



DR. SPANG

INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR BAUWESEN, GEOLOGIE UND UMWELTTECHNIK MBH

TenneT TSO GmbH  
Herr Rudolf Rippl  
Bernecker Straße 70  
95448 Bayreuth

Projekt-Nr.	Datei	Diktat	Büro	Datum
43.9120	P9120B240918_Rev1	Prok/Rie	Nürnberg	18.09.2024

## **Südliche Leitungseinführungen**

### **Ersatzneubau 380/220-kV Leitungseinführungen UW**

### **Raitersaich\_West und 110-kV Anschluss UW Müncherlbach**

**220/110-kV-Ltg. Einführung Raitersaich\_West 1, LH-08-B105A**

**380/110-kV-Ltg. Einführung Raitersaich\_West 2, LH-08-B105B**

**110-kV-Kabel Anschluss Müncherlbach 1, LH-08-B105C**

**110-kV-Ltg. Anschluss Müncherlbach 2, LH-08-B105D**

### **Baugrunduntersuchung zum Erdkabelabschnitt**

**110-kV-Kabel Anschluss Müncherlbach 1, LH-08-B105C**

### **- Geotechnischer Bericht -**

Bestellung: HV: 4529089922/3111/HX2/NB

NT 2: 4500050781

Auftrag vom 18.11.2022/05.06.2023

**Gesellschaft:** HRB 8527 Amtsgericht Bochum, USt-IdNr. DE126873490, <https://www.dr-spang.de>  
58453 Witten, Rosi-Wolfstein-Straße 6, Tel. (0 23 02) 9 14 02 - 0, Fax 9 14 02 - 20, [zentrale@dr-spang.de](mailto:zentrale@dr-spang.de)

**Geschäftsführer:** Dipl.-Ing. Christian Spang, Dipl.-Wirtsch.-Ing. Christoph Spang

**Niederlassungen:** 73734 Esslingen/Neckar, Eberhard-Bauer-Str. 32, Tel. (0711) 351 30 49-0, Fax 351 30 49-19, [esslingen@dr-spang.de](mailto:esslingen@dr-spang.de)  
60528 Frankfurt/Main, Lyoner Straße 12, Tel. (069) 678 65 08-0, Fax 678 65 08-20, [frankfurt@dr-spang.de](mailto:frankfurt@dr-spang.de)  
09599 Freiberg/Sachsen, Halsbrücker Straße 34, Tel. (03731) 798 789-0, Fax 798 789-20, [freiberg@dr-spang.de](mailto:freiberg@dr-spang.de)  
21079 Hamburg, Harburger Schloßstraße 30, Tel. (040) 524 73 35-0, Fax 524 73 35-20, [hamburg@dr-spang.de](mailto:hamburg@dr-spang.de)  
06618 Naumburg, Wilhelm-Franke-Straße 11, Tel. (03445) 762-25, Fax 762-20, [naumburg@dr-spang.de](mailto:naumburg@dr-spang.de)  
90491 Nürnberg, Erlenstegenstraße 72, Tel. (0911) 964 56 65-0, Fax 964 56 65-5, [nuernberg@dr-spang.de](mailto:nuernberg@dr-spang.de)  
85521 Ottobrunn, Alte Landstraße 29, Tel. (089) 277 80 82-60, Fax 277 80 82-90, [muenchen@dr-spang.de](mailto:muenchen@dr-spang.de)  
14482 Potsdam, Walter-Klausch-Straße 25, Tel. (0331) 231 843-0, Fax 231 843-20, [berlin@dr-spang.de](mailto:berlin@dr-spang.de)  
A-6330 Kufstein, Salurnerstraße 22, Tel. +43 (5372) 23 20-00, Fax 23 20-20, [kufstein@dr-spang.at](mailto:kufstein@dr-spang.at)

**Banken:** Deutsche Bank AG, Witten, IBAN: DE42 4307 0024 0813 9511 00, BIC: DEUTDE33HAN30  
Stadtsparkasse Witten, IBAN: DE59 4525 0035 0000 0049 11, BIC: WELADED1WTN



---

<b>INHALT</b>	<b>SEITE</b>
<b>1. ALLGEMEINES</b>	<b>5</b>
1.1 Projekt	5
1.2 Auftrag	6
1.3 Unterlagen	6
1.4 Untersuchungen	8
<b>2. GEOTECHNISCHE VERHÄLTNISSE</b>	<b>10</b>
2.1 Morphologie, Vegetation und Bebauung	10
2.2 Baugrund	10
2.3 Hydrogeologie / Grundwasser	12
2.4 Bodenmechanische Laborversuche	14
2.5 Umwelttechnische Untersuchungen	18
2.6 Sonstige Randbedingungen und Eigenschaften	20
<b>3. TECHNISCHE EIGENSCHAFTEN UND KENNWERTE</b>	<b>21</b>
3.1 Klassifizierung für bautechnische Zwecke	21
3.2 Bodenkennwerte	23
3.3 Felsmechanische Kennwerte	23
3.4 Homogenbereiche	24
3.4.1 Allgemeines	24
3.4.2 DIN 18 300 Erdarbeiten	25
3.4.3 DIN 18 320 Landschaftsbauarbeiten	26
<b>4. FOLGERUNGEN</b>	<b>27</b>
4.1 Regelquerschnitt und Rohrleitungen	27
4.1.1 Kabelverlegung in offener Bauweise	27
4.2 Baufeldvorbereitung	29
4.3 Baugruben	29
4.4 Grundwasserhaltung	32
4.5 Geotechnische Kategorie	32
<b>5. EMPFEHLUNGEN</b>	<b>33</b>



<b>INHALT</b>	<b>SEITE</b>
5.1 Rohrbettung in offener Bauweise	33
5.2 Wasserhaltung	33
5.3 Baugrubenverfüllung	34
5.4 Bodenlockerung nach Verfüllung	36
5.5 Sonstige Empfehlungen	37
<b>6. ANLAGEN</b>	
Anlage 1 Übersichtslageplan (2)	
Anlage 2 Lageplan mit Aufschlusspunkten (2)	
Anlage 3 Geotechnischer Schnitt (2)	
Anlage 4 Ergebnisse der Baugrunderkundung (1)	
Anlage 4.1 Zeichenerläuterungen Baugrunderkundung (2)	
Anlage 4.2 Kleinrammbohrungen (BS) (14)	
Anlage 4.3 Schwere Rammsondierungen (DPH) (3)	
Anlage 5 Bodenmechanische Laborversuche (1)	
Anlage 5.1 Wassergehalt (2)	
Anlage 5.2 Kornverteilung (3)	
Anlage 5.3 Zustandsgrenzen (2)	
Anlage 5.4 bis 5.18 entfällt	
Anlage 5.19 Wärmeleitfähigkeit (3)	
Anlage 6 Felsmechanik (entfällt)	
Anlage 7 Chemische Analytik (1)	
Anlage 7.1 Auswertung LAGA (1)	
Anlage 7.2 bis 7.5 entfällt	
Anlage 7.6 Laborbefunde (6)	



DR. SPANG

Projekt: 43.9120

Seite 4

18.09.2024

---

## Änderungshistorie

Rev.	Datum	Bearbeitender	Notiz
1	18.09.2024	Riedelmeier	Änderung Titel + Kap. 1.1 (Abschnittsbezeichnung)



## **1. ALLGEMEINES**

### **1.1 Projekt**

Im Rahmen des Netzausbaus sind die Schaltanlagen im Umspannwerk Raitersaich von 220-kV auf 380-kV umzustellen. Dies erfordert erhebliche Umbauten, die im vorhandenen UW nicht realisiert werden können. Daher plant der Übertragungsnetzbetreiber TenneT TSO GmbH das bestehende Umspannwerk Raitersaich durch ein neues Umspannwerk Raitersaich\_West (UW RAIW) ca. 500 m westlich zu ersetzen. Um den neuen Netzverknüpfungspunkt in das bestehende Leitungsnetz zu integrieren, müssen alle Bestandsleitungen an das neue Umspannwerk verschwenkt werden.

Die Vorhaben der „Leitungseinführungen in das Umspannwerk Raitersaich\_West“ werden insgesamt mit vier Planfeststellungsunterlagen beschrieben und beantragt.

#### **Südliche Leitungseinführungen**

Ersatzneubau der 380/220-kV Leitungseinführungen UW Raitersaich\_West und 110-kV Anschluss UW Müncherlbach

220/110-kV-Ltg. Einführung Raitersaich\_West 1, LH-08-B105A

380/110-kV-Ltg. Einführung Raitersaich\_West 2, LH-08-B105B

110-kV-Kabel Anschluss Müncherlbach 1, LH-08-B105C

110-kV-Ltg. Anschluss Müncherlbach 2, LH-08-B105D

#### **Nordöstliche Leitungseinführung (B120)**

Ersatzneubau 380-kV Leitungseinführung UW Raitersaich\_West

380-kV-Ltg. Raitersaich – Cadolzburg, LH-07-B120

#### **Nordwestliche Leitungseinführung (B114)**

Ersatzneubau der 380-kV Leitungseinführung UW Raitersaich\_West

380/220/110-kV-Ltg. Raitersaich - Bergrheinfeld, LH-07-B114

#### **Nordwestliche Leitungseinführung (B48)**

Ersatzneubau 220-kV Leitungseinführung UW Raitersaich\_West

220-kV-Ltg. Raitersaich – Aschaffenburg, LH-07-B48



Gegenstand dieses Gutachtens ist die Baugrunduntersuchung des Erdkabelabschnittes **LH-08-B105C der Südlichen Leitungseinführungen**.

Das Erdkabel ist zwischen dem Umspannwerk Müncherlbach (UW MEB) und dem Kabelendmasten 1A der LH-08-B105A geplant. Das Erdkabel hat eine Länge von ca. 370 m und wird mit einer Spannungsebene von 110-kV in offener Bauweise verlegt.

## 1.2 Auftrag

Auf Basis unseres Angebots A 43.18146 vom 01.11.2022 wurde von der TenneT TSO GmbH mit dem Schreiben vom 18.11.2022 (Bestellnummer 4529089922/3111/HX2/NB) der Dr. Spang GmbH der Auftrag erteilt, die entsprechenden Leistungen auszuführen. Da der Erdkabelbereich im Angebot nicht ausreichend abgedeckt war, wurden die benötigten Leistungen mit dem Nachtrag 2 (Bestellnummer 4500050781) am 05.06.2023 erweitert.

Beide Bestellungen zusammen umfassen die Durchführung der Baugrunderkundung und -untersuchung inkl. der damit verbundenen bodenmechanischen Laborversuche und Schadstoffuntersuchungen. Abschließend ist ein entsprechendes geotechnisches Gutachten für die Verlegung der 110-kV-Leitung als Erdkabel in der südlichen Leitungseinführung zu erstellen.

