



Ingenieurgesellschaft
Quadriga mbH
Monnetstraße 24
52146 Würselen
Tel.: 0 24 05 / 8 02 90 - 0
Fax: 0 24 05 / 8 02 90 - 29
e-mail: info@IQ-mbH.de
www.IQ-mbH.de

 Ingenieurgesellschaft Quadriga mbH

Entwicklungsgesellschaft Langerwehe mbH
Schönthaler Straße 4

52379 Langerwehe

Monnetstraße 24 • 52146 Würselen

Projekt
2018-08-12
LSeGa19-02-28Langerwehe

Ihr(e) Ansprechpartner
Holger Seeberger/Lydia Seiffert

28. Februar 2019

Baumaßnahme: Langerwehe, Erschließung Wohngebiet Rymelsberg Baugrund- und hydrogeologische Erkundung

1 Vorgang, Aufgabenstellung

Die Entwicklungsgesellschaft Langerwehe mbH beabsichtigt auf einem Projektgelände in Langerwehe an der Straße „Rymelsberg“ die Erschließung eines Wohngebiets für 17 Einfamilienhäuser.

Die IQ Ingenieurgesellschaft Quadriga mbH, Würselen, wurde im Vorfeld der Erschließung mit der Erkundung des Untergrundes für den Straßen- und Kanalbau sowie der exemplarischen Gründungsempfehlung für die geplanten Einfamilienhäuser beauftragt. Grundlage der Beauftragung ist das Angebot der IQ Ingenieurgesellschaft Quadriga mbH vom 07. August 2018.

Es wurden die folgenden Aufgabenstellungen vereinbart

- Darstellung der Ansatzstellen in einem Lageplan
- Beschreibung des erbohrten Bodens gemäß DIN EN ISO 14688 in Form von Schichtenverzeichnissen
- Zeichnerische Darstellung der Bohrprofile nach DIN 4023
- Zeichnerische Darstellung der Bohrungen in Profilschnitten
- Bodenklassifizierung nach DIN 18196, 18300 und DIN 18319
- Angaben zur Wasser- und Frostempfindlichkeit der erbohrten Böden
- Angaben zu den angetroffenen und ggf. zu erwartenden Grund- und/oder Schichtwasserverhältnissen
- Angaben zu der erkundeten Lagerungsdichte bzw. Konsistenz der erbohrten Böden
- Angabe von Bodenkennwerten inkl. Der Verdichtbarkeitsklassen für die angetroffenen einzelnen Schichten und der Homogenbereiche nach DIN 18300

Planung von Freianlagen, Straßen und Wegen • Planung von Kanalisations-, Entwässerungs- und Versickerungsanlagen • Bauleitung und Bauüberwachung
Begleitung von Bauwerkssanierungen • SiGe-Koordination • Baugrundgutachten • Hydrogeologische Gutachten • Altlastengutachten und Gefährdungsabschätzungen

Geschäftsführung: Dipl.-Ing. Roberto d.P. Conego • Dipl.-Ing. Klaus Rosenboom • Dipl.-Geol. Holger Seeberger • Dipl.-Ing. Frank Vitten

Bankverbindungen: Sparkasse Aachen • BIC: AACSD33 • IBAN: DE38 3905 0000 0047 6865 55 • VR-Bank eG • BIC: GENODED1WUR • IBAN: DE59 3916 2980 0714 7820 10

Amtsgericht Aachen HRB 8805 • USt-IdNr. DE813380101

- Angaben für die Planung und die Bauausführung der geplanten Baumaßnahme im Hinblick auf z.B. Baugrubenböschungen, Ausbildung bzw. Abgleich der Baugrubensohle, Verbau, Wasserhaltung
- Angaben zur Wiederverwendbarkeit des Bodens aus bautechnischer Sicht hinsichtlich des Wiedereinbaus des Bodens, Verdichtungsfähigkeit etc.
- Angaben zur Entsorgung des Aushubbodens und der Schwarzdecken
- Empfehlungen für die Bauausführung im Hinblick auf den Geräteeinsatz
- Erarbeitung eines grundsätzlichen Gründungskonzepts für die geplanten Gebäude
- Angaben zu erforderlichen Gebäudeabdichtungen
- Angaben zur Versickerungsfähigkeit des Untergrunds

2 Grundlagen der Beurteilung

Zur Erkundung des anstehenden Bodens wurden am 06. September 2018 elf Aufschlussbohrungen (Rammkernsondierungen) abgeteuft. Die geplante Tiefe der Bohrungen betrug im Bereich der beiden geplanten Stichwege und des Straßenbestands „Rymelsberg“ 3,0 m u. GOK (B4, B6, B9, B8, B11) sowie im Bereich der geplanten Wohngebäude 6,0 m u. GOK (B1, B2, B3, B5, B7, B10). Aufgrund des teilweise in geringer Tiefe anstehenden Festgesteins konnten lediglich die Bohrungen B4 und B6 bis zur geplanten Endteufe von je 3,0 m u. GOK niedergebracht werden. Die übrigen Bohrungen wurden in Tiefenlagen zwischen 2,4 m und 5,3 m u. GOK abgebrochen. Die erbohrten Rammkerne wurden vor Ort durch einen Dipl.-Geologen aufgenommen und beprobt.

Die Ansatzstellen der Bohrungen wurden gemäß dem zur Verfügung gestellten Lageplan auf dem Projektgelände angeordnet (siehe Lageplan). Die Bohrprofile sind in den Anlagen 1 bis 11 im Maßstab 1:30 dargestellt. Die Schichtenverzeichnisse sind den Anlagen 1.1 bis 11.1 zu entnehmen. Die Legende zu den Bohrprofilen gemäß DIN 4023 ist in der Anlage 17 wiedergegeben. Die Ansatzstellen der Bohrungen wurden nach Fertigstellung nach Lage und Höhe eingemessen und in einen Lageplan eingetragen. Als Bezugspunkt für die höhenmäßige Einmessung wurde ein Kanaldeckel im Westen des Projektgeländes auf der Straße „Karl-Arnold-Straße“ gewählt (Festpunkt angenommen mit 179,7 mNN).

In den Anlagen 12 bis 16 sind fünf Profilschnitte durch das Erschließungsgebiet wiedergegeben, in denen exemplarisch die zur Wahl stehenden Gründungsvarianten für Gebäude mit und ohne Unterkellerung, ein beispielhafter Straßenaufbau oder die angenommene Lage der Kanäle eingezeichnet sind. Der Maßstab der Länge beträgt 1:400, der Maßstab der Höhe liegt bei 1:40, so dass die Profilschnitte 10-fach überhöht sind. Ferner wurden die Bohrungen teilweise auf die Schnittlinie projiziert.

Aus dem Bohrgut der Bohrungen wurden aus den anstehenden Böden im Zuge der geologischen Aufnahme des Bohrguts insgesamt 27 gestörte Bodenproben entnommen (Glasproben, siehe Bohrprofile und Schichtenverzeichnisse). Diese Bodenproben wurden sämtlich organoleptisch beurteilt.

Aus den in Tabelle 1 aufgeführten Proben wurde die Mischproben „MP Ton (0,7 - 4,2 m)“, „MP Sand (1,7 - 4,2 m)“ und „MP Auffüllungen (0,1 - 1,2 m)“ erstellt und nach dem Untersuchungsprogramm der LAGA 20 für Boden¹ analysiert. Ferner wurde die Probe 8-01 (0,2 - 0,6 m) ausgewählt und nach LAGA M20 für Bauschutt²

¹ LAGA Nr. 20: Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) Nr. 20, Anforderungen an die stoffliche Verwertung von Boden - Technische Regeln - Stand: November 2004

² LAGA Nr. 20: Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) Nr. 20, Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen / Abfällen - Technische Regeln - Stand: November 1997

untersucht. Aus den Bohrkernen der Straße „Rymelsberg“ wurde der Bohrkern KB 8 ausgewählt und hinsichtlich einer potentiellen Pechstämmigkeit einer PAK³-Analyse unterzogen. Die chemischen Untersuchungen wurden im geochemischen Labor Geotax GmbH⁴ durchgeführt.

Zur Bestimmung der Versickerungsfähigkeit des Untergrunds wurden im geotechnischen Labor des Geoservice Soltenborn GmbH⁵ Siebanalysen der Proben 4-01 (1,5 - 3,0 m), 5-02 (0,4 - 2,0 m) und eine kombinierte Sieb-Schlämmanalyse der Probe 9-01 (0,4-2,4 m) durchgeführt und damit die die Körnungslinien gemäß DIN 18123 ermittelt.

(Misch-) Probe	Einzelprobe	Entnahmetiefe	Zusammensetzung Farbe	Untersuchungsumfang	Anlage-Nr./ Labornummer
MP Ton (0,7 - 4,2 m)	3-02 3-03 5-03 5-04 7-02 8-02	0,7 - 1,1 m 1,1 - 2,0 m 2,0 - 2,5 m 2,5 - 4,2 m 1,2 - 2,4 m 1,0 - 2,5 m	Ton, schluffig, schwach feinsandig braun-grau (Schicht 4 - Verwitterungsbildungen)	LAGA Boden	A 3/ 1813685-003
MP Sand (1,7 - 3,2 m)	1-02 3-04	1,7 - 2,7 m 2,0 - 3,2 m	Fein- bis Mittelsand beige-gelb (Schicht 3 - Meeressande)	LAGA Boden	A 4/ 1813685-004
MP Auffüllungen (0,1 - 1,2 m)	6-02 6-03 3-01 7-01 10-01	0,1 - 0,6 m 0,6 - 0,8 m 0,4 - 0,7 m 0,4 - 1,2 m 0,1 - 0,4 m	Kies, Sand, Schluff, teils humos mit Ziegel- und Betonbruch grau-braun-rot (Schichten 0a / 1 - (humose) Auffüllungen)	LAGA Boden/ LAGA Bauschutt	A 5; A6/ 1813685-005
8-01	-	0,2 - 0,6 m	Kies, sandig mit Kohle und Betonbruch bunt (Schicht 1 - Auffüllungen)	LAGA Bauschutt	A 2/ 1813685-002
KB 1	-	0 - 0,12 m	Bohrkern (Schwarzdecke)	PAK	A 1/ 1813685-001
KRB 4, G 1	4-01	1,5 - 3,0 m	Feinsand, mittelsandig, schwach schluffig hellbraun (Schicht 3 - Meeressande)	Nasssiebung	A7/ 180906
KRB 5, G 2	5-02	0,4 - 2,0 m	Feinsand, mittelsandig, schwach schluffig hellbraun (Schicht 3 - Meeressande)	Nasssiebung	A7/ 180906
KRB 9, G 1	9-01	0,4 - 2,4 m	Schluff, tonig braun (Schicht 4 - Verwitterungsbildungen)	Kombinierte Sieb-Schlämmanalyse	A7/ 180906

Tab. 1: Mischproben und Einzelproben mit Angabe der Entnahmetiefe, der Zusammensetzung und der Farbe sowie der durchgeführten Analysen

³ PAK n. EPA: Von der amerikanischen Bundesumweltbehörde (US-Environmental Protection Agency) zusammengestellte Liste mit 16 PAK, die als prioritäre Umweltschadstoffe eingestuft sind und häufig stellvertretend für die Gruppe der PAK in Umweltproben untersucht werden

⁴ Geotax Umwelttechnologie GmbH, Schumanstraße 29, 52146 Würselen

⁵ Geoservice Soltenborn GmbH, Buschhäuser Weg 18, 52066 Aachen

Ferner wurden in den Bohrlöchern der Bohrung B 4, B5 und B 9 im Bereich der angetroffenen mittelsandigen Feinsande (Meeressande, Schicht 3) je ein Versickerungsversuch durchgeführt, um das Versickerungspotential des Untergrundes zu erkunden. Die Versickerungsversuche wurde gemäß USBR EARTH MANUAL⁶ (Brunnenmethode) im verfilterten Bohrloch durchgeführt und ausgewertet. Die Ergebnisse sind den Anlagen V1 - V3 zu entnehmen.

Hinsichtlich der anstehenden Böden und des höchstgemessenen freien Grundwasserspiegels wurden die für das Projektgebiet vorliegenden Kartenwerke ausgewertet.

- [1] Hydrologische Karte von Nordrhein-Westfalen, Blatt 5104, Düren, Grundrisskarte, Maßstab 1:25.000, Hrsg. Landesamt für Wasser und Abfall NW, Essen 1993
- [2] Hydrologische Karte von Nordrhein-Westfalen, Blatt 5104, Düren, Profilkarte, Maßstab 1:25.000, Hrsg. Landesamt für Wasser und Abfall NW, Essen 1993
- [3] Grundwassergleichen in Nordrhein-Westfalen, Blatt 5104 L, Düren, Maßstab 1:25.000, Hrsg Bonn-Bad Godesberg 1995 ,Stand: April 1988
- [4] online Informationssystem NRW Umweltdaten vor Ort des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes NRW Stand Januar 2019

2.1 Projektgelände

Das Projektgelände liegt im Südwesten von Langerwehe, umrahmt von den Straßen „Rymelsberg“ im Süden und „Karl-Arnold-Straße“ im Westen. Das zukünftige Wohngebiet wird nördlich durch die bebauten Nachbargrundstücke an der Dechant-Kallen-Straße begrenzt. Im Osten des Projektgrundstücks liegt der städtische Friedhof. Die Fläche ist größtenteils grasbewachsen und wurde anteilig als Bolzplatz genutzt. Ferner ist insbesondere am Rand Baumbewuchs vorhanden.

