

Projekt

Nordöstliche Leitungseinführung

Ersatzneubau 380-kV Leitungseinführung UW Raitersaich_West

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

Planfeststellungsunterlage

Materialband 03.2

Baugrundhauptuntersuchung

Antragsteller:



TenneT TSO GmbH

Bernecker Straße 70

95448 Bayreuth

Bearbeitung:



DR. SPANG

**Dr. Spang Ingenieurgesellschaft für Bau-
wesen, Geologie und Umwelttechnik**

Rosi-Wolfstein-Straße 6

58453 Witten

Aufgestellt:	TenneT TSO GmbH gez. i. V. Julia Gotzler gez. i. V. Andreas Junginger	Bayreuth, den 10.01.2025
Bearbeitung:	Dr. Spang, gez. i. V. Olaf Narbut, i. A. Alexandra Riedelmeier	
Anlagen zum Dokument:	<ul style="list-style-type: none"> - Anlagen zum BGHU Bericht Maste <ul style="list-style-type: none"> ○ Anlage 1: Übersichtslageplan ○ Anlage 2: Detaillageplan: Lageplan mit Aufschlusspunkten ○ Anlage 3: Geotechnischer Schnitt ○ Anlage 4: Datenblätter inkl. objektspezifische Anlagen zu den Masten 	
Änderungs- historie:	Änderung:	Änderungsdatum:



DR. SPANG

INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR BAUWESEN, GEOLOGIE UND UMWELTTECHNIK MBH

TenneT TSO GmbH
Herr Rudolf Rippl
Bernecker Straße 70
95448 Bayreuth

Projekt-Nr.
43.9120

Datei
P9120B241028

Diktat
Nar/Rie

Büro
Nürnberg

Datum
28.10.2024

Nordöstliche Leitungseinführung (B120)
Ersatzneubau 380-kV Leitungseinführung UW
Raitersaich_West
380-kV-Ltg. Raitersaich - Cadolzburg, LH-07-B120

Baugrunduntersuchung der Maststandorte
- Geotechnischer Bericht -

Bestellung: HV: 4529089922/3111/HX2/NB

NT 10: 4500050781

Auftrag vom 18.11.2022/02.09.2024

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

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

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

Banken: Deutsche Bank AG, Witten, IBAN: DE42 4307 0024 0813 9511 00, BIC: DEUTDE33HAN33
Stadtsparkasse Witten, IBAN: DE59 4525 0035 0000 0049 11, BIC: WELADED1WTN



INHALT	SEITE
1. ALLGEMEINES	4
1.1 Projekt	4
1.2 Auftrag	5
1.3 Unterlagen	5
1.4 Untersuchungen	6
2. GEOTECHNISCHE VERHÄLTNISSE	9
2.1 Morphologie, Vegetation und Bebauung	9
2.2 Baugrund	10
2.3 Hydrogeologie / Grundwasser	12
2.4 Bodenmechanische und Felsmechanische Laborversuche	15
2.5 Umwelttechnische Untersuchungen	19
2.6 Sonstige Randbedingungen und Eigenschaften	22
3. TECHNISCHE EIGENSCHAFTEN UND KENNWERTE	23
3.1 Klassifizierung für bautechnische Zwecke	23
3.2 Bodenkennwerte	24
3.3 Felsmechanische Kennwerte	25
3.4 Homogenbereiche	26
3.4.1 Allgemeines	26
3.4.2 DIN 18 300 Erdarbeiten	27
3.4.3 DIN 18 301 Bohrarbeiten	29
3.4.4 DIN 18 320 Landschaftsbauarbeiten	30
4. FOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN	31
4.1 Gründung	31
4.1.1 Flachgründung	32
4.1.2 Tiefgründung	34
4.2 Baugruben	36
4.3 Grundwasserhaltung	39
4.4 Geotechnische Kategorie	41
4.5 Sonstige Empfehlungen	41



INHALT

5. ANLAGEN

Anlage 1	Übersichtslageplan, 1:100.000 (2)
Anlage 2	Lageplan mit Aufschlusspunkten, 1:10.000 (2)
Anlage 3	Geotechnischer Schnitt, LH-07-B120, 1:100 / 1:1.000 (H/L) (2)
Anlage 4	Datenblätter inkl. objektspezifische Anlagen (1)
Anlage 4.1	Datenblatt inkl. objektspezifische Anlagen Mast 1A (B120) (23)
Anlage 4.2	Datenblatt inkl. objektspezifische Anlagen Mast 1N (B120) (30)
Anlage 4.3	Datenblatt inkl. objektspezifische Anlagen Mast 2N (B120) (30)
Anlage 4.4	Datenblatt inkl. objektspezifische Anlagen Mast 3N (B120) (25)



1. ALLGEMEINES

1.1 Projekt

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

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

Südliche Leitungseinführungen

Ersatzneubau der 380/220-kV Leitungseinführungen UW Raitersaich_West und 110-kV Anschluss UW Müncherlbach

220/110-kV-Ltg. Einführung Raitersaich_West 1, LH-08-B105A

380/110-kV-Ltg. Einführung Raitersaich_West 2, LH-08-B105B

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

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

Nordöstliche Leitungseinführung (B120)

Ersatzneubau 380-kV Leitungseinführung UW Raitersaich_West

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

Nordwestliche Leitungseinführung (B114)

Ersatzneubau der 380-kV Leitungseinführung UW Raitersaich_West

380/220/110-kV-Ltg. – Berggrheinfeld, LH-07-B114

Nordwestliche Leitungseinführung (B48)

Ersatzneubau 220-kV Leitungseinführung UW Raitersaich_West

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



Gegenstand dieses Gutachtens ist die Baugrunduntersuchung der **Maststandorte der Freileitung der nordöstlichen Leitungseinführung (B120)**, 380-kV-Ltg. Raitersaich-Cadolzburg, LH-07-B120 mit einer Länge von ca. 1,7 km.

1.2 Auftrag

Auf Basis unseres Angebots A 43.18146 vom 01.11.2022 wurde von der TenneT TSO GmbH mit dem Schreiben vom 18.11.2022 (Bestellnummer 4529089922/3111/HX2/NB) der Dr. Spang GmbH der Auftrag erteilt, die entsprechenden Leistungen auszuführen. Da der Gesamtbericht der nordöstlichen Leitungseinführung im Angebot nicht abgedeckt war, wurden die benötigten Leistungen mit dem Nachtrag 10 vom 31.07.2024 (Bestellnummer 4500050781) am 02.09.2024 erweitert.

Beide Bestellungen zusammen umfassen die Durchführung der Baugrunderkundung und -untersuchung inkl. der damit verbundenen bodenmechanischen Laborversuche und Schadstoffuntersuchungen. Die Datenblätter mit den standortspezifischen Kennwerten der einzelnen Maste wurden dem AG bereits übergeben (s. Anlage 4.1 – 4.4). Abschließend ist ein entsprechendes geotechnisches Gutachten für die Maststandorte der nordöstlichen Leitungseinführung zu erstellen.

1.3 Unterlagen

Es wurden die nachfolgend aufgeführten Unterlagen verwendet:

- [U 1] **Technischer Bericht, Baugrundvoruntersuchung A070, Geologischer Bericht Bereich UW Raitersaich**; Projekt-Nr.: P012547, Version V1.0, Bernard Gruppe ZT GmbH, Hall in Tirol, 08.08.2022.
- [U 2] **A070 – Kick-Off BGHU Leitungseinführung**; zur Verfügung gestellt durch Liane Kronhardt, erstellt von EQOS Energie, Leipzig, 13.04.2023.
- [U 3] **BayernAtlas**; <https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/>, Bayerisches Staatsministerium der Finanzen und für Heimat, Abruf am 15.10.2024.



- [U 4] **UmweltAtlas Bayern**; <https://www.umweltatlas.bayern.de/>, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Abruf am 15.10.2024.
- [U 5] **Beurteilung der Kampfmittelsituation, Lage der Auswerteflächen / Trassenabschnitte**; BV A070 – Ersatzneubau 380-kV Raitersaich-Altheim – Abschnitt UW Raitersaich – Kampfmittelbelastung, IABG mbH, Ottobrunn, 30.08.2022.
- [U 6] **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 7] **LAGA-Merkblatt 20**; Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen / Abfällen, Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) Nr. 20, Stand 06.11.1997.
- [U 8] **RStO 12/24, Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen**; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Infrastrukturmanagement, Ausgabe 2012/Fassung 2024.
- [U 9] **Grundbautaschenbuch Teil 1 bis 3; 8. Auflage**; Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 2017.

1.4 Untersuchungen

Zur Erkundung der Baugrundverhältnisse der geplanten Maststandorte der nordöstlichen Leitungseinführung zum UW Raitersaich-West wurden insgesamt **2 Schwere Rammsondierungen** (DPH) nach DIN EN ISO 22 476-2, **4 Kernbohrungen** (KB) und an jedem Maststandort wurden jeweils mindestens 2 bis maximal 5 **Standard-Penetration-Tests** (SPT) nach DIN ISO 22 476-3 durchgeführt. **Zwei** der Kernbohrungen wurden zu **Grundwassermessstellen** (GWM) nach DIN 4021 ausgebaut.

