	1247	2451	390	215
113	1269	2506	382	203
114	1154	2276	373	190
115	1001	1963	363	177
116	871	1648	353	163
117	693	1285	342	148
118	638	1152	331	133
119	582	1015	320	118
120	527	875	309	104

Durchschnitte	Spühlungsdrucken Pilotbohrung [kN/m²]			
	Max, Deformation	Max, Bodenlast	Min, links	Min, rechts
121	475	739	298	89
122	422	600	287	74
123	367	459	276	59
124	302	314	265	44
125	167	167	254	30
126	59	59	243	15
127	0	0	232	0

Durchschnitte	Spühlungsdruck Aufweitbohrung [kN/m²]			
	Max, Deformation	Max, Bodenlast	Min, links	Min, rechts
1	34	34	13	14
2	101	101	25	28
3	196	196	38	41
4	299	299	50	55
5	395	405	63	69
6	447	517	75	83
7	503	644	88	96
8	559	776	101	110
9	614	909	113	124
10	679	1065	126	138
11	745	1226	138	151
12	862	1458	151	165
13	1021	1769	163	179
14	1103	1970	175	192
15	1174	2147	187	204
16	1237	2309	197	216
17	1296	2457	206	226
18	1349	2591	215	236
19	1410	2741	223	245
20	1405	2730	230	253
21	1314	2503	236	261
22	1269	2392	241	267
23	1276	2410	246	273
24	1278	2417	249	278
25	1276	2416	252	282
26	1271	2407	254	285
27	1268	2403	256	287
28	1263	2393	256	289
29	1261	2388	257	291
30	1261	2387	258	293
31	1218	2283	258	295
32	1148	2110	259	297
33	1118	2036	260	298
34	1121	2043	260	300
35	1124	2050	261	302
36	1128	2057	262	302
37	1131	2064	262	301
38	1204	2238	263	300
39	1302	2477	264	300
40	1327	2538	264	299
41	1315	2512	265	298
42	1213	2269	266	298
43	931	1586	266	297
44	862	1394	267	296
45	861	1394	268	296
46	861	1394	268	295
47	860	1393	269	294
48	859	1392	270	294
49	858	1392	270	293
50	858	1391	271	292
51	857	1390	272	292
52	856	1390	272	291

Durchschnitte	Spühlungsdruck Aufweitbohrung [kN/m²]			
	Max, Deformation	Max, Bodenlast	Min, links	Min, rechts
53	855	1389	273	290
54	854	1388	274	290
55	854	1388	275	289
56	855	1389	275	288
57	856	1390	276	288
58	857	1390	277	287
59	857	1391	277	286
60	858	1392	278	286
61	859	1393	279	285
62	860	1393	279	284
63	861	1394	280	283
64	862	1395	281	283
65	863	1395	281	282
66	862	1395	282	281
67	861	1394	283	281
68	860	1393	283	280
69	859	1392	284	279
70	858	1392	285	279
71	857	1391	285	278
72	856	1390	286	277
73	855	1389	287	277
74	854	1388	287	276
75	854	1388	288	275
76	854	1389	289	275
77	855	1389	289	274
78	856	1390	290	273
79	856	1390	291	273
80	867	1419	291	272
81	1119	2053	292	271
82	1254	2373	293	271
83	1248	2355	293	270
84	1253	2368	294	269
85	1258	2377	295	269
86	1262	2386	295	268
87	1266	2395	296	267
88	1270	2404	297	267
89	1274	2413	297	266
90	1278	2420	298	265
91	1281	2426	299	265
92	1283	2432	299	264
93	1286	2437	300	263
94	1285	2433	301	263
95	1281	2424	300	262
96	1278	2416	298	261
97	1274	2407	296	261
98	1274	2406	294	260
99	1275	2410	292	259
100	1277	2415	290	259
101	1279	2418	288	258
102	1271	2398	286	256
103	1256	2361	282	254
104	1237	2315	278	251
105	1215	2260	273	247
106	1200	2224	267	242
107	1188	2194	261	237
108	1173	2156	253	230
109	1154	2108	245	223
110	1132	2051	235	215
111	1166	2134	225	206
112	1242	2324	215	197
113	1263	2376	203	186
114	1146	2079	190	175
115	990	1686	177	163

Durchschnitte	Spühlungsdruck Aufweitbohrung [kN/m²]			
	Max, Deformation	Max, Bodenlast	Min, links	Min, rechts
116	842	1358	163	150
117	693	1101	148	136
118	637	964	133	123
119	581	827	118	109
120	526	693	104	95
121	474	569	89	82
122	420	448	74	68
123	333	333	59	55
124	222	222	44	41
125	106	106	30	27
126	39	39	15	14
127	0	0	0	0

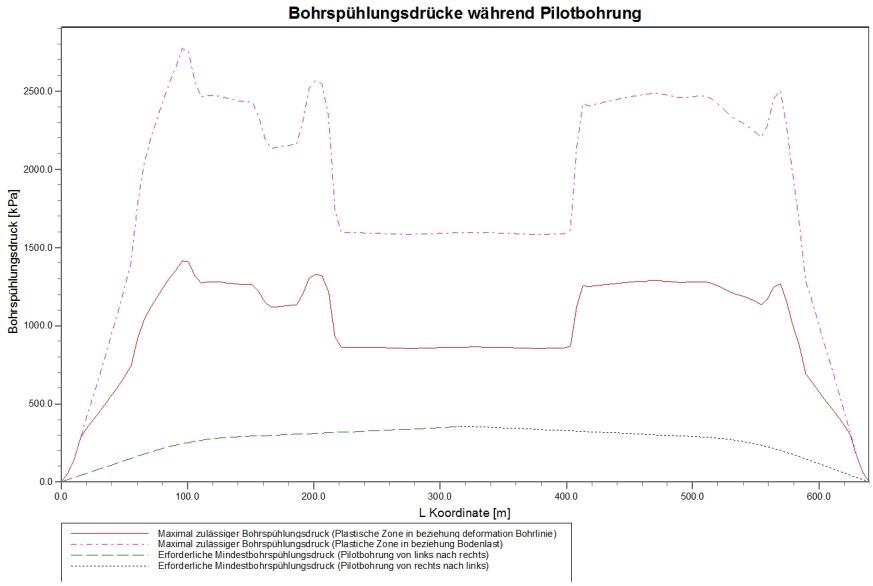
Durchschnitte	Spühlungsdrucken Einziehvorgang [kN/m²]			
	Max, Deformation	Max, Bodenlast	Min, links	Min, rechts
1	34	34	13	13
2	101	101	26	25
3	196	196	39	38
4	299	299	52	50
5	395	405	65	63
6	447	517	78	75
7	503	644	91	88
8	559	776	103	101
9	614	909	116	113
10	679	1065	129	126
11	745	1226	142	138
12	862	1458	155	151
13	1021	1769	168	163
14	1103	1970	180	175
15	1174	2147	192	187
16	1237	2309	203	197
17	1296	2457	212	206
18	1349	2591	221	215
19	1410	2741	230	223
20	1405	2730	237	230
21	1314	2503	243	236
22	1269	2392	249	241
23	1276	2410	254	246
24	1278	2417	258	249
25	1276	2416	261	252
26	1271	2407	264	254
27	1268	2403	265	256
28	1263	2393	266	256
29	1261	2388	267	257
30	1261	2387	268	258
31	1218	2283	269	258
32	1148	2110	270	259
33	1118	2036	271	260
34	1121	2043	272	260
35	1124	2050	273	261
36	1128	2057	275	262
37	1131	2064	276	262
38	1204	2238	277	263
39	1302	2477	278	264
40	1327	2538	279	264
41	1315	2512	280	265
42	1213	2269	281	266
43	931	1586	282	266
44	862	1394	283	267
45	861	1394	284	268
46	861	1394	285	268
47	860	1393	286	269