Die Erschließung des entstehenden Wohngebiets und der Anschluss der Ver- und Entsorgungsleitungen soll mit zwei Stichwegen von der Straße „Rymelsberg“ aus erfolgen. Die Lage der Stichwege sowie der geplanten Wohngebäude ist dem Lageplan zu entnehmen.

Das Projektgrundstück weist ein starkes Gefälle Richtung Süden sowie einige Geländestufen auf. Zwischen den Bohransatzpunkten B1 und B7 wurde eine maximale Höhendifferenz von 7,16 m eingemessen.

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der Bohrung

Die am 06. September 2018 durchgeführten Bohrungen ließen die folgende petrographische Zusammensetzung der angetroffenen Schichten erkennen. Die u. g. Schichten sind zur Verdeutlichung im Profilschnitt 1 am Beispiel der Bohrung B1 gekennzeichnet.

Die Bohrungen B6, B8 und B11 wurden im Bereich der Straße „Rymelsberg“ bzw. des vorhandenen, östlich vom Friedhof ins Gelände führenden Stichwegs auf versiegelten Flächen niedergebracht. Den Bohrungen B8 und B11 ging eine Kernbohrung durch die Schwarzdecke der Straße „Rymelsberg“ vorweg. Für Bohrung B6 wurde das Pflaster bereichsweise aufgenommen.

⁶ Earth Manual: A Water Resources Technical Publication, US Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 1974

Unterhalb der Schwarzdecke liegt im Straßenbereich „Rymelsberg“ bis 60 cm (B8) bzw. 70 cm u. GOK (B11) eine braune bis bunte Frostschutz- und Tragschicht vor, die bis 40 cm u. GOK aus einem sandigen, teils schwach schluffigen Kies besteht. Die folgende Partie der **Auffüllung (Schicht 1)** variiert zwischen den Bohrungen. In Bohrung B 8 wurden Fremd Beimengungen aus Ziegelbruch, Lava und Kohle in der weiterhin als sandiger Kies zu beschreibenden Schicht 1 vorgefunden. In Bohrung B11 liegt eine Verfeinerung des Kornes vor, so dass der untere Abschnitt der Auffüllung hier als lokal stark schluffiger, schwach kiesiger, schwach toniger Sand anzusprechen ist, der nicht frostsicher ist. Die Lagerung variiert zwischen mitteldicht und dicht.

In Bohrung B6 wurde eine Auffüllung aus humosem, schwach schluffigem Sand mit Ziegel- und Betonbruch erbohrt (**Schicht 0a: humose Auffüllung**). Die dicht gelagerte Auffüllung unterhalb des Stichwegs liegt bis 60 cm u. GOK vor und ist in ihrer Zusammensetzung weder frost- noch tragsicher.

In allen übrigen Bohrungen, sowie in Bohrung B6 unterhalb des Oberbaus, wurde zuoberst eine Schicht aus teils umgelagertem, humosem Oberboden erbohrt (**Schicht 0a: humose Auffüllung/Schicht 0b: humoser Oberboden**). Petrographisch ist der dunkelbraune Boden überwiegend als feinsandiger, humoser Schluff anzusprechen. Teilweise liegen geringfügige Beimengungen von Kies oder Steinen vor. Ferner befinden sich in den als humose Auffüllung deklarierten Böden bereichsweise Fremd beimengungen von Ziegelbruch (B6, B3). Die humose Schicht 0 wurde durchweg in einer steifen Konsistenz bzw. in einer lockeren Lagerung erbohrt. Die Basis der Schicht 0 liegt vorwiegend bei 40 - 50 cm u. GOK, variiert jedoch in den Bohrungen B6 bis 80 cm bzw. B3 bis 1,1 m u. GOK.

Unterhalb des humosen Oberbodens bzw. der Auffüllungen wurde meist eine zwischen 0,3 - 1,3 m mächtige Lage aus teils schwach tonigem, feinsandigem Schluff erbohrt. Der hellbraune **Lösslehm (Schicht 2)** wurde durchweg in steifer Konsistenz vorgefunden. Die Schicht 2 wurde nur in den Bohrungen B1, B2, B3, B4, B6, B7 und B10 erbohrt.

Unterhalb der Auffüllungen bzw. des Lösslehms wurden teils oligozäne **Meeressande (Schicht 3)** in einer Mächtigkeit zwischen 5 cm und 1,6 m erbohrt. Petrographisch handelt es sich bei den Meeressanden um einen selten schwach schluffigen, mittelsandigen Feinsand. Der hellbraune, enggestufte Sand liegt in einer mitteldichten Lagerung vor. Wie bereits der Lösslehm wurden auch die Meeressande nicht in allen Bohrungen aufgeschlossen. Sie wurde lediglich in den Bohrungen B1, B2, B3, B4, B5, B6 und B10 erbohrt.

Im Liegenden der oligozänen Meeressande stehen die **Verwitterungsbildungen (Schicht 4)** des Steinkohlengebirges mit einer Mächtigkeit von 40 cm bis 2,1 m an. Sie zeigen unterschiedliche Grade der Entfestigung von reinem Ton über Tonschieferbröckchen in einer tonigen Matrix bis zu mürben Festgestein. Entsprechend dem Verwitterungsgrad liegt eine steife bis feste Konsistenz des Tons vor. Die Bohrungen mussten in Tiefenlagen zwischen 2,5 m und 5,3 m u. GOK im weitestgehend stabilen Festgestein abgebrochen werden.

Das Festgestein ist durch Schiefer-ton mit Sandsteinbänken und Steinkohleflözen definiert (**Schicht 5: Steinkohlengebirge**).

3.2 Grundwasser

In den am 06. September 2018 abgeteufte Bohrungen wurde bis zur Endteufe bei max. 5,3 m u. GOK kein Grundwasser vorgefunden.

Aufgrund der Lage des Erschließungsgebiets Rymelsberg oberhalb des Grundgebirgssockels (Schicht 5) ist keine Angabe eines durchgehenden freien Grundwasserspiegels möglich [3]. Ursächlich dafür ist die Ausrich-

tung des Grundwasserfließverhaltens an Schichtgrenzen und Kluffflächen im Untergrund, die - anders als im Lockergesteinsgrundwasserleiter - keinen homogenen Grundwasserspiegel ermöglicht.

Das Projektgebiet liegt dementsprechend gemäß online Auskunft [4] nicht in einer ausgewiesenen oder geplanten Trinkwasserschutzzone.

3.3 Ergebnisse der chemisch-analytischen Laboruntersuchungen

Aus den anstehenden und aufgefüllten Böden wurden exemplarisch für die Aushubböden Mischproben zusammengestellt und gemäß LAGA M20 für Boden bzw. Bauschutt analysiert (siehe Kap. 2, Tab. 1).

Zur Überprüfung der anstehenden Böden auf geogen vorkommende Schadstoffe wurden aus den Verwitterungsbildungen (Schicht 4) die Mischprobe „MP Ton (0,7 - 4,2 m)“ sowie aus den Meeressanden (Schicht 3) die Mischprobe „MP Sand (1,7 - 3,2 m)“ erstellt. Sie wurden nach den Vorgaben der LAGA M20 für Boden analysiert. Die Laborberichte sind in den Anlagen A 3 (Labornummer: 1813685-003) und A 4 (Labornummer: 1813685-004) angefügt. In Tabelle 2 sind die Ergebnisse zusammengefasst. Die umgelagerten und aufgefüllten Böden sind durch die Mischprobe „MP Auffüllungen (0,1 - 1,2 m)“ sowie durch die Einzelprobe 8-01 (0,2 - 0,6 m) repräsentiert. Sie wurden gemäß den Richtlinien der LAGA M20 für Bauschutt untersucht. Die Zusammenfassung ist Tabelle 3 zu entnehmen. Die Laborberichte sind in den Anlagen A 2 (Labornummer: 1813685-002) und A 6 (Bauschutt) (Labornummer: 1813685-005) wiedergegeben. Aufgrund des geringen Bauschutt-Anteils wurde die Analyse der Mischprobe „MP Auffüllungen (0,1 - 1,2 m)“ zusätzlich den Grenzwerten der LAGA Boden gegenübergestellt (Tab. 2, Anlage A 5).

Ferner wurde die Schwarzdecke der Straße Rymelsberg hinsichtlich einer potentiellen Pechstämmigkeit des Materials exemplarisch durch den Bohrkern KB 8 auf PAK untersucht. Der Laborbericht der PAK-Analyse ist in Anlage A 1 zu finden (Laborbericht: 1813685-001).

Die Analyseergebnisse der Mischprobe „MP Ton (0,7 - 4,2 m)“ (Labornummer 1813685-003) sind mit Ausnahme des Arsengehalts im Feststoff unauffällig. Der Arsengehalt liegt bei 22,6 mg/kg und erfordert eine Einstufung des Bodens in die LAGA-Einbauklasse Z 1. Das Eluat ist völlig unauffällig.

Die ebenfalls aus einer anstehenden Bodenschicht entnommene Mischprobe „MP Sand (1,7 - 3,2 m)“ ist auch der LAGA-Einbauklasse Z 1 zuzuordnen, da hier der Quecksilbergehalt mit 0,11 mg/kg den Zuordnungswert Z 0 überschreitet. Die übrigen untersuchten Feststoffgehalte sind wie auch die Konzentrationen im Eluat unauffällig.

Die aus den aufgefüllten und umgelagerten Böden zusammengestellte Mischprobe „MP Auffüllungen (0,1 - 1,2 m)“ wurde aufgrund des nur geringen Bauschutt-Anteils einerseits den Zuordnungswerten nach LAGA M20 für Boden andererseits den Zuordnungswerten nach LAGA M20 für Bauschutt gegenübergestellt. Hinsichtlich einer Verwertung der Auffüllungen als Bodenmaterial ist aufgrund des Cadmiumgehalts von 5,08 mg/kg im Feststoff eine Zuordnung zur LAGA-Einbauklasse Z 2 erforderlich. Ferner liegen die Gehalte an Arsen, Blei, Nickel, Quecksilber und Zink im Bereich der Zuordnungswerte Z 1. Gemäß einer Verwertung als Boden-Bauschutt-Gemisch ist ebenfalls aufgrund des Cadmiumgehalts die LAGA-Einbauklasse Z 2 maßgeblich. Ferner liegen hier die Gehalte an PAK, Blei und Zink im Wertebereich der Zuordnungsstufe Z 1.1. Die Eluatuntersuchungen sind durchweg unauffällig.

Die Probe 8-01 (0,2 - 0,6) repräsentiert die Frostschutz- und Tragschicht der Straße „Rymelsberg“ (Schicht 1). Sie wurde aufgrund der Fremd Beimengungen aus Bauschutt und Kohle nach den Vorgaben der LAGA M20 für Bauschutt untersucht. Infolge der erhöhten Feststoff-Gehalte von langkettigen Kohlenwasserstoffen und PAK

im Feststoff ist für die Schicht 1 die LAGA-Einbauklasse Z 1.2 zugrunde zu legen. Ferner liegen die Gehalte von Kupfer und Zink im Feststoff im Bereich der LAGA-Einbauklasse Z 1.1. Das Eluat ist unauffällig.

