

Juraleitung

**Ltg.-Abschnitt A-Katzwang Raitersaich_West – Luders-
heim_West
(LH-07-B170)**

Planfeststellungsunterlage

Unterlage MB04.1

Querungsgutachten Deutsche Bahn

Antragsteller:



TenneT TSO GmbH

Bernecker Straße 70

95448 Bayreuth

Bearbeitung:

**BUCHHOLZ
+ PARTNER**

Buchholz + Partner GmbH

Am Oberen Anger 9

04435 Schkeuditz

Aufgestellt:	TenneT TSO GmbH	Bayreuth, den
	gez. i.V. J. Gotzler gez. i.V. A. Junginger	30.04.2025
Bearbeitung:	Buchholz + Partner GmbH gez. i.V. K. Scholz	
Anlagen zum Dokument		
Änderungs- historie:	Änderung:	Änderungsdatum:



Anlage

Geotechnischer Bericht zur Querung der DB-Strecken 5320 und 5971

Baugrunderkundung und Begutachtung

Objekt: 380-kV-Ltg. A070 Raitersaich – Altheim, Abschnitt A „Juraleitung“

Version: 1.0

Auftraggeber: TenneT TSO GmbH
Bernecker Straße 70
95448 Bayreuth

Berichtsdatum: 10.01.2025

Projektnummer: L21-II-237.156

Bearbeiter: Dipl.-Geogr. Kerstin Scholz, Dipl.-Geol. Matthias Gruhn

Berichtsumfang: Text: 29 Seiten
Anlagen: 4

Dipl.-Geogr. Marco Vierkant
geschäftsführender Gesellschafter

Dipl.-Geogr. Kerstin Scholz
Bearbeiter

I - Änderungshistorie

Version	Aktualisierungs- datum	Bearbeiter	Freigegeben durch / am	Kurzbeschreibung / Anlass der Änderung
1.0	10.01.2025	K. Scholz/ M. Gruhn	Azendorf / 10.01.2025	Erstellung geotechnischer Bericht



II – Inhaltsverzeichnis

1. Veranlassung	4
2. Methodik	4
3. Landschaft	7
3.1 Geologie	7
3.2 Relief	7
3.3 Hydrogeologie	8
3.4 Gefährdungspotenziale	10
3.4.1 Setzung und Hebung	10
3.4.2 Subrosion und Verkarstung	11
3.4.3 Hochwasser	12
3.4.4 Weitere Georisiken	12
4. Ergebnisse der Baugrunduntersuchung	12
4.1 Charakterisierung der angetroffenen Sedimente und Sedimentgesteine	12
4.2 Baugrundcharakteristik/Baugrundmodell	14
5. Festlegung der Homogenbereiche nach Untertagearbeiten	19
6. Baugrundbeurteilung und Gründungshinweise für die geschlossene Bauweise	21
6.1 Bohrbarkeit	22
6.2 Felsmechanische Untersuchungen	23
6.4 Abrasivität	25
6.5 Grundwassereinfluss	26
6.6 Bodenverformung infolge der Durchörterungen	26
7. Weitere Hinweise zur Bauausführung	27
8. Fazit	28
9. Schlussbemerkung	28
10. Quellenverzeichnis	29



Anlagen

- 1 Schummerungskarte mit digitalem Geländemodell und Bohransatzpunkten
- 2 Sondierdokumentation
- 3 Geologischer Schnitt entlang der Trasse
- 4 Laboranalytik



1. Veranlassung

Die TenneT TSO GmbH plant den Ersatzneubau der 380-kV-Leitung Raitersaich – Altheim, Abschnitt A „Juraleitung“. Südlich von Nürnberg soll ein Teilstück der Leitung als Erdkabel in einem Tunnelbauwerk verlegt werden, um das Rednitztal und den Stadtteil Katzwang zu queren. Die Achse des geplanten Erdkabelabschnittes orientiert sich an der Bestandsleitung. Die unterirdische Verlegung soll östlich der Gaulnhofers Straße beginnen, ca. bei Flusskilometer 76,1 den Main-Donau-Kanal queren, entlang der Schneise der Bestandstrasse durch den Ortsteil Katzwang führen, auf der Höhe der südlichen Grenze der Tennisplätze ins Rednitztal übergehen, das Rednitztal in westlicher Richtung queren und westlich der Volckamerstraße wieder an der Oberfläche auftauchen. Die Luftlinie zwischen geplanter Start- und Zielgrube ist ca. 2,3 km lang. Das Tunnelbauwerk soll nach derzeitigem Planungsstand (Leistungsphase 2) im Schildvortriebsverfahren mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust (geschlossenes Schild mit vollflächigem Abbau mit Flüssigkeitsstützung und Druckluftpolster) und Tübbingausbau umgesetzt werden.

Die Trasse quert ca. bei Station 0+220 eine zweigleisige Strecke der Deutschen Bahn mit der DB Str.-Nr. 5320 (Schwabach – Nürnberg-Reichelsdorf) sowie die dazu parallel verlaufende, eingleisige DB-Strecke 5971 (Katzwang – Schwabach – Limbach (Üst)). Der geplante Tunnelfirst liegt ca. 21 m unterhalb der Bahngleise. Im vorliegenden geotechnischen Bericht soll im besonderen die Kreuzung der Kabeltrasse mit der Bahnstrecke begutachtet werden.

Die Buchholz + Partner GmbH wurde mit der Baugrunderkundung und -beurteilung für die unterirdische Querung der Bahntrasse beauftragt. Die Festlegung des Untersuchungsprogramms inkl. der Erkundungstiefen erfolgte in Abstimmung mit dem Auftraggeber auf Basis einer Baugrundvoruntersuchung der Firma DE LA MOTTE & PARTNER GmbH Consulting Engineers.

2. Methodik

Zur Begutachtung des Baugrundes nach DIN 4020 und EC 7 / DIN 1054:2010 sowie zur Ermittlung der geologischen und hydrogeologischen Informationen und Parameter wurden folgende Methoden eingesetzt:

- **Vorerkundung:** Auswertung von geologischen, hydrogeologischen und topographischen Quellen, Auswertung von Planungsunterlagen, Ämteranfragen zu hydrologischen und naturschutzrechtlichen Belangen, Internetrecherche.
- **Baugrunderkundung mittels:**
 - Rammsondierungen mit der schweren Rammsonde (DPH),
 - Rotationskernbohrungen (TB).

Die angetroffenen Schichten wurden gemäß DIN EN ISO 14688 / 4023 (Schichtprotokoll und Bohrprofil) dokumentiert.

- **Bodenmechanische Laboruntersuchungen** zur Ermittlung der Korngrößenverteilung (DIN EN ISO 17892-4), des natürlichen Wassergehaltes (DIN EN ISO 17892-1) sowie Bestimmung der Konsistenzgrenzen (DIN EN ISO 17892-12) oberflächennaher Lockergesteine.



- **Felsmechanische Laboruntersuchungen** zur Bestimmung des Abrasivitätskoeffizienten (CAI für Festgesteine), der einaxialen Druckfestigkeit (DIN 18136) sowie der Rohdichte der zu durchörternden Baugrundsichten. Außerdem sind an den Ton-/Schluffsteinen Quellhebungsversuche durchgeführt worden.
- **Chemische Laboruntersuchung** zur Ermittlung der abfallrelevanten bzw. umweltgefährdenden Bestandteile auf Grundlage von Deklarationsuntersuchungen nach Eckpunktepapier (Bayern) im Bereich der geplanten Start- und Zielgruben.
- **Baugrundcharakteristik** nach DIN 18196, 18300, 18301, 18319, 18304 u.a. relevanten Standards.
- **Baugrundmodell** nach DIN 1055.

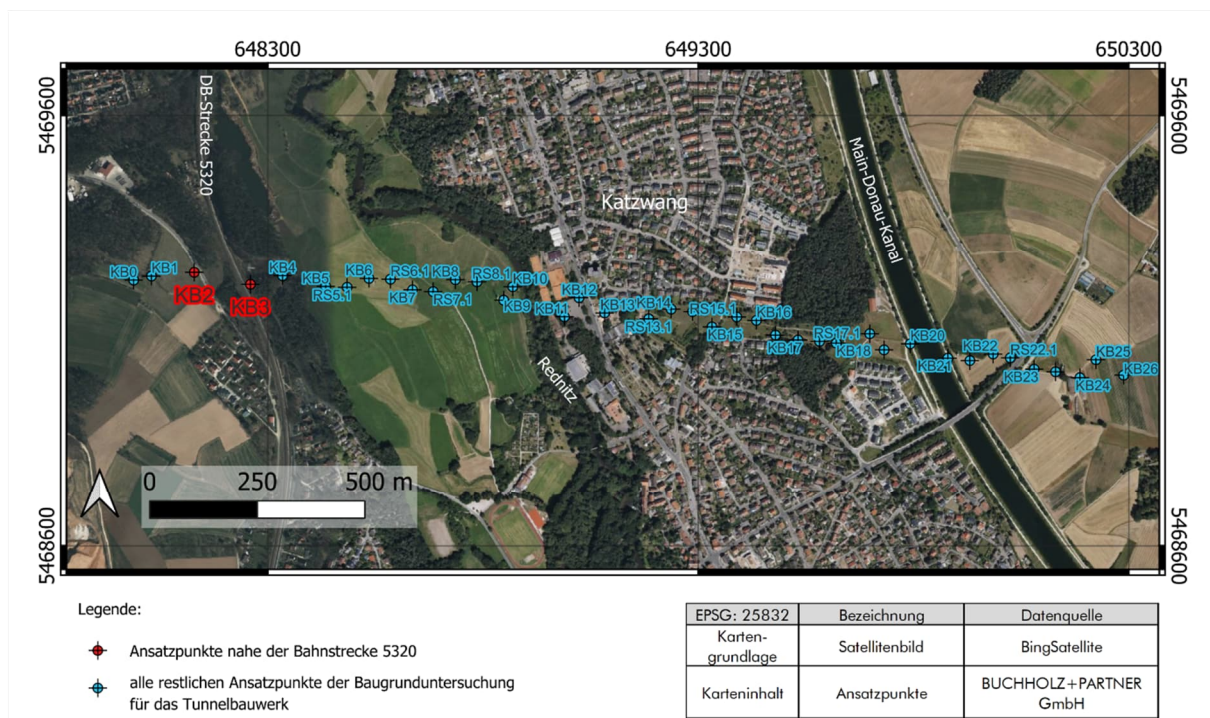


Abb. 1: Ansatzpunkte (eigene Darstellung)

Basierend auf der Baugrundvoruntersuchung (Quelle 2) ist eine Grobtrassierung mit Festlegung einer möglichen Verlegetiefe durch den Vorhabensträger durchgeführt worden. Die geplanten direkten Aufschlüsse, umgesetzt als Rotationskernbohrung (KB), wurden gemäß EC 7 bzw. in Anlehnung an die DCA-Richtlinie in einem Abstand von maximal 100 m, alternierend neben der geplanten Trasse angeordnet. Nur in den Hangbereichen des Rednitztals musste aufgrund der natürlichen Gegebenheiten (Hangneigung, Verlauf der Rednitz) und der bestehenden Bebauung dieser Abstand zwischen den Bohrungen KB 2 und KB 3 sowie zwischen KB 10 und KB 11 um ca. 20 bis 30 m vergrößert werden. Zusätzlich zu den direkten Aufschlüssen sind 35 indirekte Aufschlüsse als Rammsondierung mit der Schweren Rammsonde (DPH) durchgeführt worden. Dabei ist nicht nur in unmittelbarer Nähe zum direkten Aufschluss eine Rammsondierung erfolgt, sondern auch zwischen den Bohransatzpunkten für die direkten Aufschlüsse zur Verbesserung der Aufschlussdichte. Die Ansatzpunkte wurden alternierend und mit einem Abstand von in

der Regel ca. 10 m zur geplanten Verlegeachse angeordnet. Anhand der prognostizierten Tiefe des Tunnelbauwerkes zwischen ca. 8 und 33 m u. GOK sind die Zieltiefen der direkten Aufschlüsse zwischen ca. 20 und 47 m u. GOK festgelegt worden.

Für die Baugrubnbewertung des Kreuzungsbereichs der Kabeltrasse mit den Bahnstrecken 5320 und 5971 werden vor allem KB 2 und KB 3 verwendet. KB 3 ist direkt neben dem östlichen Böschungsfuß auf einem zum Bahndamm parallel verlaufenden Weg und KB 2 ca. 80 m in westlicher Richtung oberhalb des Hangs auf der angrenzende Hochfläche abgeteuft worden. Jedoch werden alle im Trassenverlauf abgeteufte, direkten und indirekten Aufschlüsse für die Charakterisierung des Baugrundes herangezogen.

In Tabelle 1 ist das für die komplette Trasse durchgeführte Erkundungsprogramm dargestellt. Zusätzlich ist in Rot die Anzahl der Untersuchungen gekennzeichnet, die im direkten Umfeld der Bahntrasse durchgeführt worden sind.

Tab. 1: Methodik (in **Rot** markiert das Untersuchungsprogramm im direkten Umfeld der Bahnstrecken 5320 & 5971)

Direkte Baugrundaufschlüsse						
Kleinrammbohrung (KRB + RS)		Rotationskernbohrung (TB)		Sonstige		
Anzahl	Tiefe (m)	Anzahl	Tiefe (m)	Anzahl	Tiefe (m)	
-	-	27 / 2	20,0 – 43,0 / 30,0 – 33,0	-	-	
Indirekte Baugrundaufschlüsse						
schwere Rammsondierung (DPH)		SPT		Drucksondierung (CPT)		
Anzahl	Tiefe (m)	Anzahl	Tiefe (m)	Anzahl	Tiefe (m)	
35 / 2	1,0 – 13,9 ¹⁾ / 3,9 – 6,3 ¹⁾	-	-	-	-	
Probenahme						
Festgestein	Bodenproben		Wasserproben			
Kernproben	Schichtproben (BP)	ungestörte Probe (UP)	12 / 0			
355 / 15	122 / 19	-				
Analytik Boden						
Siebanalyse	Sieb-/Schlamm-analyse	Glühverlust	Konsistenzgrenzen	Eckpunktepapier Bayern	Abrasivität LCPC	Betonaggressivität
17 / 0	3 / 0	-	1 / 0	6 / 0	2 / 1	-
Analytik Grundwasser						
Betonaggress.	Stahlkorrosiv.	LAWA	Sonstige			
-	-	-	-			
Analytik Felsproben						
Abrasivität CAI	einaxiale Druckfestigkeit	Punktlastversuch	Rohdichte	Ödometer / Quellhebungsversuch		
17 / 1	31 / 2	1 / 0	31 / 2	5 / 0		

1) Sondierabbruch infolge des Erreichens der Verfahrensgrenze (zu hohe Lagerungsdichte der anstehenden Erdstoffe, Bohrhindernissen, Festgesteinsgrenze).



3. Landschaft

Die Trasse liegt in den Naturräumen Mittelfränkisches Becken und Rednitztaue als Teil der Großlandschaft Fränkisches Keuper-Liasland. Es handelt sich um den südöstlichen Bereich der Süddeutschen Schichtstufenlandschaft.

Die aus dem mesozoischen Deckgebirge hervorgegangene, sanft geschwungene Hügellandschaft wird von den Hauptgewässern und ihren Zuflüssen in weitgespannte, flach gewölbte Hochflächen mit zum Teil stark ausgeprägten Flussterrassen gegliedert. Im Untersuchungsgebiet hat sich das Fließgewässer Rednitz in die umliegenden Hochflächen mit einem Höhenunterschied von ca. 30 bis 40 m eingeschnitten. Während die Hochflächen als Siedlungsflächen (Ortsteil Katzwang) bzw. für den Ackerbau und die Forstwirtschaft genutzt werden, dominiert im Rednitztal die Grünlandwirtschaft.

3.1 Geologie

Das Untersuchungsgebiet liegt in einem geologisch gesehen sehr ereignisreichen Raum, in dem viele verschiedenen geologische Prozesse gewirkt haben und sich gegenseitig überprägen konnten. Auf diese Weise ist ein Mosaik verschiedener Sedimente des Quartärs und Sedimentgesteine des mesozoischen Deckgebirges (bis ca. 50 m u. GOK Gesteine des mittleren Keupers) entstanden, das kleinräumig vertikal wie lateral variieren kann. Zusätzlich sind durch anthropogene Veränderungen der Geländeoberfläche Auffüllungen vorhanden. Die Störungszone im Rednitztal hat zusätzlich die geologischen Schichten verschoben. Lokal können auch erhebliche zeitliche Schichtlücken auftreten. Die geologische und sedimentologische Identifikation anhand der Körnung und Farbe ist nur ansatzweise möglich. Die Interpolation der Schichtgrenzen zwischen den Erkundungspunkten konnte aus vorgenannten Gründen nicht immer konsequent durchgeführt werden, weshalb Schichtsprünge im geologischen Schnitt in Anhang 3 nicht vermieden werden konnten.

Entsprechend der geologischen Beschreibung konnten für das Untersuchungsgebiet verschiedene geologische Schichten identifiziert werden, die im Sinne einer bautechnischen Bewertung in sechs Gruppen zusammengefasst werden. Die Nummerierung beginnt mit der jüngsten geologischen Schicht und kann Tabelle 5 bis 7 entnommen werden. Eine Beschreibung der angetroffenen Sedimente und Gesteine kann Kapitel 4.1 entnommen werden.

