

## Gutachten

**Nr. 94638343/01**

**Datum: 04.09.2017**

**Auftraggeber:** Bayerngrund Grundstücksbeschaffungs  
und -erschließungs-GmbH  
Giesinger Bahnhofplatz 2  
81539 München

**Projekt:** Markt Erlbach, Ortsteil Eschenbach - Baugebiet "Kirchsteig-  
feld"

**Auftrag:** Bodengutachten,  
Auftrag vom 20.03.2017

**Ihr Zeichen:** Projekt-Nr. 390279, Frau Sonnenberg

**Sachverständige:** Dipl.-Geol. Anna Prieß

**Telefon Nr.:** +49 911 655-5588  
+49 911 655-5544

**Telefax Nr.:** +49 911 655-5510

**E-Mail:** anna.priess@de.tuv.com

Das Gutachten umfasst 42 Seiten und 17 Anlagen bzw. Anlagengruppen.

Dieses Gutachten darf nur im vollen Wortlaut veröffentlicht werden.

Jede Veröffentlichung in Kürzung oder Auszug bedarf der vorherigen Genehmigung durch die TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH.

Für die Auftragsabwicklung haben wir wesentliche Daten und Ihre Anschrift gespeichert. Der Datenschutz ist gewährleistet.

TÜV Rheinland  
LGA Bautechnik GmbH  
Tillystraße 2  
90431 Nürnberg

Tel +49 911 655-4841  
Fax +49 911 655-5510  
Mail: bautechnik@de.tuv.com

Geschäftsführung  
Dirk Fenske

Nürnberg HRB 20586  
Steuer-Nr. 241/115/90733  
Ust-IdNr. DE813835574

Web [www.tuv.com](http://www.tuv.com)

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	2
1 Veranlassung .....	4
2 Aufgabenstellung .....	4
3 Unterlagen .....	5
4 Projekt.....	5
4.1 Bauplatzerschließung „Kirchsteigfeld“ .....	6
4.2 Rohrvortrieb DN 800.....	6
4.3 Regenrückhaltebecken.....	6
5 Geotechnische Kategorie .....	6
6 Erdbebenzone.....	7
7 Geologische Situation .....	7
8 Felduntersuchungen.....	8
8.1 Vorgang.....	8
8.2 Bohrungen.....	8
8.3 Grundwasserstandsmessungen .....	10
8.4 Rammsondierungen .....	11
9 Laborversuche .....	12
9.1 Vorgang.....	12
9.2 Korngrößenverteilungen .....	13
9.3 Wassergehalt und Konsistenz .....	15
9.4 Verklebungspotential .....	17
9.5 Glühverlust .....	17
9.6 Einaxiale Druckfestigkeit .....	17
9.7 Punktlastversuche .....	18
9.8 LCPC Abrasivität .....	19
9.9 Abrasivität nach CERCHAR .....	19
9.10 Betonaggressivität des Grundwassers .....	20
9.11 Bodenuntersuchungen auf Schadstoffe .....	20
9.12 Ergänzende Untersuchungen .....	21
9.13 Kampfmittel .....	21
10 Bewertung der Untersuchungsergebnisse.....	21
10.1 Vorbemerkung.....	21
10.2 Felskategorien, boden- und felsmechanische Eigenschaften .....	21

10.3	Baugrundmodell .....	26
10.4	Hydrogeologie .....	27
10.5	Bodenkennwerte .....	29
10.6	Bemessungswasserstände.....	30
10.7	Bodenklassifizierung .....	30
10.8	Homogenbereiche .....	32
10.9	Schadstoffe .....	33
10.10	Kampfmittelräumung .....	33
11	Folgerungen, Hinweise und Empfehlungen .....	34
11.1	Überblick .....	34
11.2	Kanalverlegung im offenen Rohrgraben .....	34
11.3	Straßen- und Verkehrswegebau .....	35
11.4	Rohrvortrieb .....	35
11.4.1	Baugrubenverbau und Wasserhaltung .....	36
11.4.2	Vorstatik Vortriebsrohre .....	37
11.4.3	Setzungen .....	38
11.4.4	Vortriebsverfahren .....	38
11.4.5	Dokumentation .....	39
11.5	Regenrückhaltebecken.....	39
11.6	Bemessungshinweise .....	40
12	Beweissicherung und Kontrollen .....	40
13	Schlussbemerkung.....	41
	Anlagenverzeichnis.....	42

## 1 Veranlassung

Die Marktgemeinde Markt Erlbach plant die infrastrukturelle Erschließung des Baugebiets „Kirchsteigfeld“ im Ortsteil Eschenbach. Das Erschließungsvorhaben umfasst 71 Bauplätze sowie die Unterkreuzung der eingleisigen Bahnanlage (DB Regio Bayern – Mittelfrankenbahn Hauptstrecke Fürth (Bay) Hbf - Markt Erlbach, Streckennummer 5913) mit einem Regenwasserkanal (max. DN 800) in geschlossener Bauweise. Weiter sind die zugehörigen Schachtbauwerke und Anschlusskanäle sowie ein Regenrückhaltebecken südlich der Bahnstrecke zur Reduzierung der in den Vorfluter „Eschenbach“ eingeleiteten Regenwassermenge zu erstellen. Das Bauvorhaben befindet sich im Osten der Gemeinde Markt Erlbach und verläuft im Wesentlichen entlang der Staatsstraße St 2252 und dem westlichen Rand des Ortsteils Eschenbach. Im Süden des geplanten Bauabschnitts soll die Bahnlinie unterkreuzt werden. Die Lage des Projektes zeigt die **Anlage 1**.

Mit Auftrag vom 20.03.2017 wurde die TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH seitens des Bauherrnvertreters, der Bayerngrund Grundstücksbeschaffungs- und -erschließungs-GmbH, mit der Baugrunduntersuchung und der Erstellung eines Geotechnischen Berichts beauftragt.

Die Durchführung der Feld- und Laboruntersuchungen erfolgten im Zeitraum von April 2017 bis Juni 2017.

## 2 Aufgabenstellung

Auf Grundlage von Feld- und Laboruntersuchungen soll ein Baugrundgutachten erstellt werden, welches neben der Beschreibung der Untergrund- und Grundwasserverhältnisse auch Hinweise und Empfehlungen für die Herstellung der Baugruben, die Erstellung der Kanäle in offener sowie in geschlossener Bauweise und der Gründung der Schachtbauwerke liefert.

### 3 Unterlagen

Folgende Unterlagen stehen für die Bearbeitung zur Verfügung:

- [1] Geologische Karte mit Erläuterungen, M 1:25.000, Blatt 6529 Markt Erlbach, Bayerisches Geologisches Landesamt, München 1968,
- [2] Geologische Karte mit Erläuterungen, M 1:25.000, Blatt 6530 Langenzenn, Bayerisches Geologisches Landesamt, München 1966,
- [3] Anfrage geotechnische Erkundung, inrotec GmbH, Stand 10.02.2017,
- [4] Übersichtslageplan, Markt Erlbach, Ortsteil Eschenbach Baugebiet „Kirchsteigfeld“, M 1:5.000, inrotec GmbH, Stand 09.02.2017,
- [5] Lageplan Bodengutachten, Markt Erlbach, Ortsteil Eschenbach Baugebiet „Kirchsteigfeld“, M 1:1.000, inrotec GmbH, Stand Februar 2017,
- [6] Lageplan Bodengutachten, Markt Erlbach, Ortsteil Eschenbach Baugebiet „Kirchsteigfeld“, M 1:1.000, inrotec GmbH, Stand 24.04.2017,
- [7] Längsschnitt Bahndamm, Markt Erlbach, Ortsteil Eschenbach Baugebiet „Kirchsteigfeld“, M 1:200, inrotec GmbH, Stand Februar 2017,
- [8] Bebauungsplan (BP) Markt Erlbach, Kirchsteigfeld, Vorentwurf, M 1:1.000, Heffner+Müller Ingenieurbüro für Bauwesen, Stand 24.05.2017,
- [9] Die Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen RStO 12, Ausgabe 2012,
- [10] Arbeitsblatt DWA-A 125, „Rohrvortrieb und verwandte Verfahren“, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Dezember 2008.

### 4 Projekt

Die genaue Lage der Baumaßnahme ist im Lageplan (**Anlage 2**) dargestellt. Die Gesamtstrecke der geplanten Rohrvortriebe beträgt ca. 40 m. Das Projekt gliedert sich in Abhängigkeit von den planerischen Randbedingungen im Wesentlichen in den Erschließungsbereich des eigentlichen Baugebiets „Kirchsteigfeld“, den Vortriebsbereich (Kreuzung der Bahnlinie DB Regio Bayern – Mittelfrankenbahn Hauptstrecke Fürth (Bay) Hbf - Markt Erlbach) mit den entsprechenden Baugruben für die benötigten Schachtbauwerke sowie die geplante Errichtung eines Regenrückhaltebeckens südlich des Vortriebs.

#### **4.1 Bauplatzerschließung „Kirchsteigfeld“**

Die infrastrukturelle Erschließung von ca. 71 Bauplätzen umfasst eine Fläche von ca. 5,5 ha; diese wurde bisher landwirtschaftlich genutzt. Die Verkehrsanbindung des Neubaugebiets soll über die Staatsstraße St 2252 sowie über das bestehende Siedlungsgebiet (Tulpenstraße) erfolgen. Im Norden grenzt das Baugebiet an die Staatsstraße St 2252. Hier ist eine Lärmschutzwand, bzw. Lärmschutzbebauung geplant. Das Gelände fällt nach Süden ab.

Geplant sind Regenwasserkanäle in offener Bauweise. Die geplanten Rohrsohlen liegen nach mündlichen Angaben der Fa. Inrotec GmbH bei ca. 2,0 – 2,5 m u. GOK.

#### **4.2 Rohrvortrieb DN 800**

Geplant ist der Neubau eines Regenwasserkanals (maximal DN 800 [3]) in geschlossener Bauweise (Rohrvortrieb/ Mikrotunneling). Das Sohlengefälle ist noch nicht bekannt. Der zu untersuchende Trassenabschnitt mit einer Länge von ca. 40 m liegt südlich des Baugebiets „Kirchsteigfeld“ und unterkreuzt die eingleisige Bahnanlage (DB Regio Bayern – Mittelfrankenhauptstrecke Fürth (Bay) Hbf - Markt Erlbach, Streckennummer 5913) vor dem freien Auslauf.

Der geplante Rohrvortrieb soll aufgrund der örtlichen Gegebenheiten und Zugänglichkeiten, gegen die Fließrichtung, d.h. von Süd nach Nord aufgeföhren werden.

#### **4.3 Regenrückhaltebecken**

Im weiteren Verlauf der Ableitungstrasse zur Vorflut hin soll ein „Regenrückhaltebecken als Erdbecken“ zur reduzierten Einleitung des anfallenden Regenwassers in den Vorfluter „Eschenbach“ errichtet werden [3].

### **5 Geotechnische Kategorie**

Der Rohrvortrieb DN 800 ist aufgrund der Baugrundverhältnisse (veränderliche Eigenschaften des Keupergesteins, tiefgründige Keuperverwitterung), der geplanten Bauwerke, der Bauverfahren (Rohrvortrieb, z.T. geringe Überdeckung), der Lage der Trasse im Bahnbereich sowie im

Einflussbereich von Bauwerken (Unterquerung von Bauwerken mit hohem Sicherheitsanspruch) in die Geotechnische Kategorie 3 (schwierigste Stufe) nach EC7-2 mit DIN 4020 einzuordnen. Die Bauplatzerschließung „Kirchsteigfeld“ ist in die Geotechnische Kategorie 2 nach EC7-2 mit DIN 4020 einzuordnen.

## **6 Erdbebenzone**

Das Untersuchungsgebiet ist nach DIN EN 1998-1-NA: 2011-01 (vormals DIN 4149: 2005-04) keiner Erdbebenzone zuzuordnen. Im Sinne der Norm handelt es sich um ein Gebiet mit sehr geringer Seismizität. Danach kann auf den Ansatz einer Beschleunigung (Referenz-Spitzenwert der Bodenbeschleunigung  $a_{gR}$ ) verzichtet werden.