Durchschnitte	Spühlungsdrucken Einziehvorgang [kN/m²]			
	Max, Deformation	Max, Bodenlast	Min, links	Min, rechts
48	859	1392	287	270
49	858	1392	288	270
50	858	1391	289	271
51	857	1390	290	272
52	856	1390	291	272
53	855	1389	290	273
54	854	1388	290	274
55	854	1388	289	275
56	855	1389	288	275
57	856	1390	288	276
58	857	1390	287	277
59	857	1391	286	277
60	858	1392	286	278
61	859	1393	285	279
62	860	1393	284	279
63	861	1394	283	280
64	862	1395	283	281
65	863	1395	282	281
66	862	1395	281	282
67	861	1394	281	283
68	860	1393	280	283
69	859	1392	279	284
70	858	1392	279	285
71	857	1391	278	285
72	856	1390	277	286
73	855	1389	277	287
74	854	1388	276	287
75	854	1388	275	288
76	854	1389	275	289
77	855	1389	274	289
78	856	1390	273	290
79	856	1390	273	290
80	867	1419	272	289
81	1119	2053	271	288
82	1254	2373	271	287
83	1248	2355	270	286
84	1253	2368	269	285
85	1258	2377	269	284
86	1262	2386	268	283
87	1266	2395	267	282
88	1270	2404	267	281
89	1274	2413	266	280
90	1278	2420	265	278
91	1281	2426	265	277
92	1283	2432	264	276
93	1286	2437	263	275
94	1285	2433	263	274
95	1281	2424	262	273
96	1278	2416	261	272
97	1274	2407	261	271
98	1274	2406	260	270
99	1275	2410	259	269
100	1277	2415	259	268
101	1279	2418	258	267
102	1271	2398	256	265
103	1256	2361	254	263
104	1237	2315	251	259
105	1215	2260	247	255
106	1200	2224	242	250
107	1188	2194	237	244
108	1173	2156	230	237
109	1154	2108	223	230
110	1132	2051	215	221

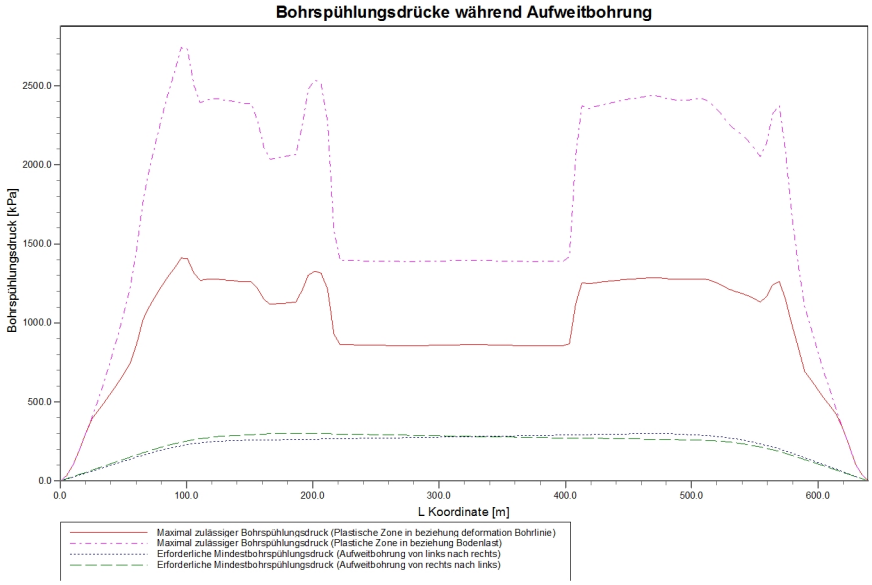
Durchschnitte	Spühlungsdrucken Einziehvorgang [kN/m²]			
	Max, Deformation	Max, Bodenlast	Min, links	Min, rechts
111	1166	2134	206	212
112	1242	2324	197	202
113	1263	2376	186	191
114	1146	2079	175	180
115	990	1686	163	167
116	842	1358	150	154
117	693	1101	136	140
118	637	964	123	126
119	581	827	109	112
120	526	693	95	98
121	474	569	82	84
122	420	448	68	70
123	333	333	55	56
124	222	222	41	42
125	106	106	27	28
126	39	39	14	14
127	0	0	0	0

3.2 Bohrspühlungsdruck Graphieken

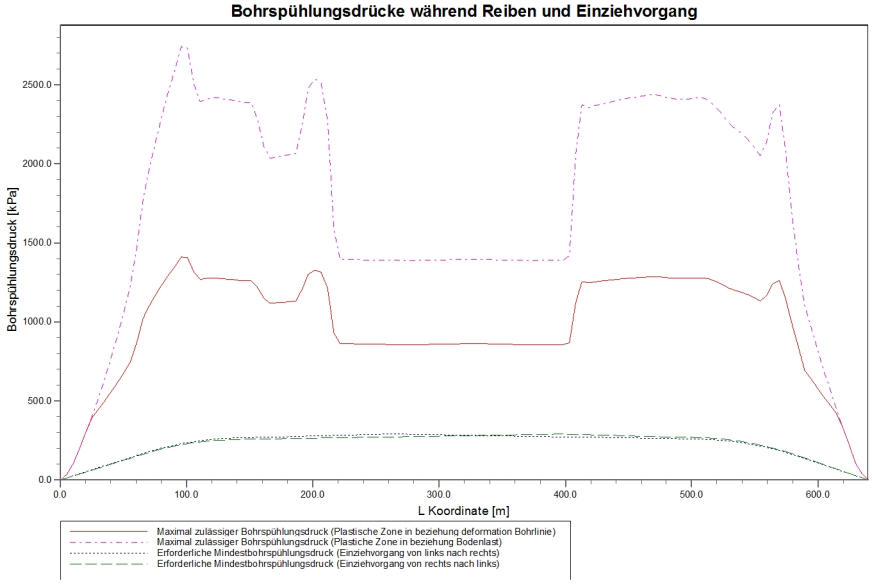
3.2.1 Bohrspühlungsdrücke während Pilotbohrung



3.2.2 Bohrspühlungsdrücke während Aufweitbohrung



3.2.3 Bohrspühlungsdrücke während Reiben und Einziehvorgang



4 Daten Stärkeberechnung

4.1 Auftriebssteuerung

Die Reibung zwischen Boden und Rohrleitung wird teilweise durch den Auftrieb der Rohrleitung in der Bohrspühlung verursacht. Auftriebskräfte an der Rohrleitung erfordern eine interne Ballastleitung zum Einleiten von Flüssigkeit in den Zugbereich. Die Menge des in das Rohr einzuleitenden Flüssigkeit muss so gesteuert werden, dass sich eine möglichst günstige Verteilung der Auftriebskräfte ergibt.

Auftrieb der Rohrleitung bei einer Füllung mit Wasser von 0%

Auftriebskraft	:	88	[kg/m]	
Gewicht der Rohrleitung (inkl. Füllung)	:	30	[kg/m]	

Ergebnis	:	58	[kg/m]	(Rohrleitung bewegt sich nach oben)

4.2 Berechnung der Zugkraft

Während des Einziehvorgangs treten an der Rohrleitung Reibungskräfte auf Grund der folgenden Faktoren auf:

- Reibung zwischen Rohr und Oberbogen (f1 = 0.10)
- Reibung zwischen Rohr und Bohrspühlung (f2 = 0.000060 [N/mm²])
- Reibung zwischen Rohr und Boden (f3 = 0.25)

Auf Grund der Reibung entsteht an der Rohrleitung eine Zugkraft.
Die Einzugrichtung der Rohrleitung verläuft von links nach rechts.