Parameter	Labornummer 1813685-003: MP Ton 0,7 - 4,2 m	Labornummer 1813685-004: MP Sand 1,7 - 3,2 m	Labornummer 1813685-005: MP Auffüllungen 0,1 - 1,2 m	Zuordnungswert für Feststoffe in Boden gemäß LAGA -Nr. 20 [mg/kg](außer *)				
	Messwert [mg/kg] (außer *)	Messwert [mg/kg] (außer *)	Messwert [mg/kg] (außer *)	Z 0			Z 1	Z 2
Feststoff	Ton	Sand	Sand	Sand	Schluff	Ton		
EOX	< 0,8	< 0,8	< 0,8	1	1	1	3	10
Kohlenwasserstoffe / GC (C ₁₀ - C ₄₀)	< 100	< 100	< 100	100	100	100	600	2000
Kohlenwasserstoffe / GC (C ₁₀ - C ₂₂)	< 100	< 100	< 100	100	100	100	300	1000
BTEX	< 0,175	< 0,175	< 0,175	1	1	1	1	1
LHKW	< 0,21	< 0,21	< 0,21	1	1	1	1	1
PAK nach EPA	< 0,24	< 0,24	1,3	3	3	3	3 (9)	30
PCB	< 0,015	< 0,015	< 0,015	0,05	0,05	0,05	0,15	0,5
Benzo(a)pyren	< 0,03	< 0,03	0,11	0,3	0,3	0,3	0,9	3
TOC* [%]	< 0,5	< 0,5	0,82	0,5 (1,0)	0,5 (1,0)	0,5 (1,0)	1,5	5
Arsen	22,6	6,02	11,1	10	15	20	45	150
Blei	81,6	< 4	167	40	70	100	210	700
Cadmium	1,04	< 0,4	5,08	0,4	1	1,5	3	10
Chrom	19,3	4,07	17,6	30	60	100	180	600
Kupfer	34,2	< 4	18,5	20	40	60	120	400
Nickel	29,2	< 4	16,4	15	50	70	150	500
Quecksilber	0,116	0,11	0,14	0,1	0,5	1	1,5	5
Thallium	< 0,4	< 0,4	< 0,4	0,4	0,7	1	2,1	7
Zink	200	27,7	280	60	150	200	450	1500
Cyanide, ges.	< 1	< 1	< 1	-	-	-	3	10
Eluat	Labornummer 1713685-003: MP Ton 0,7 - 4,2 m	Labornummer 1813685-004: MP Sand 1,7 - 3,2 m	Labornummer 1813685-005: MP Auffüllungen 0,1 - 1,2 m	Zuordnungswert für Eluate in Boden gemäß LAGA - Nr. 20 [µg/l] (außer *)				
	Messwert [µg/l] (außer *)	Messwert [µg/l] (außer *)	Messwert [µg/l] (außer *)	Z 0	Z 1.1	Z 1.2	Z 2	
Leitfähigkeit* [µS/cm]	29	16	107	250	250	1.500	2.000	
pH-Wert* [1]	6,4	6,6	8,0	6,5-9,5	6,5-9,5	6-12	5,5-12	
Chlorid* [mg/l]	< 10	< 10	< 10	30	30	50	100	
Sulfat* [mg/l]	< 20	< 20	< 20	20	20	50	200	
Phenolindex	< 10	< 10	< 10	20	20	40	100	
Cyanide, ges.	< 5	< 5	< 5	5	5	10	20	
Arsen	< 10	< 10	< 10	14	14	20	60	
Blei	< 7	< 7	< 7	40	40	80	200	
Cadmium	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,5	1,5	3	6	
Chrom	< 7	< 7	< 7	12,5	12,5	25	60	
Kupfer	< 10	< 10	< 10	20	20	60	100	
Nickel	< 10	< 10	< 10	15	15	20	70	
Quecksilber	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,5	< 0,5	1	2	
Thallium	n.b.	n.b.	n.b.	1	1	3	5	
Zink	< 40	< 40	< 40	150	150	200	600	

Tab. 2: Ergebnisse der Untersuchungen nach LAGA Boden der Proben MP Ton (0,7 - 4,2 m), MP Sand (1,7 - 3,2 m) und MP Auffüllungen (0,1 - 1,2 m). Farblich unterlegt sind die Messwerte, die den Zuordnungswert Z 0 gemäß LAGA Nr. 20 Boden überschreiten.

Parameter	Labornummer 1813685-001: 8-01 0,2 - 0,6 m	Labornummer 1813685-005: Probe MP Auffüllungen 0,1 - 1,2 m	Zuordnungswert für Feststoffe in Bauschutt gemäß LAGA - Nr. 20 [mg/kg]			
			Z 0	Z 1.1	Z 1.2	Z 2
Feststoff	Messwert [mg/kg] (außer*)	Messwert [mg/kg] (außer*)	Z 0	Z 1.1	Z 1.2	Z 2
EOX	< 0,8	< 0,8	1	3	10	10
Kohlenwasserstoffe/ GC (C ₁₀ – C ₄₀)	365	< 100	100	300	500	1000
Kohlenwasserstoffe/ GC (C ₁₀ – C ₂₂)	< 100	< 100	100	300	500	1000
PAK nach EPA	13,3	1,3	1	5 (20)	15(50)	75 (100)
PCB	< 0,015	< 0,015	0,02	0,1	0,5	1
Arsen	7,42	11,1	20	30	50	150
Blei	52,7	167	100	200	300	1000
Cadmium	0,53	5,08	0,6	1	3	10
Chrom	41,3	17,6	50	100	200	600
Kupfer	40,3	18,5	40	100	200	600
Nickel	13,7	16,4	40	100	200	600
Quecksilber	0,108	0,14	0,3	1	3	10
Zink	202	280	120	300	500	1500
	Labornummer 1813685-001: 8-01 0,2 - 0,6 m	Labornummer 1813685-005: Probe MP Auffüllungen 0,1 - 1,2 m	Zuordnungswert für Eluate in Bauschutt gemäß LAGA - Nr. 20 [µg/l] (außer *)			
Eluat	Messwert [µg/l] (außer *)	Messwert [µg/l] (außer *)	Z 0	Z 1.1	Z 1.2	Z 2
pH-Wert* [1]	8,3	8,0	7,0-12,5			
Leitfähigkeit* [µS/cm]	60	107	500	1500	2500	3000
Chlorid* [mg/l]	< 10	< 10	10	20	40	150
Sulfat* [mg/l]	< 20	< 20	50	150	300	600
Phenolindex	< 10	< 10	< 10	10	50	100
Arsen	< 10	< 10	10	10	40	50
Blei	< 7	< 7	20	40	100	100
Cadmium	< 0,5	< 0,5	2	2	5	5
Chrom	< 7	< 7	15	30	75	100
Kupfer	< 10	< 10	50	50	150	200
Nickel	< 10	< 10	40	50	100	100
Quecksilber	< 0,2	< 0,2	0,2	0,2	1	2
Zink	< 40	< 40	100	100	300	400

Tabelle 3: Ergebnisse der Untersuchungen nach LAGA 20 Bauschutt an den Proben 8-1 (0,2 - 0,6 m) und MP Auffüllungen (0,1 - 1,2 m). Farblich unterlegt sind die Messwerte, die den Zuordnungswert Z 0 gemäß LAGA Nr. 20 überschreiten. Die kursiv geschriebenen Grenzwerte im Feststoff sind keine gültigen Grenzwerte für Bauschutt, dienen jedoch bei der Deklaration als Bewertungsgrundlage.

Die untersuchte Schwarzdeckenprobe der Straße „Rymelsberg“ weist keine Hinweise auf eine Pechstämmigkeit auf. Die Summe der nach EPA-Liste erfassten PAK beträgt 3,8 mg/kg. Der Schwarzdeckenaufbruch ist somit als Ausbauasphalt klassifiziert und kann ohne besondere Anforderungen bzgl. Arbeits- Boden- und Gewässerschutz verwertet werden.

Labornummer	1813685-001
Probenbez.	KB 8
Bohrung	B8
Entnahmetiefe [m]	0,0 - 0,12
Summe EPA-PAK [mg/kg]	3,8
Einstufung	Ausbauasphalt LAGA Zuordnungswert Z1.1
Folge	ohne besondere Anforderungen bzgl. Arbeits-, Boden- und Gewässerschutz verwertbar

Tabelle 4: Summe PAK nach EPA-Liste im Feststoff [mg/kg TS] (TS = Trockensubstanz) des Schwarzdeckenbohrkerns

3.4 Ergebnisse der geotechnische Laboruntersuchungen

Zur Erkundung der Versickerungsfähigkeit des Untergrunds im Projektgebiet wurden aus der potentiell ausreichend wasserdurchlässigen Schicht 3 die Proben 4-01 (1,5 - 3,0 m) und 5-02 (0,4 - 2,0 m) ausgewählt und im geotechnischen Labor einer Siebanalyse unterzogen. Ferner wurde anhand der Probe 9-01 (0,4 - 2,4 m) eine kombinierte Sieb-Schlamm-Analyse der Verwitterungsbildungen (Schicht 4) durchgeführt.

Anhand der Ergebnisse der o. g. Analysen wird die Korngrößenverteilung nach DIN 18123 ermittelt. Die Körnungslinien sind in der Anlage 7 dargestellt. In Tabelle 5 sind die Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen zusammengefasst.

Schicht	Probe	d ₁₀	d ₃₀	d ₆₀	C _c	U	Ton und Schluff [M - %]	Sand [M - %]	Kies [M - %]	Zusammensetzung
3	4-01 (1,5 - 3,0 m)	0,075	0,130	0,172	1,3	2,3	6,92	92,93	0,15	Feinsand, mittelsandig, schwach schluffig
3	5-02 (0,4 - 2,0 m)	0,072	0,122	0,167	1,2	2,3	6,68	93,29	0,03	Feinsand, mittelsandig, schwach schluffig
4	9-01 (0,4 - 2,4 m)	ca. 0,0012	0,004	0,010	ca. 1,3	ca. 8,3	95,73	3,48	0,79	Schluff, tonig

Tab. 5: Auswertung der Korngrößenbestimmung

Gemäß HAZEN⁷ kann mit folgender Formel der Durchlässigkeitsbeiwert ermittelt werden:

$$k_f = 0,0116 \times d_{10}^2 \quad [\text{Gl. 1}]$$

mit d₁₀ = Korngröße im Schnittpunkt der 10 %-Linie mit der Summenkurve

⁷ HAZEN, A (1892): Some Physical Properties of Sands and Gravels with Special Reference to their Use in Filtration. Twenty-fourth Annual Report of State Board of Health Mass 541-566, 4 Abb., 7 Tab

Die Sieblinienauswertungen gemäß HAZEN haben Durchlässigkeitsbeiwerte k_f von $6,53 \times 10^{-5}$ m/s für Probe 4-01 sowie $6,01 \times 10^{-5}$ m/s für Probe 5-02 ergeben. Gemäß DWA-A 118 ist zur Festlegung des Bemessungs- k_f - Wertes bei Sieblinienauswertungen ein Korrekturfaktor von 0,2 anzusetzen. Demnach ist nach Berücksichtigung des Korrekturfaktors von einem Durchlässigkeitsbeiwert von $1,31 \times 10^{-5}$ m/s für Probe 4-01 und $1,20 \times 10^{-5}$ m/s für Probe 5-02 auszugehen. Demnach ergibt sich für die Schicht 3 (Tertiäre Sande) ein durchschnittlicher Durchlässigkeitsbeiwert von $1,25 \times 10^{-5}$ m/s.

Die Korngrößenverteilung der Verwitterungsbildungen, die mit der Probe 9-01 (0,4 - 2,4 m) untersucht wurden, zeigt einen hohen Feinstkornanteil auf. Die untere Bestimmungsgrenze der Schlämmanalyse liegt bei einer Korngröße von 0,0016 mm. Sie wurde von 13,27 M-% des Probematerials unterschritten, so dass für den Schnittpunkt der 10 %-Linie mit der Summenkurve nur eine Schätzung der Korngröße möglich ist. Mit einem angenommenen $d_{10} = 0,0012$ mm lässt sich der Durchlässigkeitsbeiwert der Schicht 4 (Verwitterungsbildungen) näherungsweise zu $k_f = 1,67 \times 10^{-8}$ m/s berechnen. Unter Berücksichtigung des Korrekturfaktors liegt der Durchlässigkeitsbeiwert des Verwitterungshorizonts bei $k_f = 3,34 \times 10^{-9}$ m/s.

3.5 Bodenkennwerte

Gemäß VOB Teil C und DIN 18300 erfolgt die Einteilung von Boden und Fels in Homogenbereiche entsprechend ihrem Zustand vor dem Lösen. Für die Homogenbereiche sind Eigenschaften und Kennwerte in Bandbreiten anzugeben. Bei Baumaßnahmen der Geotechnischen Kategorie GK 2 nach DIN 4020, zu denen die u. a. betrachteter Errichtung von Wohnhäusern gezählt wird, sind demnach für die Homogenbereiche Angaben zur Bodengruppen, Korngrößenverteilung, Massenanteilen von Steinen und Blöcken, Dichte sowie je nach Bindigkeit Angaben zur Lagerungsdichte bzw. zu Konsistenz, Plastizität und Scherfestigkeit erforderlich.

Im Projektbereich können vier Homogenbereiche unterschieden werden, die Tabelle 6 zu entnehmen sind:

Homogenbereich	Beschreibung	Schicht
Ia	organogene Böden	0b: humoser Oberboden
Ib		0a: humose Auffüllungen
II	grobkörnige Böden	1: Auffüllungen
III	Lehmböden	2: Lösslehm
IV	enggestufte Sandböden	3: Meeressande
V	Verwitterungshorizont	4: Verwitterungsbildungen
VI	Festgestein	5: Steinkohlegebirge

Tab. 6: Festgelegte Homogenbereiche mit den zugehörigen Bodenschichten

Den vorgenannten Homogenbereichen können die in den Tabellen 7 bis 11 folgenden Eigenschaften und Bodenkennwerte zugeordnet werden. Die Bodenkennwerte werden nach den Ergebnissen der anhand der Sondierbohrungen durchgeführten Material- und Konsistenzansprache sowie nach Erfahrungswerten abgeschätzt.

