



**Verlängerung U4 – Bockenheimer Warte nach
Ginnheim (Stadtbahnstrecke D, Teilabschnitt 2)**

Geotechnischer Untersuchungsbericht

Projekt-Nr.: **260756**

Index a

Erstellt im Auftrag von:
**Stadtbahn Entwicklung und
Verkehrsinfrastrukturprojekte
Frankfurt GmbH (SBEV)
Mainzer Landstraße 191
60327 Frankfurt am Main**

Dr.-Ing. Heiko Huber
Dr. rer. nat. Azadeh Abdollahi
Dr.-Ing. Hendrik Ramm
2024-05-27

Index a:

Im vorliegenden Index a des Geotechnischen Untersuchungsberichtes „Verlängerung U4 – Bockenheimer Warte nach Ginnheim (Stadtbahnstrecke D, Teilabschnitt 2)“ wurden gegenüber der indexlosen Berichtsvariante vom 22.06.2023 die folgenden Änderungen vorgenommen:

- Der Titel wurde zu „Verlängerung U4 – Bockenheimer Warte nach Ginnheim (Stadtbahnstrecke D, Teilabschnitt 2)“ geändert.
- Die Variante 3 wurde im gesamten Dokument zur Variante 3i geändert.
- Auf Seite 9 wurde die planende und auftraggebende Gesellschaft von VGF in SBEV geändert.
- Auf Seite 12 wurden die Beschreibungen der verschiedenen Trassenvarianten angepasst.
- Die Anlagen 1.3 und 2.3 wurden aufgrund der Trassenvariante 3i aktualisiert.

Im Zusammenhang mit den aufgeführten Ergänzungen wurden redaktionelle Änderungen durchgeführt:

- Seitenzahlen,
- Inhaltsverzeichnis.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1	VERANLASSUNG 9
2	UNTERLAGEN 10
3	BAUVORHABEN 12
4	BAUGRUND- UND GRUNDWASSERUNTERSUCHUNGEN 13
4.1	Kampfmitteluntersuchungen 13
4.2	Felduntersuchungen 13
4.3	Boden- und felsmechanische Laboruntersuchungen 14
4.4	Umwelttechnische Laborversuche 15
5	BAUGRUND 16
5.1	Geologischer Überblick 16
5.2	Beschreibung der Baugrundsichten 16
5.2.1	Mutterboden / Oberflächenbefestigung 17
5.2.2	Schicht 1: Auffüllungen 17
5.2.3	Schicht 2: Quartäre Deckschichten 17
5.2.4	Schicht 3: Quartäre Sande und Kiese 18
5.2.5	Schicht 4: Tertiär 18
5.2.5.1	Übersicht 18
5.2.5.2	Schicht 4a: Tertiäre Sande 19
5.2.5.3	Schicht 4b: Tertiäre Schluffe und Tone 19
5.2.5.4	Schicht 4c: Tertiärer Fels (Basalt, Mergel-, Kalk-, Dolomit-, und Sandstein) 20
5.3	Geotechnische Kategorie 20
5.4	Erdbeben 20
5.5	Ergebnisse der boden- und felsmechanischen Laborversuche 21
5.5.1	Schicht 2: Quartäre Schluffe 21
5.5.2	Schicht 3: Quartäre Sande und Kiese 23
5.5.3	Schicht 4a: Tertiäre Sande 24
5.5.4	Schicht 4b: Tertiäre Schluffe und Tone 28
5.5.5	Schicht 4c: Tertiärer Fels 46
5.6	Bautechnische Eigenschaften 51
5.6.1	Charakteristische boden- und felsmechanische Kennwerte 51
5.7	Umwelttechnische Untersuchungen 59
5.7.1	Abfallrechtliche Einstufung des anfallenden Bodenaushubmaterials 59
5.7.1	Chemische Untersuchung der Asphaltkerne 65
6	HYDROGEOLOGIE 66
6.1	Übersicht 66

6.2	Gemessene Grundwasserstände	66
6.3	Versickerungsmöglichkeit	68
6.4	Grundwasserschutzgebiete	68
7	ZUSAMMENFASSUNG	69

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

	Seite
Abbildung 5.1	Charakteristisches Kornverteilungsband der Schicht 2 entsprechend den ermittelten Körnungslinien..... 22
Abbildung 5.2	Charakteristisches Kornverteilungsband der Schicht 3 entsprechend den ermittelten Körnungslinien..... 24
Abbildung 5.3	Häufigkeit des Wassergehaltes der untersuchten Bodenproben der Schicht 4a 25
Abbildung 5.4	Charakteristisches Kornverteilungsband der Schicht 4a entsprechend den ermittelten Körnungslinien..... 27
Abbildung 5.5	Häufigkeit des Wassergehaltes der untersuchten Bodenproben der Schicht 4b 30
Abbildung 5.6	Charakteristisches Kornverteilungsband der Schicht 4b entsprechend den ermittelten Körnungslinien..... 33
Abbildung 5.7	Häufigkeit der Konsistenz der untersuchten Bodenproben der Schicht 4b 35
Abbildung 5.8	Häufigkeit des Kalkgehaltes der untersuchten Bodenproben der Schicht 4b. 37
Abbildung 5.9	Häufigkeit der Feuchtdichte (a) und Trockendichte (b) der untersuchten Bodenproben der Schicht 4b..... 39
Abbildung 5.10	Häufigkeit der Korndichte der untersuchten Bodenproben der Schicht 4b..... 41
Abbildung 5.11	Häufigkeit der Scherfestigkeit (Kohäsion und Reibungswinkel) der untersuchten Bodenproben der Schicht 4b 42
Abbildung 5.12	Tiefenabhängige Darstellung der ermittelten einaxialen Druckfestigkeiten der Schicht 4b 44
Abbildung 5.13	Charakteristisches Kornverteilungsband der Schicht 4b entsprechend den ermittelten Körnungslinien..... 47
Abbildung 5.14	Tiefenabhängige Darstellung der ermittelten Punktlastindizes der Schicht 4b48

TABELLENVERZEICHNIS

	Seite
Tabelle 5.1	Bestimmung des Wassergehaltes Schicht 2 21
Tabelle 5.2	Bestimmung der Korngrößenverteilung Schicht 2 21
Tabelle 5.3	Bestimmung der Zustandsgrenzen Schicht 2 23
Tabelle 5.4	Bestimmung der Korngrößenverteilung Schicht 3 23
Tabelle 5.5	Bestimmung des Wassergehaltes Schicht 4a 24
Tabelle 5.6	Bestimmung der Korngrößenverteilung Schicht 4a 25
Tabelle 5.7	Bestimmung des Kalkgehaltes Schicht 4a..... 27
Tabelle 5.8	Bestimmung der Mineralogie (Röntgendiffraktometrie) Schicht 4a 28
Tabelle 5.9	Bestimmung des Wassergehaltes Schicht 4b 28
Tabelle 5.10	Bestimmung der Korngrößenverteilung Schicht 4b 31
Tabelle 5.11	Bestimmung der Zustandsgrenze Schicht 4b 34
Tabelle 5.12	Bestimmung des Glühverlustes Schicht 4b 36
Tabelle 5.13	Bestimmung des Kalkgehaltes Schicht 4b..... 36
Tabelle 5.14	Bestimmung der Dichte Schicht 4b 37
Tabelle 5.15	Bestimmung der Korndichte Schicht 4b 40
Tabelle 5.16	Bestimmung der Zusammendrückbarkeit Schicht 4b..... 41
Tabelle 5.17	Bestimmung der Scherfestigkeit Schicht 4b 42
Tabelle 5.18	Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit Schicht 4b 43
Tabelle 5.19	Bestimmung der Mineralogie (Röntgendiffraktometrie) Schicht 4b 45
Tabelle 5.20	Bestimmung der Abrasivität LCPC Schicht 4b..... 45
Tabelle 5.21	Ergebnisse der Quellhebungsversuche Schicht 4b 45
Tabelle 5.22	Ergebnisse der Quelldruckversuche Schicht 4b 46
Tabelle 5.23	Bestimmung der Korngrößenverteilung Schicht 4c..... 46
Tabelle 5.24	Ergebnisse der Punktlastversuche Schicht 4c..... 48
Tabelle 5.25	Bestimmung der Abrasivität CAI Schicht 4c 49
Tabelle 5.26	Bestimmung der Mineralogie (Röntgendiffraktometrie) Schicht 4c 50
Tabelle 5.27	Charakteristische boden- und felsmechanische Kennwerte 51
Tabelle 5.28	Bodengruppen (DIN 18196) 52
Tabelle 5.29	Frostempfindlichkeitsklassen 53
Tabelle 5.30	Zuordnung der Schichten zu Homogenbereichen 54
Tabelle 5.31	Eigenschaften / Kennwerte der Homogenbereiche für Erdarbeiten nach DIN 18300 (2015) – Boden 55

Tabelle 5.32	Eigenschaften / Kennwerte der Homogenbereiche für Erdarbeiten nach DIN 18300 (2015) – Fels.....	56
Tabelle 5.33	Eigenschaften / Kennwerte der Homogenbereiche für Bohrarbeiten nach DIN 18301 (2015) – Boden	57
Tabelle 5.34	Eigenschaften / Kennwerte der Homogenbereiche für Bohrarbeiten nach DIN 18301 (2015) – Fels.....	58
Tabelle 5.35	Untersuchte Proben und Analysenergebnisse Boden	59
Tabelle 5.36	Untersuchte Proben und Analysenergebnisse Bauschutt.....	65
Tabelle 5.37	PAK-Gehalt der Asphaltkerne	65
Tabelle 6.1	In den Aufschlüssen gemessene Grundwasserstände.....	67

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

- PAK - Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
- TOC - Gesamter organischer Kohlenstoff
- GOK - Geländeoberkante

ANLAGENVERZEICHNIS

Anlage 1 Lagepläne

- Anlage 1.1 Übersichtslageplan
- Anlage 1.2 Geologische Karte
- Anlage 1.3 Lageplan mit Baugrundaufschlüssen

Anlage 2 Baugrundschnitte

- Anlage 2.1 Geotechnischer Längsschnitt Trasse Variante 1a
- Anlage 2.2 Geotechnischer Längsschnitt Trasse Variante 1d
- Anlage 2.3 Geotechnischer Längsschnitt Trasse Variante 3i

Anlage 3 Baugrundaufschlüsse und Felduntersuchungen

- Anlage 3.1 Zeichnerische Darstellung der Bohrungen, der Rammsondierungen und Schichtenverzeichnisse
- Anlage 3.2 Fotodokumentation
- Anlage 3.3 Seitendruckversuchsergebnisse
- Anlage 3.4 Pumpversuchsergebnisse

Anlage 4 Laborversuche

- Anlage 4.1 Bodenmechanische Untersuchungen
- Anlage 4.2 Felsmechanische Untersuchungen
- Anlage 4.3 Chemische Bodenuntersuchungen

1 VERANLASSUNG

Die Stadtbahn Entwicklung und Verkehrsinfrastrukturprojekte Frankfurt GmbH (SBEV) plant für die Stadt Frankfurt am Main den Bau einer Stadtbahnverbindung zwischen den Stationen Bockenheimer Warte und Ginnheim (Anlage 1.1). Im Rahmen einer Variantenuntersuchung werden verschiedene Trassenverläufe untersucht und bewertet. CDM Smith wurde von der SBEV mit der Erstellung eines geotechnischen Untersuchungsberichts mit umwelttechnischer Erkundung beauftragt.

Der vorliegende geotechnische Untersuchungsbericht baut im Wesentlichen auf den Erkundungsbohrungen auf, welche für die hydrogeologischen Untersuchungen im südlichen Bereich der Trassenverläufe (zwischen dem Anschluss an der Bockenheimer Warte und der Station Bundesbank) ausgeführt wurden.

2 UNTERLAGEN

- [U1] Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden:
Geologische Karte von Hessen, Blatt Nr. 5817, Frankfurt/Main West, M 1:25.000
- [U2] Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden:
Dr. E. Kümmerle, Geologisches Kartenwerk Frankfurt am Main, 2009, M 1:25.000
- [U3] Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden:
Geologische Karte von Hessen, Blatt Nr. 5818, Frankfurt/Main Ost, M 1:25.000
- [U4] Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden:
Dr. E. Kümmerle, Geologisches Kartenwerk Frankfurt am Main, 1993, M 1:25.000
- [U5] Regierungspräsidium Darmstadt, Dezernat I 18 - Kampfmittelräumdienst 23.03.2022:
Mail von Maria-Elisabeth Schäfer bzw. Franziska Kroll an Hr. Schäfer bzgl. Kampfmittelerkundung
- [U6] Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umweltschutz und Geologie (HLNUG):
Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation und Geobasis-DE,
Digitale Karte Wasserschutzgebiete (WSG), Abfrage 01.03.2023
- [U7] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA):
Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen: Teil II, Technische Regeln für die Verwertung, 1.2 Bodenmaterial (TR Boden) vom 05.11.2004
- [U8] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA):
Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln, Mitteilung 20, Stand: 06.11.1997
- [U9] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA):
LAGA PN 98 Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Bewertung/Beseitigung von Abfällen, Mitteilung 32, Stand Mai 2019
- [U10] Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastverordnung und Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung, vom 9. Juli 2021
- [U11] Büro für Geohydrologie und Umweltinformationssysteme Dr. Brehm & Grünz GbR – Diplom Geologen GmbH: Bau der Grundstrecke D2 Ginnheim – Bockenheimer Warte in Frankfurt am Main Konzeption einer geologischen und hydrogeologischen Vorerkundung – vom 08. Sep. 2020
- [U12] Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: Richtlinie für die Verwertung von Bodenmaterial, Bauschutt und Straßenaufbruch in Tagebauen und im Rahmen sonstiger Abgrabungen, Staatsanzeiger für das Land Hessen, März 2014

- [U13] Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz:
Leitfaden für die Behandlung von Ausbauasphalt und Straßenaufbruch mit teer-/pech-
typischen Bestandteilen, Stand September 2006
- [U14] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.:
Arbeitsblatt DWA – A138 „Bau und Bemessung von Anlagen zur dezentralen Versi-
ckerung von nicht schädlich verunreinigtem Niederschlagswasser“, April 2005

3 BAUVORHABEN

Für die Trasse zwischen den Stationen Bockenheimer Warte und Ginnheim wurden gemäß der Variantenuntersuchung drei Varianten entwickelt (Anlage 1.3):

- Variante 1a: Die Trasse verläuft entlang der Zeppelinallee, dann entlang der Miquelallee und dem Botanischen Garten, kreuzt die Autobahn A66 und die Miquelanlage und verläuft dann an der Bundesbank vorbei entlang der Rosa-Luxemburg-Straße nach Ginnheim. Für diese Variante sind vier neue Stationen (Botanischer Garten, Bundesbank, Platensiedlung und Ginnheim) vorgesehen. Zwischen den Stationen Bockenheimer Warte und Botanischer Garten und zwischen den Stationen Botanischer Garten und Bundesbank sind Tunnel geplant.
- Variante 1d: Gegenüber der Variante 1a verläuft diese Trasse zwischen Bockenheimer Warte und Botanischem Garten nicht entlang der Zeppelinallee sondern unterfährt den Palmengarten. Auch für diese Variante sind vier neue Stationen (Botanischer Garten, Bundesbank, Platensiedlung und Ginnheim) vorgesehen. Zwischen den Stationen Bockenheimer Warte und Botanischer Garten und zwischen den Stationen Botanischer Garten und Bundesbank sind Tunnel geplant.
- Variante 3i: Gegenüber den Varianten 1a und 1d verläuft diese Trasse nicht entlang der Miquelallee sondern quert Palmengarten, Botanischen Garten und Grüneburgpark und führt durch den Goethe-Universität Campus Westend und das Gelände der Philipp-Holzmann-Schule. Nach der Querung der Autobahn A66 verläuft sie entlang der Miquelanlage zur Rosa-Luxemburg-Straße. Für diese Variante sind vier neue Stationen (Campus Westend, Bundesbank, Platensiedlung und Ginnheim) vorgesehen. Zwischen den Stationen Bockenheimer Warte und Bundesbank ist ein Tunnel geplant.

4 BAUGRUND- UND GRUNDWASSERUNTERSUCHUNGEN

4.1 Kampfmitteluntersuchungen

Gemäß [U5] liegt für das Untersuchungsgebiet ein Kampfmittelverdacht vor. Nur für 2 Ansatzstellen (VGF-T06 und VGF-T07) ist keine Kampfmittelerkundung erforderlich.

Daher wurden vor Durchführung der geotechnischen Aufschlussarbeiten die Ansatzstellen, die sich innerhalb von Kampfmittelverdachtsflächen befinden, mittels erschütterungsarmer Schneckenbohrungen und anschließender ferromagnetischer Freimessung bezüglich Kampfmittel untersucht.

An den Ansatzstellen der Untersuchungspunkte wurden keine Hinweise auf das Vorliegen von Kampfmitteln ermittelt. Die Ansatzstellen konnten freigegeben werden.

4.2 Felduntersuchungen

In der Zeit vom 12.04.2022 bis 12.01.2023 wurden folgende Felduntersuchungen durchgeführt:

- 36 Kernbohrungen gemäß DIN EN ISO 22475
Bohrtiefen bis 44,00 m unter GOK
- 32 Standard-Penetration-Tests gemäß DIN EN ISO 22476
- 16 Sondierungen mit der schweren Rammsonde gemäß DIN EN ISO 22476
Sondiertiefen bis 8,00 m unter GOK
- 5 Seitendruckversuche mit der Ettlinger Seitendrucksonde

Das Bohrgut wurde in bergfrischem Zustand geotechnisch aufgenommen, stratigraphisch eingestuft und hinsichtlich organoleptischer Auffälligkeiten (Farbe/Geruch) angesprochen. Es wurden gestörte und ungestörte Bodenproben für geotechnische und Mischproben für umwelttechnische Laboruntersuchungen entnommen.

Die Lage der Aufschlusspunkte ist in den Lageplänen der Anlage 1 dargestellt. Die Profile der Baugrundaufschlüsse sind in den Baugrundschnitten der Anlage 3 dargestellt. In den Schnitten sind zudem die Ergebnisse der Rammsondierungen aufgetragen. Dabei sind die Schlagzahlen N_{10} über der Tiefenlage der Sondierspitze dargestellt. Unter N_{10} ist die zum Eintreiben der Sonde um jeweils 10 cm erforderliche Anzahl von Schlägen zu verstehen. Außerdem sind die Ergebnisse der Standard-Penetration-Tests (SPT bzw. BDP) in den Bohrprofilen in der jeweiligen Tiefe dargestellt. Unter N_{15} ist die zum Eintreiben der Sonde um jeweils 15 cm erforderliche Anzahl von Schlägen zu verstehen, in den Bewertungen wird die Summe der Schläge auf den

unteren 30 cm N_{30} berücksichtigt. Die Einzelblattdarstellungen der Bohrprofile und Rammsondierungen sowie Schichtenverzeichnisse und Fotodokumentationen sind in der Anlage 3 zusammengestellt.

Alle Untersuchungspunkte wurden im Bereich des geplanten Baufeldes angeordnet und lage- und höhenmäßig mit GPS eingemessen. Es wird empfohlen, die Höhenangaben durch einen öffentlich bestellten Vermessungsingenieur verifizieren zu lassen.

Weiterhin wurde in allen Aufschlüssen der Grundwasserspiegel eingemessen, sofern möglich.

Die Bohrarbeiten wurden von der Firma Terrasond durchgeführt und von CDM Smith fachtechnisch begleitet.

4.3 Boden- und felsmechanische Laboruntersuchungen

Aus den vorliegenden Aufschlussbohrungen wurden Bodenproben der Güteklasse 1 (ungestört) und der Güteklasse 3 (gestört) gemäß DIN 22475-1 entnommen. An ausgewählten Proben wurden die folgenden bodenmechanischen Laborversuche durchgeführt:

- 86 Stück Bestimmung des Wassergehaltes nach DIN EN ISO 17892-1
- 13 Stück Bestimmung des Kalkgehaltes nach DIN 18129
- 111 Stück Bestimmung des Korngrößenverteilung nach DIN EN ISO 17892-4
- 46 Stück Bestimmung der Zustandsgrenzen nach DIN EN ISO 17892-12
- 10 Stück Bestimmung des Glühverlustes nach DIN 18128
- 39 Stück Bestimmung der Dichten nach DIN 18125
- 34 Stück Bestimmung der Korndichte nach DIN 18124
- 39 Stück Bestimmung der Feuchtdichte nach DIN 18125
- 39 Stück Bestimmung der Trockendichte nach DIN 18125
- 7 Stück Bestimmung der Zusammendrückbarkeit nach DIN EN ISO 17892-5
- 41 Einaxiale Druckversuche nach DIN EN ISO 17892
- 12 Stück Bestimmung der Scherfestigkeit nach DIN 18137
- 5 Stück Bestimmung der Mineralogie mittels Röntgendiffraktometrie
- 10 Stück Bestimmung der Abrasivität LCPC nach NF P18-579
- 5 Quelldruckversuche nach Empfehlung Nr. 11 DGEG
- 5 Quellhebungsversuche nach Empfehlung Nr. 11 DGEG
- 3 Stück Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit nach der ASTM D 5334-14

Die Ergebnisse der bodenmechanischen Laborversuche sind in der Anlage 4.1 zusammengestellt. Die bodenmechanischen Laboruntersuchungen wurden in den Laboren von CDM Smith und der Febolab GmbH, Westheim durchgeführt.

An entnommenen Festgesteinsproben wurden die folgenden felsmechanischen Laborversuche durchgeführt:

- 5 Stück Bestimmung der Abrasivität CAI nach NF P94-430-1
- 12 Punktlastversuche nach DGGT-Empfehlung Nr. 5 des AK1
- 4 Untersuchungen des Mineralbestandes anhand von Dünnschliffen
- 11 Stück Bestimmung der Mineralogie mittels Röntgendiffraktometrie
- 1 Stück Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit nach DGGT-Empfehlung Nr. 1

Die Ergebnisse der felsmechanischen Laborversuche sind in der Anlage 4.2 zusammengestellt. Die felsmechanischen Laboruntersuchungen wurden im Labor von Febolab durchgeführt.