Die Berechnung berücksichtigt, dass die Länge des Rohrs auf den Oberbogen beim Zurückziehen der Rohrleitung abnimmt. Es wird vorausgesetzt, dass sich das Bohrloch während dieses Zurückziehen in einem stabilen Zustand befindet.

Berücksichtigte Punkte	Länge des Rohrs im Bohrloch (m)	Merkmalswert Zugkraft (kN)
T1	0	19
T2	66	30
T3	139	47
T4	508	111
T5	588	133
T6	644	143

Die berechneten Werte für die Zugkraft sind Merkmals Werte. Es wird empfohlen, einen Ungewißheitsfaktor von mindestens 1.4 für die Stärkeberechnung zu hantieren. In der Stärkeberechnung (nächstes kapitel) ist ein Ungewißheitsfaktor von 1.40 verwendet und ein Belastungsfactor von 1.00.

Die maximale repräsentative Zugkraft beträgt 296 kN, ohne Berechnungsfaktor. Bei dieser Zugkraft sind die Spannungen in der Leitung ebenso groß wie die zulässigen Spannungen.

Ende des Rapports

Anlage

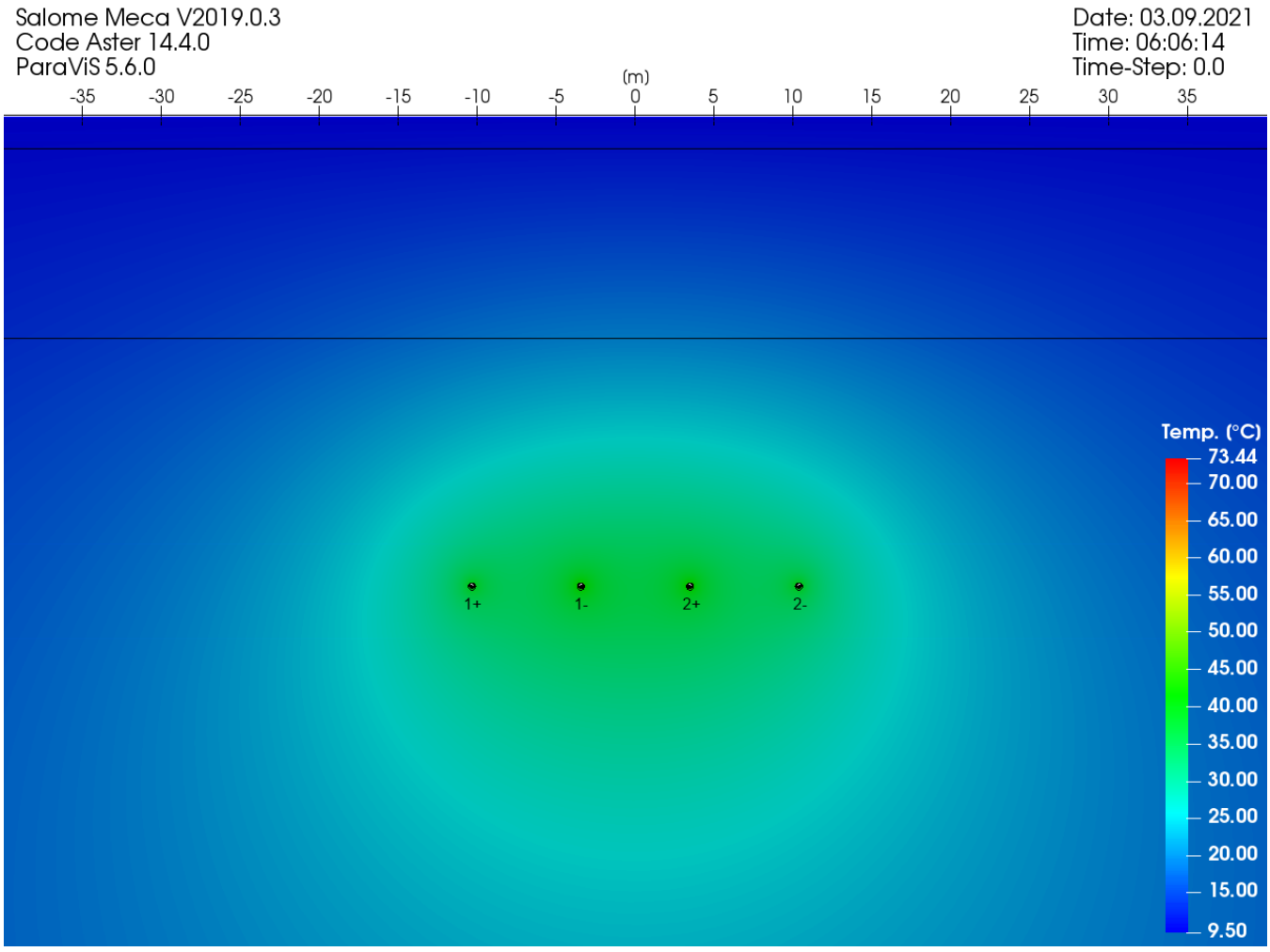
A 5 Einzelfallberechnung Hr. Dr. Fricke bzgl. der thermisch erforderlichen Achsabstände, samt Erläuterung seiner getroffenen Annahmen im Mailformat (Stand 09.06.2021)

Hochspannungsgleichstrom-Kabelverbindung „SuedOstLink“, Abschnitte C, D
Donauquerung, tiefste Stelle, Variante 2x 2 GW, ±525 kV, HDD-Bauweise mit Schutzrohren

Kabel einzeln in PE-Rohren DA355 x 48,5 mm (SDR7,4), 2,5 Km/W, Kabelschutzrohre nicht verfüllt
Kabeltyp 1: HVDC-Kabel Prysmian, 3000 mm² Cu, HPTE-Isolierung, zul. Leitertemp. 90 °C
Kabeltyp 2: HVDC-Kabel (generisch), 3000 mm² Cu, VPE-Isolierung., zul. Leitertemp. 70 °C

Bodentemperatur:	9,5 °C
Spezifischer Wärmewiderstand Erdboden (0 ≤ H ≤ 2 m), feucht/ trocken:	0,5 Km/W / 1,5 Km/W
Spezifischer Wärmewiderstand Erdboden (2 < H ≤ 14 m):	0,5 Km/W
Spezifischer Wärmewiderstand Erdboden (H > 14 m):	0,6 Km/W
Spezifischer Wärmewiderstand Ringraumfüllung HDD:	1,2 Km/W
Überdeckung Bohrungen/ horiz. Abstand der Bohrungen/ Kabel (Achse):	29,5 m / 6,9 m
Belastungsgrad:	1,0

Kabel		**1+**	**1-**	**2+**	**2-**
Strom im Leiter (thermisch effektiv)	[A]	2071,5	2071,5	2071,5	2071,5
Induzierter AC-Strom im Schirm	[A]	43,7	43,7	43,7	43,7
Verluste pro Kabel	[W/m]	30,9	31,3	30,9	30,6
Leitertemperatur	[°C]	70,1	73,4	69,9	66,6
Rohraußentemperatur	[°C]	40,6	43,7	43,6	40,4