## **7 Geologische Situation**

In weiten Bereichen des nach Süden abfallenden Untersuchungsgebiets stehen oberflächennah anthropogene Auffüllungen mit geringen Mächtigkeiten und relativ mächtige Verwitterungsprodukte an, die das Keupergebirge überlagern. Vereinzelt enthalten die Deckschichten (bis  $\geq 5,0$  m) auch quartäre Ablagerungen (Talfüllungen). Im Liegenden stehen vorwiegend Sand- und vereinzelt Tonsteine des Sandsteinkeupers (Coburger Sandstein und Blasensandstein i.e.S.) an[1] [2].

Im nördlichen Bereich des geplanten Baugebiets „Kirchsteigfeld“ weist die geologische Karte [1],[2] auf das Ausstreichen von Ton-/Tonsteinpaketen hin (Grenzletten kmC/kmBL). Aufgrund des Fehlens eines solchen auffälligen durchhaltenden tonigen Leithorizontes im Zuge der Aufschlussbohrungen und der vergleichbaren lithologischen Zusammensetzung und somit ähnlichen geotechnischen Eigenschaften werden im Folgenden Blasensandstein i.e.S. und Coburger Sandstein als Blasensandstein i.w.S. zusammengefasst. Der Blasensandstein i.w.S. weist zum Teil lokal und nicht horizontbeständige gelbe bis weißlich-graue, harte bis sehr harte Verfestigungen (sog. Quacken) auf. Ausgeprägte Störungszonen sind in den einschlägigen geologischen Karten nicht auskartiert. Aufgrund der Genese und der tektonischen Beanspruchung ist im Keuperfels mit bereichsweise stärker klüftigen Zonen mit geänderten felsmechanischen Eigenschaften zu rechnen.

## 8 Felduntersuchungen

### 8.1 Vorgang

Zur Erkundung der Untergrundverhältnisse wurden von der Behringer+Dittmann Bohr GmbH, Nürnberg, folgende Untersuchungen im Auftrag des Bauherrn durchgeführt:

- 10 Aufschlussbohrungen (B1 – B6, B8, B10, B12, B13),  $d > 100$  mm, nach DIN 4021,
- 6 schwere Rammsondierungen (DPH7, DPH9, DPH11, DPH14 – DPH16) nach DIN EN ISO 22476-2.

Die ursprünglich als Bohrungen geplanten Aufschlüsse B7, B9, B11 und B14 - B16 wurden nach Absprache mit dem Bauherrn als DPH ausgeführt.

Die Festlegung des Untersuchungsumfangs erfolgte durch die TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH in Abstimmung mit dem Bauherrn. Die Lage der Aufschlusspunkte ist dem Lageplan (**Anlage 2**) zu entnehmen. Die Dokumentation der Felduntersuchungen zeigen die **Anlagengruppen 3 bis 8**.

### 8.2 Bohrungen

Die 10 Aufschlussbohrungen wurden im Kernbohrverfahren (Bohrdurchmesser  $d = 179/131$  mm) niedergebracht. Die Bohrendtiefen der Bohrungen betragen zwischen 5,0 m und 12,0 m. Mit den Bohrungen wurde eine generell vergleichbare Schichtenfolge angetroffen.

Die Schichtabfolge setzt mit gewachsenen **Mutterboden** oder **künstlichen Auffüllungen (Zone A)** ein. Die überwiegend gemischt- bis feinkörnigen Böden weisen Mächtigkeiten von 0,30 m bis 1,20 m auf bestehen zum Großteil aus umgearbeitetem Keupermaterial. In der Bohrung B4 (bestehender Weg: Kirchsteig) wurde oberflächennah Tragschichtmaterial (Kalkschotter, sandige Kiese) erbohrt.

In drei Bohrungen (B1, B2 und B5) wurden bis 3,40 m u. GOK fluviatil abgelagerte Sedimente (**Zone Q**) angetroffen.



Sowohl die quartären Sande, Schluffe und Tone als auch die anthropogen beeinflussten Deckschichten enthalten Pflanzenreste sowie organische Beimengungen.

Die unter den Lockersedimenten anstehenden Zersatzböden werden als **Verwitterungszone (Zone V)** benannt. Die Verwitterung des Keupergebirges ist mitunter tiefgründig und erreicht Mächtigkeiten von 0,60 bis 4,20 m. Zum Teil sind stückig zerbohrte, mürbe bis mittelharte Sandsteine anzutreffen, die noch mit dem Trockenkernrohr erbohrt werden konnten. In den Bohrungen B1, B2 und B8 lag die vom AG vorgegebene Endtiefe in der Zone V.

Die Schichten mit felsartigem Charakter werden als Keuperfelschichten bezeichnet. Der **Keuperfels (Zone K)** wurde zwischen rund 2,0 m und 5,0 m unter Gelände aufgeschlossen. Der Keuperfels des Blasensandsteins i.w.S. ist überwiegend mittelhart, z.T. mürbe oder hart ausgebildet. Es treten zwischengelagerte Tonsteinlinsen und -lagen auf.

In Abhängigkeit von der Erscheinungsform und den Festigkeitseigenschaften des Keupergesteins erfolgt eine Abgrenzung der verschiedenen Felsschichten mit vergleichbaren Eigenschaften.

Weitere Einzelheiten zu den aufgeschlossenen Boden- und Felsschichten sind den Schichtenverzeichnissen und Bohrprofilen zu entnehmen. Die in den Erkundungsbohrungen aufgeschlossene Baugrundsichtung ist in nachfolgender Tabelle dargestellt.

**Tabelle 1:** Abgeteufte Bohrungen – erbohrte Baugrundsichten

Bohrung	GOK [mNN]	UK Zone A		UK Zone Q		UK Zone V		Bohrtiefe [m]
		[m]	[mNN]	[m]	[mNN]	[m]	[mNN]	
B1	362,05	-	-	3,4	358,65	5,0	357,05	5,0
B2	364,07	-	-	1,1	362,97	5,0	359,07	5,0
B3	372,04	1,3	370,74	-	-	4,0	368,04	12,0
B4	376,32	0,3	376,02	-	-	2,1	374,22	5,0
B5	374,14	-	-	1,0	373,14	3,2	370,94	5,0
B6	377,27	1,4	375,87	-	-	2,0	375,27	5,0

Bohrung	GOK [mNN]	UK Zone A		UK Zone Q		UK Zone V		Bohrtiefe [m]
		[m]	[mNN]	[m]	[mNN]	[m]	[mNN]	
B8	381,13	0,8	380,33	-	-	5,0	376,13	5,0
B10	383,99	0,5	383,49	-	-	2,3	381,69	5,0
B12	385,60	1,0	384,60	-	-	4,7	380,90	7,4
B13	383,73	0,7	383,03	-	-	2,2	381,53	5,0

Für die Festigkeitsansprache der Festgesteine wurden folgende ortsübliche Bezeichnungen korrelierend zur einaxialen Druckfestigkeit verwendet. Aus Gründen der Kontinuität weicht die Abstufung von EC7-1 mit DIN 1054, Ausgabe 2010-12, ab.

**Tabelle 2:** Beschreibung der Gesteinskategorien

Bezeichnung	Kategorie	Bezeichnung	Kombindung nach DIN 4022	Erscheinungsbild	1-axiale Druckfestigkeit $q_u$ [MN/m <sup>2</sup> ]
Sandstein	V	sehr mürbe	keine	völlig entfestigt	$q_u = 0$
Sandstein	A	mürbe	schlecht	stark entfestigt	$q_u < 1,50$
Sandstein	B	mittelhart	mäßig	mäßig entfestigt	$1,50 \leq q_u < 5,00$
Sandstein	C	hart	gut	gering entfestigt	$5,00 \leq q_u < 25,0$
Sandstein, Arkosen, („Quacken“)	Q	sehr hart	sehr gut	angewittert bis unverwittert	$q_u \geq 25,0$
Keuperton, Tonstein	D	halbfest / fest, mürbe / mittelhart	schlecht bis mäßig	stark bis mäßig entfestigt	$q_u < 5,0$

Im Einzelfall können Tonsteine höherer Festigkeit auftreten, die bautechnisch als feinkörnige harte Sandsteine eingestuft werden.

### 8.3 Grundwasserstandsmessungen

Im Rahmen der Bohrarbeiten erfolgte eine Messung der Wasserstände durch die Bohrfirma. Dabei handelt es sich um Einzelmessungen im Zuge des Abteufens der Bohrung bzw. nach Beendigung der Bohrung.

Die Grundwasserstände (inkl. Schicht- und Stauwasser) nach Beendigung der Bohrarbeiten wurden lokal in 1,75 m bzw. 2,87 m unter Gelände angetroffen. Die gemessenen Grund- bzw. Schicht- und Stauwasserstände sind in die geologischen Schnitte (**Anlagengruppe 3**) neben den Bohrprofilen eingetragen.

**Tabelle 3:** Grundwasserstände nach Beendigung der Bohrarbeiten

Bohrung	GOK [mNN]	Messung	Wasserstand - Bohrarbeiten <sup>1)</sup>	
			[m] unter GOK	[m] unter GOK
B1	362,05	27.04.2017	2,87	359,18
B12	385,60	25.04.2017	1,75	383,85

<sup>1)</sup> Ruhewasserstand nach Abschluss der Bohrarbeiten, möglicherweise noch nicht ungestörter Wasserspiegel.

Der anzunehmende Grundwasserschwankungsbereich liegt vermutlich bei circa 1 m – 2 m. Wir empfehlen für das vorliegende Projekt von einem Schwankungsbereich von  $\pm 2,0$  m auszugehen.

## 8.4 Rammsondierungen

Die Sondierungen wurden als schwere Rammsondierung (DPH gemäß DIN EN ISO 22476-2) ausgeführt. Mit Hilfe der insgesamt 6 Sondierungen wird lokal die Lagerungsdichte der Lockerböden abgeleitet und die Höhenlage der ersten rammfesten Felsschichten festgestellt. In nachfolgender Tabelle sind die Kenndaten der durchgeführten Sondierungen zusammengefasst.

**Tabelle 4:** Rammsondierungen DPH nach DIN EN ISO 22476-2

Sondierung	Ansatzhöhe GOK [mNN]	Endtiefe (OK erste rammfeste Lage)	
		[m ab GOK]	[mNN]
DPH7	377,28	1,70	375,58
DPH9	381,73	2,00	379,73
DPH11	385,83	5,00	380,83
DPH14	381,74	2,60	379,14
DPH15	380,45	2,70	377,75
DPH16	376,08	3,00	373,08

Die Rammogramme (DPH) zeigen in allen Deckschichten ein unregelmäßiges Profil.

Auffüllungsbereiche sind durch eine sehr lockere bis lockere, z.T. mitteldichte Lagerung gekennzeichnet.

Im Bereich der aufgeschlossenen quartären Sedimente liegen keine Rammsondierungen vor.

Die Verwitterungsprodukte der Zone V sind mitteldicht bis dicht gelagert. Mit zunehmender Tiefe zeigt sich stets eine dichte Lagerung, in der Endtiefe eine sehr dichte Lagerung.

Die ersten rammfesten Keuperschichten wurden in Endtiefen von 1,70 m bis 5,00 m u. GOK erreicht. Die Tiefenlage der angetroffenen ersten rammfesten Keuperschichten variiert zwischen 373,08 mNN und 380,83 mNN.

## 9 Laborversuche

### 9.1 Vorgang

Zur genaueren Bestimmung der boden- und felsmechanischen Eigenschaften wurden folgende Laborversuche durchgeführt:

Bodenmechanik: Bestimmung der Korngrößenverteilung nach DIN 18123,  
Bestimmung des Wassergehaltes nach DIN 18121,  
Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenze nach DIN 18122-1,  
Bestimmung des Glühverlustes nach DIN 18128,

Felsmechanik: Einaxiale Druckversuche nach E1 – DGGT,  
Punktlastversuche an Gesteinsproben nach E5 – DGGT,  
Bestimmung der Abrasivität CAI nach CERCHAR, NF P 94-430-1

Schadstoffe: Bodenuntersuchungen nach LAGA M20.