4.4 Umwelttechnische Laborversuche

Mit den aus den Aufschlüssen entnommenen Bodenproben wurden im chemischen Labor folgende Untersuchungen durchgeführt:

- 58 Stück LAGA TR Boden (Auffüllungen und gewachsener Boden)
- 5 Stück DepV
- 1 Stück LAGA TR Bauschutt
- 2 Stück PAK (Asphalt)

Die Ergebnisse der chemischen Laborversuche sind in der Anlage 4.3 zusammengestellt. Die Laborversuche wurden von der Chemlab GmbH, Bensheim durchgeführt.

5 BAUGRUND

5.1 Geologischer Überblick

Nach den Geologischen Karten ([U1], [U2], [U3] und [U4]) handelt es sich bei den Gesteinseinheiten im Bereich der geplanten Tunnel-Trassenverläufe hauptsächlich um folgende tertiäre bis quartäre Ablagerungen:

- Löß /Lößlehm, bestehend aus Schluff, kalkhaltig, an der Oberfläche verlehmt
- Terrassensedimente der unteren Mittelterrasse des Mains, bestehend aus Sand und Kies
- Untermain-Basalt-Formation (Vulkanische Gesteine), bestehend aus tholeiitischen Basalten
- Bockenheim-Formation, bestehend aus Sand, Schluff, Ton und Kies
- Staden-Formation (Congerien-Schichten), bestehend aus Ton, Sand, Schluff und Kies in einer Mächtigkeit von ca. 20 m
- Praunheim-Formation (Prososthenien-Schichten), bestehend aus einer Wechselfolge aus Ton, Schluff, Braunkohle und Mergelton in einer Mächtigkeit bis ca.15 m
- Niederrad-Formation (Landschneckenmergel) und Frankfurt-Formation (Hydrobien-Schichten), bestehend meist aus einer Wechselfolge von Tonen, Mergel, Schluff, Kalkstein, Dolomitstein, Kalksand sowie Algenkalken (Frankfurter Ton)

Im Zuge des Gebirgsbildungsprozesses wurde das Gebiet zumeist in Nord-Süd-orientierte Gräben und Horste untergliedert, sodass entlang von Verwerfungen tertiäre Schichten unterschiedlichen Alters aneinander angrenzen können. Das Tertiär wird häufig von einer geringmächtigen Deckschicht von Sedimenten des Quartärs überlagert (Anlage 1.2).

5.2 Beschreibung der Baugrundsichten

Anhand der vorliegenden Baugrundaufschlüsse im Projektgebiet wurde der Aufbau des Untergrundes zu Baugrundsichten mit geomechanisch etwa gleichartigen Eigenschaften zusammengefasst. Das Ergebnis dieser Auswertung stellt der idealisierte geotechnische Längsschnitt in der Anlage 2.1 dar.

5.2.1 Mutterboden / Oberflächenbefestigung

Drei Kernbohrungen (VGF-T21, VGF-T28 und VGF-T31) wurden im Bereich der mit Asphalt versiegelten Fläche durchgeführt. Die erkundete Dicke der Asphaltsschicht liegt bei bis zu 0,1 m. Unter dem Asphalt wurde in VGF-T28 zudem eine 0,2 m dicke Betonschicht erbohrt. Eine Bohrung (VGF-T24) wurde in Pflasterflächen durchgeführt.

Die übrigen Kernbohrungen wurden im Bereich der bestehenden Grünflächen durchgeführt. In diesem Bereich ist mit Mutterboden zu rechnen. Da der Mutterboden nur lokal, aber nicht in vollem Umfang erkundet wurde, wird diese Schicht im Folgenden für weitere Betrachtungen nicht als separate Schicht berücksichtigt.

5.2.2 Schicht 1: Auffüllungen

Aufgefüllte Bodenarten wurden bei 19 Bohrungen festgestellt (VGF-T2, VGF-T3, VGF-T4, VGF-T9, VGF-T10, VGF-T13, VGF-T14, VGF-T15, VGF-T20, VGF-T21, VGF-T22, VGF-T23, VGF-T24, VGF-T25, VGF-T29, VGF-T31, VGF-T32, VGF-T36 und VGF-T37). Die Unterkante der Auffüllungen wurde in Tiefen zwischen 0,22 m (VGF-T21) und 3,5 m unter Gelände (VGF-T09) erkundet.

Die Auffüllungen setzen sich überwiegend aus wechselnd schluffigen, wechselnd kiesigen Sanden zusammen.

Erfahrungsgemäß ist von sehr wechselhaften Tragfähigkeiten der Auffüllungen auszugehen. Die durchgeführten Rammsondierungen (DPH) weisen mit $N_{10} = 1$ bis $N_{10} = 10$ auf sehr lockere bis mitteldichte Lagerungen der Auffüllungen hin.

5.2.3 Schicht 2: Quartäre Deckschichten

Bei neun Bohrungen (VGF-T1, VGF-T2, VGF-T10, VGF-T11, VGF-T15, VGF-T18, VGF-T19, VGF-T20, VGF-T32 und VGF-T36) wurden unter den Auffüllungen die quartären Deckschichten mit Dicken zwischen 0,5 m (VGF-T10) und 5,10 m (VGF-T1) erkundet.

Bei den quartären Deckschichten handelt es sich im Allgemeinen um Schluffe bzw. feinsandige, tonige Schluffe mit meist steifer bis halbfester, örtlich auch weicher oder fester Konsistenz. Sie sind wasserempfindlich.

Die durchgeführten Rammsondierungen (DPH) weisen mit Schlagzahlen von $N_{10} = 1$ bis $N_{10} = 10$ lokal auf breiige bis halbfeste Konsistenzen dieser Böden hin.

5.2.4 Schicht 3: Quartäre Sande und Kiese

Unter den Schluffen wurden die Sande und Kiese der Main- und Niddaterrassen mit Schichtdicken zwischen 0,4 m (VGF-T14) und etwa 4,5 m (VGF-T20) erkundet.

Bei den quartären Sanden und Kiesen handelt es sich um schwach schluffige Sand-Kies-Gemische mit wechselnder Hauptbodenart. Insbesondere an der Schichtbasis muss mit Einschaltungen in Stein- bis Blockgröße gerechnet werden. Örtlich sind in die Schicht 3 bindige Zwischenlagen eingeschaltet.

Nach den Ergebnissen der innerhalb der quartären Sande und Kiese durchgeführten Bohrlochrammsondierungen ist bei Schlagzahlen von $N_{30} = 8$ bis $N_{30} = 34$ von einer lockeren bis dichten Lagerung der Böden auszugehen.

Die durchgeführten Rammsondierungen (DPH) weisen mit Schlagzahlen von überwiegend $N_{10} = 1$ bis $N_{10} = 50$ ebenfalls auf eine sehr lockere bis dichte Lagerung dieser Böden hin. Es wurden jedoch bereichsweise auch Schlagzahlen $N_{10} > 100$ festgestellt (VGF-T01), was auf eine sehr dichte Lagerung oder auf Sondierhindernisse in Form von grobstückigen Bestandteilen hinweist.

5.2.5 Schicht 4: Tertiär

5.2.5.1 Übersicht

Bei 26 Bohrungen folgen unterhalb der Auffüllungen oder der quartären Schichten tertiäre Schichtenfolgen. Bei 9 Bohrungen wurde Basalt (Untermain-Basalt-Formation) unterhalb der quartären Schichten erbohrt. Bei 10 Bohrungen wurden die tertiären Schichten direkt unter dem Mutterboden erkundet. Die tertiären Schichten werden im Baufeld überwiegend von den Landschneckenmergeln und den Hydrobienschichten gebildet. Letztere werden umgangssprachlich als „Frankfurter Ton“ bezeichnet. Dieser Schichtenkomplex besteht überwiegend aus reinen Tonen. In diesen Böden sind unregelmäßig und nicht horizontbeständig Hydrobiensande, Kalksande und Schneckensande sowie Kalkstein- und Dolomitsteine eingeschaltet. Die Schichtdicken der Zwischenlagen sind stark unterschiedlich und schwanken zwischen wenigen Zentimetern und mehreren Metern. Weiterhin wurde bei 13 Bohrungen Braunkohle (Prososthenien-Schichten) erbohrt. Da sich alle diesen Schichten hinsichtlich ihrer Zusammensetzung und der bodenmechanischen Eigenschaften unter baupraktischen Gesichtspunkten nicht wesentlich voneinander unterscheiden, werden sie nachstehend in die folgenden Schichtenglieder zusammengefasst: In die Sande der Schicht 4a, in die Tone, Schluffe und Braunkohle der Schicht 4b und in die Basalte, Kalk-, Dolomit- und Sandsteine der Schicht 4c.

Eine genaue Differenzierung zwischen den quartären (Schicht 2, 3) und tertiären Böden (Schicht 4), in Form von Tonen, Schluffen und Sanden, ist nicht immer sicher möglich, da diese in beiden Schichten vorkommen.

5.2.5.2 Schicht 4a: Tertiäre Sande

Die Sande sind als lokale Einschaltungen in den Tonen und Schluffen der Schicht 4 anzusehen. Bei den Bohrungen VGF-T4, VGF-T23 und VGF-T30 fehlen sie praktisch vollständig, in anderen Aufschlüssen wurden die Dicken einzelner Sand-Horizonte mit bis zu rd. 4 m festgestellt (z. B. VGF-T35).

Die durchgeführten Rammsondierungen (DPH) weisen mit Schlagzahlen von überwiegend $N_{10} = 1$ bis $N_{10} = 10$ auf eine sehr lockere bis mitteldichte Lagerung dieser Böden hin. Es wurden jedoch bereichsweise auch Schlagzahlen $N_{10} > 70$ gemessen (VGF-T15), was auf eine dichte Lagerung oder auf Sondierhindernisse in Form von grobstückigen Bestandteilen hinweist.

Nach den Ergebnissen der innerhalb der quartären Sande und Kiese durchgeführten Bohrlochrammsondierungen ist bei Schlagzahlen von $N_{30} = 14$ bis $N_{30} = 25$ von einer mitteldichten bis dichten Lagerung der Böden auszugehen.

5.2.5.3 Schicht 4b: Tertiäre Schluffe und Tone

Bei fast allen Bohrungen wurden unter der Schicht 3 Schichten aus Ton mit einer Mächtigkeit bis etwa 8,0 m (z. B. VGF-T30) erbohrt. Die Konsistenz ist meist steif bis fest. Vereinzelt waren feste Konsistenzen vorhanden. In die Tone sind vereinzelt dünne Feinsandstreifen eingeschaltet. Örtlich bestehen Wechsellagerungen mit Kalkstein bzw. Kalksteinbruch (z.B. VGF-T31).

In rund der Hälfte der Bohrungen wurden innerhalb der Tone Schichten aus Schluffen bzw. tonige Schluffen mit einer Mächtigkeit bis etwa 8,0 m (VGF-T27) erkundet. Die Konsistenz der Schluffe wurde als steif bis fest angesprochen.

Bei den Bohrungen VGF-T2, VGF-T9, VGF-T11, VGF-T14, VGF-T18, VGF-T24, VGF-T25, VGF-T26, VGF-T27, VGF-T34, VGF-T35, VGF-T36, VGF-T37 wurden Schichten aus Braunkohlen mit einer Mächtigkeit bis 3,0 m (VGF-T34) angetroffen. Bei VGF-T15, VGF-T16 und VGF-T19 wurden Schichten aus Torf mit einer Mächtigkeit von bis zu 2,5 m angetroffen.

Die Ergebnisse der durchgeführten Bohrlochrammsondierungen deuten mit Schlagzahlen von $N_{30} = 9$ bis $N_{30} = 66$ auf weiche bis feste Konsistenzen der Tone bzw. auf mitteldichte bis dichte Lagerungsdichten der Sande hin.

In der Schicht 4 wurden in den Bohrungen VGF-T07 ,VGF-T22-VGF-T25, VGF-T32 und VGF-T35 Bohrlochaufweitungsversuche mit der Ettlinger Seitendrucksonde durchgeführt. Es zeigten sich Verformungsmodulare in Abhängigkeit des Lastbereiches für die Erstbelastung von 1 bis 79,7 MN/m², für die Wiederbelastung von 19 bis 201,5 MN/m² und für die Entlastung von 34 bis 692,2 MN/m², siehe Anlage 3.

5.2.5.4 Schicht 4c: Tertiärer Fels (Basalt, Mergel-, Kalk-, Dolomit-, und Sandstein)

Bei den Bohrungen VGF-T2, VGF-T5, VGF-T9, VGF-T11, VGF-T12, VGF-T24, VGF-T25, VGF-T26, VGF-T35 wurde unterhalb der quartären Schichten Basalt (Untermain-Basalt-Formation) erbohrt. Die Mächtigkeit beträgt zwischen wenigen Zentimetern und 5,1 m (VGF-T26). Der Basalt ist überwiegend verwittert und untergeordnet angewittert bis entfestigt.

Bei VGF-T03, VGF-T06, VGF-T13, VGF-T20, VGF-T22, VGF-T27, VGF-T28, VGF-T29, VGF-T30, VGF-T31 und VGF-T32 wurde Mergel bis zu einer Dicke von etwa 10,30 m erbohrt.

In den Hydrobienschichten befinden sich Kalk- und Dolomitsteinschichten von sehr unterschiedlicher Dicke und sehr unterschiedlicher Festigkeit. Kalkstein wurde z. B. bei den Bohrungen VGF-T1, VGF-T2, VGF-T3, VGF-T4, VGF-T5, VGF-T6, VGF-VGF-T10, VGF-T12, VGF-T15, VGF-T22, VGF-T37 bis zu einer von Dicke etwa 5,0 m erbohrt. Weiterhin wurde bei VGF-T4 und VGF-T22 Dolomitstein bis zu einer Dicke von etwa 1,2 m angetroffen. Bei VGF-T13 wurde Sandstein bis zur einer Dicke von etwa 2,3 erbohrt.

Die Ergebnisse der durchgeführten Bohrlochrammsondierungen deuten mit Schlagzahlen von $N_{30} = 16$ bis $N_{30} = 33$ auf eine mitteldichte bis dichte Lagerung der verwitterten Mergelschichten hin.

5.3 Geotechnische Kategorie

Das Bauvorhaben kann in die geotechnische Kategorie 3 eingestuft werden.

5.4 Erdbeben

Der nördliche Oberrheingraben gehört zu den Gebieten in Mitteleuropa, in denen auch in jüngerer Vergangenheit wiederholt Erdbeben, wenn auch mit geringer Intensität, auftraten.

In der Erdbebenkarte für die Bundesrepublik Deutschland werden gemäß DIN EN 1998-1 NA, Ausgabe 2011, die von Erdbeben in stärkerem Ausmaß betroffenen Gebiete nach steigendem Gefährungsgrad in die Erdbebenzonen 0 bis 3 eingeteilt.

Das hier untersuchte Baufeld liegt in der Erdbebenzone 0. Der örtliche Baugrund ist gemäß DIN EN 1998-1 NA in die Untergrundklasse S und in die Baugrundklasse B und C einzustufen.

5.5 Ergebnisse der boden- und felsmechanischen Laborversuche

5.5.1 Schicht 2: Quartäre Schluffe

Der Wassergehalt wurde an 5 Proben zu $w = 5,2\%$ bis $31,8\%$ (im Mittel ca. $18,5\%$) bestimmt. Die Ergebnisse der Bestimmung des Wassergehaltes finden sich in der Tabelle 5.1 sowie in Anlage 4.1.

Tabelle 5.1 Bestimmung des Wassergehaltes Schicht 2

Probe	Entnahmetiefe [m]	Wassergehalt [%]
VGf-T16-GP1	1,60 – 1,80	10,32
VGf-T18-GP1	1,50 – 2,00	5,18
VGf-T18-GP2	3,80 – 4,00	5,95
VGf-T19-GP2	3,00 – 3,20	13,20
VGf-T32-GP1	4,60 – 4,80	31,83

Die Ergebnisse der Bestimmung der Korngrößenverteilung gemäß DIN EN ISO 17892-4 finden sich in der Tabelle 5.2 sowie in Anlage 4.1

Tabelle 5.2 Bestimmung der Korngrößenverteilung Schicht 2

Probe	Entnahmetiefe [m]	Boden- gruppe DIN 18196	Feinkornanteil < 0,063 mm [%]	Sandanteil [%]	Kiesanteil [%]
VGf-T16-GP1	1,60 – 1,80	--	53,7	33,2	13,1
VGf-T18-GP1	1,50 – 2,00	--	87,3	12	0,7
VGf-T18-GP2	3,80 – 4,00	ST*	17,1	58,0	24,9
VGf-T19-GP2	3,00 – 3,20	TM	56,2	43,5	0,3
VGf-T32-GP1	4,60 – 4,80	TA	96,1	3,6	0,3

Ein charakterisierendes Kornverteilungsband wird nachfolgend in Abbildung 5.1 dargestellt. Es basiert auf der Bohransprache, der visuellen Beschreibung der Böden, den durchgeführten

Kornverteilungsanalysen sowie Erfahrungswerten zum Baugrund. Korngrößen außerhalb des Kornverteilungsbandes sind aufgrund der punktuellen Untersuchungen möglich.

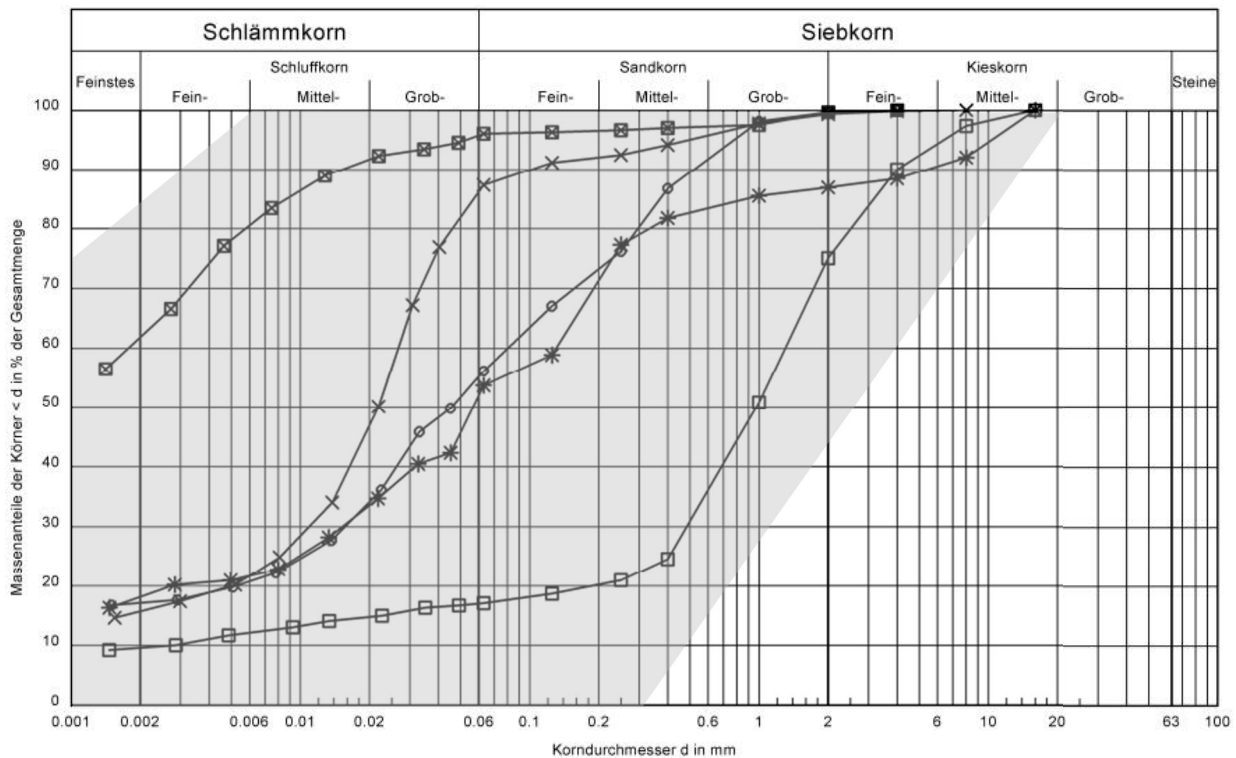


Abbildung 5.1 Charakteristisches Kornverteilungsband der Schicht 2 entsprechend den ermittelten Körnungslinien

An 3 Proben wurden die Plastizitätszahl zwischen $I_P = 5,6\%$ und $I_P = 64,7\%$ und die Konsistenzzahl zwischen $I_C = 0,9$ und $I_C = 3,5$ bestimmt, was einer steifen bis halbfesten Konsistenz entspricht. Die Ergebnisse der Bestimmungen der Zustandsgrenzen nach DIN EN ISO 17892-12 finden sich in Anlage 4.1 sowie in der Tabelle 5.3.

Tabelle 5.3 Bestimmung der Zustandsgrenzen Schicht 2

Probe	Plastizitätszahl I _P [%]	Konsistenzzahl I _c [-]	Konsistenz [-]	Bodengruppe DIN 18196 [-]
VGf-T18-GP1	5,6	3,55	halbfest	SU-ST
VGf-T19-GP2	23,3	1,07	halbfest	TM
VGf-T32-GP1	64,7	0,91	steif	TA

5.5.2 Schicht 3: Quartäre Sande und Kiese

Der Wassergehalt wurde an 3 Proben (VGf-T16-GP4, VGf-T16-GP5 und VGf-T19-GP1) zu $w = 2,4\%$ bis $13,1\%$ (im Mittel ca. $7,7\%$) bestimmt. Die Ergebnisse der Bestimmung der Korngrößenverteilung gemäß DIN EN ISO 17892-4 finden sich in der Tabelle 5.4 sowie in Anlage 4.1.