3.2 Relief

Die Kabeltrasse befindet sich in einem sanft welligen Hügelland mit vorrangig Hangneigungen kleiner 3°. Außerdem hat sich die Rednitz in das Hügelland eingetieft, weshalb im Übergangsbereich zur Rednitztaue natürliche Hangneigungen bis ca. 10 ° bzw. bis 18 % auftreten. Der Westhang zur Rednitztaue ist durch den Bau der Bahnstrecken 5320 und 5971 jedoch stark anthropogen überprägt worden. Der heutige Zustand zeigt einen terrassierten Hang mit Hangneigungen bis ca. 27 ° bzw. 50 %. Im Kreuzungsbereich der Kabeltrasse mit den Bahnstrecken 5320 und 5971 liegt die Oberfläche des auf ca. 15 m ebenen Gleiskörpers bei ca. 323 m ü. NHN. Aufgrund der anthropogenen Terrassierung des Hangs, sind keine



Bohrungen auf dem Höhenniveau der Gleise möglich. KB 2 liegt bei ca. 328,87 m ü. NHN also ca. 5 m oberhalb der Bahngleise und KB 3 liegt bei ca. 319 m ü. NHN bzw. ca. 4 m unterhalb der Bahngleise.

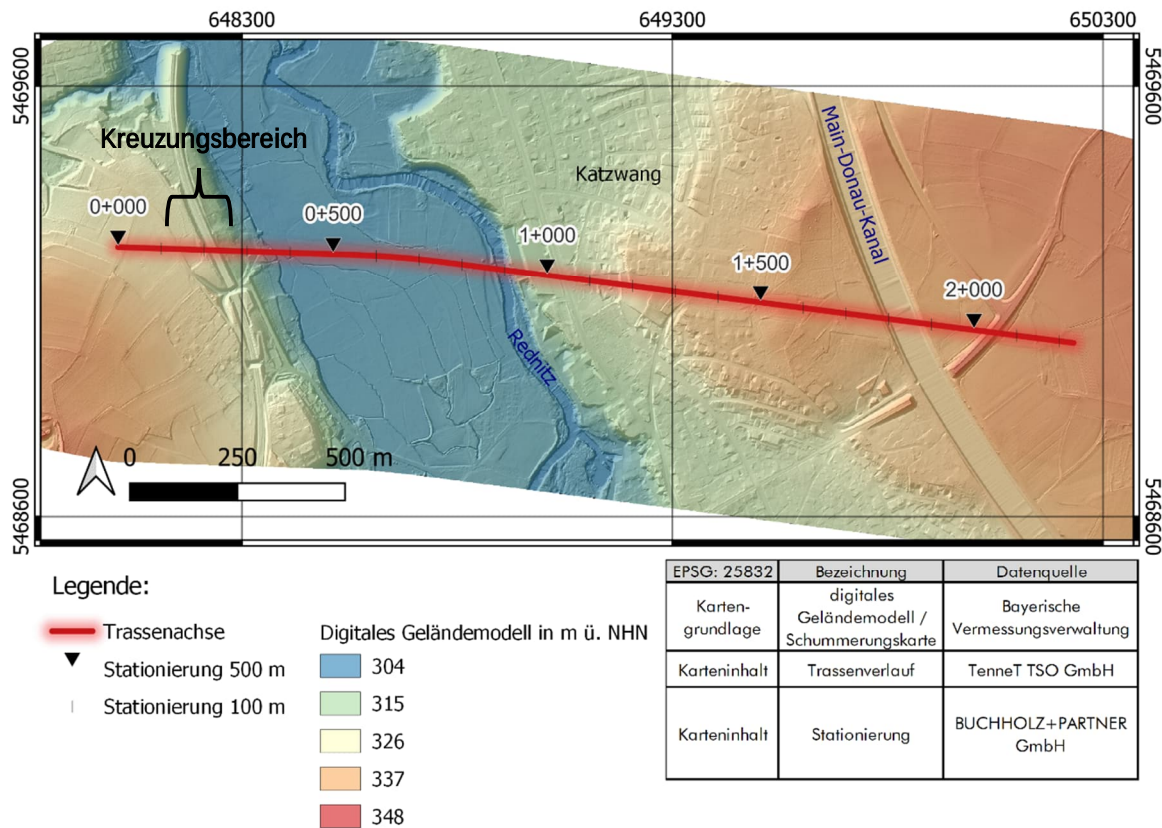


Abb. 2: Relief des Untersuchungsgebietes (eigene Darstellung)

3.3 Hydrogeologie

Die im Untersuchungsgebiet angetroffenen quartären Sande dienen als Porengrundwasserleiter (Aquifer). Zusätzlich befinden sich Festgesteine im Untergrund, die aufgrund eines nennenswerten Porenvolumens, Kluftsystems oder vorhandenen Hohlräume als kombinierter Poren- und Kluftgrundwasserleiter (Aquifer: Sandsteine und Kalksteine) oder aufgrund dessen Fehlens als Grundwasserstauer (Aquiclude: Ton-/Schluffsteine) charakterisiert werden. Beide Grundwasserleiter sind hydraulisch verbunden, sodass gemäß Wasserrahmenrichtlinie im Bereich der Bahnquerung nur ein Grundwasserkörper (GWK) definiert ist: GWK Quartär - Stein / Mfr. (2_G081).

Als Bemessungswasserstand wird der höchst mögliche zu erwartende Grundwasserstand (worst-case) definiert, welcher unter Berücksichtigung folgender Punkte festgelegt wurde:

- bei der Baugrunderkundung angetroffenen Wasserstände und geologischen Schichten,
- Auswertung der Ganglinien von Grundwassermessstellen des vorhandenen Messnetzes,
- Relief mit Bezug zum nächst gelegenen Vorfluter,
- Wasserstände aus Altbohrungen aus dem Bohrdatenarchiv Bayerns.

Tab. 2: angetroffene Wasserstände (in **Rot** markiert die Wasserstände im direkten Umfeld der Bahnstrecken 5320 & 5971)

Stationierung	Bohransatzpunkt	angetroffener Wasserstand		Bemerkung
		m u. GOK	m ü. NHN	
ca. 20 westlich der Zielgrube	KB 0	nicht angetroffen bis 302,8		
~ 0+030	KB 1	nicht angetroffen bis 302,6		
~ 0+120	KB 2	nicht angetroffen bis 295,9		
~ 0+250	KB 3	19,4	299,6	
~ 0+420	KB 4	6,0	303,6	
~ 0+520	KB 5	2,6	303,8	Rednitztal
~ 0+520	KB 6	2,6	303,7	
~ 0+620	KB 7	1,7	304,8	
~ 0+730	KB 8	2,6	304,7	
~ 0+840	KB 9	3,3	303,9	
~ 0+860	KB 10	2,8	303,8	
~ 0+980	KB 11	12,3	305,7	
~ 1+010	KB 12	10,2	309,0	
~ 1+080	KB 13	11,1	309,0	
~ 1+230	KB 14	12,5	319,5	
~ 1+330	KB 15	10,5	322,6	
~ 1+430	KB 16	9,5	324,4	
~ 1+530	KB 17	9,5	327,0	
~ 1+630	KB 18	17,8	319,7	Ausreißer
~ 1+730	KB 19	6,1	330,0	
~ 1+790	KB 20	3,5	330,1	
~ 1+880	KB 21	2,2	331,6	evtl. zusätzlich schwebender GWL
~ 1+980	KB 22	2,9	334,3	
~ 2+080	KB 23	2,9	335,2	
~ 2+190	KB 24	2,9	336,3	
~ 2+220	KB 25	2,9	336,6	
ca. 50 östlich der Startgrube	KB 26	2,9	337,1	

Bei der Baugrunderkundung ist bis auf die drei westlichsten Bohrungen (KB 0, KB 1 und KB 2) immer Grundwasser angetroffen worden. Die Grundwasseroberfläche stellte sich bei der Baugrunduntersuchung recht homogen dar. Im Rednitztal erfolgte der Grundwasseranschnitt während der Monate Oktober/November 2022 bei ca. 303,7 bis 304,8 m ü. NHN, was einem Grundwasserflurabstand von ca. 1,7 m bis 3,3 m u. GOK entspricht. Für die Rednitztaue wird unter Berücksichtigung der HQ100-Flächen der Bemessungswasserstand auf 308,5 m ü. NHN festgesetzt. In östlicher Richtung stieg der Grundwasseranschnitt recht gleichmäßig von ca. 305,7 m ü. NHN bei KB 11 (Station ~ 0+980) auf ca. 337,1 m ü. NHN bei KB 26 (Startgrube) an. Da die Geländeoberfläche nicht im gleichen Maße angestiegen ist, wie die Grundwasseroberfläche, verringert sich in östlicher Richtung der Grundwasserflurabstand von ca.

12,3 m u. GOK bei KB 11 (Station ~ 0+980) auf ca. 2,9 m u. GOK im Bereich der Startgrube (KB 23 bis KB 26). Die Bemessungswasserstände sind dementsprechend zwischen 340 m ü. NHN (im Bereich der Startgrube bis zum Main-Donau-Kanal) und 310 m ü. NHN (östliche Hangschulter des Rednitztals) festgesetzt worden.

Ab KB 4 in westlicher Richtung sind deutlich niedrigere Bemessungswasserstände zu erwarten, da auch die Estheriensichten erst in größerer Tiefe als Grundwasserstauer fungieren und so mehr Poren- und Klufräume im Untergrund für den Hauptgrundwasserkörper (GWK Quartär - Stein / Mfr.) vorhanden sind. Für die im Kreuzungsbereich zwischen Kabeltrasse und den Bahnstrecken 5320 und 5971 liegende Bohrung KB 3 gilt ca. 307 m ü. NHN als Bemessungswasserstand. Für KB 2 bis KB 0 gilt als Bemessungswasserstand tiefer als 305 m ü. NHN. Jedoch kann im Homogenbereich HU-1 temporär Schichtenwasser auftreten, das durch versickerndes Niederschlagswasser gespeist wird und auf tonigen Partien der Sandsteine als Interflow in östliche und nördlich Richtung abfließen kann. Es handelt sich dabei aber um wenig ergiebige, nur temporär und lokal auftretende Wässer und gehören nicht zum oberen Hauptgrundwasserkörper (GWK Quartär - Stein / Mfr.), welcher im Kreuzungsbereich mit den Bahnstrecken 5320 und 5971 erst in Tiefen größer 15 m u. GOK erwartet wird.

Aufgrund der heterogenen und kleinräumig sich ändernden Wechselfolge aus Grundwasserleitern und Grundwasserstauern ist eine Ableitung eines Grundwasserschwankungsbereiches von umliegenden Grundwassermessstellen schwierig. Allgemein schwanken deren Messwerte für den Oberen Grundwasserkörper (Quartäre Kiese und/oder Sandsteinkeuper, oft hydraulisch verbunden) im Nürnberger Raum um ca. 0,7 bis 6,0 m.

3.4 Gefährdungspotenziale

Von den zahlreichen erdgeschichtlichen Prozessen, die im Untersuchungsgebiet abgelaufen sind bzw. noch andauern, gehen diverse geogen bedingte Naturgefahren aus. Der Staatliche Geologische Dienst (SGD) empfiehlt generell die Betrachtung folgender Geogefahren:

- Massenbewegungen (Rutschprozesse, Sturzprozesse und Fließprozesse),
- Subrosion und Verkarstung,
- Setzungen und Hebungen,
- oberflächennahes Grundwasser,
- Hochwasser (ebenfalls Extremhochwässer der geologischen Vergangenheit),
- Gasaustritte (Methan, Radon, CO₂),
- Grundwasserversalzung und
- Erdbeben.

Relevante Geogefahren für die geplanten Maßnahmen werden im Folgenden aufgeführt.

3.4.1 Setzung und Hebung

Entsprechend der Baugrunderkundung befinden sich im Untergrund des Untersuchungsgebietes Ton-/ Schluffsteine, die ggf. wasserempfindlich sein können und bei Wassergehaltsänderungen mit Schrumpfen



und Quellen reagieren könnten. Davon betroffen sein können die Ton-/Schluffsteine der Baugrundsichten 3 und die Tonsteine der Estheriensichten / Baugrundsicht 6.

Generell können in den Tonen Tonminerale enthalten sein, die aufgrund ihrer Atomanordnung Wasser in ihr Kristallgitter aufnehmen und wieder abgeben können und so eine maßgebliche Volumenveränderung im Untergrund stattfinden kann. Ein weiterer Effekt ist, dass durch die diagenetische Verfestigung eine Einregelung der Tonminerale stattgefunden hat, die der Quellfähigkeit zunächst entgegenwirkte. Es wird angenommen, dass bei zunehmender Verwitterung in Verbindung mit einem zunehmenden Porenvolumen auch wieder die Quellfähigkeit steigt.

Die Laborergebnisse zum Quellhebungsversuch sind in Tabelle 3 enthalten.

Tab. 3: Ergebnisse Quellhebungsversuch (unter Berücksichtigung der Auflast durch das hangende Gebirge)

Bohrpunkt/Probe	Schichtbezeichnung	Entnahmetiefe der Probe	Auflast σ bei Wasserzugabe	Quellhebung ϵ	Bemerkung
		m u. GOK	kN/m ²	%	
KB 7 – KP 4	Ton-/Schluffsteine	15,2-15,4	150	0,004	vor allem Setzung, kaum Hebung
KB 10 – KP 13	Estheriensichten	16,8-17,0	170	0,007	
KB 11 – KP 13	Estheriensichten	28,6-28,7	280	0,944	sehr geringe Hebung
KB 15 – KP 11	Ton-/Schluffsteine	28,4-28,6	280	0,623	
KB 16 – KP 13	Ton-/Schluffsteine	28,6-28,8	280	0,000	nur Setzung

Die Quellhebungsversuche ergaben lediglich bei den Kernproben KB11-KP13 und KB 15-KP11 eine geringe Quellhebung von weniger als 1 %. Bei den weiteren drei Proben ist nach einer extrem geringen Quellhebung von kleiner 0,01% vor allem Setzungen gemessen worden. Die anstehenden Ton-/Schluffsteine sind dementsprechend als gering quellfähig zu bewerten.

3.4.2 Subrosion und Verkarstung

Von Verkarstung und Subrosion wird gesprochen, wenn im Untergrund Hohlräume auftreten, die durch Lösungsprozesse infolge des zirkulierenden Grundwassers hervorgerufen werden. Es wird dabei zwischen Sulfatkarst (Auslaugung, Hohlraumbildung von Sulfatgesteinen (Gips- und Anhydrit)), Karbonatkarst (Auslaugung, Hohlraumbildung von Karbonatgesteinen) und Salinarkarst (Auslaugung, Hohlraumbildung von Salzgesteinen) unterschieden.

Tab. 4: Übersicht der Erdfallgefährdungskategorien und deren Beschreibung.

Kategorie	Beschreibung	USG
Kategorie 0	Im Untergrund sind keine wasserlöslichen Gesteine bekannt. Erdfälle sind auch theoretisch unmöglich.	-
Kategorie 1	Lösliche Gesteine im Untergrund liegen in so großer Tiefe, dass bisher kein Schadfall bekannt geworden ist, der auf Verkarstung in dieser Tiefe zurückgeführt wird. Es besteht praktisch keine Erdfallgefahr.	100 % der Trasse
Kategorie 2 bis 7	Steigendes Erdfallrisiko	-

Von Subrosion und Verkarstung gefährdete Gesteine wurden bei der Baugrunduntersuchung nicht angetroffen. Gemäß der Auswertung von regionalgeologischer Karten, Daten und Literatur liegen lösliche Gesteine im Untergrund in so große Tiefe, dass bisher kein Schadfal bekannt geworden ist, der auf Verkarstung in dieser Tiefe zurückgeführt wird. Es besteht praktisch keine Erdfallgefahr.

3.4.3 Hochwasser

Das gesamte Rednitztal ist im Untersuchungsgebiet als Überschwemmungsgebiet ausgewiesen mit einer Jährlichkeit von HQ 5. Die Bahnstrecken 5320 und 5971 liegen im Kreuzungsbereich zur Kabeltrasse außerhalb des Überschwemmungsgebiets.

3.4.4 Weitere Georisiken

Die weiteren genannten Geogefahren (Massenbewegungen, Gasaustritte, Grundwasserversalzung und Erdbeben) sind für das Untersuchungsgebiet nach bisherigen Erkenntnissen bzw. nach der bisherigen Recherche nicht relevant. Die Problematik zum oberflächennahen Grundwasser wurde bereits in Kapitel 3.3 „Hydrogeologie“ erläutert.

4. Ergebnisse der Baugrunduntersuchung

4.1 Charakterisierung der angetroffenen Sedimente und Sedimentgesteine

Während der Baugrunduntersuchung sind verschiedene geologischen Schichten angetroffen worden, die im nachfolgenden Text beschrieben werden. Erwähnt werden nur die im Kreuzungsbereich zwischen Kabeltrasse und den Bahnstrecken 5320 und 5971 angetroffenen Schichten.

Baugrundsicht Y:

Als jüngste geologische Schicht gelten die anthropogenen Auffüllungen, die im Bereich des Bahndamms mit einer Mächtigkeit bis 4 m erwartet werden. Bei der Erkundung konnten die Auffüllungen am Bohransatzpunkten 3 nur bis in einer Tiefe von ca. 0,3 m u. GOK festgestellt werden, da die Bohrung auf dem parallel zur Bahnstrecke verlaufenden Weg abgeteuft wurde.

Baugrundsicht 1 - Oberboden:

Die Oberböden im Untersuchungsgebiet sind aus vor allem sandigen Substraten hervorgegangen, weshalb die Bodengruppe OH (gemäß DIN 18196) dominiert. Es handelt sich um humose, schwach schluffig bis schluffige Sande mit lockerer Lagerungsdichte. Sie weisen eine Mächtigkeit zwischen ca. 0,3 und 0,7 m auf.