Den Schicht 0a und 0b (humose Auffüllungen bzw. humoser Oberboden) werden aufgrund der humosen Bestandteile, die durch Rottungsprozesse Setzungen und Sackungen nach sich ziehen können, keine Bodenkennwerte zugeordnet. Sie sind prinzipiell als Lastboden ungeeignet und müssen abgetragen werden.

Homogenbereich nach DIN 18 300		
Homogenbereich I	organogene Böden	Schicht 0a: humose Auffüllungen Schicht 0b: humoser Oberboden
Korngrößenverteilung nach DIN 18 123	d ₁₀ d ₃₀ d ₆₀	= ca. 0,003 - 0,03 mm = ca. 0,005 - 0,04 mm = ca. 0,01 - 0,07 mm
Massenanteilen von Steinen und Blöcken nach DIN EN		≤ 5 %
Dichte nach DIN 18 125-2	P	1,6 - 1,8 t/m ³
undräßierte Scherfestigkeit	c _u	≤ 20 kN/m ²
Wassergehalt nach DIN EN 17892-1	w	20 % - 40 %
Plastizitätszahl nach DIN 18 122-1	I _p	10% - 20 %
Konsistenzzahl nach DIN 18 122-1	I _c	0,75 - 1,0 (steif)
bezogene Lagerungsdichte nach DIN 18 126	I _D	-
Organischer Anteil nach DIN 18 128		5 - 30 M.-%
Bodengruppe nach DIN 18 196		OH, A
Bodenklasse nach DIN 18 300 (alt)		1
Bezeichnung der Bodenkörner nach DIN EN 14 688-1		fsaSi, clfsaSi, fsagrSi, sagrSi, sifSa, sigrSa
Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB-09		F3, sehr frostempfindlich
Verdichtbarkeitsklasse nach ZTVA-StB97		V3, weniger gut verdichtbar
Homogenbereich Ia		Schicht 0a: humose Auffüllungen
Umweltrelevante Inhaltsstoffe		Nach LAGA-Boden: Cadmium - Z 2, Arsen, Blei, Nickel, Quecksilber, Zink - Z 1 Nach LAGA-Bauschutt: Cadmium - Z 2 PAK, Blei, Zink - Z 1.1
Homogenbereich Ib		Schicht 0b: humoser Oberboden
Umweltrelevante Inhaltsstoffe		-

Tab. 7: Homogenbereich I mit den zugehörigen Bodenkennwerten

Homogenbereich nach DIN 18 300				
Homogenbereich II	grobkörnige Böden	Schicht 1: Auffüllungen		
Korngrößenverteilung nach DIN 18 123	d ₁₀	= 0,05 - 1,0 mm		
	d ₃₀	= 0,1 - 3,0 mm		
	d ₆₀	= 0,6 - 10,0 mm		
Massenanteilen von Steinen und Blöcken nach DIN EN		0 - 30 %		
Dichte nach DIN 18 125-2	ρ	1,85 - 2,10 t/m ³		
undrännierte Scherfestigkeit	c _u	-		
Wassergehalt nach DIN EN 17892-1	w	10 % - 30 %		
Plastizitätszahl nach DIN 18 122-1	I _p	-		
Konsistenzzahl nach DIN 18 122-1	I _c	-		
bezogene Lagerungsdichte nach DIN 18 126	I _D	35 % - 85 % (mitteldicht - dicht)		
Organischer Anteil nach DIN 18 128		≤ 2 M.-%		
Bodengruppe nach DIN 18 196		SU, GU, GW		
Bodenklasse nach DIN 18 300 (alt)		3		
Bezeichnung der Bodenkörner nach DIN EN 14 688-1		saGr, sisaGr, clsisaGr, clsigrSa		
Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB-09		F1, nicht frostempfindlich		
Verdichtbarkeitsklasse nach ZTVA-StB97		V1, gut verdichtbar		
Umweltrelevante Inhaltsstoffe		-		
Bodenkennwerte nach Erfahrungswerten sowie nach DIN 1055-2				
Lagerungsdichte		Locker	mitteldicht	dicht
Wichte des feuchten Bodens	γ	18 kN/m ³	20 kN/m ³	22 kN/m ³
Wichte des Bodens unter Auftrieb	γ'	10 kN/m ³	12kN/m ³	14 kN/m ³
Reibungswinkel	φ'	30 °	32,5 °	35 °
Kohäsion	c'	0 kN/m ²	0, kN/m ²	0 kN/m ²
Steifemodul	E _s	80 MPa	80 - 100 MPa	100 MPa
Tragfähigkeitsbeiwert	E _{v2}	≤ 45 MPa	≤ 80 MPa	≤ 100 MPa

Tab. 8: Homogenbereich II mit den zugehörigen Bodenkennwerten

Homogenbereich nach DIN 18 300				
Homogenbereich III	lehmige Böden	Schicht 2: Lösslehm		
Korngrößenverteilung nach DIN 18 123	d_{10} d_{30} d_{60}	= 0,002 - 0,02 mm = 0,005 - 0,04 mm = 0,01 - 0,08 mm		
Massenanteilen von Steinen und Blöcken nach DIN EN		≤ 5 %		
Dichte nach DIN 18 125-2	ρ	1,85 - 2,10 t/m ³		
undräßierte Scherfestigkeit	c_U	25 - 50 kN/m ²		
Wassergehalt nach DIN EN 17892-1	w	10 % - 40 %		
Plastizitätszahl nach DIN 18 122-1	I_P	4 % - 15 %		
Konsistenzzahl nach DIN 18 122-1	I_C	0,75 - 1 (steif)		
bezogene Lagerungsdichte nach DIN 18 126	I_D	-		
Organischer Anteil nach DIN 18 128		≤ 2 M.-%		
Bodengruppe nach DIN 18 196		UL, UM, TL, TM		
Bodenklasse nach DIN 18 300 (alt)		4, (2)		
Bezeichnung der Bodenkörner nach DIN EN 14 688-1		fsaSi		
Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB-09		F3, sehr frostempfindlich		
Verdichtbarkeitsklasse nach ZTVA-StB97		V3, weniger gut verdichtbar		
Umweltrelevante Inhaltsstoffe		-		
Bodenkennwerte nach Erfahrungswerten sowie nach DIN 1055-2				
Konsistenz:		Weich	steif	Halbfest
Wichte des feuchten Bodens	γ	19,5 kN/m ³	20 kN/m ³	20,5 kN/m ³
Wichte des Bodens unter Auftrieb	γ'	9,5 kN/m ³	10 kN/m ³	10,5 kN/m ³
Reibungswinkel	φ'	22,5°	27,5°	27,5°
Kohäsion	c'	0 kN/m ²	2 kN/m ²	5 kN/m ²
Steifemodul	E_s	0 MPa	5 MPa	10 MPa
Tragfähigkeitsbeiwert	E_{v2}	0 MPa	≤ 25 MPa	≤ 45 MPa

Tab. 9: Homogenbereich III mit den zugehörigen Bodenkenwerten

Homogenbereich nach DIN 18 300				
Homogenbereich IV	enggestufte Sandböden	Schicht 3: Meeressande		
Korngrößenverteilung nach DIN 18 123	d ₁₀	= 0,06 - 0,1 mm		
	d ₃₀	= 0,1 - 0,15 mm		
	d ₆₀	= 0,15 - 0,2 mm		
Massenanteilen von Steinen und Blöcken nach DIN EN		0 - 5 %		
Dichte nach DIN 18 125-2	ρ	1,85 - 2,10 t/m ³		
undräßierte Scherfestigkeit	c _u	-		
Wassergehalt nach DIN EN 17892-1	w	10 % - 30 %		
Plastizitätszahl nach DIN 18 122-1	I _p	-		
Konsistenzzahl nach DIN 18 122-1	I _c	-		
bezogene Lagerungsdichte nach DIN 18 126	I _D	35 - 65 % (mitteldicht)		
Organischer Anteil nach DIN 18 128		≤ 2 M.-%		
Bodengruppe nach DIN 18 196		SE		
Bodenklasse nach DIN 18 300 (alt)		3		
Bezeichnung der Bodenkörner nach DIN EN 14 688-1		fsamSa		
Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB-09		F1, nicht frostempfindlich		
Verdichtbarkeitsklasse nach ZTVA-StB97		V2 - V3, mäßig gut bis gut verdichtbar		
Umweltrelevante Inhaltsstoffe		-		
Bodenkennwerte nach Erfahrungswerten sowie nach DIN 1055-2				
Lagerungsdichte		Locker	mitteldicht	dicht
Wichte des feuchten Bodens	γ	17 kN/m ³	18 kN/m ³	19 kN/m ³
Wichte des Bodens unter Auftrieb	γ'	9 kN/m ³	10 kN/m ³	11 kN/m ³
Reibungswinkel	φ'	30 - 32,5°	32,5 - 35°	35 - 37,5°
Kohäsion	c'	0 kN/m ²	0 kN/m ²	0 kN/m ²
Steifemodul	E _s	80 MPa	100 MPa	100 MPa
Tragfähigkeitsbeiwert	E _{v2}	≤ 40 MPa	40 MPa	80 MPa

Tab. 10: Homogenbereich IV mit den zugehörigen Bodenkenwerten

Homogenbereich nach DIN 18 300			
Homogenbereich V	feinstkörnige Böden	Schicht 4: Verwitterungsbildungen	
Korngrößenverteilung nach DIN 18 123	d ₁₀	= < 0,0016 mm	
	d ₃₀	= 0,003 - 0,005 mm	
	d ₆₀	= 0,005 - 0,02 mm	
Massenanteilen von Steinen und Blöcken nach DIN EN		0 %	
Dichte nach DIN 18 125-2	ρ	1,85 - 2,10 t/m ³	
undrännerte Scherfestigkeit	c _u	25 - 50 kN/m ² (steif), 50 - 100 kN/m ² (halbfest)	
Wassergehalt nach DIN EN 17892-1	w	≤ 10 %	
Plastizitätszahl nach DIN 18 122-1	I _p	10 % - 20 %	
Konsistenzzahl nach DIN 18 122-1	I _c	0,75 - 1,0 (steif), > 1 (halbfest)	
bezogene Lagerungsdichte nach DIN 18 126	I _D	-	
Organischer Anteil nach DIN 18 128		0 M.-%	
Bodengruppe nach DIN 18 196		UM, TM	
Bodenklasse nach DIN 18 300 (alt)		4, (2)	
Bezeichnung der Bodenkörner nach DIN EN 14 688-1		clSi, siCl	
Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB-09		F3, sehr frostempfindlich	
Verdichtbarkeitsklasse nach ZTVA-StB97		V3, weniger gut verdichtbar	
Umweltrelevante Inhaltsstoffe		-	
Bodenkennwerte nach Erfahrungswerten sowie nach DIN 1055-2			
Lagerungsdichte		steif	halbfest
Wichte des feuchten Bodens	γ	19,5 kN/m ³	20,5 kN/m ³
Wichte des Bodens unter Auftrieb	γ'	9,5 kN/m ³	11 kN/m ³
Reibungswinkel	φ'	22,5°	22,5°
Kohäsion	c'	5 kN/m ²	10 kN/m ²
Steifemodul	E _s	4 MPa	8 MPa
Tragfähigkeitsbeiwert	E _{v2}	≤ 45 MPa	≤ 80 MPa

Tab. 11: Homogenbereich V mit den zugehörigen Bodenkenwerten

Homogenbereich nach DIN 18 300		
Homogenbereich VI	Festgestein	Schicht 5: Steinkohlegebirge
Benennung von Fels nach DIN EN ISO 14689-1		
Dichte nach DIN 18 125-2	ρ	2,4 - 2,6 t/m ³
Verwitterungsgrad nach DIN EN ISO 14689-1		
Veränderlichkeit nach DIN EN ISO 14689-1		
Druckfestigkeit nach DGGT Empfehlung Nr. 1		
Trennflächenrichtung nach DIN EN ISO 14689-1		
Trennflächenabstand nach DIN EN ISO 14689-1		
Gesteinskörperform nach DIN EN ISO 14689-1		
Öffnungsweiten von Trennflächen nach DIN EN ISO 14		
Bodenkennwerte nach Erfahrungswerten sowie nach DIN 1055-2		
Wichte des Bodens	γ	-
Reibungswinkel	φ'	-
Kohäsion	c'	-
Steifemodul	E_s	100 MPa
Tragfähigkeitsbeiwert	E_{v2}	100 MPa

Tab. 12: Homogenbereich VI mit den zugehörigen Bodenkennwerten

3.6 Tektonik und Seismizität

Das Projektgebiet liegt an der Grenze der Niederrheinischen Bucht zum Rheinischen Schiefergebirge.