Der Abstand der einzelnen Maste variiert zwischen 290 m bis ca. 420 m. An jedem Maststandort wurde eine Kernbohrung (Ramm- / Rotationskernbohrung) durchgeführt. Bei zwei Kernbohrungen wurde begleitend eine DPH und zwei oder mehr SPT durchgeführt. Die Baugrunduntersuchungen



wurden bis in eine maximale Tiefe von 15 m unter bestehender Geländeoberkante (GOK) ausgeführt.

Bezeichnung Mast	Bezeichnung und Art des Aufschlusses ²⁾	Endteufe [m u. GOK]	Rechtswert ¹⁾	Hochwert ¹⁾	Ansatzhöhe [m NHN]
1A (B120)	KB 1001	15,0	633130,86	5471225,06	388,2
	SPT 1001	3,45			
1N (B120)	KB-GWM 1002	15,0	633253,74	5471625,70	381,6 ³⁾ BA: 378
	SPT 1002	7,95			
	DPH 1002	1,5	633242,74	5471605,45	
2N (B120)	KB-GWM 1003-NE	15,0	633356,23	5471989,65	380,9
	SPT 1003-NE	3,15			
3N (B120)	KB 1004-NE	15,0	633425,50	5472271,57	387,2
	SPT 1004-NE	6,9			
	DPH 1004-NE	1,9	633443,84	5472286,59	

1) Koordinatensystem ETRS89 / UTM Zone 32N

2) KB: Kernbohrung, GWM: Grundwassermessstelle, DPH: Schwere Rammsondierung, SPT: Standard-Penetration-Test

3) Aufgrund des schlechten Satellitenempfangs kann die Höhe fehlerhaft sein. BA: Höhe aus dem BayernAtlas.

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

Die Aufschlusspunkte wurden von der Dr. Spang GmbH in Abstimmung mit der TenneT TSO GmbH aufgrund der Maststandorte festgelegt. Die Koordinaten der Maststandorte wurden der Dr. Spang GmbH von EQOS Energie übermittelt [U 2].

Alle Aufschlüsse wurden lage- und höhenmäßig mit einem GNSS-Gerät eingemessen. Die Lage des Untersuchungsgebietes ist in dem Übersichtslageplan in der Anlage 1 markiert. Die Lage der Aufschlusspunkte ist in der Anlage 2 dargestellt. Die Ansatzhöhen und Endteufen der Aufschlüsse sind den Darstellungen in Anlage 3 (Schnitte) und 4 (Einzelprofil) sowie der Tabelle 1.4-1 zu entnehmen.

Die Baugrunduntersuchungen wurden im Dezember 2023 und April 2024 durchgeführt. Die Standard-Penetration-Tests und Kernbohrungen wurden von GeologicSite S.R.L. ausgeführt. Die Rammsondierungen wurden durch Mitarbeiter der Dr. Spang GmbH durchgeführt.



Das Bohrgut wurde nach den Maßgaben der DIN EN ISO 14 688 (Boden) / 14 689 (Fels) geotechnisch aufgenommen und nach DIN 18 196 gruppiert sowie nach DIN 18 300:2012 klassifiziert. Die Ergebnisse der Bohrgutaufnahmen sind gemäß DIN 4023 in den Datenblättern jeweils in der Anlage 4.4 (KB, GWM) dargestellt. Die Schweren Rammsondierungen sind gemäß DIN EN ISO 22 476-2 als Rammogramme in Anlage 4.3 (DPH) und die Standard-Penetration-Tests gemäß DIN EN ISO 22 476-3 in Anlage 4.4 (SPT) enthalten.

Aus dem Bohrgut der Kernbohrungen wurden durch die Dr. Spang GmbH Proben für boden- bzw. felsmechanische und chemische Laboruntersuchungen entnommen.

Bodenmechanische Laboruntersuchungen:

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

Versuch	Norm / Richtlinie	Anzahl
Wassergehalt	DIN EN ISO 17 892-1	4
Korngrößenverteilung	DIN EN ISO 17 892-4	3
Konsistenzgrenzen	DIN EN ISO 17 892-12	1

Tabelle 1.4-2: Umfang der geotechnischen Laborversuche an Bodenproben

Felsmechanische Laboruntersuchungen:

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

Versuch	Norm / Richtlinie	Anzahl
Einaxialer Druckversuch	DGGT, AK 3.3, Empfehlung Nr. 1	5
Abrasivität (CAI)	NF P 94-430-1	5

Tabelle 1.4-3: Umfang der geotechnischen Laborversuche an Festgesteinsproben

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

**Chemische Laboruntersuchungen:**

Für die abfalltechnische Bewertung von anfallendem Aushub und seiner umwelttechnischen Einstufung wurden folgende chemische Untersuchungen aus ausgewählten Mischproben sowie Wasserproben durchgeführt:

Versuch	Norm / Richtlinie	Anzahl
LAGA M 20	Tab. II 1.2.-1	4
Betonaggressivität Boden	DIN 4300, Teil 1:2008-06	4
Stahlaggressivität Boden	DIN 50 929, Teil 3	4
Betonaggressivität Wasser	DIN 4300, Teil 1:2008-06	2
Stahlaggressivität Wasser	DIN 50 929, Teil 3	2

Tabelle 1.4-4: Umfang der chemischen Laborversuche

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 den Datenblättern jeweils als Anlage 7 beigelegt.

2. GEOTECHNISCHE VERHÄLTNISSE

2.1 Morphologie, Vegetation und Bebauung

Die Masten der nordöstlichen Leitungseinführung liegen in der Gemeinde Großhabersdorf, Landkreis Fürth, Mittelfranken. Die Freileitung erstreckt sich vom UW Raitersaich-West mit ca. 1,7 km Länge von Süden nach Nordosten.

Das leicht hügelige Gelände fällt von Süden und Norden zum Clarsbacher Bächlein hin ab. Die Freileitung verläuft zwischen Höhenlagen von ca. 370 m NHN und ca. 390 m NHN [U 3].

Entlang der Trasse werden neben der Kreisstraße FÜ 20 zwischen Fernabrünst und Clarsbach Wirtschaftswege und Feldwege sowie Waldgebiete und das Clarsbacher Bächlein gequert. Die betreffenden Flächen der Maststandorte sind Wald- oder Ackerflächen.

Im nördlichen Bereich der nordöstlichen Leitungseinführung stehen teilweise bereits bestehende Masten in der Nähe der neu geplanten Maststandorte.



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

2.2 Baugrund

Der tiefere Untergrund der Maststandorte der nordöstlichen Leitungseinführung wird durch die **Hassberge-Formation** (Coburger Sandstein und Blasensandstein) des Mittleren Keupers (Obertrias) aufgebaut. Gemäß der geologischen Karte [U 3] handelt es sich bei dem **Coburger Sandstein** um fein- bis mittelkörnige, weiß-, beige- und grüngraue Sandsteine mit rotbraunen bis grüngrauen, häufig Glimmer führenden Ton- und Schluffsteinen sowie grau bis gelbbraunen Tonmergelsteinbänken. Der **Blasensandstein** besteht aus fein- bis grobkörnige weißgraue bis rotgraue Sandsteine mit rotbraunen bis grüngrauen Ton- und Schluffsteinen. Vereinzelt sind weiß- bis gelbgraue Dolomitsteinbänke anstehend [U 3].

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

Schicht 0 – Mutterboden: Bei fast allen Bohrungen (Ausnahme: KB 1004-NE / 3N (B120)) wurde oberflächennah ein ca. 0,2 – 0,5 m mächtiger Mutterboden angetroffen. Bei dem Mutterboden handelt es sich überwiegend um sandige, teilweise tonige Schluffe bzw. schwach schluffige Sande. Der Mutterboden weist einen lokal variierenden Anteil an humosen Beimengungen auf. Die Schicht 0 (Mutterboden) ist meist in weicher Konsistenz erkundet.

Schicht 1 (Auffüllungen) und Schicht 2.1 (Auelehme): Diese Schichten, die im Projekt BGHU A070 Raitersaich – Altheim, UW Raitersaich-West in anderen Leitungseinführungen aufgeschlossen sind, wurden im Bereich der nordöstlichen Leitungseinführung nicht angetroffen.

Schicht 3.1 – bindige Verwitterungstone: Am Übergang der Lockergesteinsüberdeckung zu dem anstehenden Festgestein wurden **bindige Verwitterungstone (Schicht 3.1)** angetroffen. Bindige Verwitterungstone (Schicht 3.1) wurden in Form von (schwach) schluffigen, z.T. schwach tonigen und schwach kiesigen Sanden sowie Tonen mit variierendem Sand- und Schluffanteil angetroffen. Dabei variiert die Farbe der Tone zwischen (hell-)braun und rotbraun sowie hell- und beige-grau. Sie weisen meist eine steife bis halbfeste, lokal auch eine weiche Konsistenz auf.



