

Juraleitung

**Ltg.-Abschnitt B-Nord Sittling – Ludersheim\_West  
(LH-08-B171)**

**Planfeststellungsunterlage**

**Materialband 04.3**

**Baugrundhauptuntersuchung Erdkabel**

Antragsteller:



**TenneT TSO GmbH**

Bernecker Straße 70  
95448 Bayreuth

Bearbeitung:



**DR. SPANG**

**DR. SPANG Ingenieurgesellschaft für  
Bauwesen, Geologie und Umwelttechnik  
mbH**

Erlenstegenstraße 72  
90491 Erlangen

<b>Aufgestellt:</b>	TenneT TSO GmbH  i.V. gez.: Julia Gotzler i.V. gez.: Andreas Junginger	Bayreuth, den  27.11.2024
<b>Bearbeitung:</b>	DR. SPANG Ingenieurgesellschaft für Bauwesen, Geologie und Umwelttechnik mbH  i.A. gez.: Olaf Narbut i.A. gez.: Julia Gruber	
<b>Anlagen zum Dokument:</b>	Anlage 1: Übersichtslageplan Anlage 2: Lagepläne mit Aufschlusspunkten Anlage 3: Geotechnische Schnitte Anlage 4: Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse Anlage 4.1: Anlage 4.1: Zeichenerläuterung Baugrunderkundung Anlage 4.2: Anlage 4.2: Kleinrammbohrung (BS) Anlage 4.3: Anlage 4.3: Schwere Rammsondierung (DPH) Anlage 4.4: Kernbohrung (KB) und Grundwassermessstellen (GWM) Anlage 5: Bodenmechanische Laborversuche Anlage 5.1: Wassergehalt Anlage 5.2: Kornverteilung Anlage 5.3: Zustandsgrenzen Anlage 5.5: Glühverlust Anlage 5.19: Wärmeleitfähigkeit Anlage 5.22: Einaxiale Druckfestigkeit Anlage 5.24: Abrasivität, CAI Anlage 6: Setzungsberechnung Anlage 7: Chemische Analytik Anlage 7.1: Auswertung LAGA Anlage 7.2: Laborbefund Anlage 8: Kernfotos	
<b>Änderungs- historie:</b>	<b>Änderung:</b>	<b>Änderungsdatum:</b>



DR. SPANG

INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR BAUWESEN, GEOLOGIE UND UMWELTTECHNIK MBH

TenneT TSO GmbH  
Bernecker Straße 70  
95448 Bayreuth

Projekt-Nr.  
43.8801

Datei  
P8801B230623

Diktat  
Na/Prok/Gru

Büro  
Nürnberg

Datum  
23.06.2023

## **Juraleitung A070 Abschnitt B Nord, Los 6**

### **Erdkabel Mühlhausen**

### **Baugrundhauptuntersuchung**

## **Geotechnisches Trassengutachten**

Bestellung: 4529086882/3111/HX2/NB

Auftrag vom 23.06.2022

**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:** 90491 Nürnberg, Erlengartenstraße 72, Tel. (0911) 964 56 65-0, Fax 964 56 65-5, [nuernberg@dr-spang.de](mailto:nuernberg@dr-spang.de)  
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)  
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-Klaus-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, Nürnberg, IBAN: DE36 7607 0024 0381 6642 00, BIC: DEUTDE33HAN

---

INHALT	SEITE
<b>1. ALLGEMEINES</b>	<b>7</b>
1.1 Projekt	7
1.2 Auftrag	7
1.3 Unterlagen	8
1.4 Untersuchungen	11
<b>2. GEOTECHNISCHE VERHÄLTNISSE</b>	<b>15</b>
2.1 Morphologie, Vegetation und Bebauung	15
2.2 Baugrund	15
2.3 Hydrogeologie / Grundwasser	18
2.4 Bodenmechanische Laborversuche	22
2.5 Umwelttechnische Untersuchungen	30
2.6 Sonstige Randbedingungen und Eigenschaften	35
<b>3. TECHNISCHE EIGENSCHAFTEN UND KENNWERTE</b>	<b>37</b>
3.1 Klassifizierung für bautechnische Zwecke	37
3.2 Bodenkennwerte	38
3.3 Felsmechanische Kennwerte	39
3.4 Homogenbereiche	40
3.4.1 Allgemeines	40
3.4.2 DIN 18 300 Erdarbeiten	41
3.4.3 DIN 18 319 Rohrvortriebsarbeiten	42
3.4.4 DIN 18 320 Landschaftsbauarbeiten	44
<b>4. FOLGERUNGEN</b>	<b>45</b>
4.1 Regelquerschnitt und Rohrleitungen	45
4.1.1 Kabelverlegung in offener Bauweise	45
4.1.2 Querung mittels Rohrvortrieb	46
4.2 Baufeldvorbereitung	48
4.3 Baugruben	49
4.4 Grundwasserhaltung	51
4.5 Geotechnische Kategorie	52

---

<b>5.</b>	<b>EMPFEHLUNGEN</b>	<b>52</b>
5.1	Rohrbettung in offener Bauweise	52
5.2	Rohrvortrieb	53
5.2.1	Allgemeines	53
5.2.2	Setzungsberechnungen	54
5.2.3	Start- und Zielgrube	55
5.3	Wasserhaltung	57
5.4	Baugrubenverfüllung	58
5.5	Bodenlockerung nach Verfüllung	60
5.6	Kabelflugverfahren	60
5.7	Sonstige Empfehlungen	61

## **6. ANLAGEN**

Anlage 1:	Übersichtslageplan (2)
Anlage 2:	Lagepläne mit Aufschlusspunkten (9)
Anlage 3:	Geotechnische Schnitte (6)
Anlage 4:	Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse (1)
Anlage 4.1:	Zeichenerläuterung Baugrunderkundung (2)
Anlage 4.2:	Kleinrammbohrung (BS) (76)
Anlage 4.3:	Schwere Rammsondierung (DPH) (20)
Anlage 4.4:	Kernbohrung (KB) und Grundwassermessstellen (GWM) (11)
Anlage 5:	Bodenmechanische Laborversuche (1)
Anlage 5.1:	Wassergehalt (4)
Anlage 5.2:	Kornverteilung (20)
Anlage 5.3:	Zustandsgrenzen (9)
Anlage 5.4:	entfällt
Anlage 5.5:	Glühverlust (1)
Anlage 5.6 bis 5.18:	entfällt
Anlage 5.19:	Wärmeleitfähigkeit (33)
Anlage 5.20 bis 5.21:	entfällt
Anlage 5.22:	Einaxiale Druckfestigkeit (2)
Anlage 5.22 bis 5.23:	entfällt
Anlage 5.24:	Abrasivität, CAI (2)



DR. SPANG

Projekt: 43.8801

23.06.2023

---

- Anlage 6: Setzungsberechnung (2)
- Anlage 7: Chemische Analytik (1)
- Anlage 7.1: Auswertung LAGA (8)
- Anlage 7.2: Laborbefund (62)
- Anlage 8: Kernfotos (13)

## **1. ALLGEMEINES**

### **1.1 Projekt**

Die TenneT TSO GmbH plant im Zuge des Netzausbaus einen Ersatzneubau der Höchstspannungsleitung „Juraleitung“ auf einer Spannungsebene von 380/220 kV. Der Ersatzneubau der Juraleitung ist größtenteils als Freileitung geplant, wobei in besonderen Situationen auch die Verlegung eines Erdkabels zum Einsatz kommt. Die drei Abschnitte in Katzwang (A West), Ludersheim (A-Ost) und Mühlhausen (B-Nord) sind als Erdkabeltrasse vorgesehen.

Die Länge des Trassenkorridors der Juraleitung beträgt insgesamt ca. 160 km. Dieser ist in die Abschnitte A bis C – von Raitersaich über Ludersheim und Sittling nach Altheim – aufgeteilt. Der Abschnitt B verläuft von Ludersheim (Stadt Altdorf b. Nürnberg) bis Sittling (Neustadt a.d. Donau) [U 2].

Gegenstand dieses Gutachtens ist die Baugrundhauptuntersuchung im Abschnitt B-Nord, östlich von Mühlhausen. Die Trasse ist hier als Erdkabel mit einer Länge von ca. 2,65 km geplant. Dies umfasst auch die Querung von Verkehrswegen (hier Gemeindeverbindungsstraße).

### **1.2 Auftrag**

Auf Basis unseres Angebots A 43.17689 vom 25.05.2022 wurde von der TenneT TSO GmbH mit dem Schreiben vom 23.06.2022 (Bestellnummer 4529086882/3111/HX2/NB) der Dr. Spang GmbH der Auftrag erteilt, die entsprechenden Leistungen auszuführen.

Die ausgeschriebenen Leistungen umfassen die Durchführung der Baugrunderkundung und -untersuchung inkl. der damit verbundenen bodenmechanischen Laborversuche und Schadstoffuntersuchungen. Des Weiteren ist der Ausbau von Grundwassermessstellen vorgesehen. Abschließend ist ein entsprechendes geotechnisches Gutachten für die Verlegung der 380-kV-Leitung im Bereich Mühlhausen, Abschnitt B-Nord zu erstellen.

### 1.3 Unterlagen

Es wurden die nachfolgend aufgeführten Unterlagen verwendet:

- [U 1] **Technischer Bericht, Baugrundvoruntersuchung A070, geologischer Bericht Abschnitt B-Nord**; Projekt-Nr.: P012547, Version V1.0, Bernard Gruppe ZT GmbH, Hall in Tirol, 03.02.2022.
- [U 2] **Juraleitung**; <https://www.tennet.eu/de/de/projekte/juraleitung#1162>, TenneT TSO GmbH, Abruf am 02.01.2023.
- [U 3] **Rohtrassenband Mühlhausen**; zur Verfügung gestellt durch imp GmbH, Fr. Senta Meinecke, 02.02.2023.
- [U 4] **Trassenachse Mühlhausen, inkl. Stationierung**; zur Verfügung gestellt durch imp GmbH, Fr. Senta Meinecke, 29.11.2022.
- [U 5] **RStO 12, Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen**; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Infrastrukturmanagement, Ausgabe 2012.
- [U 6] **Kampfmittelvoruntersuchung, Lage der Auswertefläche**; BV A070 – Ersatzneubau 380-kV Raitersaich-Altheim – Abschnitt Mühlhausen (Vorauswertung III), IABG mbH, Ottobrunn, 05.08.2022.
- [U 7] **Vollzug des Bayerischen Denkmalschutzgesetzes (BayDSchG)**; HSL Strom: EGV Raitersaich – Altheim, 380-kV Juraleitung, Ersatzneubau, Bohrpunkte in der Gemeinde Mühlhausen, Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, München, 18.10.2022.
- [U 8] **Prämissen Feinplanung Trassierung Erdkabel**; PowerPoint-Präsentation, TenneT TSO GmbH, 20.12.2022.
- [U 9] **Vorbehaltsgebiete für Bodenschätze**; zur Verfügung gestellt durch imp GmbH, Fr. Senta Meinecke, 12.07.2022.





- [U 10] **A070 Erdkabel Mühlhausen**; Angaben zur Leitungsachse und den Querungen, bereitgestellt per Email, imp GmbH, Fr. Senta Meinecke, 02.02.2023.
- [U 11] **Typicals Querung**; bereitgestellt per Email, imp GmbH, Fr. Senta Meinecke, 13.02.2023.
- [U 12] **Handbuch Bauen und Errichten**; 2.2.3 Baugrunduntersuchung, TenneT TSO GmbH, 14.10.2016.
- [U 13] **Geologische Karte von Bayern mit Erläuterungen, Blatt Berching (6834), M 1 : 25.000**; Bayerisches Geologisches Landesamt, München, 1981.
- [U 14] **DIN EN 1997-2**; Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds, DIN EN 1997-2:2010-10 und DIN EN 1997-2/NA:2010-12.
- [U 15] **DIN 4020**; Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2, DIN 4020:2010-12.
- [U 16] **DIN 18196**; Erd- und Grundbau – Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke, DIN 18196:2011-05.
- [U 17] **LAGA-Merkblatt 20**; Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen / Abfällen, Mitteilung der Ländergemeinschaft Abfall (LAGA) Nr. 20, Stand 06.11.1997.
- [U 18] **Technische Richtlinie (TRL) zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Böden und Bettungsmaterialien**; Wessolek, Trinks und Bohne, TU Berlin, Institut für angewandte Bodenkunde, Berlin, Februar 2019.
- [U 19] **Technische Richtlinien des DCA**, Informationen und Empfehlungen für Planung, Bau und Dokumentation von HDD-Projekten, 4. Auflage, Verband Güteschutz Horizontalbohrungen e.V., Aachen, Februar 2015.

- [U 20] **Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesen und Sanden aus der Kornverteilung;** Wolfgang Beyer, In: Wasserwirtschaft-Wassertechnik (WWT) 14. Jahrgang, S. 165 – 169, 1964.
- [U 21] **Grundbautaschenbuch Teil 1 bis 3; 8. Auflage;** Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 2017.
- [U 22] **ZTV E-StB 17 – Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau;** Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe „Erd- und Grundbau“, 2017.
- [U 23] **UmweltAtlas Bayern;** <https://www.umweltatlas.bayern.de/>, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Abruf am 03.01.2023.
- [U 24] **BayernAtlas;** <https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/>, Bayerisches Staatsministerium der Finanzen und für Heimat / Bayerische Vermessungsverwaltung, Abruf am 04.01.2023.
- [U 25] **Geoviewer;** <https://geoviewer.bgr.de/>, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Abruf am 04.01.2023.
- [U 26] **Abrasivitätsuntersuchungen an Lockergesteinen im Hinblick auf die Gebirgslösung;** Thuro et al., in Deutsche Gesellschaft für Geotechnik: Beiträge zur 29. Baugrundtagung, 27. – 29. Sept. 2006 in Bremen, Seite 283 ff, Bremen, 2006.
- [U 27] **Technische Richtlinie (TRL) zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Böden und Bettungsmaterialien;** Wessolek, Trinks und Bohne, TU Berlin, Institut für angewandte Bodenkunde, Berlin, Februar 2019.