Tabelle 5.4 Bestimmung der Korngrößenverteilung Schicht 3

Probe	Entnahmetiefe [m]	Boden- gruppe DIN 18196	Feinkornanteil < 0,063 mm [%]	Sandanteil [%]	Kiesanteil [%]
VGf-T19-GP1	2,00 – 2,20	GU*	33,8	25	41,2
VGf-T16-GP2	3,00 – 3,30	GU	10	32,4	57,6
VGf-T16-GP3	4,00 – 4,30	GU	8,8	15,1	76,1
VGf-T16-GP4	5,00 – 5,20	SU	5,7	83,1	11,2
VGf-T16-GP5	6,00 – 6,20	ST*	21,4	76	2,6
VGf-T16-GP6	6,40 – 6,60	--	51,5	46	2,5

Ein charakterisierendes Kornverteilungsband wird nachfolgend in Abbildung 5.4 dargestellt. Es basiert auf der Bohransprache, der visuellen Beschreibung der Böden, den durchgeführten Kornverteilungsanalysen sowie Erfahrungswerten zum Baugrund. Korngrößen außerhalb des Kornverteilungsbandes sind aufgrund der punktuellen Untersuchungen möglich.

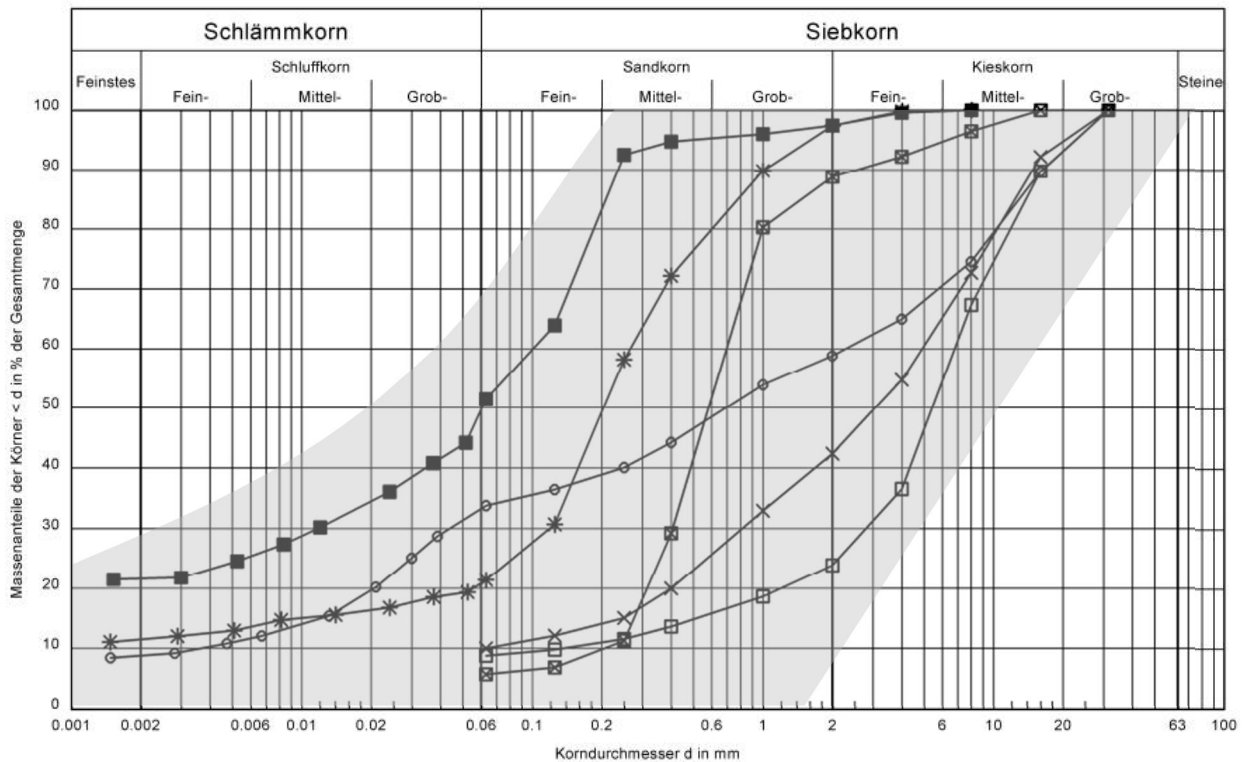


Abbildung 5.2 Charakteristisches Kornverteilungsband der Schicht 3 entsprechend den ermittelten Körnungslinien

5.5.3 Schicht 4a: Tertiäre Sande

Der Wassergehalt wurde an 15 Proben zu $w = 5,4\%$ bis $31,9\%$ (im Mittel ca. $18,6\%$) bestimmt. Die Ergebnisse der Bestimmung des Wassergehaltes gemäß DIN EN ISO 17892-4 finden sich in der Tabelle 5.5 sowie in Anlage 4.1.

Tabelle 5.5 Bestimmung des Wassergehaltes Schicht 4a

Probe	Entnahmetiefe [m]	Wassergehalt [%]
VGF-T06-GP1	9,00 – 9,15	30,6
VGF-T09-GP3	14,60 – 14,80	14,0
VGF-T10-GP3	14,00 – 14,20	24,2
VGF-T15-GP2	19,00 – 19,20	30,1
VGF-T21-GP4	6,00 – 6,20	5,4
VGF-T24-GP1	14,00 – 14,20	31,9
VGF-T25-GP1	12,00 – 12,20	16,5
VGF-T25-GP4	16,00 – 16,20	25,2
VGF-T26-GP3	15,00 – 15,20	12,9
VGF-T31-GP1	8,00 – 8,20	31,4

Probe	Entnahmetiefe [m]	Wassergehalt [%]
VGf-T31-GP4	14,00 – 14,20	23,4
VGf-T33-GP1	8,00 – 8,20	15,7
VGf-T33-GP6	16,80 – 17,00	24,5
VGf-T35-GP2	16,80 – 17,00	13,5
VGf-T36-GP1	7,00 – 7,20	17,4

Die Häufigkeit des bestimmten Wassergehalts wird für die Schicht 4a nachfolgend grafisch dargestellt, Abbildung 5.3.

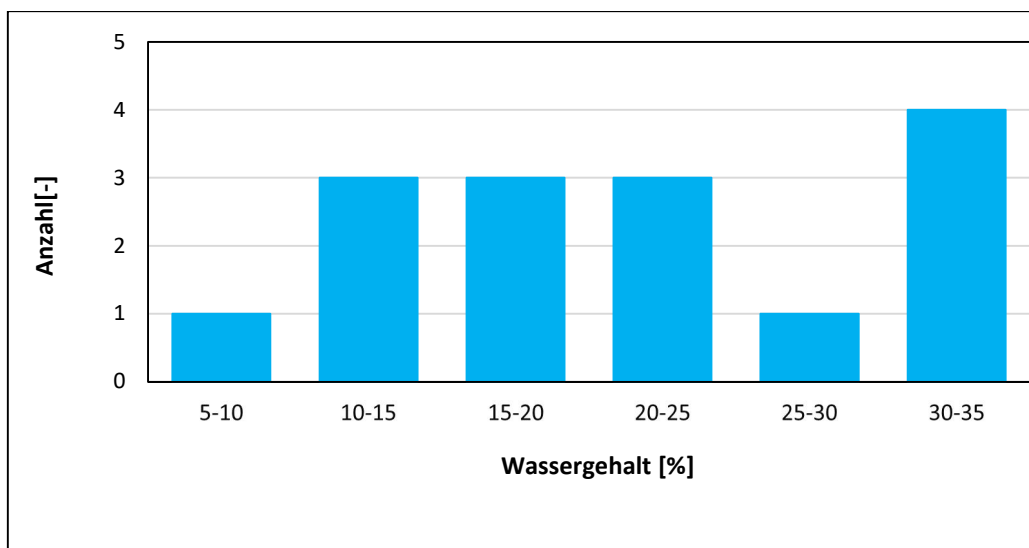


Abbildung 5.3 Häufigkeit des Wassergehaltes der untersuchten Bodenproben der Schicht 4a

Die Ergebnisse der Bestimmung der Korngrößenverteilung gemäß DIN EN ISO 17892-4 finden sich in der Tabelle 5.6 sowie in Anlage 4.1.

Tabelle 5.6 Bestimmung der Korngrößenverteilung Schicht 4a

Probe	Entnahmetiefe [m]	Bodengruppe DIN 18196	Feinkornanteil < 0,063 mm [%]	Sandanteil [%]	Kiesanteil [%]
VGf-T01-GP3	21,00 – 21,20	--	93,3	6,6	0,1
VGf-T02-GP2	23,00 – 23,20	--	49,3	46,4	4,3
VGf-T06-GP1	9,00 – 9,15	SU*	27,2	50,2	22,6
VGf-T09-GP3	14,60 – 14,80	ST*	25,3	73	1,8
VGf-T09-GP4	16,00 – 16,20	--	53,1	46,1	0,8

Probe	Entnahmetiefe [m]	Bodengruppe DIN 18196	Feinkornanteil < 0,063 mm [%]	Sandanteil [%]	Kiesanteil [%]
VGf-T10-GP3	14,00 – 14,20	SU*	29,7	63,6	6,8
VGf-T11-GP2	17,00 – 17,20	SU	7,4	92,5	0,1
VGf-T15-GP2	19,00 – 19,20	SU*	25,8	47,7	26,4
VGf-T18-GP5	10,00 – 10,20	SU	5,6	87,2	7,2
VGf-T24-GP1	14,00 – 14,20	--	46,7	48,9	4,4
VGf-T25-GP1	12,00 – 12,20	SU	5,8	94,1	0,1
VGf-T25-GP4	16,00 – 16,20	SU*	20,5	50,1	29,5
VGf-T26-GP3	15,00 – 15,20	ST*	31,5	67,3	1,2
VGf-T31-GP1	8,00 – 8,20	GU*	16,9	33,5	49,6
VGf-T31-EP1	8,20 – 9,00	SU*	18	52,3	29,6
VGf-T31-GP4	14,00 – 14,20	GU	10,9	35,6	53,5
VGf-T33-GP1	8,00 – 8,20	ST*	20,8	79,1	0
VGf-T33-GP6	16,80 – 17,00	ST*	17,4	68,8	13,8
VGf-T35-GP2	16,80 – 17,00	SU	6,1	88,2	5,6
VGf-T36-GP1	7,00 – 7,20	ST*	20,2	79,8	0

Ein charakterisierendes Kornverteilungsband wird nachfolgend in Abbildung 5.4 dargestellt. Es basiert auf der Bohransprache, der visuellen Beschreibung der Böden, den durchgeführten Kornverteilungsanalysen sowie Erfahrungswerten zum Baugrund. Korngrößen außerhalb des Kornverteilungsbandes sind aufgrund der punktuellen Untersuchungen möglich.

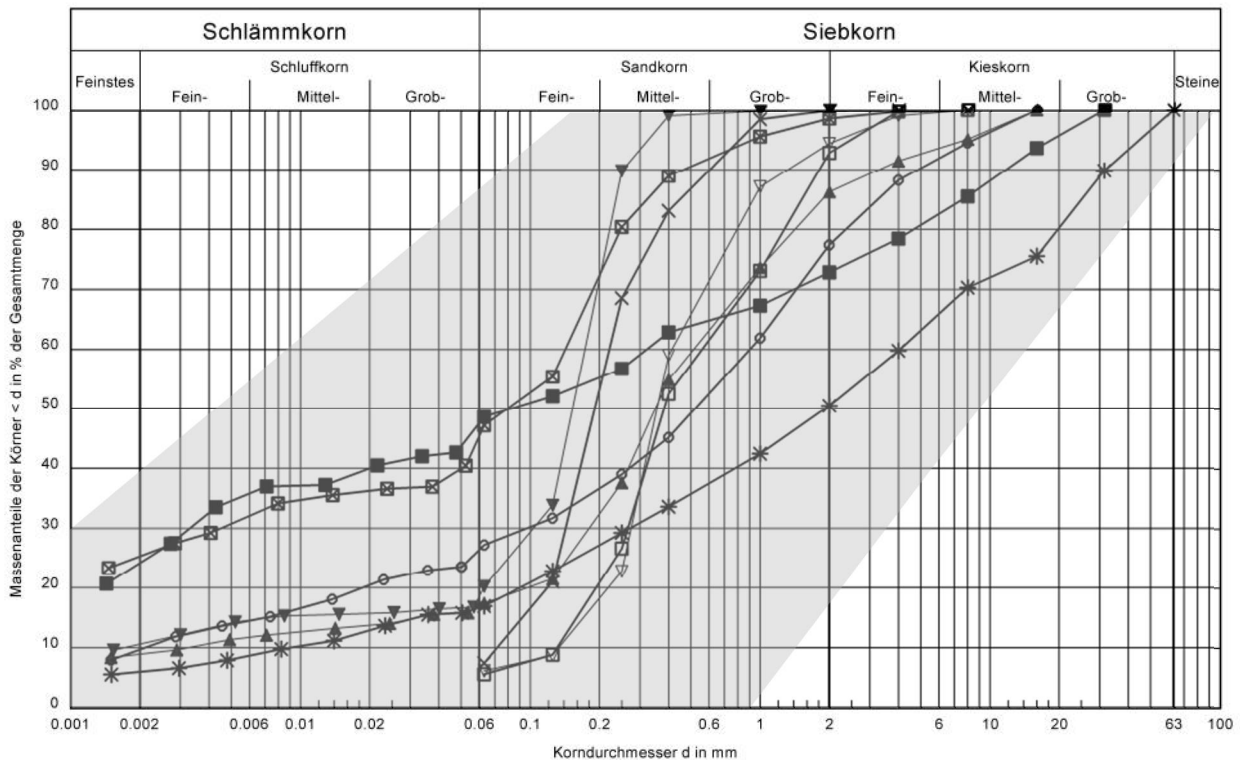


Abbildung 5.4 Charakteristisches Kornverteilungsband der Schicht 4a entsprechend den ermittelten Körnungslinien

An 4 Proben wurde der Kalkgehalt gemäß DIN 18129 zwischen 0 und 0,8 bestimmt. Die Ergebnisse der Bestimmung des Kalkgehaltes nach DIN 18129 finden sich in der Anlage 4.1 sowie in der Tabelle 5.7.

Tabelle 5.7 Bestimmung des Kalkgehaltes Schicht 4a

Probe	Entnahmetiefe [m]	Calcitgehalt [-]	Dolomitanteil [-]	Kalkgehalt [-]
VGF-T26-GP3	15,00 – 15,20	0,810	0,017	0,827
VGF-T11-GP2	17,00 – 17,20	0,010	0,000	0,010
VGF-T26-GP3	15,00 – 15,20	0,810	0,017	0,827
VGF-T33-GP1	8,00 – 8,20	0,209	0,014	0,223

Die Mineralogie wurde an 3 Proben der Schicht 4a ermittelt. Demnach bestehen die untersuchten Proben vorrangig aus Magnesiumcalcit (75 % - 86 %) und Illit / Glimmer (4 % - 8 %) und zu geringen Anteilen (bis etwa 5 %) aus Illit-Smektit, Smektit, Kaolinit-D, Dolomit, Gips und Goethit. Die Ergebnisse der Bestimmung der Mineralogie mittels Röntgendiffraktometrie für Boden und Fels finden sich in der Anlage 4.1 sowie in der Tabelle 5.8.

Tabelle 5.8 Bestimmung der Mineralogie (Röntgendiffraktometrie) Schicht 4a

Probe	Tiefe [m]	Illit/ Glimmer [diokt.]	Illit-Smektit-WL	Smektit	Kaol.-D	Chlorit	Quarz	Magnesiumcalcit	Dolomit	Gips	Goethit
VGf-T10-EP1	14,2 - 16,0	5	3	3	2	4	1	80	2	-	-
VGf-T26-EP1	15,2 - 17,0	8	3	5	2	4	1	75	2	-	-
VGf-T33-GP5	15,8 - 16,0	4	-	-	1	3	2	86	-	1	1

Die Dichte des feuchten Bodens wurde an einer Probe der Schicht 4a (VGf-T33-UP5) mit 1,78 g/cm³ und die Trockendichte mit 1,25 g/cm³ bestimmt. Weiterhin wurde die Korndichte an der o.g. Probe mit 2,55 g/cm³ bestimmt. Die Abrasivität LCPC nach NF P18-579 wurde an 2 Proben der Schicht 4a (VGf-T10-EP1 und VGf-T26-EP1) zwischen kaum abrasiv (LAK = 80 g/t) und schwach abrasiv (LAK = 120 g/t) bestimmt. An 2 Proben (VGf-T25-GP2 und VGf-T31-GP5), entnommen aus den stärker organischen Bodenhorizonten, wurden die Glühverluste gemäß DIN 18128 zwischen V_{GL} = 3,0 % und V_{GL} = 59,7 % bestimmt. Die Ergebnisse der Bestimmung des Glühverlustes nach DIN EN ISO 18128 finden sich in der Anlage 4.1.

5.5.4 Schicht 4b: Tertiäre Schluffe und Tone

Der Wassergehalt wurde an 62 Proben zu w = 10,5 % bis 49,3 % (im Mittel ca. 29,9 %) bestimmt. Die Ergebnisse der Bestimmung des Wassergehaltes gemäß DIN EN ISO 17892-4 finden sich in der Tabelle 5.9 sowie in Anlage 4.1.

Tabelle 5.9 Bestimmung des Wassergehaltes Schicht 4b

Probe	Entnahmetiefe [m]	Wassergehalt [%]
VGf-T01-GP1	17,00 – 17,20	39,5
VGf-T02-GP1	19,00 – 19,20	42,9
VGf-T03-GP2	18,50 – 18,80	49,3
VGf-T03-GP3	19,70 – 20,00	36,6
VGf-T03-GP4	21,60 – 21,90	34,1
VGf-T03-GP5	24,80 – 25,00	39,6
VGf-T03-UP4	30,65 – 31,00	42,8
VGf-T03-GP6	32,80 – 33,00	34,6

Probe	Entnahmetiefe [m]	Wassergehalt [%]
VGf-T03-UP5	34,60 – 34,90	39,7
VGf-T04-GP1	27,00 – 27,20	48,0
VGf-T05-GP1	24,00 – 24,20	33,9
VGf-T05-GP2	30,00 – 30,20	32,8
VGf-T06-GP2	10,00 – 10,20	36,7
VGf-T06-UP3	14,00 – 14,25	32,4
VGf-T06-GP3	20,00 – 20,20	29,7
VGf-T07-GP1	13,00 – 13,20	37,9
VGf-T07-GP2	15,00 – 15,20	40,5
VGf-T07-GP3	15,80 – 16,00	34,4
VGf-T07-GP4	17,00 – 17,20	22,4
VGf-T07-GP5	20,00 – 20,20	31,1
VGf-T09-GP1	9,50 – 9,70	19,4
VGf-T09-GP5	19,80 – 20,00	27,6
VGf-T10-GP1	8,50 – 8,70	39,0
VGf-T11-GP1	12,00 – 12,20	20,0
VGf-T11-GP4	20,00 – 20,20	41,2
VGf-T13-GP1	22,20 – 22,40	40,8
VGf-T13-GP3	24,00 – 24,20	38,1
VGf-T13-GP4	25,00 – 25,20	45,1
VGf-T14-GP1	10,00 – 10,20	15,9
VGf-T14-GP2	11,80 – 12,00	27,0
VGf-T15-GP1	16,80 – 17,00	37,0
VGf-T15-GP3	21,5- 21,7	31,9
VGf-T16-GP8	8,50 – 8,70	43,8
VGf-T16-GP9	9,50 – 9,70	44,2
VGf-T18-GP3	4,80 – 5,00	23,4
VGf-T18-GP4	6,00 – 6,20	21,7
VGf-T21-GP1	1,00 – 1,20	13,8
VGf-T21-GP2	2,80 – 3,00	15,6
VGf-T21-GP5	6,80 – 7,00	10,5
VGf-T22-GP1	30,20 – 30,40	44,4
VGf-T22-GP2	32,00 – 32,20	42,3
VGf-T22-GP3	33,00 – 33,20	41,0
VGf-T23-GP1	20,00 – 20,20	36,8
VGf-T24-GP2	16,00 -16,20	35,3
VGf-T24-GP3	20,00 – 20,20	45,0
VGf-T25-GP3	14,00 – 14,20	42,9
VGf-T25-GP6	25,00 – 25,20	31,3
VGf-T26-GP1	11,00 – 11,20	16,0
VGf-T26-GP4	16,50 – 16,70	22,8
VGf-T27-GP2	10,00 – 10,20	29,27
VGf-T28-GP1	8,50 – 8,70	19,4

Probe	Entnahmetiefe [m]	Wassergehalt [%]
VGf-T30-GP2	11,00 – 11,20	16,4
VGf-T30-GP3	12,50 – 12,70	37,5
VGf-T31-GP2	10,00 – 10,20	23,3
VGf-T31-GP6	16,00 – 16,20	37,2
VGf-T33-GP3	10,00 – 10,20	38,7
VGf-T35-GP1	15,00 – 15,20	22,1
VGf-T35-GP4	19,80 – 20,00	17,8
VGf-T35-GP5	25,00 – 25,20	37
VGf-T36-GP1	11,00 – 11,20	16,3
VGf-T37-GP1	9,00 – 9,20	42,5

Die Häufigkeit der für die Schicht 4b bestimmten Wassergehalte ist nachfolgend grafisch dargestellt, Abbildung 5.5.