Schicht 4 – Sandsteinkeuper: Unter dem Zersatzhorizont ist das Festgestein anstehend. Hierbei wurden **Sandsteine (Schicht 4.1)** der Hassberge-Formation, bestehend aus dem Coburger Sandstein und dem Blasensandstein, angetroffen. Der Coburger Sandstein besteht aus (hell-)grauen, (hell-)braunen, rotbraunen, violetten, ocker und grün(grauen) Sandsteinen mit Lettenlagen bzw. teilweise Wechsellagerung von Ton- und Sandsteinen. Der Blasensandstein mit hellgrauen, roten, und beige Sandsteinen ist mit vielen Lettenlagen durchzogen. Es wurde in jeder Bohrung eine Wechsellagerung von Ton- und Sandsteinen aufgeschlossen. Der Festgesteinshorizont wurde ab einer Tiefe von ca. 1,6 m bis 4,7 m u. GOK erkundet.

Tabelle 2.2-1 fasst den Aufbau des Baugrundes zusammen.

Schicht Nr.	Bezeichnung	Schichtmächtigkeit [m]	Bodenbeschreibung	
			Bodenart / Farbe	Konsistenz
0	Mutterboden ¹⁾	0,2 – 0,5	gemischtkörnige Sande, Schluffe / braun	weich
3.1	Verwitterungstone, bindig	1,4 – 4,4	gemischtkörnige Sande, Tone, / braun, grau, rot	weich – halbfest
4.1	Sandsteinkeuper	10,3 – 13,4 ²⁾	Sandsteine mit Lettenlagen, Wechsellagerung von Sandstein und Tonstein	-

1) nicht in allen Bohrungen erkundet

2) nur aufgeschlossene Schichtmächtigkeit bis Bohrende

Tabelle 2.2-1: Schematischer Baugrundaufbau

Die Schweren Rammsondierungen konnten nicht bis zur planmäßigen Tiefe ausgeführt werden. Ab den erreichten Endtiefen (Schlagzahlen von $N_{10} > 100$) 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 Festgestein aufgeschlossen wurde. Neben den Angaben aus der geologischen Karte [U 3] wurden bei der Beschreibung des Festgesteins auch die erkundeten Festgesteine der Kernbohrungen berücksichtigt. Die Tiefenlage der Felsoberkante ist der Anlage 3 zu entnehmen.

Zur Beurteilung der Lagerungsdichte des Bodens sowie der Zustandsform sind Sondierungen mit der schweren Rammsonde (Fallgewicht 50 kg, Fallhöhe 50 cm, Spitzenquerschnitt 15 cm²) nach DIN EN ISO 22 476-2 sowie Standard-Penetration-Tests nach DIN EN ISO 22 476-3 ausgeführt



worden. Somit werden u.a. die angegebenen Konsistenzen abgeschätzt. Unterhalb des Grundwasserspiegels werden insbesondere bei grobkörnigen Böden trotz gleicher Lagerungsdichte geringere Eindringwiderstände gemessen. Bei den bindigen Böden ist die Lagerungsstörung (z.B. bedingt durch Umlagerung) beim Rammvorgang zu berücksichtigen, die eine geringere Konsistenz vortäuscht als der ungestörte Boden tatsächlich aufweist. In diesem Fall ist die Konsistenz aus der Bohrgutansprache zuverlässiger, auch wenn diese zwangsläufig ebenfalls gestört ist. Dies wurde bei der Angabe der Lagerungsdichte und Konsistenz berücksichtigt. Liegen keine Informationen aus Rammsondierungen vor, wurde die Lagerungsdichte aus dem Fortschritt des Bohrvorgangs abgeleitet. Weiterhin werden die Ergebnisse aus den bodenmechanischen Laborversuchen berücksichtigt.

Der erkundete Schichtaufbau entspricht stratigraphisch den Angaben der geologischen Karte in [U 3].

2.3 Hydrogeologie / Grundwasser

Die Bewertung der Grundwasserstände wurde nach DIN EN 1997-2, 3.6.3 auf Grundlage der verfügbaren Informationen vorgenommen. Gemäß der Baugrundvoruntersuchung [U 1] wurde in der Ortschaft Fernabrünst in ca. 1 km nordwestlicher Entfernung der geplanten Trasse bei einer Bohrung ein Wasserstand bei 349 m ü. NN gemessen. In der Ortschaft Raitersaich in ca. 1,0 km südöstlicher Entfernung der geplanten Trasse wurden Wasserstände bei fünf Bohrungen zwischen 370 m ü. NN und 378 m ü. NN angetroffen [U 1].

Im direkten Umfeld der nordöstlichen Leitungseinführung sind gemäß der Baugrundvoruntersuchung [U 1] sowie [U 4] keine Grundwassermessstellen vorhanden, sodass auf entsprechende Messdaten nicht zurückgegriffen werden konnte. Da zuverlässige Daten von Langzeitmessungen für den unmittelbaren Bereich der geplanten Masten somit fehlen, ist es erforderlich, den Bemessungswasserstand und den Bauwasserstand vorsichtig auf Grundlage der begrenzt verfügbaren Informationen abzuschätzen.

Den Masten der nordöstlichen Leitungseinführung nächstgelegene Fließgewässer sind neben dem Weihersmühlbach ca. 930 m südlich der Kernbohrung KB 1001 bei Raitersaich zudem noch das Clarsbacher Bächlein zwischen den Kernbohrungen KB-GWM 1002 und KB-GWM 1003-NE [U 3].



Die Sandsteine der Schicht 4.1 sind ein regional bedeutender **Kluft-(Poren)-Grundwasserleiter** mit geringer bis mittlerer bzw. mäßiger Trennfugendurchlässigkeit [U 4].

Während der Erkundung wurde bei zwei Kernbohrungen Wasser angetroffen. Die angetroffenen Wasserstände sind in Tabelle 2.3-1 zusammengefasst.

Bezeichnung Mast	Bezeichnung und Art des Aufschlusses ¹⁾	Datum	Höhe Ansatzpunkt Bohrung [m NHN]	Wasseranschnitt		Bodenart	Schicht-Nr.
				[m u. GOK]	[m NHN]		
1N (B120)	KB-GWM 1002	07.05.2024	381,6	8,6 ⁴⁾	373,0	Sst	4.1
2N (B120)	KB-GWM 1003-NE	19.12.2023	380,9	3,0 ²⁾	377,9	Sst	4.1
		19.12.2023		6,5 ³⁾	374,4		
		20.12.2023		3,2 ⁴⁾	377,7		
		10.01.2024		4,6 ⁴⁾	376,3		

1) KB: Kernbohrung, GWM: Grundwassermessstelle

2) Wasser angebohrt

3) Wasser nach Bohrende

4) Ruhewasserstand

Tabelle 2.3-1: Wasserstände in den Kernbohrungen

Aufgrund der vorhandenen Schicht mit hohem Feinkornanteil und stark variierenden Durchlässigkeiten besonders innerhalb der bindigen Sedimente (Schicht 3.1) sowie der in den Festgestein vorhandenen Lettenlagen mit sehr geringen Durchlässigkeiten ist im gesamten Projektgebiet mit **Schichtwasserhorizonten** und **Stauwasser** bis in Höhe der Geländeoberfläche zu rechnen.

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

Unter Berücksichtigung der möglichen lokalen Stauwasser und Schichtwasservorkommen und der o.g. Wasseranschnitte wird der **Bauwasserstand** (der während der Bauzeit zu erwartende höchste Wasserstand) im Nahbereich der Baugrundaufschlüsse folgend festgesetzt: höchster Wasseranschnitt bzw. geringste Endteufe + 0,5 m Sicherheitszuschlag. Von einer Interpolation der Grundwasserstände wird aufgrund der großen Bohrpunktabstände abgesehen. Um eine fundierte



Aussage bzgl. der Bauwasserstände entlang der geplanten Trasse zu treffen, müsste ein engmaschiges Grundwassermessstellennetz errichtet werden.

Der Bau- und Bemessungswasserstand für die einzelnen Maststandorte können in den Datenblättern der Anlagen 4 auf der jeweiligen Seite 2, Tabelle *XIII Standortmerkmale* und aus den geotechnischen Schnitten der Anlage 3 entnommen werden.

Die Durchlässigkeiten der angetroffenen Schichten können als Bandbreiten gemäß DIN 18 130 nach Erfahrungswerten wie folgt eingeschätzt werden (Tabelle 2.3-2).

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

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

Tabelle 2.3-2: Durchlässigkeitsbeiwerte der Schichten

Es wurden **Wasseranalysen bezüglich der Beton- und Stahlaggressivität** durchgeführt. Die Ergebnisse sind den Anlagen 7.4 und 7.5 des Datenblattes zu entnehmen und sind im Kapitel 2.5 beschrieben.

Gemäß [U 3] befinden sich die Maststandorte der nordöstlichen Leitungseinführung **außerhalb** von **Trinkwasserschutz-** und **Heilquellenschutzgebieten** sowie von **festgesetzten Überschwemmungsgebieten, Hochwassergefahrenflächen** und **wassersensiblen Bereichen**.



2.4 Bodenmechanische und Felsmechanische 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 und Anlage 6 der Datenblätter) durchgeführt:

- 4 x Bestimmung des Wassergehaltes nach DIN EN ISO 17 892-1;
- 3 x Bestimmung der Korngrößenverteilung nach DIN EN ISO 17 892-4;
- 1 x Bestimmung der Konsistenzgrenzen nach DIN EN ISO 17 892-12;
- 5 x Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit nach DGGT, AK 3.3, Empfehlung Nr. 1;
- 5 x Bestimmung der Abrasivität (CAI) nach NF P 94-430-1.