Gemäß der DIN 4149:2003-05 wird das Projektgebiet bei Vorliegen der Untergrundklasse T (Übergangsbereich zwischen den Gebieten der Untergrundklassen R und S sowie Gebiete relativ flachgründiger Sedimentbecken) und der Baugrundklasse „A“ (Fels mit höchstens 5 m Überdeckung) der Erdbebenzone 3 zugeordnet (Intensitätsintervall 7,5 - < 8,0 Bemessungswert der Bodenbeschleunigung 0,8 m/s²).

Geplante Gebäude werden, vorbehaltlich einer entgegenstehenden Konstruktion, gemäß DIN 4149 der Bedeutungskategorie II zugeordnet. Aufgrund der Vorgaben der vorgenannten DIN ist es erforderlich, die Standsicherheit auch für den Lastfall „Erdbeben“ nachzuweisen. Für Gebäude der Bedeutungskategorie II ist hierzu der Nachweis über die Erfüllung der allgemeinen konstruktiven Anforderungen (Bauwerksform, Aussteifung, Fugen, Gründung) ausreichend. Ferner muss die zulässige Zahl der Geschosse (max. 2 Vollgeschosse) eingehalten werden, bei Abweichungen hiervon ist ein Nachweis über eine ausreichende Aussteifung des Gebäudes und über bisherige örtliche Erfahrungen zu führen.

3.7 Kampfmittel

Hinsichtlich des Antreffens von Kampfmitteln aus dem 2. Weltkrieg werden, sofern noch keine Unterlagen vorliegen, eine Anfrage beim zuständigen Kampfmittelräumdienst sowie eine besondere Sorgfalt bei der Durchführung von Erdarbeiten empfohlen.

4 Empfehlung für die Gründung von Gebäuden

Im Erschließungsgebiet ist die Errichtung von Einfamilienhäusern vorgesehen, für die prinzipiell verschiedene Gründungsvarianten möglich sind. Bei der Gründung ist es von Bedeutung, dass die Bauwerkssohle innerhalb



eines einheitlichen Lastbodens liegt, da sonst Setzungsdifferenzen und als deren Folge Bauwerksschäden möglich sind.

Exemplarisch werden im Folgenden die möglichen Gründungsvarianten zur Bauausführung aufgeführt.

Infolge der morphologischen Beschaffenheit des Grundstücks sind die Bodenverhältnisse auf dem Projektgelände innerhalb der oberen 2 - 3 m als recht inhomogen zu bewerten. Aufgrund der starken Hanglage des Grundstücks liegen von Erosion betroffene Bereiche sowie Sedimentationsbereiche nahe beieinander. Das bedeutet ein bereichsweises Vorliegen einer relativ mächtigen Überdeckung mit tertiären Meeressanden (Schicht 3) und Lösslehm (Schicht 2). Andernorts fehlen die Schichten 2 und 3 zumindest weitestgehend und die tonigen Verwitterungsbildungen des Festgesteins (Schicht 3) treten nahezu an die Oberfläche. Die vorliegenden Untergrundverhältnisse können widrigenfalls zu unterschiedlichen Setzungen des Baugrunds führen.

In jedem Fall ist vor der Errichtung der Gebäude der vollständige Abtrag des humosen Oberbodens bzw. der humosen Auffüllungen (Schicht 0) erforderlich. Je nach geplanter Höhenlage der Gebäude kann hierdurch eine Auffüllung des Geländes erforderlich werden.

Da die Mächtigkeit der Schicht 0 deutlich variiert, jedoch niemals geringer als 40 cm ist, resultiert für Gebäude in nicht unterkellerten Bauweise insbesondere bei einer geplanten Höhenlage der Bodenplatten Gebäude oberhalb der aktuellen GOK das Erfordernis einer Geländeauffüllung in einer Mächtigkeit von ≥ 40 cm. Die Mindestmächtigkeit eines für eine Flachgründung mittels einer lastabtragenden Bodenplatte erforderlichen Gründungspolsters oberhalb bindiger Böden (Schichten 2 und 4) zur Gewährleistung der Frostschutz- und Tragfähigkeit beträgt 60 cm. Somit ist mit geringem Mehraufwand bei einer Herstellung der ohnehin erforderlichen Geländeauffüllung nach den Kriterien eines Gründungspolsters (siehe Kap. 4.1) eine Flachgründung der nicht unterkellerten Gebäude aus lastabtragenden Bodenplatten oberhalb eines Gründungspolsters aus wirtschaftlichen Aspekten zu empfehlen.

Aufgrund des Erfordernisses einer Gründung möglichst innerhalb eines einheitlichen Lastbodens ist, wegen der Inhomogenität des Untergrunds, die Wahl der lastabtragenden Bodenplatte oberhalb eines Gründungspolsters ebenfalls zu bevorzugen.

Bei unterkellerten Gebäuden kann die Gründungssohle innerhalb der Meeressande (Schicht 3) oder innerhalb des Verwitterungshorizonts (Schicht 4) bzw. des Festgesteins (Schicht 5) liegen. Die o. g. Schichten sind durchweg ausreichend bis gut tragfähig, so dass bei einer Flachgründung eine geringere Mächtigkeit des Gründungspolsters von 30 cm ausreichend ist. Hier ist die Wahl von Streifenfundamenten ebenfalls nicht zu empfehlen, da aufgrund der Inhomogenität des Untergrunds nicht gewährleistet ist, dass die Sohle der Streifen durchweg innerhalb derselben Schicht liegt. Insofern sind bei Streifenfundamenten Setzungsdifferenzen nicht auszuschließen.

4.1 Nicht unterkellerte Bauweise - lastabtragende Bodenplatte

Aufgrund der Höhenverhältnisse des Projektgeländes, die ohnehin eine Auffüllung des Geländes erfordern und der oben geschilderten Inhomogenität der oberen Bodenschichten, einhergehend mit einem hieraus resultierenden stark variierenden Setzungsverhalten, sollten nicht unterkellert geplante Gebäude sinnvollerweise auf einem Gründungspolster gegründet werden. Demzufolge wird auch aus wirtschaftlichen Gründen eine Gründung auf einer tragenden Bodenplatte oberhalb eines Gründungspolsters empfohlen.

Das Polster sollte als Kiessandpolster aus gut kornabgestuftem, mineralischem Baustoff hergestellt werden. Die Mindestmächtigkeit des Gründungspolsters beträgt unter der Annahme einer min. 20 cm starken Bodenplatte 60 cm.

Im geplanten Gründungsniveau muss die für eine frostfreie Gründung erforderliche Mindestdtiefe (gemäß DIN 1054) von 0,80 m u. GOK eingehalten werden. Im Falle der Herstellung eines Gründungspolsters aus frostsicherem Material ist die erforderliche Frostsicherheit bereits gegeben.

Für die Gründung des Gebäudes sind in diesem Fall i. w. die geotechnischen Eigenschaften des aufgefüllten mineralischen Baustoffs (Gründungspolsters) maßgebend, die geotechnischen Eigenschaften der Schichten 2 bis 5 sind lediglich für die tieferreichende Lastabtragung und hinsichtlich der Berechnung der Grundbruchsicherheit und der Setzungen von Bedeutung (siehe Kap. 3.5).

Für gut kornabgestufte, mineralische Baustoffe (z. B. Kiessand 0/32, 0/63 oder 0/100, frostsicher, ggf. RC-Baustoffe, vergleichbar der Bodengruppe GW nach DIN 18196) können die unten angegebenen Bodenkennwerte eines Kiessandes angewendet werden.

Bodenkennwerte: Kies, sandig

Wichte des feuchten Bodens	γ	=	19,0 - 20,0 kN/m ³
Reibungswinkel	φ'	=	32,5° - 35°
Kohäsion	c'	=	0 kN/m ²
Steifemodul	E_s	=	> 80 MN/m ²

Bei der Bemessung eines Gründungspolsters sind ein Überstand des Polsters über die Gebäudeaußenkanten von min. der Mächtigkeit des Polsters - besser jedoch 1,0 m - sowie ein Böschungswinkel des Kiessandpolsters von max. 45° zu berücksichtigen. Die Tragfähigkeit des Gründungspolsters sollte mittels Plattendruckversuchen nach DIN 18134 geprüft werden. Es sollte ein Tragfähigkeitsbeiwert von mindestens ca. $E_{v2} = 80$ MPa sowie ein Verdichtungsverhältnis von $E_{v1}/E_{v2} \leq 2,5$ erreicht werden.

Erfahrungsgemäß kann, vorbehaltlich einer Prüfung durch Plattendruckversuche, bei Erreichen des vorgeannten Tragfähigkeitsbeiwerts für den Bettungsmodul k_s ein Wert von etwa 20 MN/m³ angenommen werden.

Hinweis: Der Bettungsmodul ist keine Bodenkonstante. Die Bemessung ist i. w. von der Konstruktion des Bauwerks abhängig und fällt somit in den Verantwortungsbereich des Tragwerksplaners!

Vorbehaltlich der o. g. detaillierten Grundbruch- und Setzungsberechnungen sollten bei Ausführung einer Plattengründung innerhalb des Gründungspolsters Setzungen in Größenordnungen von 1 - 2 mm angenommen werden. Für die Setzung des Untergrundes unterhalb des Gründungspolsters sind Setzungen von ca. 2 cm zu veranschlagen.

Bei der Ausschachtung des Baufeldes, dem Umplanieren der Auffüllungen und dem Anlegen von Gräben (z. B. für Hausanschlussleitungen) ist darauf zu achten, dass keine aufgeweichten oder aufgelockerten Bereiche in der Tiefenlage der Gründung angetroffen werden. Aufgeweichte oder aufgelockerte Bereiche sollten entfernt und bevorzugt durch Kiessand ersetzt werden.

Zur Vermeidung von Bauwerksschäden infolge von Setzungsdifferenzen wegen unterschiedlicher Bauwerkslasten ist eine Trennfuge zwischen den Bodenplatten von Garage und Wohngebäude erforderlich.

Für die Gründung auf einem Gründungspolster, das aus mineralischen Baustoffen entsprechend der Boden-
 gruppe GW hergestellt wird, können die in den Tabellen 13 und 14 angegebenen Bodenpressungen gemäß
 DIN 1054:2003-01 bzw. Bemessungswerte für den Sohlwiderstand gemäß Tab. A 6.2 des Handbuchs Euro-
 code⁸ 7, Band 1 (Bemessungswerte des Sohlwiderstands, keine aufnehmbaren Sohlrücke und keine zulässi-
 gen Bodenpressungen) angenommen werden.

kleinste Einbindetiefe des Fundaments [m]	Bemessungswert des Sohlwiderstands $\sigma_{R,d}$ in [kN/m ²] bei Streifenfundamenten mit Breiten b bzw. b' von					
	0,5 m	1,0 m	1,5 m	2,0 m	2,5 m	3,0 m
0,5	280	420	460	390	350	310
1,0	380	520	500	430	380	340
1,5	480	620	550	480	410	360
2,0	560	700	590	500	430	390

Tab. 13: Bemessungswerte des Sohlwiderstandes $\sigma_{R,d}$ auf nicht bindigen Baugrund GW, SW, GE, SE, SU, GU nach DIN für setzungsempfindliche Bauwerke nach Tab. A 6.2 Eurocode 7

kleinste Einbindetiefe des Fundaments [m]	aufnehmbarer Sohlrücke in kN/m ² bei Streifenfundamenten mit Breiten b bzw. b' von 0,5 bis 2,0 m und mitteldichter Lagerung [kN/m ²]			
	0,50 m	1,00 m	1,50 m	2,00 m
0,5 m	200	300	330	280
1,0 m	270	370	360	310
1,5 m	340	440	390	340
2,0 m	400	500	420	360

Tab. 14: höchstzulässiger, aufnehmbarer Sohlrücke für nichtbindigen Boden auf der Grundlage einer ausreichenden Grundbruchsicherheit und einer Begrenzung der Setzungen (in Anlehnung an die Tabelle A.2 der DIN 1054 2003-01)

4.2 Unterkellerte Bauweise - lastabtragende Bodenplatte

Die Gründung der unterkellerten Gebäude sollte aufgrund der bis etwa 3 m u. GOK vorliegenden inhomogenen Untergrundverhältnisse ebenfalls mittels lastabtragender Bodenplatte oberhalb eines Gründungspolsters erfolgen.

Aufgrund der Tiefenlage der Gründungssohle bei einer Unterkellerung ist die Frostsicherheit ohne Bedeutung. Die in einer Tiefenlage von etwa 2,5 m bis 3,0 m vorliegenden Schichten 3 bis 5 sind durchweg ausreichend bis gut tragfähig, so dass eine Bemessung des Polsters mit 30 cm ausreicht.

Für die Gründung des Gebäudes sind in diesem Fall i. w. die geotechnischen Eigenschaften des aufgefüllten mineralischen Baustoffs (Gründungspolsters) maßgebend, die geotechnischen Eigenschaften der Schichten 3 bis 5 sind lediglich für die tieferreichende Lastabtragung und hinsichtlich der Berechnung der Grundbruchsicherheit und der Setzungen von Bedeutung (siehe Kap. 3.5).