Baugrundsicht 2 – quartäre Sande:

Als quartäre Sande werden die im Holozän in der Rednitzaue abgelagerten Auensande sowie die während des Pleistozäns auf den Hochflächen und im Rednitztal abgelagerten Terrassensande zusammengefasst. Auf der westlichen Hochfläche, inklusive der Bahnquerung, konnte im Bereich zwischen KB 0 bis KB 3



Terrassensande mit einer Sedimentmächtigkeit zwischen ca. 3 bis 10 m erkundet werden. Der Schluffanteil in den Terrassensanden ist deutlich reduziert und durch kiesige Beimengungen ergänzt. Dementsprechend können die Terrassensande im Bereich der Bahnquerung mit den Bodengruppen (gemäß DIN 18196) SW, SE und SU charakterisiert werden. Die Rammsondierungen mit der Schweren Rammsonde haben ergeben, dass die Terrassensande bis ca. 2 bis 3 m u. GOK locker gelagert und darunter dicht bis sehr dicht gelagert sind.

Baugrundschrift 3 – Wechsellagerung aus Sandstein, Ton-/Schluffstein

Die anstehenden Festgesteine sind eine Wechsellagerung aus verschiedenen ausgeprägten Sandsteinen und Ton-/Schluffsteinen. Die Fazieswechsel erfolgen ohne feststellbare Gesetzmäßigkeiten sowohl in der vertikalen als auch in der Horizontalen im Zentimeter-, Dezimeter- bis Meterbereich und mit ihnen die Festigkeitseigenschaften. Die Körnung der Sandsteine variiert zwischen Feinsand bis Grobsand. Die Kornbindung ist vor allem schwach bis mäßig, selten gut. Die Matrix besteht hauptsächlich aus Ton. Nur in wenigen, geringmächtigen Lagen ist eine quarzitisches Matrix festgestellt worden. Ebenfalls selten (nur bei KB 15, zwischen ca. 10,9-11,0 und 31,3-31,8 sowie KB 26 zw. 7,9-8,2) sind manganisierte Sandsteine aufgetreten. Die Sandsteine bestehen vor allem aus Quarzkörnern und untergeordnet sind auch Feldspäte vertreten. Innerhalb der Sandsteine, unabhängig ihrer Korngröße, treten Schluff-/Ton-Linsen im Millimeter bis Zentimeterbereich auf. Die Sandsteine können in ihrer Färbung und Korngrößenzusammensetzung sehr homogen ausgebildet sein, teilweise auch ohne makroskopisch erkennbar Schichtung. Es gibt jedoch auch in ihrer Zusammensetzung und Färbung sehr heterogene Sandsteine und Sandsteine mit einer deutlich erkennbaren Schichtung. Ebenso variiert die Ausprägung der Porenräume. Während einige Sandsteine sehr massig und dicht wirken, sind andere Sandsteine mit kleinen Hohlräumen aufgetreten. Die Farbe variierte zwischen weiß, hellgrau, grüngrau, hellbraun, gelbbraun bis rotbraun. Im oberflächennahen Bereich sind die Sandsteine zersetzt. In größeren Tiefen treten entfestigte, angewitterte und unverwitterte Bereiche auf, die ebenso vertikal und lateral wechseln, wie die anderen Eigenschaften. Häufig sind auf Kluffflächen sowie als Adern im Gestein rostfarbene Bereiche zu erkennen, die auf eine stattfindende Verwitterung hinweisen.

Die in der Wechsellagerung auftretenden Ton-/Schluffsteine sind in ihrer Zusammensetzung im Allgemeinen homogener als die Sandsteine ausgeprägt. Jedoch haben vermutlich durch chemische Prozesse Entfärbungen stattgefunden, weshalb die Ton-/Schluffsteine violett/rotbraune und graugrün/hellgraue Farben, die ineinander verwirrt sind, aufweisen. Teilweise ist bei den Ton-/Schluffsteinen eine Schichtung erkennbar, teilweise sind sie bis auf die Färbung sehr homogen/massig ausgeprägt. Die Ton-/Schluffsteine ließen sich oft leicht mit der Hand zerbrechen. Teilweise waren kalkhaltige Knauer oder Zwischenschichten enthalten. In der Regel waren sonst die Ton-/Schluffsteine kalkfrei. In den Ton-/Schluffsteinen sind außerdem rostfarbene Zwischenlagen enthalten.

Vereinzelte sind tonig-schluffige Klufffüllungen mit bis zu 10 cm Schichtdicke aufgetreten.

Die Mächtigkeit der Baugrundschrift 3 variiert im Untersuchungsgebiet stark. Die geringste Mächtigkeit mit ca. 10 m befindet sich zwischen ca. 0+500 und 0+900 Trassenkilometer bzw. zwischen KB 6 und KB 10. In diesem Abschnitt wird die Baugrundschrift 3 im Hangenden durch die quartären Sande und im Liegenden durch die Estherienschiefer begrenzt. Östlich und westlich des Abschnittes ist die Unterkante der Baugrundschrift 3 durch die Erkundungsbohrungen nicht erreicht worden. Bei den Ansatzpunkten KB



2 und KB 3 bedeutet das bis in eine Tiefe von ca. 30,0-33,0 m u. GOK bzw. bis 288 m ü. NHN. Hier beträgt die Mächtigkeit mindestens 15 m, teilweise ist die Baugrundschrift 3 auf einer Tiefe von bis zu 40 m nachgewiesen worden.

Baugrundschrift 4 – Kalksteine

Kalksteine wurden im Kreuzungsbereich zwischen Kabeltrasse und den Bahnstrecken 5320 und 5971 nicht angetroffen. Daher entfällt hier die Betrachtung.

Baugrundschrift 5 – Brekzien, Konglomerate

Vereinzelt sind Konglomerate und Brekzien in den Bohrungen erkannt worden. Es handelt sich jedoch um geringmächtige Zwischenlagen von 0,4 m bis weniger als 2 m Mächtigkeit.

Baugrundschrift 6 – Estherienschiefer

Die Estherienschiefer sind nur in den Bohrungen KB 6 bis KB 16 aufgeschlossen worden. Im Bereich der Bahnquerung liegen sie vermutlich in Tiefen größer 280 m ü. NHN bzw. 43 m u. GOK. Sie waren deutlich abgrenzbar von den hangenden Sedimentgesteinen durch ihre dunkelgraue bis schwarze Färbung. Die angetroffenen Tonsteine waren geschichtet bis leicht geschiefert. Die dazwischengeschalteten Steinmergel waren massig ausgeprägt. Auf den Schieferflächen der Tonsteine sind Rostschlieren erkennbar gewesen. Die erkundete Oberkante der Estherienschiefer lag bei den Bohrungen KB 9 bis KB 15 zwischen ca. 290,7 und 292,5 m ü. NHN auf einem ähnlichen Niveau. In westlicher Richtung erfolgt dann ein deutlicher Sprung von ca. 3 m zu Bohrung 7 und 8, in denen die Estherienschiefer bei ca. 286,5 bis 287,6 m ü. NHN angetroffen worden sind, und ein weiterer Sprung von ca. 4 m im Vergleich zu Bohrung 6, in der die Estherienschiefer ab ca. 282,6 m ü. NHN nachgewiesen werden konnten. Anhand dieser Bohrungen und der sprunghaften Entwicklung der Oberkante der Estherienschiefer kann die in der Literatur angegebenen Lage der Rednitztal-Verwerfung bestätigt werden. Anhand der in westliche Richtung abgetrepten Oberkante ist zu vermuten, dass es sich bei der Verwerfung um mehrere Staffelbrüche nebeneinander handelt.

4.2 Baugrundcharakteristik/Baugrundmodell

Anhand der Ergebnisse der Baugrunduntersuchung können für das gesamte Untersuchungsgebiet der Kabeltrasse 6 unterschiedliche Schichten im Baugrund identifiziert werden. Für den Bereich der Bahnquerung sind es lediglich 5 Baugrundschriften, die in Tabelle 5 bis 7 zusammengefasst sowie charakterisiert wurden. Baugrundschrift 6 „Estherienschiefer“ werden durch das Tunnelbauwerk in diesem Trassenabschnitt nicht berührt, liegen jedoch in größerer Tiefe, weshalb diese der Vollständigkeit wegen mit aufgeführt werden. In Anlage 3 befindet sich eine graphische Darstellung der Schichten für die komplette Kabeltrasse.

Die Schichtnummerierung erfolgte chronologisch, beginnend mit der jüngsten Schicht, für alle Schichten.

Folgende Fußnoten sind zu beachten:

²⁾ Die Angabe der Bodenklasse entspricht der veralteten Ausgabe der VOB/C DIN 18300:2012-09. 2015 erfolgte mit der Novellierung der VOB/C DIN 18300:2015-08 eine grundsätzliche Änderung der



Einteilung der Substrate im Baugrund. Die Bodenklassen wurden durch Homogenbereiche ersetzt, die im vorliegenden geotechnischen Bericht im Kapitel 5 festgelegt und charakterisiert werden.

³⁾ Einzelne Gerölle innerhalb der Terrassensedimente können möglicherweise Blockgröße erreichen. Nach DIN 18300 sind diese je nach Seitenlänge in die Bodenklassen 5 bis 7 einzuordnen. Es wird diesbezüglich auf die Angaben in der DIN 18300 verwiesen. Gerölle in Blockgröße können Bohrhindernisse im Zuge der Bauausführung darstellen.

⁴⁾ Erfahrungswerte.

⁵⁾ Auf Grundlage der durchgeführten Baugrunderkundung kann das Vorhandensein von Erdstoffen der Klassen > BS 1 bzw. > S 1 nicht ausgeschlossen werden.

⁷⁾ Im erdfeuchten Zustand.

⁸⁾ Rechenwert für den inneren Reibungswinkel des nichtbindigen und des konsolidierten bindigen Erdstoffes.

⁹⁾ Rechenwert für die Kohäsion des konsolidierten bindigen Erdstoffes.

¹⁰⁾ Felsgruppe gemäß „Merkblatt über das Bauen mit und im Fels: M Fels — Ausgabe 2015“, FGSV Verlag GmbH, R2-Regelwerke.

¹¹⁾ Einzelne Gesteinsbruchstücke können möglicherweise Blockgröße erreichen. Das zersetzte Gestein (BK 4, 5) geht ohne scharfe Grenzen in einen entfestigten bis angewitterten Zustand (BKL 6, 7) über. Bis zu den im Rahmen der Baugrunderkundung erreichten Endteufe ist das zersetzte Gestein noch als BKL 4-6 einzustufen. Unterhalb dieser Teufen aber auch innerhalb der Zersatz- und Verwitterungszonen ist mit dem Auftreten von weniger verwittertem Festgestein der Bodenklassen 6 und 7 zu rechnen.

¹²⁾ Auf Grundlage der durchgeführten Baugrunderkundung kann das Vorhandensein von Erdstoffen der Klassen $\geq$ FD1, $\geq$ FV1, $\geq$ FZ1 nicht ausgeschlossen werden.

¹³⁾ Die Scherfestigkeit der Festgesteine (Gebirgsfestigkeit) ist abhängig vom Trennflächengefüge (Durchtrennungsgrad, Einfallen, Ausbildung u.a.m.) und lässt sich daher nicht genau bestimmen.

Tab. 5: Baugrundcharakteristik Teil 1

Merkmal		Maß- einheit	Schicht 1a	Schicht 1b	Schicht 2a	Schicht 2b	Schicht 2c	Schicht 2d
Schichtbezeichnung			Oberboden		Quartäre Sande			
Körnung nach Bohrbefund			U, s'-s*, humos, z.T. t'-t, g'-g	S, u'-u*, schwach hu- mos bis humos, z.T. t', g'-g	S, z.T. u'-u*, g'-g, t'-t			
Bodenart nach DIN 18196 / Felsgruppe 10)			OU	OH	SE, SW, SU, SU*			
Verwitterungsgrad nach DIN 14689			-	-	-			
Bodenklasse DIN 18300 2)			BK 1	BK 1	BK 3-4, BK 5 3)			
Bohrbarkeitsklasse DIN 18301			BB 2, BO 2	BN 1 - BN 2, BO 2	BN 1 - BN 2, BS 1 5)			
Bodenklasse DIN 18319			LBO 1 – LBO 2	LNE 1, LNW 1	LNE 1, LNW 1, S 1	LNE 2, LNW 2, S 1	LNE 3, LNW 3, S 1	
Bodenkennziffer B _k			3 - 4	4	3	2,5	2	1,5
Durchlässigkeit k _f 4)		m/s	10 ⁻⁸ - 10 ⁻⁶	10 ⁻⁶ - 10 ⁻³	10 ⁻⁴ - 5 x 10 ⁻³			
natürlicher Wassergehalt 4)		%	10 - 40	5 - 30	5 - 30			
Verdichtbarkeitsklasse			V 3	V 3	V 1 - 2			
Frostempfindlichkeitsklasse			F 3	F 3	F 1 - 3			
Lagerungsdichte / Konsistenz			weich-steif	locker	locker	mitteldicht	dicht	sehr dicht
Wichte 7)		kN/m ³	15,0	16,0	18,0	19,0	20,0	21,0
Wichte unter Auftrieb		kN/m ³	6,0	7,5	10,0	11,0	11,5	12,0
Reibungswinkel 8)		°	15,0	25,0	27,5	30,0	32,5	35,0
Kohäsion, undrainiert c _u 9)		kN/m ²	10	0	0	0-10	0-30	0-30
Kohäsion, drainiert c' 9)		kN/m ²	2	0	0	0-2	0-4	0-4
Steifemodul E _s		MN/m ²	1-3	5-8	10-15	50-60	70-80	90-100
thermische Leit- fähigkeit n. KERSTEN 4)	bei Feldkapazität	W m ⁻¹ K ⁻¹	1,1-1,5	0,9-1,1	0,9-1,1	1,1-1,3	1,9-2,1	2,1-2,3
	am permanenten Wel- kepunkt	W m ⁻¹ K ⁻¹	0,9-1,3	0,6-0,9	0,6-0,9	0,9-1,1	1,3-1,5	1,5-1,7

Tab. 6: Baugrundcharakteristik Teil 2

Merkmale	Maßeinheit	Schicht 3a	Schicht 3b	Schicht 3c	Schicht 3d	Schicht 3e	Schicht 3f	Schicht 3g	Schicht 3h
Schichtbezeichnung		Wechsellagerung aus Sandstein und Ton-/Schluffstein							
Körnung nach Bohrbefund		rollig zersetzt / S, z.T. u'-u, g'-g, x'-x				bindig zersetzt / U, s, z.T. g, x'-x	zersetzt bis entfestigt	entfestigt bis angewittert	angewittert bis unverwittert
Bodenart nach DIN 18196 / Felsgruppe gemäß 10)		SE, SW, SU, SU*, SG/SF-VZ				UL/SU*, SG/SF-VZ	SG/SF-VZ, SG/SF-VE	SG/SF-VE, SG/SF-VA	SG/SF-VA, SG/SF-VU
Verwitterungsgrad nach DIN 14689		V 5				V 5	V 3 - 4	V 2	V 0 - 1
Bodenklasse DIN 18300 ²⁾		BK 3, BK 5 ¹¹⁾				BK 4, BK 5 ¹¹⁾	BK 6	BK 6, BK 7	BK 7
Bohrbarkeitsklasse DIN 18301		BN 1, BS 1 ⁵⁾				BB 2 - 3, BS 1 ⁵⁾	FV 1 ¹²⁾	FV 2, FD 1 - 2 ¹²⁾	FV 3 - 6, FD 1 - 2 ¹²⁾
Bodenklasse DIN 18319		LNE 1, LNW 1, S 1 ⁵⁾	LNE 2, LNW 2, S 1 ⁵⁾	LNE 3, LNW 3, S 1 ⁵⁾	LNE 3, LNW 3, S 1 ⁵⁾	LBM 2, P 1, S 2-4	FZ 1 ¹²⁾	FD 1 - 2 ¹²⁾	FD 1 - 2 ¹²⁾
Bodenkennziffer B _k		3	2,5	2	1,5	2 - 3	-	-	-
Durchlässigkeitsbeiwert k _r ⁴⁾	m/s	10 ⁻⁵ - 10 ⁻³				10 ⁻⁸ - 10 ⁻⁶	-	-	-
natürlicher Wassergehalt ⁴⁾	%	5 - 30				10 - 40	-	-	-
Verdichtbarkeitsklasse		V 1 - 2				V 3	-	-	-
Frostempfindlichkeitsklasse		F 1 - 3				F 3	-	-	-
Lagerungsdichte / Konsistenz		locker	mitteldicht	dicht	sehr dicht	steif bis halbfest	-	-	-
Wichte ⁷⁾	kN/m ³	19,0	20,0	21,0	22,0	19,0 - 20,0	18,5 - 23,0	19,0 - 25,0	19,5 - 25,0
Wichte unter Auftrieb	kN/m ³	11,0	11,0	11,5	12,0	9,5 - 10,0	9,0 - 13,0	9,0 - 15,0	9,5 - 15,0
Reibungswinkel ⁸⁾	°	30,0	32,5	35,0	37,5	27,5 - 30,0	30,0 - 35,0 ¹³⁾	35,0 - 45,0 ¹³⁾	35,0 - 45,0 ¹³⁾
Kohäsion, undrainiert c _u ⁹⁾	kN/m ²	0	0	0	0	60 - 100	0 ¹³⁾	0 ¹³⁾	0 ¹³⁾
Kohäsion, drainiert c' ⁹⁾	kN/m ²	0	0	0	0	8 - 12	15 - 30 ¹³⁾	5 - 20 ¹³⁾	0 - 15 ¹³⁾
Steifemodul E _s	MN/m ²	20 - 60	60 - 80	80 - 100	100 - 120	15 - 20	90 - 120	150 - 200	170 - 220
thermische Leitfähigkeit n. KERSTEN ⁴⁾	bei Feldkapazität	W m ⁻¹ K ⁻¹	0,9 - 1,1	1,1 - 1,3	1,9 - 2,1	2,1 - 2,3	1,9 - 2,3	2,2 - 2,3	2,2 - 2,3
	am permanenten Welkepunkt	W m ⁻¹ K ⁻¹	0,6 - 0,9	0,9 - 1,1	1,3 - 1,5	1,5 - 1,7	1,3 - 1,9	2,2 - 2,3	2,2 - 2,3