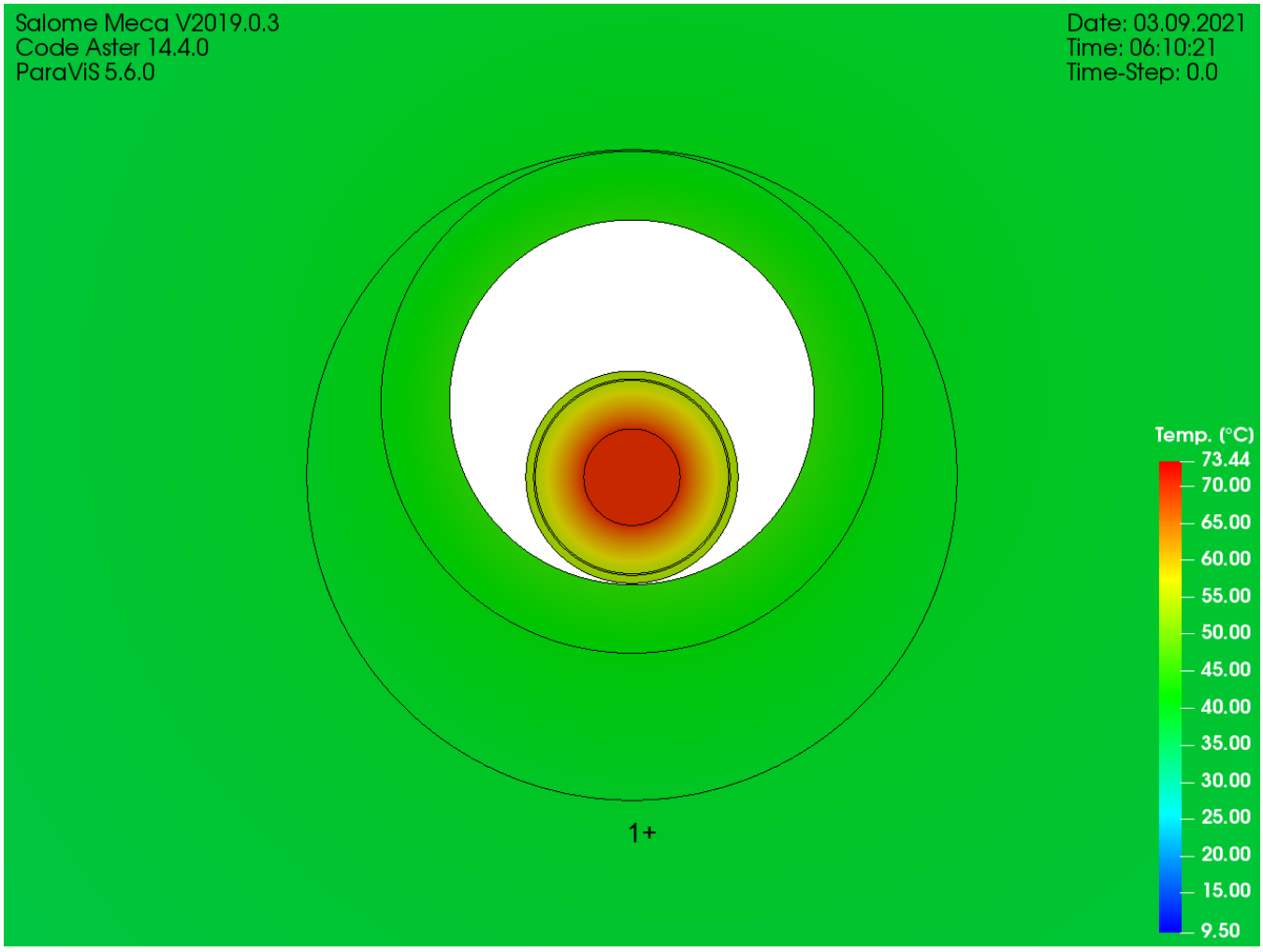
Temperaturverteilung im Erdboden, Übersicht (Angaben in °C)

Hochspannungsgleichstrom-Kabelverbindung „SuedOstLink“, Abschnitte C, D
Donauquerung, tiefste Stelle, Variante 2x 2 GW, ±525 kV, HDD-Bauweise mit Schutzrohren

Kabel einzeln in PE-Rohren DA355 x 48,5 mm (SDR7,4), 2,5 Km/W, Kabelschutzrohre nicht verfüllt
Kabeltyp 1: HVDC-Kabel Prysmian, 3000 mm² Cu, HPTE-Isolierung, zul. Leitertemp. 90 °C
Kabeltyp 2: HVDC-Kabel (generisch), 3000 mm² Cu, VPE-Isolierung., zul. Leitertemp. 70 °C

Bodentemperatur:	9,5 °C
Spezifischer Wärmewiderstand Erdboden (0 ≤ H ≤ 2 m), feucht/ trocken:	0,5 Km/W / 1,5 Km/W
Spezifischer Wärmewiderstand Erdboden (2 < H ≤ 14 m):	0,5 Km/W
Spezifischer Wärmewiderstand Erdboden (H > 14 m):	0,6 Km/W
Spezifischer Wärmewiderstand Ringraumfüllung HDD:	1,2 Km/W
Überdeckung Bohrungen/ horiz. Abstand der Bohrungen/ Kabel (Achse):	29,5 m / 6,9 m
Belastungsgrad:	1,0

Kabel		**1+**	**1-**	**2+**	**2-**
Strom im Leiter (thermisch effektiv)	[A]	2071,5	2071,5	2071,5	2071,5
Induzierter AC-Strom im Schirm	[A]	43,7	43,7	43,7	43,7
Verluste pro Kabel	[W/m]	30,9	31,3	30,9	30,6
Leitertemperatur	[°C]	70,1	73,4	69,9	66,6
Rohraußentemperatur	[°C]	40,6	43,7	43,6	40,4



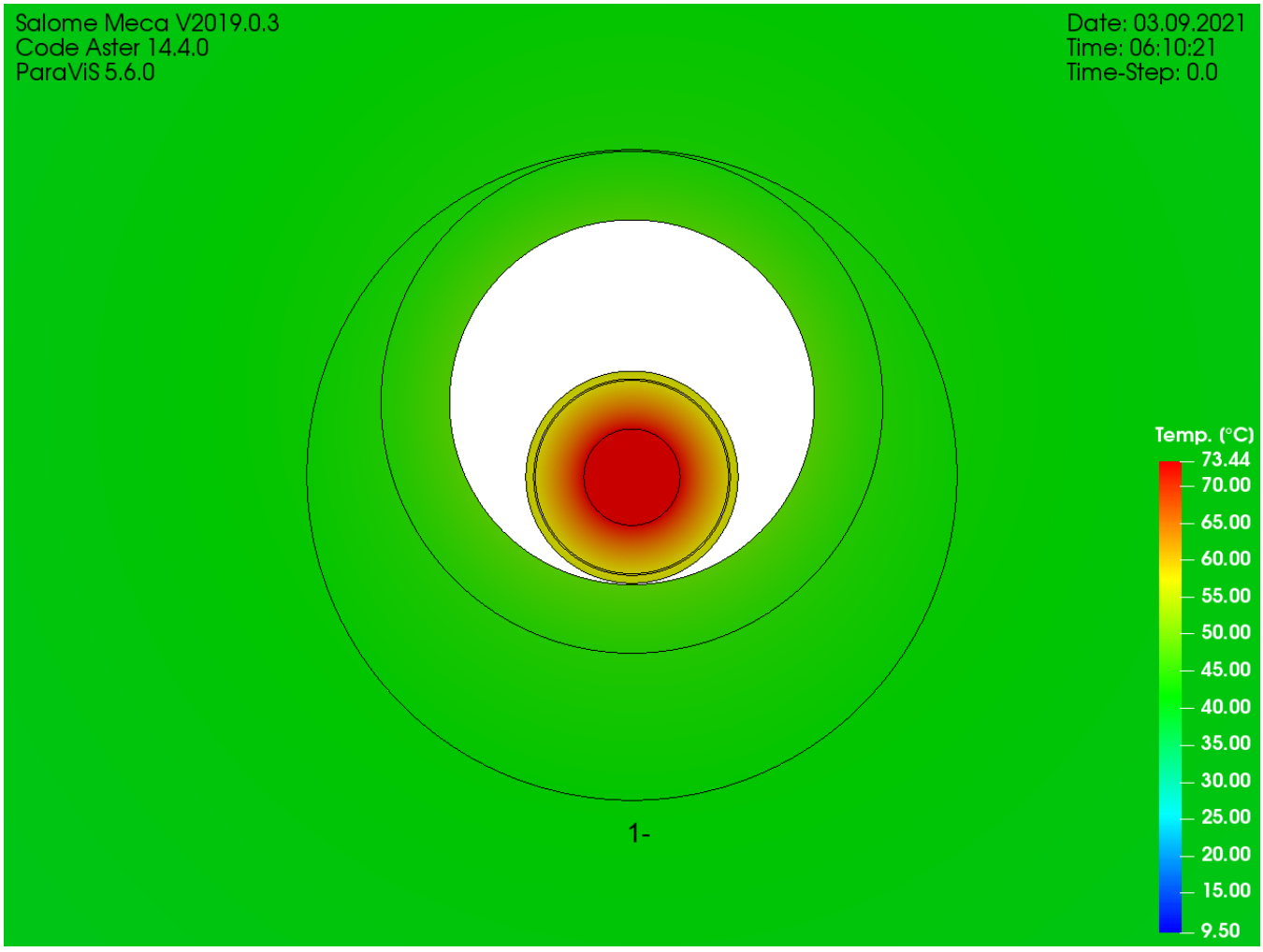
Temperaturverteilung im Erdboden, Detail Kabel 1+, (Angaben in °C)