Für gut kornabgestufte, mineralische Baustoffe (z. B. Kiessand 0/32, 0/63 oder 0/100, frostsicher, ggf. RC-Baustoffe, vergleichbar der Bodengruppe GW nach DIN 18196) können die in Kap. 4.1 angegebenen Bodenkennwerte eines Kiessandes angewendet werden.

⁸Handbuch Eurocode 7, Geotechnische Bemessung, Band 1: Allgemeine Regeln, 1. Auflage 2011, Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH Berlin, Wien, Zürich

Die Tragfähigkeit des Gründungspolsters sollte mittels Plattendruckversuchen nach DIN 18134 geprüft werden. Es sollte ein Tragfähigkeitsbeiwert von mindestens ca. $E_{v2} = 80 \text{ MPa}$ sowie ein Verdichtungsverhältnis von $E_{v1}/E_{v2} \leq 2,5$ erreicht werden.

Erfahrungsgemäß kann, vorbehaltlich einer Prüfung durch Plattendruckversuche, bei Erreichen des vorgeannten Tragfähigkeitsbeiwerts für den Bettungsmodul k_s ein Wert von etwa 20 MN/m^3 angenommen werden.

Hinweis: Der Bettungsmodul ist keine Bodenkonstante. Die Bemessung ist i. w. von der Konstruktion des Bauwerks abhängig und fällt somit in den Verantwortungsbereich des Tragwerksplaners!

Vorbehaltlich der o. g. detaillierten Grundbruch- und Setzungsrechnungen sollten bei Ausführung einer Plattengründung innerhalb des Gründungspolsters Setzungen in Größenordnungen von 1 - 2 mm angenommen werden. Für die Setzung des Untergrundes unterhalb des Gründungspolsters sind Setzungen von ca. 2 cm zu veranschlagen.

Bei der Ausschachtung des Baufeldes, dem Umplanieren der Auffüllungen und dem Anlegen von Gräben (z. B. für Hausanschlussleitungen) ist darauf zu achten, dass keine aufgeweichten oder aufgelockerten Bereiche im Bereich der Gründung angetroffen werden. Aufgeweichte oder aufgelockerte Bereiche sollten entfernt und bevorzugt durch Magerbeton (alternativ durch Kiessand) ersetzt werden.

Für die Gründung auf einem Gründungspolster, das aus mineralischen Baustoffen entsprechend der Bodenklasse GW hergestellt wird, können die in den Tabellen 13 und 14 (Kap. 4.1) angegebenen Bodenpressungen gemäß DIN 1054:2003-01 bzw. Bemessungswerte für den Sohlwiderstand gemäß Tab. A 6.2 des Handbuchs Eurocode⁹ 7, Band 1 (Bemessungswerte des Sohlwiderstands, keine aufnehmbaren Sohlrücke und keine zulässigen Bodenpressungen) angenommen werden.

4.3 Herstellung eines Gründungspolsters

Das für die Plattengründung erforderliche Gründungspolster ($D = \text{ca. } 0,20 - 0,60 \text{ m}$) sollte in 1 - 2 Lagen je 20 - 30 cm hergestellt werden. Der hierzu verwendete mineralische Baustoff (z. B. Kies 0/32, 0/63, 0/100, ggf. RC-Baustoffe) sollte bevorzugt oberhalb eines Geotextils (GRK 2) lagenweise eingebaut und verdichtet werden.

Bei der Bemessung des Polsters sind neben der Mächtigkeit von mindestens 0,2 m (mit Unterkellerung) bzw. 0,6 m (ohne Unterkellerung) ein Überstand des Polsters über die Gebäudeaußenkanten von mindestens der Mächtigkeit des Gründungspolsters - besser jedoch von 1,0 m - sowie ein Böschungswinkel an den Außenkanten des Polsters von max. 45° zu berücksichtigen.

Um die Konsistenz der Schichten 2 und 4 nicht nachteilig zu beeinflussen darf in der unteren Lage des Gründungspolsters auf keinen Fall mit vibrierenden Geräten gearbeitet werden. Erst ab der zweiten Lage des Kiessandpolsters dürfen vibrierende Verdichtungsgeräte eingesetzt werden.

Für nicht bindige, mineralische Baustoffe sind mit einer Glattmantelwalze ohne Vibration 4 - 8 Übergänge vorzusehen. Bei einem Einsatz einer vibrierenden Walze (erst ab der zweiten Lage) oder einer schweren Rüttelplatte sind 4 - 6 Übergänge erforderlich.

⁹Handbuch Eurocode 7, Geotechnische Bemessung, Band 1: Allgemeine Regeln, 1. Auflage 2011, Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH Berlin, Wien, Zürich

Anmerkung: Falls das Gründungspolster aus güteüberwachten RC-Baustoffen hergestellt werden soll, ist zu beachten, dass für den Einbau von RCL voraussichtlich ein Antrag auf Erteilung einer Wasserrechtlichen Erlaubnis zu stellen ist.

Prinzipiell sind die geologischen Standortbedingungen des Projektgeländes im Hinblick auf die Verwendung von RCL oberhalb der gering wasserdurchlässigen Schichten 2 und 4 und des relativ großen Flurabstandes des Grundwassers als „günstig“ zu bezeichnen.

4.4 Abdichtung, Frostsicherheit

Die Böden der Schichten 2 und 4 sind als kaum wasserdurchlässig einzustufen. Im Boden enthaltenes bzw. aufgenommenes Oberflächen- bzw. Niederschlagswasser kann nur sehr langsam versickern.

Die erdberührten Teile der Gebäude sind gemäß DIN 18533-1 Teil 5.1.1.2 (alt: DIN 18195, Teil 5) gegen nicht drückendes Wasser abzudichten. Bei den Kanalgräben ist darauf zu achten, dass sich im Arbeitsraum der Baugrube nach der Verfüllung kein Wasser aufstauen kann. Aufgrund dessen wird die Verfüllung durch gering durchlässiges Bodenmaterial empfohlen, um ein zusätzliches Eindringen von Wasser in den Arbeitsraum zu vermeiden. Nach Erfordernis ist hier eine Drainageleitung einzubauen.

Der zur Gewährleistung der Frostsicherheit der Gebäudegründung erforderliche frostsichere Aufbau in einer Mindeststärke von 0,8 m ist im Falle der Herstellung eines 0,6 m mächtigen Kiessand- oder RC-Polsters und einer 0,2 m mächtigen Bodenplatte des Gebäudes ebenfalls gegeben. Vorausgesetzt wird eine vollständige Andeckung der Bodenplatte.

5 Kanalbau

Die Kanalsole der Entwässerungskanäle wird mit ca. 2 m u. GOK angenommen. Aufgrund der inhomogenen Untergrundverhältnisse liegt die Sohle sowohl im anstehenden Lösslehm (Schicht 2) als auch in den Meeresanden (Schicht 3) und den Verwitterungsbildungen (Schicht 4).

Die Grabensohlen in den bindigen Böden der Schicht 2 (Lösslehm) weisen eine steife Konsistenz auf. Die bindigen Böden der Schicht 4 (Verwitterungsbildungen) liegen meist in einer halbfesten Konsistenz vor. Sollten in der Grabensohle aufgeweichte Partien vorliegen, so müssen diese durch ein verdichtungsfähiges Material (Kiessand 0/32, 0/63 mm bzw. Magerbeton) oberhalb eines Geotextils (GRK 2) ersetzt werden. Die erforderliche Mächtigkeit des Bodenaustauschs in aufgeweichten Partien beträgt mindestens 30 cm.

Für die Grabensohle in den enggestuften Sanden der Schicht 3 ist eine Nachverdichtung erforderlich. Aufgrund des möglicherweise geringen Abstands zur bindigen Schicht 4 unterhalb der Schicht 3, sowie der Gleichkörnigkeit des Sandes und des fehlenden Stützkorns ist eine Verdichtung ohne Vibration durchzuführen.

Der im Bereich der gesamten Grabensohlen anstehende Boden ist hinsichtlich seiner tatsächlichen Beschaffenheit zu prüfen. Bei den Aushubarbeiten ist darauf zu achten, dass die Lagerungsdichte/Konsistenz der in situ verbleibenden Böden nicht gestört (aufgelockert/aufgeweicht) wird. Um eine Konsistenzverschlechterung der bindigen Böden infolge der Ausschachtung des Grabens zu vermeiden, sollten die Arbeiten bevorzugt mit einem Tieföffelbagger mit glatter Schneide ausgeführt werden.



Die Grabensohlen im Bereich der bindigen Böden sollten nicht längerfristig offen liegen. Freigelegte Bereiche sind werktätlich fertigzustellen bzw. gegen Witterungseinflüsse zu schützen.

Auf der Grabensohle können oberhalb des anstehenden Bodens oder eines Bodenaustauschs die Rohraufleger gemäß DIN EN 1610 hergestellt werden, nachdem die Grabensohle dementsprechend vorbereitet wurde (Glätten, Verdichten). Grundsätzlich kann im Bereich der anstehenden Böden eine „normale Rohrbettung“ (Typ 1 gemäß DIN EN 1610) ausgeführt werden. Eine Unterstützung der Rohre über deren gesamte Länge muss gewährleistet sein. Für die Rohrbettungsschicht ist gemäß DIN EN 1610 eine Mindeststärke von 100 mm gefordert.

Bei der Herstellung der Grabensohle, der Herstellung des Rohrauflegers, dem Einbau der Rohrleitungen sowie bei der Verfüllung der Gräben sind neben den Vorschriften der Rohrhersteller die DIN EN 1610, die ZTVE-StB-09 sowie das Merkblatt für das Verfüllen von Leitungsgräben zu beachten.

Aufgrund des großen morphologischen Gefälles des Geländes sollten in den Kanalgräben prinzipiell Lehmschläge vorgesehen werden. Dies insofern, als die Kanalgräben innerhalb der gering wasserdurchlässigen anstehenden Böden wie eine Drainage wirken und durch potentiell in den Kanalgräben fließendes Wasser Ausspülungen verursacht werden können. Insofern erscheint auch der Wiedereinbau der bindigen Aushubböden oberhalb der Rohrzone sinnvoll, da hierdurch der Kanalgraben in Richtung der Geländeoberfläche abgedichtet wird.

5.1 Herstellung des Kanalgrabens, Verbau

Aufgrund der vorliegenden Untergrundverhältnisse werden die bei ca. 2,0 m u. GOK angenommenen Kanalsohlen im Erschließungsgebiet innerhalb der Schichten 2, 3 und 4 liegen.

Die Grabensohlen im Bereich der anstehenden bindigen Böden (Schichten 2 und 4) sollten nicht längerfristig offen liegen. Freigelegte Bereiche sind werktätlich fertigzustellen bzw. gegen Witterungseinflüsse zu schützen. Aufgeweichte Partien müssen entfernt und durch verdichtungsfähiges Material (Kiessand 0/32, 0/63 bzw. bevorzugt Magerbeton) ersetzt werden.

Ferner sind bindige Böden und enggestufte Sande empfindlich gegenüber einer Bearbeitung mit vibrierenden Geräten sowie einer Befahrung mit Radfahrzeugen, wodurch eine erhebliche Minderung der Konsistenz verursacht werden kann. *Eine Bearbeitung mit vibrierenden Geräten sowie eine Befahrung mit Radfahrzeugen sollten unterbleiben.*

Aufgrund der ausreichenden Platzverhältnisse innerhalb des Geländes kann der Neubau des Kanals - außerhalb der Anschlussstellen der vorhandenen Kanalisation in der Straße „Rymelsberg“ - auch in geböschter Bauweise erfolgen.

Bei der Ausschreibung der Maßnahme mit geböschten Gräben sind die folgenden Böschungswinkel zu berücksichtigen.

- bis zu einer Tiefe von 1,25 m dürfen Gräben senkrecht ausgeschachtet werden
- bindige Böden (humoser Oberboden/Auffüllung (Schicht 0), Lösslehm (Schicht 2) und Verwitterungsbildungen (Schicht 4)): bei Vorliegen einer mindestens steifen Konsistenz max. 60°, bei Vorliegen einer weichen bis steifen oder weichen Konsistenz max. 45°
- nicht bindige Böden (Auffüllungen (Schicht 1), Meeressande (Schicht 3)): bei Vorliegen einer mindestens mitteldichten Lagerung max. 45°

- bei Auftreten von Schichtwasserhorizonten sind unter 30° abgeflachte Filterkeile vorzuschütten
- Ggf. anfallendes Schicht- oder Tagwasser sollte über Drainagegräben oder Wasserhaltungsmaßnahmen (offene Wasserhaltung) abgeführt werden

Aufgrund des erforderlichen Mehraushubs bei geböschter Bauweise im Bereich der Kanalanschlüsse im vorhandenen Straßenbereich wird empfohlen, die Verlegung des Kanals mittels eines nach DIN 4124 verbauten Grabens auszuführen. Bei der Planung und Ausschreibung sind die Mindestgrabenbreiten gemäß DIN EN 1610 zu beachten.