Bodenmechanische Laboruntersuchungen:

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

Bezeichnung Mast	Aufschluss	Tiefe [m u. GOK]	Wassergehalt [%]
Verwitterungstone, bindig (Schicht 3.1)			
1A (B120)	KB 1001	2,0 – 3,4	13,57
1N (B120)	KB-GWM 1002	0,4 – 1,5	8,31
2N (B120)	KB-GWM 1003-NE	2,0 – 3,0	7,8
3N (B120)	KB 1004-NE	2,0 – 2,8	7,23

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

Die ermittelten Wassergehalte in den untersuchten Bodenproben aus der **Schicht 3.1 (Verwitterungstone, bindig)** liegen bei ca. 7,23 % bis ca. 13,57 %.

Zur Bestimmung der **Korngrößenverteilung** wurden an drei ausgewählten Proben Siebungen nach DIN EN ISO 17 892-4 durchgeführt. Die Ergebnisse der Korngrößenanalyse werden in der Tabelle



2.4-2 zusammengefasst und sind in den betreffenden Datenblättern in der objektspezifischen Anlage 5.2 hinterlegt.

Bezeichnung Mast	Aufschluss	Tiefe [m u. GOK]	Schlammkorn ¹⁾ [%]	Feinstkornanteil ²⁾ [%]	Bodenart ³⁾	Boden- gruppe ⁴⁾
Verwitterungstone, bindig (Schicht 3.1)						
1N (B120)	KB-GWM 1002	0,4 – 1,5	15,2	5,4	S, u', t'	SU*, ST*
2N (B120)	KB-GWM 1003-NE	2,0 – 3,0	16,1	3,3	S, u', g'	SU*
3N (B120)	KB 1004-NE	2,0 – 2,8	20,6	3,9	S, u	SU*

- 1) Korngröße $\leq 0,063$ mm
 2) Korngröße $\leq 0,002$ mm
 3) DIN EN ISO 14 688 / DIN 4023
 4) DIN 18 196

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

Die Bodenproben aus der **Schicht 3.1 (Verwitterungstone, bindig)** sind mit einem Schlammkornanteil von 15,2 – 20,6 Gew.-% gemäß DIN 18 196 als gemischtkörniger Boden einzustufen und den **Bodengruppen SU* und ST*** zuzuordnen.

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

Bezeichnung Mast	Aufschluss	Tiefe [m]	Bodenart	w _n [%]	w _L [%]	I _p [%]	I _c [-]	Konsistenz	Boden- gruppe ¹⁾
Verwitterungstone, bindig (Schicht 3.1)									
1A (B120)	KB 1001	2,0 – 3,4	T, u'	13,6	44,4	28,6	1,08	halbfest	TM

- w_n = natürlicher Wassergehalt; w_L = Wassergehalt an der Fließgrenze; I_p = Plastizitätsindex, I_c = Konsistenzzahl
 1) DIN 18 196

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



Angesichts der gemessenen Plastizitätszahl I_p und der Fließgrenze w_L ist die Bodenprobe aus der **Schicht 3.1 (Verwitterungstone, bindig)** gemäß dem Plastizitätsdiagramm nach Casagrande der **Bodengruppe TM** zuzuordnen.

Aus den bestimmten Wassergehalten (w , w_L , w_P) und berechneten Konsistenzzahlen I_c lässt sich folgende Beziehung herstellen:

Zustandsform des Bodens	Konsistenzzahl I_c [-]
breiig	0 ¹⁾ bis 0,5
weich	0,5 bis 0,75
steif	0,75 bis 1,0 ²⁾
halbfest	> 1,0

1) Fließgrenze w_L

2) Ausrollgrenze w_P

Tabelle 2.4-4: Beziehung zwischen Zustandsform und Konsistenzzahl

Felsmechanische Laboruntersuchungen:

An fünf ausgewählten Proben wurde die Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit nach DGGT-Empfehlung Nr. 1, AK 3.3 durchgeführt. Die hierfür benötigten Festgesteinsproben wurden durch Kernbohrungen gewonnen. Tabelle 2.4-5 fasst die Ergebnisse zusammen. Die Detailergebnisse können den Datenblättern in der objektspezifischen Anlage 5.22 entnommen werden.

Bezeichnung Mast	Aufschluss	Tiefe	Gestein	Einaxiale Druckfestigkeit σ_U [N/mm ²]	Stauchung	Verformungsmodul E [MN/m ²]
		[m u. GOK]			ϵ_U [mm]	
1A (B120)	KB 1001	7,4 – 7,6	Sandstein	2,00	2,67	337,5
1N (B120)	KB-GWM 1002	11,1 – 11,5	Sandstein / Tonmergelstein	1,16	5,52	72,0
2N (B120)	KB-GWM 1003-NE	11,1 – 11,6	Sandstein	3,57	0,73	519,4
3N (B120)	KB 1004-NE	3,6 – 3,8	Sandstein	31,14 ¹⁾	1,03	7.489,0
3N (B120)	KB 1004-NE	12,0 – 12,3	Sandstein / Tonmergelstein	0,68 ¹⁾	4,12	39,8

1) abgeminderte Einaxiale Druckfestigkeit

Tabelle 2.4-5: Ergebnisse der einaxialen Druckversuche



Die **Sandstein**proben weisen mit einer einaxialen Druckfestigkeit von ca. 2,0 N/mm² bis ca. 31,14 N/mm² eine **sehr geringe bis mäßig hohe Festigkeit** nach DIN EN ISO 14 689-1 auf. Die **Sandstein- / Tonmergelstein**proben mit einer einaxialen Druckfestigkeit von 0,68 N/mm² und 1,16 N/mm² haben nach DIN EN ISO 14 689-1 eine **außerordentlich geringe bis sehr geringe Festigkeit**.

An fünf 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 2.4-6 fasst die Ergebnisse zusammen. Die Detailergebnisse können in den betreffenden Datenblättern in der objektspezifischen Anlage 5.24 entnommen werden.

Bezeichnung Mast	Aufschluss	Tiefe [m u. GOK]	Gestein	Abriebindex CAI Mittelwert A _{IN} [-]	Abrasivitätsbezeichnung (Thuro et al., 2006)
1A (B120)	KB 1001	10,0 – 10,3	Sandstein	0,91	schwach abrasiv
1N (B120)	KB-GWM 1002	12,3 – 12,6	Sandstein / Tonstein	0,33	kaum abrasiv
2N (B120)	KB-GWM 1003-NE	10,6 – 10,85	Sandstein	0,72	schwach abrasiv
3N (B120)	KB 1004-NE	3,2 – 3,4	Sandstein	3,38	stark abrasiv
3N (B120)	KB 1004-NE	11,0 – 11,25	Sandstein	0,78	schwach abrasiv

Tabelle 2.4-6: Ergebnisse der Abrasivitätsuntersuchungen

Die **Sandstein**proben liegen nach [U 6] mit einem Abriebindex von ca. 0,72 bis ca. 3,38 in einem **schwach abrasiven bis stark abrasiven** Bereich. Die **Sandstein- / Tonmergelstein**probe wird aufgrund des Abriebindex von 0,33 als **kaum abrasiv** bezeichnet.

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 und Abrasivität kommen.



2.5 Umwelttechnische Untersuchungen

LAGA:

Im Zuge der Baugrunduntersuchung wurden chemische Analysen bzgl. der zu erwartenden abfall-technischen Einstufungen der voraussichtlich anfallenden Aushubmaterialien an allen Maststandorten durchgeführt. Hierbei wurden die natürlich anstehenden Böden nach **LAGA M 20 (1997)** (Tab. II 1.2-1) [U 7] vom Labor AGROLAB GmbH, Bruckberg, untersucht.

Die LAGA-Richtlinie M 20 [U 7] ist für die Bewertung der Wiederverwertungs-/Entsorgungsmöglichkeiten von Aushub gedacht. Zusätzlich können anhand deren Zuordnungswerten Z 0 bis Z 2 und den damit verbundenen Wiedereinbaukriterien Rückschlüsse auf die Höhe der Bodenverunreinigungen getroffen werden. Die Bewertung erfolgt auf Wunsch des AG für gewachsene Böden nach der Tabelle II.1.2-1.

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

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

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



In der Tabelle 2.5-2 sind die Ergebnisse der Analysen nach **LAGA M20 Boden (1997)** Tab II.1.2-1 zusammengestellt, wobei alle Parameter und Werte angegeben sind, welche den Grenzwert der Zuordnungsklasse Z 0 überschreiten. Die für die Einstufung maßgebenden Parameter sowie deren Werte sind dabei fett hervorgehoben.