## 1.4 Untersuchungen

Zur Erkundung der Baugrundverhältnisse des untersuchten Abschnitts B-Nord bei Mühlhausen wurden insgesamt **76 Kleinrammbohrungen** (BS) nach DIN EN ISO 22 475-1 (Schappen-Ø 40 – 80 mm), **20 Schwere Rammsondierungen** (DPH) nach DIN EN ISO 22 476-2 und **sechs Kernbohrungen** (KB) durchgeführt. **Fünf** der Kernbohrungen wurden zu **Grundwassermessstellen** (GWM) nach DIN 4021 ausgebaut.

An 50 Standorten wurden Kleinrammbohrungen mit einer max. Erkundungstiefe von 4,0 bzw. 8,0 m (im Bereich von der geplanten Start- und Zielgrube der Querung) und Rasterabständen von ca. 50 m zueinander unter die bestehende Geländeoberkante (GOK) durchgeführt. An 26 Standorten davon wurden zusätzliche Kleinrammbohrungen bis zu einer max. Erkundungstiefe von 2,0 m u. GOK direkt neben der jeweiligen ersten BS abgeteuft (MH-BSxx\_2), um eine größere Probenmenge für die geforderten Identifikationsversuche zu gewinnen. Diese Kleinrammbohrungen werden im Folgenden nicht separat aufgeführt. In regelmäßigen Abständen von ca. 150 bis 200 m zueinander entlang der Trasse wurden begleitend zu den Kleinrammbohrungen 14 Schwere Rammsondierungen mit einer max. Erkundungstiefe bis 4,0 bzw. 8,0 m u. GOK durchgeführt. Über die Trassenachse verteilt und u.a. im Bereich der geplanten Querung wurden sechs Kernbohrungen (Trockenbohrungen) mit begleitenden Schweren Rammsondierungen bis in eine Erkundungstiefe von 10,0 m u. GOK durchgeführt. Ein Großteil der Kernbohrungen wurden zu Grundwassermessstellen ausgebaut. 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 bzw. KB / DPH [m u. GOK]
MH-BS 1	679164,52	5449094,13	399,3	4,0
MH-BS 2	679173,80	5449143,26	399,5	4,0
MH-BS 3	679183,09	5449192,39	399,5	4,0
MH-BSDPH 4	679192,73	5449241,44	399,5	4,0 / 4,0
MH-BS 5	679217,37	5449284,34	399,8	4,0
MH-BS 6	679253,17	5449319,23	399,7	4,0
MH-KBDPHGWM 7	679297,21	5449362,06	400,1	10,0 / 10,0
MH-BSDPH 8	679324,98	5449388,83	400,1	4,0 / 4,0
MH-BS 9	679360,89	5449423,63	400,5	4,0
MH-BS 10	679395,49	5449459,58	401,0	4,0



DR. SPANG

Projekt: 43.8801

23.06.2023

Bezeichnung und Art des Aufschlusses <sup>2)</sup>	Rechtswert <sup>1)</sup>	Hochwert <sup>1)</sup>	Ansatzhöhe [m NHN]	Endteufe BS bzw. KB / DPH [m u. GOK]
MH-BSDPH 11	679392,80	5449534,71	401,1	5,6 / 6,5
MH-KBDPH 12	679382,79	5449552,27	401,3	10,0 / 6,5
MH-KBDPHGWM 13	679381,72	5449596,72	402,6	10,0 / 6,6
MH-BSDPH 14	679333,16	5449639,09	400,9	6,0 / 6,1
MH-BS 15	679308,34	5449682,49	400,6	4,0
MH-BS 16	679283,53	5449725,90	400,2	4,0
MH-BSDPH 17	679258,71	5449769,31	400,6	4,0 / 4,0
MH-BS 18	679237,78	5449814,46	401,0	4,0
MH-BS 19	679233,69	5449864,23	401,7	4,0
MH-BS 20	679231,22	5449914,17	402,4	3,6
MH-KBDPHGWM 21	679228,75	5449964,11	403,3	10,0 / 3,5
MH-BS 22	679226,28	5450014,05	404,9	3,1
MH-BS 23	679223,81	5450063,98	406,1	2,9
MH-BS 24	679221,34	5450113,92	407,6	3,2
MH-BSDPH 25	679218,87	5450163,86	408,7	2,9 / 3,0
MH-BS 26	679216,40	5450213,80	410,0	3,2
MH-BS 27	679213,93	5450263,74	411,5	3,7
MH-BS 28	679211,46	5450313,68	412,6	4,0
MH-BSDPH 29	679208,99	5450363,62	413,1	4,0 / 4,0
MH-BS 30	679206,52	5450413,56	413,6	4,0
MH-BS 31	679204,05	5450463,50	414,5	4,0
MH-BS 32	679201,58	5450513,43	415,3	4,0
MH-BSDPH 33	679199,11	5450563,37	416,7	4,0 / 4,0
MH-BS 34	679196,64	5450613,31	418,1	4,0
MH-BSDPH 35	679193,21	5450682,35	419,2	4,0 / 4,0
MH-BS 36	679191,70	5450713,19	419,6	4,0
MH-BSDPH 37	679189,29	5450760,27	420,0	4,0 / 4,0
MH-BS 38	679186,76	5450813,07	420,4	4,0
MH-BS 39	679184,29	5450863,01	421,5	4,0
MH-BS 40	679181,82	5450912,95	422,0	4,0
MH-BSDPH 41	679179,35	5450962,89	422,4	4,0 / 4,0
MH-BS 42	679176,88	5451012,82	422,9	4,0
MH-BS 43	679174,41	5451062,76	422,6	5,0
MH-BS44	679171,94	5451112,70	422,5	4,0
MH-BSDPH 45	679169,47	5451162,64	422,4	4,0 / 4,0
MH-BS 46	679164,05	5451212,42	421,2	4,0



Bezeichnung und Art des Aufschlusses <sup>2)</sup>	Rechtswert <sup>1)</sup>	Hochwert <sup>1)</sup>	Ansatzhöhe [m NHN]	Endteufe BS bzw. KB / DPH [m u. GOK]
MH-KBDPHGWM 60	679169,38	5450743,41	419,1	10,0 / 6,5
MH-BS 61	679130,21	5451249,11	420,6	4,0
MH-BS 62	679081,05	5451255,05	419,1	4,0
MH-BSDPH 63	679031,08	5451255,55	417,4	4,0 / 4,0
MH-BS 64	678988,30	5451278,97	417,0	4,0
MH-BS 65	678974,62	5451308,77	417,4	4,0
MH-BS 66	678970,53	5451356,01	418,0	4,0
MH-KBDPHGWM 67	678959,51	5451403,87	419,1	10,0 / 10,0
MH-BSDPH 68	678965,50	5451422,30	417,6	4,0 / 4,0
MH-BS 69	678962,91	5451449,08	419,0	4,0

1) Koordinatensystem ETRS89 / UTM Zone 32N

2) BS: Kleinrammbohrung, DPH: Schwere Rammsondierung, KB: Kernbohrung, GWM: Grundwassermessstelle

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

Die Kleinrammbohrungen und die Rammsondierungen wurden von November 2022 bis März 2023 durchgeführt und die Kernbohrungen sowie der Ausbau zu Grundwassermessstellen von November 2022 bis Mai 2023. Die Kleinrammbohrungen und Rammsondierungen wurden durch Mitarbeiter der Dr. Spang GmbH ausgeführt und die Kernbohrungen sowie der Ausbau zu Grundwassermessstellen durch die Behringer + Dittmann Bohrgesellschaft mbH.

Die Aufschlusspunkte wurden von der Dr. Spang GmbH in Abstimmung mit der TenneT TSO GmbH in einem Abstandsraaster von ca. 50 m festgelegt. Bereichsweise wurden die Punkte in Abhängigkeit der örtlichen Gegebenheiten geringfügig verschoben.

Alle Aufschlüsse wurden lage- und höhenmäßig mit einem GNSS-Gerät eingemessen. Die Lage der Untersuchungsgebiete ist in dem Übersichtsplan 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) / 14 689 (Fels) geotechnisch aufgenommen und nach DIN 18 196 gruppiert. Die Ergebnisse der Bohrgutaufnahmen sind

gemäß DIN 4023 in Anlage 4.2 (BS) und 4.4 (KB, GWM) 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 und Kernbohrungen wurden durch die Dr. Spang GmbH Proben für boden- bzw. felsmechanische und chemische Laboruntersuchungen entnommen.

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

Versuch	Norm / Richtlinie	Anzahl
Korngrößenverteilung	DIN EN ISO 17 892-4	18
Wassergehalt	DIN EN ISO 17 892-1	27
Konsistenzgrenzen	DIN EN ISO 17 892-12	9
Glühverlust	DIN 18 128	1
Wärmeleitfähigkeit	Nadelsonden-Verfahren	33

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

Zur Bestimmung bzw. Erhebung felsmechanischer Eigenschaften wurden folgende Untersuchungen an ausgewählten Festgesteinsproben durchgeführt:

Versuch	Norm / Richtlinie	Anzahl
Abrasivität (CAI)	NF P 94-430-1	2
Einaxialer Druckversuch	DGGT-Empfehlung Nr. 1	2

**Tabelle 1.4-3:** 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 hinsichtlich einer Verwertung bzw. Wiedereinbau erfolgte ergänzend eine **chemische Untersuchung** der erkundeten Böden nach LAGA M 20 (Tab. II 1.2-1) [U 17] 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**

Die betreffende Erdkabeltrasse bei Mühlhausen verläuft über 2,65 km Länge in Nord-Süd-Richtung parallel zur Bundesstraße 299 und dem Ludwig – Donau – Main - Kanal. Sie beginnt südwestlich von Weiherndorf und endet westlich von Wangen. Gequert wird die Gemeindeverbindungsstraße zwischen Mühlhausen und Weiherndorf. Der Trassenabschnitt liegt in der Gemeinde Mühlhausen im Oberpfälzer Landkreis Neumarkt.

In dem insgesamt leicht hügeligen Gelände verläuft die Trasse in Höhenlagen zwischen ca. 423 m NHN und ca. 400 m NHN mit abfallender Geländehöhe von Norden nach Süden [U 3]. Aufgrund der den Untergrund aufbauenden Tonsteine, bilden sich weiche Landschaftsformen heraus [U 13].

Entlang der Trassenführung werden Straßen, Feldwege, Bestandleitungen sowie Oberflächenabflusssrinnen gekreuzt. Auf den betreffenden Flächen herrscht vorwiegend Ackerbau vor, der südliche Trassenbereich ist bewaldet (ca. 300 m).

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

### **2.2 Baugrund**

Der tiefere Untergrund entlang der Trasse bei Mühlhausen wird im Wesentlichen durch die 65 – 70 m mächtige Opalinuston-Formation des Dogger-Alpha (Jura) aufgebaut. Gemäß der geologischen Karte [U 13] und [U 24] handelt es sich hierbei um blau- bis schwarzgraue Ton- und Tonmergelsteine. Diese werden größtenteils von pleistozänen Flussablagerungen (Sand und Kies, z.T. unter Flusslehm oder Flussmergel) überdeckt. Im südlichen Bereich sind überlagernd polygenetische oder fluviatile Talfüllungen zu finden. Im Nahbereich von bebauten Flächen ist außerdem mit künstlichen Auffüllungen bzw. umgelagerten Böden zu rechnen.

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

**Schicht 0 – Mutterboden:** An nahezu allen Bohrungen wurde oberflächennah ein ca. 0,1 – 0,9 m mächtiger Mutterboden angetroffen. Bei dem Mutterboden handelt es sich überwiegend um Sande mit unterschiedlichem Feinkorngehalt bzw. um sandige Schluffe und Tone. Der Mutterboden weist einen lokal variierenden Anteil an humosen Beimengungen auf. Die Schicht 0 (Mutterboden) ist meist in lockerer bis mitteldichter Lagerung bzw. in weicher bis steifer Konsistenz erkundet.

**Schicht 1 – quartäre Sedimente:** Unterhalb des Mutterbodens wurden fluviatile und gravitative Ablagerungen in unterschiedlicher Mächtigkeit erkundet. Diese werden aufgrund ihrer unterschiedlichen bodenmechanischen Eigenschaften in **Auelehme der Schicht 1.1** – untergeordnet auch Hanglehme – und **Terrassensande/-kiese der Schicht 1.2** unterteilt. Die grob- bis gemischtkörnigen quartären Sedimente (Schicht 1.2) wurden als graue und braune bis gelblichbraune Sande – untergeordnet auch als Kiese – mit einem schwachen Feinkorngehalt in lockerer bis mitteldichter Lagerung angetroffen. Bindige quartäre Sedimente (Schicht 1.1) wurden in Form von grauen und (hell)braunen bis gelblichbraunen feinkornhaltigen Sanden und Kiesen sowie Tonen und Schluffen mit variierendem Sand- und Kiesanteil angetroffen. Diese weisen meist eine steife, lokal auch eine weiche Konsistenz auf.

**Schicht 2 – Verwitterungstone:** Am Übergang der Lockergesteinsüberdeckungen zu dem anstehenden Festgestein wurden bindige Verwitterungstone in Form von dunkelgrauen und graubraunen Tonen mit fehlendem bis geringem Sand- und Kiesanteil angetroffen. Diese weisen eine überwiegend steife bis halbfeste – lokal auch weiche bis steife – Konsistenz auf.

**Schicht 3 – Opalinuston:** Unter dem Zersatzhorizont ist das Festgestein zu erwarten. Hierbei handelt es sich um dunkelgraue **Ton- und Tonmergelsteine** der Opalinuston-Formation, welche verfahrensbedingt mit den durchgeführten Kleinrammbohrungen nicht direkt aufgeschlossen werden konnten. Einzig mit den Kernbohrungen MH-KBDPHGWM 13 und MH-KBDPHGWM 60 wurde der Festgesteinshorizont ab ca. 5,5 bzw. 3,4 m u. GOK erkundet.