## 1.3 Unterlagen

Es wurden die nachfolgend aufgeführten Unterlagen verwendet:

**[U 1] Technischer Bericht, Baugrundvoruntersuchung A070, Geologischer Bericht Bereich UW Raitersaich;** Projekt-Nr.: P012547, Version V1.0, Bernard Gruppe ZT GmbH, Hall in Tirol, 08.08.2022.

**[U 2] Erdkabel Höhen;** zur Verfügung gestellt durch Fr. Jessica Hartwich von Fichtner GmbH & Co. KG, erstellt von Hr. Rudolf Rippl, TenneT TSO GmbH, Bayreuth, 16.07.2024.



- [U 3] **RStO 12/24, Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen;** Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Infrastrukturmanagement, Ausgabe 2012/Fassung 2024.
- [U 4] **Beurteilung der Kampfmittelsituation, Lage der Auswerteflächen / Trasseabschnitte;** BV A070 – Ersatzneubau 380-kV Raitersaich-Altheim – Abschnitt UW Raitersaich – Kampfmittelbelastung, IABG mbH, Ottobrunn, 30.08.2022.
- [U 5] **Querschnitt Abmessung Kabelgraben 110 kV bei Böschung von 45°;** zur Verfügung gestellt durch Fr. Jessica Hartwich von Fichtner GmbH & Co. KG, erstellt von EQOS Energie, Biberach, 10.07.2024.
- [U 6] **LAGA-Merkblatt 20;** Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen / Abfällen, Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) Nr. 20, Stand 06.11.1997.
- [U 7] **Grundbautaschenbuch Teil 1 bis 3; 8. Auflage;** Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 2017.
- [U 8] **ZTV E-StB 17 – Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau;** Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe „Erd- und Grundbau“, Köln, September 2017.
- [U 9] **UmweltAtlas Bayern;** <https://www.umweltatlas.bayern.de/>, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Abruf am 17.07.2024.
- [U 10] **BayernAtlas;** <https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/>, Bayerisches Staatsministerium der Finanzen und für Heimat, Abruf am 15.07.2024.



## 1.4 Untersuchungen

Zur Erkundung der Baugrundverhältnisse des untersuchten Erdkabelabschnitts der südlichen Leitungseinführung wurden insgesamt **14 Kleinrammbohrungen** (BS) nach DIN EN ISO 22 475-1 (Schuppen-Ø 40 – 80 mm) und **3 Schwere Rammsondierungen** (DPH) nach DIN EN ISO 22 476-2 durchgeführt.

Die Kleinrammbohrungen wurden mit einer max. Erkundungstiefe von 2,6 m und Rasterabständen von ca. 60 m zueinander unter der bestehenden Geländeoberkante (GOK) durchgeführt. An allen Standorten wurden zusätzliche Kleinrammbohrungen bis zu einer max. Erkundungstiefe von 2,0 m u. GOK direkt neben der jeweiligen ersten BS abgeteuft (BS xx\_2), um eine größere Probenmenge für die geforderten Identifikationsversuche zu gewinnen. Diese Kleinrammbohrungen werden im Folgenden nicht separat aufgeführt. In ca. 150 m Abständen zueinander entlang der Trasse wurden begleitend zu den Kleinrammbohrungen 3 Schwere Rammsondierungen mit einer max. Erkundungstiefe bis 2,6 m u. GOK durchgeführt. Die durchgeführten Baugrundaufschlüsse sind in Tabelle 1.4-1 aufgelistet.

Bezeichnung und Art des Aufschlusses <sup>2)</sup>	Rechtswert <sup>1)</sup>	Hochwert <sup>1)</sup>	Ansatzhöhe [m NHN]	Endteufe BS / DPH [m u. GOK]
BSDPH 21	633656,45	5469176,53	404,9	2,3 / 2,6
BS 22	633597,15	5469166,60	404,8	2,4
BS 23	633573,11	5469195,63	405,0	2,2
BSDPH 24	633548,97	5469242,93	404,5	1,2 / 1,3
BS 25	633532,09	5469303,54	403,7	1,3
BSDPH 27	633499,39	5469390,66	402,8	1,5 / 1,2
BS 28	633468,82	5469445,05	401,6	2,6

1) Koordinatensystem ETRS89 / UTM Zone 32N

2) BS: Kleinrammbohrung, DPH: Schwere Rammsondierung

**Tabelle 1.4-1:** Bezeichnung der Baugrundaufschlüsse mit Endteufe und Ansatzhöhe

Die Bodenerkundungen wurden im Juli 2023 und Januar 2024 durch Mitarbeiter der Dr. Spang GmbH ausgeführt.

Die Aufschlusspunkte wurden von der Dr. Spang GmbH in Abstimmung mit der TenneT TSO GmbH in einem Abstandsraaster von ca. 60 m festgelegt.



Alle Aufschlüsse wurden lage- und höhenmäßig mit einem GNSS-Gerät eingemessen. Die Lage des Untersuchungsgebietes ist in dem Übersichtslageplan in der Anlage 1 markiert. Die Lage der Aufschlusspunkte ist in der Anlage 2 dargestellt. Die Ansatzhöhen und Endteufen der Aufschlüsse sind den Darstellungen in den Anlagen 3 (Schnitte) und 4 (Einzelprofile) zu entnehmen.

Das Bohrgut wurde nach den Maßgaben der DIN EN ISO 14 688 (Boden) geotechnisch aufgenommen und nach DIN 18 196 gruppiert. Die Ergebnisse der Bohrgutaufnahmen sind gemäß DIN 4023 in Anlage 4.2 (BS) dargestellt. Die Schweren Rammsondierungen sind gemäß DIN EN ISO 22 476-2 als Rammdiagramme in Anlage 4.3 (DPH) enthalten.

Aus dem Bohrgut der Kleinrammbohrungen wurden durch die Dr. Spang GmbH Proben für bodenmechanischen und chemischen Laboruntersuchungen entnommen.

Zur Bestimmung bzw. Erhebung bodenmechanischer Eigenschaften wurden folgende Untersuchungen an ausgewählten Bodenproben durchgeführt:

Versuch	Norm / Richtlinie	Anzahl
Wassergehalt	DIN EN ISO 17 892-1	5
Korngrößenverteilung	DIN EN ISO 17 892-4	3
Konsistenzgrenzen	DIN EN ISO 17 892-12	2
Wärmeleitfähigkeit	Nadelsonden-Verfahren	3

**Tabelle 1.4-2:** Umfang der geotechnischen Laborversuche

Die Ergebnisse der Laborversuche wurden bei der Festlegung der in diesem Gutachten angegebenen Schichtenbeschreibungen und Kennwerte berücksichtigt und sind in der Anlage 5 enthalten.

Für die abfalltechnische Bewertung von anfallendem Aushub und seiner umwelttechnischen Einstufung erfolgte ergänzend eine **chemische Untersuchung** der erkundeten Böden nach LAGA M 20 (Tab. II 1.2-1) [U 6] anhand von Mischproben.

Die laborchemischen Untersuchungen wurden im Auftrag der Dr. Spang GmbH durch die AGROLAB Labor GmbH in Bruckberg durchgeführt. Die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen sind in der Anlage 7 beigefügt.



## 2. GEOTECHNISCHE VERHÄLTNISSE

### 2.1 Morphologie, Vegetation und Bebauung

Der betreffende Erdkabelbereich der südlichen Leitungseinführung verläuft über eine Länge von ca. 370 m vom bestehenden UW Müncherlbach Richtung Norden. Dieser Bereich liegt in der Gemeinde Heilsbronn im Mittelfränkischen Landkreis Ansbach.

Das Gelände im Erdkabelbereich fällt vom UW Müncherlbach Richtung Norden von ca. 406 m NHN auf 402 m NHN ab [U 2].

Entlang dem Erdkabelverlauf werden zwei Wirtschaftswege gekreuzt. Auf den betreffenden Flächen herrscht Ackerbau vor.

Es ist keine baurelevante Vegetation (Feuchteanzeiger, Verformungsanzeiger, etc.) vorhanden.

### 2.2 Baugrund

Der tiefere Untergrund entlang des Erdkabelbereichs der südlichen Leitungseinführung beim UW Müncherlbach wird durch die **Löwenstein-Formation** (Unterer Burgsandstein) des Mittleren Keuper (Obertrias) aufgebaut. Gemäß der geologischen Karte [U 10] handelt es sich bei dem **Unteren Burgsandstein** um fein- bis grobkörnige, weiß-, grüngraue, grauweiße bis gelbbraune Sandsteine, die z.T. kieselig gebunden vorkommen. Dabei sind rote, rotbraune und grüngraue Tonsteine eingelagert.

Nachfolgend wird der bei der Erkundung vorgefundene Schichtenaufbau des Baugrundes entlang der Erdkabeltrasse beschrieben.

**Schicht 0 – Mutterboden:** Bei allen Bohrungen wurde oberflächennah ein ca. 0,3 – 0,5 m mächtiger Mutterboden angetroffen. Bei dem Mutterboden handelt es sich überwiegend um stark schluffige Tone bzw. um stark schluffige Sande. Der Mutterboden weist einen lokal variierenden Anteil an humosen Beimengungen auf. Die Schicht 0 (Mutterboden) ist meist in weicher bis steifer, lokal in halbfester Konsistenz erkundet.



**Schicht 1 (Auffüllungen) und Schicht 2 (Auelehme):** Diese Schichten, die im Projekt Juraleitung, Leitungseinführung UW Raitersaich-West in anderen Bereichen aufgeschlossen sind, wurden im Erdkabelbereich der südlichen Leitungseinführung nicht angetroffen.

**Schicht 3 – Verwitterungsböden:** Am Übergang der Lockergesteinsüberdeckungen zu dem anstehenden Festgestein wurden **bindige Verwitterungstone (Schicht 3.1)** und **Verwitterungsboden, gemischtkörnig (Schicht 3.2)** angetroffen. Bindige Verwitterungstone (Schicht 3.1) wurden in Form von braunen und grauen schluffigen, z.T. kiesigen Sanden sowie Tonen mit variierendem Sand- und Schluffanteil angetroffen. Diese weisen meist eine weiche bis steife, lokal auch eine halbfeste Konsistenz auf. Der gemischtkörnige Verwitterungsboden (Schicht 3.2) wurde als hellgraue, -braune, graubraune und gelblichbraune Sande mit schwach schluffigen und variierten kiesigen Anteilen angetroffen. Die Schicht liegt meist in mitteldichter bis dichter Lagerung vor. Die Schicht 3.1 wurde meistens von Schicht 3.2 unterlagert. Entstehungsbedingt kann die Schicht 3.1 im unregelmäßigen Wechsel mit der Schicht 3.2 auftreten.