Bezeichnung Mast	Aufschluss	Material	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Parameter	Wert	Zuordnung nach LAGA M20
1A (B120)	KB 1001	nat. Boden	0,3 – 2,0	/	/	Z 0
1N (B120)	KB-GWM 1002	nat. Boden	0,4 – 1,5	Kupfer (FS)	53,0 mg/kg	Z 1.1
2N (B120)	KB-GWM 1003-NE	nat. Boden	0,5 – 2,0	/	/	Z 0
3N (B120)	KB 1004-NE	nat. Boden	0,0 – 1,6	Kupfer (FS)	46,0 mg/kg	Z 1.1

FS = Feststoff

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

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

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

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

Die LAGA-Richtlinien sehen jedoch für eine repräsentative Probenahme eindeutig eine Untersuchung von Materialien aus Haufwerken oder Stoffströmen vor. Nach geltendem Abfallrecht sind daher weiterführende abfalltechnische Materialuntersuchungen während der Bauausführung (Haufwerksuntersuchungen) vorzusehen, welche als maßgeblich für die Deklaration und Entsorgung der gegenständlichen Massen gelten.



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

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

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

Beton-/Stahlaggressivität des Bodens:

Bei jedem Maststandort wurde der Boden auf Beton- und Stahlaggressivität untersucht. Die Detailergebnisse der Beton- und Stahlaggressivität ist im jeweiligen Datenblatt als Anlage 7.2 und 7.3 aufgeführt.

Für jeden Maststandort wurde eine Analyse einer Bodenprobe auf **Betonaggressivität** durchgeführt. Alle Proben sind nach DIN 4030 als **nicht aggressiv** eingestuft.

In Tabelle 2.5-3 sind die Ergebnisse der Analysen auf **Stahlaggressivität** zusammengestellt und die daraus ergebende Mulden- und Lochkorrosion sowie Flächenkorrosion nach DIN 50 929 aufgelistet.

Bezeichnung Mast	Aufschluss	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Mulden- und Lochkorrosion	Flächenkorrosion
1A (B120)	KB 1001	0,3 – 2,0	mittel	gering
1N (B120)	KB-GWM 1002	0,4 – 1,5	sehr gering	sehr gering
2N (B120)	KB-GWM 1003-NE	0,4 – 2,0	gering	sehr gering
3N (B120)	KB 1004-NE	0,0 – 1,6	sehr gering	sehr gering

Tabelle 2.5-3: Stahlaggressivität der Mischproben nach DIN 50 929

Beton-/Stahlaggressivität des Grundwassers:

Aus den beiden Grundwassermessstellen KB-GWM 1002 (Mast 1N (B120)) und KB-GWM 1003-NE (Mast 2N (B120)) wurde je eine Grundwasserprobe entnommen. Diese Grundwasserproben wurden



auf Beton- und Stahlaggressivität untersucht. Die Detailergebnisse der Beton- und Stahlaggressivität der Grundwasserproben ist im jeweiligen Datenblatt (Anlage 4.2 und 4.3) als Anlage 7.4 und 7.5 aufgeführt.

An den Grundwasserproben wurden Untersuchungen des **Betonangriffsgrads** nach DIN 4030 ausgeführt. Die Grundwasserprobe der KB-GWM 1002 ist nach DIN 4030 **nicht aggressiv**. Die Grundwasserprobe der KB-GWM 1003-NE ist nach DIN 4030 als **schwach angreifend (XA1)** einzustufen.

Zusätzlich wurden die Grundwasserproben auf die nach der DIN 50 929 geforderten Analyseparameter zur Feststellung der **Stahlaggressivität** untersucht. Bei beiden Grundwasserproben der KB-GWM 1002 und KB-GWM 1003-NE ist von einer sehr geringen Mulden- und Lochkorrosion und einer sehr geringen Flächenkorrosion von unlegierten Stählen an der Wasser-/Luftgrenze auszugehen.

2.6 Sonstige Randbedingungen und Eigenschaften

Nach DIN EN 1998-1/NA liegt die nordöstliche Leitungseinführung in **keiner Erdbebenzone** und sind somit keiner Untergrundklasse zuzuordnen.

Gemäß der RStO 12/24 [U 8] 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.

Die **Beton- und Stahlaggressivität** des Bodens und des Grundwassers ist dem Kapitel 2.5 zu entnehmen.

Gemäß [U 3] befinden sich die Maststandorte der nordöstlichen Leitungseinführung **außerhalb** von **Naturschutz-, Vogelschutz-, und Fauna-Flora-Habitat-Gebieten**. Ebenso sind **keine Natur- und Nationalparke, sowie Ökoflächen und Landschaftsschutzgebiete** betroffen.

Nach der Vorauswertung der IABG mbH hinsichtlich **Kampfmittelverdachtsflächen** [U 5] wurden im Bereich der nordöstlichen Leitungseinführung keine Verdachtsflächen kartiert.



Gemäß [U 3] befinden sich die Maststandorte der nordöstlichen Leitungseinführung **außerhalb** von **Trinkwasserschutz-** und **Heilquellenschutzgebieten** sowie von **festgesetzten Überschwemmungsgebieten, Hochwassergefahrenflächen** und **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.	Bezeichnung	Bodenart	Klassifizierung nach DIN 18 196	Frostempfindlichkeit ¹⁾	Verdichtbarkeit ²⁾
0	Mutterboden	/	OU, OT, OH	/	/
3.1	Verwitterungstone, bindig ⁴⁾	gemischtkörnig bis feinkörnig	UL, UM, TL, TM, TA, GU*, GT*, SU*, ST*	F 3 (TA = F 2)	V 2 – V 3, TA nicht geeignet bzw. nur mit Bodenverbesserung
4.1	Sandsteinkeuper	/	Sst, Tst, Ust ³⁾	/	/

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

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

3) Bezeichnung nach DIN 4023

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

Tabelle 3.1-1: Boden- und Felsklassifizierung

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

Seit 2015 ist Boden und Fels in Homogenbereiche einzuteilen. Bei der Festlegung der Homogenbereiche sind einsetzbare Bauverfahren und Baugeräte zu berücksichtigen. Eine vorläufige Einteilung in Homogenbereiche wird in Kap. 3.4 Homogenbereiche vorgenommen.



Die **Rammpbarkeit** der Bodenschichten für Spundwände, Stahlträger und Rammpfähle ist wie in der nachfolgenden Tabelle 3.1-2 zusammengestellt einzuschätzen. Die begriffliche Beschreibung der Rammpbarkeit erfolgt gemäß Grundbautaschenbuch, 8. Auflage [U 9].

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

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

Schicht-Nr.	Bezeichnung	Rammpbarkeit ¹⁾
3.1	Verwitterungstone, bindig	leicht – schwer Rammphindernisse möglich ²⁾
4.1	Sandsteinkeuper	nicht rammpbar

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

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

Tabelle 3.1-2: Rammpbarkeit der anstehenden Schichten

3.2 Bodenkennwerte

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



Schicht Nr.	Bezeichnung	Wichte feuchter Boden	Wichte unter Auftrieb	Reibungswinkel	Kohäsion	Undrainierte Kohäsion	Steifemodul
		γ_k [kN/m ³]	γ_k' [kN/m ³]	φ_k' [°]	c_k' [kN/m ²]	$c_{u,k}$ [kN/m ²]	$E_{s,k}^{1)}$ [MN/m ²]
3.1	Verwitterungstone, bindig	20	10	25	10	30	10

1) Ermittlung des Steifemoduls $E_{s,k}$ für den Laststeigerungsbereich 0 bis 300 kN/m²

Tabelle 3.2-1: Charakteristische Bodenkennwerte

Die Werte gelten für **mindestens steife Böden**.

Die standortspezifischen Bodenkennwerte sind den Datenblättern (Anlage 4) in der Tabelle VIII *Baugrundcharakteristik / Gründungsparameter* zu entnehmen.

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 ¹⁾	Kohäsion ¹⁾	Einax. Druckfestigkeit Gestein	E-Modul Gebirge
		γ_k [kN/m ³]	φ_k' [°]	c_k' [kN/m ²]	$\sigma_{c,k}$ [MN/m ²]	E_k [MN/m ²]
4.1	Sandsteinkeuper	23 – 24	20 – 35	≥ 0	≤ 0,5 – 50,0	35 – 8.000

1) für Scherbeanspruchung auf Trennflächen

Tabelle 3.3-1: Charakteristische felsmechanische Kennwerte

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

Gemäß geologischer Karte [U 3] sind Dolomitsteinbänke im Sandstein nicht auszuschließen. Hier sind höhere 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. 4, 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. Sollte ein Wiedereinbau nicht vorgesehen sein, können die Homogenbereiche weiter zusammengefasst werden.

In der nachfolgenden Tabelle 3.4-1 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 2 m bzw. 3 m u. GOK erfolgt, sodass nur bis in diese Tiefe Homogenbereiche für Erdarbeiten ausgewiesen werden.