Hochspannungsgleichstrom-Kabelverbindung „SuedOstLink“, Abschnitte C, D
Donauquerung, tiefste Stelle, Variante 2x 2 GW, ±525 kV, HDD-Bauweise mit Schutzrohren

Kabel einzeln in PE-Rohren DA355 x 48,5 mm (SDR7,4), 2,5 Km/W, Kabelschutzrohre nicht verfüllt
Kabeltyp 1: HVDC-Kabel Prysmian, 3000 mm² Cu, HPTE-Isolierung, zul. Leitertemp. 90 °C
Kabeltyp 2: HVDC-Kabel (generisch), 3000 mm² Cu, VPE-Isolierung., zul. Leitertemp. 70 °C

Bodentemperatur:	9,5 °C
Spezifischer Wärmewiderstand Erdboden (0 ≤ H ≤ 2 m), feucht/ trocken:	0,5 Km/W / 1,5 Km/W
Spezifischer Wärmewiderstand Erdboden (2 < H ≤ 14 m):	0,5 Km/W
Spezifischer Wärmewiderstand Erdboden (H > 14 m):	0,6 Km/W
Spezifischer Wärmewiderstand Ringraumfüllung HDD:	1,2 Km/W
Überdeckung Bohrungen/ horiz. Abstand der Bohrungen/ Kabel (Achse):	29,5 m / 6,9 m
Belastungsgrad:	1,0

Kabel		**1+**	**1-**	**2+**	**2-**
Strom im Leiter (thermisch effektiv)	[A]	2071,5	2071,5	2071,5	2071,5
Induzierter AC-Strom im Schirm	[A]	43,7	43,7	43,7	43,7
Verluste pro Kabel	[W/m]	30,9	31,3	30,9	30,6
Leitertemperatur	[°C]	70,1	73,4	69,9	66,6
Rohraußentemperatur	[°C]	40,6	43,7	43,6	40,4



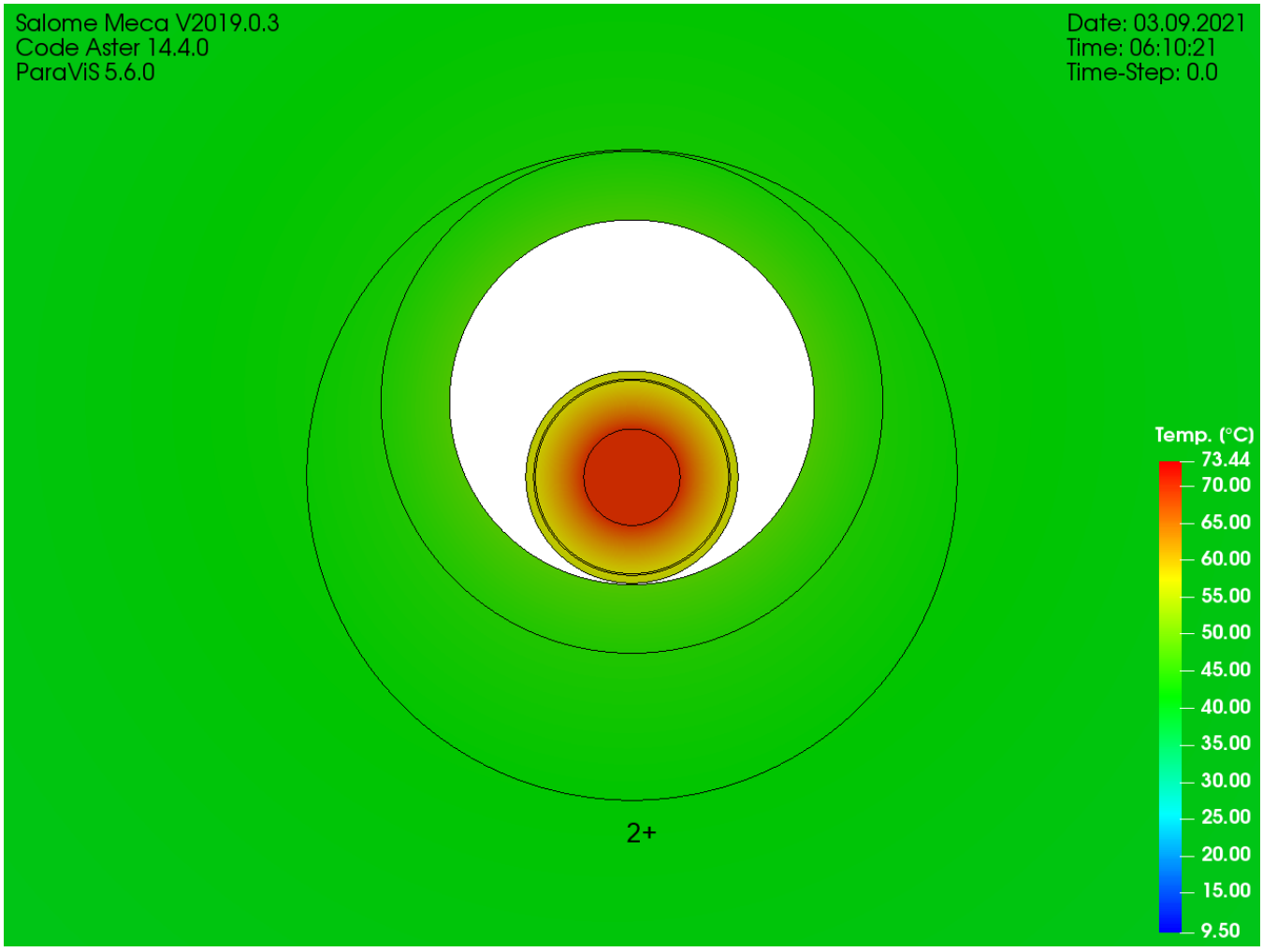
Temperaturverteilung im Erdboden, Detail Kabel 1-, (Angaben in °C)

Hochspannungsgleichstrom-Kabelverbindung „SuedOstLink“, Abschnitte C, D
Donauquerung, tiefste Stelle, Variante 2x 2 GW, ±525 kV, HDD-Bauweise mit Schutzrohren