Der Verbau kann als senkrechter Grabenverbau (z. B. Tafelverbau, Kanaldielen oder Dielen-Kammer-Verbau) ausgeführt werden. Die bindigen Böden im Bereich der Kanalgräben können als vorübergehend standfest eingestuft werden. Daher kann in den Schicht 2 und 4 mit dem Einstellverfahren gearbeitet werden. Der Verbau der Kanalgräben im Bereich der als nicht ausreichend standfest einzustufenden Schicht 3 ist im Absenkverfahren vorzunehmen.

Beim Einsatz der Verbaugeräte sind die Vorschriften der Tiefbauberufsgenossenschaften zu beachten. Alle Grabenwände müssen vollständig verbaut oder abgeböschert werden. Gegebenenfalls entstehende Ausbrüche in den Grabenwänden sind kraftschlüssig zu hinterfüllen. Für die Berechnung und Bemessung des Verbaus sind die Empfehlungen des Arbeitskreises Baugruben "EAB" maßgebend. Der statische Nachweis sollte vom Auftragnehmer vor Beginn der Baumaßnahme vorgelegt werden. Der Verbau ist für einen aktiven Erddruck zu bemessen. Es ist ferner zu prüfen, ob ggf. die Lastabtragung von Verkehrslasten auf den Verbau einwirkt. Für die Bemessung können die in Kap. 3.5 angegebenen Bodenkennwerte zugrunde gelegt werden.

Im Falle des Einrammens von Spunddielen sind die zu durchörternden bindigen Böden bei steifer Konsistenz (Schicht 2 - Lösslehm) als leicht rammpbar einzustufen. Bei Vorliegen einer halbfesten Konsistenz (Schicht 4 - Verwitterungsbildungen) ist die Rammpbarkeit als mittelschwer anzunehmen. Die Tertiären Sande (Schicht 3) sind in der angetroffenen mitteldichten Lagerung als schwer rammpbar einzuordnen. Hier sind ggf. Entlastungsbohrungen erforderlich.

Im Bereich des Kanals sollten sämtliche Aushubarbeiten mittels Tieflöffelbagger mit glatter Schneide und mit **Raupenfahrwerk** erfolgen. Außerdem sollten die Aushubarbeiten rückschreitend ausgeführt werden.

6 Verkehrswege

Gemäß den Vorgaben der RStO 12 ist unabhängig von der Belastungsklasse der Verkehrsfläche oberhalb des Planums ein Tragwert $E_{v2} \geq 45$ MPa erforderlich. Die bereichsweise anstehenden bindigen Böden (Schichten 2 und 4) im Projektgebiet erfüllen erfahrungsgemäß diese Anforderung an das Planum nicht, sodass ein zusätzlicher Straßenunterbau notwendig wird. Bei Vorliegen der Meeressande (Schicht 3) sind keine weiteren Maßnahmen erforderlich.

Die für den zusätzlichen Straßenunterbau herzustellende Auffüllung durch mineralischen Baustoff hat unter Einhaltung der Anforderungen der RStO 12¹⁰ zu erfolgen, sodass der o. g. Tragwert erzielt wird. Der für den Straßenunterbau verwendete mineralische Baustoff (z. B. Kiessand 0/32, 0/63, 0/100, ggf. RC-Baustoffe) sollte eine Mächtigkeit von 30 cm nicht unterschreiten. Bei einer möglichen Geländeprofilierung ist die Auffüllung

¹⁰ RStO 12: Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, Ausgabe 2012, Hrsg.: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln

lagenweise (je 30 cm) bis zum Erreichen des erforderlichen Niveaus herzustellen. Der Einbau sollte bevorzugt oberhalb eines Geotextils/Vlies (GRK 2) erfolgen. Dabei sollte die unterste Lage nicht mit vibrierenden Geräten verdichtet werden, um die Konsistenz der Schicht 2 bzw. 4 nicht nachteilig zu beeinflussen. In der zweiten Lage dürfen vibrierende Verdichtungsgeräte eingesetzt werden. Für nicht bindige, mineralische Baustoffe sind mit einer Glattmantelwalze ohne Vibration 4 - 8 Übergänge vorzusehen. Bei einem Einsatz einer vibrierenden Walze oder einer schweren Rüttelplatte sind 4 - 6 Übergänge erforderlich. Der auf dem Planum geforderte Tragwert sollte mit Plattendruckversuchen nach DIN 18134 nachgewiesen werden.

Alternativ ist es möglich auf dem Top des in situ verbleibenden bindigen Bodens eine Bodenbewehrung vorzunehmen und diesen Boden filterstabil gegenüber den darüber einzubauenden mineralischen Baustoffen des Oberbaus auszulegen. Hierfür hat sich die Verlegung eines Kombinationsprodukts aus einem Kunststoffgeogitter und einem Vlies (z. B. Tensar TX 170/G) bewährt. Dieses Material steigert die Tragfähigkeit und Verdichtbarkeit der oberhalb eingebauten mineralischen Baustoffe erheblich und gewährleistet gleichzeitig die Filterstabilität zwischen dem anstehenden Boden und den Baustoffen des Straßenoberbaus. Nachteilig ist jedoch, dass spätere Arbeiten (z. B. zur Verlegung von Versorgungsleitungen durch die Bodenbewehrung erschwert werden.

Der Deckenaufbau der Fahrflächen wird gemäß RStO 12 BK1,0 angenommen. Der Gesamtaufbau oberhalb des Planums weist planmäßig eine Gesamtmächtigkeit von 0,55 m auf. Hierbei wird auf der Schottertragschicht ein Verformungsmodul von $E_{v2} = 120$ MPa gefordert.

Die ungebundene Frostschutz- und Tragschicht ist ebenfalls lagenweise aus frostfreiem, mineralischem Baustoff (z. B. Kies 0/32, 0/63, 0/100, ggf. RC-Baustoffe) mit einer Mächtigkeit von jeweils ca. 30 cm einzubauen und zu verdichten. Hinsichtlich des Verdichtungsgrades wird auf die Vorgaben der ZTVE-StB 09 verwiesen.

Für die Prüfung der Verformungsmoduln auf der ungebundenen Frostschutz- und Tragschicht wird ebenfalls die Durchführung von Plattendruckversuchen nach DIN 18134 empfohlen.

Oberhalb des Planums bzw. zusätzlichen Straßenunterbaus (Tragwert $E_{v2} \geq 45$ MPa) sind unabhängig von der Frostsicherheit mindestens folgende Einbaustärken (Material der Bodengruppen GW/GI nach DIN 18196) zu kalkulieren, um die geforderten Tragwerte der Tragschicht zu erzielen:

Stärke der Kiestragschicht [cm]	Verformungsmodul E_{v2} auf der Tragschicht [MPa]
30	80
40	100
50	120/150 (150 MPa nur mit gebrochenen Gesteinskörnungen und bei örtlicher Bewehrung anwendbar)

Tab. 15: Verformungsmodul E_{v2} in Abhängigkeit von der Stärke der Tragschicht nach Tab. 8 der RStO 12 (siehe Anhang).

Durch die Richtlinien der ZTVE¹¹ wird innerhalb der Leitungszone eine Proctordichte von $D_{Pr} \geq 97\%$ gefordert. Die ZTV SoB-StB 2004/2007¹² fordert einen Verdichtungsgrad der Tragschicht von $D_{Pr} \geq 103\%$. Bei Verkehrsflächen in geschlossener Ortslage, bei denen der Einbau durch Schächte o. ä. behindert ist, kann in der Leistungsbeschreibung ein Verdichtungsgrad von mindestens $D_{Pr} = 100\%$ vorgesehen werden. Bei den o. g. An-

¹¹ Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdbauarbeiten

¹² Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau, Ausgabe 2004, Fassung 2007

forderungen sollte der Verhältniswert der Verformungsmoduln E_{V2} / E_{V1} nicht größer als 2,2 (bei $D_{Pr} = 103\%$) bis 2,5 ($D_{Pr} = 98\%$) sein. Außerhalb der Leitungszone werden gemäß ZTVE in Abhängigkeit von der Tiefenlage und der Bodenart Proctordichten von $D_{Pr} \geq 95 - 100\%$ gefordert. Üblicherweise wird für die Prüfung der erreichten Verdichtung anstelle der materialspezifischen Proctordichte der Verformungsmodul (Tragfähigkeitsbeiwert) verwendet, der im Bereich des Planums ein $E_{V2} \geq 45$ MPa erreichen sollte.

In der Leitungszone sollten die verwendeten Baustoffe keine Bestandteile enthalten, die größer sind als:

- 22 mm bei $DN \leq 200$ mm,
- 40 mm bei $DN > 200$ mm bis $DN \leq 600$ mm

Während der Bauausführung ist auf die strikte Einhaltung des Einbaus der Auffüllung in geringmächtigen Lagen (max. 0,25 m je Lage) zu achten, um im Bereich des Planums die bestmögliche Verdichtung zu erzielen. Für bindige Böden wird der Einsatz einer Schaffußwalze empfohlen. Für eine ausreichende Verdichtung sind 4 - 8 Übergänge erforderlich. Es wird empfohlen, eine Probeverdichtung durchzuführen.

Die Kontrolle der erreichten Verdichtung des Verfüllmaterials sollte mittels Künzelungen (Rammsondierungen mit der Leichten Rammsonde DPL nach DIN 4094) geprüft werden. Zur Prüfung der Tragfähigkeit des Planums wird die Durchführung von Plattendruckversuchen nach DIN 18134 empfohlen.

7 Empfehlungen für die Bauausführung

7.1 Aushub, Böschungen, Planum

Ein Befahren des Baugrunds im gesamten Projektgebiet mit Radfahrzeugen muss unterbleiben, um eine Konsistenzverschlechterung der bindigen Schichten 0 (humoser Oberboden / humose Auffüllungen), 2 (Lösslehm) und 4 (Verwitterungsbildungen) infolge einer dynamischen Beanspruchung des Bodens zu vermeiden. Aus dem gleichen Grund darf auf diesen Böden auch keine Bearbeitung mit vibrierenden Geräten (z. B. Rüttelplatte) erfolgen. Die Anlage einer Baustraße auch zur Andienung der Baustellen für die Leitungstrassen ist zu empfehlen.

Der Aushub für die Vorabschachtung (Abtrag der humosen Böden, Schicht 0) und für die Herstellung von Gräben für Grundleitungen sollte mittels eines Tieflöffelbaggers mit glatter Schneide erfolgen. Es wird empfohlen für die Arbeiten einen Bagger mit Raupenfahrwerk zu verwenden und die Arbeiten rückschreitend auszuführen.

Bis zu einer Tiefe von 1,25 m dürfen Gräben (z. B. für Hausanschlussleitungen) senkrecht ausgeschachtet werden, ab 1,25 m Tiefe sind Gräben geböschet oder verbaut auszuführen. Böschungen können bei einer mindestens steifen Konsistenz in bindigen Böden (Schicht 0, 2 und 4) mit einem Böschungswinkel von 60° angelegt werden. Bei Vorliegen einer nur weichen Konsistenz ist der Böschungswinkel auf 45° zu beschränken. Bei Auftreten von Schichtwasserhorizonten sind unter 30° abgeflachte Filterkeile vorzuschütten. Gegebenenfalls anfallendes Schicht- oder Tagwasser sollte über Drainagegräben oder Wasserhaltungsmaßnahmen (offene Wasserhaltung) abgeführt werden. Gräben für Hausanschlussleitungen und Kanalgräben sind unter Berücksichtigung der Vorgaben der DIN EN 1610 zu bemessen.

Da der anstehende Boden der Schichten 0, 2 und 4 wasserempfindlich ist, sollten freigelegte Bereiche je nach Jahreszeit und Witterungsbedingungen gegen Wasserzutritt geschützt werden. Grabensohlen sollten unmittelbar nach dem Aushub mindestens durch eine Magerbetonschicht geschützt werden. Die Baugrundsohle



sollte je nach Erfordernis und Dauer der ungeschützten Freilage durch ein ausreichendes Quergefälle (= 6 %) oder durch eine Folienabdeckung geschützt werden.

7.2 Wasserhaltung

Im Zuge der Baugrunderkundung wurde in den für die Gründung der Gebäude sowie der Kanalsohlen relevanten Tiefenlagen kein Grund- oder Schichtwasser angetroffen.

Bei einer angenommenen Tiefenlage der Gebäudegründung von 0,6 m bzw. max. 3,0 m u. GOK und der Unterkante der Gräben für Ver- und Entsorgungskanäle im Bereich der Stichwege bei etwa 2,0 m u. GOK ist Grundwasser ohne Bedeutung.

Tagwasser ist von den Baugruben- und Gründungssohle fernzuhalten. Ggf. anfallendes Tag- oder Schichtwasser kann durch eine offene Wasserhaltung beherrscht werden.