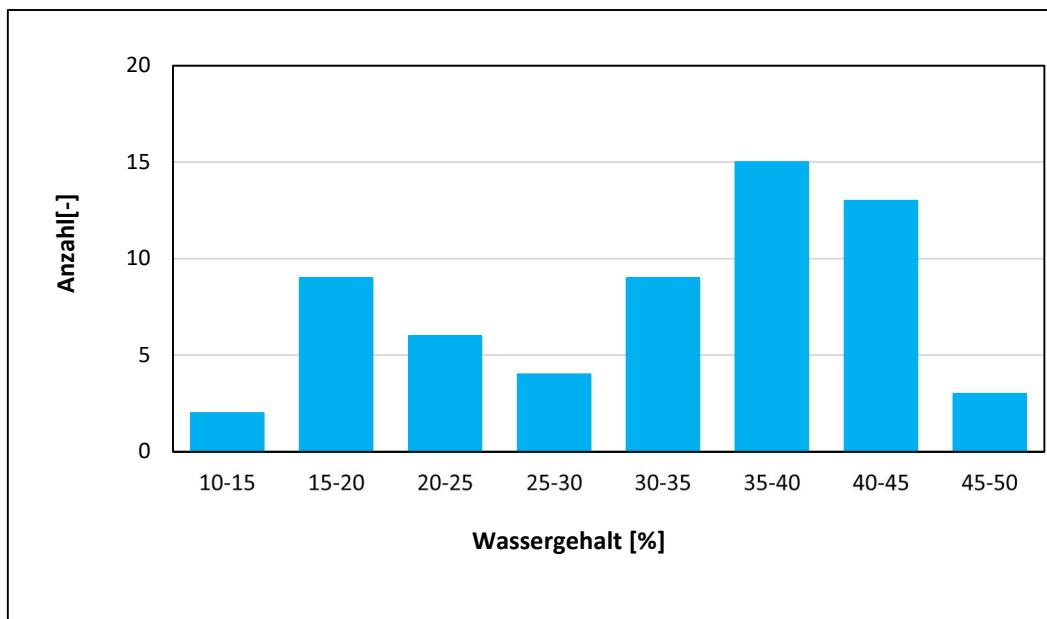


Abbildung 5.5 Häufigkeit des Wassergehaltes der untersuchten Bodenproben der Schicht 4b

Die Ergebnisse der Bestimmung der Korngrößenverteilung gemäß DIN EN ISO 17892-4 finden sich in der Tabelle 5.10 sowie in Anlage 4.1.

Tabelle 5.10 Bestimmung der Korngrößenverteilung Schicht 4b

Probe	Entnahmetiefe [m]	Bodengruppe DIN 18196	Feinkornanteil < 0,063 mm [%]	Sandanteil [%]	Kiesanteil [%]
VGf-T01-GP1	17,00 – 17,20	TA	98,4	1,6	0
VGf-T01-GP2	18,80 – 19,00	--	76,5	23,1	0,3
VGf-T02-GP1	19,00 – 19,20	TA	90,3	9,7	0
VGf-T03-GP2	18,50 – 18,80	TA	56,6	38,8	4,6
VGf-T03-GP3	19,70 – 20,00	TA	60,6	39,2	0,2
VGf-T03-GP4	21,60 – 21,90	UM	63,8	32,1	4,1
VGf-T03-GP5	24,80 – 25,00	TA	90	10	0
VGf-T03-UP4	30,65 – 31,00	TA	93,7	6,3	0
VGf-T03-GP6	32,80 – 33,00	TA	90,4	9,6	0
VGf-T03-UP5	34,60 – 34,90	TA	95,6	4,4	0
VGf-T04-GP1	27,00 – 27,20	TA	91,7	8,3	0
VGf-T04-GP2	31,00 – 31,20	--	95,2	4,9	0
VGf-T04-GP3	34,00 – 34,20	--	94,9	5,1	0
VGf-T05-GP1	24,00 – 24,20	TA	94,8	5,2	0
VGf-T05-GP2	30,00 – 30,20	TA	92	8	0
VGf-T06-GP2	10,00 – 10,20	TA	94,7	5,3	0
VGf-T06-UP3	14,00 – 14,25	TA	93,2	6,8	0
VGf-T06-GP3	20,00 – 20,20	TA	92,6	7,4	0
VGf-T06-GP4	21,00 – 21,30	--	90,2	9,8	0
VGf-T07-GP1	13,00 – 13,20	TA	69,2	30,6	0,2
VGf-T07-GP2	15,00 – 15,20	--	71,1	28,5	0,4
VGf-T07-GP3	15,80 – 16,00	--	47,7	50,9	1,4
VGf-T07-GP4	17,00 – 17,20	TM	75,5	24,2	0,2
VGf-T07-GP5	20,00 – 20,20	TA	40	56,2	3,8
VGf-T09-GP1	9,50 – 9,70	--	84,6	15,3	0,2
VGf-T09-GP5	19,80 – 20,00	TA	90,3	9,6	0
VGf-T10-GP1	8,50 – 8,70	TA	90,1	9,8	0
VGf-T10-GP2	11,00 – 11,20	--	96,5	3,5	0
VGf-T11-GP1	12,00 – 12,20	SU*	26,6	72,9	0,5
VGf-T11-GP4	20,00 – 20,20	SU*	15,2	54,6	30,1
VGf-T13-GP1	22,20 – 22,40	--	94,7	5	0,2
VGf-T13-GP3	24,00 – 24,20	--	73,1	16,4	10,5
VGf-T13-GP4	25,00 – 25,20	TA	71,5	21,9	6,7
VGf-T14-GP1	10,00 – 10,20	ST*	15,6	84,4	0
VGf-T14-GP2	11,80 – 12,00	TA	89,1	10,9	0
VGf-T15-GP1	16,80 – 17,00	TA	94,3	5,8	0
VGf-T16-GP7	7,50 – 7,70	--	53,5	44,2	2,4
VGf-T16-GP9	9,50 – 9,70	TA	68,0	20,8	11,2
VGf-T18-GP3	4,80 – 5,00	TA	98,2	1,7	0
VGf-T18-GP4	6,00 – 6,20	--	90,8	9,2	0
VGf-T19-GP3	7,50 – 7,70	TL	52,1	47,8	0,1

Probe	Entnahmetiefe [m]	Bodengruppe DIN 18196	Feinkornanteil < 0,063 mm [%]	Sandanteil [%]	Kiesanteil [%]
VGf-T20-GP1	15,50 – 15,70	--	89,3	10,3	0,4
VGf-T21-GP1	1,00 – 1,20	TA	43,6	25,2	31,2
VGf-T21-GP2	2,80 – 3,00	UL	81,4	18,2	0,3
VGf-T21-GP3	3,00 – 3,30	--	89,4	10,5	0,1
VGf-T21-GP5	6,80 – 7,00	TL	55,8	43,9	0,3
VGf-T22-GP1	30,20 – 30,40	--	87,2	7,6	5,3
VGf-T22-GP2	32,00 – 32,20	TA	99,1	0,8	0,1
VGf-T22-GP3	33,00 – 33,20	--	92,1	3,6	4,3
VGf-T23-GP1	20,00 – 20,20	TA	90	10	0
VGf-T24-GP2	16,00 -16,20	TA	66,6	32,9	0,4
VGf-T24-GP3	20,00 – 20,20	TA	70,2	29,6	0,2
VGf-T25-GP3	14,00 – 14,20	TA	73,8	24,1	2,1
VGf-T25-GP5	18,00 – 18,20	--	90,3	7,8	2
VGf-T26-GP2	11,80 – 12,00	--	90,4	9,5	0
VGf-T26-GP4	16,50 – 16,70	TM	47,2	51,4	1,4
VGf-T27-GP1	8,00 – 8,20	--	91,7	8,4	0
VGf-T27-GP5	13,00 – 13,20	--	80,5	19,3	0,2
VGf-T28-GP1	8,50 – 8,70	--	90,1	9,9	0
VGf-T30-GP2	11,00 – 11,20	ST*	37,7	61,7	0,6
VGf-T30-GP3	12,50 – 12,70	TA	90,1	8,4	1,5
VGf-T31-GP2	10,00 – 10,20	ST*	33,5	50,1	16,4
VGf-T31-GP3	12,00 – 12,20	--	48,6	24,3	27,2
VGf-T31-GP6	16,00 – 16,20	TA	90,1	9,9	0
VGf-T33-GP3	10,00 – 10,20	ST*	28,4	52,7	8,9
VGf-T35-GP1	15,00 – 15,20	--	93,3	6,7	0
VGf-T35-GP4	19,80 – 20,00	--	43,8	38,8	17,4
VGf-T37-GP1	9,00 – 9,20	TA	89,4	10,4	0,2
VGf-T37-GP2	13,00 – 13,20	--	42,8	56,3	0,9

Ein charakterisierendes Kornverteilungsband wird nachfolgend in Abbildung 5.6 dargestellt. Es basiert auf der Bohransprache, der visuellen Beschreibung der Böden, den durchgeführten Kornverteilungsanalysen sowie Erfahrungswerten zum Baugrund. Korngrößen außerhalb des Kornverteilungsbandes sind aufgrund der punktuellen Untersuchungen möglich.

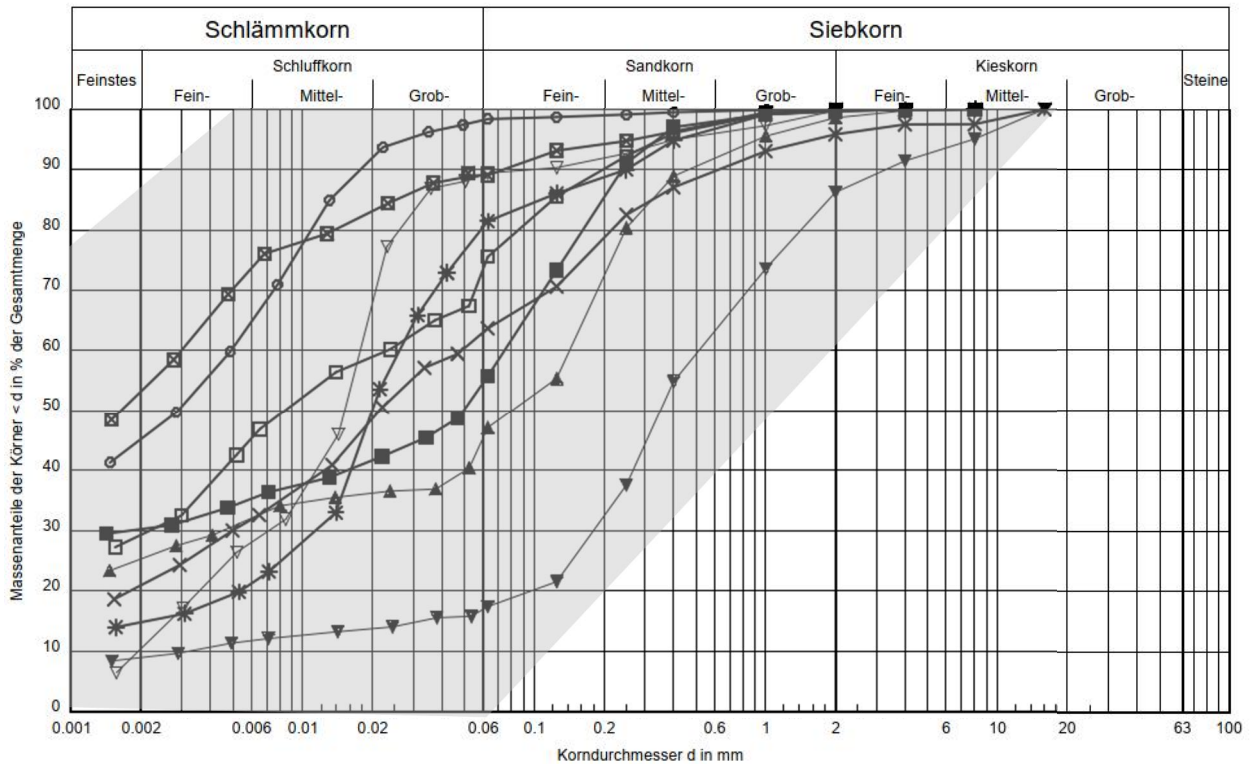


Abbildung 5.6 Charakteristisches Kornverteilungsband der Schicht 4b entsprechend den ermittelten Körnungslinien

An 41 Proben wurden die Zustandsgrenzen bestimmt. Die ermittelten Werte der Plastizitätszahl liegen zwischen $I_P = 5,3\%$ und $I_P = 77,1\%$ und die der Konsistenzzahl zwischen $I_C = 0,27$ und $I_C = 1,11$, was einer breiigen bis steifen Konsistenz entspricht. Die Ergebnisse der Bestimmungen Zustandsgrenzen nach DIN EN ISO 17892-12 finden sich in Anlage 4.1 sowie in der Tabelle 5.11

Tabelle 5.11 Bestimmung der Zustandsgrenze Schicht 4b

Probe	Plastizitätszahl I _p [%]	Konsistenzzahl I _c [-]	Konsistenz [-]	Bodengruppe DIN 18196 [-]
VGf-T01-GP1	62,2	0,84	steif	TA
VGf-T02-GP1	71,2	0,87	steif	TA
VGf-T03-GP2	42	0,27	breiig	TA
VGf-T03-GP3	34,4	0,58	weich	TA
VGf-T03-GP4	19,8	0,52	weich	UM
VGf-T03-GP5	45,1	0,84	steif	TA
VGf-T03-UP4	54,9	0,74	weich	TA
VGf-T03-GP6	50,5	0,84	steif	TA
VGf-T03-UP5	59	0,81	steif	TA
VGf-T04-GP1	69,5	0,72	weich	TA
VGf-T05-GP1	62,9	0,89	steif	TA
VGf-T05-GP2	46,1	0,77	steif	TA
VGf-T06-GP2	65,5	0,87	steif	TA
VGf-T06-UP3	60,9	0,88	steif	TA
VGf-T06-GP3	50,9	0,91	steif	TA
VGf-T07-GP1	46,2	0,62	weich	TA
VGf-T07-GP4	20,9	0,87	steif	TM
VGf-T07-GP5	62,5	0,81	steif	TA
VGf-T09-GP5	54,4	0,98	steif	TA
VGf-T10-GP1	70,8	0,90	steif	TA
VGf-T13-GP4	48,4	0,56	weich	TA
VGf-T14-GP2	61,9	0,94	steif	TA
VGf-T15-GP1	77,1	0,94	steif	TA
VGf-T15-GP3	54,3	0,89	steif	TA
VGf-T16-GP9	59,5	0,65	weich	TA
VGf-T18-GP3	51,2	0,91	steif	TA
VGf-T18-GP5	18,6	0,76	steif	TL
VGf-T21-GP1	31,5	0,95	steif	TA
VGf-T21-GP2	5,3	1,33	halbfest	SU-ST
VGf-T21-GP5	20	1,11	halbfest	TL
VGf-T22-GP2	55,8	0,8	steif	TA
VGf-T23-GP1	65,6	0,87	steif	TA
VGf-T24-GP2	36,1	0,61	weich	TA
VGf-T24-GP3	49,2	0,60	weich	TA
VGf-T25-GP3	58,4	0,80	steif	TA
VGf-T26-GP4	28,8	0,83	steif	TM
VGf-T30-GP3	48,4	0,82	steif	TA
VGf-T31-GP6	52,1	0,78	steif	TA
VGf-T33-GP3	66	0,58	weich	TA
VGf-T36-GP2	20,0	0,80	steif	TL
VGf-T37-GP1	68,5	0,77	steif	TA

Die Ergebnisse sämtlicher Konsistenzermittlungen der Schicht 4b sind nachfolgend grafisch dargestellt, Abbildung 5.7

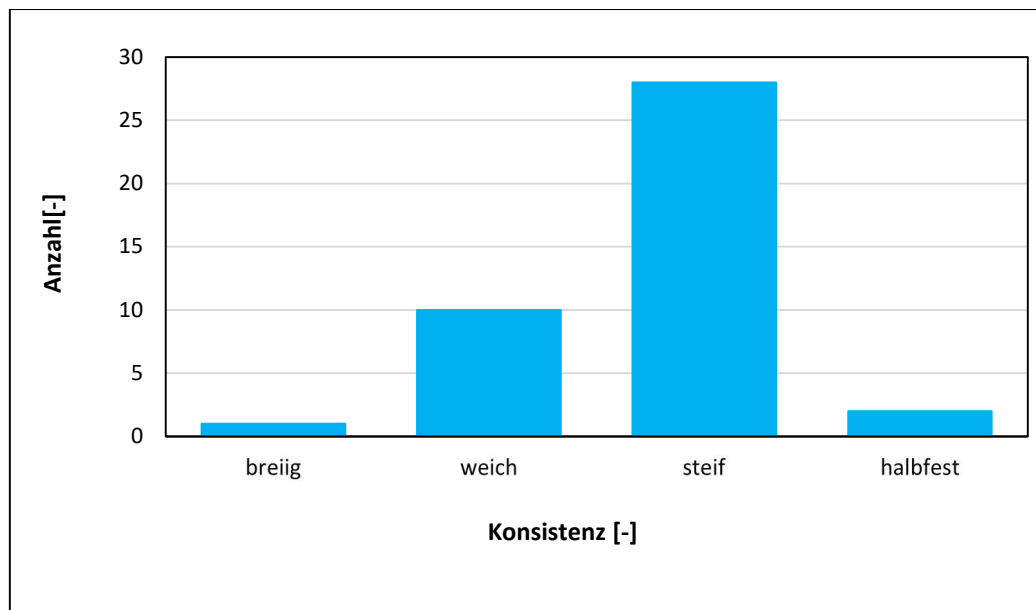


Abbildung 5.7 Häufigkeit der Konsistenz der untersuchten Bodenproben der Schicht 4b

An 7 Proben, entnommen aus den stärker organischen Bodenhorizonten, wurden die Glühverluste gemäß DIN 18128 zwischen $V_{GL} = 4,3\%$ und $V_{GL} = 88,3\%$ (im Mittel ca. 46,3%) bestimmt. Die Ergebnisse der Bestimmung des Glühverlustes nach DIN EN ISO 18128 finden sich in der Anlage 4.1 sowie in der Tabelle 5.12.

Tabelle 5.12 Bestimmung des Glühverlustes Schicht 4b

Probe	Entnahmetiefe [m]	Glühverlust [%]
VGF-T07-GP5	20,00 – 20,20	4,3
VGF-T09-GP2	10,80 – 11,00	30,9
VGF-T11-GP3	18,00 – 18,20	86,0
VGF-T14-GP3	13,70 – 13,90	88,3
VGF-T16-GP7	7,50 – 7,70	37,1
VGF-T33-GP2	9,80 – 10,00	17,3
VGF-T35-GP3	18,15 – 18,25	71,0

Der Kalkgehalt wurde an 10 Proben gemäß DIN 18129 zwischen 0,10 und 0,65 (im Mittel ca. 0,37) bestimmt. Die Ergebnisse der Bestimmung des Kalkgehaltes nach DIN 18129 finden sich in der Anlage 4.1 sowie in der Tabelle 5.13.

Tabelle 5.13 Bestimmung des Kalkgehaltes Schicht 4b

Probe	Entnahmetiefe [m]	Calcitgehalt [-]	Dolomitanteil [-]	Kalkgehalt [-]
VGF-T27-GP4	11,00 – 11,20	0,216	0,668	0,654
VGF-T01-GP4	22,80 – 23,00	0,196	0,259	0,455
VGF-T03-UP2	25,00 – 25,30	0,276	0,019	0,295
VGF-T05-GP1	24,00 – 24,20	0,104	0,111	0,108
VGF-T07-GP2	15,00 – 15,20	0,515	0,413	0,517
VGF-T09-GP5	19,80 – 20,0	0,190	0,004	0,194
VGF-T21-GP2	2,80 – 3,00	0,145	0,024	0,170
VGF-T23-GP1	20,00 – 20,20	0,255	0,000	0,255
VGF-T27-GP4	11,00 – 11,20	0,216	0,668	0,654
VGF-T31-UP1	20,00 – 20,25	0,215	0,016	0,231

Die Ergebnisse sämtlicher Kalkgehaltbestimmungen der Schicht 4b sind nachfolgend grafisch dargestellt, Abbildung 5.8.