**Schicht 4 – Sandsteine:** Unter dem Zersatzhorizont ist das Festgestein zu erwarten. Hierbei handelt es sich um **Sandsteine (Schicht 4.1)** mit Lettenlagen. Diese Sandsteine der Löwenstein-Formation konnten verfahrensbedingt mit den durchgeführten Kleinrammbohrungen nicht direkt aufgeschlossen werden.

Keine Kleinrammbohrung und Schwere Rammsondierung konnte bis zur planmäßigen Tiefe ausgeführt werden. Ab den erreichten Endtiefen der Kleinrammbohrungen bzw. Rammsondierungen ist mit Rammhindernissen in Form von Steinen, Blöcken oder sogar Restfelsbänken sowie der Felsoberkante zu rechnen. Bei der Beschreibung des Festgesteins wurden die Angaben aus der geologischen Karte [U 10] berücksichtigt. Die vermutete Tiefenlage der Felsoberkante ist der Anlage 3 zu entnehmen.

Da bei den Kleinrammbohrungen (BS) die angestrebte Endteufe durch vorherigen Stillstand nicht erreicht wurde, kann mit einer vermuteten Felsoberkante (FOK) ab Endteufe der Bohrungen gerechnet werden. Für den Fall, dass eine Schwere Rammsondierung parallel zur Kleirammbohrung eine tiefere Endteufe erreicht, wird die FOK ab einer Schlagzahl von  $N_{10} = 100$  angenommen. Allerdings können die erreichten Schlagzahlen von  $N_{10} > 100$  auch auf Hindernisse (Steine, Blöcke, Gerölle) innerhalb der Lockergesteine hinweisen.



Zur Beurteilung der Lagerungsdichte des Bodens sowie der Zustandsform sind in regelmäßigen Abständen Sondierungen mit der schweren Rammsonde (Fallgewicht 50 kg, Fallhöhe 50 cm, Spitzenquerschnitt 15 cm<sup>2</sup>) nach DIN EN ISO 22 476-2 ausgeführt worden. Mit der Rammsonde werden u.a. die angegebenen Lagerungsdichten / Konsistenzen abgeschätzt. Unterhalb des Grundwasserspiegels werden insbesondere bei grobkörnigen Böden trotz gleicher Lagerungsdichte geringere Eindringwiderstände gemessen. Bei den bindigen Böden ist die Lagerungsstörung (z.B. bedingt durch Umlagerung) beim Rammvorgang zu berücksichtigen, die eine geringere Konsistenz vortäuscht als der ungestörte Boden tatsächlich aufweist. In diesem Fall ist die Konsistenz aus der Bohrgutansprache zuverlässiger, auch wenn diese zwangsläufig ebenfalls gestört ist. Dies wurde bei der Angabe der Lagerungsdichte und Konsistenz berücksichtigt. Liegen keine Informationen aus Rammsondierungen vor, wurde die Lagerungsdichte aus dem Fortschritt des Bohrvorgangs abgeleitet. Weiterhin werden die Ergebnisse aus den bodenmechanischen Laborversuchen berücksichtigt.

Der erkundete Schichtaufbau entspricht stratigraphisch den Angaben der geologischen Karte in [U 10].

### **2.3 Hydrogeologie / Grundwasser**

Die Bewertung der Grundwasserstände wurde nach DIN EN 1997-2, 3.6.3 auf Grundlage der verfügbaren Informationen vorgenommen. Gemäß der Baugrundvoruntersuchung [U 1] wurden in der Ortschaft Müncherlbach in ca. 1 km südlicher Entfernung der geplanten Trasse bei zwei Bohrungen Wasserstände zwischen ca. 375 m ü. NN und 378 m ü. NN gemessen. In der Ortschaft Raitersaich in ca. 1 km nördlicher Entfernung der geplanten Trasse wurden Wasserstände bei vier Bohrungen zwischen 370 m ü. NN und 378 m ü. NN angetroffen [U 1].

Im direkten Umfeld des Erdkabelbereichs der südlichen Leitungseinführung sind gemäß der Baugrundvoruntersuchung [U 1] sowie [U 9] keine Grundwassermessstellen vorhanden, sodass auf entsprechende Messdaten nicht zurückgegriffen werden konnte. Da zuverlässige Daten von Langzeitmessungen für den unmittelbaren Bereich der geplanten Trasse somit fehlen, ist es erforderlich, den Bemessungswasserstand und den Bauwasserstand vorsichtig auf Grundlage der begrenzt verfügbaren Informationen abzuschätzen.



Die nächsten Fließgewässer der Erdkabeltrasse sind neben dem Erlbach ca. 800 m südlich bei Müncherlbach zudem noch der Weihermühlbach ca. 1 km nördlich bei Raitersaich [U 10].

Der **Burgsandstein** (Schicht 4.1) ist ein regional bedeutender Kluft-(Poren)-Grundwasserleiter mit geringer bis mittlerer Trennfugendurchlässigkeit. Er bildet i.d.R. mit dem unterlagerten Blasen-sandstein ein hydraulisch zusammenhängendes Grundwasserstockwerk, wobei lokal Stockwerkstrennungen möglich sind [U 9].

**Bei keiner im Gutachten aufgeführten Bohrung wurde Wasser angetroffen.**

Aufgrund der vorhandenen Schichten mit hohem Feinkornanteil und stark variierenden Durchlässigkeiten, besonders innerhalb der bindigen Sedimente (Schicht 3.1) sowie der in den Festgesteinen vorhandenen Lettenlagen mit sehr geringen Durchlässigkeiten ist im gesamten Projektgebiet mit **Schichtwasserhorizonten** und **Stauanässe** zu rechnen.

Der **Bemessungswasserstand** (der während der voraussichtlichen Nutzungs- und Lebensdauer eines Bauwerks zu erwartende höchste Wasserstand) wird aufgrund der feinkornhaltigen und feinkörnigen Böden (möglicher Aufstau in Extremsituationen) **in Höhe der Geländeoberkante (GOK)** festgelegt.

Unter Berücksichtigung der möglichen lokalen Schichtwasservorkommen wird der **Bauwasserstand** (der während der Bauzeit zu erwartende höchste Wasserstand) im Nahbereich der Baugrundaufschlüsse der Geländemorphologie folgend festgesetzt: Endteufe + 1,0 m Sicherheitszuschlag. Eine Interpolation der Grundwasserstände ist aufgrund der Bohrpunktabstände nur bedingt aussagekräftig. Um eine fundierte Aussage bzgl. der Bauwasserstände entlang der geplanten Trasse zu treffen, müsste ein engmaschiges Grundwassermessstellennetz errichtet werden.

Der Bau- und Bemessungswasserstand können der Anlage 3 entnommen werden.

Die Durchlässigkeiten der z.T. angetroffenen Schichten können als Bandbreiten gemäß DIN 18 130 nach Erfahrungswerten wie folgt eingeschätzt werden (Tabelle 2.3-1).



Schicht Nr.	Bezeichnung	Durchlässigkeitsbeiwert $k_f$ [m/s]	Bezeichnung gemäß DIN 18 130
LOCKERGESTEIN			
3	Verwitterungsböden	$2 \times 10^{-5}$ - $< 1 \times 10^{-8}$	durchlässig bis sehr schwach durchlässig
FESTGESTEIN			
4.1	Sandsteinkeuper	$5 \times 10^{-5}$ - $1 \times 10^{-8}$ <sup>1)</sup>	durchlässig bis sehr schwach durchlässig

1) auf Trennflächen bis zu  $1 \times 10^{-2}$  m/s möglich

**Tabelle 2.3-1:** Durchlässigkeiten

Da kein Wasser angetroffen wurde, wurden Wasseranalysen bezüglich der Beton- und Stahl-aggressivität nicht durchgeführt.

Stau- und Sickerwässer sind erfahrungsgemäß in der Regel nicht beton- und stahlaggressiv.

Gemäß [U 10] befindet sich der Erdkabelabschnitt der südlichen Leitungseinführung außerhalb von Trinkwasserschutz-, Heilquellenschutz- und festgesetzten Überschwemmungsgebieten sowie außerhalb von Hochwassergefahrenflächen und wassersensiblen Bereichen.

## 2.4 Bodenmechanische Laborversuche

Zur detaillierteren bodenmechanischen Bewertung der anstehenden Lockergesteine sowie zur Klassifizierung und Festlegung der Bodenkennwerte wurden von der Dr. Spang GmbH an ausgewählten Bodenproben bodenmechanische Laborversuche (Anlage 5) durchgeführt:

- 5 x Bestimmung des Wassergehaltes nach DIN EN ISO 17 892-1;
- 3 x Bestimmung der Korngrößenverteilung nach DIN EN ISO 17 892-4;
- 2 x Bestimmung der Konsistenzgrenzen nach DIN EN ISO 17 892-12;
- 3 x Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mittels Nadelsonden-Verfahren;

Zur Ermittlung des **Wassergehaltes** nach DIN EN ISO 17 892-1 wurden an 5 ausgewählten Proben Wassergehaltsbestimmungen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2.4-1 zusammengestellt, die Detailergebnisse können der Anlage 5.1 entnommen werden.



Aufschluss	Tiefe [m u. GOK]	Wassergehalt [Gew.-%]
<b>Verwitterungston, bindig (Schicht 3.1)</b>		
BS 21	0,5 – 1,1	5,48
BS 21	1,1 – 2,1	15,51
BS 22	1,2 – 2,4	16,12
BS 28	0,3 – 1,3	14,51
<b>Verwitterungsboden, gemischtkörnig (Schicht 3.2)</b>		
BS 24	0,8 – 1,2	7,91

**Tabelle 2.4-1:** Bestimmung der Wassergehalte nach DIN EN ISO 17 892-1

An den untersuchten Bodenproben wurde der **Wassergehalt** gemäß DIN EN ISO 17 892-1 bestimmt. Die ermittelten Wassergehalte in den untersuchten Bodenproben aus der **Schicht 3.1 (Verwitterungston, bindig)** liegen bei ca. 5,48 % bis ca. 16,12 %. In der Bodenprobe aus der **Schicht 3.2 (Verwitterungsboden, gemischtkörnig)** liegt der ermittelte Wassergehalt bei ca. 7,91 %.

Zur Bestimmung der **Korngrößenverteilung** wurden entlang des Trassenverlaufs an drei ausgewählten Proben Siebungen nach DIN EN ISO 17 892-4 durchgeführt. Die Ergebnisse der Korngrößenanalyse werden in der Tabelle 2.4-2 zusammengefasst und sind in der Anlage 5.2 hinterlegt.