Nicht alle Kleinrammbohrungen und Schweren Rammsondierungen konnten 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. Die Kernbohrungen wurden bis zur geplanten Tiefe ausgeführt, wobei das bereichsweise vorhandene Festgestein aufgeschlossen wurde. Neben den Angaben aus der



geologischen Karte [U 13] und [U 24] wurden bei der Beschreibung des Festgesteins auch die erkundeten Festgesteine der Kernbohrungen berücksichtigt. Die vermutete Tiefenlage der Felsoberkante ist der Anlage 3 zu entnehmen.

Die Tiefenlage der Felsoberkante (FOK) kann bei Erreichen des Festgesteins in den Kernbohrungen (KB) am Aufschlusspunkt definiert werden. Wird bei den Kleinrammbohrungen (BS) die angestrebte Endteufe durch vorherigen Stillstand nicht erreicht, kann mit einer vermuteten FOK ab Endteufe der Bohrung gerechnet werden. Für den Fall, dass eine Schwere Rammsondierung parallel zur Kleinrammbohrung 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  $15 \text{ cm}^2$ ) 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 vor- täuscht 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 13] und [U 24].

## 2.3 Hydrogeologie / Grundwasser

Die Bewertung der Grundwasserstände wurde nach DIN EN 1997-2, 3.6.3 auf Grundlage der verfügbaren Informationen vorgenommen. Bestands-Grundwassermessstellen sind gemäß der Baugrundvoruntersuchung in [U 1] sowie nach [U 23] in greifbarer Entfernung nicht vorhanden, sodass auf entsprechende Messdaten nicht zurückgegriffen werden konnte. Da zuverlässige Daten von Langzeitmessungen für die unmittelbaren Bereiche der geplanten Trasse fehlen, ist es erforderlich, den Bemessungswasserstand und den Bauwasserstand vorsichtig auf Grundlage der begrenzt verfügbaren Informationen abzuschätzen. Die bisher gemessenen Wasserstände der neu errichteten Grundwassermessstellen fließen in diese Abschätzung ebenfalls ein.

In ca. 500 m Entfernung befindet sich parallel zur geplanten Trasse der Ludwig-Donau-Main-Kanal. Im Süden der Trasse fließt von Osten nach Westen der Entenbach [U 24].

In den oberflächennahen quartären Sedimenten (Schicht 1) ist ein Porengrundwasserleiter (quartärer Grundwasserleiter) mit variierender Mächtigkeit ausgebildet. Bei den tiefer liegenden Tonsteinen der Opaliuston-Formation (Schicht 3) handelt es sich um einen Grundwassergering- bis Grundwasserernichtleiter [U 25]. Diese fungieren somit als Grundwasserstauer.

In Tabelle 2.3-1 sind die Kleinrammbohrungen und Kernbohrungen aufgeführt, in denen bei Bohrende Wasseranschnitte gemessen wurden.

Bezeichnung und Art des Aufschlusses <sup>1)</sup>	Wasseranschnitt		Bodenart <sup>3)</sup>	Schicht-Nr.
	[m u. GOK]	[m NHN]		
MH-BS 1	2,80 <sup>2)</sup>	396,52	S	1.2
MH-BS 2	2,00 <sup>2)</sup>	397,46	S, u'	1.2
MH-BS 3	2,30 <sup>2)</sup>	397,23	S	1.2
MH-BSDPH 4	1,90 <sup>2)</sup>	397,64	S	1.2
MH-BS 5	2,10 <sup>2)</sup>	397,73	S	1.2
MH-BS 6	2,20 <sup>2)</sup>	397,50	S	1.2
MH-KBDPHGWM 7	2,02	398,07	S	1.2
MH-BSDPH 8	1,45	398,63	S	1.2
MH-BS 9	1,45	399,03	S	1.2
MH-BS 10	1,00	400,03	S, fg'	1.2



Bezeichnung und Art des Aufschlusses <sup>1)</sup>	Wasseranschnitt		Bodenart <sup>3)</sup>	Schicht-Nr.
	[m u. GOK]	[m NHN]		
MH-BSDPH 11	1,85	399,24	S, u'	1.2
MH-KBDPH 12	1,21	400,08	S	1.2
MH-BSDPHGWM 13	1,40	400,51	S	1.2
MH-BS 15	0,80	399,75	gS	1.2
MH-BS 16	0,85	399,36	S	1.2
MH-BSDPH 17	1,25	399,36	S, u'	1.2
MH-BS 18	1,35	399,66	S, u'	1.2
MH-BS 19	0,90	400,77	S, u'	1.2
MH-BS 20	1,30	401,07	S, u, g'	1.1
MH-KBDPHGWM 21	1,09	402,19	S	1.2
MH-BS 24	1,49	406,08	T, u, g'	1.1
MH-BS 32	1,00	414,29	S, u – u'	1.1
MH-BSDPH 33	1,00	415,74	S, u', g'	1.2
MH-BS 34	0,70	417,40	S, u'	1.2
MH-BS 35	1,07	418,17	S	1.2
MH-BS 36	1,05	418,52	S, u'	1.2
MH-KBDPHGWM 60	1,10	417,93	S	1.2
MH-BS 38	0,80 <sup>2)</sup>	419,59	S	1.2
MH-BS 40	2,10 <sup>2)</sup>	419,89	S, u'	1.2
MH-BS 43	1,77	420,86	S, u'	1.2
MH-BS 46	2,92	418,31	S, u, g'	1.1
MH-BS 61	3,08	417,48	S	1.2
MH-BS 62	2,62	416,46	S, u'	1.2
MH-BS 63	2,21	415,15	S	1.2
MH-BS 64	2,48	414,50	S	1.2
MH-BS 65	2,50	414,86	S	1.2
MH-BS 66	3,00	414,96	S	1.2
MH-BS 67	4,00	415,01	S	1.2
MH-BS 68	2,52	415,04	S, u	1.1
MH-BS 69	3,65	415,31	S	1.2

1) BS: Kleinrammbohrung, DPH: Schwere Rammsondierung, KB: Kernbohrung, GWM: Grundwassermessstelle

2) Wasserstand vermutet, da das Bohrloch vor der Messung oberhalb des vermuteten Wasserstandes zugefallen ist

3) DIN EN ISO 14 688 / DIN 4023

**Tabelle 2.3-1:** Wasseranschnitte in den Kleinrammbohrungen und Kernbohrungen

Aufgrund der vorhandenen Schichten mit hohem Feinkornanteil und stark variierenden Durchlässigkeiten besonders innerhalb der bindigen (fein- und gemischtkörnigen) Sedimente (Schicht 1.1) sowie der unterlagernden Tone (Zersatz, Schicht 2) mit sehr geringen Durchlässigkeiten ist im gesamten Projektgebiet mit **Schichtwasserhorizonten** und **Staunässe** zu rechnen.

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

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

Die gemessenen Wasserstände sowie der Bau- und Bemessungswasserstand können der Anlage 3 entnommen werden.

Aus den Körnungslinien der Böden wurden Durchlässigkeitsbeiwerte ( $k_f$ -Werte) aus den durchgeführten Siebungen nach DIN EN ISO 17 892-4 nach Beyer [U 20] bestimmt (Anlage 5) und den Baugrundsichten zugeordnet (Tabelle 2.3-2).

Bezeichnung und Art des Aufschlusses	Tiefe [m u. GOK]	Bodenart <sup>2)</sup>	Schicht-Nr.	Durchlässigkeitsbeiwert <sup>1)</sup> $k_f$ [m/s]
MH-BS 2	1,2 – 2,0	S	1.2	$2,5 \times 10^{-4}$
MH-BSDPH 4	1,0 – 2,0	S	1.2	$3,2 \times 10^{-4}$
MH-BS 6	0,8 – 2,0	S	1.2	$2,0 \times 10^{-4}$
MH-BS 9	2,0 – 2,9	S	1.2	$2,2 \times 10^{-4}$
MH-BSDPH 11	1,3 – 2,3	S, u'	1.2	$6,8 \times 10^{-5}$
MH-BS 15	1,2 – 2,3	S, u'	1.2	$8,5 \times 10^{-5}$
MH-BSDPH 17	1,0 – 2,0	S, u'	1.2	$5,6 \times 10^{-5}$

Bezeichnung und Art des Aufschlusses	Tiefe [m u. GOK]	Bodenart <sup>2)</sup>	Schicht-Nr.	Durchlässigkeitsbeiwert <sup>1)</sup> $k_f$ [m/s]
MH-BS 19	0,8 – 1,9	S, u'	1.2	$1,6 \times 10^{-4}$
MH-BSDPH 41	0,9 – 2,0	S, t'	1.2	$3,8 \times 10^{-5}$
MH-BS 43	1,2 – 2,0	S, u'	1.2	$1,6 \times 10^{-4}$
MH-BSDPH 45	1,4 – 2,2	S	1.2	$2,8 \times 10^{-4}$
MH-BS 61	1,6 – 2,8	S	1.2	$3,6 \times 10^{-4}$
MH-BSDPH 63	1,6 – 2,8	S	1.2	$4,2 \times 10^{-4}$
MH-BS 65	1,4 – 2,7	S	1.2	$3,1 \times 10^{-4}$
MH-BS 69	0,8 – 2,0	S	1.2	$4,1 \times 10^{-4}$

1) Nach Beyer, 1964 [U 20]

2) DIN EN ISO 14 688 / DIN 4023

**Tabelle 2.3-2:** Bestimmung des  $k_f$ -Werts

Die Durchlässigkeiten der angetroffenen Schichten können als Bandbreiten gemäß DIN 18 130 unter Berücksichtigung der durchgeführten Laborversuche und Berechnungen sowie nach Erfahrungswerten wie folgt eingeschätzt werden (Tabelle 2.3-3).

Schicht Nr.	Bezeichnung	Durchlässigkeitsbeiwert $k_f$ [m/s]	Bezeichnung gemäß DIN 18 130
LOCKERGESTEIN			
1.1	Auelehme	$1 \times 10^{-6}$ bis $1 \times 10^{-11}$	schwach durchlässig bis sehr schwach durchlässig
1.2	Terrassensande/-kiese	$1 \times 10^{-3}$ bis $1 \times 10^{-6}$	stark durchlässig bis schwach durchlässig
2	Verwitterungston	$1 \times 10^{-7}$ bis $1 \times 10^{-11}$	schwach durchlässig bis sehr schwach durchlässig
FESTGESTEIN			
3	Opalinuston	$< 1 \times 10^{-8}$ ( $1 \times 10^{-2}$ <sup>1)</sup> )	sehr schwach durchlässig

1) Gestein sehr schwach durchlässig, Wasserdurchlässigkeit an Trennflächen gebunden

**Tabelle 2.3-3:** Durchlässigkeiten

Wasseranalysen bezüglich der Beton- und Stahlaggressivität wurden nicht durchgeführt.

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

Gemäß [U 24] befindet sich der Trassenabschnitt Mühlhausen außerhalb von Trinkwasserschutzgebieten und Heilquellenschutzgebieten. Die Erdkabeltrasse liegt außerhalb von festgesetzten Überschwemmungsgebieten und Hochwassergefahrenflächen. Die Bohrpunkte MH-BSDPH 8, MH-BS 9, MH-BS 10, MH-BS 15, MH-BS 16, MH-BSDPH 17, MH-BS 18, MH-BSDPH 45, MH-BS 46, MH-KBDPHGWM 60, MH-BS 61, MH-BS 62, MH-BSDPH 63, MH-BS 64, MH-BS 65, MH-BS 66, MH-KBDPHGWM 67, MH-BSDPH 68 und MH-BS 69 liegen innerhalb von wassersensiblen Bereichen.

## 2.4 Bodenmechanische Laborversuche

Zur detaillierteren bodenmechanischen Bewertung der anstehenden Locker- und Festgesteine sowie zur Klassifizierung und Festlegung der Boden- und Felskennwerte wurden von der Dr. Spang GmbH an ausgewählten Boden- und Gesteinsproben boden- und felsmechanische Laborversuche (Anlage 5) durchgeführt:

- 18 x Bestimmung der Korngrößenverteilung nach DIN EN ISO 17 892-4;
- 9 x Bestimmung der Konsistenzgrenzen nach DIN EN ISO 17 892-12;
- 27 x Bestimmung des Wassergehalts nach DIN EN ISO 17 892-1;
- 1 x Bestimmung des Glühverlusts nach DIN 18 128;
- 33 x Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mittels Nadelsonden-Verfahren;
- 2 x Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit nach DGGT-Empfehlung Nr. 1;
- 2 x Bestimmung der Abrasivität (CAI) nach NF P 94-430-1.