Die Bodenuntersuchungen nach LAGA M20 wurden bei der LGA - Institut für Umweltgeologie und Altlasten GmbH in Auftrag gegeben. Die Ergebnisse der Laborversuche sind als **Anlagengruppen 9 bis 15** beigefügt.

## 9.2 Korngrößenverteilungen

An insgesamt 7 repräsentativen Proben wurden die Korngrößenverteilungen nach DIN 18123 bestimmt und die Gruppensymbole nach DIN 18196 zugeordnet. Die Proben wurden aus den für die Baumaßnahme relevanten Tiefenzonen entnommen. Es wurden Auffüllungen, Verwitterungsböden sowie Sandstein- und Keuperton-/Tonsteinproben untersucht. Die Untersuchungsergebnisse sind in den nachfolgenden Tabellen zusammengefasst.

An den Auffüllungen wurde exemplarisch eine Kornverteilung bestimmt. Es handelt sich dabei um sandiges Bodenmaterial mit schluffigen Anteilen (Gruppensymbol SU). Das Größtkorn wurde mit  $d = 10,9$  mm festgestellt.

**Tabelle 5:** Korngrößenverteilung - Auffüllung

Bohrung	Probe, Labor-Nr.	Tiefe (UK) [m]	Gruppensymbol DIN 18196	Feinkornanteil < 0,063 mm [%]	Kornkennziffer	Ungleichförmigkeitszahl U [ ]	Krümmungszahl $C_c$ [ ]	Größtkorn [mm]
B6	11066	1,3	SU	13	1 1 8 0 0	66,71	18,03	10,9

An den quartären Talfüllungen (Zone Q) wurde eine Kornverteilung bestimmt. Es handelt sich bei der Bodenproben um einen gemischtkörnige Böden, dem das Gruppensymbol SU\* zugeordnet wurde.

**Tabelle 6:** Korngrößenverteilung - Quartär

Bohrung	Probe, Labor-Nr.	Tiefe (UK) [m]	Gruppensymbol DIN 18196	Feinkornanteil < 0,063 mm [%]	Kornkennziffer	Ungleichförmigkeitszahl U [ ]	Krümmungszahl $C_c$ [ ]	Größtkorn [mm]
B1	11046	3	SU*	18	0 2 8 0 0			6,2

Aus den Verwitterungsböden (Zone V) wurden insgesamt 2 repräsentative Proben untersucht, da der Keuperfels bereichsweise tiefgründig verwittert ist und die Verwitterungszone die Tiefenlage des geplanten Rohrquerschnitts erreicht.

Es handelt sich demnach bei den Proben aus der Sandsteinverwitterung um schluffige und stark schluffige Sande (Gruppensymbole SU und SU\*). Der Feinkornanteil ( $d < 0,063$  mm) wurde mit 14% bis 31% ermittelt. Die Kornform der schleißscharfen Minerale (vorrangig Quarz) wurde als kantig, rundkantig und gerundet festgestellt.

**Tabelle 7:** Korngrößenverteilungen - Verwitterungszone V

Bohrung	Probe, Labor-Nr.	Tiefe (UK) [m]	Gruppensymbol DIN 18196	Feinkornanteil $< 0,063$ mm [%]	Kornkennziffer	Ungleichförmigkeitszahl U [ ]	Krümmungszahl $C_c$ [ ]	Größtkorn [mm]
B2	11048	3	SU*	31	1 2 7 0 0	71,65	4,31	8,2
B12	11074	4,0	SU	14	0 2 8 0 0			9,9

\*Entnahme aus Tiefenlage außerhalb des geplanten Rohrquerschnitts

Bei den 3 Festgesteinsproben handelt es sich um mechanisch aufbereitete Proben des Keupermaterials (Sandstein und Ton/Tonstein).

Bei den Sandsteinproben handelt es sich nach der mechanischen Aufbereitung um gemischt-körnige Böden (Gruppensymbol SU) mit Feinkornanteilen zwischen 7% und 9%. Die Kornform der schleißscharfen Minerale (vorrangig Quarz) wurde als kantig, kantengerundet und gerundet festgestellt.

**Tabelle 8:** Korngrößenverteilungen - Sandstein Zone K

Bohrung	Probe, Labor-Nr.	Tiefe (UK) [m]	Gruppensymbol DIN 18196	Feinkornanteil $< 0,063$ mm [%]	Kornkennziffer	Ungleichförmigkeitszahl U [ ]	Krümmungszahl $C_c$ [ ]	Größtkorn [mm]
B3*	11056	9,00*	SU	9	0 1 9 0 0	4,15	1,88	7,10
B3*	11058	11,30*	SU	7	0 1 8 1 0	4,88	0,97	8,30

\*Entnahme aus Tiefenlage außerhalb des geplanten Rohrquerschnitts

Mechanisch zerkleinerte Tonsteinproben liegen als feinkörnige Böden vor. Bei der untersuchten Probe aus dem geplanten Rohrquerschnitt handelt es sich um einen leicht plastischen Ton (Gruppensymbol TL). Der Feinkornanteil wurde mit 62% ermittelt.

**Tabelle 9:** Korngrößenverteilungen – Ton/ Tonstein Zone K

Bohrung	Probe, Labor-Nr.	Tiefe (UK) [m]	Gruppensymbol DIN 18196	Feinkornanteil < 0,063 mm [%]	Kornkennziffer	Ungleichförmigkeitszahl U [ ]	Krümmungszahl C <sub>c</sub> [ ]	Größtkorn [mm]
B3	11055	8,0	TL	62	1 5 4 0 0	19,17	1,12	10,9

Die Keuperproben (Sandsteine, Tone, Tonsteine) zeigen den erfahrungsgemäß großen Streubereich hinsichtlich ihrer Zusammensetzung: Der Feinkornanteil reicht von 7% (Korngröße der Sandsteine fein- bis mittelkörnig) bis 62% (Keupertone/Tonstein). Es handelt sich nach der mechanischen Aufbereitung vorwiegend um feinkörnige und gemischtkörnige Böden im Sinne der DIN 18196. Das festgestellte maximale Größtkorn beträgt 10,9 mm.

Der Streubereich der Lockergesteinsproben (Verwitterungsböden) in Hinblick auf Zusammensetzung und Einordnung der Bodengruppen nach DIN 18196 ist vergleichbar mit den mechanisch aufbereiteten Keuperproben. Der Feinkornanteil der untersuchten gemischtkörnigen Böden reicht von 14% bis 31%. Das festgestellte maximale Größtkorn beträgt hier 9,9 mm.

Die Boden- und Felsbeschreibung aus der Bodenansprache und der visuellen Beurteilung der Bohrkerne wurde in der Regel bestätigt. Abweichungen zwischen Ansprache und Laborergebnisse sind vor allem auf die Wertung der bindigen Anteile, die oft nicht gleichmäßig über die Schicht verteilt sind, zurückzuführen.

### 9.3 Wassergehalt und Konsistenz

Zur Beurteilung der plastischen Eigenschaften wurden auch mit Fokus auf den geplanten Tiefenbereich des Rohrquerschnitts exemplarisch Wassergehalte und Zustandsgrenzen zur Einordnung nach DIN 18122 (Atterberg'sche Grenzen) bestimmt. Die Ergebnisse sind in den nachfolgenden Tabellen zusammengestellt.

Im Folgenden werden die Ergebnisse nach Zuordnung im Baugrundmodell in Locker- und Festgesteinsproben unterschieden. Repräsentative Tonproben wurden aus der Zone A (2 Stück), der Zone V (1 Stück) und aus der Zone K (2 Stück) entnommen.

Die Keupertonprobe aus B3 entstammt einem Tiefenbereich innerhalb bzw. unterhalb des geplanten Rohrquerschnitts.

An zwei Proben, Labornummern 11048 (B2, E1:Zone V) bzw. 11066 (B6, B1: Zone A) konnte die Konsistenz nicht ermittelt werden, da kein ausreichendes Probenmaterial zur Verfügung stand bzw. der bindige Anteil beider Proben für die Versuchsdurchführung gemäß DIN 18122 zu gering war.

**Tabelle 10: Zustandsgrenzen – Auffüllung**

Bohrung	Probe, Labor-Nr.	Tiefe (UK) [m]	Beschreibung	w [%]	Gruppen-symbol	w <sub>L</sub> [%]	w <sub>P</sub> [%]	I <sub>P</sub> [%]	I <sub>C</sub> [-]	Konsistenz
B8	11068	0,6	T, u, s'	17,21	TM	41,89	16,09	25,81	0,95	steif

Bei der untersuchten Probe handelt es sich um einen mittelplastischen Ton. Die Zustandsform liegt bei steif.

**Tabelle 11: Zustandsgrenzen - Ton/Tonstein**

Bohrung	Probe, Labor-Nr.	Tiefe (UK) [m]	Beschreibung	w [%]	Gruppen-symbol	w <sub>L</sub> [%]	w <sub>P</sub> [%]	I <sub>P</sub> [%]	I <sub>C</sub> [-]	Konsistenz
B3	11055	8	T, u, s*	9,37	TL	32,77	14,11	18,66	1,21	halbfest
B3*	11061	12	T, u, s	11,77	TL	29,6	14,01	15,59	1,12	halbfest

\*Entnahme aus Tiefenlage außerhalb des geplanten Rohrquerschnitts

Bei den untersuchten Ton-/Tonsteinproben handelt es sich um leichtplastische Tone. Die Konsistenz wurde bei den untersuchten Proben als halbfest ermittelt.



Zur Einschätzung des Quellverhaltens wurde in einer Probe (Labor-Nr. 11055) die Aktivitätszahl nach SKEMPTON bestimmt. In den Probe liegt der Hinweis auf die Anwesenheit aktiver Tonminerale, z.B. der Montmorillonit-Gruppe, vor ( $I_A > 1,25$ ).

#### 9.4 Verklebungspotential

Die untersuchten Tone und Tonsteine in der relevanten Tiefenlage des geplanten Rohrvortriebs weisen aufgrund der festgestellten bodenmechanischen Parameter (Konsistenzzahl  $1,0 > I_C > 1,25$  und Plastizitätszahl  $10\% < I_P < 20\%$ ) ein mittleres Verklebungspotenzial nach THEWES auf.

#### 9.5 Glühverlust

An je einer Probe aus der Zone Auffüllungen, Quartär und Verwitterung wurde exemplarisch der Glühverlust mit  $V_{GL} = 1,74\%$  (B6, Zone A),  $V_{GL} = 1,23\%$  (B1, Zone Q), bzw.  $V_{GL} = 1,55\%$  (B12, Zone V), bestimmt. Die festgestellten organischen Anteile sind folglich als gering einzustufen.

#### 9.6 Einaxiale Druckfestigkeit

Zur Beurteilung der Festigkeitseigenschaften des Keupergesteins wurden an Kernproben insgesamt 3 einaxiale Druckversuche und 13 Punktlastversuche durchgeführt. Die Ergebnisse der einaxialen Druckversuche sind in nachfolgender Tabelle zusammengestellt:

**Tabelle 12:** Einaxiale Druckversuche nach E1 – DGGT

Bohrung	Probe, Labor-Nr.	Tiefe (UK) [m]	Ansprache	Feuchtdichte $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Wassergehalt $w$ [%]	Druckfestigkeit R [MN/m <sup>2</sup> ]
B3	11055	8,0	Tst, D	2,25	10,22	0,41
B3*	11058	11,3	Sst, B/C	2,10	6,70	5,58
B3*	11059	11,9	Sst, C/Q	2,48	2,42	31,40

\*Entnahme in relevanter Tiefenlage außerhalb des geplanten Bauabschnitts

Die Kernstücke für die einaxialen Druckversuche stammen aus den geplanten Tiefenlagen des Vortriebsquerschnitts. Die ermittelten einaxialen Druckfestigkeiten für alle Felsproben (Sandsteine, Ton/Tonsteine) liegen zwischen 0,41 MN/m<sup>2</sup> und 31,40 MN/m<sup>2</sup>. Aufgrund des unterge-

ordneten Auftretens der Felskategorie C bzw. Q im Zuge der Aufschlussarbeiten, wird die stochastische Datengrundlage (vgl. Kap. 9.7) im Folgenden weiter verbessert.