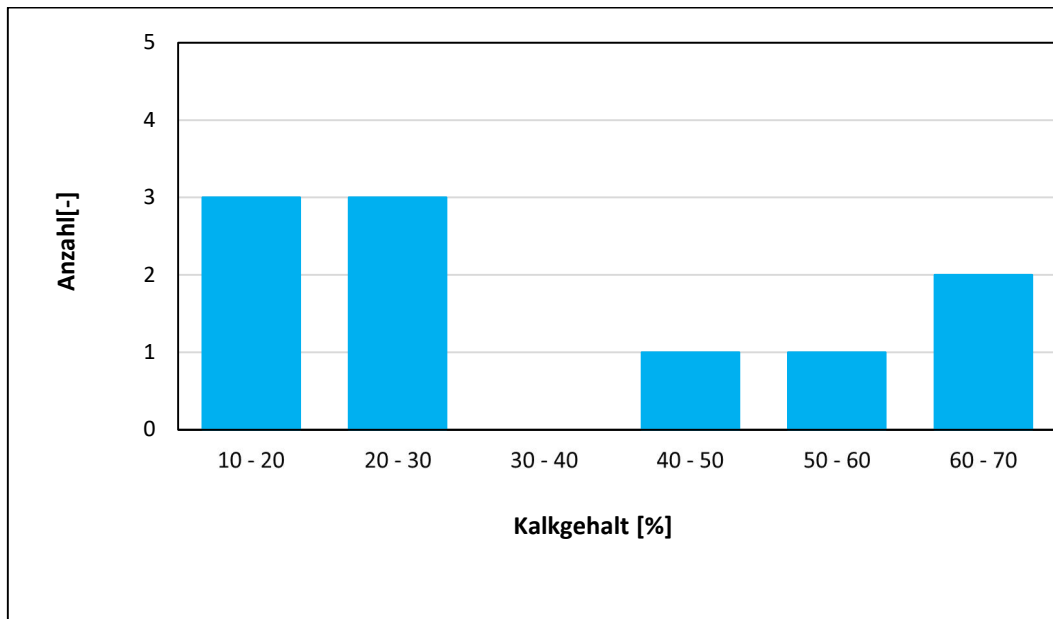


Abbildung 5.8 Häufigkeit des Kalkgehaltes der untersuchten Bodenproben der Schicht 4b

Die Dichte des feuchten Bodens wurde an 32 Proben der Schicht 4b zwischen 1,58 g/cm³ und 2,22 g/cm³ (im Mittel ca. 1,9 g/cm³) bestimmt. Die Trockendichte wurde an den o.g. Proben zwischen 1,03 g/cm³ und 1,99 g/cm³ (im Mittel ca. 1,5 g/cm³) bestimmt. Die Ergebnisse der Bestimmung der Dichte nach DIN 18125 finden sich in der Anlage 4.1 sowie in der Tabelle 5.14

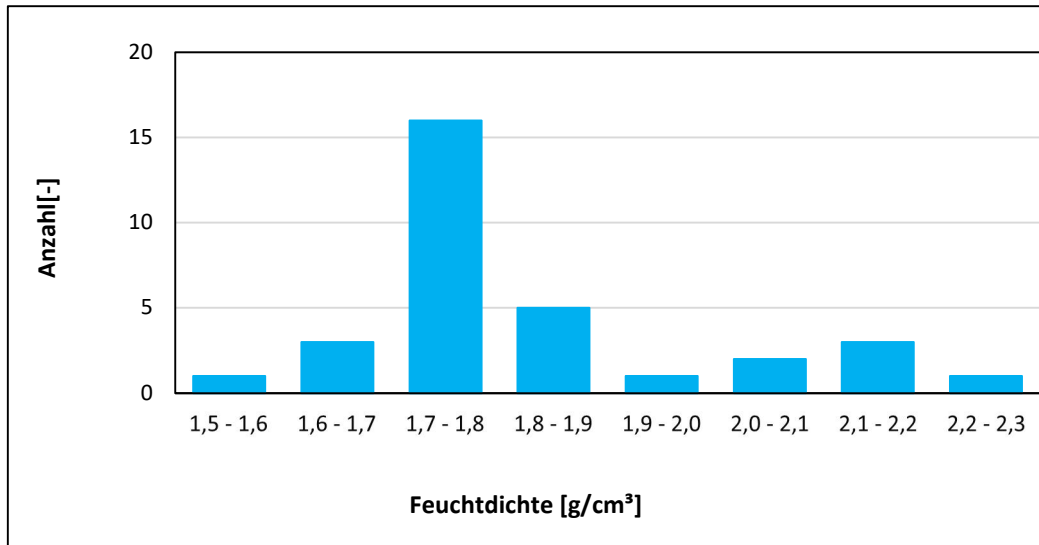
Tabelle 5.14 Bestimmung der Dichte Schicht 4b

Probe	Feuchtdichte ρ [g/cm ³]	Trockendichte ρ_d [g/cm ³]
VGF-T01-UP1	1,744	1,231
VGF-T01-UP2	1,864	1,396
VGF-T01-UP3	1,767	1,276
VGF-T01-UP4	1,794	1,303
VGF-T03-UP2	1,898	1,390
VGF-T03-UP3	1,721	1,195
VGF-T04-UP1	1,918	1,459
VGF-T05-UP6	1,800	1,251
VGF-T05-UP7	1,747	1,227
VGF-T06-UP5	1,767	1,292
VGF-T07-UP3	2,057	1,642
VGF-T09-UP1	1,745	1,208
VGF-T14-UP1	1,771 - 1,809	1,276 - 1,290
VGF-T15-UP1	1,695	1,162
VGF-T16-UP1	1,7	1,138
VGF-T18-UP1	2,089	1,736

Probe	Feuchtdichte ρ [g/cm ³]	Trockendichte ρ_d [g/cm ³]
VGf-T19-UP1	2,109	1,77
VGf-T20-UP1	1,752	1,249
VGf-T21-UP1	2,128	1,786
VGf-T21-UP3	1,796	1,243
VGf-T22-UP1	1,588	1,032
VGf-T22-UP2	1,802	1,308
VGf-T22-UP3	1,774	1,255
VGf-T22-UP4	1,772	1,256
VGf-T26-UP1	2,222 - 2,242	1,981 - 1,998
VGf-T27-UP1	1,788	1,280
VGf-T27-UP2	1,825	1,353
VGf-T30-UP1	1,747	1,223
VGf-T30-UP2	1,692	1,148
VGf-T33-UP4	1,784	1,250
VGf-T33-UP6	1,850	1,389
VGf-T35-UP1	2,130	1,826

Die Ergebnisse sämtlicher Bestimmungen von Feucht- und Trockendichte der Schicht 4b sind nachfolgend grafisch dargestellt, Abbildung 5.9.

(a)



(b)

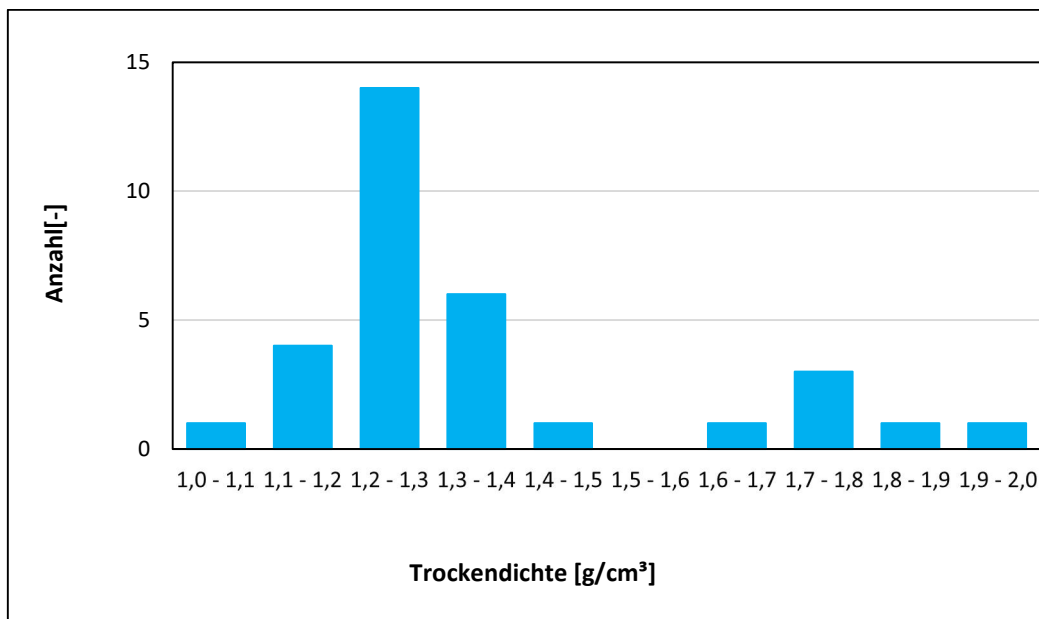


Abbildung 5.9 Häufigkeit der Feuchtdichte (a) und Trockendichte (b) der untersuchten Bodenproben der Schicht 4b

Die Korndichte wurde an 33 Proben der Schicht 4b zwischen 2,47 g/cm³ und 2,76 g/cm³ bestimmt. Die Ergebnisse der Bestimmung der Korndichte nach DIN 18124 finden sich in der Anlage 4.1 sowie in der Tabelle 5.15.

Tabelle 5.15 Bestimmung der Korndichte Schicht 4b

Probe	Entnahmetiefe [-]	Korndichte ρ_s [g/cm ³]
VGF-T01-UP1	16,00 – 16,25	2,575
VGF-T01-UP2	17,75 – 18,00	2,586
VGF-T01-UP3	22,0 – 22,25	2,511
VGF-T01-UP4	25,55 – 25,80	2,640
VGF-T03-UP2	25,00 – 25,30	2,600
VGF-T04-UP1	30,40 – 30,70	2,765
VGF-T05-UP6	23,80 – 24,05	2,545
VGF-T05-UP7	25,10 – 25,35	2,565
VGF-T06-UP5	23,85 – 24,10	2,501
VGF-T07-UP3	20,30 – 20,55	2,769
VGF-T09-UP1	13,00 – 13,25	2,511
VGF-T14-UP1	16,75 – 17,00	2,504
VGF-T15-UP1	16,00 – 16,25	2,496
VGF-T16-UP1	9,00 – 9,25	2,542
VGF-T18-UP1	6,75 – 7,00	2,607
VGF-T19-UP1	11,45 – 11,70	2,633
VGF-T20-UP1	14,75 – 15,00	2,484
VGF-T21-UP1	2,10 – 2,35	2,655
VGF-T21-UP3	10,15 – 10,40	2,555
VGF-T22-UP1	12,10 – 12,35	2,332
VGF-T22-UP2	15,25 – 15,50	2,528
VGF-T22-UP3	26,10 – 26,50	2,550
VGF-T22-UP4	34,60 – 34,90	2,583
VGF-T26-UP1	10,33 – 10,60	2,611
VGF-T27-UP2	9,20 – 9,45	2,588
VGF-T27-UP3	12,40 – 12,65	2,522
VGF-T30-UP1	18,10 – 18,35	2,613
VGF-T30-UP2	19,75 – 20,00	2,498
VGF-T33-UP5	14,70 – 14,95	2,473
VGF-T33-UP6	15,40 – 15,70	2,647
VGF-T35-UP1	12,60 – 12,85	2,653

Die Ergebnisse sämtlicher Korndichtbestimmungen der Schicht 4b sind nachfolgend grafisch dargestellt, Abbildung 5.10.

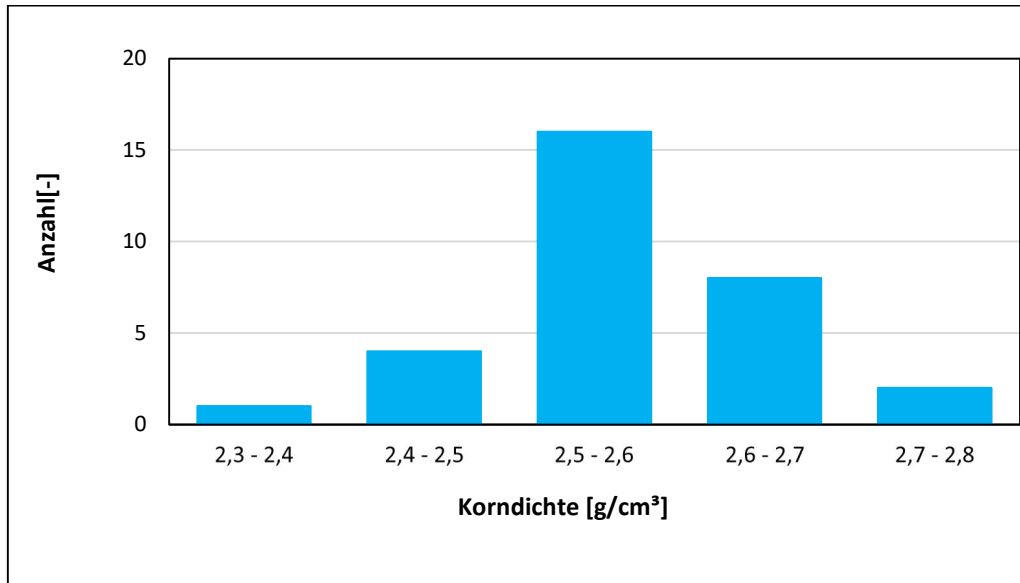


Abbildung 5.10 Häufigkeit der Korndichte der untersuchten Bodenproben der Schicht 4b

Der Kompressionsbeiwert wurde an 7 Proben der Schicht 4b zwischen 0,05 und 3,18 bestimmt (im Mittel ca. 1,6%). Weiterhin wurde der Steifemodul zwischen 6,9 MN/m² und 65,1 MN/m² bestimmt (im Mittel ca. 36 MN/m²). Die Ergebnisse der Bestimmung Zusammendrückbarkeit nach DIN EN ISO 17892-5 finden sich in der Anlage 4.1 sowie in der Tabelle 5.16.

Tabelle 5.16 Bestimmung der Zusammendrückbarkeit Schicht 4b

Probe	Entnahmetiefe [-]	Kompressionsbeiwert [-]	Steifemodul [MN/m ²]
VGF-T03-UP2	25,00 – 25,30	0,3921 – 1,3451	11,8 – 65,1
VGF-T07-UP3	20,30 – 20,55	0,4149 – 0,6859	6,9 – 37,1
VGF-T09-UP1	13,00 – 13,25	0,4005 – 2,3091	9,0 – 18,1
VGF-T14-UP1	16,75 – 17,00	0,3108 – 1,0178	12,5 – 45,5
VGF-T15-UP1	16,00 – 16,25	0,5791 – 3,1874	7,9 – 21,1
VGF-T26-UP1	10,33 – 10,60	0,0572 – 0,1346	12,8 – 44,4
VGF-T35-UP1	12,60 – 12,85	0,0941 – 0,3149	12,8 – 31,2

Die Scherfestigkeit wurde an 12 Proben der Schicht 4b bestimmt. Es wurden Reibungswinkel zwischen 8,9° und 31,6° und Kohäsionswerte zwischen 19,3 und 124 kN/m² bestimmt. Die Ergebnisse der Bestimmung Scherfestigkeit nach DIN 18137 finden sich in Anlage 4.1 sowie in der Tabelle 5.17.

Tabelle 5.17 Bestimmung der Scherfestigkeit Schicht 4b

Probe	Reibungswinkel [°]	Kohäsion [kN/m ²]	Scherspannung [kN/m ²]
VGF-T03-UP2	9,7	71,2	109 – 194,8
VGF-T05-UP6	12,8	19,3	83,3 – 192,3
VGF-T05-UP7	9,9	51,4	101,5 – 188,8
VGF-T06-UP5	8,2	100,8	130,5 – 200
VGF-T07-UP3	9,6	100,8	130,5 – 200
VGF-T14-UP1	8,9	76,7	104,6 – 158
VGF-T21-UP1	31,6	20,7	35,3 – 63,5
VGF-T21-UP3	10,5	71,7	94,8 – 131,8
VGF-T26-UP1	18,6	50,4	87,2 – 158
VGF-T33-UP4	13,4	61,6	90,8 – 143
VGF-T33-UP5	12,2	64,7	96,5 – 161,5
VGF-T33-UP6	22,3	124,0	188,8 – 312

Die Ergebnisse sämtlicher Scherfestigkeit der Schicht 4b ist nachfolgend grafisch dargestellt, Abbildung 5.11.

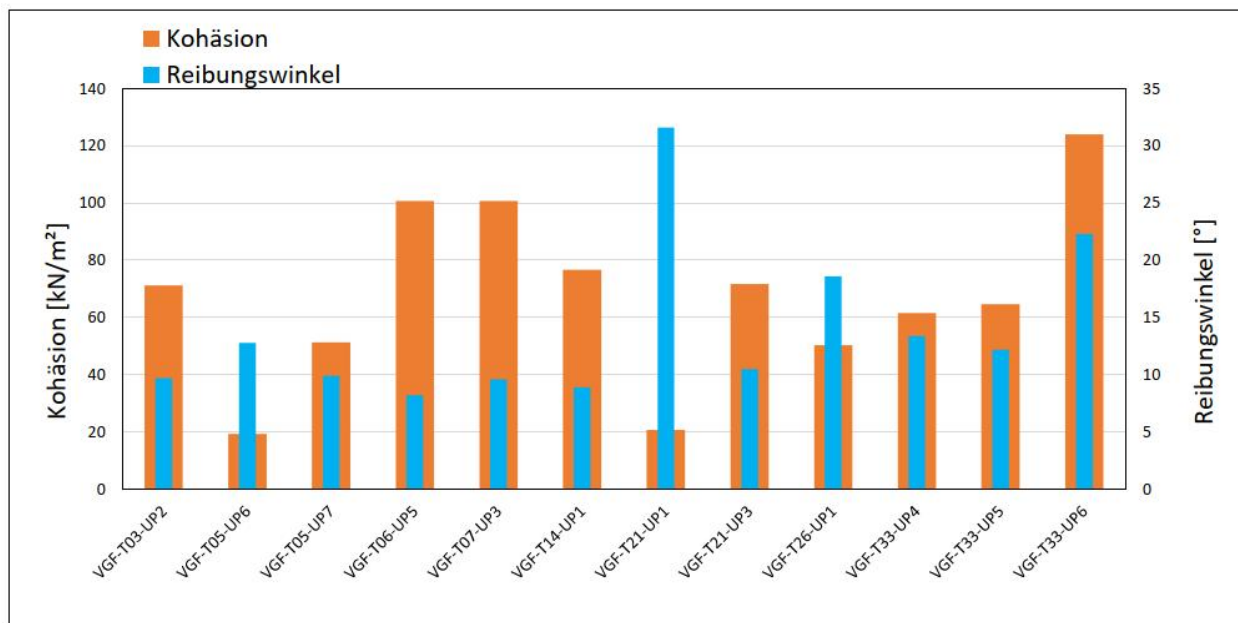


Abbildung 5.11 Häufigkeit der Scherfestigkeit (Kohäsion und Reibungswinkel) der untersuchten Bodenproben der Schicht 4b

Die einaxiale Druckfestigkeit wurde an 39 Proben der Schicht 4b zwischen $q_u = 0,02 \text{ N/mm}^2$ und $q_u = 0,38 \text{ N/mm}^2$ bestimmt. Die Ergebnisse der Bestimmung einaxialen Druckversuche nach DIN EN ISO 17892 finden sich in der Anlage 4.1 sowie in der Tabelle 5.18.

Tabelle 5.18 Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit Schicht 4b

Probe	Entnahmetiefe [m]	Stauchung [%]	q_u [N/mm ²]
VGF-T01-UP1	16,00 – 16,25	4,67	0,200
VGF-T01-UP2	17,75 – 18,00	9,17	0,203
VGF-T01-UP3	22,00 – 22,25	2,83	0,246
VGF-T01-UP4	25,55 – 25,80	3,25	0,235
VGF-T02-UP1	17,70 – 17,95	1,92	0,191
VGF-T03-UP2	25,00 – 25,30	5,08	0,200
VGF-T03-UP3	28,00 – 28,30	6,00	0,125
VGF-T03-UP4	30,65 – 31,00	3,33	0,100
VGF-T04-UP1	30,40 – 30,70	2,75	0,197
VGF-T05-UP6	23,80 – 24,05	2,33	0,105
VGF-T05-UP7	25,10 – 25,35	2,17	0,199
VGF-T06-UP5	23,85 – 24,10	13,17	0,100
VGF-T07-UP3	20,30 – 20,55	13,33	0,102
VGF-T09-UP1	13,00 – 13,25	4,50	0,162
VGF-T11-UP2	8,75 – 9,00	5,5	0,234
VGF-T11-UP3	21,00 – 21,25	3,00	0,136
VGF-T13-UP3	17,75 – 18,00	8,42	0,149
VGF-T15-UP1	16,00 – 16,25	3,24	0,106
VGF-T16-UP1	9,00 – 9,25	1,42	0,123
VGF-T18-UP1	6,75 – 7,00	14,92	0,198
VGF-T18-UP2	8,75 – 9,00	3	0,136
VGF-T19-UP1	11,45 – 11,70	15,08	0,288
VGF-T20-UP1	14,75 – 15,00	2	0,197
VGF-T21-UP1	2,10 – 2,35	7,08	0,160
VGF-T21-UP3	10,15 – 10,40	8,50	0,163
VGF-T22-UP3	26,10 – 26,50	2,58	0,389
VGF-T22-UP4	34,60 – 34,90	2,33	0,328
VGF-T27-UP2	9,20 – 9,45	2,67	0,153
VGF-T27-UP3	12,40 – 12,65	2,83	0,021
VGF-T28-UP2	8,75 – 9,00	12,25	0,212
VGF-T30-UP1	18,10 – 18,35	3,42	0,050
VGF-T30-UP2	19,75 – 20,00	3,17	0,140
VGF-T31-UP1	20,00 – 20,25	1,67	0,122
VGF-T33-UP4	10,90 – 11,15	2,67	0,200
VGF-T33-UP5	14,70 – 14,95	1,83	0,145
VGF-T33-UP6	15,40 – 15,70	2,92	0,026
VGF-T35-UP1	12,60 – 12,85	3,59	0,279
VGF-T36-UP1	7,20 – 7,45	3,50	0,126
VGF-T37-UP1	8,75 – 9,00	1,58	0,108

Die für die Schicht 4b ermittelten einaxialen Druckfestigkeiten sind nachfolgend grafisch dargestellt, Abbildung 5.12.

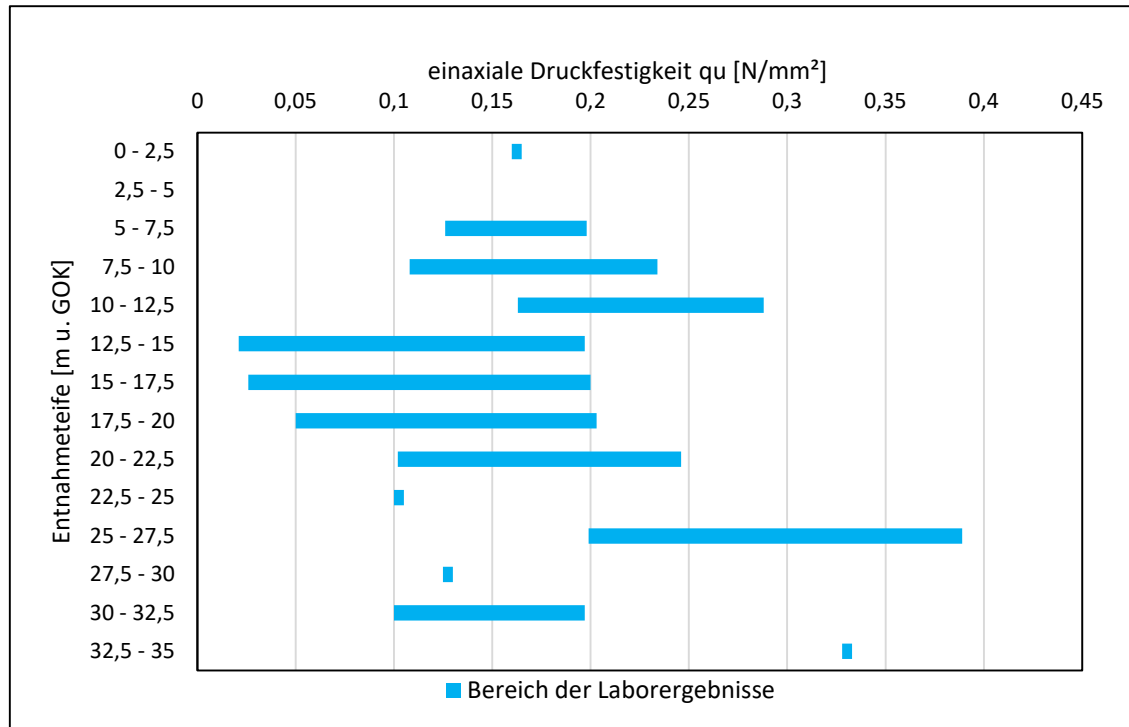


Abbildung 5.12 Tiefenabhängige Darstellung der ermittelten einaxialen Druckfestigkeiten der Schicht 4b

Die Wärmeleitfähigkeit wurde an 3 Proben (VGF-T01-EP1, VGF.T23-GP2 und VGF-T33-GP4) der Schicht 4b zwischen 0,3 W/mK und 1,29 W/mK bestimmt. Die Ergebnisse der Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit in Anlehnung der ASTM D 5334-14 finden sich in der Anlage 4.1.