Tab. 7: Baugrundcharakteristik Teil 3

Merkmal		Maß- einheit	Schicht 5	Schicht 6
Schichtbezeichnung			Brekzie / Konglomerat	Estherienschichten Wechselagerung aus Tonstein und Steinmergel - werden nicht durchörtert -
Körnung nach Bohrbefund		m/s	angewittert	entfestigt bis angewittert
Bodenart nach DIN 18196 / Felsgruppe gemäß 10)			SG-VA	SF-VE, SF-VA
Verwitterungsgrad nach DIN 14689			V 2	V 2
Bodenklasse DIN 18300 ²⁾			BK 7	BK 6, BK7
Bohrbarkeitsklasse DIN 18301			FV 2, FD 1 ¹²⁾	FV 2-4, FD 1 ¹²⁾
Bodenklasse DIN 18319			FD 1 ¹²⁾	FZ 1 / FD 1 ¹²⁾
Bodenkennziffer B _k			-	-
Durchlässigkeitsbeiwert k _f ⁴⁾			-	-
natürlicher Wassergehalt ⁴⁾			-	-
Verdichtbarkeitsklasse			-	-
Frostempfindlichkeitsklasse		-	-	
Lagerungsdichte / Konsistenz			-	-
Wichte ⁷⁾		kN/m ³	22,0 - 24,0	21,0 - 24,0
Wichte unter Auftrieb		kN/m ³	12,0 - 14,0	11,0 - 14,0
Reibungswinkel ⁸⁾		°	35,0 - 40,0 ¹³⁾	35,0 - 45,0 ¹³⁾
Kohäsion, undrainiert c _u ⁹⁾		kN/m ²	0 ¹³⁾	0 ¹³⁾
Kohäsion, drainiert c' ⁹⁾		kN/m ²	15 - 20 ¹³⁾	0 - 15 ¹³⁾
Steifemodul E _s		MN/m ²	120 - 150	150 - 200
thermische Leit- fähigkeit n. KERSTEN ⁴⁾	bei Feldkapazität	W m ⁻¹ K ⁻¹	2,3	2,2
	am permanenten Wel- kepunkt	W m ⁻¹ K ⁻¹	2,3	2,2

5. Festlegung der Homogenbereiche nach Untertagearbeiten

Für den Kreuzungsbereich zwischen Kabeltrasse und den Bahnstrecken 5320 und 5971, der ausschließlich in geschlossener Bauweise gequert wird, erfolgt die Festlegung und Beschreibung von Homogenbereichen nur für Untertagearbeiten (vgl. Tab. 8).

Tab. 8: Überblick über die gebildeten Homogenbereiche für Untertagearbeiten (DIN 18312)

Baugrundsichten		Homogenbereiche nach
		Untertagearbeiten (DIN 18312)
1	Oberboden	-
2	quartäre Sande	HU-1
3	Wechselagerung Sand- stein mit Ton-/Schluffstein	
	zersetzt	HU-2
	Festgestein	
5	Brekzie / Konglomerat	HU-3 - werden nicht durchörtert -
6	Estheriensichten	

Die nachfolgende Tabellen 9 zeigt eine Übersicht der boden- und felsmechanischen Kennwerte der gebildeten Homogenbereiche für Untertagearbeiten.

Bei den angegebenen Wertespanssen handelt es sich um Erfahrungswerte, die entsprechend den Ergebnissen der Erkundungsbohrungen und Laboruntersuchungen für den speziellen Untersuchungsraum angepasst worden sind.

Tab. 9: Bodenmechanische Kennwerte der Homogenbereiche HU-1 bis HU-3 für Untertagearbeiten nach DIN 18312

Nr.	Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereich		
		HU-1	HU-2	HU-3 - werden nicht durchörtert -
1	ortsübliche Bezeichnung	quartäre Sande, zersetzer Sandstein	Blasensandstein und Coburger Sandstein	Estheriensichten
2	Korngrößenverteilung	S, z.T. u'-u, g'-g, x'-x oder U, s, z.T. g, x'-x	-	-
3a	Masseanteil an Steinen > 63-200 mm [%]	0 – 50	-	-
3b	Masseanteil an Blöcken > 200-630 mm [%]	0 – 25	-	-
3c	Masseanteil an großen Blöcken > 630 mm [%]	0 – 15	-	-
4	Mineral. Zusammensetzung der Steine & Blöcke	Sandstein (silikatisch) mit tonigem und kalzitischem Bindemittel	-	-
5	Dichte [g/cm³] (Feuchtdichte)	1,8 – 2,1	2,2 – 2,5	2,1 – 2,4
6	Kohäsion	0 - 2	15 - >30	10 - 15
7	undrainierte Scherfestigkeit [kN/m²]	0 – 100	-	-

Tab. 9 ff: Bodenmechanische Kennwerte der Homogenbereiche HU-1 bis HU-3 für Untertagearbeiten (DIN 18312)

Nr.	Eigenschaften / Kennwerte ¹⁵⁾	Homogenbereich		
		HU-1	HU-2	HU-3 - werden nicht durchörtert -
8	Sensitivität	gering bis mittel	gering bis mittel	gering
9	Wassergehalt [%]	5 – 40	-	-
10b	Plastizitätszahl [%]	0 – 25	-	-
11b	Konsistenzzahl [-]	0,5 – 0,75	-	-
12	Durchlässigkeit k _r -Wert [m/s]	10 ⁻⁴ – 5 x 10 ⁻³	10 ⁻⁴ – 1 x 10 ⁻⁹	10 ⁻⁸ – 1 x 10 ⁻¹⁰
13	Lagerungsdichte [%]	15 – 100	-	-
14	Kalkgehalt	0 – 2	0 – 75	0 – 20
16	Organ. Anteil [M.-%]	0 – 2	0 – 2	0 – 5
17	Benennung und Beschreibung org. Böden	-	-	-
18	Abrasivität	nicht abrasiv bis abrasiv ¹⁴⁾	niedrig bis hoch ¹⁴⁾	niedrig bis mittel ¹⁴⁾
19	Bodengruppe bzw. Fels-code ¹⁵⁾	SE, SW, SU, UL/SU*, SG/SF-VZ	SG/SF-VE, SG/SF-VA, KA- VZ, KA-VE, KA-VA	SF-VE, SF-VA, (KA-VA)
20	Benennung von Fels nach DIN 14689	lokale Einlagerungen von umgelagerten Sandsteingeröllen	Wechsellagerung aus Sandstein, Ton-/Schluffstein, Kalkstein, Brekzie, Konglomerat	Tonstein und Steinmergel
21	Verwitterung, Veränderlichkeit nach DIN 14689	-	Grad 0 – 2 (frisch, bis mäßig verwittert) Grad 1 – 3 (nicht veränderlich bis veränderlich)	Grad 1 – 3 (schwach verwittert bis stark verwittert) Grad 2 – 3 (veränderlich)
22	Einaxiale Druckfestigkeit des Gesteins	-	FD 1-2 (3) (sehr gering bis hoch)	FD 1 (sehr gering bis gering)
23a	Trennflächenrichtung nach DIN 14689	-	überwiegend horizontal, orthogonal verlaufende, vereinzelte Klüftung	überwiegend horizontal
23b	Trennflächenabstand nach DIN 14689	-	0,02 – 0,6 m (sehr engständig bis mittelständig)	0,01 – 0,2 m (sehr engständig bis engständig)
24a	Öffnungsweite von Trennflächen nach DIN 14689	-	0,1 – 2,5 mm (sehr eng bis offen)	0,1 – 0,5 mm (sehr eng bis teilweise offen)
24b	Klüftfüllung von Trennflächen nach DIN 14689	-	schluffig – tonig, untergeordnet kalzitisch	schluffig – tonig
-	sonstige Bemerkungen	siehe Kapitel 7		

¹⁴⁾ vgl. Kapitel 7.3

¹⁵⁾ in Anlehnung an FGSV Merkblatt über das Bauen mit und über Fels (M Fels), 2015


6. Baugrundbeurteilung und Gründungshinweise für die geschlossene Bauweise

Nach derzeitigem Kenntnisstand soll das Erdkabel in einem Tunnelbauwerk mit Tübbingausbau verlegt werden, welches im Schildvortriebsverfahren mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust (geschlossenes Schild mit vollflächigem Abbau mit Flüssigkeitsstützung und Druckluftpolster) errichtet werden soll.

Die im Bereich der Bahnquerung angetroffenen Baugrundsichten können alle mittels Tunnelbohrmaschinen durchörtert werden (Tabelle 10). Es müssen entsprechend der Eigenschaften der Sedimentgesteine unterschiedliche Randbedingungen beachtet werden, die in den folgenden Kapiteln näher erläutert werden. Es werden nur die Homogenbereiche charakterisiert, die sich in der möglichen Absetztiefe des Tunnels befinden.

Tab. 10: Übersicht zu den zu querenden Homogenbereichen (+ + stark betroffen / + betroffen / - gering betroffen)

zu querende Homogenbereiche	HU-1	HU-2	HU-3 - werden nicht durchörtert -
Baugrundsichten	quartäre Sande, zersetzter Sandstein	Wechsellagerung aus Sandstein, Ton-/Schluffstein, Kalkstein, Brekzie, Konglomerat	Estherienschiefer Wechsellagerung aus Tonstein und Steinmergel
Gesteinsart	Lockergestein	Festgestein	Festgestein
Grundwasserleitertyp	Porengrundwasserleiter	Poren-/ Kluftgrundwasserleiter und Grundwassergeringleiter	Grundwasserstauer
Bodenfeuchte	nass bis trocken	nass bis trocken	erdfeucht bis trocken
hohe Wasserdurchlässigkeit	+ +	+ + / -	-
standfestes Bohrloch	-	+ / -	+
hohe Festigkeit (Lagerungsdichte / Konsistenz)	-	+ + / -	- / + +
einaxiale Druckfestigkeit	k.A.	FD 1-2	FD 1-2
Gerölleinlagen	+	geringmächtige Schichten aus Brekzien oder Konglomeraten	-
hohe Abrasivität	+ / -	+ / -	+ / -
organische Bestandteile	-	-	-
Quell-/Schrumpfungsfähigkeit	-	-	-
Ausbläser	+ +	+ / -	-

Des Weiteren ergeben sich folgende Punkte, die bei der Ausführungsplanung im Bereich der Bahnquerung beachtet werden sollten:

- die Locker-/Festgesteinsgrenze liegt ca. 14 m oberhalb des geplanten Tunnelfirsts bei ca. 316 m ü. NHN,
- stetiger vertikaler wie lateraler Fazieswechsel im Zentimeter-, Dezimeter- bis Meterbereich aus Ton-/Schluffsteinen und Sandsteinen (Sandsteine aus Feinsand, Mittelsand, Grobsand und/oder Gemengen daraus) mit unterschiedlicher Kornbindung, Abrasivität, Ton- und Wassergehalt,
- streckenweise ist mit einem nicht standfesten Bohrkanal zu rechnen,
- wasserwegesames Gebirge mit Grundwassereinfluss im Tiefenbereich der Tunnelgradienten,
- die zu querenden Ton-/Schluffsteine sind gering quell- und schrumpffähig,
- die Bahnquerung liegt randlich der Rednitztal-Verwerfung, eine Störungszone mit mehreren Staffelbrüchen.

6.1 Bohrbarkeit

Alle im Untersuchungsgebiet angetroffene geologischen Schichten können mechanisch gelöst werden. Während die Lockergesteine abgebaggert werden können, ist das für die Bereiche mit Festgesteinen unwahrscheinlich. In den Festgesteinen sind für den Bohrvortrieb Meißel, Fräsen, o.Ä. empfehlenswert. Festgesteine aus Sedimentgesteinen werden über den gesamten Trassenabschnitt erwartet. Im Kreuzungsbereich zwischen Kabeltrasse und den Bahnstrecken 5320 und 5971 beträgt die Mächtigkeit der Lockergesteinsdecke zwischen 3 und 10 m bzw. liegt deren Unterkante bei ca. 316 bis 318 m ü. NHN. Bei einem geplanten Tunnelfirst ca. 302 m ü. NHN bzw. 21 m u. GOK verläuft der komplette Tunnelvortrieb unterhalb der Bahnstrecke im Festgestein (Homogenbereich HU-2).

Innerhalb von Homogenbereich HU-2 besteht ein stetiger vertikaler sowie lateraler Fazieswechsel im Zentimeter bis Dezimeterbereich aus Ton-/Schluffsteinen und Sandsteinen (Sandsteine aus Feinsand, Mittelsand, Grobsand und/oder Gemengen daraus) mit unterschiedlicher Kornbindung und Abrasivität sowie variierendem Ton- und Wassergehalt. Generell ist beim Durchqueren der verschiedenen Homogenbereiche mit einem Wechsel von Schichten mit teilweise sehr hoher Festigkeit (Sandsteine mit guter Kornbindung und silikatischer Matrix, Brekzien, Konglomerate) und Weichschichten (Ton-/Schluffsteine, Sandsteine mit schlechter Kornbindung und toniger Matrix) zu rechnen. Beim Durchörteren der Wechsellagerungen kann es im Besonderen an den Schichtgrenzen zu einem geologisch bedingten Mehrausbruch kommen, der zu einer unplanmäßigen Vergrößerung des Bohrkanals führt. Mit der nach derzeitigem Kenntnisstand geplanten flüssigkeitsgestützten Ortsbrust (geschlossenes Schild mit vollflächigem Abbau mit Flüssigkeitsstützung und Druckluftpolster) kann diese Gefahr deutlich reduziert werden, sodass keine signifikanten Setzungen an der Oberfläche zu erwarten sind (vgl. Kapitel 6.5). Treten dennoch Hohlräume auf, sollten diese nach dem Stand der Technik gesichert bzw. versiegelt werden.

Kaum konsolidierte Sedimente der Homogenbereiche HU-1, im Besonderen die locker bis mitteldicht gelagerten quartären Sande im Rednitztal neigen zu Ausbläsern. Außerdem können auch in den Festgesteinen Ausbläser entlang von Störungszone und Klüften auftreten. Das gilt im Besonderen für die Querung der Rednitztal-Verwerfung. Die Bahnquerung liegt im Randbereich der Störung, sodass die Gefahr



von Ausbläsern deutlich geringer ist. Ebenfalls wird die Gefahr minimiert durch die große Mächtigkeit der überlagernden Gesteine.

Aufgrund der vorgesehenen Arbeitsweise mit einer sofortigen Stabilisierung des Bohrkanals durch Tübbing ist trotz der teilweise mächtigen Lockergesteinsdecke sowie Sandsteinen mit schlechter Kornbindung jederzeit mit einem standfesten Bohrkanal zu rechnen. Die Stabilisierung der Ortsbrust, vor allem im Bereich der Bahnquerung, mit einem flüssigkeitsgestützten System stellt eine geeignete Bauweise dar, um die Setzungen an der Oberfläche auf ein zulässiges Minimum zu reduzieren (vgl. Kapitel 6.5).

6.2 Felsmechanische Untersuchungen

Die Ergebnisse der Versuche zur Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit ergaben niedrige Werte im Bereich der Bohrbarkeitsklasse FD 1 (bis 20 MPa gemäß DIN 18301). Lediglich an drei Kernproben sind leicht höhere Werte im unteren Bereich der Bohrbarkeitsklasse FD 2 festgestellt worden. Die Werte können Tabelle 11 sowie Anlage 4 entnommen werden.

Die Laborergebnisse können wie folgt ausgewertet werden:

- An den 27 Kernproben aus Sandstein (Baugrundschrift 3) sind Werte zwischen 0,3 und 24,9 MPa bestimmt worden. Die festgestellten Werte korrelieren weder zur Sandfraktion (Sandstein aus Grob-, Mittel- oder Feinsand) noch zum Verfestigungsgrad (schlechte, mäßige oder gute Kornbindung bei Feldaufnahme) oder der Entnahmetiefe.
- Die Untersuchung der einaxialen Druckfestigkeit an fünf Kernproben mit Schluff-/Tonsteine (Baugrundschrift 3) ergab Werte zwischen 1,4 und 11,6 MPa (Bohrbarkeitsklasse FD 1 gemäß DIN 18301).
- Die untersuchte Kernprobe einer Brekzie wies eine einaxiale Druckfestigkeit von 5,4 MPa auf (Bohrbarkeitsklasse FD 1 gemäß DIN 18301).
- Die untersuchte Kernprobe aus den Estherienschiefern wies eine einaxiale Druckfestigkeit von 4,4 MPa auf (Bohrbarkeitsklasse FD 1 gemäß DIN 18301).
- Den höchsten festgestellten Wert der einaxialen Druckfestigkeit mit 30,3 MPa kann dem Kalkstein aus KB 24 zugeordnet werden (Bohrbarkeitsklasse FD 2 gemäß DIN 18301).