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Erd-A
Schicht Nr.	0, 3.1
ortsübliche Bezeichnung	Mutterboden, Verwitterungston (bindig)
Korngrößenverteilung mit Korngrößenband ²⁾	
Massenanteil Steine [%]	< 40
Blöcke [%]	< 20
große Blöcke [%]	< 10
natürliche Dichte [g/cm ³]	1,6 – 2,1



Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Erd-A
undrainierte Scherfestigkeit c_u [kN/m ²]	< 300
Wassergehalt w_n [%]	2 – 40
Plastizitätszahl I_p	0,04 – 0,7 / leicht – ausgeprägt plastisch
Konsistenzzahl I_c / Bezeichnung ¹⁾	0,5 – 1,4 / weich – halbfest
organischer Anteil v_{gl} / Bezeichnung ¹⁾	überwiegend nicht organisch bis schwach organisch (< 6 %) lokal bis mäßig organisch (< 20 % möglich)
Bodengruppe	OT, OU, OH, TL, TM, TA, UL, UM, SU, SU*, ST, ST*, GU, GU*, GT, GT*

1) Begriffe nach DIN EN ISO 14 688-2

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

Tabelle 3.4-1: Homogenbereiche gemäß DIN 18 300 für Erdarbeiten in Boden

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Erd-B
Schicht Nr.	4.1
ortsübliche Bezeichnung	Hassberge-Formation (Coburger Sandstein, Blasensandstein)
Benennung von Fels	Sandstein mit Lettenlagen untergeordnet Tonstein / Tonmergelstein
Dichte [g/cm ³]	2,3 – 2,5
Verwitterung und Veränderungen, Veränderlichkeit ¹⁾	frisch bis stark verwittert veränderlich bis stark veränderlich
einaxiale Druckfestigkeit [MN/m ²]	≤ 50
Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform	keine Angabe

1) Begriffe nach DIN EN ISO 14 689

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

Gemäß geologischer Karte [U 3] sind Dolomitsteinbänke im Sandstein nicht auszuschließen. Hier sind lokal höhere einaxiale Druckfestigkeiten von bis zu 100 MN/m² möglich.



3.4.3 DIN 18 301 Bohrarbeiten

Für Bohrarbeiten, z.B. für die Pfahlgründung (Bohr-, Kleinbohrverpresspfähle) und / oder ggf. im Zuge eines erforderlichen Verbaus können die Zuordnung der in diesem Gutachten angegebenen geologischen Schichten zu Homogenbereichen für Bohrarbeiten, 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	
	Bohr-A	
Schicht Nr.	0, 3.1	
ortsübliche Bezeichnung	Mutterboden, Verwitterungston (bindig)	
Korngrößenverteilung mit Korngrößenband ²⁾	<p style="text-align: center;">enggestuft bis weitgestuft</p>	
Massenanteil Steine [%]	< 40	
Blöcke [%]	< 20	
große Blöcke [%]	< 10	
Kohäsion c' [kN/m ²]	< 15	
undrainierte Scherfestigkeit c_u [kN/m ²]	< 300	
Wassergehalt w_n [%]	2 – 40	
Plastizitätszahl I_p	0,04 – 0,7 / leicht – ausgeprägt plastisch	
Konsistenzzahl I_c / Bezeichnung ¹⁾	0,5 – 1,4 / weich – halbfest	
LCPC-Abrasivitäts-Koeffizient LAK [g/to] / Bezeichnung ³⁾	nicht abrasiv bis abrasiv / 0 – 500 lokal stark abrasiv / lokal bis 1250	



Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Bohr-A
Bodengruppe	OT, OU, OH, TL, TM, TA, UL, UM, SU, SU*, ST, ST*, GU, GU*, GT, GT*

1) Begriffe nach DIN EN ISO 14 688-2

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

3) Begriffe Empfehlung Nr. 24 des Arbeitskreises 3.3 – Versuchstechnik Fels – der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V.

Tabelle 3.4-3: Homogenbereiche gemäß DIN 18 301 für Bohrarbeiten in Boden

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Bohr-B
Schicht Nr.	4.1
ortsübliche Bezeichnung	Hassberge-Formation (Coburger Sandstein, Blasensandstein)
Benennung von Fels	Sandstein mit Lettenlagen Untergeordnet Tonstein / Tonmergelstein
Verwitterung und Veränderungen, Veränderlichkeit	frisch bis stark verwittert veränderlich bis stark veränderlich
einaxiale Druckfestigkeit [MN/m ²]	≤ 50
Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform	keine Angabe
Cerchar-Abrasivitätsindex CAI [-] / Bezeichnung ²⁾	0,0 – 4,0 / nicht abrasiv – stark abrasiv

1) Bezeichnung nach DIN EN ISO 14 689

2) Begriffe Empfehlung Nr. 23 des Arbeitskreises 3.3 – Versuchstechnik Fels – der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V.

Tabelle 3.4-4: Homogenbereiche gemäß DIN 18 301 für Bohrarbeiten im Festgestein

Gemäß geologischer Karte [U 3] sind Dolomitsteinbänke im Sandstein nicht auszuschließen. Hier sind lokal höhere einaxiale Druckfestigkeiten von bis zu 100 MN/m² möglich.

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

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

4. FOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

4.1 Gründung

Die Gründung der Stromleitungsmaste kann grundsätzlich als Flach- oder Tiefgründung erfolgen. Der Baugrund und die daraus resultierenden Gründungsbedingungen jedes Maststandortes wird dabei einzeln betrachtet und ist den Datenblättern (Anlage 4) der Tabelle *VII Ergebnis Baugrunduntersuchung* zu entnehmen. Die Gründungsvarianten sind hierbei in gut geeignet (grün), möglich (gelb) und nicht geeignet (rot) klassifiziert.

Die standortspezifischen Pfahlkennwerte sind der Tabelle *IX Pfahlkennwerte* und die Bemessungswerte des Sohlwiderstandes und der Bettungsmodul sind der Tabelle *X Bemessungswerte Flachgründung* zu entnehmen.

In Tabelle *XII Bautechnische Empfehlung / Gründungsempfehlungen* der Anlagen 4 ist für jeden Maststandort die bevorzugte Gründungsart angegeben.

Die Vorlage (Inhalte, Berechnungsgrundlagen etc.) der Datenblätter wurde im Vorfeld mit der TenneT TSO GmbH abgestimmt.

Das gesamte Untersuchungsgebiet befindet sich gemäß RStO-12 in der Frosteinwirkungszone II [U 8]. Deshalb muss die Gründungssohle frostsicher mindestens **1 m unter geplanter GOK** liegen



oder es ist ein Bodenaustausch bis in die entsprechende Tiefe mit frostsicherem gut verdichtbarem, rolligem, steinfreiem und chemisch beständigem Material (Material der Frostempfindlichkeitsklasse F1, nach ZTV E, Bodengruppe nach DIN 18 196: GE, SE, GW, SW, GI, SI) durchzuführen.

4.1.1 Flachgründung

Für die Flachgründung der Stromleitungsmaste kommt grundsätzlich sowohl eine Kompaktgründung auf einer Fundamentplatte (Plattengründung) als auch eine aufgeteilte Gründung auf Stufen-/Einzelfundamenten (Stufengründung) in Frage (siehe Tabelle VII Ergebnis Baugrunduntersuchung).

An allen Maststandorten ist eine **Flachgründung (Platten- oder Stufenfundament) die bevorzugte Gründungsvariante** (siehe Tabelle XII Bautechnische Empfehlungen / Gründungsempfehlungen).

Die meisten Maststandorte der nordöstlichen Leitungseinführung sind für die Flachgründung gut geeignet (siehe Tabelle VII Ergebnis Baugrunduntersuchung -> grün). Allerdings sollte eine **Homogenisierungsschicht von mindestens 30 cm** auf bindigen Böden (Schicht 3.1) und bei Gründungen auf einer profilierten Felsoberfläche (Schicht 4.1) zur Herstellung einer einheitlichen Gründungsebene vorgesehen werden.

Bei dem **Mast 1N (B120)** ist eine Flachgründung nur mit Zusatzmaßnahmen möglich (siehe Tabelle VII Ergebnis Baugrunduntersuchung -> gelb). Aufgrund des anstehenden Festgesteins oberhalb der geringsten Einbindetiefe (< 2 m), ist voraussichtlich das **Lösen von Fels** erforderlich.

Sollten im Bereich der Gründungssohle, weiche bindige Böden (in Schicht 3.1 möglich) angetroffen werden, sind diese mindestens 0,5 m unter Gründungssohle auszukoffern und durch verdichtungsfähiges, volumenbeständiges und umweltneutrales Material mit begrenzten Korngrößen zu ersetzen. Das Austauschmaterial ist mit geeignetem Gerät zu verdichten. Breiige Böden oder nicht volumenbeständige organische Einlagerungen wurden nicht erkundet. Sollten derartige Böden dennoch in der Aushubsohle auftreten, so sind diese ggf. komplett zu entfernen und auszutauschen.



Für die Homogenisierungsschicht bzw. einem eventuellen Bodenaustausch ist 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) zu verwenden. Das Bodenaustauschmaterial ist in Lagen von ≤ 30 cm Dicke einzubauen und auf $D_{Pr} \geq 97 - 100$ % zu verdichten.