Aufschluss	Tiefe [m u. GOK]	Schlammkorn <sup>1)</sup> [%]	Bodenart <sup>2)</sup>	Bodengruppe <sup>3)</sup>
<b>Verwitterungston, bindig (Schicht 3.1)</b>				
BS 21	0,5 – 1,1	18,6	S, g, u	SU*
BS 22	1,2 – 2,4	34,5	T, u, s*, g'	ST*, SU*
<b>Verwitterungsboden, gemischtkörnig (Schicht 3.2)</b>				
BS 24	0,8 – 2,1	8,1	gS, ms*, u', fg'	SU

1) Korngröße  $\leq 0,063$  mm

2) DIN EN ISO 14 688 / DIN 4023

3) DIN 18 196

**Tabelle 2.4-2:** Ergebnisse der Korngrößenverteilungsuntersuchung nach DIN EN ISO 17 892-4

Die Bodenproben aus der **Schicht 3.1 (Verwitterungston, bindig)** sind mit einem Schlammkornanteil von 18,6 – 34,5 Gew.-% gemäß DIN 18 196 als gemischtkörniger Boden einzustufen und der **Bodengruppe ST\* und SU\*** zuzuordnen. Die Bodenprobe der **Schicht 3.2 (Verwitterungsboden,**



**gemischtkörnig**) ist mit einem Schlämmkornanteil von ca. 8,1 Gew.-% gemäß DIN 18 196 als gemischtkörniger Boden einzustufen und der **Bodengruppe SU** zuzuordnen.

An zwei ausgewählten Bodenproben wurden **Plastizitätsuntersuchungen** nach DIN EN ISO 17 892-12 zur Bestimmung der Atterberg'schen Zustandsgrenzen durchgeführt. Die Tabelle 2.4-3 fasst die Ergebnisse zusammen. Die Detailergebnisse inkl. der Darstellung im Plastizitätsdiagramm nach CASAGRANDE können der Anlage 5.3 entnommen werden.

Aufschluss	Tiefe [m]	Bodenart	w <sub>n</sub> [%]	w <sub>L</sub> [%]	I <sub>p</sub> [%]	I <sub>c</sub> [-]	Konsistenz	Boden- gruppe <sup>1)</sup>
<b>Verwitterungston, bindig (Schicht 3.1)</b>								
BS 21	1,1 – 2,1	T, u, s*	15,5	33,2	21,4	0,83	steif	TL
BS 28	0,3 – 1,3	T, u, s'	17,1 <sup>2)</sup>	34,8	18,9	0,94	steif	TM / TL

w<sub>n</sub> = natürlicher Wassergehalt; w<sub>L</sub> = Wassergehalt an der Fließgrenze; I<sub>p</sub> = Plastizitätsindex, I<sub>c</sub> = Konsistenzzahl

1) DIN 18 196

2) Korrigierter Wassergehalt aufgrund Anteil Überkorn ü = 15,0 %

**Tabelle 2.4-3:** Ergebnisse der Plastizitätsuntersuchung nach DIN EN ISO 17 892-12

Angesichts der gemessenen Plastizitätszahl I<sub>p</sub> und der Fließgrenze w<sub>L</sub> sind die Bodenproben aus der **Schicht 3.1 (Verwitterungston, bindig)** gemäß dem Plastizitätsdiagramm nach CASAGRANDE den **Bodengruppen TL und TM** zuzuordnen.

Aus den bestimmten Wassergehalten (w, w<sub>L</sub>, w<sub>P</sub>) und berechneten Konsistenzzahlen I<sub>c</sub> lässt sich folgende Beziehung herstellen:

Zustandsform des Bodens	Konsistenzzahl I <sub>c</sub> [-]
breiig	0 <sup>1)</sup> bis 0,5
weich	0,5 bis 0,75
steif	0,75 bis 1,0 <sup>2)</sup>
halbfest	> 1,0

1) Fließgrenze w<sub>L</sub>

2) Ausrollgrenze w<sub>P</sub>

**Tabelle 2.4-4:** Beziehung zwischen Zustandsform und Konsistenzzahl



Die Bestimmung der **Wärmeleitfähigkeit** wurde mittels Nadelsonden-Verfahren an drei ausgewählten Bodenproben durchgeführt. Um aus den Kleinrammbohrungen eine ausreichende Probenmenge zur Wärmeleitfähigkeitsmessung zu gewinnen, wurde neben dem konzeptionierten Bohrpunkt eine weitere Kleinrammbohrung bis in eine maximale Tiefe von 2,0 m u. GOK abgeteuft. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2.4-5 sowie in Anlage 5.19 zusammengestellt.

Aufschluss	Tiefe [m u. GOK]	Bodenart	WLF	Wasser	WLF	Wasser
			$K_{nat}$ [W/m <sup>2</sup> K]	gehalt $W_{nat}$ [Gew.-%]	$K_{trocken}$ [W/m <sup>2</sup> K]	gehalt $W_{trocken}$ [Gew.-%]
BS 21	0,5 – 2,1	S, u, g'	1,96	8,3	0,87	0,0
BS 22	1,2 – 2,4	S, u'	1,98	7,8	0,68	0,0
BS 28	0,3 – 2,5	T, u*, s*	1,97	17,6	1,56	0,0

**Tabelle 2.4-5:** Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit am Lockergestein

Die ermittelten Wärmeleitfähigkeiten in den untersuchten **Bodenproben** liegen bei einem natürlichen Wassergehalt von ca. 7,8 % bis ca. 17,6 % bei ca. 1,97 W/m<sup>2</sup>K. Die trockenen Proben ( $w = 0$  Gew.-%) besitzen eine Wärmeleitfähigkeit von ca. 0,68 W/m<sup>2</sup>K bis ca. 1,56 W/m<sup>2</sup>K.

Bei den erhobenen Werten handelt es sich um Laborwerte. Es wurden 2-stufige Messreihen durchgeführt, die sowohl die Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit bei natürlichem Wassergehalt als auch die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit nach Trocknung bzw. Wassersättigung beinhalten. Abweichende Wassergehalte und Verdichtungen können andere thermische Leitfähigkeiten zur Folge haben.

Es wird darauf hingewiesen, dass natürlich anstehendes Bodenmaterial Schwankungen hinsichtlich der Bodeneigenschaften und der Zusammensetzung unterworfen ist. Es kann demnach zu Abweichungen der thermischen Leitfähigkeit kommen. Durch Erhitzen des Bodens und damit zusammenhängender Änderung des Wassergehaltes kann es bei bindigen Böden bzw. bei Böden mit nennenswerten bindigen Anteilen zu Schrumpfungsprozessen kommen, wodurch Hohlräume im Bodenkörper entstehen können. Diese potenzielle Reduzierung der thermischen Leitfähigkeit ist in den erhobenen Daten nicht berücksichtigt. Eine Korrelation der gemessenen Leitfähigkeiten, z. B. mit der Korngrößenverteilung, lässt sich aus den Messungen nicht ableiten.



## 2.5 Umwelttechnische Untersuchungen

Im Zuge der Baugrunduntersuchung wurden chemische Analysen bzgl. der zu erwartenden abfalltechnischen Einstufungen der voraussichtlich anfallenden Aushubmaterialien entlang der Trasse durchgeführt. Hierbei wurden die natürlich anstehenden Böden nach **LAGA M 20 (1997)** (Tab. II 1.2-1) [U 6] vom Labor AGROLAB GmbH, Bruckberg, untersucht.

Die detaillierten Ergebnisse der chemischen Analysen (Auswertung, Prüfberichte) sind in Anlage 7 beigefügt.

Die LAGA-Richtlinie M 20 [U 6] ist für die Bewertung der Wiederverwertungs-/Entsorgungsmöglichkeiten von Aushub gedacht. Zusätzlich können anhand deren Zuordnungswerten Z 0 bis Z 2 und den damit verbundenen Wiedereinbaukriterien Rückschlüsse auf die Höhe der Bodenverunreinigungen getroffen werden. Die Bewertung erfolgt auf Wunsch des AG für gewachsene Böden nach der Tabelle II.1.2-1.

In Tabelle 2.5-1 sind die durchführbaren Maßnahmen nach LAGA, entsprechend der Zuordnungswerte Z 0 bis Z 2 zusammengestellt.

Zuordnungswerte	Maßnahmen (Auszug)
Z 0	uneingeschränkter Einbau u.a. im Bereich von Wohngebieten und Wasserschutzgebieten möglich
Z 1 (Z 1.1)	eingeschränkt offener Einbau u.a. in Flächen mit unsensibler Nutzung, Gewerbe-, Bergbaurekultivierungsflächen, Parkanlagen, auch bei hydrogeologisch ungünstigen Verhältnissen
Z 1 (Z 1.2)	wie vor, aber nur bei hydrogeologisch günstigen Verhältnissen und geogener Vorbelastung $\geq$ Z 1.1
Z 2	eingeschränkter Einbau mit definierten Sicherungsmaßnahmen u.a. in Lärmschutzwälle, Dammbauwerke, unter mineralischer Abdichtung, Straßenbaumaterial
> Z 2	Einbau/Ablagerung in Deponien Bestimmung der Deponieklasse nach DepV erforderlich

**Tabelle 2.5-1:** LAGA – Zuordnungswerte sowie sich daraus ergebende Konsequenzen für die Verwertung/Beseitigung



In der Tabelle 2.5-2 sind die Ergebnisse der Analysen nach **LAGA M 20 Boden (1997)** Tab II.1.2-1 zusammengestellt, wobei alle Parameter und Werte angegeben sind, welche den Grenzwert der Zuordnungsklasse Z 0 überschreiten. Die für die Einstufung maßgebenden Parameter sowie deren Werte sind dabei fett hervorgehoben.

Aufschluss	Material	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Parameter	Wert	Zuordnung nach LAGA M 20
MP 22 / E1	nat. Boden	0,4 – 1,2	<b>pH (FS)</b>	<b>8,3</b>	<b>Z 1.2</b>
MP 23-24 / E1	nat. Boden	0,4 – 1,6	/	/	<b>Z 0</b>
MP 25, 27-28 / E1	nat. Boden	0,4 – 1,5	<b>pH (FS)</b>	<b>8,4</b>	<b>Z 1.2</b>

FS = Feststoff

**Tabelle 2.5-2:** Einstufung der Mischproben nach LAGA M 20 Boden (1997)

Alle untersuchten Bodenproben sind nach **AVV (Nr.17 05 04)** als **nicht gefährlicher Abfall** einzustufen.

Eine detaillierte Einstufung der Bodenproben in die jeweiligen Zuordnungsklassen, sowie die Angabe der einstufigsrelevanten Parameter ist der Tabelle 2.5-2 zu entnehmen sowie in Anlage 7 zu finden. Bei einer Entsorgung sind stets die genauen Annahmekriterien des jeweiligen Entsorgers zu beachten.