Zur Bestimmung der **Korngrößenverteilung** wurden entlang des Trassenverlaufs an 18 ausgewählten Proben Siebungen nach DIN EN ISO 17 892-4 durchgeführt. Die Ergebnisse der Korngrößenanalyse werden in der Tabelle 2.4-1 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>Terrassensande/-kiese (Schicht 1.2)</b>				
MH-BS 2	1,2 – 2,0	3,2	S	SE
MH-BSDPH 4	1,0 – 2,0	2,4	S	SE
MH-BS 6	0,8 – 2,0	4,0	S	SE

Aufschluss	Tiefe [m u. GOK]	Schlammkorn <sup>1)</sup> [%]	Bodenart <sup>2)</sup>	Bodengruppe <sup>3)</sup>
MH-BS 9	2,0 – 2,9	4,6	S	SE
MH-BSDPH 11	1,3 – 2,3	8,2	S, u'	SU
MH-KBDPHGWM 13	1,5 – 2,0	9,6	S, u'	SU
MH-BS 15	1,2 – 2,3	7,8	S, u'	SU
MH-BSDPH 17	1,0 – 2,0	8,7	S, u'	SU
MH-BS 19	0,8 – 1,9	6,3	S, u'	SU
MH-BS 31	1,4 – 1,9	11,6	S, g*, u'	SU, GU
MH-BSDPH 41	0,9 – 2,0	9,3	S, u'	SU
MH-BS 43	1,2 – 2,0	5,5	S, u'	SU
MH-BSDPH 45	1,4 – 2,2	2,5	S	SE
MH-BS 61	1,6 – 2,8	2,0	S	SE
MH-BSDPH 63	1,6 – 2,8	1,3	S	SE
MH-BS 65	1,4 – 2,7	2,6	S	SE
MH-KBDPHGWM 67	1,4 – 2,0	4,6	S	SE
MH-BS 69	0,8 – 2,0	1,3	S	SE

1) Korngröße  $\leq 0,063$  mm

2) DIN EN ISO 14 688 / DIN 4023

3) DIN 18 196

**Tabelle 2.4-1:** Ergebnisse der Korngrößenverteilungsuntersuchung nach DIN EN ISO 17 892-4

Die Bodenproben aus der **Schicht 1.2 (Terrassensande/-kiese)** sind mit einem Schlammkornanteil von ca. 1,3 – 11,6 Gew.-% gemäß der DIN 18 196 als grob- bis gemischtkörnige Böden einzustufen und den **Bodengruppen SE, SU und untergeordnet GU** zuzuordnen.

An neun ausgewählten Bodenproben wurden **Plastizitätsuntersuchungen** nach DIN EN ISO 17 892-12 zur Bestimmung der Atterberg'schen Zustandsgrenzen durchgeführt. Die Tabelle 2.4-2 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>Auelehme (Schicht 1.1)</b>								
MH-BS 23	1,1 – 1,9	T	30,2	62,4	40,8	0,79	steif	TA
MH-BS 39	1,5 – 2,2	T, u, s	19,8 <sup>4)</sup>	30,1	16,8	0,61	weich	TL
<b>Verwitterungstone (Schicht 2)</b>								
MH-BSDPH 25	0,9 – 1,9	T, u', s'	22,8 <sup>2)</sup>	44,0	27,1	0,78	steif	TM
MH-BS 27	1,4 – 2,4	T, s'	25,6 <sup>2)</sup>	52,6	30,6	0,88	steif	TA
MH-BSDPH 29	0,6 – 1,8	T	22,9 <sup>3)</sup>	50,6	29,6	0,94	steif	TM, TA
MH-BSDPH 33	1,4 – 2,3	T, s'	22,1 <sup>3)</sup>	50,2	29,4	0,96	steif	TM, TA
MH-BSDPH 35	1,5 – 2,8	T, u', s'	24,6	47,1	25,3	0,89	steif	TM
MH-BSDPH 37	0,8 – 2,0	T, u'	23,0	48,2	29,0	0,87	steif	TM
MH-KB DPHGWM 60	1,5 – 2,0	T	20,2	51,9	31,0	1,02	halbfest	TA

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  $\ddot{u}$  = 2,0 %

3) Korrigierter Wassergehalt aufgrund Anteil Überkorn  $\ddot{u}$  = 3,0 %

4) Korrigierter Wassergehalt aufgrund Anteil Überkorn  $\ddot{u}$  = 5,0 %

**Tabelle 2.4-2:** 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 1.1 (Auelehme)** gemäß dem Plastizitätsdiagramm nach Casagrande den **Bodengruppen TA und TL** zuzuordnen. Die Bodenproben aus der **Schicht 2 (Verwitterungstone)** sind den **Bodengruppen TA 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	1,00 bis 1,25
fest	> 1,25

1) Fließgrenze w<sub>L</sub>

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

**Tabelle 2.4-3:** Beziehung zwischen Zustandsform und Konsistenzzahl

Zur Ermittlung des **Wassergehaltes** nach DIN EN ISO 17 892-1 wurden an 27 ausgewählten Proben Wassergehaltsbestimmungen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2.4-4 zusammengestellt, die Detailergebnisse können der Anlage 5 entnommen werden.

Aufschluss	Tiefe [m u. GOK]	Wassergehalt [Gew.-%]
<b>Auelehme (Schicht 1.1)</b>		
MH-BS 23	1,1 – 1,9	30,16
MH-BS 39	1,5 – 2,2	18,78
<b>Terrassensande/-kiese (Schicht 1.2)</b>		
MH-BS 2	1,2 – 2,0	6,38
MH-BSDPH 4	1,0 – 2,0	6,65
MH-BS 6	0,8 – 2,0	5,54
MH-BS 9	2,0 – 2,9	12,66
MH-BSDPH 11	1,3 – 2,3	10,50
MH-KBDPHGWM 13	1,5 – 2,0	8,27
MH-BS 15	1,2 – 2,3	14,05
MH-BSDPH 17	1,0 – 2,0	13,64
MH-BS 19	0,8 – 1,9	13,79
MH-BS 31	1,4 – 1,9	12,34
MH-BSDPH 41	0,9 – 2,0	9,67
MH-BS 43	1,2 – 2,0	13,20
MH-BSDPH 45	1,4 – 2,2	4,38
MH-BS 61	1,6 – 2,8	4,79
MH-BSDPH 63	1,6 – 2,8	6,06

Aufschluss	Tiefe [m u. GOK]	Wassergehalt [Gew.-%]
MH-BS 65	1,4 – 2,7	4,49
MH-KBDPHGWM 67	1,4 – 2,0	0,85
MH-BS 69	0,8 – 2,0	4,07
<b>Verwitterungstone (Schicht 2)</b>		
MH-BSDPH 25	0,9 – 1,9	22,34
MH-BS 27	1,4 – 2,4	25,07
MH-BSDPH 29	0,6 – 1,8	22,23
MH-BSDPH 33	1,4 – 2,3	21,39
MH-BSDPH 35	1,5 – 2,8	24,56
MH-BSDPH 37	0,8 – 2,0	22,99
MH-KBDPHGWM 60	1,5 – 2,0	20,19

**Tabelle 2.4-4:** 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 1.1 (Auelehme)** liegen bei ca. 18,8 % bis ca. 30,2 %. In den Bodenproben aus der **Schicht 1.2 (Terrassensande/-kiese)** liegen die ermittelten Wassergehalte bei ca. 4,1 % bis ca. 14,1 % und in den Proben aus der **Schicht 2 (Verwitterungstone)** zwischen ca. 20,2 % und 25,1 %.

Die bindigen und gemischtkörnigen Böden (Schichten 1.1 und 2) zeigen aufgrund ihres Feinkorngehaltes vergleichsweise höhere Wassergehalte als die grob- bis gemischtkörnigen Böden (Schicht 1.2).

An einer ausgewählten Bodenprobe wurde der **Glühverlust** nach DIN 18 128 zur Bestimmung der organischen Bestandteile durchgeführt. Die Tabelle 2.4-5 fasst die Ergebnisse zusammen. Die Detailergebnisse können der Anlage 5 entnommen werden.

Aufschluss	Tiefe [m u. GOK]	Bodenart	Glühverlust Mittelwert [Gew.-%]
<b>Terrassensande/-kiese (Schicht 1.2)</b>			
MH-KBDPHGWM 13	1,5 – 2,0	S, u'	1,53

**Tabelle 2.4-5:** Ergebnis der Glühverlustuntersuchung nach DIN 18 128.



Die untersuchte Bodenprobe MH-KBDPHGWM 13 der **Schicht 1.2 (Terrassensande/-kiese)** weist einen Glühverlust von 1,53 % auf und ist somit nicht organisch. Gemäß DIN EN ISO 14688-2 werden Böden bei einem organischen Anteil von 2 bis 6 % erst als schwach organisch eingestuft.

Die Bestimmung der **Wärmeleitfähigkeit** wurde entlang der Erdkabeltrasse Mühlhausen an 32 ausgewählten Bodenproben und einer Festgesteinsprobe nach [U 27] 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 2.4-6 und Tabelle 2.4-7 zusammengestellt.

Aufschluss	Tiefe [m u. GOK]	Bodenart	WLF $K_{nat}$ [W/m*K]	Wasser- gehalt $W_{nat}$ [Gew.-%]	WLF $K_{trocken}$ [W/m*K]	Wasser- gehalt $W_{trocken}$ [Gew.-%]
MH-BS 1	0,2 – 2,0	S, u'	2,24	4,3	0,63	0,0
MH-BS 3	0,2 – 2,0	S	2,22	4,3	0,64	0,0
MH-BS 5	0,1 – 2,0	S, g', u'	1,58	6,3	1,09	0,0
MH-KBDPH GWM 7	1,0 – 2,0	S, u'	3,37	9,0	2,49	0,0
MH-BSDPH 8	0,3 – 2,0	S, u'	2,06	6,5	1,97	0,0
MH-BS 10	0,4 – 2,4	S	2,85	10,9	1,27	0,0
MH-KBDPH 12	4,9 – 5,2	T, u, s, g'	1,46	19,2	1,38	0,0
MH-KBDPH GWM 13	1,5 – 2,0	S, u'	3,09	7,8	1,78	0,0
MH-BSDPH 14	0,4 – 2,0	S, u'	2,71	12,6	1,51	0,0
MH-BS 16	0,5 – 2,1	S, u'	3,66	13,0	2,44	0,0
MH-BS 18	0,4 – 2,0	S, u', g'	3,16	11,2	1,51	0,0
MH-BS 20	0,3 – 2,4	T, u*, s*, g'	2,65	15,3	1,39	0,0
MH-KBDPH GWM 21	1,0 – 1,6	S, u'	2,38	5,2	1,80	0,0
MH-BS 22	0,4 – 2,3	T, u', s'	2,00	18,4	1,37	0,0
MH-BS 24	0,5 – 2,2	T, u, s'	1,17	27,1	1,03	0,0
MH-BS 26	0,4 – 2,3	T, u', s	2,07	15,9	1,56	0,0
MH-BS 28	0,4 – 2,0	T, u, s'	1,51	24,5	1,44	0,0
MH-BS 30	0,5 – 2,0	T, u', s	1,77	18,3	1,20	0,0
MH-BS 32	0,4 – 2,3	S, u	2,28	16,9	1,09	0,0



Aufschluss	Tiefe [m u. GOK]	Bodenart	WLF $K_{nat}$ [W/m <sup>2</sup> K]	Wasser- gehalt $W_{nat}$ [Gew.-%]	WLF $K_{trocken}$ [W/m <sup>2</sup> K]	Wasser- gehalt $W_{trocken}$ [Gew.-%]
MH-BS 34	0,3 – 2,0	T, s*, u'	2,19	18,4	1,24	0,0
MH-BS 36	0,4 – 2,3	T, u, s	2,19	10,8	1,59	0,0
MH-BS 38	0,3 – 2,0	T, s*, u'	2,25	11,9	1,56	0,0
MH-BS 40	0,4 – 2,1	S, u, g', t'	2,64	10,6	1,37	0,0
MH-BS 42	0,5 – 2,0	S, u, g', t'	3,07	11,1	1,33	0,0
MH-BS 44	0,4 – 2,0	S, u'	1,95	3,6	0,70	0,0
MH-BS 46	0,3 – 2,3	S, u	2,53	7,8	1,77	0,0
MH-KBDPH GWM 60	1,5 – 2,0	T	1,07	18,3	0,79	0,0
MH-BS 62	0,4 – 2,8	S	2,07	6,1	1,03	0,0
MH-BS 64	0,4 – 2,3	S, u'	13,95	5,9	1,01	0,0
MH-BS 66	0,5 – 2,8	S, u'	2,43	5,4	0,93	0,0
MH-KBDPH GWM 67	1,4 – 2,0	S	2,64	7,2	1,09	0,0
MH-BS 68	0,3 – 2,3	S, u	2,56	10,1	1,45	0,0

**Tabelle 2.4-6:** Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit am Lockergestein

Aufschluss	Tiefe [m u. GOK]	Bodenart	WLF $K_{nat}$ [W/m <sup>2</sup> K]	Wasser- gehalt $W_{nat}$ [Gew.-%]	WLF $K_{gesättigt}$ [W/m <sup>2</sup> K]	Wasser- gehalt $W_{gesättigt}$ [Gew.-%]
MH-KBDPH GWM 60	5,7 – 6,0	Tonmergel- stein	1,75	10,4	1,83	15,4

**Tabelle 2.4-7:** Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit am Festgestein

Die ermittelten Wärmeleitfähigkeiten in den untersuchten Bodenproben liegen bei einem natürlichen Wassergehalt von ca. 3,6 % bis ca. 27,1 % bei ca. 1,07 W/m<sup>2</sup>K bis ca. 13,95 W/m<sup>2</sup>K. Die trockenen Proben ( $w = 0$  Gew.-%) besitzen eine Wärmeleitfähigkeit von ca. 0,63 W/m<sup>2</sup>K bis ca. 2,49 W/m<sup>2</sup>K.

Die ermittelte Wärmeleitfähigkeit in der untersuchten Festgesteinsprobe liegt bei einem natürlichen Wassergehalt von ca. 10,4 % bei ca. 1,75 W/m<sup>2</sup>K. Die wassergesättigte Probe ( $w = 1,83$  Gew.-%) besitzt eine Wärmeleitfähigkeit von ca. 1,83 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 Wärmeleitfähigkeiten 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 Boden- und Felsmaterial Schwankungen hinsichtlich der Boden-/Felseigenschaften 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.

An zwei ausgewählten Proben wurde die Bestimmung der **einaxialen Druckfestigkeit** nach DGGT-Empfehlung Nr. 1 durchgeführt. Die hierfür benötigten Festgesteinsproben wurden durch Kernbohrungen gewonnen. Die Tabelle 2.4-8 fasst die Ergebnisse zusammen. Die Detaillergebnisse können der Anlage 5 entnommen werden.