Die Mineralogie wurde an 2 Proben der Schicht 4b ermittelt. Demnach bestehen die untersuchten Proben vorrangig aus Calcit (0 % - 25 %), und Quarz (5 % - 9 %) und Kaolinit D (7 % - 13 %) und Magnesiumcalcit (0 % - 46 %) und Smektit (3 % - 20 %) und Illit / Glimmer (10 % - 35 %). Chlorit (5 % - 6 %) und zu geringen Anteilen (bis etwa 5 %) aus Illit-Semkit, Kalifeldspat, Dolomit, Gips, Pyrit, Naplagioklas, Goethit und organischer Substanz.

Die Ergebnisse der Bestimmung der Mineralogie mittels Röntgendiffraktometrie für Boden und Fels finden sich in der Anlage 4.1 sowie in der Tabelle 5.19.

Tabelle 5.19 Bestimmung der Mineralogie (Röntgendiffraktometrie) Schicht 4b

Probe	Tiefe [m]	Illit/ Glimmer [diokt.]	Illit-Smektit-WL	Smektit	Kaol.-D	Chlorit	Quarz	Kalifeldspat	Calcit	Magnesiumcalcit	Dolomit	Pyrit	Naplagioklas	Goethit	Org. Subst.
		[Gew. %]													
VGf-T06-GP5	23,0 - 23,3	35	5	3	13	6	9	1	25	-	1	-	1	1	-
VGf-T14-EP1	16,0 - 18,0	10	5	20	7	5	5	-	-	46	-	1	-	-	1

Die Abrasivität wurde an 6 Proben der Schicht 4b zwischen kaum abrasiv (LAK = 80 g/t) und schwach abrasiv (LAK = 120 g/t) bestimmt. Die Ergebnisse der Bestimmung der Abrasivität LCPC nach NF P18-579 finden sich in der Anlage 4.1 sowie in der Tabelle 5.20.

Tabelle 5.20 Bestimmung der Abrasivität LCPC Schicht 4b

Probe	Tiefe [m]	LAK [g/t]	Abrasivitäts-Klassifizierung nach LCPC
VGf-T06-EP4	22,00 – 22,40	80	kaum abrasiv
VGf-T14-EP1	16,00 – 18,00	100	kaum abrasiv
VGf-T21-EP1	4,00 – 4,50	120	schwach abrasiv
VGf-T23-EP1	20,20 – 20,60	80	kaum abrasiv
VGf-T33-EP1	12,60 – 13,00	100	kaum abrasiv
VGf-T35-EP1	19,00 – 21,00	100	kaum abrasiv

Die Quelldehnung wurde an 5 Proben der Schicht 4b zwischen 0,5 % und 13,5 % ermittelt. Die Ergebnisse der Quellhebungsversuche finden sich in der Anlage 4.1 sowie in der Tabelle 5.21.

Tabelle 5.21 Ergebnisse der Quellhebungsversuche Schicht 4b

Probe	Tiefe [m]	Max. Vorbelastung [MN/m ²]	Quelldehnung [%]	Versuchsdauer [d]
VGf-T03-UP1	22,75 – 23,00	0,4500	5,29	86
VGf-T06-UP4	21,00 – 21,25	0,4250	7,40	98
VGf-T21-UP2	3,55 – 3,80	0,0750	0,49	27
VGf-T23-UP3	20,75 – 21,00	0,4180	13,56	130
VGf-T33-UP2	10,40 – 10,56	0,2110	4,71	98

Die Quellspannung wurde an 5 Proben der Schicht 4b zwischen 0,09 MN/m² und 0,27 MN/m² ermittelt. Die Ergebnisse der Quelldruckversuche finden sich in der Anlage 4.1 sowie in der Tabelle 5.22.

Tabelle 5.22 Ergebnisse der Quelldruckversuche Schicht 4b

Probe	Tiefe [m]	Max. Vorbelastung [MN/m ²]	Quellspannung [MN/m ²]	Versuchsdauer [d]
VGf-T03-UP1	22,75 – 23,00	0,4500	0,173	11
VGf-T06-UP4	21,00 – 21,25	0,4220	0,182	9
VGf-T21-UP2	3,55 – 3,80	0,0750	0,018	9
VGf-T23-UP3	20,75 – 21,00	0,4180	0,272	9
VGf-T33-UP2	10,40 – 10,56	0,2000	0,09	11

Weiterhin wurde der Punktlastindex an einer Probe der Schicht 4b (VGf-T33-GP7) mit $I_{S(50)} = 0,19 \text{ MN/m}^2$ bestimmt.

5.5.5 Schicht 4c: Tertiärer Fels

Der Wassergehalt wurde an 4 Proben (VGf-T03-GP1, VGf-T20-GP3, VGf-T29-GP1 und VGf-T30-GP4) zu $w = 24,6 \%$ bis $38,3 \%$ (im Mittel ca. $31,4 \%$) bestimmt.

Die Ergebnisse der Bestimmung der Korngrößenverteilung gemäß DIN EN ISO 17892-4 finden sich in der Tabelle 5.23 sowie Anlage 4.1.

Tabelle 5.23 Bestimmung der Korngrößenverteilung Schicht 4c

Probe	Entnahmetiefe [m]	Bodengruppe DIN 18196	Feinkornanteil < 0,063 mm [%]	Sandanteil [%]	Kiesanteil [%]
VGf-T03-GP1	17,00 – 17,20	GT	12	47,7	40,3
VGf-T13-GP2	23,50 – 23,70	GU*	15,7	35,5	48,8
VGf-T20-GP3	17,00 – 17,20	SU*	35,4	32,1	32,6
VGf-T27-GP3	10,20 – 10,40	ST*	37,4	40,8	21,8
VGf-T28-GP2	9,00 – 9,20	GU	8,9	32,5	58,5
VGf-T28-GP3	10,00 – 10,20	--	46,7	45,8	7,5
VGf-T29-GP1	9,00 – 9,30	GU*	19,3	35,1	45,6
VGf-T29-EP1	12,00 – 12,50	GU	10,9	37,5	51,6
VGf-T30-GP1	9,50 – 9,70	SU	9,8	83,3	6,9
VGf-T30-GP4	16,00 – 16,20	--	42,3	33,5	24,2

Ein charakterisierendes Kornverteilungsband wird nachfolgend in Abbildung 5.13 dargestellt. Es basiert auf der Bohransprache, der visuellen Beschreibung der Böden, den durchgeführten Kornverteilungsanalysen sowie Erfahrungswerten zum Baugrund. Korngrößen außerhalb des Kornverteilungsbandes sind aufgrund der punktuellen Untersuchungen möglich.

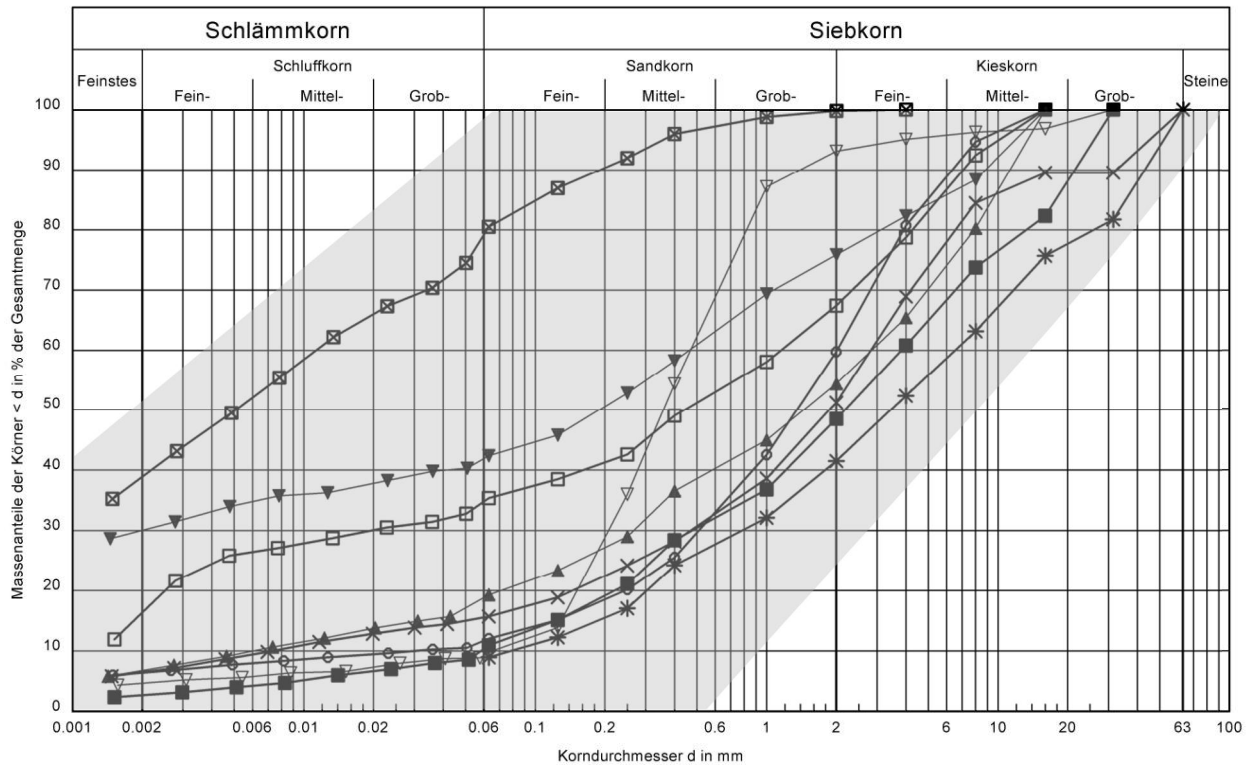


Abbildung 5.13 Charakteristisches Kornverteilungsband der Schicht 4b entsprechend den ermittelten Körnungslinien

Der Punktlastindex wurde an 11 Proben der Schicht 4b zwischen $I_{S(50)} = 0,42 \text{ MN/m}^2$ und $I_{S(50)} = 7,18 \text{ MN/m}^2$ bestimmt. Die Ergebnisse der Punktlastversuche finden sich in der Anlage 4.1 sowie in der Tabelle 5.24.

Tabelle 5.24 Ergebnisse der Punktlastversuche Schicht 4c

Probe	Entnahmetiefe [m u. GOK]	$I_{S(50)}$ [MN/m ²]
VGF-T03-EP3	20,00 – 21,40	1,394
VGF-T03-EP5	35,40 – 35,80	4,774
VGF-T04-EP1	26,00 – 26,25	7,182
VGF-T04-EP3	30,00 – 30,30	5,148
VGF-T05-EP3	29,00 – 29,70	3,979
VGF-T06-EP3	16,50 – 17,00	7,086
VGF-T10-GP4	19,50 – 20,00	0,426
VGF-T15-GP4	26,70 – 27,00	0,979
VGF-T24-GP4	26,00 – 26,20	3,160
VGF-T31-EP2	16,40 – 17,20	2,528
VGF-T32-EP2	10,30 – 11,00	0,803

Die Ergebnisse sämtlicher Punktlastversuche der Schicht 4b ist nachfolgend grafisch dargestellt, Abbildung 5.14.

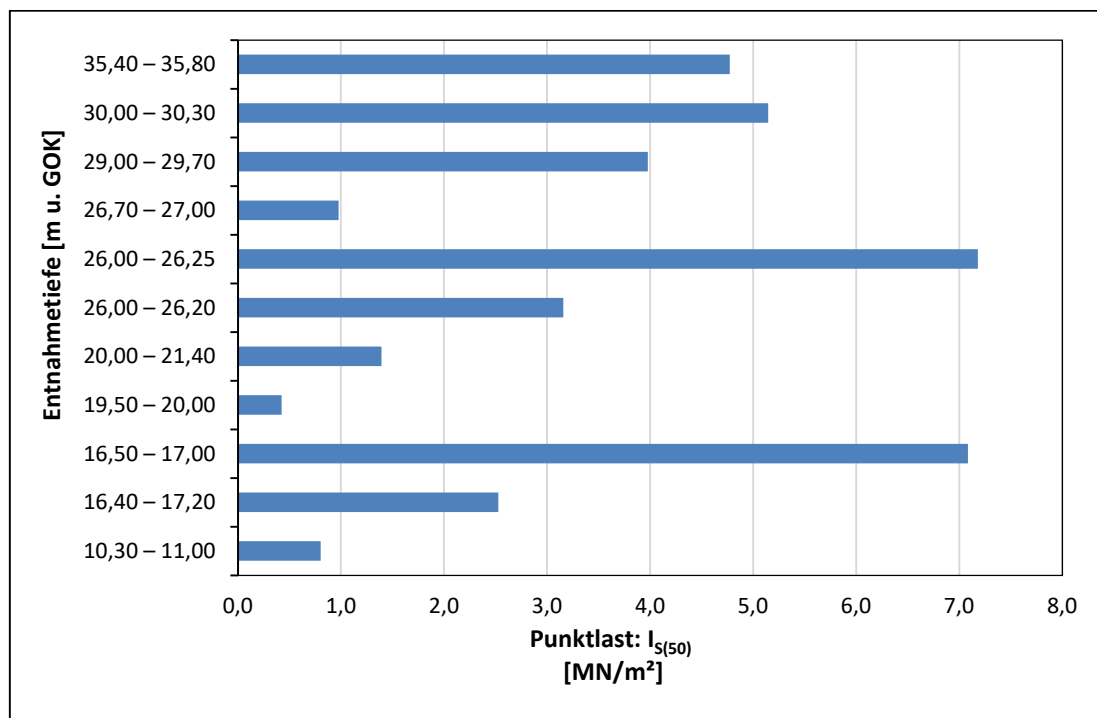


Abbildung 5.14 Tiefenabhängige Darstellung der ermittelten Punktlastindizes der Schicht 4b

An 5 Proben wurde der Cerchar-Abrasivitäts-Index (CAI) ermittelt. Die gemessenen Werte liegen relativ einheitlich bei CAI = 1,07 bis 2,70, was ein niedrig- zu mittelabrasives Gestein kennzeichnet. Die Ergebnisse der Bestimmung der Abrasivität CAI finden sich in der Anlage 4.1 sowie in der Tabelle 5.25.

Tabelle 5.25 Bestimmung der Abrasivität CAI Schicht 4c

Probe	Tiefe [m]	CAI	Abrasivitäts-Klassifizierung nach CAI
VGF-T02-EP1	28,00 – 28,50	1,42	niedrig
VGF-T05-EP3	29,00 – 29,70	1,68	niedrig
VGF-T06-EP2	11,00 – 11,35	2,70	mittel
VGF-T15-GP4	26,70 – 27,00	1,07	niedrig
VGF-T24-GP4	26,00 – 26,20	1,51	niedrig

Weiterhin wurde die Abrasivität LCPC nach NF P18-579 an 2 Proben der Schicht 4c (VGF-T01-EP2 und VGF-T03-EP2) zwischen schwach abrasiv (LAK = 140 g/t) und abrasiv (LAK = 360 g/t) bestimmt.

Die Mineralogie wurde an 11 Proben der Schicht 4b ermittelt. Demnach bestehen die untersuchten Proben vorrangig aus Calcit (etwa >1 % - 78 %, im Mittel 39 %) und Quarz (>1 % - 6 %, im Mittel 3 %) und Dolomit (>1 % - 93 %, im Mittel 46,5 %) und Magnesiumcalcit (0 % - 97 %, im Mittel 48,5 %) und Smektit (>1 % - 15 %, im Mittel 7,5 %) und Illit / Glimmer (>1 % - 12 %, im Mittel 6 %) und zu geringen Anteilen (bis etwa 5 %) aus Gips, Illit / Glimmer trikt., Illit-Smektit, Kaolinit D, Chlorit, Kalifeldspat, Naplagioklas, Goethit, Pyrit und organischer Substanz.

Die Ergebnisse der Bestimmung der Mineralogie mittels Röntgendiffraktometrie für Boden und Fels finden sich in der Anlage 4.1 sowie in der Tabelle 5.26.

Tabelle 5.26 Bestimmung der Mineralogie (Röntgendiffraktometrie) Schicht 4c

Probe	Tiefe [m]	Illit / Glimmer [diokt.]	Illit / Glimmer [triokt.]	Illit-Smektit-WL	Smektit	Kaol.-D	Chlorit	Quarz	Kalifeldspat	Calcit	Magnesiumcalcit	Dolomit	Gips	Pyrit	Naplagioklas	Goethit	Org. Subst.
		[Gew. %]															
VGf-T02-EP1	28,0 - 28,5	7	-	5	2	3	4	3	-	35	13	27	1	-	-	-	-
VGf-T03-EP1	17,5 - 18,0	1	-	-	-	<1	<1	1	-	-	97	-	-	-	-	-	-
VGf-T03-EP4 *	29,6 - 30,0	4	-	-	-	<1	1	1	-	1	-	1	-	-	-	1	-
VGf-T04-EP2	29,1 - 30,0	3	-	-	<1	-	1	2	-	-	2	91	-	-	-	-	-
VGf-T05-EP2	28,5 - 29,0	2	-	-	-	1	<1	<1	-	<1	-	93	-	-	-	1	-
VGf-T10-GP4 *	19,5 - 20,0	12	-	4	5	3	5	2	1	61	-	7	-	-	-	-	-
VGf-T15-GP4	26,7 - 27,0	5	-	3	5	2	5	1	-	78	-	<1	-	-	-	-	-
VGf-T23-GP3 *	22,2 - 22,5	4	-	-	-	1	1	1	-	<1	-	91	-	-	<1	1	-
VGf-T24-GP4 *	26,0 - 26,2	2	-	1	3	1	1	1	1	-	-	90	-	-	-	-	-
VGf-T32-EP2	10,3 - 11,0	7	-	5	3	3	4	3	-	3	20	51	1	-	-	-	-
VGf-T35-EP1	19,0 - 21,0	10	2	5	15	5	5	6	-	47	-	7	-	-	-	-	-

*) Dünnschliffmikroskopischen Aufnahmen

Zusätzlich wurden an 4 Proben (VGf-T03-EP4, VGf-T10-EP1, VGf-T23-GP3 und VGf-T24-GP4) dünn-
schliffmikroskopischen Aufnahmen durchgeführt, siehe Anlage 4.2.

Die Dichte des feuchten Bodens wurde an 2 Proben der Schicht 4c (VGf-T13-UP3 und VGf-T28-UP2) mit 1,83 g/cm³ bestimmt. Die Trockendichte wurde an den o.g. Proben zwischen 1,33 t/m³ und 1,32 t/m³ (im Mittel ca. 1,3 t/m³) bestimmt. Weiterhin wurde die Korndichte an den o.g. Proben zwischen 2,65 g/cm³ und 2,66 g/cm³ bestimmt.

An einer Probe (VGf-T30-GP4) wurden die Glühverluste gemäß DIN 18128 zwischen $V_{GL} = 2,2\%$ und $V_{GL} = 88,3\%$ bestimmt. Weiterhin wurde an einer Probe (VGf-T05-EP1) die einaxiale Druckfestigkeit nach der DGGT- Empfehlung Nr. 1 mit $q_u = 246\text{ MN/m}^2$ bestimmt.

An einer Probe (VGf-T03-GP1) wurde der Kalkgehalt gemäß DIN 18129 mit 0,77 bestimmt.

5.6 Bautechnische Eigenschaften

5.6.1 Charakteristische boden- und felsmechanische Kennwerte

Den aufgeschlossenen Baugrundsichten werden die in Tabelle 5.27 zusammengestellten charakteristischen boden- und felsmechanischen Kennwerte zugewiesen, die für die Bemessung von Gründungsmaßnahmen, der Baugrubenverbaumaßnahmen und für tunnelstatische Berechnungen gelten. Die Ermittlung der Kennwerte erfolgte auf der Grundlage der Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse und der Laborversuche sowie der bei CDM Smith vorliegenden Erfahrungen zum Baugrund im näheren Umfeld des Projektgebietes. Es ist nicht auszuschließen, dass vereinzelt Kennwerte unter- oder oberhalb der angegebenen Bandbreiten vorliegen können (vgl. auch Kap. 5.5). Die in Klammern angegebenen Werte stellen Rechenkennwerte dar.