Aus gutachterlicher Sicht sind die Böden im Hinblick auf die umwelttechnischen Untersuchungen – sofern keine anthropogen verursachten zusätzlichen Schadstoffanreicherungen nachgewiesen wurden – vor Ort wiedereinbaubar.

Die hier im Rahmen der Baugrunderkundung durchgeführten abfalltechnischen Untersuchungen sollen als Grundlage für eine Massenschätzung bezüglich vorliegender Belastungen im Vorfeld der Baumaßnahme dienen. Da die Ergebnisse aus Bohrungen gewonnen wurden, handelt es sich verfahrensbedingt um Stichprobenuntersuchungen.

Die LAGA-Richtlinien sehen jedoch für eine repräsentative Probenahme eindeutig eine Untersuchung von Materialien aus Haufwerken oder Stoffströmen vor. Nach geltendem Abfallrecht sind daher weiterführende abfalltechnische Materialuntersuchungen während der Bauausführung (Hauf-



werksuntersuchungen) vorzusehen, welche als maßgeblich für die Deklaration und Entsorgung der gegenständlichen Massen gelten.

Somit ist eine **baubegleitende Haufwerksbeprobung zur Deklaration der Aushubmaterialien erforderlich**.

**HINWEIS: Mit Einführung der Ersatzbaustoffverordnung am 01.08.2023 verliert die Untersuchung gemäß LAGA M 20 (1997) den Status „aktueller Stand der Technik“.**

In diesem Zusammenhang ist eine Zwischenlagerung der Aushubmaterialien bis zum Vorliegen der Ergebnisse der Deklarationsanalysen erforderlich bzw. entsprechend vorzusehen. Der Analysenumfang ist im Vorfeld mit dem jeweiligen Entsorger abzustimmen.

## 2.6 Sonstige Randbedingungen und Eigenschaften

Nach DIN EN 1998-1/NA liegt der Erdkabelbereich der südlichen Leitungseinführung in **keiner Erdbebenzone** und ist somit keiner Untergrundklasse zuzuordnen.

Gemäß der RStO 12/24 [U 3] befindet sich das Projektgebiet in der **Frosteinwirkungszone II**. Daraus ergibt sich für die Gründung von erdberührten Bauteilen eine frostfreie Einbindetiefe von mindestens 1,0 m.

Gemäß [U 10] befindet sich der Erdkabelbereich der südlichen Leitungseinführung **außerhalb von Naturschutz-, Vogelschutz-, Landschaftsschutz- und Fauna-Flora-Habitat-Gebieten**. Ebenso sind keine Natur- und Nationalparke, sowie Ökoflächen betroffen.

Nach der Vorauswertung der IABG mbH hinsichtlich **Kampfmittelverdachtsflächen** [U 4] wurden im Erdkabelbereich der südlichen Leitungseinführung keine Verdachtsflächen kartiert.

Im Bereich des Erdkabels sind kreuzende oder parallel verlaufende **Leitungen** zu erwarten. Es wird grundsätzlich bei allen Schachtarbeiten empfohlen, Vorkehrungen zum Schutz potentieller Medienleitungen zu treffen (z.B. Freimessungen).



Gemäß [U 10] befindet sich der Erdkabelbereich der südlichen Leitungseinführung **außerhalb** von **wassersensiblen Bereichen, Trinkwasserschutz- und Heilquellenschutzgebieten** sowie von **festgesetzten Überschwemmungsgebieten und Hochwassergefahrenflächen**.

### 3. TECHNISCHE EIGENSCHAFTEN UND KENNWERTE

#### 3.1 Klassifizierung für bautechnische Zwecke

Nach den Erkundungsergebnissen sowie den Kenntnissen u.a. aus Archivunterlagen lassen sich die im Projektgebiet zu erwartenden Böden wie folgt geotechnisch klassifizieren.

Schicht-Nr.	Bodenart	Klassifizierung nach DIN		Frostempfindlichkeit <sup>2)</sup>	Verdichtbarkeit <sup>3)</sup>
		18 196	18 300 <sup>1)</sup>		
0	Mutterboden	OT, OU, OH	1	/	/
3.1	Verwitterungston, bindig	UL, UM, TL, TM, TA, GU*, GT*, SU*, ST*	4 (5) (2) <sup>4)</sup> (6, 7) <sup>5)</sup>	F 3 (TA = F2)	V 2 – V 3, TA nicht geeignet bzw. nur mit Bodenverbesserung
3.2	Verwitterungsboden, gemischtkörnig	GU, GT, SU, ST	3 (5) (6, 7) <sup>5)</sup>	(F 1) - F 2	V 1
4.1	Sandsteinkeuper	Sst, Tst, Ust <sup>6)</sup>	6 – 7	/	/

1) gemäß DIN 18 300:2012-09

2) Nach ZTV E-StB 17, Tab. 3 (F1 nicht frostempfindlich, F3 sehr frostempfindlich).

3) V1 = verdichtbar, V2 = eingeschränkt verdichtbar, V3 = schwer verdichtbar

4) Der angegebene Boden kann bei Wassersättigung infolge Störung der Lagerung in eine fließende Bodenart übergehen

5) Bodenklasse 6 und 7 bei möglichen Rest-Felsbänken/-blöcken und nicht vollständig zu Boden verwitterten Bereichen

6) Bezeichnung nach DIN 4023

**Tabelle 3.1-1:** Boden- und Felsklassifizierung



Bindige Böden und gemischtkörnige Böden mit hohem Feinanteil (insbesondere Schicht 3.1) können bei Wassersättigung und Lagerungsstörung (z.B. dynamische Beanspruchung, Überfahrten, etc.) in eine fließende Bodenart (Bodenklasse 2 gemäß DIN 18 300:2012) übergehen.

Die Angabe der Boden- und Felsklassen der Tabelle 3.1-1 nach der zurückgezogenen DIN 18 300 (Ausgabe 2012) erfolgt informativ. Seit 2015 ist Boden und Fels in Homogenbereiche einzuteilen. Bei der Festlegung der Homogenbereiche sind einsetzbare Bauverfahren und Baugeräte zu berücksichtigen. Eine vorläufige Einteilung in Homogenbereiche wird in Kap. 3.4 Homogenbereiche vorgenommen.

Die **Rammpbarkeit** der Bodenschichten für Spundwände, Stahlträger und Rammpfähle ist wie in der nachfolgenden Tabelle 3.1-2 zusammengestellt einzuschätzen. Die begriffliche Beschreibung der Rammpbarkeit erfolgt gemäß Grundbautaschenbuch, 8. Auflage [U 7].

Bei schwer rammpbaren Böden und Böden die Rammphindernisse enthalten (siehe Tabelle 3.1-2) ist die Rammpbarkeit ggf. nicht ohne Zusatzmaßnahmen möglich. Stark bis vollständig verwitterte Bereiche (Schicht 3.1 und Schicht 3.2) können ggf. schwer rammpbar sein und Rammphindernisse in Form von nicht vollständig zu Boden verwitterten Felsblöcken oder Felsbänken (Restbänken) aufweisen. Der unter dem Lockergestein zu erwartende Fels (Schicht 4.1) ist i.d.R. nicht rammpbar.

Es ist davon auszugehen, dass in Abhängigkeit der erforderlichen Einbindetiefe Zusatzmaßnahmen wie z.B. Lockerungsbohrungen erforderlich werden. Dies ist im Zuge der weiteren Planung und bei der Ausschreibung zu beachten.

Schicht-Nr.	Boden	Rammpbarkeit <sup>1)</sup>
3.1	Verwitterungston, bindig	leicht – schwer Rammphindernisse möglich <sup>2)</sup>
3.2	Verwitterungsboden, gemischtkörnig	mittelschwer – schwer Rammphindernisse möglich <sup>2)</sup>
4.1	Sandsteinkeuper	nicht rammpbar

1) Bezeichnungen gemäß Grundbau-Taschenbuch, 8. Auflage, Ernst & Sohn Verlag

2) Rammphindernisse in Form von Geröllen, Steinen und Blöcken und/oder nicht verwitterten Felsrestbänken

**Tabelle 3.1-2:** Rammpbarkeit der anstehenden Schichten



### 3.2 Bodenkennwerte

Gemäß DIN EN 1997-1 (Eurocode 7) ist der charakteristische Wert einer geotechnischen Kenngröße als „eine vorsichtige Schätzung desjenigen Wertes festzulegen, der im Grenzzustand wirkt“. Unter Berücksichtigung dieser Definition lassen sich auf Basis der Untersuchungen und von umfangreichen Erfahrungen mit den im Projektgebiet anstehenden Böden die in Tabelle 3.2-1 zusammengestellten charakteristischen Bodenkennwerte angeben. Lokale Abweichungen sind möglich.

Schicht-Nr.	Bezeichnung	Wichte feuchter Boden	Wichte unter Auftrieb	Reibungswinkel	Kohäsion	Undrainierte Kohäsion	Steifemodul
		$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_k'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi_k'$ [°]	$c_k'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$c_{u,k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$E_{s,k}^{1)}$ [MN/m <sup>2</sup> ]
3.1	Verwitterungston, bindig	20	10	25	10	30	10
3.2	Verwitterungsboden, gemischtkörnig	19,5	10,5	32,5	/	/	25

1) Ermittlung des Steifemoduls  $E_{s,k}$  für den Laststeigerungsbereich 0 bis 300 kN/m<sup>2</sup>

**Tabelle 3.2-1:** Charakteristische Bodenkennwerte

Die Werte gelten für **mindestens mitteldicht gelagerte bzw. mindestens steife Böden**.

### 3.3 Felsmechanische Kennwerte

Für das im Baufeld anstehende Festgestein lassen sich die folgenden charakteristischen Kennwerte angeben (Tabelle 3.3-1).

Schicht-Nr.	Felsart	Wichte feuchtes Gebirge	Reibungswinkel <sup>1)</sup>	Kohäsion <sup>1)</sup>	Einax. Druckfestigkeit Gestein	E-Modul Gebirge
		$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$j_k'$ [°]	$c_k'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{c,k}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$E_k$ [MN/m <sup>2</sup> ]
4.1	Sandsteinkeuper	23 – 24	20 - 35	> 0	≤ 0,5 – 50,0	150 – 2.000

1) für Scherbeanspruchung auf Trennflächen

**Tabelle 3.3-1:** Charakteristische felsmechanische Kennwerte



Die Werte gelten für mürbes bis mittelhartes Gebirge. Bei stärkerer Verwitterung bzw. im Übergangsbereich zum Felszersatz sind geringere Festigkeiten möglich.