Aufschluss	Tiefe [m u. GOK]	Gestein	Einaxiale Druckfestig- keit $\sigma_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Stauchung $\epsilon_u$ [mm]	Verformungs- modul E [MN/m <sup>2</sup> ]
MH-KBDPH GWM 13	9,5 – 9,7	Tonmergel- stein	29,04	0,965	8470,8
MH-KBDPH GWM 60	9,3 – 9,6	Tonmergel- stein	14,54	1,984	1782,2

1) Abgeminderte einaxiale Druckfestigkeit aufgrund der Probekörpergeometrie

**Tabelle 2.4-8:** Ergebnis der einaxialen Druckversuche

Die **Tonmergelstein**proben weisen mit einer einaxialen Druckfestigkeit von ca. 15 N/mm<sup>2</sup> bzw. ca. 29 N/mm<sup>2</sup> eine geringe bzw. mäßig hohe Festigkeit nach DIN EN ISO 14 689-1 auf.

Es wird darauf hingewiesen, dass natürlich anstehendes Festgestein Schwankungen hinsichtlich der Felseigenschaften (insbesondere durch den Verwitterungsgrad und das Trennflächengefüge) und

der Zusammensetzung unterworfen ist und die Versuche nur punktuell aussagekräftig sind. Es kann demnach zu Abweichungen der einaxialen Druckfestigkeit kommen.

An zwei ausgewählten Proben wurde die Bestimmung der **Abrasivität** (CAI) nach NF P 94-430 1 durchgeführt. Die hierfür benötigten Festgesteinsproben wurden durch Kernbohrungen gewonnen. Die Tabelle 2.4-9 fasst die Ergebnisse zusammen. Die Detailergebnisse können der Anlage 5 entnommen werden.

Aufschluss	Tiefe [m u. GOK]	Gestein	Abriebindex CAI Mittelwert $A_{IN}$ [-]	Abrasivitäts- bezeichnung (Cerchar, 1986)
MH-KBDPH GWM 13	9,3 – 10,0	Tonmergelstein	0,3	nicht abrasiv
MH-KBDPH GWM 60	8,2 – 8,5	Tonmergelstein	0,1	nicht abrasiv

**Tabelle 2.4-9:** Ergebnis der Abrasivitätsuntersuchungen

Die **Tonmergelstein**proben werden nach [U 26] mit einem Abriebindex von ca. 0,1 bzw. ca. 0,3 als **nicht abrasiv** bezeichnet.

Es wird darauf hingewiesen, dass natürlich anstehendes Festgestein Schwankungen hinsichtlich der Felseigenschaften (insbesondere durch den Verwitterungsgrad) und der Zusammensetzung unterworfen ist und die Versuche nur punktuell aussagekräftig sind. Es kann demnach zu Abweichungen der Abrasivität kommen.

## 2.5 Umwelttechnische Untersuchungen

Im Zuge der Baugrunduntersuchung wurden chemische Analysen bzgl. der zu erwartenden abfalltechnischen Einstufungen der voraussichtlich anfallenden Aushubmaterialien entlang der Trasse ca. alle 100 m durchgeführt. Hierbei wurden die natürlich anstehenden Böden nach **LAGA M20 (1997)** (Tab. II 1.2-1) [U 17] vom Labor AGROLAB GmbH, Bruckberg, untersucht.

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

Die LAGA-Richtlinie M 20 [U 17] 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 und Auffüllungen mit mineralischen Fremddanteilen von < 10 Vol.-% 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 M20 Boden (1997)** Tab II.1.2-1 zusammengestellt, wobei alle Parameter und Werte angegeben sind, welche den Grenzwert der Zuordnungsgruppe Z 0 überschreiten. Die für die Einstufung maßgebenden Parameter sowie deren Werte sind dabei fett hervorgehoben.



Aufschluss	Material	Entnahme- tiefe [m u. GOK]	Parameter	Wert	Zuordnung nach LAGA M20
MH-BS 1	nat. Boden	0,2 – 2,0	/	/	<b>Z 0</b>
MH-BS 3	nat. Boden	0,2 – 1,7	<b>pH (FS, EL)</b>	5,4 / <b>5,6</b>	<b>Z 2</b> (Z 0) <sup>1)</sup>
MH-BS 5	nat. Boden	0,1 – 2,0	/	/	<b>Z 0</b>
MH-KBDPH GWM 7	nat. Boden	0,1 – 2,0	/	/	<b>Z 0</b>
MH-BSDPH 8	nat. Boden	0,3 – 2,0	/	/	<b>Z 0</b>
MH-BS10	nat. Boden	0,4 – 2,4	<b>pH (FS)</b>	<b>8,1</b>	<b>Z 1.2</b> (Z 0)
MH-KBDPH GWM 13	nat. Boden	0,3 – 2,0	/	/	<b>Z 0</b>
MH-BSDPH 14	nat. Boden	0,4 – 2,0	/	/	<b>Z 0</b>
MH-BS 16	nat. Boden	0,5 – 2,1	/	/	<b>Z 0</b>
MH-BS 18	nat. Boden	0,5 – 1,9	/	/	<b>Z 0</b>
MH-BS 20	nat. Boden	0,4 – 2,4	/	/	<b>Z 0</b>
MH-KBDPH GWM 21	nat. Boden	0,4 – 2,0	<b>Arsen (FS)</b> <b>Blei (FS)</b> <b>Nickel (FS)</b>	<b>21,0 mg/kg</b> <b>110,0 mg/kg</b> <b>57,0 mg/kg</b>	<b>Z 1.1</b>
MH-BS 22	nat. Boden	0,4 – 2,3	<b>Arsen (FS)</b> <b>Nickel (FS)</b>	<b>25,0 mg/kg</b> <b>55,0 mg/kg</b>	<b>Z 1.1</b>
MH-BS 24	nat. Boden	0,5 – 2,2	<b>Arsen (FS)</b> <b>Cadmium (FS)</b> <b>Chrom (FS)</b> <b>Kupfer (FS)</b> <b>Nickel (FS)</b> <b>Zink (FS)</b>	<b>25,0 mg/kg</b> <b>1,9 mg/kg</b> <b>110,0 mg/kg</b> <b>53,0 mg/kg</b> <b>120,0 mg/kg</b> <b>474,0 mg/kg</b>	<b>Z 1.2</b>
MH-BS 26	nat. Boden	0,4 – 2,3	/	/	<b>Z 0</b>
MH-BS 28	nat. Boden	0,4 – 2,0	<b>Chrom (FS)</b>	<b>62,0 mg/kg</b>	<b>Z 1.1</b>
MH-BS 30	nat. Boden	0,5 – 1,8	<b>Chrom (FS)</b> <b>Nickel (FS)</b> <b>Zink (FS)</b>	<b>60,0 mg/kg</b> <b>47,0 mg/kg</b> <b>153,0 mg/kg</b>	<b>Z 1.1</b>
MH-BS 32	nat. Boden	0,4 – 2,3	/	/	<b>Z 0</b>
MH-BS 34	nat. Boden	0,3 – 2,0	/	/	<b>Z 0</b>





Aufschluss	Material	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Parameter	Wert	Zuordnung nach LAGA M20
MH-BS 36	nat. Boden	0,4 – 2,3	/	/	<b>Z 0</b>
MH-BS 38	nat. Boden	0,3 – 1,7	/	/	<b>Z 0</b>
MH-BS 40	nat. Boden	0,4 – 2,1	/	/	<b>Z 0</b>
MH-BS 42	nat. Boden	0,5 – 2,0	/	/	<b>Z 0</b>
MH-BS 44	nat. Boden	0,4 – 2,0	/	/	<b>Z 0</b>
MH-BS 46	nat. Boden	0,3 – 2,3	/	/	<b>Z 0</b>
MH-KBDPH GWM 60	nat. Boden	0,9 – 2,0	/	/	<b>Z 0</b>
MH-BS 62	nat. Boden	0,4 – 2,8	/	/	<b>Z 0</b>
MH-BS 64	nat. Boden	0,4 – 2,3	/	/	<b>Z 0</b>
MH-BS 66	nat. Boden	0,5 – 2,8	/	/	<b>Z 0</b>
MH-KBDPH GWM 67	nat. Boden	0,3 – 2,0	/	/	<b>Z 0</b>
MH-BSDPH 68	Auffüllung / Boden	0,3 – 2,3	Zink (FS) <b>Arsen (EL)</b>	169,0 mg/kg <b>27,0 µg/l</b>	<b>Z 1.2</b>

FS = Feststoff; EL = Eluat

1) Niedrige pH-Werte stellen allein kein Ausschlusskriterium dar

**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.

In den meisten Bodenproben (siehe Tabelle 2.5-2) wurden keine Überschreitungen der Zuordnungswerte nach LAGA M20 Boden (1997) festgestellt. Diese sind daher in die Zuordnungs-kategorie Z 0 einzustufen.

In der untersuchten Bodenprobe aus MH-BS 3 führen die niedrigen pH-Werte in Feststoff und Eluat zu einer Unterschreitung der Grenzwerte und einer damit verbundenen Zuordnung in die Klasse Z 2. Die niedrigen pH-Werte alleine stellen jedoch keine Kontamination dar und können aus gutachterlicher Sicht bei der Einstufung vernachlässigt werden. Bei Vernachlässigung der pH-Werte ergibt sich

eine Einstufung in die Zuordnungsklasse Z 0. Bei einer Entsorgung sind stets die genauen Annahmekriterien des jeweiligen Entsorgers zu beachten.

In der untersuchten Bodenprobe aus MH-BS 10 führt der erhöhte pH-Wert im Feststoff zu einer Unterschreitung der Grenzwerte und einer damit verbundenen Zuordnung in die Klasse Z 1.2. Der erhöhte pH-Wert alleine stellt jedoch keine Kontamination dar und kann aus gutachterlicher Sicht bei der Einstufung vernachlässigt werden. Bei Vernachlässigung des pH-Werts ergibt sich eine Einstufung in die Zuordnungsklasse Z 0. Dies gilt vorbehaltlich einer Zustimmung durch die zuständige Behörde. Bei einer Entsorgung sind stets die genauen Annahmekriterien des jeweiligen Entsorgers zu beachten.

In den Bodenproben aus MH-KBDPHGWM 21, MH-BS 22, MH-BS 24, MH-BS 28, MH-BS 30 und MH-BSDPH 68 wurden einstufigsrelevante Überschreitungen der Grenzwerte von Arsen, Zink, Chrom, Cadmium, Kupfer, Blei und Nickel im Feststoff sowie von Arsen im Eluat festgestellt. Eine detaillierte Aufschlüsselung ist der Tabelle 2.5-2 zu entnehmen sowie in Anlage 7 zu finden. Die Überschreitungen der Grenzwerte führen zu einer Einstufung der Bodenproben in die Zuordnungsklassen Z 1.1 (MH-KBDPHGWM 21, MH-BS 22, MH-BS 28 und MH-BS 30) bzw. Z 1.2 (MH-BS 24 und MH-BSDPH 68). Die Schwermetallbelastungen sind vermutlich auf geogenen Ursprung zurückzuführen. Ob eine Rückstufung möglich ist, ist mit den zuständigen Fachbehörden abzustimmen. Ohne Rückstufung ist eine Verwertung in technischen Bauwerken unter Berücksichtigung der spezifischen (Sicherungs-) Maßnahmen gemäß LAGA 1997 möglich.

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 da-

her weiterführende abfalltechnische Materialuntersuchungen während der Bauausführung (Haufwerksuntersuchungen) vorzusehen, welche als maßgeblich für die Deklaration und Entsorgung der gegenständlichen Massen gelten.

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

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 Trassenabschnitt bei Mühlhausen in **keiner Erdbebenzone** und ist somit keiner Untergrundklasse zuzuordnen.

Gemäß der RStO 12 [U 5] 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 24] befinden sich der Trassenabschnitt Mühlhausen außerhalb von Naturschutz-, Vogelschutz-, Landschaftsschutz und Fauna-Flora-Habitat-Gebieten. Ebenso sind keine Natur- und Nationalparke betroffen. Der Bohrpunkt MH-BSDPH 29 liegt am Rand einer Ökofläche.

Gemäß der Auskunft des Bayerischen Landesamts für Denkmalpflege [U 7] sind in dem geplanten Trassenbereich bei Mühlhausen weder Baudenkmäler noch Bodendenkmäler zu erwarten. Nach der Vorauswertung der IABG mbH hinsichtlich Kampfmittelverdachtsflächen [U 6] wurden im Trassenkorridor keine Verdachtsflächen kartiert.

Die Bohrpunkt MH-BS 1 bis MH-BS 9 liegen innerhalb eines Vorbehaltsgebiets für Bodenschätze [U 9]. Hierbei handelt es sich um ein Vorbehaltsgebiet für den Kiesabbau und erfordert keinen besonderen Umgang.



DR. SPANG

Projekt: 43.8801

23.06.2023

---

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

Gemäß [U 24] befindet sich der Trassenabschnitt Mühlhausen außerhalb von Trinkwasserschutzgebieten und Heilquellenschutzgebieten sowie von festgesetzten Überschwemmungsgebieten und Hochwassergefahrenflächen. Die Bohrpunkte MH-BSDPH 8, MH-BS 9, MH-BS 10, MH-BS 15, MH-BS 16, MH-BSDPH 17, MH-BS 18, MH-BSDPH 45, MH-BS 46, MH-KBDPHGWM 60, MH-BS 61, MH-BS 62, MH-BSDPH 63, MH-BS 64, MH-BS 65, MH-BS 66, MH-KBDPHGWM 67, MH-BSDPH 68 und MH-BS 69 liegen innerhalb von wassersensiblen Bereichen.