Tabelle 5.27 Charakteristische boden- und felsmechanische Kennwerte

Schicht		Wichte		Scherfestigkeit			Steifemodul	Durchlässigkeitsbeiwert
		γ	γ'	φ'	c'	c_u	E_{se} / E_{sw}	k_f
		[kN/m ³]	[kN/m ³]	[°]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[MN/m ²]	[m/s]
1	Auffüllungen:	(20)	(10)	(30)	(2)			
	grob-/gemischtkörnig	20	10	32,5	0	0	--	$10^{-2} \div 10^{-6}$
	feinkörnig	19	9	27,5	$2 \div 5$	$20 \div 50$	--	$10^{-6} \div 10^{-8}$
2	Quartäre Deckschichten, steif	$19 \div 20$	$9 \div 10$	$25 \div 27,5$	$2 \div 5$	$20 \div 50$	$5 \div 10 / 10 \div 20$	$10^{-6} \div 10^{-9}$
3	Quartäre Sande und Kiese, locker bis dicht	(21) $18 \div 21$	(12) $10 \div 12$	(35) $30 \div 37,5$	(0) 0	0	(60/120) $20 \div 75 / 40 \div 150$	$2 \times 10^{-3} \div 10^{-5}$
4	Tertiär ⁶⁾	(20) ⁴⁾	(10) ⁴⁾	(20) ⁴⁾	(20) ⁴⁾	$(c_u(z))^{4/5}$	$(7x(1+0,35z^3) / 75)^{4)}$	$(10^{-5})^4$
4a	Sande	$19 \div 20$	$10 \div 11$	$27,5 \div 35$	$0 \div 3$	0	$30 \div 60 / 60 \div 120$	$10^{-5} \div 10^{-7}$
4b	Schluffe und Tone	$19 \div 20$	$9 \div 10$	$15 \div 25$	$15 \div 25$	$c_u(z)^{5)}$	$(7x(1+0,35z^3) / 75)^{4)}$	$10^{-7} \div 10^{-9}$
	Braunkohle	$15 \div 18$	$5 \div 10$	15	$5 \div 10$	50	$10 \div 20$	$10^{-7} \div 10^{-9}$
4c	Basalt, Mergel-, Kalk-, Dolomit-, und Sandstein	$18 \div 24$	$9 \div 14$	$25 \div 45$ ¹⁾	--	$5 \div 400$ ²⁾ [MN/m ²]	$25 \div 250 / 250 \div 1000$	$10^{-1} \div 10^{-6}$

1) Ersatzreibungswinkel 2) Gesteinsfestigkeit q_u in MN/m² 3) z ab OK Tertiär 4) Gilt für Schichtpakete

5) $c_u = 101,35 \text{ kN/m}^2$ bis 25 m u. GOK und $c_u = -64,15 \text{ kN/m}^2 + 6,62 \text{ kN/m}^2 \times z$ ab 25 m u. GOK

6) Bei der Angabe von Kennwerten für das Schichtpaket 4 (Tertiär) wird angenommen, dass sich das Schichtpaket massenmäßig zum überwiegenden Teil aus den Tonen der Schicht 4b zusammensetzt.

In Tabelle 5.28 erfolgt eine Zuordnung der mit den Sondierungen aufgeschlossenen Bodenschichten zu den Bodengruppen nach DIN 18196 (Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke).

Tabelle 5.28 Bodengruppen (DIN 18196)

Schicht		Bodengruppe DIN 18196
1	Auffüllungen: grob-/gemischtkörnig feinkörnig	[GW, GI, GE, GU, GU*, SW, SI, SE, SU, SU*] ([TL, TM, TA])
2	Quartäre Deckschichten	TL, TM, TA, ST, ST* (SU, SU*, UL, UM)
3	Quartäre Sande und Kiese	SW, SU, GU, GU* (SE, SI, GW, GE, GI)
4a	Tertiäre Sande	GU, GU*, SU, SU*, ST, ST*, (UL, TL)
4b	Tertiäre Schluffe, Tone und Braunkohle	TL, TM, TA, UM (UL, UA, SU*, SU, ST, ST*, OT, HZ)
4c	Tertiäre Basalt, Mergel-, Kalk-, Dolomit-, und Sandsteine	GT, GU, GU*, SU, SU* Festgestein

() untergeordnet vorhanden

In Tabelle 5.29 sind für die vorkommenden Locker- und Festgesteine die Bodenklassen für die Frostempfindlichkeitsklassen gemäß ZTVE-StB zusammengestellt.

Tabelle 5.29 Frostempfindlichkeitsklassen

Schicht		Frostempfindlichkeitsklasse ZTVE StB 94/97
1	Auffüllungen: grob-/gemischtkörnig feinkörnig	F 1 – F 3 F 3
2	Quartäre Deckschichten	F 3
3	Quartäre Sande und Kiese	F 1 – F 3
4a	Tertiäre Sande	F 1, F 3
4b	Tertiäre Schluffe Tone und Braunkohle	F 2 – F 3
4c	Tertiäre Basalt, Mergel-, Kalk-, Dolomit-, und Sand- steine	--

Die Angabe der Klassen nach DIN 18300, DIN 18301 sowie DIN 18319 erfolgt rein informativ. Es gelten die Angaben für Homogenbereiche entsprechend der Tabelle 5.30 bis Tabelle 5.34. Nach der aktuell gültigen VOB Teil C (Stand 2015) ist der anstehende Baugrund für die jeweiligen Gewerke in Homogenbereiche zu untergliedern. Der Begriff Homogenbereich ist dabei wie folgt definiert: Der Homogenbereich ist ein begrenzter Bereich, bestehend aus einzelnen oder mehreren Boden- oder Felsschichten, der für einsetzbare Erdbaugeräte vergleichbare Eigenschaften aufweist.

Die Untergliederung des anstehenden Baugrundes erfolgt für die erwartungsgemäß anfallenden Bauverfahren der ATV DIN 18300, Stand 2015 (Erdarbeiten), der ATV DIN 18301, Stand 2015 (Bohrarbeiten). Eine Übersicht über die einzelnen Homogenbereiche der verschiedenen anfallenden Bauverfahren wird in Tabelle 5.30 gegeben.

Tabelle 5.30 Zuordnung der Schichten zu Homogenbereichen

Schicht		Homogenbereiche	
		DIN 18300 (2015) Erdarbeiten (E)	DIN 18301 (2015) Bohrarbeiten (B)
1	Auffüllungen	A-E	A-B
2	Quartäre Deckschichten	B-E	B-B
3	Quartäre Sande und Kiese	C-E	C-B
4a	Tertiäre Sande	D-E	D-B
4b	Tertiäre Schluffe, Tone und Braunkohle	E-E	E-B
4c	Tertiäre Basalt, Mergel-, Kalk-, Dolomit-, und Sandsteine	F-E	F-B

Die Eigenschaften und Kennwerte der Homogenbereiche für die Gewerke der ATV DIN 18300, Stand 2015 (Erdarbeiten), der ATV DIN 18301, Stand 2015 (Bohrarbeiten wird nachfolgend gegeben).

Tabelle 5.31 Eigenschaften / Kennwerte der Homogenbereiche für Erdarbeiten nach DIN 18300 (2015) – Boden

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereich Erdarbeiten (B)				
	A-E	B-E	C-E	D-E	E-E
Schicht [-]	1	2	3	4a	4b
Ortsübliche Bezeichnung [-]	Auffüllungen	Quartäre Deckschichten	Quartäre Sande und Kiese	Tertiäre Sande	Tertiäre Schluffe Tone und Braunkohle
Bodengruppe [-]	[GW, GI, GE, GU, GU*, SW, SI, SE, SU, SU*, (TL, TM, TA)]	TL, TM, TA, ST, ST* (SU, SU*, UL, UM)	SW, SU, GU, GU* (SE, SI, GW, GE, GI)	GU, GU*, SU, SU*, ST, ST*, (UL, TL)	TL, TM, TA, UM (UL, UA, SU*, SU, ST, ST*, OT, HZ)
Stein- und Blockanteile [%]	> 30 möglich	≤ 30	≤ 30	≤ 30	> 30 möglich
Korngrößenverteilung [-]	n.b.	Abbildung 5.1	Abbildung 5.2	Abbildung 5.4	Abbildung 5.6
Dichte [g/cm ³] ²⁾	1,7 - 2,1	2,0 - 2,1	2,0 - 2,1	1,9 - 2,0	1,6 - 2,2
Undrainierte Scherfestigkeit [kN/m ²] ³⁾	0 - 200	20 - 50	0	0	15 - 800
Wassergehalt [%]	n.b.	≤ 40	≤ 15	≤ 35	≤ 65
Konsistenzzahl [-]	n.b.	0,5 - 3,5	-	-	0,2 - 1,5
Plastizitätszahl [%]	n.b.	< 65	-	-	> 5
Lagerungsdichte	sehr locker – sehr dicht ¹⁾	-	locker – dicht	mitteldicht – dicht sehr locker - mitteldicht	-
Organischer Anteil [%]	n.b.	< 6	< 3	< 3 <6	< 6 <8
LAGA Klasse	Z0 - Z2	Z0 - >Z2 DK0	Z1	Z0 - Z2	Z0 - >Z2 / DK1

n.b. nicht bekannt / große Bandbreite möglich

() untergeordnet vorhanden

¹⁾ gilt für nicht bindige grob- und gemischtkörnige Bereiche

²⁾ zur Überprüfung der Dichte ist DIN EN ISO 17892-2 anzuwenden

³⁾ zur Überprüfung der undrainierten Scherfestigkeit ist DIN 18137-2 anzuwenden

Tabelle 5.32 Eigenschaften / Kennwerte der Homogenbereiche für Erdarbeiten nach DIN 18300 (2015) – Fels

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereich Erdarbeiten (E)
	F-E
Schicht [-]	4c
Benennung nach DIN EN ISO 14689-1 [-]	Basalt, Mergel-, Kalk-, Dolomit-, und Sandstein
Ortsübliche Bezeichnung [-]	Basalt, Mergel-, Kalk-, Dolomit-, und Sandstein
Dichte [g/cm ³] ¹⁾	2,2 - 2,4
Verwitterung [-]	angewittert - entfestigt
Druckfestigkeit [MN/m ²]	n.b.
Trennflächenrichtung nach DIN EN ISO 14689-1 [-]	n.b.
Trennflächenabstand nach DIN EN ISO 14689-1 [cm]	n.b.
Gesteinskörperform nach DIN EN ISO 14689-1 [-]	n.b.
LAGA Klasse	Z0 - >Z2 / DK1

¹⁾ zur Überprüfung der Dichte ist DIN EN ISO 17892-2 anzuwenden

n.b. nicht bekannt / große Bandbreite möglich

Tabelle 5.33 Eigenschaften / Kennwerte der Homogenbereiche für Bohrarbeiten nach DIN 18301 (2015) – Boden

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereich Bohrarbeiten (B)				
	A-B	B-B	C-B	D-B	E-B
Schicht [-]	1	2	3	4a	4b
Ortsübliche Bezeichnung [-]	Auffüllungen	Quartäre Deckschichten	Quartäre Sande und Kiese	Tertiäre Sande	Tertiäre Schluffe Tone und Braunkohle
Bodengruppe [-]	[GW, GI, GE, GU, GU*, SW, SI, SE, SU, SU*, (TL, TM, TA)]	TL, TM, TA, ST, ST* (SU, SU*, UL, UM)	SW, SU, GU, GU* (SE, SI, GW, GE, GI)	GU, GU*, SU, SU*, ST, ST*, (UL, TL)	TL, TM, TA, UM (UL, UA, SU*, SU, ST, ST*, OT, HZ)
Stein- und Blockanteile [%]	> 30 möglich	≤ 30	≤ 30	≤ 30	> 30 möglich
Korngrößenverteilung [-]	n.b.	Abbildung 5.1	Abbildung 5.2	Abbildung 5.4	Abbildung 5.6
Kohäsion [kN/m ²] ¹⁾	0 - 20	0 - 15	0	0 - 10	15 - 25
Undrainierte Scherfestigkeit [kN/m ²] ²⁾	0 - 200	20 - 50	0	0	15 - 800
Wassergehalt [%]	n.b.	≤ 40 ≤ 31	≤ 10 ≤ 13	≤ 10 ≤ 32	≤ 65 ≤ 38
Konsistenzzahl [-]	n.b.	0,5 - 1,0 0,9 - 3,5	-	-	0,4 - 1,5 0,2 - 1,1
Plastizitätszahl [%]	n.b.	< 30 < 65	-	-	> 11 < 77 > 5
Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]	10 ⁻² ÷ 10 ⁻⁸	10 ⁻⁶ ÷ 10 ⁻⁹ -	10 ⁻³ ÷ 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵ ÷ 10 ⁻⁷	10 ⁻⁷ ÷ 10 ⁻⁹
Lagerungsdichte	locker - dicht ³⁾	-	locker - dicht	sehr locker - dicht	-
Abrasivität	n.b.	-	-	kaum bis schwach abrasiv	kaum bis schwach abrasiv
LAGA Klasse	Z0 - Z2	Z0 - >Z2 DK0	Z1	Z0 - Z2	Z0 - >Z2 / DK1

n.b. nicht bekannt / große Bandbreite möglich

() untergeordnet vorhanden

¹⁾ zur Überprüfung der Kohäsion ist DIN 18137-2 anzuwenden

²⁾ zur Überprüfung der undrainierten Scherfestigkeit ist DIN 18137-2 anzuwenden

³⁾ gilt für nicht bindige grob- und gemischtkörnige Bereiche

Tabelle 5.34 Eigenschaften / Kennwerte der Homogenbereiche für Bohrarbeiten nach DIN 18301 (2015) – Fels

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereich Bohrarbeiten (B)
	F-B
Schicht [-]	4c
Ortsübliche Bezeichnung [-]	Basalt, Mergel-, Kalk-, Dolomit-, und Sandstein
Benennung nach DIN EN ISO 14689-1 [-]	Basalt, Mergel-, Kalk-, Dolomit-, und Sandstein
Verwitterung [-]	angewittert - entfestigt
Druckfestigkeit [MN/m ²]	n.b.
Trennflächenrichtung nach DIN EN ISO 14689-1 [-]	n.b.
Trennflächenabstand nach DIN EN ISO 14689-1 [cm]	n.b.
Gesteinskörperform nach DIN EN ISO 14689-1 [-]	n.b.
Abrasivität	niedrig - mittel abrasiv / schwach abrasiv - abrasiv
LAGA Klasse	Z0 - >Z2 DK1

5.7 Umwelttechnische Untersuchungen

5.7.1 Abfallrechtliche Einstufung des anfallenden Bodenaushubmaterials

Zur orientierenden abfallrechtlichen Einstufung des im Rahmen der Bauarbeiten anfallenden Aushubmaterials wurden aus den Bohrkernen materialcharakterisierende Proben der Auffüllböden und des anstehenden Untergrunds entnommen. Die entnommenen Bodeneinzelproben wurden auf den Parameterumfang der LAGA M20 TR Boden 2004 [U7], Tab.II.1.2-2+3, in Feststoff und Eluat untersucht. Die Laborprüfberichte finden sich in der Anlage 4.3. In der nachfolgenden Tabelle 5.33 sind die maßgeblichen Analysenergebnisse und die Einstufung in die Einbauklassen gemäß [U7] dargestellt:

Tabelle 5.35 Untersuchte Proben und Analysenergebnisse Boden

Probenbezeichnung:	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Schicht	Einstufungsrelevante Parameter		Vorläufige Einstufung
VGf-T1 GP0/2	16,80 - 17,00	Schicht 4b Tertiäre Tone	TOC Arsen Elektr. Leitfähigkeit Sulfat	0,95 % 24,7 mg/kg 399 µS/cm 140 mg/l	Z1 Z1 Z1.2 Z2
VGf-T2 GP0/1	1,00 - 1,50	Schicht 1 Auffüllungen	-	-	Z0
VGf-T2 GP0/2	20,50 - 20,60	Schicht 4b Tertiäre Tone	Arsen Elektr. Leitfähigkeit Sulfat	23,0 mg/kg 920 µS/cm 479 mg/l	Z1 Z1.2 >Z2 DK1
VGf-T3 GP0/1	0,80 - 1,00	Schicht 1 Auffüllungen	Arsen Kupfer Nickel Quecksilber	13,1 mg/kg 22,9 mg/kg 22,8 mg/kg 0,13 mg/kg	Z1
VGf-T3 GP0/2	16,50 - 17,0	Schicht 4c Tertiäre Mergel	Arsen Elektr. Leitfähigkeit Sulfat	17,0 mg/kg 653 µS/cm 427 mg/l	Z1 Z1.2 >Z2 / DK1
VGf-T4 GP0/1	0,80 - 1,00	Schicht 1 Auffüllungen	PAK Arsen Blei Kupfer Nickel Quecksilber Zink	6,71 mg/kg 11,0 mg/kg 115 mg/kg 28,2 mg/kg 22,3 mg/kg 0,38 mg/kg 129 mg/kg	Z2 Z1 Z1 Z1 Z1 Z1 Z1
VGf-T4 GP0/2	18,00 - 18,10	Schicht 4b Tertiäre Tone	Sulfat	37 mg/l	Z1.2
VGf-T5 GP0/2	25,00 - 25,20	Schicht 4b Tertiäre Tone	TOC Arsen Sulfat	1,53 % 30,9 mg/kg 37 mg/l	Z2 Z1 Z1.2

Probenbezeichnung:	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Schicht	Einstufungsrelevante Parameter		Vorläufige Einstufung
VGf-T6 GP0/2	17,30 - 17,40	Schicht 4b Tertiäre Tone	TOC Arsen Sulfat	0,89 % 44,6 mg/kg 46 mg/l	Z1 Z1 Z1.2
VGf-T7 GP0/2	14,00 - 14,20	Schicht 4b Tertiäre Schluffe	-	-	Z0
VGf-T8 GP0/2	11,00 - 11,20	Schicht 4b Tertiäre Tone	Elektr. Leitfähigkeit Sulfat	284 µS/cm 110 mg/l	Z1.2 Z2
VGf-T9 GP0/1	1,80 - 2,00	Schicht 1 Auffüllungen	-	-	Z0
VGf-T9 GP0/2	9,80 - 10,00	Schicht 4a Tertiäre Sande	-	-	Z0
VGf-T10 GP0/1	0,40 - 0,60	Schicht 1 Auffüllungen	PAK	6,71 mg/kg	Z2
VGf-T10 GP0/2	9,00 - 9,20	Schicht 4b Tertiäre Schluffe	Elektr. Leitfähigkeit Sulfat	1360 µS/cm 1160 mg/l	Z1.2 >Z2 / DK1
VGf-T11 GP0/2a	1,00 - 1,50	Schicht 2 quartäre Schluffe	-	-	Z0
VGf-T11 GP0/2b	12,80 - 13,00	Schicht 4b Tertiäre Schluffe	-	-	Z0
VGf-T12 GP0/2a	1,50 - 2,00	Schicht 3 quartäre Sande	Blei Kupfer Quecksilber Zink	62,8 mg/kg 21,6 mg/kg 0,29 mg/kg 99,5 mg/kg	Z1
VGf-T12 GP0/2b	26,00 - 26,30	Schicht 4b Tertiäre Schluffe	EOX TOC Arsen Elektr. Leitfähigkeit Sulfat	3 mg/kg 0,81 % 28,4 mg/kg 370 µS/cm 136 mg/l	Z1 Z1 Z1 Z1.2 Z2
VGf-T13 GP0/1	0,80 - 1,00	Schicht 1 Auffüllungen	PAK Arsen Blei Kupfer Nickel Quecksilber Zink	7,25 mg/kg 14,4 mg/kg 96,3 mg/kg 24,9 mg/kg 21,5 mg/kg 0,30 mg/kg 107 mg/kg	Z2 Z1 Z1 Z1 Z1 Z1 Z1
VGf-T13 GP0/2	22,00 - 22,10	Schicht 4b Tertiäre Tone	TOC Arsen Sulfat	1,50 % 28,4 mg/kg 30 mg/l	Z1 Z1 Z1.2

Probenbezeichnung:	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Schicht	Einstufungsrelevante Parameter		Vorläufige Einstufung
VGf-T14 GP0/1	0,80 - 1,00	Schicht 1 Auffüllungen	Quecksilber	0,57 mg/kg	Z1
VGf-T14 GP0/2	12,80 - 13,0	Schicht 4b Tertiäre Braunkohle	KW (C10-C22) Arsen Nickel Elektr. Leitfähigkeit Sulfat PH-Wert	294 mg/kg 49,5 mg/kg 101 mg/kg 452 µS/cm 458 mg/l 583	Z1 Z2 Z1 Z1.2 >Z2 / DK1 Z2
VGf-T15 GP0/1	0,50 - 0,80	Schicht 1 Auffüllungen	Chrom Kupfer Nickel Quecksilber PH-Wert	67,8 mg/kg 20,2 mg/kg 62,3 mg/kg 0,20 mg/kg 9,68	Z1 Z1 Z1 Z1 Z1.2
VGf-T15 GP0/2	17,40 - 17,70	Schicht 4b Tertiäre Tone	Elektr. Leitfähigkeit Sulfat	312 µS/cm 111 mg/l	Z1.2 Z2
VGf-T16 GP0/2	2,50 - 3,00	Schicht 3 quartäre Sande	Chrom Nickel	49,1 mg/kg 26,9 mg/kg	Z1
VGf-T18 GP0/2	1,00 - 1,50	Schicht 2 quartäre Schluffe	-	-	Z0
VGf-T19 GP0/2	1,00 - 1,50	Schicht 3 quartäre Sande	Chrom Nickel	42,2 mg/kg 25,9 mg/kg	Z1
VGf-T20 GP0/1	0,80 - 1,00	Schicht 1 Auffüllungen	PAK Blei Kupfer Nickel Quecksilber Zink	5,15 mg/kg 134 mg/kg 23,6 mg/kg 21,5 mg/kg 0,13 mg/kg 270 mg/kg	Z2 Z1 Z1 Z1 Z1 Z1
VGf-T20 GP0/2	15,00 - 15,10	Schicht 4b Tertiäre Tone	Arsen Elektr. Leitfähigkeit Sulfat	35,2 mg/kg 417 µS/cm 149 mg/l	Z1 Z1.2 Z2
VGf-T21 GP0/1	0,10 - 0,30	Schicht 1 Auffüllungen	TOC PAK Blei Chrom Kupfer Nickel Quecksilber Zink Sulfat	0,58 % 5,37 48,7 mg/kg 30,2 mg/kg 22,2 mg/kg 36,0 mg/kg 0,21 mg/kg 72,9 mg/kg 54 m mg/l	Z1 Z2 Z1 Z1 Z1 Z1 Z1 Z1 Z2