### **3.4 Homogenbereiche**

#### **3.4.1 Allgemeines**

Boden und Fels ist gemäß den Normen der VOB/C (seit der Ausgabe 2015) in Homogenbereiche einzuteilen, die für die Ausschreibung verwendet werden sollen. Ein Homogenbereich ist dabei ein begrenzter Bereich, bestehend aus einzelnen oder mehreren Boden- oder Felsschichten, der für die in den einzelnen Gewerken einsetzbaren Baugeräte vergleichbare Eigenschaften aufweist. Die Homogenbereiche sind somit ggf. gewerkespezifisch festzulegen und hängen von den einsetzbaren Baugeräten ab. Da die geplanten Bauverfahren zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung noch nicht festgelegt waren, erfolgt eine vorläufige Einteilung auf Basis der empfohlenen Verfahren gemäß Kap. 5, die im Zuge des Planungsprozesses bis zur Ausschreibung zu überprüfen und ggf. zu überarbeiten ist.

Umweltrelevante Inhaltsstoffe wurden bei der Einteilung der Homogenbereiche nur dann berücksichtigt, wenn Sie eine offensichtliche Auswirkung auf das Bauverfahren/Baugerät haben oder den Aufwand beim Arbeiten mit diesen Stoffen beeinflussen. Dies wurde immer dann unterstellt, wenn es sich um gefährlichen Abfall nach der AVV handelt. Sofern eine umwelttechnische Belastung sich im Wesentlichen nur auf die Entsorgungskosten auswirkt, wurde keine Unterteilung in den Homogenbereichen ausgewiesen. Es wird empfohlen die Entsorgung in solchen Fällen über eigene Positionen in der Ausschreibung zu regeln.

Die Homogenbereiche und die angegebenen Eigenschaften beschreiben den Zustand des Bodens und Fels vor dem Lösen. Bei den aufgeführten Eigenschaften und Kennwerten handelt es sich nicht um charakteristische Kennwerte für Berechnungen, sondern um mögliche Spannbreiten, die zur Abschätzung der Bearbeitbarkeit von Boden und Fels verwendet werden können.

**Die Einteilung der Homogenbereiche ist zur Ausschreibung unter Berücksichtigung der geplanten Bauverfahren vom Planer und geotechnischen Gutachter zu überprüfen und ggf. anzupassen.**



### 3.4.2 DIN 18 300 Erdarbeiten

Für die Festlegung der Homogenbereiche für Erdarbeiten (DIN 18 300) wird davon ausgegangen, dass der Aushub mit einem Bagger hoher Leistungsklasse (ca. > 30 to) ggf. mit Zusatzmaßnahmen (z.B. Meißel- oder Fräsarbeiten) ausgeführt wird. Derzeit steht noch nicht genau fest, ob und in welchem Umfang ein Wiedereinbau von Aushubmassen auf der Baustelle erfolgt. Daher berücksichtigen die Homogenbereiche sowohl das Lösen als auch den Wiedereinbau und die Verdichtung.

In der nachfolgenden Tabelle 3.4.2-1 und Tabelle 3.4.2-2 ist die Zuordnung der in diesem Gutachten angegebenen geologischen Schichten zu Homogenbereichen für Erdarbeiten, sowie die zusammengefassten Eigenschaften der Homogenbereiche angegeben. Es wird davon ausgegangen, dass der Aushub maximal bis in eine Tiefe von 1,85 m u. GOK erfolgt, sodass nur bis in diese Tiefe Homogenbereiche für Erdarbeiten ausgewiesen werden.

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Erd-A
Schicht Nr.	0, 3.1, 3.2
ortsübliche Bezeichnung	Mutterboden, Verwitterungston (bindig), Verwitterungsboden (gemischtkörnig)
Korngrößenverteilung mit Korngrößenband <sup>2)</sup>	<p style="text-align: center;">enggestuft bis weitgestuft</p>
Massenanteil	
Steine [%]	< 40
Blöcke [%]	< 20
große Blöcke [%]	< 10
natürliche Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	1,6 – 2,1
undrainierte Scherfestigkeit $c_u$ [kN/m <sup>2</sup> ]	< 300



Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Erd-A
Wassergehalt $w_n$ [%]	2 – 40
Plastizitätszahl $I_P$	0,04 – 0,7 / leicht – ausgeprägt plastisch
Konsistenzzahl $I_C$ / Bezeichnung <sup>1)</sup>	0,5 – 1,4 / weich – halbfest
bezogene Lagerungsdichte $I_D$ / Bezeichnung <sup>1)</sup>	0,15 – 1,00 / locker – sehr dicht
organischer Anteil $v_{gl}$ / Bezeichnung <sup>1)</sup>	überwiegend nicht organisch bis schwach organisch (< 6 %) lokal bis mäßig organisch (< 20 %) möglich
Bodengruppe	OU, OT, OH, TL, TM, TA, UL, UM, SU*, SU, ST*, ST, GU*, GU, GT*, GT

1) Begriffe nach DIN EN ISO 14 688-2

2) Das Körnungsband bezieht sich nur auf den Massenanteil ohne Steine, Blöcke und Große Blöcke

**Tabelle 3.4.2-1:** Homogenbereiche gemäß DIN 18 300 für Erdarbeiten in Boden

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Erd-B
Schicht Nr.	4.1
ortsübliche Bezeichnung	Löwenstein-Formation (Unterer Burgsandstein)
Benennung von Fels	Sandstein
Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	2,3 – 2,5
Verwitterung und Veränderungen, Veränderlichkeit <sup>1)</sup>	frisch bis stark verwittert veränderlich bis stark veränderlich
einaxiale Druckfestigkeit [MN/m <sup>2</sup> ]	≤ 50
Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform	keine Angabe

1) Bezeichnung nach DIN EN ISO 14 689

**Tabelle 3.4.2-2:** Homogenbereiche gemäß DIN 18 300 für Erdarbeiten im Festgestein

### 3.4.3 DIN 18 320 Landschaftsbauarbeiten

Oberboden ist nach DIN 18 320 als eigener Homogenbereich auszuweisen. Der Oberboden ist vor Beginn der Arbeiten abzuschleifen und ist zur Rekultivierung zu verwerten.



Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Oberboden
Bodengruppe nach DIN 18 196	OT / OU / OH
ortsübliche Bezeichnung	Mutterboden
Bodengruppe nach DIN 18 915	3, 4, 5
Massenanteil	
Steine [%]	< 10
Blöcke [%]	< 5
große Blöcke [%]	< 5

**Tabelle 3.4.3-1:** Homogenbereiche gemäß DIN 18 320 für Oberboden

## 4. FOLGERUNGEN

### 4.1 Regelquerschnitt und Rohrleitungen

#### 4.1.1 Kabelverlegung in offener Bauweise

Der Erdkabelbereich der südlichen Leitungseinführung besteht aus zwei Kabelgräben für den Stromkreis 1 bzw. Stromkreis 2 in einem Abstand von 14,1 m. In jedem der Kabelgräben werden jeweils 2 x 3 Schutzrohre (Rohraußendurchmesser: 0,25 m) für die stromführenden Leitungen der 110 kV–Spannungsebene verlegt. Jeweils über dem mittleren Schutzrohr ist ein Leerrohr für das Monitoring vorgesehen. Außerdem sollen in jedem Kabelgraben zwei Leerrohre für Nachrichtenkabel verlegt werden [U 5].

Für die gesamte Trasse (inkl. Systemabstand, Trassen- und Schutzstreifenbreite sowie Arbeitsflächen) in offener Bauweise ergibt sich eine temporäre Flächeninanspruchnahme während der Bauphase von ca. 65 m für zwei Kabelgräben und eine mittig angeordnete Baustraße (Abbildung 4.1.1-1) [U 5].





## 4.2 Baufeldvorbereitung

Für die Verlegung des Erdkabels in offener Bauweise sind große und schwere Baumaschinen erforderlich. Das Baufeld wird auf landwirtschaftlich genutzten Flächen hergestellt. Die Geländeoberflächen bestehen aus Mutterboden (Schicht 0), der sich aus feinkörnigem Material bzw. feinkörnigen Sanden mit humosen Anteilen zusammensetzt. Diese sind wasserempfindlich und neigen dazu, bei dynamischen Anregungen aufzuweichen. Ohne eine Baufeldvorbereitung sind die Flächen für die Einrichtung der Baustelle bedingt geeignet. Der Mutterboden (Schicht 0) muss bauvorbereitend abgezogen und gesondert gelagert werden.

Wir empfehlen die Arbeitsstreifen bzw. Zufahrten daher mit gebrochenem Natursteinmaterial (z.B. Grobschlag 0/200 mm, Natursteinschotter 0/45 mm) zu befestigen. Die Mindestdicke der Befestigung ist mit 0,6 m einzuplanen. Unter der Befestigung wird im Hinblick auf den Rückbau und die Wiederherstellung der Flächen die Verlegung eines Geotextiles (GRK 4) empfohlen. Alternativ können lokal Baggermatratzen und / oder Stahlplatten für die Herstellung einer Baustraße und von befestigten Lagerflächen verwendet werden. Dies wird aus bodenschutzrechtlicher Sicht notwendig, wenn die Witterungsbedingungen dazu führen, dass sich die Baumaschinen in den lokal oberflächlich anstehenden bindigen Deckschichten festsetzen. Der Einsatz von Baggermatratzen ist vor Ort durch die Bauleitung festzulegen.

## 4.3 Baugruben

Für die Verlegung der Rohrleitungen entlang der Trasse werden voraussichtlich Baugruben bis ca. 1,85 m u. GOK erforderlich. Prinzipiell können die Baugruben geböscht oder verbaut hergestellt werden, sofern die Wasserfreiheit garantiert werden kann.

Baugruben können nach DIN 4124 bis 1,25 m ohne Sicherungen (ungeböscht und unverbaut) hergestellt werden. In steifen oder halbfesten bindigen Böden sowie bei Fels darf bis zu einer Tiefe von 1,75 m ausgehoben werden, wenn der mehr als 1,25 m über der Sohle liegende Bereich der Wand unter einem Winkel  $\beta \leq 45^\circ$  abgeböscht oder durch Teilverbau gesichert wird. Beide Maßnahmen (Kopfböschung und teilweiser Verbau) sind nur bis zu einer Baugrubentiefe von 1,75 m zulässig. Mit und ohne Sicherungen der Baugrube ist ein lastfreier Streifen  $\geq 0,6$  m an der Böschungsschulter einzuhalten. In Abhängigkeit unmittelbarer Einwirkungen aus Baumaschinen oder Vergleichbarem



können lastfreie Streifen  $\geq 2,0$  m erforderlich werden. Sind tiefere Baugruben ( $> 1,75$  m Tiefe) notwendig, ist ein Verbau nach DIN 4124 oder eine geböschte Ausführung mit den in Tabelle 4.3-1 erhaltenen Böschungswinkeln erforderlich. Hierfür sind ausreichende Platzverhältnisse nötig und die Vorgaben der Baugeräte und Fahrzeuge nach DIN 4124 einzuhalten. Für Baugruben mit einer Tiefe von mehr als 5 m ist in jedem Fall ein statischer Nachweis der Standsicherheit zu führen (DIN 4124).