### 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	Oberboden/ Mutterboden	OT, OU, OH	1	F 2 – F 3	nicht geeignet
1.1	Auelehme	UL, UM, TL, TM, TA, GU*, GT*, SU*, ST*	4 (5) (2) <sup>4)</sup>	F 3 (TA = F 2)	V 2 – V 3 TA nicht geeignet bzw. nur mit Boden- verbesserung
1.2	Terrassen- sande/- kiese	SE, SI, SW, SU, ST, GU, GT	3 (5) (6) <sup>5)</sup>	F 1 – F 2	V 1
2	Verwitterungston	UL, UM, TL, TM, TA, GU*, GT*, SU*, ST*	4 (5) (6, 7) <sup>6)</sup> (2) <sup>4)</sup>	F 3 (TA = F2)	V 2 – V 3, TA nicht geeignet bzw. nur mit Boden- verbesserung

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) Durch die Entstehung bedingt sind einzelne größere Gerölle (Blöcke) nicht auszuschließen, dann ggf. punktuell Bodenklasse 6 möglich

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

**Tabelle 3.1-1:** Bodenklassifizierung

Bindige Böden und gemischtkörnige Böden mit hohem Feinanteil (insbesondere Schicht 1.1 und 2) 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 3xx (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, Teil 2, 8. Auflage [U 21].

Bei schwer rammpbaren Böden und Böden die Rammphindernisse enthalten (siehe Tabelle 3.1-2) ist die Rammpbarkeit ggf. nicht ohne Zusatzmaßnahmen möglich. Durch die Entstehung bedingt können vor allem in der Schicht 1.2 (Terrassensande / -kiese) Rammphindernisse in Form von einzelnen größeren Komponenten nicht ausgeschlossen werden. Der unter dem Lockergestein zu erwartende Fels (Schicht 3) ist i.d.R. nicht rammpbar. In stark bis vollständig verwitterten Bereichen (Schicht 2) kann er ggf. schwer rammpbar sein und Rammphindernisse in Form von nicht vollständig zu Boden verwitterten Felsblöcken oder Felsbänken (Restbänken) aufweisen.

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

Schicht-Nr.	Boden	Rammpbarkeit <sup>1)</sup>
1.1	Auelehme	leicht – mittelschwer
1.2	Terrassensande /-kiese	mittelschwer – schwer Rammphindernisse möglich <sup>2)</sup>
2	Verwitterungston	mittelschwer – schwer Rammphindernisse möglich <sup>2)</sup>

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

2) Rammphindernisse in Form von Geröllen, Steinen und Blöcken und 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> ]
1.1	Auelehme	19,5	10	25	5	15 – 80	8 – 12
1.2	Terrassensande/-kiese	19	11	35	/	/	20 – 40
2	Verwitterungstone	20	10	25	10	30 – 150	10 – 20

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> ]	$\varphi_k'$ [°]	$c_k'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{c,k}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$E_k$ [MN/m <sup>2</sup> ]
3	Opalinuston	23 – 25	25	> 0	1 – 50	50 – 10.000

1) für Scherbeanspruchung auf Trennflächen

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

Die Werte gelten für schwach verwittertes 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.

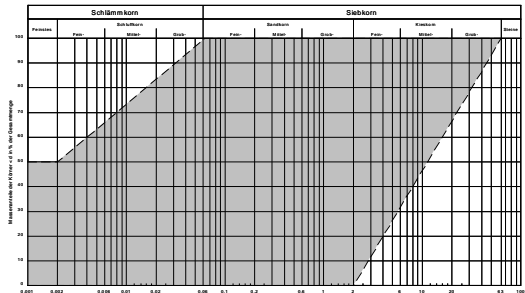
**Die Einteilung der Homogenbereiche ist zur Ausschreibung unter Berücksichtigung der geplanten Bauverfahren vom Planer und geotechnischen Gutachter zu überprüfen und ggf. anzupassen.**



### 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 den nachfolgenden Tabellen 3.4-1 bis 3.4-2 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 1,6 m u. GOK bzw. lokal 3,6 m u. GOK (Erdkabel) sowie bis 3,0 m u. GOK (Quering; Start- und Zielgrube) erfolgt, sodass nur bis in diese Tiefe Homogenbereiche für Erdarbeiten ausgewiesen werden.

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Erd-A
Schicht Nr.	1.1, 1.2, 2
ortsübliche Bezeichnung	quartäre Sedimente, Verwitterungstone
Korngrößenverteilung mit Korngrößenband <sup>2)</sup>	 <p>enggestuft bis weitgestuft</p>
Massenanteil Steine [%] Blöcke [%] große Blöcke [%]	< 40 < 20 < 10
natürliche Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	1,6 – 2,2
undrainierte Scherfestigkeit c <sub>u</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	< 300
Wassergehalt w <sub>n</sub> [%]	2 – 80
Plastizitätszahl I <sub>p</sub>	0,04 – 0,7 / leicht – ausgeprägt plastisch

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Erd-A
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>	nicht organisch bis schwach organisch (< 6 %) lokal bis mäßig organisch (< 20 %) möglich
Bodengruppe	A[, TL, TM, TA, UL, UM, SU*, SU, ST*, ST, SW, SI, SE, 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 3.4-1:** Homogenbereiche gemäß DIN 18 300 für Erdarbeiten in Boden

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Erd-B
Schicht Nr.	3
ortsübliche Bezeichnung	Opalinuston
Benennung von Fels	Ton- und Tonmergelstein
Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	1,8 – 2,8
Verwitterung und Veränderungen, Veränderlichkeit <sup>1)</sup>	frisch bis zersetzt, veränderlich bis stark veränderlich
einaxiale Druckfestigkeit [MN/m <sup>2</sup> ]	≤ 50
Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform	keine Angabe

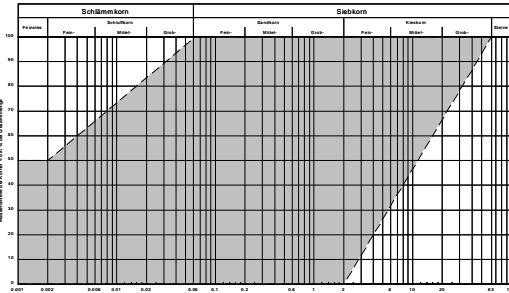
1) Bezeichnung nach DIN EN ISO 14 689

**Tabelle 3.4-2:** Homogenbereiche gemäß DIN 18 300 für Erdarbeiten im Festgestein

### 3.4.3 DIN 18 319 Rohrvortriebsarbeiten

Für einen Rohrvortrieb kann die Zuordnung der in diesem Gutachten angegebenen geologischen Schichten zu Homogenbereichen, sowie die zusammengefassten Eigenschaften der Homogenbereiche gemäß Tabelle 3.4-3 und Tabelle 3.4-4 verwendet werden. Es wird davon ausgegangen, dass die erforderlichen Bohrungen durch Großbohrgeräte ausgeführt werden.



Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche	
	Rohr-A	Rohr-B
Schicht Nr.	1.1, 1.2, 2	
ortsübliche Bezeichnung	quartäre Sedimente Verwitterungstone	
Korngrößenverteilung mit Korngrößenband <sup>2)</sup>	 <p>enggestuft bis weitgestuft</p>	
Massenanteil Steine [%] Blöcke [%] große Blöcke [%]	< 20 < 10 < 5	< 40 < 20 < 10
mineralogische Zusammen- setzung der Steine und Blöcke	/	/
natürliche Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	1,6 – 2,2	
undrainierte Scherfestig- keit $c_u$ [kN/m <sup>2</sup> ]	< 150	< 300
Sensitivität <sup>1)</sup>	< 30 / niedrig bis mittel	
Wassergehalt $w_n$ [%]	2 – 40	
Plastizitätszahl $I_P$	0,04 – 0,5 / leicht – ausgeprägt plastisch	
Konsistenzzahl $I_C$ / Be- zeichnung <sup>1)</sup>	0,5 – 1,0 / weich – steif	1,0 – 1,4 / halbfest
Durchlässigkeit $k_f$ [m/s]	$1 \times 10^{-3}$ bis $1 \times 10^{-11}$	
bezogene Lagerungs- dichte $I_D$ / Bezeichnung <sup>1)</sup>	0,15 – 0,65 / locker – mitteldicht	0,65 – 1,0 / dicht – sehr dicht
organischer Anteil $v_{gl}$ / Bezeichnung <sup>1)</sup>	nicht organisch bis schwach organisch (< 6 %)	
LCPC-Abrasivitäts- Koeffizient LAK [g/to] / Bezeichnung <sup>3)</sup>	50 – 1.000 / kaum abrasiv bis abrasiv	



Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche	
	Rohr-A	Rohr-B
Bodengruppe	TA, TM, TL, UM, UL, SU*, ST*, GU*, GT*, SU, ST, GU, GT, SE, SI, SW	

1) Begriffe nach DIN EN ISO 14 688-2

2) Das Körnungsband bezieht sich nur auf den Massenanteil ohne Stein, Blöcke und große Blöcke

3) Begriffe gemäß Käsling, H. & Thuro, K.: Bestimmung der Gesteinsabrasivität - Versuchstechniken und Anwendung; in: DGGT, 31. Baugrundtagung, 2010

**Tabelle 3.4-3:** Homogenbereiche gemäß DIN 18 319 für Rohrvortriebsarbeiten in Boden

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche	
	Rohr-C	
Schicht Nr.	3	
ortsübliche Bezeichnung	Opalinuston	
Benennung von Fels	Ton- und Tonmergelstein	
natürliche Dichte [g/cm³]	1,8 – 2,8	
Verwitterung und Veränderungen, Veränderlichkeit <sup>1)</sup>	frisch bis zersetzt, nicht veränderlich bis veränderlich	
einaxiale Druckfestigkeit[MN/m²]	≤ 50	
Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform	nicht erkundet	
Durchlässigkeit $k_f$ [m/s]	$< 1 \times 10^{-8}$ ( $1 \times 10^{-2}$ Wasserdurchlässigkeit an Trennflächen gebunden)	
Cerchar-Abrasivitätsindex CAI [-] / Bezeichnung <sup>2)</sup>	< 0,3 bis 0,5 / nicht abrasiv bis kaum abrasiv	

1) Bezeichnung nach DIN EN ISO 14 689

2) Begriffe gemäß Käsling, H. & Thuro, K.: Bestimmung der Gesteinsabrasivität - Versuchstechniken und Anwendung; in: DGGT, 31. Baugrundtagung, 2010

**Tabelle 3.4-4:** Homogenbereiche gemäß DIN 18 319 für Rohrvortriebsarbeiten im Festgestein

### 3.4.4 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 – Erd-0	
Bodengruppe nach DIN 18 196	OT / OU / OH	
ortsübliche Bezeichnung	Mutterboden	

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche	
	Oberboden – Erd-0	
Bodengruppe nach DIN 18 915	3, 4, 5	
Massenanteil		
Steine [%]	< 10	
Blöcke [%]	< 5	
große Blöcke [%]	< 5	

**Tabelle 3.4-5:** Homogenbereiche gemäß DIN 18 320 für Oberboden

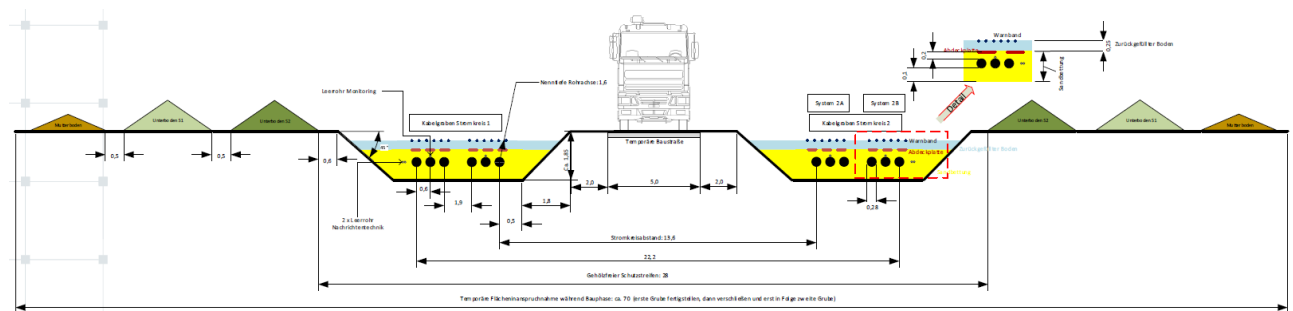
## 4. FOLGERUNGEN

### 4.1 Regelquerschnitt und Rohrleitungen

#### 4.1.1 Kabelverlegung in offener Bauweise

Die Erdkabeltrasse der Juraleitung besteht aus zwei Kabelgräben für den Stromkreis 1 bzw. Stromkreis 2 in einem Abstand von mindestens 13,6 m. In jedem der Kabelgräben werden jeweils 2 x 3 Schutzrohre (DN 280) für die stromführenden Leitungen der 380 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 8]

Für die gesamte Trasse (inkl. Systemabstand, Trassen- und Schutzstreifenbreite sowie Arbeitsflächen) in offener Bauweise ergibt sich eine temporäre Flächeninanspruchnahme während der Bau-phase von ca. 70 m für zwei Kabelgräben und eine mittig angeordnete Baustraße (Abbildung 4.1-1) [U 8].



**Abbildung 4.1-1:** mögliches Trassenprofil – offene Bauweise

Bei verbauten Gräben ist die Mindestgrabenbreite gemäß DIN 4124 in Abhängigkeit des äußeren Leitungsdurchmessers zu beachten.

Die Verlegetiefe des Erdkabels (Nenntiefe Rohrachse) soll sich bei der offenen Bauweise überwiegend ca. 1,6 m unter Geländeoberkante befinden [U 8]. Weiterhin ist geplant, das zwischen MH-BS 43 und MH-BS 44 verlegte MSP-Kabel entlang des Weges, offen in einer Tiefe von 3,6 m u. GOK zu kreuzen [U 10]. In Anlage 3 ist die Verlegetiefe in den betreffenden Bereichen im Schnitt dargestellt.

Bei der Verlegung des Erdkabels in offener Bauweise kommt die Bettungssohle der Rohrleitung in Lockergesteinsböden des Homogenbereichs Erd-A (Schichten 1.1, 1.2 und 2) zum Liegen. Die Schichtgrenzen sowie die Bettungssohle sind Anlage 3 zu entnehmen.