Tab. 11: Ergebnisse der Bestimmung zur einaxialen Druckfestigkeit (in **Rot** markiert das Untersuchungsprogramm im direkten Umfeld der Bahnstrecken 5320 und 5971)

Bohransatz- punkt	Probe	Entnahme- tiefe	Baugrundschrift	einaxiale Druckfestigkeit	Rohdichte
		m u. GOK		MPa	g/cm³
KB 0	KP 6	8,8 – 9,0	Brekzie	5,4	2,411
KB 1	KP 2	10,4-10,8	Sandstein	0,3	1,848
KB 2	KP 3	18,0-18,2	Sandstein	10,8	2,140
KB 3	KP 4	19,4-19,6	Sandstein	0,9	2,284
KB 4	KP 1	11,8-12,0	Sandstein	1,3	2,175
KB 5	KP 8	12,8-13,0	Sandstein	2,6	1,952
KB 6	KP 6	15,3-15,5	Sandstein	24,9	2,505
KB 8	KP 8	12,8-13,0	Sandstein	8,5	2,019
KB 10	KP 8	13,3-13,5	Sandstein	18,4	2,362
KB 11	KP 10	24,8-25,0	Sandstein	10,7	2,129
KB 12	KP 7	22,2-22,4	Sandstein	0,4	2,058
KB 12	KP 12	25,3-25,5	Sandstein/Schluffstein	2,2	2,246
KB 12	KP 14	28,4-28,6	Estherienschiefer	4,4	2,303
KB 13	KP 5	21,0-21,3	Sandstein	15,4	2,327
KB 14	KP 14	35,0-35,3	Sandstein	17,9	2,307
KB 15	KP 13	31,0-31,2	Sandstein	4,9	2,058
KB 16	KP 14	30,4-30,6	Ton-/Schluffstein	11,6	2,336
KB 17	KP 11	28,5-28,7	Sandstein	3,7	1,907
KB 18	KP 7	26,2-26,4	Ton-/Schluffstein	4,4	1,996
KB 18	KP 8	30,4-30,6	Sandstein	1,5	1,998
KB 19	KP 6	24,1-24,3	Sandstein	2,1	1,931
KB 20	KP 8	16,1-16,3	Sandstein	10,3	2,382
KB 21	KP 6	15,2-15,4	Sandstein	24,9	2,501
KB 22	KP 4	13,8-14,0	Sandstein	4,4	2,168
KB 22	KP 5	15,7-15,9	Sandstein	5,4	2,088
KB 23	KP 6	12,7-12,9	Ton-/Schluffstein	3,6	2,449
KB 24	KP 2	6,5-6,8	Kalkstein	30,3	2,549
KB 25	KP 5	10,0-12,0	Ton-/Schluffstein	1,4	2,309
KB 25	KP 6	11,1-11,3	Sandstein	0,4	1,929

6.4 Abrasivität

Die Abrasivität ist ein Maß für den Verschleiß des Bohrwerkzeuges bei bestimmten Untergrundbedingungen. Die Abrasivität von Festgesteinen kann mittels CERCHAR-Test laborativ bestimmt werden. In Tabelle 12 sind die Ergebnisse aufgeführt.

Tab. 12: Ergebnisse der Abrasivität, ermittelt mittels CERCHAR-Test (in **Rot** markiert das Untersuchungsprogramm im direkten Umfeld der Bahnstrecken 5320 und 5971)

Bohransatzpunkt	Probe	Entnahmetiefe	Baugrundschrift	CAI	Abrasivitätsbezeichnung gemäß DGGT-Empfehlung
KB 0	KP 6	8,8 – 9,0	Brekzie	1,864	niedrig
KB 2	KP 3	18,0-18,2	Sandstein	2,063	mittel
KB 5	KP 6	10,3-10,5	Sandstein	1,436	niedrig
KB 11	KP 15	25,9-26,0	Sandstein	1,728	niedrig
KB 11	KP 12	28,5-28,6	Estherienschichten	2,193	mittel
KB 12	KP 13	26,3-26,5	Estherienschichten	1,668	niedrig
KB 12	KP 14	28,4-28,6	Estherienschichten	2,786	mittel
KB 14	KP 10	31,2-31,6	Sandstein	1,674	niedrig
KB 15	KP 15	34,4-34,6	Ton-/Schluffstein	3,743	hoch
KB 16	KP 12	31,8-32,0	Sandstein	2,089	mittel
KB 17	KP 12	29,0-29,3	Sandstein	1,824	niedrig
KB 17	KP 14	32,9-33,0	Ton-/Schluffstein	1,289	niedrig
KB 20	KP 7	15,8-16,0	Sandstein	3,983	hoch
KB 21	KP 6	15,2-15,4	Sandstein	2,451	mittel
KB 22	KP 6	16,8-17,0	Sandstein	1,364	niedrig
KB 24	KP 3	7,1-7,3	Kalkstein	2,508	mittel
KB 25	KP 3	8,5-8,8	Sandstein	2,064	mittel

Aufgrund der Probennahme und der weiteren Probenvorbereitung für den CERCHAR-Test ist zu berücksichtigen, dass verschleißrelevante Gesteinseigenschaften (z.B. Gesteinsverband) verändert worden sind. Folgende Bewertung wurde vorgenommen:

- Die Sandsteine weisen erfahrungsgemäß eine niedrige bis hohe Abrasivität auf, was durch die stichprobenhaften Analysen zur Bestimmung des CERCHAR-Abrasivitäts-Index (CAI) bestätigt werden konnte. Der CAI lag zwischen ~ 1,3 und ~ 4,0, wobei vor allem Werte bis ~ 2,5 ermittelt worden sind. Anhand des Mineralbestandes bzw. des äquivalenten Quarzanteils von > 50 % und der relativ hohen Porosität (Gesamtporosität ~ 10 %), ist beim Vortrieb jedoch mit einem hohen Verschleiß der Bohrkronen zu rechnen. Dabei ist zu beachten, dass die Körner der Sandsteine vor allem durch eine tonige/weiche Matrix gebunden sind und weniger durch eine quarzitisches/harte Matrix. Kleinere Bereiche mit besserer Kornbindung können jedoch immer wieder auftreten und während des Vortriebs als Steine und Blöcke herausgelöst werden. Dies kann zu einem Festbohren oder Verklemmen der Bohrkronen an der Ortsbrust führen, was zu einem Totalausbruch, Totalverschleiß bzw. Sprödbbruch führen kann. Maßgebend für die Standzeit einer Bohrkronen sind die als Steine oder Blöcke aggregierten Sandkörner weniger die Festigkeit der Matrix. Daher sind trotz der vorrangig bestimmten niedrigen bis mittleren Abrasivitäten sowie der geringen bis mäßigen



einaxialen Druckfestigkeiten, welche vor allem durch die tonig schluffige Matrix bestimmt werden, mit niedrigen Standzeiten der Bohrkronen beim Vortrieb zu rechnen.

- Kalksteine sowie Ton-/Schluffsteine haben erfahrungsgemäß eine sehr geringe bis geringe Abrasivität. Jedoch haben die Versuche zur Bestimmung des CAI höhere Abrasivitäten ergeben. Für die untersuchte Kernprobe aus Kalkstein wurde eine mittlere Abrasivität festgestellt (CAI ~ 2,5) und die gemessene Abrasivität für Ton-/Schluffsteine lag zwischen ~ 1,3 und ~ 3,7 und dementsprechend im niedrigen bis hohen Bereich.
- Der CAI für die Tonsteine der Estheriensichten wurde mit Werten zwischen ~ 1,7 und ~ 2,8 ermittelt und befindet sich dementsprechend im niedrigen bis mittleren Bereich.

Zwei Proben (KB3-KP3/Sandstein und KB16-KP9/Ton-Schluffstein) sind aufgrund ihrer geringen Festigkeit beim Einspannen in die Apparatur zerfallen. Daraufhin wurde der LCPC-Test durchgeführt. Für KB3-KP3/Sandstein wurde ein LAK von 84 g/Mg und für KB16-KP9/Ton-Schluffstein ein LAK von 34 g/Mg bestimmt. Beide Werte liegen im sehr schwach abrasiven Bereich.

6.5 Grundwassereinfluss

Im Kreuzungsbereich zwischen Kabeltrasse und den Bahnstrecken 5320 und 5971 erfolgt der Tunnelvortrieb höchst wahrscheinlich im Grundwasser. Das Grundwasser kann sich sowohl in den Porenräumen der Sandsteine als auch in den Klüften der Sand- und Ton-/Schluffsteine befinden. Das geplante Vorgehen - Tunnelbau im Schildvortrieb mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust - ist gut geeignet, um den Bohrkanal und die Ortsbrust zu stabilisieren und so möglichst setzungsarm die Maßnahme durchzuführen. Der darauffolgende Tübbingausbau gewährleistet bei fachgerechter Umsetzung eine umfassende Abdichtung des Tunnelbauwerkes gegenüber dem grundwasserführenden Gebirge.

Wasserhaltungsmaßnahmen sind für den geplanten Schildvortrieb nicht erforderlich, weshalb keine künstliche Absenkung des Grundwasserspiegels unterhalb der Bahnstrecke erforderlich wird.

Gemäß den Literaturangaben kann das Grundwasser stark betonangreifend sein.

6.6 Bodenverformung infolge der Durchörterungen

Der Einflussbereich von Oberflächenverformungen endet erfahrungsgemäß in einer seitlichen Ausdehnung in einer Entfernung vom 5- bis 6-fachen des installierten Rohraußendurchmessers. Dabei wird das Ausmaß von Bodenverformungen an der Oberfläche durch einen grabenlosen Schildvortrieb hauptsächlich durch verfahrenstechnische, geometrische und geotechnische Randbedingungen beeinflusst.

Bodenverformungen, welche infolge der verfahrenstechnischen Randbedingungen auftreten, können im Rahmen dieser Betrachtung nicht prognostiziert werden, da diese u.a. von der Art der Stützung der Ortsbrust, der Kontrolle der Bodenentnahme und Vortriebsunterbrechungen abhängig sind.

In den nachfolgenden Ausführungen werden lediglich die geometrischen (Rohrdurchmesser, Überdeckungshöhe) und die geotechnischen Randbedingungen (Bodenart, Konsistenz, Lagerungsdichte, hydrogeologische Verhältnisse) berücksichtigt. Die prognostizierte Bodenverformung nach SCHERLE ist ein



empirisches Verfahren, das für Lockergesteine entwickelt worden ist. Die von SCHERLE vorgegebenen Bodenkennziffern bilden daher eigentlich nur Lockergesteine ab. Jedoch können Bodenkennziffern für Festgesteine extrapoliert werden, wenn das eingesetzte Vortriebsverfahren besonders setzungsarm geplant wird. Aufgrund der Kombination aus Schildvortrieb mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust und Tübbingausbau sowie dem Durchhörern von Schichten, die vor allem aus Festgesteinen bestehen und damit eine deutlich höhere Festigkeit als halbfeste Lehme oder sehr dichte Kiese/Sande aufweisen, kann für dieses konkrete Projekt eine Bodenkennziffer von 0,9 angesetzt werden.

Die Bodenverformung wird lediglich für eine der beiden Röhren prognostiziert, weil der Vortrieb nacheinander erfolgt. Die zweite Röhre wird erst nach einer vollständigen Stabilisierung der ersten Röhre errichtet, sodass die Betrachtung einer Überlagerung möglicher Mulden nicht erforderlich ist.

Prognose der Bodenverformung nach SCHERLE:

$$S_{max} = \frac{d_a}{1 + \frac{h}{2 * d_a}} * B_k$$

mit: S_{max} : maximale Senkung an der Geländeoberkante [cm]

d_a : Rohraußendurchmesser [m] = 4,2

h : Überdeckungshöhe [m] = 21

B_k :	Bodenkennziffer [keine Einheit] =	Lehm, breiig	6
		Lehm, weichplastisch	4
		Lehm, steifplastisch	3
		Lehm, halbfest	2
		Kies/Sand, locker	3
		Kies/Sand, mitteldicht	2,5
		Kies/Sand, dicht	2
		Kies, sehr dicht	1,5

B_k : Bodenkennziffer, extrapoliert [keine Einheit] = HU-2 0,9

Entsprechen den oben genannten Rahmenbedingungen kann für den Kreuzungsbereich zwischen Kabeltrasse und den Bahnstrecken 5320 und 5971 eine maximale Setzung von ~ 1,08 cm an der Oberfläche angegeben werden. Da die Bodenverformungsprognose nach SCHERLE für Lockergesteine, also Schichten mit wesentlich geringerer Festigkeit, entwickelt worden ist, stellt diese Angabe den absoluten worst-case dar. Da die Tunnelröhren im Bereich der zu querenden Bahnstrecken 5320 und 5971 komplett im Festgestein (Homogenbereich HU-2) vorgetrieben werden, wird bei einer ordnungsgemäßen Ausführung voraussichtlich das genannte Setzungsmaß unterschritten. Es sind keine schädlichen Einschränkungen auf die Funktionsfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit der Gleisanlage sowie etwaiger Schienenstöße zu erwarten.

7. Weitere Hinweise zur Bauausführung

Im Zusammenhang mit der Baugrubensicherung und den Durchhörern wird empfohlen, vor Beginn der Baumaßnahme eine Beweissicherung hinsichtlich der zu querenden Infrastruktur durchzuführen.



Generell empfehlen wir, dass im Zuge der unterirdischen Bohrungen geförderte Material unter bodenmechanischen Gesichtspunkten kontinuierlich zu überwachen und zu dokumentieren.

8. Fazit

Gemäß der Baugrunderkundung und -begutachtung kann zusammengefasst werden, dass der geplante Tunnelvortrieb im Schildvortriebsverfahren mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust (geschlossenes Schild mit vollflächigem Abbau mit Flüssigkeitsstützung und Druckluftpolster) und Tübbingausbau gut geeignet ist.

Ein Tunnelvortrieb im Hangenden Gebirge (Baugrundschiebt 3) ist unter Berücksichtigung der geotechnischen Rahmenbedingungen gut geeignet. Berücksichtigt werden sollte im Besonderen für den Querungsbereich mit den Bahnstrecken 5320 und 5971 das wasserwegsame Gebirge mit Grundwasserführung in weiten Teilen der geplanten Strecke, der stetige vertikale wie laterale Fazieswechsel innerhalb der Baugrundschiebt 3 (Homogenbereich HU-2), die gering quell- und schrumpffähigen Ton-/Schluffsteine sowie die Querung der Rednitztal-Verwerfung.

Wasserhaltungsmaßnahmen (Grundwasserabsenkung) im Bereich der Bahnstrecken 5320 und 5971 sind nicht erforderlich (vgl. Kap. 6.4).

Gemäß den bisher durchgeführten Erkundungen und dem aktuellen Kenntnisstand sind keine schadhafte Auswirkungen (z.B. signifikante Setzungen an der Erdoberfläche) auf die Gleisanlagen der DB im Bereich der geplanten Querungen infolge des Schildvortriebes zu erwarten.

9. Schlussbemerkung

Insbesondere unter Berücksichtigung der geologischen Gesamtsituation ist darauf hinzuweisen, dass es sich bei den realisierten Erkundungen um punktuelle Aufschlüsse handelt, welche ein repräsentatives Bild der Untergrundsituation ergeben. Abweichungen hinsichtlich der Schichtbeschreibung und der angegebenen Schichtgrenzen können nicht ausgeschlossen werden. Nach DIN 4020 Abschnitt 4.2 gilt: „Aufschlüsse in Boden und Fels sind als Stichproben zu bewerten. Sie lassen für zwischenliegende Bereiche nur Wahrscheinlichkeitsaussagen zu.“

Sollten beim Tunnelvortrieb abweichende Bodenverhältnisse festgestellt werden oder Unsicherheiten bezüglich der angetroffenen Baugrundböden auftreten, ist der zuständige Gutachter vor dem Fortgang der Arbeiten zu informieren.

Das baugrundtechnische Gutachten basiert auf den zum Zeitpunkt der Bearbeitung bereitgestellten Unterlagen (Stand Juli 2024). Ergeben sich in der weiteren Planungsphase Änderungen, so sind vom zuständigen Gutachter zusätzliche Empfehlungen einzuholen bzw. sind die Angaben zu überprüfen.

Im Hinblick auf eine schadensfreie Durchführung sowie zur Qualitätssicherung der Baumaßnahme wird neben einer geotechnischen Baubegleitung ebenfalls eine bodenkundliche Baubegleitung durch ein unabhängiges Fachbüro empfohlen.

Das Gutachten ist nur in seiner Gesamtheit (29 Seiten, 4 Anlagen) gültig.