Die Ergebnisse der einaxialen Druckversuche korrelieren weitgehend positiv mit der Bohrkernansprache.

### 9.7 Punktlastversuche

Es wurden zudem insgesamt 13 Punktlastversuche an Gesteinsproben durchgeführt. Die Entnahme der Proben für die Punktlastversuche erfolgte über die gesamte Tiefe der Aufschlussbohrungen, um ein Festigkeitsprofil über die Tiefe zu erhalten und die stochastische Datengrundlage zu verbessern.

**Tabelle 13:** Punktlastversuche nach E5 – DGGT

Schätzung Druckfestigkeit $q_u$	Gesamt n = 13 [MN/m <sup>2</sup> ]	V/A n = 2 [MN/m <sup>2</sup> ]	Sst, B n = 8 [MN/m <sup>2</sup> ]	Sst, C/Q n = 2 [MN/m <sup>2</sup> ]	Sst, D n = 1 [MN/m <sup>2</sup> ]
Minimum	0,59	0,81	1,76	18,03	
Maximum	37,92	4,99	5,39	37,92	
Mittelwert	6,60	2,90	2,94	27,97	0,59

Die ermittelten Druckfestigkeiten liegen zwischen 0,59 MN/m<sup>2</sup> und lokal maximal 37,92 MN/m<sup>2</sup>. Dabei liegt der Median bei 3,10 MN/m<sup>2</sup> und der arithmetische Mittelwert bei 6,60 MN/m<sup>2</sup>. Unter Vernachlässigung des Maximalwerts von 37,92 MN/m<sup>2</sup> liegt der arithmetische Mittelwert der restlichen 12 Felsproben bei 3,99 MN/m<sup>2</sup> bzw. der Median bei 2,6 MN/m<sup>2</sup>.

Innerhalb der stückig zerbohrten Verwitterung sind mittelharte Sandsteinrelikte anzutreffen.

Die Ergebnisse der Bohrkernansprache wurden im Wesentlichen bestätigt. Die arithmetischen Mittelwerte für die verschiedenen Gesteinskategorien (V, A, B, C, Q und D) spiegeln dies recht gut wieder.

## 9.8 LCPC Abrasivität

Die Prüfung nach NF P18-579 (Ermittlung der Koeffizienten für Abrieb und Brechbarkeit) wird an einer Messprobe von  $500 \pm 2$  g der Kornfraktion von 4/6,3 mm (Feinkies) durchgeführt und vernachlässigt insbesondere die Korndurchmesser  $< 2$  mm (Sand, Schluff, Ton). Zudem erfordert der Versuch bei nur geringen kiesigen Nebenanteilen erhebliche Probengrößen.

Das Probenmaterial lag nicht in ausreichender Masse in der erforderlichen Gesteinskörnung vor.

Für die Abrasivität der lokalen und regionalen, überwiegend sandigen Lockergesteinsüberdeckungen ist weniger der Kiesanteil, sondern ebenfalls vielmehr die Kornform (vgl. Kap. 9.2) und der Quarzgehalt ausschlaggebend, so dass diese erfahrungsgemäß als abrasiv einzustufen sind.

## 9.9 Abrasivität nach CERCHAR

An 2 Sandsteinproben sowie 1 Tonsteinprobe wurde die Abrasivität nach CERCHAR ermittelt. Eine Probe liegt unterhalb der geplanten Tiefenlage des Kanalquerschnitts und soll möglicherweise im Zuge des Vortriebs auftretende Extremwerte abbilden. Zum Vergleich wurde den Ergebnissen die einaxiale Druckfestigkeit (vgl. Kap. 9.6 bzw. Kap. 9.7) der Bohrkern in nachfolgender Tabelle gegenübergestellt.

**Tabelle 14:** Abrasivität nach CERCHAR – CAI-Werte

Bohrung	Probe Labor Nr.	Tiefe (UK) [m]	Ansprache	Druckfestigkeit $q_u$ [MN/m <sup>2</sup> ]	CAI [-]	Abrasivität
B3	11055	8,0	Tst, rotbraun, D	0,4	0,8	schwach abrasiv
B3*	11056	9,0	Sst, grau, B	1,8	1,0	abrasiv
B3	11059	11,9	Sst, grau, C/Q	31,4	4,5	extrem abrasiv

\*Vergleich mit der geschätzten einaxialen Druckfestigkeit aus Punktlastversuchen nach E5 - DGGT

Die untersuchten Felsproben weisen einen Abrasivitäts-Index (CAI) = 0,8 - 4,5 auf und sind somit als schwach abrasiv bis extrem abrasiv zu klassifizieren. Die Tonsteinproben zeigen dabei erwartungsgemäß die geringsten CAI-Werte und sind als schwach abrasiv zu bewerten. Die

Sandsteinproben wurden als abrasiv, bzw. extrem abrasiv, eingestuft. Tendenziell korrelieren die CAI-Werte mit den ermittelten Druckfestigkeiten.

Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen und auf Grundlage von Erfahrungswerten sind die Gesteinskategorien hinsichtlich der Abrasivität wie folgt einzustufen:

**Tabelle 15: Abrasivität der Gesteinskategorien**

Bezeichnung	Kategorie	Bezeichnung	Kombindung DIN EN ISO 14689-1, NA	Erscheinungsbild	1-axiale Druckfestigkeit $q_u$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Abrasivität CAI-Werte
Sandstein	V	sehr mürbe	keine	völlig entfestigt	$q_u = 0$	0,5 – 2,0
Sandstein	A	mürbe	schlecht	stark entfestigt	$q_u < 1,50$	0,5 – 2,0
Sandstein	B	mittelhart	mäßig	mäßig entfestigt	$1,50 \leq q_u < 5,00$	0,5 – 2,0
Sandstein	C	hart	gut	gering entfestigt	$5,00 \leq q_u < 25,0$	1,0 – 4,0
Sandstein, Arkosen, („Quacken“)	Q	sehr hart	sehr gut	angewittert bis unverwittert	$q_u \geq 25,0$	2,0 – 4,0
Keuperton, Tonstein	D	halbfest / fest, mürbe / mittelhart	schlecht bis mäßig	stark bis mäßig entfestigt	$q_u < 5,0$	0 – 0,5

### 9.10 Betonaggressivität des Grundwassers

Eine qualifizierte Wasserprobeentnahme hinsichtlich der Betonaggressivität gemäß DIN 4030, Teil 1 war nicht möglich (geplant für die letzte Bohrung und im Zusammenhang mit dem Ausbau zur Grundwassermessstelle). Erfahrungsgemäß ist im Zusammenhang mit möglichen Schicht- und Stauwasserzutritten mit mindestens einem schwachen Angriffsgrad nach DIN 4030 zu rechnen (min. Expositionsklasse XA1).

### 9.11 Bodenuntersuchungen auf Schadstoffe

Exemplarische Schadstoffuntersuchungen im Rahmen der Aufschlusskampagne wurden durch das Institut für Umweltgeologie und Altlasten GmbH an Proben aus den Deckschichten durchgeführt. Die Ergebnisse der Untersuchung liegen als **Anlagengruppe 15** bei. Danach wurden LAGA-Zuordnungsklassen von Z0 ausgewiesen.

## 9.12 Ergänzende Untersuchungen

Die Dammaufstandsfläche und damit verbundene eventuelle Hindernisse für den Rohrvortrieb konnten aufgrund der anstehenden biotopkartierten Hecke (vgl. **Anlage 3.2**) nicht erkundet werden. Im Vorfeld der Erdanschüttung für die geplante Startgrube ist der Dammfuß (z.B. mit einem Baggerschurf) zu erkunden.

## 9.13 Kampfmittel

Es liegen keine Unterlagen zur Kampfmittelsituation im Bereich des Baufeldes vor. Hier sind Abstimmungen mit der zuständigen Behörde vorzunehmen.

# 10 Bewertung der Untersuchungsergebnisse

## 10.1 Vorbemerkung

Die Bewertung der Untersuchungsergebnisse erfolgt auf Grundlage der durchgeführten Feld- und Laboruntersuchungen sowie auf Grundlage von Erfahrungswerten. Die Feld- und Laboruntersuchungen stellen stichpunktartige Untersuchungen mit entsprechenden Einzelergebnissen dar. Deshalb sind neben diesen Untersuchungen auch Erfahrungswerte von Bedeutung und fließen im Nachfolgenden mit ein.

## 10.2 Felskategorien, boden- und felsmechanische Eigenschaften

Zur Beschreibung und Kategorisierung des anstehenden Gebirges nach den bautechnischen Eigenschaften wurde eine Einteilung in sechs Felszonen (V, A, B, C, D und Q) vorgenommen. Dabei wird unter V die größtenteils zu Lockergestein entfestigte Verwitterungszone des Keupers erfasst. Die Kategorien A, B und C beinhalten die eigentlichen Sandsteine des Keupergebirges, während unter D die Ton(stein)e und stark bindige Sandsteine und unter Q die sehr harten Sandsteinbänke oder Dolomit- bzw. Quackenbänke verstanden werden.

## **Kategorie V Verwitterungszone $q_u \approx 0$**

### Bezeichnung:

Verwitterter bzw. entfestigter Sand- und Tonstein, Faulfels mit sehr schlechter bis schlechter Kornbindung.

### Festigkeit:

Abgesehen von zwischengeschalteten festeren Bänken ist der Faulfels als Lockergestein anzusprechen. Der Übergang zum mürben Sandstein ist aber fließend.

### Konsistenz/Lagerungsdichte:

Erlaubt der Feinkornanteil eine Ansprache als bindiger Boden, ist die Konsistenz meist weich bis steif. Sandige Fazies ist mitteldicht bis dicht gelagert.

### Kornaufbau:

Häufig dem mürben Sandstein entsprechend, d.h. meist Fein- bis Mittelsand, schluffig, tonig, z.T. grobsandig. Mitunter sind plattige Partien, Bänke wenig verwitterten Sandsteins oder Sandsteinmaterial in steinig/blockiger Ausbildung im Verwitterungshorizont enthalten.

### Bindemittel:

Vorwiegend tonige (Illit, Kaolinit), untergeordnet calcitische oder dolomitische Bindung. Verkittung der größeren Körner. Das Bindemittel entspricht mineralogisch weitgehend den Keupertonen.

### Schichtungen und Klüftung:

Nicht mehr bis kaum erkennbar. Vereinzelt plattige Partien, Bänke wenig verwitterten Sandsteins oder Sandsteinmaterial mit noch erkennbarer Schichtung und Klüftung.

### Gewinnbarkeit:

Maschinell gut lösbar. In der Regel schwach abrasiv und abrasiv (verwitterte Sandsteine). Mit normalem und hohem Verschleiß auch an Fördereinrichtungen ist zu rechnen. Verwitterte Tonsteine in der Regel nicht abrasiv und kaum abrasiv (geringer Verschleiß).

### Wasserempfindlichkeit:

Wasserzutritte weichen die bindigen Bestandteile weiter auf.

## **Kategorie A                      mürber Sandstein                      $q_u < 1,5 \text{ MN/m}^2$**

### Bezeichnung:

Mürber, teils manganhaltiger Sandstein geringer Festigkeit mit überwiegend schlechter bis mäßiger Kornbindung. Bohrkerne sind häufig entfestigt, zerfallen beim Ausbau oder werden beim Bohren zerbohrt.

### Kornaufbau:

Fein- bis grobkörniger, oft poröser Sandstein, (entsprechend den Fraktionen Fein- bis Grobsand, gel. Kies), 40 bis 60 % Quarzanteil mit kantengerundeter Kornform, ca. 5 % bis 30 % Feldspäte, Feinkornanteil nach physikalischer Auflösung ca. 5 % bis 40 %, im Ausnahmefall auch höher. Übergang zu Kategorie D fließend.