Prinzipiell sind die Böden in mindestens steifer Konsistenz bzw. mitteldichter Lagerung ausreichend tragfähig für die Verlegung der Rohrleitungen. Werden in der Grabensohle Böden mit schwankender Plastizität und Steifigkeit aufgrund unregelmäßiger Wechsellagerung angetroffen (besonders im Bereich BS 35 bis BS 61) wird jedoch der Einbau einer Bettungsschicht zur Vergleichmäßigung des Rohraufagers empfohlen. Dies wird ebenfalls bei lokal nachgewiesenen Grobkornanteilen in der Grabensohle empfohlen. In Lockergesteinen mit weicher Konsistenz insbesondere unterhalb des Grundwasserspiegels (erkundet in BS 24, BSDPH 25, BSDPH 29, BSDPH 33, BSDPH 37, BS 39, BS 43 nach der Bohrgutansprache bzw. den Ergebnissen der Schweren Rammsondierung) ist ein lokaler Bodenaustausch erforderlich.

Nach den Erkundungsergebnissen wird in der Grabensohle bei der offenen Verlegung kein Festgestein (Erd-B) angetroffen. Sollten wider Erwarten Felshochlagen auftreten, wird ebenfalls der Einbau einer Bettungsschicht bei Festgestein in der Grabensohle empfohlen.

Detailliertere Angaben zu den genannten Zusatzmaßnahmen folgen in Kapitel 5.

#### **4.1.2 Querung mittels Rohrvortrieb**

Bei der geplanten Querung wird die Gemeindeverbindungsstraße von Mühlhausen nach Weiherdorf gekreuzt. Planungsunterlagen liegen uns zum bisherigen Zeitpunkt nicht vor.

Es wird von einer Vortriebsstrecke von ca. 120 m ausgegangen, so dass voraussichtlich unbediente Verfahren des Rohrvortriebes ausreichend sind.

Für die Querung mittels Rohrvortrieb kommen aufgrund des voraussichtlichen Außendurchmessers  $d_a = 280 \text{ mm}$  und der angenommenen Vortriebslänge ein Mikrotunnelvortrieb mit Schneckenförderung oder Spülförderung nach DVGW-GW 304 Kap. 6.1.3.1.2 bzw. 3 in Frage. Alternativ ist auch ein Pilotrohr-Vortrieb mit Bodenverdrängung oder mit Bodenentnahme nach DVGW-GW 304 Kap. 6.1.3.2.2 bzw. 3 möglich.

Aufgrund des im Baufeld oberhalb der Vortriebsachse anstehenden Grundwassers und möglicher Wechsellagerungen von grob- und gemischtkörnigen Böden wird ein **Mikrotunnelbau mit Spülförderung nach DVGW-GW 304 Kap. 6.1.3.1.3** als favorisiertes Rohrvortriebsverfahren betrachtet.

Nach DVGW GW 304 ist bei einem Mikrotunnelbau mit Spülförderung eine Mindestüberdeckung von  $h_{\bar{u}} \geq 1,5 \times D_a$ , oder aber mindestens  $\geq 2,0 \text{ m}$  einzuhalten. Daher gehen wir von einer einzuhaltenden **Mindestüberdeckung von 2,0 m** aus. Entsprechend muss die Rohroberkante ca. 2,0 m unter GOK bei ca. + 398,9 m NHN zum Liegen kommen.

Es wird davon ausgegangen, dass vorhandene Fremdleitungen und mögliche unterirdische Bauwerke bekannt sind und ein ausreichender Abstand eingehalten wird.

Bei Einhaltung der Mindestüberdeckung durchfährt der Vortrieb auf gesamter Länge die Terrassensande und -kiese der Schicht 2.1. Die im Vortrieb liegenden Sande (Schicht 2.1) weisen einen geringen Feinkornanteil auf und sind überwiegend mitteldicht gelagert. In den Terrassensanden und -kiesen ist entstehungsbedingt untergeordnet mit Steinen und Blöcken zu rechnen. Die Schichtgrenzen sowie die geplante Vortriebsachse sind Anlage 3 zu entnehmen.

Bei den Terrassensanden- und kiesen mit einem maximalen Feinkornanteil von ca. 15 Vol.-% ist von einem **geringen Verklebungspotential** (Bewertung nach THEWES) auszugehen.

Für die Errichtung der Start- und Zielbaugrube steht aufgrund der örtlichen Verhältnisse und für die geplante Vortriebsart beidseitig ausreichender Arbeitsraum zu Verfügung. Grundsätzlich ist die Errichtung der Startbaugrube beidseitig möglich. Für die Durchführung der Vortriebsarbeiten ist die

Errichtung einer angrenzenden umfangreichen Baustelleneinrichtungsfläche erforderlich. Planungsunterlagen liegen uns zum bisherigen Zeitpunkt nicht vor. Daher wird eine Vortriebsrichtung von Süden nach Norden und eine Baugrubentiefe von ca. 3,0 m angenommen. Eine umgekehrte Anordnung ist grundsätzlich möglich.

Alternativ zum Rohrvortrieb kann ebenfalls ein Vortrieb mittels **HDD-Spülbohrverfahren** in Betracht gezogen werden. Hier wird zunächst eine gesteuerte Pilotbohrung vorgetrieben, welche auf den gewünschten Durchmesser aufgeweitet wird. Es werden keine nennenswert tiefen Baugruben notwendig, daher ist anstehendes Grundwasser nur untergeordnet zu betrachten.

#### 4.2 Baufeldvorbereitung

Sowohl für die Verlegung des Erdkabels in offener Bauweise als auch für die Errichtung der Baugruben und zur Durchführung des Rohrvortriebs sind große und schwere Baumaschinen erforderlich. Das Baufeld wird auf landwirtschaftlich genutzten Flächen hergestellt. Die Geländeoberflächen bestehen aus Mutterboden (Schicht 0), der sich aus Sanden mit wechselndem Feinkorngehalt und Schluffen 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 Start- und Zielbaugrube sowie die Arbeitsstreifen bzw. Zufahrten daher mit gebrochenem Natursteinmaterial (z.B. Grobschlag 0/200 mm, Natursteinschotter 0/45 mm) zu befestigen. Die Minstdicke 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 in offener Bauweise entlang der Trasse werden voraussichtlich Baugruben bis ca. 1,6 m u. GOK, lokal bis ca. 3,6 m u. GOK erforderlich. Für die geschlossene Querung mittels Rohrvortrieb werden im Start- und Zielbereich ca. 3,0 m tiefe Baugruben benötigt. 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 notwendig, ist ein Verbau nach DIN 4124 oder eine geböschte Ausführung erforderlich.

Bei ausreichenden Platzverhältnissen kann auch eine geböschte Baugrube mit den in Tabelle 4.3-1 enthaltenen Böschungswinkeln hergestellt werden. 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 gehen wir von einer geböschten Baugrube aus.

Bezeichnung	Schicht	Böschungswinkel $\beta$ [°]
nichtbindige oder weiche bindige Böden	1.1, 1.2, 2	$\leq 45$
mindestens steife bindige Böden	1.1, 2	$\leq 60$
Fels	3	$\leq 80$

**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 rolligen oder weichen bindigen Böden Böschungsneigungen von maximal 45° und bei bindigen mindestens steifen Böden Neigungen von 60° 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 (siehe Tabelle 4.3-1), 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 3 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 1.2 und Schicht 2 nicht ausgeschlossen 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 1.1** (bindige Sedimente) und der **Schicht 2** (Verwitterungstone) sind i.d.R. mäßig bis schlecht 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. Besonders in Schicht 1.1 können humose Beimengungen vorhanden sein. Organische Einlagerungen sind nicht volumenbeständig und deshalb ggf. vorher auszusortieren. Gegebenenfalls anfallende Steine und Blöcke sind ebenfalls vorher auszusortieren.

Gemischtkörnige bis grobkörnige Boden der **Schicht 1.2** (rollige Sedimente) mit geringen Feinanteilgehalten von  $\leq 15\%$  weisen relativ gute Verdichtbarkeits- und Frostepfindlichkeitseigenschaften

ten auf und können, sofern sie separierbar sind und mit verdichtungsfähigen Wassergehalten vorliegen, ohne Zusatzmaßnahmen wiederverwendet werden. Gegebenenfalls anfallende Steine und Blöcke sowie organische Bereiche 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. Die feinkörnigen und gemischtkörnigen Böden (betrifft insbesondere die Schicht 2, bei erhöhten Feinkorngehalten auch die Schicht 1.1) 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.

#### 4.4 Grundwasserhaltung

Wie bereits in Kapitel 2.3 aufgeführt, ist eine durchgehende Interpolation der Wasserstände nur bedingt möglich. Fünf Kernbohrungen entlang der Trasse wurden zu Grundwassermessstellen ausgebaut. Eine Ausstattung der Grundwassermessstellen mit Pegelschreibern und anschließendem Grundwassermonitoring steht noch aus.

Sofern Maßnahmen zur Wasserhaltung erforderlich werden, ist ein Absenkziel 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.

In den Bereichen mit gemessenen Wasseranschnitten oberhalb der voraussichtlichen Grabentiefe, sowie im Bereich der Start- und Zielgrube des Rohrvortriebs werden vermutlich **Wasserhaltungsmaßnahmen**, über eine offene Restwasserhaltung hinaus, erforderlich. Nach derzeitigem Standpunkt werden Wasserhaltungsmaßnahmen vor allem im Bereich der Tieferführung (Verlegetiefe 3,6 m u. GOK) und in sämtlichen Bereichen in denen der Bauwasserstand oberhalb der Grabensohle liegt, notwendig.

Um genauere Festlegungen bezüglich der Wasserhaltungsmaßnahmen treffen zu können, wären zur Beobachtung ergänzende Pegel (zusätzliche engmaschige Grundwassermessstellen oder Rammpegel) empfehlenswert. Die angegebenen Bau- und Bemessungswasserstände sind nach Abschluss des Monitorings zu verifizieren.

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 Berücksichtigung der Komplexität des Rohrvortriebs sowie der Gründungsarbeiten und der erforderlichen Wasserhaltungsmaßnahmen 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 Kieskomponenten 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 (hier nicht zu erwarten) beträgt die Dicke der Bettungsschicht 150 mm.

In der vorgesehenen Tiefe der Rohrgrabensohle wurden bereichsweise **weiche bindige Böden** insbesondere unterhalb des Grundwasserspiegels erkundet (erkundet in BS 24, BSDPH 25, BSDPH 29, BSDPH 33, BSDPH 37, BS 39, BS 43 nach der Bohrgutansprache bzw. den Ergebnissen der Schweren Rammsondierung). Die weichen bindigen Böden sind mind. 0,3 m unter Bettungssohle auszukoffern und durch verdichtungsfähiges, volumenbeständiges und umweltneutrales 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 Ausgrabensohle auftreten, so sind diese ggf. komplett zu entfernen und auszutauschen.

## 5.2 Rohrvortrieb

### 5.2.1 Allgemeines

Bei dem Mikrotunnelbau mit Spülförderung nach DVGW-GW 304 Kap. 6.1.3.1.3 und einer Mindestüberdeckung von 2,0 m durchfährt der Vortrieb auf gesamter Länge die Terrassensande und – kiese der Schicht 1.2. Die erkundeten Sande (Schicht 1.2) weisen einen geringen Feinkoranteil auf und sind überwiegend mitteldicht gelagert. In den Terrassensanden und -kiesen können entstehungsbedingt untergeordnet Steine und Blöcke der Bodenklasse 6 / 7 (nicht erkundet) nicht ausgeschlossen werden. Infolgedessen ist ein Mantelrohrverfahren erforderlich, um Beschädigungen des Produktenrohres infolge des Vortriebs zu vermeiden. Im Rahmen eines Mikrotunnelvortriebs kann hierzu beispielsweise ein Betonrohr, welches aus einzelnen Betonsegmenten besteht, vorgetrieben werden. Das Bohrloch wird durch das vorgetriebene Rohr gestützt. Die beim Vortrieb eingesetzte Bentonitsuspension dient dabei der Ringraumschmierung/ -stützung. Nach Erstellen der Betonröhren (Mantelrohr) werden das Produktenrohr sowie eventuelle Begleitkabel eingezogen.

Grob- und gemischtkörnige Böden, wie die Schicht 1.2 führen aufgrund ihrer **Genese gröbere Einlagerungen**. Die Vortriebsmaschine muss entsprechend darauf ausgelegt werden. Die Größe der Einlagerungen variieren und können vorab nicht definiert werden. Es ist grundsätzlich mit Steinen (> 63 mm) und Blöcken (> 200 mm) zu rechnen. Es wird darauf hingewiesen, dass die Einlagerungen einen **erhöhten Verschleiß der Abbauwerkzeuge** verursachen können.

Es ist eine Mikrotunnel-Bohrmaschine mit einem entsprechend Bohrkopf zu verwenden, mit dem zum einen Sande und zum anderen auch harte Komponenten (Steine und Blöcke) gebohrt werden können. Es ist eine auf den Baugrund abgestimmte Bentonitsuspension zu verwenden, die zum einen die Reibung zwischen dem Mantelrohr und dem anstehenden Boden verringert und zum anderen den Ringraum stützt. Der Ringraum wird nach Bohrende i.d.R. verdämmt. Es wird empfohlen die Vortriebsgeschwindigkeit bei Kontakt mit Einlagerungen zu drosseln, um einer Lageabweichung entgegenzuwirken.

Der Vortrieb wird voraussichtlich vollständig unterhalb des festgesetzten Bauwasserstands (Anlage 3) liegen. Eine Grundwasserhaltung ist je nach Ausführung für die Baugruben erforderlich; die Vortriebsstrecke selber muss für die gewählte Vortriebsart nicht entwässert werden.