Gemäß den Angaben des AG, sowie der Grabensohle bei 1,85 m gehen wir von einer geböschten Baugrube aus.

Bezeichnung	Schicht	Böschungswinkel $\beta$ [°]
nichtbindige oder weiche bindige Böden	3.1, 3.2	$\leq 45$
mindestens steife bindige Böden	3.1	$\leq 60$
Fels	4.1	$\leq 80$

**Tabelle 4.3-1:** zulässige Böschungswinkel ohne Standsicherheitsnachweis

Für Verbauarbeiten nach DIN 18 303 sind die Homogenbereiche analog zu denen für Erdarbeiten nach DIN 18 300 zu verwenden.

Gemäß DIN 4124 sind bei geböschten Baugruben bei gemischtkörnigen oder weichen bindigen Böden Böschungsneigungen von maximal  $45^\circ$  und bei bindigen mindestens steifen Böden Neigungen von  $60^\circ$  zugelassen. Auch bei diesen Böschungsneigungen sind lokale Ausbrüche nicht auszuschließen, ggf. ist flacher zu böschen. Voraussetzungen sind zudem die Wasserfreiheit der Böschung sowie ein Oberflächenschutz (Abdeckung). Außerdem sind die einschränkenden Vorgaben für freie Böschungen der DIN 4124 zu beachten.

Solange der Böschungswinkel größer als der Reibungswinkel ist, ist nicht gänzlich auszuschließen, dass es zu lokalen Ausbrüchen kommt. Einer Durchfeuchtung der Böschungen ist durch geeignete Maßnahmen (z.B. mittels Abdeckung) unbedingt vorzubeugen.

Zudem ist die Gründungssituation des Bestands zu beachten. Neben bestehenden Fundamenten darf nicht unter der Gründungssohle der Bestandsfundamente ohne Sicherung geschachtet oder die Bestandsfundamente auf voller Länge frei gelegt werden. Die Randbedingungen der DIN 4123 sind zu beachten.



Der Aushub erfolgt gemäß den Erkundungsergebnissen überwiegend in Lockergesteinen der **Bodenklassen 2 bis 5** nach DIN 18 300:2012 (Homogenbereich Erd-A). Gerölle, große Blöcke und nicht vollständig zu Boden verwitterte Restfelsbänke die anteilig den **Bodenklassen 6 bis 7** entsprechen, können jedoch in der Schicht 3.1 und 3.2 nicht ausgeschlossen werden. Zudem wird die Baugrube voraussichtlich teilweise im Festgestein einschließen. Für das Lösen des Festgesteins sowie der Bodenklassen 6 und 7 können lokal Zusatzmaßnahmen, z.B. Meißel- oder Fräsarbeiten, erforderlich werden.

**Geotechnische Wiederverwertbarkeit des Aushubs:** Der **Mutterboden (Schicht 0)** oder organische Böden sind vor der Baumaßnahme abzutragen und seitlich zu lagern.

Die zum Aushub gelangenden feinkörnigen und feinkornhaltigen Böden der **Schicht 3.1 (Verwitterungston, bindig)** sind i.d.R. mäßig bis schlecht verdichtungsfähig. Ausgeprägt plastische Tone (TA) sind nicht verdichtungsfähig. In Bereichen mit definierten Tragfähigkeitsanforderungen (z.B. Verkehrsflächen) können die zum Aushub gelangenden feinkörnigen und feinkornhaltigen Böden nicht bzw. nicht ohne Zusatzmaßnahmen (qualifizierte Bodenverbesserung) eingebaut werden. Organische Einlagerungen sind nicht volumenbeständig und deshalb ggf. vorher auszusortieren. Die feinkörnigen und gemischtkörnigen Böden (Schicht 3.1) können bei Entlastung unter Wassereinfluss sowie Störung der Lagerung (durch dynamische Belastung) in Bodenklasse 2 "fließende Bodenarten" nach DIN 18 300:2012 übergehen und sind dann nicht mehr verdichtungs- und einbaufähig.

Gemischtkörnige Böden der **Schicht 3.2 (Verwitterungsboden, gemischtkörnig)** mit geringen Feinanteilgehalten von  $\leq 15$  % weisen relativ gute Verdichtbarkeits- und Frostempfindlichkeits-eigenschaften auf und können, sofern sie separierbar sind und mit verdichtungsfähigen Wassergehalten vorliegen, ohne Zusatzmaßnahmen wiederverwendet werden. Gegebenenfalls anfallende Steine und Blöcke sind vor dem Wiedereinbau auszusortieren.

Zur Rückverfüllung vorgesehener Boden und zur Entsorgung vorgesehener Überschussboden sind separat in Mieten zu lagern und vor Durchfeuchtung zu schützen.



#### 4.4 Grundwasserhaltung

Wie bereits in Kapitel 2.3 aufgeführt, ist eine durchgehende Interpolation der Wasserstände nur bedingt möglich. Um genauere Festlegungen bezüglich der Wasserhaltungsmaßnahmen treffen zu können, werden belastbare Kenndaten zum Grundwasser benötigt. Hierfür empfehlen wir die Errichtung von engmaschigen Grundwassermessstellen mit Pegelschreiber und ergänzende Pegel (Rammpegel) und ein Kurzzeit-Pumpversuch zur Validierung der hydrogeologischen Information. Die angegebenen Bau- und Bemessungswasserstände sind nach Abschluss des Monitorings zu verifizieren.

Sofern Maßnahmen zur Wasserhaltung erforderlich werden, ist ein Absenkeziel von 0,5 m unter Aushubsohle sicherzustellen. Eine **offene (Rest-) Wasserhaltung** zur Fassung von Tag-, Sicker- und Oberflächenwasser, sowie von möglichen Schichtwasser-Zutritten ist in jedem Fall vorzusehen. **Grabensohle:** Aufgrund der z.T. feinkornhaltigen Böden und der damit verbundenen schwachen bis sehr schwachen Durchlässigkeit, gehen wir von einer Beherrschbarkeit des möglichen Schichtenwassers mittels **offener Wasserhaltung** aus. Es wird allerdings empfohlen, sämtliche Aushub- und Bauarbeiten in einer trockenen Jahreszeit durchzuführen.

Je größer die Grundfläche der Baugruben, desto schwieriger wird die Beherrschung eventueller Wasserzutritte in den Baugrubensohlen. Daher ist die Empfehlung den Leitungsgraben abschnittsweise herzustellen.

Für einen Eingriff in die grundwasserführenden Schichten und das bauzeitliche Abführen ist das Einholen einer wasserrechtlichen Genehmigung notwendig. Ebenso sind Einleitgenehmigungen für die geordnete Ableitung des gefassten Wassers erforderlich. Die Wasserhaltungsmaßnahmen sind hydraulisch zu dimensionieren.

#### 4.5 Geotechnische Kategorie

Unter der Annahme der Gründungsarbeiten im Erdkabelbereich wird das Bauwerk in die **geotechnische Kategorie 2** nach Normenhandbuch EC 7 eingeordnet.



## 5. EMPFEHLUNGEN

### 5.1 Rohrbettung in offener Bauweise

Im Bereich der Rohrverlegung empfehlen wir aufgrund möglicher schwankender Plastizität und Steifigkeit durch unregelmäßiger Wechsellagerung und möglicher Nässebereiche (Schichtenwasser) in der Rohrgrabensohle die Auflagerung in Anlehnung an die DIN EN 1610, 7.2.1, Bettungstyp 1, Bild 3 auszuführen. Demzufolge ist unterhalb der Rohrleitung bei üblichen Bodenbedingungen eine 100 mm dicke, aus nicht bindigen Böden (Sand/Kies) oder Beton bestehende **Bettungsschicht** vorzusehen. Bei festgelagerten Böden oder Fels beträgt die Dicke der Bettungsschicht 150 mm.

In der vorgesehenen Tiefe der Rohrgrabensohle können ggf. bereichsweise **weiche bindige Böden** anstehen. Sollten weiche bindige Böden angetroffen werden, sind diese mind. 0,3 m unter Grabensohle auszukoffern und durch verdichtungsfähiges, volumenbeständiges und umwelt-neutrales Material mit begrenzten Korngrößen zu ersetzen. Ein entsprechender Bodenaustausch ist vorzusehen. Das Austauschmaterial ist mit geeignetem Gerät zu verdichten. Breiige Böden oder nicht volumenbeständige organische Einlagerungen wurden nicht erkundet. Sollten derartige Böden dennoch in der Aushubsohle auftreten, so sind diese ggf. komplett zu entfernen und auszutauschen.

### 5.2 Wasserhaltung

Für die geplante **Kabelverlegung in offener Bauweise** ist in jedem Fall eine **offene (Rest-) Wasserhaltung** vorzusehen. Gegebenenfalls anfallende Schicht-, Stau- und Sickerwässer sind zusammen mit dem Niederschlagswasser in Pumpensümpfen zu fassen und abzuführen. Das Planum ist mit entsprechendem Gefälle von  $\geq 3\%$  herzustellen.

Im Trassenbereich des Erdkabels der südlichen Leitungseinführung wurde der Bauwasserstand oberhalb der Grabensohle festgelegt (Anlage 3). Allerdings ist aufgrund der z.T. feinkornhaltigen Böden und der damit verbundenen schwachen bis sehr schwachen Durchlässigkeit von einer Beherrschbarkeit mittels **offener Wasserhaltung** auszugehen.

Um genauere Festlegungen bezüglich der Wasserhaltungsmaßnahmen treffen zu können, empfehlen wir Grundwassermessstellen. Zur Verifizierung des Grundwasseranstroms empfehlen wir



einen Kurzzeit-Pumpversuch in den Grundwassermessstellen. Zur weiteren Beobachtung sind ergänzende Pegel (zusätzliche Grundwassermessstellen oder Rammpegel) notwendig; ein Monitoring ist empfehlenswert.

Wir empfehlen prinzipiell eine abschnittsweise Herstellung des Leitungsgraben (kleinflächige Baugruben) sowie die erforderlichen Erdarbeiten in die trockenen Sommermonate zu legen.

Die aus der Wasserhaltung geförderten Wässer müssen schadlos abgeleitet werden. Eine entsprechende Einleitungsgenehmigung muss im Vorfeld eingeholt werden.