### Bindemittel:

Vorwiegend tonige (Illit, Kaolinit) Verkittung der größeren Körner. Das Bindemittel entspricht mineralogisch weitgehend den Keupertonen. Im unverwitterten Zustand sind die Tonanteile meist zu Partikeln von Schluffkorngröße aggregiert.

Schichtung:

Söhlig gelagerte, z.T. dünnbankige Schichtung i.a. ohne ausgeprägte Schichtfugen, Scherfestigkeit parallel zur Schichtung geringer als senkrecht zur Schichtung.

Klüftung:

Infolge der geringen Festigkeit des Gesteins ist eine Klüftung im Bohrkern kaum erkennbar. Zu erwartende vereinzelte Klüfte haben meist nur geringe geotechnische Bedeutung. Geöffnete Klüfte können im Einzelfall stark Wasser führen.

Gewinnbarkeit:

Maschinell gut lösbar. Im gelösten Zustand bildet der mürbe Sandstein einen (bindigen) Lockerboden. In der Regel schwach abrasiv und abrasiv. Mit normalem und hohem Verschleiß auch an Fördereinrichtungen ist zu rechnen.

Wasserempfindlichkeit:

Mürber Sandstein ist wasserempfindlich. Bei Austrocknung und Wiederbefeuchtung oder bei mechanischer Beanspruchung verwittert der mürbe Sandstein sehr schnell. Er zerfällt dabei in einen bindigen Sand. Bei entsprechend hohem Feinkornanteil ist dieses verwitterte Material als leicht- bis hochplastischer Ton im Sinne von DIN 18196 anzusprechen.

**Kategorie B                      mittelharter Sandstein                       $1,5 \text{ MN/m}^2 \leq q_u < 5,0 \text{ MN/m}^2$**

Bezeichnung:

Sandstein mittlerer Festigkeit und überwiegend mäßiger Kornbindung, mittelharter Sandstein.

Kornaufbau:

In feinkörniger bis mittelkörniger, selten grobkörniger Fazies (entsprechend den Fraktionen Fein- bis Mittelsand, gel. Grobsand) vertreten. 40 bis 60 % Quarzanteil mit kantiger bis angerundeter Kornform, ca. 5 % bis 30 % Feldspäte, Feinkornanteil ca. 5 % bis 40 %.

Bindemittel:

Vorwiegend tonige (Illit, Kaolinit) Verkittung der Körner, untergeordnet calzitische oder dolomitische Bindung. Das Bindemittel entspricht mineralogisch weitgehend den Keupertonen. Im unverwitterten Zustand sind die Tonanteile meist zu Partikeln von Schluffkorngröße aggregiert.

Schichtung:

Söhlig gelagerte, meist dünnbankige Schichtung.

Klüftung:

Selten steil oder mit ca. 30° einfallende, meist geschlossene, in der Regel nicht von Bestegen belegte einzelne Klüfte untergeordneter Bedeutung. Geöffnete Klüfte können jedoch stark Wasser führen.

Gewinnbarkeit:

Maschinell gut lösbar. Im gelösten Zustand kann das Haufwerk - besonders bei feinkörniger Ausprägung - weiter zerfallen. In der Regel schwach abrasiv und abrasiv. Mit normalem und hohem Verschleiß auch an Fördereinrichtungen ist zu rechnen.

Wasserempfindlichkeit:

Sandstein der Kategorie B verliert seine Festigkeit bei Wasserzutritt nicht so schnell wie Sandstein A, dennoch gelten besonders bei den feinkörnigen Vertretern die für den Sandstein A genannten Hinweise.

**Kategorie C                    harter Sandstein                     $5,0 \text{ MN/m}^2 \leq q_u < 25 \text{ MN/m}^2$**

Bezeichnung:

Harter Sandstein mit meist guter Kornbindung.

Kornaufbau:

Nach bisherigen Erfahrungen meist mittel- bis grobkörnig, nur selten feinkörnig (entsprechen den Fraktionen Mittel-Grobsand bzw. Feinsand). 30 - 70 % Quarzanteil mit kantiger bis angerundeter Kornform, ca. 5 % bis 30 % Feldspäte, Feinkornanteil ca. 5 % bis 40 %.

Bindemittel:

Überwiegend sehr dichte kalzitisch-dolomitische, gelegentlich eisenoxidische, selten quarzitisches, nur untergeordnet tonige Verkittung der Körner.

Schichtung:

Söhlig gelagerte, dünn- bis dickbankige Schichtung, Schichtfugen z.T. geöffnet, isotropes Festigkeitsverhalten des Gesteins.

Klüftung:

Geschlossene, meist steil, nahezu senkrecht einfallende, sowie flacher mit ca. 30° einfallende, weitgehend geschlossene Klüftung, Kluftabstand im Meterbereich bis Zehnermeterbereich.

Gewinnbarkeit:

Maschinell noch lösbar. Mit sehr hohem Werkzeugverschleiß ist zu rechnen. In der Regel abrasiv und strak abrasiv. Mit hohem und sehr hohem Verschleiß auch an Fördereinrichtungen ist zu rechnen.

Wasserempfindlichkeit:

Sandstein der Kategorie C ist unempfindlich gegenüber Wasserzutritten. Bezüglich begleitender Schichten der Kategorien A und D gelten die dort angegebenen Regeln.

**Kategorie Q                    sehr harter Sandstein, Quacken                     $q_u \geq 25 \text{ MN/m}^2$**

Bezeichnung:

Sandstein, Quacken, Steinmergel, dolomitische Arkosen. Überwiegend mit guter bis sehr guter Kornbindung.

Kornaufbau:

Fein- bis grobkörnig, sehr dicht verkittet, ca. 30-70 % Quarzanteil, kantige bis angerundete Kornform, Feldspäte ca. 5-30 %, Feinkornanteil ca. 5 % bis 20 %.

Bindemittel:

Vorwiegend dolomitisch, teils calzitisch, untergeordnet quarzitisches oder eisenoxidisch. Kaum freier Porenraum.

Schichtung:

Quacken begleiten oft Keupertone in dünn- bis dickbankiger, nahezu horizontaler Schichtung. Mitunter sind sie im Sandstein nester-, zopf- oder knollenartig eingelagert.

Klüftung:

Dünne Quackenlagen sind oft durch engständige Klüfte zergliedert und daher leicht lösbar.



Gewinnbarkeit:

Maschinell mit leistungsfähigen Maschinen noch lösbar. In der Regel stark abrasiv. Mit sehr hohem Werkzeugverschleiß ist zu rechnen.

Wasserempfindlichkeit:

Quacken sind wasserunempfindlich. Bezüglich des Kontaktes zum Keuperton gelten die Angaben für Kategorie D.

**Kategorie D                      Keuperton/Tonstein                       $0 < q_u < 5 \text{ MN/m}^2$**

Bezeichnung:

Keuperton

Konsistenz:

Meist halbfest, z.T. fest, Übergang zu Tonstein bzw. Schluffstein. Im Bereich von Wasserwegigkeiten sind einzelne weiche bis steife Bereiche nicht auszuschließen.

Plastizität:

In Anlehnung an DIN 18196 sind die Keupertone in die Gruppen TL, TM und TA einzustufen. Untergeordnet ist mit quellfähigen Tonmineralen (Mixed Layer) zu rechnen.

Kornaufbau:

Feinkörnig (vorwiegend Schluffkorn, Tonfraktion und Feinsand). Quarzanteil i.a. kleiner als 30 %, Hauptbestandteil bilden zu Schluffkörnern aggregatisierte Tonmineralpartikel (vorwiegend Illit, Kaolinit). Als Nebenbestandteile der Tonfraktion treten Wechselschichtminerale (Mixed-Layer-Minerale) wie Corrensit auf, die bei Wasserzutritt und/oder Entlastung zum Quellen neigen.

Schichtung:

Als Zwischenlagen zeigen die Keupertone, wie die Sandsteine, vorwiegend horizontale Schichtung. Bei linsenförmigem Auftreten kommen Auskeilungen vor. Tonsteinartige Partien sind dünnbankig bis blättrig geschichtet, was häufig erst nach Entlastung erkennbar wird.

Klüftung:

Die latent vorhandene, nahezu vertikale Klüftung bildet sich aus, wenn frei entspannte Oberflächen längere Zeit ungeschützt stehen. Die Klüfte sind dann engständig, völlig durchtrennt und neigen dazu, sich zu öffnen.

Gewinnbarkeit:

Maschinell gut lösbar. Nach dem Lösen zerfällt der Tonstein in der Regel. Die Tonsteine sind als nicht und kaum abrasiv einzustufen. Es ist mit geringem Verschleiß auch an Fördereinrichtungen zu rechnen. Die Tone besitzen ein mittleres und überwiegend hohes Verklebungspotenzial. Die Tone erfordern i.a. einen hohen Separierungsaufwand, wenn sie aus einer Suspension abgetrennt werden müssen.

Wasserempfindlichkeit:

Der Keuperton erweicht unter Wassereinwirkung nach der Entspannung infolge des Ausbruchs. Er verliert dabei seine Festigkeit und neigt zum Quellen. Auch mechanische Beanspruchung und der Wechsel von Austrocknung und Befeuchtung führt zu rascher Verwitterung. Solchermaßen verwitterte Keupertone sind in Anlehnung an DIN 18196 als mittel- bis hochplastische Tone anzusprechen.

### 10.3 Baugrundmodell

Der Baugrund lässt sich nach den durchgeführten Untersuchungen vereinfacht in 4 Boden- bzw. Felszonen gliedern:

- **Zone A** **Auffüllung, vorwiegend locker bis sehr locker gelagert**
- **Zone Q** **Quartäre Talfüllungen**
- **Zone V** **Verwitterungszone, vorwiegend mitteldicht bis dicht gelagert**
- **Zone K** **Keuperfels, vorwiegend mittelhart (Kategorie B),  
bereichsweise eingelagerte Quacken (Kategorie Q), bereichs-  
weise zwischengeschaltete Ton-/Tonsteinlagen (Kategorie D)**

Auf Grundlage der vorgestellten Untersuchungsergebnisse ist für die geplante Baumaßnahme mit überwiegend tragfähigem bis gut tragfähigem Baugrund (Verwitterung, Keuperfels) in der Tiefe der geplanten Regenwasserkanäle und des Startschachts auszugehen. Im Bereich der B5 sowie dem freien Auslaufs zum geplanten Regenrückhaltebecken stehen wenig tragfähige Böden an. Auffällig sind die zum Teil sehr mächtige Entfestigung des Keuperfels sowie die Reliefierung der Felsoberkante (vgl. **Anlage 3.1**). Die Überlagerung umfasst die angetroffenen Auffüllungen, die quartären Talfüllung sowie die lockergesteinsähnliche Verwitterungszone V des Keupers. Der Übergang der einzelnen Schichten (vor allem zwischen den Zonen V und K) ist fließend.

Die inhomogene **Auffüllungszone (Zone A)** weist unterschiedliche Mächtigkeiten auf. Im Bereich der geplanten Baugruben reichen die Auffüllungen zwischen ca. 0,30 m bis ca. 1,20 m unter Gelände. Die Basis der Auffüllungen liegt zwischen ca. 370,74 mNN bis 384,60 mNN.

Die Mächtigkeit der fluviatilen Sedimente der quartären Talfüllung (**Zone Q**) nimmt nach Süden zu und variiert vermutlich in der Lagerungsdichte. Die Basis der 0,70 m bis 3,20 m mächtigen Sande, Schluffe und Tone liegt zwischen ca. 358,65 mNN und 373,14 mNN. Die Bodenzone Q wurde in den Bohrungen B1, B2 und B5 angetroffen. Das Vorkommen quartärer Deckschichten im weiteren Untersuchungsgebiet kann nicht ausgeschlossen werden.

In den Bohrungen folgt unter den fluviatilen bzw. anthropogenen Lockersedimenten die **Verwitterungszone des Keupers (Zone V)**.