Probenbezeichnung:	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Schicht	Einstufungsrelevante Parameter		Vorläufige Einstufung
VGf-T22 GP0/1	0,80 - 1,00	Schicht 1 Auffüllungen	PAK Nickel Quecksilber Zink Elektr. Leitfähigkeit Sulfat	4,36 mg/kg 16,6 mg/kg 0,17 mg/kg 70,7 mg/kg 289 µS/cm 119 mg/l	Z2 Z1 Z1 Z1 Z1.2 Z2
VGf-T22 GP0/2	29,80 - 30,00	Schicht 4b Tertiäre Tone	TOC Arsen Elektr. Leitfähigkeit Sulfat	1,78 % 29,7 mg/kg 278 µS/cm 135 mg/l	Z2 Z1 Z1.2 Z2
VGf-T23 GP0/2	21,90 - 22,00	Schicht 4b Tertiäre Tone	TOC Sulfat	0,95 % 34 mg/l	Z1 Z1.2
VGf-T24 GP0/2	15,00 - 15,20	Schicht 4b Tertiäre Schluffe	-	-	Z0
VGf-T25 GP0/2	15,00 - 15,30	Schicht 4a Tertiäre Sande	Arsen Elektr. Leitfähigkeit Sulfat	70,0 mg/kg 477 µS/cm 171 mg/l	Z2 Z1.2 Z2
VGf-T26 GP0/2a	1,00 - 1,20	Schicht 4a Tertiäre Sande	Cadmium Quecksilber Zink	0,90 mg/kg 1,77 mg/kg 80,7 mg/kg	Z1 Z2 Z1
VGf-T26 GP0/2b	10,70 - 11,00	Schicht 4b Tertiäre Tone	-	-	Z0
VGf-T27 GP0/2a	0,80 - 1,00	Schicht 3 quartäre Sande	Quecksilber	1,77 mg/kg	Z1
VGf-T27 GP0/2b	13,80 - 14,00	Schicht 4b Tertiäre Schluffe	Sulfat	28 mg/l	Z1.2
VGf-T28 GP0/2	8,00 - 8,20	Schicht 4c Tertiäre Kalkst.	Sulfat	42 mg/l	Z1.2
VGf-T29 GP0/1	0,60 - 1,00	Schicht 1 Auffüllungen	PAK Blei Cadmium Chrom Kupfer Nickel Quecksilber Zink	7,42 mg/kg 107 mg/kg 1,56 mg/kg 31,4 mg/kg 44,7 mg/kg 24,2 mg/kg 0,71 mg/kg 155 mg/kg	Z2 Z1 Z1 Z1 Z1 Z1 Z1 Z1
VGf-T30 GP0/2a	0,80 - 1,00	Schicht 2 quartäre Schluffe	-	-	Z0

Probenbezeichnung:	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Schicht	Einstufungsrelevante Parameter		Vorläufige Einstufung
VGf-T30 GP0/2b	9,00 - 9,20	Schicht 4c Tertiäre Mer- gel	-	-	Z0
VGf-T31 GP0/2a	0,80 - 1,00	Schicht 2 quartäre Schluffe	PAK Blei Quecksilber	133 mg/kg 74 mg/kg 0,53 mg/kg	>Z2 / DK0 Z1 Z1
VGf-T31 GP0/2b	6,80 - 7,00	Schicht 2 quartäre Schluffe	TOC	0,65 %	Z1
VGf-T32 GP0/1	0,40 - 0,60	Schicht 1 Auffüllungen	PAK Quecksilber	4,65 mg/kg 0,19 mg/kg	Z2 Z1
VGf-T32 GP0/2	9,80 - 10,0	Schicht 4b Tertiäre Tone	TOC Sulfat	1,05 % 88 mg/l	Z1 Z2
VGf-T33 GP0/2	11,30 - 11,50	Schicht 4b Tertiäre Tone	TOC Elektr. Leitfähigkeit Sulfat	1,08 % 293 µS/cm 108 mg/l	Z1 Z1.2 Z2
VGf-T34 GP0/2a	2,00 - 2,30	Schicht 3 quartäre Sande	Chrom	36,1 mg/kg	Z1
VGf-T34 GP0/2b	8,00 - 8,30	Schicht 4a Tertiäre Sande	-	-	Z0
VGf-T35 GP0/1	0,10 - 0,40	Schicht 1 Auffüllungen	Chrom Kupfer Nickel	75,5 mg/kg 21,1 mg/kg 98,3 mg/kg	Z1
VGf-T35 GP0/2a	17,80 - 18,00	Schicht 4a Tertiäre Sande	-	-	Z0
VGf-T35 GP0/2b	18,60 - 18,80	Schicht 4b Tertiäre Tone	Arsen Nickel Elektr. Leitfähigkeit Sulfat Nickel	65,1 mg/kg 215 mg/kg 305 µS/cm 73 mg/l 22 mg/l	Z2 Z2 Z1.2 Z2 Z2
VGf-T36 GP0/2a	0,60 - 1,00	Schicht 2 quartäre Schluffe	-	-	Z0
VGf-T36 GP0/2b	9,00 - 9,50	Schicht 4a Tertiäre Sande	-	-	Z0
VGf-T37 GP0/1	1,50 - 2,00	Schicht 1 Auffüllungen	Arsen PH-Werte	15 µg/l 9,64	Z1.2
VGf-T37 GP0/2	9,90 - 10,00	Schicht 4b Tertiäre Tone	Arsen Elektr. Leitfähigkeit Sulfat	21,3 mg/l 256 µS/cm 119 mg/l	Z1 Z1.2 Z2

Die Ergebnisse der untersuchten Proben variieren sehr stark und werden in die Zuordnungsklasse Z0, Z1.2 und Z2 eingestuft.

Die untersuchten Proben der Schicht 1 werden aufgrund von PAK und Sulfat in die Zuordnungsklasse Z2 eingestuft.

Die untersuchte Probe der Schicht 2 aus der VGF-T31 wird aufgrund von PAK in die Zuordnungsklasse >Z2 eingestuft. Für diese Probe erfolgte zusätzlich eine chemische Analyse auf die ergänzenden Parameter der Deponieverordnung (DepV). Demnach wird die Probe in die Deponieklasse DK0 eingestuft.

Die untersuchten Proben der Schicht 3 aus der VGF-T12, VGF-T16, VGF-T19, VGF-T27 und VGF-T34 werden aufgrund von Blei, Kupfer, Quecksilber, Zink, Chrom und Nickel in die Zuordnungsklasse Z1 eingestuft.

Die untersuchten Proben der Schicht 4b und 4c aus der VGF-T3, VGF-T10 und VGF-T14 werden aufgrund von Sulfat in die Zuordnungsklasse >Z2 eingestuft. Für diese Proben erfolgte zusätzlich eine chemische Analyse auf die ergänzenden Parameter der Deponieverordnung (DepV). Demnach werden die Proben in die Deponieklasse DK1 eingestuft.

Die entnommenen Bauschutteinzelproben wurden auf den Parameterumfang der LAGA [U8], Tab.II.1.4-5+6, im Feststoff und Eluat untersucht. Die Laborprüfberichte finden sich in der Anlage 4.3. In der nachfolgenden Tabelle 5.36 sind die maßgeblichen Analysenergebnisse und die Einstufung in die Einbauklassen gemäß [U8] dargestellt:

Tabelle 5.36 Untersuchte Proben und Analysenergebnisse Bauschutt

Probenbezeichnung:	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Schicht	Einstufungsrelevante Parameter		Vorläufige Einstufung
VGf-T28 GP0/b	0,10 - 0,15	Beton	-	-	Z0

Die Bauschuttprobe der Kernbohrung zeigt keine Auffälligkeiten und wird in die Einbauklasse Z0 eingestuft.

Wir weisen darauf hin, dass die durchgeführte Analytik ausschließlich einen orientierenden Charakter besitzt. Die Beprobung mittels Bohrungen ersetzt keine abfallcharakterisierende Haufwerksbeprobung nach LAGA PN 98 [U9].

Weiterhin weisen wir darauf hin, dass die vorliegende orientierende Einstufung auf Grundlage der aktuell noch geltenden LAGA M20 TR Boden 2004 durchgeführt wurde. Mit Datum vom 01.08.2023 ist die Ersatzbaustoffverordnung (EBV) in Kraft getreten und hat die LAGA M20 TR Boden 2004 abgelöst. Die abfallrechtliche Deklaration der Aushubmassen kann ab diesem Zeitpunkt baubegleitend an Haufwerken unter Berücksichtigung der Einstufungskriterien der Ersatzbaustoffverordnung erfolgen. Weiterhin ist gemäß BBodSchV [U10] eine Probenahme aus Böden in situ möglich. Zur Probengewinnung sind Verfahren anzuwenden, die in der DIN EN ISO 22475-1 und der DIN ISO 10381-2 aufgeführt sind.

5.7.1 Chemische Untersuchung der Asphaltkerne

Zur Bewertung der entnommenen Asphaltkerne in Hinblick auf eine Wiederverwertung ist der PAK-Gehalt maßgebend. Die ermittelten PAK-Gehalte Σ PAK (EPA) sind in der nachfolgenden dokumentiert:

Tabelle 5.37 PAK-Gehalt der Asphaltkerne

Probenbezeichnung	Σ PAK (EPA) [mg/kg]	Verwertungsklasse [U13]
VGf-T21 GP00	0,9	A
VGf-T28 GP00	0,2	A

6 HYDROGEOLOGIE

6.1 Übersicht

Die Trassen durchfahren zwei unterschiedliche Grundwassersysteme: Der obere Grundwasserleiter liegt als Porengrundwasserleiter vor, der untere Grundwasserleiter ist ein Poren- und Kluffgrundwasserleiter.

Oberer Grundwasserleiter

In den quartären Sanden und Kiesen der Schicht 3 ist ein Porengrundwasserleiter ausgebildet.

Unterer Grundwasserleiter

Innerhalb der tertiären Schichtfolgen bilden die vorherrschenden ausgeprägt plastischen Tone der Schicht 4 Grundwassersperrschichten. Dagegen sind die eingeschalteten Sande der Schicht 4 in Abhängigkeit der bindigen Nebenbodenarten mäßig bis stark wasserführend. Die Mergel-, Dolomit-, Kalksteine und Basalte der Schicht 4 bilden einen Kluffgrundwasserleiter. Im Festgestein sind sehr hohe Durchlässigkeiten möglich.

Nach den allgemeinen für das Umfeld der Baumaßnahme vorliegenden Erfahrungen steht das Grundwasser in den Schichten 4 gespannt an. Die Druckspiegel liegen dabei allgemein etwa auf dem Niveau des freien Grundwassers in der Schicht 3.

6.2 Gemessene Grundwasserstände

Im Zuge der durchgeführten Baugrundaufschlussarbeiten wurden die Grundwasserstände in den Aufschlüssen sofern möglich gelotet. Die Messwerte sind in der nachfolgenden Tabelle 6.1 angegeben:

Tabelle 6.1 In den Aufschlüssen gemessene Grundwasserstände

Aufschluss	Schicht	GOK [mNHN]	Messwert angebohrt / in Ruhe [m]	Messwert angebohrt / in Ruhe [mNHN]	Datum
VGf-T01	3	103,38	7,00 / 6,47	96,38 / 96,91	21.11.2022
VGf-T02	4a	104,92	12,00 / 10,51	92,92 / 94,41	28.11.2022
VGf-T03	4c	105,90	6,50 / 5,43	99,4 / 100,47	19.10.2022
VGf-T04	4b	104,64	15,00 / 8,60	89,64 / 96,04	16.11.2022
VGf-T05	4b	105,50	12,30 / 12,00	93,2 / 93,5	28.09.2022
VGf-T06	4b-4c	104,48	7,40 / 6,81	97,08 / 97,67	14.09.2022
VGf-T07	4a-4b	108,51	2,70 / 2,55	105,81 / 105,96	19.09.2022
VGf-T08	4a-4b	112,68	9,30 / 9,23	103,38 / 103,45	03.05.2022
VGf-T09	4c	120,42	6,00 / 5,92	114,42 / 114,50	28.04.2022
VGf-T10	4a-4b	122,01	13,50 / 12,98	108,51 / 109,03	26.04.2022
VGf-T11	4b	119,49	13,10 / 12,93	106,39 / 106,56	03.11.2022
VGf-T12	4a-4b	105,45	6,00 / 4,96	99,45 / 100,49	10.01.2022
VGf-T13	4b-4c	103,61	3,00 / 4,10	100,61 / 99,51	09.11.2022
VGf-T14	4a-4b	121,20	5,40 / 5,02	115,8 / 116,18	14.04.2022
VGf-T15	4a-b	119,41	6,00 / 5,91	113,41 / 113,50	12.04.2022
VGf-T16	4b	117,39	8,20 / 8,40	109,19 / 108,99	01.11.2022
VGf-T18	4a	118,89	9,10 / 8,85	109,79 / 110,04	17.10.2022
VGf-T19	4a	120,50	10,00 / 9,51	110,50 / 110,99	12.10.2022
VGf-T20	3	119,20	6,30 / 5,82	112,9 / 113,38	23.11.2022
VGf-T21	4b	116,89	11,00 / 10,79	105,89 / 106,1	06.09.2022
VGf-T22	4a	104,14	3,80 / 2,85	100,34 / 101,29	02.11.2022
VGf-T23	4b	106,03	8,80 / 8,15	97,23 / 97,88	21.09.2022
VGf-T24	4b	114,85	8,30 / 7,50	106,55 / 107,35	25.04.2022
VGf-T25	4a	119,72	11,70 / 10,90	108,02 / 108,82	25.04.2022
VGf-T26	4c	121,64	5,80 / 5,71	115,84 / 115,93	27.04.2022
VGf-T27	4a-4b	106,68	10,00 / 7,35	96,68 / 99,33	15.11.2022
VGf-T28	4c-4b	107,82	8,30 / 7,45	99,52 / 100,37	14.11.2022
VGf-T29	4c	109,10	8,00 / 7,91	101,1 / 101,19	07.12.2022
VGf-T30	4c	105,98	5,60 / 5,55	100,38 / 100,43	08.11.2022
VGf-T31	4a	108,47	7,50 / 7,02	100,97 / 101,45	26.10.2022
VGf-T32	4c	110,31	6,00 / 7,20	104,31 / 103,11	09.12.2022
VGf-T33	4a-4b	113,98	4,40 / 4,20	109,58 / 109,78	12.09.2022
VGf-T34	4a	116,55	7,00 / 6,81	109,55 / 109,74	09.01.2023
VGf-T35	4a-4b	121,38	16,10 / 16,00	105,28 / 105,38	21.04.2022
VGf-T36	4a-4b	118,93	7,60 / 6,97	111,33 / 111,96	01.12.2022
VGf-T37	4a-4b	109,95	2,30	107,65	12.12.2022

Die angebohrten Wasserstände liegen demnach in einem Tiefenbereich zwischen 89,64 mNHN und 115,84 mNHN. Die Wasserstände nach Beendigung der Bohrung bzw. in Ruhe liegen zwischen 93,50 mNHN und 115,93 mNHN.

Bei Trassierungsvariante 3i variieren die Grundwasserstände in dem o.g. Tiefenbereich. Bei den Trassierungsvarianten 1a und 1d liegen die angebohrten Grundwasserstände von 0+199 km bis 0+952 km zwischen 92,92 mNHN und 109,58 mNHN und die Wasserstände in Ruhe liegen zwischen 94,41 mNHN und 109,78 mNHN, siehe Anlage 2.1.

6.3 Versickerungsmöglichkeit

Die Versickerung des Oberflächenwassers über die ungesättigte Bodenzone in Lockergesteinen ist gemäß Arbeitsblatt DWA – A138 „Bau und Bemessung von Anlagen zur dezentralen Versickerung von nicht schädlich verunreinigtem Niederschlagswasser“ [U14] etwa in einem Durchlässigkeitsbereich von 1×10^{-3} bis 1×10^{-6} m/s sinnvoll. Diese Spanne ist im o.g. Regelwerk als „entwässerungstechnisch relevanter Versickerungsbereich“ bezeichnet. Auffüllungen dürfen gemäß o.g. DWA-Arbeitsblatt generell nicht durchsickert werden.

Bei der Planung der Versickerungsanlagen sind die bindigen Böden (Schicht 2 und 4b) sowie Sande mit erhöhtem Feinkornanteil zu berücksichtigen, die zum potenziellen Aufstau von Wasser führen können. Vom Versickerungsplaner ist zu prüfen, in welcher Tiefenlage die Versickerung vorgesehen ist, und ob auf Höhe der Sohle der Versickerungsanlagen bindige Schichten anstehen. Sofern bindige Schichten auf der Sohle anstehen, sind voraussichtlich Zusatzmaßnahmen, wie z.B. Bodenaustausch / Durchörterung, o.ä., erforderlich. Eine Versickerung muss daher stets unter Berücksichtigung des lokal vorhandenen Feinkornanteils betrachtet werden.

6.4 Grundwasserschutzgebiete

Gemäß [U6] quert die geplante Trasse keine Trinkwasserschutzgebiete.

7 ZUSAMMENFASSUNG

Die Stadtbahn Entwicklung und Verkehrsinfrastrukturprojekte Frankfurt GmbH (SBEV) plant für die Stadt Frankfurt am Main den Bau einer Stadtbahnverbindung zwischen den Stationen Bockenheimer Warte und Ginnheim. Im Rahmen einer Variantenuntersuchung werden verschiedene Trassenverläufe untersucht und bewertet. Der vorliegende geotechnische Untersuchungsbericht baut im Wesentlichen auf den Erkundungsbohrungen auf, welche für die hydrogeologischen Untersuchungen im südlichen Bereich der Trassenverläufe ausgeführt wurden.

Der Baugrund gliedert sich im Bereich der Trassenvarianten im Wesentlichen in vier Schichten, die zusammenfassend wie folgt zu beschreiben sind. Als oberste Schicht liegen entlang der Trassenverläufe sowohl Auffüllungen (Schicht 1) in Form von sehr locker bis mitteldicht gelagerten Sanden mit variierenden Anteilen an Schluff und Kies als auch quartäre Deckschichten (Schicht 2) in Form von Schluffen mit teilweise feinsandigen und tonigen Anteilen in meist steifer bis halbfester, örtlich auch weicher bis fester Konsistenz vor. Unterhalb der Schluffe der Schicht 2 kommen örtlich die locker bis dicht gelagerten Sande und Kiese der Main- und Niddaterrassen (Schicht 3) zu liegen. Unterhalb der Auffüllungen bzw. quartären Schichten kommen tertiären Schichtfolgen (Schicht 4) zu liegen. In den drei zu betrachtenden Varianten durchfahren die Tunnelröhren weitestgehend diese tertiären Schichten. Diese liegen überwiegend als Landschneckenmergel und Hydrobienschichten vor. Letztere werden auch als „Frankfurter Ton“ bezeichnet. Dieser Schichtenkomplex wird durch Tone (Schicht 4b) dominiert in welche unregelmäßig und nicht horizontbeständig Hydrobiensande und Kalksande (Schicht 4a) sowie Kalk- und Dolomitstein eingeschaltet sind. Weiterhin wurden in allen Trassenverläufen auch Braunkohle bzw. Torf erkundet. Lokal werden die quartären Sedimente auch von Basalt (Untermain-Basalt-Formation) unterlagert. Lokal wurde auch Sandstein angetroffen. Die Felsschichten aus Kalk- und Dolomitstein, Basalt und Sandstein werden als Tertiärer Fels (Schicht 4c) zusammengefasst.

Die Trassen durchfahren zwei unterschiedliche Grundwassersysteme. Zum einen den oberen Grundwasserleiter innerhalb der quartären Sande und Kiese (Schicht 1) in Form eines Porengrundwasserleiters. Zum anderen den unteren Grundwasserleiter innerhalb der tertiären Schichtfolgen. Die Tone der Schicht 4b bilden eine Grundwassersperrschicht. Die darin eingeschalteten Sande (Schicht 4a) sind in Abhängigkeit der bindigen Nebenbestandteile jedoch mäßig bis stark wasserführend. Die tertiären Felsschichten (Schicht 4c) aus Mergel-, Dolomit-, Kalkstein und Basalt bilden einen Kluftgrundwasserleiter, in dem sehr hohe Durchlässigkeiten möglich sind. Nach den allgemein für das Umfeld der Baumaßnahme vorliegenden Erfahrungen steht das Grundwasser in den tertiären Schichten gespannt an. Die Druckspiegel liegen dabei allgemein etwa auf dem Niveau des freien Grundwassers der quartären Schichten.

In den Auffüllungen und quartären Schichten wurden in bisherigen orientierenden Untersuchungen teilweise erhöhte PAK-Konzentrationen festgestellt, die auf einen Schadstoffeintrag hindeuten. In den tertiären Schichten wurden durch die bisherigen orientierenden Untersuchungen erhöhte Werte von Schwermetallen und Sulfaten festgestellt.

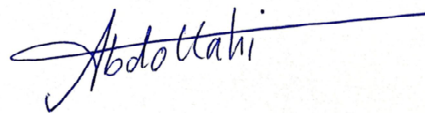
Seitens des Bauherrn und der beteiligten Planer ist die Richtigkeit der baulichen Randbedingungen, d.h. die diesem Bericht zugrunde liegenden Annahmen zu überprüfen. Im Zuge der weiteren Planungen ist der Bericht an die konkrete Planung anzupassen und fortzuschreiben. Das Erfordernis weiterer Baugrundaufschlüsse, insbesondere im nördlichen Bereich der geplanten Trasse, ist zu prüfen.

Die aufgeführten Angaben basieren auf der Auswertung von punktuellen Baugrundaufschlüssen. Aufgrund von Interpolation der Daten sowie der sich lateral ändernden Bodenverhältnisse und Bodeneigenschaften muss berücksichtigt werden, dass Abweichungen zu den in diesem Bericht dargelegten Angaben möglich sind.

CDM Smith Consult GmbH
2024-05-27

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "H. Huber".

Dr.-Ing. Heiko Huber

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "Abdollahi".

Dr. rer. nat. Azadeh Abdollahi

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "Hendrik Ramm".

Dr.-Ing. Hendrik Ramm

SBEV Stadtbahn Entwicklung und Verkehrsinfrastrukturprojekte Frankfurt GmbH
Verlängerung U4 - Bockenheimer Warte nach Ginnheim (Stadtbahnstrecke D,
Teilabschnitt 2)

ANLAGE 1 LAGEPLÄNE

Anlage 1.1	Übersichtslageplan
Anlage 1.2	Geologische Karte
Anlage 1.3	Lageplan der Baugrundaufschlüsse