Kabel einzeln in PE-Rohren DA355 x 48,5 mm (SDR7,4), 2,5 Km/W, Kabelschutzrohre nicht verfüllt
Kabeltyp 1: HVDC-Kabel Prysmian, 3000 mm² Cu, HPTE-Isolierung, zul. Leitertemp. 90 °C
Kabeltyp 2: HVDC-Kabel (generisch), 3000 mm² Cu, VPE-Isolierung., zul. Leitertemp. 70 °C

Bodentemperatur:	9,5 °C
Spezifischer Wärmewiderstand Erdboden (0 ≤ H ≤ 2 m), feucht/ trocken:	0,5 Km/W / 1,5 Km/W
Spezifischer Wärmewiderstand Erdboden (2 < H ≤ 14 m):	0,5 Km/W
Spezifischer Wärmewiderstand Erdboden (H > 14 m):	0,6 Km/W
Spezifischer Wärmewiderstand Ringraumfüllung HDD:	1,2 Km/W
Überdeckung Bohrungen/ horiz. Abstand der Bohrungen/ Kabel (Achse):	29,5 m / 6,9 m
Belastungsgrad:	1,0

Kabel		**1+**	**1-**	**2+**	**2-**
Strom im Leiter (thermisch effektiv)	[A]	2071,5	2071,5	2071,5	2071,5
Induzierter AC-Strom im Schirm	[A]	43,7	43,7	43,7	43,7
Verluste pro Kabel	[W/m]	30,9	31,3	30,9	30,6
Leitertemperatur	[°C]	70,1	73,4	69,9	66,6
Rohraußentemperatur	[°C]	40,6	43,7	43,6	40,4



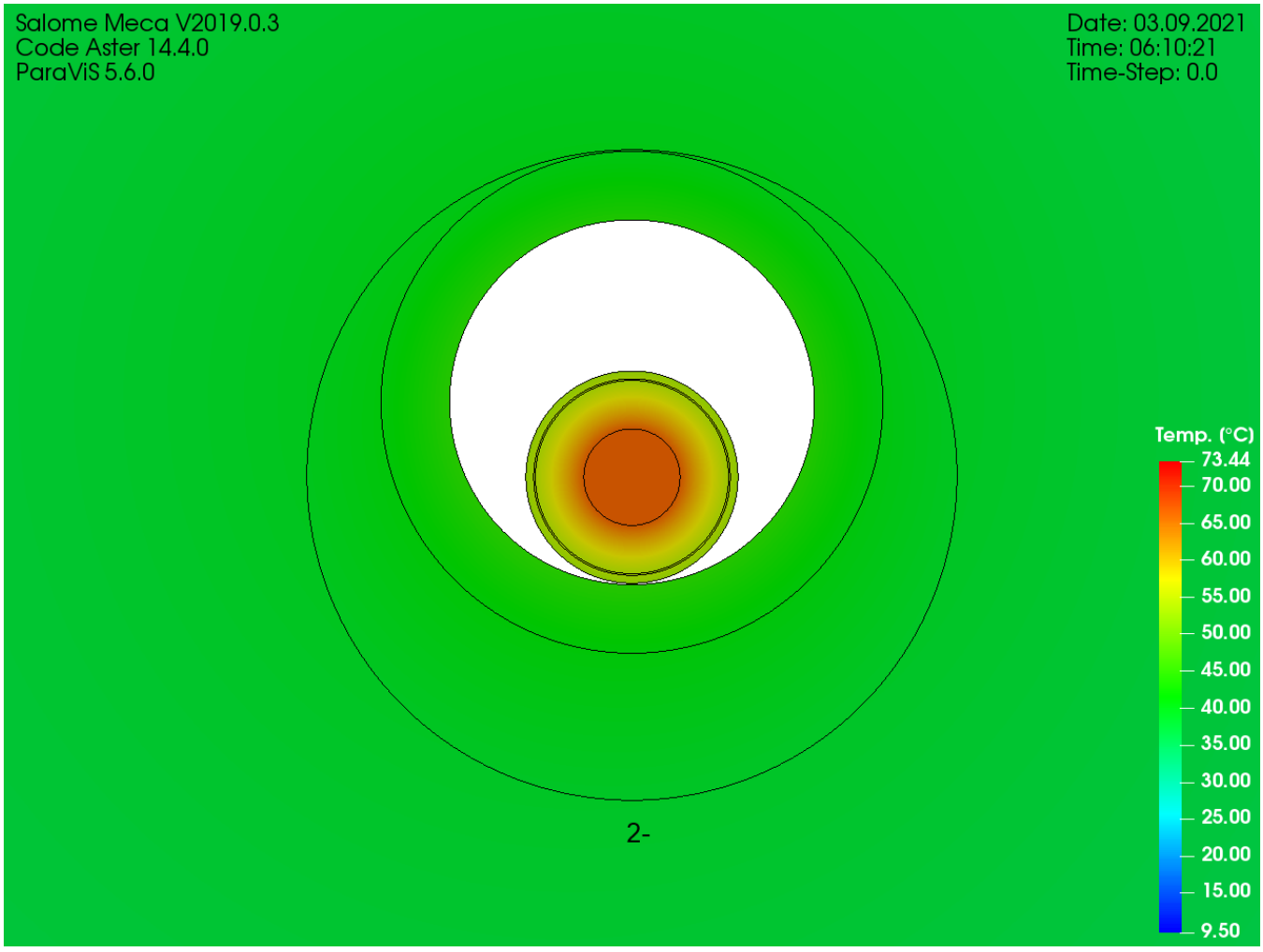
Temperaturverteilung im Erdboden, Detail Kabel 2+, (Angaben in °C)

Hochspannungsgleichstrom-Kabelverbindung „SuedOstLink“, Abschnitte C, D
Donauquerung, tiefste Stelle, Variante 2x 2 GW, ±525 kV, HDD-Bauweise mit Schutzrohren

Kabel einzeln in PE-Rohren DA355 x 48,5 mm (SDR7,4), 2,5 Km/W, Kabelschutzrohre nicht verfüllt
Kabeltyp 1: HVDC-Kabel Prysmian, 3000 mm² Cu, HPTE-Isolierung, zul. Leitertemp. 90 °C
Kabeltyp 2: HVDC-Kabel (generisch), 3000 mm² Cu, VPE-Isolierung., zul. Leitertemp. 70 °C

Bodentemperatur:	9,5 °C
Spezifischer Wärmewiderstand Erdboden (0 ≤ H ≤ 2 m), feucht/ trocken:	0,5 Km/W / 1,5 Km/W
Spezifischer Wärmewiderstand Erdboden (2 < H ≤ 14 m):	0,5 Km/W
Spezifischer Wärmewiderstand Erdboden (H > 14 m):	0,6 Km/W
Spezifischer Wärmewiderstand Ringraumfüllung HDD:	1,2 Km/W
Überdeckung Bohrungen/ horiz. Abstand der Bohrungen/ Kabel (Achse):	29,5 m / 6,9 m
Belastungsgrad:	1,0

Kabel		**1+**	**1-**	**2+**	**2-**
Strom im Leiter (thermisch effektiv)	[A]	2071,5	2071,5	2071,5	2071,5
Induzierter AC-Strom im Schirm	[A]	43,7	43,7	43,7	43,7
Verluste pro Kabel	[W/m]	30,9	31,3	30,9	30,6
Leitertemperatur	[°C]	70,1	73,4	69,9	66,6
Rohraußentemperatur	[°C]	40,6	43,7	43,6	40,4