Die Lockergesteine der **Zone V** (teilweise und vollständig entfestigte Sand- und Tonsteine sowie deren Verwitterungsprodukte) sind vorwiegend mitteldicht bis dicht gelagert und lassen sich mit der schweren Rammsonde durchteufen. Es treten nicht verwitterte, mürbe bis mittelharte bzw. feste Sand- und Tonsteine auf, die sich mit dem Trockenkernrohr durchteufen lassen und in der Kernkiste stückig zerbohrt vorliegen. Mit zunehmender Tiefe lässt sich eine dichte Lagerung feststellen. Die Mächtigkeit der Verwitterungsprodukte unterschiedlicher Festigkeit und Konsistenz beträgt größtenteils zwischen 0,60 und 4,20 m. Im Bereich des geplanten Rohrvortriebs lassen die Ergebnisse der Aufschlussbohrungen eine Gesamtmächtigkeit von > 4,00 m vermuten. Vereinzelt sind Quackennester anzutreffen, deren Verwitterungsbeständigkeit höher ist als die der umgebenden Sand- und Tonsteine und die deshalb in Einzelfällen nicht durchrammt werden konnten.

Die Basis bilden die überwiegend mittelharten, teilweise harten oder mürben Schichten der **Keuperfelszone K**, die zum Großteil bis in die Endtiefen erkundet wurden. Die Oberkante der ersten rammfesten Lage (= OK Fels) wurde zwischen ca. 357 mNN und 381,69 mNN festgestellt. Felsqualität und Kerngewinn variieren in horizontaler und vertikaler Richtung. Entfestigte Bereiche treten meist im Zusammenhang mit geringen Druckfestigkeiten des Gesteins und eingelagerten Quackennestern auf.

Zwischengeschaltet sind insbesondere im nördlichen Bereich des geplanten Baugebiets „Kirchsteigfeld“ durchhaltende und stellenweise auskeilende Keupertone und Tonsteinpakete wechselnder Konsistenz und Festigkeit anzutreffen.

Im Keuperuntergrund ist generell aufgrund des raschen vertikalen und horizontalen Fazieswechsels generell mit unregelmäßigen Einlagerungen von Ton/Tonstein zu rechnen, die mit den Aufschlussbohrungen in begrenztem Umfang erkundet wurden.

#### 10.4 Hydrogeologie

Im nördlichen Bereich des Bauvorhabens (Baugebiet Kirchsteigfeld, Lärmschutzwand, B12) wurde zum Zeitpunkt der Untersuchungen Schichtwasser (nachfolgend als Grundwasser beschrieben) in der Verwitterungszone V angetroffen. Im Bereich des geplanten Regenrückhaltebeckens (B1) korreliert der Grundwasserhorizont mit der Oberfläche der Verwitterung (Zone V). In den restlichen Bohrungen wurde zum Zeitpunkt der Untersuchungen kein Grundwasser angetroffen.

Die Grundwasseroberfläche liegt vermutlich innerhalb der Keuperfelssschichten bzw. korreliert mit der Oberfläche der Verwitterung. Lokale Schichtwasserzutritte sind nicht auszuschließen.

Es kann u. U. zu einem Anstieg des Grundwassers bis in die Lockergesteinsschichten der Zonen V, Q und A kommen.

Nach den durchgeführten Untersuchungen liegt der geplante Vortrieb vollständig, die einzubringenden Regenwasserkänale in offener Bauweise zum Großteil oberhalb des Grundwasserspiegels.

Die überwiegend bindigen Auffüllungen und Lockergesteinsschichten (Zonen A, Q und V) sind als schwach durchlässiger Porengrundwasserleiter zu betrachten.

Der Keuperuntergrund (Zone K) stellt sich vorrangig als Kluftgrundwasserleiter dar. Die bindigen Schichten des Keupers (schluffig-tonige Sandsteine und Keupertone/-tonsteine) können als Wasserstauer wirken. Lokale Grundwasserlinsen sind nicht auszuschließen. Im Grundwasserleiter herrschen überwiegend freie Grundwasserdruckverhältnisse.

Die Durchlässigkeit des Kluftgrundwasserleiters ist in vertikaler Richtung deutlich geringer als in horizontaler Richtung, die Größenordnung dieser Differenz beträgt erfahrungsgemäß ca. eine Zehnerpotenz. Auf Grundlage von Erfahrungswerten kann von folgenden Werten für die Durchlässigkeit des Blasensandsteins i.w.S. ausgegangen werden:

- Durchlässigkeit horizontal:  $k_h =$  ca.  $1 \times 10^{-5}$  m/s bis  $1 \times 10^{-6}$  m/s
- Durchlässigkeit vertikal:  $k_v =$  ca.  $1 \times 10^{-6}$  m/s bis  $1 \times 10^{-7}$  m/s

Bei der Bewertung ist zu berücksichtigen, dass es sich bei dem Grundwasserleiter nicht um einen homogenen Aquifer, sondern um einen anisotropen Kluftgrundwasserleiter handelt. Erfahrungsgemäß ist im Grundwasser innerhalb des Keupergebirges mit erhöhten Eisen- und Mangangehalten zu rechnen.

Intensitätsschwankungen des Grundwasserchemismus sind nicht gänzlich auszuschließen.

## 10.5 Bodenkennwerte

Die charakteristischen Bodenkennwerte für die erkundeten Baugrundsichten sind in nachfolgender Tabelle zusammengestellt:

**Tabelle 22:** Charakteristische Bodenkennwerte für Boden- und Felsschichten

Bodenart	Lagerungsdichte Konsistenz Festigkeit	Wichte		Reibungswinkel $\phi'_k$ [°]	effektive Kohäsion $c'_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m <sup>2</sup> ]
		$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]			
Auffüllung	sehr locker, locker	18	10	30	0	5 - 30
Sande, Schluffe, Tone	sehr locker bis mitteldicht	19	9	25	0	5 - 20
Verwitterung	mitteldicht, dicht	20	11	32,5	10	30 - 60
Sandstein	mürbe	22	13	35	50	60 - 120
	mittelhart	23	14	37,5	300	120 - 200
	hart	24	15	40	1000	200 - 2000
Ton/Tonstein	fest / mürbe	22	13	30 - 35	10 - 50	40 - 80

Für geotechnische Berechnungen können vereinfacht folgende charakteristische Bodenkennwerte für das definierte Baugrundmodell gemäß nachfolgender Tabelle angesetzt werden:

**Tabelle 23:** Charakteristische Bodenkennwerte für Boden- und Felszonen

Boden- und Fels- zonen	Beschreibung	Wichte		Reibungs- winkel $\phi'_k$ [°]	effektive Kohäsion $c'_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m <sup>2</sup> ]
		$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]			
<b>Zone A</b>	<b>Auffüllungen</b>	18	10	30	0	5 - 30
<b>Zone Q</b>	<b>Quartäre Talfüllungen</b>	19	9	25	0	5 - 20
<b>Zone V</b>	<b>Verwitterungszone</b>	20	11	32,5	5 - 10	30-60
<b>Zone K</b>	<b>Keuperfels, vorwiegend mittelhart</b>	23	14	37,5	50 - 100	120-200

Zur Abgrenzung zwischen Verwitterungszone (Zone V) und Keuperfelszone (Zone K) ist die in **Anlage 3** eingetragene Felslinie (OK-Fels, interpoliert) zu verwenden.

## 10.6 Bemessungswasserstände

Als Bemessungswasserstand für Bauwerke empfehlen wir den Wasserstand anzusetzen, der sich aus den Untersuchungsergebnissen ableiten lässt, zuzüglich eines Zu- bzw. Abschlags von  $\Delta h = \pm 2,0$  m.

Als minimalen Wasserstand empfehlen wir den Ansatz des Grundwassers unmittelbar unterhalb der jeweiligen Bauwerkssohle bzw. Rohrsohle.

## 10.7 Bodenklassifizierung

Die Zuordnung der Bodengruppen nach DIN 18196 erfolgte auf Basis der Durchsicht der Bodenproben nach visueller Beurteilung, der genauere Angaben infolge der Laborversuchsergebnisse sowie auf Grundlage von Erfahrungswerten.

Die aufgeschlossenen Boden- und Felsschichten sind nach der gültigen Norm DIN 18196 eingruppiert und nach der beschriebenen Felsschichtklassifizierung kategorisiert. Die Angabe zu Bodengruppen und zur Frostempfindlichkeit für die Felszonen gilt für das Felsmaterial nach mechanischer Auflösung.

Die Angabe von Boden- und Felsschichten nach der VOB 2012 erfolgt informativ. Eine Empfehlung für die Einteilung in Homogenbereiche im Sinne der VOB 2016 erfolgt im weiteren Verlauf des Gutachtens.

Auffüllungen, Oberflächenbefestigungen (Straßenbelag) und Bauwerksrelikte sind nach DIN 18300 nicht zu klassifizieren. Auf solche Massen ist in der Ausschreibung gesondert einzugehen. Die Auffüllungen wurden hinsichtlich ihrer Lösbarkeit mit den Bodenklassen nach DIN 18300 verglichen.

**Tabelle 16:** Bodenklassifizierung

Boden- und Felszonen	Bodengruppen DIN 18196	Bodenklassen DIN 18300	Bodenklassen DIN 18301	Bodenklassen DIN 18319	Frostempfindlichkeit ZTVE-StB 09
<b>Oberboden</b>	OH	1	BO1	-	-
<b>A</b> Auffüllung, vorwiegend sehr locker bis locker	[SE], [SI], [SU], [SW], [GW], [ST], [SU*], [ST*], [TL], [UL], [X], [OH]	vergleichbar 3-4, (5),	BN1+2, BB2+3, BS1, (BS3)	-	F1 - F3
<b>Q</b> Talfüllungen	SE, SI, SW, SU, SU*, ST, ST*, UL, UM, (UA), TL, TM, (TA), X	3, 4	BN1+2, BB2+3, (BS1)	LNE1+2, LNW1+2, LBM2+3, P1, (P2), S1	F1 - F3
<b>V</b> Verwitterung, vorwiegend mitteldicht bis dicht	SE, SI, SW, SU, SU*, ST, ST*, UL, UM, TL, TM, (TA), X	3-6	BN1+2, BB2+3, BS1, FV1, (FV2)	LNE2(3), LNW2(3), LN2(3), LBM2+3, S1, P1, (P2), (FZ1), (FD1)	F1 - F3
<b>K2</b> Sandstein, vorwiegend mittelhart	Z, nach Auflösung: SE, SI, SW, SU, SU*, ST, ST* UL, UM, UA TL, TM, (TA), X	6, 7	FV1-3, FD1, (FD2), BB3+4, BS1, FV1-3, FD1, (FD2)	FZ1(2), FD1(2) LBM2+3; S1, P1, (P2), FZ1, (FZ2), FD1 (FD2)	F1 - F3 (entfestigte Zonen)

Angaben in Klammern ( ) = Auftreten in untergeordnetem Umfang

Festgesteine der Felsklassen FV4-6/FD3-5 (Bohrarbeiten) bzw. Felsklassen FZ3-4/FD3-4 (Rohrvortriebsarbeiten) sind nicht zu erwarten, können jedoch nicht völlig ausgeschlossen werden. Die Klassen FZ2 und FD2 können bei den Rohrvortriebsarbeiten untergeordnet auftreten, da bei den Laborversuchen die maximal festgestellte Druckfestigkeit der Sandsteinproben ( $\sigma_u = 37,92 \text{ MN/m}^2$ ) im Bereich der Einordnung in die Klassen FZ/FD2 lag.

Für die Abgrenzung von leicht lösbarem und schwer lösbarem Fels nach DIN 18300 wurde bisher folgende Festlegung in der Ausschreibung empfohlen:

*Falls die Gefügeeigenschaften des Gebirges bei hartem Gestein nicht eine Einstufung in Klasse 6 bedingen (Trennflächenabstand  $d \leq 30 \text{ cm}$ ), wird eine einaxiale Druckfestigkeit*

*$\sigma_u \geq 5 \text{ MN/m}^2$  als hohe Gefügefestigkeit im Sinne der DIN 18300 definiert und als Abgrenzungskriterium zwischen den Bodenklassen 6 und 7 verwendet.*

Weiter ist zu beachten, dass die mürben und mittelharten Keupergesteine häufig eine ausgeprägte Zähigkeit aufweisen, was die Aushubarbeiten erschwert. Die harten und sehr harten Felszonen zeigen meist ein vergleichsweise sprödes Verhalten.