Vor Beginn der Arbeiten sind die **baulichen Schutzmaßnahmen** gemäß Kap. 8.4 der DWA-A 125 umzusetzen. Dazu gehört u. A., dass alle vortriebsrelevanten Parameter vom Sachverständigen für Erd- und Grundbau zu prüfen sind. Das Vortriebsrohr ist nach DWA-A 161 statisch zu bemessen. Es ist ein Vortriebsprotokoll (Bohrfortschritt, Bohrgutart und -menge, Besonderheiten etc.) zu führen. Durch einen Sachverständigen für Erd- und Grundbau ist ein Abschlussbericht anzufertigen.

Das **geförderte Bohrgut** ist fachgerecht zu entsorgen. Ein ungeordnetes Verbringen im Baufeld ist unzulässig.

### 5.2.2 Setzungsberechnungen

Die geplanten Baugruben liegen außerhalb bautechnisch relevanter Nachbarbebauung. Der Vortrieb verläuft jedoch unterhalb vorhandener Infrastrukturen (Straße).

Im Rahmen der Beweissicherung wird eine **messtechnische Überwachung der Gemeindeverbindungsstraße** im Zeitraum der Vortriebsarbeiten empfohlen, um eventuelle Setzungen zu dokumentieren und Auswirkungen abschätzen zu können. Diese sollte vor Beginn der Baumaßnahmen begonnen werden, um eine unbeeinflusste Nullmessung zu erhalten.

Für den Vortrieb wurden **Setzungsberechnungen** nach SCHERLE durchgeführt (Anlage 6). Es handelt sich dabei um **konservative Abschätzungen**, die als maximale Setzungen zu bewerten sind. Genauere Setzungsberechnungen für realitätsnahe Verformungen können im Zuge der Planung ausgeführt werden, sofern dies erforderlich ist. Für den Rohrvortrieb wird ein Bohrdurchmesser von DN 280 mm [U 11] angesetzt. Als maximale Überdeckung wird 2,0 m angesetzt. Der Setzungsabschätzung wurde die mit den Bohrungen und Rammsondierungen erkundete Beschaffenheit der natürlichen Böden zugrunde gelegt.

Bauwerk	prognostizierte Setzung [mm]	prognostizierte Setzungsmulde [m]
Gemeindeverbindungs- straße	1,8	4,56

**Tabelle 5.5-1: prognostizierte Setzungen nach SCHERLE (Setzungsabschätzung)**

Die Setzungen sollten innerhalb der überwiegend sandigen Böden der Schicht 1.2 spätestens vier Wochen nach dem Vortrieb abgeklungen sein. Bei regelgerechter Bauausführung werden diese Setzungsbeträge nicht erreicht.

### 5.2.3 Start- und Zielgrube

Gemäß den Angaben der DWA-A 125 für Baugrubengrößen, werden folgende Abmessungen vorgeschlagen:

- Startgrube: 4,5 m x 3,0 m;
- Zielgrube: 3,0 m x 2,5 m.

Die gewählte Baugrubengröße ermöglicht die Verwendung von entsprechend großen Einzelrohrsegmenten. Grundsätzlich wird darauf hingewiesen, dass i.d.R. die Startbaugrube zum Einbau des Pressenwiderlagers größer als die Zielbaugrube dimensioniert wird. Die Zielbaugrube dient u.a. der Bergung der Vortriebsmaschine.

Im Bereich der Querung kommt der Bemessungswasserstand oberhalb der Baugrubensohle zum Liegen. Daher sind die Baugruben entweder vollständig wasserdicht zu verbauen oder mittels einer geschlossenen Wasserhaltung trocken zu halten. Es gelten die Vorgaben der DIN 4124. Die Start- und Zielbaugrube werden innerhalb der Schicht 1.2 (Terrassensande / -kiese) zum Liegen kommen. Da innerhalb der Schicht 1.2 grobe Einlagerungen vorkommen können, ist lokal von einer teilweise fehlenden Rammpbarkeit auszugehen.

Es wird empfohlen eine **geschlossene Wasserhaltung** durchzuführen, in dessen Schutz die Baugruben im **Trägerbohlwandverbau** ausgebaut werden können. Wir empfehlen die geschlossene Wasserhaltung mittels **Tiefbrunnen** durchzuführen. Das Absenkziel sollte bei mindestens 0,5 m unter Baugrubensohle liegen. Alternativ empfehlen wir beide Baugruben mit **Spundwänden** zu verbauen. Sofern im Rahmen eines Spundwandverbaus wasserdichte Schlösser verwendet werden, kann auf eine außenliegende geschlossene Wasserhaltung verzichtet werden. Ohne geschlossene Wasserhaltung bis 0,5 m Absenkung unter Baugrubensohle, ist die Baugrubensohle jedoch zusätzlich wasserdruckhaltend auszubilden.



**Der Baugrubenverbau muss grundsätzlich statisch bemessen werden und ist nach EC 7 nachzuweisen.** Der Nachweis gegen hydraulischen Grundbruch / gegen Aufbrechen der Sohle ist für beide Baugruben zu führen. Weiterhin sind für die Bemessung die Hinweise in der EAB zu beachten. Der Baugrubenverbau ist aufgrund der Baugrubentiefen und der angrenzend befahrenen BE-Fläche auf erhöhten aktiven Erddruck ( $0,5 \times e_a + 0,5 \times e_0$ ) zu bemessen. Die Bodenkennwerte für die o.g. Standsicherheitsberechnungen können der Tabelle 3.2-1 entnommen werden. Für die Bemessung einer Verbauwand darf der Wandreibungswinkel für Spundwände und Trägerbohlwände höchstens mit  $|\delta_{a/p}| = 2/3 \varphi_k'$  angesetzt werden. Auf die DIN 4124 und die Empfehlungen des Arbeitskreises für Baugruben EAB wird ausdrücklich verwiesen.

Die Ausfachung der Trägerbohlwand muss stets mit dem Aushub fortschreitend eingebracht werden. Vereinzelte Ausbrüche und andere unplanmäßige Unebenheiten sind kraftschlüssig zu verfüllen; eingebrachtes Material ist zu verdichten. Mit dem Einziehen der Ausfachung ist spätestens zu beginnen, wenn die Tiefe von 1,25 m erreicht ist. Der Einbau der weiteren Ausfachung darf hinter dem Aushub bei vorübergehend standfesten nichtbindigen Böden (Schicht 1.2) höchstens um 0,50 m zurück sein.

Die Bohlträger bzw. Spundwände können im vorliegenden Baugrund voraussichtlich eingerammt werden. Auf die Rammpbarkeiten in Kap. 3.1 wird verwiesen. Im Zuge der weiteren Planung mit den Rammhindernissen innerhalb der Terrassensande und -kiese (Schicht 1.2) zu rechnen. Aufgrund der dann fehlenden Rammpbarkeit werden voraussichtlich Zusatzmaßnahmen (z.B. Vorbohren) erforderlich.

**Es wird darauf hingewiesen, dass zum Zwecke einer Wasserhaltung und -einleitung des Wassers (Förderung von Grundwasser) zwingend eine wasserrechtliche Genehmigung eingeholt werden muss.**

Sofern auf eine geschlossene Wasserhaltung verzichtet wird, sind die Baugruben **wasserdicht zu verbauen** (z.B. Spundwände mit dichten Schlössern). Die Baugrubensohlen der Start- und Zielbaugrube sind dann wasserdruckhaltend auszubilden. Die Baugrubensohle ist mit **Unterwasserbeton** herzustellen. Nach Abbinden des Unterwasserbetons muss die Baugrube einmalig gelenzt werden. Das in der Regel stark trübstoffhaltige Wasser kann, ebenfalls eine entsprechende wasserrechtliche Genehmigung vorausgesetzt, nach Klärung über ein Absetzbecken und ggf. Neutralisation aufgrund



des Betons, in das angrenzende Fließgewässer eingeleitet werden. Die Auftriebssicherheit der Baugrubensohle muss nachgewiesen werden. Ggf. sind zusätzlich zu einer Anbindung an die Verbauwände Maßnahmen wie Rückverankerungen erforderlich. Bei Verwendung von wasserdichten Schlössern muss erfahrungsgemäß je Schloss mit einem Zufluss von ca. 0,5 l/s gerechnet werden. In den Aus- und –Einfahrbereichen der Tunnelbohrmaschine sind dann zudem **Dichtblöcke** vorzusehen.

Die Start- und Zielbaugrube sind grundsätzlich vor Oberflächenwasserzutritt zu schützen. Wir empfehlen die Spundwände bzw. die Trägerbohlwände daher mindestens 0,3 m höher als das umliegende Gelände auszuführen. Innerhalb der Baugrube anfallende Niederschlagswässer sind mittels **Pumpensumpf** zu fassen und abzuleiten. Das Planum ist bei Anordnung eines Pumpensumpfs mit einem Gefälle von mindestens 3 % zum Pumpensumpf hin auszubilden.

### 5.3 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.

In den meisten Trassenbereichen wurde jedoch der Bauwasserstand oberhalb der Bettungsohle festgelegt (Anlage 3). Somit werden voraussichtlich ein Absenken des Grundwasserspiegels und somit eine geschlossene Wasserhaltung für die Herstellung der Baugruben notwendig. Zur Verifizierung des Grundwasseranstroms werden Kurzzeit-Pumpversuche in den Grundwassermessstellen empfohlen. Zur weiteren Beobachtung sind ergänzende Pegel (zusätzliche Grundwassermessstellen oder Rammpegel) empfehlenswert, ein Monitoring allerdings notwendig.

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

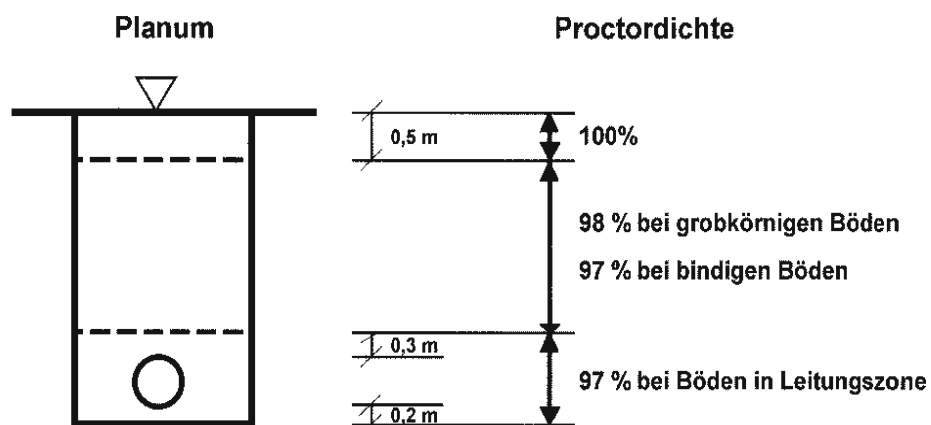
Das Sichern der Arbeiten gegen Niederschlagswasser und dessen Beseitigung, inkl. das Fassen und geordnete Ableiten des anfallenden Tag- und Oberflächenwassers ist gemäß DIN 18 299, VOB Teil C (4.1.10) Nebenleistung und wird nicht gesondert vergütet.

## 5.4 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 5.4-1 [U 22] 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 5.4-1 aufgeführten Verdichtungsgrade eingehalten werden.



**Abbildung 5.4-1:** Anforderungen an die Verdichtung in der Leitungszone und im Rohrgraben

Das Verfüllmaterial ist lagenweise einzubauen und unter Berücksichtigung der in der ZTV E-StB 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 5.4-1:** Verdichtungsanforderungen nach ZTV E-StB 17 und DIN EN 1610

Beim Aushub ist zu beachten, dass feinkörnige und gemischtkörnige Böden (insbesondere Schicht 2 und bei erhöhten Feinkorngehalten Schicht 1.1) 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 Baugrubensohlen dürfen nicht befahren werden und sind 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.

## 5.5 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.

## 5.6 Kabelpflugverfahren

Eine Alternative zur offenen Bauweise bei der Kabelverlegung bildet das Kabelpflugverfahren. Dieses Verfahren ist besonders für größere Leitungslängen und Verlegetiefen von 1,2 m bis zu 1,6 m unter GOK geeignet. Voraussetzung für die Durchführung ist die Rammbarkeit der anstehenden Böden. Nach den Erkundungsergebnissen werden im Bereich der Verlegetiefe Lockergesteinsböden des Homogenbereichs Erd-A angetroffen. Es wurde kein Fels (fehlende Rammbarkeit) in der Verlegetiefe erkundet. Die Verfahrensanwendung ist demnach voraussichtlich entlang der geplanten Trasse möglich.

Die Verlegetiefe kann beim Kabelpflugverfahren stufenlos reguliert werden, sodass selbst bei Fels-  
hochlagen, Restbänken oder weiteren Rammhindernissen die Tiefenlage (mind. frostfrei) variiert  
werden kann. Eine Mindestarbeitsbreite von ca. 3,0 m muss für den Einsatz eines Kabelpflugs ge-  
währleistet sein.

Wir weisen darauf hin, dass durch die verfahrensgebundene Wiederverfüllung nur ein geringer Ver-  
dichtungsgrad entlang der Trassierung zu erwarten ist. In Abhängigkeit der Anforderungen des Ver-  
dichtungsgrades wird ggf. ein Nachverdichten erforderlich.

Weiterhin wird die Spartenfreiheit bzw. Kenntnis über die genaue Spartenlage entlang der geplanten  
Trassierung vorausgesetzt, um Beschädigungen an Bestandsleitungen zu vermeiden.

## **5.7 Sonstige Empfehlungen**

Für die angrenzende bestehende Bebauung und für die wahrscheinlich im Nahbereich der Baumaß-  
nahme 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 und (3) im Rahmen der Geotechnischen Fachbauüberwachung zu kontrol-  
lieren 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 die-  
sem 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. An-  
nahmen 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: 43.8801

23.06.2023

---

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

i.V. (gezeichnet)

Dipl.-Geol. Olaf Narbut  
(Abteilungsleiter)

i.A.

M.Sc. Julia Gruber  
(Projektgeologin)