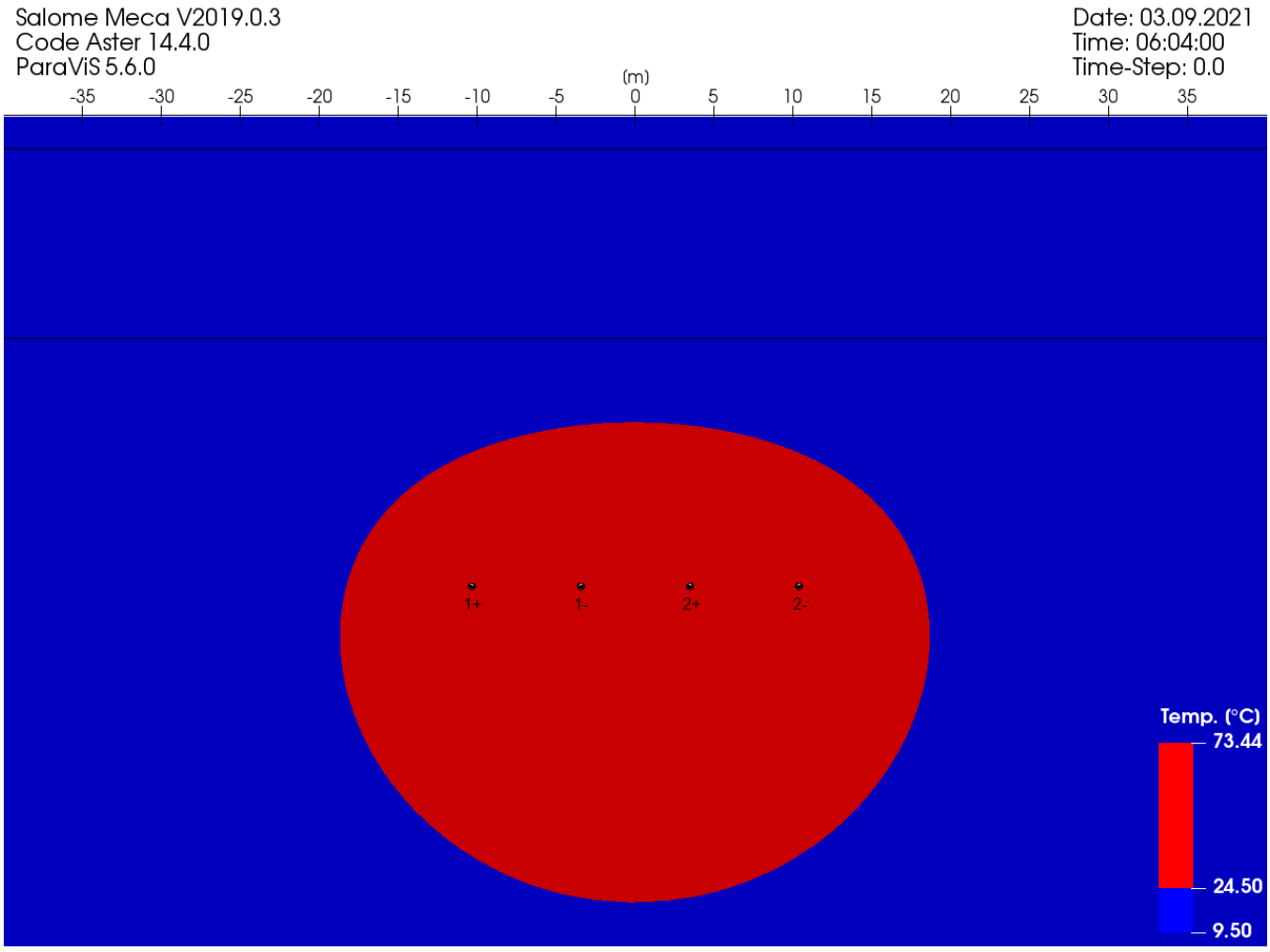
Temperaturverteilung im Erdboden, Detail Kabel 2-, (Angaben in °C)

Hochspannungsgleichstrom-Kabelverbindung „SuedOstLink“, Abschnitte C, D
Donauquerung, tiefste Stelle, Variante 2x 2 GW, ±525 kV, HDD-Bauweise mit Schutzrohren

Kabel einzeln in PE-Rohren DA355 x 48,5 mm (SDR7,4), 2,5 Km/W, Kabelschutzrohre nicht verfüllt
Kabeltyp 1: HVDC-Kabel Prysmian, 3000 mm² Cu, HPTE-Isolierung, zul. Leitertemp. 90 °C
Kabeltyp 2: HVDC-Kabel (generisch), 3000 mm² Cu, VPE-Isolierung., zul. Leitertemp. 70 °C

Bodentemperatur:	9,5 °C
Spezifischer Wärmewiderstand Erdboden (0 ≤ H ≤ 2 m), feucht/ trocken:	0,5 Km/W / 1,5 Km/W
Spezifischer Wärmewiderstand Erdboden (2 < H ≤ 14 m):	0,5 Km/W
Spezifischer Wärmewiderstand Erdboden (H > 14 m):	0,6 Km/W
Spezifischer Wärmewiderstand Ringraumfüllung HDD:	1,2 Km/W
Überdeckung Bohrungen/ horiz. Abstand der Bohrungen/ Kabel (Achse):	29,5 m / 6,9 m
Belastungsgrad:	1,0

Kabel		**1+**	**1-**	**2+**	**2-**
Strom im Leiter (thermisch effektiv)	[A]	2071,5	2071,5	2071,5	2071,5
Induzierter AC-Strom im Schirm	[A]	43,7	43,7	43,7	43,7
Verluste pro Kabel	[W/m]	30,9	31,3	30,9	30,6
Leitertemperatur	[°C]	70,1	73,4	69,9	66,6
Rohraußentemperatur	[°C]	40,6	43,7	43,6	40,4



Bereiche mit Temperaturen oberhalb der Austrocknungsgrenze für Erdboden (rot, Angaben in °C), Übersicht (Austrocknung in Rot dargestellten Bodenbereichen potentiell möglich)

Sehr geehrter Herr Seyrich,

wie besprochen haben wir Berechnungen für die Donauquerung in der Ausführung als HDD bzw. in 2 parallelen nachträglich verfüllten (Mikro-) Tunneln durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den beiliegenden Übersichten zusammengestellt.

Im Interesse eines realistischeren, aber immer noch hinreichend konservativen Ansatzes für die Umgebungsbedingungen im Bereich der Donauquerung wurden zunächst die von Ihnen übergebenen Daten aus dem geologischen Gutachten ausgewertet. Leider sind offenbar bislang nur vereinzelt Messungen der Wärmeleitfähigkeit an den Bodenproben durchgeführt worden, diese auch nur in ausgewählten Bodenschichten, die nicht aus den Tiefen stammen, in denen die Tunnel bzw. die HDD-Bohrungen verlaufen werden. Bei der Durchsicht der Unterlagen sind auch vereinzelte Unstimmigkeiten aufgefallen, die allerdings auch auf Interpretationsfehlern beruhen können. Die Bezeichnung der Bodenproben ist leider nicht durchgängig einheitlich und korreliert nicht mit den Bezeichnungen der Bohrungen, nicht für alle Untersuchungspunkte gibt es eindeutige Zuordnungen. Die Klärung dieser Unstimmigkeiten hat leider einigen zusätzlichen Zeitaufwand erfordert, war aber im Vorfeld aus unserer Sicht unumgänglich.