Eine abschließende Klassifizierung kann in der Baugrube erfolgen. Nach obiger Definition ist die Zone K im Wesentlichen der Bodenklasse 6 zuzuordnen, wobei anzumerken ist, dass ggfs. hier bereits der Einsatz von Meißel- bzw. Fräsarbeit erforderlich ist. Sprengungen zum Lösen des Festgesteins sind erfahrungsgemäß nicht erforderlich.

Für Böden der Klasse LBM 3 ist von einer 1-axialen Druckfestigkeit von  $\sigma_u = 0,4 - 5,0 \text{ MN/m}^2$  auszugehen.

## 10.8 Homogenbereiche

Voraussetzung für die Zuordnung von relevanten Boden- und Felszonen zu Homogenbereichen entsprechend VOB 2016 ist die Kenntnis der zu erwartenden Bauverfahren. Unter Berücksichtigung der Randbedingungen der Bauaufgabe und nach Abstimmung mit dem Planer sind folgende Tiefbau- und Spezialtiefbauarbeiten durchzuführen:

- |                                    |               |
|------------------------------------|---------------|
| • Erdarbeiten                      | ATV DIN 18300 |
| • Verbauarbeiten                   | ATV DIN 18303 |
| • Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten | ATV DIN 18304 |
| • Rohrvortriebsarbeiten            | ATV DIN 18319 |

Wir empfehlen bei dem vorliegenden Projekt die Einteilung der Homogenbereiche entsprechend den beschriebenen Boden- und Felszonen vorzunehmen. Die Einteilung der Homogenbereiche orientiert sich an den festgestellten Boden- und Felszonen, wie sie in die geologischen Schnitte (**Anlagengruppe 3**) eingetragen sind.

Eine tabellarische Zusammenstellung der Kennwerte und Eigenschaften der Homogenbereiche mit entsprechenden Bandbreiten, die zugehörigen Körnungsbänder sowie eine Empfehlung für



die Zusammenfassung von Homogenbereichen in Ausschreibungspositionen sind als **Anlagen-  
gruppe 16** beigefügt.

Es ist darauf hinzuweisen, dass sich einzelne Homogenbereiche durch ihre Inhomogenität auszeichnen (z.B. Zone V), da hier grobkörnige, gemischtkörnige und feinkörnige Böden in Wechsellagen auftreten und eine Differenzierung dieser Böden bautechnisch nicht möglich ist. Die übrigen Homogenbereiche lassen sich versuchstechnisch vergleichsweise gut abgrenzen (siehe Kennwerte und Eigenschaften, Körnungsbänder), treten jedoch in situ erfahrungsgemäß mit fließenden Übergängen auf.

Es wird darauf hingewiesen, dass es sich bei den angegebenen Kennwerten nicht um charakteristische Boden- und Felskennwerte für statische Berechnungen handelt.

## 10.9 Schadstoffe

Die Ergebnisse der Orientierenden Untersuchung gemäß LAGA M20 sind in **Anlage 15** zusammengestellt. Das untersuchte Bodenmaterial hält die Zuordnungswerte Z0 der LAGA M20 ein.

Es sind Haufwerksbeprobungen durchzuführen. Danach kann eine entsprechende Einstufung zur Entsorgung (Verwertung oder Beseitigung) stattfinden.

Bei organoleptisch auffälligem Material empfehlen wir unmittelbar einen Sachverständigen für Altlasten nach §18 BBodSchG hinzuzuziehen.

Die unterhalb der Auffüllungen und Lockergesteinsschichten anstehenden Felsschichten wurden nicht untersucht. Es wird davon ausgegangen, dass der anstehende Fels ebenfalls die Zuordnungswerte Z0 der LAGA M20 einhält.

## 10.10 Kampfmittelräumung

Bezüglich Kriegseinwirkungen auf die Untersuchungsfläche liegen uns keine Unterlagen vor. Kampfmittel im Einflussbereich der Baumaßnahme sind grundsätzlich nicht auszuschließen. Sollte sich ein Kampfmittelverdacht ergeben, verweisen wir bezüglich der weiteren Vorgehens-

weise bei Kampfmittelverdacht auf Baustellen auf die seit dem Jahr 2012 in Kraft getretene ATV DIN 18323 „Kampfmittelräumarbeiten“.

## 11 Folgerungen, Hinweise und Empfehlungen

### 11.1 Überblick

Die **Baugrunderkundungen** haben gezeigt, dass im Baufeld "Kirchsteigfeld" unter Oberboden, oberflächennahen Auffüllungen bzw. quartären Deckschichten die Verwitterungszone und der Keuperfels als tragfähiger Baugrund ansteht. Es wurde eine relativ tiefreichende Verwitterungszone erschlossen.

Die Baumaßnahme gliedert sich in das eigentliche Baufeld „Kirchsteigfeld“, den Rohrvortrieb und das Regenrückhaltebecken:

Das Auftreten von **Grundwasser** in Form von Schicht- oder Stauwasser über dem Keuper bzw. in den Lockergesteinsschichten ist nicht auszuschließen. Bezüglich der Grundwasserzutritte aus dem Sandstein verweisen wir auf die entsprechenden Kapitel zur Hydrogeologie.

### 11.2 Kanalverlegung im offenen Rohrgraben

Im Baugebiet „Kirchsteigfeld“ stehen erste tragfähige Schichten (Verwitterungszone V, mitteldicht bis dicht gelagert) relativ oberflächennah an. Die geplanten **Gründungsebenen** (vgl. 4.1) der geplanten Rohrgräben liegen in der Tiefe der tragfähigen Verwitterungs- bzw. Keuperfelszone.

Die neu zu erstellenden Regenwasserkanäle im Zuge der Bauplatzerschließung sollen in offener Bauweise mithilfe eines geeigneten Grabenverbaugeräts nach DIN 4124 hergestellt werden.

Innerhalb der Kanalgräben ist insbesondere im nördlichen Bereich des Baugebiets „Kirchsteigfeld“ mit Schicht- und Stauwasserzutritten zu rechnen. Bei den anstehenden Baugrund- und Grundwasserverhältnissen ist eine offene Wasserhaltung ausreichend. Die anfallenden Was-

sermengen (Schicht- und Stauwasser) werden erfahrungsgemäß mit  $Q = 1 - 2 \text{ l}/100 \text{ m}$  abgeschätzt.

Für den Nachweis der Auftriebssicherheit empfehlen wir für die statische Bemessung der Schachtbauwerke den Bemessungswasserstand = GOK anzusetzen. Im Kanalgraben sind Dichtschürzen bzw. Querriegel im Abstand von 50 m vorzusehen.

Bezüglich der Ausführung sind die Bestimmungen der DIN 4124 und DIN EN 1610 in aktueller Fassung zu beachten.

### **11.3 Straßen- und Verkehrswegebau**

Bezüglich der Ausführung des projektierten Straßen- und Verkehrswegebaus sind die Bestimmungen der RStO 12 in aktueller Fassung zu beachten, soweit Forderungen der Ausschreibung nicht darüber hinausgehen.

Für die Einstufung der angetroffenen Baugrundsichten in die Forstempfindlichkeitsklassen nach ZTVE-StB 09 (vgl. Tabelle 16) im Rahmen der Ausschreibung ist die Frostempfindlichkeitsklasse F3 maßgeblich.

Auf die schlechten Verdichtungseigenschaften der bindigen Böden der Überlagerung, des Keuperersatzes und der Sandsteine mit hohem Feinkornanteil mit entsprechender Wasserempfindlichkeit wird hingewiesen. Das Aushubmaterial ist voraussichtlich nicht für den Straßen- und Verkehrswegebau geeignet.

### **11.4 Rohrvortrieb**

Bezüglich der Ausführung der Rohrvortriebsarbeiten sind die Bestimmungen des Arbeitsblattes DWA-A 125 „Rohrvortrieb und verwandte Verfahren“ in aktueller Fassung zu beachten, soweit Forderungen der Ausschreibung nicht darüber hinausgehen.

Der Anfahrtsbereich des geplanten Rohrvortriebs liegt vollständig in den Lockergesteinsschichten (Zone Q/ Zone V). In Vortriebsrichtung werden zunächst Auffüllungen unbekannter Lagerungsdichte und die Verwitterungszone durchfahren.

Das Einsetzen des ersten rammfesten Felshorizonts wird in Anlehnung an die vermutete ehemalige Geländemorphologie ca. auf halber Vortriebsstrecke erwartet. Bedingt durch den Geländeverlauf nimmt die Felsüberdeckung in Vortriebsrichtung zu.

In der Tiefenlage des **Rohrvortriebs** sind überwiegend mürbe, untergeordnet harte, klüftige Sandsteine mit unregelmäßig auftretenden Quackenzwischenlagen und -nestern in Wechsellaagerung mit feinsandigem Tonstein zu erwarten. Die Ton-/ Tonsteinlagen erstrecken sich nach derzeitigem Planungsstand über den gesamten Rohrquerschnitt.

Aufgrund der anstehenden Untergrund- und Grundwasserverhältnisse sowie der projektspezifischen Randbedingungen (Durchmesser, Vortriebslängen, etc.) empfehlen wir den Rohrvortrieb als **steuerbaren Mikrotunnelbau mit Spülförderung** auszuführen.

Im Bereich des Vortriebs kann Schicht- und Stauwasser auftreten. Der Wasserstand nach Beendigung der Bohrarbeiten (B1) liegt unterhalb der geplanten Rohrsohle. In B2 und B3 wurde im Zuge der Aufschlussarbeiten kein Grundwasser (bzw. Schicht- und Stauwasser) angetroffen.

Aufgrund von möglichen Verbesserungsmaßnahmen im Zuge der Bahndammherstellung kann die Bergung von Hindernissen im Untergrund nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

#### 11.4.1 Baugrubenverbau und Wasserhaltung

Es sind insgesamt zwei Baugruben für den Rohrvortrieb herzustellen.

Als **Startgrube** (lichte Weite ca. 3,50 x 5,00 m) ist ein Spundwandverbau vorgesehen. In der Startbaugrube ist eine Widerlagerkonstruktion vorzusehen. Es ist ein Bodenaufleger (verdichtete Erdanschüttung) nach statischer Erfordernis herzustellen und bei der Bemessung des Spundwandverbaus zu berücksichtigen. Neben der Hangstabilität ist mithilfe der Vorschüttung eine ausreichende Überdeckung zu gewährleisten. Die Startgrube sollte zudem außerhalb der ideellen Böschungslinie angeordnet werden.

Die Sicherung der **Zielgrube** ( $\varnothing =$  ca. 4,00 m) kann nach Vorabtrag mit einer bewehrten Spritzbetonschale, mit Ableitung möglicher Schicht- und Stauwasserzutritte auf gesamte Tiefe der

Baugrube erfolgen. Zur Ableitung des Wassers zwischen Gebirge und der Spritzbetonschale werden vertikale Dränmattenstreifen empfohlen.

Für die Zielbaugrube werden Wasserhaltungsmaßnahmen (Restwasserhaltung) nur bei Zutritt von Schicht- und Stauwasserzutritten bzw. in Abhängigkeit vom Grundwasserstand während der Bauausführung erforderlich. Eine offene Wasserhaltung ist ausreichend.

Erfahrungsgemäß werden die anfallenden Wassermengen (Schicht- und Stauwasser) mit  $Q = 1 - 3 \text{ l/s}$  je Baugrube abgeschätzt. In der Startgrube werden dabei größere Mengen erwartet als in der Zielgrube. Mehr- oder Mindermengen können nicht ausgeschlossen werden und sind in der Ausschreibung entsprechend zu berücksichtigen.