10. Quellenverzeichnis

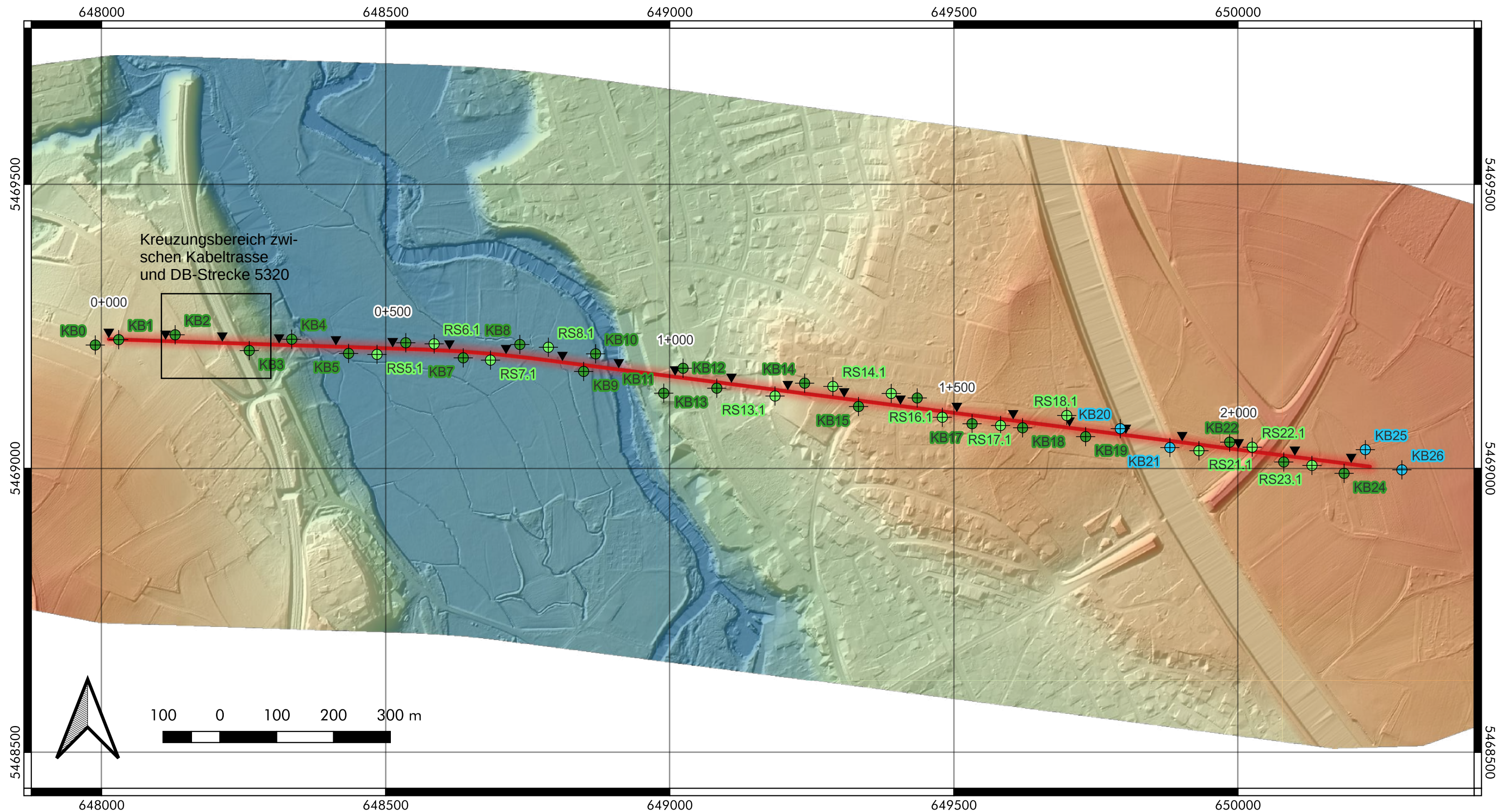
1. Ingenieurgemeinschaft BUNG-PEB, BUNG, MOLL prd, SWECO: A070 Juraleitung, Raitersaich-Ludersheim-Sittling-Altheim 380-kV-Ersatzneubauprojekt, Ltg. Abschnitt A-Katzwang (LH-07-B170), Abschlussbericht Leistungsphase 2; Version 1.0; 24.07.2024
2. DE LA LOTTE & PARTNER GmbH Consulting Engineers: 380-kV-Erdkabel, P53 „Jura“; Katzwang Ludersheim – Aschaffenburg, LH-07-B48 Abschnitt Mast 75 bis 82; Baugrundrecherche; 06/2021
3. Bayerische Vermessungsverwaltung: Digitales Geländemodell mit Rasterweite 1 m
4. Bayerisches Landesamt für Umwelt: Bayern-Atlas, Grundwasserisohypsen und Grundwassermessstellen; <http://www.umweltatlas.bayern.de> (Zugriff: 09/2024)
5. Bayerisches Landesamt für Umwelt: Umweltatlas zu den Fachbereichen Geologie, Boden, Angewandte Geologie; https://www.umweltatlas.bayern.de/mapapps/resources/apps/lfu_geologie_ftz/index.html?lang=de (Zugriff: 09/2024)
6. DIN-Taschenbuch 75: Erdarbeiten, Verbauarbeiten, Ramm- und Einpressarbeiten; Berlin-Wien-Zürich 2003
7. Witt, K.J. (Hrsg.): Grundbau-Taschenbuch, Teil 1: Geotechnische Grundlagen, Teil 2: Geotechnische Verfahren, Teil 3: Gründungen und geotechnische Bauwerke; Berlin 2008
8. Wohlrab/Ernstberger/Meuser/Sokollek: Landschaftswasserhaushalt; Paul Parey-Verlag, Hamburg-Berlin 1992
9. Prinz, H. / Strauß, R.: Ingenieurgeologie; Heidelberg 2018
10. Stein, D.: Grabenloser Leitungsbau; Berlin 2003
11. DGGT e.V.: Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“ EAB; Berlin 2013
12. DWA: Arbeitsblatt DWA-A 125: Rohrvortrieb und verwandte Verfahren: DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.: DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V.; Hennef und Bonn, 2008
13. Thuro, K. et al.: Abrasivitätsuntersuchungen an Lockergesteinen im Hinblick auf die Gebirgslösung; Deutsche Gesellschaft für Geotechnik: Beiträge zur 29. Baugrundtagung, 27.-29. September 2006; Bremen
14. BUCHHOLZ+PARTNER GmbH: 380-kV-Ltg. A070 Raitersaich – Altheim, Abschnitt A „Juraleitung“, Geotechnischer Bericht zur Baugrunderkundung und -beurteilung; Projektnummer L21-II-237.156; Leseversion 06.09.2023



Anlage 1

Schummerungskarte
mit Bohransatzpunkten

(1 Seite)



Legende

- Trassenachse
- Stationierung 500 m
- Stationierung 100 m
- Digitales Geländemodell in m ü. NHN
- Kanal 1
- Baugrunduntersuchung
- KB+DPH
- KB
- DPH

EPSG: 25832	Bezeichnung	Datenquelle
Karten- grundlage	digitales Geländemodell / Schummerungskarte	Bayerische Vermessungsverwaltung
Karteninhalt	Trassenverlauf	TenneT TSO GmbH
Karteninhalt	Stationierung, Bohransatzpunkte	BUCHHOLZ+PARTNER GmbH

Objekt:	380-kV-Ltg. A070 Raitersaich – Altheim, Abschnitt A „Juralei- tung“			
Darstellung:	Übersichtslageplan mit Bohransatzpunkten			Version:
				1.0
Auftraggeber:	Bearb.:	Auftrags-Nr.:	Plandatum:	Anhang-Nr.:
TenneT TSO GmbH	KS	L21-II- 237.156	05/2023	1
Am Oberen Anger 9 04435 Schkeuditz info@buchholz-und-partner.de www.buchholz-und-partner.de				
BUCHHOLZ + PARTNER				

Anlage 2

Sondierdokumentation

(12 Seiten)

Legende und Zeichenerklärung nach DIN 4023

Boden- und Felsarten

	Auffüllung, A		Konglomerat, Ko
	Brekzie, Br		Kalkstein, Kst
	Dolomitstein, Dst		Mudde, F, organische Beimengungen, o
	Mutterboden, Mu		Steine, X, steinig, x
	Grobkies, gG, grobkiesig, gg		Mittelkies, mG, mittelkiesig, mg
	Feinkies, fG, feinkiesig, fg		Kies, G, kiesig, g
	Grobsand, gS, grobsandig, gs		Mittelsand, mS, mittelsandig, ms
	Feinsand, fS, feinsandig, fs		Sand, S, sandig, s
	Schluffstein, Ust, schluffig, u		Tonstein, Tst
	Sandstein, Sst		Mergelstein, Mst
	Schluff, U, schluffig, u		Ton, T, tonig, t

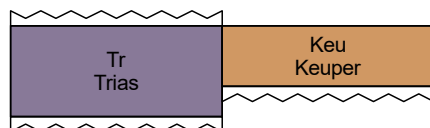
Korngrößenbereich

f - fein
 m - mittel
 g - grob

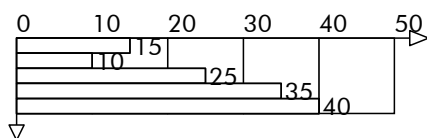
Nebenanteile

' - schwach (<15%)
 - - stark (30-40%)

Stratigraphie



Rammdiagramm



Legende und Zeichenerklärung nach DIN 4023

Bodenklasse nach DIN 18300 (veraltet)

- | | |
|------------------------------------|--|
| 1 Oberboden (Mutterboden) | 2 Fließende Bodenarten |
| 3 Leicht lösbare Bodenarten | 4 Mittelschwer lösbare Bodenarten |
| 5 Schwer lösbare Bodenarten | 6 Leicht lösbarer Fels und vergleichbare Bodenarten |
| 7 Schwer lösbarer Fels | |

Bodengruppe nach DIN 18196

- | | |
|--|--|
| GE enggestufte Kiese | GW weitgestufte Kiese |
| GI Intermittierend gestufte Kies-Sand-Gemische | SE enggestufte Sande |
| SW weitgestufte Sand-Kies-Gemische | SI Intermittierend gestufte Sand-Kies-Gemische |
| GU Kies-Schluff-Gemische, 5 bis 15% $\leq 0,06$ mm | GU* Kies-Schluff-Gemische, 15 bis 40% $\leq 0,06$ mm |
| GT Kies-Ton-Gemische, 5 bis 15% $\leq 0,06$ mm | GT* Kies-Ton-Gemische, 15 bis 40% $\leq 0,06$ mm |
| SU Sand-Schluff-Gemische, 5 bis 15% $\leq 0,06$ mm | SU* Sand-Schluff-Gemische, 15 bis 40% $\leq 0,06$ mm |
| ST Sand-Ton-Gemische, 5 bis 15% $\leq 0,06$ mm | ST* Sand-Ton-Gemische, 15 bis 40% $\leq 0,06$ mm |
| UL leicht plastische Schluffe | UM mittelpastische Schluffe |
| UA ausgeprägt zusammendrückbarer Schluff | TL leicht plastische Tone |
| TM mittelpastische Tone | TA ausgeprägt plastische Tone |
| OU Schluffe mit organischen Beimengungen | OT Tone mit organischen Beimengungen |
| OH grob- bis gemischtkörnige Böden mit Beimengungen humoser Art | OK grob- bis gemischtkörnige Böden mit kalkigen, kieseligen Bildungen |
| HN nicht bis mäßig zersetzte Torfe (Humus) | HZ zersetzte Torfe |
| F Schlämme (Faulschlamm, Mudde, Gytja, Dy, Sapropel) | [I] Auffüllung aus natürlichen Böden |
| A Auffüllung aus Fremdstoffen | |

Lagerungsdichte

- | | | | |
|--|---|---|--|
|  locker |  mitteldicht |  dicht |  sehr dicht |
|--|---|---|--|

Konsistenz

- | | | | | |
|--|---|---|--|--|
|  breiig |  weich |  steif |  halbfest |  fest |
|--|---|---|--|--|

Proben

- A1  1,00 Probe Nr 1, entnommen mit einem Verfahren der Entnahmekategorie A aus 1,00 m Tiefe
- C1  1,00 Probe Nr 1, entnommen mit einem Verfahren der Entnahmekategorie C aus 1,00 m Tiefe

- B1  1,00 Probe Nr 1, entnommen mit einem Verfahren der Entnahmekategorie B aus 1,00 m Tiefe
- W1  1,00 Wasserprobe Nr 1 aus 1,00 m Tiefe

Die im Schichtenverzeichnis und Profil dargestellten Baugrundverhältnisse basieren auf einem punktuellen Aufschluss gemäß DIN 4020. Die dargestellte Grundwassersituation ist für den Zeitpunkt der Erkundung repräsentativ, die Grundwasserstände schwanken allerdings im Jahresverlauf. Sollten im Rahmen der Bauausführung von der Erkundung abweichende Verhältnisse angetroffen werden, so ist der Baugrundeutachter zu konsultieren.

Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Anlage

Bericht:

Az.: L21-II-237.156

Bauvorhaben: 380-kV-Leitung A070 Raitersaich - Altheim, Abschnitt A "Juraleitung"

Bohrung Nr KB 2 /Blatt 1

Datum:

04.-05.04.2022

1	2					3	4	5	6	
Bis m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen					Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben			
	b) Ergänzende Bemerkungen 1)						Art	Nr.	Tiefe in m (Unter- kante)	
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut		d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang		e) Farbe					
	f) Übliche Benennung		g) Geologische 1) Benennung		h) 1) Gruppe					i) Kalk- gehalt
0,40	a) Sand, schwach schluffig									
	b)									
	c) locker		d) leicht zu bohren		e) braun					
	f) Oberboden		g)		h) OH					i) 0
2,00	a) Mittelsand bis Grobsand, feinkiesig							GP1 GP2	1,00 2,00	
	b) gerundet									
	c) locker bis mitteldicht		d) schwer zu bohren		e) hellbraun, rötlich					
	f) Flusssande		g)		h) SW					i) 0
3,20	a) Feinsand, schwach schluffig							GP3	3,00	
	b)									
	c) dicht		d) schwer zu bohren		e) rotbraun					
	f) Flusssande		g)		h) SU/SE					i) 0
4,40	a) Mittelsand, mittelkiesig, humos							GP4	4,00	
	b) gerundet									
	c) dicht		d) schwer zu bohren		e) schwarz bis braun					
	f) Flusssande		g)		h) SI					i) 0
6,00	a) Feinsand bis Mittelsand, schwach kiesig							GP5 GP6	5,00 6,00	
	b) gerundet									
	c) sehr dicht		d) schwer zu bohren		e) hellbraun, rötlich					
	f) Flusssande		g)		h) SE					i) 0

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor.

Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Anlage

Bericht:

Az.: L21-II-237.156

Bauvorhaben: 380-kV-Leitung A070 Raitersaich - Altheim, Abschnitt A "Juraleitung"

Bohrung Nr KB 2 /Blatt 2

Datum:

04.-05.04.2022

1	2					3	4	5	6	
Bis m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen					Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben			
	b) Ergänzende Bemerkungen 1)						Art	Nr.	Tiefe in m (Unter- kante)	
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut		d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang		e) Farbe					
	f) Übliche Benennung		g) Geologische 1) Benennung		h) 1) Gruppe					i) Kalk- gehalt
8,00	a) Feinsand bis Mittelsand, schwach kiesig							GP7 GP8	7,00 8,00	
	b)									
	c) sehr dicht		d) schwer zu bohren		e) dunkelbraungrau					
	f) Flusssande		g)		h) SE					i) 0
9,50	a) Feinsand bis Mittelsand, schwach kiesig									
	b)									
	c) sehr dicht		d) schwer zu bohren		e) rotbraun					
	f) Flusssande		g)		h) SE					i) 0
10,00	a) Sand, feinkiesig, mittelmäßig							GP9	10,00	
	b) gerundet									
	c) sehr dicht		d) schwer zu bohren		e) rotbraun					
	f) Flusssande		g)		h) SW					i) 0
11,90	a) Sandstein							GP10 GP11	10,80 11,80	
	b) zerbohrt, Feinanteile ausgespült									
	c)		d) schwer zu bohren		e) braun-grau					
	f) zersetzt bis entfestigt		g)		h) SG-VZ					i) VE
14,80	a) Konglomerat, Sandstein, tonig							KP1	12,80	
	b)									
	c) kompakt		d) schwer zu bohren		e) rot-gelb					
	f) angewittert		g)		h) SG-VA					i)

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor.

Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Anlage

Bericht:

Az.: L21-II-237.156

Bauvorhaben: 380-kV-Leitung A070 Raitersaich - Altheim, Abschnitt A "Juraleitung"

Bohrung Nr KB 2 /Blatt 3

Datum:

04.-05.04.2022

1	2					3	4	5	6
Bis m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen					Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen 1)						Art	Nr.	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut		d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang		e) Farbe				
	f) Übliche Benennung		g) Geologische 1) Benennung		h) 1) Gruppe				
21,30	a) Sandstein, tonig							KP2 KP3	15,80 18,20
	b) mürbe								
	c) kompakt		d) schwer zu bohren		e) grau				
	f) entfestigt bis angewittert		g)		h) SG/SF-VE/VA				
22,50	a) Sandstein							KP4	22,00
	b)								
	c) kompakt		d) schwer zu bohren		e) rot-grau				
	f) angewittert		g)		h) SG-VA				
23,70	a) Sandstein, tonig								
	b)								
	c) kompakt		d) schwer zu bohren		e) rot-grau				
	f) angewittert		g)		h) SG-VA				
26,40	a) Sandstein							KP5	25,00
	b)								
	c) kompakt		d) schwer zu bohren		e) rot-grau				
	f) angewittert		g)		h) SG-VA				
30,50	a) Sandstein, tonig					kein GW angetroffen		KP6 KP7	27,30 29,20
	b) mürbe								
	c) kompakt		d) schwer zu bohren		e) rot-grau				
	f) entfestigt bis angewittert		g)		h) SG-VE/VA				

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor.

Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Anlage

Bericht:

Az.: L21-II-237.156

Bauvorhaben: 380-kV-Leitung A070 Raitersaich - Altheim, Abschnitt A "Juraleitung"

Bohrung Nr KB 2 /Blatt 4

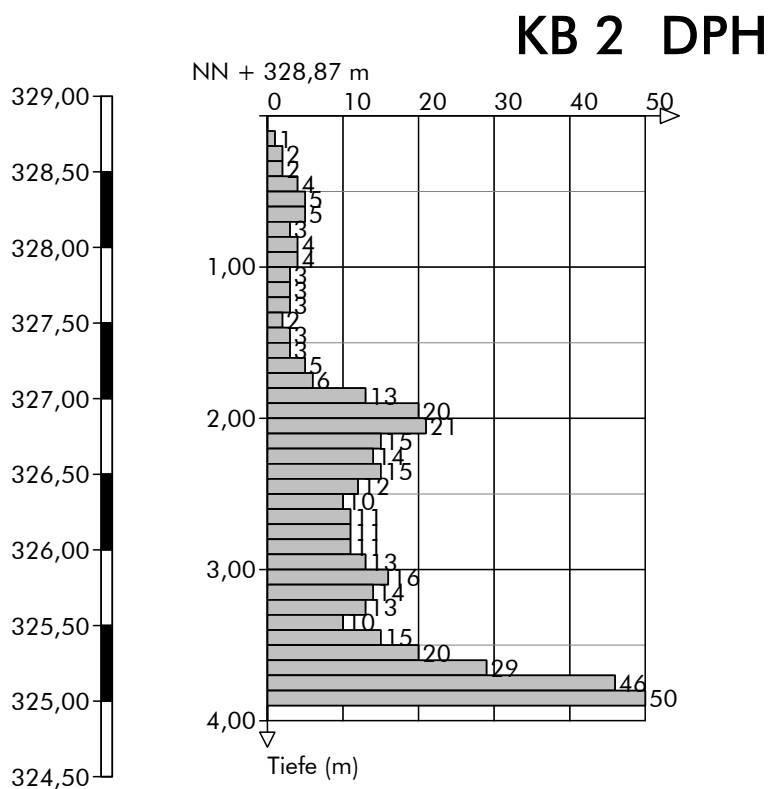
Datum:

04.-05.04.2022

1	2					3	4	5	6
Bis m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen					Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen ¹⁾						Art	Nr.	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut		d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang		e) Farbe				
	f) Übliche Benennung		g) Geologische ¹⁾ Benennung		h) ¹⁾ Gruppe				
33,00	a) Sandstein							KP8	31,30
	b)								
	c) kompakt		d) schwer zu bohren		e) rot-grau				
	f) angewittert		g)		h) SG-VA				
	a)								
	b)								
	c)		d)		e)				
	f)		g)		h)				
	a)								
	b)								
	c)		d)		e)				
	f)		g)		h)				
	a)								
	b)								
	c)		d)		e)				
	f)		g)		h)				
	a)								
	b)								
	c)		d)		e)				
	f)		g)		h)				
	a)								
	b)								
	c)		d)		e)				
	f)		g)		h)				

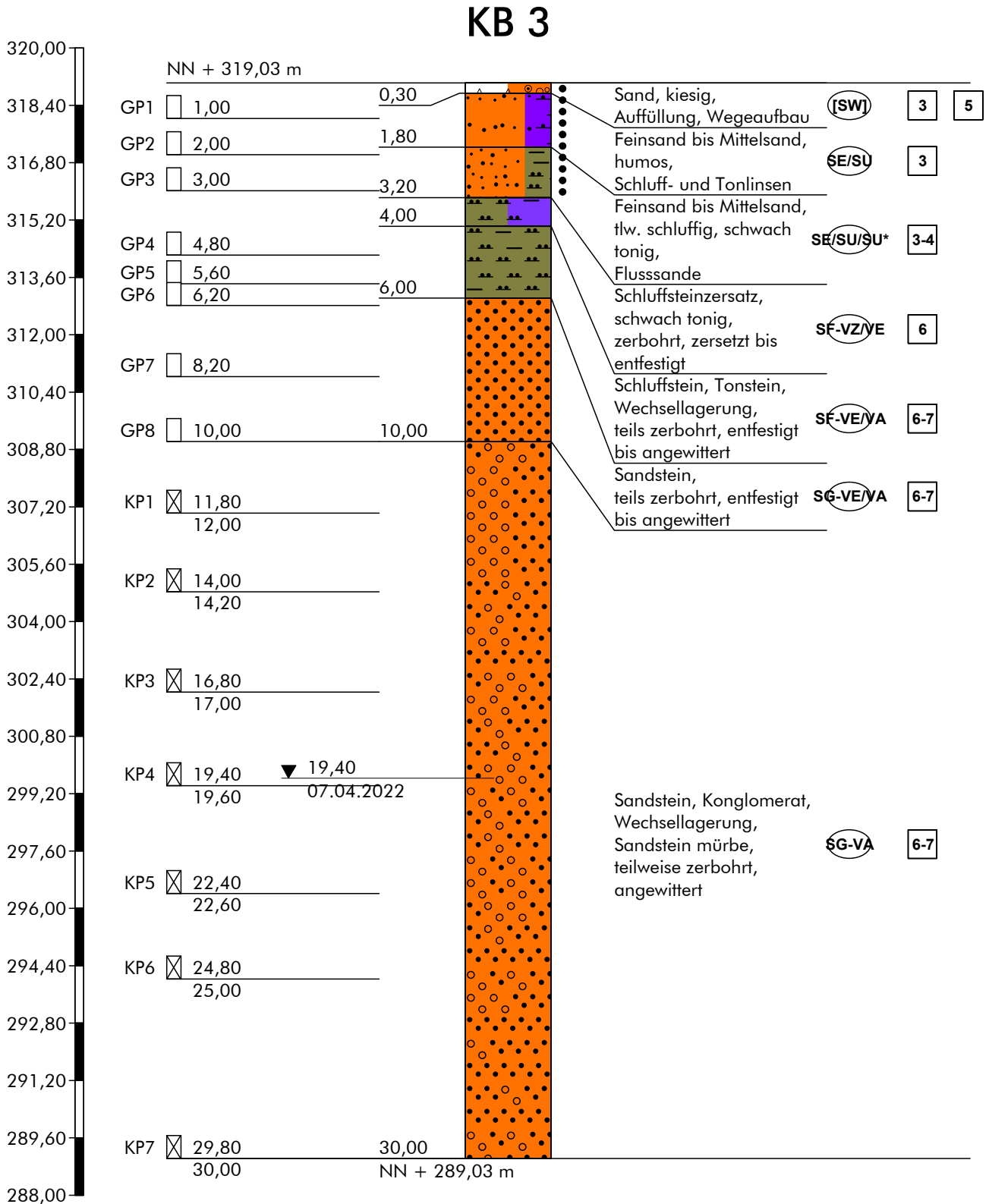
¹⁾ Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor.

Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023



Höhenmaßstab 1:50

Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023



Höhenmaßstab 1:160

Hinweis:

Die im Schichtenverzeichnis und Profil dargestellten Baugrundverhältnisse basieren auf einem punktuellen Aufschluss gemäß DIN 4020. Die dargestellte Grundwassersituation ist für den Zeitpunkt der Erkundung repräsentativ, die Grundwasserstände schwanken allerdings im Jahresverlauf. Sollten im Rahmen der Bauausführung von der Erkundung abweichende Verhältnisse angetroffen werden, so ist der Baugrundgutachter zu konsultieren.

Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Anlage

Bericht:

Az.: L21-II-237.156

Bauvorhaben: 380-kV-Leitung A070 Raitersaich - Altheim, Abschnitt A "Juraleitung"

Bohrung Nr KB 3 /Blatt 1

Datum:

06.-07.04.2022

1	2					3	4	5	6	
Bis m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen					Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben			
	b) Ergänzende Bemerkungen 1)						Art	Nr.	Tiefe in m (Unter- kante)	
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut		d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang		e) Farbe					
	f) Übliche Benennung		g) Geologische 1) Benennung		h) 1) Gruppe					i) Kalk- gehalt
0,30	a) Sand, kiesig									
	b)									
	c) locker		d) schwer zu bohren		e) braun bis schwarz					
	f) Auffüllung, Wegeaufbau		g)		h) [SW]					i)
1,80	a) Feinsand bis Mittelsand, humos							GP1	1,00	
	b) Schluff- und Tonlinsen									
	c) locker		d) schwer zu bohren		e) dunkelbraun					
	f)		g)		h) SE/SU					i) 0
3,20	a) Feinsand bis Mittelsand, tlw. schluffig, schwach tonig							GP2 GP3	2,00 3,00	
	b)									
	c) locker		d) schwer zu bohren		e) hellbraun					
	f) Flusssande		g)		h) SE/SU/SU*					i) 0
4,00	a) Schluffsteinersatz, schwach tonig									
	b) zerbohrt									
	c) kompakt		d) schwer zu bohren		e) braun					
	f) zersetzt bis entfestigt		g)		h) SF-VZ/VE					i)
6,00	a) Schluffstein, Tonstein, Wechsellagerung							GP4 GP5	4,80 5,60	
	b) teils zerbohrt									
	c)		d) schwer zu bohren		e) rot, grau, grün					
	f) entfestigt bis angewittert		g)		h) SF-VE/VA					i)

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor.

Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Anlage

Bericht:

Az.: L21-II-237.156

Bauvorhaben: 380-kV-Leitung A070 Raitersaich - Altheim, Abschnitt A "Juraleitung"

Bohrung Nr KB 3 /Blatt 2

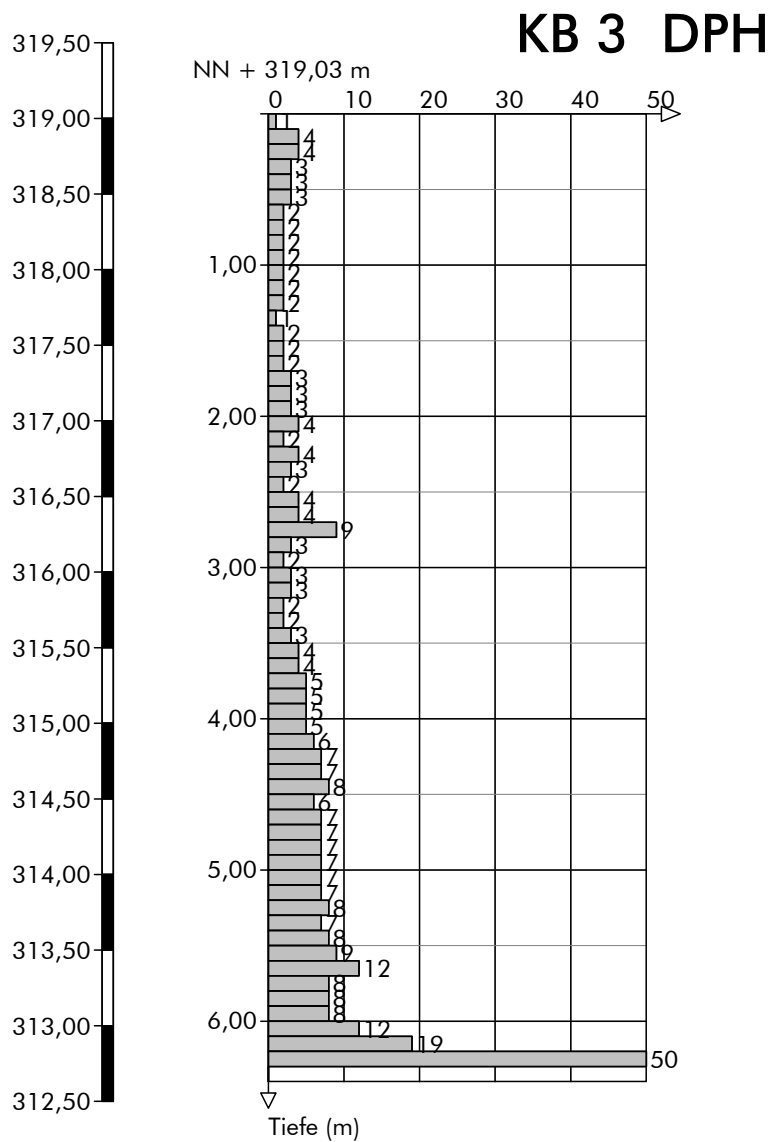
Datum:

06.-07.04.2022

1	2					3	4	5	6	
Bis m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen					Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben			
	b) Ergänzende Bemerkungen 1)						Art	Nr.	Tiefe in m (Unter- kante)	
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut		d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang		e) Farbe					
	f) Übliche Benennung		g) Geologische 1) Benennung		h) 1) Gruppe i) Kalk- gehalt					
10,00	a) Sandstein							GP6 GP7 GP8	6,20 8,20 10,00	
	b) teils zerbohrt									
	c)		d) schwer zu bohren		e) grau, grün					
	f) entfestigt bis angewittert		g)		h) SG-VE i) VA					
30,00	a) Sandstein, Konglomerat, Wechsellagerung					Ruhewasserstand bei 19.4 m u.GOK		KP1 KP2 KP3 KP4 KP5 KP6 KP7	12,00 14,20 17,00 19,60 22,60 25,00 30,00	
	b) Sandstein mürbe, teilweise zerbohrt									
	c) kompakt		d) schwer zu bohren		e) rotbraun bis grau					
	f) angewittert		g)		h) SG-VA i)					
	a)									
	b)									
	c)		d)		e)					
	f)		g)		h) i)					
	a)									
	b)									
	c)		d)		e)					
	f)		g)		h) i)					
	a)									
	b)									
	c)		d)		e)					
	f)		g)		h) i)					

1) Eintragung nimmt der wissenschaftliche Bearbeiter vor.

Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023



Höhenmaßstab 1:50

Anlage 3

geologische Schnitt
entlang der Trasse

(1 Seite)

Anlage 4

Laboranalytik

(9 Seiten)



Bericht Nr. 23129

Labor-Bericht: Prüfergebnisse

Projekt : Juraleitung A070
Projekt-Nr. : L21-II-237.156

Auftrag : Juraleitung Abschnitt A
Auftrags-Nr. : 230367
Hier: :

Auftraggeber : Buchholz + Partner GmbH
Am Oberen Anger 9
04435 Schkeuditz

Bearbeiter : M. Sc. Aida Mehrpajouh
Dr.-Ing. Carsten Lauer
Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Wolter
M.Sc. Birsen Bilgili-Yüksel

Laborbericht Nr. : 23129

Datum : 9. August 2023

Prof. Dr.-Ing. habil. J. Engel
Leiter des Fachgebiets Geotechnik



Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
University of Applied Sciences
Fakultät Baingenieurwesen

Geotechnik Labor

Friedrich-List-Platz 1
01069 Dresden
Telefon: 0351 462 3435
Telefax: 0351 462 2165
e-mail: geotech@htw-dresden.de

Auftragsnr. (Labor): 23129 Projekt: Juraleitung Abschnitt A
Auftragsnr. (A.geber): 230367 Ort: Raitersaich-Ludersheim
Anlage:

Kennwertübersicht

Labor Nr.	Bez. AG	Aufschluss	OKG [m]	UKG [m]	w [-]	ρ_s [g/cm ³]	ρ [g/cm ³]	q_u [kN/m ²]	CAI [-]	L_{AK} [g/Mg]	σ_u [MN/m ²]	I_s [MN/m ²]	$\sigma_{u(2)}$ [MPa]
1	KP 6 / 1+33	KB 0-22	8.80	9.00			2.411		1.864				5.40
2	KP 2 / 2+34	TB 1	10.40	10.80			1.848						0.30
3	KP 3 / 3+35	TB 2	18.00	18.20			2.140		2.063				10.80
4	KP 4	TB 3	19.40	19.60			2.284						0.90
5	KP 1	TB 4	11.80	12.00			2.175						1.30
6	KP 8	TB 5	12.80	13.00			1.952						2.60
7	KP 6	TB 6	15.30	15.50			2.505						24.90
9	KP 8 / 9+38	TB 8	12.80	13.00			2.019						8.50
10	KP 8	TB 10	13.30	13.50			2.362						18.40
11	KP 10	TB 11	24.80	25.00			2.129						10.70
12	KP 14	TB 11	26.80	26.90				114.3					
13	KP 7	TB 12	22.20	22.40			2.058						0.40
14	KP 12	TB 12	25.30	25.50			2.246						2.20
15	KP 14	TB 12	28.40	28.60			2.303		2.786				4.40
16	KP 5	TB 13	21.00	21.30			2.327						15.40
17	KP 7	TB 13	31.80	31.90							29.9	1.2	
18	KP 14	TB 14	35.00	35.30			2.307						17.90
19	KP 13	TB 15	31.00	31.20			2.058						4.90
20	KP 14	TB 16	30.40	30.60			2.336						11.60
21	KP 11	TB 17	28.50	28.70			1.907						3.70
22	KP 7	TB 18	26.20	26.40			1.996						4.40
23	KP 8	TB 18	30.40	30.60			1.998						1.50



Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
University of Applied Sciences
Fakultät Baingenieurwesen

Geotechnik Labor

Friedrich-List-Platz 1
01069 Dresden
Telefon: 0351 462 3435
Telefax: 0351 462 2165
e-mail: geotech@htw-dresden.de

Auftragsnr. (Labor): 23129
Auftragsnr. (A.geber): 230367
Projekt: Juraleitung Abschnitt A
Ort: Raitersaich-Ludersheim
Anlage:

Kennwertübersicht

Labor Nr.	Bez. AG	Aufschluss	OKG [m]	UKG [m]	w [-]	ρ_s [g/cm ³]	ρ [g/cm ³]	q_u [kN/m ²]	CAI [-]	LAK [g/Mg]	σ_u [MN/m ²]	I_s [MN/m ²]	$\sigma_{u(2)}$ [MPa]
24	KP 6	TB 19	24.10	24.30			1.931						2.10
25	KP 8	TB 20	16.10	16.30			2.382						10.30
26	KP 6 / 26+49	TB 21	15.20	15.40			2.501		2.451				24.90
27	KP 4	TB 22	13.80	14.00			2.168						4.40
29	KP 6	TB 23	12.70	12.90			2.449						3.60
30	KP 2 / 30+51	TB 24	6.50	6.80			2.549		2.508				30.30
31	KP 5	TB 25	10.00	10.20			2.309						1.40
32	KP 6	TB 25	11.10	11.30			1.929						0.40
36	KP 3	TB 3	16.80	17.00						84.0			
37	KP 6	TB 5	10.30	10.50					1.436				
39	KP 12	TB 11	28.50	28.60					2.193				
40	KP 15	TB 11	25.90	26.00	0.1352				1.728				
41	KP 13	TB 12	26.30	26.50	0.0953				1.668				
42	KP10	TB 14	31.20	31.40					1.674				
43	TP 15	TB 15	26.60	26.90	0.0669				3.743				
44	KP9	TB 16	23.00	23.20						34.0			
45	KP 12	TB 16	28.00	28.20	0.0801				2.089				
46	KP 12	TB 17	29.00	29.30					1.824				
47	KP14	TB 17	32.90	33.00					1.289				
48	KP 7	TB 20	15.80	16.00					3.983				
50	KP 6	TB 22	16.80	17.00	0.0846		2.088		1.364				5.40
52	KP 3	TB 25	8.50	8.80					2.064				
53	KP 4	TB 7	15.20	15.40		2.741		38.8					
54	KP13	TB 10	16.80	17.00		2.708							



Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
University of Applied Sciences
Fakultät Bauingenieurwesen

Geotechnik Labor

Friedrich-List-Platz 1
01069 Dresden
Telefon: 0351 462 3435
Telefax: 0351 462 2165
e-mail: geotech@htw-dresden.de

Auftragsnr. (Labor): 23129
Auftragsnr. (A.geber): 230367
Projekt: Juraleitung Abschnitt A
Ort: Raitersaich-Ludersheim
Anlage:

Kennwertübersicht

Labor Nr.	Bez. AG	Aufschluss	OKG [m]	UKG [m]	w [-]	ρ_s [g/cm ³]	ρ [g/cm ³]	q_u [kN/m ²]	CAI [-]	L_{AK} [g/Mg]	σ_u [MN/m ²]	I_s [MN/m ²]	$\sigma_{u(2)}$ [MPa]
55	KP 13	TB 11	28.60	28.70	0.0248	2.670							
56	KP 11	TB 15	28.40	28.60	0.0505	2.686							
57	KP 13	TB 16	28.60	28.80	0.1240	2.707							



CERCHAR-Abrasivitäts-Index (CAI) Empfehlung Nr. 23 des Arbeitskreises 3.3

Benennung :
Beschreibung (DIN EN ISO 14688-2) :
Bodengruppe (DIN 18196) :

Bemerkung :

Gesteinsbeschreibung:

Zustand der Prüfoberfläche: rau

Schichtung/Schieferung: parallel

Stifthärte: 54/56

Versuchsergebnisse

		1	2	3	4	5
d_1	[mm]	0.29	0.19	0.08	0.35	0.17
d_2	[mm]	0.14	0.26	0.20	0.19	0.09
d_3	[mm]	0.26	0.26	0.31	0.25	0.04
d_4	[mm]	0.20	0.19	0.12	0.29	0.17
d_5	[mm]	0.12	0.23	0.19	0.20	0.23
d_6	[mm]	0.14	0.31	0.25	0.19	0.29
d_M	[mm]	0.19	0.24	0.19	0.24	0.16
Mittelwert	[mm]	0.206				
CAI	[-]	2.063				
Klassifizierung		mittel				
s	[-]	0.344				



CERCHAR-Abrasivitäts-Index (CAI)

Probe Nr.: 3
Aufschluss: TB 2
Tiefe u. Gel.: 18.00 - 18.20 m
Versuch Nummer: 1

Probenbez.: KP 3 / 3+35
Entnahmedatum: 05.04.2022
Probenqualität: 1
geol.Bez.:

Auftragsnr.(Labor): 23129
Auftragsnr.(A.geber): 230367
Auftrag: Juraleitung Abschnitt A
Ort: Raitersaich-Ludersheim
Anlage:



Abrasivitätsindex (LCPC)

Benennung :
Beschreibung (DIN EN ISO 14688-2) :
Bodengruppe (DIN 18196) :

Bemerkung :

Ausgangskörnung

m_{ges}	626.010	[g]
m_{4mm}	626.010	[g]
$m_{4-6,3mm}$	0.000	[g]
$m_{6,3mm}$	0.000	[g]

Vorbereitung der Messprobe

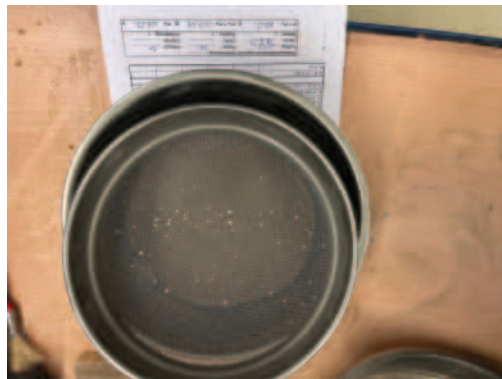
Nur Material < 4,0 mm verwendet

Zusammensetzung der Messprobe

0.00% Fraktion 4-6,3mm
0.00% gebrochenes Material
100.00% Material < 4mm

V Versuchsergebnisse

		1
$m_{F,0}$	[g]	46.250
m_F	[g]	46.208
m_{Probe}	[g]	500.000
$m_{<1,6mm}$	[g]	499.660
LAK	[g/t]	84.0
LBR	[%]	99.9



LCPC

Probe Nr.: 36	Probenbez.: KP 3
Aufschluss: TB 3	Entnahmedatum: 07.04.2022
Tiefe u. Gel.: 16.80 - 17.00 m	Probenqualität: 1
Versuch Nummer: 1	geol.Bez.:

Auftragsnr.(Labor): 23129
Auftragsnr.(A.geber): 230367
Auftrag: Juraleitung Abschnitt A
Ort: Raitersaich-Ludersheim
Anlage:



Prüfzeugnis

HTW Dresden
 Geotechnik Labor
 Friedrich-List-Platz 1
 01069 Dresden

Prüfzeichen: 4976-DR.1

Datum: 2023-06-12

Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit

DIN 18141-1 (2014-05)

Bauvorhaben: Juraleitung A070_Abschnitt A, L21-II-237.156

Material: Naturstein

Probeneingang: 2023-05-22

Prüfdatum: 2023-06-08

Bemerkung: Krafteinleitung parallel zur Bohrkernlängsachse, Versuche ohne Verformungsmessungen bzw. Auswertung der Längsdehnung
 grau unterlegtes Feld kennzeichnet eine Schlankheit < 1 (Druckfestigkeitswert eventuell fehlerbehaftet)

Aufschluss, Probe	Entnahme- tiefe	Abmessungen		Masse	Roh- dichte	Druckversuch		Berücksichtigung der Prüfkörpergeometrie		
		Durch- messer	Höhe			Bruch- kraft	max. Druck- spannung	Schlank- heit	Fak- tor	bewertete Druck- festigkeit
		d	l			F	σ_U	l/d	k	$\sigma_{U(2)}$
	[m]	[mm]	[mm]	[g]	[kg/m³]	[kN]	[MPa]	[-]	[-]	[MPa]
KB 0-22, KP 6 / 1+33	8,80 - 9,00	102,7	119,7	2.392	2.411	49,0	5,9	1,17	0,92	5,4
TB 1, KP 2 / 2+34	10,40 - 10,80	101,0	181,6	2.685	1.848	2,4	0,3	1,80	0,99	0,3
TB 2, KP 3 / 3+35	18,00 - 18,20	101,0	202,2	3.468	2.140	86,9	10,8	2,00	1,00	10,8
TB 3, KP 4	19,40 - 19,60	99,1	191,5	3.369	2.284	6,8	0,9	1,93	1,00	0,9
TB 4, KP 1	11,80 - 12,00	100,1	195,7	3.350	2.175	10,4	1,3	1,95	1,00	1,3
TB 5, KP 8	12,80 - 13,00	100,1	188,1	2.889	1.952	21,0	2,7	1,88	0,99	2,6
TB 6, KP 6	15,30 - 15,50	101,0	200,2	4.021	2.505	200,0	24,9	1,98	1,00	24,9
TB 8, KP 8 / 9+38	12,80 - 13,00	101,9	90,1	1.484	2.019	80,3	9,8	0,88	0,86	8,5
TB 10, KP 8	13,30 - 13,50	100,7	194,9	3.664	2.362	147,0	18,5	1,94	1,00	18,4
TB 11, KP 10	24,80 - 25,00	99,6	201,9	3.350	2.129	83,3	10,7	2,03	1,00	10,7
TB 12, KP 7	22,20 - 22,40	102,1	209,4	3.531	2.058	3,4	0,4	2,05	1,00	0,4
TB 12, KP 12	25,30 - 25,50	100,2	203,0	3.598	2.246	17,6	2,2	2,03	1,00	2,2
TB 12, KP 14	28,40 - 28,60	99,8	166,4	2.998	2.303	35,0	4,5	1,67	0,98	4,4
TB 13, KP 5	21,00 - 21,30	100,3	142,5	2.621	2.327	128,4	16,2	1,42	0,95	15,4
TB 14, KP 14	35,00 - 35,30	100,9	204,2	3.764	2.307	142,8	17,9	2,02	1,00	17,9
TB 15, KP 13	31,00 - 31,20	101,3	106,3	1.763	2.058	43,7	5,4	1,05	0,90	4,9
TB 16, KP 14	30,40 - 30,60	98,7	84,5	1.508	2.336	103,2	13,5	0,86	0,86	11,6
TB 17, KP 11	28,50 - 28,70	100,3	161,2	2.430	1.907	30,1	3,8	1,61	0,97	3,7
TB 18, KP 7	26,20 - 26,40	101,4	174,3	2.807	1.996	36,6	4,5	1,72	0,98	4,4
TB 18, KP 8	30,40 - 30,60	102,1	200,2	3.276	1.998	12,0	1,5	1,96	1,00	1,5
TB 19, KP 6	24,10 - 24,30	100,3	200,1	3.051	1.931	16,8	2,1	2,00	1,00	2,1
Mittelwert					2.157					7,3

Die Angaben über Bauwerk, Bauteil und Baustoff wurden vom Auftraggeber übernommen. Das Prüfzeugnis gilt nur in Verbindung mit dem Auftrag und darf nur ungekürzt wiedergegeben werden.
 Das Prüfzeugnis besteht aus 1 Seite.



Prüfzeugnis

HTW Dresden
 Geotechnik Labor
 Friedrich-List-Platz 1
 01069 Dresden

Prüfzeichen: 4976-DR.2

Datum: 2023-06-12

Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit

DIN 18141-1 (2014-05)

Bauvorhaben: Juraleitung A070_Abschnitt A, L21-II-237.156

Material: Naturstein

Probeneingang: 2023-05-22

Prüfdatum: 2023-06-08

Bemerkung: Krafteinleitung parallel zur Bohrkernlängsachse, Versuche ohne Verformungsmessungen bzw. Auswertung der Längsdehnung

Aufschluss, Probe	Entnahme- tiefe	Abmessungen		Masse	Roh- dichte	Druckversuch		Berücksichtigung der Prüfkörpergeometrie		
		Durch- messer	Höhe			Bruch- kraft	max. Druck- spannung	Schlank- heit	Fak- tor	bewertete Druck- festigkeit
		d	l			F	σ_U	l/d	k	$\sigma_{U(2)}$
	[m]	[mm]	[mm]	[g]	[kg/m³]	[kN]	[MPa]	[-]	[-]	[MPa]
TB 20, KP 8	16,10 - 16,30	101,2	205,6	3.941	2.382	82,9	10,3	2,03	1,00	10,3
TB 21, KP 6 / 26+49	15,20 - 15,40	101,1	200,3	4.021	2.501	200,0	24,9	1,98	1,00	24,9
TB 22, KP 4	13,80 - 14,00	101,6	173,0	3.043	2.168	36,5	4,5	1,70	0,98	4,4
TB 22, KP 5	15,70 - 15,90	100,2	151,8	2.499	2.088	44,5	5,6	1,52	0,96	5,4
TB 23, KP 6	12,70 - 12,90	101,0	181,9	3.567	2.449	29,1	3,6	1,80	0,99	3,6
TB 24, KP 2 / 30+51	6,50 - 6,80	101,3	201,6	4.140	2.549	244,5	30,3	1,99	1,00	30,3
TB 25, KP 5	10,00 - 10,20	102,6	190,4	3.636	2.309	11,4	1,4	1,86	0,99	1,4
TB 25, KP 6	11,10 - 11,30	102,1	164,1	2.593	1.929	3,3	0,4	1,61	0,97	0,4
Mittelwert					2.297					10,1

Die Angaben über Bauwerk, Bauteil und Baustoff wurden vom Auftraggeber übernommen. Das Prüfzeugnis gilt nur in Verbindung mit dem Auftrag und darf nur ungekürzt wiedergegeben werden.
 Das Prüfzeugnis besteht aus 1 Seite.

Dr.-Ing. Thomas Thiel
 Leiter der VMPA-Betonprüfstelle,
 stellvertretender Leiter der RAP Stra-Prüfstelle



Prüfzeugnis

HTW Dresden
 Geotechnik Labor
 Friedrich-List-Platz 1
 01069 Dresden

Prüfzeichen: 4976-WA

Datum: 2023-06-20

Bestimmung des Wassergehaltes und des Wasseranteils durch Trocknung

Bauvorhaben: Juraleitung A070_Abschnitt A, L21-II-237.156
Material: Naturstein
Probeneingang: 2023-05-22
Beginn der Trocknung: 2023-06-08 14:13 Uhr
Ende der Trocknung: 2023-06-12 08:24 Uhr
Dauer der Trocknung: 3,8 d
Trocknungstemperatur: 105°C
Bemerkung: Beginn der Trocknung unmittelbar im Anschluss an die Festigkeitsprüfungen

Aufschluss, Probe	Entnahme- tiefe	Probekörpermasse		Wassergehalt	Wasseranteil
		feucht	darrtrocken		
		m_w	m_d	$\frac{m_w - m_d}{m_d}$	$\frac{m_w - m_d}{m_w}$
	[m]	[g]	[g]	[-]	[-]
KB 0-22, KP 6 / 1+33	8,80 - 9,00	735,30	724,20	1,5 M.-%	1,5 M.-%
TB 1, KP 2 / 2+34	10,40 - 10,80	610,10	592,20	3,0 M.-%	2,9 M.-%
TB 2, KP 3 / 3+35	18,00 - 18,20	485,40	479,40	1,3 M.-%	1,2 M.-%
TB 3, KP 4	19,40 - 19,60	876,10	783,50	11,8 M.-%	10,6 M.-%
TB 4, KP 1	11,80 - 12,00	884,20	815,80	8,4 M.-%	7,7 M.-%
TB 5, KP 8	12,80 - 13,00	1.108,30	1.070,90	3,5 M.-%	3,4 M.-%
TB 6, KP 6	15,30 - 15,50	736,80	667,60	10,4 M.-%	9,4 M.-%
TB 8, KP 8 / 9+38	12,80 - 13,00	518,00	509,50	1,7 M.-%	1,6 M.-%
TB 10, KP 8	13,30 - 13,50	1.434,40	1.401,50	2,3 M.-%	2,3 M.-%
TB 11, KP 10	24,80 - 25,00	828,70	766,10	8,2 M.-%	7,6 M.-%
TB 12, KP 7	22,20 - 22,40	1.136,20	1.072,70	5,9 M.-%	5,6 M.-%
TB 12, KP 12	25,30 - 25,50	687,90	644,30	6,8 M.-%	6,3 M.-%
TB 12, KP 14	28,40 - 28,60	645,20	589,80	9,4 M.-%	8,6 M.-%
TB 13, KP 5	21,00 - 21,30	732,20	724,60	1,0 M.-%	1,0 M.-%
TB 14, KP 14	35,00 - 35,30	859,30	820,50	4,7 M.-%	4,5 M.-%
TB 15, KP 13	31,00 - 31,20	537,10	511,50	5,0 M.-%	4,8 M.-%
TB 16, KP 14	30,40 - 30,60	468,00	433,20	8,0 M.-%	7,4 M.-%
TB 17, KP 11	28,50 - 28,70	599,60	585,60	2,4 M.-%	2,3 M.-%
TB 18, KP 7	26,20 - 26,40	1.082,10	986,00	9,7 M.-%	8,9 M.-%
TB 18, KP 8	30,40 - 30,60	743,70	691,90	7,5 M.-%	7,0 M.-%
TB 19, KP 6	24,10 - 24,30	860,00	838,70	2,5 M.-%	2,5 M.-%
TB 20, KP 8	16,10 - 16,30	1.240,10	1.223,50	1,4 M.-%	1,3 M.-%
TB 21, KP 6 / 26+49	15,20 - 15,40	944,40	933,60	1,2 M.-%	1,1 M.-%
TB 22, KP 4	13,80 - 14,00	1.012,60	973,30	4,0 M.-%	3,9 M.-%
TB 22, KP 5	15,70 - 15,90	584,40	549,10	6,4 M.-%	6,0 M.-%
TB 23, KP 6	12,70 - 12,90	829,30	800,30	3,6 M.-%	3,5 M.-%
TB 24, KP 2 / 30+51	6,50 - 6,80	674,90	666,90	1,2 M.-%	1,2 M.-%
TB 25, KP 5	10,00 - 10,20	1.017,40	940,00	8,2 M.-%	7,6 M.-%
TB 25, KP 6	11,10 - 11,30	767,20	721,30	6,4 M.-%	6,0 M.-%
Mittelwert				5,1 M.-%	4,8 M.-%

Die Angaben über Bauwerk, Bauteil und Baustoff wurden vom Auftraggeber übernommen. Das Prüfzeugnis gilt nur in Verbindung mit dem Auftrag und darf nur ungekürzt wiedergegeben werden.
 Das Prüfzeugnis besteht aus 1 Seite.

Dr.-Ing. Thomas Thiel
 Leiter der VMPA-Betonprüfstelle,
 stellvertretender Leiter der RAP Stra-Prüfstelle