Auf Grund der Aussagen im geologischen Gutachten können wir für die thermisch relevante tiefste Stelle der Donauquerung folgende Bodenschichtung für die Berechnungen ansetzen (moderat konservative Annahmen):

Schicht 1: 0 m bis 2 m: Oberboden
spezif. Wärmewiderstand feucht: 0,5 Km/W
spezif. Wärmewiderstand trocken: 1,5 Km/W
(entspr. Wärmeleitfähigkeit feucht: 2,0 W/Km)
(entspr. Wärmeleitfähigkeit trocken: 0,67 W/Km)

Schicht 2: 2 m bis 14 m: Auelehm, Sand/ Kies (wassergesättigt)
spezif. Wärmewiderstand feucht: 0,5 Km/W
spezif. Wärmewiderstand trocken: 0,5 Km/W
(entspr. Wärmeleitfähigkeit feucht: 2,0 W/Km)
(entspr. Wärmeleitfähigkeit trocken: 2,0 W/Km)

Schicht 3: >14 m: Festgestein (Tonstein, Schluffstein)
spezif. Wärmewiderstand feucht: 0,6 Km/W
spezif. Wärmewiderstand trocken: 0,6 Km/W
(entspr. Wärmeleitfähigkeit feucht: 1,67 W/Km)
(entspr. Wärmeleitfähigkeit trocken: 1,67 W/Km)

Für die oberste Schicht (Oberboden, angenommen bis 2 m Tiefe unter GOK) liegen Messwerte von 2 Bodenproben vor. Die angesetzten Werte sind konservative Rundungen dieser Messungen. Auf Grund der großen Entfernung zu den Wärmequellen (Kabel) ist die kabelbedingte Erwärmung in dieser Schicht so gering, dass die Temperaturgrenze für Austrocknung niemals erreicht wird, praktisch relevant ist daher nur der Wert für den feuchten Zustand des Bodens. Bislang haben wir hier zur Sicherheit immer mit dem deutlich konservativeren Wert nach VDE gerechnet (1 Km/W, d.h.
Faktor 2).

In der 2. Bodenschicht (nach geolog. Gutachten Auelehm bzw. Sand/ Kies) ist wegen der unmittelbaren Nähe zum Fließgewässer damit zu rechnen, dass in der Praxis keine kabelbedingte Bodenaustrocknung auftreten wird.
Für wassergesättigte Sand- und Kiesböden kann mit Wärmeleitfähigkeiten über 2 W/Km gerechnet werden, sofern keine nennenswerten organischen Anteile enthalten sind. Dies wird auch durch die Angaben im geologischen

Gutachten bestätigt. Der gewählte Ansatz mit einem konstanten spezifischen Wärmewiderstand von 0,5 Km/W (entspricht Wärmeleitfähigkeit
2,0 W/Km) entspricht dieser Überlegung.

Die dritte relevante Bodenschicht stellt das Festgestein dar (laut Gutachten Tonstein bzw. Schluffstein). Dies ist die Schicht, in der die HDD bzw. die Tunnel verlaufen werden. Leider gibt es dafür keine Messwerte der Wärmeleitfähigkeit. Im geologischen Gutachten werden zwar (ohne Referenz) Wärmeleitfähigkeiten weit über 2,0 W/Km genannt, andere Literaturstellen raten aber vor allem bei Tonstein zu vorsorglich geringer angenommenen Wärmeleitfähigkeiten. Ähnliche Überlegungen aus Ihrem Hause zu Ansätzen für Festgesteinshorizonte führen auf spezifische Wärmewiderstände von 0,6 Km/W (entspricht Wärmeleitfähigkeit 1,67 W/Km), was auch mit konservativen Abschätzungen zu geklüfteten Tonstein-Böden aus der Literatur korreliert. Daher wurde für die dritte Bodenschicht ein spezifischer Wärmewiderstand von 0,6 Km/W (entspricht Wärmeleitfähigkeit 1,67 W/Km) angesetzt, was auch mit einem der Ansätze für allgemeine Berechnungen für HDD-Abschnitte im SOL-Projekt übereinstimmt. Dies ist immerhin auch ein Drittel weniger (d.h. besser) als bei den ersten noch sehr konservativen Abschätzungen für die Donauquerung aus dem Jahre 2019. Eine kabelbedingte Bodenaustrocknung wurde aus gleichen Gründen wie für die 2. Bodenschicht hier ebenfalls ausgeschlossen (erkennbar an den formal gleichen Werten für feuchten und trockenen Zustand des Bodens).

Eine Abschätzung der zu erwartenden Bodentemperatur im Tiefenbereich der Querungen wurde ebenfalls durchgeführt. Basis dafür waren Messwerte der ca. 22 km entfernten Station Straubing des Deutschen Wetterdienstes über
30 Jahre (Zeitraum 1981 bis 2010). Aus diesen geht hervor, dass für den relevanten Tiefenbereich eine konservative unbeeinflusste Bodentemperatur von 9,5 °C angesetzt werden kann (10 °C in bisherigen Berechnungen).

Vor allem die gegenüber den ersten konservativeren Abschätzungen deutlich besseren thermischen Bodenbedingungen erlauben im Ergebnis wesentlich geringere Kabelabstände im Bereich der Donauquerung.

Für die HDD-Variante mit 29,5 m Überdeckung der HDD-Bohrungen an der tiefsten Stelle würde unter diesen Bedingungen bereits ein horizontaler Achsenabstand der Bohrungen von 6,9 m aus thermischer Sicht ausreichen. Größere Abstände, die aus bautechnischen Gründen eventuell notwendig sein könnten, würden zu geringeren Temperaturen führen und sind aus thermischer Sicht deshalb natürlich jederzeit möglich.

Bei einer Ausführung als (Mikro-) Tunnel würde die Kabeltemperatur am relevanten wärmsten Kabel des 2. Systems bei 67,4 °C liegen (max. 70 °C zulässig), wenn der spezifische Wärmewiderstand der Tunnelfüllung 0,8 Km/W (Wärmeleitfähigkeit 1,25 W/Km) und der lichte Abstand der beiden Tunnel wie geplant 12,4 m beträgt.

Da die zulässige Grenztemperatur der Kabel in dieser 2.
Berechnungsvariante noch nicht erreicht wurde, haben wir in einer zusätzlichen Variante noch eine thermisch etwas schlechtere Tunnelfüllung untersucht. Wenn man hier einen spezifischen Wärmewiderstand von 1,2 Km/W (Wärmeleitfähigkeit 0,83 W/Km) ansetzt, was dem typischen Wert für Bentonit entspricht, erhält man eine maximale Kabeltemperatur des 2. Systems von 69,7 °C, also praktisch genau den zulässigen Wert. Das erste Kabelsystem (Prysmian-Kabel "PLaser) hat eine höhere zulässige Temperatur und ist deshalb in allen untersuchten Fällen nicht kritisch.

Die Ergebnisse der aktuellen Berechnungen zeigen wieder einmal eindrucksvoll, wie stark die notwendigen Kabelabstände von den thermischen Bedingungen im Boden, insbesondere den Wärmeleitfähigkeiten bzw. spezifischen Wärmewiderständen abhängig sind. Die Ergebnisse der Untersuchungen müssen deshalb weiterhin immer unter dem Vorbehalt betrachtet werden, dass die nach bestem Wissen und Gewissen angenommenen bzw. abgeschätzten Bodenparameter in der Praxis tatsächlich auch mindestens erreicht werden. Dies erscheint nach aktuellem Kenntnisstand zwar plausibel, kann aber nicht garantiert werden, da nach wie vor nicht ausreichend Daten zur Verfügung stehen.

Mit freundlichen Grüßen

Winfried Fricke

Fricke Engineering
Dr.-Ing. Winfried Fricke
Frettchenweg 31A
D-12623 Berlin
Tel: +49(0)30 9831 8213
Fax: +49(0)30 9831 8234
Mobil: +49(0)1577 8925 229
E-Mail: wfricke@fricke-engineering.de
Web: www.fricke-engineering.de
USt-IdNr. DE274618031