Die Angaben der **Bemessungswerte des Sohlwiderstandes** $\sigma_{R,d}$ erfolgten für die Tiefenlagen von 2,0 m und 3,0 m u. GOK. Zwischenwerte dürfen interpoliert werden. Die Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstandes können den Datenblättern (Anlagen 4), jeweilige aus der Tabelle *X Bemessungswerte Flachgründung* entnommen werden. Die dort angegebenen Bemessungswerte des Sohlwiderstandes $\sigma_{R,d}$ basieren auf überschlägigen Grundbruch- und Setzungsberechnungen unter Ansatz von zulässigen Setzungsbeträgen $\leq 2,5$ cm und den Bodenkennwerten aus *Tabelle VII Baugrundcharakteristik / Gründungsparameter* unter Berücksichtigung der empfohlenen Homogenisierungsschicht. Für Einzelfundamente ist von einem Horizontallastanteil $H/V \leq 0,2$ auszugehen. Die Berechnung erfolgte für den gekennzeichneten Punkt einer Rechtecklast unter Zugrundelegung der erbohrten Bohrprofile.

Die in Klammern angegebenen Werte sind die **aufnehmbare Sohl drücke** σ_{zul} nach EC7/DIN 1054:2010, welche die 1,4-fache Sicherheit gegen Grundbruch gewährleistet (Bemessungssituation BS-P).

Für die Sohlplatte mit jeweils vorgeschriebener Plattengeometrie und unter der Voraussetzung einer begrenzten, gleichmäßig verteilten Sohl druckbeanspruchung von $\sigma_{E,k} = 70$ kN/m², sowie einer angenommenen Gründungssohle bei GOK – 2,0 m, kann für die statische Bemessung nach dem Bettungsmodulverfahren für Vorentwurfszwecke folgende **Bettungs module** angesetzt werden (s. Anlage 4, Tabelle *X Bemessung Flachgründung*). Der Bettungsmodul ist keine Bodenkonstante, sondern maßgeblich von der Größe der Lastfläche, der Belastung und der Laststellung abhängig. Daher stellt der angegebene Bettungsmodul lediglich einen Schätzwert dar und ist im Zuge der Planung anhand von Setzungsberechnungen zu überprüfen. Im Bereich der Plattenränder darf der Bettungsmodul auf einem Randstreifen von 2 m mit dem 3-fachen Wert angesetzt werden.

Stufenfundamente sind außerdem auf einen ausreichend großen Widerstand gegen Herausziehen zu bemessen. Neben dem Fundamenteigengewicht kann auch der mittragende Bodenkörper als rückhaltende Kraft angesetzt werden. Im Abschnitt M.3.1.6 im Anhang M.3 der DIN EN 50 341-1 (VDE 0210-1) wird die Bestimmung des Erdauflastwinkels β_d zur Bestimmung des mittragenden



Bodenkörpers (Erdkegelstumpf) erläutert. Der Bemessungswert des Widerstands ergibt sich dann durch Addition des Fundamenteigengewichts mit dem Gewicht des mittragenden Bodenkörpers, dividiert durch den Teilsicherheitsbeiwert gegen Herausziehen $\gamma_R = 1,1$.

Alternativ kann der Bemessungswert des Zugwiderstands nach dem im Anhang M.2 der DIN EN 50 341-1 (VDE 0210-1) dargestellten analytischen Modell berechnet werden. Die für die Ermittlung der Bodenauflast und des in der gemäß Bild M.2 und Bild M.3 anzunehmenden Scherfläche wirkenden Reibungswiderstandes erforderlichen charakteristischen Bodenkennwerte können für den anstehenden Boden der jeweiligen Anlage 4, Tabelle VIII *Baugrundcharakteristik / Gründungsparameter* entnommen werden. Im Mutterboden (Schicht 0) ist kein Reibungswiderstand anzusetzen.

4.1.2 Tiefgründung

Alternativ zur Flachgründung ist im Allgemeinen auch eine Tiefgründung über Pfähle möglich. Gemäß den Datenblätter (siehe Datenblätter, Tabelle VII *Ergebnis Baugrunduntersuchung*) ist bei jedem Maststandort die individuelle Machbarkeit einer Tiefgründung mittels Ramm-, Bohr-, Kleinbohrverpress- sowie Vollverdrängungspfähle (Atlas/Fundex) aufgeführt.

Bohr- und Kleinbohrverpresspfähle sind bis in ausreichend tragfähigen Baugrund zu führen, d.h. mindestens mitteldichte Lagerung bzw. steife Konsistenz oder Festgestein. Eine Tiefgründung ist somit mit Bohr- und Kleinbohrverpresspfählen an allen Maststandorten der nordöstlichen Leitungseinführung gut möglich (siehe Tabelle VII *Ergebnis Baugrunduntersuchung* -> grün).

Für die Ableitung von Bohrpfahlwiderständen ohne Probelastungen wird in den Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“ (EA-Pfähle) eine Pfahleinbindung von mindestens 2,5 m in den tragfähigen Boden gefordert. In Festgestein mit einer einaxialen Mindestdruckfestigkeit von $q_u \geq 5$ MN/m² darf die minimale Einbindung auf 0,5 m reduziert werden. In Abhängigkeit vom Pfahlsystem und -durchmesser ist außerdem die erforderliche Mächtigkeit der tragfähigen Schicht unterhalb der Pfahlfußfläche zu beachten. Werden die Pfähle oberhalb nicht ausreichend tragfähiger Böden abgesetzt, ist mit dem Pfahlfuß hierzu ein entsprechend großer Abstand einzuhalten.



Bei Böden mit einer undrained Scherfestigkeit $c_{u,k} < 10 \text{ kN/m}^2$ sind Kleinbohrverpresspfähle aufgrund eines möglichen Knickversagens nicht empfehlenswert bzw. es ist ein Nachweis gegen Knicken zu führen.

Sofern Bohrpfähle ausgeführt werden, sind diese bei Bohrtiefen unterhalb des Grundwasserspiegels (s. Datenblätter Anlage 4 – Tabelle *XIII Standortmerkmale – Wasserstand*) mit Wasserauflast herzustellen, um Sohlaufbrüche zu vermeiden. Das beim Betonieren verdrängte Wasser ist ordnungsgemäß zu fassen und zu entsorgen.

Ramm- und Vollverdrängungspfähle (Atlas/Fundex) müssen gemäß EA-Pfählen mindestens 2,5 m (Ramppfähle) bzw. 1,5 m (Vollverdrängungspfähle) in tragfähigen Untergrund (mindestens steife Konsistenz) einbinden. Allerdings ist aufgrund des oberflächennah anstehenden Festgesteins und/oder vorhandenen Rammhindernissen die Rammbarkeit bei den Maststandorten nicht gegeben (siehe Tabelle *VII Ergebnis Baugrunduntersuchung -> rot*). Diese Varianten werden im Folgenden nicht weiter betrachtet.

Die **charakteristischen Pfahlkennwerte** sind den Datenblätter aus *Tabelle IX Pfahlkennwerte* zu entnehmen. Die Spitzendrücke und Mantelreibungen wurden in Anlehnung aus den Empfehlungen der EA-Pfähle ermittelt. Der angegebene Spitzendruck bezieht sich auf eine Pfahlkopfsetzung von $s/D_s = 0,03$.

Die angegebenen charakteristischen Pfahlkennwerte gelten für Einzelpfähle. Für alle Pfahlssysteme ist bei Anordnung von mehreren Pfählen in unmittelbarer Nachbarschaft bzw. mit geringem Abstand zueinander die Pfahlgruppenwirkung nach EA Pfähle zu berücksichtigen.

Gemäß den EA Pfählen können für Fundexpfähle in bindigen Böden aufgrund der geringen Datengrundlage keine Erfahrungswerte angegeben werden.

Horizontaler Lastabtrag

Horizontalkräfte können grundsätzlich über geneigt hergestellte Pfähle abgetragen werden. Ansonsten muss der Horizontallastabtrag über Pfahlbettung erfolgen.



Die charakteristische horizontale Pfahlbettung $k_{s,k}$ kann nach EC 7, Abschnitt 7.7.3, über den charakteristischen Steifemodul $E_{s,k}$ und den Pfahlschaftdurchmesser D_s zu $k_{s,k} = E_{s,k} / D_s$ ermittelt werden. Für $D_s > 1,0$ m ist $D_s = 1,0$ m anzusetzen. Für $E_{s,k}$ können die in Tabelle 3.2-1 angegebenen Werte $E_{s,k}$ angesetzt werden. Bei der Ermittlung des Bettungsmoduls ist für jede Tiefenlage zu prüfen, ob der ermittelte örtliche Pressungswert an keiner Stelle die im ebenen Fall berechneten Erdwiderstandspannung überschreitet, $\sigma_{h,k} \leq e_{ph,k}$. Außerdem darf der seitliche Bodenwiderstand nicht größer angesetzt werden, als es der Bemessungswert des räumlichen Erdwiderstandes für den Anteil der Einbindetiefe bis zum Drehpunkt (Verschiebungsnullpunkt) zulässt, $B_{h,d} \leq E_{ph,d}^r$. Bzgl. des Nachweises der horizontalen Pfahlbettung sind auch die Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“ (EA-Pfähle) zu beachten.

Der Bettungsverlauf sollte erst 1 m unter Gelände einsetzen und linear ab 1 m u. GOK auf einer Strecke von 3 m ansteigen von 0 MN/m³ bis auf den für diese Schicht zutreffenden Wert. Für alle tiefer liegenden Schichten wird der Bettungsverlauf konstant mit dem abgeschätzten Bettungsmodul der jeweiligen Schicht festgelegt. Bettungssprünge im Lockergestein sind durch Übergänge auszugleichen. Im Übergang zum Fels sind Bettungssprünge zu erwarten.