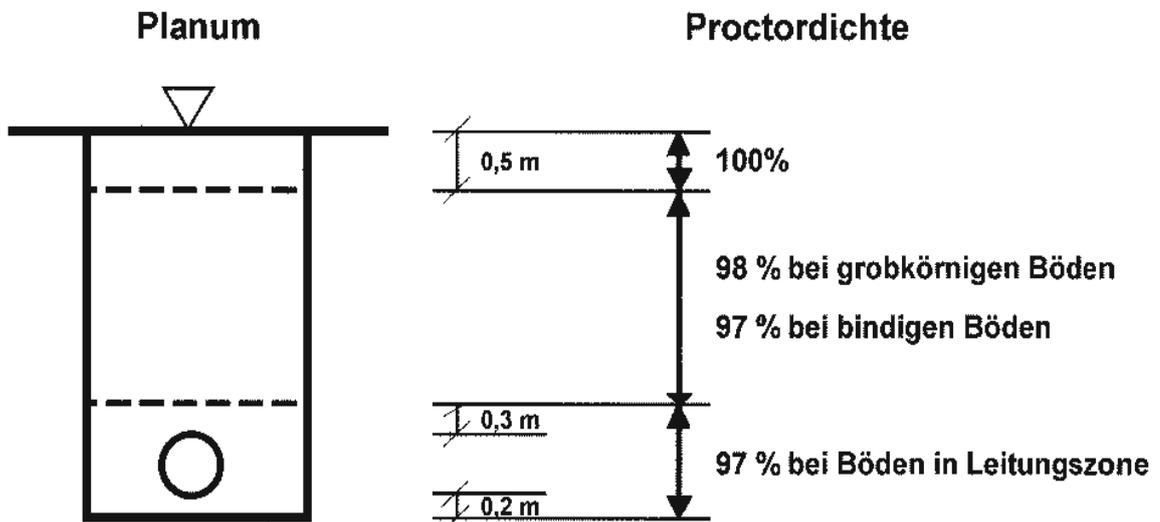
Das Sichern der Arbeiten gegen Niederschlagswasser und dessen Beseitigung, inkl. das Fassen und geordnete Ableiten des anfallenden Tag- und Oberflächenwassers ist gemäß DIN 18 299, VOB Teil C (4.1.10) Nebenleistung und wird nicht gesondert vergütet.

### 5.3 Baugrubenverfüllung

Die Leitungszone, in dem die Kabel bzw. Kabelschutzrohre verlegt werden, wird nach Möglichkeit aus Bettungsmaterial aus dem anstehenden Aushubboden gebildet. An das Bettungsmaterial werden Anforderungen an die Eignung gestellt, die erfüllt sein müssen, um dort Kabelschutzrohre dauerhaft verformungsarm einbauen zu können. Diese Anforderungen sind aus geotechnischer Sicht für die Einbaubarkeit, die Verdichtbarkeit sowie die Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit in dem DWA-A 139 definiert. Die Anforderungen an die Verdichtung liegen dabei bei  $D_{Pr} = 95 \%$  unter begrünten Flächen und  $D_{Pr} = 97 \%$  bei Verkehrsanlagen.

Nach ZTV E-StB 17 und DIN EN 1610 müssen die **Verdichtungsanforderungen** im Kanalgraben gemäß Tabelle 5.3-1 [U 8] erreicht werden. Die Verlegung der Kabelleerrohre sollte sich hieran orientieren. Im Rohrgraben ist entsprechend den Vorgaben der Statik, bei Verkehrsanlagen mind. jedoch auf 97 %  $D_{Pr}$  nachzuverdichten. In der Leitungszone sind die Herstellerangaben für die jeweilige Leitung zu beachten. Große Steine, Bauschutt und sonstige nicht verdichtungsfähige Einlagerungen sind auszusortieren.

Für die Verfüllung des Leitungsgrabens sollten gemäß ZTVE grundsätzlich die in Abbildung 5.3-1 aufgeführten Verdichtungsgrade eingehalten werden.



**Abbildung 5.3-1:** Anforderungen an die Verdichtung in der Leitungszone und im Rohrgraben

Das Verfüllmaterial ist lagenweise einzubauen und unter Berücksichtigung der in der ZTV E-StB 17 geforderten Verdichtungswerte zu verdichten. Als Verfüllmaterial sind Böden der Bodengruppen GW, GI, SW, SI nach DIN 18 196 zu verwenden. Das Aushubmaterial ist aus bodenmechanischer Sicht größtenteils nur nach Aufbereitung (Absieben bzw. qualifizierte Bodenverbesserung) für den Wiedereinbau geeignet.

Bereich	Verdichtungsgrad $D_{pr}$ [%]	Verformungsmodul $E_{v2}$ [MN/m <sup>2</sup> ]
Planum bis 1,0 m Tiefe (nichtbindige und schwach bindige, gemischtkörnige Böden)	100	≥ 45
Planum bis 1,0 m Tiefe (bindige und stark bindige, gemischtkörnige Böden)	97	-
tiefer als 1,0 m unter Planum (nichtbindige und schwach bindige, gemischtkörnige Böden)	98	-
tiefer als 1,0 m unter Planum (bindige und stark bindige gemischtkörnige Böden)	95 / 97 / 98 <sup>1)</sup>	-

1) in Abhängigkeit der Bodengruppen nach DIN EN 1610

**Tabelle 5.3-1:** Verdichtungsanforderungen nach ZTV E-StB 17 und DIN EN 1610



Beim Aushub ist zu beachten, dass feinkörnige und gemischtkörnige Böden (Schicht 3.1) witterungsempfindlich und bei erhöhten Wassergehalten stark bewegungsempfindlich sind. Diese Böden können bei ungünstigen Witterungsbedingungen / Wassersättigung und mechanischer Beanspruchung aufweichen und sich verflüssigen. Der Boden ist dann nicht wieder einbaufähig und auch nicht mehr tragfähig. Dynamische Beanspruchungen dieser Böden sind zu vermeiden. Der Aushub muss rückschreitend erfolgen. Das Aushubgerät ist grundsätzlich mit einer Grabenschaufel (Baggerschaufel mit gerader Schneide) auszurüsten. Damit lässt sich die Aushubsohle weitgehend ohne Störung des Baugrundes herstellen. Die Baugrubensohle darf nicht befahren werden und ist unverzüglich abzudecken bzw. zu überbauen, um die anstehenden Böden vor ungünstigen Witterungseinflüssen zu schützen. Aufgeweichte Bereiche sind vollständig aus der Aushubsohle zu entfernen und gegen ein rolliges, gut verdichtbares, steinfreies Material (Bodengruppen nach DIN 18 196: GW, SW, SI, GI oder Tragschichtmaterial, z. B. 0/45 gemäß ZTV SoB-StB) auszutauschen.

#### 5.4 Bodenlockerung nach Verfüllung

Im Projektgebiet werden die Flächen landwirtschaftlich genutzt. Daher ist vor dem Aufbringen des Mutterbodens im Bereich der landwirtschaftlichen Flächen, dass durch Befahren verdichtete Planum zur Verhinderung von Staunässe z.B. mittels Spatenlockerer bzw. Wippscharlockerer bis mindestens 0,8 m Tiefe, aufzulockern.

Inwiefern wie tief eine **Tiefenlockerung** erforderlich wird, ist davon abhängig, wie tief ggf. vorhandene Fahrspuren infolge von hoher Befahrungsfrequenz bei schlechter Witterung vorhanden sind. Auf den Landwirtschaftsflächen stehen an der Oberfläche überwiegend verdichtungsempfindliche Böden an, die zur Staunässe infolge von Verdichtung durch Befahren führen. Die Abschnitte, in denen eine Tiefenlockerung mittels Spatenlockerung erforderlich ist, sind vor Ort durch die Bauleitung festzulegen.

Es ist unbedingt darauf zu achten, dass die Lockerungsarbeiten **ausschließlich bei trockener Witterung und bei günstigen Wassergehalten** der bindigen Böden durchgeführt werden können. Bei Niederschlägen und Durchweichung bindiger Böden darf nicht aufgelockert werden. Dadurch erfolgen - im Gegensatz zu dem gewünschten Ergebnis - zusätzliche Verdichtungen des Planums. Es wird empfohlen, den Zeitpunkt der Lockerung mit den ortsansässigen Landwirten abzustimmen.



Zur Kontrolle der Lockerungsarbeiten empfehlen wir nach erfolgter Lockerung eine Fremdüberwachung durch den AG.

## **5.5 Sonstige Empfehlungen**

Für die angrenzende bestehende Bebauung und für die wahrscheinlich im Nahbereich der Baumaßnahme vorhandenen Leitungen / Kanäle sowie die Verkehrsflächen wird eine Beweissicherung vor dem Beginn und nach Abschluss der Baumaßnahme empfohlen.

Der anstehende Baugrund und die geotechnischen Eigenschaften sind gemäß Normenhandbuch EC 7-1, Abs.4.3.1 (1)P im Rahmen der Geotechnischen Fachbauüberwachung zu kontrollieren und abzunehmen. Es wird empfohlen den Vortrieb geotechnisch zu überwachen.

Eine Baugrunderkundung ist naturgemäß eine stichprobenartige Bestandsaufnahme, die zwischen den Aufschlüssen Ergebnisse interpoliert. Abweichungen in gewissem Umfang sind somit nicht gänzlich auszuschließen. Bei Abweichungen der angetroffenen Bodenverhältnisse von den in diesem Gutachten beschriebenen ist die Dr. Spang GmbH umgehend zu benachrichtigen.

Sollten geotechnische Fragen auftreten, die im vorliegenden Gutachten nicht bzw. nicht ausreichend behandelt wurden, oder sollten sich Abweichungen bzw. Abänderungen in den Planungen bzw. Annahmen ergeben, die diesem Gutachten zugrunde gelegt wurden, so ist die Dr. Spang GmbH vom Auftraggeber zu informieren und zu einer ergänzenden Stellungnahme aufzufordern.



DR. SPANG

Projekt: 43.9120

Seite 38

18.09.2024

---

Zur Beantwortung weiterer Fragen stehen wir Ihnen gerne jederzeit zur Verfügung.

i.V. (gezeichnet)

i.A. 

Carina Proksche, M.Sc.  
(Teamleiterin)

Alexandra Riedelmeier, M.Sc.  
(Projektgeologin)

- Verteiler:**
- TenneT TSO GmbH, Herr Rippl, Bayreuth, 1 x per Mail an <RudolfWilhelm.Rippl@tennet.eu>
  - Fichtner GmbH & Co. KG, Frau Hartwich, 1 x per Mail an <Jessica.Hartwich@fichtner.de >
  - Dr. Spang GmbH, Nürnberg, 1 x