7.3 Wiederverwendbarkeit des Aushubbodens

Humoser Oberboden (Schicht 0b) ist gemäß § 202 BauGB bei der Errichtung baulicher Anlagen in nutzbarem Zustand zu erhalten und vor Vernichtung und Vergeudung zu schützen. Demzufolge muss der Oberboden im Bereich der Baumaßnahme abgetragen und einer dem Sinn des § 202 BauGB entsprechenden Wiederverwertung zugeführt werden.

Anfallende Aushubkubaturen der Schicht 0b (humose Auffüllungen) nicht zur Wiederverwendung geeignet und sind abzufahren. Die bindigen, meist humosen Auffüllungen (Schicht 0a) sind gemäß den chemischen Analysen (Kap. 3.3) nach den Richtlinien der LAGA M20 für Boden wie auch für Bauschutt bei einer Verwertung der LAGA- Einbauklasse Z 2 zuzuordnen.

Anfallende Aushubkubaturen der Schichten 2 (Lösslehm) und 4 (Verwitterungsbildungen) sind aus geotechnischer Sicht ohne weitergehende besondere Maßnahmen zur Bodenverbesserung nur zur Geländeprofilierung außerhalb des Gründungsbereiches der Gebäude geeignet. Sie entsprechen der Verdichtbarkeitsklasse V3. Eine geotechnische Eignung der Schicht 2 zur setzungs- und sackungsfreien Verfüllung von Arbeitsräumen erfordert z. B. die Hinzufügung hydraulischer Bindemittel. Anderenfalls ist der Aushubboden abzufahren. Die Verwitterungsbildungen (Schicht 4) sind gemäß den chemischen Analysen (Kap. 3.3) nach den Richtlinien der LAGA M20 für Boden bei einer Verwertung der LAGA- Einbauklasse Z 1 zuzuordnen.

Die Auffüllungen des Straßenoberbaus (Schicht 1) sowie die oligozänen Meeressande (Schicht 3) sind aus geotechnischer Sicht für eine setzungs- und sackungsfreie Verfüllung von Arbeitsräumen geeignet. Sie sind der Verdichtbarkeitsklasse V1 zuzuordnen. Gemäß den chemischen Untersuchungen (Kap. 3.3) ist die Frostschutz- und Tragschicht der Straße „Rymelsberg“ (Schicht 1) der LAGA-Einbauklasse Z 1.2 (LAGA Bauschutt) zuzuordnen. Die Meeressande (Schicht 3) sind der LAGA-Einbauklasse Z 1 zuzuordnen.

8 Versickerungsfähigkeit

Als potentiell versickerungsfähige Schicht wurden die mittelsandigen Feinsande durch die Bohrungen 1 - 6 sowie 10 in variierenden Mächtigkeiten und Tiefenlagen aufgeschlossen. Die Tiefenlagen sind in Tabelle 16 dargestellt.

Bohrung	Tiefenlage [m u. GOK]	
	von	bis
B 1	1,7	2,7
B 2	1,8	3,2
B 3	2,0	3,2
B 4	0,8	3,0
B 5	0,4	2,0
B 6	2,0	2,6
B 10	0,9	0,95

Tabelle 16: Tiefenlagen der mittelsandigen Feinsande in den Bohrungen 1 - 6 sowie 10

In den Bohrlöchern der Bohrungen B4 und B5 wurde in einer Untersuchungstiefe im Bereich der mittelsandigen Feinsande (Schicht 3: Meeressande) je ein Versickerungsversuch durchgeführt, um das Versickerungspotential des Untergrundes zu erkunden. Die Versickerungsversuche wurde gemäß USBR EARTH MANUAL¹³ (Brunnenmethode) im verfilterten Bohrloch durchgeführt und ausgewertet.

Es wurden Durchlässigkeitsbeiwerte von $k_f = 2,12 \times 10^{-5}$ m/s sowie $k_f = 7,45 \times 10^{-6}$ m/s ermittelt. Gemäß DWA-A 118¹⁴ ist zur Festlegung des Bemessungs- k_f -Wertes bei Feldmethoden ein Korrekturfaktor von 2 anzusetzen. Daraus ergeben sich korrigierte Durchlässigkeitsbeiwert von $k_f = 4,24 \times 10^{-5}$ m/s für B 4 von $k_f = 1,49 \times 10^{-5}$ m/s für B 5. Demnach ergibt sich ein relevanter **durchschnittlicher Durchlässigkeitsbeiwert von $2,87 \times 10^{-5}$ m/s**.

Zudem wurde aus den Proben 4-01 (1,5 - 3,0 m) sowie 5-02 (0,4 - 2,0 m), die der versickerungsfähigen Schicht entnommen wurde, die Korngrößenverteilung nach DIN 18123 ermittelt (siehe Kap. 3.4).

Die Sieblinienauswertung nach HAZEN haben Durchlässigkeitsbeiwerte k_f von $6,53 \times 10^{-5}$ m/s für Probe 4-01 sowie $6,01 \times 10^{-5}$ m/s für Probe 5-02 ergeben. Gemäß DWA-A 118 ist zur Festlegung des Bemessungs- k_f -Wertes bei Sieblinienauswertungen ein Korrekturfaktor von 0,2 anzusetzen. Demnach ist nach Berücksichtigung des Korrekturfaktors von einem Durchlässigkeitsbeiwert von $1,31 \times 10^{-5}$ m/s für Probe 4-01 und $1,20 \times 10^{-5}$ m/s für Probe 5-02 auszugehen. Demnach ergibt sich für die Schicht 3 (Meeressande) ein durchschnittlicher **Durchlässigkeitsbeiwert von $1,25 \times 10^{-5}$ m/s**.

Gemittelt aus dem ausgewerteten Bohrlochversuch und der Berechnung aus der Kornverteilung liegt ein **Durchlässigkeitsbeiwert von $2,06 \times 10^{-5}$ m/s** vor.

Der entwässerungstechnisch relevante Versickerungsbereich liegt gemäß DWA-A 138 etwa in einem k_f -Bereich von 1×10^{-3} bis 1×10^{-6} m/s. Der ermittelte durchschnittliche k_f -Wert liegt somit im geforderten Bereich.

Im Bohrloch der Bohrung B9 wurde in einer Tiefe von 2,4 m u. GOK ebenfalls ein Versickerungsversuch durchgeführt. Der verwitterte Fels hat jedoch keine Versickerung des Wassers zugelassen. Die an der Probe 9-01 (0,4 - 2,4 m) durchgeführte Siebanalyse zeigt einen sehr hohen Feinstkornanteil von > 10 M-%. Somit ist nur eine annähernde Schätzung des für die Berechnung des Durchlässigkeitsbeiwerts erforderlichen d_{10} (Korngröße im Schnittpunkt der 10 %-Linie mit der Summenkurve) möglich. Die Durchlässigkeit des Verwitte-

¹³ Earth Manual: A Water Resources Technical Publication, US Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 1974

¹⁴ DWA-Regelwerk: Arbeitsblatt DWA-A 138 Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, Hennef 2005

runghorizonts (Schicht 4) ermittelt sich näherungsweise zu $k_f = 1,7 \times 10^{-8}$ m/s. Unter Berücksichtigung des Korrekturfaktors lässt sich der **Durchlässigkeitsberwert bei $k_f = 3,3 \times 10^{-9}$ m/s** annehmen.

Aufgrund der Lage von Rymelsberg oberhalb des Grundgebirgssockels ist keine Angabe eines durchgehenden freien Grundwasserspiegels möglich. Ursächlich dafür ist die Ausrichtung des Grundwasserfließverhaltens an Schichtgrenzen und Klufflächen im Untergrund, die - anders als im Lockergesteinsgrundwasserleiter - keinen homogenen Grundwasserspiegel ermöglicht. Der geforderte Mindestabstand einer Versickerungsanlage zum höchst gemessenen Grundwasser beträgt $> 1,0$ m. In den Bohrlöchern der durchgeführten Erkundungsbohrungen wurde kein Grundwasserstand eingemessen.

Nach den Ergebnissen des Versickerungsversuchs ist eine Versickerung innerhalb des mittelsandigen Feinsandes der Schicht 3 zwar möglich, jedoch ist aus folgenden Gründen davon abzuraten.

Die versickerungsfähigen Meeressande (Schicht 3) liegen im Projektgebiet nicht flächendeckend vor. Ferner variiert ihre Mächtigkeit und ist bereichsweise, trotz Vorliegen der Schicht für eine Versickerung nicht ausreichend bemessen. Zudem liegt unterhalb der Meeressande grundsätzlich der sehr schlecht wasserdurchlässige Verwitterungshorizont (Schicht 4) vor, so dass es zwangsläufig zu Stauwasser kommen würde. Das aufgestaute Wasser könnte widrigenfalls ins benachbarte, morphologisch tiefer liegende Gelände i. S: von Schichtwasseraustritten ausfluten.

Im Falle von Rückfragen und für eine weitergehende Beratung stehen wir Ihnen selbstverständlich gerne zur Verfügung.

IQ Ingenieurgesellschaft Quadriga mbH

Holger Seeberger
Dipl.-Geol. BDG
Durchwahl: -25
H.Seeberger@IQ-mbH.de

Lydia Seiffert
M.Sc.-Geol. (RWTH)
Durchwahl: -23
L.Seiffert@IQ-mbH.de

Anlagen:

	Lageplan der Ansatzstellen
1 - 11	Bohrprofile der Bohrungen
1.1 - 11.1	Schichtenverzeichnisse der Bohrungen
12 - 15	Profilschnitte
	12 Gründungsempfehlung – nicht unterkellerte Wohnhäuser
	13 Gründungsempfehlung – unterkellerte Wohnhäuser
	14 Straßenplanung Stichwege
	15 Straßenplanung Anschluss Rymelsberg
	16 Kanalplanung
17	Legende zu den Bohrprofilen
A 1 - A 6	Ergebnisse der chemischen Untersuchungen der Bodenproben
A 7	Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen der Bodenproben

rungshorizonts (Schicht 4) ermittelt sich näherungsweise zu $k_f = 1,7 \times 10^{-8}$ m/s. Unter Berücksichtigung des Korrekturfaktors lässt sich der **Durchlässigkeitsberwert bei $k_f = 3,3 \times 10^{-9}$ m/s** annehmen.

Aufgrund der Lage von Rymelsberg oberhalb des Grundgebirgssockels ist keine Angabe eines durchgehenden freien Grundwasserspiegels möglich. Ursächlich dafür ist die Ausrichtung des Grundwasserfließverhaltens an Schichtgrenzen und Klufflächen im Untergrund, die - anders als im Lockergesteinsgrundwasserleiter - keinen homogenen Grundwasserspiegel ermöglicht. Der geforderte Mindestabstand einer Versickerungsanlage zum höchst gemessenen Grundwasser beträgt $> 1,0$ m. In den Bohrlöchern der durchgeführten Erkundungsbohrungen wurde kein Grundwasserstand eingemessen.

Nach den Ergebnissen des Versickerungsversuchs ist eine Versickerung innerhalb des mittelsandigen Feinsandes der Schicht 3 zwar möglich, jedoch ist aus folgenden Gründen davon abzuraten.

Die versickerungsfähigen Meeressande (Schicht 3) liegen im Projektgebiet nicht flächendeckend vor. Ferner variiert ihre Mächtigkeit und ist bereichsweise, trotz Vorliegen der Schicht für eine Versickerung nicht ausreichend bemessen. Zudem liegt unterhalb der Meeressande grundsätzlich der sehr schlecht wasserdurchlässige Verwitterungshorizont (Schicht 4) vor, so dass es zwangsläufig zu Stauwasser kommen würde. Das aufgestaute Wasser könnte widrigenfalls ins benachbarte, morphologisch tiefer liegende Gelände i. S. von Schichtwasseraustritten ausfluten.

Im Falle von Rückfragen und für eine weitergehende Beratung stehen wir Ihnen selbstverständlich gerne zur Verfügung.

IQ Ingenieurgesellschaft Quadriga mbH

Holger Seeberger
Dipl.-Geol. BDG
Durchwahl: -25
H.Seeberger@IQ-mbH.de



Lydia Seiffert
M.Sc.-Geol. (RWTH)
Durchwahl: -23
L.Seiffert@IQ-mbH.de



Anlagen:

	Lageplan der Ansatzstellen
1 - 11	Bohrprofile der Bohrungen
1.1 - 11.1	Schichtenverzeichnisse der Bohrungen
12 - 15	Profilschnitte
12	Gründungsempfehlung – nicht unterkellerte Wohnhäuser
13	Gründungsempfehlung – unterkellerte Wohnhäuser
14	Straßenplanung Stichwege
15	Straßenplanung Anschluss Rymelsberg
16	Kanalplanung
17	Legende zu den Bohrprofilen
A 1 - A 6	Ergebnisse der chemischen Untersuchungen der Bodenproben
A 7	Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen der Bodenproben
V 1 - V 3	Protokolle der
	Versickerungsversuche