4.2 Baugruben

Wird sich beim Bau der Strommaste für eine Flachgründung entschieden, ist bei Ausführung eine Baugrube bis ca. 2,0 m oder 3,0 m u. GOK zzgl. Zusatzmaßnahmen (z.B. Bodenaustausch) erforderlich. Prinzipiell können die Baugruben geböscht oder verbaut hergestellt werden, sofern die Wasserfreiheit garantiert werden kann.

Baugruben können nach DIN 4124 bis 1,25 m ohne Sicherungen (ungeböscht und unverbaut) hergestellt werden. In steifen oder halbfesten bindigen Böden sowie bei Fels darf bis zu einer Tiefe von 1,75 m ausgehoben werden, wenn der mehr als 1,25 m über der Sohle liegende Bereich der Wand unter einem Winkel $\beta \leq 45^\circ$ abgeböscht oder durch Teilverbau gesichert wird. Beide Maßnahmen (Kopfböschung und teilweiser Verbau) sind nur bis zu einer Baugrubentiefe von 1,75 m zulässig. Mit und ohne Sicherungen der Baugrube ist ein lastfreier Streifen $\geq 0,6$ m an der Böschungsschulter einzuhalten. In Abhängigkeit unmittelbarer Einwirkungen aus Baumaschinen oder Vergleichbarem können lastfreie Streifen $\geq 2,0$ m erforderlich werden. Sind tiefere Baugruben



(> 1,75 m Tiefe) notwendig, ist ein Verbau nach DIN 4124 erforderlich. Bei ausreichenden Platzverhältnissen kann auch eine geböschte Baugrube mit den in Tabelle 4.2-1 enthaltenen Böschungswinkeln hergestellt werden. Für Baugruben mit einer Tiefe von mehr als 5 m ist auf jeden Fall ein statischer Nachweis der Standsicherheit zu führen (DIN 4124).

Bezeichnung	Schicht	Böschungswinkel β [°]
gemischtkörnige bis bindige Böden, wechselnde Konsistenz	3.1	≤ 45
Fels	4.1	≤ 80

Tabelle 4.2-1: 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 nichtbindigen und gemischtkörnigen oder weichen bindigen Böden Böschungsneigungen von maximal 45° und bei bindigen mindestens steifen Böden Neigungen von 60° zugelassen. Aufgrund der kleinräumigen Konsistenzwechsel ist ein Böschungswinkel von max. 45 ° zu wählen. Auch bei diesen Böschungsneigungen sind lokale Ausbrüche nicht auszuschließen, ggf. ist flacher zu böschten. Die Voraussetzungen sind zudem die Wasserfreiheit der Böschung sowie ein Oberflächenschutz (Abdeckung). Außerdem sind die einschränkenden Vorgaben für freie Böschungen der DIN 4124 zu beachten.

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

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

Bei Ausführung einer Flachgründung wird eine Baugrube mit einer Tiefe von voraussichtlich $\geq 2,0$ m bis 3,0 m erforderlich. Aufgrund der voraussichtlich guten Platzverhältnisse der einzelnen Mast-



standorte wird ein Baugrubenverbau voraussichtlich nicht erforderlich. Die Empfehlung eines Baugrubenverbau der einzelnen Maststandorte ist in der Tabelle *XII Bautechnische Empfehlungen / Gründungsempfehlungen* der Datenblätter angegeben.

Der Aushub erfolgt gemäß den Erkundungsergebnissen überwiegend in Lockergesteinen (Homogenbereich Erd-A). Gerölle, große Blöcke und nicht vollständig zu Boden verwitterte Restfelsbänke, können jedoch in der Schicht 3.1 nicht ausgeschlossen werden. Zudem wird die Baugrube voraussichtlich teilweise im Festgestein einschließen. Für das Lösen des Festgesteins können lokal Zusatzmaßnahmen, z.B. Meißel- oder Fräsarbeiten, erforderlich werden.

Zudem ist beim Aushub zu beachten, dass bindige Böden (insbesondere **Schicht 3.1**) witterungsempfindlich und bei erhöhten Wassergehalten stark bewegungsempfindlich sind. Diese Böden können bei ungünstigen Witterungsbedingungen / Wassersättigung und mechanischer Beanspruchung aufweichen und sich verflüssigen. Der Boden ist dann nicht wieder einbaufähig und auch nicht mehr tragfähig. Dynamische Beanspruchungen dieser Böden sind zu vermeiden.

Der Aushub muss rückschreitend erfolgen. Das Aushubgerät ist grundsätzlich mit einer Grabenschaufel (Baggerschaufel mit gerader Schneide) auszurüsten. Damit lässt sich die Aushubsohle weitgehend ohne Störung des Baugrundes herstellen. Die 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.

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

Die gemischtkörnigen bis bindigen Böden (**Schicht 3.1, Verwitterungstone, bindig**) sind überwiegend gut lösbar, aber mäßig bis schlecht verdichtungsfähig und frostempfindlich. Ausgeprägt plastische Tone (TA) sind nicht verdichtungsfähig. Sie sind für einen Wiedereinbau ohne Zusatzmaßnahmen (qualifizierte Bodenverbesserung) i.d.R nicht geeignet, außer es können



Sackungen (z.B. in Grünflächen) hingenommen werden. Organische Einlagerungen sind nicht volumenbeständig und deshalb ggf. vorher auszusortieren.

4.3 Grundwasserhaltung

Die standortspezifischen Wasserstände sowie die Bau- und Bemessungswasserstände sind der Anlage 3 und den Anlagen 4 (Datenblätter – Tabelle XIII *Standortmerkmale*) zu entnehmen. Die daraus resultierende Wasserhaltung ist in Tabelle XII *Bautechnische Empfehlungen / Gründungsempfehlungen* beschrieben.

Bei Ausführung einer Flachgründung liegen die Gründungssohlen bei den meisten Masten oberhalb des festgelegten Bauwasserstandes. Lediglich bei Mast 2N (B120) liegt bei einer Aushubtiefe von > 2,5 m u. GOK die Gründungssohle unterhalb des festgelegten Bauwasserstandes. Ist eine Flachgründung des Mastes bei 2 m möglich, kommt die Gründungssohle voraussichtlich über den festgelegten Bauwasserstand zum Liegen.

Baugrubensohle oberhalb des Bauwasserstandes:

Bei den geplanten Masten, deren Gründungssohle oberhalb des festgesetzten Bauwasserstandes zum Liegen kommt, 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.

Sofern Maßnahmen zur Wasserhaltung erforderlich werden, ist ein Absenkziel von 0,5 m unter Aushubsohle sicherzustellen.

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.



Baugrubensohlen unterhalb des Bauwasserstandes:

In den Bereichen, in denen der festgelegte Bauwasserstand (abgeleitet von den gemessenen Wasseranschnitten) oberhalb der voraussichtlichen Baugrubensohle liegt, werden **Wasserhaltungsmaßnahmen** erforderlich. Nach derzeitigem Standpunkt betrifft das bei einer Gründungstiefe > 2,5 m Mast 2N (B120).

Bei Mast 2N (B120) ist bei einer maximalen Aushubtiefe von 3 m die Beherrschbarkeit mittels **offener Wasserhaltung** zu prüfen.

Nach derzeitigem Wissenstand ist eine geschlossene Grundwasserhaltung vorzusehen. Die Grundwasserabsenkung kann mittels Schwerkraftbrunnen erfolgen. Alternativ wäre ein wasserundurchlässiger Verbau auszuführen.

Es wird daher empfohlen, im Vorfeld der Baumaßnahme Baggerschürfe anzulegen, um den **Wasserzustrom zu ermitteln** und mittels einer eingehängten Tauchpumpe die Beherrschbarkeit des Zustroms mittels offener Wasserhaltung zu überprüfen.

Wir empfehlen prinzipiell die Bauarbeiten in die trockenen Sommermonate zu legen.

Sofern Maßnahmen zur Wasserhaltung erforderlich werden, ist ein Absenkziel von 0,5 m unter Aushubsohle sicherzustellen.

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.

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.



4.4 Geotechnische Kategorie

Unter Berücksichtigung der Komplexität der Gründungsarbeiten werden die Stromleitungsmaste in die geotechnische Kategorie 2 nach Normenhandbuch EC 7 eingeordnet.

4.5 Sonstige Empfehlungen

Bei Ausführung einer Flachgründung ist der anstehende Baugrund und die Gründungssohle vor Herstellung der Gründungselemente gemäß Normenhandbuch EC 7-1, Abs.4.3.1 (1)P durch uns zu kontrollieren und abzunehmen. Tiefgründungen sind durch den geotechnischen Sachverständigen geotechnisch zu begleiten.

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

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

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



DR. SPANG

Projekt: 43.9120

Seite 42

28.10.2024

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

i.V. (gezeichnet)

i.A. *A. Riedelmeier*

Dipl.-Geol. Olaf Narbut
(Abteilungsleiter - Geotechnik)

Alexandra Riedelmeier, M.Sc.
(Projektgeologin)

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