Die Wässer aus der Wasserhaltung sind über ausreichend dimensionierte Absetzbecken zu leiten. Die Einleitungsgrenzwerte sind mit der Genehmigungsbehörde im Vorfeld der Baumaßnahme abzustimmen. Die Einhaltung dieser Werte ist zu überprüfen und die Absetzanlage ggf. zu optimieren. Auf die erfahrungsgemäß hohe Feinteilfracht im geförderten Wasser während der Aushubarbeiten (offene Wasserhaltung) ist hinzuweisen. Wir empfehlen das Wasserhaltungskonzept mit dem geotechnischen Sachverständigen abzustimmen.

Für die neu zu erstellenden Anschlusskanäle ist ein Schachtbauwerk erforderlich. Die Gründungssohle des geplanten Schachtbauwerks liegt voraussichtlich in der Tiefe der der Keuperfelszone K. Die Gründung kann über eine Sauberkeitsschicht auf dem anstehenden Baugrund ausgeführt werden. Dieser ist gut tragfähig und zur Gründung geeignet. Sollten in der Gründungssohle Keupertone oder aufgeweichte, bindige Schichten angetroffen werden, sind diese zu entfernen und gegen Magerbeton zu ersetzen.

#### 11.4.2 Vorstatik Vortriebsrohre

Für die Stahlbeton-Vortriebsrohre DN 800 ( $D_a = 1,10 \text{ m}$ , Rohrlänge  $L = 3,00 \text{ m}$ ) wurde eine Vorstatik gerechnet (vgl. **Anlage 17**).

Die maximal zulässige Vorpresskraft (gerade Strecke) wurde mit  $F_{zul} = 2.271 \text{ kN}$  ermittelt.

Die Vorstatik dient ausschließlich Ausschreibungszwecken. Für die Bauausführung ist davon unabhängig eine prüffähige Ausführungsstatik zu erstellen.

### 11.4.3 Setzungen

Setzungen am Gelände in Folge der Vortriebsarbeiten sind nicht völlig zu vermeiden. Zur Abschätzung der zu erwartenden Setzungen am Gleisbett wurde eine Setzungsermittlungen nach SCHERLE (empirische Formeln) durchgeführt. Die Berechnungsergebnisse sind als **Anlage 18** beigefügt.

Die Überdeckungshöhe weist nach derzeitigem Planungsstand ein Maß von  $\ddot{u} = 5,80$  m auf.

Danach ergeben sich unter Berücksichtigung der minimalen Überdeckungshöhe von  $\ddot{u} = 5,80$  m rechnerische Setzungen von ca. 3,60 mm über der Rohrachse am Gelände (Breite der Setzungsmulde:  $b \approx 8,43$  m; Neigung der Setzungsmulde:  $\Delta s/\Delta l = 1/1161$ ).

### 11.4.4 Vortriebsverfahren

Aufgrund der anstehenden Untergrund- und Grundwasserverhältnisse wird die Durchführung der Rohrvortriebe als **steuerbarer Mikrotunnelbau mit Spülförderung** nach DWA A-125, Abschnitt 6.1.3.1.3, empfohlen.

Bei der Konzeption der Maschine und des Schneidrades sowie der Auswahl der Abbauwerkzeuge sind die wechselnden Gebirgseigenschaften in der Tiefenlage des Vortriebs (Keuperfelszone K, Verwitterungszone V und Quartäre Talfüllungen Q) und das vorwiegend abrasive Sandsteinmaterial sowie das mittlere bis hohe Verklebungspotential der Tonsteine zu berücksichtigen (vgl. auch Kap. 10.2). Eine geeignete Bedüsung im Maschinenbereich ist insbesondere wegen der anstehenden Keupertone und bindigen Sandsteine zwingend erforderlich.

Im Anfahrtsbereich des geplanten Rohrvortriebs DN 800 liegt die Überdeckung bei  $\ddot{u} < 2$  m (Mindestüberdeckung). Das Maß der Überdeckung nimmt kontinuierlich mit der Vortriebslänge zu.

Die Empfehlungen der DWA-A 125, Anlage B, bezüglich der empfohlenen Mindestüberdeckung werden im Anfahrtsbereich unterschritten. Deshalb können Sondermaßnahmen zur Gewährleistung einer ausreichenden Überdeckungshöhe (Erdaufschüttung) im Anfahrtsbereich des Vortriebs bzw. am Hangfuß der Bahnlinie Fürth (Bay) Hbf - Markt Erlbach, erforderlich werden.

#### **11.4.5 Dokumentation**

Eine Dokumentation der Vortriebsparameter ist, unabhängig vom Vortriebsverfahren, gemäß Arbeitsblatt DWA-A 125 (Abschnitt 7.2.6) durchzuführen. Zur Kontrolle des Vortriebs sind laufend alle relevanten Vortriebsvorgänge und Vortriebsparameter zu erfassen und zu protokollieren.

#### **11.5 Regenrückhaltebecken**

Der geplante freie Auslauf bindet in die wenig tragfähigen quartären Talfüllungen (Zone Q) ein. Er in ein neu zu errichtendes Erdbecken, das hangseitig aufgrund des geringen Gefälles durch Aushub modelliert werden soll. Zum Vorfluter hin wird das Regenrückhaltebecken durch einen aufzuschüttenden Damm begrenzt. Die Kronenbreite soll dabei ca. 2 m (Betriebsweg), die maximale Aufstandshöhe 2,00 – 2,50 m betragen. Die Abdichtung des Bauwerks soll nach derzeitigem Planungsstand mit Dichtfolie und Bentonitmatten erfolgen.

Die Standsicherheit des Dammes muss gewährleistet sein.

Die Gründungssohle des geplanten Regenrückhaltebeckens ist derzeit noch nicht bekannt. Bis 3,40 m u. GOK stehen wenig tragfähige Böden (quartäre Talfüllungen) an. U.U. bindet das geplante Erdbecken in das Grundwasser ein.

Zur Herstellung des Dammes soll Abbaumaterial verwendet werden.

Aus bodenmechanischer Sicht und bezüglich der Einordnung nach LAGA M20 können die gewachsenen Böden für einen Wiedereinbau generell verwendet werden. Für die Herstellung des Damms südlich des Regenrückhaltebeckens wird voraussichtlich zusätzliches Aufschüttmaterial benötigt, bzw. ist ggfs. eine Bodenverbesserung nötig.

Auf eine fachgerechte Zwischenlagerung zur Vermeidung von Durchnässung ist wegen der bindigen Anteile der Böden zu achten.

### **11.6 Bemessungshinweise**

Für den Entwurf und die Bemessung der Baugrubensicherungen sind DIN 4124 und die "Empfehlungen des Arbeitskreises Baugruben (EAB)" der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) in neuester Fassung zu berücksichtigen. Alle Verbaukonstruktionen sind statisch nachzuweisen. Bauwerkslasten oder sonstige ständige Lasten sind im Einflussbereich der Baugruben für die Vortriebe nicht vorhanden. Ungünstige Verkehrslasteinflüsse (Erddruck aus Baggerlast bzw. Straßenverkehr) sind zu berücksichtigen.

Der statische Nachweis der Rohre im Vortriebsverfahren erfolgt nach DWA-A 161, für Anschlussbereiche in offener Bauweise nach ATV-A 127. Für die Ausbildung der Gründung der Rohrleitungen in offener Bauweise sind die Angaben der DIN EN 1610 zu beachten.

Als Bemessungswasserstand für den Endzustand empfehlen wir die im Geologischen Längsschnitt eingetragene Grundwasserstand zuzüglich eines Zuschlages von  $\Delta h = +2,0$  m anzusetzen.

## **12 Beweissicherung und Kontrollen**

Zur Beurteilung von evtl. Schadenersatzforderungen Dritter sollte vor Beginn des Rohrvortriebs eine Beweissicherung stattfinden. Im Bereich der Vortriebsstrecke empfehlen wir Setzungsbeobachtungen durchzuführen, um die Verformungsentwicklung an der Geländeoberkante zu beobachten.



## 12 Beweissicherung und Kontrollen

Zur Beurteilung von evtl. Schadenersatzforderungen Dritter sollte vor Beginn des Rohrvortriebs eine Beweissicherung stattfinden. Im Bereich der Vortriebsstrecke empfehlen wir Setzungsbeobachtungen durchzuführen, um die Verformungsentwicklung an der Geländeoberkante zu beobachten.

## 13 Schlussbemerkung

Der vorliegende Bericht beschreibt die Ergebnisse der Erkundung des Baugebiets „Kirchsteigfeld“ im Ortsteil Eschenbach. Für das geplante Projekt wurde eine Baugrunduntersuchung durchgeführt und ein geotechnischer Bericht erstellt. Untergrund- und Grundwasserverhältnisse wurden anhand von Feld- und Laborversuchen untersucht und bewertet. Es werden Folgerungen, Hinweise und Empfehlungen für die Herstellung der geplanten Baugruben und Kanalgräben, für die Ausführung der Vortriebsarbeiten sowie für die erforderlichen Wasserhaltungsmaßnahmen während der Bauzeit mitgeteilt.

Für weitere Auskünfte zu geotechnischen Fragestellungen im Zuge der Ausschreibung und zur Diskussion der seitens der Anbieter vorgeschlagenen Bauverfahren sowie eventueller Sonderanschläge stehen wir zur Verfügung. Sollten im Zuge der Ausführungsphase Abweichungen von den dargestellten Verhältnissen auftreten, bitten wir um Benachrichtigung.

TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH  
Grundbau



Dipl.-Ing. (FH) D. Straußberger  
Geschäftsfeldleiter  
Grundbau/Statik/Projekte

Sachverständige:



Dipl.-Geol. A. Prieß

## Anlagenverzeichnis

<b>Anlage 1</b>	Übersichtslageplan M 1:10.000	1 Plan
<b>Anlage 2</b>	Lageplan M 1:1.000	1 Plan
<b>Anlage 3</b>	Geologische Schnitte	
<b>Anlage 3.1</b>	Geologischer Längsschnitt M 1:100/ 1.000	1 Plan
<b>Anlage 3.2</b>	Geologischer Querschnitt M 1:100/ 200	1 Plan
<b>Anlage 4</b>	Schichtenverzeichnisse	38 Seiten
<b>Anlage 5</b>	Fotodokumentation der Bodenaufschlüsse	11 Seiten
<b>Anlage 6</b>	Auswertung Kerngewinn und RQD-Werte	6 Seiten
<b>Anlage 7</b>	Rammdiagramme DPH	6 Seiten
<b>Anlage 8</b>	Vermessungsprotokoll	1 Seite
<b>Anlage 9</b>	Laborversuche Bodenmechanik - Korngrößenverteilungen	17 Seiten
<b>Anlage 10</b>	Laborversuche Bodenmechanik - Wassergehalt, Fließ-/Ausrollgrenze	3 Seiten
<b>Anlage 11</b>	Laborversuche Bodenmechanik - Glühverlust	3 Seiten
<b>Anlage 12</b>	Laborversuche Felsmechanik - einaxiale Druckversuche	3 Seiten
<b>Anlage 13</b>	Laborversuche Felsmechanik - Punktlastversuche	1 Seite
<b>Anlage 14</b>	Laborversuche Felsmechanik - Abrasivität	3 Seiten
<b>Anlage 15</b>	Orientierende Untersuchung von Boden gemäß LAGA M20	36 Seiten
<b>Anlage 16</b>	Homogenbereiche, VOB 2016	
<b>Anlage 16.1</b>	Homogenbereiche, Übersicht und Empfehlung	1 Seite
<b>Anlage 16.2</b>	Homogenbereiche, Eigenschaften und Kennwerte	2 Seiten
<b>Anlage 16.3</b>	Homogenbereiche, Körnungsbänder	5 Seiten
<b>Anlage 17.1</b>	Vorstatik Vortriebsrohre DN 800	
<b>Anlage 17.1</b>	Vorstatik Vortriebsrohre DN 800 - Übersicht	6 Seiten
<b>Anlage 17.1</b>	Vorstatik Vortriebsrohre DN 800 - Berechnung	16 Seiten
<b>Anlage 18</b>	Setzungsermittlung	1 Seite